

Jahrringanalytische Untersuchungen im Sihlwald

Von Raymond Kontic¹, Otto Ulrich Bräker², Valentin Nizon³ und René Müller⁴ Oxf.: 561.24

Knoran

1. Einleitung

Die vorliegende Untersuchung bietet als Auftragsstudie im Zusammenhang mit dem «Konzept Naturlandschaft Sihlwald» (NLS) einen Einblick in die Zuwachsentwicklung verschiedener Baumgenerationen und deren bestimmende Umweltbedingungen. Sie dokumentiert damit den heutigen Zustand in forstlicher und ökologischer Sicht und lässt qualitative Angaben für die Weiterentwicklung der Bestände zu. Bei künftigen Veränderungen von Umwelt und Bewirtschaftung lässt sich deren Tragweite in nachfolgenden Untersuchungen an den bearbeiteten Baumkollektiven beobachten und interpretieren.

Auch andernorts in der Schweiz sind bereits Untersuchungen mit ähnlichen Zielsetzungen erarbeitet worden: Stressprojekt Liestal BL (*EAFV/Projekt 334.85.1*), Untersuchung Bremgarten AG (*Schmid-Haas et al.*, 1986), Yverdon VD (*Duc*, 1986; *VDI*, 1987), Orbe/VD (*Hartmann et al.*, 1987), Wallis (*Kienast*, 1982; *Kontic et al.*, 1986).

Methodisch wie auch in Teilzielen ordnet sich die Untersuchung Sihlwald in die landesweite Bohrkern-Untersuchung im Rahmen der Sanasilva-Waldschadeninventur 1984 ein (*Bräker und Z'Graggen*, 1987; *Schmid-Haas*, 1985). Vergleiche lassen sich auch zu ausländischen grossräumigen jahrringanalytischen Untersuchungen ziehen wie zum Beispiel in Baden-Württemberg (Deutschland) (*Schöpfer und Hradezky*, 1986) oder in den Vogesen (Frankreich) (*Becker*, 1987) und im französischen Jura (*Didier*, 1988).

Im Unterschied zu den systematischen Stichproben-Inventuren (das heisst zufallsbedingte Probennahme) wurde jedoch im Projekt Sihlwald bewusst eine Auswahl einheitlicher Standorte vorgenommen. Da die Untersuchungsflächen

¹ Dendron, Hessel & Kontic & Niederer, CH-4057 Basel

² Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL), CH-8903 Birmensdorf

³ Ingenieur-Büro für Sicherheitstechnik und Umweltverträglichkeitsanalysen (SUVAN), CH-8413 Neftenbach

⁴ Forstl. Ingenieur-Büro, CH-8934 Knoran

der vorliegenden Studie den vorherrschenden Standorttyp im Sihlwald repräsentieren, entfällt eine weitere Stratifizierung. Dies erlaubt, den gegebenen finanziellen Rahmen optimal auszuschöpfen. Die Untersuchung bietet neu auch Angaben für Laubhölzer. Sie präzisieren die Resultate der Sanasilva-Bohrkernuntersuchung 1984 (Bräker und Z'Graggen, 1987) im Rahmen eines lokalen Forstbetriebes und mit Bezug zur forstlichen Bewirtschaftung.

2. Zielsetzung

Mit dieser Studie soll untersucht werden,

- ob und gegebenenfalls wie sich die Baumvitalität in den Forstrevieren des Sihlwaldes (Stadtforstamt Zürich) gegenüber früher verändert hat,
- und welche zukünftige Vitalitätsdynamik zu erwarten ist.

Ebenso soll die zeitliche Zuwachsentwicklung älterer Bäume auf Besonderheiten wie abrupte Zuwachseinbussen untersucht werden.

Es werden auch Beziehungen von Kronenzustand und Zuwachsentwicklung untersucht.

Diese Fragen sollen mit Untersuchungen an den vier Hauptbaumarten Buche, Esche, Fichte und Tanne abgeklärt werden.

3. Material und Methoden

Jahrringbreiten auf Brusthöhe und Nadel-/Blattverluste sind zwei wesentliche unter anderen möglichen Kriterien, die Aufschluss über den Gesundheitszustand von Bäumen geben können.

Im Zentrum der Fragestellung steht der Vergleich der durchschnittlichen Jahrringbreiten bei gleichem Kambial-Alter in den letzten 120 (160) Jahren. Wir gehen von der Annahme aus, dass Baumkollektive gleichen Alters bei unveränderten Umweltbedingungen durchwegs denselben mittleren Jahrringzuwachs erreichen.

Eine nachträgliche Feststellung des früheren Gesundheitszustandes, oder gar die Erklärung allfälliger Schädigungen, kann in Anbetracht der Komplexität von Faktoren von dieser Studie jedoch nicht erwartet werden.

Für die Untersuchung der Beziehungen Krone—Zuwachs ist der Auftragsumfang gewisser Teilkollektive von Nadelverluststufen zu knapp bemessen, was bei der Wertung der Ergebnisse zu berücksichtigen ist.

3.1 Auswahl und Herkunft des Probenmaterials

Alle Untersuchungsflächen weisen nach vegetationskundlichen Kartierungen (Etter, 1947, ZH, 1988) ähnliche Standortsbedingungen auf; die Bestände werden seit 1925 hochdurchforstet (Ablösung des Saumschlages durch Femelschlag) und liegen auf der Gelände-Terrasse entlang der Sihlwaldstrasse, die sich durch den ganzen Sihlwald zieht. Die Ausscheidung der drei Untersuchungsgebiete Langrain (L, stadtnah), Birriboden (B) und Schönenboden (S, stadtfern) erlaubt zusätzlich auch eine Interpretation in bezug zur Entfernung von der Stadt Zürich und zur forstlichen Bewirtschaftung. Als Randbedingung sollten die Probeflächen für Besichtigungen und Folgeuntersuchungen leicht zugänglich und für Luftbildaufnahmen geeignet plaziert sein (siehe *Tabelle 1* und *Abbildung 1*).

Tabelle 1. Anzahl Probebäume pro Gebiet und Altersklasse. Geplante Versuchsanlage:
3 Gebiete x 3 Altersklassen x 4 Arten x 7 Bäume x 2 Bohrkerne = > Total 504 Bohrkerne.

Gebiete	Langrain (L) stadtnah			Birriboden (B)				Schönenboden (S) stadtfern			Total
Geschätzte Bonität											
Buche	26			24				25			
Altersklassen	J	M	A	J	M	A	EA	J	M	A	
Geplante Anzahl Probebäume: je Baumart	7	7	7	7	7	7		7	7	7	63
Effektive Anzahl Probebäume:											
Buche	7	11	7	5	—	8	(9)	7	10	11	66 (75)
Esche	8	9	3	7	—	6	(4)	8	9	4	54 (58)
Fichte	13	12	12	13	—	5	(1)	13	14	6	88 (89)
Tanne	—	7	—	—	—	6	(1)	—	4	6	23 (24)

Legende:

J = Jung (Alter 30 bis 40 Jahre)

M = Mittel (Alter 70 bis 80 Jahre)

A = Alt (Alter 100 bis 120 Jahre)

EA = Extra-alt (etwa 160 Jahre)

Waldgesellschaften: Waldmeister-Buchenwald und Waldhirschen-Buchenwald, teilweise mit Übergängen zum Aronstab-Buchenmischwald (nach *Ellenberg* und *Klötzli*, 1972).

Höhenlage: 520—665 m ü.M.

