

**DEUTSCHER VERBAND FORSTLICHER FORSCHUNGSANSTALTEN**

**- SEKTION ERTRAGSKUNDE -**

**Jahrestagung vom 2. - 4. Juni 2003**

**Torgau**

Beiträge zur Jahrestagung

Herausgeber: Prof. Dr. Georg Kenk  
Obmann der Sektion Ertragskunde  
Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg  
Abteilung Waldwachstum  
Wonnhaldestr. 4  
79100 Freiburg

Deutscher Verband Forstlicher Forschungsanstalten  
Sektion Ertragskunde: Beiträge zur Jahrestagung 2003;  
herausgegeben von G. Kenk

ISSN 1432-2609

Kenk, Georg

## **Räumliche Variabilität der Radialzuwachsreaktionen von Fichten (*Picea abies* L. Karst.) in Baden-Württemberg im Jahr 1976**

Hans-Peter Kahle\*, Rüdiger Unseld, Heinrich Spiecker

Institut für Waldwachstum, Universität Freiburg, Tennenbacherstrasse 4, D-79106 Freiburg

\* Kontakt: [Hans-Peter.Kahle@iww.uni-freiburg.de](mailto:Hans-Peter.Kahle@iww.uni-freiburg.de)

### **Abstrakt**

In der vorliegenden Arbeit wird auf der Basis von georeferenzierten Zuwachsdaten die im Rahmen der Terrestrischen Waldschadensinventuren 1983 und 1988 von der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg erhoben wurden die Radialzuwachsreaktion von Fichten in dem durch eine ausgeprägte Niederschlagsarmut gekennzeichneten Jahr 1976 untersucht. Die verwendeten Witterungsdaten wurden vom Deutschen Wetterdienst zur Verfügung gestellt.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Radialzuwachsreaktionen in Baden-Württemberg im Jahr 1976 eine deutliche räumliche Strukturierung aufweisen, die durch regionale Cluster charakterisiert ist. Im Mittel über Baden-Württemberg lag der Radialzuwachs der Fichten 1976 um rund 30 % unter dem Vergleichswert der 10-jährigen Periode davor. Über das ganze Landesgebiet wird ein Wertebereich von 21 - 142 % der Vergleichsperiode abgedeckt. Die mittlere Niederschlagshöhe erreichte im Zeitraum April bis Juni des Jahres 1976 weniger als die Hälfte des Referenzwerts (Mittelwert 1961-1990).

Die räumlichen Muster von Radialzuwachs- und Niederschlagsabweichung zeigen ausgeprägte Übereinstimmungen. Dies wird besonders deutlich in Gebieten in denen extreme Wertebereiche erreicht werden. Eine Kongruenz zwischen dem räumlichen Muster der Radialzuwachsreaktionen und der regionalen Wuchsgebietsgliederung, die sich an Standortfaktoren orientiert ist dagegen nicht erkennbar.

Das auf der Basis von Kriging mit externer Drift entwickelte flächenhafte Schätzmodell für die Radialzuwachsreaktion 1976 ist ein multivariates statistisches Modell mit explizitem Raumbezug. Die Einbeziehung des Niederschlagsindex 1976 als externe Hilfsvariable zur Modellierung der räumlichen Drift führt zu einer verbesserten Schätzgenauigkeit. Die Überprüfung des Modells an einem unabhängigen Datensatz ergab ein signifikantes Bestimmtheitsmaß von  $R = 0.65$ . Die in den Residuen festgestellte räumliche Struktur wird als Hinweis auf die Existenz von im Modell nicht berücksichtigten, räumlich autokorrelierten Einflussvariablen gewertet.

### **Einleitung**

Während bei der Erforschung von Wachstumsvariationen von Waldbäumen und deren Ursachen bislang meist die Betrachtung der zeitlichen Variabilität im Vordergrund steht, erlaubt die zunehmende Verfügbarkeit von regionalisierten Daten die Anwendung geostatistischer Methoden auch für eine Analyse der Variabilität in der räumlichen Dimension. Mit der kombinierten Auswertung räumlicher Variationsmuster der Wachstumsreaktionen von Fichten sowie relevanter klimatischer Einflussfaktoren in einem geostatistischen Ansatz wird das Ziel

verfolgt, einen größtmöglichen Informationsgewinn aus der verfügbaren Datenbasis zu ziehen.

