

## Ökologische Grundlagen für Benadelungsgrenzwerte von *Pinus sylvestris* L.

Reiner Cornelius, Frank Darius, Andreas Faensen-Thiebes und Gabriele Meyer

### Synopsis

In Berlin and Brandenburg the evaluation of pine-forest decline is based on the life-span of the needles. However, an ecological basis for the standard longevity of the needles is missing in this region. The life-duration of needles corresponds with needle biomass of the trees. As tree growth is based on needle biomass, photosynthetic capacity, and biomass allocation, a balance model was constructed which connects needle life-span with growth components and survival probabilities. The model integrates data from forest research programmes in Berlin and other parts of Europe. On the basis of the C-balance threshold values were derived.

*Pinus sylvestris* L., needle life-span, biomass, photosynthetic capacity, balance model

### 1. Einleitung

Die Kiefer nimmt im Berliner Raum aufgrund ihres hohen Bestockungsanteils eine herausragende Stellung ein. Im Rahmen der Waldschadenserhebung in den Berliner Forsten beruht die Einschätzung des Gesundheitszustandes der Kiefernbestände im wesentlichen auf der Erfassung des Benadelungsgrades. Dabei wird der Ist-Zustand der Benadelung mit einem Erwartungswert verglichen (BERLINER FORSTEN 1990). Die Herleitung dieses Erwartungswertes ist jedoch mit einer Unsicherheit verbunden: Angaben in der Literatur über die normale Lebensdauer der Kiefernadel schwanken je nach Autor zwischen den Extremen 1 (BURCKHARDT 1889) bis 5 Nadeljahrgänge (SCHÖPFER & HRADETZKY 1983), aber auch alle Zwischenstufen sind zu finden (z. B. GUSSONE 1986, FRAUDE 1987). Den Hintergrund für die große Spannweite der Aussagen zum Normalwert der Benadelung bilden die räumlichen und zeitlichen Variationen der Standortfaktoren sowie die genetische Variabilität innerhalb und zwischen unterschiedlichen Provenienzen. Ziel der vorliegenden Studie ist es, ökologische Grundlagen zur Bildung eines Normalwertes der Kiefernbenadelung in Form eines konzeptionellen Modells darzustellen und dabei die standörtliche Situation im Berliner Raum zu berücksichtigen. Als Grundlage für die Modellierung dienen daher in erster Linie eigene Ergebnisse aus dem Berliner Waldschadens-forschungsprogramms "Ballungsraumnahe Waldökosysteme" (UMWELTBUNDESAMT & SENATSWERWALTUNG FÜR STADTENTWICKLUNG UND UMWELTSCHUTZ 1990). Zusätzlich wurden Daten anderer Forschungsprogramme zur Ökologie der Kiefer in das Modell integriert.

### 2. Grundlegender Modellansatz

Den Ansatzpunkt der vorliegenden Untersuchung bildet die Funktion der Nadeln, Assimilate für den Betriebs- und Aufbaustoffwechsel bereitzustellen. Immissionsbedingte Nadelverluste oder Einschränkungen der Leistungsfähigkeit der Nadeln führen zu Einschränkungen dieser Stoffwechselfvorgänge. Diese Zusammenhänge sind in der folgenden allgemeinen Gleichung (verändert nach LARCHER 1984) dargestellt:

$$PPb = R + VA + VK + DB$$

PPb = Bruttoprimärproduktion, R = Respiration, VA = Abfall, VK = Verluste durch Konsumption, DB = Zuwachs an Trockensubstanz

In dieser Gleichung werden die Einnahmen den Ausgaben in Form einer Bilanzierung gegenübergestellt. Auf der Einnahmenseite steht die Bruttoprimärproduktion, die die Summe aller Assimilationsvorgänge beinhaltet. Die Assimilationsleistung pro Baum berechnet sich dabei aus dem Produkt der jährlichen CO<sub>2</sub>-Fixierung und den vorhandenen Nadelmassen. Die Ausgaben umfassen drei Bereiche: die Atmungsprozesse, die Verlustgrö-

