# Aspekte einer maßnahmeorientierten Bewertung von Ergebnissen des Projektes »Ballungsraumnahe Waldökosysteme«

Reiner Cornelius, Frank Darius und Andreas Faensen-Thiebes

**Synopsis**
An interdisciplinary ecosystem analysis was performed to obtain basic concepts for the revitalization of forests damaged by air pollution. Here its results are evaluated with regard to the goals of an ecologically oriented silviculture. The assessment is based on a concept consisting of 4 submodels: 1. vitality of the trees, 2. stand regeneration, 3. element cycles and 4. vegetation structure. The main results of submodell 1 and 2 are presented. 1: The vitality of the trees is defined as a function of the reserves of carbohydrates available for mitigating stress effects. The dependence from the amount of needle mass is quantitatively modelled. This amount shows a maximum function, and the exact range of it strongly depends on climate, soil properties and pollution load. 2. The stand regeneration towards a forest structure close to natural vegetation is one of the targets of ecologically oriented silviculture, but it is essentially impeded by an increase in nitrogen availibilty. Aside from this also the veracity of this target is discussed.

*forest damages, Berlin, vitality of Pinus sylvestris, natural stand regeneration, evaluation of damages*

*Waldschäden in Berlin, Kiefernvitalität, Naturverjüngung, Schadensbewertung*

## 1. Einleitung

In den Jahren 1986 bis 1992 wurden im Rahmen des Forschungsvorhabens »Ballungsraumnahe Waldökosysteme« (BallWös) umfassende immissionsökologische Untersuchungen in den Berliner Waldgebieten durchgeführt (UMWELTBUNDESAMT & SENSTADTUM 1990, SENSTADTUM 1993). Die Projektergebnisse zeigten, daß sowohl die $SO_2$- als auch die Ozonbelastung deutlich über dem für Pflanzen tolerierbaren Level lagen. Darüber hinaus wurde deutlich, daß die von der Waldschadenserhebung erfaßten Gehölzschäden nur ein äußerlich sichtbares Merkmal für eine tiefgreifende Beeinträchtigung der Wälder durch Einträge sulfatbürtiger Säure, düngender und säurewirksamer Stickstoffverbindungen, basischer Stäube und Schwermetalle darstellen. Von der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz wurde daraufhin ein Programm initiiert, das auf der Basis der BallWös-Untersuchungen Maßnahmen zur Revitalisierung der Bestände und zur langfristigen Gesundung des Waldökosystems empfehlen sollte. Zwei Maßnahmenbündel standen in diesem Programm im Vordergrund: die Ableitung von Eckwerten für eine waldbezogene Luftreinhaltung und Empfehlungen zu flankierenden waldbaulichen Maßnahmen bzw. Standortmeliorationen (CORNELIUS & al. 1994). Beide Maßnahmengruppen mußten im engen Zusammenhang mit den Waldentwicklungszielen der Berliner Forstverwaltung gesehen werden, da sie die Maßstäbe für die Waldzustandsbewertung setzen.

Im folgenden werden die grundlegenden Aspekte dieser ziel- und maßnahmeorientierten Waldzustandsbewertung erläutert. Dazu werden zunächst die in den Gesetzen und Programmen formulierten waldbezogenen Umweltqualitätsziele und die damit verbundenen Waldentwicklungsvorhaben der Berliner Forstverwaltung aufgeführt. Es folgt die Darstellung des Bewertungskonzeptes, mit dessen Hilfe die vielfältigen und detaillierten Ergebnisse der von BallWös und weiteren Forschungsprogrammen zum Berliner Waldzustand in Beziehung zu diesen Zielvorstellungen gesetzt wurden. Schließlich wird der Bewertungsablauf anhand der Kiefernvitalität und Naturverjüngung exemplarisch dargestellt.

## 2. Gesetzliche und programmatische Zielvorgaben (von Stefan Kohl)

### 2.1 Waldgesetzgebung

Ziel des Bundeswaldgesetzes (BWaldG) ist es, » den Wald wegen seines wirtschaftlichen Nutzens und seiner Bedeutung für die Umwelt, insbesondere für die dauernde Leistungsfähigkeit des Naturhaushaltes, das Klima, den Wasserhaushalt, die Reinhaltung der Luft, die Bodenfruchtbarkeit, das Landschaftsbild, die Agrar- und Infrastruktur und die Erholung der Bevölkerung zu erhalten, erforderlichenfalls zu mehren und seine ordnungsgemäße Bewirtschaftung nachhaltig zu sichern« (§1, Abs.1, Nr.1). Holzertrag, Erholungsnutzung und ökologische Ausgleichsfunktionen stellen im Gesetz gleichrangige Ziele dar. Mit dem Gesetz zur Erhaltung des Berliner Waldes (LWaldG; 1979) wird einerseits der Rahmen des

Bundeswaldgesetzes ausgefüllt, andererseits werden deutliche Akzente auf die Erholungsnutzung und die Ausgleichsfunktionen gesetzt. Die Holzproduktion ist im Rahmen einer auf die anderen Ziele ausgerichteten Bewirtschaftung zu realisieren.

### 2.2 Forstliche Rahmenplanung

Als Instrument zur Konkretisierung der gesetzlichen Zielvorgaben nennt das BWaldG in § 6 die Forstliche Rahmenplanung, die in Berlin zwei Jahre nach der Veröffentlichung des Landeswaldgesetzes aufgestellt wurde (BERLINER FORSTEN 1982). Als zentraler Punkt des Berliner Rahmenplans muß die Abkehr vom Altersklassenwald und der Kiefernmonokultur angesehen werden. Die Bewirtschaftungsziele wurden stattdessen auf das Konzept vom Dauerwald ausgerichtet. Kahlhiebe wurden untersagt, und der spontane Gehölzaufwuchs sollte grundsätzlich übernommen werden. Bei Pflanzungen galt es insbesondere die Eichen zu fördern, die in der ursprünglichen Vegetation die dominierende Gehölzart darstellten. Daneben war auch der Anbau von nichtheimischen Nadelgehölzen wie Lärche, Douglasie und Strobe gestattet.

### 2.3 Berliner Waldbaurichtlinien

Die Wiedervereinigung Berlins und die damit verbundene neue Situation in der Raumplanung erforderte eine Aktualisierung der forstlichen Rahmenplanung. Im Vorgriff hierauf wurden neue Waldbaurichtlinien erarbeitet (SENSTADTUM 1992). Im Hinblick auf die immissionsökologische Waldzustandsbewertung enthalten diese Richtlinien gegenüber der alten Rahmenplanung vier bedeutsame Änderungen bzw. Ergänzungen:

- Die Bestandesregeneration soll soweit wie möglich durch Naturverjüngung erfolgen.
- Nichtheimische Gehölze sollen im Zuge der Durchforstung behutsam zurückgedrängt werden.
- Auf feste Umtriebszeiten wird verzichtet. Statt dessen soll die Nutzung nach der Zielstärkenregelung erfolgen.
- Der Altholzanteil soll erhöht werden. Prinzipiell sollen alle Bäume ihr potentielles biologisches Alter erreichen können.

