

## **DIE KORRELATIONSRECHNUNG ALS BEWEISUNTERSTÜTZUNG UND SCHADENS- BERECHNUNGSBASIS BEI RAUCHSCHÄDEN IM WALDE**

Von  
**GÜDE H.**  
**Frohnleiten**

### **E I N L E I T U N G**

Eine latente Immissionsschädigung, die zunächst optisch nicht wahrnehmbare, jedoch bereits zuwachsmindernde physiologische Stoffwechselstörungen hervorruft, läßt sich durch Analyse der ein- und zweijährigen Nadeln bei Koniferen nach dem jeweiligen Schadstoff lokalisieren. Von allen Schadstoffen ist das SO<sub>2</sub>, welches bei Verbrennung fossiler Brennstoffe frei wird, am meisten verbreitet. Wegen seines niedrigen toxischen Schwellenwertes ist es für chronische Schäden an Koniferen, vor allem der Fichte, verantwortlich.

Wenn eine Wechselbeziehung "Ursache Wirkung" besteht, die zahlenmäßig erfaßbar ist, kann durch die Anwendung der Korrelationsrechnung nicht nur der Beweis dieser Wechselbeziehung elegant geführt werden, sondern auch die Einflußgröße (bei Nadelproben z.B. Schadstoffgehalt Werksentfernung) bestimmt werden.

### **B E R E C H N U N G S G A N G**

Trägt man über der Werksentfernung als Abszisse den Schadstoffgehalt als Ordinate auf, bekommt man eine Punkteschar, die sich im einfachsten Falle durch eine Gerade ( $y = a + bx$ ) ausgleichen läßt. Werden nun nach dem Gauß'schen Algorithmus die Summe der quadrierten Abstände zur vorgegebenen Funktion minimiert, lassen sich die Konstanten a und b berechnen. Darüber hinaus kann durch Errechnung des Korrelationskoeffizienten "r" das Maß der Abhängigkeit bestimmt werden. Unter Anwendung der multiplen Korrelationsrechnung wären dann auch andere Faktoren, wie z.B. der Standort oder natürliche Umwelteinflüsse (Wind, Niederschlag) zu berücksichtigen.

Die Entwicklung programmierbarer Taschenrechner ermöglicht es, dem Sachverständigen dieses Beweismittel gezielt einzusetzen. Ein Einarbeiten

in die Problematik der Korrelationsrechnung ist empfehlenswert, damit es nicht zu Fehlschlüssen kommt. Die Korrelationsrechnung soll Mittel zum Zweck (der Beweisführung) und nicht schematisch angewandter Selbstzweck sein.

Dazu einige Beispiele:

In der Ebene kann mit einer Verdünnung des Schadstoffgehaltes in der Luft gerechnet werden, die sich direkt proportional mit dem Quadrat der Entfernung zum Emittent verhält.

Im hügeligen oder gebirgigen Gelände liegen die Verhältnisse nicht mehr so einfach. Direkte Aufprallhänge können mit der einfachen linearen Beziehung  $y = a + bx$  schon optimal erfaßt werden. Bei komplizierteren Situationen kann durch Transformation von  $x$  ( $x^2$ ,  $1/x$ ,  $x^n$ ) die Anpassung verbessert werden. Auch eine einfache Exponentialfunktion, die logarithmisch aufgelöst wird, kann zum Ziele führen, wie z.B.:

$$y = a \cdot x^b \quad \log y = \log a + b \cdot \log x$$

Aus der Praxis:

Entfernung vom Emittent in m	S03 Gehalt (%) in den 1-jährigen Fichtennadeln
830	0,86
925	0,50
965	0,20
995	0,25
1.155	0,15
1.170	0,08
1.252	0,12
1.335	0,10
1.387	0,15
1.412	0,05

Unterstellte Funktion	a	b	r
y a + b.x	1.337298126	-0.0009551008	0.784
y a + b/x <sup>2</sup>	-0.336827031	693444.17430	0.885
y a + b/x <sup>3</sup>	-0.153757086	495142233.80	0.912
y a + b/x <sup>4</sup>	-0.062862488	3.8677265 E 11	0.935
y a + b/x <sup>6</sup>	0.027737184	2.5866845 E 17	0.964
y a + b/x <sup>8</sup>	0.073660350	1.7807333 E 23	0.974

Auch ein einfaches Polynom der Form:  $y = a + b \cdot x + c \cdot x^2$   
ergibt eine brauchbare Anpassung,

a	6.451435548
b	-0.010256384
c	0.000004103
r	0.921

Das Polynom hat allerdings den Nachteil, daß es sich nicht beliebig extrapolieren läßt, ohne zu Fehlschlüssen zu kommen.

Höherwertige mathematische Modelle lassen sich nicht mehr auf einem Taschenrechner bewältigen. Ob sie dem Sachverständigen jedoch noch etwas bringen, sei dahingestellt.

