

Zeitschrift:	Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss forestry journal = Journal forestier suisse
Herausgeber:	Schweizerischer Forstverein
Band:	130 (1979)
Heft:	6
Artikel:	Der Einfluss langdauernder SO ₂ -Begasungen auf das Wurzelwachstum der Fichte
Autor:	Keller, T.
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-764739

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: 20.01.2026

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

Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen

Journal forestier suisse

130. Jahrgang

Juni 1979

Nummer 6

Der Einfluss langdauernder SO₂-Begasungen auf das Wurzelwachstum der Fichte¹

Von Th. Keller

Oxf.: 181.36 : 425.1 : 181.45

Eidg. Anstalt für das forstliche Versuchswesen, Birmensdorf

Einleitung und Fragestellung

Es ist allgemein bekannt, dass die Wurzeln zwei wichtige Funktionen auszuüben haben: (1.) sie haben die Pflanze (Baum) im Boden fest zu verankern (Stützfunktion), und (2.) sie sind das Organ, über welches die Pflanze mit Wasser und Nährstoffen aus dem Boden versorgt wird (Versorgungsfunktion).

Da die Wurzeln für Wachstum und Atmung von der CO₂-Aufnahme des Sprosses abhängen, ist die Aufrechterhaltung der Photosynthese durch den Spross für die Wurzeln ausserordentlich wichtig. So hat gerade kürzlich *Huss* (1977) gezeigt, dass eine Beschattung (welche die Photosynthese drosselt) eine sehr starke Wirkung auf das Wurzelwachstum ausübt. Obwohl seit *Wieler* (1903) bekannt ist, dass SO₂ als Luftverunreinigung die CO₂-Aufnahme der Pflanzen beeinträchtigt, ist für Forstpflanzen nicht experimentell untersucht worden, wie sich diese Luftverunreinigung auf das Wurzelwerk auswirkt, insbesondere ob das Wurzelwachstum beeinflusst wird. Einzig *Sobotka* (1974) berichtet, in einem tschechischen Immissionsgebiet sei ein schwächeres Wurzelwachstum der Fichten schwach bemerkbar.

Weil das Wurzelwachstum der Fichte vor dem Knospenaustrieb beginnen kann (*Leibundgut* et al., 1963; *Riedacker*, 1976), ist das erste Wurzelwachstum von den verfügbaren Speicherstoffen abhängig sowie von den Produkten der Photosynthese, welche zur Verfügung stehen, sofern die Witterungsbedingungen im frühen Frühjahr für die CO₂-Aufnahme günstig sind. Während der Vegetationsperiode 1977 waren Fichtensämlinge kontinuierlich SO₂-Begasungen ausgesetzt worden. Wir stellten uns daher die Frage, ob diese Begasung einen Einfluss habe auf das Wurzelwachstum im folgenden Frühjahr, weil mit wesentlich verminderter Speicherstoffvorräten zu rechnen war.

¹ Meinem ehemaligen Lehrherrn, Kreisoberförster *M. Müller*, Baden, zum 65. Geburtstag gewidmet.

Material und Methoden

2jährige Fichten (*Picea abies* [L.] Karst.) der Provenienzen Tägerwilen 520 (CH) und Erzgebirge (ČSSR) wurden nach dem Triebwachstum vom 8. 6. bis 18. 11. 1977 kontinuierlich in der Birmensdorfer Begasungsanlage