ßen wie Fraß und Streu und die Zuwachsgrößen. Bei letzteren kann wiederum in zwei Gruppen unterschieden werden: Zum einen diejenigen, deren Ausbleiben in einem Zeitmaßstab von ein oder zwei Jahren tolerierbar ist, wie etwa das Stamm- oder Astdickenwachstum, zum anderen die innerhalb eines Jahres unverzichtbaren. Diese umfassen das Feinwurzelwachstum und die Nadelproduktion einschließlich der sie tragenden Zweigstrukturen. Vergleicht man die Höhe der Einnahmen mit dem Umfang der obligaten Ausgaben, so kann abgeschätzt werden, ob die Einnahmen den jährlichen Assimilatbedarf decken oder ob der Baum seine im Stamm gespeicherten Kohlehydratreserven angreifen muß.

Eine entsprechende Bilanz wurde an einem für Berlin typischen Forststandort (Rostbraunerde, grundwasserfern, mäßig nährstoffversorgt) für eine 120-jährige Altkiefer (Brusthöhendurchmesser 30 cm) und eine 40-jährige Stangenholzkiefer (Brusthöhendurchmesser 16 cm) aufgestellt. Dabei wurden neben den Daten von CORNELIUS & FAENSEN-THIEBES (1990) zum Gaswechsel und zum Allokationsverhalten der Kiefer die Schadenssprachen von MEYER (1990) berücksichtigt. Zusätzlich wurden in das Modell vorläufige Meßdaten zu Feinwurzelproduktion (KALHOFF, persönliche Mitteilung) integriert. Da für die photosynthetisch inaktiven Organe der Kiefern zum Zeitpunkt der Berichterstattung noch keine umfassenden Respirationswerte vorlagen, kamen in diesem Bereich die Berechnungsverfahren von KÜNSTLE & MITSCHERLICH (1976,1977), ÅGREN & AXELSSON (1980), und LINDNER & TROENG (1981) jeweils alternativ zur Anwendung. Auf diese Weise entstanden drei Varianten der Bilanzierung.

### 3. Berechnung der durch die Assimilation pro Jahr produzierten Biomasse bei der Altkiefer

Die Basis der Produktionsberechnungen bilden die Assimilationsbilanzen, bezogen auf das Trockengewicht der einzelnen nach Sommer- und Winterwerten (Sommer: Mai- Oktober, Winter: November - April) differenzierten Nadeljahrgänge sowie die entsprechenden Nadelbiomassen pro Baum. Durch Multiplikation und Aufsummierung ergaben sich Assimilat-Einnahmen von insgesamt 120,3 kg CO<sub>2</sub> pro Baum und Jahr (Tab. 1). In dieser Berechnung sind die Ausgabeposten Nadelatmung sowie natürlicher und immissionsbedingter Streufall bereits berücksichtigt, ebenso der produktionsmindernde Einfluß vorhandener Nekrotisierungen und Chlorotisierungen sowie Licht- und Dunkelatmung.

**Tab. 1:** CO<sub>2</sub>-Assimilation pro Gramm Nadelrockenmasse, Nadelmasse pro Baum und CO<sub>2</sub>-Assimilation pro Baum, differenziert nach Nadeljahrgängen sowie nach Sommer- und Winterhalbjahr.

Jg.	Sommer (Mai-Okt.1990)			Winter (Nov.-April 1990/91)		
	g CO <sub>2</sub> / g TS	kg TS	kg CO <sub>2</sub> / Baum	g CO <sub>2</sub> / g TS	kg TS	kg CO <sub>2</sub> / Baum
1	5,86	5,84	34,22	0,89	5,66	5,04
2	6,55	6,61	43,29	0,91	5,96	5,42
3	5,32	4,86	25,86	0,53	2,86	1,52
4	2,66	1,86	4,95			
<b>Summe</b>			<b>108,32</b>			<b>11,98</b>
<b>Summe Sommer+Winter</b>			<b>120,30 kg CO<sub>2</sub>/Jahr/Baum</b>			

