

## 5 Danksagungen

Wir bedanken uns bei I. Hütner für die Mitarbeit bei der Analyse der Proben, bei der Arbeitsgruppe Marschner für die sehr gute Zusammenarbeit und beim PEF für die Förderung des Projektes.

## 6 Literatur

- GEORGE, E., SEITH, B., SCHAEFFER, C., MARSCHNER, H. (1996) Response of *Picea*, *Pinus* and *Pseudotsuga* roots to heterogeneous nutrient distribution in soil. *Tree Physiol.*, im Druck.
- GUTTENBERGER, M., SCHAEFFER, C., HAMPP, R. (1994) Kinetic and electrophoretic characterization of NADP dependent dehydrogenases from root tissues of Norway spruce [*Picea abies* (L.) Karst.] employing a rapid one-step extraction procedure. *Trees* **8**, 191-197.
- SCHAEFFER, C., WALLEND, T., WINGLER, A., EINIG, W., HAMPP, R. (1995) Einfluß der Nährstoffversorgung auf Sink/Source-Beziehungen bei Fichten. *FZKA-PEF* **130**, 163-173.
- SCHULZE, E.-D. (1989) Air pollution and forest decline in a spruce (*Picea abies*) forest. *Science* **244**, 776-783.
- SEITH, B., GEORGE, E., MARSCHNER, H. (1995) Einfluß der Mineralstoffernährung auf Wurzelwachstum, Wurzelumsatz und Kohlenstoffhaushalt von Waldbäumen. *FZKA-PEF* **130**, 149-161.
- SEITH, B., GEORGE, E., MARSCHNER, H. (1996) Einfluß des Mineralstoffangebots und der Belichtungsintensität auf Wurzelwachstum, Wurzelmorphologie und Nährstoffaufnahme von Fichten. *FZKA-PEF*, dieser Band.
- WALLANDER, H. (1995) A new hypothesis to explain allocation of dry matter between mycorrhizal fungi and pine seedlings in relation to nutrient supply. *Plant Soil* **168-169**, 243-248.
- WINGLER, A., EINIG, W., SCHAEFFER, C., WALLEND, T., HAMPP, R., WALLANDER, H., NYLUND, J.-E. (1994) Influence of different nutrient regimes on the regulation of carbon metabolism in Norway spruce [*Picea abies* (L.) Karst.] seedlings. *New Phytologist* **128**, 323-330.

## Untersuchung standortspezifischer Wachstumsreaktionen von Waldbäumen in Südwestdeutschland

H.-P. Kahle & H. Spiecker

*Institut für Waldwachstum, Universität Freiburg*

### Zusammenfassung:

Das Ziel dieses waldwachstumkundlichen Forschungsvorhabens besteht in der Untersuchung der Zusammenhänge zwischen der Variation von Klima und Witterung und den inter- und intraannuellen Wachstumsreaktionen von Fichten, Tannen, Buchen und Eichen unter besonderer Berücksichtigung ausgewählter Standortfaktoren. Im Flächenschwarzwald wurden Fichten und Tannen entlang eines Gradienten zunehmender temporärer Vernässung auf einem mäßig frischen, wechselfeuchten und vernässenden Standort ausgewählt. Im Südschwarzwald wurden Untersuchungsbäume in den Höhenstufen planar bis hochmontan auf Sommer- und Winterhängen an Standorten ausgewählt, die sich im Hinblick auf das Wasserspeichervermögen und die Nährstoffausstattung des Bodensubstrats nur wenig unterscheiden. In dem vorliegenden Bericht wird die Datengrundlage vorgestellt und anhand ausgewählter Beispiele werden Gemeinsamkeiten und Unterschiede in den Radialzuwachsreaktionen und Höhenwuchsleistungen von Bäumen der verschiedenen Standorte untersucht. Die Zuwachsanalysen haben ergeben, daß die Radialzuwachsreaktionen der Untersuchungsbäume von den zu vergleichenden Standorten eine große Gleichförmigkeit aufweisen.

### Summary:

H.-P. Kahle & H. Spiecker

### Analysis of site specific growth responses of forest trees in Southwestern Germany

The relationships between weather conditions and increments of Norway spruces (*Picea abies* L. Karst.), silver firs (*Abies alba* Mill.), European beeches (*Fagus sylvatica* L.) and European oaks (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl. and *Quercus robur* L.) along elevational line transects in the southern part and along a gradient in soil moisture regime in the northeastern part of the Black Forest are investigated based on dendroecological methods. Interannual variations in radial increments as well as inter- and intraannual variations in wood density, <sup>13</sup>C/<sup>12</sup>C ratios and wood anatomical features will be studied. In this research report the site and tree data base which has been assembled is presented. Growth and radial increment of Norway spruces and silver firs on three different site units (according to different moisture regimes) in the northeastern part of the Black Forest and Norway spruces and European beeches on southwest and northeast facing slopes close to the upper tree-limit in the southern part of the Black Forest were analysed. Neither the different site types nor the aspect of the slopes in the upper altitudinal zone have a major influence on the annual radial increment variations of the sample trees.

