

**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins  
**Herausgeber:** Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke  
**Band:** 35 (1944)  
**Heft:** 7

**Artikel:** Die Säure-Produktion von Pilzen und deren Einfluss auf mit Kupfersulfat imprägnierte Hölzer  
**Autor:** Kind, A.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1061561>

### **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:** 06.02.2026

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

## Die Säure-Produktion von Pilzen und deren Einfluss auf mit Kupfersulfat imprägnierte Hölzer

Von A. Kind, Aarau

621.315.668.1.0044

Auf Grund der Literatur (Rabanus, Gäumann u. a.) werden die Resultate von Forschungsarbeiten über die Wachstumsbedingungen für holzerstörende Pilze und über die Wirkungsweise von Kupfervitriol als Stangenimprägniermittel zusammengestellt. Es geht daraus hervor, dass Kupferverbindungen an sich keine schlechten Pilzgifte sind, dass aber gewisse Pilzarten, namentlich solche, die Oxalsäure erzeugen, die Möglichkeit haben, sich der Giftwirkung der Kupferverbindungen zu entziehen.

Es darf als bekannt vorausgesetzt werden, dass alle Fäulniserscheinungen auf die Einwirkung gewisser Pilze zurückzuführen sind. Wie die Mehrzahl aller Pilze wachsen auch die holzerstörenden Pilze am besten auf sauren Nährböden. Es bestehen darüber eine ganze Anzahl Publikationen (Meacham, Wolpert, Rabanus). In verschiedenen dieser Arbeiten wurde für viele Pilze der zu ihrem Wachstum optimale Säuregrad ermittelt. Es wurde dabei gleichzeitig festgestellt, was übrigens seit langem bekannt war, dass Pilze bei ihrem Wachstum gewisse Säuren produzieren<sup>1)</sup>. Rabanus hat diese Erscheinungen, die für die Lebensdauer imprägnierter Leitungstangen von wesentlicher Bedeutung sind, zum Gegenstand eingehender Untersuchungen gemacht.

Zum Verständnis der folgenden Ausführungen sei angeführt, dass die Chemie den Säuregrad von Lösungen durch die Konzentration der Wasserstoffionen misst. Je grösser die Zahl freier Wasserstoffionen in einem Substrat ist, um so stärker ist der Säuregrad dieses Produktes. Messfaktor ist also die Zahl der freien Wasserstoffionen.

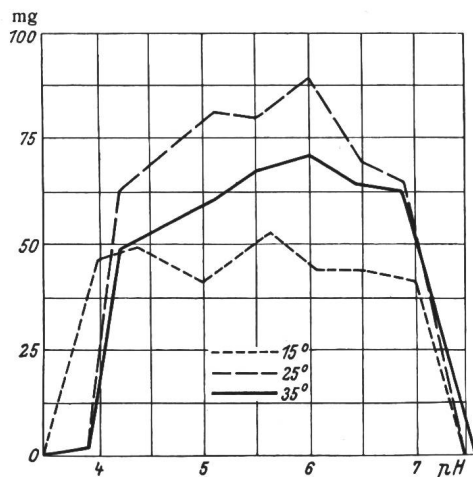


Fig. 1.

Abhängigkeit des Erntegewichtes in mg von *Polyporus adustus* von der Wasserstoffionenkonzentration  $pH$  des Nährbodens

Um bei den Zahlenangaben Potenzen und Brüche zu vermeiden, hat man den Begriff des Wasserstoffexponenten  $pH$  eingeführt. Dieser Wasserstoffexponent  $pH$  entspricht dem negativen Logarithmus der Wasserstoffionen-Konzentration. Nach

<sup>1)</sup> Gäumann, Tagesfragen der Mastenimprägnierung, 1935, S. 8.

L'auteur a réuni les résultats des recherches (Rabanus, Gäumann, etc.) sur les conditions de développement de champignons qui attaquent le bois et sur le degré d'efficacité du sulfate de cuivre utilisé pour l'imprégnation des poteaux. Les combinaisons à base de cuivre sont de bons fongicides, mais elles sont parfois inefficaces contre certains champignons, notamment ceux qui produisent de l'acide oxalique.

dieser Definition sinkt der Säuregrad einer Lösung von  $pH=0$  bis zum  $pH=7$ . Hier ist der Neutralpunkt erreicht; Lösungen mit einem über 7 gelegenen  $pH$  sind alkalisch.