Die Ergebnisse der Tab. 1 bedürfen einer ergänzenden Transformation: Da die Nordseite der Krone weniger Licht erhält, muß der berechnete Gesamtbetrag um einen Faktor reduziert werden, der nach KÜNSTLE & MITSCHERLICH (1977) für diese Kronenseite 0,75 beträgt. Danach ergibt sich für die Nordseite ein Wert von 0,22 kg CO<sub>2</sub>/Jahr. Der Mittelwert aus Nord- und Südseite liegt danach bei 105,26 kg CO<sub>2</sub> pro Baum und Jahr. Nach Licht- und Schattenkrone wurde nicht differenziert, da der Anteil der Schattennadeln vernachlässigbar klein war.

#### 4. Verteilung des CO<sub>2</sub>-Gewinns bei der Altkiefer

Von den - in Biomasse umgerechneten - CO<sub>2</sub>-Einnahmen des Baumes wird ein gewisser Teil im Verlauf des Jahres durch Atmung verbraucht. Die CO<sub>2</sub>-Einnahmen müssen um diesen atmungsbedingten Verlust vermindert werden, um zu dem Anteil zu gelangen, der langfristig in Biomasse festgelegt werden kann. Für die Analyse der Verteilung der CO<sub>2</sub>-Gewinne sollen daher zunächst die Atmungsverluste berechnet werden.

Zur Bestimmung der Stamm- und Astatmung wurde die Ast- und Stammoberfläche mit den spezifischen Respirationswerten multipliziert. Die Stammoberfläche lag für den Probebaum bei 1312 dm<sup>2</sup>. Als Astoberfläche wurden 470 dm<sup>2</sup> für die Starkäste 1. Ordnung, 940 dm<sup>2</sup> für die Äste der zweiten Ordnung, 1880 dm<sup>2</sup> für die Äste der dritten Ordnung und 2115 dm<sup>2</sup> für die schwächeren Äste und Zweige berechnet. Als erste Variante wurden die oberflächenbezogenen Respirationswerte von KÜNSTLE & MITSCHERLICH (1977) in die Bilanzierung integriert. Danach ergab sich eine oberirdische Holzatmung von 22,7 kg CO<sub>2</sub> pro Baum und Jahr

Die Wurzelatmung wurde nicht direkt gemessen, sondern über eine Bilanzierung errechnet. Hierzu wurden die Einnahmen um die oberirdischen Atmungswerte sowie die jährlichen ober- und unterirdischen Biomassenzuwachsgößen vermindert. Den Rest in dieser Bilanz stellt die Wurzelatmung dar. Die Subtraktion der oberirdischen Holzatmung von den Einnahmen erfolgt rechnerisch noch auf der Ebene von CO<sub>2</sub>-Massen, da es sich in beiden Fällen um CO<sub>2</sub>-Massenflüsse handelt. Durch Multiplikation mit dem Faktor 0,68 wurden die verbliebenen CO<sub>2</sub>-Massen in Biomassen umgerechnet:

##### Berechnung 1:

$$\begin{array}{rclclcl}
 \text{Einnahmen} & & \text{H.-Atmung} & & \text{Rest} & & \text{Rest-Biomasse} \\
 \text{kg CO}_2 & & \text{kg CO}_2 & & \text{kg CO}_2 & & \text{kg TS} \\
 105,3 & - & 22,7 & = & 82,6 & * & 0,68 & = & 56,2
 \end{array}$$

Die Rest-Biomasse verteilt sich oberirdisch auf die jährliche Produktion von Nadeln, Ast- und Stammholz, Rinde und Zapfen. Sie belief sich auf insgesamt 17,5 kg TS/Jahr. Die Werte für die einzelnen Fraktionen sind in Tab. 2 zusammengestellt.

