Zeitschrift: Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss foresty journal = Journal forestier suisse

Herausgeber: Schweizerischer Forstverein

Band: 146 (1995)

Heft: 10

Artikel: Bewertung des Gesundheitszustandes von Föhren-Jungbeständen im immissionsbelasteten Gebiet des Mittel-Urals

Autor: Schwanin, Sergej / Kalinin, Valeri / Sweschnikow, Valeri

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-766999

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 08.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Bewertung des Gesundheitszustandes von Föhren-Jungbeständen im immissionsbelasteten Gebiet des Mittel-Urals

Von *Sergej Schawnin, Valeri Kalinin, Valeri Sweschnikow, Stanislaw Motschalow*

Keywords: air pollution, forest health, increment, Ural region.

FDK 181: 45: 174.7 Pinus: 228: 425: 561: (47)

Einleitung

Waldschadeninventur in den immissionsbelasteten Gebieten ist eine der aktuellen Aufgaben beim ökologischen Monitoring der Wälder. Die damit verbundene Erfassung des Gesundheitszustandes von Waldbeständen kann mit verschiedenen Methoden gelöst werden. Besonders verbreitet ist die Methode, die auf der terrestrischen Beurteilung der wichtigsten äusseren Merkmale (z.B. Nadel- bzw. Blattverlust) basiert (*Fimuschin,* 1975; *Antanajtis,* 1986; *Müller, Stierlin,* 1986). In der Kombination mit anderen relevanten Faktoren – Windrichtung, Konzentration der Schadstoffe im Schneewasser bzw. im Niederschlag und in der bodennahen Luftschicht – kann die Effektivität dieser Methode höher sein (*Berland,* 1975).

Eine andere Möglichkeit besteht in der Ermittlung des Verfallindexes einer Biogeozönose (*Stepanow*, 1988).

In jüngerer Zeit werden für die Diagnostik des Gesundheitszustandes von Waldbeständen physiologische Methoden verwendet. Die Hauptvorteile dieser Forschungsrichtung sind eine rasche Analyse des Schadbildes und die Verknüpfung mit konkreten quantitativen waldbaulich-dendrometrischen Charakteristiken des Bestandes, was die Objektivität der Einschätzung erhöht.

Die grundsätzlichen Möglichkeiten einer solchen Komplexdiagnostik sind bereits früher gezeigt worden (*Kalinin, Kryuk, Luganskij, Shavnin,* 1992).

Das Ziel der vorliegenden Forschungsarbeit ist die Weiterentwicklung dieser Methode beim grossflächigen Monitoring der Wälder.

Objekte und Methodik

Komplexe waldbaulich-physiologische Untersuchungen von Föhren-Jungbeständen wurden 1989/90 in einem stark durch die Industrie belasteten Gebiet, 50 km nordöstlich von Jekaterinburg (Zentrum des Mittel-Urals) in der Nähe der Städte Rewda

und Perwouralsk vorgenommen, wo die Luftverschmutzung sehr gross ist. Die Hauptquelle der Luftverschmutzung in diesem Raum ist der Kupferschmelzbetrieb in der Stadt Rewda, dessen Ausstoss pro Jahr rund 130 000 Tonnen Schwefeldioxyd, 2500 Tonnen Kupfer, 1700 Tonnen Zink, 1000 Tonnen Fluorwasserstoffe sowie Verbindungen von Blei, Arsen und anderem beträgt.

Die Erhebungen wurden in den Föhren-Jungbeständen (*Pinus sylvestris* L.) künstlicher Entstehung durchgeführt, die 1954/55 und 1965 bis 1968 in verschiedenen Beständen der Föhren-Waldgesellschaften im Mittel-Ural gepflanzt worden sind. Das sind vorwiegend reine Föhrenbestände (Dickung und schwaches Stangenholz), teilweise mit schwacher Beimischung von naturverjüngter Birke (bis 20%), die mit Ausnahme der Zone mit starken Schäden den höchsten Bonitätsklassen (I–II) zugeordnet sind und einen Bestandesschlussgrad von mindestens 0,7 aufweisen.