## Untersuchungsmaterial

### Wachstumsdaten

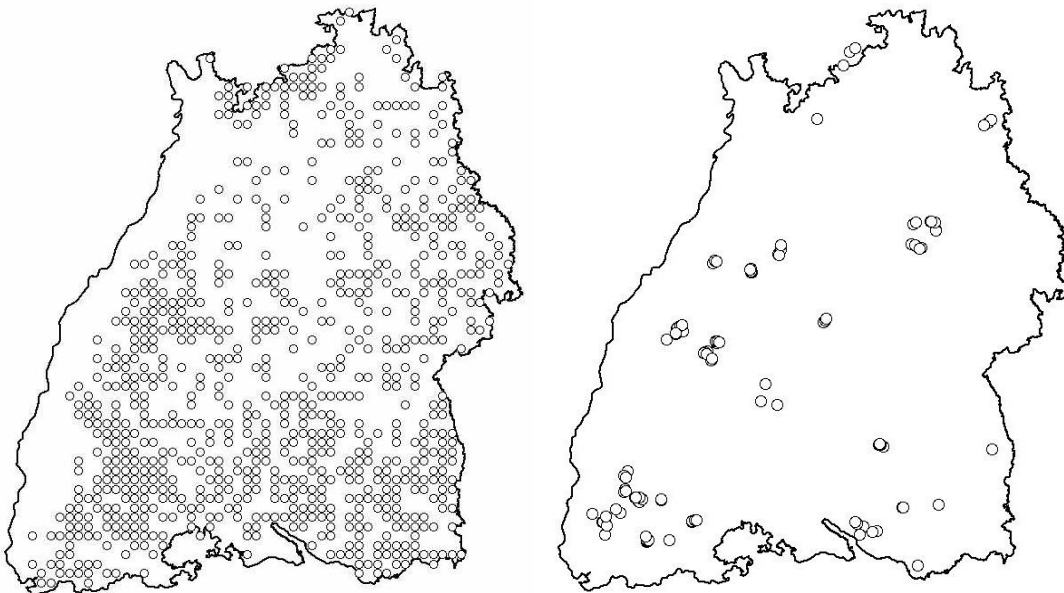
Die verwendeten Wachstumsdaten entstammen zwei Quellen:

#### (i) TWI-Daten:

Die für die Modellparametrisierung verwendeten Wachstumsdaten entstammen Zusatzerhebungen die in Form von Stammanalysen im Rahmen der Terrestrischen Waldschadensinventuren (TWI) in den Jahren 1983 und 1988 als Rasterstichprobe (4 km x 4 km) von der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt des Landes Baden-Württemberg durchgeführt wurden (Evers & Schöpfer, 1988; Hildebrand *et al.*, 1993; Schöpfer *et al.*, 1994). Die TWI-Stichprobenpunkte an denen Fichten beprobt wurden sind nahezu über das ganze Landesgebiet von Baden-Württemberg verteilt (Abb. 1, links).

#### (ii) FoA-Daten:

Zur Validierung des mit den TWI-Daten parametrisierten Modells wurden die im Rahmen der unabhängig durchgeführten Untersuchung „Forstliche Anamnese“ (Institut für Waldwachstum Universität Freiburg; Abetz, 1983; Abetz, 1984; s.a. Eichkorn, 1986) erhobenen Radialzuwachsdaten herangezogen (FoA-Daten) (Abb. 1, rechts).



**Abbildung 1:** Links: TWI-Stichprobenpunkte mit Fichten ( $n_{plot} = 822$ ), rechts: FoA-Stichprobenpunkte mit Fichten ( $n_{plo} = 55$ ) (Datenquellen TWI: FVA Baden-Württemberg 1983 und 1988; FoA: Institut für Waldwachstum, Universität Freiburg).

## **Klima-/Witterungsdaten**

Die verwendeten monatlichen Niederschlagsdaten wurden vom Deutschen Wetterdienst (DWD) zur Verfügung gestellt. Es handelt sich um räumlich interpolierte Daten im 1 km x 1 km Raster (Müller-Westermeier, 1999).

## **Untersuchungsmethoden**

### **Indexierung der Radialzuwachswerte**

Zur Bereinigung von Unterschieden im Radialzuwachs niveau zwischen den Untersuchungs-bäumen wurden die Messwerte indexiert, indem der im Jahr 1976 geleistete Radialzuwachs ins prozentuale Verhältnis zum durchschnittlichen Zuwachs der vorangegangenen zehn Jahre gesetzt wurde. Diese Variable wird im Folgenden als Radialzuwachsindex bezeichnet.

### **Indexierung der Niederschlagswerte**

Zur Verdeutlichung der spezifischen Niederschlagsbedingungen im Jahr 1976 und zur Berei-nigung von Unterschieden im mittleren Niveau der saisonalen Niederschläge wurde für alle Punkte des systematischen 1 km x 1 km Rasters die absolute Abweichung der saisonalen (Mai-August) Niederschlagshöhe im Jahr 1976 vom langfristigen Mittelwert (1961-1990) berechnet und die absolute Abweichung ins Verhältnis gesetzt zu diesem langfristigen Referenzwert. Diese Variable wird im Folgenden als Niederschlagsindex bezeichnet.

## **Geostatistische Analyse**

Die geostatistische Analyse der Radialzuwachsindizes gliedert sich in folgende Schritte (vgl. Wackernagel, 1998; Webster & Oliver, 2001) (verwendete Software: ISATIS<sup>®</sup>, Fa. Geovari-ances):

- Explorative Datenanalyse mit Variogrammberechnung und Modellanpassung

Bei der explorativen Datenauswertung wurden neben üblichen Mittelwerts- und Korrelations-berechnungen zudem H-Scatter-Diagramme und Variogramme berechnet.

Mit der Analyse des empirischen Variogramms werden räumliche Strukturen der untersuchten Variable aufgedeckt und über die Anpassung einer Variogrammfunktion in ein Modell der räumlichen Abhängigkeitsstruktur gefasst (Variogramm-Modell).

- Verwendung eines flächenhaften Schätzverfahrens auf der Grundlage des Variogramm-Modells

Als Schätzverfahren wurde Ordinary Kriging bzw. Kriging mit externer Drift angewendet (Wackernagel, 1998). Zur Modellparametrisierung wurden ausschließlich TWI-Daten verwendet.

