

Tagungsberichte der

ARBEITSGRUPPE ÖKOLOGIE

DEUTSCHE REGION
DER INTERNATIONALEN
BIOMETRISCHEN GESELLSCHAFT

AG Tagung beim
38. Biometrischen Kolloquium
in Gießen 18.03.1992

5. Herbstkolloquium
in Braunschweig 8.10.-9.10.1992
Rahmenthema:
"Ökologische Modellbildung"

Heft 4

März 1993

Witterungssignale im Zuwachs von Fichten (*Picea abies* [L.] Karst.) aus montanen Lagen des Schwarzwaldes

Hans-Peter Kahle
Institut für Waldwachstum
Universität Freiburg i. Br.
Direktor Prof. Dr. H. Spiecker

Inhalt

- 1 Dendroökologischer Forschungsansatz
- 2 Untersuchungsmaterial
- 3 Explorative Datenanalyse
- 4 Modellorientierter Ansatz der Witterungs-Zuwachs-Analyse
 - 4.1 Modellstrukturen
 - 4.2 Variablenformulierung
- 5 Witterungssignale im Radial-Zuwachs der Untersuchungsbäume
- 6 Literaturverzeichnis

Zusammenfassung

In den dendrochronologischen Disziplinen werden für Zwecke der Datierung und Klimarekonstruktion Bäume bevorzugt, welche aus dem Bereich der Trockengrenze des natürlichen Standortsspektrums stammen. Zuwachsanalysen an Fichten aus montanen und hochmontanen Lagen des Schwarzwaldes belegen, daß die Witterung auch im regionalklimatischen Optimalbereich eine wichtige Rolle in der Wachstumssteuerung spielt. Hohe August-Temperaturen und geringe Niederschläge in den Monaten Juli und August übten dort einen nachhaltigen negativen Einfluß auf den Radial-Zuwachs der Untersuchungsbäume aus. Multiple lineare Regressionsanalyse und die Formulierung zeitvariabler stochastischer Zusammenhänge im Zustandsraummodell bilden den methodischen Hintergrund der vorliegenden Arbeit.

1. Dendroökologischer Forschungsansatz

Die Dendroklimatologie versucht den in den Jahrringen von Bäumen konservierten Einfluß von Klima und Witterung auf das Wachstum und dessen jährliche Änderungsrate, den Zuwachs, zu erkennen und von anderen exogenen Wachstumsfaktoren zu trennen. Die Kenntnis der quantitativen Zusammenhänge zwischen Klima und Zuwachs erlaubt die Rekonstruktion historischer Klimabedingungen aus weit zurückreichenden Jahrringchronologien, und ermöglicht es, die Auswirkungen von Klimaveränderungen auf das Zuwachsverhalten der Bäume zu prognostizieren.

Wegen der vermuteten höheren Sensitivität gegenüber Fluktuationen klimatischer Wachstumsfaktoren werden für Zwecke der Datierung und Klimarekonstruktion Bäume bevorzugt, welche aus dem Bereich der Trockengrenze des natürlichen Standortsspektrums stammen.

Zuwachsanalysen an Fichten aus montanen und hochmontanen Lagen des Schwarzwaldes belegen, daß die Witterung auch im regionalklimatischen Optimalbereich eine wichtige Rolle in der Wachstumssteuerung spielt. Arbeiten von SPIECKER (SPIECKER, H. 1986, 1991 und 1992) zeigen, daß dabei den Niederschlags- und Temperaturverhältnissen in den Monaten Juli und August eine Schlüsselrolle zukommt.

2. Untersuchungsmaterial

Baumdaten

An 75 im Süd-Schwarzwald im Jahr 1991 eingeschlagenen Untersuchungsbäumen (UB) wurde der Radial-Zuwachsverlauf in 1.3 m Schafthöhe (ir 1.3) über Stammscheibenauswertungen mit dem Digitalpositiometer System JOHANN erfaßt. Die Orte der UB wurden nach standortskundlichen, speziell nach Gesichtspunkten des Bodenwasserhaushaltes ausgewählt. Damit wird das Ziel verfolgt, unter möglichst gleichen lokalklimatischen Wachstumbedingungen den Einfluß der Wasserkapazität des Standorts auf die witterungsgesteuerte Zuwachsreaktion zu untersuchen. In hochmontanen und montanen Lagen des Süd-Schwarzwaldes wurden deshalb benachbarte Standorte mit extrem geringer Wasserkapazität und solche mit höherer Wasserkapazität ausgewählt. In den Forstbezirken Todtmoos, Schönau und Kandern konnten 8 geeignete Standortspaare in Meereshöhen zwischen 800 und 1190 m üNN gefunden werden, von denen jeweils 9-11 UB gewonnen wurden (von einem Standort ist nur die Variante mit höherer Wk vertreten). Um Konkurrenzeffekte im Radial-Zuwachsverlauf möglichst auszuschalten wurden nur großkronige, v.a. vorherrschende und herrschende Bäume eingeschlagen. Für die hier vorgestellte Untersuchung wurde ein Teilkollektiv von 60 Bäumen aus 6 Standortspaaren ausgewählt.

