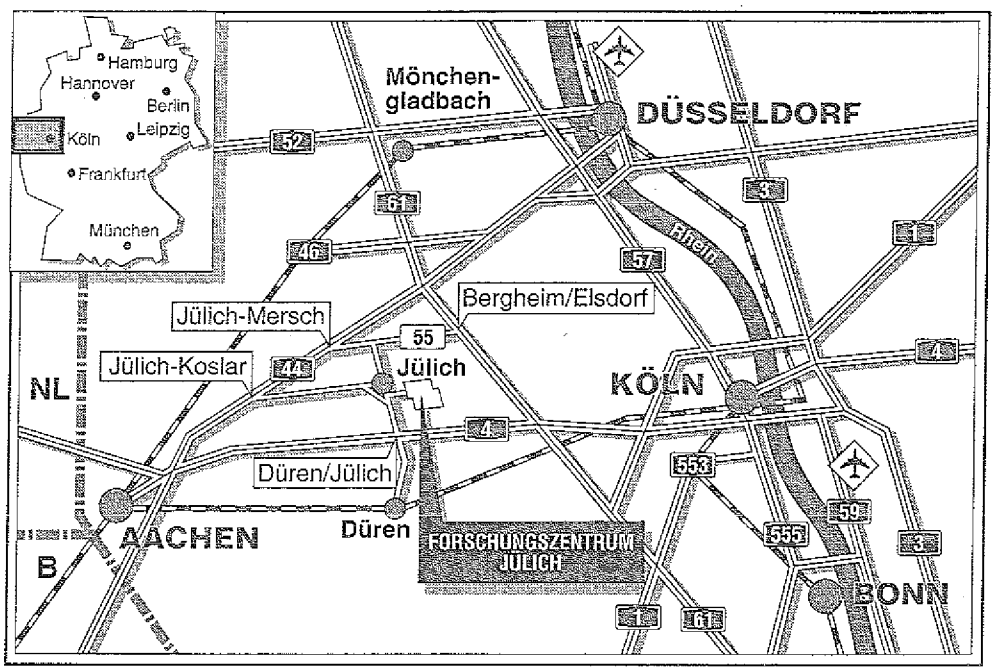
FORSCHUNGSZENTRUM JÜLICH GmbH

Institut für Chemie und Dynamik der Geosphäre 4:
Erdöl und Organische Geochemie

Umweltrelevanz von $\delta^{13}C$-Klimakorrelationen an Jahrringen rezenter Kiefern *(Pinus silvestris L.)*

Andreas G. Hemmann



Berichte des Forschungszentrums Jülich ; 2805
ISSN 0944-2952
Institut für Chemie und Dynamik der Geosphäre 4:
Erdöl und Organische Geochemie Jül-2805
D 38 (Diss. Univ. Köln)

Zu beziehen durch: Forschungszentrum Jülich GmbH · Zentralbibliothek
D-52425 Jülich · Bundesrepublik Deutschland
Telefon: 02461/61-6102 · Telefax: 02461/61-6103 · Telex: 833556-70 kfa d

Umweltrelevanz von $\delta^{13}C$-Klimakorrelationen an Jahrringen rezenter Kiefern *(Pinus silvestris L.)*

Andreas G. Hemmann

Inhaltsverzeichnis

1 Einführung

Klimaveränderungen und Waldsterben sind zwei Forschungsthemen, die seit Anfang der 80er Jahre besonders im öffentlichen Interesse stehen. Obwohl daraufhin verstärkter Forschungsaufwand betrieben wurde, gibt es noch immer viele ungeklärte Fragen. In dieser Arbeit wird versucht, mit einer modernen Untersuchungsmethode über die Verteilung stabiler Kohlenstoffisotope in Jahrringen von Bäumen, Befunde beizusteuern, die weiterhelfen, einen Teil der offenen Fragen zum Waldsterben und zur Klimaentwicklung zu beantworten.

Bei den aktuellen Waldschäden handelt es sich um das Zusammenspiel mehrerer Faktoren. Dabei sind anhaltende Fernimmissionen, also Luftschadstoffe, die über mehrere hundert Kilometer transportiert und dabei verdünnt, umgewandelt und deponiert werden wohl der Hauptfaktor. Im Verein mit Witterungsextremen, Mangelerscheinungen und toxischen Schadstoffkonzentrationen resultieren daraus die sogenannten neuartigen Waldschäden und das Waldsterben. Nach derzeitigem wissenschaftlichen Kenntisstand verlieren die Ökosysteme beim Waldsterben die Fähigkeit zur Regeneration. Am Nadelbaum sind die Symptome der neuartigen Waldschäden Entnadelung, Vergilbung und Zuwachsminderung. Über die Ursache-Wirkungs-Mechanismen dieser Symptome herrscht noch weitgehend Unklarheit. Auch die Verknüpfung von Einzelindividuum und Ökosystem ist mit Ungewißheit behaftet. Was die Dynamik des Waldsterbens betrifft, so liegen exakte Daten durch die Waldschadenserhebungen ab 1984 vor. Für frühere Zeiträume ist man auf Abschätzungen angewiesen. Befunde für derartige retrospektive Betrachtungen will diese Arbeit liefern.

Der paläoklimatische Ansatz dieser Arbeit basiert auf der Annahme, daß die in den Jahrringen eingebaute Zellulose gewisse Klima- und Umweltverhältnisse des Bildungsjahres widerspiegeln. Dieses Vorgehen ist in der terrestrischen Paläoklimatologie gebräuchlich. Insbesondere ermöglichen die Jahrringe auch genaue Datierungen, so daß Klimaveränderungen in hoher zeitlicher Auflösung dokumentiert werden.
Bäume gemäßigter klimatischer Breiten bilden in ihrer Vegetationsphase einen Jahrring. Die Ausbildungsweisen sind artlich differenziert, aber deutlich aus Wechselbeziehungen mit Umweltfaktoren biotischer und abiotischer Art geprägt. Viele dieser Einwirkungen sind langfristig konstant, unterliegen jedoch klimatischen Schwankungen. Letzteres schlägt sich in den Verschiebungen der Kohlenstoffisotopenverhältnisse nieder. Liegen auf Grund von Klimabeobachtungen absolute Klimadaten für Abschnitte des Baumlebens vor, so lassen sich diese mit den Jahrringen vergleichen. Dabei kann die Hypothese der Klima-Jahrring-Prägung verifiziert werden. Sind Klima und Jahrringausbildung korrelierbar können über die ermittelten Klimasignale mit alten Bäumen ehemalige Klimaabschnitte extrapoliert werden. Solche Klimasignale beschreiben den Gesamteffekt von Temperatur, Niederschlag, Feuchte, Wind, Lichtstärke und atmosphärischer Zustände, die allerdings unterschiedlich stark gewichtet sind. Wenn es dominierende oder limitierende Klimafaktoren gibt, kann

eine weitere exakte Auflösung des Klimasignals erfolgen. Eine Beschreibung des Klimaganges ist in jedem Falle möglich.

Die Ziele der Untersuchungen waren im Einzelnen:

- Beschreibung von Baumwuchs unter den Aspekten der Jahrringbreiten, der eingebauten Metallkonzentrationen, der Kohlenstoffisotopenverhältnisse in der Zellulose und des jährlichen Klimas.
- Korrelierung der biologischen, ökologischen und klimatischen Veränderungen während des Baumlebens.
- Nachweis der Klimasensitivität vorgegebner Bäume anhand von $\delta^{13}C$-Werten der Jahrringzellulose.
- Bilanzierung und retrospektive Datierung von Waldschäden bei Vergleich der Schadklassen 0 und 3, sowie individueller Variationen im Probenkollektiv.

Die Versuchsplanung umfaßte folgende Bearbeitungsschritte:

- Bestimmung und Untersuchung eines für dendrochronologische und isotopenphysikalische Befunde repräsentativen Probenkollektivs.
- Aufzeigen von Defiziten und/oder toxischen Kationenkonzentrationen in den Jahrringen.
- Definition eines relevanten Klimasignals aus den verschiedenen Parametern.
- Korrelation der ökologischen, klimatischen und pathologischen Befunde.

2 Material und Standort

Das Untersuchungsmaterial bestand aus 30 Kiefern (*Pinus silvestris* L.), die an 3 Terminen im September 1986 aus einem 95-jährigen Kiefern-Reinbestand geschlagen wurden. Anschließend wurden Stammscheiben der Höhen 0,3m, 1,3m, 3m, 6m, 12m und 18m entnommen. Insgesamt standen somit 180 Baumscheiben als Probenmaterial zur Verfügung. Alle Bäume hatten eine herrschende oder mitherrschende Stellung im Bestand. 15 Bäume gehörten der Schadstufe 0 an, waren demnach optisch schadsymptomfrei. Daneben wurden 15 Bäume der Schadstufe 3 (stark geschädigt) ausgewählt. Die Klassifizierung der Schadstufen (0-4) erfolgt nach Benadelungsgüte und Kronendichte. Der Beurteilungsschlüssel (Hartmann 1984) weist für Kiefern der Schadstufe 3 einen Nadelverlust von über 60% aus, bei nur noch einem Nadeljahrgang sowie bereits toten Zweigen und Ästen. Die Auswahl und Schadstufenklassifizierung der Probebäume wurde vom Institut für Forstbenutzung der Universität Göttingen in Zusammenarbeit mit den Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt vorgenommen.
Im Rahmen eines Projektes des "Forschungszentrums Waldökosysteme" der Universität Göttingen wurden Untersuchungen zu anatomischen, physikalischen und mechanisch-technologischen Eigenschaften des Holzes vorgenommen. Begleitende Begutachtungen zur Bodenkunde, zum Waldbau, zur Ertragskunde und zur Forstbotanik wurden ebenfalls durchgeführt. Nach Abschluß dieser Untersuchungen wurden die 180 Baumscheiben dankenswerterweise für die Weiterbearbeitung zur Verfügung gestellt.

Die Kiefern entstammen einem Bestand des Forstamtes Wienhausen (Abt. 247b). Wienhausen liegt im ostniedersächsischen Tiefland am Südrand der Lüneburger Heide, 10km östlich von Celle. Die Bestandsfläche ist 5,4ha groß, liegt 68m über NN hoch und ist durch ein flaches Relief charakterisiert. An forstlichen Maßnahmen sind eine Altdurchforstung (1977) und ein Sammelhieb (1979) bekannt.
Geologisch gesehen stockt der Bestand auf pleistozänen Geschiebesanden des Aller-Urstromtals auf. Die Ablagerungszeit wird mit dem Warthe-Stadium der Saale-Vereisung angegeben. Die Bodenart ist sandig und der Bodentyp podsolige Braunerde und Podsol. Der Unterboden ist teilweise pseudovergleyt.
Die nächste offizielle meteorologische Station befindet sich in Celle. Bei einer mittleren Jahrestemperatur von 8,7°C und 676mm jährlicher Niederschlagssumme kann das Klima als relativ trocken, leicht kontinental beschrieben werden. Die Forstliche Vegetationszeit (Tage über 10°C) dauert 158 Tage. Der Eintrag von Luftschadstoffen muß Fernimmissionen zugeschrieben werden. In diesem Zusammenhang könnte insbesondere das mitteldeutsche Braunkohlerevier als Emittent eine Rolle spielen.
Insgesamt ergeben sich aus diesen Standortfaktoren für die Kiefer, die ein breites physiologisch-ökologisches Standortspektrum hat, geeignete Bedingungen, die keine Wuchsbeeinträchtigungen erwarten lassen.

3 Dendrochronologie

3.1 Allgemeines

Die jahresperiodischen Zyklen im sekundären Dickenwachstum von Bäumen gemäßigter und subborealer Klimabreiten führen zur Jahrringbildung. Die Dendrochronologie befaßt sich mit der Ausbildungsweise dieser Jahrringe. Die Jahrringe erlauben einerseits Rückschlüsse auf Klima-, Standort- und Umweltfaktoren, andererseits dienen sie der absoluten Datierung. Die absolute Datierung der Jahrringe bei rezenten Bäumen ist relativ unproblematisch, sofern man wie hier das Fällungsdatum kennt und mehrere Meßreihen von unterschiedlichen Bäumen zur Überprüfung heranziehen kann.

Das Ziel der dendrochronologischen Untersuchungen bestand in der Beantwortung folgender Fragen:

- Welche Bäume des Gesamtkollektivs sind repräsentativ und eignen sich für Isotopenuntersuchungen und Spurenelementbestimmungen?
- Wie sehen die Individualentwicklungen quantitativ und höhenabhängig aus?
- Unterscheiden sich die Schadstufen 0 und 3 systematisch?
- Wie können die Jahrringbreiten in Bezug auf ihre klimatische Korrelation und ihre paläoklimatische Aussagekraft hin beurteilt werden?

3.2 Probenmaterial und Probenanalyse

Für die dendrochronologischen Untersuchungen standen aus dem Probenkollektiv von je 15 ungeschädigten Kiefern (Schadstufe 0) und 15 geschädigten Kiefern (Schadstufe 3) 6 Stammscheiben der Höhen 0,3m, 1,3m, 3m, 6m, 12m und 18m zur Verfügung. Von 91 der insgesamt 180 Baumscheiben wurden die Jahrringbreiten bestimmt. Bei 5 Bäumen der Schadstufe 0 und 6 Bäumen der Schadstufe 3 wurden die Scheiben von allen 6 beprobten Höhen vermessen und ausgewertet.

Die dendrochronologischen Untersuchungen der Jahrringbreiten von Kiefernscheiben wurden mit einem Projectina-Auflichtmikroskop mit Meßtisch bei 20-facher Vergrößerung vorgenommen. Die Meßgenauigkeit beläuft sich auf $\pm 0{,}025$mm. Für die Mikroskopie mußten die meisten Scheibenoberflächen zuvor an- oder abgeschliffen werden. Die einzelnen Stammscheiben wurden dann jeweils in 4 Richtungen, entsprechend den 4 Himmelsrichtungen, ausgezählt und vermessen. Für die Auswertung wurde aus diesen 4 Meßreihen ein Mittelwert berechnet. Sämtliche dendrochronologische Daten sind im Anhang aufgeführt. Für histologische Untersuchungen wurden auch einige Schnittpräparate hergestellt.

3.3 Ergebnisse

Die dendrochronologische Untersuchung von 91 Baumscheiben ergab eine sehr große und unübersichtliche Menge von Roh- und Folgedaten. Daher müssen bei der Darstellung der Ergebnisse erhebliche Einschränkungen gemacht und auf charakterische Einzelbefunde bezogen werden. Die Ergebnisse sind in drei aufeinander aufbauende Stufen gegliedert. In der dritten Stufe, der Analyse der einzelnen Schadklassenkollektive ist die Vollständigkeit der Datenbasis wieder gegeben, da sich darauf die wesentlichen Beurteilungen der Befunde beziehen.

3.3.1 Analyse einer Einzelbaumscheibe

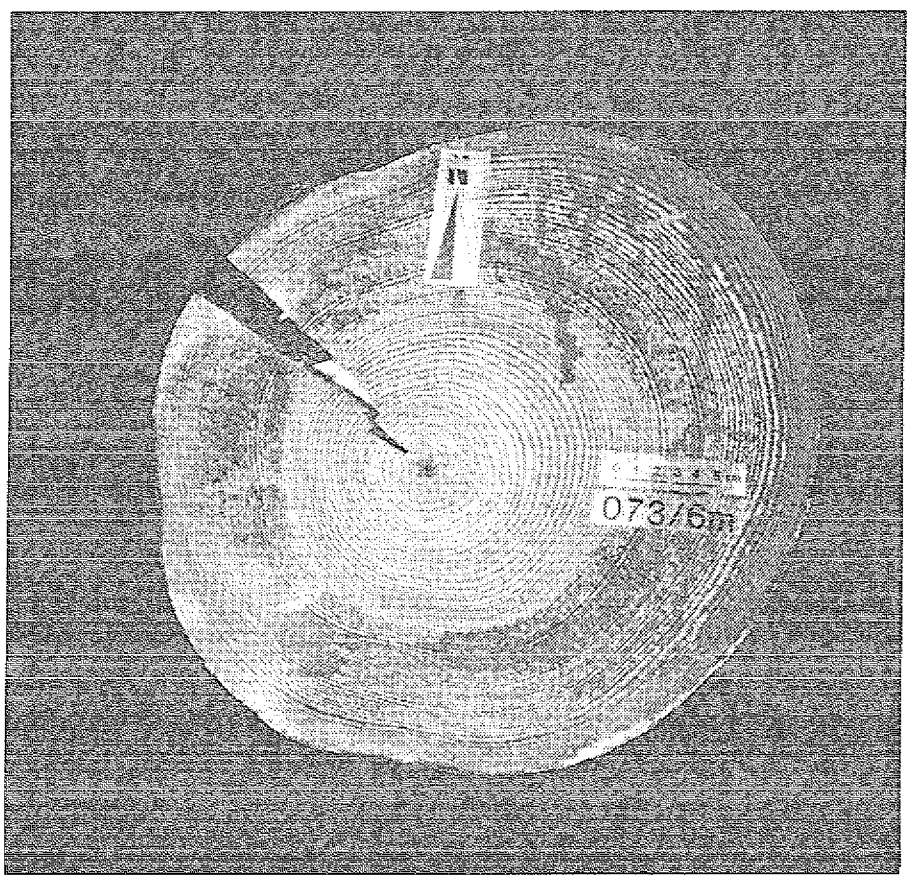


Abb. 1: Aufsichtsfoto der Baumscheibe 073 - 6m Höhe
Foto: W. Schulte

Zu Beginn der Analyse gibt ein Aufsichtsfoto (Querschnitt) einen Gesamteindruck von Form und Größe der Baumscheibe. Einzelne Scheiben weichen allerdings mehr oder weniger von der konzentrischen Idealform ab. Der Übergang vom hellgelben Splintholz mit Harzaustritten zum dunkleren Kernholz ist gut erkennbar. Auch die einzelnen Jahrringe he-

ben sich mit ihren schmalen, braunen Spätholzringen und den helleren Frühholzringen deutlich ab.
Nach Anfertigung von mikroskopischen Präparaten können die für Kiefern (*Pinus silvestris* L.) typischen holzanatomischen Merkmale gezeigt werden. Die folgenden Aufnahmen zeigen die drei taxonomisch wichtigen Schnittrichtungen: Querschnitt (Aufsicht), Tangentialschnitt und Radialschnitt.

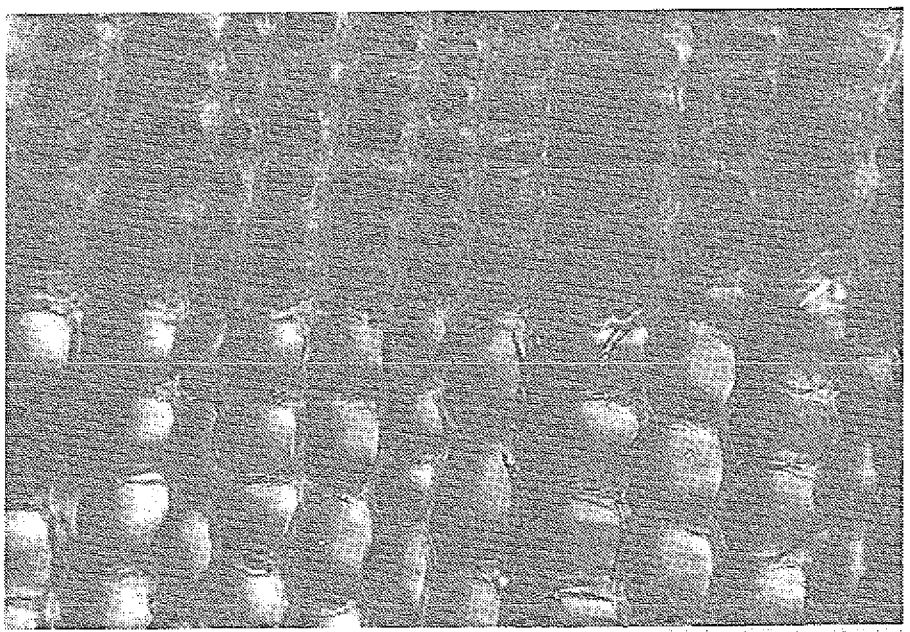


Abb. 2: Querschnitt von *Pinus silvestris* L.
Foto: J. Frielingsdorf (63-fache Vergrößerung)
Im Querschnitt sieht man beim Größenvergleich der Epithelzellen den scharfen Spätholz-Frühholzübergang.

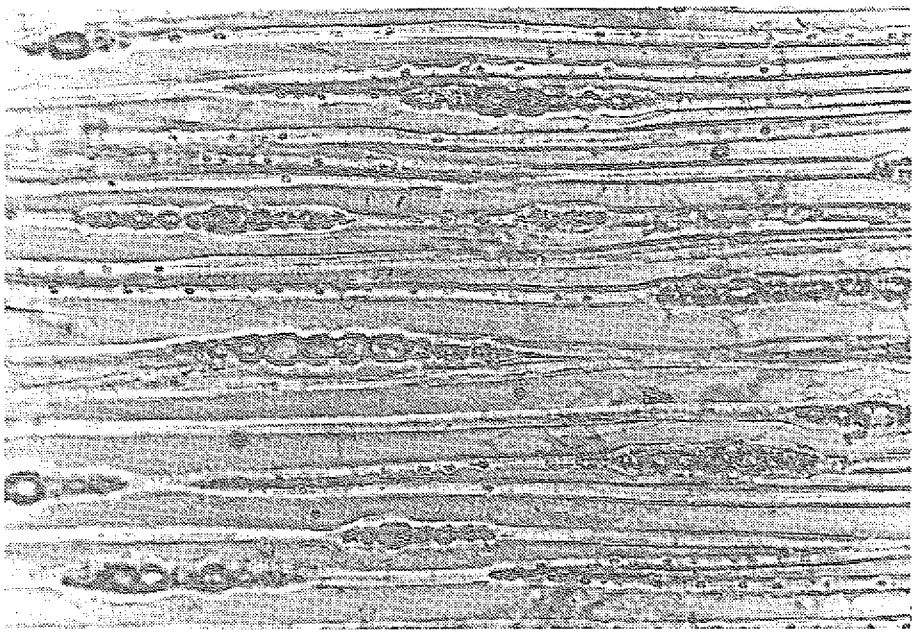


Abb. 3: Tangentialschnitt von *Pinus silvestris* L.
Foto: J. Frielingsdorf (160-fache Vergrößerung)
Diese Schnittrichtung zeigt die Markstrahlbündel mit jeweils 5-15 Zellreihen.

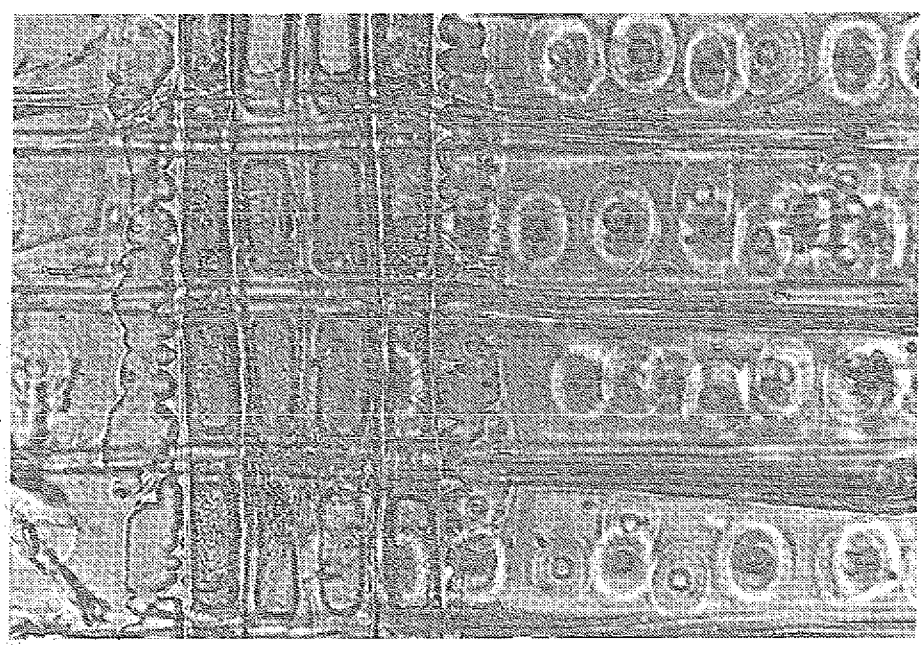


Abb. 4: Radialschnitt von *Pinus silvestris* L.
Foto: J. Frielingsdorf (400-fache Vergrößerung)
Im Kreuzfeld der Tracheiden (zackenförmige Wände) sind Hoftüpfel und Markstrahlen zu erkennen.

Die Auszählung und die Vermessung der Jahrringe ergibt für die betreffende Baumscheibe (Kiefer 073 6m Höhe) folgende Werte:

Tab. 1: Jahrringbreiten der Kiefer 073 6m ungeschädigt (mm * 100)

Jahr	Nord	Ost	Süd	West	MW	Jahr	Nord	Ost	Süd	West	MW
1910	369	339	324	326	339,50	1949	83	116	107	112	104,50
1911	314	325	332	472	360,75	1950	62	135	95	92	96,00
1912	518	380	462	379	434,75	1951	76	130	106	88	100,00
1913	349	412	366	371	374,50	1952	85	107	86	97	93,75
1914	456	450	484	475	466,25	1953	93	114	86	94	96,75
1915	322	371	418	389	375,00	1954	78	86	76	72	78,00
1916	311	348	416	397	368,00	1955	52	119	94	100	91,25
1917	253	359	291	249	288,00	1956	56	91	86	90	80,75
1918	271	442	321	358	348,00	1957	73	205	93	99	117,50
1919	329	346	309	282	316,50	1958	121	289	136	109	163,75
1920	340	441	307	260	337,00	1959	154	233	154	130	167,75
1921	265	320	251	241	269,25	1960	100	116	142	92	112,50
1922	402	460	285	283	357,50	1961	88	109	119	75	97,75
1923	321	403	331	287	335,50	1962	81	123	132	103	109,75
1924	387	393	351	245	344,00	1963	99	193	126	123	135,25
1925	379	440	366	328	378,25	1964	144	212	173	176	176,25
1926	342	391	354	271	339,50	1965	153	229	173	122	169,25
1927	309	393	314	194	302,50	1966	173	300	138	109	180,00
1928	350	452	194	244	310,00	1967	260	291	220	172	235,75
1929	275	359	249	175	264,50	1968	276	277	215	200	242,00
1930	187	267	226	180	215,00	1969	173	208	163	169	178,25
1931	93	179	102	101	118,75	1970	105	176	133	143	139,25
1932	139	235	88	128	147,50	1971	154	231	156	158	174,75
1933	226	329	172	187	228,50	1972	180	206	193	148	181,75
1934	150	216	115	144	156,25	1973	153	263	186	131	183,25
1935	113	165	66	121	116,25	1974	249	387	243	183	265,50
1936	116	178	87	122	125,75	1975	406	412	297	248	340,75
1937	150	197	155	143	161,25	1976	285	283	236	205	252,25
1938	169	150	160	170	162,25	1977	162	197	140	121	155,00
1939	207	233	195	202	209,25	1978	142	194	126	87	137,25
1940	165	174	163	125	156,75	1979	124	175	128	118	136,25
1941	140	152	121	106	129,75	1980	82	146	109	94	107,75
1942	131	155	138	103	131,75	1981	88	99	125	65	94,25
1943	139	202	154	134	157,25	1982	88	114	122	54	94,50
1944	156	170	182	160	167,00	1983	113	117	131	102	115,75
1945	244	296	289	231	265,00	1984	93	155	103	114	116,25
1946	251	290	200	197	234,50	1985	83	137	72	100	98,00
1947	162	147	122	147	144,50	1986	52	118	58	80	77,00
1948	101	103	108	131	110,75						

Aus dieser Auflistung ergeben sich folgende statistische Größen, die in Tabelle 2 als Überblick aufgeführt sind.

Tab. 2: Statistische Daten zu Kiefer 073 - 6m Höhe (Ringbreiten in mm)

	Gesamt	Nord	Ost	Süd	West
Schnittlänge	155,44	149,40	187,55	148,46	136,33
maximale Ringbreite		5,18	4,60	4,84	4,75
minimale Ringbreite		0,52	0,86	0,58	0,54
mittlere Ringbreite	2,02	1,94	2,44	1,93	1,77
erstes Jahr	1910				
letztes Jahr	1986				
Anzahl der Jahrringe	77				

In den folgenden graphischen Darstellungen (Abb. 5 und 6) ist zunächst das Gesamtintervall von 4 Radialschnitten mit dem Mittelwert aufgetragen auf daraufhin eine Teilsequenz von 20 Jahren ohne Mittelwerte.

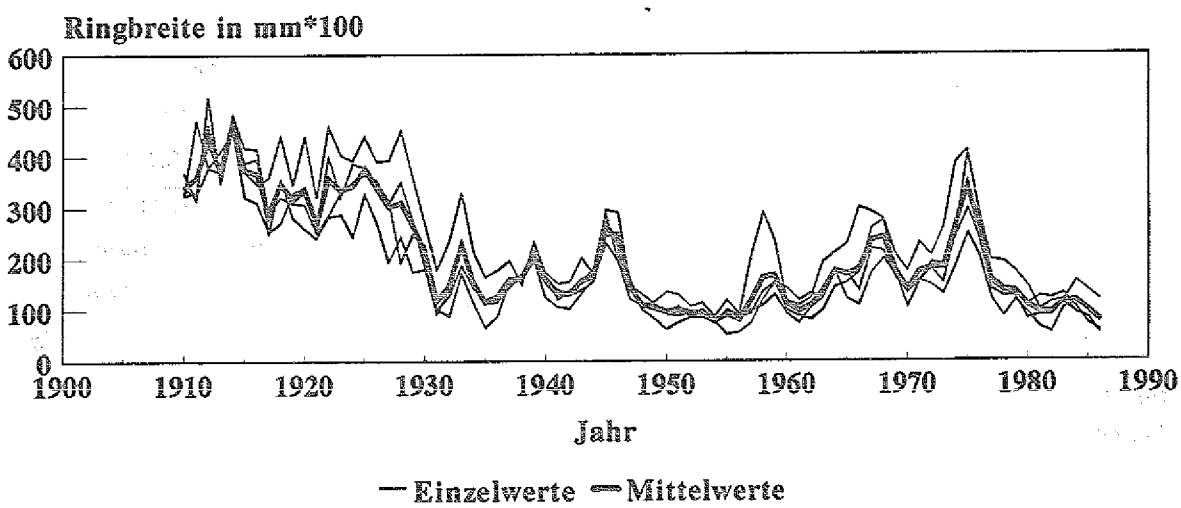


Abb. 5: Ringbreiten Baum 073 - 6m Höhe
Einzelwerte der 4 Schnittrichtungen und Mittelwerte

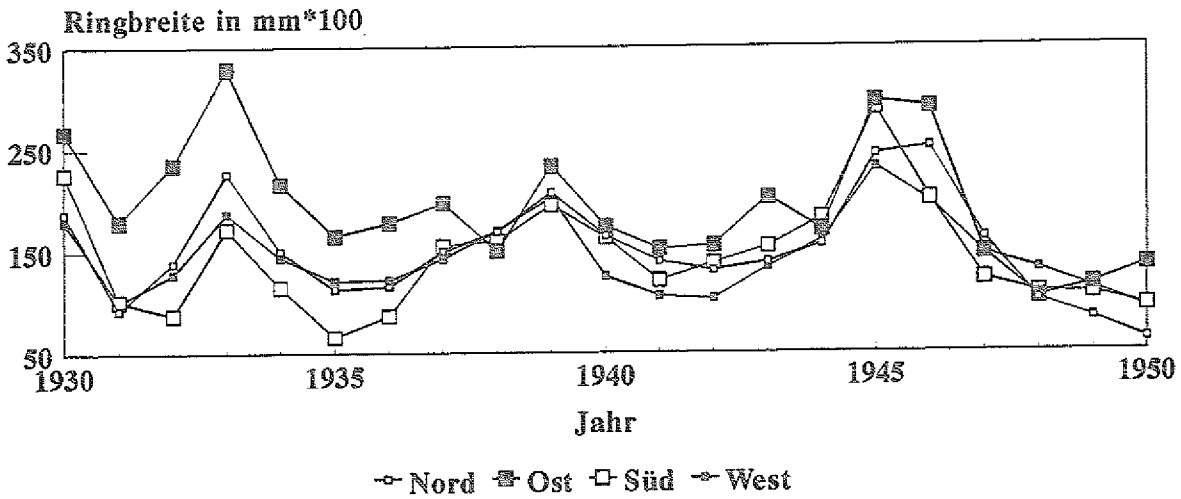


Abb. 6: Ringbreiten Baum 073 - 6m Höhe - Ausschnitt 1930 - 1950

Beim direkten Vergleich der vier Kurven wird der synchrone Verlauf deutlich. Damit wird eine Altersangabe überprüfbar und abgesichert. Auch die Gleichläufigkeit (die relative Änderung der Ringbreite zum Vorjahr) sowie die Sensitivität (die quantitative Änderung zum jeweiligen Vorjahr) spielt in diesem Zusammenhang eine Rolle. Im vorliegenden Beispiel der Kiefer 073 6m Höhe liegen die jeweiligen Kurvenniveaus teilweise auseinander (hohe Streuung), die Gleichläufigkeit ist dennoch über fast alle Teilintervalle gegeben.
Für den Gesamtverlauf der Mittelwerte ergeben sich Trends, wie der asymptotisch abnehmende Alterstrend. Daneben gibt es Klima- und Umwelttrends, die sich in Periodizitäten, aber auch in Unregelmäßigkeiten äußern können. Die dendrochronologische Analyse hat die Aufgabe, solche Trends durch Indexierung, Filterung und Korrelierung zu auszuweisen, aufzutrennen und anschließend für die gewünschte Modellierung zu entfernen. Hierdurch wird die Vergleichbarkeit und Korrelierbarkeit unterschiedlicher Probenserien verbessert. Für eine zuverlässige Ausführung dieser Analysen ist der Umfang der Datenbasis äußerst wichtig.

3.3.2 Analyse eines Baumes

Die dendrochronologische Untersuchung von Baumscheiben aus verschiedenen Höhe eines bestimmten Baumes vergrößert die Anhaltspunkte seiner Lebensgeschichte. Dabei werden nämlich höhenabhängigen Alterstrends sichtbar. Einen Überblick über diese Befunde geben die Abbildung 7 und die anschließende tabellarische Darstellung der statistischen Parameter (Tab. 3).

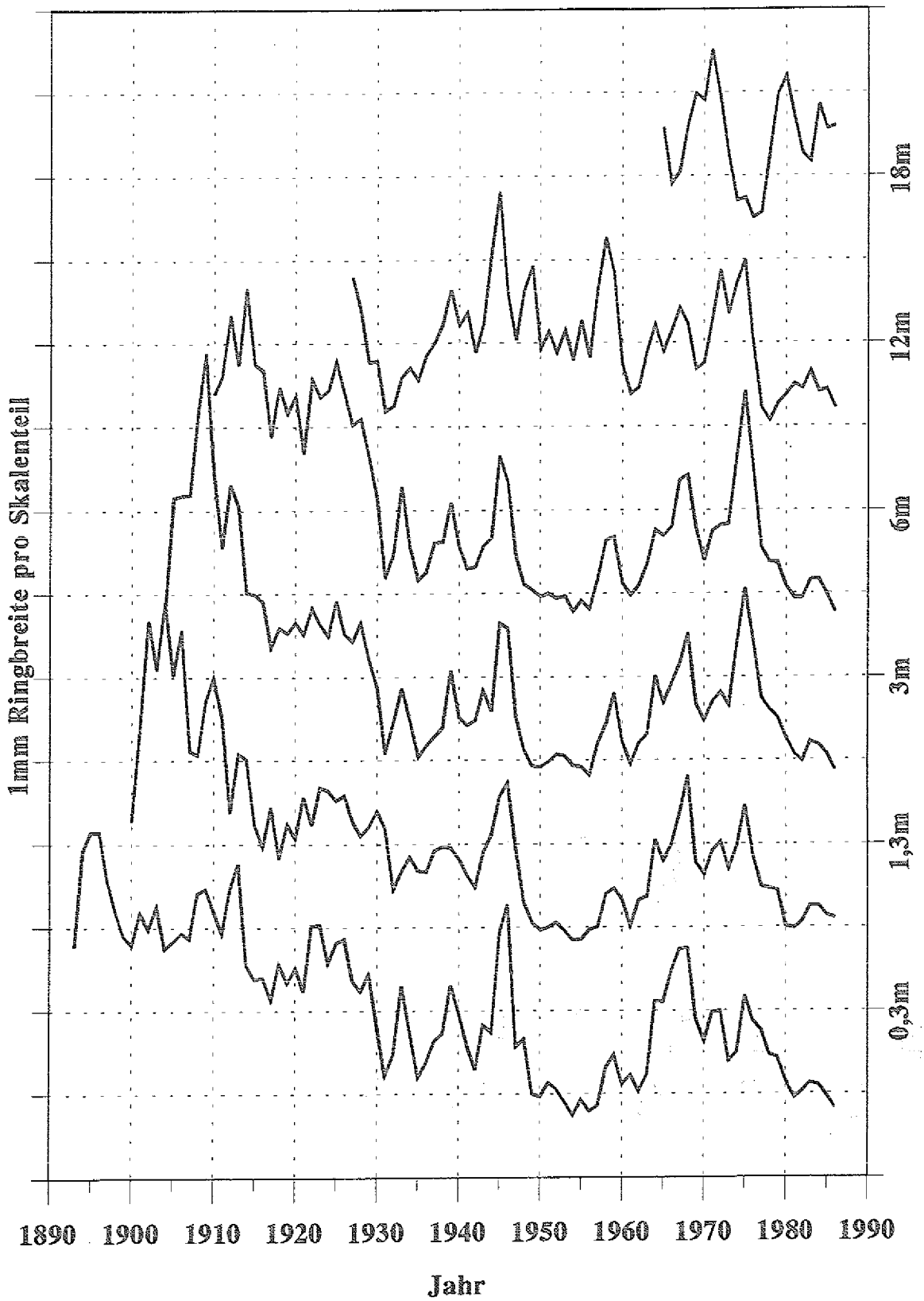


Abb. 7: Ringbreiten Baum 073 - alle Höhen

Tab. 3: Statistische Daten zu Kiefer 073 - alle Höhen (Jahrringbreite in mm)

	Nord	Ost	Süd	West	MW	Anzahl	Beginn
Höhe 18m							
Schnittlänge	61,62	65,60	46,64	41,37	53,81	22	1965
mittlere Ringbreite	2,80	2,98	2,12	1,88	2,45		
maximale Ringbreite	4,09	4,21	3,39	3,14			
minimale Ringbreite	1,46	1,63	1,23	1,12			
Höhe 12m							
Schnittlänge	111,58	125,44	133,03	121,72	122,94	60	1927
mittlere Ringbreite	1,86	2,09	2,22	2,03	2,05		
maximale Ringbreite	3,62	4,73	4,43	3,41			
minimale Ringbreite	0,75	1,16	0,70	1,02			
Höhe 6m							
Schnittlänge	149,40	187,55	148,46	136,33	155,44	77	1910
mittlere Ringbreite	1,94	2,44	1,93	1,77	2,02		
maximale Ringbreite	5,18	4,60	4,84	4,75			
minimale Ringbreite	0,52	0,86	0,58	0,54			
Höhe 3m							
Schnittlänge	156,28	214,99	161,81	152,16	171,31	83	1904
mittlere Ringbreite	1,88	2,59	1,94	1,83	2,06		
maximale Ringbreite	5,05	6,93	6,15	5,43			
minimale Ringbreite	0,56	0,83	0,60	0,58			
Höhe 1,3m							
Schnittlänge	175,69	212,48	167,24	164,15	179,89	87	1900
mittlere Ringbreite	2,02	2,44	1,92	1,89	2,07		
maximale Ringbreite	4,88	5,05	5,01	5,01			
minimale Ringbreite	0,61	0,69	0,71	0,66			
Höhe 0,3m							
Schnittlänge	198,73	210,31	197,84	185,01	197,97	94	1893
mittlere Ringbreite	2,11	2,24	2,10	1,97	2,11		
maximale Ringbreite	4,49	4,54	4,50	4,40			
minimale Ringbreite	0,55	0,67	0,70	0,50			
Alle Höhen							
Schnittlänge	855,02	1016,4	855,02	800,74	881,79	423	
mittlere Ringbreite	2,02	2,40	2,02	1,89	2,08		

Wie schon aus der graphischen Darstellung der jährlichen Ringbreiten ersichtlich wird unterliegen die Ringbreitenkurven starken jährlichen Schwankungen. Die Zusammenfassung von Daten in Gruppen zu 5 oder 10 Jahren und die Berechnung des Mittelwertes unterdrückt die jährlichen Amplituden und verdeutlicht längerfristige Trends. Dasselbe wird auch durch Tiefpassfilter, z.B. gewichtete gleitende Mittelwerte erreicht. In den folgenden Stammanalysen werden Sequenzen von 5 und 10 Jahren gemittelt und in Abhängigkeit der Höhe aufgelistet. Bei der normierten Tabelle wurden die Scheibenmittelwerte zugrunde gelegt und das Verhältnis von aktueller Ringbreite zu durchschnittlicher Scheibenringbreite ermittelt.

Tab. 4: Analyse Baum 073 - 5-Jahresgruppen - unveränderte Ringbreiten (mm * 100)

Jahr	18m	12m	6m	3m	1,3m	0,3m
1986-82	248,85	143,35	100,30	106,60	116,30	101,30
1981-77	254,05	128,50	126,10	144,05	127,65	135,55
1976-72	202,00	258,80	244,70	227,35	200,15	178,65
1971-67	281,55	207,05	194,00	190,75	210,05	220,00
1966-62	224,25	192,70	154,10	162,90	170,80	179,20
1961-57		237,75	131,85	132,60	124,10	119,70
1956-52		198,30	88,10	95,90	93,65	88,55
1951-47		233,25	111,15	109,45	125,20	126,80
1946-42		272,25	191,10	202,75	215,85	221,55
1941-37		228,85	163,85	153,95	185,70	184,80
1936-32		159,30	154,85	140,60	166,30	162,35
1931-27		198,75	242,15	205,40	223,35	201,85
1926-22			350,95	267,85	253,15	285,95
1921-17			311,75	253,05	223,00	235,95
1916-12			403,70	345,85	253,85	291,30
1911-07			350,13	465,15	348,40	317,75
1906-02				370,00	445,70	295,25
1901-97					286,50	312,95

Tab. 5: Analyse Baum 073 - 10-Jahresgruppen - unveränderte Ringbreiten (mm * 100)

Jahr	18m	12m	6m	3m	1,3m	0,3m
1986-77	251,45	135,93	113,20	125,33	121,98	118,43
1976-67	241,78	232,93	219,35	209,05	205,10	199,33
1966-57	224,25	215,23	142,98	147,75	147,45	149,45
1956-47		215,78	99,63	102,68	109,43	107,68
1946-37		250,55	177,48	178,35	200,78	203,18
1936-27		179,03	198,50	173,00	194,83	182,10
1926-17			331,35	260,45	238,08	260,95
1916-07			388,39	405,50	301,13	304,53
1906-97				370,00	400,21	304,10

Tab. 6: Analyse Baum 073 - 5-Jahresgruppen - normierte Ringbreiten

Jahr	18m	12m	6m	3m	1,3m	0,3m
1986-82	1,04	0,71	0,49	0,51	0,57	0,52
1981-77	1,06	0,62	0,64	0,70	0,64	0,66
1976-72	0,82	1,25	1,25	1,12	1,02	0,84
1971-67	1,13	0,98	0,96	0,93	1,04	0,99
1966-62	0,87	0,90	0,77	0,82	0,86	0,84
1961-57		1,13	0,66	0,66	0,61	0,55
1956-52		0,93	0,42	0,44	0,45	0,41
1951-47		1,13	0,53	0,50	0,59	0,57
1946-42		1,39	0,95	0,96	0,99	1,02
1941-37		1,17	0,81	0,75	0,91	0,90
1936-32		0,78	0,75	0,66	0,82	0,84
1931-27		1,00	1,23	0,98	1,08	1,05
1926-22			1,77	1,31	1,21	1,33
1921-17			1,54	1,25	1,11	1,11
1916-12			1,96	1,72	1,21	1,40
1911-07			1,64	2,24	1,68	1,49
1906-02				1,75	2,10	1,41
1901-97					1,31	1,48

Tab. 7: Analyse Baum 073 - 10-Jahresgruppen - normierte Ringbreiten

Jahr	18m	12m	6m	3m	1,3m	0,3m
1986-77	1,05	0,67	0,57	0,61	0,61	0,59
1976-67	0,98	1,11	1,11	1,02	1,03	0,91
1966-57	0,87	1,01	0,72	0,74	0,73	0,70
1956-47		1,03	0,48	0,47	0,52	0,49
1946-37		1,28	0,88	0,85	0,95	0,96
1936-27		0,89	0,99	0,82	0,95	0,95
1926-17			1,65	1,28	1,16	1,22
1916-07			1,87	1,98	1,44	1,44
1906-97				1,75	1,88	1,45

Aus den Ringbreiten mehrerer Höhen kann die jährliche Wuchsleistung kalkuliert werden. Dabei wird für den Stamm der jährliche Volumenzuwachs nach der Formel $v = 1/3\ \pi h\ (r_1^2 + r_1 r_2 + r_2^2)$ für den geraden Kreiskegelstumpf ermittelt. Die graphische Darstellung dieser Rechnungen ist für Baum 073 in der folgenden Abbildung zu sehen. Für eine weitergehende Beurteilung muß die Holzdichte einbezogen werden.

