

**Zeitschrift:** Geomatik Schweiz : Geoinformation und Landmanagement =  
Géomatique Suisse : géoinformation et gestion du territoire =  
Geomatica Svizzera : geoinformazione e gestione del territorio

**Herausgeber:** geosuisse : Schweizerischer Verband für Geomatik und  
Landmanagement

**Band:** 103 (2005)

**Heft:** 4

**Artikel:** Langfristiges Systemmonitoring : wissenschaftliche, technische und  
organisatorische Herausforderungen

**Autor:** Lanz, A. / Ginzler, C.

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-236227>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 08.02.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Langfristiges Systemmonitoring

## Wissenschaftliche, technische und organisatorische Herausforderungen

Die Veränderung eines komplexen Umweltsystems über längere Zeit zu verfolgen, ist eine der grossen Herausforderungen im Zeitalter des Global Change. Am Beispiel des Landesforstinventars (LFI) und der Landschaftsinventur wird gezeigt, warum die zuverlässige Messung immer gleich bleibender Merkmale nicht genügt. Die zu beherrschenden Schwierigkeiten entstammen drei Problemkreisen: Die Messinstrumente und Datenquellen ändern sich, die Ansprüche der Gesellschaft an das Monitoring wechseln und das Systemwissen nimmt zu.

*Suivre durant une longue période es modifications d'un système environnemental complexe représente un des principaux enjeux à l'époque du changement climatique. En nous appuyant sur l'Inventaire forestier national (IFN) et l'Inventaire du paysage, nous expliquons ci pourquoi les mesures fiables de critères immuables sont insuffisantes aujourd'hui. Les difficultés à surmonter s'articulent autour de trois aspects: les instruments de mesure et es sources de données changent, les attentes de la société envers le monitoring varient au fil du temps et la connaissance du système s'élargit.*

Seguire, a lungo termine, i cambiamenti di un complesso sistema ambientale rappresenta una delle principali sfide nell'era del cambiamento climatico. Partendo dall'esempio dell'Inventario forestale nazionale (IFN) e dall'Inventario del paesaggio, si illustra perché non sia sufficiente misurare in modo affidabile dei criteri sempre uguali. Le difficoltà da superare sono riconducibili a tre problematiche: il cambiamento degli strumenti di misura e delle fonti di dati, la variazione delle esigenze della società nei confronti del monitoraggio e l'espansione delle conoscenze del sistema.

A. Lanz, Ch. Ginzler

Wie jedes langfristige Monitoring-Programm soll das Landesforstinventar (LFI) über lange Zeiträume vergleichbare Daten liefern. Dies bedeutet aber keineswegs, dass sich die dabei angewandten Verfahren nicht ändern. Gerade weil das Programm langfristig ist, führen technische Weiterentwicklungen und insbesondere auch veränderte Nutzerbedürfnisse immer wieder zu bedeutenden Neuerungen und Methoden-Anpassungen. Die Zahl und Qualität der verfügbaren Raumdaten steigt kontinuierlich, und die Integration dieser Datenquellen in die Analyse ist zwingend und forschungintensiv. Schliesslich führen Systemsimulation und Systemmodellierung zu einem immer grösseren Wissen über das System und

dessen Steuerungsmöglichkeiten und führen wiederum zu einem immer effizienteren Systemmonitoring.

### Monitoring der Datenquellen?

Bei langfristigen Monitoringprogrammen ändern durch technische Neuerungen die Datenquellen. Im LFI manifestiert sich dies am Deutlichsten bei den Luftbildern. Die stereoskopische Betrachtung von Luftbildpaaren führt im LFI unter anderem zum Entscheid, ob ein gegebener Stichprobenpunkt innerhalb oder ausserhalb des Waldareals liegt und ist demzufolge eine wichtige Grundlage für die Schätzung des Waldflächenanteils und der Waldfläche. Im Luftbild wird auch festgelegt, welche Proben von Feldequipen be-

sucht werden müssen, was die Kosten der terrestrischen Inventur wesentlich reduziert.