Hauptexposition: ENE

Hangneigung: bis 20%

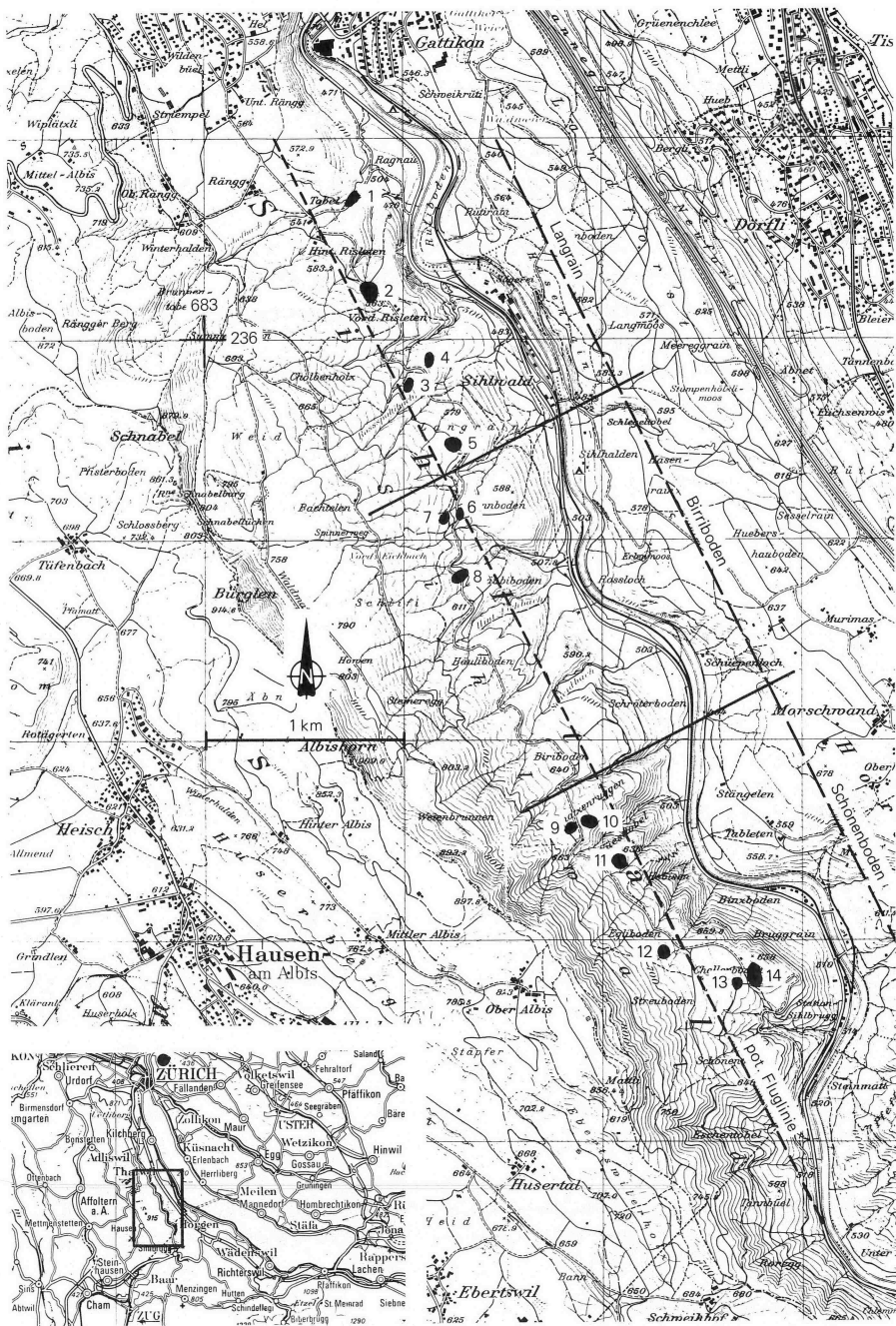


Abbildung 1. Anordnung der Probenflächen für die jahringanalytischen Untersuchungen im Sihlwald. Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie vom 8. Juni 1989.

Von herrschenden und mitherrschenden Bäumen wurde auf Brusthöhe je ein Bohrkern bergseits und quer dazu entnommen.

Alle Probebäume und -bestände wurden nach den Kriterien des Waldschadenbeobachtungsprogramms des Kantons Zürich beurteilt (Kronenansprache usf.).

Die geplante Versuchsanlage (*Tabelle 1*) konnte im Felde bis auf folgende Einschränkungen eingehalten werden:

- Keine Bäume der Altersklasse «mitteltalt» im Gebiet Birriboden (ergänzt mit zusätzlichen Proben in den beiden andern Gebieten)
- Keine Tannen der Altersklasse «jung» (ergänzt mit Proben aus Fichten).

Zusätzlich wurden im Gebiet Birriboden Proben aus neun 160jährigen Buchen und vier 160jährigen Eschen entnommen (Altersklasse EA = Extra-Alt).

3.2 Datenerhebung und Datenbearbeitung

Die auf $\frac{1}{100}$ mm genau ausgemessenen Jahrringbreiten der Bohrproben (Jahrring-Messanlage ANIOL) und die zugeordneten im Feld erhobenen Daten (Bestandesdaten, Baumdaten) wurden in einer Computerdatenbank abgelegt.

In die weitere Bearbeitung wurden nur Bäume mit zwei sicher datierten Bohrproben einbezogen. Der ans Mark grenzende innerste Jahrring sollte vorhanden oder die Anzahl der bis zum Mark fehlenden Jahrringe abschätzbar sein, damit auch das Markalter (auch Kambialalter) auf Brusthöhe bestimmbar war. Die Daten der beiden Bohrkern wurden zu einer Einzelbaumkurve gemittelt. Alle datierbaren Einzelbaumdaten ergaben sodann baumartenweise zusammengefasst die Bestandesmittelkurven und Altersklassenmittelkurven.

Ebenso wurden auch Jahrring-Mittelkurven für Bäume nach Blatt- oder Nadelverluststufen berechnet. Die Berechnungen von Mittelkurven wurden nach Bedarf sowohl aufgrund der absoluten Datierung als auch der «relativen» kambialen Alter (Markaltersdatierung) ausgeführt.

Frühere und heutige Ringbreiten eines Baumes können nicht direkt verglichen werden, da die Jahrringbreitenentwicklung einer Alterung unterworfen ist. Auch bei unterschiedlich alten Bäumen müssen diese physiologischen Differenzierungsprozesse berücksichtigt werden. Klimaveränderungen beeinflussen neben der Witterung die Jahrringbreitenentwicklung ebenfalls. Ferner können Standortsunterschiede, trotz sorgfältiger Auswahl des Probenmaterials, eine weitere Fehlerquelle für korrekte Vergleiche sein.

Bei der Interpretation der Sihlwald-Daten sind je nach Fragestellung folgende Einflüsse berücksichtigt worden: Alterung, Witterung, langfristige Klimaentwicklungen, Bonitätsunterschiede.

3.3 Statistische Verfahren

Eine leichtverständliche Beschreibung jahrringanalytischer statistischer Verfahren findet sich bei *Schweingruber, 1983*.

Berücksichtigung der kambialen Alterung (Indizierung)

Die Alterung von Bäumen oder Baumkollektiven lässt sich mit verschiedenen Modellvorstellungen (Ertragstafeln, Glättungs-Funktionen) herleiten und beschreiben. Im Sihlwald wird einem markaltersdatierten Kollektiv die Hugershoff-Funktion (*Pollanschütz, 1966*) eingepasst.

Die altersbedingte Jahrringbreitenentwicklung der untersuchten Kollektive konnte bei den Altersklassen mittelalt (M) und alt (A inklusive EA) nur für das Alter 11 bis 80 Jahre berechnet werden, weil für diesen Zeitabschnitt von sämtlichen Probestäumen Daten vorhanden sind. Dabei ist anzunehmen, dass die Bäume sich in dieser Zeit «störungsfrei» entwickelten. Mit den Koeffizienten der Hugershoff-Funktion wird für diesen Zeitraum eine Indizierung der entsprechenden Einzelbaumdaten vorgenommen, welche die Jahrringbreitenkurven auf der gesamten Länge (Extrapolation) vom Alterstrend befreit.

Für die Tanne ist zu wenig Probenmaterial vorhanden, das für eine solche Modellierung geeignet wäre.

Berücksichtigung weiterer Einflüsse mit mehrfach linearer Regression (MLR)

Die Zeitreihen der Jahrringbreiten wurden mit multipler linearer Regression auf ihre Beziehungen zu mehreren Einflussvariablen überprüft. Als Einflüsse wurden berücksichtigt: durchschnittliche Niederschläge und Temperaturen vom Sommer- und Winterhalbjahr bzw. von Einzelmonaten (auch Vorjahreseinflüsse, Station Zürich SMA 1901–1986, Datenbank der Schweizerischen Meteorologischen Zentralanstalt), Bonitäten (Restvarianz) und Höhenlage.