## B E W E R T U N G   D E S   S C H A D E N S

Eine Schwierigkeit für den Sachverständigen bedeutet immer die Quantifizierung des Schadens, wenn es sich um latente Immissionsschädigungen an Koniferen handelt. Diese, in der älteren Literatur als chronische Rauchschäden bezeichneten Phänomene, lassen sich oft, aber leider nicht immer am Wachstum der Jahrringe, besonders an vorherrschenden Stämmen erkennen.

Trägt man die Zeit (Jahre) als Abszisse und den Kreisflächenzuwachs oder den Kreisflächenwachstumsgang als Ordinate auf, werden Inbetriebnahme oder Erweiterungen Schadstoffe emittierender Werke am Zuwachsknick deutlich ablesbar.

Ist jedoch der Emittent älter als der Wald, oder finden sich keine entsprechenden Stämme der Stammklasse I nach Kraft (vorherrschend), beginnt für den Sachverständigen bereits das Dilemma. Hier kann nur die Korrelationsanalyse helfen. Der jährliche Verbrauch an fossilen Brennstoffen wird dem Jahreskreisflächenzuwachs gegenüber gestellt. Dabei ist es nicht zweckmäßig weiter als 10 Jahre zurückzugehen, da sonst nicht abschätzbare Faktoren die Beziehung stören können.

So können bedrängende Stämme, die einst entnommen wurden und von denen kein Wurzelstock mehr sichtbar ist, einen positiven Einfluß auf den Kreisflächenzuwachs des Einzelstammes ausüben.

Dürrejahre wieder, verstärken einen eventuell schon eingetretenen Zuwachsrückgang. Dieselbe Wirkung hat aber auch der Verlust der älteren Nadeljahrgänge, ein typisches Anzeichen für latente Immissionsschädigung.

Aus der Praxis:

Setzt man den Zuwachs von Probestämmen (im gegebenen Fall von 1968 bis 1977) in Beziehung zum Brennstoffverbrauch des Emittenten in diesen Jahren, ergeben sich die folgenden Werte für die Konstanten a und b ( $y = a + b \cdot x$ ) sowie den Korrelationskoeffizienten.

Baum Nr.	Entfernung vom Emittent in m	a	b	r
1	850	45.993	0.07336	0.684
2	810	124.630	0.38830	0.709
3	990	44.226	0.05906	0.305
4	1.260	33.339	0.03611	0.226
5	1.420	42.073	0.11495	0.605
6	1.320	38.398	0.03281	0.434
7	1.220	42.126	0.04114	0.320
8	1.070	47.662	0.06829	0.413
9	995	46.182	0.08982	0.352
10	925	26.883	0.07476	0.578
11	960	29.869	0.08848	0.714
12	960	11.740	0.01019	0.326

Greifen wir uns zur näheren Erläuterung Stamm 11 aus dieser Liste heraus: Was bedeutet nun die Formel  $y = a + b \cdot x$  ?

Die Konstante a besagt, daß der durchschnittliche Kreisflächenzuwachs der in die Berechnung einbezogenen Jahre (1968 - 1977) 29.869 cm<sup>2</sup> ohne Immissionsbelastung betragen würde.

Die mit einem negativen Vorzeichen versehene Konstante  $b$  gibt an, daß mit zunehmendem Kohleverbrauch (je 1.000 t) der Zuwachs eben um diese Konstante  $b$  abnimmt.

Wie bei der Analyse des Schwefelgehaltes der Nadeln, ergibt sich auch hier dasselbe Bild einer Abnahme des Korrelationskoeffizienten " $r$ " mit zunehmender Entfernung des betroffenen Stammes vom Emittent. Mit anderen Worten, die Wechselbeziehungen zwischen Zuwachs und Brennstoffverbrauch werden kleiner.

Auf dem Umweg über eine gut passende Ertragstafel läßt sich nun der Schaden berechnen, der durch die Immissionsbelastung zum gegebenen Zuwachsrückgang führte. Für eine abgegrenzte Fläche kann nun der BHD des Mittelstammes errechnet werden, der ohne Immissionsbelastung anzutreffen wäre. Dabei darf man aber den Korrelationskoeffizient " $r$ " nicht außer acht lassen, da er den Einfluß des Emittenten auf den Zuwachsgang abgrenzt.

Nur bei einem theoretischen Korrelationskoeffizienten von 1.0 wäre der Emittent auch zu 100 % am errechneten Zuwachsverlust beteiligt, da sich dann kein stochastischer, sondern ein funktioneller Zusammenhang ergeben würde.