## 1. Einleitung und Zielsetzung

Das Ziel dieses waldwachstumkundlichen Forschungsvorhabens besteht in der Untersuchung der Zusammenhänge zwischen der Variation von Klima und Witterung und den inter- und intraannuellen Wachstumsreaktionen von Fichten, Tannen, Buchen und Eichen unter besonderer Berücksichtigung ausgewählter Standortfaktoren. Im Oberen Buntsandstein des Flächenschwarzwalds wurden dazu Fichten und Tannen entlang eines Gradienten zunehmender temporärer Vernässung ausgewählt. Im Gebiet des Südschwarzwalds wurden Untersuchungsbäume in den Höhenstufen planar bis hochmontan auf südwestexponierten Sommer- und nordostexponierten Winterhängen an Standorten ausgewählt, die sich im Hinblick auf das Wasserspeichervermögen und die Nährstoffausstattung des Bodensubstrats sehr nahe stehen. Konzeption, Ziele und Arbeitshypothesen zu diesem Forschungsvorhaben wurden von Kahle und Spiecker (1995) ausführlich dargestellt.

## 2. Material und Methodik

### 2.1 Datenerhebung

Die Auswahl der Untersuchungsstandorte erfolgte in enger Zusammenarbeit mit der Abteilung Botanik und Standortkunde der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg<sup>1</sup>. Für die Untersuchungsstandorte im Flächenschwarzwald wurde bereits eine standortkundliche Feinkartierung durchgeführt. Entsprechende Aufnahmen der übrigen Standorte sind für das Frühjahr 1996 geplant.

Für die Untersuchung wurden vorherrschende und herrschende Bäume ohne äußerlich erkennbare Schäden (z.B. Stammfäule, Holzernteschäden oder wiederholte Kronenbrüche) subjektiv ausgewählt. Die Stehendaufnahme der Untersuchungsbäume umfaßt neben der Ermittlung von Brusthöhendurchmesser (1,3 Meter Schafthöhe) und relativer Kronenlänge die Vermessung der Kronenschirmflächen und der Nachbarschaftsverhältnisse. An den gefällten Untersuchungsbäumen wurden Stammanalysen durchgeführt. Dazu wurden Stammscheiben in verschiedenen Schafthöhen entnommen und bei den Nadelbäumen zusätzlich die jährlichen Höhenzuwächse anhand der Astquirle und Knospenschuppennarben rekonstruiert. Die Rekonstruktion des Höhenwachstumsgangs bei den Buchen und Eichen erfolgt auf dem Wege der Interpolation mit Hilfe der Auszählung der Jahrringe auf Stammscheiben aus verschiedenen Schafthöhen. Auf den Stammscheiben aus Brusthöhe werden entlang von acht, auf den übrigen Stammscheiben entlang von vier nach Himmelsrichtungen orientierten Radien die jährlichen Radialzuwächse vermessen. Die Vermessung der Stammscheiben erfolgt rechnergestützt mit einem interaktiven Bildanalyseprogramm, das am Institut für Waldwachstum der Universität Freiburg entwickelt wurde.

An ausgewählten Untersuchungsbäumen werden darüberhinaus inter- und intraannuelle Schwankungen von Jahrringparametern untersucht. Die Ergebnisse der Isotopenanalyse (<sup>13</sup>C/<sup>12</sup>C-Relationen in der Zellulosefraktion), der röntgendensitometrischen Analyse sowie

<sup>1</sup> Herrn Forstdirektor Dr. Aldinger, und den Forsträten Hr. Schreiner und Hr. Jacob sei für die Unterstützung bei der Auswahl der Standorte und bei der standortkundlichen Feinkartierung an dieser Stelle gedankt.

der Zellstrukturanalyse liegen noch nicht vor<sup>2</sup>.

### 2.2 Analysemethoden

In der ersten Stufe der Datenaufbereitung werden die Radialzuwachsrohwerter auf ihre korrekte Datierung geprüft. Bereits bei der Jahrringvermessung wird die Synchronlage der acht bzw. vier Meßradien visuell und anhand des Vergleichs mit Radialzuwachsreferenzen graphisch überprüft. Durch den Vergleich der einzelnen Meßreihen können insbesondere die häufiger auftretenden auskeilenden Jahrringe identifiziert werden. Anschließend wird die Datierung der mittleren Radialzuwachsreihen anhand der Kreuzkorrelationsanalyse mit Referenzreihen quantitativ bewertet (Baillie & Pilcher, 1973; Holmes, 1983; Yamaguchi, 1986).

Das Ziel der anschließenden Standardisierung mit dem Stochastischen Trendmodell (Visser & Molenaar, 1990; Van Deusen, 1991; Kahle, 1994) besteht darin, mittel- und langfristige systematische Fluktuationen in den Radialzuwachsreihen, die vermutlich nicht auf klimatische Ursachen zurückzuführen sind, von den kurzfristigen Schwankungen zu trennen. Die einzelbaumweise Transformation der Radialzuwachsrohwerter in Indexwerte führt zu mittelwertstationären Reihen. Die Radialzuwachsindexwerte werden anschließend stratenweise unter Verwendung eines robusten Mittelwertschätzers (Biweight Mean; Mosteller & Tukey, 1977) zu Radialzuwachschronologien verdichtet.

Die diagnostischen Kennwerte Autokorrelation und mittlere Sensitivität beschreiben jeweils unterschiedliche Aspekte der zeitreihenstatistischen Eigenschaften der Radialzuwachschronologien und geben damit Aufschluß über wesentliche Eigenschaften der zugrundeliegenden stochastischen Prozesse (vgl. Riemer, 1994). Der Betrag der Autokorrelation wird maßgeblich durch systematische Niveauveränderungen gesteuert, während sich die Sensitivität auf die mittlere relative Abweichung zwischen aufeinanderfolgenden Werten und damit auf die hochfrequenten Schwankungsanteile bezieht. Ähnlichkeitsbeziehungen zwischen den Radialzuwachschronologien werden durch die mittlere Interserienkorrelation zum Ausdruck gebracht.