Bei den 30jährigen Beständen variiert die Baumhöhe je nach Schadstufe von 4,2 bis 14,7 m, der Brusthöhendurchmesser von 4,9 bis 13,4 cm. Bei 20jährigen Beständen betragen die entsprechenden Kennwerte 5,1 bis 12,3 m bzw. 4,3 bis 12,3 cm. Auf typischen Standorten wurden in diesen Beständen rechteckige Versuchsflächen mit mindestens 200 Bäumen angelegt. Nach der Vollkluppierung der Bäume wurde der Mitteldurchmesser der Föhre ermittelt. Baumhöhe sowie jährlicher Höhen- und Radialzuwachs wurden auf jeder Versuchsfläche bei 3 bis 5 Modellbäumen gemäss der Methode des Mittelbaumes ermittelt (*Moltschanow, Smirnow,* 1967).

Um die Variation der Daten der physiologischen Messungen zu verringern, wurden auf jeder Versuchsfläche 40 bis 50 Bäume mit einem mittleren Durchmesser ausgewählt. Bei diesen Bäumen wurden der Brusthöhendurchmesser, der Radialzuwachs für die letzten 5 Jahre und der niederfrequente elektrische Widerstand *(Impedance)* des an das Kambium grenzenden Gewebekomplexes gemessen. Diese *Impedance* wurde bei einer Frequenz 1 kHz mit Hilfe von zwei 4 cm langen Nadelelektroden aus Stahl, die senkrecht im Abstand von 1 cm in den Stamm eingesetzt wurden, ermittelt.

Ausserdem wurden bei 5 Bäumen Nadelproben des letzten Jahres aus dem mittleren Kronenteil gesammelt und in den Plastiksäcken (im feuchten Zustand) ins Labor gebracht, wo sie am gleichen Tag einer spektrophotometrischen Analyse für die Ermittlung des Chlorophyll-Gesamtgehaltes unterworfen wurden (*Polewoj,* 1978).

Insgesamt sind 35 Versuchsflächen untersucht worden, die 3 bis 35 km vom Kupferschmelzbetrieb entfernt sind. In der vorliegenden Publikation werden die Ergebnisse von 19 Versuchsflächen diskutiert *(Tabelle 1)*.

Als Kontrolle für gleichaltrige Bestände dienten je eine Versuchsfläche (Nr. 57 für 20jährige und Nr. 27 für 30jährige Bestände), die beide ausserhalb der schädlichen Wirkung der Luftverschmutzung liegen.

Weil das Alter untersuchter Bestände von 17 bis 37 Jahre variiert, was eine grosse Höhen- und Durchmesservariation verursacht und die Beurteilung des Bestandeszustandes erschwert, wurden bei der Auswertung umgerechnete Höhen- und Durchmesserwerte für die Alter 20 und 30 Jahre verwendet.

Für die komplexe waldbaulich-physiologische Einschätzung des Bestandszustandes wurde ein zusammenfassender Kennwert (Gesamtindex des Zustandes [GIZ]) verwendet, der als geometrischer Mittelwert von einzelnen Zustandsindexen (IZ) berechnet wurde. Die letzteren (IZ) wurden für jede einzelne Bestandescharakteristik mittels der Harrington-Funktion (*Harrington,* 1965) ermittelt, die einen nichtlinearen Zusammenhang zwischen Effekt und Dose berücksichtigt. Die eingehende Begründung der

Wahl von Kodierungsgleichungen und der Koeffizientenberechnung ist in der Publikation von *Kalinin et al.* (1992) beschrieben.

Wenn die GIZ-Grösse mehr als 50 Punkte betrug, wurde der Gesundheitszustand des Bestandes als gut, bei 37 bis 50 Punkten als befriedigend und bei 20 bis 37 Punkten als schlecht beurteilt.

Die erhobenen Daten wurden statistisch ausgewertet.

Tabelle 1. Charakteristik der untersuchten Föhrenbestände auf den Versuchsflächen.

Nummer der Versuchsfläche	*Entfernung vom Kupferschmelzbetrieb(KSB) km*	*Richtung vom KSB*	*Waldgesellschaft*	*Alter Jahre*
50	4	O	PHF	24
45	3,5	O	KGFF	32
47	4	O	PHF	33
51	5	O	PHF	34
42	5,5	O	PHFF	32
53	5,5	N-W	PHF	19
18	5,5	S-O	PHFF	37
30	6	N-W	PHF	24
19	8	N-O	PHF	22
20	8	N	KGF	32
21	9	N-O	PHFF	17
38	9	N-O	PHFF	25
54	9,5	S-W	KGFF	23
12	10,5	S-O	PHF	35
13	14	S-O	PHFF	36
39	15	O	KGF	28
29	30	O	PHF	22
57	21	S-W	KGFF	23
27	35	O	PHF	35

Legende:

Richtung: O–Ost, N–Nord, W–West, S–Süd.
Waldgesellschaft:
PHF – Preiselbeer-Heidelbeer-Föhrenwald;
PHFF – Preiselbeer-Heidelbeer-Fichten-Föhrenwald;
KGF – Kräuterreicher Grünmoos-Föhrenwald;
KGFF – Kräuterreicher Grünmoos-Fichten-Föhrenwald.