### 2.4 Naturschutzgesetz und Berliner Landschaftsprogramm

Die Waldbauprogrammatik ist mit dem Berliner Naturschutzgesetz und dem korrespondierenden Landschaftsprogramm abgestimmt. Letztere setzen jedoch Akzente im Bereich des Artenschutzes und beim Schutz der Umweltmedien vor schädlichen Umwelteinflüssen. Berlinspezifische Umweltqualitätsziele für den Stoffhaushalt des Waldes werden jedoch auch hier nicht formuliert.

## 3. Aufstellung eines Bewertungsrahmens

Um zu einer zielorientierten Bewertung des Waldzustandes zu gelangen, mußten die physiologischen, bodenchemischen und populationsökologischen Inhalte der Waldökosystemuntersuchungen (BallWös) den zum Teil recht allgemein gehaltenen Gesetzen sowie den praxisorientierten Waldbaurichtlinien gegenübergestellt werden. Der hierzu beschrittene Lösungsweg ist in Abb. 1 dargestellt: Ausgehend von dem ökosystemaren Umweltqualitätsziel »Leistungsfähigkeit des Naturhaushaltes« wurden die vorhandenen Teilziele zu fünf inhaltlichen Gruppen zusammengefaßt. Ihnen stehen als Bausteine der Bewertung Modelle zur Baumvitalität und zum Stoffhaushalt bzw. Auswertungskonzeptionen zur Bestandesregeneration und zur Vegetationsstruktur gegenüber. Diesen Modellen bzw. Konzeptionen kam die Aufgabe zu, die Ergebnisse der Teilprojekte zusammenzuführen und im Hinblick auf die in den Modellen formulierten übergeordneten ökologischen Merkmale wie Gehölzvitalität, Geschlossenheit des Stoffkreislaufs, Bestandesregeneration und Populationserhalt gefährdeter Arten einzuschätzen. Zusammen bilden die vier Bausteine den Grundstock eines Ökosystemkonzeptes zur Beurteilung der Leistungsfähigkeit des Naturhaushaltes im Berliner Wald.

## 4. Bewertung

### 4.1 Beispiel: Gehölzvitalität

Obwohl die Berliner Forstverwaltung derzeit den Umbau zu Mischbeständen forciert, wird die Kiefer in den Berliner Forsten noch über einen längeren Zeitraum die Funktion als bestandesbildende Gehölzart inne haben. Bei den BallWös-Untersuchungen stand die Kiefer daher im Vordergrund. Entsprechend dem komplexen Sachverhalt der Gehölzvitalität hatte man dazu unterschiedliche Fachdisziplinen beauftragt. Diese konzentrierten sich auf die Schadensdiagnostik der Nadeln und den Benadelungsgrad (MEYER 1989 und KALHOFF 1993), auf den Gaswechsel und den Mineralstoffhaushalt (CORNELIUS & FAENSEN-THIEBES 1989), auf die Bewurzelung und den Feinwurzelzustand (ROSE & BALDER 1989, HECHT-BUCHHOLZ et al. 1989) und auf den Stammholzzuwachs (VON LÜHRTE 1992). Immis-

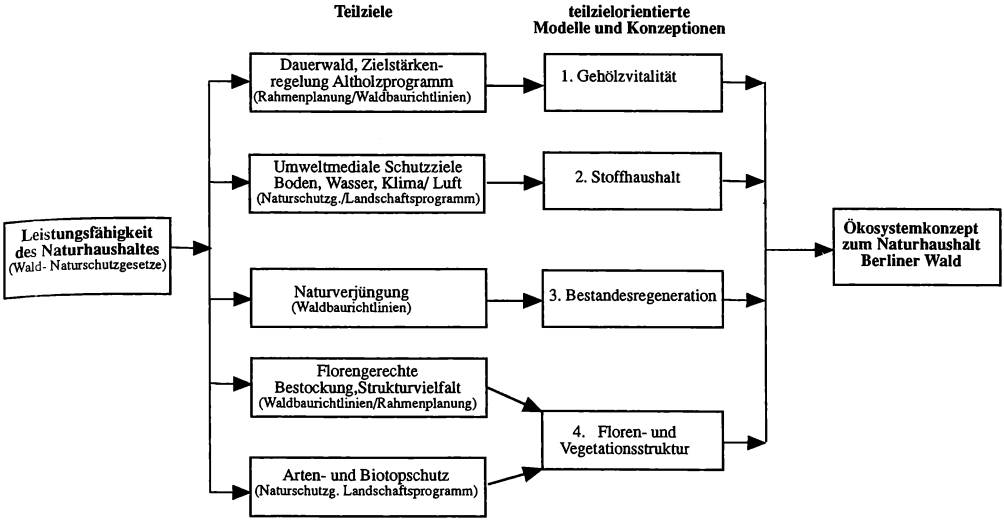


Abb. 1
**Gegenüberstellung der gesetzlichen und programmatischen Zielvorgaben zum Schutz und zur Entwicklung des Berliner Waldökosystems mit den Konzeptionen zur Zusammenführung und Bewertung der Ergebnisse der Waldökosystemanalyse.**

Fig. 1
**Concept to evaluate the results of the ecosystem studies according to the law of forest development and the principles of forest management in Berlin .**

sionseffekte konnten hinsichtlich der Photosynthese, des Nadelzustandes und der Nadelinhaltsstoffe festgestellt werden. Ein Einfluß auf den Benadelungsgrad muß diskutiert werden.

### 4.1.1. Das Kiefernvitalitätsmodell

Die Bewertung der von Teilprojekten gemessenen Einzeleffekte erfolgte entsprechend dem Bewertungskonzept (Abb. 1) im Hinblick auf das übergeordnete ökologische Merkmal Gehölzvitalität. Der Frage, was unter Gehölzvitalität physiologisch zu verstehen ist, wurde bereits im Rahmen der »Streß Hypothese« zu den Ursachen der Waldschäden nachgegangen (SCHÜTT 1984). Als Streß wurden danach alle abiotischen und biotischen Umweltfaktoren aufgefaßt, die eine Anspannung der Kohlenstoffbilanz des Baumes bewirken und damit die für das Wachstum unmittelbar verfügbare Assimilatmenge vermindern. Diese wiederum kann zu Störungen beim Feinwurzelwachstum und beim Blattaustrieb führen sowie zur Erhöhung der Anfälligkeit gegenüber Klimaextremen und Kalamitäten beitragen. Umgekehrt steigt nach WARING & SCHLESINGER (1985) sowie CANNEL & DEWAR (1993) die Widerstandskraft der Bäume gegenüber Streß, Insektenfraß und Krankheiten mit dem Ausmaß der im Stammholz, den Ästen und den Strukturwurzeln gespeicherten Kohlehydratreserven. Der Vitalitätsbegriff sollte danach nicht allein mit dem Wachstum, sondern vor allem mit der Anlage von Kohlehydratreserven in Verbindung gebracht werden. Gehölzvitalität wird von uns daher als die Fähigkeit der Bäume definiert, über das standortgemäße Wachstum hinaus, Streß und Störungen mit Hilfe von Kohlehydratspeichern zu begegnen. Diese Vitalitätsdefinition entspricht damit zugleich dem Ziel der Dauerwaldwirtschaft, stabile und langlebige Bestände aufzubauen.