### 2.3 Untersuchungsstandorte und Untersuchungsbäume

In Tabelle 1 sind die Untersuchungsstandorte zusammen mit der jeweiligen Anzahl an Untersuchungsbäumen aufgelistet. Die Untersuchungsstandorte im Forstbezirk Bad Liebenzell befinden sich im Einzelwuchsbezirk Flächenschwarzwald (EWB 3/06) auf einer Verebnung des Oberen Buntsandsteins in 685 m ü.NN. Hier wurden entlang eines circa 500 Meter langen Gradienten zunehmender temporärer Vernässung auf den Standortseinheiten 'stark saurer mäßig frischer lehmiger Sand', 'stark saurer wechselfeuchter lehmiger Sand' und auf vernässenden Standortseinheiten ('stark saurer vernässender lehmiger Sand' bzw. wasserzügige Misse') jeweils fünf Fichten und fünf Tannen ausgewählt und stammanalytisch erfaßt.

<sup>2</sup> Die Isotopenanalyse wird von Dr. G. Schleser (Forschungszentrum Jülich), die röntgendensitometrische Analyse von Prof. Dr. F.H. Schweingruber (WSL Birmensdorf) und die Zellstrukturanalyse am Institut für Waldwachstum der Universität Freiburg durchgeführt.

Die Untersuchungsstandorte im Gebiet des südlichen Schwarzwalds erstrecken sich von der planaren Höhenstufe des Oberrheinischen Tieflands (EWB 1/07 Kaiserstuhl, 260 m ü.NN) bis in die hochmontane Höhenstufe des Schwarzwalds (EWB 3/10 Südschwarzwald, Teilbezirk 3/10α Feldberggebiet, 1330 m ü.NN) bei einer horizontalen Entfernung zwischen den Untersuchungsstandorten von maximal 30 Kilometer. Bei den Standortseinheiten handelt es sich überwiegend um Einheiten aus der Ökoserie der mäßig frischen lehmigen Grushänge (Sommer- und Winterhänge). Fichten und Buchen sind in allen Höhenstufen repräsentiert, während Tannen in der hochmontanen Stufe und Eichen in der hochmontanen und montanen Höhenstufe sowie auf den Winterhängen im Untersuchungsmaterial nicht vertreten sind. Insgesamt wurden bislang 165 Untersuchungsbäume in sechs verschiedenen Forstbezirken erfaßt<sup>3</sup> (vgl. Tab. 1).

**Tabelle 1: Standorte und Untersuchungsbäume.**

Nr.	Variante	Waldort		Untersuchungsbäume				
		Forstbezirk	Name	Fi	Ta	Bu	Ei	
1	mäßig frisch	Bad Liebenzell	Wulzenschlägle	5	5	-	-	10
	wechselfeucht	Bad Liebenzell	Wulzenschlägle	5	5	-	-	10
	vernässend	Bad Liebenzell	Grünmoos	5	5	-	-	10
2	hochmontan SH*	Todtnau	Feldberg	5	-	5	-	10
3	hochmontan WH**	Todtnau	Silberberg	5	-	5	-	10
4	montan SH	Müllheim	Schnelling	5	5	5	-	15
5	montan WH	Müllheim	Sirnitzgraben	5	5	5	-	15
6	submontan SH	Staufen	Dietzelbacher Höhe	-	5	-	-	5
7	submontan SH	Staufen	Rödelsburg	-	-	5	5	10
8	kollin SH	Staufen	Breitmattenköpfe	5	5	5	5	20
9	kollin WH	Staufen	Alter Eschwald	-	-	5	-	5
10	kollin WH	Müllheim	Vorderer Bubenberg	5	5	-	-	10
11	kollin SH	St. Märgen	Spirzen	-	-	5	5	10
12	kollin WH	St. Märgen	Spirzen	-	-	5	-	5
13	planar	Breisach	Kaiserstuhl	5	5	5	5	20
Summe				50	45	50	20	165

\* SH: Sommerhang (südwestexponiert)

\*\* WH: Winterhang (nordostexponiert).

<sup>3</sup> Den Leitern der Staatlichen Forstämter Bad Liebenzell, Todtnau, Müllheim, Staufen, St. Märgen und Breisach sowie den örtlich zuständigen Revierbeamten sei an dieser Stelle für die Unterstützung gedankt.

Fichte und Buche sind mit jeweils 50 Untersuchungsbäumen am häufigsten, die Eiche mit 20 Untersuchungsbäumen am geringsten vertreten.

### 3. Ergebnisse und Diskussion

#### 3.1 Das Wachstum von Fichten und Tannen auf einer mäßig frischen, wechselfeuchten und vernässenden Standortseinheit im Oberen Buntsandstein des Flächenschwarzwalds

In Tabelle 2 werden die Untersuchungsbaumkollektive aus dem Forstbezirk Bad Liebenzell anhand waldwachstumskundlicher Kenngrößen charakterisiert. Die Tannen der mäßig frischen (mfr) und wechselfeuchten (wf) Einheit sind älter und weisen auch eine größere Altersspreitung auf als die Fichten. Auf allen drei Standorten sind die Fichten bei gleichem Brusthöhenalter ( $t_{1,3}$ -Alter) höher als die Tannen, wobei bei beiden Baumarten die Höhenwuchsleistung zum vernässenden (vn) Standort hin abnimmt. Im Alter 50 sind die Tannen im Mittel dicker als die Fichten, während im Alter 80 die Fichten auf der mfr- und wf-Einheit deutlich größere Durchmesser aufweisen als die Tannen-Vergleichskollektive.