Die Bilder werden vom Bundesamt für Landestopografie kostengünstig zur Verfügung gestellt. Früher wurde die Schweiz im Sechs-Jahres-Rhythmus befliegen und die analogen Bilder wurden als Schwarzweiss-Film geliefert. Mittlerweile wurde der Schwarzweiss-Film durch den Farbfilm abgelöst, die Luftbilder werden gescannt und digital weiterverarbeitet. Dank der digitalen Verarbeitung können einerseits Synergien mit den Bundesämtern für Landestopografie und Statistik genutzt und andererseits die Arbeitsabläufe weitgehend automatisiert und wesentlich effizienter gemacht werden. Der Anteil der eigentlichen Interpretation der Bilder an der Gesamtzeit ist gegenüber den bisherigen Inventuren deutlich gestiegen. Dies war die Voraussetzung für zusätzliche Erhebungen im Nichtwaldareal und somit für einen wichtigen Schritt auf dem Weg zur Landschaftsinventur (Abb. 1).

Die Luftbild-Datenquellen werden sich bereits in diesem Jahr wieder ändern; geplant ist eine Befliegung der Schweiz mit einer Digitalkamera im Drei-Jahres-Rhythmus. Die Kamera wird mehr Spektren abbilden (darunter den für Vegetationserhebungen interessanten nahen Infrarot-Bereich) und diese Spektren höher auflösen. Und die nächste Generation von Fernerkundungsdaten für das LFI und die Landschaftsinventur in Form von Laser-scan-Daten und Satellitendaten in immer höherer räumlicher und zeitlicher Auflösung ist bereits absehbar.

Das LFI hat für seine Zwecke eine Walddefinition geschaffen. Im Gelände (terrestrisch) ist es damit möglich, für jeden beliebigen Koordinatenpunkt der Schweiz zweifelsfrei festzustellen, ob dieser innerhalb oder ausserhalb des Waldareals liegt. Die Walddefinition wurde so gewählt, dass es mit dem dazumal zur Verfügung stehenden Luftbildmaterial möglich war, für einen gegebenen Koordinatenpunkt mit grosser Wahrscheinlichkeit zu demselben Wald- oder eben Nichtwaldentscheid zu kommen wie im



Gelände. Diese ursprüngliche Walddefinition gilt auch heute noch. Veränderungen der Waldfläche werden im LFI immer im Bezug auf diese Referenz angegeben. Dies gilt für retrospektive Waldflächenerhebungen auf alten Karten ebenso wie für die flächendeckende Interpretation von Satelliten- oder Laserscan-Daten. Die Datenquellen werden nicht besser oder schlechter, sondern sie ändern ihren Inhalt qualitativ und quantitativ. Sie mögen in Zukunft kostengünstiger und mit einer grösseren Auflösung erhältlich und interpretierbar sein, aber für das Systemmonitoring werden sie erst nutzbar, wenn sie ins Referenzsystem eingepasst werden können.

Es ist Aufgabe der Forschung und Wissenschaft, laufend neue und effizientere Datenquellen, aber auch Referenzsysteme zu erschliessen. Im Falle der Walddefinition des LFI interessieren etwa die Fragen, ob die FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) Walddefinition aus den Datenquellen des LFI abgeleitet werden kann und können Waldkarten, die mittels digitaler Datenquellen automatisch und flächendeckend generiert werden, mit dem Referenzsystem des LFI in Übereinstimmung gebracht und für das LFI genutzt werden.

## Holz, Kohlenstoff oder Biodiversität?

Die Ansprüche der Gesellschaft an das LFI wachsen. Bei der Planung in den 60er und 70er Jahren standen die Erfassung der Holzproduktionsleistung des Schweizer Waldes und deren Nachhaltigkeit (Altersaufbau) im Vordergrund. Wichtige Merkmale waren Holzvorrat und Zuwachs, deren Anteile nach Baumarten sowie die zu erwartenden Sortimenten. Diese Kennzahlen zum Schweizer Wald sind auch heute von grosser Bedeutung. Gleichzeitig sind sie auch eine wichtige Grundlage für die nationale Berichterstattung im Rahmen des Kyoto-Prozesses und der Massnahmen, die in Folge der weltweit beobachteten Klimaerwärmung auf regionaler und internationaler Ebene eingeleitet

