

## Biomonitoring zwischen Controlling und Prophetie

Otto Wildi

**Die Nachfrage nach regelmässiger Beobachtung der gestressten Umwelt ist gross, was in Anbetracht einiger Überraschungen der vergangenen Jahrzehnte leicht zu verstehen ist: Turbulenzen mit sterbenden oder nicht sterbenden Wäldern, Sorgen um die Biodiversität, Angst vor den sich ausbreitenden Neobiota und Hiobsbotschaften von der Klimafront. Aus Monitoringprogrammen, in die die WSL involviert ist, werden einige Regeln abgeleitet, die bei der Umweltbeobachtung zu beachten sind. Sie münden in eine methodische Vision zukünftiger Programme zur Überwachung der Biodiversität.**

### Jäger, Sammler und Landwirte

Auf wissenschaftlich motivierte Pioniere des Biomonitorings, wie zum Beispiel den Zürcher Botaniker Balthasar Stüssi (Abb. 1), stösst man erst im zwanzigsten Jahrhundert. Das Bedürfnis, über die aktuellen Veränderungen der Umwelt und auch über die zukünftig zu erwartenden Entwicklungen informiert zu sein, ist jedoch dem Menschen seit Urzeiten eigens und keineswegs eine Erfindung der modernen Industrie- und Informationsgesellschaft. In seinen Ausführungen über die «Erfindung der Zeit» beschreibt der amerikanische Historiker Daniel J. BOORSTIN (1985), wie die korrekte Wahrnehmung

der Jahreszeiten für die Jäger, Sammler und Landwirte bis ins Spätmittelalter eine Überlebensfrage war. Der Beginn der Jahreszeiten konnte mangels Zeitmessung nur auf Grund des Zustandes der Natur ermittelt werden. Erfolgte die Aussaat von Getreide zu früh, so konnte die Ernte wegen Frostschäden ausfallen, erfolgte sie zu spät, so führte das zu einer Minderung des Ertrages, beides mit tödlichem Ausgang, falls ein harter Winter folgte. Mehr Unabhängigkeit von den Launen der Natur brachte erst der Ausbau der Verkehrswege und damit das Aufkommen des internationalen Lebensmittelhandels. Jahre mit kaltnassem Sommer führten noch im dreizehnten und vierzehnten Jahrhun-



Abb. 1. Oft hängt die Fortdauer von Monitoringprogrammen von Persönlichkeiten mit besonderem Durchhaltewillen ab: Z.B. wurde die Sukzessionsstudie im Schweizerischen Nationalpark während fast 40 Jahren von Balthasar Stüssi betreut (Bild: Archiv WSL).

Fig. 1. The continuation of monitoring programs frequently resides on the persistence of individual personalities. Balthasar Stüssi, for example, conducted the succession study in the Swiss National Park for more than forty years (Photo: Archive WSL).

### Editorial

Die erste Nummer des Informationsblatts Landschaft der WSL, der damaligen EAFV (Eidgenössische Anstalt für das forstliche Versuchswesen), erschien im April 1986. Im Hauptartikel stellte Otto Wildi, zusammen mit Thomas Dalang, den Einsatz des «Wundermittels EDV» für eine Landschaftsdatenbank mit Informationen zu nationalen und kantonalen Inventaren vor und verwies auch auf die zur Verfügung stehende Rechnerleistung: «Die Datenbank befindet sich auf dem Kleincomputer Codata 3000 [dessen] Zentralspeicher umfasst 2 MByte, der Plattenspeicher 168 MByte» (WILDI und DALANG 1986). Otto Wildi war nicht nur bereits an der ersten Nummer, sondern auch an allen seither erschienenen Informationsblättern massgeblich beteiligt. Er hat das Informationsblatt Landschaft bis heute geprägt und weiterentwickelt.

Nicht nur die Computerleistung, sondern auch die Landschaftsthemen haben sich in den letzten 25 Jahren stark weiterentwickelt. Unverändert geblieben ist hingegen der eigentliche Zweck des weit gestreuten Informationsblatts Landschaft: Es berichtet schnell und informativ über neue Entwicklungen und Ergebnisse aus der WSL im Themenbereich Natur und Landschaft und konzentriert sich dabei auf den Inhalt – entsprechend schlicht ist sein Erscheinungsbild in all den Jahren geblieben. Mit dieser Ausrichtung will die WSL Diskussionen anregen und neue Ideen und Meinungen präsentieren.

Otto Wildi wurde per Ende September 2011 pensioniert. Es freut uns, dass er für die aktuelle Nr. 83 des Informationsblattes Landschaft noch einmal einen Hauptartikel über ein Thema schreibt, das ihn über viele Jahre hinweg begleitet hat: Die Abgründe und Untiefen des Monitorings.

Wir danken Otto Wildi herzlich für seinen nachhaltigen Einsatz für das Informationsblatt Landschaft und wünschen ihm für die Zukunft viele anregende Diskussionen und alles Gute.

