



Doctoral Thesis

Technological advancement and ecological applications of herb-chronology

Author(s):

von Arx, Georg

Publication Date:

2005

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-005064735> →

Rights / License:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

Technological advancement and ecological applications of herb-chronology

A dissertation submitted to the
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY ZURICH
for the degree of
Doctor of Natural Sciences

presented by

Georg von Arx

Dipl. Natw. ETH
born October 9th, 1976
citizen of Härkingen SO

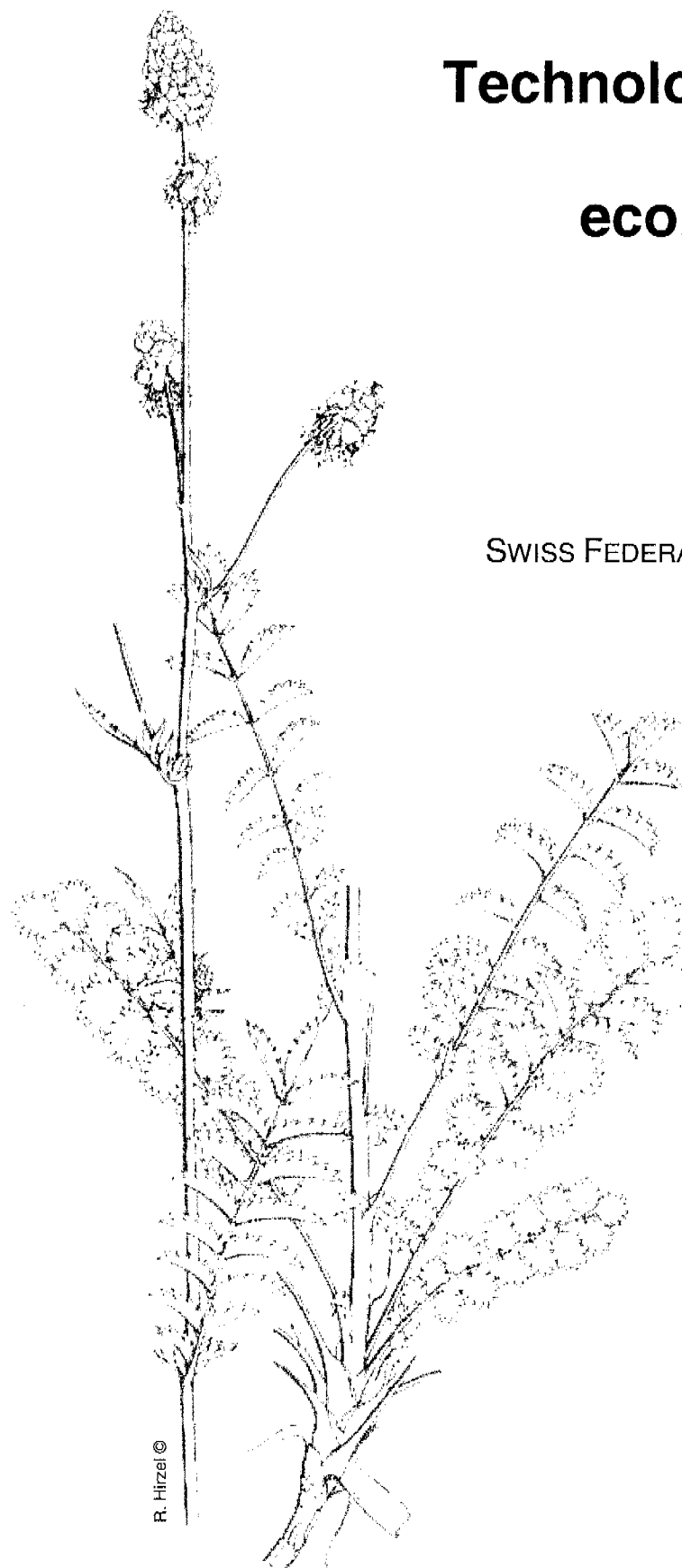
in May 2005

Referees:

Prof. Dr. Peter J. Edwards

Dr. Hansjörg Dietz

Dr. PD Jürg Stöcklin



Summary

A thorough understanding of the processes underlying plant population and community development requires not only knowledge on the present state of vital parameters like plant size, fitness and population density but also on their change over time. A rather new methodological approach to investigate age-related patterns in forbs is *herb-chronology* – the ecologically-oriented analysis of annual rings in the secondary root xylem of perennial forbs. This new research field needs (i) a robust methodological basis and (ii) a broad assessment of the ecological indicator function of annual growth ring width. Both requirements are addressed in this Thesis.