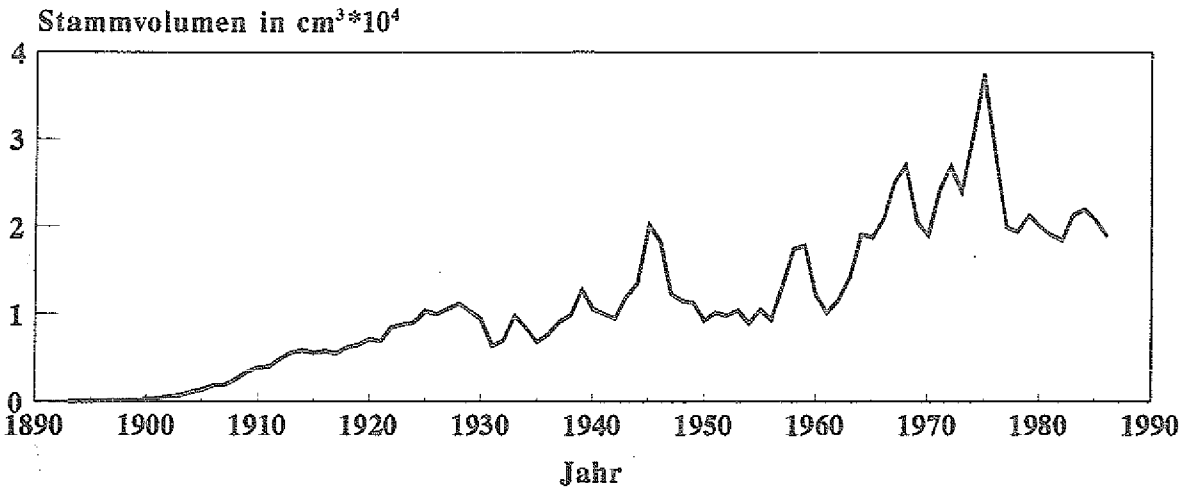


Abb. 8: Stammholzzuwachs Baum 073

3.3.3 Analyse eines Schadstufenkollektives

Bezogen auf die Zielsetzung der Untersuchungen kommt dem Vergleich des geschädigten mit dem ungeschädigten Kollektiv besondere Bedeutung zu. Für eine übersichtliche Darstellung müssen die in Kapitel 3.3.1 und 3.3.2 entwickelten Verfahren und Datensätze ergänzt werden. Als Material dienen dazu die 5 Individuen der Schadstufe 0 und die 6 geschädigten Bäume.

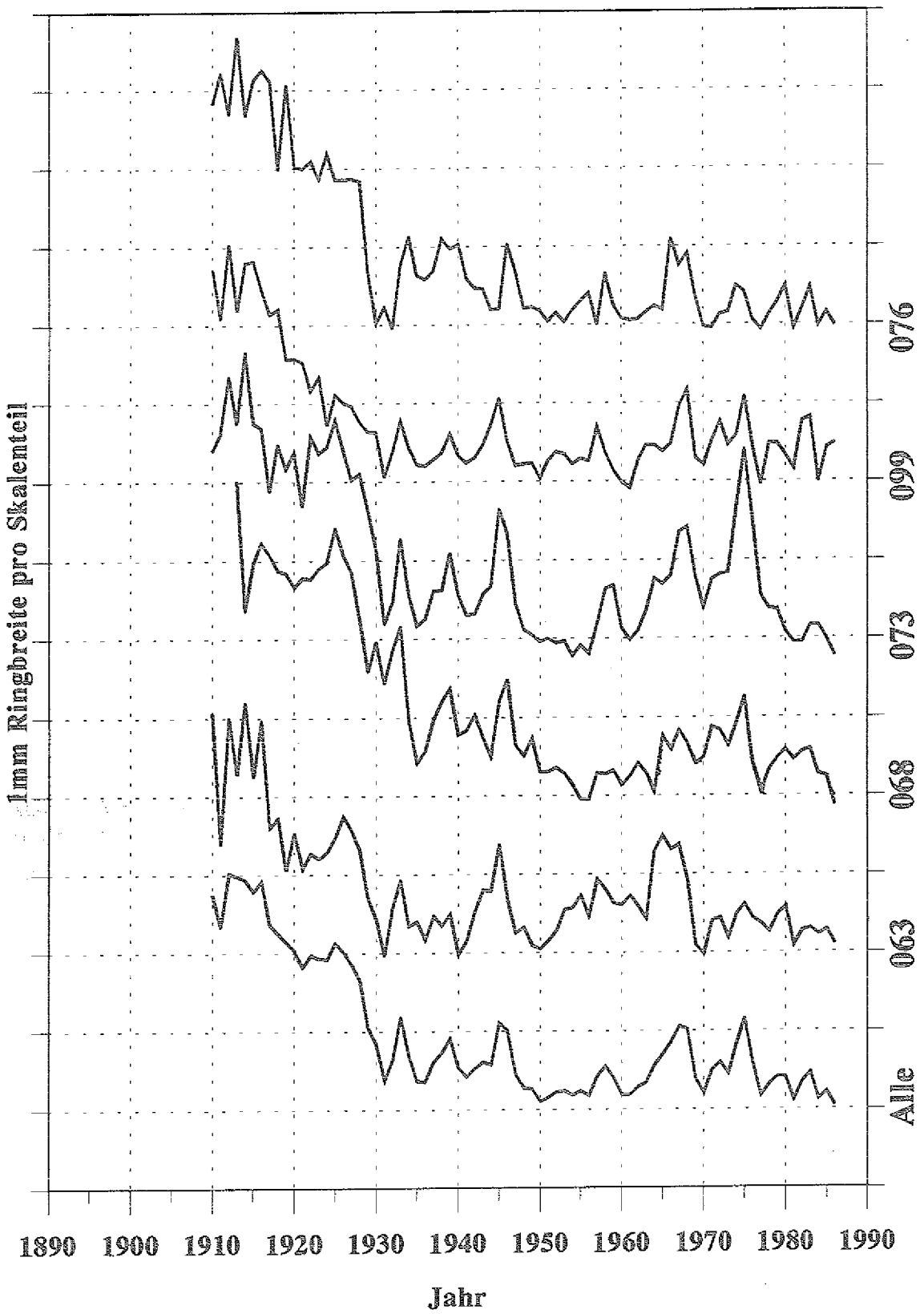


Abb. 9: Ringbreiten ungeschädigter Bäume - 6m Höhe

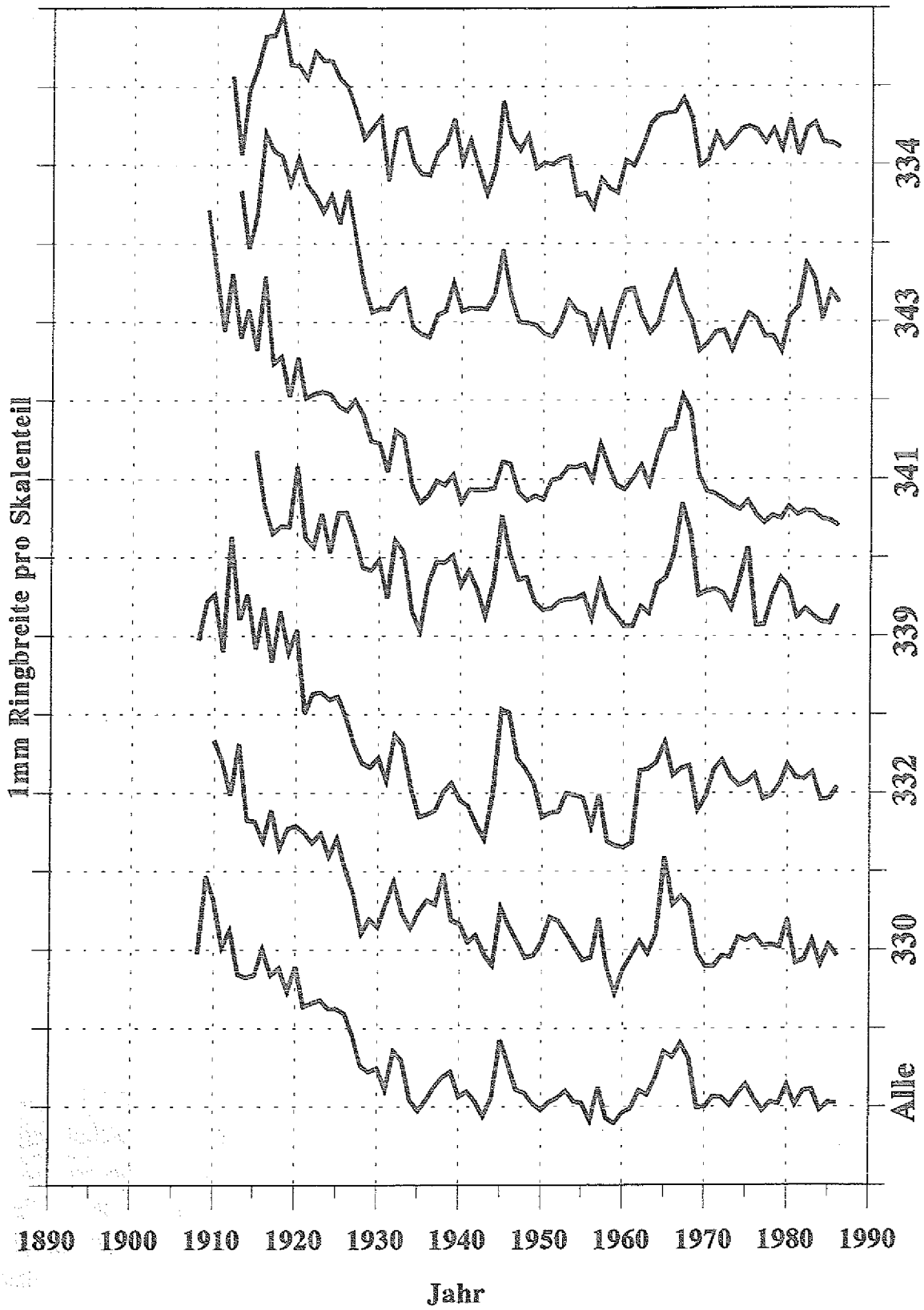


Abb. 10: Ringbreiten geschädigter Bäume - 6m Höhe

Die Jahrringkurven der Einzelbäume beider Gruppen entsprechen sich hinsichtlich der synchronen jährlichen Amplituden und der langzeitigen Trends. In den jeweiligen Mittelwertskurven gehen die individuellen Varianzen zurück. Die Gegenüberstellung der Kurven von ungeschädigten und geschädigten Bäumen zeigt wiederum einen ähnlichen Verlauf (Abb. 11). Bis 1930 sind allerdings die Ringbreiten des ungeschädigten Kollektives deutlich größer, danach immerhin noch geringfügig größer. Die positiven und negativen jährlichen Schwankungen stimmen in beiden Gruppen überein. Dies ist für alle Höhen tabellarisch und für die Höhe 6m auch graphisch dargestellt.

Tab. 8: Ringbreiten im Kollektivvergleich (mm)

Höhe	18m	12m	6m	3m	1,3m	0,3m
ungeschädigte Bäume	2,25	2,03	1,94	1,92	1,94	2,09
geschädigte Bäume	1,75	1,65	1,58	1,51	1,51	1,65
alle Bäume	2,00	1,83	1,76	1,70	1,72	1,88

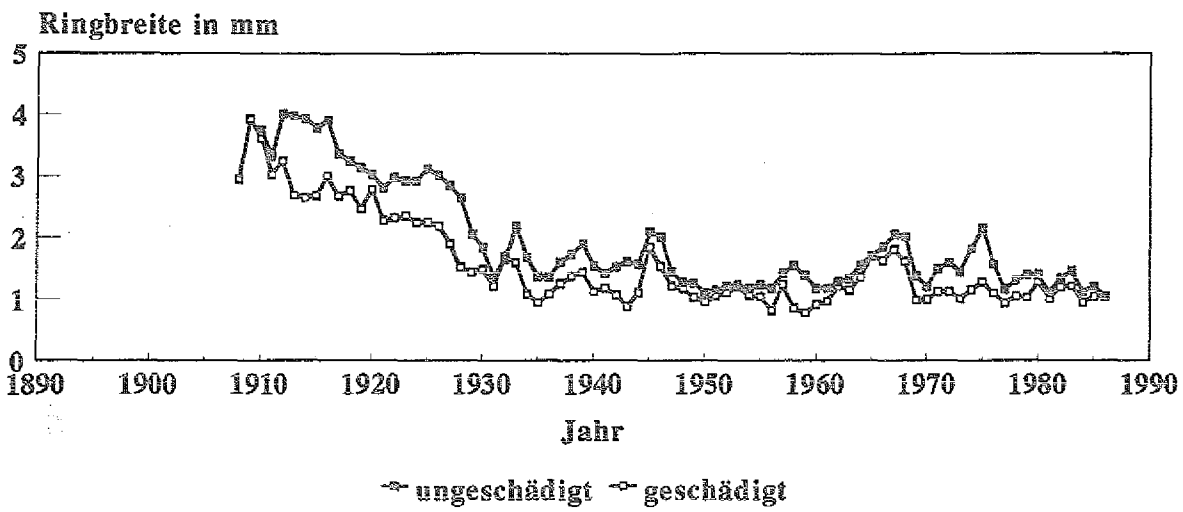


Abb. 11: Ringbreiten im Kollektivvergleich - 6m Höhe

Vergleicht man die jährlichen Stammzuwächse, dann ist die Differenz der beiden Gruppen noch ausgeprägter. Hierbei überwiegt das neugebildete Holz auch während gleichförmiger Wuchsphasen im ungeschädigten immer dem des geschädigten Kollektives. Bemerkenswert ist auch die Feststellung, daß alle Einzelbäume der Schadstufe 0 mehr Holz akkumuliert haben, als die der Schadstufe 3. Dieser Befund dürfte allerdings in der Heterogenität der beiden Kollektive begründet sein. Es wurden bei der Fällung herrschende und mitherrschende Individuen aus dem Gesamtbestand geschlagen.

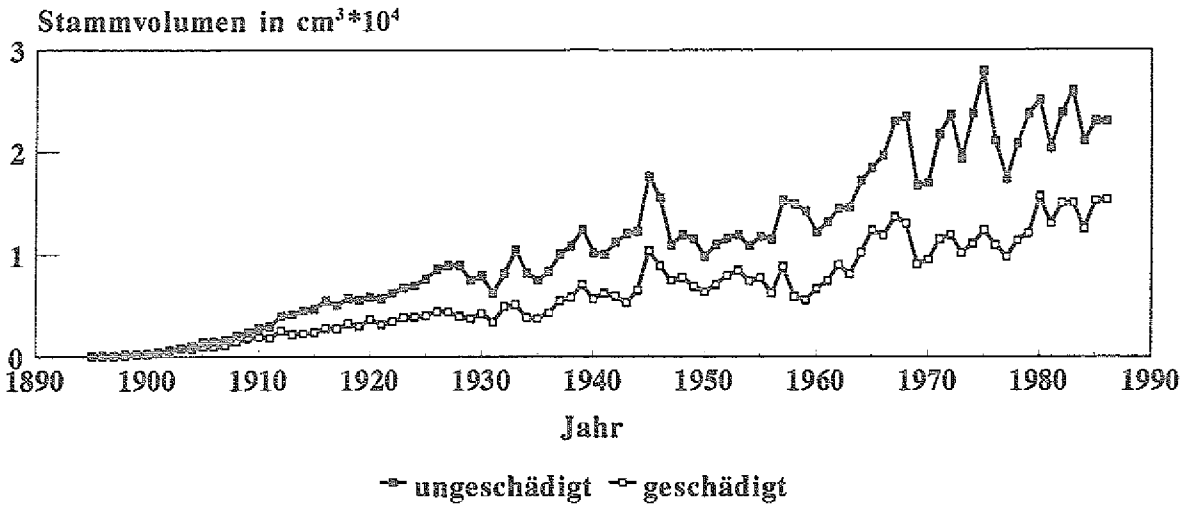


Abb. 12: Volumenzuwachs im Kollektivvergleich

Tab. 9: Volumenvergleich der Einzelbäume ($cm^3 *10^4$)

Baum	063	068	073	076	099		Mittelwert
Volumen bis 1940	1,8	2,9	2,6	2,6	1,7		2,3
Volumen bis 1986	9,7	12,6	10,6	9,8	8,2		10,2
Baum	330	332	334	339	341	343	Mittelwert
Volumen bis 1940	1,4	1,7	0,9	1,0	1,6	1,1	1,3
Volumen bis 1986	5,5	6,2	4,8	7,3	5,3	5,7	5,8

3.4 Diskussion und Bewertung der dendrochronologischen Befunde

Die taxonomische Zuordnung von *Pinus silvestris* wurde holzanatomisch überprüft. Die Bestimmungsmerkmale wurden eindeutig erkannt und entsprechen den Angaben in der einschlägigen Literatur (Schweingruber 1978, Bosshard 1984).
Die Verbindung von Klima und dendrochronologischen Merkmalen ist hinlänglich bekannt und oft untersucht worden (Cook und Jacoby 1977, Blasing et al. 1981, Schweingruber 1987, Hamburg und Cogbill 1988, Schweingruber et al. 1990, Fritts et al. 1991, 1992).
Aufgrund statistischer Auswertungen (Jazewitsch 1961, Eckstein und Bauch 1969, Fritts 1976, 1977, Nagel und Athari 1982, Schweingruber 1983, Cook und Kairiukstis 1990) ergab sich, daß die Kiefernstämme der Schadstufe 0 über alle Lebensphasen in allen Höhen jeweils größere Jahrringbreiten aufweisen als die der Schadstufe 3. Die zeitliche Entwicklung der Jahrringbreitenmuster läuft jedoch in beiden Kollektiven synchron.
Somit muß davon ausgegangen werden, daß die vergangene Jahrringbreitenentwicklung hier nicht mit der aktuellen Schädigungssituation korreliert werden kann. Eine zeitliche Zuordnung des ersten Auftretens der Schädigung kann anhand der Jahrringbreiten nicht vorgenommen werden.

Für die Korrelation von Baumschädigung mit Jahrringbreiten werden in der Literatur allerdings Beispiele angeführt (Kienast et al. 1981, Athari 1983, Greve et al. 1986, Kontic et al. 1986, Schweingruber 1986, Schweingruber et al. 1986, Schönwiese und Ullrich 1988, Banks 1992).
Bei altersgleichen Bäumen einer Population gleichen Standorts und gleicher Luftbelastung treten hier unterschiedliche Schadstufen auf. Da vorwiegend die großen Individuen ungeschädigt bleiben, liegt eine Verbindung von Individualgröße und Schädigungsresistenz bzw. -toleranz nahe, die mit entsprechenden Untersuchungen verifiziert werden könnten.

Es bleibt somit festzuhalten:

- Die Entwicklungstrends von allen Bäumen sind gleich. Sie weisen individuell variable Jahrringbreitenniveaus auf.
- Kein Einzelbaum unterscheidet sich systematisch vom entsprechenden Schadstufenkollektiv und sollte daher bei einer Auswahl für weitergehende Untersuchungen repräsentativ sein.
- Die beiden Schadstufenkollektive zeigen synchrone Entwicklungen der Jahrringbreitenmuster. Die zum Zeitpunkt der Fällung ungeschädigten Bäume liegen über die gesamte Lebenszeit auf einem höheren Jahrringbreitenniveau.

4 Isotopenverhältnisse

4.1 Allgemeines

Die Verteilung der stabilen Isotope des Kohlenstoffs (^{12}C, ^{13}C) wird vereinbarungsgemäß in der δ-Nomenklatur angegeben:

$$\delta^{13}C(^{o}/oo) = \left[\frac{(^{13}C/^{12}C)_{Probe}}{(^{13}C/^{12}C)_{Standard}} - 1 \right] *10^3$$

Als internationaler Standard dient der PDB-Karbonatstandard, dessen $^{13}C/^{12}C$-Verhältnis in der Deltanomenklatur als Nullpunkt gesetzt wurde:
$^{13}C/^{12}C$ PDB = 0,01124 => $\delta^{13}C$ PDB = $0^{o}/oo$
Die $\delta^{13}C$-Werte im C-Kreislauf sind nicht in allen Kompartimenten gleich. Pflanzen fraktionieren bei der Photosynthese das atmosphärische $^{13}C/^{12}C$-Verhältnis und bauen bevorzugt das leichte ^{12}C-Isotop ein. Ausgehend vom $\delta^{13}C$-Wert des atmosphärischen CO_2 ($-6^{o}/oo$ bis $-10^{o}/oo$) fraktionieren C_3-Pflanzen (u.a. alle Bäume) bei der CO_2-Fixierung auf einen $\delta^{13}C$-Wert von $-20^{o}/oo$ bis $-35^{o}/oo$. Das Ausmaß der Fraktionierung hängt auch vom Klima und den Umweltbedingungen des Standortes ab, die sich ihrerseits unter gewissen Umständen indirekt aus den $\delta^{13}C$-Werten der Pflanzen ableiten lassen.

Die Untersuchungen der Kohlenstoffisotopenverhältnisse verfolgen mehrere Ziele:
- Aufbau einer repräsentativen Normalchronologie aus dem ungeschädigten Kollektiv.
- Vergleich der individuellen Reaktion geschädigter Bäume mit der Normalchronologie zur Abschätzung von Beginn und Ausmaß der Schädigung.
- Vergleich der Normalchronologie mit den geschädigten Bäumen zur Schadensbilanz.
- Vergleich dieser Normalchronologie mit Klimafaktoren des Standorts zur Klimakorrelation.

4.2 Probenauswahl und Probenaufarbeitung

Ausgehend von den Ergebnissen der dendrochronologischen Untersuchungen wurden 4 ungeschädigte (068, 073, 076, 099) und 5 geschädigte Kiefern (330, 332, 334, 339, 343) ausgewählt. Von den Baumscheiben aus 6m Höhe wurden einzelne Jahrringproben in Nord-Süd-Richtung genommen. Aus den Gesamtholzproben wurde die Zellulose extrahiert und daran $\delta^{13}C$ bestimmt.

Für die Probenaufarbeitung wurden geprüfte und zur Routine entwickelte Aufbereitungsmethoden angewandt. Die Präparation umfaßt folgende Schritte:

- Heraussägen eines Radialschnitts der Baumscheibe.
- Abtrennen der Jahrringe mit einem Skalpell.
- Homogenisieren und Zerkleinern der Probe in einer Retsch-Ultrazentrifugalmühle (Siebweite 0,75mm).
- Zelluloseextraktion aus Holzmehl durch kombinierte NaOH (5%ig für 4 Stunden) und $NaClO_2$-Behandlung (7%ig für 40 Stunden; pH 5) im Wasserbad bei 60°C.
- Quantitative Verbrennung der Zellulose in einer Vakuumapparatur mit O_2-Atmosphäre zu CO_2 und dessen Isolierung.
- Überführung und Analyse des CO_2-Gases im Isotopenmassenspektrometer (MAT 250 der Firma Finnigan).

4.3 Ergebnisse

Insgesamt wurden 2102 Zelluloseproben und 327 Wiederholungen eines Bezugsstandards analysiert. Letzterer, ein feingemahlener Graphit wurde zur ständigen Kontrolle der Aufarbeitungsparameter bei der Verbrennung und bei der Messung des CO_2-Gases im Massenspektrometer eingesetzt. Sein $\delta^{13}C$-Isotopenverhältnis beträgt -28,60°/oo. Bei gerätebedingten "Drifts" konnten die Analysenwerte nach diesem Graphitstandard korrigiert werden. Die Reproduzierbarkeit bei konstanten Meßbedingungen für Analysen des Graphits belief sich auf eine Standardabweichung von weniger als 0,1°/oo. Sämtliche Zelluloseproben wurden in Doppelbestimmung analysiert und bei Differenzen der beiden Meßwerte von mehr als 0,25°/oo wiederholt.

4.3.1 $\delta^{13}C$-Messungen der Einzelbäume

Die Meßwerte der Zelluloseproben schwankt bei den einzelnen Jahrringen von -20,85°/oo bis -28,42°/oo. Für jeden Baum wurden zwei Meßreihen in Nord- und Südrichtung untersucht. Es ergaben sich nur geringfügige Unterschiede in den Mittelwerten der Komplementärschnitte. Die höchste Differenz wies Baum 073 mit 0,27°/oo auf. Der Wertevergleich der Bäume untereinander ergab jedoch in einzelnen Jahren auch größere Differenzen. Dabei blieb die relative Änderung zum Vorjahr in beiden Richtungen meist nahezu gleich groß. Es handelt sich bei solchen Unterschieden somit um Parallelentwicklungen verschieden starker Ausprägung. Aus dem Mittelwert der komplementären Schnitte resultierte deshalb auch ein repräsentativer Wert für die gesamte Baumscheibe, der für Vergleiche mit anderen Bäumen herangezogen werden konnte.

Am Beispiel der Kiefern 073 und 339 sollen dennoch die schnittbedingten Unterschiede illustriert werden. Die jeweiligen $\delta^{13}C$-Werte der beiden Schnittrichtungen sind in den folgenden Graphiken dargestellt.

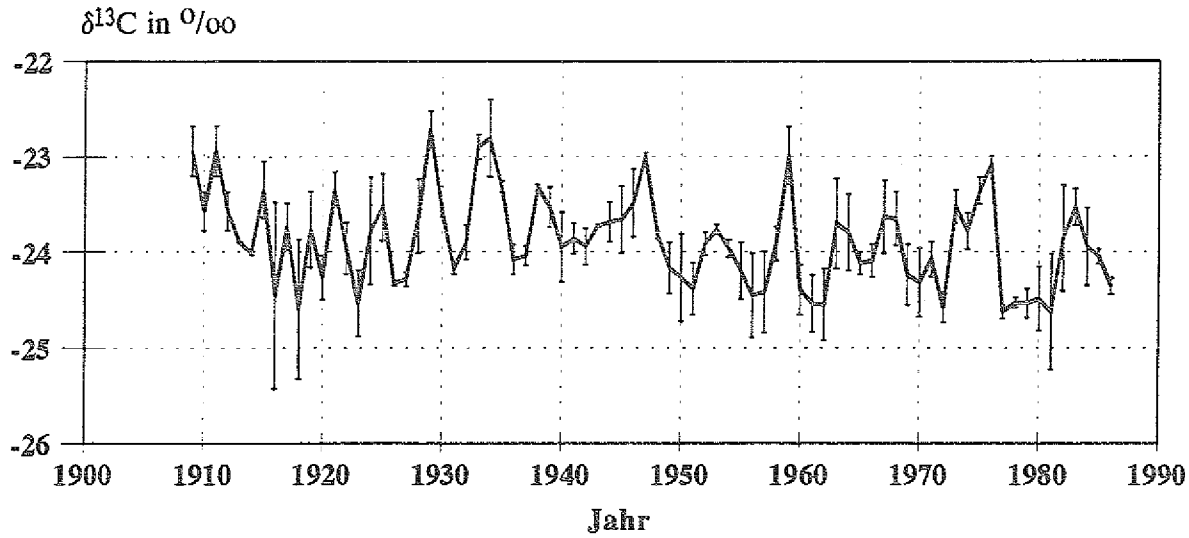


Abb. 13: $\delta^{13}C$-Werte der Kiefer 073 in 6m Höhe
Meßwerte von Nord- und Südrichtung als Fehlerbalken dargestellt

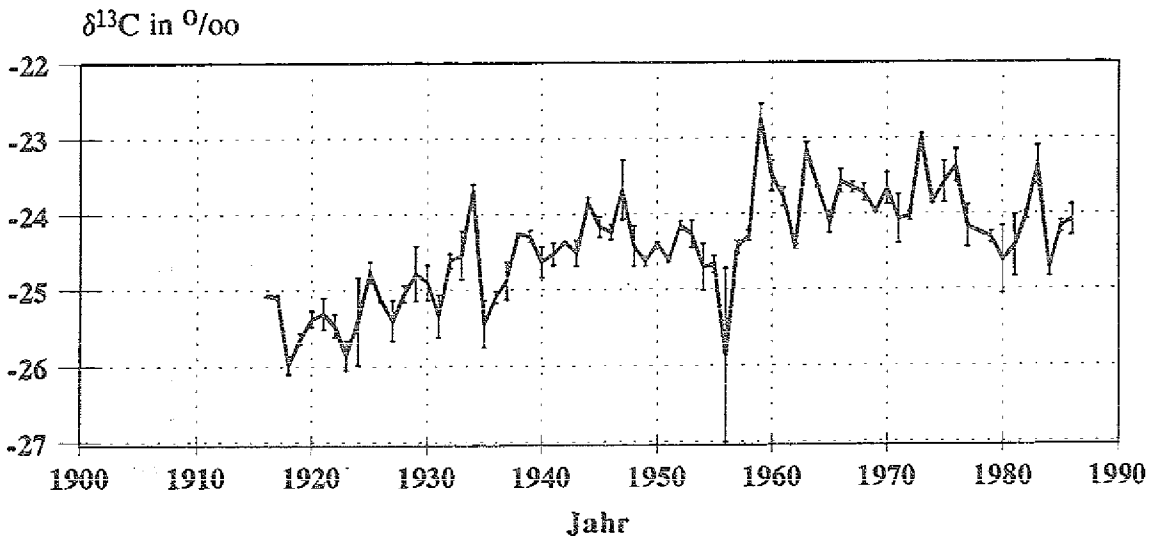


Abb. 14: $\delta^{13}C$-Werte der Kiefer 339 in 6m Höhe
Meßwerte von Nord- und Südrichtung als Fehlerbalken dargestellt

Aufgeschlüsselt nach einzelnen Bäumen ergibt sich folgende Zusammenstellung über die Differenzen der jährlichen Amplituden und Mittelwerte:

Tab. 10: $\delta^{13}C$-Variationen der Einzelbäume (in $^{o}/oo$)

		ungeschädigte Bäume				geschädigte Bäume			
Baum		Nord	Süd	Gesamt	Gesamt	Süd	Nord	Baum	
	Min	-25,89	-25,39			-25,56	-26,10	Min	
068	Max	-22,75	-22,92			-21,97	-22,04	Max	330
	MW	-24,18	-24,32	-24,25	-23,70	-23,83	-23,58	MW	
	Min	-25,43	-24,73			-25,04	-23,79	Min	
073	Max	-22,40	-22,68			-20,93	-20,85	Max	332
	MW	-24,01	-23,74	-23,87	-22,40	-22,46	-22,33	MW	
	Min	-28,42	-25,30			-25,97	-25,57	Min	
076	Max	-23,16	-22,64			-22,99	-22,99	Max	334
	MW	-24,30	-24,11	-24,20	-24,31	-24,26	-24,35	MW	
	Min	-25,33	-24,78			-26,10	-27,01	Min	
099	Max	-22,56	-22,69			-22,95	-22,55	Max	339
	MW	-24,01	-23,92	-23,96	-24,42	-24,49	-24,35	MW	
						-26,07	-26,30	Min	
						-22,80	-22,20	Max	343
					-24,29	-24,32	-24,26	MW	
	Min			-24,77	-25,05			Min	
Alle	Max			-23,08	-22,69			Max	Alle
	MW			-24,07	-23,75			MW	

Der Mittelwert der $\delta^{13}C$-Bestimmungen von 8 Einzelbäumen liegt zwischen -23,5$^{o}/oo$ und -24,5$^{o}/oo$. Lediglich die Kiefer 332 weicht mit -22,4$^{o}/oo$ davon ab. Insgesamt gesehen können die Einzelbäume ohne Korrekturrechnungen verglichen werden. Dafür spricht auch die Amplitudenhöhe der jährlichen Schwankungen, die bei allen Kiefern etwa eine Differenz von 3$^{o}/oo$ zwischen $\delta^{13}C_{Min}$ und $\delta^{13}C_{Max}$ aufweist. Die Synchronität der individuellen Verläufe wird anhand der nächsten beiden Diagramme dokumentiert:

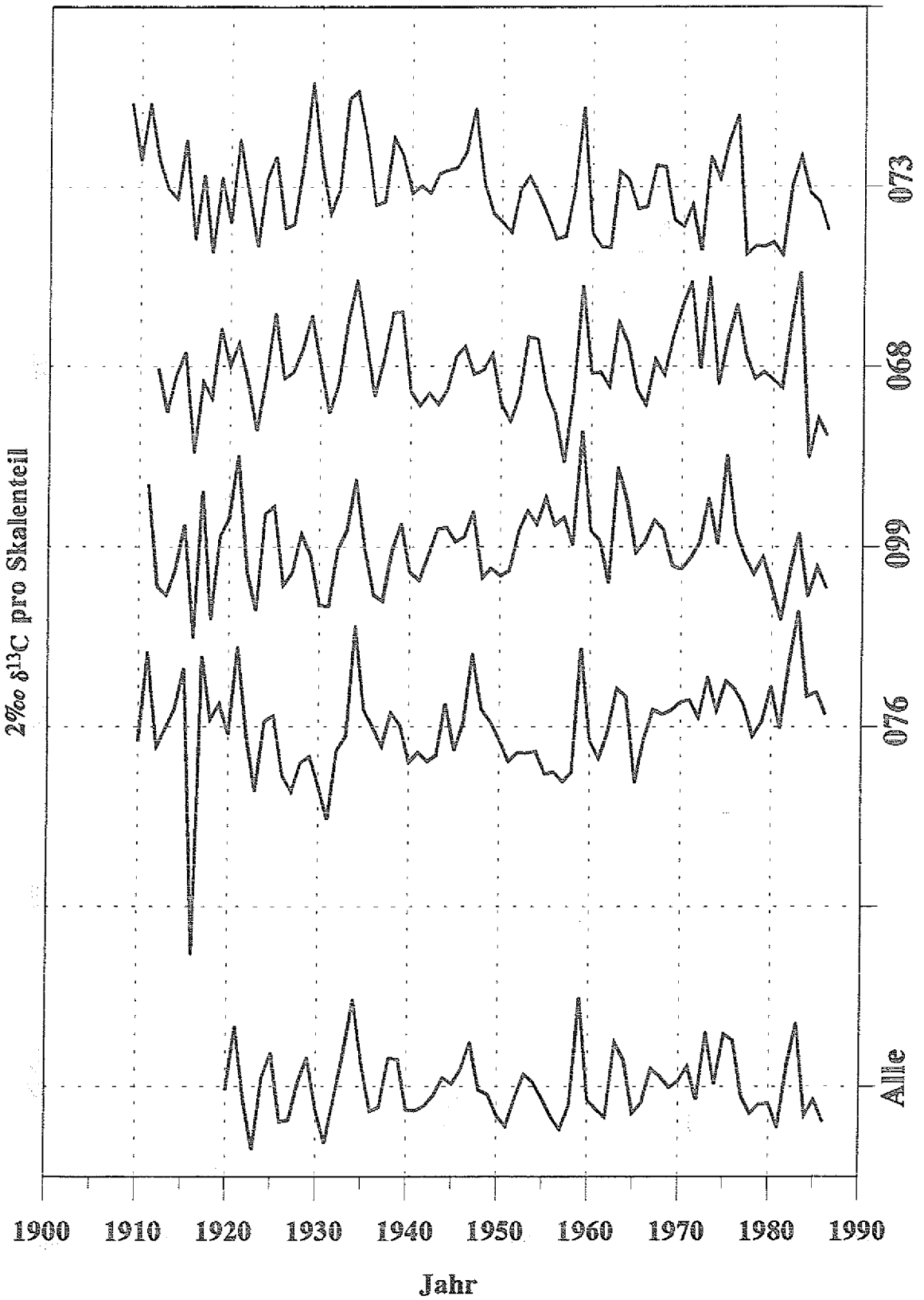


Abb. 15: $\delta^{13}C$-Werte ungeschädigter Bäume - 6m Höhe

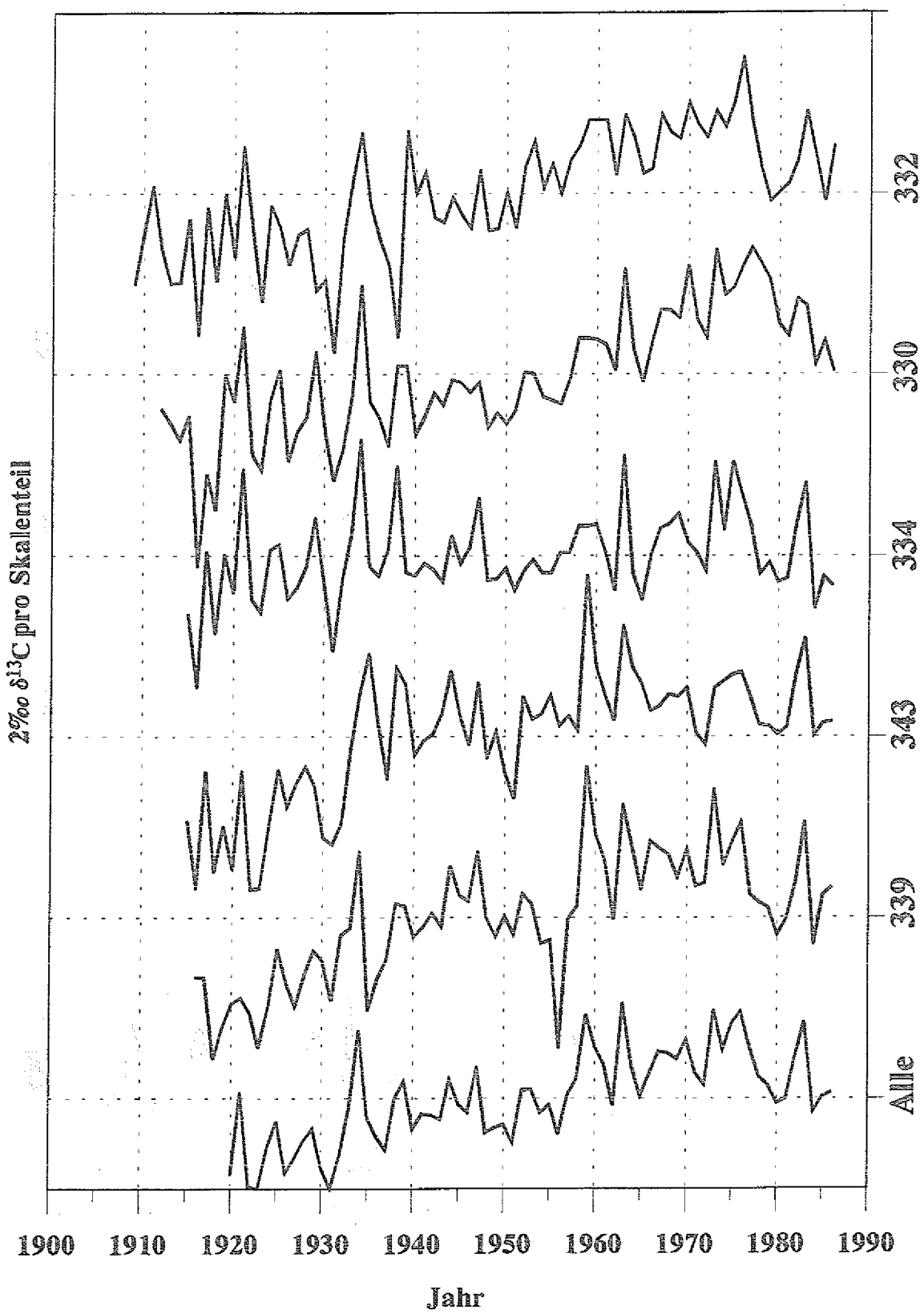


Abb. 16: $\delta^{13}C$-Werte geschädigter Bäume - 6m Höhe

Diese allgemeinen Betrachtungen ergeben folgende Befunde:

- Nach den Vergleichen von komplementären Schnittrichtungen wurde daraus ein repräsentativer Mittelwert für die Baumscheibe gebildet.
- Die Einzelbäume weisen sich durch ähnliche Absolutbeträge und Variationsbreiten in den $\delta^{13}C$-Werten aus.

4.3.2 Aufbau einer Normalchronologie

Neben den bisherigen Befunden ist zur Bewertung der gestellten Ziele der Verlauf der $\delta^{13}C$-Werte entscheidend. Dazu wird in einem ersten Schritt eine Normalchronologie aus der Normalverteilungskurve der $\delta^{13}C$-Meßwerte aufgestellt. Ausgehend von der Annahme, daß ungeschädigte Bäume des Untersuchungsraumes gleiche Klima- und Umweltreaktionen zeigen, wurde aus den Meßwerten von 8 Radialschnitten eine Mittelwertskurve gebildet. Für den Zeitraum von 1920 bis 1986 kommt man dabei auf einen durchschnittlichen $\delta^{13}C$-Wert von -24,07°/oo.

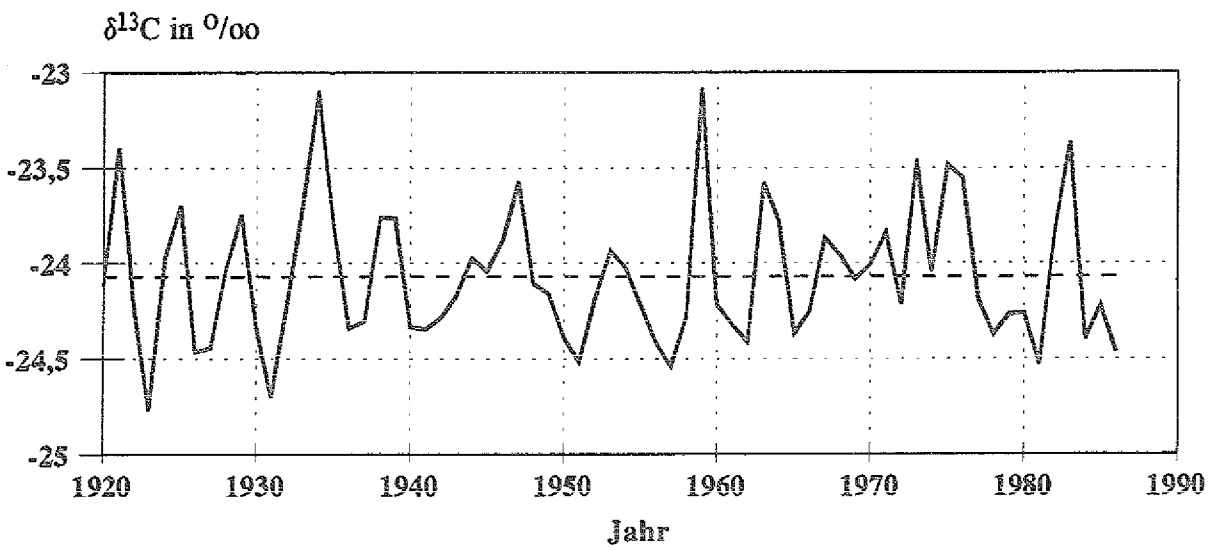


Abb. 17: $\delta^{13}C$-Verlauf der Normalchronologie

4.3.3 Vergleiche mit der Normalchronologie

Da für den Vergleich der Einzelbaumkurven insbesondere die relativen Veränderungen interessieren, sind nachfolgende Kurven als Schwankungen um ihren jeweiligen Mittelwert angegeben. Daraus resultieren für die 4 gesunden Bäume die in den Abbildungen 18-21 dargestellten Kurven.