Diese Berechnungen haben ergeben, dass die damit berücksichtigten Einflüsse keine signifikante Bedeutung für die Zuwachsreihen haben.

3.4 Nicht berücksichtigte Einflussgrößen

Die Einflüsse durch die spezifischen forstlichen Tätigkeiten in den Probeständen und im besonderen die Entwicklung der Bestockungsdichte, welche neben dem Einzelbaumzuwachs auch den Bestandeszuwachs verändert haben können, entziehen sich unserer Kenntnis. Alle Resultate beziehen sich daher auf das Verhalten und die Entwicklung von Einzelbäumen; Schlüsse auf einen Flächen-Zuwachs dürfen daraus nicht abgeleitet werden. Leider lassen sich aus den Inventuren im Sihlwald keine spezifischen Bestandesdichten für die untersuchten Bestände in früheren Zeiten ableiten; der Gesamtbetrieb weist eine

wesentliche Erhöhung des Vorrates aus (Tabelle 2). Die überproportionale Abnahme der Stammzahl im Vergleich zur Ertragstafel EAFV belegt kräftige Eingriffe.

Tabelle 2. Ergebnisse der Forsteinrichtung.

Jahr, Alter		Stammzahl pro ha		Vorrat m ³ /ha		davon Alter 0–60 Jahre Flächenanteil
1931	50*	441	443*	233	204*	63%
1981	70*	258	389*	357	342*	25%

* Angaben aus Buchen-Ertragstafel EAFV (Hochdurchforstung, Bonität 22)

4. Resultate

4.1 Sind die Baumkollektive vergleichbar?

Zeitlich konstante Bedingungen

Die Vergleichbarkeit der einzelnen Untersuchungsbestände ist, was die Böden und die Waldgesellschaften betrifft, weitgehend durch die sorgfältige Auswahl der Untersuchungsflächen gegeben.

Die Zusammenfassung von Jahrringbreitenkurven von Beständen mit zum Teil heute leicht unterschiedlicher Bonität erweist sich in der vorliegenden Studie als zulässig: Die Zeitreihen mit berechneten Residuen, bei denen Bonitätsunterschiede (Restvarianz) Eingang in die Regression finden, decken sich weitgehend mit den Kurven der Rohwerte, das heisst Bonitätsunterschiede haben keinen grundsätzlichen Einfluss auf die Untersuchungsergebnisse (siehe Tabelle 1).

Zeitlich variierende Bedingungen

Bewirtschaftung, Witterung und Immissionen können sich im Verlauf der Zeit verändern, einen Alterstrend vortäuschen oder diesen überdecken. Zuwachsleistung und Alterstrend der Bäume in den drei Untersuchungsgebieten (S, B und L) sind bei gleichem Markalter ähnlich. Buchen, Eschen und Fichten der Altersklasse «jung» jedoch erreichen in den Gebieten Schönenboden und Birriboden durchwegs höhere Zuwachsraten als im Gebiet Langrain. Da der für diese Gebiete während 40 Jahren zuständige Förster beim Jungwald stärker eingegriffen hat als der für Langrain zuständige, bestätigen sich somit nur für die jüngste Generation allfällige Zuwachs- und Alterstrendunterschiede auf einzelnen Probeflächen, die auf ungleiche Bestandesbegründung und Bestandespflege zurückzuführen wären.

Da sich auch bei Berücksichtigung der Witterungseinflüsse (mit MLR) keine anderen Entwicklungstendenzen als mit Rohwerten ergeben, kann auf eine Darstellung in Residuenform generell verzichtet werden.

Über die Immissionssituation in den letzten Jahrzehnten existieren keine Daten, die als Zeitreihen mit den Jahrringkurven verglichen werden könnten.

4.2 Jahrringbreiten bei gleichem kambialem Alter

Die Jahrringbreiten der kambialen Altersstufen 11 bis 30 Jahre («Markalter» MA 30), 51 bis 70 Jahre (MA 70) und 91 bis 110 Jahre (MA 110) sind für alle vier Arten in *Abbildung 2* dargestellt. Bei MA 30 werden beispielsweise sämtliche Ringbreiten, die für ein bestimmtes Jahr das Markalter 11 bis 30 aufweisen, gemittelt. Aus diesen Daten entsteht eine Jahrringbreitenmittelkurve, gebildet aus aufeinanderfolgenden gleichaltrigen Jahrringsequenzen aller Altersklassen EA, A, M und J.

Jeweils 20 Jahre wurden zusammengefasst, weil bei kürzeren Sequenzen eine unterbrochene Kurve entstand (zuwenig Probematerial). Dies ist zulässig, da sich in dieser Zeitspanne kein störender Alterstrend bemerkbar macht (Kontrolle via «MLR»).

Um mittel- bis langfristige Tendenzen darzustellen, werden die starken jährlichen Schwankungen, welche vor allem durch Witterungseinflüsse bedingt sind, mit einem Tiefpass-Filter (*LaMarche*, 1972, Typ A) bearbeitet, die Jahrringbreitenkurven sind somit geglättet (*Abbildung 2*).

Langfristige Entwicklungen

Bei Buchen, Eschen und Fichten verlaufen die geglätteten Jahrringbreitenkurven aller Markaltersklassen gleichsinnig: die drei Arten zeigen bei den Markaltersklassen 30 und 70 in den letzten Jahrzehnten einen steigenden Zuwachs (*Abbildung 2, Tabelle 3*).

Da bei der Tanne keine Bäume der Altersklassen «jung» vorhanden sind, ist die Vergleichsmöglichkeit beschränkt. Bei der Markaltersklasse 70 zeigt die Tanne in den letzten Jahrzehnten einen verminderten Zuwachs.

Die Kurven der Altersklasse 110 zeigen, ausser bei der Tanne mit dem Einbruch von 1956, keine deutliche Tendenzen; zudem sind die Vergleichsperioden kurz.

Markalter 30

Die Generation *heute* junger Buchen und Eschen bildet breitere Jahrringe als sämtliche in die Untersuchung einbezogenen älteren Generationen (auf allen Einzelstandorten S, B und L). Die Buchen leisten etwa gleich viel und die Eschen mehr als die Fichten. Die Unterschiede sind jedoch gering.

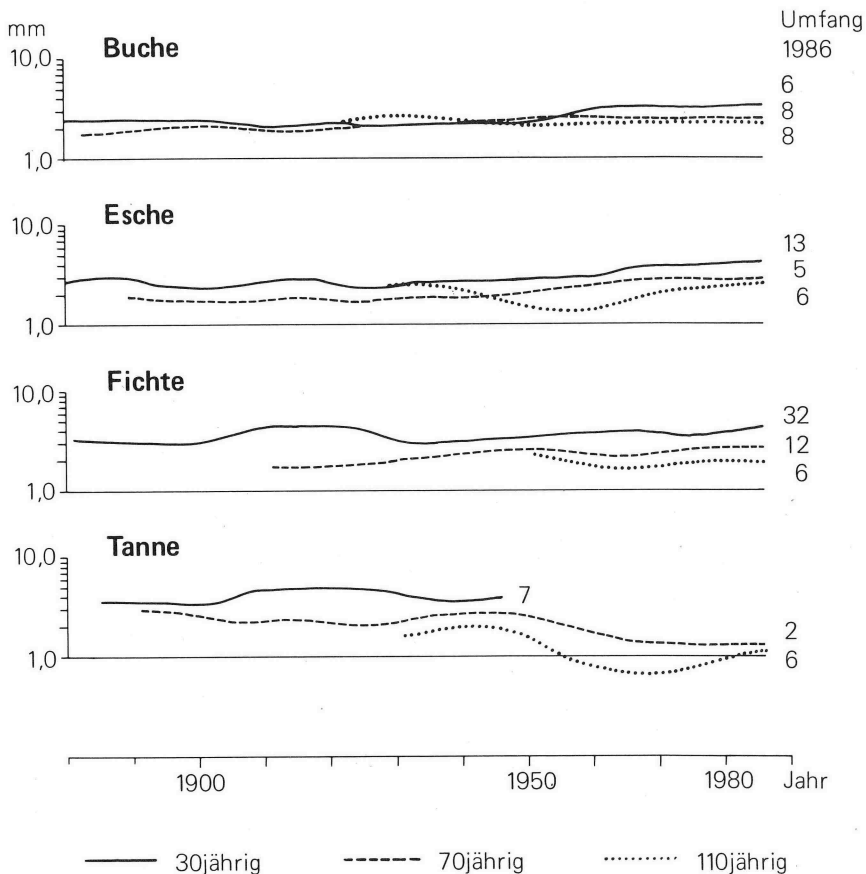


Abbildung 2. Zeitdiagramme der mittleren Jahrringbreiten (gleitendes Mittel, Tiefpass-Filter Typ A) für Buchen, Eschen, Fichten und Tannen für das kambiale Alter (Markalter) 11 bis 30 Jahre, 51 bis 70 Jahre und 91 bis 110 Jahre.