**Tabelle 2: Waldwachstumskundliche Kenngrößen der Untersuchungsbaumkollektive aus dem Forstbezirk Bad Liebenzell.**

Kollektiv	Alter 1995	Höhe im Alter 80	Durchmesser	
	Spannweite u. Mittelwert		im Alter 50	im Alter 80
	a	m	cm	cm
Fichte mfr*	85-93/89	28.8	19.7	40.7
Fichte wf	83-92/87	27.4	20.0	37.3
Fichte vn*	118-127/123	24.1	19.4	27.4
Tanne mfr	95-112/103	24.6	22.9	33.5
Tanne wf	94-109/98	23.8	20.5	31.8
Tanne vn	71-122/97	21.3	23.3	40.2

\* Wasserhaushaltsstufen: mfr: mäßig frisch, wf: wechselfeucht, vn: vernässend.

Der Verlauf der mittleren Radialzuwachsreihen der drei Fichtenkollektive ist in Abb. 1 dargestellt. Während sich die Radialzuwachsreihen in den ersten Jahrzehnten im mittleren Zuwachsniveau kaum unterschieden, ist etwa ab 1930 eine Differenzierung in die Standortkollektive festzustellen: die Fichten der mäßig frischen Standortseinheit weisen im Mittel die höchsten, die Fichten der vernässenden Misse im Mittel die geringsten Radialzuwächse auf. Unabhängig vom dem unterschiedlichen Zuwachsniveau weisen die Kurven jedoch auch in dieser Zeit eine große Ähnlichkeit auf (die mittlere Gleichläufigkeit (GL) im Zeitraum 1904 bis 1994 beträgt 71 %). Seit Mitte der 50er Jahre ist bei allen Kollektiven eine Zunahme der mittleren jährlichen Radialzuwächse festzustellen. Die Radialzuwächse der Tannenkollektive verlaufen über mehrere Jahrzehnte auf annähernd gleichem Niveau

(Abb. 2). Eine Differenzierung in die Standortkollektive ist nicht zu erkennen (GL: 85%), jedoch ist bei den Tannen der bis in die jüngste Zeit anhaltende Radialzuwachsanstieg (Beginn etwa 1960) stärker ausgeprägt als bei den Fichten.

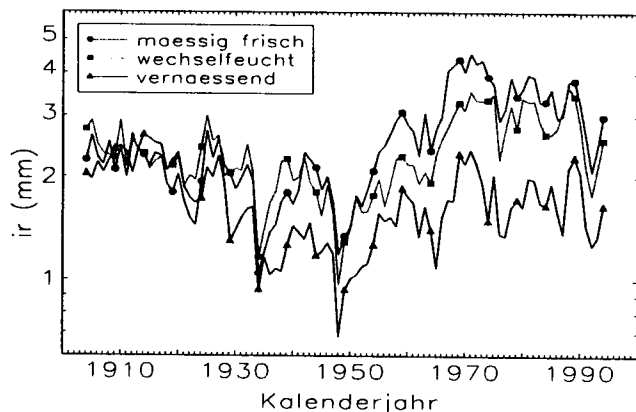


Abbildung 1: Mittlere jährliche Radialzuwachsreihen der Fichtenkollektive aus dem Forstbezirk Bad Liebenzell.

Die Radialzuwächse (Mittelwerte von jeweils fünf Untersuchungsbäumen) der Fichtenkollektive der mäßig frischen, wechselfeuchten und vernässenden Standortseinheit sind logarithmisch über den Kalenderjahren dargestellt. Ab ca. 1930 weisen die Fichten der mäßig frischen Standortseinheit im Mittel die höchsten, die Fichten der vernässenden Misse die geringsten Radialzuwächse auf. Die relativen Amplituden der kurz- und mittelfristigen Schwankungen der drei Kollektive sind etwa gleich groß. Ab Mitte der 50er Jahre ist ein Anstieg der Radialzuwächse zu beobachten und seit etwa 1970 pendeln diese auf einem hohen Niveau.

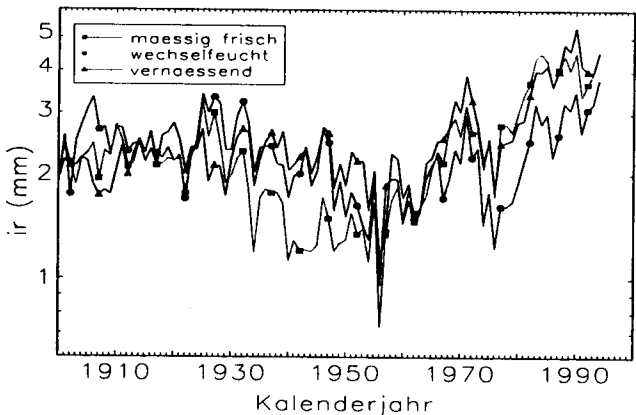


Abbildung 2: Mittlere jährliche Radialzuwachsreihen der Tannenkollektive aus dem Forstbezirk Bad Liebenzell.

Die mittleren Radialzuwächse der Tannenkollektive sind wie oben beschrieben dargestellt. Ab ca. 1960 weisen die Tannenkollektive einheitlich einen starken Anstieg der mittleren Radialzuwächse auf.