Ein Korrelationskoeffizient von 1.0 wäre auch bei einer multiplen Korrelation dann zu erwarten, wenn es gelingen könnte, alle Einflußfaktoren zu erfassen eine rein theoretische Überlegung. Jede neue Einflußgröße würde zu einer Verbesserung von " $r$ " beitragen. Daraus läßt sich nun der Einfluß des Emittenten grob mit dem Korrelationskoeffizienten erklären.

Der weitere Rechengang ist dann klar. Aus den unterschiedlichen Dimensionen und Sortimentsteilen des Mittelstammes läßt sich der finanzielle Schaden berechnen.

## L I T E R A T U R

- Braun, Schönborn, Weber, 1977: "Forschungsberichte zur Feststellung und Bewertung von Waldschäden durch Immissionen". Forstliche Forschungsanstalt München, Forschungsberichte Nr.32.
- H.Güde, 1955: "Sind Bestandesmittelstämme echte Repräsentanten für Masse und Zuwachs ?" Centralblatt für das gesamte Forstwesen, Wien, Nr.2.
- J.Güde, 1954: "Die Feststellung der durch Steinkohlenrauch verursachten Zuwachsminderung in Fichtenbeständen". Zeitschrift für Weltforstwirtschaft 17 (3).
- G.Halbwachs, 1967: "Der Wasserhaushalt rauchgeschädigter Holzgewächse". Allgemeine Forstzeitung, Wien, Nr.9
- O.Härtel, 1953: "Eine neue Methode zur Erkennung von Raucheinwirkungen an Fichte" Centralblatt für das gesamte Forstwesen, Nr.72.
- D.Grill und O.Härtel, 1972: "Zellphysiologische und biochemische Untersuchungen an SO<sub>2</sub> begasten Fichtennadeln". Mitteilungen der Forstlichen Bundesversuchsanstalt Wien, Nr. 97.
- G.Hildebrand, 1967: "Der laufende Zuwachs in der Forsteinrichtung". Schriften-

reihe der Forstlichen Abteilung der Albert-Ludwigs-Universität  
Freiburg i.Br., Nr.6.

- K.Johann, 1978: "Integrierte Auswertung von Jahrringuntersuchungen und andere Beispiele für den Einsatz von Tischcomputern in der ertragskundlichen Forschung". IUFRO-Statistical Methods, Mathematics & Computers, Freiburg/Br.
- Th.Keller, 1964: "Industrielle Immissionen und Forstwirtschaft". Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen, Nr.4.
- H.Kenneweg, 1972: "Zur Frage der Erkennung und Abgrenzung von Rauchschäden aus Luftbildern". Mitteilungen der Forstlichen Bundesversuchsanstalt, Wien, Nr.97.
- F.Loetsch, 1953: "Massenzuwachsermittlung durch Bohrspanproben unter Anwendung mathematisch statistischer Methoden". Zeitschrift für Weltforstwirtschaft Nr.16 (3).
- J.Marschall, 1975: "Hilfstafeln für die Forsteinrichtung". Österreichischer Agrarverlag.
- W.Merz, 1962: "Rauchschadendiagnose mit Hilfe von Blattanalysen". AFZ - München, Nr.51-52.
- Pass und div., 1974: "Entschwefelung von Erdölrückständen und Abgasen" Erdöl-Erdgas-Zeitschrift
- E.Pausch, 1967: "Anwendungsbeispiele der Jahrringchronologie und Analyse". AFZ Wien, Nr.12.
- J.Pollanschütz, 1962: "Rauchschadensfeststellungen unter besonderer Berücksichtigung von Bohrkernanalysen". Informationsdienst der Forstlichen Bundesversuchsanstalt in der AFZ - Wien, Nr.4.
- P.Schütt und J.Schuck, 1972: "Zusammenhänge zwischen Rauchhärte und Cuticularwachsen bei Koniferen". Mitteilungen der Forstlichen Bundesversuchsanstalt Wien, Nr.97.
- K.Stefan, 1975: "Die Schwefel- und Fluorbestimmung in Nadeln als Diagnosemethode bei Rauchschadensuntersuchungen". AFZ - Wien, Nr.6.
- K.Stefan, 1968: "Über den natürlichen Schwefelgehalt von Fichtennadeln und seine Bedeutung für die Rauchschadensdiagnose". Referat der VI. internationalen Arbeitstagung forstlicher Rauchschadensachverständiger, Kattowitz, Nr.9.
- Steiermärkische Landesregierung: "Luftgüte und Wald in der Steiermark".
- K.F.Wentzel, 1963: "Kennzeichen akuter Rauchgaseinwirkungen an Nadeln und Blättern". AFZ - München, Nr.7.
- K.F.Wentzel, 1967: "Vorschläge zur Klassifikation der Immissionserkrankungen" Forstarchiv Nr.4.
- M.Woitschach, 1974: "Anmerkungen zur Regressionsanalyse". IBM - Nachrichten Nr.219