

Zeitschrift: Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss forestry journal = Journal forestier suisse
Herausgeber: Schweizerischer Forstverein
Band: 158 (2007)
Heft: 8

Artikel: Präzisions-Forstwirtschaft : was ist das?
Autor: Heinemann, Hans Rudolf
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1097932>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 01.05.2026

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

Präzisions-Forstwirtschaft – was ist das?

Hans Rudolf Heinemann Institut für Terrestrische Ökosysteme, ETH Zürich (CH)*

Precision forestry – what's that?

The term «precision forestry» was first introduced and discussed at a conference in 2001. The aims of this paper are to explore the scientific roots of the precision concept, define «precision forestry», and sketch the challenges that the implementation of this new concept may present to practitioners, educators, and researchers. The term «precision» does not mean accuracy on a small scale, but instead refers to the concurrent coordination and control of processes at spatial scales between 1 m and 100 km. Precision strives for an automatic control of processes. Precision land use differs from precision engineering by the requirements of gathering, storing and managing spatio-temporal variability of site and vegetation parameters. Practitioners will be facing the challenge of designing holistic, standardized business processes that are valid for whole networks of firms, and that follow available standards (e.g., SCOR, WoodX). There is a need to educate and train forestry professionals in the areas of business process re-engineering, computer supported management of business transactions, methods of remote sensing, sensor technology and control theory. Researchers will face the challenge of integrating plant physiology, soil physics and production sciences and solving the supply chain coordination problem (SCCP).

Keywords: Precision land use, precision forestry, control theory, spatio-temporal variability, spatio-temporal scales

doi: 10.3188/szf.2007.0235

*Universitätsstrasse 22, 8092 Zürich, E-Mail hans.heinemann@env.ethz.ch

Der wissenschaftlich-technische Fortschritt führt laufend zum Entstehen neuer Disziplinen. Zu erwähnen wären etwa «Mechatronik», die Mechanik und Elektronik verbindet und auch zur Berufslehre des Mechatronikers geführt hat, oder «Geomatik», das Wissensgebiet der automatisierten Erfassung, Verwaltung und Verarbeitung von räumlichen Daten. Als neue Disziplinen erschienen die Präzisionstechnik (precision engineering) um 1980 (Jones 1979, McKeown 1979) und das Konzept der Präzisions-Landwirtschaft Ende der 1990er-Jahre (Sigrimis et al 1999). Kurz nach der Jahrtausendwende tauchte auch der Begriff der Präzisions-Forstwirtschaft (precision forestry) auf, über dessen Bedeutung sich jedoch noch keine klare Richtung abzeichnet. Die Reife neuer Fachdisziplinen lässt sich mit der Anzahl Fachpublikationen charakterisieren, die in wissenschaftlichen Datenbanken nachgewiesen sind. ISI als wichtigste Datenbank enthält unter dem Stichwort «precision control» über 150 Einträge, während unter «precision agriculture» acht und unter «precision forestry» null Einträge erscheinen. Der vorliegende Beitrag versucht zu klä-

ren, 1) welches die wissenschaftlichen Wurzeln der Präzisions-Landnutzung sind, 2) wie sich die Präzisions-Forstwirtschaft aus heutiger Sicht treffend umschreiben lässt und 3) welche Herausforderungen sie an Praxis, Lehre und Forschung stellt. Der Autor ist bestrebt, die grossen Linien zu skizzieren und stützt sich dabei auf die verfügbare Literatur ab. Er versucht aber auch bewusst, ein konzeptionelles Gerüst aufzubauen, das die Entwicklung, Verfeinerung und Umsetzung der Ideen unterstützen soll.

Wurzeln der Präzisionstechnik

Eine neue wissenschaftliche Disziplin wird dann breit sichtbar, wenn sie spezielle Fachzeitschriften unterhält, die der Verbreitung fachspezifischen Wissens dienen. 1980 erschien die erste Ausgabe der Zeitschrift «Precision Engineering» (Präzisionstechnik), und im Jahr 1999 wurde die Zeitschrift «Precision Agriculture» (Präzisions-Landwirtschaft) lanciert. Dies sind – soweit dem Autor bekannt – die einzigen wissenschaftlichen Fachzeitschriften, die

den Begriff «Präzision» explizit in ihrem Titel erwähnen. An der Universität Washington in Seattle entstand im Rahmen eines Technologieinitiative-Programms (Washington State Advanced Technology Initiative ATI) ein Cluster «Precision Forestry Cooperative», der 2001 das erste internationale Symposium über Präzisions-Forstwirtschaft durchführte.¹ Nachfolgend geht es darum, die Leitideen, die von der Präzisionstechnik ausgingen, entlang des Entwicklungspfad Präzisionstechnik–Präzisions-Landwirtschaft–Regelungstechnik zu skizzieren.

Präzisions-Technik

In der ersten Ausgabe der Zeitschrift «Precision Engineering» umschreibt Jones (1979) Präzisionstechnik wie folgt: «Der wichtigste Faktor ist nicht die geometrische Skala des Produktes, sondern das Verhältnis zwischen der Abmessung des betrachteten Gesamtsystems zur kleinsten Änderung der Position oder der Abmessung einer Komponente, die für den Gebrauch oder Betrieb massgebend ist.» Als Beispiel eines Präzisions-Bauwerkes nennt er eine Steinpyramide von 250 m Länge, die aus Quadern gebaut ist, welche eine Genauigkeit von etwa einem Millimeter aufweisen müssen. Er betont, dass das Präfix «Präzision» nicht dasselbe bedeutet wie «Mikro», das massgenaue Arbeiten auf kleinen Skalen. Präzision hat im Fall des Pyramidenbeispiels vielmehr etwas mit der Fähigkeit zu tun, den Bauprozess derart zu gestalten und zu lenken, dass die Aktivitäten im Kleinen (Bearbeiten einzelner Steinquadern) in Echtzeit fortlaufend auf die Strukturen und Funktionen im Grossen (Pyramide) abgestimmt werden. Anlässlich des ersten Symposiums über Präzisionsforstwirtschaft betonte Farnum (2001) die Bedeutung des Begriffs «Präzision» (precision) und dessen Unterschied zu «Messgenauigkeit» (accuracy). Präzision bedeutet in diesem Sinne «Grad der Feinheit, mit der ein Vorgang ausgeführt wird» und lässt sich mit dem Beispiel eines Kunstflugpiloten umschreiben, der seine Flugfiguren «präzise» fliegt und am Schluss eine «Präzisionslandung» hinlegt. Es geht somit im Idealfall um das perfekte Beherrschen eines Prozesses oder Ablaufes, was «Raffinesse» des Piloten und «Hochleistung» der entsprechenden technischen Systeme bedingt. Demgegenüber bedeutet «Messgenauigkeit» (accuracy) massgenaues Arbeiten auf kleinen Skalen.