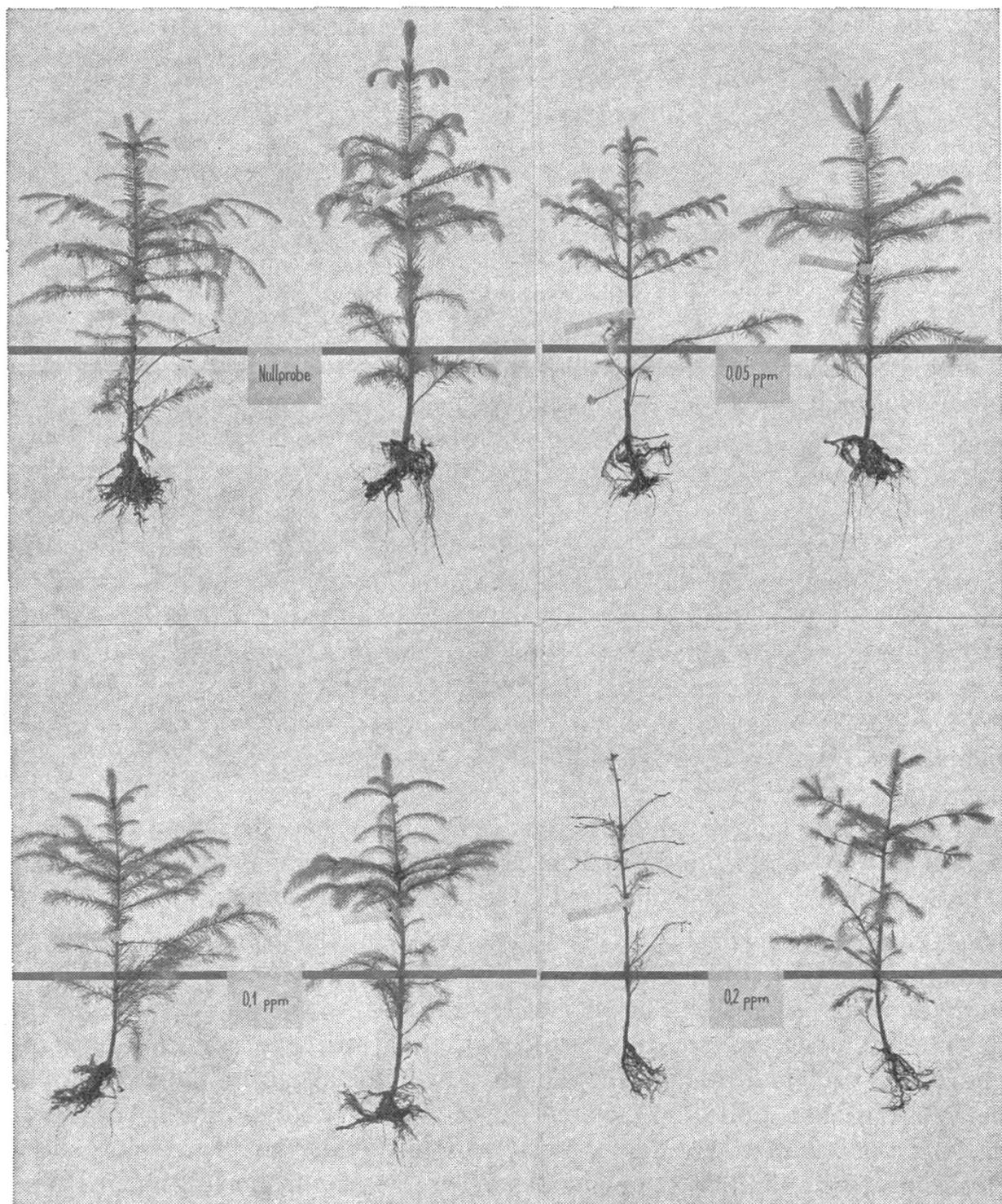


Abbildung 1. Spross und Wurzelwerk der Fichten «Tägerwilen» am 20. 6. 78. Man beachte die aus dem zurückgeschnittenen «Wurzelballen» vordringenden neugebildeten Wurzeln (links jeweils schlechteste, rechts beste Pflanze jeder Behandlung).

Photodienst EAFV

(Keller, 1976) mit SO₂ begast. Als Konzentrationen wurden gewählt: 0; 0,05; 0,1 beziehungsweise 0,2 ppm SO₂ (0,1 ppm \cong 260 μg SO₂/m³ Luft). Nach der Begasung wurden die vertopften Pflanzen in einem Kastenbeet des Pflanzgartens Birmensdorf (500 m ü. M.) gehalten.

Am 29. 3. 1978 wurden die Wurzeln der inzwischen 3jährigen Pflanzen sorgfältig ausgewaschen. Ein Wurzelwachstum war zu diesem Zeitpunkt noch nicht feststellbar. Von jeder Behandlung wurden die 15 sprossmäßig besten Pflanzen (von je 30 Sämlingen/Behandlung) nach einem sauberen Wurzelschnitt (der das Wurzelwerk auf etwa 5 cm verkürzte, vgl. Abbildung 1) sofort erneut zu dritt in Quarzsand (10-l-Töpfe) vertopft, so dass 5 Wiederholungen à 3 Fichten entstanden.

Am 20. 6. 1978 wurden die Pflanzenwurzeln erneut ausgewaschen. Das Wachstum der 5 längsten Wurzeln/Pflanze während der Periode 29. 3. bis 20. 6. 1978 wurde gemessen (jeweils Summe von 3 Pflanzen, Tabelle 1) und das Trockengewicht dieser Wurzelstücke bestimmt (Trocknung bei 65 °C, Abbildung 2).