Fig. 1 zeigt eine Kurve von Wolpert, die sich auf *Polyporus adustus* bezieht. Danach ist unterhalb  $pH=3$  kein Wachstum des Pilzes zu ver-

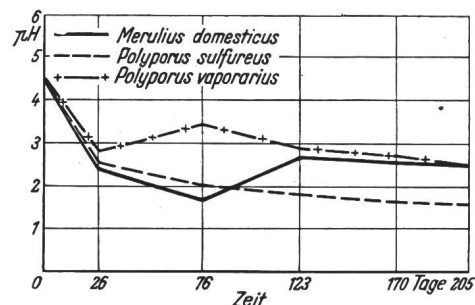


Fig. 2.

Verlauf des  $pH$ -Wertes bei Kultur der Pilze auf flüssigem Nährboden

zeichnen, wogegen bei den zwischen 4,5 und 7 gelegenen  $pH$ -Werten ein sehr starkes Wachstum eintritt. Das jenseits 7,5, also im alkalischen Gebiet, wieder aufhört.

Das Kurvenbild zeigt deutlich, dass Holzpilze auf einem Nährboden mittleren Säuregrades am besten gedeihen.

Bei seinen Untersuchungen stellt Wolpert weiter fest, dass während des Pilzwachstums in den Nährböden gewisse Änderungen im  $pH$ -Wert eintreten; sie werden, wenn auch in verhältnismässig geringen Grenzen, etwas stärker sauer.

Fig. 2 zeigt die mit *Polyporus sulfureus*, *Polyporus vaporarius* und *Merulius domesticus* erzielten Ergebnisse.

Die auf einen  $pH$ -Wert von 4,5 eingestellten Nährlösungen sinken innerhalb 4 Wochen auf einen  $pH$ -Wert von 2,4...2,8 ab und im weiteren Verlauf nimmt der Säuregrad bei *Polyporus sulfureus* immer mehr zu, bis er nach 205 Tagen einen Wert von etwa 1,55 erreicht, während der Verlauf bei den beiden andern Pilzen etwas unregelmässiger ist.

Interessant ist, festzustellen, wie sich die Pilze hinsichtlich der Säureproduktion verhalten, wenn sie auf Lösungen von jeweils verschiedenem Säuregrad geimpft werden.

Bei *Polyporus sulfureus* (Fig. 3) sinkt der  $pH$ -Wert von den drei verschiedenen Ausgangswerten innerhalb von 38 Tagen auf einen Wert, der zwischen 1,75 und 2,15 liegt, d. h. es wird praktisch der gleiche  $pH$ -Wert bei den drei sehr verschiedenen Ausgangslösungen erreicht. Im weiteren Ver-

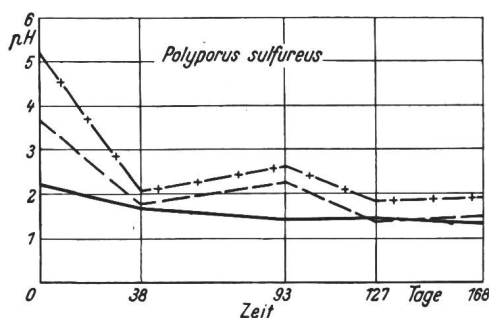


Fig. 3.

Verlauf des  $pH$ -Wertes bei Kultur von *Polyporus sulfureus* auf flüssigen Nährböden von verschiedenen Ausgangs- $pH$ -Werten

lauf ändert sich dann bei allen drei Nährlösungen der  $pH$ -Wert in praktisch gleichem Sinne, d. h. er zeigt weiterhin geringe Abnahme.

Zusammenfassend stellt *Rabanus* fest, dass die Pilze imstande sind, sich den für ihr optimales Wachstum günstigsten Säuregrad selbst herzustellen. Diese Feststellungen bestätigen die eingangs erwähnte Tatsache, dass holzerstörende Pilze erhebliche Säuremengen bilden können; sie geben aber darüber hinaus einen Hinweis darauf, dass die ausgeschiedenen Säuren im Haushalt der Pilze eine wichtige Rolle spielen. Welche Säuren die Pilze ausscheiden, muss durch weitere Untersuchungen festgestellt werden. Es steht jedoch fest, dass verschiedene Säuren in Frage kommen, dass sie von Pilz zu Pilz wechseln und bei ein und demselben Pilz Schwankungen vorkommen.

Wie wirkt sich nun die Säureproduktion der holzerstörenden Pilze in der Praxis aus?