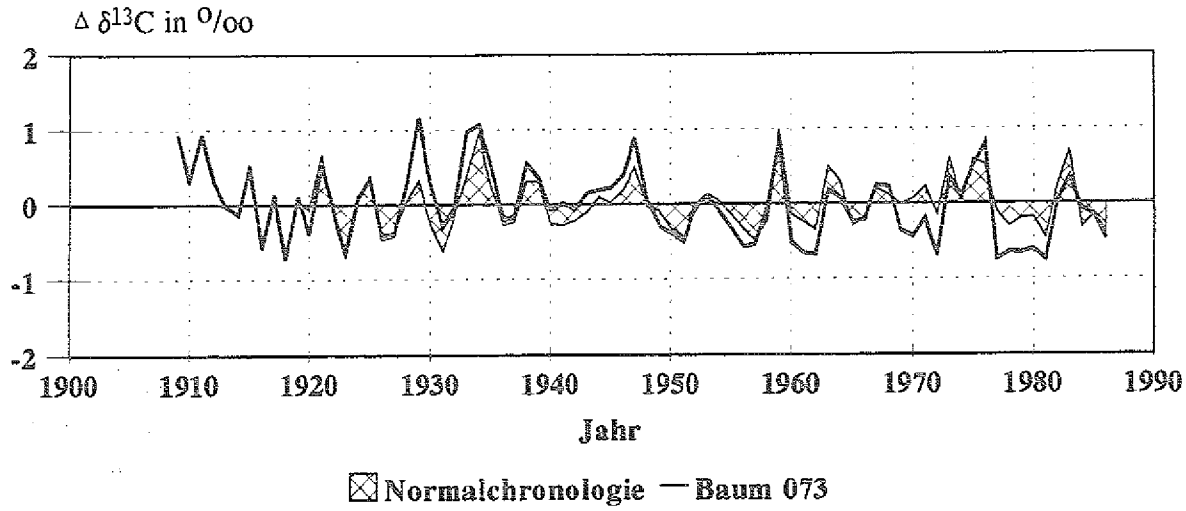


Abb. 18: Vergleich der $\delta^{13}C$-Werte von Baum 073 mit der Normalchronologie

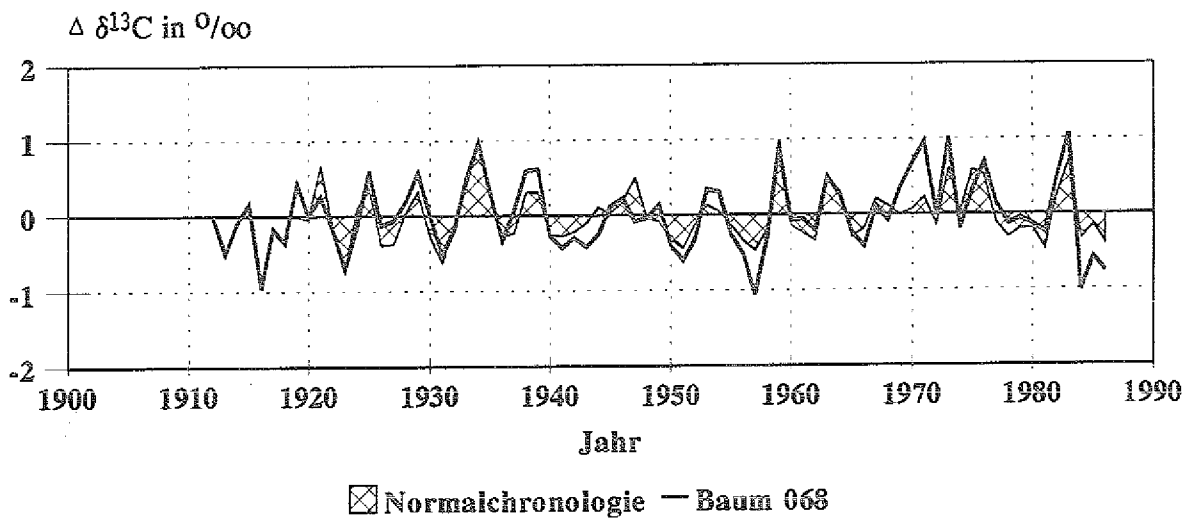


Abb. 19: Vergleich der $\delta^{13}C$-Werte von Baum 068 mit der Normalchronologie

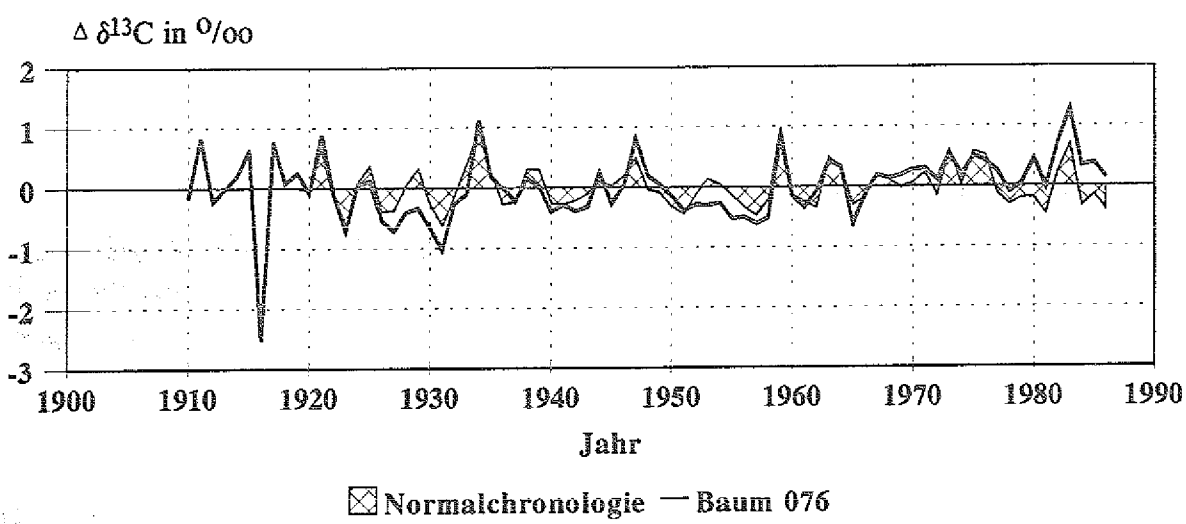


Abb. 20: Vergleich der $\delta^{13}C$-Werte von Baum 076 mit der Normalchronologie

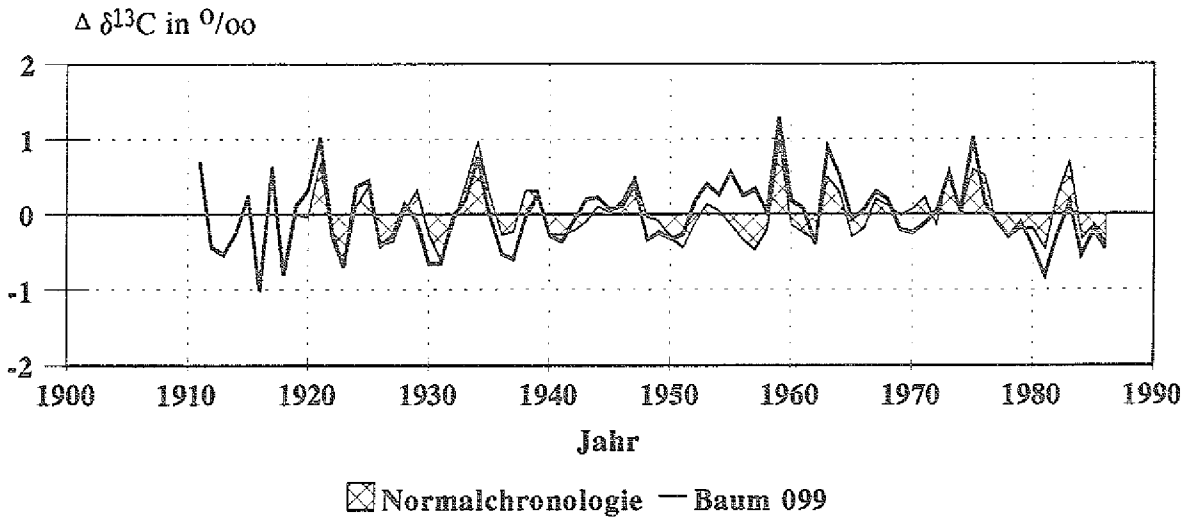


Abb. 21: Vergleich der $\delta^{13}C$-Werte von Baum 099 mit der Normalchronologie

Die $\delta^{13}C$-Kurven der ungeschädigten Kiefern decken sich insgesamt mit dem Gang der "normalen" Isotopensignale. In Jahren mit großer Amplitude bezogen auf die Nullinie ist die Korrelation in Richtung und Betrag gegeben. Die Normalchronologie ist somit repräsentativ für jeden Baum des ungeschädigten Kollektives. Zusätzliche Untersuchungen am ungeschädigten Kollektiv dürften keine grundsätzlichen Veränderungen, oder gänzlich neue Befunde ergeben.

Verglichen mit der Normalverteilungskurve weisen sich die 5 geschädigten Bäume durch folgende abweichende Muster aus. So verschlechtert sich die Korrelation mit der Standardkurve im Zeitverlauf zunehmend. Lediglich die Kiefer 334 entspricht im Kurvengang und im Trend der Normalchronologie. Die 4 anderen Individuen weisen sich durch uneinheitlich ansteigende Trends aus. Daher müssen die geschädigten Kiefern individuell beurteilt werden.

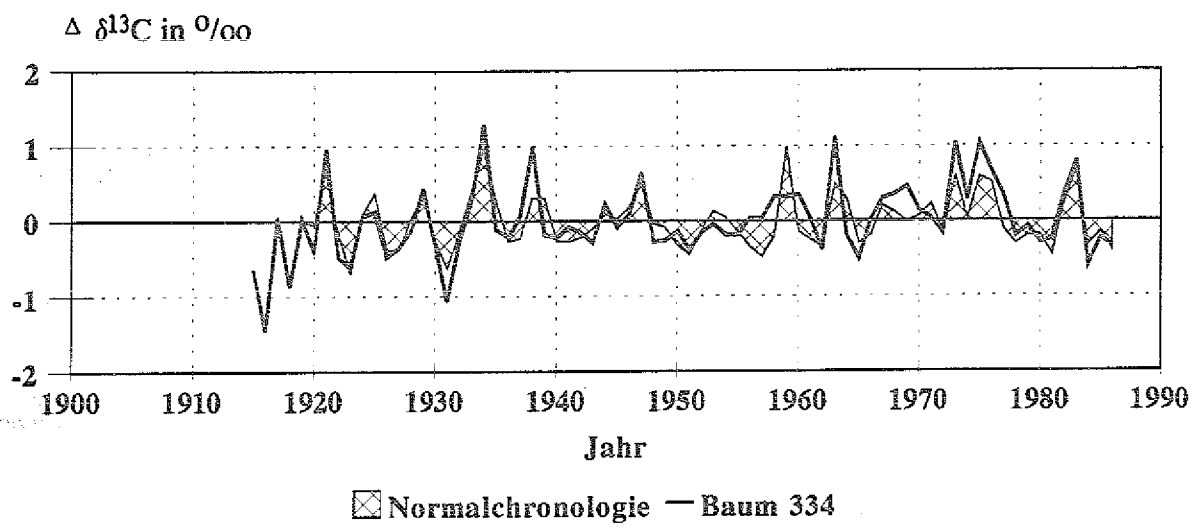


Abb. 22: Vergleich der $\delta^{13}C$-Werte von Baum 334 mit der Normalchronologie

Der Baum 334 fügt sich trotz aktueller Schädigung in seiner Gesamtentwicklung der Normalchronologie an. Der $\delta^{13}C$-Mittelwert von -24,31°/oo ist etwas negativer als der Durchschnittswert der Wuchsperiode. Die Isotopenverhältnisse geben hier kein Anhalt auf vorliegende Schädigungen.

Die Bäume 330 und 332 liegen dagegen nur noch anfangs im Normaltrend der $\delta^{13}C$-Verteilung. Bis 1940 weist die Kiefer 332 eine erhöhte Amplitude im Bereich der negativen Peaks auf. Nach 1950 steigen bei Kiefer 332 und nach 1960 bei Kiefer 330 die $\delta^{13}C$-Werte um etwa 0,5°/oo über den Referenzwert an. Ein Zusammenhang mit einer Schädigung ist möglich, kann aber nicht zwingend abgeleitet werden. Die Absolutwerte von -22,40°/oo für Baum 332 und -23,70°/oo für Baum 330 liegen über dem $\delta^{13}C$-Wert von -24,07°/oo der Normalverteilungskurve.

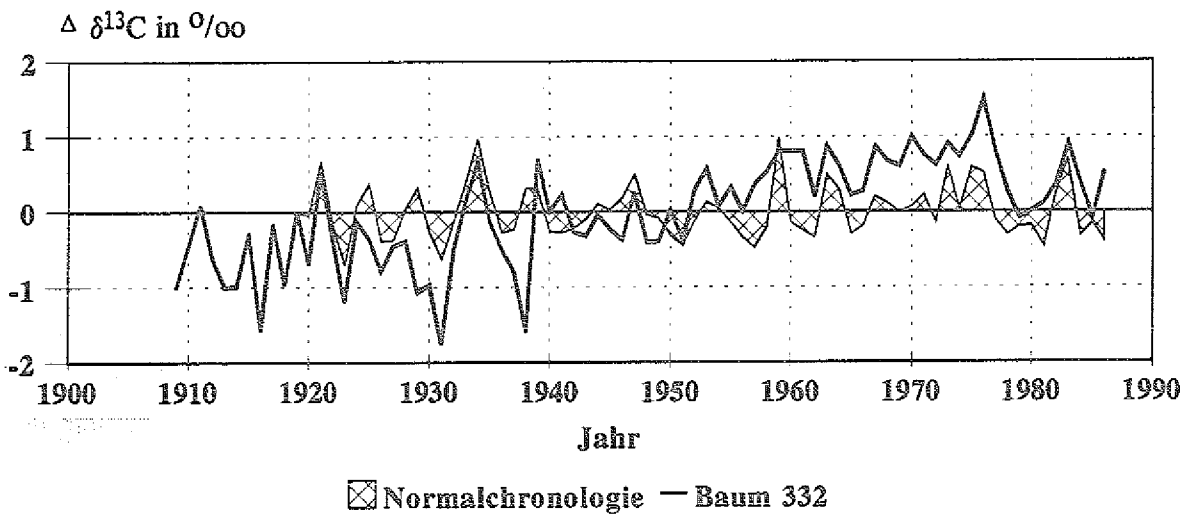


Abb. 23: Vergleich der $\delta^{13}C$-Werte von Baum 332 mit der Normalchronologie

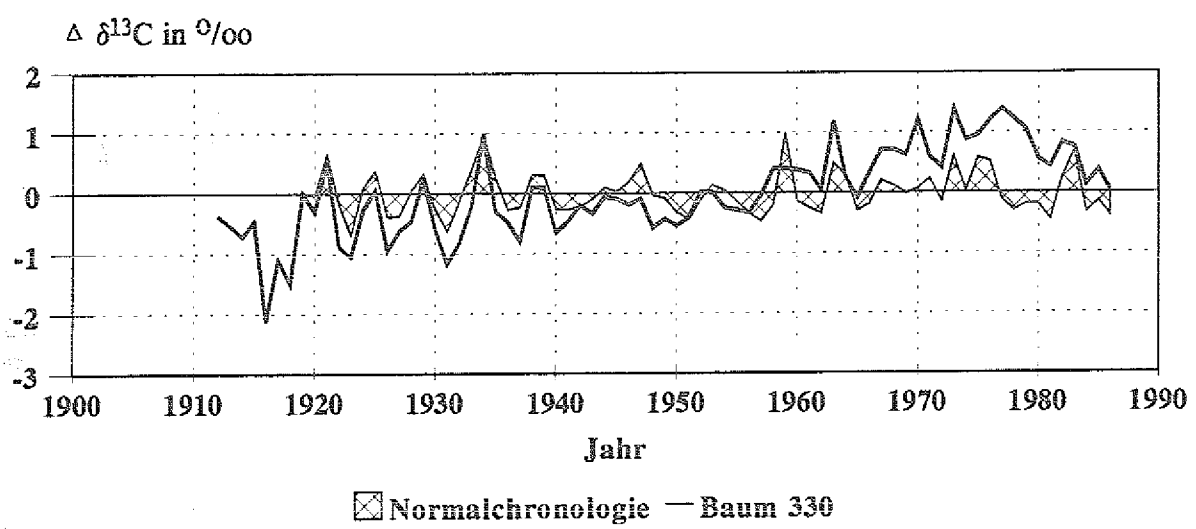


Abb. 24: Vergleich der $\delta^{13}C$-Werte von Baum 330 mit der Normalchronologie

Die Entwicklung der Baumstämme 339 und 343 ist durch steigende $\delta^{13}C$-Werte gekennzeichnet. Deshalb sind sie schwer auf den Normaltrend zu beziehen. Die Steigung beträgt bei beiden Bäumen 0,023°/oo pro Jahr. Verglichen mit der Normalchronologie ergibt sich ein dreiphasiger Ablauf. Die Kiefer 339 hat bis 1940 niedrige, zwischen 1940 und 1960 "normale" und nach 1960 erhöhte $\delta^{13}C$-Werte. Bei der Kiefer 343 treten diese Phasengrenzen schon 1930 und 1950 auf. Die angestiegenen Werte der letzten Phase deuten wiederum auf Zusammenhänge mit der aktuellen Schädigung hin. Eine Bewertung des positiven Effektes ist allerdings nicht eindeutig möglich. Gegebenenfalls müßte man die Kurvenangleichung nicht über den Mittelwert, sondern über die erste gleichläufige Phase vornehmen. Bei der Abgleichung der Kurven in der ersten Phase würde der positive Effekt entsprechend ansteigen. Die durchschnittlichen $\delta^{13}C$-Meßwerte sind bei der Kiefer 339 -24,42°/oo und bei der Kiefer 343 -24,29°/oo. Es handelt sich also absolut gesehen um minimale Abweichungen von der Normalchronologie.

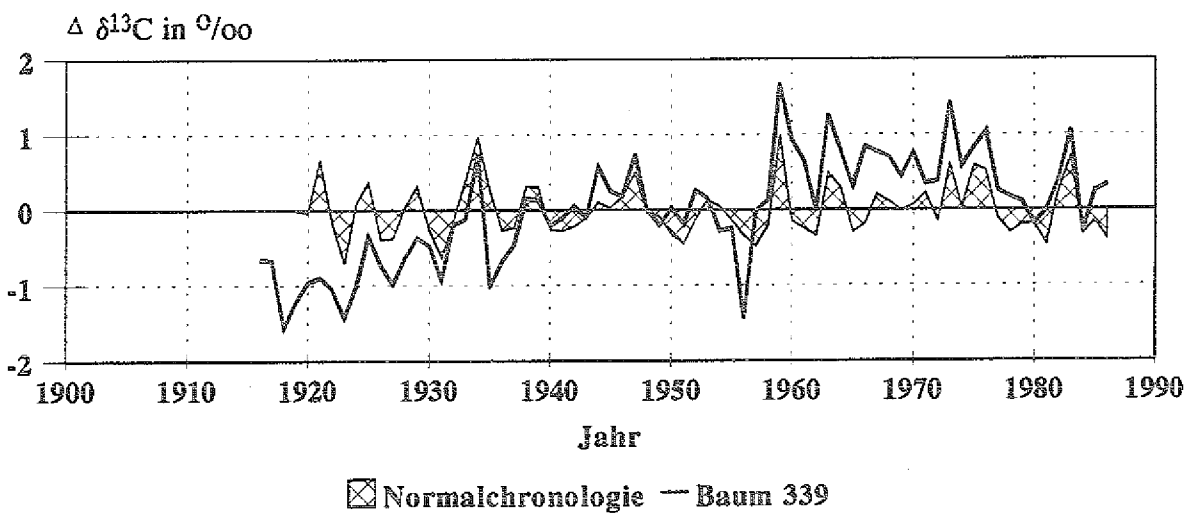


Abb. 25: Vergleich der $\delta^{13}C$-Werte von Baum 339 mit der Normalchronologie

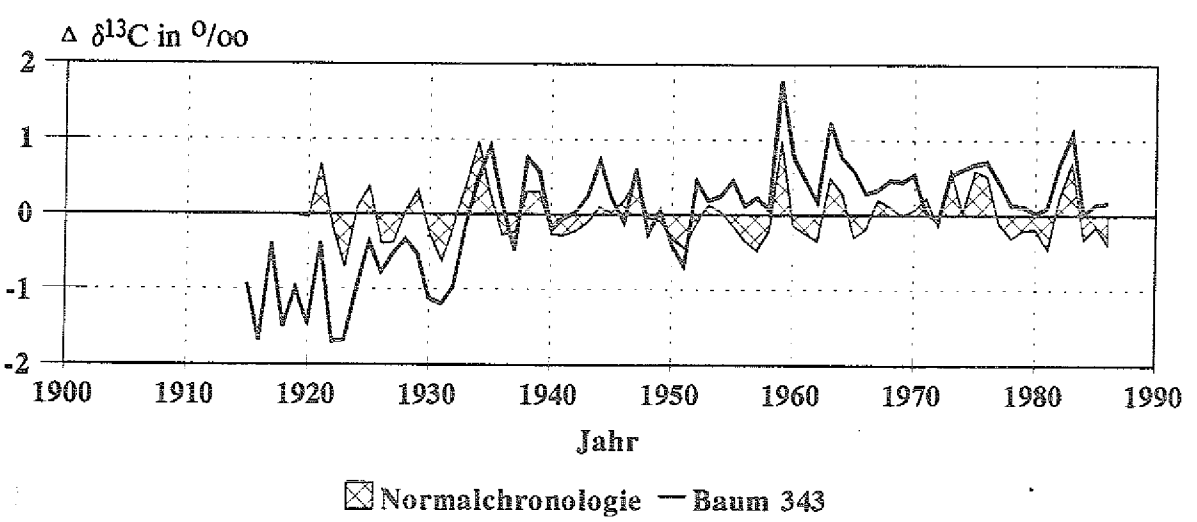


Abb. 26: Vergleich der $\delta^{13}C$-Werte von Baum 343 mit der Normalchronologie

4.3.4 Kollektivvergleich von $\delta^{13}C$-Werten mit der Normalchronologie

Die Normalchronologie wurde aus den $\delta^{13}C$-Mittelwerten der ungeschädigten Kiefern aufgestellt. Sie wird in Abbildung 27 dem Mittelwert der geschädigten Kiefern gegenübergestellt.

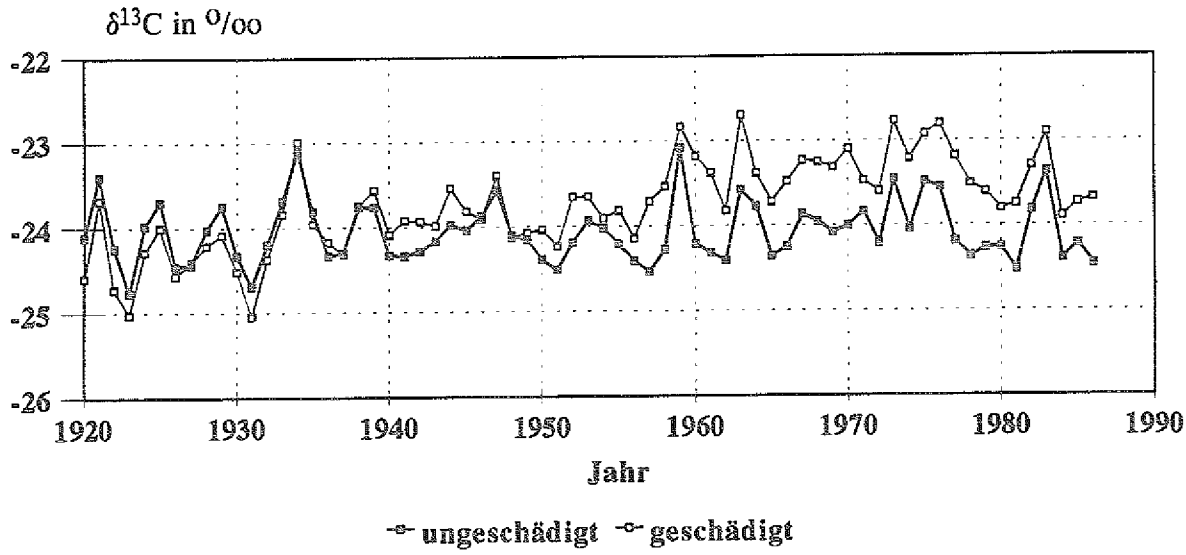


Abb. 27: $\delta^{13}C$-Werte im Vergleich der Schadklassen
Datensatz ungeschädigt: 4 Bäume, Nord-Süd Schnitt in 6m Höhe
Mittelwert der Schadklasse 0: -24,07°/oo
Datensatz geschädigt: 5 Bäume, Nord-Süd Schnitt in 6m Höhe
Mittelwert der Schadklasse 3: -23,75°/oo

Bei dieser Gegenüberstellung sind im Gegensatz zum Individualvergleich die absoluten $\delta^{13}C$-Werte aufgetragen. Es wird deutlich, daß die beiden Kollektive zwar auf dem selben Niveau beginnen, nach 1940 aber das geschädigte Kollektiv positivere $\delta^{13}C$-Werte aufweist. Die Differenz steigt im weiteren Verlauf auf etwa 0,5°/oo an. Die Reaktion der Einzelbäume ist dabei unterschiedlich. Eine eindeutige Konsequenz kann allein aus diesen Befunden nicht gezogen werden, dazu ist eine Beurteilung im Gesamtzusammenhang nötig. Bemerkenswerterweise lassen sich bei der Gegenüberstellung der Zuwachsbreiten keine derartigen Veränderungen im Kurvengang feststellen.

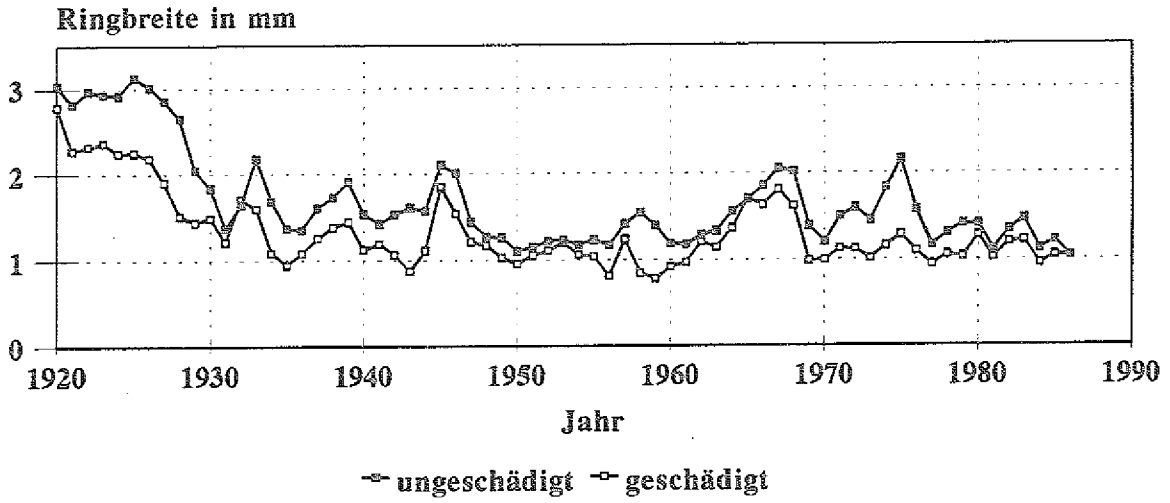


Abb. 28: Ringbreiten im Vergleich der Schadklassen
Datensatz entsprechnd der Abbildung 27
Mittelwert der Schadklasse 0: 1,69mm
Mittelwert der Schadklasse 3: 1,32mm

Zusammenfassend ergeben sich aus der Individualentwicklung der Kiefern im Vergleich zur Normalchronologie, gegliedert nach Kollektiven, folgende Befunde:

ungeschädigte Kiefern:

- Für die gesunden Kiefern ist der Gang der $\delta^{13}C$-Normalverteilungskurve repräsentativ. Durch hohe Synchronität entsprechen die gemittelten auch den individuellen Varianzen.
- Die einzelnen Bäume haben geringfügig differierende Absolutbeträge (-23,87°/oo bis -24,25°/oo) und weisen gleiche relative Änderungen im $\delta^{13}C$-Einbau auf.
- Die $\delta^{13}C$-Verläufe unterliegen dabei offensichtlich keinem übergeordneten systematischen Trend.

geschädigte Kiefern:

- Die individuellen $\delta^{13}C$-Gehalte der geschädigten Bäume sind uneinheitlich. Die Scheibenmittelwerte reichen von -22,40°/oo bis -24,29°/oo.
- Eine geschädigte Kiefer (334) entspricht in ihrer Entwicklung der Normalchronologie.
- Die Unterschiede zur Normalchronologie äußern sich in Form von ansteigenden Trends und positiveren Niveaus.
- Im Gegensatz zu den Abweichungen der $\delta^{13}C$-Gehalte verändern sich die Jahrringbreiten nicht.
- Es können Beziehungen zwischen den Schädigungen und erhöhten $\delta^{13}C$-Werten bestehen.
- Der Schädigungsbeginn kann zeitlich nicht immer exakt festgelegt werden. Erste Effekte sind ab etwa 1940 erkennbar.

4.4 Diskussion und Bewertung der Befunde

Die absoluten Werte der $\delta^{13}C$-Bestimmungen von Jahrringzellulose ergab einen Wertebereich von -20,85°/oo bis -28,42°/oo. In der Literatur werden für die organischen Stoffe von C_3-Pflanzen Werte von -22°/oo bis -34°/oo angegeben, wobei jeweils für Zellulose die Werte etwa 2°/oo höher liegen (Bender 1971, Smith und Epstein 1971, Schmidt und Winkler 1979). Insgesamt sind die primären Fraktionierungseffekte bei der Photosynthese und ihre Bedeutung im pflanzenphysiologischen Geschehen gut bekannt (Park und Epstein 1960, 1961, O'Leary 1980, Francey and Farquhar 1982, Farquhar et al. 1982, Ehleringer und Osmond 1989, Schleser 1991).
Die jährliche Variationsbreite der hier untersuchten Zellulose ergab Schwankungen von 3,26°/oo ($\delta^{13}C_{Max}$ - $\delta^{13}C_{Min}$). Verglichen mit den Literaturbefunden (Freyer und Belacy 1983, Peng 1983, Leavitt und Long 1988) von 2-3°/oo Variationsbreite ist dieser Wert relativ hoch. Sofern die jährlichen Variationen klimatisch bedingt sind ist dies für weitere Folgerungen von Vorteil.
Die auf Zelluloseanalysen mehrerer Schnittrichtungen und einzelner Jahrringe gestützten Aussagen werden in der Literatur allerdings kontrovers diskutiert (Wilson und Grinsted 1977, Tans 1978, Grinsted et al. 1979, Medina und Minchin 1980, Bender und Berge 1982, Leavitt und Long 1982a, 1982b, 1984, 1986a, Ramesh et al. 1985, Hemmann 1989, Lipp et al. 1991). Je nach Fragestellung und Art des Untersuchungsmaterials gibt es deshalb unterschiedliche Verfahren, wobei jedoch die Ergebnisse vergleichbar bleiben:

- Durch mögliche Inhomogenitäten der Isotopenverteilung innerhalb eines Jahrringes in unterschiedlichen Richtungen sollte ein Mittelwert aus 2 oder mehr Richtungen extreme Schwankungen aufzeigen und ausgleichen.
- Präparationstechnisch kann für die Probennahme des gesamten Jahrringes die größte Genauigkeit garantiert werden. Bei einer feinmaßstäblichen Klimakorrelation auf Monatsbasis könnte die separate Abtrennung von Frühholz und Spätholz bessere Korrelationen erbringen.
- Die Auswahl von Zellulose gegenüber dem Gesamtholz bringt den Vorteil, daß die $\delta^{13}C$-Werte nicht durch veränderte Verhältnisse in den Holzbestandteilen Lignin, Zellulose und Holzpolyosen verfälscht werden.

Zur Untersuchung wurden Baumscheiben aus einer Höhe von 6m genommen. Die Untersuchungen von Scheiding (1991) und Pesch (1993) verfolgten die höhenabhängige $\delta^{13}C$-Variation. Variable CO_2-Mikroklimate und physiologische Transporteffekte bewirken zwar sehr unterschiedliche $\delta^{13}C$-Niveaus in den Nadeln, die aber zum Stamm hin ausgeglichen werden (Francey et al. 1985, Ehleringer et al. 1986, Schleser et al. 1989, Schleser 1990, 1992).
Atmosphärisch bedingte Trends von $\delta^{13}C$-Jahrringchronologien wurden umfassend anhand der angestiegenden CO_2-Konzentration untersucht (Wiesberg 1974, de Silva 1978, Farmer

1979, Freyer 1979a, 1979b, Tans und Mook 1980, Francey 1981, Leavitt und Long 1986b, Krishnamurthy und Epstein 1990, Marino und McElroy 1991). Bei der atmosphärischen Konzentrationszunahme von 260ppm CO_2 um 1850 auf den heutigen Stand von 360ppm und gleichzeitiger Verringerung des $\delta^{13}CO_2$atm.-Quellwertes mußte es zu einer Abnahme des $\delta^{13}C$-Wertes kommen. Die beobachtete Differenz macht etwa 1,5°/oo aus. Gestützt wird diese Annahme auch durch Meßwerte der Gaseinschlüsse von Eisbohrkernen (Friedli et al. 1986, Siegenthaler und Oeschger 1987).
Ein abfallender Trend konnte hier nicht beobachtet werden. Ursache dafür könnte einerseits eine lokal außergewöhnliche Entwicklung des atmosphärischen CO_2 sein. Andererseits und wahrscheinlicher könnte ein überlagernder gegenläufiger Trend, bedingt durch Schädigungseinflüsse verantwortlich sein.
Wenn Luftschadstoffe nachhaltige Schädigungen und Trends bewirken, so sollten diese Effekte mit positiven $\delta^{13}C$-Werten einhergehen (Okano et al. 1984, Greitner und Winner 1988, Martin et al. 1988, Sutherland und Martin 1990, 1992, Saurer et al. 1991). Tatsächlich ergaben die Messungen für erhöhte SO_2-, O_3- und NO_2-Konzentrationen jeweils ansteigende $\delta^{13}C$-Werte. Über das Ausmaß der Effekte kann noch keine eindeutige Angabe gemacht werden.

Ziel der Untersuchung der Kohlenstoffisotopenverhältnisse an Zellulose von Jahrringproben war es, Befunde zur individuellen Varianz der Bäume und zur kollektiven Reaktion bei Schädigung und Klimaveränderung zu gewinnen, die auch eine Bewertung der eingangs gestellten Fragestellungen zulassen.

- Für den Zeitraum von 1920 bis 1986 wurde aus 8 Baumscheibenquerschnitten geschädigter Kiefern eine repräsentative Normalchronologie aufgebaut. Deren $\delta^{13}C$-Mittelwert (-24,07°/oo) bleibt im Verlauf trendfrei und entspricht in den jährlichen Variationen den charakteristischen Amplituden der individuellen Schnitte.
- Die Kurvenverläufe von 5 geschädigten Kiefern entsprechen in ihren jährlichen Variationen der Normalverteilungskurve, unterliegen allerdings im zeitlichen Ablauf ansteigenden Trends. Diese Effekte können eine Größenordnung von 0,5°/oo bis 1°/oo erreichen, sind aber bei allen Einzelindividuen unterschiedlich. Wahrscheinlich handelt es sich um nicht näher definierte pathologische Effekte.
- Im Kollektivvergleich zwischen Schadstufe 0 und 3 zeigt sich ab 1940 ein um ca. 0,5°/oo erhöhtes Niveau der geschädigten Gruppe. Eine derartige Entwicklung läßt sich aus den dendrochronologischen Untersuchungen nicht erkennen. Obwohl die Befunde klar für einen Zusammenhang sprechen, ist es nicht möglich die positiveren $\delta^{13}C$-Werte definitiv mit Schädigungen zu korrelieren.
- Der erwartete abfallende Trend im $\delta^{13}C$ infolge gestiegener CO_2-Konzentrationen der Atmosphäre und gefallener $\delta^{13}CO_2$atm.-Werte war nicht festzustellen. Sofern diese Effekte berücksichtigt werden, sollte die Normalverteilungskurve des $\delta^{13}C$ von 1920 bis 1986 einen ansteigenden Trend der Größenordnung von 1°/oo aufweisen.

5 Klimatologie

5.1. Allgemeines

Definitionsgemäß versteht man unter Klima langfristig vorherrschende atmosphärische Zustände und Witterungsvorgänge an einem Ort. Diese Zustände lassen sich mit absoluten Klimafaktoren wie Temperatur, Niederschlag, Luftfeuchte, Wind etc. beschreiben. Das Paläoklima läßt sich mit indirekten Klimazeugen rekonstruieren. Bäume sind mit ihren Jahrringen biologische Kalender, die zugleich Klimaereignisse archiviert haben.

Die klimatischen Fragestellungen beinhalten folgende Punkte:
- Wie ist der klimatische Verlauf des Standortes charakterisiert?
- Welche Korrelationen zeigen die dendrochronologischen Befunde mit den Klimadaten?
- Wie korrelieren die Isotopenverhältnisse der Jahrringzellulose mit den Klimafaktoren?

5.2 Klimadaten

Die Klimamessungen entstammen 3 Stationen des Deutschen Wetterdienstes (DWD). Dabei handelt es sich um Meßreihen der Niederschläge als Monatssumme, sowie der Temperaturen und Luftfeuchten als integrale Mittelwerte. Die Auswahl von Mittelwerten bedeutet natürlich, daß Klimaextreme nicht in vollem Ausmaß deutlich werden. Auch die zeitliche Auflösung der Jahresbeträge nach Monaten kann mitunter ungünstig sein. Eine Abwägung der geeignetsten Klimafaktoren zur Korrelation mit Baumparametern ist im voraus für einen bestimmten Standort nicht immer möglich. Die benachbarten Stationen, die gemessenen Klimawerte und die Beobachtungszeiträume sind Tabelle 11 zu entnehmen:

Tab. 11: Klimaparameter und Beobachtungszeiträume von 3 Klimastationen

Station	Lachendorf	Celle	Celle-Wietzenbruch
DWD-Bezeichnung	54318	54321	03907
Standort	52°38N;10°15E	52°09'N;10°06'E	52°35'N;10°02'E
	12km E Celle	3km N Celle	5km SW Celle
		39m über NN	55m über NN
Meßzeitraum	1937-1989	1891-1989	1941-1990
Niederschlag in mm/Jahr	692,4	696,6	685,4
$\text{Niederschlag}_{veg}$ in mm/Monat	66,8	65,7	64,7
Temperatur in °C/Jahr			8,8
Temperatur_{veg} in °C/Monat			15,4
Relative Feuchte in %/Jahr			79,6
$\text{Relative Feuchte}_{veg}$ in %/Monat			74,7

$_{veg}$ - Zeitspanne der Vegetationsperiode (Mai-September)

Anhand einiger statistischer Größen der Klimawerte soll in der folgenden Tabelle ein allgemeines Bild über das Klima des Standortes gegeben werden.

Tab. 12: Statistische Größen der Klimaparameter

	Temperatur in °C	Feuchte in %	N1 in mm	N2 in mm
Zeitraum	1941-1990	1941-1990	1891-1989	1941-1990
Anzahl der Jahre	45	45	98	45
$Mittelwert_{Jahr}$	8,8	79,6	696,6	685,4
Standardabweichung	7,4	2,2	104,5	117,9
$Minimum_{Jahr}$	7,5; 1956	73,6; 1989	352,9; 1959	352,9; 1959
$Maximum_{Jahr}$	10,4; 1990	83,5; 1958	967,4; 1966	967,4; 1966
$Mittelwert_{veg}$	15,4	74,4	65,7	64,7
Standardabweichung	7,2	3,1	14,7	13,8
$Minimum_{veg}$	13,6; 1967	64,6; 1989	22,7; 1959	22,7; 1959
$Maximum_{veg}$	17,0; 1959	80,4; 1974	99,8; 1931	89,5; 1978

N1 - Niederschlag der Station Celle; N2 - Niederschlag der Station Celle-Wietzenbruch
$_{veg}$ - Zeitspanne der Vegetationsperiode (Mai-September)

Die Niederschlagshöhen und Verläufe der 3 Stationen sind annähernd gleich. Die Meßwerte von Luftfeuchte und Temperatur beziehen sich jeweils auf die Station Celle-Wietzenbruch. Für die Korrelationen mit dem Niederschlag wurde daneben auch die Station Celle ausgewählt, da sie den längsten Beobachtungszeitraum aufweist. Im Anhang sind Werte und Verläufe sämtlicher Klimaparameter von allen 3 Stationen dokumentiert.
In den Abbildungen 29-31 wird der jahreszeitliche Verlauf der 3 Klimafaktoren anhand von Jahresgängen der Station Celle-Wietzenbruch charakterisiert. Die Verläufe verdeutlichen auch die Beziehung der 3 Klimaparameter untereinander.

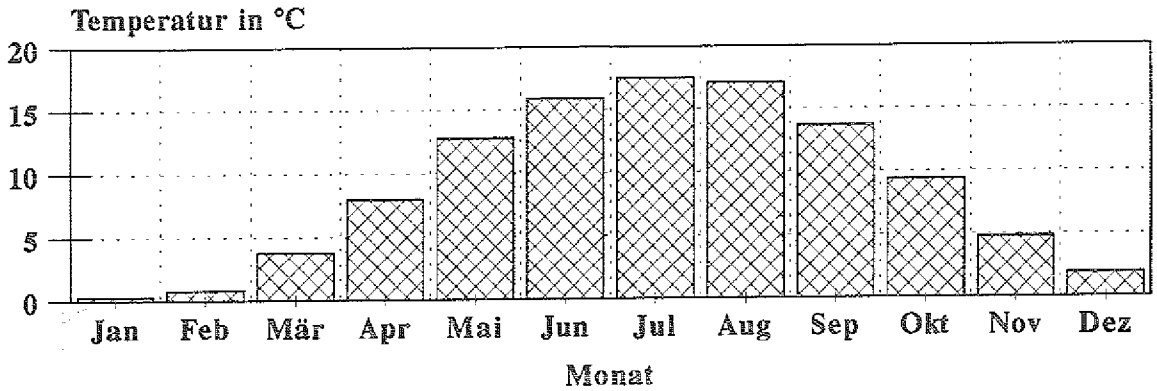


Abb. 29: Jährlicher Temperaturgang der DWD-Station 03907 von 1941-1990

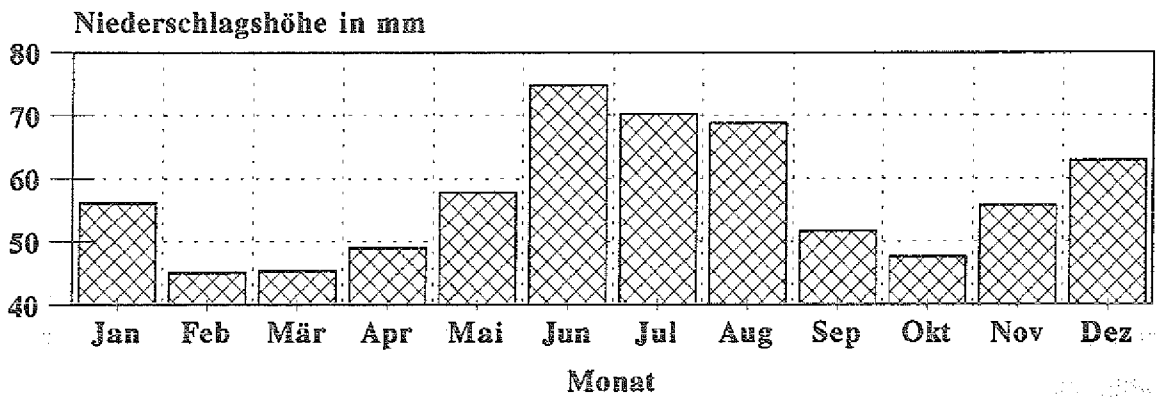


Abb. 30: Jährlicher Niederschlagsgang der DWD-Station 03907 von 1941-1990

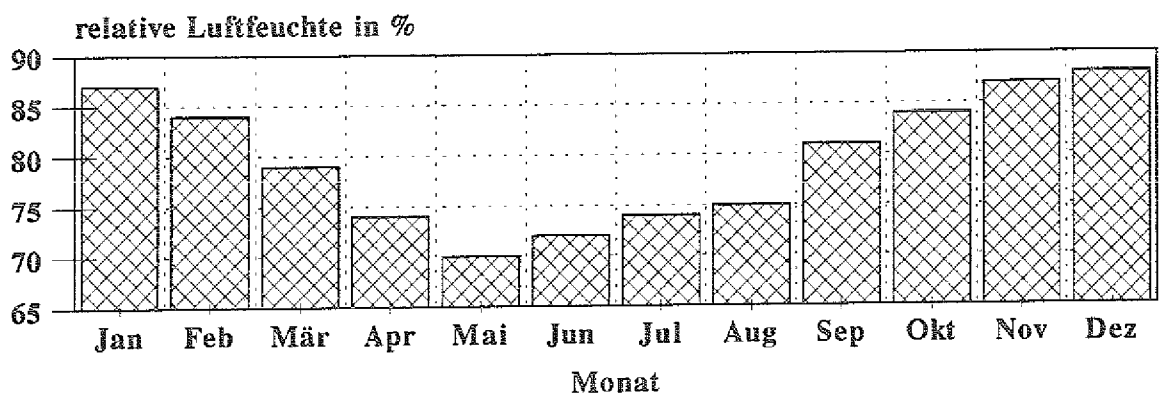


Abb. 31: Jährlicher Feuchtegang der DWD-Station 03907 von 1941-1990

Die langjährigen Klimaschwankungen von Niederschlag und Temperatur gehen aus den Diagrammen (Abb. 32, 33) hervor und vermitteln einen Eindruck zur Dynamik der örtlichen Klimaparameter.