Die Ausrichtung der Definition auf die Reservespeicherung ermöglicht es, die Vitalität des Baumes zu quantifizieren. In unserem Modell wurde die Reservespeicherung wie folgt berechnet:

Reserve = (Assimilationssumme – Atmungssumme – Zuwachs) / Assimilationssumme * 100

Durch die Normierung der Reserve auf den Assimilationsgewinn wurde dem Standortbezug Rechnung getragen. Weiterhin ist zu beachten, daß der Zuwachs in dieser Gleichung nicht den forstlich nutzbaren Zuwachs, sondern den innerhalb eines Jahres obligaten Nadel-, Zweig- und Feinwurzelzuwachs beinhaltet. Der Nadelaustrieb und das Feinwurzelwachstum haben nach WARING & SCHLESINGER (1985) bei der Allokation die höchste Priorität, gefolgt von der Reservespeicherung. Das radiale Dickenwachstum ist diesen Vorgängen nachgeordnet. Einen Überblick zum Aufbau des Modells gibt Abb. 2.

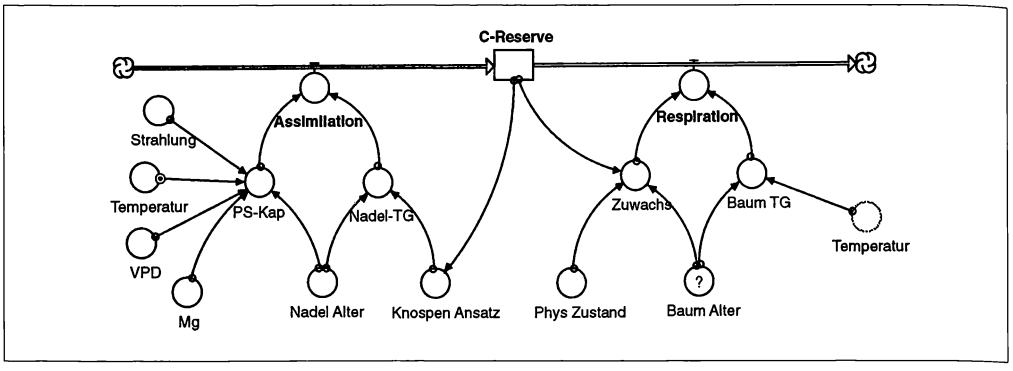


Abb. 2
**Forester-Diagramm zum Aufbau des Vitalitätsmodells für Berliner Kiefern. Dargestellt wird der Fluß von Kohlenstoff innerhalb des Baumes. Symbole: Rechteck, interner Pool; Kreise, Regler ; Pfeil, Informationsfluß; Wolken, externe Pools.**

Fig. 2
**Forester diagram of the carbon balance of Pine trees in Berlin . Rectangles, internal pools; circles, forcing functions; arrows, flow of information; clouds, external functions.**

Das Modell wurde mit den BallWös-Daten zum Gaswechsel, der Zuwachsverteilungen und der Nährstoffversorgung der Kiefer implementiert. Als externe und interne Steuergrößen wurden die kontinuierlich gemessenen klimatischen Größen sowie die Altersabhängigkeit der Lebensprozesse eingebaut (FAENSEN-THIEBES & CORNELIUS 1991). Mit dem Modell läßt sich berechnen, auf welche Weise externe Parameter (Beschattung, Temperatur, Wasserstreß, Nährstoffversorgung) die Assimilatbildung steuern und wie sich baumeigene Parameter (Masse der neugebildeten Nadeln, deren mittlere Lebensdauer und deren Nekrotisierungsgrad) auf die Kohlenstoffbilanz auswirken. Dies wiederum ermöglicht die Einschätzung von Folgen der primären Immissionswirkungen (Nekrosenbildung, Nadel- und Nährstoffverluste) auf die Vitalität einschließlich ihrer Modifikation durch klimatischen Streß.

### 4.1.2 Definition des Normalzustandes (Referenz)

Voraussetzung für die Diagnose von Beeinträchtigungen ist die Kenntnis eines Normalwertes bzw. die Definition eines Referenzzustandes. Bei der Photosyntheseaktivität wurde der Normalwert im Verlauf der Messung durch den Vergleich mit einer unbelasteten Kontrolle ermittelt (CORNELIUS & FAENSEN-THIEBES 1989). Hinsichtlich des Nadelzustandes repräsentiert die völlig intakte Nadel den Normalwert, eine Festsetzung, die den Beobachtungen von GLUCH (1991) in weitgehend unbelasteten Kieferwäldern Nordostrußlands folgt. Bei den Nadelspiegelwerten erschien die Übernahme der Referenzwertvorschläge der Eberswalder Schule (HOFFMANN & KRAUSS 1988) angebracht, da diese Angaben auf einem großen Wertefundus aus dem nordostdeutschen Pleistozän beruhen. Bei dem häufig im Mangel befindlichen Magnesium wurde zusätzlich mit Hilfe des Vitalitätsmodells der Einfluß sinkender Gehalte auf die Assimilationstätigkeit getestet. Die Simulationen zeigten, daß 0,8–0,6 mgMg/kg TS einen Grenzbereich darstellen, bei dessen Unterschreitung mit einer beginnenden physiologischen Beeinträchtigung zu rechnen ist (Abb. 3).

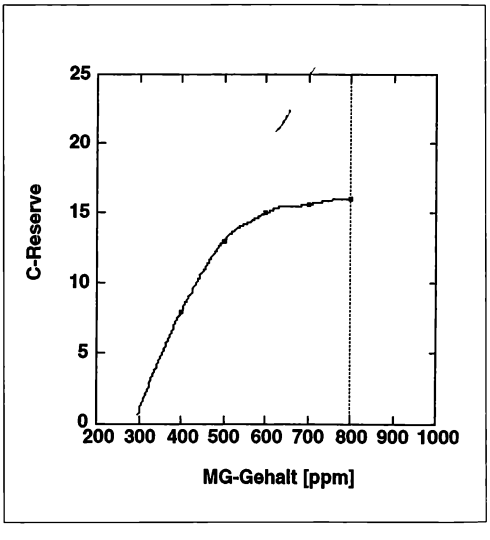


Abb. 3
**Abhängigkeit der C-Reserve (in % der Assimilation) vom Magnesium-Gehalt der Nadel.**
Fig. 3
**C-reserve as a function of the Mg content of the pine needles.**

Besondere Probleme bestanden hinsichtlich des Normalwertes der Benadelung bzw. der Nadellebensdauer. Zwar wurde im Rahmen der Waldschadenserhebung (WSE) Bezugswerte für die Abschätzung der Nadelverluste festgelegt, bei diesen Werten handelt es sich jedoch nicht um Normalwerte im physiologischen Sinne, sondern um nach Konvention festgelegte Referenzwerte. Aufgrund der großen Bedeutung der »normalen« Benadelung für die Ausweisung von Waldschäden wurde daher der Versuch unternommen, mit Hilfe des Vitalitätsmodells physiologisch begründete Eckwerte aufzustellen.