In *älteren* Generationen (etwa um 1920–1930) weisen die jungen Tannen die breitesten Jahrringe auf, gefolgt von Fichte, Esche und Buche; die Unterschiede sind markant.

Markalter 70

Buchen, Eschen und Fichten weisen durchschnittlich die gleichen Ringbreiten auf. Die Tannen verhalten sich bis Mitte der fünfziger Jahre ähnlich. Danach folgt ein deutlicher Zuwachseinbruch, dessen Auswirkung trotz «Erholungstendenz» gewisser Individuen bis heute anhält.

Markalter 110

Die Buchen legen die breitesten Jahrringe an, gefolgt von Esche und Fichte. Die Tanne bildet weit geringere Jahrringbreiten, die individuell nach 1956 sehr variabel sind.

Tabelle 3. Ringbreiten der einzelnen Arten und kambialen Altersstufen (Tiefpass-Filter Typ A, Abbildung 2).

Baumart	Markalter	Umfang 1986	1900	Mittel 1940 mm	1986	rel. Fehler 1986 %
Buche	30	6	2,51	2,34	3,57	15
	70	8	2,13	2,39	2,96	7
	110	8	—	2,54	2,38	7
Esche	30	13	2,41	2,79	4,48	10
	70	5	1,74	1,96	3,09	17
	110	6	—	2,31	2,73	17
Fichte	30	32	3,10	3,17	4,40	6
	70	12	—	2,42	2,83	14
	110	6	—	—	2,06	18
Tanne	30	7	3,42	3,65	—	—
	70	2	2,68	2,76	1,36	45
	110	6	—	2,07	1,20	18

Tabelle 4. Ringbreiten 1986 der einzelnen Arten und zweier Altersklassen (Abbildung 3).

Baumart	Altersklasse	Umfang 1986	1900	Mittel 1940 mm	1986	rel. Fehler 1986 %
Buche	alt	26	2,53	2,40	2,21	6
	mittel	21	—	1,87	2,89	7
Esche	alt	13	2,42	2,12	2,84	12
	mittel	18	—	2,73	3,03	8
Fichte	alt	17	2,29	1,90	1,44	10
	mittel	26	—	3,51	2,35	10
Tanne	alt	11	4,96	2,41	0,88	23
	mittel	12	—	2,71	1,54	17

4.3 Jahrringbreitenentwicklung von Altersklassen

(kambiale Alter gemischt, Abbildung 3, Tabelle 4)

Anhand von Kurven der Altersklassen «Mittel» und «Alt» (inklusive «Extra-Alt») ist die Jahrringbreitenentwicklung jeder Art in Abbildung 3 dargestellt. Zur Illustration der Unterschiede und Gemeinsamkeiten eignen sich die

Rohwertkurven (mit Alterstrend); die langfristige Entwicklung der Jahrringe würde durch indizierte, alterstrendfreie Kurven erleichtert. Diese decken sich jedoch weitgehend mit Ergebnissen, wie sie in *Abbildung 2* bereits belegt wurden.

Buchen und Eschen haben erwartungsgemäss einen ähnlichen Alterstrend und leisten gleich viel Zuwachs. Die Jahrringbreiten ändern sich mit zunehmendem Alter der Laubbäume kaum. Auch Fichten und Tannen gleichen sich im Alterstrend, abgesehen von den Zuwachseinbrüchen bei den Tannen ab 1956, wobei die Tannen etwas breitere Jahrringe anlegen. Bei den Nadelbäumen nehmen die Ringbreiten mit zunehmendem Alter ab.

Besonderheiten

Beim grössten Teil der Tannen zeichnen sich 1956 auf allen Probestellen deutliche Zuwachsreduktionen bis 35% ab (*Abbildung 3*). Einige Individuen er-

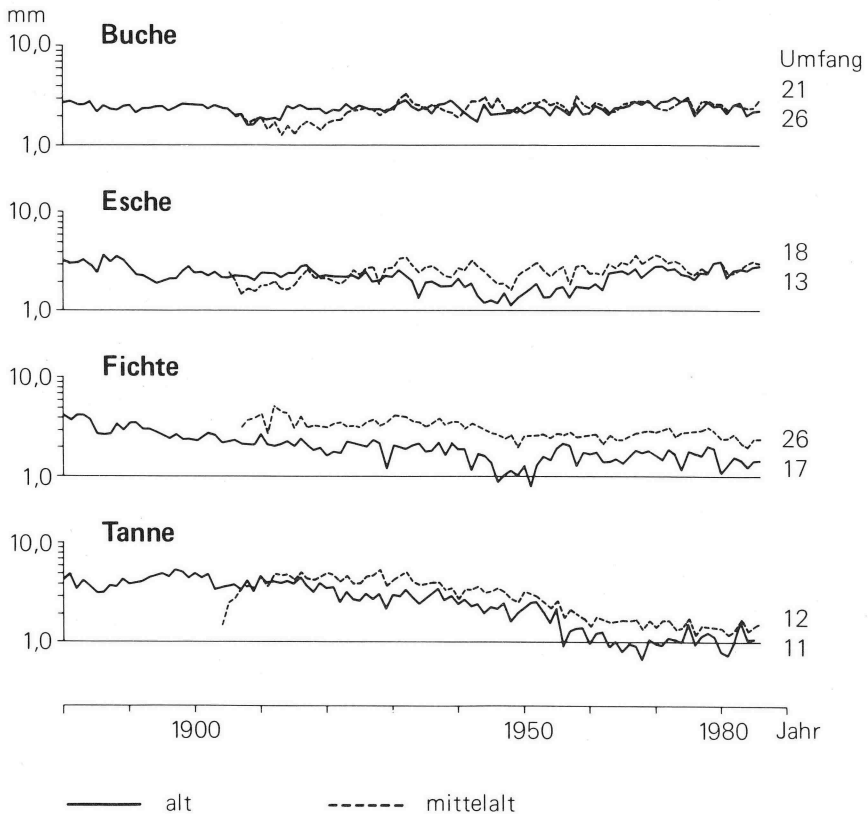


Abbildung 3. Zeitdiagramme der mittleren Jahrringbreiten für Buchen, Eschen, Fichten und Tannen, getrennt nach den Altersklassen «alt» (inklusive extrem-alt EA) und «mittelalt».

reichen früher oder später wieder höhere (bis ursprüngliche) Zuwachswerte. Häufig fallen nach 1956 einzelne Jahrringe aus. Drei Tannen-Bohrkernpaare können wegen zuvieler ausfallender Jahrringe (über 10) nicht datiert werden und fehlen deshalb in der Auswertung.

Solche Zuwachsreduktionen aufgrund von Frostschäden, ausgelöst durch den Temperatursturz im Februar 1956, finden wir in weiten Gebieten der Schweiz (Schweingruber *et al.*, 1983; Bräker und Z'Graggen, 1987; Lenz *et al.*, 1988). Markante Einflüsse der Witterung zeigen sich bei der Tanne und den übrigen drei Arten auch in anderen Jahren, was jedoch nur befristete Zuwachseinbrüche (1 bis 3 Jahre) zur Folge hatte. Dieses veränderte Verhalten der Tanne in den Erholungsperioden nach 1956 muss neben klimatischen auch noch andere Gründe haben.