Die trendbereinigten Radialzuwachsindexwerte der Fichtenkollektive sind in Abbildung 3 dargestellt. Die mittlere Interserienkorrelation verdeutlicht die große Ähnlichkeit zwischen den Chronologien, sie nimmt von  $r=0.85$  zwischen der mäßig frischen und der wechselfeuchten Standortseinheit zur vernässenden Standortseinheit hin ab ( $r=0.68$ ).

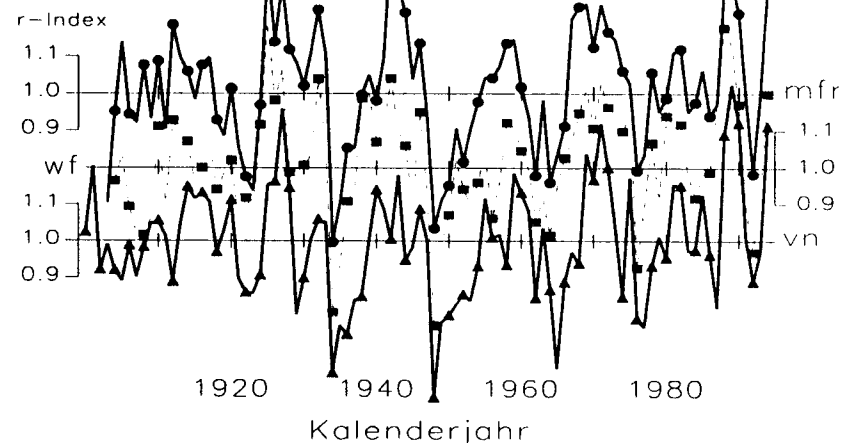


Abbildung 3: Radialzuwachschronologien der Fichtenkollektive aus dem Forstbezirk Bad Liebenzell.

Die Radialzuwächse wurden mit dem Stochastischen Trendmodell in mittelwertstationäre Indexwerte transformiert und zu Radialzuwachschronologien verdichtet. Wasserhaushaltsstufen mfr: mäßig frisch (Punkt), wf: wechselfeucht (Quadrat), vn: vernässend (Dreieck).

Allen Fichtenchronologien gemeinsame, negative Weiserjahre im Zeitraum 1910 bis 1994 sind in den Jahren 1934, 1948, 1976 und 1992 festzustellen. In den Jahren 1958, 1965, 1977 und 1987 treten markante Gegenläufigkeiten zwischen der Radialzuwachschronologie der Fichten der vernässenden Standortseinheit und den Vergleichschronologien auf. Negative Weiserjahre der Tannenchronologien sind die Jahre 1929, 1934, 1956 und 1976. Gegenläufigkeiten sind weniger auffällig als bei den Fichten.

Aus Tabelle 3 wird deutlich, daß die Kollektive der mäßig frischen und wechselfeuchten Standortseinheit für beide Baumarten homogener sind als das Vergleichskollektiv. Tendenziell sind zeitlich übergreifende Zusammenhänge in den Radialzuwachschronologien der Fichten der mäßig frischen Standortseinheit stärker ausgeprägt als bei den Fichten der Vergleichsstandorte, während die Fichten der vernässenden Standortseinheit tendenziell eine größere Sensitivität aufweisen. Diese Unterschiede sind bei den Tannen weniger stark ausgeprägt.

**Tabelle 3: Statistische Kenngrößen der Radialzuwachschronologien aus dem Forstbezirk Bad Liebenzell bezogen auf den Zeitraum 1900 bis 1994.**

Kollektiv	Korrelation mit Referenz*	Autokorrelation Lag 1**	Mittlere Sensitivität
Fichte mfr	0.72	0.55	0.155
Fichte wf	0.73	0.47	0.160
Fichte vn	0.68	0.49	0.180
Tanne mfr	0.80	0.51	0.185
Tanne wf	0.83	0.30	0.177
Tanne vn	0.64	0.53	0.185

\* Referenz ist die jeweils aus den Radialzuwachsindexreihen aller anderen Bäume im Bezugskollektiv gebildete Radialzuwachschronologie. Angegeben sind die Mittelwerte des Pearson'schen (Kreuz-) Korrelationskoeffizienten,  $r_{xy}$ , mit  $\nu = 95-2$  FG (alle Werte sind signifikant,  $\{\text{Prob} > |r_{xy}|\} \leq 0.0001$ ).

\*\* Mittelwerte der Autokorrelationskoeffizienten,  $\phi_p$ , zu Lag  $p = 1$ , mit  $\nu = 95-3$  FG (alle Werte sind signifikant,  $\{\text{Prob} > |\phi_p|\} \leq 0.0001$ ).

Als Ursache für die beschriebene synchrone Beschleunigung des Radialzuwachses der Fichten und Tannen in jüngerer Zeit sind im wesentlichen zwei Faktoren denkbar: eine Veränderung der Konkurrenzverhältnisse und/oder eine Veränderung der Standortsproduktivität (Spiecker et al., 1994). Die exakte Bestimmung der Ursache wird dadurch erschwert, daß es neben der Änderung der Standortverhältnisse auch andere Umwelteinflüsse gibt die das Dickenwachstum nachhaltig beeinflussen.