Ergebnisse und Diskussion

Die Ergebnisse der morphometrischen und physiologischen Messungen der Bestandescharakteristiken auf den Versuchsflächen sind in der *Tabelle 2* dargestellt. Die Analyse der Daten zeigt, dass erwartungsgemäss die Mittelwerte von Durchmesser, Höhe und Radialzuwachs abnehmen und die *Impedance* des Kambialkomplexes immer ausgeprägter wird, je näher die Bestände beim Verschmutzungszentrum (Kupferschmelzbetrieb) liegen. Dies weist auf die Wachstumsdepression hin, die durch Abnahme der Kambiumaktivität, der Intensität des Ionenaustauschs und der Dichte des Leitungsgewebes (Parenchym) gekennzeichnet ist (*Kaschiro,* 1976; *Kaschiro, Chas-*

sanow, Doroshkin, 1988). Der Gesamtindex des Zustandes (GIZ) wurde separat für die Gesamtheit der morphometrischen Charakteristiken und für ihre Kombination mit den Zustandsindexen (IZ) der einzelnen physiologischen Parameter ermittelt. Dabei ergaben sich folgende t-Grössen (normierte Abweichung): t = 1 für umgerechnete Höhen- und Durchmesserwerte 20- und 30jähriger Bestände sowie für den Durchmesserzuwachs bei 30jährigen Beständen; t = 1,25 für den Höhenzuwachs von 20jährigen und t = 1,3 von 30jährigen Beständen; t = 2,6 für den Radialzuwachs 20jähriger Bestände; t = 1,7 für den Chlorophyllgehalt; t = 3,4 für *Impedance* bei 20jährigen und t = 1,6 bei 30jährigen Beständen.

Wie aus der *Tabelle 3* ersichtlich ist, stimmen die IZ einzelner physiologischer Charakteristiken nicht mit dem GIZ von morphometrischen Daten überein. So betrug z. B. auf der Versuchsfläche Nr. 45 der GIZ-Wert 47,1 Punkte, während IZ-Grössen der *Impedance* 59,8 Punkte und des Chlorophyllgehaltes 20,7 Punkte ergaben. Dieses Ergebnis weist auf einen befriedigenden Zustand des Wachstumsverlaufes, eine gute Entwicklung des Kambialkomplexes des Stammes und eine erhebliche Beschädigung des Photosynthese-Apparates hin. Die Gründe, die einen Nadelbefall ausgelöst haben, sind schwer zu erfassen. Insbesondere könnte dies auf einen zeitweise verstärkten Ausstoss von Pollutanten bzw. auf sauren Regen hinweisen, was zur Verschlechterung des Bestandszustandes geführt hat.

Tabelle 2. Diagnostische Charakteristiken der Föhrenbestände (X ± s).