Das wesentliche Ergebnis der Simulationen in bezug auf diese Fragestellung besteht darin, daß sich Benadelungsbereiche differenzieren lassen, in denen der Baum den Kohlenstoffhaushalt auf die herrschenden Umweltbedingungen einzustellen vermag. Diese Bereiche lassen sich durch Kardinalpunkte trennen, deren Lage von den Standortqualitäten abhängig ist. Auf der Basis der Bilanzierungen ließen sich für den grundwasserfernen und ziemlich armen Standorttyp folgende Bereiche differenzieren, wobei die Benadelung als Benadelungsprozentsumme kurz nach der natürlichen Nadelschütte zum Herbstanfang dargestellt wird:

I. Optimalbereich (350–450%). Ab einem Wert von 350 % führt eine weitere Zunahme der Benadelungssumme kaum noch zu einer Verbesserung der Bilanz; bei einem Anstieg über 400% Benadelung weist das Modell eine Verschlechterung der Bilanz aus (Abb. 4). Verursacht wird dies vor allem durch die zunehmende Selbstbeschattung sowie durch die Abnahme der physiologischen Effektivität mit steigendem Nadelalter. Im Optimalbereich ist die Fähigkeit klimatischen Streß zu bewältigen oder die Folgen eines Schädlingsbefalls auszugleichen aufgrund des umfangreichen Assimilatüberschusses (C-Reserve) gut ausgebildet.

II. Reserve-Regelungsbereich (340–160%). Mit abnehmender Benadelung vermindert sich bei insgesamt konstanter Allokation der Bilanzüberschuß. Die Anlage von langfristigen Kohlehydratdepots wird eingeschränkt, was eine Einschränkung der Fähigkeit auf Streßereignisse zu reagieren nach sich zieht. Die Bilanz kann jedoch noch positiv gehalten werden, ohne daß es zu wesentlichen Änderungen im Zuwachsverhalten kommt.

III. Allokations-Regelungsbereich (150–100%). Ab ca. 150 % Benadelung bzw. 1 1/2 Nadeljahrgängen (der erste Jahrgang weist nur in Ausnahmefällen Nadelverluste auf) ist der durch den Überschuß gegebene Puffer ausgeschöpft. Bei weiterer Verschlechterung der Bilanz können die obligaten Zuwächse wie Laubaustrieb und Feinwurzelproduktion nur in vollem Umfang aufrecht erhalten werden, wenn entweder bereits vorhandene langfristige Reserven verwen-

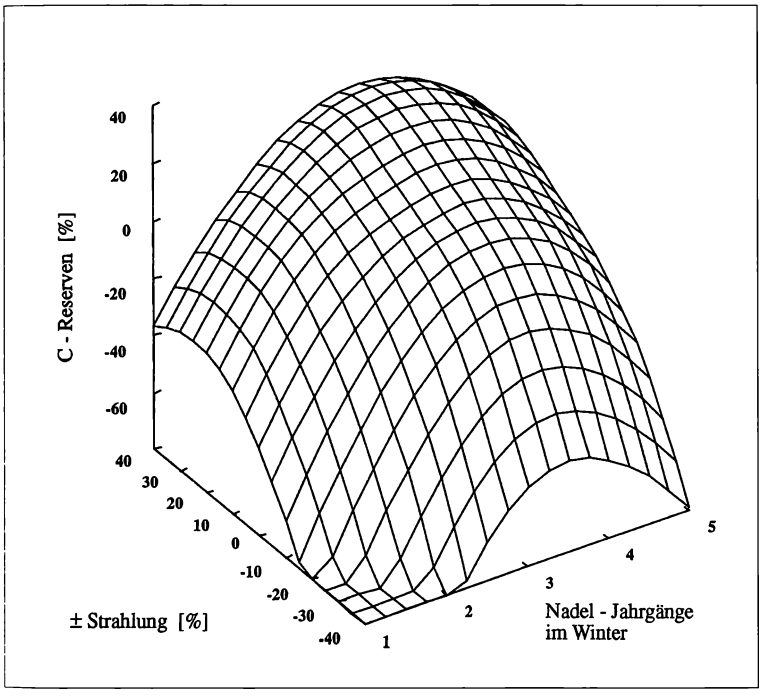


Abb. 4
**Abhängigkeit der C-Reserve (in % der Assimilation) von der Anzahl der Nadeljahrgänge (Winterwerte) und der Strahlung.**

Fig. 4
**C-reserve as a function of radiation and the existing sets of needles.**

det werden oder/und beim radialen Stamm- und Grobwurzelzuwachs Einschränkungen erfolgen. Diese Modellvorstellungen leiten sich u.a. aus den Untersuchungen von VON LÜHRTE (1991) zum radialen Stammholzzuwachs der Berliner Kiefern ab. Schwache bis mäßige Kronenverlichtungen waren nicht mit einer erkennbaren Reduktion des Schaftholzwachstums verbunden. Erst bei starker Entnadelung (WSE-Stufe 3) war ein solcher Zusammenhang zu erkennen.

IV. Bereich des Siechtums (< 100%). Sinkt die Benadelung unter 100 %, so reicht selbst eine völlige Einstellung des radialen Dickenwachstums nicht mehr aus, um die obligaten Wachstumsfunktionen zu garantieren bzw. die Bilanz auszugleichen. Von nun an besteht für den Baum nur noch die Möglichkeit, bei der Feinwurzelproduktion und dem Nadelneuaustrieb Einschränkungen vorzunehmen oder bzw. und Reservestoffe aus früheren Vegetationsperioden zu mobilisieren. Beides ist nur in begrenztem Umfang möglich. Zum einen werden sich die verfügbaren Reserven mit andauernder Inanspruchnahme bald erschöpfen. Zum anderen ist gerade bei älteren Nadelhölzern die Plastizität in der Krone- und Wurzelraumarchitektur eingeschränkt, so daß eine dauerhafte Änderung des Allokationsverhaltens nur in einem engen Rahmen möglich erscheint. Eine dauerhafte Unterschreitung einer Benadelung von 100 % führt damit zum Siechtum.

### 4.1.3 Auswirkungen der Immissionseffekte auf die Vitalität

Nach der Festlegung von Referenzwerten galt es, die Auswirkungen der einzelnen Immissionseffekte auf die Vitalität der Kiefern einzuschätzen und damit einen ersten Bewertungsschritt zu vollziehen.