Doch was ermöglicht uns nun die Einführung von Präzisions-Prozessen in obigem Sinn? Zu nennen sind:

- die Realisierung automatischer, flexibler Herstellungsprozesse (McKeown 1979),

- die Fähigkeit der Prozesssteuerung durch automatische Messung der Prozessvariablen mit intelligenten Sensoren und Prozessregelung (McKeown 1980),
- die Verbesserung der Qualitätssicherung und
- die Ermöglichung ganz neuer Analysemöglichkeiten wie beispielsweise Laser-Optik oder Laser für Navigationszwecke (McKeown 1980).

Herkömmliche Prozesssteuerung bedingt in vielen Fällen, dass der Mensch mit seinen Wahrnehmungskanälen (sehen, hören, tasten, riechen) die Prozesszustände feststellt und beurteilt (Chrysolouris 1992). Das ultimative Ziel der Präzisionstechnik ist es nun, die Wahrnehmung von Prozesszuständen und die entsprechenden Steuerungsmassnahmen zu automatisieren, wobei das automatische System die menschlichen Fähigkeiten übertreffen muss (Chrysolouris 1992).

Präzisions-Landwirtschaft

Die Landwirtschaft wurde weltweit zunehmend industrialisiert. Eine einzelne landwirtschaftliche Produktionseinheit – ein Feld – hat in der Regel eine Abmessung von hunderten von Metern und wird nach einem einheitlichen Modell bewirtschaftet (Rickman et al 2003), d.h. Bodenvorbereitung, Saat, Dünger und Spritzmittel werden über das gesamte Feld nach einer einheitlichen Vorgabe angewendet. Wir alle sind uns bewusst, dass Boden- und Umwelteigenschaften aber auf sehr kleinen Skalen variieren und dass eine einheitliche Vorgabe lokal eigentlich unangepasst ist. Dies schlägt sich in Kosten und Umweltauswirkungen nieder.

«Präzisions-Landwirtschaft integriert eine Reihe von Technologien, welche die Vorteile der grossflächigen Mechanisierung mit den kleinskaligen räumlichen und zeitlichen Standortunterschieden in Einklang bringen.» (Rickman et al 2003) Diese Zielsetzung lässt sich beispielsweise mit folgender Vision umschreiben: Ein Landwirt fährt mit seinem Traktor entlang von Linien durch ein Feld, auf dem der gesäte Weizen gerade ausgetrieben hat, um Dünger und Herbizide auszubringen. Ein erstes Teilsystem, das Navigationssystem (GPS Global Positioning System), gibt die laufende Position des Traktors an. Ein zweites Teilsystem, das Standortvariablen-Informationssystem, zeigt auf einem Bildschirm die räumliche Verteilung jener Standortfaktoren, welche das Wachstum limitieren, wie beispielsweise Bodenfeuchte, Nährstoffversorgung oder Erosion. Das dritte Teilsystem, das Wachstums-Monitoringsystem, zeigt aufgrund von am Vortag aufgenommenen Satellitendaten, wo auf dem Feld der Weizen wie hoch ist. Das vierte Teilsystem, das Dünger-Herbizidregelsystem, bestimmt für jeden Punkt des Feldes jene auszubringende Dichte von Dünger und Herbiziden, die das erwünschte Wachstum bewirkt. Das fünfte Teilsystem, das Aktuatorensystem, wandelt die Dichteinforma-

¹ First Intern Precision Forestry Cooperative Symposium, 17–20 June, 2001, Seattle

tion in mechanische Öffnungs- und Schliessbewegungen von Ventilen um, welche die Volumenflüsse von Dünger und Herbiziden bestimmen.

Mehrere Autoren befassen sich mit dem Präzisions-Landwirtschafts-Konzept, unter anderen Sigrimis et al 1999, Rickman et al 2003, McBratney et al 2005, Zhang et al 2002. Ihre Ausführungen zeigen, dass sich noch keine einheitliche Sichtweise herausgebildet hat, was das Konzept umfasst. Es gibt zwei treibende Kräfte, zum einen die rasche Entwicklung der Sensortechnologie (McBratney et al 2005, Zhang et al 2002) und zum anderen die Vision, Prozesse der landwirtschaftlichen Produktion unter Berücksichtigung der räumlich-zeitlichen Variabilität von Standorts- und Systemfaktoren präzise steuern und regeln zu können (Sigrimis et al 1999, Rickman et al 2003). Nachfolgend geht es darum, die Prinzipien der Steuerungs- und Regelungstechnik, die das Rückgrat der Präzisions-Landwirtschaft ausmachen, darzulegen.