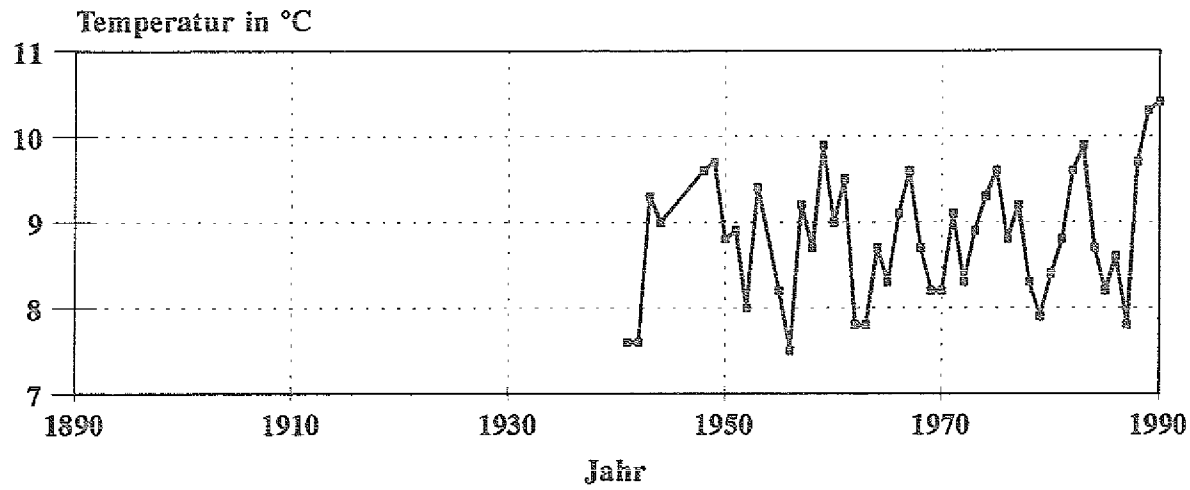


Abb. 32: Temperaturgang (mittlere Jahrestemperatur) der DWD-Station 03907

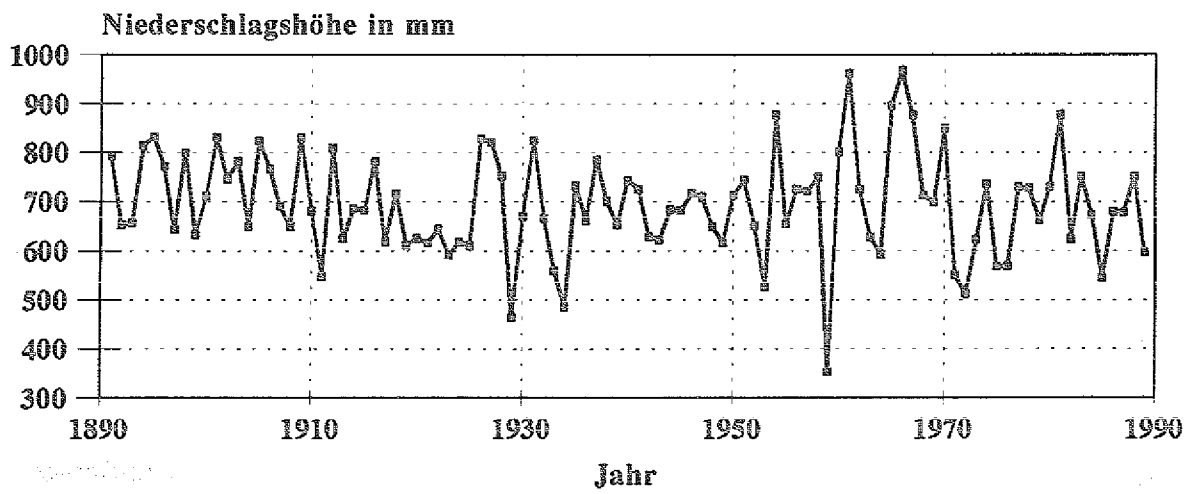


Abb. 33: Jährliche Niederschläge (Jahressumme) der DWD-Station 54321

5.3 Forstbotanische Zusammenhänge

Für die forstbotanische Beurteilung des jährlichen Klimaverlaufs ist die forstliche Vegetationszeit wichtig. Darunter versteht man Tage mit einer Durchschnittstemperatur von über 10°C. Im Mittel sind das 158 Tage. Diese physiologisch aktive Zeit kann mit Dendrometern, die Stammdickenschwankungen kontinuierlich messen, aufgezeichnet werden. Befunde derartiger Untersuchungen für verschiedene Baumarten, bei ähnlichen klimatischen Standorten, hat Mitscherlich zusammengetragen (1970). Dabei zeigten Kiefern im Vergleich

zu anderen heimischen Nadelhölzern eine lange und gleichmäßige Zeit kambialen Zuwachses.
Der monatliche Temperaturgang (Abb. 29), sowie der Verlauf des Stammzuwachses erlauben die Folgerung, die Vegetationszeit den Monaten Mai bis September zuzuordnen.

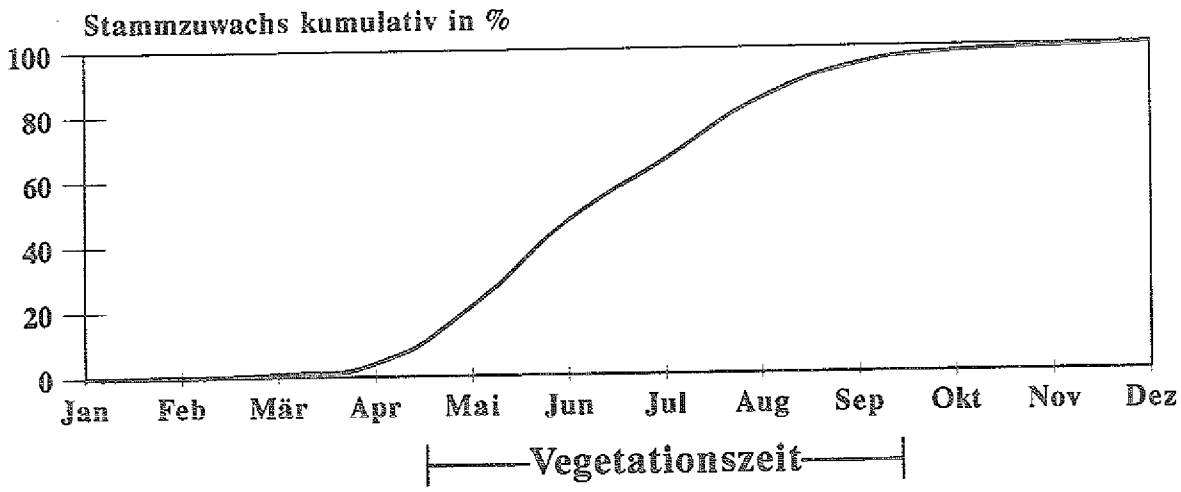


Abb. 34: Stammzuwachs der Kiefer
(Nach Mitscherlich 1970, verändert)

5.4 Klimakorrelationen

Die Korrelationsanalyse dient der Untersuchung von stochastischen und funktionalen Zusammenhängen an Wertepaaren unterschiedlicher Mengen. Über eine Regressionsanalyse wird eine Verknüpfung von Einflußgröße x und Zielgröße y nach $y = ax + b$ aufgestellt. Die Korrelationsanalyse bewertet über den Korrelationskoeffizienten R Stärke und Richtung eines in diesem Fall linearen Zusammenhanges. Auch multiple und nichtlineare Korrelationsanalysen sind möglich.
Für die folgenden Korrelationsanalysen wurden als Datensatz monatliche Temperaturen, Niederschläge und relative Luftfeuchten der DWD-Station Celle-Wietzenbruch, die mittleren Ringbreiten der ungeschädigten Kiefern in 6m Höhe und die Kohlenstoffisotopenverhältnisse der entsprechenden Kiefern ausgewählt. Jede Einzelmenge enthält 42 Datenpunkte des Zeitraumes 1941-1986.
Zunächst wird der zeitliche Einfluß der 3 Klimafaktoren erörtert, wobei die einzelnen Monate, das Gesamtjahr und die Vegetationsperiode von Mai bis September mit Jahrringbreiten (RB) und Isotopenverhältnissen ($\delta^{13}C$) verglichen werden. Die ermittelten Korrelationskoeffizienten R sind in der Tabelle 13 aufgelistet. Bezogen auf einen Stichprobenumfang von 42 Wertepaaren liegen die Konfidenzschranken für 95%ige Wahrscheinlichkeit der Korrelation bei $R > 0{,}26$ und $R < -0{,}26$, bzw. für 99%ige Wahrscheinlichkeit bei $R > 0{,}38$ und $R < -0{,}38$ überschritten.

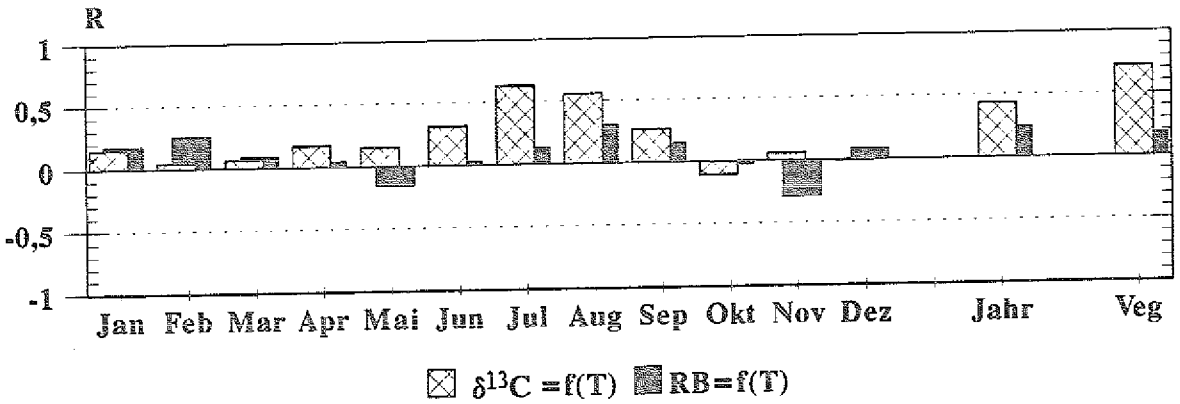


Abb. 35: Korrelationskoeffizienten der Verknüpfungen von Temperatur (T) mit Isotopenverhältnissen ($\delta^{13}C$) und Ringbreiten (RB) im Zeitraum 1941-1986

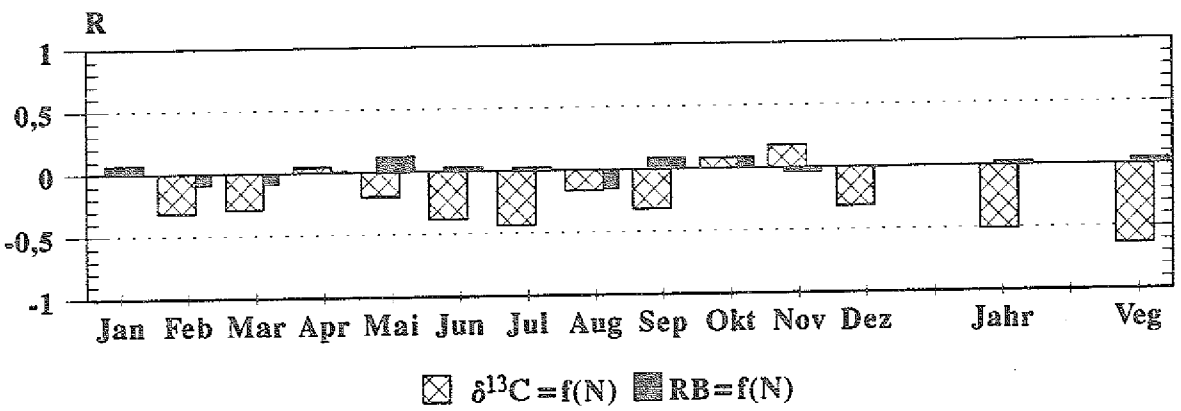


Abb. 36: Korrelationskoeffizienten der Verknüpfungen von Niederschlag (N) mit Isotopenverhältnissen ($\delta^{13}C$) und Ringbreiten (RB) im Zeitraum 1941-1986

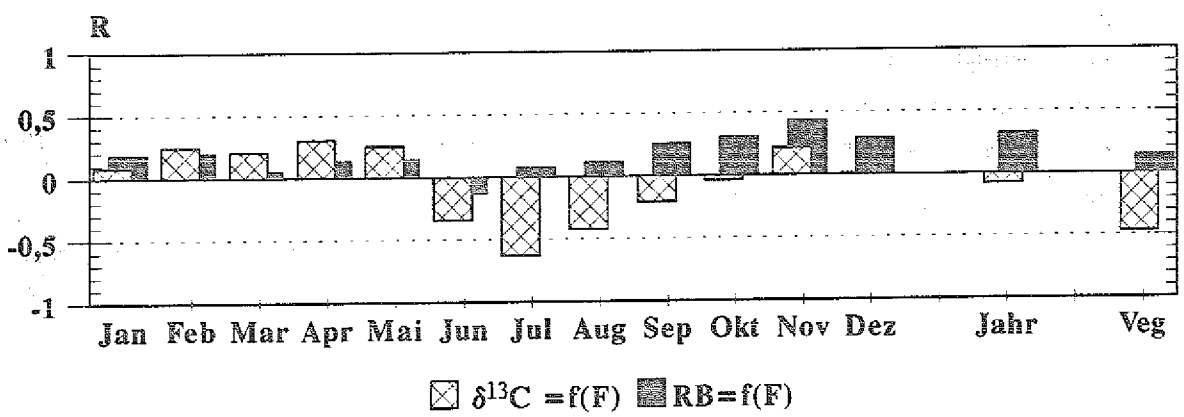


Abb. 37: Korrelationskoeffizienten der Verknüpfungen von Feuchte (F) mit Isotopenverhältnissen ($\delta^{13}C$) und Ringbreiten (RB) im Zeitraum 1941-1986

Tab. 13: Korrelationskoeffizienten linearer Verknüpfungen

	$\delta^{13}C=f(N)$	$\delta^{13}C=f(T)$	$\delta^{13}C=f(F)$	RB=f(N)	RB=f(T)	RB=f(F)
Januar	0,01	0,15	0,09	0,07	0,18	0,18
Februar	-0,32	0,05	0,25	-0,09	0,26	0,20
März	-0,29	0,07	0,21	-0,08	0,09	0,05
April	0,05	0,17	0,30	0,01	0,04	0,13
Mai	-0,19	0,15	0,25	0,12	0,15	0,14
Juni	-0,38	0,31	-0,34	0,04	0,02	0,13
Juli	-0,44	0,63	-0,63	0,02	-0,14	0,08
August	-0,16	0,56	-0,42	-0,15	0,30	-0,11
September	-0,32	0,26	-0,20	0,09	0,15	0,26
Oktober	0,09	-0,11	-0,04	-0,09	-0,02	0,31
November	0,18	0,06	0,22	-0,03	-0,29	0,43
Dezember	-0,31	-0,01	0,01	0,00	0,09	0,29
Gesamtjahr	-0,51	0,43	-0,08	0,03	0,24	0,32
Vegetationsperiode	-0,63	0,72	-0,47	0,05	0,18	0,14

Aus diesen zeitlich variierten Korrelationsanalysen folgt:

- Für die Jahrringbreiten kann keine signifikante Korrelation mit den Klimagrößen ermittelt werden.
- Die Isotopenverhältnisse sind positiv mit der Temperatur und negativ mit dem Niederschlag und der relativen Luftfeuchte korreliert.
- Die beste zeitabhängige Korrelation der Isotopenverhältnisse mit Klimaparametern erhält man bei Betrachtung der gesamten Vegetationsperiode. (Ausnahme: Julifeuchte)
- Die Korrelationen mit den Monaten der Vegetationsperiode sind generell schärfer als mit den Monaten der Ruhephase.
- Die Korrelationskoeffizenten zeigen eine abnehmende Signifikanz in der Reihe Temperatur (+0,72), Niederschlag (-0,63), relative Luftfeuchte (-0,47).

Auf Grund der guten Korrelation mit den Klimadaten der Vegetationsperiode, werden für weitergehende Berechnungen nur die in der Tabelle 14 aufgeführten Klimaparameter verglichen.

Tab. 14: Datensatz der Korrelationsanalysen

Jahr	$\delta^{13}C$ in $^{o}/oo$	RB in mm * 100	N_{veg} in mm	F_{veg} in %	T_{veg} in °C
1941	-24,34	142,30	61,82	74,0	15,02
1942	-24,28	152,90	67,34	73,0	15,30
1943	-24,17	160,95	67,92	74,8	15,50
1944	-23,97	157,20	46,90	73,6	15,68
1948	-24,10	127,30	63,68	75,6	15,72
1949	-24,16	126,45	53,82	75,0	15,78
1950	-24,39	110,35	70,68	75,6	15,74
1951	-24,51	115,05	71,30	76,6	15,04
1952	-24,19	121,85	53,40	75,2	14,54
1953	-23,93	123,40	62,94	75,0	15,44
1955	-24,21	123,50	70,52	75,8	15,10
1956	-24,41	117,25	74,34	76,0	14,52
1957	-24,54	141,60	73,82	74,4	14,56
1958	-24,28	154,80	78,78	78,4	15,60
1959	-23,08	139,95	22,68	73,0	17,02
1960	-24,21	118,60	75,30	75,8	15,08
1961	-24,32	118,10	82,74	77,0	15,20
1962	-24,41	128,50	70,38	77,0	13,58
1963	-23,58	133,60	71,82	72,0	15,80
1964	-23,78	155,75	68,24	72,5	16,06
1965	-24,37	169,80	79,72	77,4	14,46
1966	-24,25	185,25	89,30	76,6	15,68
1967	-23,87	205,40	84,28	77,8	15,68
1968	-23,95	201,95	82,68	76,8	15,22
1969	-24,08	138,65	62,26	76,2	15,80
1970	-24,00	120,50	68,34	74,4	15,44
1971	-23,84	149,80	60,88	74,4	15,54
1972	-24,21	159,50	62,30	76,4	14,50
1973	-23,46	145,05	37,74	73,4	15,92
1974	-24,04	182,75	58,12	80,4	14,36
1975	-23,48	215,75	55,82	73,4	16,46
1976	-23,55	157,45	49,44	69,4	16,02
1977	-24,19	116,65	72,48	77,0	14,72
1978	-24,37	131,10	89,54	78,4	14,36
1979	-24,27	141,00	54,00	77,2	14,68
1980	-24,26	140,95	72,70	71,6	14,94
1981	-24,53	111,45	77,58	74,6	15,62
1982	-23,83	134,50	50,44	69,4	16,74
1983	-23,36	146,50	45,96	68,0	16,70
1984	-24,40	112,25	69,68	75,0	14,68
1985	-24,22	121,50	54,92	74,0	15,32
1986	-24,46	103,90	53,36	69,8	15,54

RB - Ringbreite; N - Niederschlag; F - Feuchte; T - Temperatur; $_{veg}$ - Vegetationsphase

Aus diesen Datensätzen ergibt sich die folgende Korrelationskoeffizienten nach: y = f(x).

Tab. 15: Korrelationskoeffizienten der Vegetationsphase

x / y	Temperatur	Niederschlag	Feuchte	$\delta^{13}C$	Ringbreite
Temperatur	1	+0,48	+0,61	-0,71	-0,17
Niederschlag	-0,48	1	-0,53	+0,61	-0,07
Feuchte	-0,61	+0,53	1	+0,47	-0,14
$\delta^{13}C$	0,71	-0,61	-0,47	1	+0,39
Ringbreite	+0,17	+0,07	+0,14	-0,39	1

Die bisherigen Korrelationsanalysen gingen von einem linearen Zusammenhang zwischen klimatischen Einflußgrößen und korrelierten Isotopenverhältnissen bzw. Jahrringbreiten aus. Sie zeigten bei einer einfachen Verknüpfung für die Isotopenverhältnisse gute Korrelationen mit den Klimafaktoren. Um diese Vereinfachung den tatsächlichen Zusammenhängen anzunähern gibt es die beiden folgenden Lösungesansätze:

- Die Analyse von nicht linearen Korrelationen
- Die Kopplung von mehreren Klimagrößen zu einem Klimasignal

Diese Lösungsansätze werden im weiteren verfolgt. Im Fall der linearen Korrelation wird die beste Näherung einer Punktwolke von Wertepaaren durch eine Regressionsgerade beschrieben. Diese Regressionsgerade wird bei der nicht linearen Korrelationsanalyse durch ein Polynom ersetzt. Die Folge hiervon sind bessere Korrelationen.

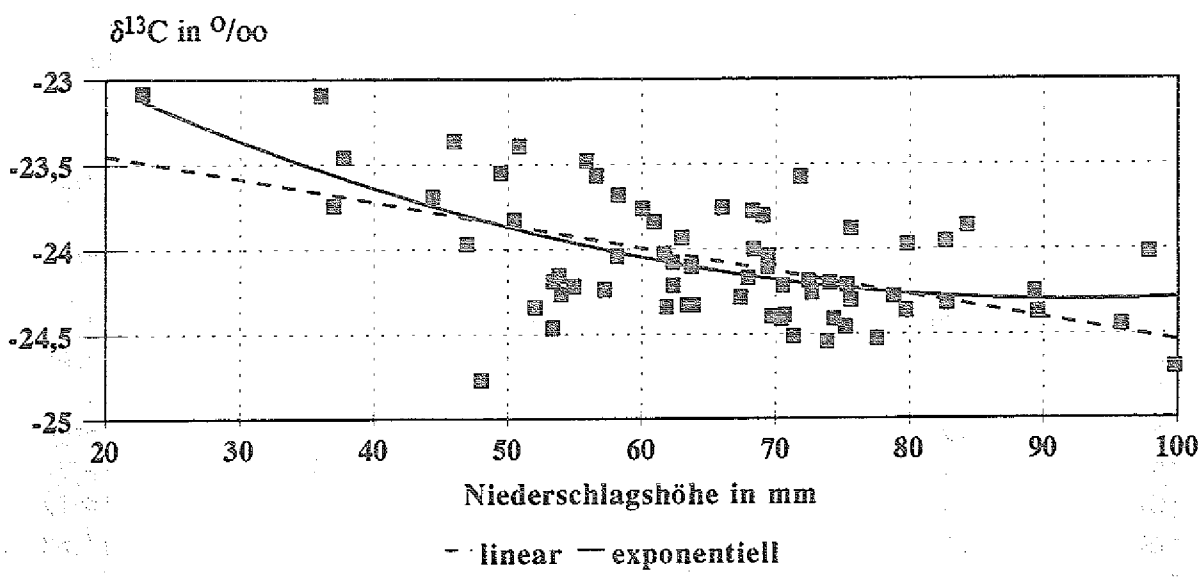


Abb. 38: Korrelationsdiagramm - $\delta^{13}C$-Werte und $Temperatur_{veg}$
Vergleich von linearer und exponentieller Regressionskurve

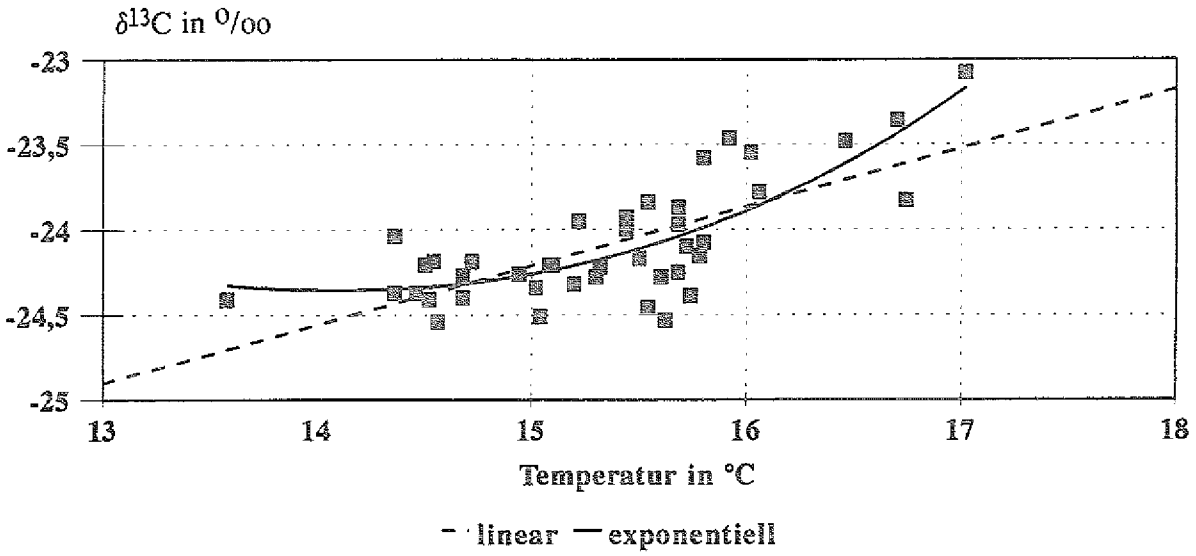


Abb. 39: Korrelationsdiagramm - $\delta^{13}C$-Werte und $Niederschlag_{veg}$
Vergleich von linearer und exponentieller Regressionskurve

Die abgebildeten Korrelationsdiagramme (Abb. 38, 39) vergleichen zwei exponentielle Regressionen nach $y = ax^2 + bx + c$ mit zwei linearen Regressionen nach $y = ax + b$.

Tab. 16: Regressionsgleichungen der Klimakorrelationen

		r	n
linear:	$y = ax + b$		
für $\delta^{13}C = f(T)$	$= 0{,}345x - 29{,}39$	0,72	42
für RB = f(T)	$= -0{,}019x - 23{,}11$	0,56	67
exponentiell:	$y = ax^2 + bx + c$		
für $\delta^{13}C = f(N)$	$= 0{,}148x^2 - 4{,}22x + 5{,}66$	0,79	42
für RB = f(N)	$= -0{,}0024x^2 - 0{,}0456x - 22{,}24$	0,61	67

Die Korrelationskoeffizienten sind für die exponentielle Regression geringfügig besser. Bei exponentieller Regression werden klimatische Extremsituationen besser durch die $\delta^{13}C$-Werte beschrieben.

Weiterhin kann ein subjektiv passender Kurvenverlauf in die Punktwolke gezeichnet werden, der die steigenden $\delta^{13}C$-Werte bei Klimaextremen ebenso hervorhebt (Abb. 40).

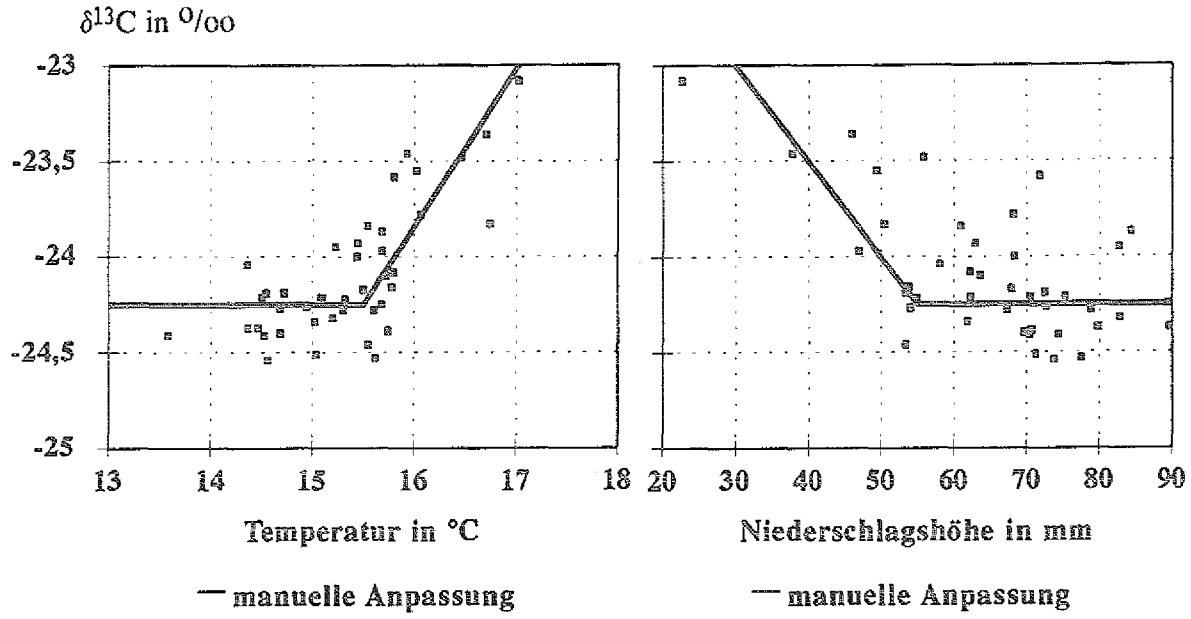


Abb. 40: Korrelationsdiagramm - $\delta^{13}C$-Werte und $Temperatur_{veg}$ bzw. $Niederschlag_{veg}$ manuelle Kurvenanpassung

Insgesamt heben die nicht linearen Korrelationsanalysen die Verbindung von geringen Niederschlägen und hohen Temperaturen mit hohen $\delta^{13}C$-Werten stärker hervor. Diese klimatische Situation entspricht einem Trockenstreß für die Pflanze.

Im zweiten weitergehenden Lösungsansatz wird die Kopplung von Temperatur (T) und Niederschlag (N) zu einem Klimasignal verfolgt. Nach den vorausgegangen Ausführungen erscheint das Verhältnis von T/N geeignet, die klimatische Beeinflussung der $\delta^{13}C$-Werte zu beschreiben. Aufgrund der unterschiedlichen Maßeinheiten wurden die beiden Klimaparameter hierfür indiziert.

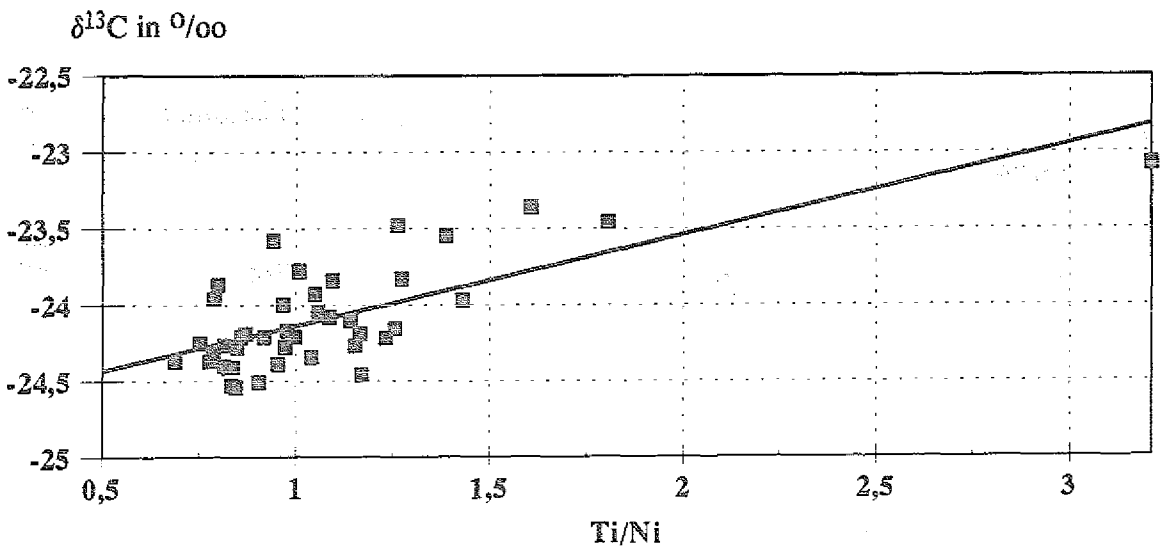


Abb. 41: $\delta^{13}C$-Werte in Abhängigkeit von dem Temperatur/Niederschlagsverhältnis Indizierung nach $T_i = T / T_{MW}$ und $N_i = N / N_{MW}$

Die zugehörige Regressionsgleichung lautet: $\delta^{13}C = 0{,}59T_i/N_i - 24{,}73$. Der Korrelationskoeffizient ist mit 0,71 nicht besser als in der ungekoppelten Klimakorrelation.
Diese, wie auch ähnlich Kopplungen erbrachten keine wesentliche Verbesserungen der Korrelationskoeffizienten. Lediglich die Bewertung der Extremwerte gelingt mit den gekoppelten Analysen besser.

5.5 Diskussion der Klimakorrelationen

Die Klimakorrelation von Jahrringbreiten und $\delta^{13}C$-Werten war bereits Gegenstand vieler Untersuchungen. Die resultierenden Befunde sind bei der großen Standortvielfalt natürlich uneinheitlich. Dendrochronologen und Isotopenanalytiker diskutieren die Befunde und die darauf basierenden Hypothesen teilweise kontrovers, wenngleich es viele grundlegende Untersuchungen im System Klima-$\delta^{13}C$-Werte von Jahrringen bzw. Pflanzen gibt (Libby und Pandolfi 1974, Pearman et al. 1976, Gray und Thompson 1976, Fraser et al. 1978, Burk und Stuiver 1981, Leavitt und Long 1983, Ramesh et al. 1986, Stuiver und Braziunas 1987, Macdowall und London 1989, Frielingsdorf 1989, 1992, Lipp et al. 1991, Riederer 1992, Krevs 1993).
Die vorliegenden Untersuchungen zeigen für die Jahrringbreiten und die Kohlenstoffisotopenverhältnisse folgende Korrelationen:

Tab. 17: Gradienten der linearen Klimakorrelationen

		R	a(x)	Fehler a	b	Fehler b
	Temperatur	0,18	6,632	±5,823	40,14	±26,64
Ringbreite	Niederschlag	0,05	0,089	±0,301	136,10	±27,04
	relative Feuchte	0,14	1,424	±1,602	35,40	±26,80
	Temperatur	0,72	0,345	±0,053	-29,40	±0,24
$\delta^{13}C$-Werte	Niederschlag	-0,63	-0,055	±0,003	-23,08	±0,27
	relative Feuchte	-0,47	-0,062	±0,018	-19,49	±0,31

In funktionaler Abhängigkeit bedeutet dies z.B.:

$$\delta^{13}C = f(F) \quad => \quad \delta^{13}C = ax + b$$

$$\delta^{13}C = (-0{,}062 \pm 0{,}018)F_{veg} + (-19{,}49 \pm 0{,}31)$$

Gute dendrochronologische Korrelationen können auf Standorten erwartet werden, die sich nahe an den physiologisch limitierenden Klimagrenzen befinden. Kiefern haben im allgemeinen ein breites ökologisches Spektrum. Der hier untersuchte Standort liegt nicht an einer dieser Verbreitungsgrenzen. Die Ringbreiten zeigen keine lineare Korrelation mit den 3 Klimagrößen.

Die klimatische Prägung der $\delta^{13}C$-Gehalte der Pflanzen unterliegt nicht den Gesetzmäßigkeiten der Jahrringbreitenbildung. Die klimatisch entscheidenden Fraktionierungseffekte bei der CO_2-Aufnahme gehen Hand in Hand mit der enzymatischen Fixierung und der stomatären Aktivität. Die Stomata regeln über ihren Schließmechanismus den CO_2- und H_2O-Gasaustausch zwischen Atmosphäre und Nadelinnerem. Dabei spielen Transpiration und CO_2-Versorgung eine Schlüsselrolle. Hohe Fraktionierungsraten, d.h. niedrigere $\delta^{13}C$-Werte beobachtet man bei offenen Stomata. Dies entspricht feucht-kalten Bedingungen. Bei trocken-warmer Klimasituation ist die geringere Öffnungsweite der Stomata Ursache einer geringen Diskriminierung von $^{13}CO_2$ gegen $^{12}CO_2$. Gleichzeitig verringert sich bei dem dadurch kleineren CO_2-Angebot auch die Fraktionierung am Enzym Rubisco von $^{13}CO_2$ gegen $^{12}CO_2$. Beide Effekte schlagen sich in höheren $\delta^{13}C$-Werten in der Pflanze nieder. Entsprechend dieser physiologischen Abläufe kann nunmehr eine positive Korrelation der $\delta^{13}C$-Werte mit der Temperatur und eine negative Korrelation mit den Niederschlagssummen und der relativen Luftfeuchte in Zusammenhang gebracht werden. Die Korrelationskoeffizienten sind vergleichsweise hoch, d.h. eine gute Korrelation liegt vor. Die Gradienten (Tab. 17) entsprechen den Befunden vergleichender Untersuchungen.
Die Korrelationsanalysen belegen die deutliche Reaktionen der Bäume auf die klimatische Streßsituation (trocken und warm). So liegt die Vermutung nahe, daß die Fraktionierung im Normalbereich weniger sensitiv ist, als in klimatischen Extremsituationen. Bei eingehenden Untersuchungen solcher Extremsituationen könnten die gefundenen Korrelationen präzisiert und verifiziert werden.
Bei Klimakorrelationen gibt es allgemein gewisse Skalierungsprobleme. Durch integrale Mittelwerte gehen von den absoluten Klimadaten Detailinformationen verloren, die für die Vegetation bedeutend sind. Frostereignisse während der Vegetationsperiode können drastische und weitreichende Auswirkungen auf die Bestände haben, die über einen Monatsmittelwert weder zu erkennen noch zu beurteilen sind. Kurze starke Regenfälle mit oberirdischem Abfluß tragen weniger zur Wasserversorgung bei, als aus der Niederschlagssumme zu vermuten wäre. Diese Beispiele zeigen, daß eine monatliche Zeitskalierung zu grob sein kann. Es gibt auch Argumente für die Wahl eines größeren Zeitintervalls. Bei den hier vorliegenden Befunden ist die Auswahl eines Integralwertes der gesamten Vegetationsphase sinnvoll.

Aus den vorausgegangenen Überlegungen und Befunden können folgende Feststellungen getroffen werden:

- Die absolute Klimamessung im Zeitraum von 1941-1986 ergab für das bearbeitete Gebiet eine Jahresmitteltemperatur von 8,8°C, eine jährliche Niederschlagssumme von 685,4mm und durchschnittliche Luftfeuchte von 79,6%. Die pflanzenphysiologisch entscheidende Vegetationsphase von Mai bis September ist durch eine Durchschnittstemperatur von 15,4°C, einen monatlichen Niederschlag von 64,7mm und 74,4% relative Luftfeuchte gekennzeichnet.

- Die dendrochronologischen Befunde korrelieren nicht mit den 3 Klimafaktoren. Der Standort ist für Kiefern aus dendrochronologischer Sicht nicht sensitiv.
- Die Kohlenstoffisotopenverhältnisse der ungeschädigten Kiefern korrelieren gut mit den Klimaparametern. Insbesondere die Betrachtung des Zeitintervalls der gesamten Vegetationsperiode brachte signifikante Korrelationen. Es wurde eine positive Temperaturkorrelation (R = 0,72) mit einem Gradienten von 0,345°/oo/°C festgestellt. Die Korrelation mit den Niederschlagssummen ist bei einem Gradienten von -0,055°/oo/mm Niederschlag (R = -0,63) negativ, wie auch die Korrelation mit der Feuchte (R = -0,47; Steigung: -0,062°/oo/% relative Feuchte). Insbesondere die pflanzenphysiologische Streßsituation von Trockenzeiten in Verbindung mit hohen Temperaturen spiegeln sich deutlich in den Isotopenverhältnissen wider.

6 Spurenelementbestimmung

6.1 Allgemeines

Die quantitative Spurenelementanalytik mit ICP-AES (Atomemissionsspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Argonplasma) und AAS (Atomabsorptionsspektrometrie) hat sich zu einem verbreiteten Verfahren in der Umweltanalytik entwickelt. Die Methoden ermöglichen die zuverlässige Gesamtanalyse von pflanzlichen Materialien.

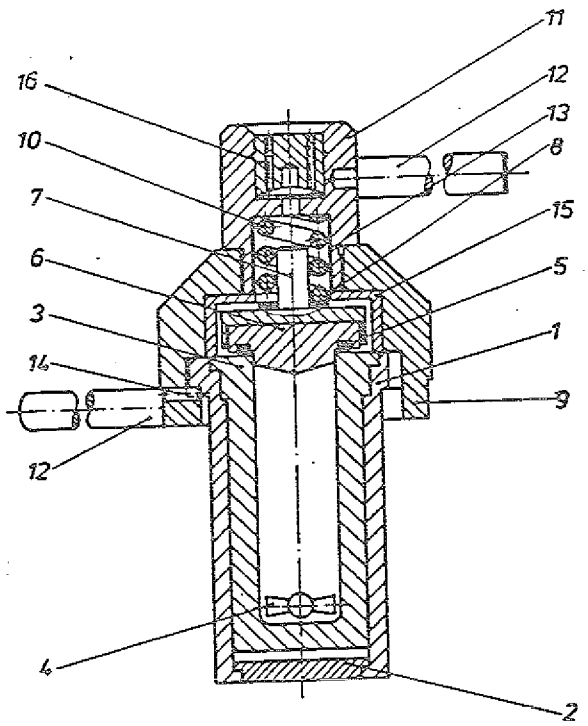
Ziel dieser Untersuchungen war es, Befunde für eine Beurteilung der folgenden Fragen zu erheben:

- Finden sich in den Holzproben Spurenelementkonzentrationen im toxischen oder Mangelbereich?
- Gibt es signifikante Konzentrationsunterschiede zwischen geschädigten und ungeschädigten Kiefern?
- Zeigen die Konzentrationsprofile der einzelnen Elemente den Verlauf oder den Beginn einer Schädigung auf?

6.2 Probenauswahl und Probenaufarbeitung

Für die anorganische Spurenelementbestimmung wurden zwei Baumscheibenquerschnitte (Baum 063 Nord und Süd - ungeschädigt; Baum 341 Nord und Süd - geschädigt) ausgewählt. Die Hölzer wurden in einzelnen Jahrringen nach spurenanalytischen Gesichtspunkten beprobt. Mit PE-Handschuhen und Skalpell wurde jeweils eine repräsentative Jahrringprobe von 150 - 250mg Holzeinwaage gewonnen. Insgesamt wurden 300 verschiedene Jahrringproben, sowie 42 Mehrfach- und Blindproben genommen und bestimmt.