Nummer der Versuchsfläche	*Höhe m*	*Durchmesser cm*	*Radialzuwachs für 5 Jahre mm*	*Höhenzuwachs für 5 Jahre m*	*Chlorophyll-gehalt mg/g Trockenmasse*	*Impedance kOm*
50	5,5 ± 0,6	5,7 ± 0,7	4,3 ± 1,7	0,9 ± 0,3	2,565 ± 0,387	19,5 ± 3,4
45	9,3 ± 1,1	13,0 ± 3,1	4,0 ± 2,4	1,3 ± 0,5	2,324 ± 0,424	16,4 ± 3,6
47	12,7 ± 1,5	10,8 ± 1,0	3,1 ± 1,5	0,8 ± 0,4	3,778 ± 0,355	20,5 ± 4,1
51	13,2 ± 2,5	11,3 ± 0,9	3,6 ± 1,3	1,4 ± 0,5	3,636 ± 0,360	19,6 ± 3,6
42	10,3 ± 1,7	11,4 ± 0,9	4,9 ± 1,6	1,4 ± 0,3	3,830 ± 0,104	15,4 ± 2,2
53	5,9 ± 0,5	4,4 ± 0,5	2,0 ± 0,8	1,5 ± 0,2	3,510 ± 0,247	25,3 ± 4,1
18	11,6 ± 1,5	11,7 ± 1,2	3,4 ± 1,6	1,5 ± 0,2	3,864 ± 0,149	19,8 ± 3,4
30	4,9 ± 0,6	3,7 ± 0,3	4,4 ± 2,1	1,5 ± 0,4	–	22,8 ± 4,1
19	6,6 ± 0,6	5,1 ± 0,5	3,4 ± 1,6	1,8 ± 0,3	3,637 ± 0,113	21,6 ± 3,4
20	10,9 ± 1,8	10,9 ± 0,9	7,0 ± 2,3	1,9 ± 0,3	–	14,2 ± 2,2
21	6,5 ± 0,9	5,4 ± 0,6	4,8 ± 1,7	2,1 ± 0,5	–	20,7 ± 3,4
38	7,8 ± 0,7	7,1 ± 0,9	5,5 ± 1,9	1,7 ± 0,5	3,469 ± 0,335	15,9 ± 1,9
54	9,5 ± 1,8	11,3 ± 1,1	7,9 ± 1,9	2,5 ± 0,4	–	16,0 ± 2,7
12	11,5 ± 2,0	10,1 ± 1,7	3,1 ± 1,4	1,8 ± 0,2	–	15,8 ± 2,2
13	12,9 ± 1,9	10,4 ± 1,1	2,5 ± 1,3	1,3 ± 0,3	3,680 ± 0,367	19,3 ± 3,8
39	12,9 ± 1,5	11,6 ± 0,5	3,9 ± 1,5	2,4 ± 0,4	4,057 ± 0,819	17,5 ± 2,3
29	6,8 ± 0,7	8,6 ± 1,6	11,3 ± 3,3	2,8 ± 0,5	–	15,5 ± 2,0
57	7,6 ± 2,5	9,3 ± 3,5	11,5 ± 2,2	2,9 ± 1,0	3,554 ± 0,454	15,5 ± 1,8
27	11,8 ± 2,5	13,8 ± 5,8	5,5 ± 1,8	1,5 ± 0,5	–	16,1 ± 1,7

Legende:
X = Mittelwert; s = Standardabweichung.

Daraus ist als Schlussfolgerung eine relative Unabhängigkeit einzelner Zustandseinschätzungen auf verschiedenen Strukturebenen und andererseits ihre Bedeutung für die Volldiagnostik des Objektes zu ziehen.

Tabelle 3. Zustandsindexe der Föhrenbestände (X ± s).

Nummer der Versuchsfläche	*GIZ-m*	*IZ-imp*	*IZ-chl*	*GIZ-m + imp*	*GIZ-k*
50	31,2 ± 3,2	45,9 ± 15,2	28,0 ± 13,6	33,7 ± 3,5	32,8 ± 3,8
45	47,1 ± 11,2	59,8 ± 30,8	20,7 ± 13,5	49,4 ± 10,6	42,7 ± 8,9
47	41,5 ± 9,4	20,4 ± 36,7	55,5 ± 1,8	36,1 ± 14,5	38,7 ± 12,9
51	52,6 ± 8,1	28,9 ± 35,3	59,9 ± 1,8	46,7 ± 12,7	48,7 ± 11,1
42	53,2 ± 6,4	67,7 ± 15,7	53,8 ± 3,4	55,8 ± 5,9	55,5 ± 4,9
53	29,9 ± 2,2	20,2 ± 16,5	61,1 ± 1,4	27,6 ± 4,8	31,6 ± 4,6
18	50,6 ± 9,9	26,9 ± 33,0	52,7 ± 13,0	44,6 ± 13,0	45,8 ± 11,2
30	29,3 ± 2,1	30,9 ± 18,6	–	29,6 ± 3,9	–
19	36,4 ± 3,3	36,4 ± 15,4	59,9 ± 3,4	36,4 ± 4,1	39,6 ± 3,7
20	63,1 ± 5,2	75,6 ± 12,6	–	65,4 ± 4,8	–
21	40,3 ± 3,4	40,5 ± 15,7	–	40,3 ± 4,2	–
38	41,0 ± 6,1	60,9 ± 7,4	59,9 ± 10,1	46,8 ± 5,0	49,7 ± 4,5
54	61,6 ± 4,0	60,5 ± 10,2	–	61,4 ± 3,8	–
12	49,1 ± 9,4	64,7 ± 17,3	–	51,9 ± 8,5	–
13	44,0 ± 10,1	31,9 ± 38,7	58,6 ± 11,3	41,3 ± 12,6	43,7 ± 11,2
39	60,5 ± 8,7	49,9 ± 22,1	46,1 ± 28,7	58,2 ± 8,5	55,9 ± 8,9
29	58,6 ± 4,7	62,4 ± 7,3	–	59,4 ± 4,1	–
57	62,4 ± 9,2	62,4 ± 6,5	62,4 ± 12,9	62,4 ± 7,5	62,4 ± 6,6
27	62,4 ± 10,5	62,4 ± 13,8	–	62,4 ± 8,8	–