Flexible, adaptive Regelung von Prozessen

Management-Tätigkeiten umfassen unter anderem das zielkonforme Lenken von Systemen. Es stellt sich die Frage, wie sich diese Lenkung möglichst wirksam gestalten und durchführen lässt. Während Jahrhunderten war das Lenken von Systemen eine Kunst. Noch heute spricht man von «Steuerermannskunst» und meint damit, dass Menschen mit besonderen Fähigkeiten diese Aufgaben überneh-

men. Die Automatisierung von Prozessen ersetzt den Menschen als Steuermann durch künstliche Steuerungs- und Regelungssysteme. Oder anders gesagt: Automatisierung strebt danach, Denkarbeit zu mechanisieren, während Mechanisierung den Ersatz biomechanischer Arbeit durch Maschinenarbeit bedeutet. Automatisierung bedingt, dass es Systeme gibt, welche menschliche Lenkarbeit abbilden und ersetzen können. Das entsprechende Wissensgebiet, die Steuerungs- und Regelungstheorie (Control Theory oder Cybernetics) entstand nach dem 2. Weltkrieg und bestimmt viele Vorgänge des modernen Alltags, ohne dass wir sie bewusst wahrnehmen. Man denke etwa an die Klimaanlage eines Autos, welche die Temperatur automatisch auf einem voreingestellten Niveau hält.

Die Steuerung (open-loop-control) ist die einfachste Möglichkeit, einen Prozess zu beeinflussen. Abbildung 1 zeigt die Komponenten, die dazu nötig sind. Im Zentrum steht ein zu beeinflussender Prozess, der durch gezielte Veränderung des Inputs in eine gewünschte Zielrichtung gelenkt werden soll. Das biologische Wachstum von Bäumen und Beständen ist der zentrale Prozess, den die Forstwirtschaft beeinflusst. Nimmt man an, dass die Lichtmenge (Strahlungsenergie) den Wachstumsprozess bei konstant bleibenden anderen Faktoren bestimmt, so benötigt man 1) einen so genannten Aktor, der die Lichtmenge gezielt verändern kann und 2) eine Gesetzmässigkeit, welche die Dosis-Wirkungsbeziehung zwischen Lichtmenge und Wachstum beschreibt. Solange diese Voraussetzungen gegeben sind, lässt sich der Wachstumsprozess zielgerichtet allein durch die Veränderung der Strahlungsenergie-Menge steuern. Die Praxis lehrt uns, dass diese einfache, mechanistische Sichtweise der Systemsteuerung lediglich beschränkt funktioniert und dies aus verschiedenen Gründen. Zu nennen sind externe Störungen (beispielsweise Temperatur oder Wasserversorgung), stark vereinfachte Beschreibungen der Wechselwirkung zwischen Lichtmenge und Wachstum und die Unfähigkeit, die Strahlungsenergie-Menge «präzise» zu dosieren. Das Steuerungsprinzip lässt sich plakativ als «Gewehrschuss-Prinzip» darstellen, das annimmt, dass das Ziel bei korrekter technischer Handhabung immer im Zentrum getroffen wird (Abbildung 1, blaue Komponenten).

Der Prozess des Schiessens mit verschiedensten Waffen war der Ausgangspunkt, um die Schwächen der offenen Steuerung auszumerzen. Er führte nach dem Zweiten Weltkrieg zur Entwicklung von so genannten Regelungssystemen, die nach dem «Raketenflug-Prinzip» funktionieren (Abbildung 1, blaue und braune Komponenten). Diese zeichnen sich dadurch aus, dass sie laufend den effektiven und den gewünschten Systemoutput vergleichen und den entsprechenden Fehler minimieren. Dafür muss ein Sensor vorhanden sein, der den aktuellen Zustand

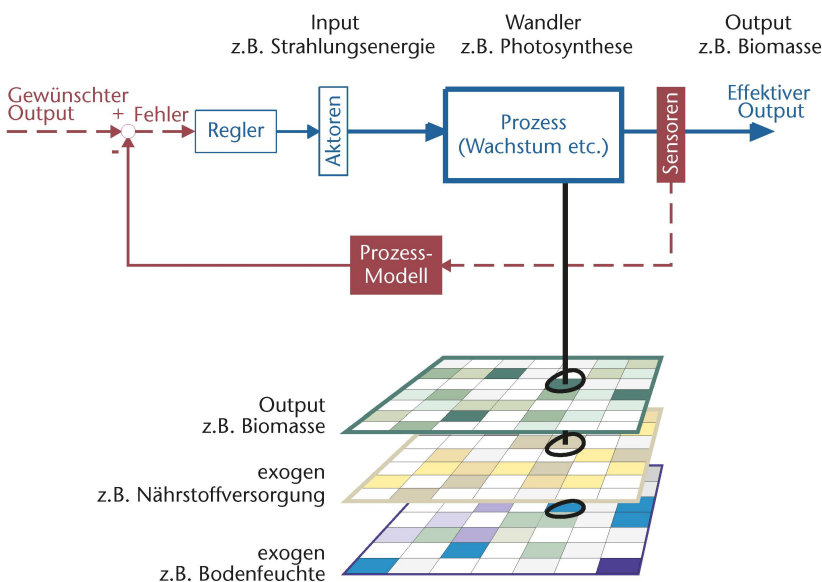


Abb 1 Entwicklung von Regelungskonzepten von der einfachen offenen Steuerung (blaue Komponenten) über die geschlossene Steuerung (blaue und braune Komponenten) zum automatischen Präzisions-Landnutzungssystem (alle Komponenten). Beim automatischen Präzisions-Landnutzungssystem wird die zu nutzende Flächeneinheit in diskrete räumliche Einheiten eingeteilt. Für jede dieser Zellen werden der aktuelle Systemoutput und die Standort- und Störvariablen erfasst. Das Regelsystem generiert für jede Zelle automatisch oder halbautomatisch einen angepassten Systeminput.

des Systemoutputs in kleinen Zeitabständen messen kann. Der Regler ist ein Informationsverarbeitungs-System, das die Information über den in einem gewissen Zeitpunkt vorhandenen Fehler in Regel-Information umwandelt und an einen Akteur weitergibt, der sie in mechanische Bewegungen oder Tätigkeiten umsetzt. Wenn ein Informationssystem die Funktionen des Sensors und des Reglers übernimmt, so führt dies zu einem automatischen System.