Die Analyse der Nadelspiegelwerte zeigte, daß die Nährstoffversorgung ausgeglichen war. Dagegen konnten bei den Schwermetallen und beim Schwefel eindeutig imissionsbedingte Anreicherungen nachgewiesen werden. Dabei wurden jedoch keine Toxizitätsgrenzen überschritten (CORNELIUS & al. 1994). Die Schadstoffanreicherung ist jedoch in Hinblick auf die Belastung der Stoffkreisläufe von Bedeutung.

Minderungen der Assimilationsleistung konnten im Verlauf einer winterlichen Smogperiode nachgewiesen werden. Mit dem Ende der Smogperiode wurde die Ausgangshöhe der Assimilationskapazität wieder erreicht. Berechnungen zur Jahresleistung der Assimilation der untersuchten Kiefern (FAENSEN-THIEBES & CORNELIUS 1991) machten deutlich, daß die kurzfristigen Assimilationseinbußen keinen nennenswerten Einfluß auf die Vitalität hatten.

Die Auswirkungen der beobachteten Nadelschäden und Nadelverluste wurden mit Hilfe des Vitalitätsmodells eingeschätzt. Sensitivitätsprüfungen zeigten,

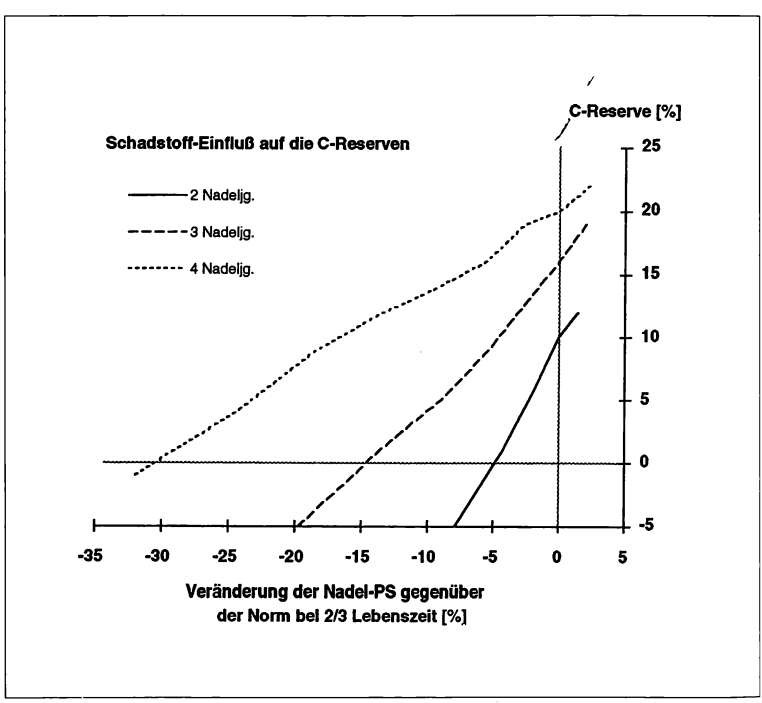


Abb. 5
**Zum Einfluß steigender Nadelschäden (berechnet als Reduktion der Nadelphotosynthesekapazität pro Flächen) auf die C-Reserve bei 2, 3 und 4 Nadeljahrgängen.**

Fig. 5
**The influence of increasing needle damage (measured as the capacity of the photosynthetic activ area) on the c-reserve at different sets of needles.**

daß der Einfluß der Nadelschädigung in einem hohen Maße von der Benadelung abhängt. In Abb. 5 sind die Effekte zunehmender Nekrotisierung für drei verschiedene Benadelungsgrade aufgetragen. Die Nullinie der Nekrotisierung entspricht dabei dem gemessenen Schädigungszustand. Geht man von vier vorhandenen Nadeljahrgängen aus, so wird erst bei 30% zusätzlicher Nadelschäden keine C-Reserve mehr gebildet. Bei drei Nadeljahrgängen liegt die Schnittstelle bereits bei 15 %, und bei nur zwei vorhandenen Nadeljahrgängen reicht bereits eine Zunahme der Nekrotisierung von 5 % aus, um zum Reservenullpunkt zu gelangen. Da in Berlin die Benadelung meist im Bereich von zwei Jahrgängen liegt, kann die Nadelschädigung einen erheblichen Einfluß auf die Vitalität ausüben. Die nach den BallWös-Ergebnissen berechnete Verschlechterung der Kohlenstoffbilanz durch Nekrotisierungen lag bei 7 %.

Die Nekrotisierung hat damit eine größere Auswirkung auf die Vitalität als die von MEYER (1989) beobachteten Nadelverluste, deren bilanzmindernder Einfluß auf nur 3 % berechnet wurde. Ausgangspunkt dieser Berechnungen war die am BallWös-Dauermeßpunkt gemessene Benadelung von 2,2 Jahrgängen, die während der letzten Jahre für große Teile der Berliner Forsten repräsentativ waren. Dies geht aus der Waldschadenserhebung (Tab. 1) hervor. Dabei wird zugleich ersichtlich, daß dieser Wert bei über 30 % der Kiefern unterschritten wurde, und somit bei einer nennenswerten Zahl von Bestandesgliedern die Vitalität erheblich eingeschränkt war. Bei 1 % der Kiefern lag die Benadelung sogar unter einem Jahrgang, was bedeutet, daß der Reservenullpunkt unterschritten wurde und die Bäume dem Siechtum anheimfallen. Eine Zuordnung der aus dem Vitalitätsmodell abgeleiteten Vitalitätsklassen zu den Schätzintervallen der WSE findet sich in Tab. 2.

### 4.1.4 Beurteilung der Kiefernvitalität im Hinblick auf die waldbaulichen Zielsetzungen

Die Beurteilung der Auswirkungen von Nadelschädigung und Nadelverlusten auf die Vitalität der Kiefern stellt bereits einen ersten, noch im naturwissenschaftlichen Rahmen ablaufenden Bewertungsschritt dar. Darauf aufbauend galt es, die Bedeutung der Vitalitätsbeeinträchtigungen im Hinblick auf die Bestandesstabilität und die waldbaulichen Zielsetzungen einzuschätzen.