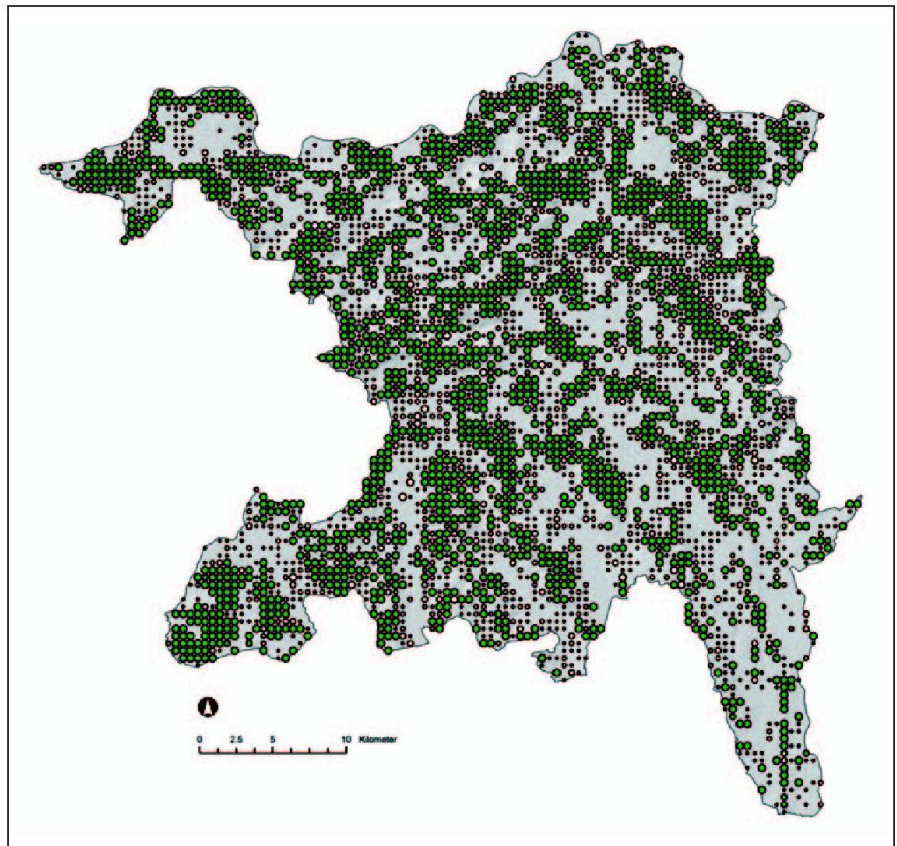


Abb. 1: Darstellung der Bestockung im 500 m x 500 m Raster im Kanton Aargau. Grüne Kreise: Waldprobe (Walddefinition LFI). Weisse Kreise: Nichtwaldprobe (Walddefinition LFI).

Die Grösse der Kreise entspricht dem Deckungsgrad der Bestockung. An jedem Stichprobenpunkt wird die Bodenbedeckung an 25 systematisch verteilten Rasterpunkten innerhalb der Interpretationsfläche von 50 m x 50 m (0,25 ha) bestimmt. Der Deckungsgrad ist der prozentuale Anteil dieser Rasterpunkte innerhalb der Interpretationsfläche, die auf einen Baum oder Gehölz fallen. Die kontinuierliche Interpretation der Rasterpunkte erlaubt die Quantifizierung der Bestockung unabhängig von einem a-priori Wald- oder Nichtwald-Entscheid. Für internationale Vergleiche können unterschiedliche Walddefinitionen auf die erhobenen Daten angewendet werden. So finden wir zum Beispiel im Kanton Aargau 17% aller Rasterpunkte, die auf einen Baum oder Gehölz fallen, auf Nichtwaldproben.