Legende: In der Tabelle sind IZ- und GIZ-Grössen angegeben, die nach folgenden Charakteristiken ermittelt wurden: morphometrische Daten (GIZ-m), *Impedance* (IZ-imp), Chlorophyllgehalt (IZ-chl), Kombination morphometrischer Daten und *Impedance* (GIZ-m+imp). GIZ-k = zusammengefasster (komplexer) Gesamtindex des Zustandes, der unter Berücksichtigung der ganzen Gesamtheit untersuchter Charakteristiken ermittelt wurde.

Es ist bemerkenswert, dass das Ergebnis der Komplexeinschätzung unter Berücksichtigung der ganzen Gesamtheit der gemessenen Charakteristiken sich vom GIZ-Wert, der aus morphometrischen Daten ermittelt wird, durchschnittlich um 2 bis 5 Punkte unterscheidet. Diese kleine Differenz ist darauf zurückzuführen, dass sich beide Verfahren auf die gleichen Diagnostikprinzipien stützen, die sich am Vergleich der Wachstumsintensität ausrichten: vier von sechs untersuchten Merkmalen werden unmittelbar durch den Verlauf des Höhen- und des Durchmesserwachstums bestimmt.

Auf der anderen Seite lässt sich durch die Verwendung von physiologischen Charakteristiken die Einschätzungsobjektivität erhöhen, was für die Erfassung des Schadbildes in frühen Entwicklungsstufen der Bestandesschäden besonders wichtig ist.

Die Analyse der GIZ-Dynamik hat bestätigt, dass der Gesundheitszustand in der Regel umso besser ist, je weiter ein Föhrenbestand vom Zentrum der Luftverschmutzung entfernt ist *(Tabelle 3)*. Zudem zeigt der Vergleich der GIZ-Werte, dass auch bei gleichem Abstand der Bestände vom Kupferschmelzbetrieb das Schadausmass in verschiedenen Richtungen unterschiedlich ist. So sind die Schäden in den Richtungen Süd-Ost (Versuchsflächen Nr. 12, 23) und Nord-Ost (Versuchsflächen Nr 21, 38) stärker ausgeprägt und werden auf einer grösseren Entfernung vom Betrieb beobachtet, was mit den vorherrschenden Windrichtungen (dominierende Windrichtungen: West und Nord-West) und mit dem Geländerelief (Gebirge im Osten, das die Verbreitung von Pollutanten vermindert) übereinstimmt.

Entsprechend der GIZ-Grösse auf den Versuchsflächen können nach unseren Ergebnissen drei Schadzonen ausgeschieden werden, wobei die Grenzen dieser Zonen keine richtige elliptische Form aufweisen, wie dies früher für dieses Gebiet aufgrund theoretischer Berechnungen festgestellt worden ist (*Fimuschin,* 1975).

Das kompliziertere Grenzenprofil der Zonen ist auf ihre naturgemässe, mosaikartige Verteilung zurückzuführen. Auf der Versuchsfläche Nr. 45 ergab sich beispielsweise eine GIZ-Grösse von 42,7 Punkten, was einem befriedigenden Bestandeszustand entspricht. In der Nähe dieser Fläche im Abstand von 2 bis 0,5 km liegen zwei andere Versuchsflächen, Nr. 50 mit einem GIZ-Wert von 32,8 (schlechter Zustand) und Nr. 47 mit einem GIZ-Wert von 38,7 (befriedigender Zustand). Dieser Unterschied ist von verschiedenen Faktoren abhängig. Die Versuchsfläche Nr. 45 befindet sich z.B. in Geländefalten, die den Bestand vor direkter Pollutantenwirkung schützen. Ausserdem ist dieser Bestand einer Waldgesellschaft (kräuterreicher Grünmoos-Fichten-Föhrenwald) im Tal des Tschussowaja-Flusses zugeordnet, die durch relativ reiche Böden, gute hydrologische Verhältnisse bzw. durch hohe Ertragsleistung und Resistenz gekennzeichnet ist. Ein weiterer wichtiger Grund, der das Grenzenprofil der Schadzonen beeinflusst, ist die Existenz weiterer Luftverschmutzungsquellen ausser dem Kupferschmelzbetrieb in diesem Industriegebiet. Darauf sind insbesondere im Vergleich zu näherliegenden Beständen tiefere GIZ-Werte auf den Versuchsflächen Nr. 13, 30, 53, 21 und 19 zurückzuführen. Dies zeigt, dass die Expressdiagnostik, die sich auf Berücksichtigung morphometrischer und physiologischer Daten stützt, nicht nur über eine hohe Empfindlichkeit verfügt, sondern auch auf zusätzliche relevante Faktoren hinweist, die den Bestandeszustand beeinflussen können.