Die beobachteten negativen Weiserjahre stimmen gut mit in der Literatur beschriebenen Weiserjahren überein (vgl. Kahle, 1994). Es sind überwiegend Jahre oder Folgejahre von Jahren, in denen extreme Witterungsbedingungen wie Trockenheit (1934, 1947 und 1976 vgl. Spiecker, 1990; Elling, 1993; Kahle, 1994) oder extreme negative Temperaturanomalien (1928/1929, 1956 und 1987; vgl. Gerecke, 1986; Anonymus, 1987; Mayer et al., 1988; Bosch & Rehfuess, 1988; Spiecker, 1990; Elling, 1993) zu gleichgerichteten Zuwachsreaktionen geführt haben. Die beobachteten markanten Gegenläufigkeiten zwischen der Radialzuwachschronologie der Fichten der vernässenden Standortseinheit und den Vergleichschronologien stehen teilweise (z.B. 1958 und 1977) in einem zeitlichen Zusammenhang zu den oben beschriebenen negativen Weiserjahren. Damit wird die Vermutung gestützt, daß es sich bei diesen Beobachtungen um den Ausdruck eines standörtlich unterschiedlichen Regenerationsverhaltens handelt.

### 3.2 Das Wachstum von Fichten und Buchen auf Sommer- und Winterhängen in der hochmontanen Höhenstufe des Südschwarzwalds

In Tabelle 4 werden die Untersuchungsbaumkollektive aus dem Feldberggebiet anhand waldwachstumskundlicher Kenngrößen charakterisiert. Die Fichten des NE-exponierten

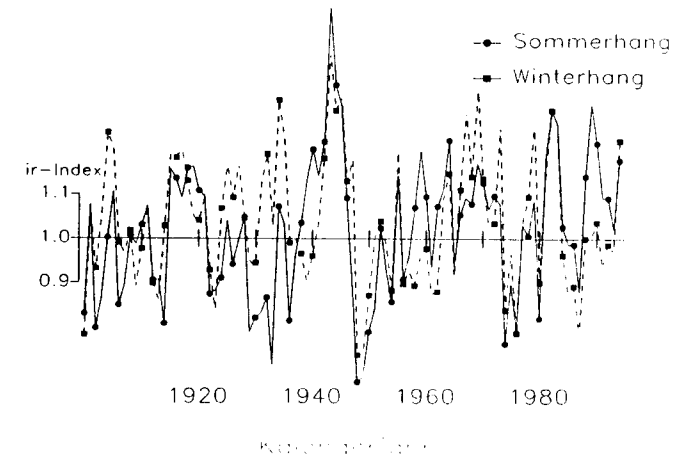
Winterhangs sind bei gleichem  $t_{1.3}$ -Alter deutlich höher als die Fichten des SW-exponierten Sommerhangs (vgl. Weihe, 1955). Auch im Brusthöhendurchmesser liegen die Fichten vom Winterhang bezogen auf dasselbe Alter über dem des Vergleichskollektivs. Die Buchen sind im Mittel älter als die Fichtenvergleichskollektive. Die Buchen des Winterhangs sind im Alter 50 dicker als die des Sommerhangs.

**Tabelle 4: Waldwachstumskundliche Kenngrößen von Fichten und Buchen aus dem Feldberggebiet.**

Kollektiv	Alter 1995	Höhe im Alter 80	Durchmesser	
	Spannweite u. Mittelwert		im Alter 50	im Alter 80
	a	m	cm	cm
Fichte SH*	123-146/133	17.0	22.6	32.1
Fichte WH*	109-126/121	21.2	25.7	34.2
Buche SH	119-155/139	-	13.9	22.6
Buche WH	143-175/161	-	15.7	22.2

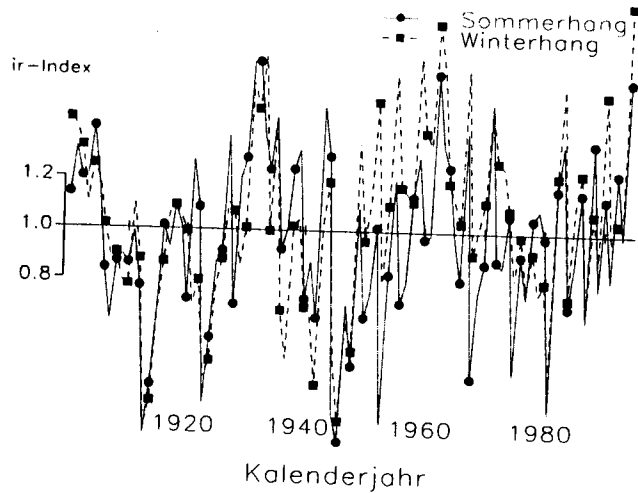
\* Exposition SH: Sommerhang (SW), WH: Winterhang (NE).

Die trendbereinigten Radialzuwachsindexwerte der Fichten- und Buchenkollektive sind in den Abbildungen 4 und 5 dargestellt.



**Abbildung 4: Radialzuwachschronologien der Fichtenkollektive aus dem Feldberggebiet.**

Die Radialzuwächse wurden mit dem Stochastischen Trendmodell in mittelwertstationäre Indexwerte transformiert und zu Radialzuwachschronologien verdichtet.



**Abbildung 5: Radialzuwachschronologien der Buchenkollektive aus dem Feldberggebiet.**

Die Radialzuwächse wurden mit dem Stochastischen Trendmodell in mittelwertstationäre Indexwerte transformiert und zu Radialzuwachschronologien verdichtet.

Die Kollektive beider Baumarten weisen jeweils signifikante Übereinstimmungen in den kurzfristigen Zuwachsreaktionen auf. Im Zeitraum 1900 bis 1994 beträgt die mittlere Interserienkorrelation für die Fichtenkollektive  $r=0.62$  und für die Buchenkollektive  $r=0.76$ .