Abbildung 1 zeigt für das UB-Kollektiv den mittleren Radial-Zuwachsverlauf über den Kalenderjahren. Zusätzlich ist die zeitlich variierende Anzahl der Beobachtungen und die dadurch verursachte rechnerische Verschiebung der Mittelwertfunktion (RV-Effekt) in derselben Skalierung wie die Radial-Zuwächse dargestellt. Dadurch wird eine unmittelbare Beurteilung dieser ausschließlich auf eine veränderte Zusammensetzung des UB-Kollektives und nicht auf eine tatsächliche Wachstumsreaktion zurückzuführende Mittelwertveränderung ermöglicht.

Die ältesten Bäume reichen bis 1825 zurück. Nach und nach kommen jüngere Bäume dazu. Ab dem Jahr 1929 ist das UB-Kollektiv mit 60 Bäumen vollständig. Während in den frühen Jahren rechnerische Verschiebungen eine größere Rolle spielen, wird die Mittelwertkurve mit zunehmender Anzahl von UB stabiler. Ab ca. 1890 zeigt die Kurve einen ausgeglichenen, von der rechnerischen Verschiebung weitgehend ungestörten Verlauf. Die folgenden Auswertungen beziehen sich deshalb auf den Zeitraum von 1900-1990, für den ein trendfreier Verlauf angenommen wird. Im Mittel weisen die UB im Jahr 1990 ein Alter in Bruthöhe (1.3 m Schafthöhe) von 105 Jahren auf, der Altersrahmen beträgt 62 - 166 Jahre.

Abbildung 2 zeigt die Entwicklung des mittleren Radial-Zuwachses über den Kalenderjahren für die beiden UB-Kollektive Fi 1 und Fi 2 STO. Die 30 Bäume der Standorte mit geringerer Wasserkapazität (gWk) sind im Kollektiv Fi 1 STO (durchgezogene Linie), die 30 Bäume der Standorte mit höherer Wasserkapazität (hWk) im Kollektiv Fi 2 STO (gepunktet) zusammengefaßt.

Für jeden UB wurde eine Standortsansprache durchgeführt. Bei den Standorten mit geringerer Wasserkapazität handelt es sich überwiegend um mäßig trockene, meist skelettreiche nur flachgründig bohrbare Böden aus Grobgrus bis Steinschutt mit humosem lehmigen Zwischenmittel. Die Standorte mit höherer Wasserkapazität sind durch die Wasserhaushaltsstufen mäßig frisch bis frisch, und durch schwach grusige bis feinsandige Lehme charakterisiert.