**Tab. 2:** Kohlenstoffbilanz für eine Altkiefer und eine Kiefer im Stangenholzalter aus dem Grunewald (Berlin). Angaben in kg/Jahr und in % der Einnahmen. Respirationswerte entsprechend ÅGREN & AXELSSON (1980) \* in kg/Jahr. Respirationswerte entsprechend LINDER & TROENG (1981) \*\* in kg/Jahr.

Biomassen	kg/TS	%	kg/TS	%	*	**
Einnahmen/Ausgaben	"Altkiefer"		"Stangenholzkiefer"			
Photosynthesebilanz	71,6	100	11,5	100		
-----						
Atmungswerte						
- oberirdisch	15,4	22	1,5	13	38,1	25,7
- unterirdisch	29,8	42	1,3	11	20,1	19,2
-----						
Allokationswerte						
obligat im Verlauf eines Jahres						
- Nadeln	5,8	8	1,2	10		
- Astholz	2,8	4	1,3	11		
- Rinde	0,8	1	0,2	2		
- Zapfen	2,2	3	-			
- Feinwurzeln	3,8	5	0,9	8		
obligat im Verlauf mehrerer Jahre						
- Stammholz	5,6	8	3,9	34		
- Grobwurzeln	3,3	5	1,2	10		
-----						
Differenz zwischen Einnahmen und kurzfristig obligaten Ausgaben		11,8		5,9		
-----						
Überschuß in % der Einnahmen		16,5		51,3		

Durch Verminderung der aus Berechnung 1 erhaltenen Gesamt-Biomasseneinnahmen (Rest-Biomasse) um die oberirdische Biomassenproduktion (o. BP) ergibt sich derjenige Anteil, der in Produktion und Atmung der unterirdischen Organe investiert wurde (u. BP + u. R):

**Berechnung 2. Angaben in kg TS:**

Rest-Biomasse		o. BP		u.BP + u.R
<b>56,2</b>	-	<b>17,5</b>	=	<b>38,7</b>

Dieser Wert muß noch um die Fein- und Grobwurzelproduktion vermindert werden (Berechnung 3). Hieraus ergibt sich letztlich die Wurzelatmung (u.R). Die Feinwurzelproduktion (FWP) betrug pro Jahr 3,8 kg, berechnet nach der Einwachszylindermethode, die der Grobwurzeln (GWP) belief sich auf 3,3 kg.

**Berechnung 3. Angaben in kg TS:**

u.BP + u.R		FWP	GWP		u.R
<b>36,6</b>	-	<b>(3,8 + 3,3)</b>	=		<b>29,5</b>

**5. Berechnung der durch die Assimilation pro Jahr produzierten Biomasse und Verteilung des CO<sub>2</sub>-Gewinns für eine Stangenholzkiefer**

Die Berechnung für die Stangenholzkiefer erfolgte in gleicher Weise wie bei der Altkiefer, jedoch wurde zusätzlich die Nadelmasse in einen Licht- und einen Schattenkronenanteil differenziert. Die CO<sub>2</sub>-Assimilation der Lichtkrone wurde mit 11,10 kg CO<sub>2</sub> /Jahr, die der Schattenkrone mit 5,83 kg CO<sub>2</sub> /Jahr berechnet. Da das Verhältnis der Nadelmassen beider Kronenbereiche gleich groß war, ergaben sich insgesamt 16,93 kg CO<sub>2</sub>-Einnahmen pro Baum und Jahr.

Die für die Berechnung der Stammatmung notwendige Stammoberfläche betrug für den Probebaum 467 dm<sup>2</sup>, die Astoberfläche 350 dm<sup>2</sup>. Durch Multiplikation mit der spezifischen Atmungskapazität nach KÜNSTLE & MITSCHERLICH (1977) ergab sich eine oberirdische Holzatmung von 2,22 kg CO<sub>2</sub> pro Baum und Jahr. Nach Subtraktion von den CO<sub>2</sub>-Einnahmen und Multiplikation mit dem Faktor 0,68 ergab sich die Rest-Biomasse:

**Berechnung 4:**

Einnahmen		H.-Atmung		Rest		Rest-Biomasse
kg CO <sub>2</sub>		kg CO <sub>2</sub>		kg CO <sub>2</sub>	*	kg TS
<b>16,9</b>	-	<b>2,2</b>	=	<b>14,7</b>	<b>0,68</b>	<b>= 10,0</b>

Die weiteren Berechnungen - Produktion und Atmung der unterirdischen Organe und die Wurzelatmung - erfolgte nach dem gleichen Schema wie bei den Altkiefern (s. Gleichung 2 und 3). Die zur Berechnung notwendigen Allokationswerte für die verschiedenen oberirdischen Fraktionen sind Tab. 2 zu entnehmen. Die Feinwurzelproduktion (FWP), berechnet nach der Einwachszylindermethode, betrug pro Jahr 0,9 kg, die der Grobwurzeln (GWP) 1,2 kg.

**Berechnung 5. Angaben in kg TS**

Rest-Biomasse		o.BP		u.BP + u.R
<b>10,0</b>	-	<b>6,6</b>	=	<b>3,4</b>

**Berechnung 6. Angaben in kg TS**

u.BP + u.R		FWP	GWP		u.R
<b>3,4</b>	-	<b>(0,9 + 1,2)</b>	=		<b>1,3</b>

## **6. Bilanz für die Altkiefer und die Kiefer im Stangenholzalter**

Auf der Basis der CO<sub>2</sub>-Einnahmen, der Atmungsverluste und der Biomassenallokation konnten nun die C-Bilanzen aufgestellt werden (Tab. 2). Zusätzlich sind in Tab. 2 die Werte eingetragen, die sich durch die Integration der Respirationsdaten von ÅGREN & AXELSSON (1980) und LINDER UND TROENG (1981) ergaben.

Die Bilanz ist auf der Basis von Variante 1 (Respirationsberechnungen entsprechend KÜNSTLE & MITSCHERLICH 1977) sowohl für die Alt- als auch für die Stangenholzkiefer im Verlauf des Meßzeitraums positiv. Die Einnahmen durch die Assimilation übertreffen jeweils die in Tab. 2 dargestellten obligaten Ausgaben. Dabei ist der prozentuale Überschuß bei den Stangenholzkiefern mehr als doppelt so hoch wie bei den Altkiefern. Als Ursache müssen die hohen Atmungsverluste der Altkiefern, vor allem im Wurzelbereich, angesehen werden. In Hinblick auf eine Simulation zunehmender Nadelverluste erscheint daher eine Differenzierung der C-Bilanzen nach dem Baumalter notwendig.

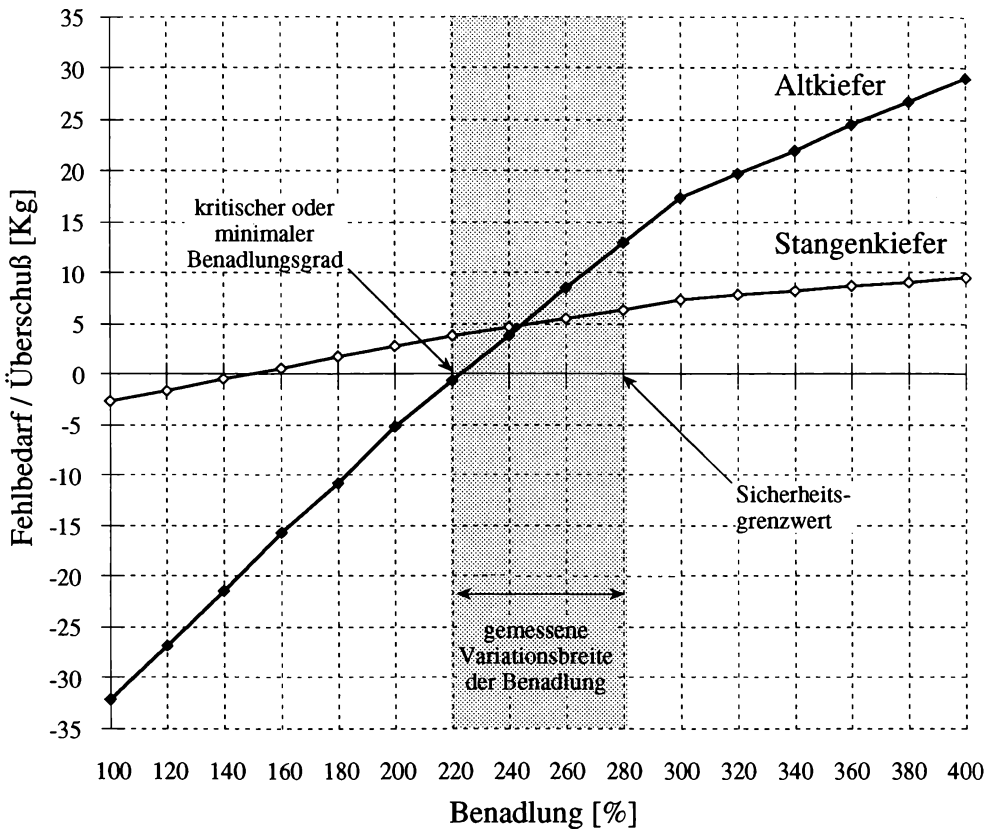
## **7. Simulation des Einflusses zunehmender Nadelverluste auf die Leistungsbilanz**