Rolf Holderegger, Matthias Bürgi,  
Sandra Gurzeler, Peter Longatti

### **Biomonitoring between controlling and augury**

There is considerable demand for continuous observation of our stressed environment, which is easy to understand in the light of surprises that happened in the past few decennials: Turbulences around forest decease, concern about biodiversity, fear from expanding neobiota as well as bad news from climate change. Based on some monitoring programs in which WSL is involved, general rules are derived for the design of environmental monitoring programs. A methodological vision of future biodiversity monitoring is presented suggesting an integration of various efforts as practiced hitherto in weather and climate research.

dert in Mittel- und Nordeuropa zu Hungersnöten, wie z.B. Brian FAGAN (2000) in seinem Buch über die kleine Eiszeit erzählt. Man kann sich leicht vorstellen, wie unter diesen Bedingungen sowohl seriöse als auch unseriöse Voraussagen über die Wetterentwicklung gierig aufgenommen wurden. Ganz unrealistisch war sogar eine Mehrjahresprognose nicht, denn öfters gab es mehrere aufeinanderfolgende, besonders warme, dann wieder eine Reihe kalter und nasser Jahre. Fagan erwähnt als Beispiel die Serie katastrophaler Jahre zwischen 1315 und 1321, die in Zentraleuropa viele Todesopfer forderte. Eine staatliche Hilfeleistung war damals kaum bekannt und man betrachtete es nicht als Aufgabe der Öffentlichkeit, sich um die natürlichen Ressourcen zu kümmern. In den heutigen national und international stark vernetzten politischen und wirtschaftlichen Gefügen ist die aktuelle Kenntnis der Potenziale der natürlichen Ressourcen unabdingbar, und das betrifft nicht mehr nur die Lebensmittelversorgung, sondern auch die Belastungen mit Schadstoffen oder den Zustand der Wälder und der Biodiversität. Das Bestreben, systematisch Umweltdaten zu sammeln geht in Einzelfällen weit zurück. So in Japan, wo aus Sorge um den Wald 1773 ein Forstinventar erstellt wurde. Gemäss Jared DIAMOND (2005) wurden 4114 Bäume vermessen, mit Höhe, Umfang, Kronen- und Stammform, differenziert nach Baumart. Das Beispiel dokumentiert zweierlei: Monitoring hat in verschiedensten Kulturen Tradition und entspringt offenbar einem tief verankerten menschlichen und gesellschaftlichen Bedürfnis.

### **Voraussage, Früherkennung und Nachhersage**

Bei allen Umweltmonitoringprojekten geht es darum, schwierig fassbare Zustände zu erkennen. Normale Erhebungen sind in der Regel ungewollt «Nachhersagen». So dokumentiert der 2010 erschienene Bericht zum dritten Landesforstinventar den Zustand der Wälder der Jahre 2004 bis 2006 (BRÄNDLI 2010) oder das 2007 erschienene Heft zum Moormonitoring in der Schweiz den Zustand der Moore zwischen 2000 und 2005 (KLAUS 2007). Das hängt mit der Messmethode zusammen, denn diese Projekte verwenden nebst Fernerkundung zeitraubende Erhebungen im Felde, die immer erst zu analysieren sind. Andere Programme sind schneller: Viele Wetterdaten sind heute in «Echtzeit» analysiert und verfügbar. Doch auch so ist der heikle Sprung von der Analyse der Vergangenheit zu Aussagen über die Zukunft noch nicht geschafft, ja es fragt sich, ob ein solcher überhaupt möglich ist. Die Zukunft vorauszusagen ist Prophezie. Die Naturwissenschaft kann nur versuchen, eine Aussage zur Wahrscheinlichkeit des Auftretens bestimmter Zustände zu machen. Das diesbezügliche Potenzial weltweiter Messnetze lässt sich an einem historisch gut untersuchten Ereignis zeigen, bei dem die heutigen Möglichkeiten der Messung, Analyse und Kommunikation noch nicht existierten: Dem Ausbruch des Vulkans Tambora auf Java am 11. April 1815. FAGAN (2000) berichtet von 30000 hungernden Personen in der Schweiz im Folgejahr 1816, das auch als «Jahr ohne Sommer» in die Geschichte einging. Von Hungersnöten waren alle ausserhalb der Tropen lebenden Menschen betroffen und das Elend dauerte mehrere Jahre, vermutlich bis 1821, an. Da es kein systematisches Wettermessnetz, keine schnellen Kommunikationsmittel und keine Kenntnisse über die Wirkung grosser Vulkanausbrüche gab, hatten die Betroffenen, als die Katastrophe eintrat, keine Ahnung, was ihr Schicksal verursacht hatte und wie es weiter gehen sollte. Licht in die Sache brachte erst das zwanzigste Jahrhundert. Mit den heutigen Mitteln wäre eine Voraussage der Auswirkungen des Vulkanausbruchs über mehrere Jahre hinweg möglich, ganz ohne Prophezie, aber mit computerbasierten Wetter- und Klimamodellen. Um sich nicht in Prognosen versteigen zu müssen, betreiben viele Monitoringprojekte so genannte Früherkennung. In diesem Begriff klingt die Hoffnung