Wurzelschnitt und Vertopfung in Sand wurden vorgenommen, weil befürchtet wurde, die Verkorkung (Bräunung der neuen Wurzeln) setze so

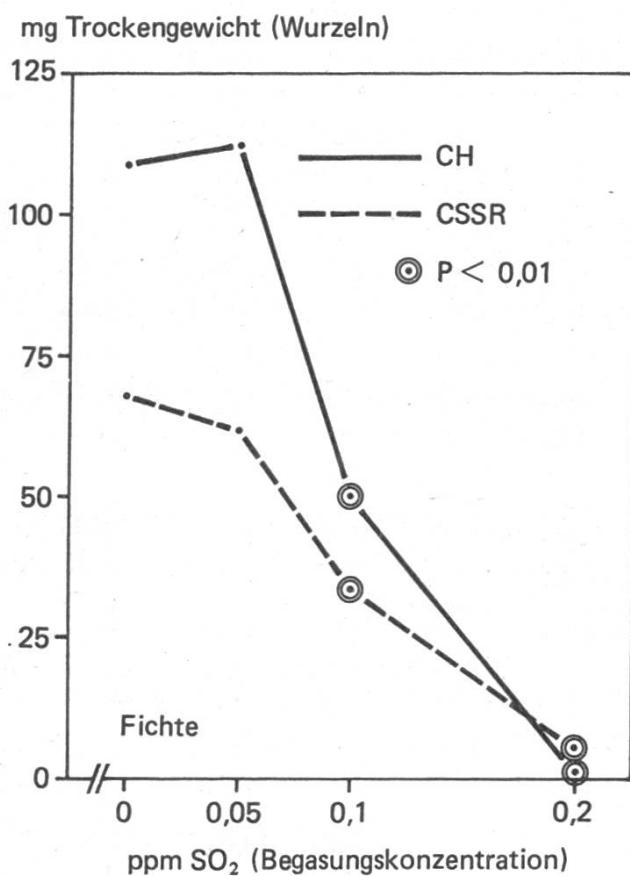


Abbildung 2. Durchschnittliches Trockengewicht (Summe der 5 längsten neuen Wurzeln von je 3 Pflanzen) in Abhängigkeit der SO₂-Konzentration der Begasung in der vorangegangenen Vegetationsperiode.

rasch ein (vgl. Sutton, 1969), dass die neuen Wurzeln nicht erkennbar seien. Eine Markierung der alten Wurzeln mit dickem Lehmbrei war aufgrund verschiedener Erfahrungen nicht ratsam (Fäulnis, schwaches Wurzelwachstum). Demgegenüber war die saubere Schnittfläche nach wenigen Monaten noch gut erkennbar und wirkte eher wachstumsstimulierend. Der Versuch wurde am 20. 6. 1978 abgebrochen, weil Beobachtungen an andern Pflanzen der gleichen Provenienz ergaben, dass das Wurzelwachstum zu diesem Zeitpunkt gut messbar war. Es wurde zudem befürchtet, später, das heißt nach Abschluss des Sprosswachstums, würde die laufende CO₂-Aufnahme die Wurzelbildung bestimmen und die Nachwirkung der Begasung überlagern. Die Periodizität des Wurzelwachstums ist nach wie vor umstritten und scheint nach Sutton (1969) stark umweltabhängig zu sein: *Ladefoged* (1939, zitiert nach Sutton) stellte während des intensiven Sprosswachstums im Mai/Juni praktisch keine Wurzelverlängerung fest, wogegen Leibundgut et al. (1963) maximales Wurzelwachstum im Mai fanden. Nach Lyr und Hoffmann (1967) erfolgt das Hauptwurzelwachstum im Sommer.

Die statistische Bearbeitung der Messergebnisse erfolgte mit dem H-Test (Sachs, 1968). Wo Signifikanz innerhalb der Population vorlag, wurde ausserdem der U-Test (Sachs, 1968) angewendet, um die Differenz zwischen Nullprobe und einzelnen Behandlungen auf Signifikanz zu überprüfen.

Ergebnisse und Diskussion

Abbildung 1 zeigt von der Provenienz Tägerwilen 520 (CH) für jede Behandlung die beste und die schleteste Pflanze. In Tabelle 1 sind die durchschnittlichen Summen der Längen der 5 längsten Wurzeln von je 3 Pflanzen (5 Wiederholungen) zusammengestellt (oben) beziehungsweise die durchschnittliche Länge einer dieser Wurzeln (unten). Abbildung 2 gibt die Trockengewichte dieser Wurzeln wieder.