Abb. 1

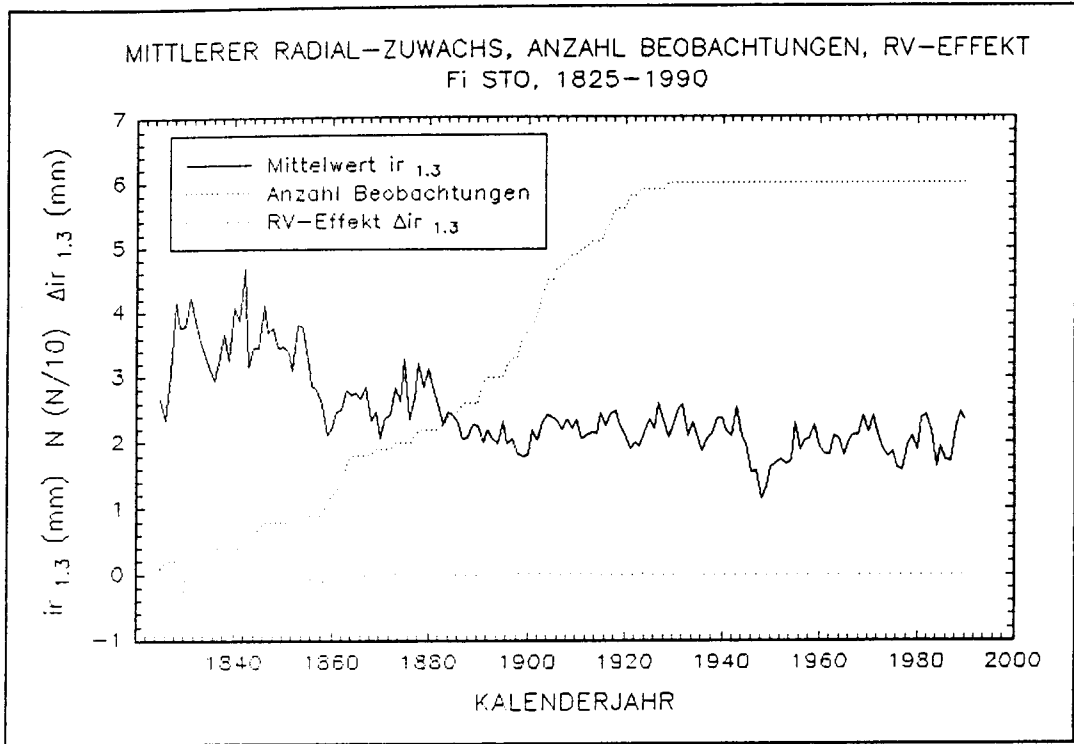
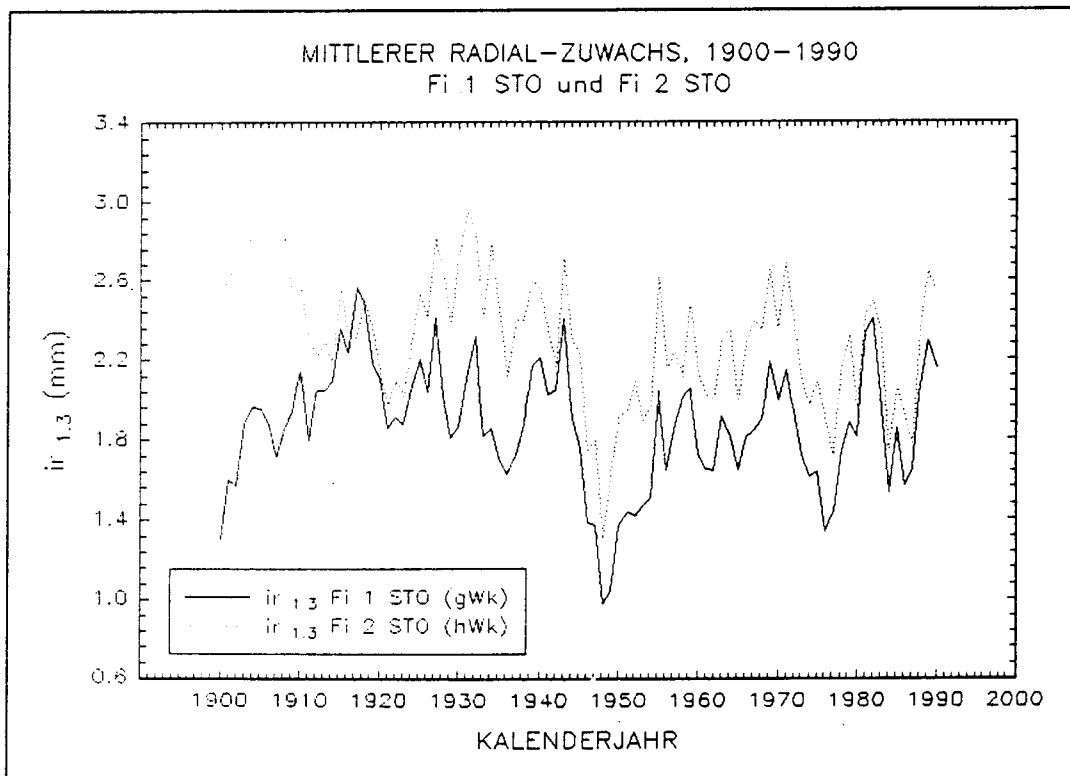


Abb. 2



Beim Vergleich der beiden Kurven fällt auf, daß sich weder im mittleren Niveau noch in der Jahr-zu-Jahr-Variabilität der Radial-Zuwächse deutliche Unterschiede abzeichnen. Nach einer Phase

unterschiedlicher Zuwachs-Niveaus konvergieren die Kurven und zeigen ab 1914 einen überraschend synchronen Verlauf. In ca. 90% der Fälle finden wir eine gleichläufige Reaktion (Ausnahmen zum Beispiel: 1918, 1931, 1958).

Klimadaten

Eine den Orten der Untersuchungsbaumentnahme nahe gelegene Meßstation des Deutschen Wetterdienstes ist die Klimastation Höchenschwand. Die Station liegt 12-24 km in süd-östlicher Richtung vom Untersuchungsgebiet entfernt in einer mit 1008 m üNN vergleichbaren Meereshöhe.

Die mittlere Lufttemperatur im Untersuchungszeitraum beträgt 6.0 °C. Im Mittel fallen 1180 mm Niederschläge pro Jahr, 45% davon in den Monaten Mai-September. Wegen des in west-östlicher Richtung abnehmenden Niederschlags-Gradienten liegen die Niederschlags-Summen im Untersuchungsgebiet sehr wahrscheinlich über den an der Klimastation gemessenen Werten. In die hier vorgestellten Auswertungen werden nur Monatswerte von Temperatur und Niederschlag einbezogen.