an, zukünftige Veränderungen würden sich durch «schwache Signale» ankündigen, sodass eine Voraussage möglich wäre. Häufiger stellt man allerdings etwas fest, das schon lange da war, jedoch übersehen oder verdrängt wurde. Ein Beispiel mit globaler Bedeutung beschreibt Bill BRYSON (2003), nämlich die Verschmutzung des Planeten durch Bleibenzin bis weit in die 1980er Jahre. Entdeckt hat das Phänomen Clair Patterson, jener Wissenschaftler, dem es als erstem gelang, das Alter der Erde aus dem Verhältnis der Bleisotope in Gesteinen zu ermitteln. Eher zufällig fiel ihm auf, dass die Konzentration auf der Erdoberfläche etwa 1000-fach über jener im Erdinneren lag, und er fand auch die Erklärung dazu: Die Verbrennung von verbleitem Benzin. Sein jahrzehntelanger Kampf gegen Bleibenzin brachte ihm die Feindschaft der gesamten Erdöllobby. Heute versucht man, durch «Früherkennung» bereits stattgefundenen Veränderungen innert «nützlicher» Frist zu erkennen. Immer bedeutender wird auch die «Nachhersage» (PFISTER 1995), die Ermittlung historischer Zustände, die nicht mehr direkt mess- oder beobachtbar sind. Damit wird versucht, die Zeitspanne dokumentierter Veränderungen «nach hinten» zu erweitern. In seltenen Fällen, z.B. in der Klimaforschung, gelingt es, durch chemische oder physikalische Messungen in Sedimenten, Eis oder alten Hölzern entsprechende Umweltveränderungen nachzuweisen. Ein Beispiel für eine historische Quelle ist das Mooringinventar der Schweiz von FRÜH und SCHRÖTER (1904), dem sogar eine Karte mit den damals bekannten Torfvorkommen beiliegt. Die Karte belegt eindrücklich, wie alle wirklich grossen Torfvorkommen im darauf folgenden Jahrhundert verschwunden sind. «Nachhersagen» sind auch das Retrospektive Landesforstinventar (BRÄNDLI 2000), das aufzeigt, wie die Waldfläche der Schweiz und damit wohl auch der Holzvorrat über fast 200 Jahre ständig zugenommen haben, oder aber der soeben erschienene Historische Brutvogelatlas der Schweiz (KNAUS *et al.* 2011), der den heutigen Verbreitungsatlas der Vögel mit historischen Aufzeichnungen ergänzt.

### **Monitoring staatlicher Umweltpolitik**

Staaten hatten zu allen Zeiten ein Interesse am Umweltmonitoring. Heute ist diese Verantwortung in Verfassungen und Gesetzen festgeschrieben. Die Nachfrage nach Monitoring ist eine lo-

gische Folge der Entwicklung der Gesellschaft und der politischen Systeme zu höherer Komplexität. Relativ neu ist die Idee der Überwachung der Biodiversität, was auch Teil der nationalen Biodiversitätsstrategie ist, zu denen sich die Teilnehmerstaaten der Konferenz von Rio 1992 verpflichtet haben. Zum Zeitpunkt der Drucklegung dieses Artikels ist die Schweizerische Biodiversitätsstrategie in der Vernehmlassung (<http://www.news.admin.ch/NSBSubscriber/message/attachments/24254.pdf>). Aus vermeintlichen Effizienzgründen wird Umweltmonitoring öfters mit dem administrativen Controlling vermischt. Das Controlling staatlicher Massnahmen fragt, ob der Einsatz finanzieller Mittel in der Natur Wirkung in Form sichtbarer Signale hinterlässt. Wie unten gezeigt wird, liegt es allerdings in der Natur der Sache, dass Umweltveränderungen auf Grund von Messungen nicht einer bestimmten Geldquelle zugeordnet werden können, auch wenn dies politisch wünschbar wäre. Die einfache Wirkungskette eines Driving Force – Pressure – State – Impact – Response Frameworks ist ein theoretisches Konstrukt, das in realen Systemen so nicht nachgewiesen werden kann.

Der Bericht «Veränderung der Moore der Schweiz» (KLAUS 2007) beleuchtet den Sachverhalt treffend. Darin wird festgestellt, dass die Moore in nur zehn Jahren nährstoffreicher und trockener wurden. Heisst das nun, dass der Bund zu wenig Geld oder das Geld nicht optimal eingesetzt hat? Oder sind die Veränderungen, wie im Bericht postuliert, eine Folge der in der Vergangenheit durchgeführten Eingriffe in die Moore? Wirken die staatlichen Massnahmen nur mit zeitlicher Verzögerung? Können sie die gewünschte Wirkung überhaupt zeigen, wenn das Klima wärmer wird? Die meisten dieser Fragen kann ein Monitoring nicht direkt beantworten. Der Bericht von KLAUS (2007) besagt richtigerweise nur, dass die Moore nicht so geblieben sind wie sie einst waren und in welcher Richtung sie sich momentan entwickeln. Er geht hingegen auf die aktuell wichtige Frage ein, was man heute und mit dem jetzt verfügbaren Wissen unternehmen soll, um den Zustand der Moore zu verbessern. Die Messungen im Feld allein geben diese Antwort nicht, nur der Vergleich alter mit neuen Zuständen verbunden mit Kenntnis der Ökosystemprozesse und möglicher technischer Massnahmen liefert eine Antwort in Form einer Expertenempfehlung.

## Fussangeln ohne Ende

Projekte zur Überwachung der biologischen Umwelt sind nicht immer eine Erfolgsgeschichte. Die meisten stolpern früher oder später über Hürden wie menschlichen Schwächen, gesellschaftlichen Unwägbarkeiten, technischen Einschränkungen, mangelnder Vernetzung mit anderen Datenquellen und vor allem möglichen Denkfehlern.