Ausgangspunkt der Simulation auf der Basis der dargestellten Bilanzierungsmethode bilden vier vollständig benadelte Jahrgänge im Sommer und drei vollständig benadelte Jahrgänge im Winter. Der Ausgangswert der Nadelmasse pro Jahrgang wurde für die Altkiefern mit 6,1 kg, für die Stangenholzkiefern mit 1,6 kg angesetzt. Dies entspricht jeweils den Mittelwerten der 100%-Benadelung während des Meßzeitraums 1986 -1989. Danach wurde, ausgehend vom letzten Nadeljahrgang, die Benadelung sukzessive reduziert und die jeweils resultierende C-Assimilation pro Baum berechnet. Nach Abzug der obligaten Ausgaben resultiert ein Wert, der dem Produktionsüberschuß oder dem Produktionsfehlbedarf entspricht. Neben der dargestellten Form der Nadelproduktion wurden auch die Auswirkungen anderer Reduktionsmodi getestet. Es ergaben sich jedoch nur geringfügige Unterschiede zu den in Abb. 1 dargestellten Ergebnissen.

Die Abweichungen des Zusammenhangs zwischen Überschußproduktion und Benadelungsgrad von der Linearität (s. Abb. 1) beruhen auf der unterschiedlichen Photosynthesekapazität der einzelnen Nadeljahrgänge. Auffallend sind die voneinander abweichenden Steigungen der Kurven für die Altkiefer und für die Stangenholzkiefer, aus denen unterschiedliche Kompensationspunkte resultieren. Während der Kompensationspunkt bei der Stangenholzkiefer bei nur 150% Benadelung erreicht wird, liegt er bei der Altkiefer bereits bei 220%. Wird der Kompensationspunkt unterschritten, so muß der Baum seine im Holz gespeicherten Kohlehydrate mobilisieren. Je nach Höhe der erforderlichen Zuschüsse aus dem Kohlehydratspeicher können damit die obligaten Ausgaben für einen gewissen Zeitraum trotz einer negativen Jahresbilanz garantiert werden. Der Tod tritt erst ein, wenn nach mehrjähriger Unterschreitung des Kompensationspunktes diese Sicherheitsvorräte erschöpft sind.

Eine Modellierung dieser Zusammenhänge erfordert über die vorliegende statische Verknüpfung der Daten hinaus eine dynamische Betrachtung sowie die Einbeziehung der Werte für die gespeicherten Kohlehydrate. Eine entsprechende Modellierung ist in Vorbereitung.