Tabelle 1. Summen der 5 längsten Wurzeln von je 3 Pflanzen (cm, Wuchsperiode 29. 3.—20. 6. 1978, Durchschnitt von 5 Töpfen), beziehungsweise durchschnittliche Länge einer Einzelwurzel (mm).

Provenienz	Nullprobe	0,05 ppm	0,1 ppm	0,2 ppm
CH (Tägerwilen), cm	118	121	70**	4**
ČSSR (Erzgebirge), cm	97	94	54**	11**
Einzelwurzel CH, mm	78,7	80,7	46,7	2,7
Einzelwurzel ČSSR, mm	64,7	62,7	36,0	7,3

** Differenz zu Nullprobe mit $P \leq 0,01$ gesichert.

Tabelle 1 und Abbildung 2 zeigen besonders deutlich die Tendenz abnehmenden Wurzelwachstums mit zunehmender SO₂-Konzentration. Die Nachwirkung ist jedoch nur bei den beiden höhern Konzentrationen statistisch gesichert. Bei der für ausländische Immissionsgebiete «realistischen» Konzentration 0,05 ppm ($\approx 130 \mu\text{g SO}_2/\text{m}^3$ Luft) ist allerdings kein deutlicher Unterschied wahrnehmbar, was Sobotkas (1974) Wahrnehmung eines nur schwachen Einflusses offenbar bestätigt. Immerhin ist aufgrund der Beobachtungen (vgl. Abbildung 1) zu vermuten, dass die SO₂-Nachwirkung auf das Wurzelwachstum bei 0,05 ppm SO₂ deutlicher ausgefallen wäre, wenn man statt der 5 längsten Wurzeln pro Pflanze die gesamte neugebildete Wurzelmasse hätte erfassen können.

Die drastische Reduktion des Wachstums durch höhere Konzentrationen entspricht den Befunden an krautigen Pflanzen (Dässler, 1976; Heck und Dunning, 1978), welche in kurzfristigen Experimenten gewonnen wurden. Besonders interessant ist der Hinweis von Heck und Dunning (1978), wonach in intermittierend (und mit höhern Konzentrationen) begasten Haferpflänzchen das Wurzeltrockengewicht noch stärker beeinflusst wurde als das Sprossgewicht! Ein Blick auf Abbildung 1 und 2 zeigt, dass dies auch für junge Waldbaumarten zutreffen dürfte, weil der Spross (Abbildung 1) selbst bei 0,1 ppm kaum beeinträchtigt schien, das Wurzelgewicht aber schon auf die Hälfte gesunken war! In diesem Zusammenhang ist interessant, dass nach Köstler et al. (1968) die Fichte gerade in der Jugend einen hohen Wurzelprozentsatz besitzt. Köstler et al. (1968) zitieren Schmidt-Vogt, wonach bei 30 cm hohen Fichtenverschulpflanzen 18—34 % des Trockengewichtes auf das Wurzelwerk entfallen sollen.

Schlussfolgerungen

Diese Untersuchung zeigt, dass eine Dauerbegasung mit SO₂ das Wurzelwachstum in der ersten Hälfte der folgenden Vegetationsperiode drastisch einschränken kann. Diese Feststellung betrifft allerdings langfristig wirkende Konzentrationen $\geq 0,1$ ppm ($\sim 260 \mu\text{g SO}_2/\text{m}^3$ Luft), welche zwar in westlichen Industrieballungsräumen nicht mehr vorkommen, die schweizerischen SO₂-Richtlinien vom Dezember 1964 aber wesentlich unterschreiten.

Die verschiedentlich festgestellte Drosselung der CO₂-Aufnahme durch den Spross (zum Beispiel Keller, 1978) bewirkt in der Folge eine Verminderung der Reservebildung, welche der Wurzelbildung zu Beginn der folgenden Wachstumsperiode zugute gekommen wäre. Natürlich beeinflusst der Spross das Wurzelwachstum auch über das Spross-/Wurzel-Verhältnis. Da die Beeinträchtigung des Sprosses aber eindeutig durch SO₂ als Luftverunreinigung bewirkt wurde, ist auch die darauf folgende Verminderung des Wurzelwachstums der Luftverunreinigung anzulasten und nicht einfach einer schlechten Sprossausbildung!