### Fehlendes dynamisches Zielsystem

Die Daten, die ein Monitoring liefert, bedürfen der Interpretation und der Bewertung. Ist das beobachtete System im gewünschten Zustand oder hat es sich «falsch» entwickelt? Im Bereich des Arten- und Biotopschutzes schreibt der Gesetzgeber meist vor, dass der Zustand «zu erhalten» sei. Das kann zum Ziel verleiten, Konstanz bei Pflanzen- und Tierpopulationen und Unveränderlichkeit bei den Biotopen zu fordern. Zwangsläufig wird ein solches Ziel mit hoher Wahrscheinlichkeit verfehlt. Gemessen werden sollten die Monitoringergebnisse am Zustand, der sich auf Grund des verfügbaren Wissens am wahrscheinlichsten einstellt. Das setzt eine Modellvorstellung und Modellentwicklung voraus. Im wohl am besten ausgebauten weltweiten Monitoringssystem, dem Wettermonitoring, ist diese Praxis längst anerkannter Standard.

### Die Vieldeutigkeit der Signale

Nehmen wir als Denkmodell ein Feuchtgebiet, das als Schutzgebiet fest abgegrenzt ist und das in Bezug auf drei häufige Pflanzengruppen beobachtet

wird: Schilf, Seggen und Moose (Abb. 2). Ein klassisches Monitoring wird diese Anteile in regelmässigen Zeitabständen erfassen. Doch wie entsteht der neue Zustand aus dem vorhergehenden? Um diesen Prozess modellhaft abzubilden, müssten nebst den drei Elementen neun Raten erfasst werden, nämlich alle möglichen Übergänge zwischen den drei Pflanzengruppen. Verdrängen die Seggen die Moose? Oder ermöglichen sie das Einwachsen von Schilf, das dann seinerseits die Moose verdrängt? Überlegungen auf dieser einfachen Ebene kann man als Markovketten darstellen (Abb. 2). Bei diesen werden die Übergangsprozesse immer wieder auf dasselbe System angewandt und es resultiert am Ende ein Gleichgewichtszustand. Die Übergangsraten stellt man in Übergangsmatrizen dar. Normale Monitoringprogramme können die Übergänge aus den verfügbaren Zuständen nicht eindeutig ableiten und man kann auf mathematischem Wege zeigen, dass ein bestimmter Zustand durch unterschiedliche Übergangsmatrizen zustande kommen kann.

Komplizierte Systeme mit Markovketten darzustellen wäre ein attraktives Ziel. Immerhin ist zu vermerken, dass dies möglich ist, wenn eine Auswertung nur auf der Ebene von Vegetationstypen erfolgt. Leider ist die Zuordnung von Artenlisten zu Vegetationseinheiten eine vage Angelegenheit, was der Methode Grenzen setzt.

### Unscharfe Signale

Alle Messungen sind aus unterschiedlichsten Gründen mit Schwankungen

→ Verluste ↓ Gewinne	Zunahme von <b>Schilf (a)</b> auf Kosten von (Schilf, Seggen, Moosen)	Zunahme von <b>Seggen (b)</b> auf Kosten von (Schilf, Seggen, Moosen)	Zunahme von <b>Moosen (c)</b> auf Kosten von (Schilf, Seggen, Moosen)
Abnahme von <b>Schilf (a)</b> zu Gunsten von (Schilf, Seggen, Moosen)	<b>a → a</b>	<b>a → b</b>	<b>a → c</b>
Abnahme von <b>Seggen (b)</b> zu Gunsten von (Schilf, Seggen, Moosen)	<b>b → a</b>	<b>b → b</b>	<b>b → c</b>
Abnahme von <b>Moosen (c)</b> zu Gunsten von (Schilf, Seggen, Moosen)	<b>c → a</b>	<b>c → b</b>	<b>c → c</b>

Abb. 2. Um alle Übergänge in einem System mit drei Elementen darzustellen, müssen neun Übergangsraten bestimmt werden, die zusammen die Übergangsmatrix einer Markovkette bilden.

Fig. 2. Nine transition rates are needed to describe processes in a system with three elements, forming the transition matrix of a Markov chain.

verbunden. Ein Beispiel sehr grosser zeitlicher Variation liefert das Monitoring von Pilzpopulationen. EGLI *et al.* (2006) haben die Anzahl der im Pilzreservat Chanéaz gefundenen Arten von 1977 bis 2003 dargestellt (Abb. 3). Dabei beobachtet man über wenige Jahre hinweg klare Trends, z.B. von 1979 bis 1989 eine Abnahme der Artenzahl. Hätte man 1989 das Projekt beendet, wäre man zu einem ganz falschen Schluss gekommen, denn nach 1989 erfolgte wieder ein markanter Anstieg. Die bis 1989 festgestellten Schwankungen erwiesen sich ebenso als temporär, denn von 1992 bis 2002 blieben sowohl die Artenzahlen als auch die Anzahl der Fruchtkörper fast konstant. Die Autoren folgern, dass nur sehr langfristige Untersuchungen es überhaupt ermöglichen, Veränderungsmuster zu erkennen.

#### Verändertes Systemverhalten

Bei Monitoringprogrammen geht man normalerweise davon aus, dass man das Systemverhalten kennt. Das trifft auf Systeme zu, deren Verhalten sich mit einer linearen Markovkette abbilden lässt (Abb. 2). Das gilt sogar für den am Schluss eintretenden Gleichgewichtszustand, bei dem die gleichen Prozesse noch den Zustand aufrecht erhalten.