- Modellvalidierung

Auf der Grundlage des mit den Zuwachsdaten der TWI und einer externen Hilfsvariablen parametrisierten multivariaten Modells (TWI-Modell) wurden für die FoA-Stichprobenpunkte Punktschätzungen berechnet und mit den tatsächlichen Beobachtungswerten an diesen Punkten verglichen.

## Ergebnisse

### Radialzuwachs im Jahr 1976

Der Radialzuwachs im Jahr 1976 liegt im Mittel um ca. 30 % unter dem Zuwachs der Vergleichsperiode (Tab. 1). Der Wertebereich erstreckt sich von ca. 20 % bis 140 % des durchschnittlichen Zuwachs der vorangegangenen zehn Jahre.

**Tabelle 1:** Kenngrößen der Radialzuwachsindizes der untersuchten Fichten (TWI-Daten) im Jahr 1976 (Datenquelle: FVA Baden-Württemberg 1983 und 1988).

Beobachtungen	Radialzuwachsindex			
	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung
N	%	%	%	%
3140	21	142	<b>71.6</b>	19.6

### Niederschläge im Jahr 1976

Im Frühjahr und Frühsommer des Jahres 1976 waren große Teile Mitteleuropas von einer ausgeprägten und lang andauernden Niederschlagsarmut betroffen. Tabelle 2 macht dies für Baden-Württemberg deutlich.

**Tabelle 2:** Mittlere monatliche Gebietsniederschlagshöhe (mm) in Baden-Württemberg im Zeitraum 1961-90 und im Vergleich im Jahr 1976 (Datenquelle: DWD, 2000).

Zeitraum	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	Summe
<b>1961-90 (mm)</b>	74	68	68	76	93	104	90	93	70	67	80	80	<b>964</b>
<b>1976 (mm)</b>	93	27	22	44	54	38	110	52	104	39	69	75	<b>727</b>
<b>Abweichung 1976 (%)</b>	26	<b>-60</b>	<b>-67</b>	<b>-42</b>	<b>-42</b>	<b>-64</b>	22	<b>-44</b>	49	-42	-14	-7	<b>-25</b>

Die mittlere Niederschlagshöhe in Baden-Württemberg erreichte im Zeitraum April bis Juni des Jahres 1976 weniger als die Hälfte des Referenzwerts.

## Korrelationsanalyse

Tabelle 3 gibt einen Überblick über die korrelativen Zusammenhänge zwischen ausgewählten Variablen.

**Tabelle 3:** Korrelationsmatrix ausgewählter Variablen.

<b>Variable</b>		<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
Radialzuwachsindex 1976	<b>1</b>	0.59	0.34	0.28
Niederschlagsindex 1976	<b>2</b>		0.10	0.21
Mittlere Niederschlagshöhe (mm)	<b>3</b>			0.57
Geländehöhe über NN (m)	<b>4</b>			

Der Korrelationsmatrix (Tab. 3) ist zu entnehmen:

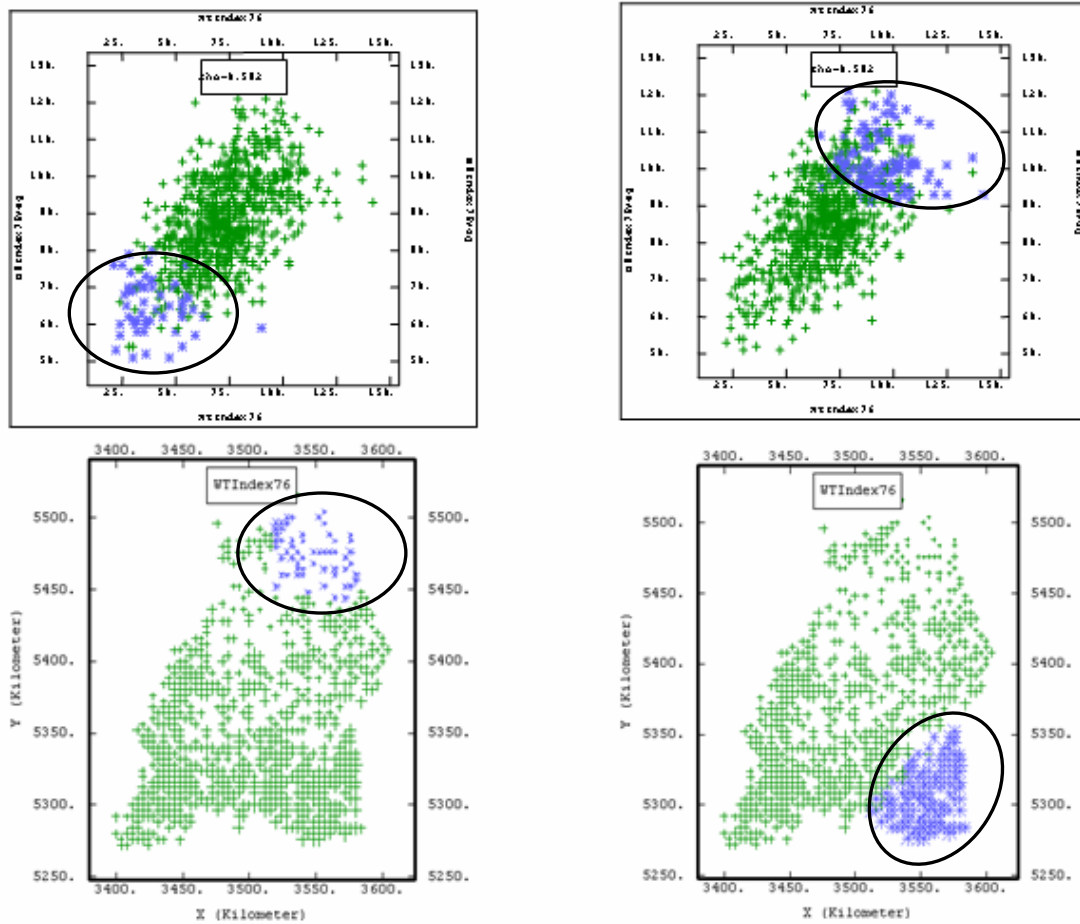
- Es besteht eine signifikante, direkte Korrelation zwischen Radialzuwachsindex und Niederschlagsindex: je niedriger der Niederschlagsindex, d.h. je stärker der Rückgang des saisonalen Niederschlags 1976 gegenüber dem langjährigen Mittel, desto stärker war auch der Rückgang des Radialzuwachses.
- Die mittlere Niederschlagshöhe, die Geländehöhe und der Niederschlagsindex 1976 sind interkorreliert. In höheren Lagen, bzw. in Gebieten mit üblicherweise höheren Niederschlägen, war der Radialzuwachsindex 1976 ebenfalls höher.