Die Beeinträchtigung des Wurzelwachstums ist als latente Schädigung (Keller, 1977) einzustufen, da sie dem Auge verborgen bleibt. Auch wenn dieser Versuch an jungen Pflanzen durchgeführt werden musste, so ist dennoch die Möglichkeit ins Auge zu fassen, dass Luftverunreinigungen auf die Dauer zu einer Verminderung der Verankerung der Bäume führen können und damit zu einer erhöhten Sturmgefährdung. Auch die Versorgung der Bäume mit Wasser und Nährstoffen wird beeinträchtigt. Es ist zu befürchten, dass die schlechte Versorgung der Wurzeln mit Stoffen, welche durch die Photosynthese gebildet werden, auch die Mykorrhizapilze beeinflusst und die Anfälligkeit für Krankheitserreger (Wurzelfäule) erhöht, also weitere Faktoren, welche die Sturmgefährdung verstärken können.

Verdankung

Ich danke allen, welche mich bei der Durchführung dieser Arbeit unterstützt haben, insbesondere aber den Herren Dr. J. Bucher und Förster U. Bühlmann.

Résumé

L'influence d'une longue exposition au SO₂ gazeux sur la croissance des racines de l'épicéa

La croissance de la racine dans la première partie de la période de végétation est surtout engendrée par les substances de réserve et par les produits de la photosynthèse, formés avant la poussée en longueur de la tige. C'est pourquoi l'on a spécialement étudié la croissance de la racine de jeunes épicéas (appartenant à deux provenances) durant cette période. Les plantes en pots avaient été soumises à l'action du SO₂ au cours de l'année précédente.

Une forte réduction de la croissance de la racine a été observée surtout après l'action du SO₂ en concentration égale ou supérieure à 0,1 ppm (0,1 ppm ≈ 260 µg SO₂ par m³ d'air). Les racines ont été plus fortement touchées que les tiges. L'alimentation insuffisante des racines en produits de photosynthèse pourrait affaiblir les partenaires mycorhiziens et favoriser les agents pathogènes, avec pour effet de réduire la stabilité des peuplements âgés. Mais sur la base de cette étude, on peut admettre que l'actuelle nuisance des émanations de SO₂ ne provoque pas encore de tels dégâts, même pour les forêts récréatives dans le voisinage des villes.

Traduction: O. Lenz

Literatur

- Daessler, H. G.* (1976): Einfluss von Luftverunreinigungen auf die Vegetation, VEB Fischer, Jena.
- Heck, W. W.; Dunning, J. A.* (1978): Response of oats to sulfur dioxide: interactions of growth temperature with exposure temperature or humidity. *J. Air Poll. Contr. Assoc.* 28: 241—246.
- Huss, J.* (1977): Vergleichende ökologische Untersuchungen über die Reaktionen junger Fichten auf Lichtentzug und Düngung im Freigelände und in Beschattungskästen. *Göttinger Bodenkundl. Berichte* 51.
- Keller, Th.* (1976): Auswirkungen niedriger SO₂-Konzentrationen auf junge Fichten. *Schweiz. Z. Forstwesen* 127: 237—251.
- Keller, Th.* (1977): Begriff und Bedeutung der «latenten Immissionsschädigung». *Allg. Forst- und Jagdztg.* 148: 115—120. Auch: *Berichte EAFV* Nr. 175.
- Keller, Th.* (1978): Einfluss niedriger SO₂-Konzentrationen auf die CO₂-Aufnahme von Fichte und Tanne. *Photosynthetica* 12: 316—322.
- Köstler, J. N.; Brückner, E.; Bibelriether, H.* (1968): Die Wurzeln der Waldbäume. Parey, Hamburg-Berlin.
- Leibundgut, H.; Dafis, Sp.; Richard, F.* (1963): Untersuchungen über das Wurzelwachstum verschiedener Baumarten. *Schweiz. Z. Forstwesen* 114: 621—646.
- Lyr, H.; Hoffmann, G.* (1967): Growth rates and growth periodicity of tree roots. *Internat. Rev. For. Res.* 2: 181—236.
- Riedacker, A.* (1976): Rythmes de croissance et de régénération des racines des végétaux ligneux. *Ann. Sci. forest.* 33: 109—138.
- Sachs, L.* (1968): Statistische Auswertungsmethoden. Springer, Berlin.
- Sobotka, A.* (1974): Einfluss von Immissionen auf die Wurzelbildung mit begrenztem Wuchs bei der Fichte. Tag. ber. IX. Internat. Tag. Luftverunreinigung u. Forstwirtschaft. p. 283—287. Zbraslav.
- Sutton, R. F.* (1969): Form and Development of Conifer Root Systems. Commonwealth Agric. Bur., Techn. Communic. 7.
- Wieler, A.* (1903): Über unsichtbare Rauchschäden. *Z. Forst- u. Jagdwes.* 35: 204—225.