To improve the accuracy, objectivity and efficiency of herb-chronological analysis a prototype of an automated image analysis system ('*ROXAS*' – *Root Xylem Analysis System*) was developed. *ROXAS* was designed to automatically detect xylem vessels, identify and measure annual rings, determine plant age and provide additional anatomical parameters such as vessel density, vessel size or the relative portion of the area occupied by vessels within the xylem in root cross-sections of perennial forbs. Results produced by *ROXAS* were evaluated using test data sets from five perennial plant species. *ROXAS* produced time-efficient and accurate results compared to manual control analysis. Anatomical parameters such as vessel area or vessel density varied substantially between species, indicating anatomical adaptations of these perennial forbs to the constraints of their specific habitats.

In a common garden experiment with nine unrelated forb species growing under clipping and competition treatment, at least 94% of all plants showed the expected growth rings associated with full growing seasons and the development of the anatomical patterns was consistently seasonal. While the distinctness of annual rings varied somewhat between species and sites, the treatments had no effect on the presence of annual rings. In no case were false rings developed. The results of this study demonstrate that the growth rings in the roots of northern temperate forbs represent robust annual growth increments and, hence, can reliably be used in herb-chronological studies of age- and growth related questions in plant ecology.

Three forb species collected in the Wallowa Mountains (NE-Oregon, USA) across an altitudinal gradient of approximately 1000 m all grew older but slower with increasing altitude. Furthermore, the patterns of annual ring widths during life (growth trajectories)

changed from a linear decline during the entire lifetime at low altitude towards a curvilinear relationship with highest growth increments in mid life at high altitudes. Together, these results provide evidence for a consistent shift towards a more conservative and more strongly constrained life history at higher altitudes.

Analysis of herb-chronological data from more than 15 perennial forb species from the USA and Switzerland showed synchronous variations in annual ring width in response to the exceptionally warm summer in 1998 that was caused by the strong 1997/1998 El Niño (ENSO) event. Whereas the width of the ring formed in 1998 was extraordinarily narrow in lowland plants due to drought, it was extraordinarily wide in mountain plants due to a prolonged growing season. These findings provided first evidence that growth of herbaceous plants responds rapidly and sensitively to climatic fluctuation while the direction and strength of the response may depend on interactions with local conditions.

The results of my thesis demonstrate that growth rings in perennial forbs are robust and reliable annual markers that show sensitive responses in width to various environmental drivers. Herb-chronology may thus be broadly used in studies on perennial forbs considering changing patterns and processes over time for plant ecological questions, e.g. in comparisons of growth conditions between sites, phylogenetic comparisons and investigations into the effects of unpredictable events on plant and population growth. Furthermore, automated analysis may provide efficient access to accurate and comparable herb-chronological data, including data on functional root anatomy.

Zusammenfassung

Ein umfassendes Verständnis der Entwicklungen von Pflanzenpopulationen und -gemeinschaften und der darin involvierten Prozesse verlangt nicht nur Kenntnis von wichtigen Zustandsparametern (z.B. Grösse, Fitness und Populationsdichte), sondern auch von deren zeitlichen Veränderungen. Ein relativ neuer methodischer Ansatz zur Untersuchung alters-bezogener Muster bei Kräutern ist die *Herbchronologie* - die ökologisch ausgerichtete Analyse von Jahrringen im sekundären Xylem von Kräutern. Dieses neue Forschungsgebiet bedarf (i) einer robusten methodischen Grundlage and (ii) einer breiten Bewertung der ökologischen Zeigerfunktion von Ringweiten. Beide Bedürfnisse werden in dieser Arbeit behandelt.