Die Kontrollmethode, wie sie Biolley (1920) entwickelte, folgt den Prinzipien der geschlossenen Regelung (Abbildung 1, blaue und braune Komponenten). Dabei misst ein Sensor (Inventur-Equipe) in diskreten Zeitabständen den Output (Vorrat). Der Regler (Forsteinrichter) vergleicht die effektiv erzielte Veränderung (Vorrat, Zuwachs) mit der angestrebten Veränderung des Waldzustandes und leitet daraus Anweisungen ab, die für den Akteur (Waldbauer) für die nächste Zeiteinheit leitend sind. Der Vorteil dieses Systems ist, dass es sich auf der Zeitachse anpassen kann und damit dem Prinzip des adaptiven Managements gerecht wird. Biolley (1920) weist die Sensorenfunktion der wiederkehrenden Vorratsinventur und die Regelungsfunktion der Erarbeitung von Handlungsanweisungen zu («L'aménagement sera l'observateur») und betrachtet die Bestandesbehandlung als Regelungseingriff («Le traitement sera l'expérimentateur»). Bettet man diese Prinzipien in die moderne Steuerungs- und Regelungstechnik ein, so ergeben sich zwei Herausforderungen, die durch Präzisionstechnik zu lösen wären, 1) das Messen des Waldzustandes in sehr kleinen Zeitabständen, beispielsweise jährlich oder während der Vegetationsperiode sogar monatlich, und 2) das automatische Vorschlagen und laufende Anpassen von Handlungsanweisungen, um Bäume, Bestände oder Ökosysteme zielkonform zu lenken.

Präzisions-Forstwirtschaft

Das Konzept der Präzisions-Forstwirtschaft wird erst seit einigen Jahren diskutiert. Die Ansichten, was es umfasst, sind dementsprechend breit. Während die einen darin «Neue Perspektiven für ein klassisches Managementkonzept» sehen (Becker 2001), andere die Entwicklung von Hochtechnologie ins Zentrum stellen (Warkotsch 2006), stellen Einzelne die Frage nach den Problemen, welche wir mit Präzisions-Forstwirtschaft lösen möchten. Farnum (2001) geht in seinen Überlegungen von der Überzeugung aus, dass wissenschafts-basiertes Problemlösen immer mit Unsicherheiten und Zweifeln verbunden ist. Er sieht deshalb die Aufgabe von Präzisions-Forstwirtschaft darin, den Umgang mit Unsicherheiten und Zweifeln, welche beim Management von Waldökosystemen überdurchschnittlich hoch sind, zu verbessern. Die Regelungstechnik (Ab-

bildung 1) bietet das Wissen und die Werkzeuge, um Prozesse auch dann in einem erwünschten Bereich zu halten, wenn externe Störungen einwirken, die zu Grunde liegenden Modelle mit Unsicherheiten behaftet sind oder sogar den realen Prozess nur unvollständig abbilden. Nachfolgend wird deshalb der Versuch unternommen, ein Verständnis von Präzisions-Forstwirtschaft zu entwerfen, welches die Regelung von Prozessen zum zentralen Anliegen macht.

Prozessregelung als zentrales Element

Es wird folgende Definition vorgeschlagen:

«Präzisions-Forstwirtschaft koordiniert und lenkt biophysikalische, technische und administrative Prozesse der forstlichen Produktion mit halbautomatischen oder automatischen Regelungssystemen, um die räumlich-zeitliche Variabilität der zu erzeugenden Güter und Dienstleistungen (Output), der Management-Praktiken (Input) und der Standort- und Störfaktoren (exogene Variablen) auf einem bestimmten Raumskalen-Bereich simultan derart in Einklang zu bringen, dass die biologisch-technische Systemwirksamkeit maximiert und die Beeinträchtigung der Umweltsysteme minimiert werden.»

Mit dieser Definition werden vier Fragen zum was, wozu, wie und womit bei der Lenkung von Produktionssystemen beantwortet:

- Beim «was» geht es darum, biophysikalische, technische und administrative Prozesse, die mit Unsicherheiten behaftet sind, zielgerichtet zu lenken.
- Der Zweck, das «wozu», liegt darin, gleichzeitig eine gewünschte Wirkung bestmöglich zu erzielen und die unerwünschten Nebenwirkungen zu minimieren.
- Die Strategie, das «wie», besteht darin, Input, Output und exogene Standort- und Störvariablen in kurzen Zeitabständen auf kleinstem Raum in Einklang zu bringen und mit Prozessen, die auf grösseren Raumskalen ablaufen, zu koppeln.
- Die Umsetzung, das «womit», geschieht im Idealfall automatisch mit Hilfe der Theorien und Werkzeuge der Steuerungs- und Regelungstechnik.

Das Regelungskonzept (Abbildung 1) muss für Probleme der Landnutzung erweitert werden. Das Hauptproblem ist der Umgang mit der räumlich-zeitlichen Variabilität, das gelöst wird, indem Raum und Zeit als diskrete Einheiten abgebildet werden. Eine solche Zelle sollte die kleinste interessierende Einheit abbilden. Dies entspricht in der Forstwirtschaft dem Standraum eines Baumes von einigen Quadratmetern. Auf jeder dieser Zellen geht es darum, den aktuellen Zustand des Systemoutputs sowie der exogenen Standort- und Störvariablen in kurzen Zeitabständen zu erfassen. Dies ist wegen der grossen Datenmengen nur möglich, wenn dafür automatisierte Prozesse zur Verfügung stehen. Die Umsetzung des Präzisions-Forstwirtschafts-Konzepts bedingt

deshalb Methoden der Fernerkundung (Remote Sensing), verschiedene Arten von Sensoren (optisch oder mechanisch) und Techniken der automatischen räumlichen Referenzierung (GPS). Die Verwaltung dieser Geodaten geschieht zudem mit geographischen Informationssystemen (GIS). Ein solches automatisches Regelsystem bewegt sich in Echtzeit systematisch von Zelle zu Zelle, verarbeitet die verfügbare Information, bestimmt eine Handlungsanweisung, die eine Fehlfunktion minimiert, und übermittelt diese Handlungsanweisung an eine Maschine, welche die entsprechenden Aktivitäten ausführt (Abbildung 1, alle Komponenten).