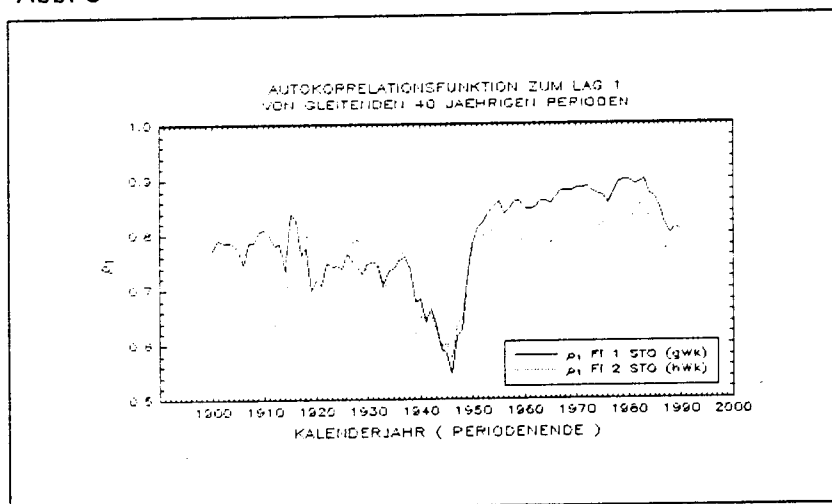
3 Explorative Datenanalyse

Analyse der Baumdaten

Eine wichtige Voraussetzung um über die Minimierung der Abweichungsquadrate optimale Schätzwerte zu erhalten ist die Mittelwert- und Varianzstationarität der Zeitreihe. Wie in den Abbildungen 1 und 2 gezeigt, pendeln die Radial-Zuwächse im Zeitraum 1900-1990 weitgehend um ein konstantes mittleres Niveau. Die Untersuchung der Relation zwischen Mittelwert und Streuung (über gleitende 20 jährige Perioden berechnet) ergibt, daß mit zunehmendem Mittelwert die Standardabweichung linear ansteigt. Zur Varianzstabilisierung wird deshalb der Datenauswertung eine logarithmische Transformation vorgeschaltet.

Die Mittelwertfunktionen beider UB-Kollektive weisen signifikante empirische Autokorrelationen zum Lag 1 (= Zeitverschiebung um 1 Jahr) auf. Beide Radial-Zuwachs-Reihen sind demnach durch eine ausgeprägte Neigung zur Erhaltung des zu einem bestimmten Zeitpunkt erreichten Systemzustands charakterisiert. Abbildung 3 zeigt, daß der Grad der Erhaltungseignung keine zeitkonstante Größe ist. Die Autokorrelations-Funktionen weisen einen phasenweise sehr synchronen, zeitlich variierenden Verlauf auf. Mitte der 40er Jahre ist ein markanter Einbruch mit einem absoluten Minimum 1946 zu beobachten.

Abb. 3



Analyse der Klimadaten

Bei der Analyse von Klima-Meßreihen ist eine Überprüfung der Homogenität der Meßwerte erforderlich. Homogen sind Meßreihen dann, wenn sie nur die meteorologisch bedingten Variationen der Klimaparameter widerspiegeln. Inhomogenitäten werden zum Beispiel durch Stationsverlegung, Meßgeräte- und Beobachterwechsel verursacht (SCHÖNWIESE, C. D. und MALCHER, J. 1985).

Die verwendete Niederschlagsreihe wurde mit relativen Testverfahren auf Inhomogenitäten geprüft (BUISHAND, T. A. 1982). Als Referenz diente dabei ein Gebietsmittelwert aus 10 benachbarten Stationen. Inhomogenitäten auf dem 99% Signifikanzniveau (1971/72, 1956/57 und 1923/24) wurden mit der Methode der Doppelsummenanalyse (CHANG, M. und LEE, R. 1974) ausgeglichen.

4 Modellorientierter Ansatz der Witterungs-Zuwachs-Analyse

4.1 Modellstrukturen

Die hier vorgestellte Analyse der Witterungs-Zuwachs-Kopplung basiert auf einem Konzept von COOK (COOK, E., 1990, S. 98). Die Radial-Zuwachs-Reihe R_t wird dabei als Funktion additiv verknüpfter Komponenten formuliert:

$$R_t = A_t + C_t + \delta D1_t + \delta D2_t + E_t \quad (1)$$

mit

- R_t = Beobachtete Radialzuwachsreihe
- A_t = Wachstumstrend (alters- bzw. dimensionsbezogener Trend)
- C_t = Klima- bzw. Witterungssignal
- $D1_t$ = baumindividuell wirksame Fluktuationen von Umweltfaktoren
- $D2_t$ = bestandesweit wirksame Fluktuationen von Umweltfaktoren
- E_t = Rauschen (normalverteilte, seriell unabhängige Zufallsvariable)
- δ = Binäre Indikatoren

Die Komponenten Wachstumstrend A_t und die durch zeitvariable Umweltfaktoren bedingten Wachstumssignale $\delta D1_t$ und $\delta D2_t$ werden zur Trendkomponente G_t zusammengefaßt (COOK, E. 1990, S. 102).