Da 60–80% der Berliner Kiefern (WSE-Schadstufen 0–1) über mehrere Jahre eine Benadelung aufwiesen,

Tab. 1
**Entwicklung der Benadelungsvitalitätsstufen in % der Waldfläche während des Erhebungszeitraums von BallWös in Westberlin nach der WSE (Waldschadensbericht der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz in Berlin 1993)**

Tab. 1
**Damage of pine forests in Westberlin during 1986–1993 according to official surveys. The number of the first column indicate different degrees of needle loss.**

| Schadstufe (WSE) | 1986 | 1987 | 1988 | 1989 | 1990 | 1991 | 1992 | 1993 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 8% | 12% | 10% | 16% | 37% | 16% | 30% | 33% |
| 1 | 56% | 55% | 53% | 51% | 48% | 66% | 58% | 47% |
| 2 | 35% | 32% | 37% | 32% | 14% | 18% | 11% | 20% |
| 3–4 | 1% | 1% | 0% | 1% | 1% | 0% | 1% | 0% |

| Schadstufe/ WSE | Benadelungs-skala/WSE | Physiologische begründete Schadeinstufung (Vitalitätsklassen) |
|---|---|---|
| 0 | 3,0–2,7 Jahrgänge | II |
| 1 | 2,6–2,2 " | II |
| 2 | 2,1–1,2 " | II–III |
| 3 | 1,1–0,2 " | überwiegend IV |
| 4 | <0,2 " | IV |

Tab. 2
**Gegenüberstellung der Schadstufen der Waldschadenserhebung (WSE) und der physiologisch begründeten Wertespannen der Benadelung (Vitalitätsskala) aus dem Vitalitätsmodell.**

Tab. 2
**Comparison of the official vitality steps with the intervals derived from the vitality model of the present paper.**

bei der trotz vorhandener Nadelschäden die Abpufferung klimatischer Streßereignisse und mäßigem Schädlingsbefall vorausgesetzt werden kann (Tab. 1), sind großflächige Bestandesauflösungen vor dem Erreichen der mittleren Altersklassen von 120–180 Jahren unwahrscheinlich. Die Realisierung der Zielstärkenregelung, die mit einem Brusthöhendurchmesser (BHD) von 45 cm auf diesen Altersbereich ausgelegt wurde, erscheint damit für den größten Teil der Waldfläche gegeben. Bei den schwächer benadelten Kiefern der WSE Schadstufe 2, die insbesondere durch die Häufung klimatischer Extreme und größere Schädlingskalamitäten gefährdet sind, kann diese »Gewährleistungsaussage« nicht getroffen werden. Bei den Bäumen, deren Benadelung schließlich unter den kritischen Reservenullpunkt des Vitalitätsmodells liegt (WSE-Schadstufen 3 und 4, 1 % des Bestandes), ist auch ohne zusätzliche Streßereignisse ein Absterben vor dem Erreichen der Zielstärke wahrscheinlich.

Die waldbaulichen Zielsetzungen der Berliner Forstverwaltung gehen über die Zielstärkenregelung hinaus. Da der Aufbau von zahlreichen Altholzinseln geplant ist, müssen die Bäume generell ihr biologisches Alter erreichen können. Es ist fraglich, ob aufgrund der vorhandenen Nadelschädigungen dieser strenge Maßstab selbst von der besser benadelten Gruppe erfüllt werden kann. Für alle Kiefern, die nach der Schadensgruppe 2 eingeordnet werden, erscheint eine verfrühte Seneszenz und die damit verbundene Herabsetzung des biologischen Alters von etwa 250 Jahren unausweichlich.

Als Fazit kann festgehalten werden, daß keine akute Gefährdung der Bestandesstabilität vorliegt. Mit zunehmenden Alter der Bestände steigt jedoch die Wahrscheinlichkeit von Ausfällen. Die Lücken können zwar durch Nachpflanzungen wieder ausgefüllt werden, die Dauerwaldkonzeption ist auf diese Weise jedoch nur bedingt zu realisieren. In diesem Zusammenhang gilt es auch zu beachten, daß der von der Berliner Forstverwaltung eingeschlagene Weg zum naturnahen Wald notwendigerweise auf sehr lange Zeiträume ausgelegt ist. Das Erbe der Kiefernaltersklassenwirtschaft wird uns daher noch über Jahrzehnte begleiten. Die aus der forstlichen Intensivwirtschaft stammenden Bestände sind in der Phase des Waldumbaus jedoch in besonderer Weise durch Immissionseinflüsse gefährdet. Dichtstand und der daraus resultierende ungünstige Kronenaufbau haben sowohl das Streßabpufferungsvermögen als auch die mechanische Stabilität der Kiefern herabgesetzt. Von den neu zu begründenden Beständen ist zwar ein höheres Maß an Widerstandskraft zu erwarten, ehe diese jedoch tragende Waldfunktion übernehmen können, werden mindestens 100 Jahre vergehen.

### 4.2 Beispiel: Naturverjüngung

Die Naturverjüngung soll in Berlin möglichst ohne vorbereitende mechanische Bodenbearbeitung und ohne die im Altersklassenwald üblichen Eingriffe im Bestandesschluß erfolgen (Berliner Waldbaurichtlinien, SENSTADTUM 1992). Da weite Teile der Berliner Waldfläche noch immer durch die Forsten des konventionellen Kiefernbetriebes geprägt werden, stellt dies ein sehr anspruchsvolles Ziel dar. Andererseits vollzog sich in den Berliner Wäldern bereits zu Beginn des 20. Jahrhunderts eine Sonderentwicklung (CORNELIUS 1995). Im Hinblick auf die Erholungsnutzung wurde die Bewirtschaftung auf die Schaffung hoher Holzvorräte ausgerichtet. Bei den Abholzungen im Zuge des Zweiten Weltkrieges und der Berliner Blockade blieben daher vielerorts stark aufgelichtete Kiefernaltbestände übrig. Da die Bewirtschaftung bereits in den fünfziger und insbesondere in den sechziger Jahren auf die Schaffung von stufigen Mischbeständen abzielte, wurden die Altbestände mit Laubhölzern unterbaut und der Naturverjüngung freier Raum gelassen. Die Einschätzung von möglichen immissionsbedingten Einschränkungen der Bestandesregeneration in Berlin kann sich daher auf erste Erfahrungen vor Ort stützen.

#### 4.2.1 Das Auswertungskonzept

Bei der eingangs beschriebenen »reinen« Form der Naturverjüngung wird der gesamte Lebenszyklus des Baumes durch die Standortbedingungen gesteuert. Dadurch ergeben sich gleichzeitig vielfältige Ansatzstellen für Immissionswirkungen. Luftverunreinigungen können die Reproduktionsleistung, Keimung und die Sämlingsetablierung behindern. Beeinträchtigungen der Reproduktionsleistung können über eine direkte Einflußnahme von Schadgasen auf die Blütenbildung und das Pollenschlauchwachstum erfolgen. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit, daß es durch Vitalitätsminderungen zu Änderungen in den Allokationsmustern und damit im Reproduktionsaufwand kommt. Beeinträchtigungen der Keimung sind auf direktem Wege über die Schädigung der Keimwurzel durch Schadgase möglich. So ist nach WINNER (1986) die Schwefeldioxidempfindlichkeit von Feinwurzeln generell höher einzuschätzen als die von Nadeln und Blättern. Bei der Etablierung ist schließlich zu prüfen, inwieweit sich konkurrenzbedingte Mortalitäten durch die Ausbildung dichter Grasteppiche ergeben. Nach HOFMANN & al. (1990) ist im nordostdeutschen Tiefland insbesondere die Ausbreitung des lichtbedürftigen Sandrohrs (*Calamagrostis epigeios*) von Bedeutung.