Im Rahmen der vorliegenden Forschungsarbeit wurde auch eine Untersuchung des Wachstumsverlaufs für die Ermittlung der Gesetzmässigkeiten in der Bestandesentwicklung unter dem Einfluss anthropogener Belastung durchgeführt. Zu diesem Zweck haben wir die Dynamik des Durchmesser- und des Höhenwachstums der 20- und 30jährigen Föhrenbestände analysiert.

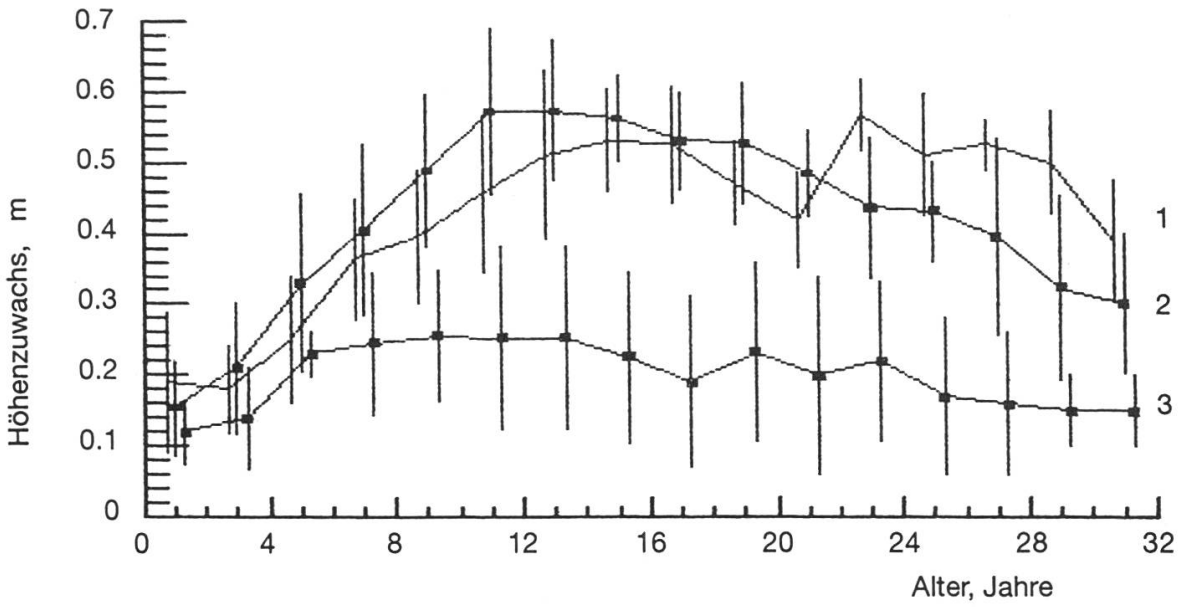

Abbildung 1. Dynamik des Höhenzuwachses bei den Föhrenbeständen mit der GIZ-Grösse:
1 > 50 Punkte; 2 30–50 Punkte; 3 < 30 Punkte.

Es ist anzunehmen, dass die Modellbäume, die unter gleichen Standortsbedingungen gedeihen und eine gleiche Schadstufe aufweisen, der gleichen statistischen Generalrepräsentanz zugeordnet werden können.

Davon ausgehend, haben wir für die Zuwachsdatei einzelner Modellbäume statistische Reihen je nach Schadstufe gebildet:

ohne Schäden: Bestände mit GIZ-Grösse > 50 Punkte;
mittlere Schäden: GIZ-Grösse = 50–30 Punkte;
starke Schäden: GIZ-Grösse < 30 Punkte.