Für die Umsetzung dieser qualitativen Strukturkomponenten in ein quantitatives Modell bieten sich verschiedene mathematische Formulierungen an. Häufig werden Regressionsmodelle angewendet. Das lineare Regressionsmodell stellt auf der Basis der Kleinst-Quadrat-Schätzung ein Verfahren dar, mit dessen Hilfe zeitkonstante Zusammenhänge zwischen den exogenen Variablen und der Zielgröße analysiert werden können. Der entscheidende Unterschied zu komplexeren Modellen besteht darin, daß die Modellkoeffizienten zeitkonstant geschätzt werden, während in der Zustandsraum-Formulierung mit dem linearen Kalman-Filter diese auch als zeitlich variierende Größen geschätzt werden können.

Folgende Modellformulierungen liegen der vorliegenden Auswertung zugrunde (VAN DEUSEN, P. C. 1989 und 1991):

Lineares Regressionsmodell:

$$y_t = X_t \beta + v_t \quad (2)$$

mit

- y_t = Radial-Zuwachs-Index
- X_t = Matrix exogener Variablen
- β = Vektor der Modellkoeffizienten (zeitinvariant)
- v_t = Vektor normalverteilter, seriell unabhängiger Zufallsvariablen

Zustandsraum-Modell (Kalman-Filter) :

$$y_t = m_t + v_t \quad (3.1)$$

$$m_t = I_m m_{t-1} + I_{\beta_0} \beta_0 + X_t \beta_t + w_t \quad (3.2)$$

$$\beta_t = \beta_{p,t-1} + w_{p,t} \quad (3.3)$$

mit

y_t	= Radialzuwachs-Index
$v_t, w_t, w_{p,t}$	= Vektoren normalverteilter, seriell unabhängiger Zufallsvariablen
m_t	= Zustandsvektor
I_m, I_{β_0}	= Binäre Indikatoren für m und β_0
X_t	= Matrix exogener Variablen x_p
β_t	= β -Koeffizientenmatrix
$\beta_{p,t-1}$	= Vektoren der x_p -Modellkoeffizienten (zeitvariabel)

In der Zustandsgleichung 3.2 ist der Zuwachstrend als Zufallsgang mit Drift formuliert. Je nach Wahl des Indikators I_m läßt sich der Zuwachstrend als Zufallsgang mit ausschließlich klimabezogener ($I_m = 0$) oder mit einer zusätzlichen, nicht klimabezogenen Trendkomponente modellieren ($I_m = 1$). Die jährlichen Änderungsraten $\beta_{p,t}$ werden durch den Einfluß der Klimavariablen gesteuert.

4.2 Formulierung der exogenen Variablen

Der Radial-Zuwachs wird als die integrierte Aufzeichnung der Wachstumsbedingungen betrachtet, denen der Baum im Laufe der Zeit ausgesetzt war. Bei der Modellformulierung muß dieses Phänomen berücksichtigt werden. Arbeiten von SPIECKER (SPIECKER, H. 1986, 1991 und 1992) zeigen, daß mit gleitenden Mittelwerten gute Modellanpassungen erzielt werden können. Damit kann die in der physiologischen Konstitution des Baumes begründete Erhaltungsneigung auch in den Klimavariablen nachgebildet werden.

Aus diesem Grund wurden 3 bis 6-jährige gleitende Mittelwerte von Niederschlags- und Temperaturvariablen mit verschiedenen Gewichtungsfunktionen entwickelt. Es handelt sich ausschließlich um asymmetrische, kausale Filter (vgl. ROBINSON, E. und TREITEL, S. 1980, S. 37), deren Output nur auf gegenwärtigen und vergangenen Inputs beruht. Für die Temperaturvariablen wurde eine Schwellenwertfunktion so definiert, daß nur Temperaturen ausgewählt werden, die um mindestens eine Standardabweichung über dem vieljährigen Mittelwert liegen (SPIECKER, H. 1992). Gewichtungsfunktionen für die Niederschlagsvariablen wurden aus den Regressionskoeffizienten eines ' distributed lag models ' (vgl. HARVEY, A. C. 1981, S. 221) abgeleitet.

Mit multipler Regressionsanalyse wurden aus den verschiedenen Variablenformulierungen Einzelvariablen und Kombinationen von Temperatur- und Niederschlagsvariablen mit hohen Erklärungswerten ausgewählt. Die auf diese Weise vorausgewählten Variablen wurden dann im Zustandsraummodell mit dem Kalman-Filter gegeneinander getestet und unter Minimierung von Akaikes Informations Kriterium (AIC) das im folgenden vorgestellte Modell selektiert (vgl. VAN DEUSEN, A. C. 1990).