Bei feuchtigkeitsliebenden Eschen und flachwurzelnden Fichten sind längere Phasen mit geringerem Zuwachs in den trockenen vierziger Jahren zu beobachten. Diese Zuwachseinbussen erfolgen im Gegensatz zu jenen der Tanne nicht abrupt und gleichzeitig, sind nicht auf allen Probestellen zu verzeichnen und sind jeweils nur von begrenzter Dauer. Die bezüglich Trockenstress weniger empfindliche Buche und die tiefwurzelnde Tanne reagieren in dieser Zeit nicht mit Zuwachseinbussen.

«Markante Jahre»

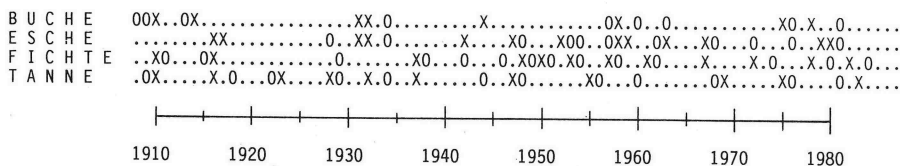
In «markanten Jahren» sind die Jahrringbreiten im Vergleich zu den vorausgehenden und folgenden auffällig gross oder klein (positive bzw. negative «markante Jahre», Skeleton-Plot-Methode nach Cropper, 1979).

Extreme Ringbreiten werden durch Umwelteinflüsse bestimmt. Die Einflüsse können von lokalem, regionalem oder grossräumigem Charakter sein. Jede Baumart zeigt ein spezifisches Muster der «markanten Jahre». Im folgenden werden einige Besonderheiten besprochen, eine ausführlichere Auswertung würde den Rahmen dieser Studie allerdings sprengen.

Es gibt keine «markanten Jahre», die bei allen vier Arten gleichzeitig auftreten. Jede Art hat mit einer oder zwei anderen gemeinsame «markante Jahre». Einzelne «markante Jahre» erscheinen bei einer Art als extrem breit und bei der anderen als extrem schmal (zum Beispiel 1948, 1957 und 1958, vergleiche Tabelle 5).

Ein schädigender Einfluss der Sommertrockenheit von 1983 hat sich im Jahrring desselben Jahres nicht manifestiert. 1983 bildete die Tanne sogar extrem breite Jahrringe. Im Gegensatz dazu haben die Trockenheiten in den 40er Jahren bei der Tanne zu entsprechenden Zuwachseinbrüchen geführt. Aus Wirtschaftsplänen geht hervor, dass damals massive Liquidationen von kronendürren und sonnenbrandigen Altbäumen erfolgten, was nahelegt, dass das damalige Tannen-Kollektiv wahrscheinlich noch stärkere Zuwachsrückgänge aufzeigte als unser heutiges, retrospektiv interpretiertes Teil-Kollektiv. Im Früh-

jahr 1984 reagierten einzig die Fichten mit einer durchschnittlich geringeren Jahrringbreite. Auffallend ist, dass die Fichten im Trockenjahr 1976 normal breite Jahrringe aufwiesen. Auch die Trockenheit von 1985 manifestiert sich bei keiner der Arten im Jahrringbild.



Die Sensitivitätswerte einer Jahrringkurve geben an, wie gross die relativen Veränderungen zwischen je zwei sich folgenden Jahrringen sind. Die Sensitivität ist an ökologisch einheitlichen Standorten einerseits ein Mass für die Änderung der jährlichen Umweltbedingungen und andererseits im Mittel ein Mass für die Empfindlichkeit des Einzelbaumes.

4.4 Vergleich von Jahrringbild und Kronenzustand

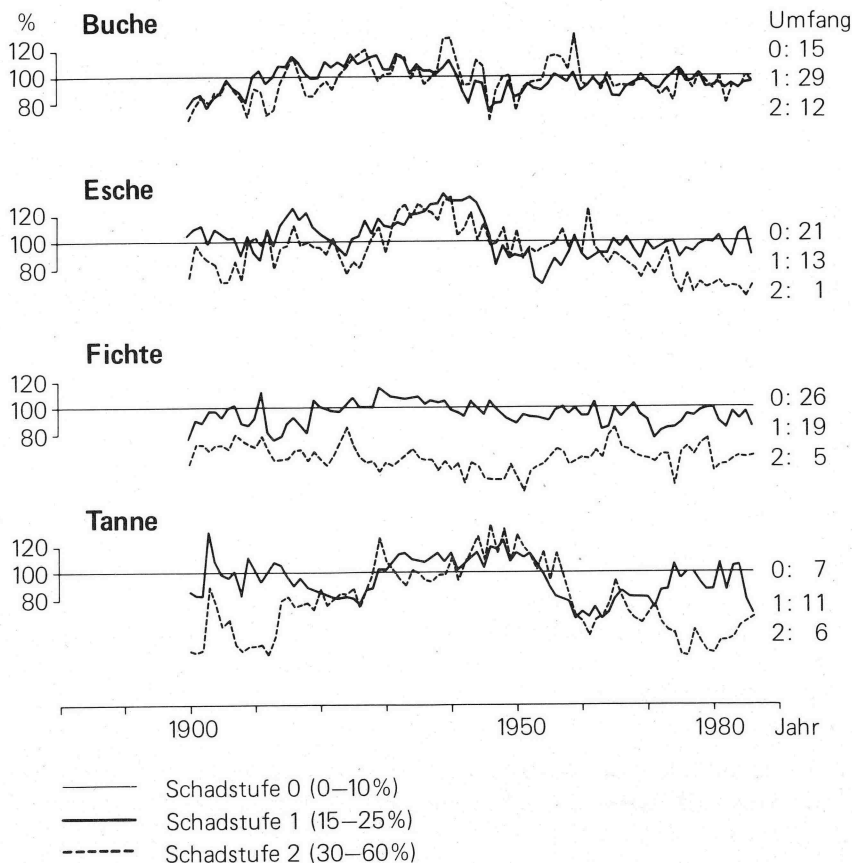


Abbildung 4. Zeitdiagramme (1900 bis 1986) der mittleren Jahrringbreiten für Buchen, Eschen, Fichten und Tannen der Altersklassen alt/mittelalt mit Nadel- bzw. Blattverlusten der Schadstufen 1 und 2 in prozentualen Bezug zur Schadstufe 0 (= Bezugshorizont = 100%).

Es werden nur die Altersklassen «mittelalt», «alt» (inklusive EA) berücksichtigt, da die jüngeren Bäume keine grosse Variation der Nadel- bzw. Blattverluststufen aufweisen; diese fallen in die Stufe mit 0 bis 10 Prozent Nadel-/Blattverlust. Da die Versuchsanlage nicht auf diese Nebenfragestellung ausgerichtet ist, sind die Teilprobenmengen für einzelne Vergleichskategorien zu gering.

Kronenansprache im Sihlwald im Vergleich zum Kanton Zürich und der gesamten Schweiz

Der Vergleich von Daten aus zufallsverteilten Stichprobeflächen aus der Sanasilva-Inventur und der Waldschadenerhebung des Kantons Zürich 1987 mit unseren ausgewählten Probenflächen ist nur beschränkt möglich. Dennoch

ergeben sich gewisse Anhaltspunkte. Die Tannen zeigen überall etwa ähnliche Werte. Die Buchen vom Sihlwald sind schlechter belaubt als in den Vergleichsgebieten, Eschen und Fichten zeigen eher bessere Verhältnisse an (*Tabelle 6*).

Tabelle 6. Vergleich des Nadel- bzw. Blattverlustes 1987 von Buchen, Eschen, Fichten und Tannen der vorliegenden Untersuchung mit jenen der Sanasilva-Waldschadenerhebungen des Kantons Zürich und der gesamten Schweiz (Angaben in Prozent).

<i>Baumart</i>	<i>Verlust</i>	<i>Sihlwald</i>	<i>Kanton Zürich</i>	<i>Schweiz</i>
Buche n = 75	0–10%	32	43	41
	15–25%	49	45	42
	>30%	19	12	17
Esche n = 58	0–10%	64	43	50
	15–25%	34	45	45
	>30%	2	12	5
Fichte n = 89	0–10%	73	48	48
	15–25%	21	44	39
	>30%	6	8	13
Tanne n = 24	0–10%	29	32	39
	15–25%	46	45	43
	>30%	25	23	18

Jahrringbreitenentwicklung

Buchen und Eschen der Blattverluststufen 1 und 2 leisten gleichviel Jahrringbreitenzuwachs wie die der Stufe 0. Unter den Probestämmen befinden sich allerdings keine ausgesprochen schütterten Kronen, was möglicherweise diese Zuwachsverhältnisse mitbedingt. Fichten der Nadelverluststufe 2 legten bereits seit Beginn der möglichen Vergleichsperiode, das heisst seit 1900 20 bis 30% schmalere Jahrringe an als die übrigen.