Zur Behandlung der Leitungstangen gegen vorzeitige Fäulnis wird in der Schweiz nahezu ausschliesslich Kupfervitriol verwendet. Dieses Konservierungsmittel besitzt eine starke Affinität zur Holzfaser. Nach Angaben von Boucherie bilden 5,5 kg Kupfervitriol pro m<sup>3</sup> mit den Bestandteilen des Holzes unlösliche Verbindungen. Diese Angabe stimmt grössenordnungsmässig mit dem von *Rabanus* bei Auswaschversuchen gefundenen Mittelwert überein. Auch *Gäumann* vertritt die Auffassung, dass Kupfervitriol, ohne chemisch verändert zu werden, von der Holzfaser adsorbiert und deshalb schwer auslaugbar würde<sup>2)</sup>.

Die Erfahrungen, die man mit diesem Konservierungsmittel gemacht hat, sind nun nicht ganz einheitlich. Sehr guter Bewährung steht an andern Stellen ein gewisses Versagen gegenüber. Dieses unterschiedliche Verhalten wird, von der Holzqualität abgesehen, namentlich auf Unterschiede in der Bodenbeschaffenheit zurückgeführt. Bekannt ist, dass die Stangen in der Nähe von Misthaufen oder stark jauchegedüngten Grundstücken,

also in stark ammoniakhaltigen Böden, nicht befriedigten, da ammoniakhaltige Bodenwässer aus dem Kupfersulfat leichtlösliche Kupferoxydammoniak-Verbindungen bilden, welche sehr schnell durch Auswaschung aus dem Holz verschwinden.

Ferner sollen Kalkböden der Lebensdauer der Kupfersulfatstangen nachteilig sein<sup>3)</sup>. Den Einfluss des Kalkes dachte man sich so, dass aus dem Kupfersulfat und dem Kalziumkarbonat im Holz basisches Kupferkarbonat gebildet würde, und dass dieses Kupferkarbonat, weil es in Wasser unlöslich ist, keine fäulnishemmende Wirkung mehr entfalten könne. Diese Möglichkeit findet jedoch in der Stangenstatistik keine Stütze. Nach Angaben der PTT weisen die Stangen in der Gegend von Schaffhausen mit durchschnittlich 17,2 Jahren die geringste und in den Gegenden um Neuenburg, Biel, Basel, Baden usw. mit 27,5 Jahren die höchste Lebensdauer auf. Diese liegen aber in der eigentlichen Jurazone und ihren Ausläufern, woraus sich ergibt, dass gerade kalkhaltige Böden der Lebensdauer der Kupfersulfatstangen günstig sind.

Die angeführte Vermutung, wonach aus dem im Holz befindlichen Kupfervitriol durch Zutritt von kalkhaltigem Wasser unlösliches Kupferkarbonat gebildet wird, ist richtig.

Was geschieht nun aber, wenn ein Holzpilz an einen so gewissermassen mit Kupferkarbonat imprägnierten Mast herankommt? Eingangs wurde ausgeführt, dass die Holzpilze auf künstlichem Nährboden eine nicht unbeträchtliche Menge Säure ausscheiden. Eine derartige Säureausscheidung tritt auch beim Wachstum der Pilze im Holz oder am Holz ein, und diese von den Pilzen gebildete Säure kann imstande sein, das im Wasser unlösliche Kupferkarbonat zu lösen. Sofern diese in Lösung gehenden Kupfermengen genügen, um dem Wachstum des Pilzes Einhalt zu gebieten, wird ein Angriff am Holz nicht möglich sein. Um nun die Möglichkeit der Einwirkung von unlöslichem Kupferkarbonat auf verschiedene Holzpilze zu prüfen, wurde dieses Kupferkarbonat einem künstlichen Nährboden zugegeben, und dieser Nährboden wurde dann mit den zu prüfenden Pilzen geimpft. Hierbei ergaben sich nun nach *Rabanus*<sup>4)</sup> Feststellungen, die einen Einblick in die anscheinend widerspruchsvolle Wirkungsweise des Kupfervitriols als Holzimprägnierungsmittel gestatten. Einige Pilze, vor allem *Lenzites abietina* u. a. waren auf dem mit Kupferkarbonat versetzten Nährboden überhaupt nicht zu nennenswertem Wachstum zu bringen. Der Pilz hat bei seinem Versuch, zu wachsen, Säure gebildet. In dieser Säure hat sich das Kupferkarbonat teilweise gelöst und das dabei entstehende Kupfersalz verwehrt dem Pilz ein weiteres Wachstum. Derselbe Vorgang dürfte in der Praxis bei einem in Kalkboden stehenden Kupfersulfat-Mast vonstatten gehen, d. h. der Mast ist gegen den Angriff dieser Pilzarten geschützt.