Als Probenaufschluß sind in der Neben- und Spurenelementanalytik von organischen Stoffen Naßveraschungsverfahren die gängigsten Methoden. Hierbei wird die Probe mit einer Säure versetzt und in einem offenen oder geschlossenem System erhitzt. Geschlossene Systeme haben den Vorteil, daß weder Kontaminationen von außen, noch Verluste durch Verflüchtigungen entstehen. Nach vergleichenden Tests wurde das Druckaufschlußsystem PRAWOL der Firma Fleischhacker ausgewählt.
Dieses Druckaufschlußsystem besteht aus einer Edelstahldruckbombe, die in einem zylindrischen Aluminiumheizblock steht, der durch einen Magnetheizrührer mit Kontaktthermometer auf eine gewählte Temperatur geheizt wird. In der Druckbombe befindet sich ein 35ml fassendes Aufschlußgefäß aus Polytetraflourethylen (PTFE, $F_2C{=}CF_2$ (Teflon)). Dieser Werkstoff ist bis etwa 200°C wärme- und säurebeständig. Die Druckbombe ist bis zu einem Innendruck von 25bar stabil.



1 - Druckzylinder
2 - Bodenverschluß
3 - PTFE-Becher
4 - PTFE-Rührkern
5 - PTFE-Dichtring
6 - PTFE-Deckel
7 - Deckelhalter
8 - Federlager
9 - Mantelverschlußkopf
10 - Druckfeder
11 - Federspannkopf
12 - Verschlußhebel
13 - PTFE-Federklemme
14 - Anschlagstift
15 - PTFE-Schutzbuchse
16 - Überdrucksicherung

Abb. 42: Druckaufschlußsystem "Prawol"

150 - 250mg Holz wurden mit 3ml konzentrierter Salpetersäure (65% HNO_3 Suprapur MERCK Art. 441) versetzt und 3 Stunden lang bei 170°C aufgeschlossen. Die Aufschlußlösung war in allen Fällen klar und rückstandsfrei. Sie wurde in einen 10ml Meßkolben überführt und mit tri-destilliertem Wasser (Milli-Q System von MILLIPORE) auf 10ml aufgefüllt. Diese Lösung ergab die Stammlösung für die Analyse.

6.3 Methodik der Spurenelementanalyse

Bei dem Analysegerät der ICP-AES-Untersuchungen handelte es sich um ein Simultanspektrometer ARL 34000. Die Analysebedingungen können wie folgt beschrieben werden:

- Ar/Ar Plasma
- HF-Generator 1,25kW
- Gitterdichte 1080/mm
- Meinhardt-Zerstäuber bei 2ml/min

Beim Einsatz dieser ICP-AES werden gleichzeitig bis zu 50 verschiedene Elemente der Testlösung quantitativ bestimmt. Diese Analysemethode wird routinemäßig im Zentralinstitut für Chemische Analyse im Forschungszentrum Jülich betrieben. Alle Bestimmungen wurden dort durchgeführt.

Die Nachweisgrenzen der einzelnen Elemente, bezogen auf den Feststoff (Holz), bei beschriebener Verdünnung der Stammlösung, sowie der relative Fehler sind in Tabelle 18 aufgelistet.

Tab. 18: Nachweisgrenzen der Spurenelemente (in ppm)

Element	fest	flüssig	Fehler in %	Konzentrationen
Na	2	0,1	5	100-1000
K	1	0,5	10	100-2000
Ca	0,01	0,002	5	500-2500
Mg	0,1	0,005	5	50-500
B	2	0,2	10	100-500
Al	2	0,1	10	100-2500
Fe	2	0,1	10-20	2-50
Mn	0,1	0,005	10-20	30-500
Zn	1	0,02	10-20	2-20
Cu	1	0,03	20-50	2-20
Co	1	0,02	n.b.	n.b.
Cd	1	0,02	n.b.	n.b.
Pb	10	0,1	n.b.	n.b.

fest - Nachweisgrenze im Feststoff
flüssig - Nachweisgrenze in der Lösung
Fehler - relativer Meßfehler in %
Konzentrationen - gemessene Konzentrationen des Feststoffes

Für die Spurenelementbestimmung mit AAS wurden von 10 Stammlösungen des Baumes 341 der Elementgehalt von Cd atomabsorptionsspektrometrisch gemessen. Analysegeräte und Einarbeitungshilfe gab das Institut für Physikalische Chemie im Forschungszentrum Jülich. Als Meßgerät diente ein Perkin-Elmer 4000 Z, mit HGA-500 und AS-40 Autosampler. Gearbeitet wurde mit Graphitrohrtechnik (pyrocarbonbeschichtetes Graphitrohr mit L'vov Plattform) und einer elektrodenlosen Entladungslampe, bei einer Wellenlänge von 228,8nm. Die thermische Vorbehandlung wurde bei 300°C vorgenommen, die Atomisierung erfolgte bei 1300°C. Das Probenvolumen betrug 10μl, der Verdünnungsfaktor 2,5 bis 10. Es wurde eine Additionsmethode mit 0,5, 1 und 1,5ppb Cd angewandt. Als Qualitätskontrolle diente ein Fichtennadelreferenzmaterial der Umweltprobenbank des BMU im Forschungszentrum Jülich. Die Cd-Gehalte schwankten zwischen 170 und 770ppb Cd im Holz. Der relative Fehler der Meßwerte liegt bei 10%.
Für eine quantitative Bestimmung von Pb mit AAS war die Verdünnung der Stammlösung zu groß.

6.4 Ergebnisse der Spurenelementbestimmung

Zur Qualitätskontrolle und zur Verfahrensüberwachung wurden Blindproben gemessen. Da die Aufschluß- und Analysenmethode ausgereift ist, liegen die Kontaminationen gleichbleibend niedrig. Das Spektrum der Blindwerte der gemessenen Spurenelemente ist Tabelle 19 zu entnehmen.

Tab. 19: Blindwerte bei der Spurenelementbestimmung

Element	mg/l	Element	mg/l	Element	mg/l
Na	1-5,1	B	2,5-2,7	Zn	0,02-0,16
K	<1	Al	2,1-12	Cu	<0,02
Ca	0,4-0,7	Fe	0,1-0,5	Cd	<0,02
Mg	0,01-1,2	Mn	0,02-0,2	Pb	<0,1

Die Bor-Kontaminationen können mit der Wasseraufbereitung in Zusammenhang gebracht werden. Bor ist bei der Wasseraufbereitung ein kritisches Element. Der angegebene Grenzwert der Wasserqualität liegt für Bor bei 3,0μl/l (andere Spurenelemente <1μl/l).
Die Al-Kontaminationen stammen von den PTFE-Tiegeln. Bedingt durch den Herstellungsprozeß ist mit Verunreinigungen durch Nickel und Aluminium zu rechnen. Begleitende Tests ergaben eine Kontamination von 200ng Ni und 50ng Al pro Aufschluß.
Die Na-Kontaminationen sind nicht eindeutig belegbar.
Insgesamt ist die Spurenelementkonzentration der Blindwerte als unkritisch für die Analyse der Holzproben zu beurteilen.

Für die Beurteilung der Reproduzierbarkeit der Aufschluß- und Analysemethoden wurden Mehrfachbestimmungen durchgeführt. Bedingt durch die dafür notwendige repräsentative Probenmenge, mußte dies auf Einzelfälle beschränkt bleiben. In Tabelle 20 ist eine Zusammenstellung der Ergebnisse einer Mehrfachbestimmung von 4 Einzelproben widergegeben.
Die statistische Beurteilung der Reproduzierbarkeit bei nur 4 Proben besagt nicht viel. Dennoch kann nach den hier aufgeführten Befunden und weiteren Doppelproben davon ausgegangen werden, daß die Reproduzierbarkeit im Rahmen der für spektrometrisch gemessene Spurenelementkonzentrationen liegt.

Tab. 20: Reproduzierbarkeit bei Mehrfachbestimmungen

Element	4 Messungen in ppm				Mittelwert	Standardabweichung
Na	245	255	340	230	268	42,8
K	155	145	135	160	149	9,6
Ca	670	690	680	660	675	11,2
Mg	100	100	95	100	99	2,2
Fe	6	5	7	12	8	2,7
Mn	135	135	130	130	133	2,5
Zn	8	10	9	9	9	0,7
Cu	5	3	3	2	3,3	1,1

Insgesamt gelangten Analyseergebnisse von 300 Jahrringproben zur Auswertung. Dabei wurden die 11 Elemente Na, K, Ca, Mg, B, Al, Fe Mn, Zn, Cu und Cd quantitativ bestimmt. Die Auswahl umfasste somit einerseits Nährelemente zur Überprüfung von Ernährungsdefiziten, andererseits sollten die nicht essentiellen Spurenelemente ein Indikator für toxische Konzentrationen sein. Die Gesamtdarstellung der Ergebnisse findet sich im Anhang. Eine Übersicht der Konzentrationsbereiche und Mittelwerte gibt Tabelle 21.

Tab. 21: Konzentrationsbereiche aller Bäume (in ppm)

Baum und Schnittrichtung		341 Nord	341 Süd	063 Nord	063 Süd
Beprobungzeitraum		1909-1983	1908-1986	1910-1986	1910-1986
Anzahl der Proben		67	69	80	84
	Minimum	220	270	190	210
Na	Maximum	570	740	490	600
	Mittelwert	334,4	385,1	307,9	323,6
	Min	120	130	130	130
K	Maximum	820	1470	900	1750
	Mittelwert	334,3	408,7	301,4	366,1
	Minimum	500	620	310	250
Ca	Maximum	1160	1500	2050	2230
	Mittelwert	800,3	908,4	655,6	760,1
	Minimum	70	90	60	75
Mg	Maximum	290	410	270	460
	Mittelwert	145,1	190,3	152,3	181,5
	Minimum		160		120
B	Maximum		440		340
	Mittelwert		226,8		194,1
	Minimum		120		92
Al	Maximum		2250		500
	Mittelwert		407,5		179,6
	Minimum	3	4	3	3
Fe	Maximum	17	42	51	19
	Mittelwert	6,2	8,4	7,5	7,5
	Minimum	70	110	50	37
Mn	Maximum	220	500	440	470
	Mittelwert	117,2	176,5	129,8	134,5
	Minimum	8	7	4	4
Zn	Maximum	17	26	19	20
	Mittelwert	10,6	12,5	9,2	9,0
	Minimum	2		2	3
Cu	Maximum	7		8	18
	Mittelwert	4,2		3,1	6,3
	Minimum	0,17			
Cd	Maximum	0,77			
	Mittelwert	0,45			

Für die Hauptnährelemente K, Ca, Mg, sowie für einige weitere Spurenelemente sind in den folgenden Abbildungen charakteristische Konzentrationsverläufe und Gegenüberstellungen der beiden Schadstufen dargestellt.

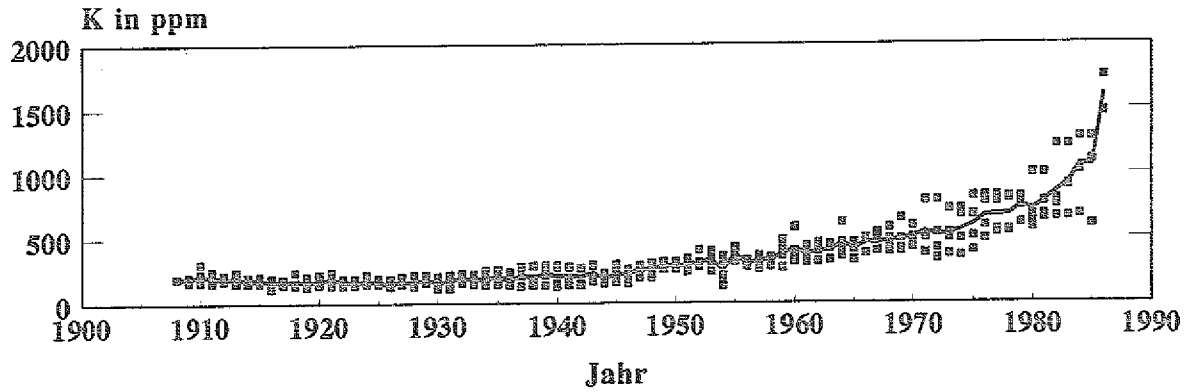


Abb. 43: Verlauf der K-Konzentrationen - alle Meßwerte und Mittelwertkurve

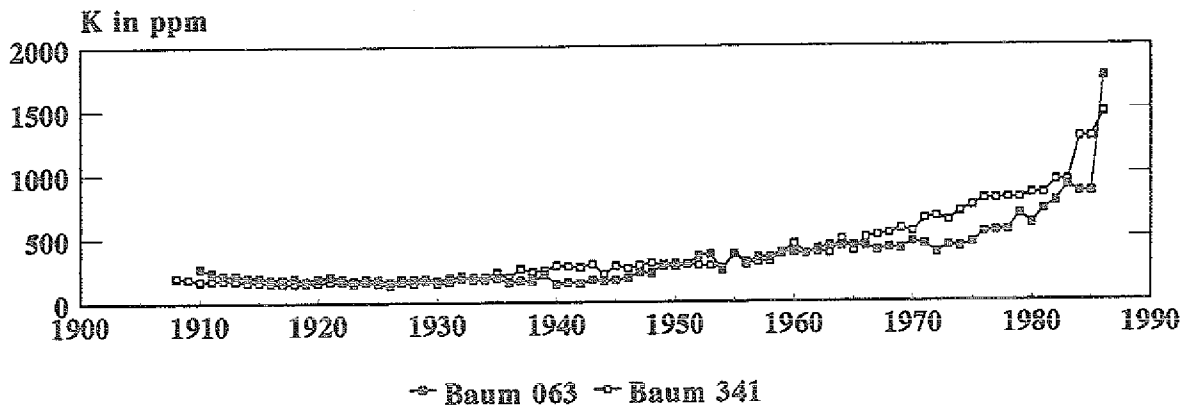


Abb. 44: Vergleich der K-Konzentrationen der Bäume 063 und 341
063 ungeschädigt; 341 geschädigt

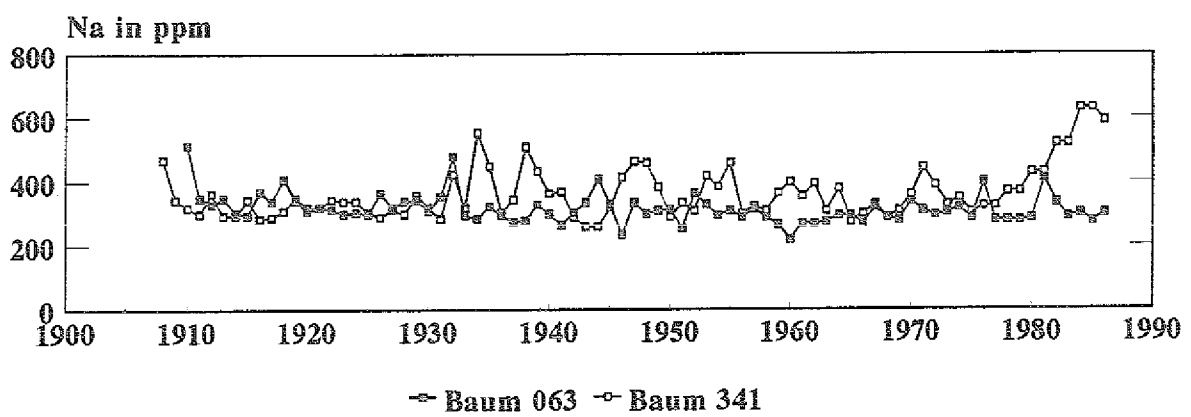


Abb. 45: Vergleich der Na-Konzentrationen der Bäume 063 und 341
063 ungeschädigt; 341 geschädigt

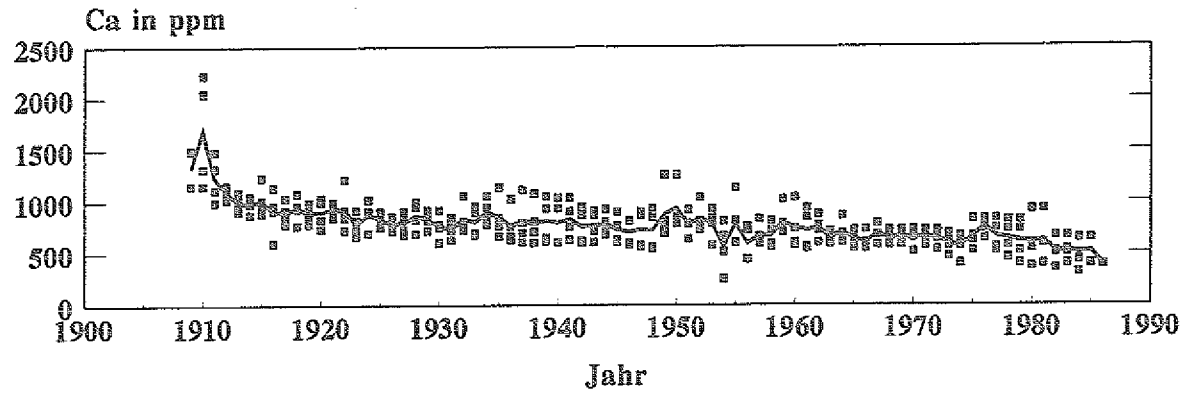


Abb. 46: Verlauf der Ca-Konzentrationen - alle Meßwerte und Mittelwertkurve

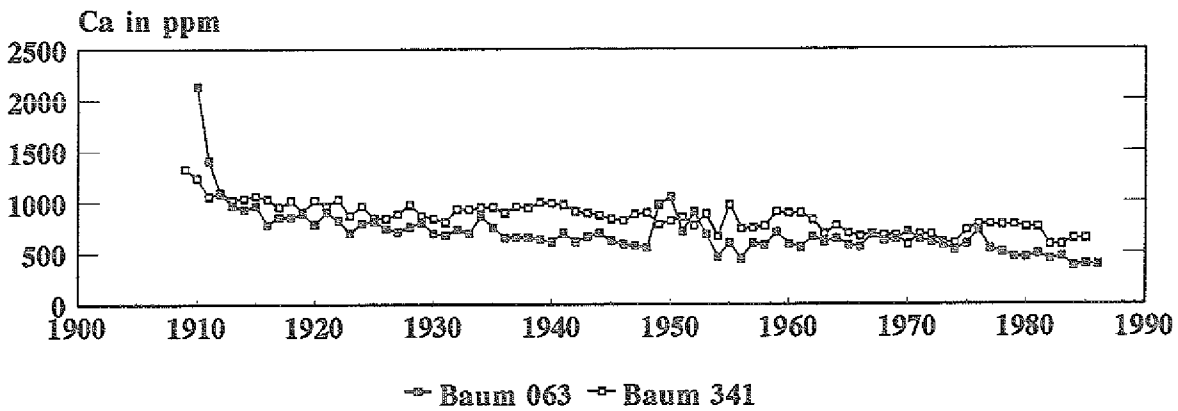


Abb. 47: Vergleich der Ca-Konzentrationen der Bäume 063 und 341
063 ungeschädigt; 341 geschädigt

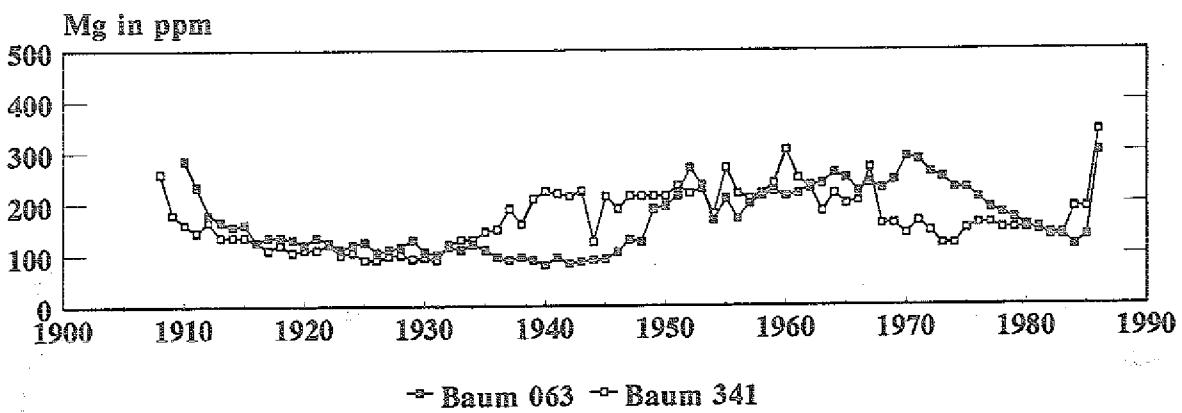


Abb. 48: Vergleich der Mg-Konzentrationen der Bäume 063 und 341
063 ungeschädigt; 341 geschädigt

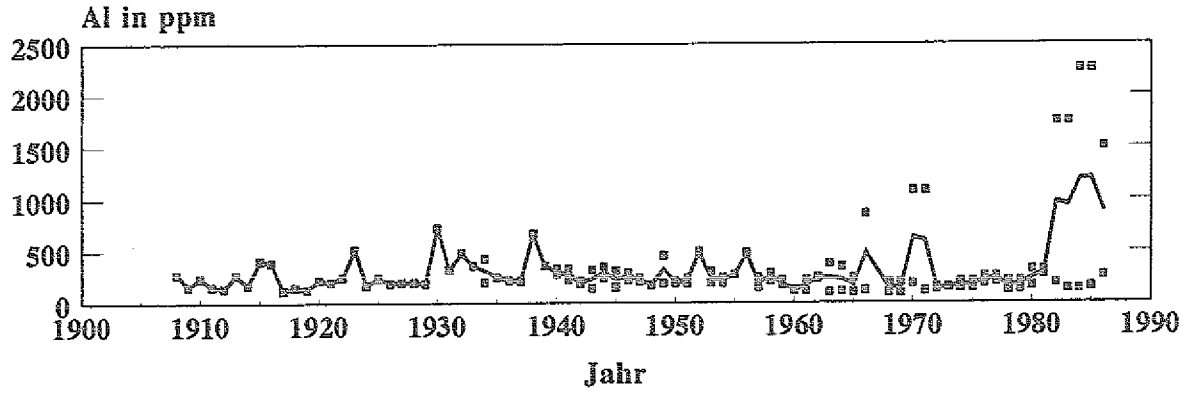


Abb. 49: Verlauf der Al-Konzentrationen - alle Meßwerte und Mittelwertkurve

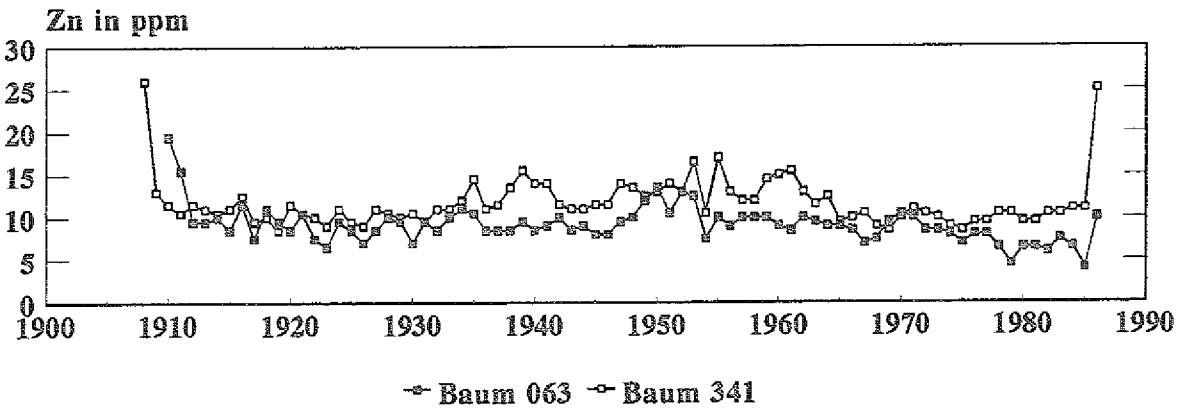


Abb. 50: Vergleich der Zn-Konzentrationen der Bäume 063 und 341
063 ungeschädigt; 341 geschädigt

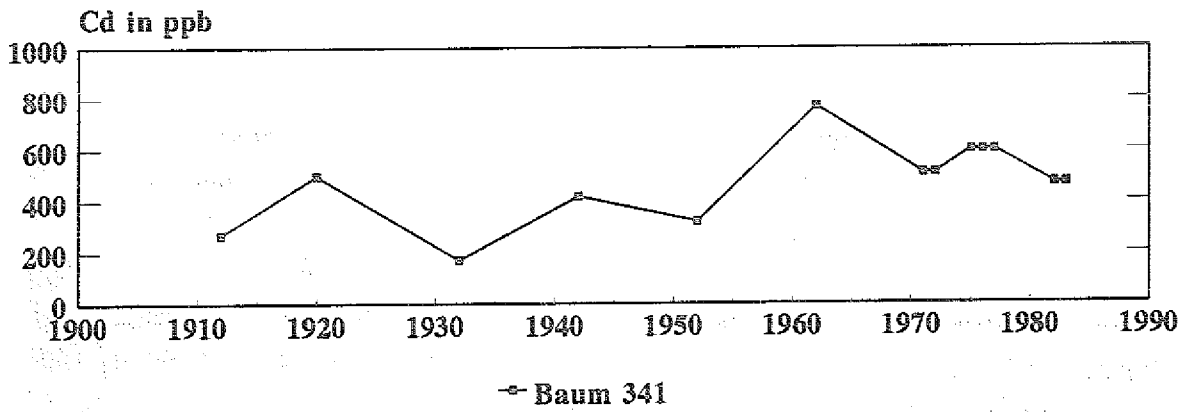


Abb. 51: Verlauf der Cd-Konzentrationen in Baum 341 (geschädigt)

6.5 Diskussion und Bewertung der Spurenelementkonzentrationen

Die beiden Hauptnährelemente K und Ca zeigen gegenläufige Entwicklungen. K ist in den jüngeren Jahrringen höher konzentriert, während die Ca-Konzentration mit fortschreitendem Bildungsjahr abnimmt. Die Mg-Konzentration der Jahrringe ist dagegen ziemlich gleichbleibend.

K^+ ist ein relativ mobiles Ion und an Orten erhöhter Stoffwechseltätigkeit, wie auch im Splintholz angereichert. Ca bleibt, sobald es einmal fixiert ist, gebunden. Der für Ca aufgezeigte abnehmende Alterstrend ist für Bäume bezeichnend. Mg hat physiologische Funktionen bei der Verkernung und daher an der Splintholz-Kernholz-Grenze ein Konzentrationsmaximum. Insgesamt entsprechen die Verläufe der Hauptnährelemente K, Ca und Mg vergleichbaren Befunden (Altman und Dittmer 1972, Hincman et al. 1978, Richter 1982, Baes und McLaughlin 1984, Verbeek 1984, Bauch et al. 1985, Matusiewicz und Barners 1985, Marschner 1986, Schubert 1991, Hantemirov 1992, Pernestal et al. 1992, Wickman et al. 1992).

Die Konzentrationsverläufe aller untersuchten Spurenelemente zeigen weitgehend ähnliche Entwicklungen. Die Konzentrationen von essentiellen Elementen (Na, B, Fe, Mn, Zn, Cu) sind über den gesamten Untersuchungszeitraum weitestgehend konstant, wobei lediglich die Amplituden der jährlichen Schwankungen variieren. Bei Mn entspricht die Kurve in etwa jener der Ca-Konzentration.

Bei den Konzentrationsprofilen der nicht essentiellen Spurenelemente (Al, Cd) sind keine eindeutigen Entwicklungen, jedoch vereinzelt erhöhte Konzentrationen festzustellen.

Generell gesehen liegen alle Spurenelementkonzentrationen und Entwicklungen im Rahmen der Erwartungen (Lerche und Breckle 1974, Barnes et al. 1976, Herrmann et al. 1978, Kardell und Larsson 1978, Baes und Ragsdale 1981, Martin et al. 1982, Wickern und Breckle 1983, Hagemeyer und Breckle 1986, Queirolo und Valenta 1987).

Neben dieser relativen Beurteilung müssen auch die absoluten Konzentrationen des Mineralstoffhaushaltes beachtet werden. Dabei geht es einerseits um die Abschätzung von Mangelerscheinungen. Andererseits könnten überhöhte Konzentrationen zu toxischen Erscheinungen führen. Für diese Beurteilung der Spurenelementkonzentrationen gibt es nur Anhaltspunkte, da artspezifische und standortspezifische Faktoren eine bedeutende Rolle spielen (Larcher 1973, Tout et al. 1977, Fitter und Hay 1987, Jorns und Hecht-Buchholz 1987). Auch Toleranz und Resistenz können die physiologische Grenze verändern. Eindeutige toxische Wirkungen sind in Ökosystemen nur bei direkter Exposition zu Schadstoffemittenten nachgewiesen worden.

In Hinsicht auf toxische Konzentrationen von Spurenelementen können beim untersuchten Material lediglich erhöhte Konzentrationen von Al, Fe und Mn problematisch gewesen sein. Diese Elemente haben bei sinkendem pH-Wert des Bodens erhöhte Löslichkeiten. Gleichzeitig werden dann im Boden Ca, Mg und K abgeführt und das kann dann zu Defiziten füh-

ren. Hierfür gibt es nach den vorliegenden Untersuchungsbefunden jedoch keine Anhaltspunkte. Die Toleranzspanne von Kiefern für den pH-Wert liegt etwa zwischen 3,5 bis 8,5. Allerdings sind bei einer Bodenversauerung noch weitere indirekte Wirkungen wie Phosphatfestlegung und Störung der N-Fixierung zu beachten. Für diese indirekten Wirkungen kann demnach eine schädigende Wirkung erhöhter Spurenelementkonzentrationen nicht eindeutig ausgeschlossen werden.

Vergleicht man nun die Konzentrationsprofile der 4 Schnitte (063 Nord+Süd; 341 Nord+Süd), so findet man allenthalben gemeinsame Tendenzen. Es gibt keinen systematischen Unterschied zwischen geschädigten und ungeschädigten Bäumen. Auch die absoluten Konzentrationsniveaus sind gleich. Auf Grund dieser parallelen Entwicklungen muß man davon ausgehen, daß unterschiedliche Spurenelementkonzentrationen nicht die individuellen Schädigungen ausgelöst haben kann.

Man kann daher abschließend feststellen:

- Die Konzentrationsverläufe entsprechen dem normalen Verteilungsmuster.
- Die Konzentrationsniveaus sind für alle Spurenelemente weder im toxischen, noch im Mangelbereich.
- Der Vergleich von Schadklasse 0 mit Schadklasse 3 ergibt keine signifikanten Unterschiede bei absoluten Spurenelementkonzentrationen und -profilen.

7 Waldsterben im Blickfeld vorliegender Befunde

Der Begriff "Waldsterben" ist generell problematisch, da eine Beurteilung in Bezug auf Einsatz und Dauer nahezu unmöglich ist. Bei der Bestimmung einer Schadstufe bzw. dem Schädigungsgrad eines Baumes wird nach aktuellen Kriterien beurteilt. Entscheidend sind dabei die Benadelung und die Kronendichte. Von diesem Befund ausgehend sind zwei Fragestellungen interessant:

- Wie kann man den pflanzenphysiologischen Zustand charakterisieren, der dem aktuellen, optisch beurteilten, Schädigungsgrad entspricht?
- Wie kann man die vorausgehende Entwicklung rekonstruieren und bewerten?

Für die Beantwortung dieser Fragen wurden Befunde von holzanatomischen (Jahrringbreiten) und physiologischen (Spurenelementkonzentrationen und $\delta^{13}C$-Werte der Jahrringzellulose) Methoden verknüpft. Die Auswahl verschiedener, voneinander unabhängiger Wirkungsfaktoren verspricht dabei insofern Erfolg, da Untersuchungen in Hinblick auf einen monokausalen Zusammenhang des Waldsterbens nie befriedigende Erklärungen brachten. Die Auslösemechanismen im Komplex Waldsterben werden vermutlich durch mehrere noch nicht klar erkannte physiologische Faktoren bestimmt.

An dem vorliegenden Probenkollektiv wurden bereits Untersuchungen am Institut für Forstbenutzung der Georg-August-Universität Göttingen vorgenommen (Hapla et al. 1987, 1988, Nimmann 1989, Schulte-Bisping 1989). Diese Untersuchungen stützen sich auf anatomische, physikalische und mechanisch-technologische Eigenschaften des Holzes, sowie auf Gesichtspunkte der Bodenkunde, Ertragskunde, Forstbotanik und des Waldbaus. Ein klares Unterscheidungskriterium der Schadstufenkollektive konnte aber nicht gefunden werden. Daran anknüpfend sollten die hier eingesetzten Methoden weitergehende Erkenntnisse bringen. Die Spurenelementkonzentrationen ergaben, wie schon die dendrochronologischen Befunde, nur unspezifische Anhaltspunkte für die Unterscheidung der Schadklassen.

Dagegen scheinen die $\delta^{13}C$-Variationen der Jahrringzellulose aber ein Befund zu sein, der mit dem Schädigungszustand korrelierbar ist und auch eine Rekonstruktion der Schädigungsentwicklung zuläßt. Die über einen Zeitraum von 1940 bis 1986 beobachteten Zunahmen von mehr als 0,5^{o}/oo gegenüber der Normalchronologie von gesunden Bäumen weisen auf einen deutlichen Effekt hin. Allerdings konnte dieser Befund nur bei 4 der 5 geschädigten Kiefern erbracht werden. Der fünfte Baum entspricht in seinem $\delta^{13}C$-Verlauf der Normalchronologie gesunder Bäume. Das Problem der $\delta^{13}C$-Befunde besteht in differierender Ontogenese der geschädigten Bäume. Bei einem besseren Verständnis dieser Variabilität könnten die Schädigungseffekte klarer bilanziert und besser verstanden werden. Da Art, Alter und Standortparameter bei allen Bäumen gleich sind, könnte die variable Individualentwicklung endogen begründet sein. Dann wären insbesondere genetisch Variationen, wie bei unterschiedlichen Rassen, eine plausible Erklärung der unterschiedlichen Reaktionen. Insgesamt beschreiben die $\delta^{13}C$-Werte den Zusammenhang von Schädigungsgrad und pflanzenphysiologischem Zustand am besten. Außerdem ergeben sie in der Chronologie einen wertvollen Anhaltspunkt für den Beginn und die Dynamik der Schädigung.

8 Zusammenfassung

Aus einem Probenkollektiv von 15 ungeschädigten und 15 geschädigten Kiefern wurden an repräsentativen Baumscheiben Jahrringbreiten, $\delta^{13}C$-Isotopenverhältnisse der Zellulose, sowie Spurenelementkonzentrationen bestimmt.

Die Jahrringe in der Gruppe der ungeschädigten Individuen sind über den gesamten Lebenszeitraum von 1891 bis 1986 breiter als im Kollektiv der Bäume der Schadstufe 3 (stark geschädigt). Die Entwicklung der Jahrringbreitenmuster verläuft jedoch parallel.

Aus 8 synchron verlaufenden $\delta^{13}C$-Kurven ungeschädigter Kiefern wurde eine Normalchronologie entwickelt. Die Ontogenese einiger geschädigter Individuen entspricht nicht diesem Normalgang. Bei diesen Bäumen steigt das $\delta^{13}C$-Niveau im Verlauf um 0,5 - 1°/oo an. Hiermit kann der Beginn der aktuellen Schädigung über die $\delta^{13}C$-Werte rekonstruiert werden.
Ein Zusammenhang mit den anthropogenen CO_2-Veränderungen der Atmosphäre konnte anhand der $\delta^{13}C$-Kurven nicht erkannt werden.
Die jährlichen Variationen der $\delta^{13}C$-Werte der Normalchronologie sind klimasensitiv. Der beobachtete Temperaturgradient beträgt 0,345^{o}/oo pro $^{\circ}$C Temperaturzunahme während der Vegetationsphase und 0,019^{o}/oo pro mm Niederschlagsverringerung.

Die ermittelten Spurenelementkonzentrationen der Hölzer liegen weder im toxischen noch im Mangelbereich. Sie sind, unabhängig von der Schadstufe, in allen Radialschnitten etwa gleich hoch. Deshalb können sie nicht zur Indikation der Schädigungszustände herangezogen werden.

9 Literaturverzeichnis

Altman, P.L., Dittmer, D.S. (1972): Biology Data Book. - Bethesda, Maryland.

Athari, S. (1983): Zuwachsvergleich von Fichten mit unterschiedlich starken Schadsymptomen. - Allgemeine Forstzeitschrift, **38**: 653-655.

Baes, C.F., Ragsdale, H.L. (1981): Age-specific Lead distribution in xylem rings of three tree genera in Atlanta, Georgia. - Environment Pollution (Series B.), **2**: 21-35.

Baes, C.F., McLaughlin, S.B. (1984): Trace elements in tree rings: Evidence of recent and historical air pollution. - Science, **224**: 494-497.

Banks, J.C.G. (1992): A Review of the use of tree rings for the quantification of forest disturbances. - In: Tree rings and environment Eds.: Bartholin, T.S. et al., Lundqua Report 34: 3-13.

Barnes, D., Hamadah, M.A., Ottaway, J.M. (1976): The Lead, Copper and Zinc content of tree rings and bark: A measurement of local metallic pollution. - The Science of the Total Environment, **5**: 63-67.

Bauch, J., Rademacher, P., Berneike, W., Knoth, J., Michaelis, W. (1985): Breite und Elementgehalt der Jahrringe in Fichten aus Waldschadensgebieten. - VDI-Bericht, **560**: 943-959.

Bender, M.M. (1971): Variations in the $^{13}C/^{12}C$ ratios of plants in relation to the pathway of photosynthetic carbon dioxide fixation. - Phytochemistry, **10**: 1239-1244.

Bender, M.M., Berge, A.J. (1982): Carbon isotope records in Wisconsin trees. - Tellus, **34**: 500-504.

Blasing, T.J., Duvick, D.N., West, D.C. (1981): Dendroclimatic calibration and verification using regionally averaged and single station precipitation data. - Tree-Ring Bulletin, **41**: 37-43.

Bosshard, H.H. (1984): Holzkunde, Mikroskopie und Makroskopie des Holzes. - Birkhäuser, Basel, Bd.1.

Burk, R.L., Stuiver, M. (1981): Oxygen isotope ratios in trees reflect mean annual temperature and humidity. - Science, **211**: 1417-1419.

Cook, E.R., Jacoby, G.C. (1977): Tree-ring-drought relationships in the Hudson Valley, New York. - Science, **198**: 399-401.

Cook, E.R., Kairiukstis, L. (1990): Methods in Dendrochronology: Appplications in the Environmental Sciences. - Kluver, Dordrecht.

Eckstein, D., Bauch, J. (1969): Beitrag zur Rationalisierung eines dendroklimatischen Verfahrens und zur Analyse seiner Aussagesicherheit. - Forstwissenschaftliches Centralblatt, **88**: 230-250.

Ehleringer, J.R., Field, C.B., Lin, Z., Kuo, C.J. (1986): Leaf carbon isotope and mineral composition in subtropical plants along a irradiance cline. - Oecologia, **70**: 520-526.

Ehleringer, J.R., Osmond, C.B. (1989): Stable isotopes. - In: Plant physiological ecology Eds.: Pearcy, R.W. et al., Chapman and Hall, London: 281-300.

Farmer, J.G. (1979): Problems in interpreting tree-ring $\delta^{13}C$ records. - Nature, **279**: 229-231.

Farquhar, G.D., O'Leary, M.H., Berry, J.A. (1982): On the relationship between carbon isotope discrimination and the intercellular carbon dioxide concentration in leaves. - Australian Journal of Plant Physiology, **9**: 121-137.

Fitter, A.H., Hay, R.K.M. (1987): Environmental Physiology of Plants. - Academic Press, London.

Francey, R.J. (1981): Tasmanian tree rings belie suggested anthropogenic $^{13}C/^{12}C$ trends. - Nature, **290**: 232-235.

Francey, R.J., Farquhar, G.D. (1982): An explanation of $^{13}C/^{12}C$ variations in tree rings. - Nature, **297**: 28-31.

Francey,R.J., Gifford, R.M., Sharkey, T.D., Weir, B. (1985): Physiological influences on carbon isotope discrimination in houn pine. - Oecologia, **66**: 211-218.

Fraser, P.J.B., Francey, R.J., Pearman, G.I. (1978): Stable carbon isotopes in tree rings as climatic indicators. - DSIR Bulletin, **220**: 67-73.

Freyer, H.D. (1979a): On the ^{13}C record in tree rings. Part I. ^{13}C variations in the northern hemispheric trees during the last 150 years. - Tellus, **31**: 124-137.

Freyer, H.D. (1979b): On the ^{13}C record in tree rings. Part II. Registration of microenvironmental CO_2 and anomalous pollution effect. - Tellus, **31**: 308-312.

Freyer, H.D., Belacy, N. (1983): $^{13}C/^{12}C$ records in northern hemispheric trees during the past 500 years-anthropogenic impact and climatic superpositions. - Journal of Geophysical Research, **88**: 6844-6852.

Friedli, H., Lotscher, H., Oeschger, H., Siegenthaler, U., Stauffer, B. (1986): Ice core record of the $^{13}C/^{12}C$ ratio of atmospheric CO_2 in the past two centuries. - Nature, **324**: 237-238.

Frielingsdorf, J. (1989): $\delta^{13}C$-Variationen an der Zellulose von Baumjahresringen einer 1000-jährigen Eichenchronologie der Mosel/Hunsrückregion und deren Auswertbarkeit in der Paläoklimatologie. - unveröffentlicht, Diplomarbeit, Universität Köln.

Frielingsdorf, J. (1992): Klimamarken in neogenen Hölzern vom Niederrhein. - Sonderveröffentlichungen - Geologisches Institut der Universität zu Köln, **86**: 1-118.

Fritts, H.C. (1976): Tree rings and climate. - Academic Press, London.

Fritts, H.C. (1977): Some quantitative methods for calibrating ring widths with variables of climate. - In: Frenzel, B.: Dendrochronologie und postglaziale Klimaschwankungen in Europa, Steiner, Mainz: 147-150.

Fritts, H.C., Vaganov, E.A., Sviderskaya, I.V., Shashkin, A.V. (1991): Climatic vaiation and tree-ring structure in conifers: empirical and mechanistic models of tree-ring

width, number of cells, cell size, cell-wall thickness and wood density. - Climate Research, 1: 97-116.

Fritts, H.C., Vaganov, E.A., Sviderskaya, I.V., Shashkin, A.V. (1992): Modelling Tree-ring Climatic Relationships. - In: Tree rings and environment Eds.: Bartholin, T.S. et al., Lundqua Report 34: 104-108.

Gray, J., Thompson, P. (1976): Climatic information from $^{18}O/^{16}O$ ratios of cellulose in tree rings. - Nature, **262**: 481-482.

Greitner, C.S., Winner, W.E. (1988): Increases in $\delta^{13}C$ values of radish and soybean plants caused by ozone. - New Phytology, **108**: 489-494.

Greve, U., Eckstein, D., Aniol, R.W., Scholz, F. (1986): Dendroklimatologische Untersuchungen an Fichten unterschiedlicher Immisionsbelastung in Nordbayern. - Allgemeine Forst- und Jagdzeitung, **9**: 174-179.

Grinsted, M.J., Wilson, A.T., Ferguson, C.W. (1979): $^{13}C/^{12}C$ ratio vatiations in *Pinus longaeva* (bristlecone pine) cellulose during the last millennium. - Earth and Planetary Science Letters, **42**: 251-253.

Hagemeyer, J., Breckle, S.W. (1986): Cadmium in den Jahrringen von Eichen: Untersuchungen zur Aufstellung einer Chronologie der Immissionen. - Angewandte Botanik, **60**: 161-174.

Hamburg, S.P., Cogbill, C.V. (1988): Historical decline of red spruce populations and climatic warming. - Nature, **331**: 428-431.

Hantemirov, R.M. (1992): Possibility to use chemical elements in tree rings of Scots pine for the air pollution reconstruction. - In: Tree rings and environment Eds.: Bartholin, T.S. et al., Lundqua Report 34: 142-145.

Hapla, F, Knigge, W., Rommerskirchen A. (1987): Physikalische Holzeigenschaften und Zuwachs von schadsymptomfreien und immissionsgeschädigten Kiefern. - Forstarchiv, **58**: 211-216.

Hapla, F, Knigge, W., Nimmann, B. (1988): Untersuchung der Holzeigenschaften von Kiefern aus immissionsgeschädigten Beständen auf unterschiedlichen Standorten Norddeutschlands. - Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme, Reihe B, **11**: 1-79.

Hartmann, G. (1984): Waldschadenserfassung durch Infrarot-Farbluftbild in Niedersachsen 1983. - Forst- und Holzwirt, **6**: 135.