Von verändertem Systemverhalten spricht man, wenn die Spielregeln ändern, z.B. wenn eine bislang konkurrenzkräftige Art konkurrenzschwach wird. Dahinter stehen oft Ursachen, von denen man zu Beginn des Projektes nichts wusste und die sich auch nicht voraussagen liessen. Ein Beispiel liefert das Dauerflächenprogramm im Schweizerischen Nationalpark, das im Jahre 1917 von J. Braun-Blanquet begonnen, ab 1941 von B. Stüssi und ab 1992 von einer Gruppe an der WSL weitergeführt wurde. Der ursprüngliche Zweck des Beobachtungsprogrammes war, die Wiederbewaldung ehemaliger Weiden nach dem Wegfall der Beweidung durch das Vieh zu dokumentieren. Bereits zu Beginn der Untersuchungen wanderten die ersten Rothirsche in den Nationalpark ein. Nach HALLER (2002) lebten im Nationalpark kurz vor 1940 etwa 250, um 1960 fast 1000 und um 1980 gegen 2500 Hirsche. Tatsächlich konnten in vielen Flächen ab 1940 markante Vegetationsveränderungen festgestellt werden, wie das Beispiel der Fläche Ac9 zeigt (Abb. 4). Die Ansiedelung des Rothirsches hat nicht nur die Interpretation der Daten, sondern auch die Zielsetzung des gesamten Projektes verändert.

#### Änderungen in der Zielsetzung

So wie sich die Umwelt laufend verändert, so tun es auch die Gesellschaft, die Politik und die Wissenschaft. Der Gedanke, dass sich das Ziel schon bald ändern könnte, wird meist verdrängt, denn das könnte den Wert der Untersuchung in Frage stellen. Ein Beispiel wie die wissenschaftliche und politische Veränderung auf Ziele einwirkt, ist das Landesforstinventar (LFI). Die erste Erhebung, 1983 bis 1985, war nach «inventurstatistischen» Grundsätzen konsequent auf die Erfassung des Holzvolumens optimiert – man wollte wissen,

wie viel Holz geerntet werden kann und wie viel durch Zuwachs neu entsteht. Doch mit dem Klimawandel interessierte plötzlich die Leistung des Waldes als Kohlenstoffspeicher. Heute wird das Holzvolumen über Nahrungsformeln in Kohlenstoffmenge umgerechnet. Eine zusätzliche Herausforderung ist die Kohlenstoffspeicherung im Boden, die so leicht nicht zu erfassen ist. Im vierten Durchgang hat das Landesforstinventar auf eine weitere Forderung reagiert: Statt einem zehnjährigen Messintervall werden jetzt jährliche Aufnahmen durchgeführt mit der Mög-

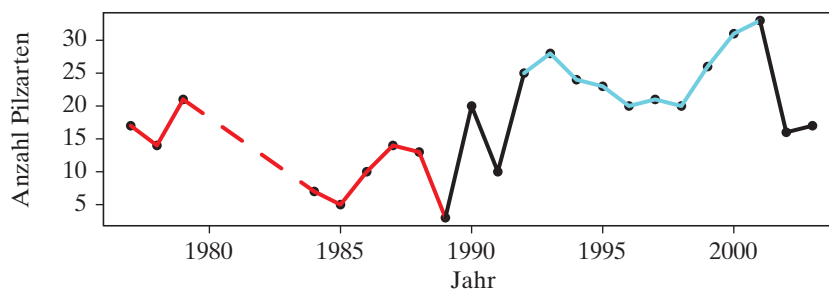


Abb. 3. Zahl der gefundenen Pilzarten in Kontrollflächen im Pilzreservat Chanéaz. Wäre das Monitoring 1989 abgebrochen worden, hätte man den Trend als Rückgang interpretiert (roter Teil der Kurve). Von 1992 bis 2000 waren die beobachteten Artenzahlen jedoch eher stabil (hellblauer Teil der Kurve). Verändert nach EGLI *et al.* (2006).  
Fig. 3. Number of mushroom species found in reference plots. Terminating the project in 1989 would have led to the conclusion that the number of species was decreasing (red part of curve). However, from 1992 until 2000 species numbers were rather stable (light blue part of curve). Adapted from EGLI *et al.* (2006).