## Bivariate Analyse und Analyse der räumlichen Verteilung

In Abbildung 2 ist in Form von bivariaten Scatter-Diagrammen der Radialzuwachsindex über dem Niederschlagsindex aufgetragen. In den Scatter-Diagrammen besonders hervorgehoben sind die im Koordinatensystem links unten und rechts oben liegenden Wertepaare deren geographische Lage den Gebieten „Nordöstliches Neckarland“ und „Südwestdeutsches Alpenvorland“ entspricht.

Aus Abbildung 2 können folgende Folgerungen gezogen werden:

- Das Scatter-Diagramm der Indexwerte verdeutlicht eine direkte und lineare stochastische Beziehung zwischen Niederschlag und Radialzuwachs.
- Die Darstellung der geographischen Lage ausgewählter Wertepaare zeigt, dass deren räumliche Verteilung nicht zufällig sondern durch regionale Clusterung, und damit meso-skalige Muster gekennzeichnet ist. So sind im Wuchsgebiet „Südwestdeutsches Alpenvorland“ Radialzuwachs und saisonale Niederschlagssumme im Jahr 1976 einheitlich relativ hoch, im nordöstlichen Neckarland dagegen einheitlich gering. Der regionale Vergleich lässt darauf schließen, dass ein großräumiger Zusammenhang zwischen der Wachstumsreaktion und dem Niederschlagsgeschehen besteht.



**Abbildung 2:** Oben: Radialzuwachsindex 1976 aufgetragen über dem Niederschlagsindex 1976. Unten: geographische Lage der Stichproben mit besonderer Hervorhebung der in den Scatter-Diagrammen links unten und rechts oben liegenden Wertepaare, die in ihrer räumlichen Lage dem „Nordöstlichen Neckarland“ (unten links) und dem „Südwestdeutschen Alpenvorland“ (unten rechts) entsprechen.

### Kreuzkorrelationsanalyse

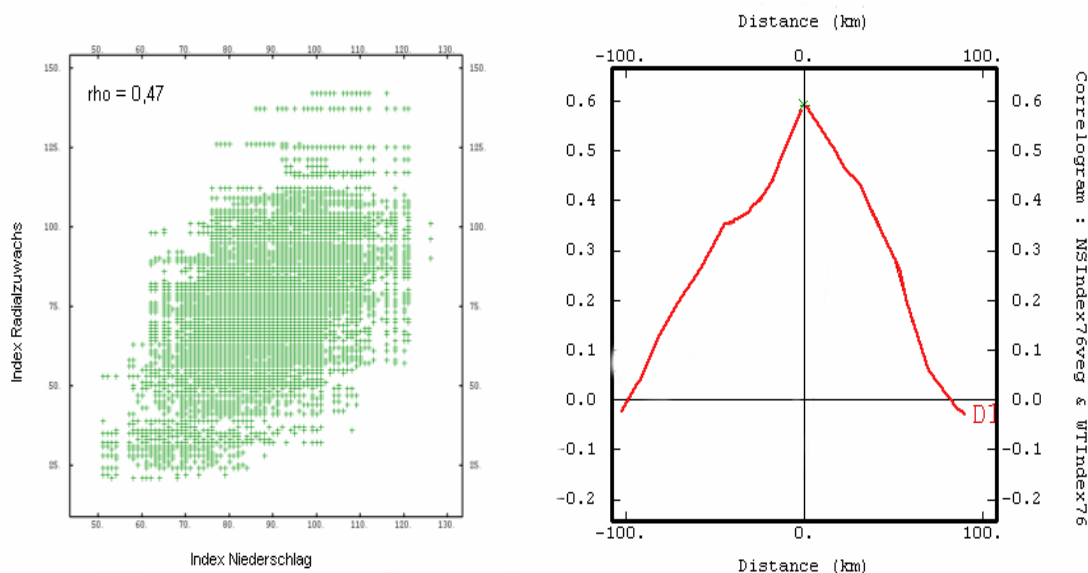
Im  $h$ -Scatter-Diagramm sind die Werte benachbarter Punkte ähnlich eines herkömmlichen Scatter-Diagramms in einem  $x/y$ -Achsensystem aufgetragen. Der Wert auf der  $x$ -Achse unterscheidet sich hier jedoch vom Wert auf der  $y$ -Achse dadurch, dass er um eine vorgegebene Distanz,  $h$ , gegenüber dem  $y$ -Achsenwert versetzt ist. In Tabelle 4 sind die Korrelationskoeffizienten zwischen Radialzuwachsindex und Niederschlagsindex für verschiedene Distanzklassen ( $h$ ) wiedergegeben. Dies kann für ein und dieselbe Variable aber auch für verschiedene Variablen durchgeführt werden. Es ergeben sich damit Rückschlüsse auf räumliche Zusammenhänge zwischen Variablen.