Zu regelnde Prozesse

Präzisions-Forstwirtschaft stellt zu regelnde Prozesse ins Zentrum des Denkens und Handelns. Die Umsetzung des Konzepts bedingt, dass diese Prozesse klar definiert und gegeneinander abgegrenzt werden. Tabelle 1 listet für die drei Prozessklassen «biophysikalisch», «technisch» und «administrativ» die wichtigsten Teilprozesse auf. Die biologischen Prozesse Wachstum, Konkurrenz, Mortalität und Erneuerung bestimmen die Entwicklung von Waldbeständen; sie sind Gegenstand des traditionellen Waldbaus. Auf einer grösseren Raum-Zeitskala wirken Störungsprozesse (z.B. Stürme, Insektenkalamitäten, Rutschungen) und Ökosystemprozesse (z.B. Kohlenstoff- und Wasserkreislauf, Genfluss). Die betriebstechnischen Prozesse umfassen alle technischen Vorgänge, die zur Pflege, Nutzung und Erneuerung von Waldbeständen nötig sind. Es gehören jedoch auch jene Vorgänge dazu, die zur Beeinflussung der Störungs- und Ökosystemprozesse erbracht werden, beispielsweise die Bekämpfung von Feuer oder von Insektenkalamitäten. Als dritte Kategorie sind schliesslich die administrativen Prozesse zu nennen, insbesondere die Auftragsabwicklung sowie die Konfiguration und Steuerung ganzer Versorgungsnetzwerke (Supply Chains). Die Auflistung in Tabelle 1 ist nicht abschliessend. Eine einheit-

liche, klare Vorstellung, welche Prozesse mit Präzisionstechnik geregelt werden sollten, ist jedoch eine unabdingbare Voraussetzung, um das Konzept der Präzisions-Forstwirtschaft umzusetzen.

Raumskalens-Bereiche

Ein zentrales Anliegen der Präzisionstechnik ist es, Prozesse, die auf verschiedenen Raum-Zeitskalen ablaufen, gleichzeitig zu koordinieren, was mit «Concurrent Engineering» (Simultantechnik) bezeichnet wird. Abbildung 2 ordnet biophysikalische und technische Prozesse der Forstwirtschaft in ein Raum-Zeitskalen-Schema ein. Die biologisch-physikalischen Prozesse umfassen einen Raumskalen-Bereich von etwa 10^{12} . Das Verständnis von Präzisionstechnik geht davon aus, dass gleichzeitig ein Raumskalen-Bereich von 10^4 bis 10^5 betrachtet werden muss (McKeown 1979). Für die Waldbewirtschaftung bedeutet dies, dass gleichzeitig die ganze Skala vom Einzelbaum bis zum Einzugsgebiet zu berücksichtigen ist. Es könnte aber auch bedeuten, gleichzeitig einen Raumskalen-Bereich von der Zellmembran bis zum Einzelbaum zu betrachten. Bei den technisch-administrativen Prozessen beträgt die kleinste Raumskala etwa einen Meter und die grösste etwa hundert Kilometer. Präzisionstechnik stellt den Anspruch, sämtliche administrativ-technischen Prozesse, die innerhalb eines Versorgungsnetzwerks auf diesem Skalenbereich ablaufen, simultan zu koordinieren.

Herausforderungen

Die Präzisions-Forstwirtschaft ist ein Abkömmling der Präzisionstechnik und steht noch in den Kinderschuhen. Mit den vorangehenden Gedanken wurde aufgezeigt, wohin die Reise gehen könnte. Nun sollen einige Herausforderungen skizziert werden, die gelöst werden müssen, um das Konzept der Präzisions-Forstwirtschaft umzusetzen.

Tab 1 Auswahl von mit Präzisionstechnik zu lenkenden Prozessen der Forstwirtschaft

Prozesstyp	betriebliche Ebene	überbetriebliche Ebene
biophysikalisch «precision bio-management»	<ul style="list-style-type: none"> – Wachstum – Konkurrenz – Mortalität – Erneuerung 	<ul style="list-style-type: none"> – atmosphärische Störungen (Stürme, Lawinen, Hochwasser, Trockenheit) – biologische Störungen (Kalamitäten, Verbiss, Einwanderung) – chemische Störungen (Feuer) – geomorphologische Störungen (Erosion, Rutschungen, Steinschlag) – Genfluss
produktionstechnisch «precision operations»	<ul style="list-style-type: none"> – säen, pflanzen – Jungpflanzen von Konkurrenten freistellen – Jungbäume von Konkurrenten freistellen – Bäume ernten 	<ul style="list-style-type: none"> – Feuer bekämpfen – Insektenkalamitäten bekämpfen
administrativ «precision business management»	<ul style="list-style-type: none"> – Auftragsabwicklung 	<ul style="list-style-type: none"> – Supply-Chain-Konfiguration und -Steuerung

Praxis

Das Gestalten ganzheitlicher, standardisierter Geschäftsprozesse, die betriebs- und firmenübergreifend gelten, ist Hausaufgabe Nummer eins, welche die Praxis zu lösen hat (Heinimann 2000). Dabei gilt es unbedingt zu vermeiden, eine «Försterlösung» zu schmieden, da mittlerweile das so genannte SCOR-Modell (Supply Chain Operations Reference; Huan et al 2004, SCOR 2006) bereits breite Anwendung findet. Auch ist zu bedenken, dass viele Versuche, intelligente Produktionssysteme einzuführen, gescheitert sind, da man versucht hatte, Technologien der fünften Generation auf Organisationsformen der zweiten Generation aufzupropfen (Savage 1990). Damit sei unterstrichen, dass man zuerst die Geschäftsabwicklung an die heute üblichen, firmenübergreifenden Standards anpassen muss, bevor Software eingeführt wird. Eine Initiative der Papierindustrie hat mit WoodX beispielsweise einen Standard für Transaktionen in Holzversorgungsnetzwerken entwickelt (Papinet 2004). Eine enge Zusammenarbeit sämtlicher an Holzversorgungsnetzwerken Beteiligter – Waldeigentümer, Holzern- und Transportunternehmen, Holzhandel und die Sägeindustrie – ist dabei unabdingbar. Es wäre wünschenswert, ein gross angelegtes Zusammenarbeitsprojekt in Anlehnung an Papinet zu bilden, um diesen Schritt gemeinsam an die Hand zu nehmen.