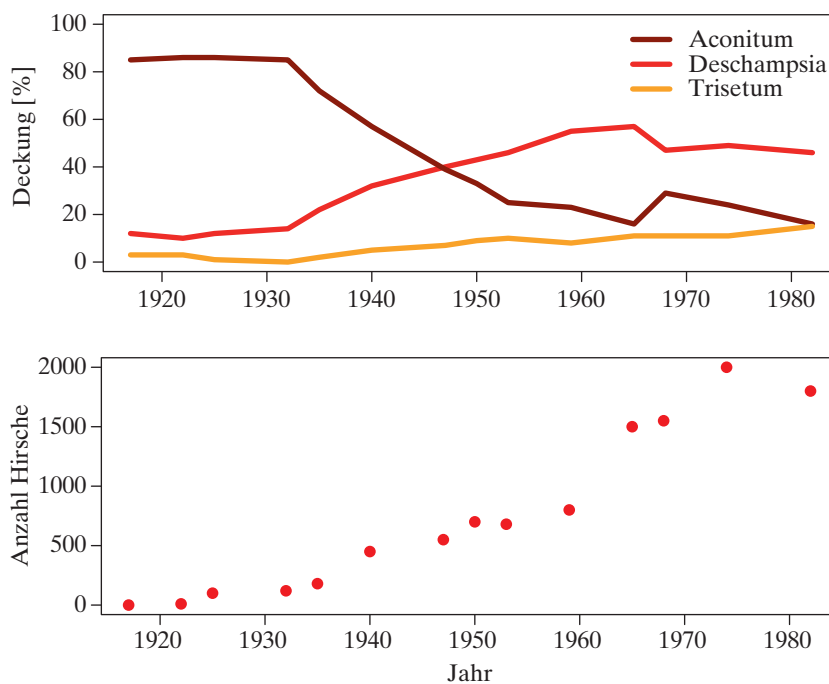


Abb. 4. Entwicklung dreier Artengruppen (benannt nach dominanten Arten) in der Dauerfläche Ac9 des Schweizerischen Nationalparks (oben). Entwicklung der Hirschpopulation im selben Zeitraum (unten, verändert nach HALLER [2002]).  
Fig. 4. Change of three species groups (named according to dominant species) in permanent plot Ac9 of the Swiss National Park (upper graph). Growth of red deer population within the same time period (lower graph, adapted from HALLER [2002]).

lichkeit einer – wenn auch weniger präzisen – jährlichen Interpretation.

Änderungen in der Zielsetzung stellen sich früher oder später fast unvermeidlich ein. Die Frage ist, wie Projekte darauf reagieren sollen. Oft erfolgt eine Anpassung des Stichprobenplanes, die in der Planung kaum vorgesehen war. Aus statistischer Sicht wird empfohlen, die Stichprobenpläne so weit als möglich von Vorgaben freizuhalten. Das ist beim Landesforstinventar der Fall, das sich, verbunden mit dem entsprechenden Aufwand, strikte an ein quadratisches Punktenetz hält.

### *Methodische Änderungen*

Für die Analyse sind methodische und auch technologische Änderungen ein gravierendes Problem. Will man Messungen über einen langen Zeitraum miteinander vergleichen, dann sollten sie auf demselben Instrumentarium beruhen. In vielen Monitoringprojekten verwendet man Fernerkundungsdaten. Deren Qualität hat sich seit dem Beginn der Fernerkundung laufend verändert und das nicht immer nur in Richtung höherer Qualität. Insbesondere die ersten Satellitenbilder verfügten über eine sehr viel kleinere räumliche Auflösung als traditionelle Aufnahmen aus Flugzeugen. Es ist eine Aufgabe für die Wissenschaft herauszufinden, wie sich die Informationen verschiedener Datenquellen ohne grossen Informationsverlust vergleichen lassen.

Markante Veränderungen haben die Positionsmessungen im Feld erfahren. So mussten früher alle zu überwachenden Flächen mit Pfosten oder im Boden versenkten Metallkörpern markiert werden. Ungenauigkeiten der Landeskarten und der grosse Aufwand für Einmessungen im Feld erlaubten es in der Regel nicht, die genaue Position zu bestimmen. Das änderte sich mit der Einführung und Verbesserung Geostationärer Positionierungssysteme (GPS). Beim Landesforstinventar wurde die angestrebte Lage der Messflächen auf den Schnittpunkten des schweizerischen Koordinatensystems nur angenähert mit Kompass und Messband ermittelt, was aus statistischer Sicht durchaus genügte. Die neuesten Nachmessungen mit GPS zeigen nun, wie weit die Flächen vom beabsichtigten Zielort entfernt sind. Im Schweizerischen Nationalpark blieben die Markierungen der Dauerquadrate nur deshalb über Jahrzehnte erhalten, weil das für die Pfosten verwendete Lärchenholz sehr widerstandsfähig ist. Neu sind die Flächen ebenfalls mit GPS eingemessen.

### *Statistik und Informatik*

Statistische Methoden und mathematische Modelle werden laufend weiter entwickelt. Daher können Daten immer wieder neu analysiert und interpretiert werden. Heute fordern wissenschaftliche Zeitschriften, dass Projektdaten elektronisch hinterlegt werden, damit sie für eine spätere Überarbeitung oder auch für einen ganz anderen Zweck greifbar bleiben.

Die Informatik hat in den vergangenen Jahrzehnten manchem Langfristprojekt arg mitgespielt. Datenformate, Datenträger und die zugehörige Software änderten so rasch, dass Datenverluste auftraten bevor die notwendige Umwandlung stattfinden konnte. Wie gross diese Verluste sind, ist unbekannt. Rückschauend muss man ernüchert feststellen, dass die sicherste Methode der Datenspeicherung ein Ausdruck auf Papier guter Qualität war.

Segen und Fluch zugleich sind die Datenbanken. Sie helfen mit, die Daten zu organisieren und zu dokumentieren. Die Installation und der Aufbau einer Datenbank sind aber zeitaufwändig und teuer. Wird beispielsweise die verwendete Software nicht mehr weiterentwickelt, muss der gesamte Datenbestand neu organisiert werden.