Hemmann, A. (1989): Indikation für einen umweltgeschädigten Mammutbaum mit Hilfe der stabilen Kohlenstoffisotope. - unveröffentlicht, Diplomarbeit, Universität Köln.

Herrmann, R., Neuland, H., Buss, G. (1978): Zur Geschichte der Spurenmetallverunreinigung der Luft: Eine Zeitreihenanalyse der Metallgehalte in Baumringen. - Staub-Reinhaltung der Luft, **38**: 366-369.

Hincman, P.S., Giuffre, G., Litman, R. (1978): Trace element analysis of pine trees by the tree-ring method. - Radiochemical and Radioanalytical Letters, **33**: 361-372.

Jazewitsch, W. von (1961): Zur klimatologischen Auswertung von Jahrringkurven. - Forstwissenschaftliches Centralblatt, **80**: 175-190.

Jorns, A., Hecht-Buchholz, C. (1985): Aluminiuminduzierter Magnesium- und Calciummangel im Laborversuch bei Fichtensämlingen. - Allgemeine Forstzeitung, **46**: 1248-1252.

Kardell, L., Larsson, J. (1978): Lead and Cadmium in oak tree rings (*Quercus robur* L.). - Ambio, **7**: 117-121.

Kienast, F., Flühler, H., Schweingruber, F.H. (1981): Jahrringanalysen an Föhren (*Pinus silvestris* L.) an immissionsgefährdeten Waldbeständen des Mittelwallis. - Mitteilungen der schweizerischen Anstalt für das forstliche Versuchswesen, **57**: 415-432.

Kontic, R., Niederer, M., Nippel, C.A., Winkler-Seifert, A. (1986): Jahrringanalysen an Nadelbäumen zur Darstellung und Interpretation von Waldschäden (Wallis, Schweiz). - Eidgenössische Anstalt für das forstliche Versuchswesen, Berichte, **283**: 1-46.

Krevs, I. (1993): Die massenspektrometrische Bestimmung des C-Isotopenverlaufs in den Jahrringen einer sibirischen Lärche (*Larix sibirica*). - unveröffentlicht, Diplomarbeit, Fachhochschule Aachen.

Krishnamurthy, R.V., Epstein, S. (1990): Glacial-interglacial excursion in the concentration of atmospheric CO_2: effect in the $^{13}C/^{12}C$ ratio in wood cellulose. - Tellus, **42B**: 423-434.

Larcher, W. (1973): Ökologie der Pflanzen. - Eugen Ulmer, Stuttgart.

Leavitt, S.W., Long, A. (1982a): Evidence for $^{13}C/^{12}C$ fractionation between tree leaves and wood. - Nature, **298**: 742-744.

Leavitt, S.W., Long, A. (1982b): Stable carbon isotopes as a potential supplement tool in dendrochronology. - Tree-Ring Bulletin, **42**: 49-55.

Leavitt, S.W., Long, A. (1983): An atmospheric $^{13}C/^{12}C$ reconstruction generated through removal of climate effects from tree-ring $^{13}C/^{12}C$ measurements. - Tellus, **35B**: 92-102.

Leavitt, S.W., Long, A. (1984): Sampling strategy for stable carbon isotope analysis of tree rings in pine. - Nature, **311**: 145-147.

Leavitt, S.W., Long, A. (1986a): Stable-carbon isotope variability in tree foliage and wood. - Ecology, **67**: 1002-1010.

Leavitt, S.W., Long, A. (1986b): Trends of $^{13}C/^{12}C$ ratios in pinyon tree rings of the American Southwest and the global carbon cycle. - Radiocarbon, **28**: 376-382.

Leavitt, S.W., Long, A. (1988): Stable carbon isotope chronologies from trees in the southwestern United States. - Global Biochemical Cycles, **2**: 189-198.

Lerche, H., Breckle, S.W. (1974): Untersuchungen zum Bleigehalt von Baumblättern im Bonner Raum. - Angewandte Botanik, **48**: 309-330.

Libby, L.M., Pandolfi, L.J. (1974): Temperature dependence of isotope ratios in tree rings. - Proceedings of the National Academy of Sciences USA, **71**: 2482-2486.

Lipp, J., Trimborn, P., Fritz, P., Moser, H., Becker, B., Frenzel, B. (1991): Stable isotopes in tree ring cellulose and climatic change. - Tellus, 43B: 332-330.

Macdowall, F.D.H., Lowdon, J.A. (1989): Leaf carbon isotopic composition ($\delta^{13}C$) and cold hardiness of wheat in relation to growth temperature and moisture stress. - Canadian Journal of Botany, 67: 2828-2832.

Marino, B.D., Elroy, M.B. (1991): Isotopic composition of atmospheric CO_2 inferred from carbon C_4 plant cellulose. - Nature, 349: 127-131.

Marschner, H. (1986): Mineral Nutrition of Higher Plants. - Academic Press, London.

Martin, B., Bytnerowicz, A., Thorstenson, Y.R. (1988): Effects of air pollutants on the composition of stable carbon isotopes, $\delta^{13}C$, of leaves and wood, and on leaf injury. - Plant Physiology, 88: 218-223.

Martin, M.H., Duncan, E.M., Coughtrey, P.J. (1982): The distribution of heavy metals in a contaminated woodland ecosystem. - Environment Pollution (Series B.), 3: 147-157.

Matusiewicz, H., Barnes, R.M. (1985): Tree ring wood analysis after hydrogen peroxide pressure decomposition with inductvely coupled plasma atomic emission spectrometry and electrothermal vaporization. - Analytical Chemistry, 57: 406-411.

Medina, E., Minchin, P. (1980): Stratification of $\delta^{13}C$ values of leaves in amazonian rain forests. - Oecologia, 45: 377-378.

Mitscherlich, G. (1970): Wachstum und Umwelt; Eine Einführung in die ökologischen Grundlagen des Waldwachstums. - Sauerländer, Frankfurt, Bd.1.

Nagel, J., Athari, S. (1982): Stammanalyse und ihre Durchführung. - Allgemeine Forst- und Jagdzeitung, 153: 179-182.

Nimmann, B. (1989): Untersuchung einiger anatomischer Holzeigenschaften und des Lagerungsverhaltens von Kiefern (*Pinus silvestris* L.) aus immissionsbelateten Beständen Norddeutschlands. - Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme, Reihe A, 47: 1-166.

O'Leary, M.H. (1981): Carbon isotope fractionation in plants. - Phytochemistry, 20: 553-567.

Okano, K., Ito, O., Takeba, G., Shimizu, A., Totsuka, T. (1984): Alteration of ^{13}C-assimilate partitioning in plants of *Phaseolus vulgaris* exposed to ozone. - New Phytology, 97: 155-163.

Park, P., Epstein, S. (1960): Carbon isotope fractionation during photosynthesis. - Geochimica et Cosmochimica Acta, 21: 110-126.

Park, P., Epstein, S. (1961): Metabolic fractionation of ^{13}C & ^{12}C in plants. - Plant Physiology, 36: 133-138.

Pearman, G.I., Francy, R.J., Fraser, P.J.B. (1976): Climatic implications of stable carbon isotopes in tree rings. - Nature, 260: 771-773.

Peng, T.H., Broecker, W.S., Freyer, H.D., Trumbore, S. (1983): A deconvolution of the tree ring based $\delta^{13}C$ record. - Journal of Geophysical Research, **88**: 3609-3620.

Pernestal, K, Jonsson, B., Hällgren, J.E., Li, H.K. (1992): Element Content of Tree Samples From an Acidic and a Limed Invironment Investigated by Means of PIXE. - In: Tree rings and environment Eds.: Bartholin, T.S. et al., Lundqua Report 34: 259-263.

Pesch, W. (1993): Ist das Verhalten der stabilen Kohlenstoffisotope in den Jahrringen einer geschädigten Kiefer von ihrer Höhe abhängig?. - unveröffentlicht, Diplomarbeit, Fachhochschule Aachen.

Queirolo, F., Valenta, P. (1987): Trace determination of Cd, Cu, Pb and Zn in annual growth rings by differential pulse anodic stripping voltammetry. - Freseninus Zeitschrift für Analytische Chemie, **328**: 93-98.

Ramesh, R., Bhattacharya, S.K., Gopalan, K. (1985): Dendroclimatological implcations of isotope coherence in trees from Kashmir Valley, India. - Nature, **317**: 802-804.

Ramesh, R., Bhattacharya, S.K., Gopalan, K. (1986): Climatic correlations in the stable isotope records of silver fir (*Abies pindrow*) trees from Kashmir, India. - Earth and Planetary Science Letters, **79**: 66-74.

Richter, G. (1982): Stoffwechselphysiologie der Pflanzen. - Georg Thieme, Stuttgart.

Riederer, H. (1992): Der Einfluß von Trockenstreß und/oder Magnesium-Mangel auf die photosynthetische Kohlenstoff-Isotopenfraktionierung. - unveröffentlicht, Diplomarbeit, Fachhochschule Aachen.

Ruetze, M., Schmitt, U., Liese, W., Küppers, K. (1988): Histologische Untersuchungen an Fichtennadeln (*Picea abies* L. Karst.) nach Begasung mit SO_2, O_3 und NO_2. - Allgemeine Forst- und Jagdzeitung, **159**: 195-203.

Saurer, M., Fuhrer, J., Siegenthaler, U. (1991): Influence of ozone on stable carbon isotope composition, $\delta^{13}C$, of leaves and grain of spring wheat (*Triticum aestivumi* L.). - Plant Physiology, **97**: 313-316.

Scheiding, C. (1991): Stabile Kohlenstoffisotope in Jahrringen von Kiefern (*Pinus silvestris*) - Eine Möglichkeit der Frühdiagnose von Baumschäden?. - unveröffentlicht, Diplomarbeit, Fachhochschule Aachen.

Schleser, G.H., Bernhardt, K.G., Hurka, H. (1989): Climatic adaptability of populations of *Diplotaxis erucoides* D.C. (Brassicaceae) from Sicly, based on leaf morphology, leaf anatomy and $\delta^{13}C$ studies. - International Journal of Biometeorology, **33**: 109-118.

Schleser, G.H. (1990): Investigations of the $\delta^{13}C$ pattern in leaves of *Fagus silvatica* L.. - Journal of Experimental Botany, **41**: 565-572.

Schleser, G.H. (1991): Carbon isotope fractionation during CO_2 fixation by plants. - In: Modern ecology Eds.: Esser, G. et al. - Elsevier, Amsterdam: 603-657.

Schleser, G.H. (1992): $\delta^{13}C$ pattern in a forest tree as an indicator of carbon transfer in trees. - Ecology, **73**: 1922-1925.

Schmidt, H.L., Winkler, F.J. (1979): Einige Ursachen der Variationsbreite von $\delta^{13}C$-Werten bei C_3 und C_4-Pflanzen. - Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschaft, 92: 185-191.

Schönwiese, C.D., Ullrich, R. (1988): Die Spätholzdichte europäischer Nadelbäume als möglicher Frühindikator großräumiger Waldschäden. - Bericht des Instituts für Meteorologie und Geophsik der Universität Frankfurt/Main, 79.

Schubert, R. (1991): Bioindikation in terrestrischen Ökosystemen. - Gustav Fischer, Jena.

Schulte-Bisping, H. (1989): Räumliche und saisonale Variabilität des chemischen Bodenzustands in Buchen- und Kiefern-Waldökosystemen mit Schädigungsgradienten. - Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme, Reihe A, 48: 1-175.

Schweingruber, F.H. (1978): Mikroskopische Holzanatomie. - Züricher AG, Zug.

Schweingruber, F.H. (1983): Der Jahrring. - Haupt, Bern.

Schweingruber, F.H. (1986): Abrupt growth changes in conifers. - IAWA Bulletin n.s., 7: 277-283.

Schweingruber, F.H., Albrecht, H., Beck, M., Hessel, J., Joos, K., Keller, D., Kontic, R., Lange, K., Nippel, C., Spinnler, A., Steiner, B., Winkler, A. (1986): Abrupte Zuwachsschwankungen in Jahrringabfolgen als ökologische Indikatoren. - Dendrochronologia, 4: 125-183.

Schweingruber, F.H. (1987): Flächenhafte dendroklimatische Temperaturrekonstruktionen für Europa. - Naturwissenschaften, 74: 205-212.

Schweingruber, F.H., Eckstein, D., Serre-Bachet, F., Bräker, O.U. (1990): Identification, presentation and interpretation of event years and pointer years in dendrochronology. - Dendrochronologica, 8: 9-39.

Siegenthaler, U., Oeschger, H. (1987): Biospheric CO_2 emissions during the past 200 years reconstructed by deconvolution of ice core data. - Tellus, 39B: 140-154.

Silva, M.P. de (1978): ^{13}C-Variationen in Baumjahresringen als Folge des anthropogenen CO_2-Anstiegs der Atmosphäre: Untersuchung des Einflusses von Klimaparametern. - KFA Jülich, Jül-Bericht. 1-107

Smith, B.N., Epstein, S. (1971): Two categories of $^{13}C/^{12}C$ ratios for higher plants. - Plant Physiology, 47: 380-384.

Stuiver, M., Braziunas, T.F. (1987): Tree cellulose $^{13}C/^{12}C$ isotope ratios and climatic change. - Nature, 328: 58-60.

Sutherland, E.K., Martin, B. (1990): Growth response of *Pseudotsuga menziesii* to air pollution from copper smelting. - Canadian Journal of Forest Research, 20: 1020-1030.

Sutherland, E.K., Martin, B. (1992): Stable carbon isotopes can reveal the cause of tree growth variation during periods of high pollutant concentration. - In: Tree rings and environment Eds.: Bartholin, T.S. et al., Lundqua Report 34: 313-317.

Tans, P.P., Mook, W.G. (1980): Past atmospheric CO_2 levels and the $^{13}C/^{12}C$ ratios in tree rings. - Tellus, 32: 268-283.

Tans, P.P. (1978): Carbon 13 and carbon 14 in trees and the atmospheric CO_2 increase. - Dissertation Rijksuniversiteit Groningen. 1-97

Tout, R.E., Gilboy, W.B., Spyrou, N.M. (1977): Neutron acitivation studies of trace elements in tree rings. - Journal of Radioanalytical Chemistry, **37**: 705-715.

Verbeek, A.A. (1984): Analysis of tree leaves, bark and wood by sequential inductively coupled argen plasma atomic emission spectrometry. - Spectrochimica Acta, **39B**: 599-603.

Wickern, M., Breckle, S.W. (1983): Blei im Eichenholz vom Autobahnrand. - Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschaft, **96**: 343-350.

Wickman, T. (1992): Sr isotopes and elemental concentrations of tree rings - a mirror of soil acidification. - In: Tree rings and environment Eds.: Bartholin, T.S. et al., Lundqua Report 34: 334-337.

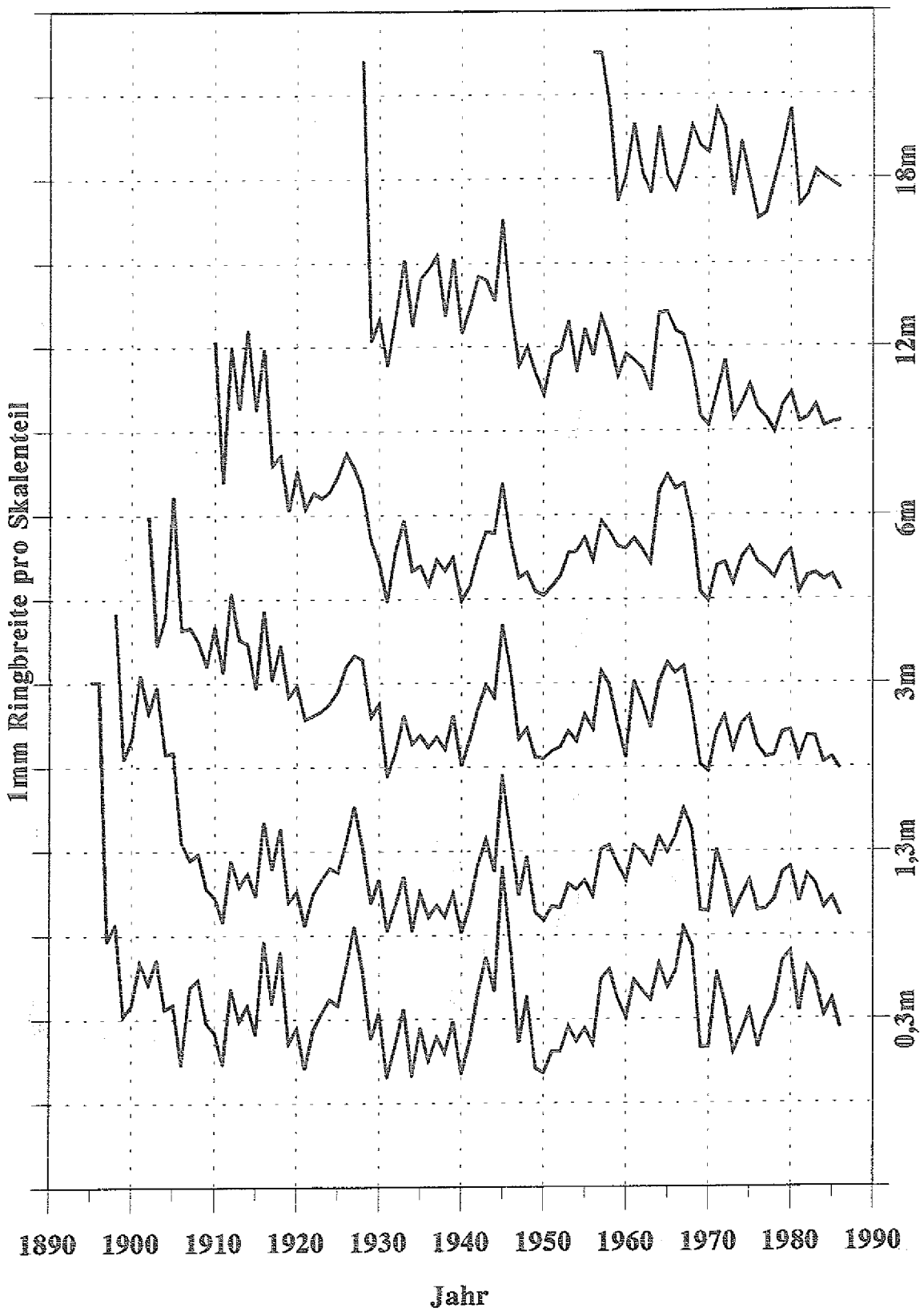
Wiesberg, L. (1974): Die ^{13}C-Abnahme in Holz von Baumjahresringen, eine Untersuchung zur anthropogenen Beeinflussung des CO_2-Haushaltes der Atmosphäre. - Dissertation RWTH Aachen. 1-121

Wilson, A.T., Grinsted, M.J. (1977): $^{13}C/^{12}C$ in cellulose and lignin as palaeothermometers. - Nature, **265**: 133-135.