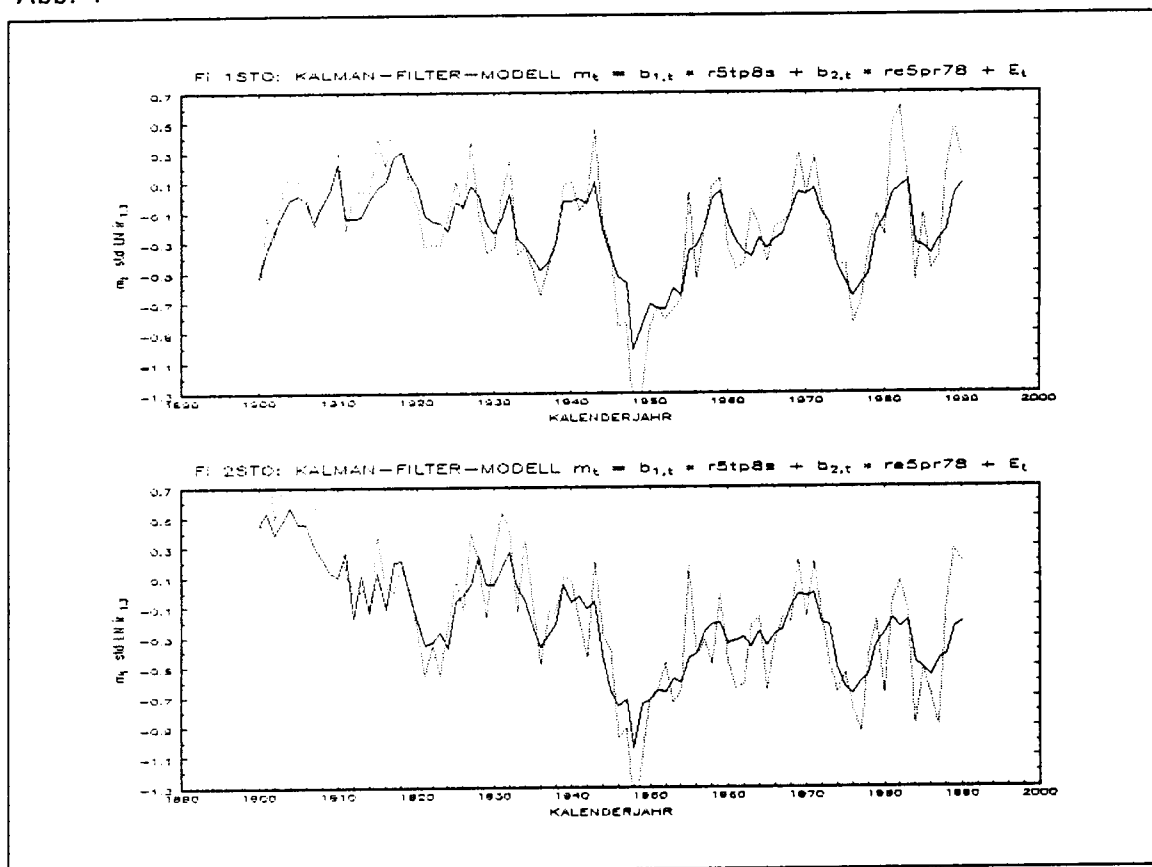
5 Witterungssignale im Radial-Zuwachs der Untersuchungsbäume

Die Berechnungen wurden mit dem Jahrring-Analyse-Programm DYNACLIM Version 3.2 von VAN DEUSEN (VAN DEUSEN, P. C. 1992) durchgeführt. Folgende Variablenkombination weist eine optimale Anpassung im zeitvariablen Koeffizientenmodell (Modellformulierung entsprechend Formel (3.1 - 3.3) mit $I_m = 0$ und $I_{\beta_0} = 0$, d.h. G_t in (1) = 0) auf:

1. Konstant-gewichtetes 5 jähriges gleitendes Mittel der August-Temperatur größer oder gleich eine Standardabweichung über dem vieljährigen Mittel der gleitenden August-Temperaturmittelwerte, mit Lag 1 (= r5tp8s)
2. Über ein Distributed-Lag-Modell optimal gewichtetes 5 jähriges gleitendes Mittel der Niederschlagssummen der Monate Juli und August, mit Lag 1 (= re5pr78)

Abbildung 4 enthält als Ergebnis der oben beschriebenen Modellformulierung die Schätzfunktion für den Radial-Zuwachs (durchgezogene Linie) unterlegt mit der Mittelwertfunktion der logarithmierten und X (0,1) standardisierten Radial-Zuwächse (gepunktet) der beiden UB-Kollektive (oben gWk, unten hWk).

Abb. 4



Für beide Kollektive ergibt sich eine gute globale Modellanpassung. Nur in einzelnen Jahren treten entgegengesetzte Verläufe zwischen der Schätzkurve und Radial-Zuwachs-Kurve auf (zum Beispiel 1921, 1929 und 1963).

Abbildungen 5 und 6 zeigen den zeitlich variierenden Einfluß der Temperatur- und der Niederschlagsvariablen. Dargestellt sind die Steigungskoeffizienten b_t der Variablen (durchgezogene Linie) mit den 95% Vertrauensintervallen (gepunktet) in der Modellformulierung mit jeweils nur einer der beiden Erklärungsvariablen.