### 4.2.2 Ableitung eines Referenzzustandes

Die Referenz ist durch das Bestockungsziel der Berliner Forstverwaltung vorgegeben, das sich an der natürlichen Vegetation orientiert. Diese entspricht der Vegetation, die zu Beginn der intensiven Waldnutzung in der Mittelmark um ca. 1100 n. Chr. geherrscht hat. Pollenanalytisch wurde für diese Zeit ein Gehölzanteil von 42 % Kiefer, 28 % Eiche, 9 % Rotbuche, 6 % Hainbuche und 15 % Ulme, Esche, Linde, Ahorn postuliert (BRANDE 1979). Der Verjüngung von Kiefern und Eichen ist danach besondere Aufmerksamkeit zu schenken.

### 4.2.3 Auswirkungen von Luftverunreinigungen und ballungsraumspezifischen Belastungen auf die Naturverjüngung

Hinweise auf immissionsbedingte Einschränkungen der Reproduktionsintensität von Kiefern und Eichen in den Berliner Wäldern liegen derzeit nicht vor. Im Gegenteil, in den Jahren 1990 und 1991 konnte an den Kiefern-Probebäumen des Berliner Monitoringprogramms eine verstärkte Blütenbildung beobachtet werden (KALHOFF 1993). Weiterhin kann sowohl für die Kiefer als auch für die Eichen ausgeschlossen werden, daß die Keimung derzeit limitierend für den Verjüngungsprozeß ist. So konnte SEIDLING(1993) zeigen, daß Keimlinge beider Gehölze in den Berliner Wäldern in großer Zahl auftreten. Während die Kiefernkeimlinge meist wieder vergehen, kann sich der Eichenaufwuchs in fast allen Revieren etablieren.

Die Beteiligung von Luftverunreinigungen an der Einschränkungen der Kiefernverjüngung erscheint plausibel, ist bisher jedoch nicht nachgewiesen. Der hypothetische Immissionswirkungspfad geht von erhöhten Stickstoffdepositionen aus, führt zur Ausbildung dichter Bestände des Sandrohrs (*Calamagrostis epigeios*) und anderer Gräser (z.B. der Drahtschmiele, *Avenella flexuosa*), deren hoher Konkurrenzkraft die ausgesprochen lichtbedürftigen Kiefernkeimlinge unterliegen. Berlin liegt im Bereich erhöhter Stickstoffeinträge. Als natürlich werden Einträge von 1 kgN/(ha*a) angenommen(UNECE 1991); nach den Critical Load Konzept sind für die Berliner Kiefern-Eichenbestände 5–10 kg N/(ha*a) tolerierbar (CORNELIUS & al. 1994); real werden derzeit jedoch >20 kgN/(ha*a) eingetragen (FISCHER 1994). Spitzenwerte, wie sie in der Umgebung von Mastanlagen oder N-emittierender Betriebe auftreten, werden in Berlin jedoch nicht erreicht.

Die immissionsbedingten N-Depositionen treffen in den Berliner Forsten jedoch auf eine ballungsraumspezifische N-Vorbelastung, verursacht durch einen hohen Besucherdruck, Ablagerungen von Gartenabfällen, dem Ausbau von Reitwegen und der Ausweisung von Hundeauslaufgebieten. Dabei beeinflussen diese Nutzungsformen die organische Auflage nicht nur über N-Einträge, sondern auch durch häufige mechanische Störungen, die zu einer beschleunigten Mineralisierung führen. Eine N-bedingte Förderung von *Calamagrostis epigeios* konnte im überwiegenden Teil der Berliner Forsten jedoch nicht nachgewiesen werden. Aufgrund der in den meisten Beständen auftretenden Laubholzunterstände ist der Waldboden so stark beschattet, daß das lichtliebende Gras nur sehr unzureichende Lebensbedingungen vorfindet.

Neben den mehrschichtigen und laubholzreichen Beständen existieren in Berlin auch einschichtige Kiefernmonokulturen (Reviere Fahlenberg und Müggelheim im Bereich des Forstamtes Köpenick). Hier waren die Bedingungen für die Ausbreitung des Sandrohrs generell günstig, so daß sich zusammenhängende Grasdecken ausbilden konnten. Die Vergrasung dieser lichten Bestände wurde durch eine Harnstoffdüngung mit Aufwandmengen von 12,5 und 94 kgN/(ha*a) zusätzlich gefördert (SEIDLING 1993). Von der Düngung wurden auch Bestände mit Laubholzunterstand erfaßt. Zu einer übermäßigen Ausbreitung von *Calamagrostis epigeios* kam es dort jedoch nicht. Es erscheint daher möglich, durch die Erhöhung des Laubholzanteils das Problem der Sandrohrkonkurrenz in Grenzen zu halten. Die daraus resultierende Verstärkung der Beschattung würde allerdings eine Verjüngung der lichtbedürftigen Kiefer völlig ausschließen.

### 4.2.4 Bewertung der derzeitigen Verjüngungssituation im Hinblick auf die waldbaulichen Ziele

Läßt man die Verwirklichung der Zielbestockung außer acht, so ist aus dem weitgehenden Ausfall der Kiefernverjüngung noch keine grundsätzliche Gefährdung des Dauerwaldkonzeptes abzuleiten. Auf der anderen Seite kann die angestrebte Zielbestockung, in der die Kiefer entsprechend der natürlichen Vegetation eine entscheidende Rolle spielt, über den Weg der Naturverjüngung nicht mehr erreicht werden. Aufgrund der hohen Lichtbedürftigkeit der Kiefer kann die Hemmung der Verjüngung auch nicht durch Lichtungshiebe entschärft werden. Jede Auflichtung führt relativ rasch zu einer Vergrasung der Bestände. Ein waldbaulicher Ausweg bestünde in einem temporären Zurückdrängen der Grasdecken durch mechanische Bodenbearbeitung. Diese Erkenntnis ist bereits in die waldbauliche Programmatik der Berliner Forsten mit eingeflossen. So ist eine Vorbereitung der Naturverjüngung durch mechanische Bodenverwun-

dung in Ausnahmefällen zulässig. Führte man solche Einsätze großflächig durch, so ergäben sich jedoch erhebliche Folgen für den Biotop- und Artenschutz. Die aufgrund der Ballungsraumnähe bereits vorhandenen Ruderalisierungstendenzen würden sich verstärken.

Eine abschließende Bewertung des Ausbleibens der Kiefernverjüngung kann nicht erfolgen, da bisher nicht geklärt werden konnte, welche Bedeutung Immissionseffekten zukommt. Wären Immissionseffekte vernachlässigbar und die Hemmung überwiegend auf die ballungsraumspezifischen Nutzungen zurückzuführen, so ergäbe sich für die Berliner Forstverwaltung ein Zielkonflikt. Die in den Waldbaugrundsätzen geforderte »Bioautomation« würde nicht zu dem Leitbild »natürliche Bestockung« führen. Stattdessen würde sich die »potentiell natürliche Bestockung« eines stark genutzten und eutrophierten Stadtwaldes einstellen, zu der auch die in Ausbreitung befindlichen anspruchsvolleren und störungstoleranten Schattholzarten wie *Acer platanoides, Acer pseudoplatanus, Acer negundo* sowie wie weitere Apophyten und Neophyten gehören (SACHSE 1989, KOWARIK 1992, CORNELIUS 1995). Sollte der Immissionseffekt jedoch eine starke Rolle spielen, so wäre eine mechanische Förderung der Kiefernverjüngung so lange als Übergangslösung zu tolerieren, bis die notwendigen Maßnahmen der Luftreinhaltung gegriffen haben.