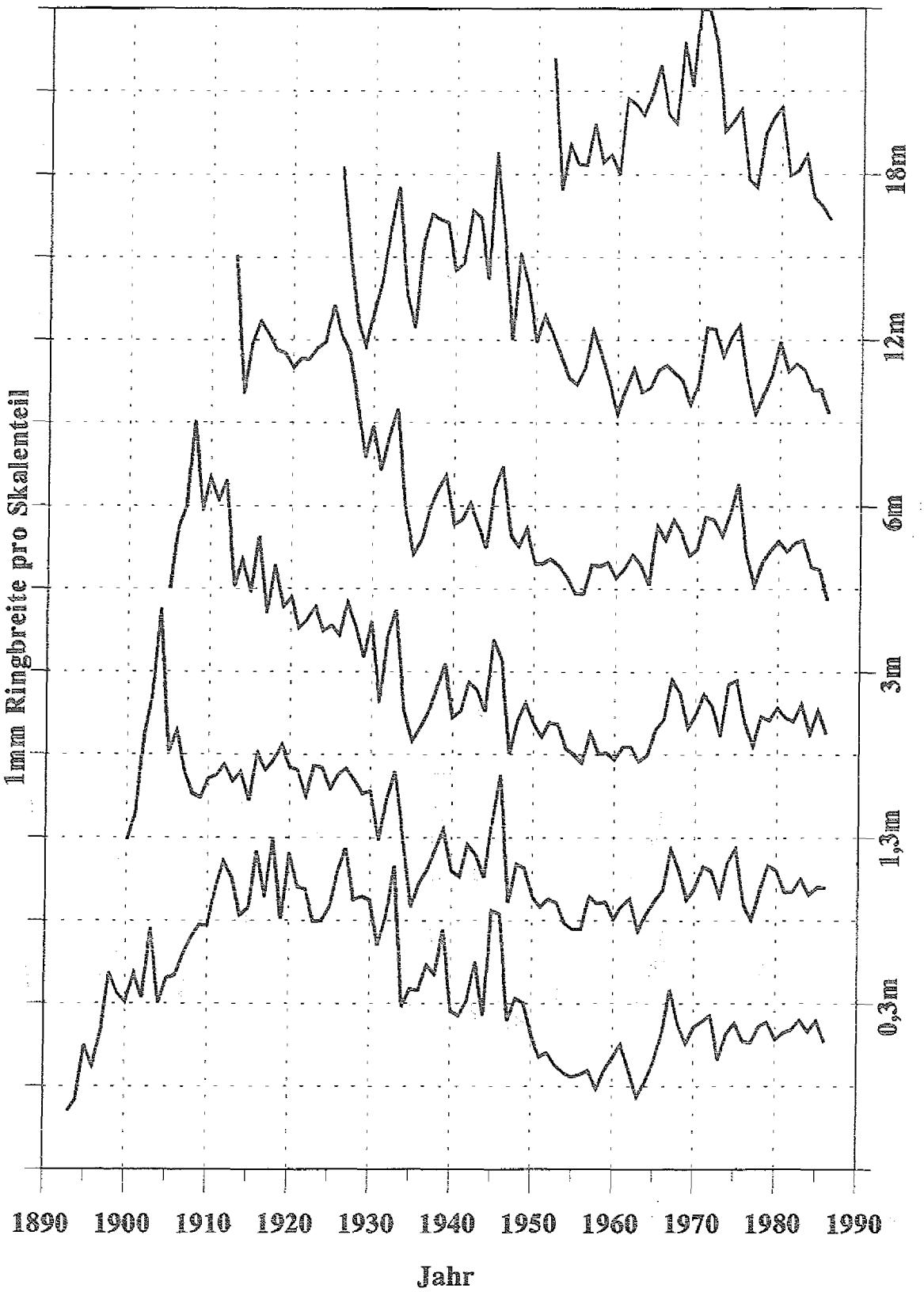
10 Anhang

Abbildungsverzeichnis

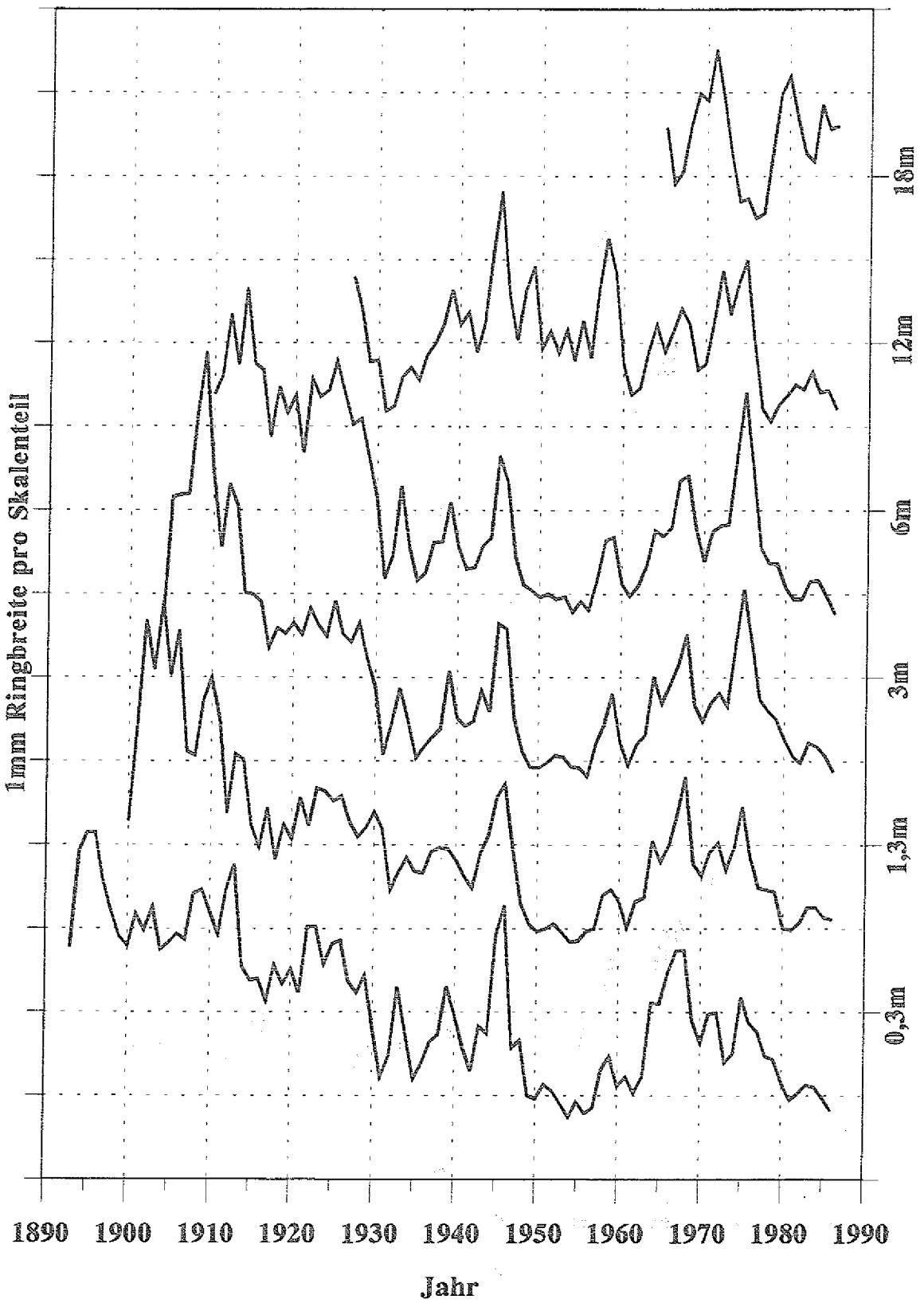
Tabellenverzeichnis



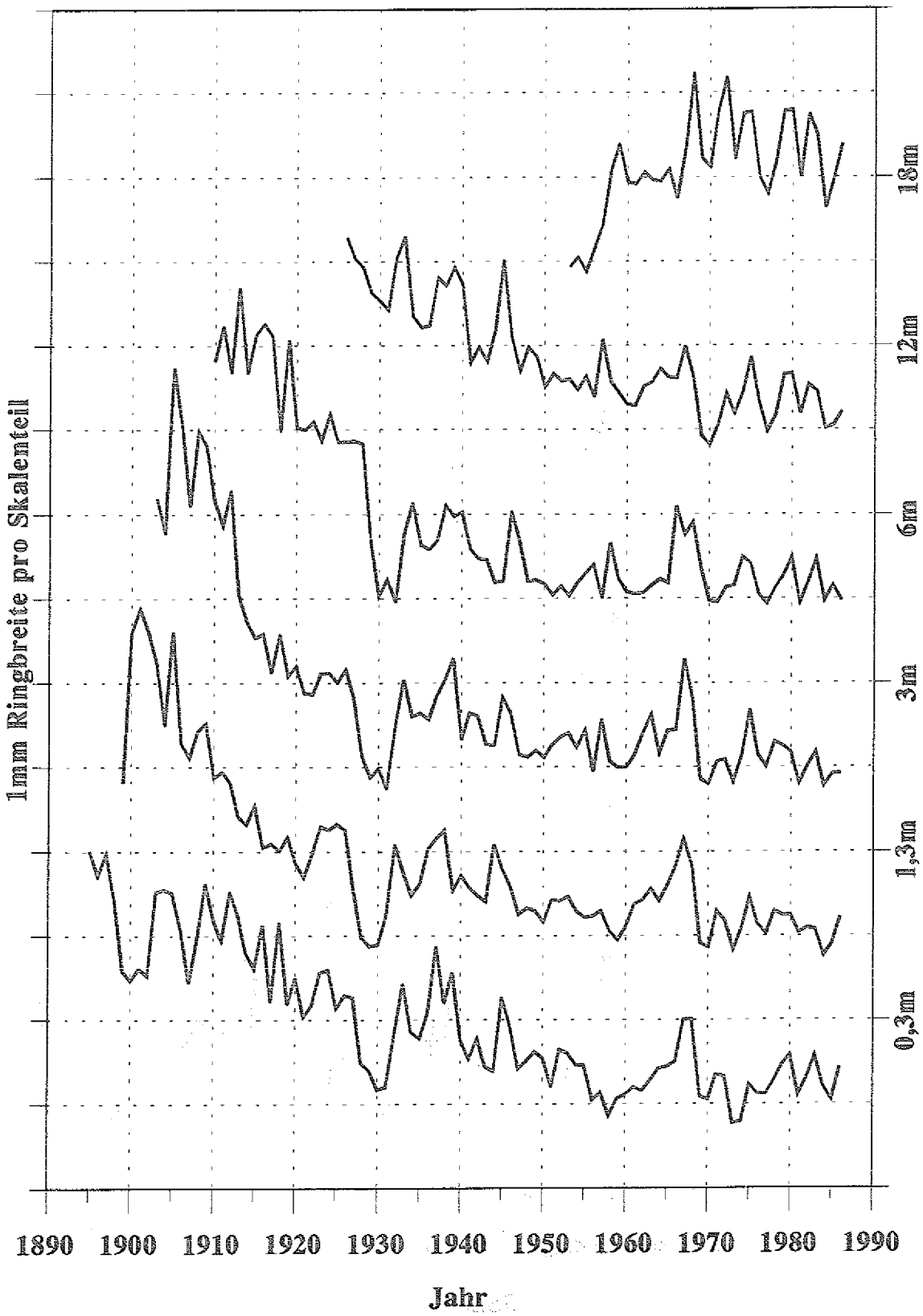
Ringbreiten Baum 063 - alle Höhen



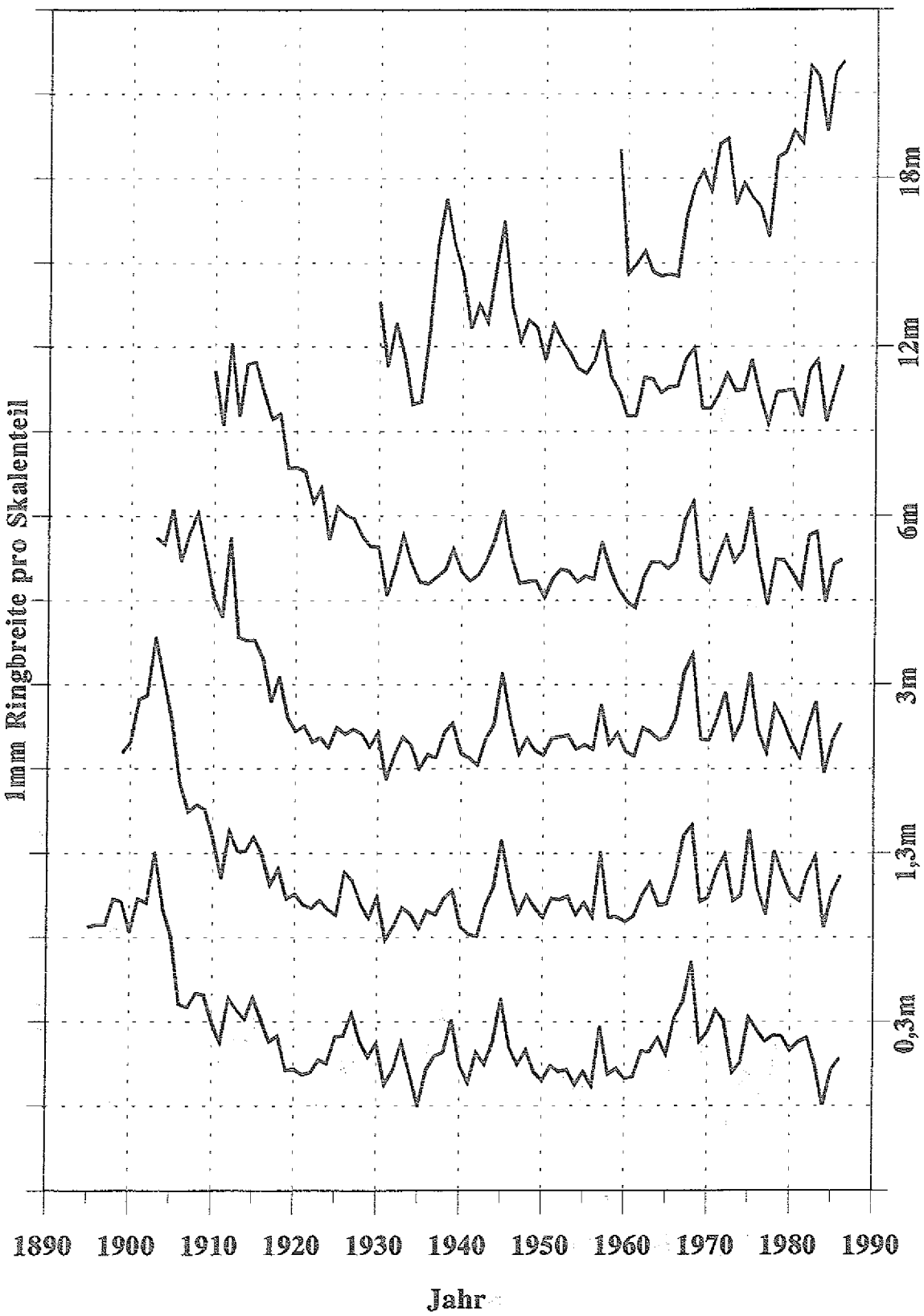
Ringbreiten Baum 068 - alle Höhen



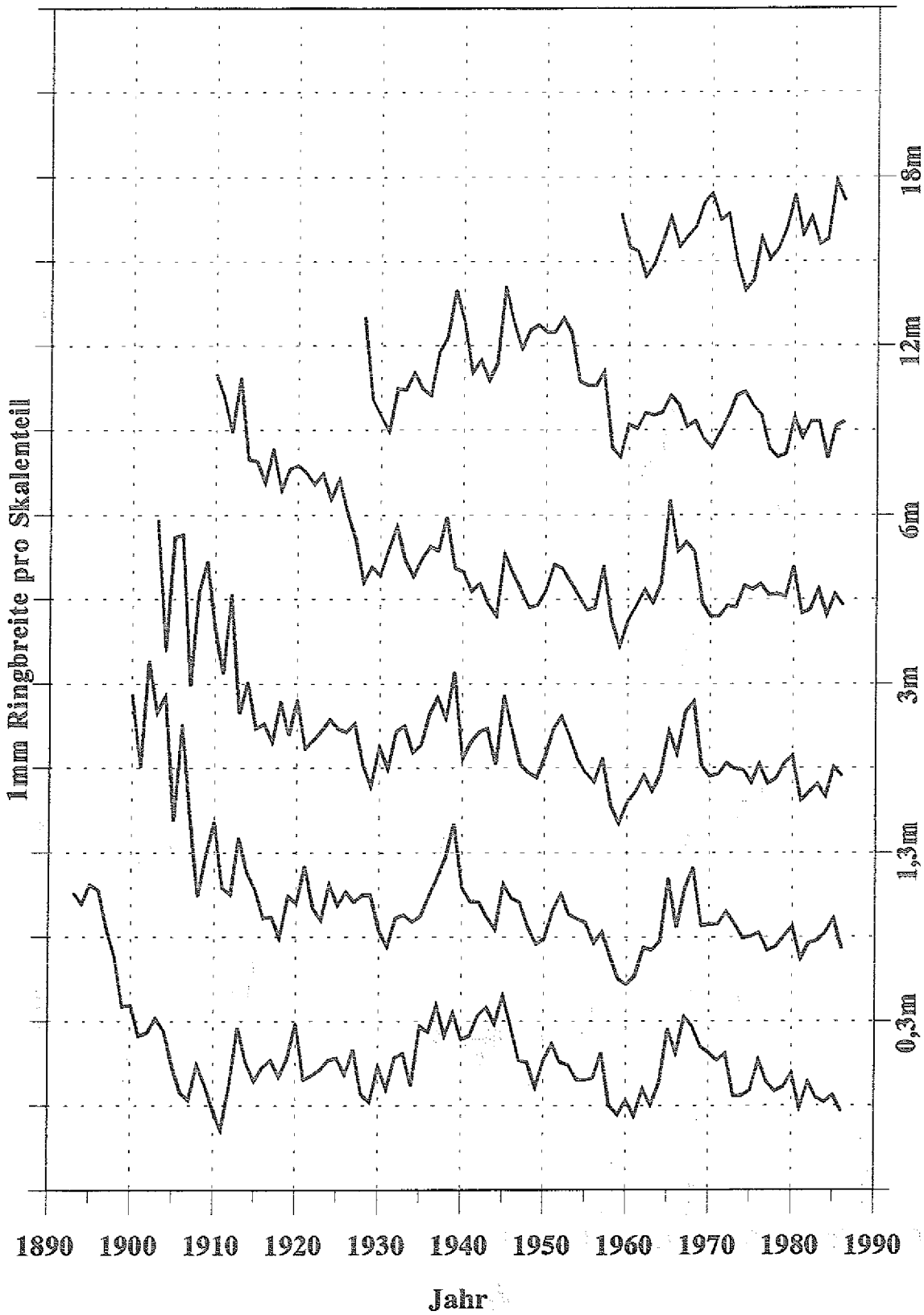
Ringbreiten Baum 073 - alle Höhen



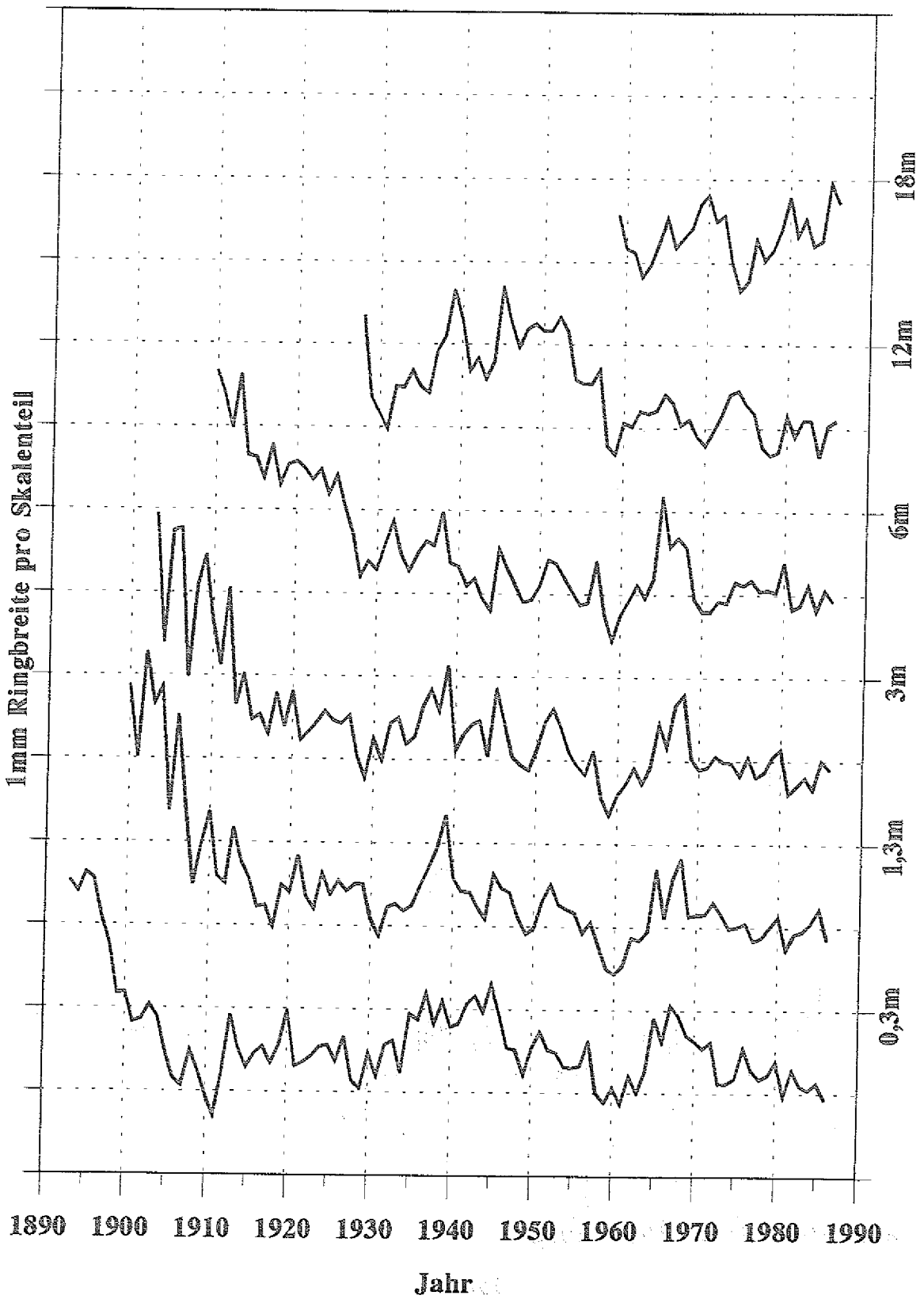
Ringbreiten Baum 076 - alle Höhen



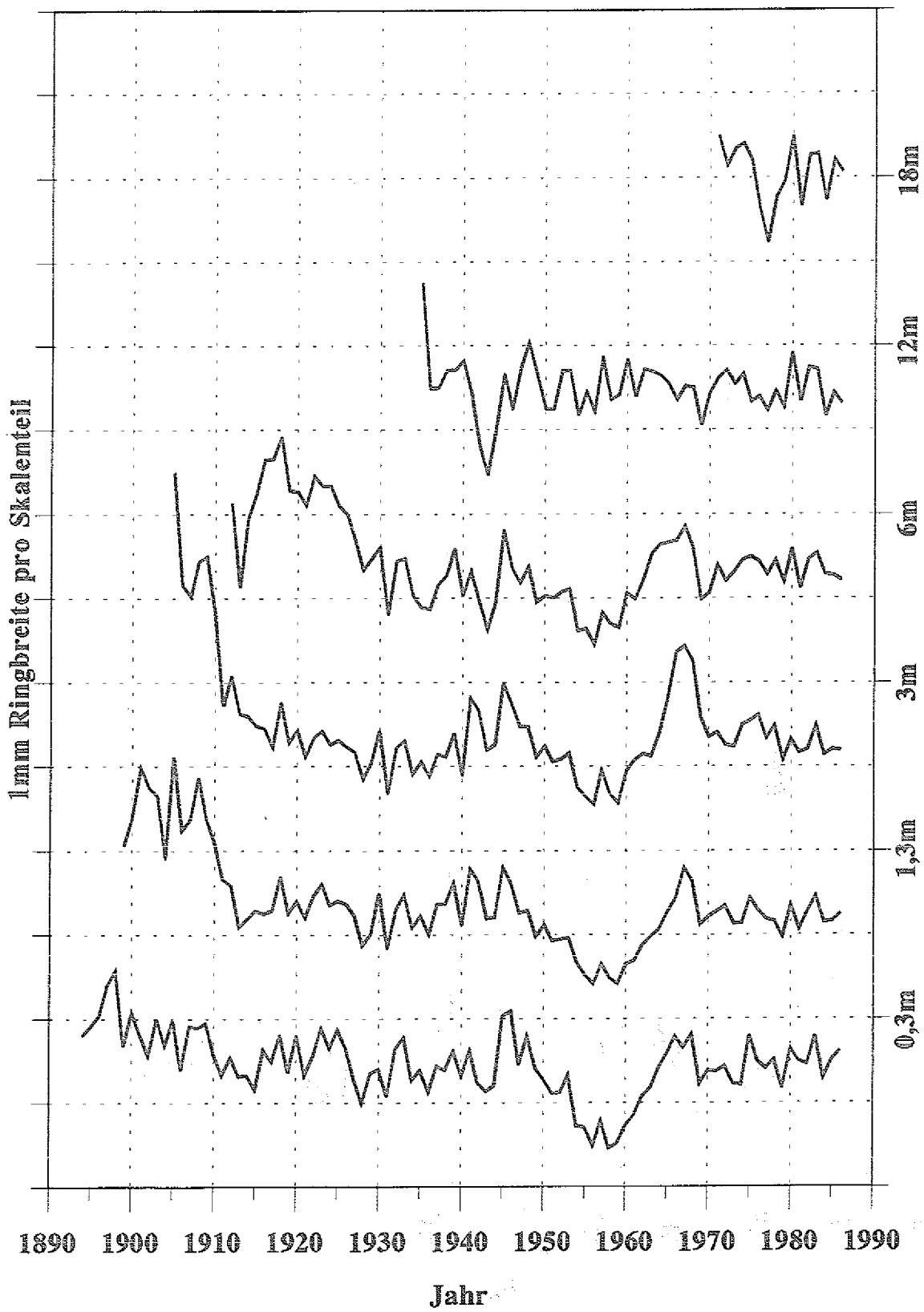
Ringbreiten Baum 099 - alle Höhen



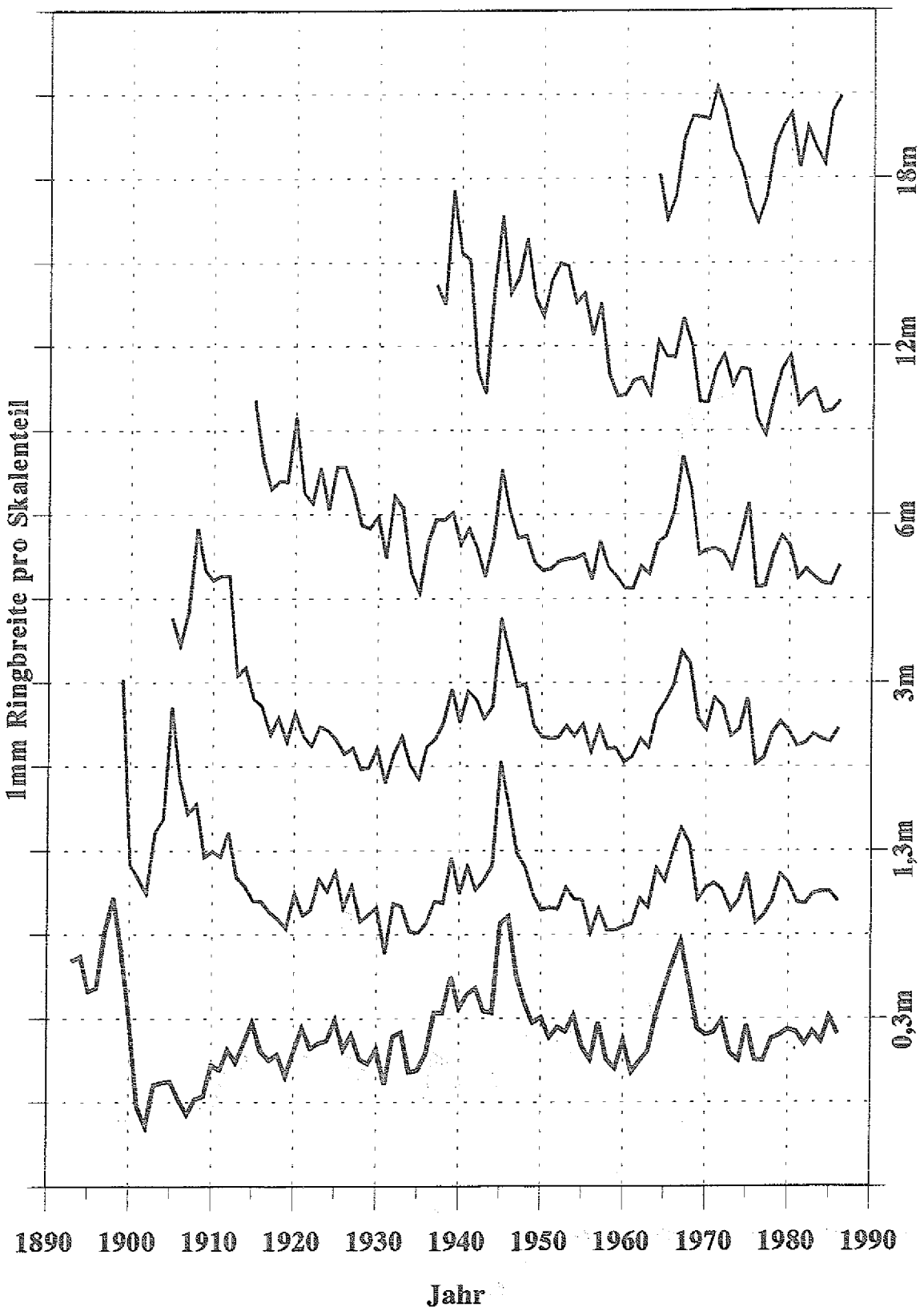
Ringbreiten Baum 330 - alle Höhen



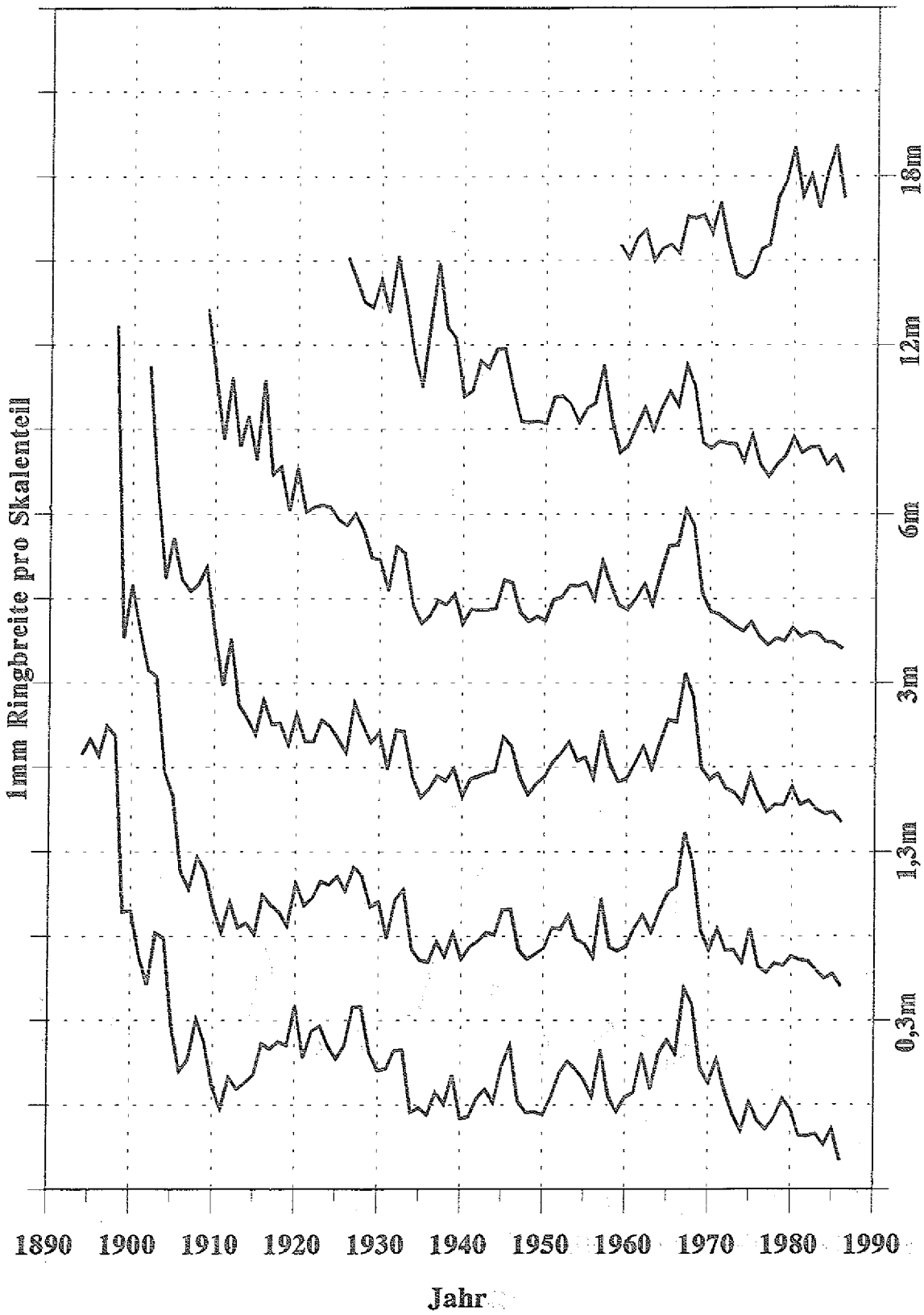
Ringbreiten Baum 332 - alle Höhen



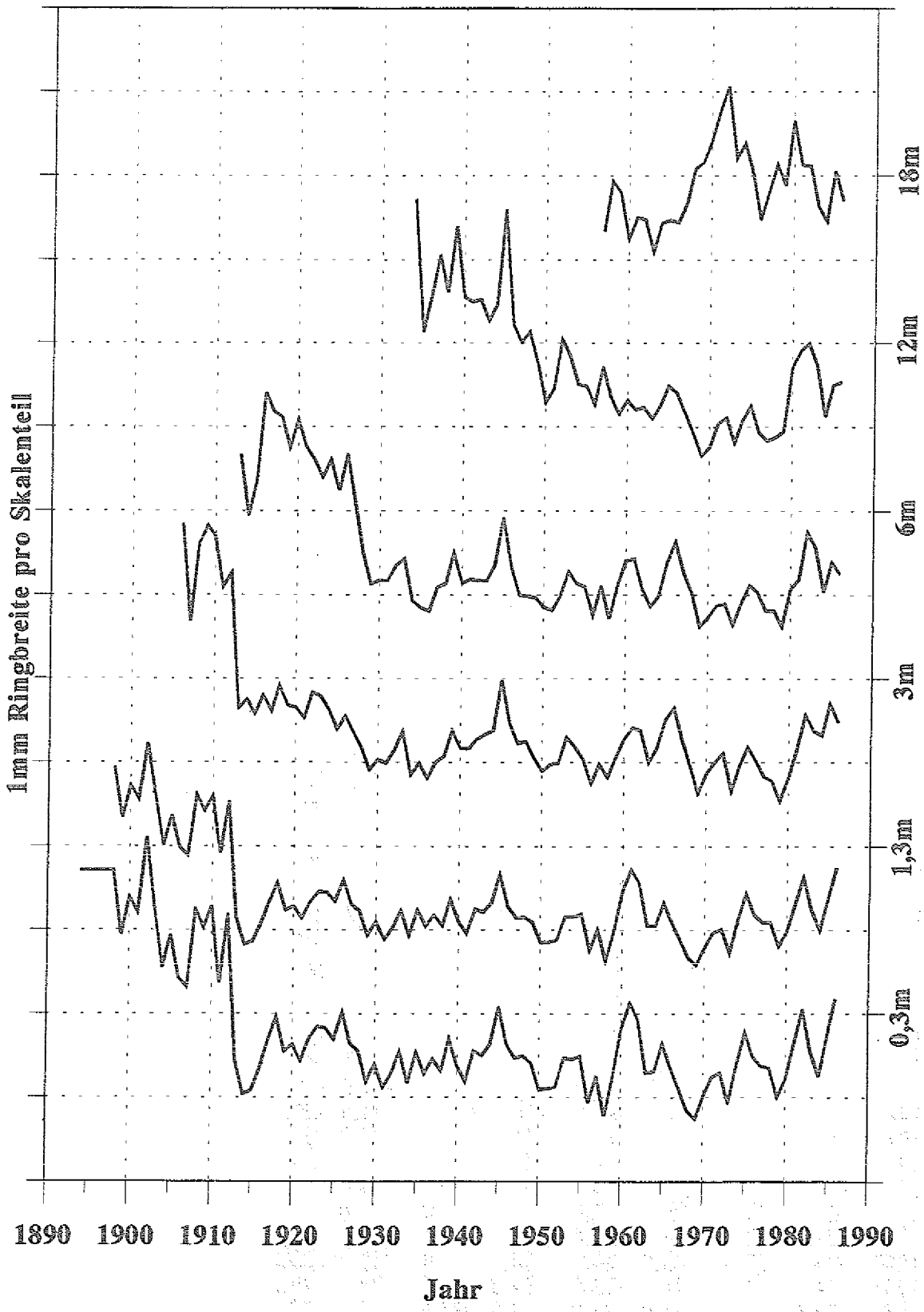
Ringbreiten Baum 334 - alle Höhen



Ringbreiten Baum 339 - alle Höhen



Ringbreiten Baum 341 - alle Höhen



Ringbreiten Baum 343 - alle Höhen

$\delta^{13}C$-Werte aller Bäume (ungeschädigtes Kollektiv) in $^{o}/oo$

		068		073		076		099
Jahr	Nord	Süd	Nord	Süd	Nord	Süd	Nord	Süd
1909			-23,2	-22,7				
1910			-23,4	-23,8	-24,4			
1911			-23,2	-22,7	-23,4		-23,5	-23,1
1912	-24,0	-24,6	-23,4	-23,8	-24,5	-24,4	-24,4	-24,4
1913	-24,9	-24,6	-23,9	-23,9	-24,3	-24,1	-24,6	-24,4
1914	-24,2	-24,5	-24,0	-24,0	-23,7	-24,3	-24,2	-24,2
1915	-24,1	-24,1	-23,6	-23,1	-23,4	-23,7	-23,9	-23,6
1916	-25,0	-25,4	-25,4	-23,5	-28,4	-25,0	-25,3	-24,6
1917	-23,5	-25,4	-24,0	-23,5	-23,5	-23,3	-23,4	-23,3
1918	-24,3	-24,9	-25,3	-23,9	-24,3	-24,0	-24,8	-24,8
1919	-23,3	-24,4	-24,2	-23,4	-24,1	-23,8	-23,7	-24,0
1920	-23,8	-24,7	-24,5	-24,0	-24,1	-24,4	-23,7	-23,6
1921	-23,4	-24,6	-23,5	-23,2	-23,3	-23,3	-23,1	-22,8
1922	-24,5	-24,4	-24,2	-23,7	-24,2	-24,4	-24,6	-23,9
1923	-25,1	-24,8	-24,9	-24,2	-24,9	-25,0	-25,0	-24,3
1924	-24,0	-24,8	-24,3	-23,2	-24,0	-24,3	-24,0	-23,2
1925	-23,4	-23,9	-23,9	-23,2	-23,8	-24,4	-23,8	-23,2
1926	-24,1	-24,7	-24,4	-24,3	-24,4	-25,1	-24,6	-24,2
1927	-24,3	-24,4	-24,4	-24,2	-24,6	-25,2	-24,5	-24,0
1928	-23,6	-24,5	-23,2	-24,0	-24,8	-24,4	-23,9	-23,7
1929	-23,7	-23,7	-22,5	-22,9	-24,5	-24,6	-24,6	-23,5
1930	-23,9	-24,6	-23,6	-23,6	-24,9	-24,8	-24,8	-24,4
1931	-24,6	-25,0	-24,2	-24,1	-25,2	-25,3	-24,9	-24,4
1932	-24,1	-24,8	-23,7	-24,1	-24,3	-24,7	-24,1	-23,9
1933	-23,3	-24,2	-22,8	-23,0	-24,4	-24,2	-24,0	-23,6
1934	-22,8	-23,8	-22,4	-23,2	-23,2	-22,9	-23,6	-22,9
1935	-24,0	-23,9	-23,3	-23,4	-24,1	-23,9	-23,9	-24,0
1936	-24,4	-24,8	-23,9	-24,2	-24,0	-24,4	-24,4	-24,6
1937	-24,4	-23,9	-24,1	-23,9	-24,5	-24,4	-24,6	-24,6
1938	-23,7	-23,6	-23,3	-23,4	-24,0	-24,1	-24,0	-24,0
1939	-23,5	-23,7	-23,7	-23,3	-24,3	-24,1	-23,8	-23,6
1940	-24,2	-24,9	-24,3	-23,6	-24,5	-24,8	-24,3	-24,2
1941	-24,2	-25,2	-23,7	-24,0	-24,5	-24,4	-24,6	-24,1
1942	-23,8	-25,3	-23,8	-24,1	-24,5	-24,6	-24,3	-23,8
1943	-24,5	-24,9	-23,7	-23,7	-24,5	-24,5	-23,9	-23,6
1944	-25,0	-24,0	-23,5	-23,9	-24,1	-23,8	-24,1	-23,4
1945	-24,0	-24,3	-23,3	-24,0	-24,6	-24,3	-24,1	-23,7
1946	-24,1	-24,0	-23,1	-23,8	-24,2	-24,1	-24,3	-23,4
1947	-24,1	-24,6	-23,0	-23,0	-23,6	-23,2	-24,0	-23,1
1948	-24,0	-24,6	-23,9	-23,8	-24,2	-23,8	-24,5	-24,1
1949	-23,9	-24,4	-24,4	-23,9	-24,5	-23,8	-24,2	-24,2
1950	-24,8	-24,5	-24,7	-23,8	-24,6	-24,1	-24,1	-24,5
1951	-25,1	-24,6	-24,7	-24,1	-25,0	-24,2	-24,0	-24,4
1952	-24,5	-24,6	-24,0	-23,8	-24,8	-24,2	-23,6	-24,0
1953	-23,7	-24,1	-23,7	-23,8	-24,9	-24,1	-23,2	-23,9
1954	-24,1	-23,8	-23,9	-24,1	-24,5	-24,4	-23,6	-23,8
1955	-24,7	-24,4	-24,5	-23,9	-24,8	-24,7	-23,3	-23,5
1956	-25,4	-24,1	-24,9	-24,0	-24,8	-24,6	-23,6	-23,9
1957	-25,7	-24,9	-24,8	-24,0	-24,7	-24,9	-23,5	-23,8
1958	-24,4	-24,7	-24,1	-23,7	-24,6	-24,8	-23,8	-24,1
1959	-23,6	-23,1	-23,3	-22,7	-23,2	-23,5	-22,7	-22,7
1960	-24,4	-24,3	-24,7	-24,1	-24,1	-24,6	-23,8	-23,8
1961	-24,2	-24,4	-24,8	-24,2	-24,5	-24,6	-23,9	-23,9

	068		073		076		099	
Jahr	Nord	Süd	Nord	Süd	Nord	Süd	Nord	Süd
1962	-24,5	-24,5	-24,9	-24,2	-24,0	-24,5	-24,6	-24,1
1963	-23,4	-24,1	-24,2	-23,2	-24,3	-23,3	-23,3	-22,8
1964	-24,0	-24,0	-24,2	-23,4	-24,4	-23,4	-23,8	-23,1
1965	-24,3	-24,7	-24,2	-24,0	-25,2	-24,4	-24,2	-23,9
1966	-24,4	-25,0	-24,3	-23,9	-24,6	-24,1	-24,0	-23,8
1967	-24,4	-23,9	-24,0	-23,3	-24,0	-24,0	-23,8	-23,5
1968	-24,5	-24,2	-23,9	-23,4	-24,2	-23,9	-23,8	-23,8
1969	-23,5	-24,3	-24,6	-23,9	-24,1	-23,9	-24,2	-24,2
1970	-23,3	-23,8	-24,7	-24,0	-23,9	-23,9	-24,2	-24,2
1971	-23,5	-23,1	-24,3	-23,9	-24,1	-23,7	-24,1	-24,1
1972	-24,5	-24,1	-24,4	-24,7	-24,5	-23,7	-24,0	-23,9
1973	-23,6	-22,9	-23,4	-23,7	-24,0	-23,2	-23,0	-23,8
1974	-24,8	-24,1	-23,6	-24,0	-24,3	-23,7	-23,6	-24,3
1975	-24,3	-23,6	-23,2	-23,5	-23,9	-23,5	-22,6	-23,3
1976	-23,5	-23,6	-23,0	-23,1	-23,9	-23,7	-23,3	-24,3
1977	-24,3	-23,9	-24,7	-24,6	-24,0	-23,9	-23,9	-24,2
1978	-24,6	-24,2	-24,6	-24,5	-24,4	-24,2	-23,8	-24,7
1979	-24,0	-24,6	-24,7	-24,4	-24,4	-23,9	-23,9	-24,3
1980	-24,4	-24,4	-24,8	-24,2	-23,9	-23,6	-24,4	-24,5
1981	-24,2	-24,8	-25,2	-24,0	-24,6	-23,9	-24,8	-24,8
1982	-23,6	-23,9	-24,4	-23,3	-23,7	-23,2	-24,3	-24,2
1983	-23,5	-22,9	-23,7	-23,3	-23,2	-22,6	-23,7	-23,9
1984	-25,9	-24,6	-24,4	-23,5	-24,1	-23,7	-24,4	-24,6
1985	-25,6	-24,1	-24,1	-24,0	-24,1	-23,5	-23,9	-24,4
1986	-24,9	-25,1	-24,4	-24,3	-24,2	-23,9	-24,2	-24,6
MW	-24,18	-24,32	-24,01	-23,74	-24,30	-24,11	-24,01	-23,92
Min	-25,89	-25,39	-25,43	-24,73	-28,42	-25,30	-25,33	-24,78
Max	-22,75	-22,92	-22,40	-22,68	-23,16	-22,64	-22,56	-22,69

$\delta^{13}C$-Werte aller Bäume (geschädigtes Kollektiv) in $^{o}/oo$

		330		332		334		339		343
Jahr	Nord	Süd	Nord	Süd	Nord	Süd	Nord	Süd	Nord	Süd
1909				-23,4						
1910			-22,8	-22,9						
1911			-22,2	-22,4						
1912	-24,1	-24,1	-22,7	-23,3						
1913	-24,4	-24,1	-23,3	-23,5						
1914	-24,6	-24,3	-23,4	-23,4						
1915	-24,3	-24,0	-22,3	-23,0		-25,0			-25,2	-25,2
1916	-26,1	-25,6	-23,8	-24,2	-25,6	-26,0		-25,1	-26,0	-26,0
1917	-24,8	-24,8	-22,6	-22,5	-24,3	-24,3	-25,1	-25,1	-25,0	-24,4
1918	-25,2	-25,2	-22,9	-23,8	-25,1	-25,3	-25,9	-26,1	-26,0	-25,5
1919	-23,8	-23,6	-22,2	-22,6	-24,2	-24,4	-25,6	-25,7	-25,5	-25,1
1920	-23,9	-24,1	-23,0	-23,3	-24,5	-25,0	-25,3	-25,5	-25,9	-25,7
1921	-23,1	-23,3	-22,0	-21,8	-23,2	-23,5	-25,1	-25,5	-25,0	-24,3
1922	-24,4	-24,8	-22,7	-22,9	-24,7	-24,9	-25,6	-25,3	-26,3	-25,7
1923	-24,8	-24,7	-23,5	-23,7	-25,0	-24,9	-25,7	-26,1	-26,3	-25,7
1924	-23,9	-24,0	-22,9	-22,2	-24,3	-24,2	-24,8	-26,0	-25,5	-25,1
1925	-23,4	-23,9	-22,2	-23,3	-24,3	-24,1	-24,6	-24,9	-24,9	-24,4
1926	-24,5	-24,8	-23,2	-23,1	-24,9	-24,7	-25,1	-25,2	-25,1	-25,0
1927	-24,2	-24,5	-23,1	-22,6	-24,7	-24,7	-25,1	-25,7	-24,8	-24,8
1928	-24,2	-24,2	-22,7	-22,9	-24,3	-24,5	-24,9	-25,2	-24,2	-25,0
1929	-23,7	-23,2	-22,6	-24,4	-23,6	-24,1	-24,4	-25,2	-24,4	-25,3
1930	-24,0	-24,6	-22,8	-23,9	-24,5	-24,7	-24,7	-25,1	-24,8	-26,1
1931	-24,5	-25,2	-23,8	-24,5	-25,3	-25,4	-25,1	-25,6	-25,2	-25,8
1932	-24,2	-24,9	-22,7	-23,1	-24,2	-24,9	-24,5	-24,7	-25,0	-25,5
1933	-23,7	-24,2	-22,1	-22,4	-23,9	-24,3	-24,2	-24,9	-24,2	-24,7
1934	-22,5	-23,0	-21,9	-21,5	-23,0	-23,1	-23,8	-23,6	-23,4	-24,2
1935	-23,5	-24,5	-22,5	-22,6	-24,2	-24,6	-25,8	-25,1	-23,1	-23,6
1936	-24,0	-24,3	-22,8	-23,0	-24,4	-24,7	-25,0	-25,2	-24,2	-24,1
1937	-24,0	-25,0	-23,0	-23,4	-24,3	-24,2	-24,6	-25,1	-24,9	-24,7
1938	-23,0	-24,2	-23,0	-25,0	-23,6	-23,1	-24,3	-24,3	-23,4	-23,7
1939	-23,2	-24,0	-21,8	-21,6	-24,1	-24,9	-24,4	-24,2	-23,7	-23,8
1940	-23,9	-24,8	-22,3	-22,5	-24,9	-24,2	-24,8	-24,4	-24,5	-24,5
1941	-23,9	-24,4	-22,5	-21,9	-24,5	-24,3	-24,4	-24,7	-24,3	-24,4
1942	-23,9	-23,9	-22,7	-22,6	-24,5	-24,4	-24,4	-24,4	-23,9	-24,6
1943	-24,0	-24,1	-22,8	-22,6	-24,8	-24,4	-24,4	-24,7	-23,8	-24,3
1944	-23,6	-23,9	-22,0	-22,9	-24,3	-23,9	-23,8	-23,9	-23,6	-23,6
1945	-23,7	-23,9	-22,7	-22,6	-24,5	-24,3	-24,0	-24,3	-23,9	-24,3
1946	-23,9	-23,9	-23,0	-22,6	-24,5	-24,0	-24,1	-24,3	-24,4	-24,4
1947	-23,5	-24,0	-22,3	-22,0	-23,6	-23,7	-23,3	-24,1	-23,9	-23,5
1948	-24,0	-24,6	-22,8	-22,8	-24,8	-24,3	-24,2	-24,7	-24,3	-24,8
1949	-23,6	-24,6	-22,9	-22,7	-24,7	-24,5	-24,6	-24,7	-24,5	-24,0
1950	-23,6	-24,9	-22,6	-22,2	-24,7	-24,2	-24,4	-24,4	-24,6	-24,8
1951	-23,7	-24,6	-22,9	-22,7	-24,7	-24,7	-24,6	-24,6	-25,0	-24,9
1952	-23,4	-24,0	-22,2	-22,0	-24,7	-24,2	-24,2	-24,1	-23,9	-23,8
1953	-23,7	-23,7	-22,0	-21,7	-24,5	-24,2	-24,5	-24,1	-23,8	-24,4
1954	-24,1	-23,8	-22,4	-22,2	-24,4	-24,6	-25,0	-24,4	-23,8	-24,3
1955	-24,2	-23,8	-22,1	-22,0	-24,4	-24,6	-24,8	-24,6	-23,7	-24,0
1956	-24,0	-24,1	-22,4	-22,5	-24,4	-24,1	-27,0	-24,7	-24,0	-24,4
1957	-23,6	-23,9	-22,0	-22,1	-24,4	-24,1	-24,4	-24,5	-24,0	-24,1
1958	-23,3	-23,3	-22,1	-21,7	-24,3	-23,6	-24,2	-24,4	-24,1	-24,3
1959	-23,3	-23,3	-21,5	-21,7	-24,3	-23,6	-22,6	-23,0	-22,2	-22,8
1960	-23,3	-23,3	-21,5	-21,7	-24,3	-23,6	-23,3	-23,7	-23,3	-23,7
1961	-23,2	-23,5	-21,5	-21,7	-24,3	-24,2	-23,7	-23,9	-23,8	-23,8

	330		332		334		339		343	
Jahr	Nord	Süd	Nord	Süd	Nord	Süd	Nord	Süd	Nord	Süd
1962	-23,5	-23,8	-22,3	-22,2	-24,6	-24,8	-24,4	-24,5	-24,0	-24,2
1963	-22,8	-22,3	-20,9	-22,2	-23,4	-23,0	-23,1	-23,3	-23,1	-23,0
1964	-23,7	-23,2	-21,4	-22,2	-24,8	-24,2	-23,6	-23,7	-23,3	-23,8
1965	-23,8	-23,8	-21,6	-22,8	-25,3	-24,3	-24,0	-24,3	-24,0	-23,4
1966	-23,2	-23,5	-21,5	-22,8	-24,5	-24,2	-23,4	-23,7	-24,0	-24,0
1967	-23,0	-23,0	-21,5	-21,6	-24,0	-24,0	-23,6	-23,7	-24,2	-23,7
1968	-22,7	-23,3	-21,6	-21,8	-24,0	-23,9	-23,6	-23,8	-24,0	-23,7
1969	-23,1	-23,1	-22,1	-21,5	-24,2	-23,5	-24,0	-24,0	-24,2	-23,5
1970	-22,6	-22,4	-21,5	-21,3	-24,2	-24,1	-23,5	-23,9	-24,0	-23,5
1971	-23,3	-22,9	-21,8	-21,5	-24,2	-24,3	-23,8	-24,4	-24,4	-24,1
1972	-23,4	-23,2	-22,0	-21,6	-24,6	-24,4	-24,1	-24,0	-24,7	-24,1
1973	-22,7	-22,0	-21,4	-21,6	-23,4	-23,1	-23,0	-23,0	-23,9	-23,6
1974	-22,9	-22,8	-21,8	-21,6	-24,3	-23,8	-23,8	-23,9	-23,8	-23,6
1975	-22,9	-22,6	-21,2	-21,6	-23,5	-23,1	-23,9	-23,3	-23,2	-24,0
1976	-22,3	-22,7	-20,9	-20,9	-23,7	-23,6	-23,6	-23,2	-23,2	-24,0
1977	-22,3	-22,3	-21,6	-21,6	-23,8	-24,2	-24,5	-23,9	-23,7	-24,0
1978	-22,3	-22,6	-21,9	-22,4	-24,4	-24,6	-24,3	-24,3	-24,0	-24,3
1979	-22,4	-22,9	-22,6	-22,4	-24,3	-24,5	-24,4	-24,2	-24,0	-24,3
1980	-22,9	-23,4	-22,5	-22,3	-24,5	-24,8	-24,2	-25,1	-24,2	-24,3
1981	-23,2	-23,4	-22,3	-22,3	-24,7	-24,5	-24,0	-24,8	-24,2	-24,2
1982	-22,4	-23,4	-21,8	-22,3	-24,0	-23,9	-24,0	-24,1	-23,6	-23,6
1983	-22,0	-23,9	-21,8	-21,2	-23,5	-23,5	-23,1	-23,6	-23,3	-23,1
1984	-23,3	-23,9	-22,8	-21,2	-25,1	-24,8	-24,6	-24,8	-24,3	-24,2
1985	-22,8	-23,9	-22,8	-22,2	-24,6	-24,5	-24,1	-24,3	-24,3	-24,0
1986	-23,5	-23,9	-22,3	-21,5	-24,7	-24,6	-23,9	-24,3	-24,3	-24,0
MW	-23,58	-23,83	-22,33	-22,46	-24,35	-24,26	-24,35	-24,49	-24,26	-24,32
Min	-26,10	-25,56	-23,79	-25,04	-25,57	-25,97	-27,01	-26,10	-26,30	-26,07
Max	-22,04	-21,97	-20,85	-20,93	-22,99	-22,99	-22,55	-22,95	-22,20	-22,80

$\delta^{13}C$-Mittelwerte alle Bäume (ungeschädigtes und geschädigtes Kollektiv) in $^{o}/oo$

Jahr	068	073	076	099	MW	330	332	334	339	343	MW	Gesamt
1909		-22,9					-23,4					
1910		-23,6	-24,4				-22,9					
1911		-22,9	-23,4	-23,3			-22,3					
1912	-24,3	-23,6	-24,4	-24,4		-24,1	-23,0					
1913	-24,8	-23,9	-24,2	-24,5		-24,2	-23,4					
1914	-24,3	-24,0	-24,0	-24,2		-24,4	-23,4					
1915	-24,1	-23,3	-23,6	-23,7		-24,2	-22,7	-25,0		-25,2		
1916	-25,2	-24,5	-26,7	-25,0		-25,8	-24,0	-25,8	-25,1	-26,0		
1917	-24,4	-23,7	-23,4	-23,3		-24,8	-22,6	-24,3	-25,1	-24,7		
1918	-24,6	-24,6	-24,1	-24,8		-25,2	-23,4	-25,2	-26,0	-25,8		
1919	-23,8	-23,8	-23,9	-23,9		-23,7	-22,4	-24,3	-25,6	-25,3		
1920	-24,2	-24,3	-24,3	-23,6	-24,1	-24,0	-23,1	-24,7	-25,4	-25,8	-24,6	-24,38
1921	-24,0	-23,3	-23,3	-22,9	-23,4	-23,2	-21,9	-23,4	-25,3	-24,7	-23,7	-23,55
1922	-24,4	-24,0	-24,3	-24,3	-24,2	-24,6	-22,8	-24,8	-25,5	-26,0	-24,7	-24,51
1923	-25,0	-24,5	-24,9	-24,7	-24,8	-24,8	-23,6	-24,9	-25,9	-26,0	-25,0	-24,91
1924	-24,4	-23,8	-24,1	-23,6	-24,0	-24,0	-22,5	-24,3	-25,4	-25,3	-24,3	-24,15
1925	-23,7	-23,5	-24,1	-23,5	-23,7	-23,7	-22,8	-24,2	-24,8	-24,7	-24,0	-23,87
1926	-24,4	-24,3	-24,7	-24,4	-24,5	-24,7	-23,2	-24,8	-25,2	-25,1	-24,6	-24,52
1927	-24,3	-24,3	-24,9	-24,3	-24,4	-24,3	-22,9	-24,7	-25,4	-24,8	-24,4	-24,43
1928	-24,1	-23,6	-24,6	-23,8	-24,0	-24,2	-22,8	-24,4	-25,1	-24,6	-24,2	-24,13
1929	-23,7	-22,7	-24,5	-24,1	-23,7	-23,5	-23,5	-23,9	-24,8	-24,8	-24,1	-23,93
1930	-24,3	-23,6	-24,9	-24,6	-24,3	-24,3	-23,4	-24,6	-24,9	-25,4	-24,5	-24,44
1931	-24,8	-24,2	-25,2	-24,6	-24,7	-24,9	-24,2	-25,4	-25,3	-25,5	-25,0	-24,89
1932	-24,4	-23,9	-24,5	-24,0	-24,2	-24,5	-22,9	-24,6	-24,6	-25,2	-24,4	-24,30
1933	-23,8	-22,9	-24,3	-23,8	-23,7	-23,9	-22,3	-24,1	-24,5	-24,4	-23,8	-23,77
1934	-23,3	-22,8	-23,1	-23,2	-23,1	-22,7	-21,7	-23,0	-23,7	-23,8	-23,0	-23,04
1935	-23,9	-23,3	-24,0	-24,0	-23,8	-24,0	-22,5	-24,4	-25,5	-23,4	-24,0	-23,89
1936	-24,6	-24,1	-24,2	-24,5	-24,3	-24,2	-22,9	-24,5	-25,1	-24,1	-24,2	-24,25
1937	-24,2	-24,0	-24,4	-24,6	-24,3	-24,5	-23,2	-24,2	-24,9	-24,8	-24,3	-24,31
1938	-23,7	-23,3	-24,0	-24,0	-23,8	-23,6	-24,0	-23,3	-24,3	-23,5	-23,7	-23,75
1939	-23,6	-23,5	-24,2	-23,7	-23,8	-23,6	-21,7	-24,5	-24,3	-23,7	-23,6	-23,65
1940	-24,5	-23,9	-24,6	-24,2	-24,3	-24,4	-22,4	-24,5	-24,6	-24,5	-24,1	-24,19
1941	-24,7	-23,9	-24,5	-24,3	-24,3	-24,2	-22,2	-24,4	-24,5	-24,3	-23,9	-24,11
1942	-24,6	-23,9	-24,6	-24,1	-24,3	-23,9	-22,7	-24,5	-24,4	-24,3	-23,9	-24,09
1943	-24,7	-23,7	-24,5	-23,8	-24,2	-24,0	-22,7	-24,6	-24,5	-24,0	-24,0	-24,07
1944	-24,5	-23,7	-23,9	-23,7	-24,0	-23,8	-22,4	-24,1	-23,9	-23,6	-23,5	-23,73
1945	-24,1	-23,7	-24,5	-23,9	-24,0	-23,8	-22,6	-24,4	-24,2	-24,1	-23,8	-23,92
1946	-24,0	-23,5	-24,2	-23,9	-23,9	-23,9	-22,8	-24,2	-24,2	-24,4	-23,9	-23,89
1947	-24,3	-23,0	-23,4	-23,6	-23,6	-23,8	-22,1	-23,7	-23,7	-23,7	-23,4	-23,47
1948	-24,3	-23,8	-24,0	-24,3	-24,1	-24,3	-22,8	-24,6	-24,4	-24,5	-24,1	-24,12
1949	-24,1	-24,2	-24,2	-24,2	-24,2	-24,1	-22,8	-24,6	-24,6	-24,2	-24,1	-24,11
1950	-24,7	-24,3	-24,3	-24,3	-24,4	-24,3	-22,4	-24,4	-24,4	-24,7	-24,0	-24,19
1951	-24,9	-24,4	-24,6	-24,2	-24,5	-24,1	-22,8	-24,7	-24,6	-25,0	-24,2	-24,36
1952	-24,6	-23,9	-24,5	-23,8	-24,2	-23,7	-22,1	-24,5	-24,2	-23,8	-23,7	-23,89
1953	-23,9	-23,8	-24,5	-23,6	-23,9	-23,7	-21,8	-24,4	-24,3	-24,1	-23,7	-23,78
1954	-23,9	-24,0	-24,5	-23,7	-24,0	-24,0	-22,3	-24,5	-24,7	-24,0	-23,9	-23,96
1955	-24,5	-24,2	-24,7	-23,4	-24,2	-24,0	-22,1	-24,5	-24,7	-23,8	-23,8	-23,99
1956	-24,8	-24,5	-24,7	-23,7	-24,4	-24,0	-22,4	-24,3	-25,9	-24,2	-24,1	-24,27
1957	-25,3	-24,4	-24,8	-23,6	-24,5	-23,7	-22,0	-24,3	-24,4	-24,1	-23,7	-24,08
1958	-24,5	-23,9	-24,7	-23,9	-24,3	-23,3	-21,9	-24,0	-24,3	-24,2	-23,5	-23,86
1959	-23,3	-23,0	-23,3	-22,7	-23,1	-23,3	-21,6	-24,0	-22,8	-22,5	-22,8	-22,94
1960	-24,3	-24,4	-24,4	-23,8	-24,2	-23,3	-21,6	-24,0	-23,5	-23,5	-23,2	-23,64
1961	-24,3	-24,5	-24,6	-23,9	-24,3	-23,4	-21,6	-24,3	-23,8	-23,8	-23,4	-23,79

Jahr	068	073	076	099	MW	330	332	334	339	343	MW	Gesamt
1962	-24,5	-24,5	-24,3	-24,4	-24,4	-23,7	-22,2	-24,7	-24,4	-24,1	-23,8	-24,08
1963	-23,8	-23,7	-23,8	-23,1	-23,6	-22,5	-21,5	-23,2	-23,2	-23,1	-22,7	-23,09
1964	-24,0	-23,8	-23,9	-23,5	-23,8	-23,4	-21,8	-24,5	-23,6	-23,5	-23,4	-23,56
1965	-24,5	-24,1	-24,8	-24,0	-24,4	-23,8	-22,2	-24,8	-24,1	-23,7	-23,7	-24,01
1966	-24,7	-24,1	-24,3	-23,9	-24,3	-23,4	-22,1	-24,3	-23,6	-24,0	-23,5	-23,82
1967	-24,2	-23,6	-24,0	-23,7	-23,9	-23,0	-21,5	-24,0	-23,7	-24,0	-23,2	-23,51
1968	-24,3	-23,7	-24,1	-23,8	-24,0	-23,0	-21,7	-24,0	-23,7	-23,8	-23,2	-23,56
1969	-23,9	-24,2	-24,0	-24,2	-24,1	-23,1	-21,8	-23,9	-24,0	-23,8	-23,3	-23,65
1970	-23,6	-24,3	-23,9	-24,2	-24,0	-22,5	-21,4	-24,2	-23,7	-23,8	-23,1	-23,50
1971	-23,3	-24,1	-23,9	-24,1	-23,8	-23,1	-21,6	-24,3	-24,1	-24,2	-23,5	-23,63
1972	-24,3	-24,6	-24,1	-23,9	-24,2	-23,3	-21,8	-24,5	-24,0	-24,4	-23,6	-23,87
1973	-23,2	-23,5	-23,6	-23,4	-23,5	-22,3	-21,5	-23,3	-23,0	-23,8	-22,8	-23,07
1974	-24,4	-23,8	-24,0	-23,9	-24,0	-22,8	-21,7	-24,0	-23,8	-23,7	-23,2	-23,58
1975	-23,9	-23,4	-23,7	-22,9	-23,5	-22,7	-21,4	-23,3	-23,6	-23,6	-22,9	-23,17
1976	-23,6	-23,1	-23,8	-23,8	-23,6	-22,5	-20,9	-23,6	-23,4	-23,6	-22,8	-23,13
1977	-24,1	-24,6	-24,0	-24,1	-24,2	-22,3	-21,6	-24,0	-24,2	-23,9	-23,2	-23,63
1978	-24,4	-24,5	-24,3	-24,3	-24,4	-22,5	-22,1	-24,5	-24,3	-24,2	-23,5	-23,89
1979	-24,3	-24,5	-24,1	-24,1	-24,3	-22,7	-22,5	-24,4	-24,3	-24,2	-23,6	-23,90
1980	-24,4	-24,5	-23,8	-24,4	-24,3	-23,1	-22,4	-24,6	-24,6	-24,3	-23,8	-24,01
1981	-24,5	-24,6	-24,2	-24,8	-24,5	-23,3	-22,3	-24,6	-24,4	-24,2	-23,7	-24,10
1982	-23,8	-23,9	-23,5	-24,2	-23,8	-22,9	-22,0	-24,0	-24,0	-23,6	-23,3	-23,53
1983	-23,2	-23,5	-22,9	-23,8	-23,4	-23,0	-21,5	-23,5	-23,4	-23,2	-22,9	-23,11
1984	-25,3	-23,9	-23,9	-24,5	-24,4	-23,6	-22,0	-24,9	-24,7	-24,3	-23,9	-24,12
1985	-24,8	-24,0	-23,8	-24,2	-24,2	-23,3	-22,5	-24,5	-24,2	-24,1	-23,7	-23,95
1986	-25,0	-24,4	-24,1	-24,4	-24,5	-23,7	-21,9	-24,7	-24,1	-24,1	-23,7	-24,03
MW	-24,3	-23,9	-24,2	-24,0	-24,07	-23,7	-22,4	-24,3	-24,4	-24,3	-23,75	-23,89
Min					-24,77						-25,05	-24,91
Max					-23,08						-22,69	-22,94