Beiden Fichtenkollektiven aus dem Feldberggebiet gemeinsame, negative Weiserjahre im Zeitraum 1900 bis 1994 sind in den Jahren 1948 (absolutes Minimum), 1974 und 1976 festzustellen. Negative Weiserjahre bei den Buchen sind: 1913, 1923, 1946 und 1981. Wie bei den Fichten sind sich die Buchen-Radialzuwachschronologien jedoch sowohl in der Richtung der Ausschläge als auch in der Schwankungsamplitude sehr ähnlich, so daß Gegenläufigkeiten zwischen den Radialzuwachschronologien der Untersuchungsbäume vom Sommer- und Winterhang sehr selten auftreten.

Im Vergleich zu den Fichten-Radialzuwachschronologien zeigen die Buchen einen deutlich größeren Streubereich. Dies kommt auch in der größeren Standardabweichung und größeren mittleren Sensitivität zum Ausdruck (Tab. 5). Demgegenüber dominieren bei den Fichtenchronologien die nach der Trendbereinigung verbleibenden mittelfristigen Schwankungen, wie sich an der größeren Autokorrelation zeigt.

**Tabelle 5: Statistische Kenngrößen der Radialzuwachschronologien von Fichten und Buchen aus dem Feldberggebiet bezogen auf den Zeitraum 1900 bis 1994.**

Kollektiv	Korrelation mit Referenz	Standardabweichung	Autokorrelation Lag 1*	Mittlere Sensitivität**
Fichte Feldberg	0.690	0.210	0.569	0.147
Fichte Silberberg	0.724	0.191	0.518	0.141
Buche Feldberg	0.807	0.385	0.286	0.441
Buche Silberberg	0.763	0.414	0.333	0.407

\* Referenz ist die jeweils aus den Radialzuwachsindexreihen aller anderen Bäume im Bezugskollektiv gebildete Radialzuwachschronologie. Angegeben sind die Mittelwerte des Pearson'schen (Kreuz-) Korrelationskoeffizienten,  $r_{xy}$ , mit  $\nu = 95-2$  FG (alle Werte sind signifikant,  $\{\text{Prob} > |r_{xy}|\} \leq 0.0001$ ).

\*\* Mittelwerte der Autokorrelationskoeffizienten,  $\phi_p$ , zu Lag  $p = 1$ , mit  $\nu = 95-3$  FG (alle Werte sind signifikant,  $\{\text{Prob} > |\phi_p|\} \leq 0.0001$ ).

#### 4. Schlußfolgerungen und Ausblick

Der Vergleich des Wachstums von Fichten und Tannen auf einer mäßig frischen, wechselfeuchten und vernässenden Standortseinheit im Oberen Buntsandstein des Flächenschwarzwalds hat ergeben, daß sich die Untersuchungsbäume der verschiedenen Standorte in ihren Radialzuwachsreaktionen sehr ähnlich sind. Nur in wenigen Jahren sind gegenläufige Radialzuwachsreaktionen festzustellen. Möglicherweise besteht ein Zusammenhang zwischen dem Auftreten gegenläufiger Zuwachsreaktionen und extremen Witterungsverhältnissen.

Die untersuchten Fichten von einem NE-exponierten Winterhang in der hochmontanen Höhenstufe des Südschwarzwalds (1330 m ü.NN) weisen, bezogen auf dasselbe Alter, im Mittel größere Höhen und größere Brusthöhendurchmesser auf als die Fichten des SW-exponierten Sommerhangs. Die Radialzuwachschronologien der untersuchten Buchen auf denselben Standorten zeigen eine deutlich größere Sensitivität und Standardabweichung als die Fichten. Bei den Fichten wiederum sind zeitlich übergreifende Zusammenhänge in den Radialzuwachschronologien stärker ausgeprägt. Beim Vergleich der Radialzuwachsreaktionen sind weder bei den Fichten noch bei den Buchen deutliche Unterschiede zwischen den Standortkollektiven festzustellen. Diese Ergebnisse überraschen, denn es war nicht zu erwarten, daß in der hochmontanen Höhenstufe die Zuwachsreaktionen der Bäume auf dem wärmebegünstigten Sommerhang denen auf dem Winterhang so ähnlich sind.

Im nächsten Schritt sollen die noch ausstehenden Standorts- und Baumdaten erhoben und durch die Ergebnisse der Isotopen-, Dichte- und Zellstrukturanalyse ergänzt werden. Daran schließt sich die quantitative Analyse der Zusammenhänge zwischen der Variation von Klima und Witterung und den Wachstumsreaktionen auf der Grundlage zeitvariabler statistischer Modelle an. Die bisher erzielten ersten Ergebnisse sprechen dafür, daß aus der Kombination der verschiedenen Analysemethoden und der gemeinsamen Auswertung der vier untersuchten Baumarten entlang der beschriebenen Höhen- und Expositionsgradienten

interessante Einblicke in die räumliche Differenzierung der Wachstums- und Zuwachsabläufe gewonnen werden können.