**Tabelle 4:** Kreuz-Korrelationskoeffizienten der  $h$ -Scatter-Diagramme bei verschiedenen Distanzen zwischen Radialzuwachs- und Niederschlagsindizes im Jahr 1976.

Distanzklasse $h$ (km)	0	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	80-90
Korrelationskoeffizient	0.59	0.54	0.53	0.47	0.43	0.39	0.34	0.26	0.19	0.10

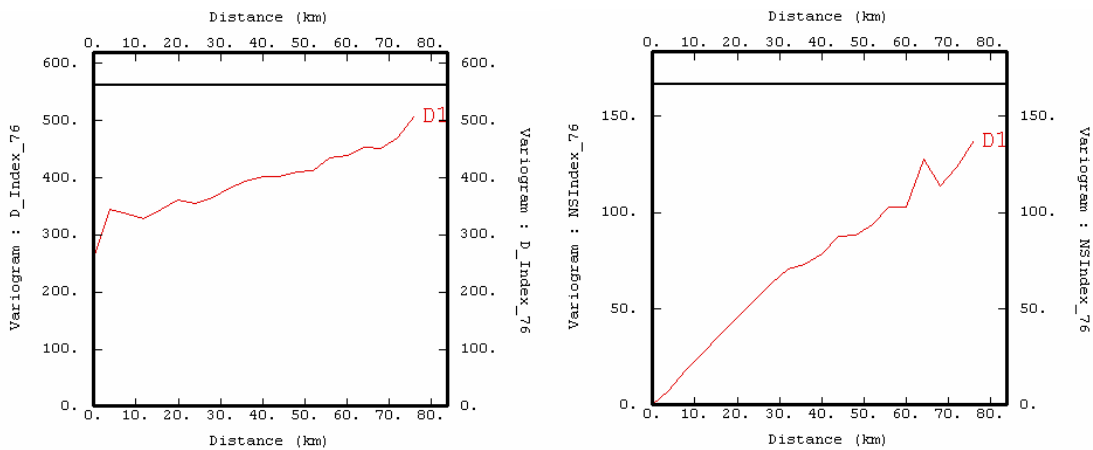
Der Kreuz-Korrelationskoeffizient nimmt mit zunehmender Distanzklasse nahezu linear ab. Bis in größere Distanzklassen sind räumliche Korrelation zwischen dem Radialzuwachsindex und dem Niederschlagsindex feststellbar. Zur Veranschaulichung ist in Abbildung 3 die Punktwolke für die Distanzklasse  $h = 20-30$  Kilometer aufgetragen. Daneben ist das Kreuz-Korrelogramm für die in Tabelle 4 wiedergegebenen Distanzklassen grafisch dargestellt.



**Abbildung 3:**  $h$ -Scatter-Diagramm (Distanzklasse  $h = 20-30$  km, links) und Kreuz-Korrelogramm zwischen den Indizes von Radialzuwachs und Niederschlag im Jahr 1976 (rechts).

### Variogrammanalyse

Die Darstellung der empirischen Variogramme deckt Ähnlichkeiten zwischen den Merkmalsausprägungen an benachbarten Punkten in Abhängigkeit von deren räumlicher Distanz auf (Abb. 4). Der Vergleich der empirischen Variogramme und Kreuz-Korrelogramme verschiedener Variablen erlaubt Rückschlüsse auf Zusammenhänge zwischen Variablen unter Berücksichtigung der jeweils eigenen räumlichen Verteilungsmuster.



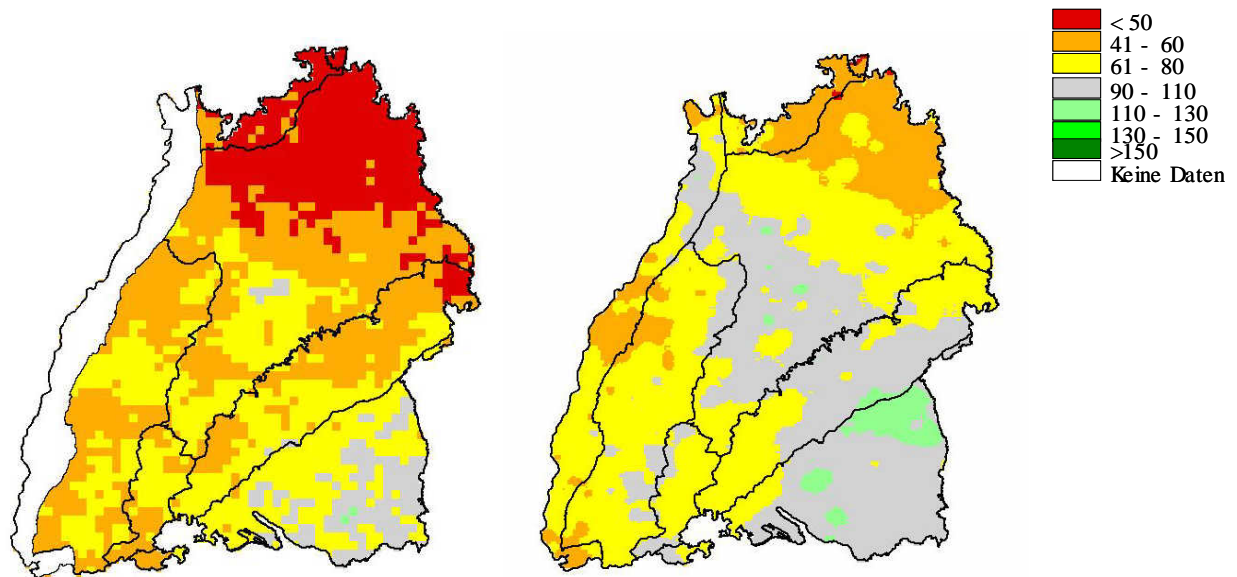
**Abbildung 4:** Darstellung der empirischen Variogramme für den Radialzuwachsindex (links) und den Niederschlagsindex (rechts) im Jahr 1976.