Werden für die Bilanzierung anstatt der nach KÜNSTLE & MITSCHERLICH (1977) berechneten Respirationswerte die nach ÅGREN & AXELSSON (1980), beziehungsweise die nach LINDER & TROENG (1981) berechneten Werte eingesetzt, so verschieben sich die Kompensationspunkte zu höheren Benadelungsgraden. In der vorliegenden Fassung wurde der Berechnungsweise nach KÜNSTLE & MITSCHERLICH der Vorzug gegeben, da es sich hierbei um Messungen aus einer vergleichbaren Klimazone handelt, während die Berechnungsarten der anderen beiden Autoren anhand schwedischen Datenmaterials entwickelt wurden.



**Abb. 1:** Zusammenhang zwischen dem Benadlungsgrad im Sommerhalbjahr und dem Überschuß beziehungsweise dem Fehlbedarf an Assimilaten am Beispiel einer 120-jährigen und einer 40-jährigen Kiefer in Berlin.

## 8. Schlußfolgerungen

Welche Hinweise ergeben sich aus den Modellierungen für die Schadensansprache im Berliner Raum?

1) Zunächst ist festzuhalten, daß das Ziel der Forstwirtschaft in Berlin darin besteht, einen naturnahen Wald aufzubauen (BERLINER FORSTEN 1991). Eine der Voraussetzungen für den Aufbau naturnaher Wälder besteht in der Erhöhung des Altholzanteils. Trotz des vorläufigen Charakters der vorliegenden Bilanzierung kann die Aussage getroffen werden, daß die Altkiefern besonders gefährdet sind. Bei der Schadensansprache muß daher besondere Aufmerksamkeit auf die Altkiefern gerichtet werden.

2) Weiterhin können zwei ökologisch bedeutsame Kardinalwerte der Benadlung abgeleitet werden. Der erste stellt den Kompensationspunkt dar. Er liegt nach den vorläufigen Berechnungen für Altkiefern bei 220% und für Stangenholzkiefern bei 150% Sommerbenadlung. Der Kompensationspunkt kann in Hinblick auf eine Grenzwert- oder Standardbildung als **kritischer oder minimaler Wert** bezeichnet werden. Ausgehend von diesem Minimalwert ist es notwendig, zusätzlich einen Sicherheits- oder Pufferungsbereich zu definieren. Dieser muß über den Kompensationspunkt hinaus die durch Klimaschwankungen verursachte zeitliche Variation der Benadlung umfassen. Diese Variation lag während des Meßzeitraums bei 60%, so daß hieraus ein vorläufiger **Sicherheitsgrenzwert** von 280 respektive 210% resultiert (Abb. 1). Für die Althölzer entspricht dies drei vollen Nadeljahrgängen zur Hauptproduktionszeit. Dieser Wert stimmt mit dem Referenzwert der Berliner Waldschadensinventur (BERLINER FORSTEN 1990) überein.

Der Sicherheitsgrenzwert stellt jedoch noch nicht den Normalwert dar. Der Normalwert ist aus der Bilanzierung nicht ableitbar, da in der Bilanzierung der immissionsbedingte Streufall bereits enthalten ist. Er muß jedoch über dem gemessenen mittleren Benadelungswerten von 290% für das Sommerhalbjahr liegen. Außerdem kann abgeleitet werden, daß es sich nicht um einen konstanten Wert sondern um einen Wertebereich handeln muß, der die natürlich bedingte zeitliche Variation der Benadelung umfaßt. Eine Möglichkeit zur Quantifizierung dieses Bereichs ergibt sich über den Vergleich der Benadelung unterschiedlich immissionsbelasteter Standorte. Ein solcher Vergleich wurde von GLUCH (1988) vorgenommen. Nach diesen in Sachsen-Anhalt durchgeführten Untersuchungen macht die Differenz zwischen den Belastungsstufen "gering" und "stark" etwa 70% Benadelung aus. Addiert man diesen Wert zum Sicherheitswert für Althölzer, so gelangt man zu einer vorläufigen Einschätzung von drei bis vier Nadeljahrgängen während der Vegetationsperiode als Normalwert für den Berliner Raum.