Alle Tannen zeigten bis 1956 ähnliche Jahrringbreiten. Ab diesem Zeitpunkt erfolgten Zuwachseinbrüche. Tannen der Nadelverluststufe 2 lagen seither deutlich (bis 40%) unter dem Zuwachsniveau derjenigen der Nadelverluststufe 0. Die Tannen der Nadelverluststufe 1 zeigten ab 1956 ebenfalls Zuwachseinbussen bis 30%, erholten sich aber nach etwa 20 Jahren reduzierten Wachstums grösstenteils wieder und leisteten in den letzten 12 Jahren wieder ähnlich viel Zuwachs wie jene der Nadelverluststufe 0.

Sensitivität der Jahrringbreitenkurven

Bäume mit höherem Blatt- bzw. Nadelverlust haben — bei gleichem Baumalter und seit Beginn der möglichen Vergleichsperiode (ab 1900) — sensitivere Kurvenverläufe als solche mit geringerem Blatt- bzw. Nadelverlust. Dieser Zusammenhang gilt zwar für alle vier Arten, kann aber aufgrund des geringen Probenmaterials nicht als statistisch signifikant bewertet werden.

5. Diskussion

5.1 Längerfristige Entwicklungstendenzen der Jahrringbreiten

Buchen, Eschen und Fichten bildeten in den letzten zwei bis drei Jahrzehnten Jahrringe, die — bezogen auf das gleiche Baumalter — breiter oder gleich, niemals aber schmaler sind als frühere (siehe Kapitel 4.1 bis 4.3). Ebenso werden die Erwartungswerte, welche aufgrund des Alterstrends der Bäume errechnet werden, übertroffen. Diese Zuwachssteigerungen erfolgten nicht abrupt wie im Falle der Zuwachsreduktionen bzw. -erholungen bei den Tannen (*Abbildung 3*).

Ähnliche Beobachtungen werden von den verschiedenen Autoren im mitteleuropäischen Raum gemacht (*Pretzsch*, 1985 und 1986, *Franz* 1986, *Kenk* 1986, *Becker* 1987). Offenbar wirken hier weiträumig auftretende Faktoren. In Frage kommen Faktoren, die sich im Laufe der Zeit systematisch verändern und weiträumig auf verschiedensten Standorten den gleichen Einfluss auf den Zuwachsverlauf von verschiedenen Baumarten haben.

Klimaeinflüsse

Witterungseinflüsse und Klimaveränderungen können aus folgenden Überlegungen für das Sihltal ausgeschlossen werden:

- Die für diese Studie mit Hilfe der multiplen linearen Regression als jahrringbreitenbestimmend erkannten Witterungseinflüsse können die Jahrringbreitenzunahmen in den letzten Jahrzehnten nicht erklären, der positive Trend bleibt in den Residuen erhalten.
- Je nach Standort und Baumart würde eine Veränderung der Witterung in einer bestimmten Grundrichtung und über einen längeren Zeitraum auf die Jahrringbreitenentwicklung einen positiven oder negativen Einfluss nehmen. Beispielsweise profitieren Buchen auf Standorten, wie wir sie im Sihlwald untersuchen, eher von warmen und trockenen Perioden, während Eschen und Fichten gleichzeitig mit verringertem Zuwachs reagieren.

Die Witterung dürfte deshalb nur eine sekundäre Rolle spielen, indem sie als kurzfristiger Auslöser für Veränderungen im Zuwachsverhalten von Bäumen verantwortlich ist.

Düngungshypothese

Wie in vielen anderen Gebieten Mitteleuropas liess die Streunutzung auch im Sihlwald gegen Ende des 19. Jahrhunderts nach. Die durch Streunutzung verarmten Waldböden konnten sich regenerieren. Dies kann auf die Jahrringbreiten- und Höhenentwicklung der Bäume einen steigernden Einfluss — ähnlich einer Düngung — haben.

Zudem können einzelne Immissionskomponenten (Stickstoff) auch eine zunächst wachstumssteigernde Wirkung auf Pflanzen haben. Bei höheren Konzentrationen wirken jene aber als Gifte.

Nebst einer Jahrringbreitenzunahme würde sich bei Zutreffen dieser Ursachen auch das Höhenwachstum der Bäume steigern (Bonitätssteigerung, Veränderung der Standortbedingungen, Ellenberg, 1985; *Eichkorn*, 1986; *Kuhn et al.*, 1987).

Bewirtschaftungshypothese

Heute werden in weiten Gebieten die Wälder (inklusive Sihlwald, aufgrund forstgeschichtlicher Hinweise) stärker durchforstet als um die Jahrhundertwende. Der Standraum der Bäume wird grösser (Konkurrenzdruck geringer) und die Jahrringe deshalb breiter. Eine Bonitätsverbesserung findet dabei nicht statt, und der Höhenzuwachs der Bäume bleibt gegenüber früher gleich oder verringert sich eher (mündliche Mitteilung von W. Keller). Überdies ist infolge des festgestellten ausgeprägten Jugendwachstums nach *Leibundgut* (1971, 1981) mit einer früheren Alterung zu rechnen.

Überprüfung der Düngungs- und der Bewirtschaftungshypothese

Heute liegen noch keine geeigneten Felddaten zur Überprüfung der beiden Hypothesen für den Sihlwald vor.

Die Hypothesen wären mit einer ergänzenden Studie über die Höhenentwicklung der Bäume im Sihlwald überprüfbar. Wichtige Informationen zu diesen Fragestellungen sind auch aus den nächsten Erhebungen in den ertragskundlichen Dauerbeobachtungsflächen der WSL im Sihlwald zu erwarten. Es ergeben sich Daten über die flächenbezogenen Zuwachsleistungen unterschiedlich behandelter Bestände seit der Jahrhundertwende, insbesondere über die Entwicklung in den letzten Jahrzehnten (die letzte Erhebung erfolgte 1979).

5.2 Sonderfall Tanne

Wie in vielen anderen Gegenden der Schweiz und des benachbarten Auslands sind auch im Sihlwald die Tannen von abrupten Zuwachseinbussen betroffen, die vor allem im Winterfrostjahr 1956 ausgelöst wurden. Diese Reduktionen der Jahrringbreiten, im Extremfall mit Jahrringausfällen gekoppelt, sind Ausdruck eines deutlichen Zuwachsverlustes.

Die einen Individuen reagierten im «Auslöserjahr» 1956 mit der Ausbildung eines Weiserjahres und wuchsen danach ohne grosse Zuwachsreduktionen weiter. Diese in der Folge am besten wachsenden Tannen erreichen im Sihlwald Zuwachswerte, die – auf das gleiche Markalter bezogen – 30 bis 40%

unter denjenigen von früher liegen. Offenbar liegt eine kontinuierliche Schwächung vor.

Andere Individuen blieben nach 1956 auf einem niedrigen Zuwachsniveau. Gewisse Exemplare konnten sich in den letzten Jahren (vor allem seit 1981) erholen und weisen heute wieder gleiche Ringbreiten auf wie diejenigen Tannen, die keine längerdauernden Zuwachsreduktionen zeigten. Dies kann auch als Folge der forstlichen Tätigkeit interpretiert werden: die durch Stress-Situationen veränderten Konkurrenzverhältnisse (*Schöpfer*, 1987) führten zur Differenzierung im Kronenraum, geschädigte oder wenig vitale Exemplare wurden bei früheren Zwangsnutzungen entfernt, die vitaleren bilden das heutige Teilkollektiv.

Tannen sind stark SO_2 -empfindlich (*Keller*, 1984); SO_2 kann die Frosthärte beeinflussen. Inwieweit die Zuwachsreduktionen und die teilweisen raschen Erholungen, welche zeitlich analog zur SO_2 -Entwicklung für städtische Gebiete (*EDI*/ 1984) verliefen, mit der Immissions- und SO_2 -Belastung zusammenhängen, muss offen bleiben, da entsprechende Luftmessungen im Sihlwald fehlen.