Aus dem Verlauf der empirischen Variogramme (Abb. 4) kann abgeleitet werden:

- Beim Radialzuwachsindex des Jahres 1976 ist der räumliche Zusammenhang bei kurzer Distanz relativ gering. Die Intra-Plotvariabilität erzeugt einen ausgeprägten Nuggeteffekt, so dass die Varianz der Radialzuwachsindices bei kurzer Distanz ( $< 0.5$  km) relativ hoch ist. Im Distanzbereich um 5 Kilometer zeigt sich ein engerer Zusammenhang, dieser ist geprägt durch die Inter-Plotvariabilität. Mit zunehmender Distanz nimmt die Varianz nahezu linear zu, und nähert sich bei größerer Entfernung ( $> 80$  km) asymptotisch dem Schwellenwert (horizontale Linie). Demnach sind räumliche Abhängigkeiten mindestens bis zu dieser Distanz nachweisbar. Dies lässt auf großräumige Zusammenhänge der Zuwachsindices untereinander, und damit auch auf großräumig wirksame Einflussfaktoren schließen.
- Der Verlauf des Variogramms der Niederschlagsindices des Jahres 1976 zeigt bei kürzeren Distanzen ( $< 30$  km) deutliche Unterschiede, bei längeren Distanzen ist er dem der Radialzuwachsindices jedoch sehr ähnlich. Da es sich bei den Niederschlagswerten um bereits räumlich modellierte Daten handelt, spiegelt der Werteverlauf im kurzen Distanzbereich vor allem das der flächenhaften Schätzung zugrunde gelegte räumliche Modell wider. Bis zu einer Distanz von 80 Kilometer zeigt sich auch hier eine nahezu lineare asymptotische Annäherung an den Schwellenwert.

### Vergleichende flächenhafte Darstellung von Radialzuwachs- und Niederschlagsindex

An das empirische Variogramm der Radialzuwachsindices wurde ein Variogramm-Modell angepasst und eine räumliche Schätzung mittels Ordinary Kriging (omnidirektional oder isotropisch, d.h. ohne Richtungsabhängigkeit) durchgeführt (Abb. 5). Der Niederschlagsindex wurde aus bereits flächig interpolierten Daten des DWD berechnet, weshalb eine flächenhafte Schätzung für diese Variable nicht nötig war.



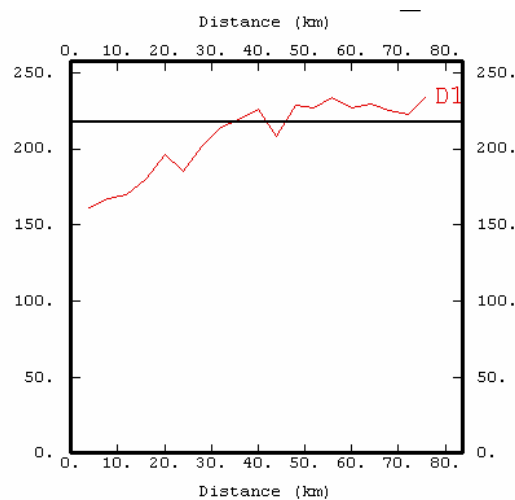
**Abbildung 5:** Radialzuwachsindex (links, Ordinary Kriging) und Niederschlagsindex (rechts) für das Jahr 1976. Die Linien kennzeichnen Wuchsgebietsgrenzen nach der forstlichen Standortkartierung.

Der Vergleich der räumlichen Muster zeigt deutliche Ähnlichkeiten. Besonders deutlich sind die Übereinstimmungen in Gebieten in denen extreme Wertebereiche erreicht werden: im Nordosten und im Südosten des Untersuchungsgebiets (Nordöstliches Neckarland bzw. Südwestdeutsches Alpenvorland). Es ist keine Kongruenz zwischen dem räumlichen Muster der Radialzuwachsreaktionen und der regionalen Wuchsgebietsgliederung erkennbar.