## 5. Literatur

- Anonymus 1987. Kalter Winter setzt den Tannen hart zu. *Staatsanzeiger für Baden-Württemberg* 36, Nr. 43.
- Baillie, M.G.L. & Pilcher, J.R. 1973. A simple crossdating program for tree-ring research. *Tree-Ring Bulletin* 33: 1-15.
- Bosch, C. & Rehfuess, K.E. 1988. Über die Rolle von Frostereignissen bei den "neuartigen" Waldschäden. *FwCbl* 107: 123-130.
- Elling, W. 1993. Immissionen im Ursachenkomplex von Tannenschädigung und Tannensterben. *AFZ* 48: 87-95.
- Gerecke, K.L. 1986. Zuwachsuntersuchungen an vorherrschenden Tannen aus Baden-Württemberg. *AFZ* 157: 59-68.
- Holmes, R.L. 1983. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. *Tree-Ring Bulletin* 43: 69-75.
- Kahle, H.P. 1994. Modellierung der Zusammenhänge zwischen der Variation von klimatischen Elementen des Wasserhaushalts und dem Radialzuwachs von Fichten (*Picea abies* (L.) Karst.) aus Hochlagen des Südschwarzwalds. Dissertation Univ. Freiburg: 184 S.
- Kahle, H.P. & Spiecker, H. 1995. Standortbezogene dendroökologische Untersuchungen entlang von Höhenprofilen im Schwarzwald - Arbeitshypothesen und Forschungskonzeption. *FZKA-PEF* 130: 115-125.
- Mayer, H.; König, C. & Rall, A. 1988. Identifikation von Witterungsereignissen mit pflanzenphysiologischer Streßwirkung für Waldbäume. *FwCbl* 107: 131-140.
- Mosteller, F. & Tukey, J.W. 1977. *Data Analysis and Regression*. Reading, MA: Addison-Wesley. 588 S.
- Riemer, T. 1994. Über die Varianz von Jahrringbreiten. Statistische Methoden für die Auswertung der jährlichen Dickenzuwächse von Bäumen unter sich ändernden Lebensbedingungen. Dissertation Univ. Göttingen: 375 S.
- Spiecker, H. 1990. Zusammenhänge zwischen Waldwachstum und der Variation von Klima und Witterung auf langfristig beobachteten Versuchsflächen in Baden-Württemberg. Beschreibung eines Forschungsvorhabens. *Bericht Sektion Ertragskunde im DVFF*: 324-332.
- Spiecker, H.; Mielikäinen, K.; Köhl, M. & Untheim, H. (eds.) 1994. Growth Trends of European Forests - Has Site Productivity Changed? *European Forest Institute Working Paper* 4: 68 S.
- Van Deusen, P.C. 1991. Trend monitoring with varying coefficient models. *Forest Science* 37: 1365-1375.
- Visser, H. & Molenaar, J. 1990. Estimating trends in tree-ring data. *Forest Science* 36: 87-100.
- Weihe, J. 1955. Das Wachstum der Fichte nach den badischen Versuchsflächen. *Schriftenreihe der Badischen Forstlichen Versuchsanstalt* 11: 85 S.
- Yamaguchi, D.K. 1986. Interpretation of cross correlation between tree-ring series. *Tree-Ring Bulletin* 46: 47-54.

## Simulation und Bewertung von Emissionsminderungsmaßnahmen für Ozonvorläufersubstanzen im südlichen Oberrheingraben

A. Obermeier, R. Friedrich, C. John, J. Seier  
 Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (IER)  
 Universität Stuttgart

### Zusammenfassung

Im Rahmen des hier diskutierten PEF-Projektes werden für das Gebiet des südlichen Oberrheingrabens zunächst die anthropogenen Emissionen an Ozonvorläufersubstanzen für den Bezugszeitraum 1990 bzw. eine mehrtägige Episode im August 1990 ermittelt. Ausgehend davon werden in verschiedenen Szenarien die emissionsseitigen Auswirkungen bereits beschlossener und zusätzlicher Minderungsmaßnahmen für einen Vergleichszeitraum im August des Jahres 2005 ermittelt. Die vom Institut für Meteorologie und Klimaforschung im Rahmen eines weiteren PEF-Projektes zu bestimmenden Ozonverteilungen dienen schließlich als Grundlage zur Bewertung der immissionsseitigen Auswirkungen der Emissionsminderungsmaßnahmen.

Im vorliegenden Bericht wird zunächst die Emissionssituation für die anthropogen emittierten Ozonvorläufersubstanzen im Bezugszeitraum 1990 eingehender analysiert. Die Zusammensetzung und stoffbezogenen Wirkungen von NMVOC-Emissionen werden dabei in den Mittelpunkt gestellt und vergleichend bewertet. Für die besonders relevanten Bereiche Straßenverkehr und Lackanwendung wird anschließend am Beispiel Baden-Württembergs die Ausgestaltung von Emissionsszenarien für das Jahr 2005 diskutiert.

### Emissions of Ozone Precursors and their Control in the Upper Rhine Valley

#### Summary

In the framework of this research project emissions of ozone precursors in the year 1990 and during an episode of several days in August 1990 will be calculated for the upper Rhine valley, which includes parts of the federal state of Baden-Württemberg, France and Switzerland. Based on this emission inventory for the reference case in 1990, different scenarios of the emissions in 2005 will be developed. Within a trend scenario present legal regulations concerning air pollution control will be taken into account. A second scenario will include additional measures for emission reduction, whose implementation is not enforced by actual regulations.

Within another project of PEF, the Institute of Meteorology and Climate Research in Karlsruhe is calculating ozone concentrations for the emission reference case and the emission scenarios for the corresponding episodes in 1990 and 2005. The results will be used as a basis for the assessment of the effects of emission control measures on ambient concentrations of ozone.

This paper starts with a more detailed analysis of the emissions of anthropogenic ozone precursors in the state of Baden-Württemberg and the Alsace in 1990. The analysis is mainly focussed on the composition and the ozone forming potentials of the NMVOC-emissions being released by numerous source categories. Then, the development of emission scenarios for the state of Baden-Württemberg will be presented exemplary for the most important source categories of road transport and paint application.