wurden ([www.unfccc.int](http://www.unfccc.int)). Im Hinblick auf eine umfassendere Beurteilung der Kohlenstoffvorräte und -flüsse wurden im LFI mehrere Massnahmen getroffen. In der terrestrischen Inventur wird neu mit einer Linienstichprobe das Volumen des im Wald liegenden Totholzes erhoben und die Probeflächen im Gebüschwaldareal werden von den Feldequipen besucht. Im Luftbild werden auf der 50 x 50 Meter grossen Interpretationsfläche des systematischen Luftbild-Stichprobenetztes

(500 x 500 Meter) sämtliche Bestockungen und Einzelbäume im Nichtwald-Areal mit Lage und Dimension (Länge, Breite und Höhe) georeferenziert erfasst. Aus dieser Nichtwald-Stichprobe kann nicht nur das Holzvolumen ausserhalb des Waldes abgeschätzt werden, sondern sie ermöglicht auch die Prognose von Waldflächenveränderungen.

Die erwähnten Änderungen am LFI sind teilweise auch Grundlage für eine umfassendere Analyse der Landschaftsstruktur



und Landschaftsvielfalt. Die Nachfrage nach Information zur Struktur(vielfalt), (Bio)Diversität, Natürlichkeit und Erholungswirkung von Landschaften und Wäldern ist in den letzten Jahren deutlich gestiegen. Auch hier geht es nicht nur um regionale und nationale Schwerpunkte und entsprechende Informationsbedürfnisse der Umweltpolitik (Projektleitung Waldprogramm Schweiz, BHP – Brugger & Partner, 2004), sondern auch um die Bereitstellung geeigneter Indikatoren im Rahmen verschiedener internationaler Prozesse und Vereinbarungen, etwa die Ministerkonferenz zum Schutz der Wälder in Europa (MCPFE, [www.mcpfe.org](http://www.mcpfe.org)) oder die Convention on Biological Diversity (CBD, [www.biodiv.org](http://www.biodiv.org)). Im Hinblick auf diese Zielsetzung werden im laufenden LFI neu auch Pilzvorkommen auf den Probeflächen erfasst und die Artenliste der Gehölzaufnahmen im Wald wurde erweitert.

### Qualitätskontrollen im LFI

Grundlage der Integration neuer Datenquellen und der Anpassung des LFI an sich verändernde gesellschaftliche Informationsbedürfnisse sind das umfassende Qualitätssicherungssystem und die Qualitätskontrollen. Fast 10% der terrestrisch und rund 6% der im Luftbild erhobenen Daten werden zur Kontrolle der Datenqualität ein zweites Mal unabhängig erfasst, und etwa 10% der gesamten Datenerhebungskosten werden für Schulung und Training von Luftbildinterpreten und Feldequipen aufgewendet. Das Stichprobendesign als Ganzes und die einzelnen Messungen und Ansprachen im Wald und im Luftbild werden dabei systematisch auf Präzision, Übereinstimmung, Vollständigkeit, Vergleichbarkeit, Plausibilität, Homogenität und Reproduzierbarkeit überprüft. Ähnliches gilt auch für abgeleitete Merkmale, d.h. für die verwendeten Modelle.

Wie bei der terrestrischen Inventur werden auch im Luftbild über den ganzen Inventurzeitraum verteilt Kontrollaufnahmen gemacht (blind checks). Durch die digitale Verfügbarkeit sämtlicher Luftbilder

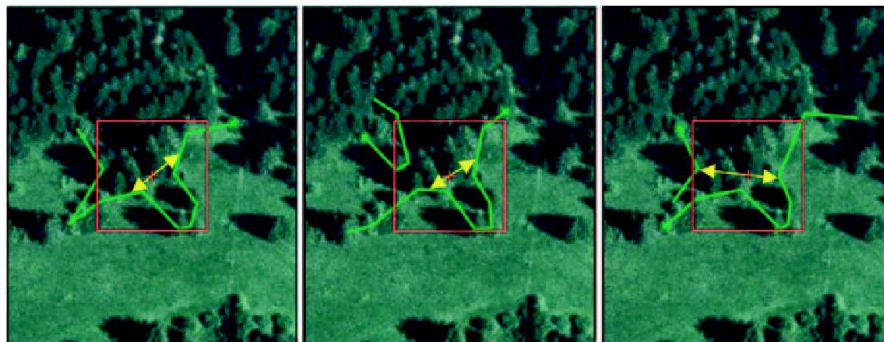


Abb. 2: Luftbildinterpretation.