### Räumliche Analyse der Zusammenhänge zwischen Niederschlag und Radialzuwachs

Der aufgezeigte enge Zusammenhang zwischen Niederschlags- und Radialzuwachsindex legte es nahe den in hoher Punktdichte vorliegenden Niederschlagsindex als Hilfsvariable in ein erweitertes räumliches Schätzmodell für die Radialzuwachsreaktion einzubeziehen. Dies wurde über das multivariate geostatistische Verfahren des „Kriging mit externer Drift“ realisiert, wobei der Niederschlagsindex als externe Driftvariable verwendet wurde. Die Vorgehensweise folgt dem Modell der intrinsischen Korrelation, das den Einfluss der Hilfsvariablen unter Beachtung der den beteiligten Variablen jeweils eigenen, d.h. intrinsischen, räumlichen Struktur darstellen lässt (Wackernagel, 1998).

Mittels linearer Regression wurde der Effekt des Niederschlags auf den Radialzuwachs als abhängige Variable modelliert. Zur Überprüfung der räumlichen Unabhängigkeit der Residuen wurde im nächsten Schritt das Variogramm der Modell-Residuen berechnet. In Abbildung 6 ist das empirische Variogramm der Residuen des linearen Regressionsmodells unter Einbeziehung des Niederschlagsindex dargestellt.



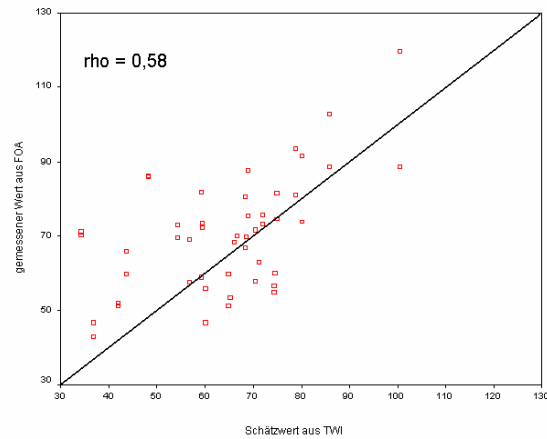
**Abbildung 6:** Empirisches Variogramm der Residuen (lineares Regressionsmodell mit Radialzuwachsindex 1976 als abhängige und Niederschlagsindex 1976 als unabhängige Variable).

Aus dem Verlauf des empirischen Variogramms der Modell-Residuen (Abb. 6) kann geschlossen werden:

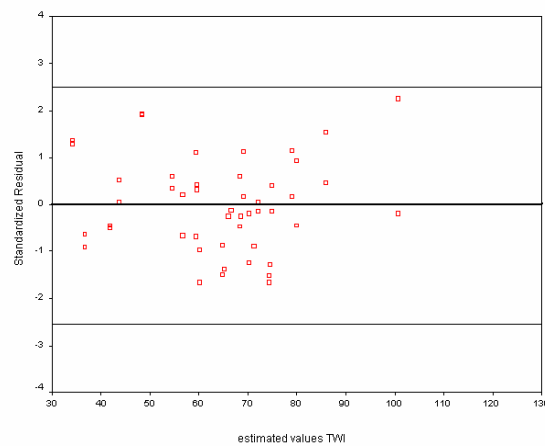
- Bei Einbeziehung des Niederschlagsindex als erklärende Variable wird der Varianz-Schwellenwert (horizontale Linie) bereits ab einer Distanz von ca. 30 Kilometer erreicht. Die Gesamtvarianz ist von größer 550 (vgl. Abb. 4 links) auf eine durch das Modell nicht erklärte Reststreuung von ca. 220 (vgl. Abb. 6) reduziert.
- Der Nuggeteffekt im Variogramm der Residuen ist weiterhin relativ groß. Dies ist im wesentlichen auf die ausgeprägte Intra-Plotvariabilität der Radialzuwachsindices zurückzuführen (vgl. Abb. 4). Bis zu einer Distanz von ca. 30 Kilometer ist in den Residuen eine räumliche Struktur feststellbar. Diese räumliche Abhängigkeit in der unerklärten Reststreuung weist auf den Einfluss weiterer, im Regressionsmodell nicht berücksichtigter räumlich autokorrelierter Variablen hin.

### **Validierung des Modells zur flächenhaften Schätzung der Radialzuwachsreaktion**

Zur Validierung des vorgestellten Modells wurden für die FoA-Stichprobenpunkte Punktschätzungen berechnet und mit den tatsächlichen, unabhängigen Beobachtungswerten an diesen Punkten verglichen. Das Modell erklärt über 65 % der Streuung der FoA-Daten.



**Abbildung 7:** Radialzuwachsindex 1976: Vergleich der Beobachtungswerte (FoA, y-Achse) mit den punktgleichen Modellschätzwerten (TWI-Modell).



**Abbildung 8:** Radialzuwachsindex 1976: Standardisierte Residuen aus dem Vergleich der Beobachtungswerte (FoA) mit den punktgleichen Modellschätzwerten (TWI-Modell). Die dünnen horizontalen Linien kennzeichnen den Vertrauensbereich ( $\pm 2.5$  fache Standardabweichung).

Aus Abbildungen 7 und 8 ist zu entnehmen, dass die Radialzuwachsindizes des Validierungsdatensatzes (FoA) im Jahr 1976 zufällig verteilt sind und teilweise über, teilweise unter den Modellschätzwerten liegen. Die Modellschätzwerte weisen keine gerichtete Verzerrung (Bias) auf.