## Literatur

- AGREN, G. I. & B. AXELSSON, 1980: PT - A tree growth model. In: PERSSON, T. (ed.): Structure and Function of Northern Coniferous Forests. An Ecosystem Study. Ecol.Bull. (Stockholm) 32:525-536.
- BERLINER FORSTEN, 1990: Arbeitsanweisung für die terrestrische Waldschadensinventur in Berlin-West 1983-1990, Landesforstamt.
- BERLINER FORSTEN, 1991: Waldbaurichtlinien, Berlin.
- BURCKHARDT, H., 1889: Säen und pflanzen nach forstlicher Praxis. 5. Aufl. Trier.
- CORNELIUS, R. & A. FAENSEN-THIEBES, 1990: Photosynthese, Wasserhaushalt, Biomassenproduktion und Pflanzeninhaltsstoffe. In: Umweltbundesamt und Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz (Hrsg.): "Ballungsraumnahe Waldökosysteme", Abschlußbericht, Berlin, 65-79.
- FRAUDE, H.-J., 1987: Zur Anzahl der Nadeljahrgänge der Waldkiefer. Der Forst- und Holzwirt 15:415-417.
- GLUCH, W., 1988: Zur Benadelung von Kiefern (*Pinus silvestris* L.) in Abhängigkeit vom Immissionsdruck. Flora 181: 395-407.
- GUSSONE, H. A., 1986: Wieviel Nadeljahrgänge sind normal? Der Forst- und Holzwirt 12: 314.
- KÜNSTLE, E. & G. MITSCHERLICH, 1976: Photosynthese, Transpiration und Atmung in einem Mischbestand im Schwarzwald. III Atmung. Allgemeine Forst und Jagdzeitung 147:169-177.
- KÜNSTLE, E. & G. MITSCHERLICH, 1977: Photosynthese, Transpiration und Atmung in einem Mischbestand im Schwarzwald. IV Bilanz. Allgemeine Forst und Jagdzeitung 148:227-238.
- LARCHER, W., 1984: Ökologie der Pflanzen. Verlag Ulmer, Stuttgart, S.185.
- LINDER, S., TROENG, E. 1981: The seasonal variation in stem and coarse root respiration of a 20-year-old Scots Pine (*Pinus sylvestris*). Mitteilungen forstlicher Bundesversuchsanstalten Wien 142: 125-139.
- MEYER, G., 1990: Diagnostik und Schadenssymptome. In: Umweltbundesamt und Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz (Hrsg.): "Ballungsraumnahe Waldökosysteme", Abschlußbericht, Berlin, 83-90.
- SCHÖPFER, W. & J. HRADETZKY, 1983: Zielsetzungen, Methoden und Probleme der terrestrischen Waldschadensinventur Baden-Württemberg 1983. Mitt. forstl. Vers. u. Forschungsanst. Baden-Württemberg, Freiburg.
- UMWELTBUNDESAMT & SENATSVERWALTUNG FÜR STADTENTWICKLUNG UND UMWELTSCHUTZ (Hrsg.), 1990: Ballungsraumnahe Waldökosysteme. Abschlußbericht. 258 S.

Die dieser Veröffentlichung zugrunde liegenden Arbeiten sind Bestandteil des Untersuchungsprogramms "Ballungsraumnahe Waldökosysteme", das von der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz Berlin finanziert und in deren Auftrag durchgeführt wird.

## Adressen

Dr. R. Cornelius  
Dr. F. Darius  
Institut für Ökologie der TU  
Rothenburgstr. 12

Dr. G. Meyer  
Dr. A. Faensen-Thiebes  
Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz - III A 51 -  
Lindenstr. 20-25

1000 Berlin 41

1000 Berlin 61

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie](#)

Jahr/Year: 1992

Band/Volume: [21\\_1992](#)

Autor(en)/Author(s): Cornelius Reiner, Darius Frank, Faensen-Thiebes  
Andreas, Meyer Gabriele

Artikel/Article: [Ökologische Grundlagen für Benadelungsgrenzwerte von  
Pinus sylvestris L. 129-135](#)