Die Modell-Koeffizienten zwischen den beiden UB-Kollektiven unterscheiden sich weder in der zeitlichen Dynamik noch im mittleren Niveau und geben somit keine Hinweise auf strukturelle Unterschiede in der Witterungs-Zuwachs-Kopplung (oben jeweils gWk, unten hWk) .

Signifikant hohe August-Temperaturen und geringe Spätsommerniederschläge beeinflussen den Zuwachs in negativer Weise. Auf der Standortsvariante hWk übt die Temperaturvariable erst ab ca. 1940 einen signifikanten, negativen Einfluß auf den Radial-Zuwachs aus.

Abb. 5

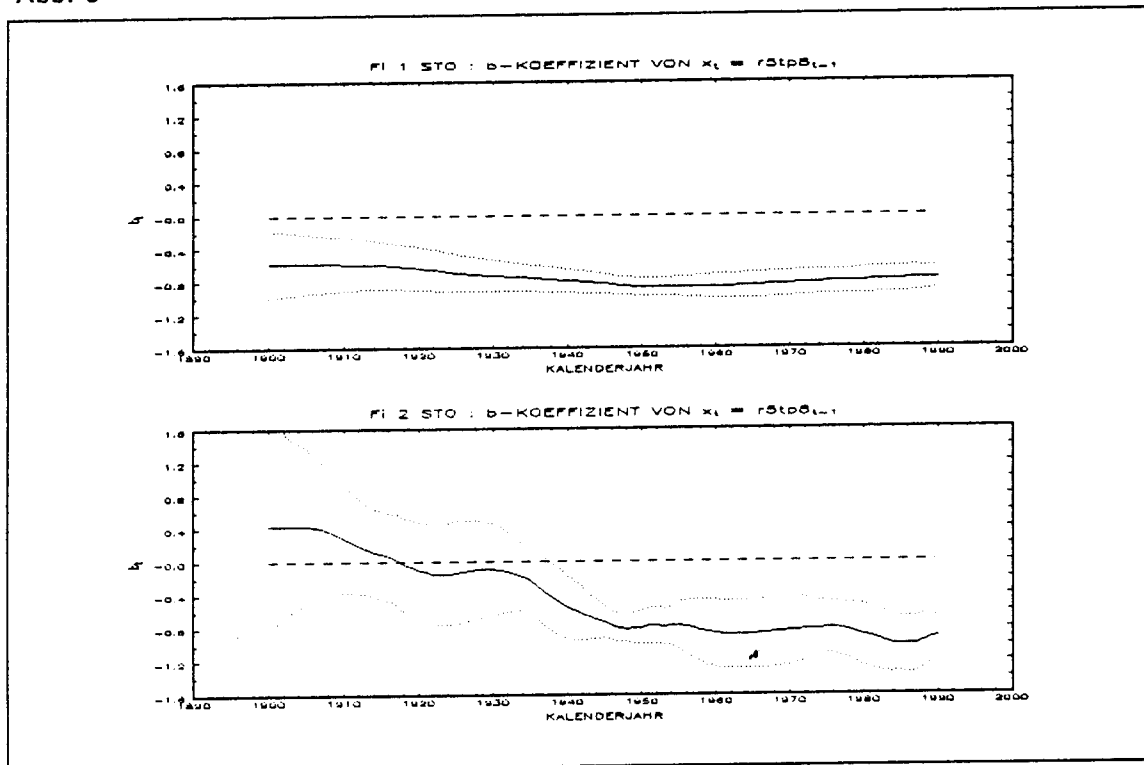
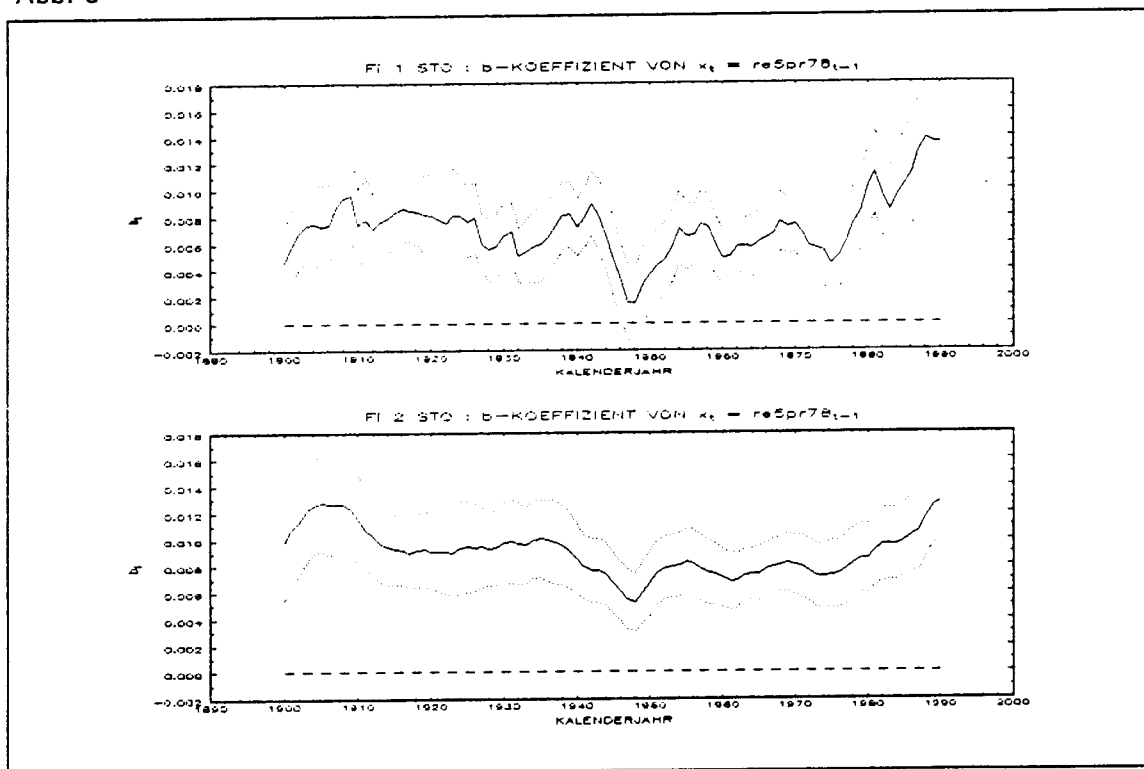