## Zusammenfassung

Die Radialzuwachsreaktion der Fichten in dem durch eine ausgeprägte und lang andauernde (Februar bis August) Niederschlagsarmut gekennzeichneten Jahr 1976 weist in Baden-Württemberg eine deutliche räumliche Strukturierung auf, die mesoskalig vor allem durch regionale Clusterbildung charakterisiert ist. Im Mittel über Baden-Württemberg lag der Radialzuwachs der Fichten um rund 30 % unter dem Vergleichswert der 10-jährigen Periode davor ( $ir-Index_{1976} = 71.6 \pm 19.6$  (SD) %, Tab. 1). Es konnten auch Gebiete mit überdurchschnittli-

chen Zuwächsen identifiziert werden (Wertebereich von *ir-Index*<sub>1976</sub> = 21-142 %, Tab. 1), für die das Jahr 1976 kein negatives Weiserjahr darstellt.

Die räumlichen Muster von Radialzuwachs- und Niederschlagsabweichung zeigen deutliche Ähnlichkeiten. Besonders ausgeprägt sind die Übereinstimmungen in Gebieten in denen extreme Wertebereiche erreicht werden. Eine Kongruenz zwischen dem räumlichen Muster der Radialzuwachsreaktionen und der regionalen standortsbezogenen Wuchsgebietsgliederung ist dagegen nicht erkennbar. Mit der regionalen Gliederung korrelierte Standortfaktoren wie die großräumige Topographie und das vorherrschende Bodenausgangssubstrat sowie lokale Faktoren wie Bodenart, Bodentyp, Exposition, Hanglage und Höhenlage scheinen auf dieser Skalenebene offensichtlich keine dominierende Auswirkung, und auch nicht ausgeprägt modifizierenden Einfluss auf die Radialzuwachsreaktion im Jahr 1976 ausgeübt zu haben.

Das auf der Basis von Kriging mit externer Drift entwickelte flächenhafte Schätzmodell für die Radialzuwachsreaktion von Fichten in Baden-Württemberg im Jahr 1976 ist ein multivariates Modell mit explizitem Raumbezug. Die Einbeziehung des Niederschlagsindex 1976 als externe Hilfsvariable zur Modellierung der räumlichen Drift führt zu einer verbesserten Anpassungsgüte. Die Überprüfung des Modells an einem unabhängigen Datensatz ergab, dass das Modell 65 % der Streuung der Testwerte erklärt. Die Analyse der Modellresiduen ergab keine Hinweise auf eine systematische Verzerrung. Die in den Residuen festgestellte räumliche Struktur wird als Hinweis auf die Existenz von im Modell nicht berücksichtigten, räumlich autokorrelierten Einflussvariablen gewertet.

Vorläufige Ergebnisse der Untersuchung anderer Jahre mit ebenfalls negativen Niederschlagsanomalien stützen die für das Jahr 1976 erzielten Ergebnisse im Hinblick auf die beschriebenen Zusammenhänge und feststellbaren räumlichen Strukturen. Die Ergebnisse zeigen, dass sich markante Witterungsanomalien großräumig modifizierend auf den Dickenzuwachs von Fichten auswirken können.

## **Danksagung**

Die verwendeten Zuwachsdaten wurden von der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt des Landes Baden-Württemberg erhoben und zur Verfügung gestellt. Namentlich sei dafür gedankt den Herren Prof. Hradetzky und Dr. Kändler (beide FVA Baden-Württemberg). Die Witterungsdaten wurden vom Deutschen Wetterdienst zur Verfügung gestellt. Namentlich sei dafür gedankt Herrn Dr. Müller-Westermeier (DWD). Die Forschungsarbeiten wurden finanziell unterstützt vom Land Baden-Württemberg, Ministerium Ländlicher Raum (UFO-Projekt).

## **Literatur**

Abetz, P., 1983. Zum Erkennen der physiologischen Belastbarkeit der Waldbäume aus waldwachstumskundlicher Sicht. Schriftenreihe der Forstlichen Abteilung der Universität Freiburg 12: 16-31.

Abetz, P. 1984. Forstliche Anamnese (FoA) und Referenzkurven für den Durchmesserzuwachs von Z-Bäumen. Bericht Sektion Ertragskunde im DVFF: 10/1-10/14.

- Eichkorn, T., 1986. Wachstumsanalysen an Fichten in Südwestdeutschland. AFJZ 157: 125-139.
- Evers, F.H., Schöpfer, W., 1988. Darstellung der Ernährungs- und Belastungsverhältnisse der Fichte - Ergebnisse der Belastungsinventur Baden-Württemberg 1983. AFJZ 159: 146-154.
- Hildebrand, E.E., Schöpfer, W., Hanack, C., Kublin, E., Trefz-Malcher, G., 1993. Ergebnisse der Belastungsinventur Baden-Württemberg 1988 - Ernährung und Belastung von Fichte und Tanne - Dokumentation. Mitteilungen FVA Baden-Württemberg 172: 64.
- Müller-Westermeier, G., 1999. Numerical production of climatic maps for parameters with significant correlation to topography. Deutscher Wetterdienst (DWD). Klimastatusbericht 1999: 83-86.
- Schöpfer, W., Hradetzky, J., Kublin, E., 1994. Wachstumsänderungen der Fichte in Baden-Württemberg. Forst und Holz 49: 633-644.
- Wackernagel, H., 1998. Multivariate Geostatistics. Springer-Verlag, Berlin.
- Webster, R., Oliver, M.A., 2001. Geostatistics for Environmental Scientists. John Wiley and Sons, Chichester.