### *Politische und gesellschaftliche Stabilität*

Ein Monitoring über lange Zeit durchzuführen erfordert viel Durchhaltewillen und Ausdauer, zum Beispiel einer einzelnen Person, die über ihre ganze Berufskarriere hinweg daran festhält, wie dies bei Balthasar Stüssi (Abb. 1) im Nationalpark der Fall war, der Dauerbeobachtungsflächen ab 1941 bis spät in die 1980er Jahre bearbeitet hat. Wo das Monitoring auf einer gesetzlichen Grundlage beruht, z.B. beim Landesforstinventar und beim Moorschutz, ist die Kontinuität an die Gültigkeitsdauer der Gesetze und die Bereitschaft zur Finanzierung gebunden. Wie oben dargelegt, wird der Gesamtaufwand mit zunehmender Dauer der Erhebungen wegen dem ständig wachsenden Datenbestand grösser, was Geldgeber dazu verführen kann, diese aus Geldmangel zu sistieren.

## **Integriertes Biomonitoring – eine Vision**

Wie sieht folglich das ideale Monitoringprojekt aus? Eines, das auch nach Jahren noch gute Dienste leistet, bei markanten Umweltveränderungen wei-

ter funktioniert und Daten liefert, die interpretierbar sind? Auf der Suche nach einem Vorbild stösst man früher oder später auf die Wetterforschung. Natürlich kann man einwenden, dass dieser fast unbegrenzte Mittel zur Verfügung stehen, weil das öffentliche Interesse gross und weltweit ist. Ein Blick hinter die Kulissen, zum Beispiel im Buch «A Vast Machine» von Paul EDWARDS (2010) zeigt aber weitere Fakten, die zum Erfolg der Wettervoraussage geführt haben und die sich auf andere Projekte übertragen liessen.

– Der Aufbau eines weltweiten Messnetzes: Nationale Netze erfassen Veränderungen erst, wenn sie im Messbereich angekommen sind. So tauchen Neophyten nicht aus dem Nichts auf, sondern kommen meist aus Nachbarländern, wo man sie schon früher festgestellt hat.

– Integration der Datenquellen: Nur das Verständnis des ganzen Systems erlaubt eine richtige Interpretation der erhobenen Daten. Ein Monitoringprojekt ist immer darauf angewiesen, auf fremde Quellen zurückzugreifen. Beim Biomonitoring zwingend sind topographische und klimatische Daten, aber auch solche über Landnutzung, den Artenpool und die Artverbreitung. Wie zur Zeit in der Biodiversitätsstrategie gefordert, braucht es Gesamtauswertungen, die verschiedene Überwachungsprogramme miteinander verbinden.

– Kontinuierliche Datenanalyse: Die Zeitreihen werden mit jeder Erhebung länger und sie bedürfen der Anpassung, weil sich etwa die Messgenauigkeit verändert hat. Wie das Monitoring der Pilze zeigt, treten regelmässig neue Phänomene auf, die analysiert und interpretiert werden müssen.

– Laufende Anpassung des Stichprobenkonzeptes und der Messparameter: Primäres Ziel ist es, die Datenreihen zu erhalten und möglichst weit in die Zukunft fortzusetzen. Doch die Erfahrung zeigt, dass neue Fragen auftauchen, die es zu beantworten gilt. So erwägt das Landesforstinventar eine zusätzliche Erhebung der Waldböden, wenn nötig in einem reduzierten Stichprobenetz.

– Laufende Anpassung der Datenanalyse: Die Fortschritte in der Datenanalyse und Statistik sind ungebrochen schnell. Alte Methoden sind daher zu überprüfen, und neue zu testen – allenfalls in separaten Projekten.

– Systemtheoretische Nachführung: Die Theorien, auf denen Monitoringprojekte aufbauen, entwickeln sich

ständig. Beim Biomonitoring betreffen sie zum Beispiel die Mechanismen, die Biodiversität steuern, die Populationsdynamik der Arten, genetische Anpassungen, Interaktionen zwischen Pflanzen und Tieren, usw.

– Referenzmodelle: Die Gesamtheit des Wissens sollte wo möglich in mathematischen Referenzmodellen abgebildet werden. Sie dienen dazu, Beobachtungen zu bewerten und wenn nötig Massnahmen vorzuschlagen. Für den Schweizerischen Nationalpark existiert ein dynamisches Sukzessionsmodell, das Prozesse über mehrere hundert Jahre abbildet (Abb. 5). EDWARDS (2010) ist in seinem Buch provokativ der Meinung, dass wir letztlich alle unsere Erkenntnisse über Wetter und Klima Modellen verdanken.

## Monitoring ist Forschung

Monitoringprojekte sind wegen vieler und rascher Umweltveränderungen für die Gesellschaft, die Politik und die Wissenschaft von grosser Bedeutung. Oft wird übersehen, dass sie wissenschaftlich anspruchsvoll sind und hohe Anforderungen stellen, sowohl an die Akteure als auch an die Auftraggeber, denen sie viel Durchhaltewillen abfordern. Sie sind umso vielversprechender, je breiter sie fachlich abgestützt sind. Schliesslich ist es naheliegend, dass verschiedenste Biomonitoringprojekte miteinander verknüpft werden, sofern das Ziel die Erhaltung intakter Lebensräume ist und nicht nur die Erfüllung einer politischen Programmatik.