Die Ursachen des weitverbreiteten Tannensterbens sind bisher noch nicht geklärt und können im Rahmen dieser Studie nicht näher ergründet werden.

5.3 Interpretation nach Nadel- bzw. Blattverluststufen

Die Buchen, Eschen und Fichten der Blatt- bzw. Nadelverluststufen 1 und 2 reagierten bisher nicht mit Zuwachseinbussen. Aus der Sicht der Zuwachsentwicklung kann daher nicht bestätigt werden, dass diese Schadstufen bereits Anzeichen für eine generelle Schädigung darstellen.

Bei allen Arten weisen Bäume, die heute in die Nadelverluststufe 2 bzw. 1 fallen, seit jeher sensitivere Jahrringbreitenkurven auf als die der Nadelverluststufe 1 bzw. 0. Dieser Zusammenhang ist zwar statistisch nicht abgesichert, ist aber ein Hinweis darauf, dass diese «empfindlicheren» Bäume am schnellsten mit Nadel- bzw. Blattverlust auf veränderte Umweltbedingungen reagieren oder möglicherweise schon immer lichtere Kronen aufgewiesen haben.

Die Fichten der Nadelverluststufe 2 (über 25% Nadelverlust) zum Beispiel legten von Jugend an weit schmalere Jahrringbreiten an als die übrigen. Es handelt sich also nicht um eine Zuwachseinbusse im eigentlichen Sinne, die sich seit einer bestimmten Zeit manifestiert. Eine mögliche Erklärung ist, dass diese Fichten ein Kollektiv ungeeigneter Provenienz darstellen und auf den Standorten im Sihlwald nicht optimal gedeihen. Diese Bestände stammen möglicherweise von Auspflanzungen ehemaliger Landwirtschaftsflächen (*Krebs*, 1947; *Weisz*, 1924), was auch von der topographischen Lage her verständlich wäre.

Deutliche Zusammenhänge von Kronenbild und Jahrringzuwachs zeigen sich einzig bei der Tanne. Tannen mit über 25% Nadelverlust zeigten seit 1956 abrupte und anhaltende Zuwachseinbussen. Tannen mit 15 bis 25% Nadelver-

lust waren ebenfalls von Zuwachseinbussen betroffen, bilden heute aber wieder gleich breite Jahrringe wie ungeschädigte Tannen. Aus den Untersuchungen von Kontic und *Winkler-Seifert* (1987) ist bekannt, dass sich Erholungen bei Tannen – aber auch bei Fichten und Föhren – um rund fünf Jahre früher im Jahrringbild manifestieren als im Kronenzustand. Ob sich in unserem Falle die Kronen noch nicht ganz erholt haben oder ob es sich um eine erneute Schädigung handelt, bleibt fraglich, liegen die Erholungen durchschnittlich doch schon 12 Jahre zurück.

Bei den Laubbäumen sind diese Zusammenhänge noch unerforscht.

6. Folgerungen

Im Sihlwald ist für Fichte, Buche und Esche ein gleichbleibender oder leicht gesteigerter mittlerer Jahrringzuwachs am Einzelbaum ausgewiesen. In dieser Studie wurden keine Messungen des Baumhöhenwachstums vorgenommen, weshalb über eine allfällige Standortverbesserung in den letzten Jahrzehnten nichts ausgesagt werden kann. Wir gehen daher davon aus, dass hier wie in vielen anderen Untersuchungsgebieten die teilweise Zunahme der Jahrringbreiten vorwiegend durch die veränderte Bewirtschaftungsweise, durch Standraumvergrößerungen und Ablösung schädlicher Nebennutzungen bedingt ist. Es kann aber vorläufig nicht ausgeschlossen werden, dass dabei auch immissionsbedingte Düngungseffekte (zum Beispiel Stickstoffeinträge, erhöhte CO₂-Anteile) beteiligt sind, welche in geeigneter Art kleinräumliche Unterschiede bzw. Widersprüche im Kronen-/Zuwachsverhalten erklären würden. Eine Analyse der Nährstoffversorgung oder pflanzensoziologische Langzeitvergleiche müssen hier Klarheit verschaffen. Dies bedingt jedoch umfangreiche, intensive Zeitreihenanalysen.

Wie lange die Zuwachsverbesserungen noch anhalten, ist aufgrund der vorliegenden Resultate nicht abschätzbar. Vorzeitige Alterung, «Zuwachs-Erschöpfung» (Leibundgut, 1981) oder massive Waldschäden können auch unvermittelt auftreten. Es ist aus Untersuchungen von Z'Graggen (1986) bekannt, dass Buchen eine hohe Resistenz gegenüber unterschiedlichen Stressfaktoren haben und offenbar infolge einer Komplexkrankheit innerhalb kurzer Zeit absterben.

Aufgrund dieser Unsicherheiten bezüglich Störungen des ökologischen Gleichgewichts sind auch im Sihlwald weitere gezielte Beobachtungen und Untersuchungen durchzuführen, welche auch andere Vitalitätsmerkmale der Bäume berücksichtigen. Einerseits ist dabei an die Entwicklung der Höhentriebe, der Ast-Jahrestriebe, der Jahrringbreiten in verschiedenen Stammabschnitten und der Verzweigungsmuster sowie an die periodische Überprüfung der Holzqualität auch junger Bäume zu denken. Das entsprechende

Probenmaterial liesse sich am ehesten im Rahmen von Durchforstungen gewinnen. Andererseits sollte auch die Rhizosphäre intensiv untersucht werden.

Weitere Untersuchungen der Zuwachs-Sensitivität sollen zeigen, ob Bäume mit gegenwärtig grossem Blatt- oder Nadelverlust von jeher empfindlicher auf Umwelteinflüsse reagierten, inwieweit die Schadstufen auch natürlicherweise auftreten. Solche Untersuchungen erfordern sehr viel Probenmaterial und sollten deshalb koordiniert in nationalem Rahmen durchgeführt werden.

Im Hinblick auf eine Realisierung des «Konzeptes Naturlandschaft Sihlwald» weisen wir darauf hin, dass die Tanne — trotz gewisser Erholungserscheinungen — gefährdet ist. Alte und mittelalte Tannen sind geschädigt und sterben teilweise ab; die jüngste Generation fehlte praktisch im Untersuchungsgebiet. Es sollte daher abgeklärt werden, ob diese ökologisch wichtige Baumart im Sihlwald gefördert und vermehrt aufgezogen werden soll. Dies um so mehr, als sie teilweise zur herkömmlichen und natürlichen Baumartenzusammensetzung gehört (*Milio-Fagetum*: ZH, 1988; Etter, 1947; Brockmann-Jerosch, 1910).

Résumé

Etude d'analyse des cernes dans le Sihlwald

Extraite du vaste complexe des réactions possibles de l'environnement sur l'arbre forestier, cette étude est une recherche sur l'accroissement du cerne, en corrélation avec l'état du houppier.

Nous avons comparé l'accroissement du cerne de diverses essences, appartenant à différentes classes d'âges, mais dont l'âge cambial reste le même. La courbe d'accroissement du sapin accuse de brusques chutes depuis 1956. Le hêtre, le frêne et l'épicéa ont tendance à former de plus larges cernes ces dernières décennies. Ce sont les arbres de la jeune génération qui forment les cernes les plus larges.

Les différences d'accroissement, observées en connexion avec les taux de défoliation du houppier, du feuillu ou du résineux, sont décrites ici de manière détaillée. Le hêtre et le frêne indiquent un accroissement identique, quel que soit leur taux de défoliation. Les épicéas, le sapin surtout, présentent un accroissement moyen plus bas lorsque leur houppier est éclairci.

Traduction: M. Dousse

Die folgenden Personen haben zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen: Jürg Hessel (Projektgestaltung, wissenschaftliche Beratung), Michael Barnett (Feldarbeiten), Mitarbeiter des Staatsarchives des Kantons Zürich, des Stadtarchives und des Stadtforstamtes Zürich (Materialausleihe, Beratung), Mitarbeiter der WSL (Beratung, Reviews). Die Autoren danken für diese Beiträge.