Bei der laufenden Luftbildinterpretation wurde bei 96% der dreifach interpretierten Flächen (n=1551) der gleiche Wald/Nichtwald-Entscheid getroffen. Von den abweichenden Interpretationen liegen alle nahe bei der Waldbegrenzungslinie oder die berechnete Waldbreite ist knapp bei der geforderten Mindestbreite von 25 m (Pfeile in Abb. 2). Ein Einfluss des Interpretieren auf den Wald/Nichtwald-Entscheid kann mit allen Tests auf dem Signifikanzniveau von 1% deutlich ausgeschlossen werden.

und damit der Möglichkeit einen beliebigen Stichprobenpunkt jederzeit einer Interpretin oder einem Interpreten zuzuordnen, sind die Zuverlässigkeit der Merkmalsansprachen und die Reproduzierbarkeit der Merkmale jederzeit überprüfbar. Der Wald-, resp. Nichtwaldentscheid wurde bisher in 96% solcher Mehrfachentscheide gleich getroffen, und ein signifikanter Unterschied zwischen den Interpretationen kann ausgeschlossen werden (Abb. 2).

Der Nutzen der Qualitätskontrolldaten ist enorm. Sie sind nicht nur unabdingbare Voraussetzung für die Interpretation der Daten, sondern insbesondere auch die Grundlage für die Weiterentwicklung des Monitoringverfahrens.

### Das Systemwissen explodiert

Neue technische Verfahren und sich laufend verändernde gesellschaftliche Anforderungen sind also ein Grund dafür, dass Langzeitmonitoring mehr ist als Datensammeln mit immer gleicher Methode. Der wichtigste Grund liegt aber darin, dass das Systemwissen ständig zunimmt, und dafür sind die Monitoringprogramme selber wesentlich verantwortlich. Für die Datenanalyse stehen immer mehr Raumdaten zur Verfügung, die allerdings erschlossen und integriert werden müssen. Als Beispiel seien nochmals die Datenquellen zur Abschätzung der Waldfläche genannt. Neben den terre-

strischen und Luftbild-Daten aus dem LFI sind Geodaten der swisstopo, Laserscandaten, verschiedenste Satellitendaten, Daten der Arealstatistik und digitale Geländemodelle erhältlich. Thematische Geodaten, etwa zum Boden, zur Vegetation oder zum Klima werden laufend verbessert und zugänglich gemacht. Die Integration solcher Datenquellen in die Analyse ist zwingend und sehr forschungsintensiv. Neben der Aufbereitung und Dokumentation der Daten (Metadaten) geht es dabei vor allem um die Entwicklung geeigneter Algorithmen zur Datenintegration, aber auch insbesondere um Systemsimulation und -modellierung. Je komplexer das Wissen über das Ökosystem wird, desto aufwändiger wird der Umgang mit den Daten. Die ständige Entwicklung der technischen Hilfsmittel zur Erschließung der Daten ist unabdingbarer Bestandteil eines langfristigen Monitoringprogramms.

Voraussetzung für den Erfolg ist der transdisziplinäre, wissenschaftliche Dialog zwischen Systemmonitoring, Datenanalyse und Systemwissen. Eine anspruchsvolle und faszinierende Aufgabe für die Wald- und Landschaftsforschung an der WSL.

dr. sc. tech. Adrian Lanz  
mag. Christian Ginzler  
Eidgenössische Forschungsanstalt für  
Wald, Schnee und Landschaft  
Zürcherstrasse 111  
CH-8903 Birmensdorf  
[adrian.lanz@wsl.ch](mailto:adrian.lanz@wsl.ch)  
[christian.ginzler@wsl.ch](mailto:christian.ginzler@wsl.ch)