## Literatur

- BOORSTIN, D.J., 1985: The discoverers. New York, Vintage Books. 768 S.
- BRÄNDLI, U.-B., 2000: Waldzunahme in der Schweiz – gestern und morgen. Inf. bl. Forsch.bereich Landsch. 45: 1–4.
- BRÄNDLI, U.-B. (Red.) 2010: Schweizerisches Landesforstinventar. Ergebnisse der dritten Erhebung 2004–2006. Birnensdorf, Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL. Bern, Bundesamt für Umwelt, BAFU. 312 S.
- BRYSON, B., 2003: A short history of nearly everything. London, Transworld Publishers. 515 S.

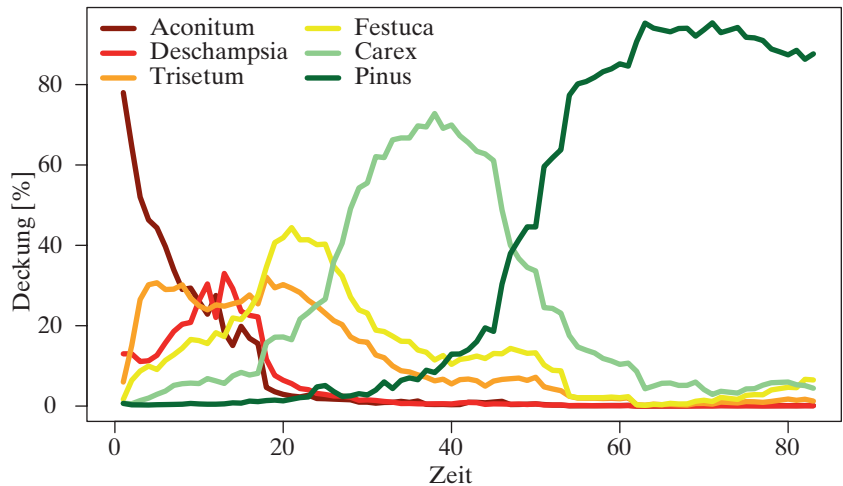


Abb. 5. Dynamisches Modell der Sukzession von Wiesen im Schweizerischen Nationalpark, dargestellt an sechs Artengruppen. Das Zeitintervall beträgt fünf Jahre, womit der abgebildete Zeitraum mehr als 400 Jahre beträgt (verändert nach WILDI und SCHÜTZ 2000). Fig. 5. Dynamic succession model of meadows in the Swiss National Park based on six species groups. Time interval is five years resulting in a time span of more than 400 years (adapted from WILDI and SCHÜTZ 2000).

- DIAMOND, J., 2005: Collapse. How societies choose to fail or succeed. New York, Viking. 575 S.
- EDWARDS, P.N., 2010: A vast machine. Computer models, climate data, and the politics of global warming. Cambridge, MIT Press. 518 S.
- EGLI, S.; PETER, M.; BUSER, C.; STAHEL, W.; AYER, F., 2006: Mushroom picking does not impair future harvests – results of a long-term study in Switzerland. Biol. Conserv. 129: 271–276.
- FAGAN, B., 2000: The little ice age. How climate made history. New York, Basic Books. 246 S.
- FRÜH, J.; SCHRÖTER, C., 1904: Die Moore der Schweiz mit Berücksichtigung der gesamten Moorfrage. Beitr. Geol. Schweiz. Geotechn. Ser. 3: 1–751.
- HALLER, H., 2002: Der Rothirsch im Schweizerischen Nationalpark und dessen Umgebung. Natl.park-Forsch. Schweiz 91:1–144.
- KLAUS, G. (Red.) 2007: Zustand und Entwicklung der Moore der Schweiz. Ergebnisse der Erfolgskontrolle Moorschutz. Bern, Bundesamt für Umwelt. 97 S.
- KNAUS, P.; GRAF, R.; GUÉLAT, J.; KELLER, V.; SCHMID, H.; ZBINDEN, N., 2011: Historischer Brutvogelatlas. Die Verbreitung der Schweizer Brutvögel seit 1950. Sempach, Schweizerische Vogelwarte. 336 S.
- PFISTER, C., 1999: Wetternachhersage – 500 Jahre Klimavariationen und Naturkatastrophen. Bern, Haupt. 304 S.

- WILDI, O.; SCHÜTZ, M., 2000: Reconstruction of a long-term recovery process from pasture to forest. Community Ecol. 1: 25–32.

## Publikation

- SCHWICK, C.; JAEGER, J.; KIENAST, F., 2011: Zersiedelung messen und vermeiden Merkblatt für die Praxis 47: 12 S. Auch in französisch erhältlich.

## Veranstaltungen

### Internationale Konferenz Landschaft und Gesundheit

Am 24. und 25. Januar 2012 findet an der WSL die 2. Internationale Konferenz Landschaft und Gesundheit: Wirkungen, Potentiale und Strategien statt.

Anmeldeschluss für die Teilnahme an der Konferenz ist der 15. Dezember 2011.

Weitere Informationen sind auf [www.wsl.ch/landscapeandhealth](http://www.wsl.ch/landscapeandhealth) zu finden.

## Impressum

### Redaktion:

- PD Dr. Matthias Bürgi [matthias.buergi@wsl.ch](mailto:matthias.buergi@wsl.ch)  
 Prof. Dr. Rolf Holderegger [rolf.holderegger@wsl.ch](mailto:rolf.holderegger@wsl.ch)  
 Peter Longatti [peter.longatti@wsl.ch](mailto:peter.longatti@wsl.ch)  
 PD Dr. Otto Wildi [otto.wildi@wsl.ch](mailto:otto.wildi@wsl.ch)