Ausbildung

Eine erfolgreiche Umsetzung bedingt auch, dass Fachkräfte aller Stufen über das nötige Wissen verfügen. Das oben skizzierte Kooperationsprojekt sollte deshalb von einem Weiterbildungsprogramm begleitet werden, welches eine Einführung in standardisierte Geschäftsprozesse, in Geschäftsprozess-Reengineering (Heinimann 2000), in informatikgestützte Transaktions-Abwicklung, die Methoden der Fernerkundung und in die Sensortechnik umfasst. Das Denken in industriellen Prozessen macht auch vor der Forstwirtschaft nicht Halt und wird schliesslich die Frage des Überlebens oder Verschwindens mitbestimmen. E-Kommerz ist bereits in vielen Branchen Realität, womit die Forstwirtschaft als «Trend-Folger» vom Lehrgeld anderer profitieren kann.

Forschung

Die Einführung von Präzisions-Landnutzung bringt für die Forschung völlig neue Herausforderungen. Arbeitsgruppen der NASA (Rickman et al 2003) arbeiten daran, Pflanzenphysiologie, Bodenphysik und Produktionswissenschaften zu integrieren. Ihre Vision besteht darin, für jede Zelle (Abbildung 1) die Strahlungsbilanz mit Methoden der Fernerkundung zu quantifizieren und mit dem Prozess der Evapotranspiration und damit der Biochemie zu verbinden. Dahinter steht sozusagen die Idee der «sprechenden Pflanze» (Sigrimis et al 1999), welche mittels Sensoren selber über ihren Zustand Auskunft gibt. An der ETH Zürich ist man im Begriff, ein neues

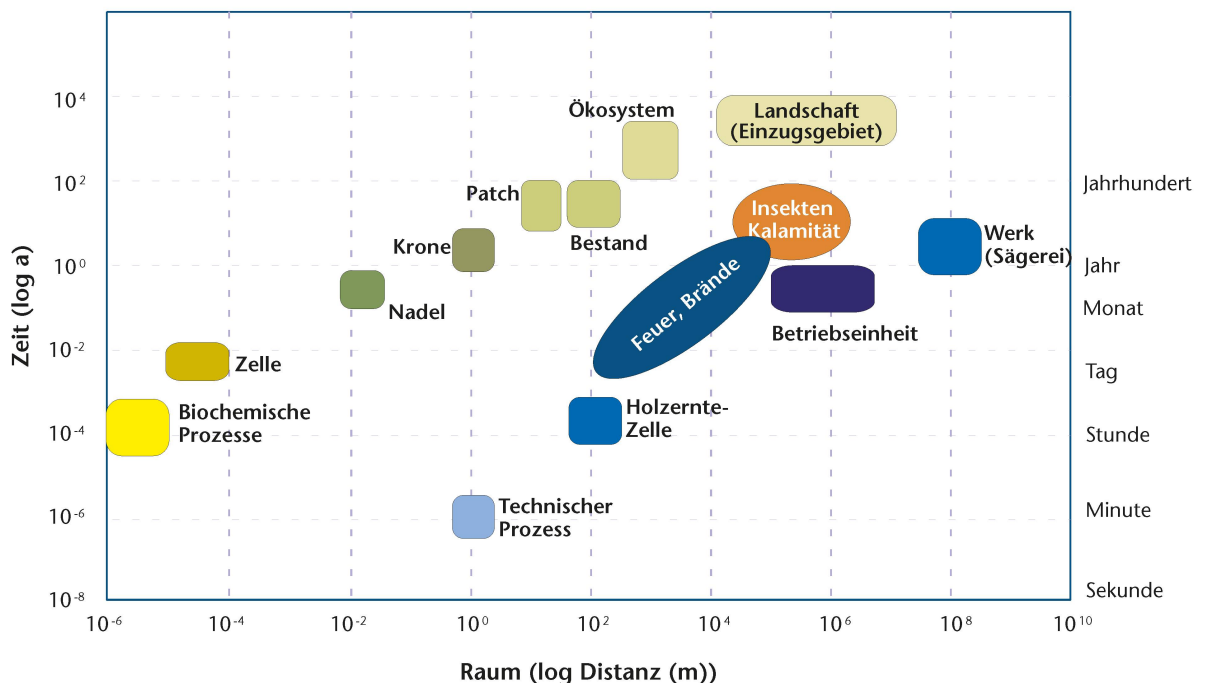


Abb 2 Raum-Zeit-Skalen der biologischen und technisch-administrativen Prozesse der Forstwirtschaft (biologische Prozesse in Anlehnung an Holling 2001, verändert). Präzisions-Management bedeutet das gleichzeitige Integrieren der massgebenden Prozesse auf einem Raumskalen-Bereich von 10^4 bis 10^5 , beispielsweise von der Pflanzenzelle bis zur Bestandeslücke oder vom Ernten eines Einzelbaumes bis zur Verarbeitung in einem Säge- oder Zellulosewerk.

Fachgebiet, die «Physik terrestrischer Systeme», zu entwickeln. Die Möglichkeiten, die sich mit Radarabtastrung (Lidar) bereits heute eröffnen, sind beachtlich (Ackermann 1999, Baltsavias 1999a und 1999b, Evans et al 2006). Unter gewissen Umständen ist es beispielsweise möglich, Parameter eines Einzelbaumes sowie Struktur- und Texturmerkmale eines Bestandes mit hoher Genauigkeit automatisch zu schätzen (Kotchenova et al 2004, Maltamo et al 2004, Monsdorf et al 2004, Zimble et al 2003). Die Sensortechnik zur automatischen Messung verschiedenster Bodenparameter entwickelt sich ebenfalls rasch (Adamchuk et al 2004, Miao et al 2006).