Literatur

- Becker, M., 1987: Bilan de santé actuel et rétrospectif du sapin (*Abies alba* Mill.) dans les Vosges. Etude écologique et dendrochronologique. Ann. Sci. For. 44, 4: 379–402.
- Bräker, O. U., Z'Graggen, S., 1987: Sanasilva-Waldschadenbericht 1987. Eidg. Anst. forstl. Versuchsw. Birmensdorf.
- Brockmann-Jerosch, H. u. M., 1910: Die natürlichen Wälder der Schweiz. Berichte der Schweiz. Bot. Gesellschaft, Heft XIX, 171–224.
- Cropper, J. Ph., 1979: Tree-ring skeleton plotting by computer. Tree-ring Bulletin 39, 47–59.
- Didier, G., 1988: Etude dendroécologique du dépérissement du sapin (*Abies alba* Mill.) dans le Jura. Mémoire de Diplôme d'Etudes Approfondies en Biologie Végétale et Forestière, Université de Nancy I.
- Duc, Ph., 1986: Zwischenbericht Buchenuntersuchung Bois Clos. Bericht zuhanden Forstkreis Orbe, unpubliziert.
- EAFV/Projekt 334.85.1, 1985: Untersuchungen zur Wasserstresshypothese der Waldschäden im Stadtwald von Liestal. Manuskript in Arbeit.
- EDI/ Eidg. Dept. des Innern: Waldsterben und Luftverschmutzung. Bern 1984.
- Eichkorn, Th., 1986: Wachstumsanalysen an Fichten in Südwestdeutschland. Allg. Forst- u. J.-Ztg. 157, 7: 125–139.
- Ellenberg, H., Klötzli, F., 1972: Waldgesellschaften und Waldstandorte der Schweiz. Eidg. Anst. forstl. Versuchsw. Birmensdorf, Mitt. 48: 589–930.
- Ellenberg, H., 1985: Veränderungen der Flora Mitteleuropas unter dem Einfluss von Düngung und Immissionen. Schweiz. Z. Forstwes. 136, 1: 19–39.
- Etter, H., 1947: Vegetationskarte des Sihlwaldes der Stadt Zürich. Beiheft Schweiz. Z. Forstwes., 24.
- Franz, F., Reuschler, T., Röhle, H., 1986: Vitalitätsmerkmale und Zuwachsreaktionen erkrankter Bergwaldbestände im bayerischen Alpenraum. Allg. Forstz. 39.
- Hartmann, Ph., Schneider, O., Petter, D. A., Schlaepfer, R., 1987: Etude des relations, chez l'épicéa, entre la largeur du cerne et l'état de la cime. Schweiz. Z. Forstwes. 138, 11: 923–943.
- Keller, Th., 1984: Die Auswirkungen von Immissionen auf Waldbäume. Eidg. Anst. forstl. Versuchsw. Birmensdorf, Ber. 255.
- Kenk, G., 1986: Wachstumsanalysen im Zusammenhang mit den gegenwärtigen Waldschäden: Ergebnisse und Folgerungen für Nadelbaumbestände in Baden-Württemberg. DVFFA Sektion Ertragskunde, Ber. über die Tagung 12.–14. Mai 1986: 10/1–10/14.
- Kienast, F., 1982: Jahrringanalytische Untersuchungen in immissionsgefährdeten Waldschadengebieten des Walliser Rhonetales. Geographica Helvetica 37, 3: 143–148.
- Kontic, R., Niederer, M., Nippel, C.-A., Winkler-Seifert, A., 1986: Jahrringanalysen an Nadelbäumen zur Darstellung und Interpretation von Waldschäden (Wallis, Schweiz). Eidg. Anst. forstl. Versuchsw. Birmensdorf, Ber. 283.
- Kontic, R., Winkler-Seifert, A., 1987: Comparative studies on the annual ring pattern and crown condition of conifers (The Valais, Switzerland). In: Proceedings of the International Symposium on Ecological Aspects of Tree-Ring Analysis, 1986. Tarrytown, New York.
- Krebs, E., 1947: Die Waldungen der Albis- und Zimmerbergkette. Kommissionsverlag Winterthur.
- Kuhn, N., Amiet, R., Hufschmid, N., 1987: Veränderungen in der Waldvegetation der Schweiz infolge Nährstoffanreicherungen aus der Atmosphäre. Allg. Forst- u. J.-Ztg. 158, 5/6: 77–84.
- LaMarche, V. C., Fritts, H. C., 1972: Tree-rings and sunspot numbers. Tree-Ring Bulletin 32, 19–33.
- Leibundgut, H., 1981: Die natürliche Waldverjüngung. Paul Haupt, Bern.

- Leibundgut, H., Auer, C., Wieland, C.*, 1971: Ergebnisse von Durchforstungsversuchen 1930–1965 im Sihlwald. Eidg. Anst. forstl. Versuchsw. Birmensdorf, Mitt. 47.
- Lenz, O., Nogler, P., Bräker, O.U.*, 1988: L'évolution du temps et le dépérissement du Sapin blanc dans la région de Berne. Eidg. Anst. forstl. Versuchsw. Birmensdorf, Ber. 303.
- Pollanschütz, J.*, 1966: Verfahren zur objektiven «Abschätzung» (Messung) verminderter Zuwachseleistungen von Einzelbäumen und Beständen. Mitt. der Forstl. Bundesversuchsanstalt Maria-brunn 73, 129–163.
- Pretzsch, H.*, 1985: Wachstumsmerkmale süddeutscher Kiefernbestände in den letzten 25 Jahren. Forstliche Forschungsberichte München, Nr. 65.
- Pretzsch, H.*, 1986: Rahmenbedingungen zur Formulierung von «Referenz-Zuwachskurven» für Kiefernbestände in der Oberpfalz. DVFFA Sektion Ertragskunde, Ber. über die Tagung 12.–14 Mai 1986: 5/1–5/20.
- Schmid-Haas, P.*, 1987: Inventur und Überwachung des Gesundheitszustandes des Waldes. Schweiz. Z. Forstwes. 138, 10: 837–853.
- Schmid-Haas, P.*, 1985: Der Gesundheitszustand des Schweizer Waldes 1984. Schweiz. Z. Forstwes. 136, 4: 251–273.
- Schmid-Haas, P., Masumy, S.A., Niederer, M., Schweingruber, F.H.*, 1986: Zuwachs- und Kronenanalysen an geschwächten Tannen. Schweiz. Z. Forstwes. 137, 10: 811–832.
- Schöpfer, W., Hradezky, J.*, 1986: Zuwachsrückgang in erkrankten Fichten- und Tannenbeständen; Auswertungsmethoden und Ergebnisse. Forstw. Cbl. 105, 6: 446–470.
- Schöpfer, W.*, 1987: Zur Problematik eines grossräumigen Zuwachsrückganges in erkrankten Fichten- und Tannenbeständen Süddeutschlands. Der Forst- und Holzwirt 18: 487–493.
- Schweingruber, F. H., Kontic, R., Winkler-Seifert, A.*, 1983: Eine jahrringanalytische Studie zum Nadelbaumsterben in der Schweiz. Eidg. Anst. forstl. Versuchsw. Birmensdorf, Ber. 253.
- Schweingruber, F. H.*, 1983: Der Jahrring. Verlag Paul Haupt, Bern.
- VD/Canton de Vaud (edit.)*, 1987: Le Dépérissement des Forêts. Etudes des cernes. Service cantonale des Forêts et de la Faune, Lausanne, 22–25.
- Weisz, L.*, 1924: Studien zur Geschichte der Zürcher Stadtwaldungen. Berichthaus Zürich.
- Weisz, L., Grossmann, H., Krebs, E., Ritzler, K., Oldani, C.*, 1983: 650 Jahre Zürcherische Forstgeschichte. Berichthaus Zürich.
- Z'Graggen, S.*, 1986: Die Buchenrindennekrose in Basel und Umgebung. Schweiz. Z. Forstwes. 137, 9: 761–776.,
- ZH/Kanton Zürich, Oberforstamt (OFA, ARP, Hrsg.)*, 1988: Vegetationskundliche Kartierung der Wälder im Kanton Zürich. Leitung und Ausführung: BGU, Zürich.