Abb. 6



Die zeitliche Dynamik des Niederschlagseinflusses bei beiden UB-Kollektiven ist vor allem durch den markanten Einbruch gegen Ende der 40er Jahre mit absolutem Minimum 1948 geprägt. Der Witterungsverlauf in den Jahren 1944-1953 ist durch eine in ihrer Intensität und Dauer im Untersuchungszeitraum einzigartige Periode der Konstellation hohe 5jährige August-

Temperaturmittel und geringe 5jährige Juli-August-Niederschlagsmittel gekennzeichnet. Vor diesem Hintergrund ist auch die Verminderung der Erhaltungsneigung in den 40er Jahren, welche durch den Einbruch der AKF (Abb. 3) angezeigt wird, als Hinweis auf eine tiefgreifende Krise im Radial-Zuwachs-Verlauf der untersuchten Fichten zu interpretieren. Es wird vermutet, daß es sich bei dem angedeuteten linearen Anstieg der AKF um einen altersabhängigen Trend handelt.

Ab circa 1975 ist ein tendenzieller Anstieg der Steigungskoeffizienten b , der Niederschlagsvariablen zu beobachten (Abb. 6), der auf eine zunehmende Sensibilisierung der Untersuchungsbäume gegenüber Niederschlagsdefiziten im Juli und August hinweisen könnte. In den laufenden Forschungsarbeiten werden solche strukturellen Veränderungen im Witterungs-Zuwachs-Gefüge näher untersucht, sowie an Prognosemodellen für die Auswirkungen möglicher Klimaveränderungen auf das Zuwachsverhalten gearbeitet.

6 Literaturverzeichnis

BUIHAND, T. A. 1982: Some methods for testing the homogeneity of rainfall records. Journal of Hydrology 58: S. 11-27.

CHANG, M. und LEE, R. 1974: Objective double-mass analysis. Water Resources 10 (6): S. 1123-1126.

HARVEY, A. C. 1981: The econometric analysis of time series. Oxford: Philip Allan Publishers. 384 S.

ROBINSON, E. A. und S. TREITEL 1980: Geophysical signal analysis. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall. 466 S.

SCHÖNWIESE, C. D. und MALCHER, J. 1985: Nicht Stationarität oder Inhomogenität? Ein Beitrag zur statistischen Analyse klimatologischer Zeitreihen. Wetter und Leben 37: S. 181-193.

SPIECKER, H. 1986: Das Wachstum der Tannen und Fichten auf Plenterwald-Versuchsflächen des Schwarzwaldes in der Zeit von 1950 bis 1984. AFJZ 157 (8): S. 152-163.

SPIECKER, H. 1991: Zusammenhänge zwischen Waldwachstum und der Variation von Klima und Witterung auf langfristig beobachteten Versuchsflächen in Baden-Württemberg. In: KfK-PEF: 7. Statuskolloquium des PEF vom 5.-7. März 1991. Kurzfassung des Vortrages.

SPIECKER, H. 1992: Witterungsverlauf und Wachstum von Fichten und Tannen im Schwarzwald. In: KfK-PEF: 8. Statuskolloquium des PEF vom 17.-19. März 1992. Kurzfassung des Vortrages.

VAN DEUSEN, P. C. 1989: A model-based approach to tree ring analysis. Biometrics 45: S. 763-779.

VAN DEUSEN, P. C. 1991: Popular formulations for modeling tree rings from climate: A unifying approach. Journal of Environmental Quality Vol. 20: S. 823-827.

VAN DEUSEN, P. C. 1992: Users Manual: Dynaclim Version 3.2 . Institute for Quantitative Studies, Southern Forest Experiment Station, USDA Forest Service. New Orleans. 28 S.