Die Herausforderungen im administrativen Bereich lassen sich mit Versorgungs-Netzwerk-Management (Supply Chain Management) umschreiben (Stadtler 2005). Die Hauptherausforderung besteht darin, über Firmen- und Eigentums Grenzen hinweg derart zu kooperieren, dass alle Beteiligten einen Mehrnutzen haben. Ein Forschungsstrang untersucht Fragen der Kooperation mit so genannten Agenten-Modellen, welche das Verhalten und die Wechselwirkungen verschiedenster ökonomischer Agenten beschreiben (Nagarajan & Sosic 2006). Ein weiterer Forschungsstrang versucht, mit mathematischen Methoden optimale Herstellungs-, Transport- und Verarbeitungsabläufe zu bestimmen (Gunnarsson et al 2004). Beim so genannten Versorgungs-Ketten-Konfigurations-Problem VKKP (Supply Chain Configuration Problem SCCP) geht es darum, die Materialströme so zu lenken, dass die Produktionsflexibilität und der Kundennutzen maximiert werden, während die Kosten für die ganze Versorgungskette minimal ausfallen.

Folgerungen

Der vorliegende Beitrag zeigt, welchen Ursprung die Präzisionstechnik hat, wie sich die Präzisions-Landnutzung aus heutiger Sicht charakterisieren lässt und welche Herausforderungen Praxis, Lehre und Forschung bei der Umsetzung des Präzisions-Forstwirtschaftskonzepts zu meistern haben. Präzision bedeutet nicht «Beherrschen des Kleinen», sondern das simultane Koordinieren von Prozessen auf einem Raumskalenbereich von einem Meter bis zu mehreren Kilometern. Präzision umfasst im Idealfall die automatische Regelung von Prozessen. Dies bedingt ein automatisches Messen von Zustandsgrößen mit Sensoren, eine automatische Informationsverarbeitung und ein automatisches Lenken der Regelungsvorgänge. Die Präzisions-Landnutzung unterscheidet sich von der Präzisionstechnik dadurch, dass die räumlich-zeitliche Variabilität der dominierende Faktor ist. Die vorgeschlagene Definition von Präzisions-Landnutzung baut auf den drei Komponenten 1) grosser Raumskalen-Bereich

(Abbildung 2), 2) automatische Regelung von Prozessen nach dem Feed-back-Prinzip (Abbildung 1) und 3) Umgang mit räumlicher Variabilität (Abbildung 1) auf und stellt das zielgerichtete Beeinflussen von Prozessen ins Zentrum des Denkens und Handelns (Tabelle 1).

Während bisherige Umschreibungen von Präzisions-Forstwirtschaft sich auf die Anwendung von Informations-Technologie konzentrierten, entwirft der vorliegende Beitrag ein problemorientiertes Konzept. Der Autor ist überzeugt, dass die Probleme unser Denken und Handeln leiten sollen, weshalb die Faszination an neuer Technologie keine Begründung für das Entstehen von neuen Fachdisziplinen sein kann. Er ist sich bewusst, dass noch längst nicht alle Fragen rund um die Präzisions-Forstwirtschaft geklärt sind, hofft jedoch, dass eine breite Diskussion in Gang kommt, welche Praxis, Lehre und Forschung anregt, die Potenziale gemeinsam zu nutzen. ■

Literatur

- ACKERMANN F (1999) Airborne laser scanning – present status and future expectations. *ISPRS J Photogramm* 54: 64–67.
- ADAMCHUK VI, HUMMEL JW, MORGAN MT, UPADHYAYA SK (2004) On-the-go soil sensors for precision agriculture. *Comp Electr Agric* 44: 71–91.
- BALTSAVIAS EP (1999A) Airborne laser scanning: basic relations and formulas. *ISPRS J Photogramm* 54: 199–214.
- BALTSAVIAS EP (1999B) Airborne laser scanning: existing systems and firms and other resources. *ISPRS J Photogramm* 54: 164–198.
- BECKER G (2001) Precision forestry in Central Europe – new perspectives for a classical management concept. In: *Proc First Intern Precision Forestry Cooperative Symposium*, 17–20 June, 2001, Seattle. Seattle: Univ Washington, College of Forest Resources. pp. 7–9.
- BIOLEY HE (1920) *L'aménagement des forêts par la méthode expérimentale et spécialement la méthode du contrôle*. Paris: Attinger Frères. 90 p.
- CHRYSOLOURIS G (1992) *Manufacturing systems. Theory and practice*. New York: Springer. 419 p.
- EVANS DL, ROBERTS SD, PARKER RC (2006) LIDAR – A new tool for forest measurements? *For Chron* 82: 211–218.
- FARNUM P (2001) Precision forestry – finding the context. In: *Proc First Intern Precision Forestry Cooperative Symposium*, 17–20 June, 2001, Seattle. Seattle: Univ Washington, College of Forest Resources. pp. 3–5.
- GUNNARSSON H, RÖNNQVIST M, LUNDGREN JT (2004) Supply chain modelling of forest fuel. *Eur J Oper Res* 158: 103–123.
- HEINIMANN HR (2000) Business process re-engineering – a framework for designing logistics systems for wood procurement. In: Sjöström K, editor. *Logistics in the forest sector*. Helsinki: Timber Logistics Club. pp. 269–287.
- HOLLING CS (2001) Understanding the complexity of economic, ecological, and social systems. *Ecosystems* 4: 390–405.
- HUAN SH, SHEORAN SK, WANG G (2004) A review and analysis of supply chain operations reference (SCOR) model. *Supply Chain Manag* 9: 23–29.