**Fazit:** Die Bewertungsbeispiele zeigen, daß eine klare Zielorientierung für die Waldökosystemanalyse wichtige Akzente setzen kann. Durch die Priorisierung von Fragestellungen wird die Konzept- und Modellbildung sowie die interdisziplinäre Zusammenarbeit gefördert. Umgekehrt lassen sich mit Hilfe einer an gesetzlichen und programmatischen Vorgaben ausgerichteten ökologischen Analyse die häufig unscharf und allgemein formulierten Zielvorstellungen und Umweltqualitätsziele präzisieren und Zielkonflikte aufdecken.

## Literatur


BERLINER FORSTEN, 1982: Forstlicher Rahmenplan, Landesforstamt (Hrsg.), Berlin.

BRANDE, A., 1979: Die Pollenanalyse im Dienste der landschaftsgeschichtlichen Erforschung Berlins. Berliner Naturschutzblätter Nr 65/66: 435–443; 469–475

CANNEL, M.G.R. & DEWAR, R.C., 1994: Carbon allocation in trees. A review of concepts for modelling. Adv. in Ecological Research 25:60–102.

CORNELIUS, R. & FAENSEN-THIEBES, A., 1989: Photosyntheseleistung, Wasserhaushalt, Biomasseproduktion und Pflanzeninhaltsstoffe. Abschlußbericht im Rahmen des FE-Vorhabens »Ballungsraumnahe Waldökosysteme«, Berlin.

CORNELIUS, R., 1995: Zur Geschichte der Waldentwicklung in Berlin. In: Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz Berlin (Hrsg.): Monitoringprogramm Naturhaushalt, Heft 3.

CORNELIUS, R., GERSTENBERG, J., KOHL, St. & SCHENK, B., 1994: Grundlagen zum Maßnahmenprogramm Naturhaushalt/Wald. Gutachten in Auftrag der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz. Band 1. 215 S.

FAENSEN-THIEBES, A. & CORNELIUS, R., 1991: Modellierung des Gaswechsels der Kiefer in seiner Abhängigkeit von klimatischen Faktoren. Verh. Ges. Ökol. XIX/III, Osnabrück 1989, 681–691

FISCHER, U., 1994: Ökologische Dauerbeobachtung: Deposition. Gutachten in Auftrag der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz – Jahresbericht 1994.

GLUCH, W., 1991: Regionales Biomonitoring mit Kiefer (Pinus sylvestris) als Indikator. Arch. Natursch.u.Landschaftsforsch. 31: 203–215

HECHT-BUCHHOLZ, Ch., TRAKAT, J., WIEHE, W., 1989: Untersuchungen der Wurzelsysteme geschädigter Kiefernbestände:Ultrastruktur. Abschlußbericht im Rahmen des FE-Vorhabens »Ballungsraumnahe Waldökosysteme«, Berlin.

HOFMANN, G. & KRAUSS, H.H., 1988: Die Ausscheidung von Ernährungsstufen für die Baumarten Kiefer und Buche auf der Grundlage von Nadel- und Blattanalysen und Anwendungsmöglichkeiten in der Überwachung des ökologischen Waldzustandes. Sozialistische Forstwirtschaft, Berlin, 38 (9): 272–273

HOFMANN, G., HEINSDORF, D. & KRAUSS, H.H. 1990: Zunehmende Stickstoffeinträge in Kiefernbeständen als Schadfaktor. Forstwirtsch. 40: 40–44

KALHOFF, M., 1993: Diagnostik und Schadsymptome. Abschlußbericht im Projekt »Ballungsraumnahe Waldökosysteme« im Auftrag der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz.

KOWARIK, I., 1992: Einführung und Ausbreitung nichtheimischer Gehölzarten in Berlin und Brandenburg. Verh. Bot. Ver. Berlin Brandenburg, Beiheft 3.

ROSE, M. & BALDER, H.; 1989: Untersuchungen der Wurzelsysteme geschädigter Kiefernbestände: Wurzelvitalität und Verteilung. Abschlußbericht im Rahmen des FE-Vorhabens »Ballungsraumnahe Waldökosysteme«, Berlin.

SACHSE, U., 1989: Die anthropogene Ausbreitung von Berg- und Spitzahorn. Landschaftsentwick-

lung u. Umweltforschung 63. Schriftenreihe des FB 14 der TU Berlin

SEIDLING, W., 1993: Vergleichende Untersuchungen des Unterwuchses repräsentativer Waldstandorte. Abschlußbericht im Projekt »Ballungsraumnahe Waldökosysteme« im Auftrag der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz.

SENSTADTUM (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz, Hrsg.) 1992: Ein neuer Umgang mit dem Wald. Berliner Waldbaurichtlinien. Arbeitsmaterialien der Berliner Forsten 3

SENSTADTUM (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz, Hrsg.) 1993: Abschlußberichte im Rahmen des FE-Vorhabens »Ballungsraumnahe Waldökosysteme«, Berlin.

UMWELTBUNDESAMT & SENSTADTUM (Hrsg.) 1990: Ballungsraumnahe Waldökosysteme. Abschlußbericht. (1. Förderabschnitt).

UNECE 1991: Mapping Critical Loads for Europe. CCE Technical Report No. 1.

VON LÜHRTE, A., 1992: Wachstumsanalysen an Kiefern im Raum Berlin unter besonderer Berücksichtigung der Bestandesgeschichte. Abschlußbericht im Rahmen des FE-Vorhabens »Ballungsraumnahe Waldökosysteme«, Berlin.

WARING, R.H. & SCHLESINGER, W.H., 1985: Forest ecosystems, concepts and management. Academic Press Orlando. 340 S.

WINNER, W.E., 1986: Absorption of air pollution by plants, and consequences for tree growth. Tree 1: 15–18

* Das Forschungsvorhaben wurde vom Umweltbundesamt und der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz gefördert.

## Adressen

Dr. Reiner Cornelius und Dr. Frank Darius
Institut für Ökologie Fachgebiet Botanik
Rothenburgstraße 12, 12165 BERLIN

Dr. Andreas Faensen-Thiebes
Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz
Charlottenstraße 82, 10 969 BERLIN

# ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie

Jahr/Year: 1995

Band/Volume: 24_1995

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

Artikel/Article: Aspekte einer maßnahmeorientierten Bewertung von Ergebnissen des Projektes »Ballungsraumnahe Waldökosysteme« 259-269