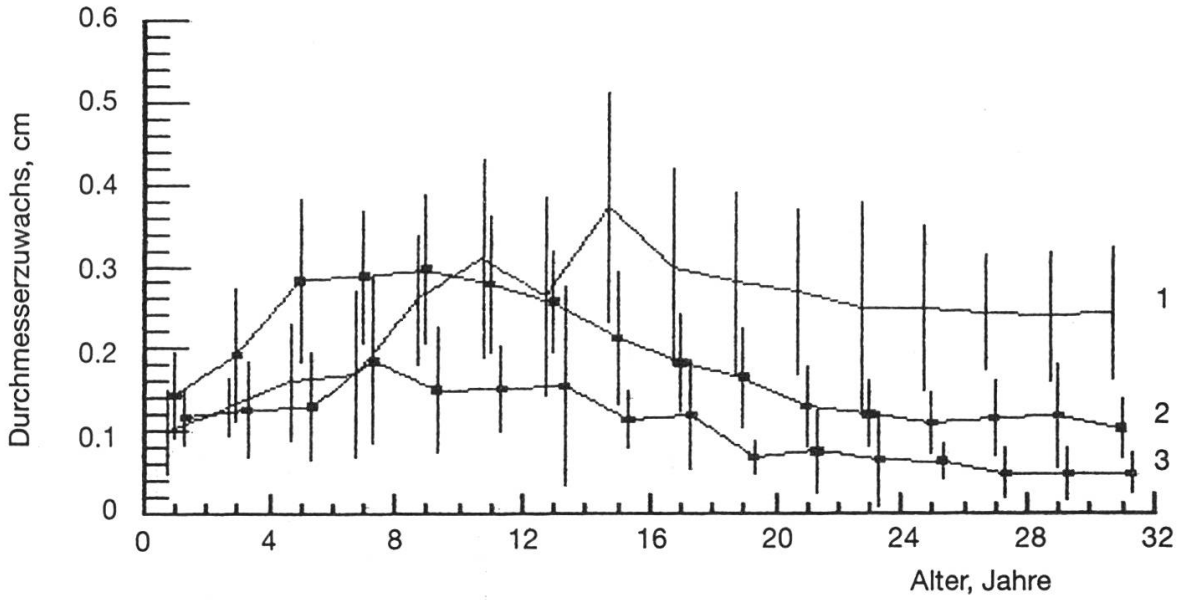

Abbildung 2. Dynamik des Durchmesserzuwachses bei den Föhrenbeständen mit der GIZ-Grösse: 1 > 50 Punkte; 2 30–50 Punkte; 3 < 30 Punkte.

Aus den *Abbildungen 1* und *2,* in denen die Dynamik von Durchmesser- und Höhenzuwachs dieser drei Gruppen der Bestände dargestellt ist, ist ersichtlich, dass die Bestände mittlerer Schadstufe eine signifikante Zuwachsreduktion (Höhe und Durchmesser) nach dem Alter von 10 bis 15 Jahren aufweisen, während bei Beständen ohne Schäden keine Zuwachsreduktion in diesem Alter beobachtet wird. Dies führt zur zeitlichen Verschiebung des Zuwachsmaximums vom Alter 15 bis 25 Jahre bei gesunden Beständen auf das Alter 8 bis 12 Jahre bei Beständen mit mittleren Schäden (GIZ-Grösse = 30 bis 50 Punkte). Bei Beständen mit starken Schäden (GIZ-Grösse < 30 Punkte) sind hingegen gar keine signifikanten Höchstwerte des Durchmesser- und Höhenzuwachses im Laufe des ganzen Baumlebens festgestellt worden, wobei zu bemerken ist, dass die absoluten Zuwachswerte in diesen Beständen im Vergleich zu anderen signifikant tiefer sind.

Die Untersuchungsergebnisse bestätigen also die Wachstumsdepression der Föhren-Jungbestände in den Zonen mittlerer und starker Schäden. Weil es in den fünf Jahren vor der Untersuchung keine Ausstosszunahme beim Kupferschmelzbetrieb gab, scheinen für die Erklärung der Zuwachsreduktion bei Beständen mittlerer Schadstufe in den letzten 15 bis 20 Jahren folgende Gründe wichtig zu sein: gewisse Beschleunigung der biologischen Entwicklung unter dem Einfluss von anthropogenem Stress (*Nikolaewskij,* 1978) und Reduktion der biologischen Produktivität der Bestände, die insbesondere mit der Schädigung des photosynthetischen Apparats und mit der Hemmung des gesamten Ener-

giewechsels verbunden ist (*Barachtenowa, Nikolaewskij,* 1988). Die Ergebnisse der vorliegenden Forschungsarbeit lassen also darauf schliessen, dass der zusammenfassende Kennwert (Gesamtindex des Zustandes [GIZ]), der unter Berücksichtigung waldbaulicher, morphometrischer und physiologischer Charakteristiken ermittelt wird, für die Diagnostik des Gesundheitszustandes von Waldbeständen auf früheren sowie späteren Schadstufen sehr informativ ist, und seine Verwendung beim ökologischen Regionalmonitoring sinnvoll sein kann.