- JONES RV (1979) Precision engineering – from supermarkets to integrated circuits. *Prec Eng* 1: 3.
- KOTCHENOVA SY ET AL (2004) LIDAR remote sensing for modeling gross primary production of deciduous forests. *Remote Sens Environ* 92: 158–172.
- MALTAMO M, EERIKÄINEN K, PITKÄNEN J, HYYPPÄ J, VEHMAS M (2004) Estimation of timber volume and stem density based on scanning laser altimetry and expected tree size distribution functions. *Remote Sens Environ* 90: 319–330.
- MCBRATNEY A, WHELAN B, ANCEVT, BOUMA J (2005) Future directions of precision agriculture. *Prec Agric* 6: 7–23.
- MCKEOWN PA (1979) Why precision? *Precis Eng* 1: 59.
- MCKEOWN PA (1980) Sense and sensibility. *Precis Eng* 2: 117.
- MIAO Y, MULLA DJ, ROBERT PC (2006) Spatial variability of soil properties, corn quality and yield in two Illinois, USA fields: implications for precision corn management. *Precis Agric* 7: 5–20.
- MONSDORF F, MEIER E, ALLGÖWER B, NÜESCH D (2004) Cluster-Analyse von LIDAR-Vektordaten zur Erfassung geometrischer Eigenschaften von einzelnen Bäumen. *Photogrammetrie Fernerkundung Geoinformation*: 259–268.
- NAGARAJAN M, SOSIC G (2006) Game-theoretic analysis of cooperation among supply chain agents: review and extensions. *Eur J Oper Res*, in press.
- PAPINET (2004) PapiNet WoodX – General description of business processes and messages. papiNet. 8 p. <http://www.papinet.org/> (10 Jul 2007)
- RICKMAN D, LUVALL JC, SHAW P, KISSEL D, SULLIVAN D (2003) Precision agriculture: changing the face of farming. http://www.geotimes.org/nov03/feature_agric.html (10 Jul 07)
- SCOR (2006) Supply-chain operations reference-model, Version 8. Plan – source – make – deliver – return. Washington DC: Supply Chain Council. <http://www.supply-chain.org/> (10 Jul 2007)
- SIGRIMIS N, HASHIMOTO Y, MUNACK A, DEBAERDEMAEKER J (1999) Prospects in agricultural engineering in the information age – technological developments for the producer and the consumer. *Agricultural Engineering International* 1 (Dec): 1–20. http://cigr-ejournal.tamu.edu/submissions/volume1/Invited_InfoTech/InfoTech.pdf
- STADTLER H (2005) Supply chain management and advanced planning – basics, overview and challenges. *Eur J Oper Res* 163: 575–588.
- WARKOTSCH W (2006) Precision forestry – today and tomorrow. In: Presentation Intern Precision Forestry Symposium, «Precision forestry in plantations, semi-natural and natural forests», March 5–10, 2006. Stellenbosch, South Africa.
- ZHANG N, WANG M, WANG N (2002) Precision agriculture – a worldwide overview. *Comp Electr Agric* 36: 113–132.
- ZIMBLE DA ET AL (2003) Characterizing vertical forest structure using small-footprint airborne LIDAR. *Remote Sens Environ* 87: 171–182.

Präzisions-Forstwirtschaft – was ist das?

Der Begriff Präzisions-Forstwirtschaft wurde im Jahre 2001 anlässlich eines Kongresses zum ersten Mal vorgestellt und diskutiert. Der vorliegende Beitrag möchte die wissenschaftlichen Wurzeln des Präzisions-Konzepts klären, «Präzisions-Forstwirtschaft» aus heutiger Sicht möglichst treffend umschreiben und die Herausforderungen, die sich für Praxis, Lehre und Forschung stellen, skizzieren. Der Begriff Präzision bedeutet nicht Messgenauigkeit im Kleinen, sondern das simultane Koordinieren von Prozessen auf einem Raumskalen-Bereich von 1 m bis zu etwa 100 km. Präzision strebt danach, die massgebenden Prozesse automatisch zu regeln und zu lenken. Präzisions-Landnutzung unterscheidet sich von Präzisionstechnik dadurch, dass sie die räumlich-zeitliche Variabilität von Standortfaktoren und Vegetationszustands-Parametern erfasst, abbildet und verarbeitet. Das Gestalten ganzheitlicher, standardisierter Geschäftsprozesse, die betriebs- und firmenübergreifend gelten und die auf vorhandenen Standards (z.B. SCOR, WoodX) aufbauen, ist die Hauptherausforderung für die Praxis. Fachkräfte aller Stufen sind in Geschäftsprozess-Reengineering, informatikgestützter Transaktions-Abwicklung, Methoden der Fernerkundung, Sensortechnik und Regelungstechnik weiterzubilden. In der Forschung geht es darum, Pflanzenphysiologie, Bodenphysik und Produktionswissenschaften zu integrieren und die Problematik der optimalen Versorgungs-Netzwerk-Konfiguration (Supply Chain Coordination Problem SCCP) zu lösen.

Foresterie de précision – qu'est-ce que c'est?

Le concept de «precision forestry», soit littéralement foresterie de précision, fut introduit et discuté lors d'une conférence tenue en 2001. Cet article poursuit l'objectif d'étudier les origines scientifiques du concept de précision, de le définir dans le cadre de la foresterie et de démontrer les défis que ce nouveau concept devrait présenter pour les praticiens, les enseignants et les chercheurs. Le terme «précision» ne signifie pas précision à petite échelle, mais au contraire la coordination concomitante et le contrôle des processus à des échelles variant de 1 m à 100 km. La précision se donne pour objectif le contrôle automatique des processus. L'aménagement de précision se différencie de l'engineering de précision en ce sens qu'il requiert la collecte, le stockage et la gestion des paramètres décrivant la variabilité spatio-temporelle de la végétation et des sites. Les praticiens devront relever les défis d'établir des processus d'entreprise standardisés et holistiques valables pour des réseaux entiers d'entreprises et compatibles avec les normes disponibles (p.ex. SCOR, WoodX). Il y aura donc un besoin de formation des praticiens forestiers dans la procédure de restructuration de processus d'entreprise, d'aide à la décision informatisée pour la gestion des transactions commerciales, des méthodes de la télédétection, de la technologie des senseurs et de la théorie du contrôle. La recherche devra résoudre les problèmes de l'intégration de disciplines telles que la physiologie végétale, la physique des sols et des sciences de la production, ainsi que le problème de la coordination de la chaîne d'approvisionnement.