Um die Genauigkeit, Objektivität und Effizienz der herbchronologischen Analyse zu verbessern, wurde ein automatisiertes Analysesystem ('*ROXAS*' – *Root Xylem Analysis System*) entwickelt. *ROXAS* erkennt automatisch Xylem-Gefässe, erkennt und vermisst Jahrringe, bestimmt das Pflanzenalter und liefert darüber hinaus noch zusätzliche anatomische Messwerte wie etwa Gefässdichte und -grösse oder den Anteil der kumulierten Gefässfläche an der Gesamtfläche des Xylemquerschnittes. Mit *ROXAS* erzielte Messresultate wurden mit Referenzdaten von fünf mehrjährigen Krautarten verglichen. Dabei erwies sich die *ROXAS*-basierte Analyse im Vergleich zur manuellen Analyse als schnell und exakt. Anatomische Parameter wie Gefässgrösse oder -dichte variierten beträchtlich zwischen den Arten, was auf Anpassungen der Kräuter auf die herrschenden Bedingungen ihrer jeweiligen Habitate hindeutet.

In einem Gartenexperiment mit neun nicht-verwandten Krautarten, welche Schnitt- und Konkurrenzbehandlung ausgesetzt wurden, zeigten mindestens 94% aller Pflanzen eine vollständige Übereinstimmung der Anzahl Wachstumsringe mit der Anzahl vollständiger Wuchsperioden. Zudem folgte die Anatomie der Ringbildung einem strikten saisonalen Muster. Während die Deutlichkeit der Jahrringe zwischen Arten und Standorten variierte, beeinflussten die eingeführten Behandlungen das Vorhandensein von Jahrringen nicht. Auch falsche Jahrringe wurden bei keiner einzigen Pflanze gebildet. Die Ergebnisse dieser Untersuchung beweisen, dass Wachstumsringe in den Wurzeln von Kräutern der gemässigten nördlichen Breiten robuste jährliche Markierungen darstellen. Damit können sie verlässlich

für herbchronologische Studien über alters- und wachstumsbezogene Fragen der Pflanzenökologie verwendet werden.

Drei Krautarten, welche in den Wallowa Mountains (NE-Oregon, USA) über einen Gradienten von etwa 1000 m Höhe beprobt wurden, wiesen alle mit zunehmender Höhe ein höheres Alter auf und wuchsen langsamer. Zudem änderte sich das Muster der Jahrringweiten während des Lebens (Wuchsverlauf) von einer linearen Abnahme in unteren Höhenlagen zu einer gekrümmten Verlauf mit den grössten Jahreszuwächsen in der Lebensmitte in oberen Lagen. Insgesamt deuten diese Ergebnisse auf eine konsistente Verschiebung zu einer konservativeren, stärker eingeschränkten Lebensgeschichte in höheren Lagen hin.

Als Reaktion auf den wegen des El Niño-Ereignis von 1997/98 aussergewöhnlich warmen Sommer 1998 zeigten über 15 mehrjährigen Krautarten aus den USA und der Schweiz synchrone Variationen in ihren Ringweiten. Während die Ringweite von Tieflandpflanzen 1998 wegen Trockenheit extrem gering war, war sie bei Gebirgspflanzen infolge der verlängerten Wuchssaison überaus gross. Diese Ergebnisse sind der erste Hinweis darauf, dass das Wachstum von Kräutern schnell und sensitive auf Klimaschwankungen reagiert, wobei Richtung und Stärke der Reaktion von Interaktionen mit lokalen Gegebenheiten abhängen könnten.

Wie die Ergebnisse meiner Doktorarbeit zeigen, sind Wachstumsringe von mehrjährigen Kräutern robuste und verlässliche, jährlich gebildete Strukturen, deren Weite sensitiv auf verschiedene Umweltfaktoren reagiert. *Herbchronologie* könnte daher in Studien über sich zeitlich verändernde Muster und Prozesse bei mehrjährigen Kräutern Verwendung finden, z.B. in Vergleichen von Wuchsbedingungen zwischen Standorten oder in phylogenetischen Untersuchungen über den Einfluss von unvorhersehbaren Ereignissen auf das Wachstum von Pflanzen(-populationen). Zudem könnte eine automatisierte Analyse effizienten Zugang zu exakten und vergleichbaren herbchronologischen Daten wie auch Daten zur funktionellen Wurzelanatomic verschaffen.