Literatur
(*Original in russischer Sprache)

**Antanajtis, V. V.,* 1986: Monitoring der Wälder und Forsteinrichtung. In: Monitoring der Waldökosysteme. Ber. wissensch. Sympos. Akad. d. Wissensch. UdSSR. Kaunas: 5–6.

**Barachtenowa, L. A., Nikolaewskij, V. S.,* 1988: Einfluss von Schwefeldioxid auf die Photosynthese der Pflanzen. Verlag Nauka Sibir. Abt. Akad. d. Wissensch. UdSSR. Nowosibirsk. 84 S.

**Berland, M. E.,* 1975: Moderne Probleme der atmosphärischen Diffusion und der Luftverschmutzung. Hydrometeoverlag. Leningrad. 448 S.

**Fimuschin, B. S.,* 1975: Gesetzmässigkeiten des Wachstums unter dem Einfluss von Immissionen bei Föhrenbeständen und Methodik der Schadenbewertung in der vorstädtischen Zone Swerdlowsk. Diss. Forstl. Fak. Ural. Forsttechn. Hochsch. Swerdlowsk. 173 S.

Harrington, E. C., 1965: The desirability function. Industrial Quality Control. Vol. 21, 10 : 494–498.

Kalinin, V. A., Kryuk, V. I., Luganskii, N. A., Shavnin, S. A., 1992: Modell for assessing status of damaged tree stands. The Soviet Journal of Ecology. January 1992: 149–154 (A translation of Ekologiya 1991, Vol. 22, 3: 21–28).

**Kaschiro, Ju. P.,* 1976: Methoden und Apparatur für die Umweltforschung in den ersten Entwicklungsstufen der Pflanzen. In: Mitt. Forsch.anst. Ökologie d. Pflanz. u. Tiere Ural. Abt. Akad. d. Wissensch. UdSSR. Swerdlowsk. H. 100: 56–98.

**Kaschiro, Ju. P., Chassanow, N. H., Doroshkin, E. M.,* 1988: Elektrischer Widerstand des dem Kambium angrenzenden Gewebekomplexes bei Föhre (*Pinus sylvestris* L.) und seine diagnostischen Möglichkeiten. In: Wälder und Forstwirtschaft im Ural. Verlag Ural. Staatsuniv. Swerdlowsk. H. 14: 183–188.

**Moltschanow, A. A., Smirnow, V. V.,* 1967: Methodik der Zuwachsforschung bei den Holzarten. Verlag Nauka. Moskau. 95 S.

Müller, E., Stierlin, H.-R., 1986: Sanasilva-Kronenbilder mit Nadel- und Blattverlustprozenten. Eidg. Anst. forstl. Versuchswes. Birmensdorf. 98 S.

**Nikolaewskij, V. S.,* 1978: Biologische Grundlagen der Gasresistenz bei den Pflanzen. Verlag Nauka Sibir. Abt. Akad. d. Wissensch. UdSSR. Nowosibirsk. 278 S.

**Polewoj, V. V. (Hrsg.),* 1978: Methoden biochemischer Analyse der Pflanzen. Verlag Staatsuniv. Leningrad. 192 S.

**Stepanow, A. M.,* 1988: Methodologie der Bioindikation und Monitoring der Festlandökosysteme. In: Ökotoxikologie und Naturschutz. Verlag Nauka Moskau: 28–108.

Verfasser: Dr. Sergej Schawnin, Dr. Valeri Kalinin und Valeri Sweschnikow, Fachbereich Biophysik, Uralische Forsttechnische Hochschule, Sibirian trakt 37, Ekaterinburg, 620032 Russland. Dr. Stanislaw Motschalow, Fachbereich Forstkulturen, Uralische Forsttechnische Hochschule, Sibirian trakt 37, Ekaterinburg, 620032 Russland.