Klimadaten DWD Station 3907 Celle-Wietzenbruch

Temperatur in °C

Jahr	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Gesamt	Veg
1941	-5,8	-0,7	3,1	5,6	10,2	17,3	19,8	15,1	12,7	8,3	2,6	2,9	7,59	15,0
1942	-7,6	-5,0	0,7	7,5	12,4	14,6	16,2	18,4	14,9	11,0	4,3	3,4	7,57	15,3
1943	0,5	3,6	5,9	9,8	13,4	14,8	17,9	18,0	13,4	10,0	3,4	0,9	9,30	15,5
1944	4,5	0,3	1,9	9,0	12,1	14,6	18,2	20,2	13,3	8,8	5,2	0,2	9,03	15,7
1945														
1946														
1947														
1948	3,3	1,1	5,1	10,9	13,9	16,4	17,2	16,5	14,6	8,9	4,6	2,4	9,58	15,7
1949	2,8	3,2	2,6	10,7	13,0	14,5	17,6	17,1	16,7	10,9	4,0	3,7	9,73	15,8
1950	-0,2	3,8	5,2	6,8	13,6	17,3	17,2	17,6	13,0	7,9	4,6	-1,1	8,81	15,7
1951	1,9	1,8	2,5	7,3	11,5	15,5	16,5	17,1	14,6	7,5	6,9	4,1	8,93	15,0
1952	1,3	1,1	2,0	10,6	12,4	14,7	17,6	17,4	10,6	7,1	1,6	0,0	8,03	14,5
1953	0,9	0,4	4,6	8,8	13,2	16,9	17,4	16,6	13,1	10,6	6,1	3,6	9,35	15,4
1954														
1955	-1,2	-1,4	0,7	7,3	10,2	14,8	18,5	18,0	14,0	8,7	5,1	3,5	8,18	15,1
1956	0,8	-8,5	3,8	5,2	13,2	13,7	17,6	14,1	14,0	9,0	3,7	3,4	7,50	14,5
1957	2,2	4,4	6,2	8,1	10,5	17,3	17,8	15,6	11,6	9,9	5,5	0,9	9,17	14,6
1958	0,0	2,1	0,5	5,9	13,4	15,2	17,2	17,3	14,9	10,5	4,5	3,3	8,73	15,6
1959	1,0	0,7	6,7	10,2	13,9	17,3	20,5	18,9	14,5	9,2	3,8	2,5	9,93	17,0
1960	1,1	1,0	4,4	7,9	13,5	16,7	16,0	15,8	13,4	9,6	6,8	2,0	9,02	15,1
1961	0,0	5,4	6,6	11,0	10,9	17,0	15,5	15,9	16,7	11,1	4,5	-0,5	9,51	15,2
1962	3,1	1,6	1,1	8,4	10,4	14,6	15,0	15,4	12,5	9,8	3,6	-2,5	7,75	13,6
1963	-7,3	-5,2	3,3	9,2	13,0	17,2	18,2	16,8	13,8	8,6	8,1	-2,1	7,80	15,8
1964	-1,4	0,9	0,8	9,3	14,4	17,1	18,3	16,5	14,0	7,6	5,4	2,0	8,74	16,1
1965	2,4	0,2	3,3	7,8	12,3	16,1	15,1	15,2	13,6	8,9	0,9	3,2	8,25	14,5
1966	-1,7	1,7	4,6	8,7	14,1	18,1	16,4	16,4	13,4	11,5	3,2	3,0	9,12	15,7
1967	2,4	3,9	6,5	7,0	13,1	15,4	18,9	16,8	14,2	11,1	4,5	1,9	9,64	15,7
1968	-0,3	0,8	5,3	9,7	11,0	16,8	16,3	17,9	14,1	10,6	4,3	-1,7	8,73	15,2
1969	1,8	-1,6	-0,2	7,4	13,2	16,1	18,7	17,3	13,7	10,8	5,7	-4,7	8,18	15,8
1970	-3,5	-1,0	2,1	5,6	12,6	18,1	16,3	17,2	13,0	9,4	6,4	1,7	8,16	15,4
1971	-0,1	2,5	1,9	7,9	14,7	14,6	18,0	18,0	12,4	9,6	4,3	4,8	9,05	15,5
1972	-2,6	2,2	5,6	7,7	12,1	14,9	18,2	16,4	10,9	7,3	5,3	2,1	8,34	14,5
1973	1,4	2,4	5,1	5,5	12,5	16,8	17,9	18,1	14,3	7,8	3,9	1,2	8,91	15,9
1974	4,2	3,9	5,7	8,4	11,2	14,4	15,3	17,3	13,6	6,3	5,7	6,1	9,34	14,4
1975	6,0	1,8	4,1	6,9	11,8	15,7	19,1	20,3	15,4	7,9	3,6	2,9	9,63	16,5
1976	1,6	0,9	1,4	7,3	12,9	17,6	19,8	16,7	13,1	9,2	5,4	-0,3	8,80	16,0
1977	1,0	3,5	6,0	6,0	12,4	15,8	16,9	16,3	12,2	10,5	6,1	3,4	9,18	14,7
1978	1,4	-1,3	5,6	6,8	13,0	15,2	15,7	15,5	12,4	10,2	5,6	-0,2	8,33	14,4
1979	-4,0	-3,2	3,3	7,2	12,7	16,4	15,3	15,9	13,1	8,6	4,5	4,6	7,87	14,7
1980	-2,3	2,3	3,3	7,3	11,6	15,7	15,8	17,1	14,5	8,8	4,3	2,3	8,39	14,9
1981	-0,1	0,8	7,4	8,3	14,5	15,7	16,9	16,9	14,1	8,3	5,4	-2,5	8,81	15,6
1982	-1,5	0,8	4,6	7,3	12,9	16,7	19,9	18,0	16,2	10,3	7,0	3,1	9,61	16,7
1983	5,3	-0,6	5,2	9,1	12,2	17,0	20,7	19,2	14,4	9,9	4,6	1,7	9,89	16,7
1984	2,1	0,8	2,5	7,7	12,3	14,1	16,0	18,1	12,9	11,1	5,3	1,9	8,73	14,7
1985	-4,9	-2,0	3,3	8,3	14,8	14,3	17,5	16,4	13,6	9,8	1,8	4,9	8,15	15,3
1986	0,6	-6,5	3,7	6,8	14,6	17,0	18,0	16,8	11,3	10,2	7,2	2,9	8,55	15,5
1987	-6,1	0,2	-0,3	9,5	10,4	14,2	17,3	15,6	13,9	9,6	6,3	3,2	7,82	14,3
1988	4,5	3,2	3,4	8,2	15,3	15,4	17,5	17,2	13,6	9,7	4,2	4,5	9,73	15,8
1989	3,6	4,6	7,3	7,6	14,6	16,9	18,3	17,5	15,4	11,1	3,5	3,1	10,3	16,5
1990	4,5	6,8	7,6	8,2	14,6	16,0	17,0	19,2	12,4	10,7	5,4	2,2	10,4	15,8
MW	0,3	0,8	3,8	8,0	12,8	15,9	17,5	17,1	13,7	9,4	4,8	1,9	8,8	15,4

Klimadaten DWD Station 3907 Celle-Wietzenbruch

relative Feuchte in %

Jahr	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Gesamt	Veg
1941	86	89	81	77	70	67	70	82	81	84	86	90	80,3	74,0
1942	84	84	78	68	68	68	77	74	78	85	90	86	78,3	73,0
1943	84	85	68	75	64	77	74	76	83	82	88	91	78,9	74,8
1944	88	85	80	74	70	74	77	69	78	88	89	89	80,1	73,6
1945														
1946														
1947														
1948	90	84	83	73	74	71	76	78	79	83	86	85	80,2	75,6
1949	84	84	76	71	71	75	74	74	81	79	89	89	78,9	75,0
1950	84	84	83	78	75	69	77	75	82	84	89	87	80,6	75,6
1951	87	85	79	69	73	75	77	77	81	76	89	87	79,6	76,6
1952	87	88	76	71	73	74	71	76	82	86	91	91	80,5	75,2
1953	91	88	77	67	73	75			1953	91	88	77	67 73	75 74
1954														
1955	84	81	78	73	72	72	77	77	81	85	87	89	79,7	75,8
1956	86	81	76	77	66	78	76	80	80	84	88	86	79,8	76,0
1957	87	85	80	70	67	66	77	79	83	85	82	89	79,2	74,4
1958	87	85	86	78	76	74	81	80	81	87	93	94	83,5	78,4
1959	88	90	89	88	75	63	65	80	82	72	92	87	80,9	73,0
1960	86	81	77	68	71	69	75	83	81	88	86	90	79,6	75,8
1961	86	86	81	76	77	72	78	79	79	81	88	86	80,8	77,0
1962	83	82	82	78	75	69	81	79	81	84	87	87	80,7	77,0
1963	84	86	77	70	69	65	70	75	81	83	85	89	77,8	72,0
1964	89	83	81			69	69	75	77	85	90	89	80,7	72,5
1965	89	87	80	79	74	73	81	79	80	85	88	91	82,2	77,4
1966	90	86	82	81	70	74	80	77	82	86	90	90	82,3	76,6
1967	90	82	80	75	70	76	76	80	87	85	91	93	82,1	77,8
1968	90	87	76	65	75	71	77	74	87	89	90	90	80,9	76,8
1969	90	86	80	74	77	73	76	75	80	88	84	89	81,0	76,2
1970	89	86	82	81	72	64	77	77	82	88	85	88	80,9	74,4
1971	82	84	78	74	69	79	71	73	80	76	85	89	78,3	74,4
1972	86	86	77	74	71	74	76	76	85	82	88	83	79,8	76,4
1973	92	90	82	82	75	70	75	67	80	89	87	89	81,5	73,4
1974	88	84	77	70	79	83	82	78	80	91	87	89	82,3	80,4
1975	84	84	82	81	74	71	73	68	81	89	90	89	80,5	73,4
1976	90	89	80	69	70	66	60	69	82	90	90	89	78,7	69,4
1977	92	88	81	81	67	78	76	82	82	88	86	91	82,7	77,0
1978	91	88	85	75	73	74	79	79	87	89	89	91	83,3	78,4
1979	89	89	84	78	73	75	79	78	81	78	88	87	81,6	77,2
1980	89	87	77	70	58	72	78	72	78	79	81	85	77,2	71,6
1981	88	83	80	66	68	75	76	74	80	82	83	88	78,6	74,6
1982	86	81	75	70	69	71	64	70	73	84	80	88	75,9	69,4
1983	82	83	80	77	77	65	62	64	72	77	86	85	75,8	68,0
1984	82	83	70	65	72	75	76	71	81	83	83	88	77,4	75,0
1985	86	70	79	74	69	75	73	75	78	82	84	84	77,4	74,0
1986	84	77	78	74	66	66	69	68	80	80	83	89	76,2	69,8
1987	84	81	74	71	73	79	72	80	83	79	87	89	79,3	77,4
1988	83	82	83	63	55	76	72	69	76	80	84	85	75,7	69,6
1989	85	80	76	71	56	59	64	66	78	81	82	85	73,6	64,6
1990	81	74	75	69	59	72	67	65	81	76	89	86	74,5	68,8
MW	86,7	84,2	79,2	73,6	70,4	71,9	74,1	75,0	80,5	83,6	87,0	88,3	79,6	74,4

Klimadaten DWD Station 3907 Celle-Wietzenbruch

Niederschlagshöhe in mm*10

Jahr	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Gesamt	Veg
1941	364	543	478	360	793	355	478	896	569	1220	370	834	7260	61,8
1942	223	163	253	459	470	531	1286	206	874	854	710	256	6285	67,3
1943	411	627	222	772	319	975	495	1207	400	81	477	241	6227	67,9
1944	881	405	498	396	394	653	619	379	300	475	1372	461	6833	46,9
1945														
1946														
1947														
1948	1112	695	241	330	596	311	920	883	237	301	216	122	5964	58,9
1949	384	306	460	672	563	661	278	605	584	62	565	1028	6168	53,8
1950	400	806	235	723	556	659	722	875	722	486	676	326	7186	70,7
1951	821	465	812	380	716	966	617	526	740	20	962	410	7435	71,3
1952	741	358	566	247	459	550	382	581	698	801	615	507	6505	53,4
1953	308	310	167	331	497	820	875	446	509	151	414	434	5262	62,9
1954														
1955	221	361	224	365	687	857	999	633	350	879	216	757	6549	70,5
1956	619	213	373	413	139	1426	797	952	403	662	728	521	7246	74,3
1957	459	820	784	153	201	797	1207	510	976	201	339	761	7208	73,8
1958	659	865	114	544	596	1021	1000	1038	284	565	236	561	7483	78,8
1959	526	83	263	341	172	179	266	514	3	322	561	299	3529	22,7
1960	573	275	280	452	933	240	757	1392	443	787	777	1115	8024	75,3
1961	832	769	758	803	1178	400	1258	1012	289	370	905	1049	9623	82,7
1962	661	677	454	709	562	503	1337	703	414	179	198	854	7251	70,4
1963	220	157	386	280	360	546	886	1183	616	429	1089	131	6283	71,8
1964	206	430	304	270	720	617	463	1066	546	447	481	375	5925	68,2
1965	1127	381	414	1031	859	709	1260	566	592	279	575	1174	8967	79,7
1966	507	845	526	811	1199	1000	1071	955	240	384	726	1410	9674	89,3
1967	800	509	685	429	766	942	694	1036	776	614	645	873	8769	84,3
1968	725	268	469	116	897	954	667	505	1111	953	291	177	7133	82,7
1969	695	479	269	1044	789	1021	469	723	111	432	614	341	6987	62,3
1970	358	1122	800	988	342	628	1106	806	535	768	679	381	8513	68,3
1971	284	280	159	381	510	1290	157	777	310	287	459	629	5523	60,9
1972	57	94	585	553	603	983	491	605	433	178	458	81	5121	62,3
1973	294	373	174	755	379	337	603	156	412	1284	659	812	6238	37,7
1974	550	354	321	249	634	654	732	517	369	890	504	1591	7365	58,1
1975	589	119	469	526	464	820	797	249	461	429	520	237	5680	55,8
1976	1390	267	197	214	791	288	428	368	597	194	696	266	5696	49,4
1977	494	572	475	697	352	1198	794	946	334	158	821	460	7301	72,5
1978	563	223	698	94	501	1485	740	510	1241	204	129	889	7277	89,5
1979	357	457	576	581	689	445	763	591	237	157	495	977	6325	54,5
1980	347	492	326	625	586	1063	1062	446	770	333	421	625	7096	78,5
1981	786	302	1072	321	892	1168	554	829	571	858	604	652	8609	80,3
1982	601	188	553	392	697	867	176	956	122	576	445	590	6163	56,4
1983	901	463	626	1120	789	455	153	531	297	554	623	613	7125	44,5
1984	692	549	141	297	1300	803	701	274	787	727	519	356	7146	77,3
1985	466	141	379	651	357	974	346	602	384	148	387	557	5392	53,3
1986	750	121	575	187	424	772	608	671	369	533	267	1564	6841	56,9
1987	643	578	446	352	466	660	434	461	876	414	678	543	6551	57,9
1988	725	723	1216	137	299	592	1102	401	554	313	589	625	7276	59,0
1989	134	496	584	595	27	414	628	1020	251	631	233	737	5750	46,8
1990	373	1007	278	391	125	817	168	553	1037	310	743	733	6535	54,0
MW	562	451	454	490	579	748	703	688	516	476	558	629	6854	64,7

Klimadaten DWD Station 54318 Lachendorf

Niederschlagshöhe in mm*10

Jahr	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Gesamt	Veg
1941	341	480	415	313	689	472	686	977	417	1568	326	810	7494	64,8
1942	219	174	285	454	423	499	1525	295	435	828	664	305	6106	63,5
1943	388	641	186	800	267	802	555	1277	560	51	468	176	6171	69,2
1944	842	375	420	532	304	654	548	188	276	558	1316	476	6489	39,4
1945														
1946														
1947	236	149	528	551	583	814	444	257	372	158	1313	943	6348	49,4
1948	952	592	218	374	529	411	1042	937	326	374	243	196	6194	64,9
1949	346	292	572	583	727	819	201	725	449	43	614	1067	6438	58,4
1950	415	847	209	645	506	531	817	566	655	400	584	335	6510	61,5
1951	786	410	687	329	648	1217	353	595	617	7	899	316	6864	68,6
1952	701	316	526	243	352	587	376	583	695	783	675	423	6260	51,9
1953	326	339	144	352	403	891	848	415	633	138	391	355	5235	63,8
1954	357	119	270	369	429	310	2090	1205	593	1025	552	1086	8405	92,5
1955	228	472	321	444	689	1213	1108	488	331	934	275	854	7357	76,6
1956	616	224	455	381	143	1920	1254	1158	477	725	686	580	8619	99,0
1957	664	663	857	159	316	851	1156	450	974	263	347	822	7522	74,9
1958	560	814	158	523	567	662	977	989	222	654	166	558	6850	68,3
1959	556	96	250	345	122	205	252	791	1	296	517	281	3712	27,4
1960	527	226	273	361	790	185	617	1407	505	799	809	1011	7510	70,1
1961	762	768	678	737	1151	529	1137	1155	312	354	868	996	9447	85,7
1962	753	578	335	591	559	573	1284	677	582	141	170	796	7039	73,5
1963	172	117	403	303	222	419	328	1193	537	401	1157	129	5381	54,0
1964	179	308	245	280	567	371	386	1098	628	383	453	331	5229	61,0
1965	897	273	325	849	826	415	1192	700	642	188	620	880	7807	75,5
1966	447	869	486	668	744	872	1351	673	334	281	713	1103	8541	79,5
1967	584	439	593	385	918	727	543	1225	901	534	631	820	8300	86,3
1968	648	252	318	183	847	985	696	645	911	903	300	172	6860	81,7
1969	609	429	365	972	845	929	337	844	93	346	573	284	6626	61,0
1970	333	982	670	749	332	403	1030	928	578	818	703	431	7957	65,4
1971	246	253	142	165	309	1314	358	801	290	278	438	596	5190	61,4
1972	64	111	635	439	641	989	469	914	424	202	385	80	5353	68,7
1973	283	326	154	765	348	478	560	172	446	1015	526	753	5826	40,1
1974	476	318	211	281	642	640	718	445	481	914	415	1389	6930	58,5
1975	508	108	456	523	366	901	488	299	495	327	412	200	5083	51,0
1976	1347	265	167	167	767	350	396	368	489	259	623	235	5433	47,4
1977	481	591	495	569	422	1248	1028	863	387	183	839	388	7494	79,0
1978	517	269	567	93	641	798	772	681	1182	213	131	779	6643	81,5
1979	354	598	745	655	672	835	1010	927	249	176	605	1090	7916	73,9
1980	352	613	315	572	244	1394	858	579	925	421	663	756	7692	80,0
1981	890	411	1116	207	797	1074	568	903	736	904	635	765	9006	81,6
1982	659	227	577	460	716	877	335	977	107	561	432	712	6640	60,2
1983	999	475	670	1298	652	534	151	285	366	593	655	891	7569	39,8
1984	835	556	181	286	1528	755	814	349	883	742	581	387	7897	86,6
1985	620	158	390	746	516	998	537	836	483	118	581	650	6633	67,4
1986	983	157	652	251	523	1037	439	797	419	554	313	1517	7642	64,3
1987	757	619	589	328	488	729	696	635	889	446	747	624	7547	68,7
1988	802	787	1384	130	212	929	1109	362	624	300	548	778	7965	64,7
1989	137	593	634	516	68	493	1093	1103	310	583	243	766	6539	61,3
MW	548	419	453	467	554	758	756	739	516	484	570	636	6899	66,5

Klimadaten DWD Station 54321 Celle

Niederschlagshöhe in mm*10

Jahr	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Gesamt	Veg
1891	650	90	880	660	350	1210	1320	990	280	230	320	950	7930	83,0
1892	820	500	450	290	610	650	680	670	690	460	100	610	6530	66,0
1893	340	1100	480	30	330	340	680	460	570	1090	690	460	6570	47,6
1894	210	1080	480	160	380	1450	610	1150	600	920	400	700	8140	83,8
1895	790	190	590	510	810	760	1070	1080	280	830	590	830	8330	80,0
1896	430	220	860	690	470	640	1040	1110	1260	400	320	280	7720	90,4
1897	430	360	850	450	770	230	390	840	800	350	380	580	6430	60,6
1898	570	950	1030	390	1080	740	1160	610	260	540	130	540	8000	77,0
1899	880	290	360	740	970	170	650	290	950	200	380	450	6330	60,6
1900	710	380	190	540	450	1040	1510	590	170	780	250	500	7110	75,2
1901	580	510	390	770	420	210	1560	540	640	740	1230	730	8320	67,4
1902	750	230	780	360	1130	830	890	880	450	400	70	690	7460	83,6
1903	440	640	560	700	380	450	850	1130	700	1090	750	140	7830	70,2
1904	460	670	330	570	550	510	220	460	890	520	780	540	6500	52,6
1905	650	450	660	610	310	750	1340	640	790	1160	340	540	8240	76,6
1906	880	510	750	360	750	310	1060	950	570	320	590	620	7670	72,8
1907	680	550	470	150	660	900	1010	990	160	260	270	810	6910	74,4
1908	470	600	510	740	930	580	1150	830	240	60	290	100	6500	74,6
1909	450	760	400	660	330	560	1320	860	1090	410	750	720	8310	83,2
1910	760	620	340	430	470	800	710	1390	300	60	480	450	6810	73,4
1911	240	930	470	250	320	580	500	250	240	690	360	650	5480	37,8
1912	460	490	530	360	450	1140	800	1180	490	360	1000	830	8090	81,2
1913	480	370	480	370	460	590	620	500	320	420	690	950	6250	49,8
1914	310	320	1090	500	680	400	980	370	880	440	340	550	6860	66,2
1915	980	440	1070	390	210	100	710	1000	200	380	250	1090	6820	44,4
1916	1170	610	230	420	760	730	1040	880	320	530	500	640	7830	74,6
1917	410	100	300	600	260	250	640	1470	400	820	420	520	6190	60,4
1918	1100	490	140	720	500	610	490	830	760	310	90	1130	7170	63,8
1919	350	250	900	280	60	460	540	210	350	510	990	1220	6120	32,4
1920	890	420	210	720	510	200	1010	1050	700	110	60	380	6260	69,4
1921	1230	190	120	250	260	990	180	670	440	490	260	1080	6160	50,8
1922	600	210	640	490	590	530	630	570	540	390	630	620	6440	57,2
1923	590	440	290	190	620	530	530	370	350	1010	410	590	5920	48,0
1924	200	330	250	650	770	490	650	1360	720	460	160	140	6180	79,8
1925	610	370	600	230	430	420	180	470	720	380	500	1210	6120	44,4
1926	980	610	550	130	690	870	1140	540	520	1040	640	580	8290	75,2
1927	510	290	410	1040	540	1260	1190	1080	720	330	530	320	8220	95,8
1928	720	580	190	570	880	540	640	890	130	830	1040	510	7520	61,6
1929	220	310	100	380	360	580	400	180	330	700	240	840	4640	37,0
1930	310	200	330	540	770	570	450	730	650	700	1260	190	6700	63,4
1931	910	220	220	690	650	640	1820	1040	840	430	260	540	8260	99,8
1932	670	90	120	690	820	130	1480	420	850	870	450	70	6660	74,0
1933	270	440	260	360	320	1160	630	410	390	690	420	240	5590	58,2
1934	450	500	210	150	460	270	390	430	250	620	630	500	4860	36,0
1935	490	870	310	790	500	830	670	430	1020	850	280	290	7330	69,0
1936	460	870	120	860	270	200	780	510	840	730	530	450	6620	52,0
1937	590	1070	740	540	420	940	1090	800	530	160	370	600	7850	75,6
1938	1100	280	210	250	430	300	880	610	1080	870	440	560	7010	66,0
1939	740	290	560	610	490	300	940	1080	190	810	180	340	6530	60,0
1940	190	340	1060	490	220	450	1090	880	550	320	910	930	7430	63,8
1941	364	543	478	360	793	355	478	896	569	1220	370	834	7260	61,8
1942	223	163	253	459	470	531	1286	206	874	854	710	256	6285	67,3

Jahr	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Gesamt	Veg
1943	411	627	222	772	319	975	495	1207	400	81	477	241	6227	67,9
1944	881	405	498	396	394	653	619	379	300	475	1372	461	6833	46,9
1945	230	810	330	400	630	320	1200	1070	250	330	400	850	6820	69,4
1946	330	1350	380	150	700	1250	350	840	640	640	380	170	7180	75,6
1947	303	173	673	501	554	1098	510	300	367	151	1440	1032	7102	56,6
1948	1226	769	223	462	689	347	1028	883	237	301	216	122	6503	63,7
1949	384	306	460	672	563	661	278	605	584	62	565	1028	6168	53,8
1950	400	753	235	723	556	659	722	875	722	486	676	326	7133	70,7
1951	821	465	812	380	716	966	617	526	740	20	962	410	7435	71,3
1952	741	358	566	247	459	550	382	581	698	801	615	507	6505	53,4
1953	308	310	167	331	497	820	875	446	509	151	414	434	5262	62,9
1954	391	134	456	442	639	352	1974	1225	702	879	531	1043	8768	97,8
1955	221	361	214	365	687	857	999	633	350	879	216	757	6539	70,5
1956	619	213	373	413	139	1426	797	952	403	662	728	521	7246	74,3
1957	459	820	784	153	201	797	1207	510	976	201	339	761	7208	73,8
1958	659	865	114	544	596	1021	1000	1038	284	565	245	561	7492	78,8
1959	526	83	263	341	172	179	266	514	3	322	561	299	3529	22,7
1960	573	275	280	452	933	240	757	1392	443	787	777	1115	8024	75,3
1961	832	769	758	803	1178	400	1258	1012	289	370	905	1049	9623	82,7
1962	661	677	454	709	562	503	1337	703	414	179	198	854	7251	70,4
1963	220	157	386	280	360	546	886	1183	616	429	1089	131	6283	71,8
1964	206	430	304	270	720	617	463	1066	546	447	481	375	5925	68,2
1965	1127	381	414	1031	859	709	1260	566	592	279	575	1174	8967	79,7
1966	507	845	526	811	1199	1000	1071	955	240	384	726	1410	9674	89,3
1967	800	509	685	429	766	942	694	1036	776	614	645	873	8769	84,3
1968	725	268	469	116	897	954	667	505	1111	953	291	177	7133	82,7
1969	695	479	269	1044	789	1021	469	723	111	432	614	341	6987	62,3
1970	358	1122	800	988	342	628	1106	806	535	768	679	381	8513	68,3
1971	284	280	159	381	510	1290	157	777	310	287	459	629	5523	60,9
1972	57	94	585	553	603	983	491	605	433	178	458	81	5121	62,3
1973	294	373	174	755	379	337	603	156	412	1284	659	812	6238	37,7
1974	550	354	321	249	634	654	732	517	369	890	504	1591	7365	58,1
1975	589	119	469	526	464	820	797	249	461	429	520	237	5680	55,8
1976	1390	267	197	214	791	288	428	368	597	194	696	266	5696	49,4
1977	494	572	475	697	352	1198	794	946	334	158	821	460	7301	72,5
1978	563	223	698	94	501	1485	740	510	1241	204	129	889	7277	89,5
1979	354	480	630	607	563	437	824	594	282	178	617	1061	6627	54,0
1980	403	611	307	589	252	1208	867	463	845	372	648	746	7311	72,7
1981	887	379	1095	250	826	1088	516	859	590	921	662	710	8783	77,6
1982	634	205	603	481	679	785	208	703	147	657	472	667	6241	50,4
1983	967	462	648	1145	654	434	216	694	300	522	683	792	7517	46,0
1984	778	586	176	290	1263	620	600	283	718	604	489	334	6741	69,7
1985	500	84	350	547	383	878	331	710	444	158	473	605	5463	54,9
1986	848	125	586	193	471	657	442	718	380	546	304	1525	6795	53,4
1987	782	577	549	248	499	845	402	429	858	425	682	493	6789	60,7
1988	772	841	1120	120	308	544	951	372	576	357	803	745	7509	55,0
1989	161	541	583	551	58	362	559	1097	289	686	244	848	5979	47,3
MW	583	467	471	483	560	672	788	731	534	524	530	624	6966	65,7

	Na-Konzentration (ppm)				K-Konzentration (ppm)				Ca-Konzentration (ppm)			
Jahr	341N	341S	063N	063S	341N	341S	063N	063S	341N	341S	063N	063S
1908		470				200						
1909	300	390			170	210			1160	1500		
1910	330	310	370	660	170	170	230	310	1160	1320	2050	2230
1911	290	310	350	350	160	190	220	250	1000	1120	1330	1490
1912	380	350	320	340	180	180	210	220	1080	1120	1020	1160
1913	220	370	340	360	160	190	190	240	950	1100	910	1030
1914	300	290	290	320	160	170	190	210	1020	1060	880	980
1915	330	360	280	310	160	170	190	210	890	1240	920	1010
1916	260	310	380	360	120	190	170	200	920	1140	600	970
1917	310	270	340	340	150	150	180	190	870	1040	790	920
1918	310	310	290	530	140	160	150	240	960	1080	770	940
1919	350	350	360	330	150	150	130	210	870	940	790	990
1920	280	360	300	320	150	170	160	220	1000	1040	740	830
1921	350	290	310	330	190	140	170	240	930	1000	850	960
1922	270	420	340	290	140	190	180	190	840	1220	730	920
1923	300	380	250	350	150	140	150	190	820	920	670	730
1924	340	340	290	320	170	160	150	220	910	1020	700	890
1925	270	340	270	330	150	150	160	200	780	910	760	870
1926	280	300	400	330	140	130	130	190	820	860	720	760
1927	300	330	270	370	160	160	150	210	860	910	680	740
1928	310	290	320	360	130	170	150	220	950	1000	690	830
1929	400	320	240	450	170	170	160	220	820	920	720	890
1930	270	370	280	340	120	180	130	210	760	920	600	780
1931	270	300	300	410	120	200	160	220	760	850	630	720
1932	390	460	400	560	160	210	180	230	810	1060	730	740
1933	250	390	250	340	170	220	150	210	900	960	680	700
1934	410	700	260	310	140	250	190	170	840	1060	780	950
1935	310	590	290	360	200	260	150	230	770	1140	670	840
1936	280	330	250	340	150	240	140	170	760	1030	630	670
1937	290	400	210	340	240	280	130	210	800	1120	610	700
1938	280	740	230	330	180	290	140	190	810	1080	600	710
1939	450	420	270	390	220	270	140	290	940	1060	620	650
1940	280	450	230	370	290	280	130	150	940	1040	610	610
1941	290	450	230	300	280	280	140	170	910	1040	630	760
1942	300	280	270	340	270	270	140	150	870	950	620	600
1943	230	290	360	310	300	290	170	180	910	870	610	710
1944	230	290	320	500	230	200	150	180	810	930	680	720
1945	280	360	330	330	260	300	160	180	770	900	610	630
1946	460	370	190	280	260	260	150	220	820	820	580	600
1947	440	490	300	370	280	290	200	260	870	900	560	580
1948	570	350	220	380	310	300	200	250	850	940	540	560
1949	430	340	300	320	280	280	260	320	760	810	690	1260
1950	260	320	310	320	260	290	280	320	790	850	850	1260
1951	280	390	280	230	260	320	240	340	790	920	640	780
1952	280	340	290	440	280	290	310	410	730	810	780	1040
1953	520	320	350	310	240	320	400	340	840	930	580	790
1954	430	340	380	210	210	310	360	130	510	810	670	250
1955	520	400	310		430	320	370		1130	820	600	
1956	310	290	290		280	330	290		720	760	440	
1957	290	360	290	340	260	350	360	330	660	830	600	590
1958	270	350	230	350	280	350	350	340	720	810	560	590
1959	400	330	270	260	270	480	410	360	790	1020	710	700
1960	370	430	190	250	320	580	400	360	740	1040	580	600
1961	340	370	270	270	310	440	340	410	850	940	550	560

Jahr	341N	341S	063N	063S	341N	341S	063N	063S	341N	341S	063N	063S
1962	400	390	250	290	320	460	400	420	770	880	720	600
1963	270	350	340	210	330	420	420	450	710	670	590	630
1964	250	510	380	210	360	620	400	460	680	860	690	600
1965	250	300	360	230	330	460	410	460	660	720	550	600
1966	260	340	300	240	500	500	380	480	600	730	580	540
1967	250	410	320		500	540	400		580	790	680	
1968	260	320	360	220	580	490	390	450	630	720	660	580
1969	300	320	350	210	650	490	400	420	630	720	680	580
1970	320	400	430	250	590	500	430	500	510	650	690	730
1971	490	400	360	260	790	500	380	510	720	650	570	690
1972	490	290	330	260	790	540	340	420	720	640	530	680
1973	370	290	300	310	720	540	370	500	570	640	470	690
1974	370	330	360	280	720	680	360	490	570	620	400	660
1975	280	330	330	240	820	680	400	510	830	620	520	660
1976	280	370	490	310	820	780	490	590	830	740	640	810
1977	280	370	330	230	820	780	560	540	830	740	520	560
1978	360	380	320	240	810	800	550	560	730	820	450	570
1979	360	380	310	250	810	800	750	610	730	820	400	520
1980	450	410	330	240	680	1000	580	630	590	920	370	540
1981	450	410	360	460	680	1000	780	650	590	920	390	590
1982	440	600	310	360	660	1220	800	750	500	660	350	520
1983	440	600	300	280	660	1220	900	910	500	660	390	530
1984		630	310	290		1280	680	1020		640	310	430
1985		630	280	270		1280	600	1100		640	390	390
1986		590	340	260		1470		1750			380	
Min	220	270	190	210	120	130	130	130	500	620	310	250
Max	570	740	490	660	820	1470	900	1750	1160	1500	2050	2230
Anz	75	79	77	74	75	79	76	74	75	77	77	73

	Mg-Konzentration (ppm)				B-Konzentration (ppm)				Al-Konzentration (ppm)			
Jahr	341N	341S	063N	063S	341N	341S	063N	063S	341N	341S	063N	063S
1908		260				300				280		
1909	150	210				240				160		
1910	140	180	270	300		180				240		
1911	130	160	230	240		190				160		
1912	130	200	170	190		210				140		
1913	120	150	160	170		210				270		
1914	120	150	150	160		180				170		
1915	110	160	160	160		220				410		
1916	100	150	100	150		190				390		
1917	100	120	130	140		170				120		
1918	110	130	130	140		180				150		
1919	100	110	120	140		210				130		
1920	100	120	120	120		200				220		
1921	100	120	130	140		170				200		
1922	90	150	120	130		260				250		
1923	90	110	110	110		220				520		
1924	100	110	110	130		200				170		
1925	80	100	120	130		210				240		
1926	90	90	110	100		180				190		
1927	100	95	100	120		210				200		
1928	100	100	110	120		170				200		
1929	90	95	110	150		190				190		
1930	70	120	90	120		240				730		
1931	70	110	90	110		180				320		
1932	90	150	110	120		300				480		
1933	100	160	100	120		230				360		
1934	80	180	110	130		440		270		430		200
1935	90	200	100	120		350				250		
1936	80	220	90	100		200				220		
1937	130	250	90	90		240				210		
1938	90	230	90	100		440				670		
1939	180	240	90	90		240				360		
1940	210	240	80	80		270		330		330		270
1941	200	240	90	100		270		210		330		220
1942	200	230	90	75		160		250		210		180
1943	210	240	80	92		170		220		320		140
1944	140	110	90	90		170		340		350		240
1945	190	240	90	92		210		230		310		150
1946	170	210	80	130		230		230		290		220
1947	210	220	100	160		290		275		240		210
1948	180	250	110	140		210		330		170		170
1949	200	230	170	210		200		230		460		190
1950	180	250	180	210		190		230		210		190
1951	210	260	180	250		230		150		190		240
1952	180	260	240	300		200		280		470		500
1953	190	270	230	240		210		180		190		300
1954	130	230	240	94		210		150		240		190
1955	290	250	210			230				270		
1956	180	260	170			160				480		
1957	170	250	200	200		190		300		150		240
1958	200	240	220	210		200		310		290		210
1959	200	280	230	220		210		180		210		170
1960	200	410	220	210		260		170				120
1961	230	270	230	210		220		180		220		110

Jahr	341N	341S	063N	063S	341N	341S	063N	063S	341N	341S	063N	063S
1962	210	250	240	230		230		200		250		230
1963	180	190	230	250		200		140		380		100
1964	190	250	270	250		230		160		350		110
1965	190	210	260	240		160		140		240		100
1966	160	250	240	210		180		140		860		120
1967	150	390	240			220						
1968	160	160	210	250		190		140		200		98
1969	160	160	240	250		190		140		200		92
1970	120	160	260	320		210		150		1080		180
1971	170	160	230	340		210		140		1080		110
1972	170	120	230	290		190		130		150		130
1973	120	120	190	310		190		160		150		150
1974	120	120	170	290		190		160		200		140
1975	180	120	170	290		190		130		200		140
1976	180	140	160	260		230		170		260		180
1977	180	140	140	240		230		120		260		200
1978	150	150	150	210		230		120		210		120
1979	150	150	140	200		230		130		210		130
1980	120	180	110	200		250		140		320		160
1981	120	180	100	190		250		280		320		270
1982	100	170	90	190		300		200		1750		190
1983	100	170	90	190		300		160		1750		130
1984		190	60	170		370		140		2250		130
1985		190	120	150		370		150		2250		150
1986		340	140	460		335		150		1500		260
Min	70	90	60	75		160		120		120		92
Max	290	410	270	460		440		340		2250		500
Anz	75	79	77	74		79		45		77		45

	Fe-Konzentration (ppm)				Mn-Konzentration (ppm)				Zn-Konzentration (ppm)			
Jahr	341N	341S	063N	063S	341N	341S	063N	063S	341N	341S	063N	063S
1908		9				500				26		
1909	5	7			220	360			10	16		
1910	8	5	20	16	210	310	440	470	11	12	19	20
1911	5	6	11	11	180	270	330	350	9	12	17	14
1912	4	8	5	10	190	270	250	280	12	11	9	10
1913	7	8	7	10	170	250	220	250	11	11	9	10
1914	7	7	8	11	180	250	210	240	11	10	7	13
1915	5	6	5	8	150	270	220	240	10	12	9	8
1916	4	8	15	10	150	250	140	220	9	16	8	15
1917	4	10	5	9	140	220	190	210	9	10	8	7
1918	5	6	5	15	150	230	180	210	10	10	13	9
1919	4	5	32	7	140	190	190	220	8	9	11	8
1920	5	9	5	9	150	210	160	190	12	11	8	9
1921	5	6	16	14	130	200	190	200	11	10	11	10
1922	17	7	5	8	120	240	170	200	8	12	7	8
1923	6	9	8	8	120	170	150	160	9	9	7	6
1924	5	5	4	12	130	190	150	190	11	11	8	11
1925	4	7	6	14	110	170	170	190	9	10	8	9
1926	7	8	8	8	110	180	150	160	8	10	7	7
1927	5	8	4	9	120	160	140	160	11	11	8	9
1928	4	5	6	16	130	180	140	180	10	11	11	9
1929	4	4	7	13	110	160	150	180	9	11	9	10
1930	4	8	6	17	100	160	120	160	8	13	6	8
1931	4	5	9	19	100	150	130	150	8	11	9	10
1932	4	7	14	11	110	190	150	140	8	14	8	9
1933	4	8	5	15	110	160	130	140	9	13	9	11
1934	4	12	5	7	100	180	160	170	10	14	13	9
1935	4	7	9	12	100	180	130	170	13	16	9	12
1936	4	5	51	9	100	180	120	130	8	14	9	8
1937	5	6	5	11	100	200	120	130	9	14	8	9
1938	4	10	6	8	100	180	120	130	11	16	9	8
1939		9	5	12	120	180	120	120	16	15	7	12
1940	10	8	6	5	130	180	110	98	13	15	9	8
1941	17	8	6	6	130	180	120	120	13	15	9	9
1942	3	4	4	9	110	170	120	93	10	13	12	8
1943	5	16	3	5	120	150	110	115	11	11	9	8
1944	4	6	3	6	110	160	120	105	9	13	9	9
1945	4	8	6	5	110	150	110	98	10	13	8	8
1946	7	5	3	9	110	140	110	100	11	12	8	8
1947	7	7	17	5	110	150	110	100		14	9	10
1948	10	6	5	4	110	160	110	96	13	14	11	9
1949	7	5	5	6	90	150	130	110	12	13	12	12
1950	6	5	9	6	110	150	130	110	12	14	15	12
1951	6	5	3	4	110	160	110	110	13	15	9	12
1952	9	6	4	10	100	140	140	130	12	14	12	14
1953	5	6	5	5	110	160	130	98	17	16	13	12
1954	6	5	4	3	70	140	130	37	8	13	11	4
1955	7	6	5		150	150	110		17	17	10	
1956	8	11	4		110	150	90		12	14	9	
1957	8	5	3	5	90	150	110	86	9	15	11	9
1958	8	7	4	8	110	150	110	86	11	13	10	10
1959	6	8	7	5	110	170	120	92	13	16	10	10
1960	7	16	3	4	110	190	110	84	11	19	9	9
1961	4	6	3	3	130	160	110	74	14	17	9	8

Jahr	341N	341S	063N	063S	341N	341S	063N	063S	341N	341S	063N	063S
1962	9	6		3	120	150	110	78	12	14	11	9
1963	3	9	4	4	100	120	110	82	11	12	9	10
1964	5	8	3	4	90	150	120	80	10	15	10	8
1965	4	8	4	3	90	130	110	78	10	9	10	8
1966	7	8	4	4	80	130	110	78	10	10	9	8
1967	3	20	4		80	160	100		8	13	7	
1968	6	21	4	4	90	130	90	80	9	9	8	7
1969	4	21	7	3	90	130	110	78	8	9	12	7
1970	6	13	8	6	80	120	120	115	10	10	11	10
1971	5	13	9	4	110	120	100	124	12	10	10	10
1972	5	6	4	3	110	120	100	92	12	9	9	8
1973	7	6	5	5	90	120	80	98	11	9	8	9
1974	7	6	8	4	90	110	80	90	11	7	7	9
1975	4	6	5	4	120	110	80	90	10	7	7	7
1976	4	8	24	5	120	130	90	86	10	9	9	7
1977	4	8	7	4	120	130	80	72	10	9	10	6
1978	8	10	8	5	120	160	80	68	12	9	8	5
1979	8	10	9	3	120	160	90	68	12	9	5	4
1980	10	12	6	3	110	180	70	78	8	11	7	6
1981	10	12	5	4	110	180	70	78	8	11	7	6
1982	14	12	4	5	80	130	60	74	11	10	6	6
1983	14	12	5	6	80	130	70	79	11	10	9	6
1984		14	4	5		120	50	70		11	5	8
1985		14	6	4		120	60	63		11	4	4
1986		14	15	7		250	70	170		25	7	13
Min	3	4	3	3	8	7	4	4	70	110	50	37
Max	17	21	51	19	17	26	19	20	220	500	440	470
Anz	74	79	76	74	74	79	77	74	75	79	77	74

	Cu-Konzentration (ppm)				Cd-Konzentration (ppb)			
Jahr	341N	341S	063N	063S	341N	341S	063N	063S
1908								
1909								
1910			3	7				
1911	3		3	6				
1912			3	5	270			
1913			5	7				
1914			3	18				
1915			3	4				
1916			5	4				
1917			2	3				
1918			3	6				
1919			3	4				
1920			3	6	500			
1921	4		8	8				
1922			2	4				
1923			3	4				
1924			3	6				
1925	2		2	5				
1926			3	4				
1927	3		3	6				
1928			3	6				
1929			2	6				
1930			3	6				
1931			3	9				
1932			2	6	170			
1933			4	7				
1934			4	9				
1935	4		3	8				
1936			6	6				
1937			8	7				
1938			2	5				
1939			2	7				
1940			5					
1941	4		3					
1942			2		420			
1943			3					
1944			3					
1945			2					
1946			3					
1947			5					
1948			2					
1949			2					
1950	3		3					
1951			3					
1952			3		320			
1953	5		6					
1954			2					
1955			3					
1956			3					
1957			2					
1958	3		3					
1959			3					
1960			2					
1961			3					

Jahr	341N	341S	063N	063S	341N	341S	063N	063S
1962			6		770			
1963			2					
1964			3					
1965			3					
1966	4		2					
1967			3					
1968			3					
1969			2					
1970	4		3					
1971			2		510			
1972			3		510			
1973	4		3					
1974	4		2					
1975			3		600			
1976			3		600			
1977			2		600			
1978	5		3					
1979	5		3					
1980			2					
1981			3					
1982	7		3		470			
1983	7		2		470			
1984			3					
1985			3					
1986			2					
Min	2		2	3	170			
Max	7		8	18	770			
Anz	17		77	30	10			

Danksagung

Herrn Dr. G.H. Schieser möchte ich für seine fortwährende Unterstützung in theoretischer und experimenteller Hinsicht danken. Seine Anregungen und Erfahrung hatten großen Anteil am Gelingen dieser Arbeit.

Auch Herrn Prof. Dr. U. Jux gebührt mein Dank für die Betreuung der Arbeit. Als mein akademischer Lehrer verstand er es durch seinen Rat und seine Anregungen meine Begeisterung für den bearbeiteten Themenkreis zu wecken.

Ferner will ich allen hier nicht namentlich aufgeführten Freunden, Mitarbeitern und Helfern der Teams in Jülich und Köln für die gute Zusammenarbeit und ihre Unterstützung danken.

FORSCHUNGSZENTRUM JÜLICH GmbH

KFA

Jül-2805
August 1993
ISSN 0944-2952