<sup>3)</sup> Bull. SEV 1935, Nr. 18. S. 500.

<sup>4)</sup> Mitt. d. Fachausschusses für Holzfragen beim VDI und Deutschen Forstverein, 1939, Heft 23, und Holz als Roh- und Werkstoff, Bd. 3 (1940), Heft 7/8.

<sup>2)</sup> Gäumann, Tagesfragen der Mastenimprägnierung, S. 5.

Neben den eben genannten gibt es aber Pilzarten, die sich ganz anders verhalten. Wenn man beispielsweise *Polyporus vaporarius*, *Polyporus sulfureus*, *Merulius domesticus*, *Fomes annosus* usw. auf einen mit Kupferkarbonat versetzten Nährboden impft, dann wird auch hier das in Wasser unlösliche Kupferkarbonat zunächst in ein organisches, in Wasser lösliches Kupfersalz übergeführt. An den äussersten Mycelspitzen bilden die genannten Pilze eine Säure, welche das Kupferkarbonat in Lösung bringt. Unmittelbar hinter den Mycelspitzen scheidet der Pilz aber eine andere Säure aus, und diese Säure fällt aus dem in Lösung gegangenen Kupfersalz wieder ein unlösliches Kupfersalz aus. Nach *Rabanus*<sup>4)</sup> handelt es sich hierbei um Oxalsäure; denn oxalsaures Kupfer ist in Wasser und schwachen Säuren unlöslich. In die Praxis übertragen bedeutet dies:

Wenn an einen in Kalkboden stehenden, mit Kupfervitriol getränkten Mast, in dem das gesamte Kupfersulfat bereits in Kupferkarbonat übergeführt worden ist, *Polyporus vaporarius* und andere Pilze dieser Art gelangen, dann können diese Pilze zwar zunächst Spuren von Kupferkarbonat in Lösung bringen, aber sie werden unmittelbar nach der Bildung dieser löslichen Salze eine Entgiftung des Holzes vornehmen, derart, dass mit Hilfe ausgeschiedener Oxalsäure wieder ein unlösliches und die Lebenstätigkeit der Pilze nicht beeinträchtigendes Kupferoxalat ausgeschieden wird.

Aus diesen von *Rabanus* durchgeführten Versuchen ergibt sich, dass die Widerstandsfähigkeit von Kupfersulfatstangen gegen Pilzangriffe in Kalkböden und die durch diese bedingte Kupferkarbonatbildung nicht ungünstig beeinflusst wird. Es wird ihnen im Gegenteil eine lange Lebensdauer beschieden sein, vorausgesetzt allerdings, dass nur solche Holzpilze an diese Stangen gelangen, die keine Oxalsäure erzeugen. Stellen sich aber Pilze ein, die Oxalsäure in genügender Menge erzeugen, dann tritt eine vollkommene Inaktivierung des Kupfers ein.

Verschiedene Forscher haben schon darauf hingewiesen, dass Kupfersulfat nicht gegen alle Pilze

gleich wirksam ist. Gegen einige Pilzarten wirkt es schon in kleinen, gegen andere aber erst in viel grösseren Mengen. Vor allem gehört der *Polyporus vaporarius* zu den holzzerstörenden Pilzen, die auch durch grosse Mengen Kupfersulfat in ihrem Wachstum nicht beeinträchtigt werden. Die unterschiedliche Bewährung der Kupfervitriolstangen ist deshalb, abgesehen von stark ammoniakalischen Böden, nicht nur abhängig von der Bodenart, sondern weitgehend von der geographischen Verbreitung der Holzpilze. In Gegenden, in denen *Lenzites*arten vorherrschen, wird eine gute Bewährung der Kupfersulfatstangen zu erwarten sein, nicht aber in Gegenden, wo *Polyporus vaporarius* stark verbreitet ist, was allerdings weniger häufig vorkommt.

Ganz allgemein kann gesagt werden, dass Kupferverbindungen an sich keine schlechten Pilzgifte sind, dass aber gewisse Pilzarten die Möglichkeit haben, sich der Giftwirkung der Kupferverbindungen zu entziehen. Für die in vielen Fällen festgestellte gute Dauerwirkung der Kupfervitriolimpregnierung dürfte die Tatsache entscheidend sein, dass Kupfervitriol im Holz in schwer auswaschbare Form übergeführt wird. Diese schwere Auslaugbarkeit wird einmal bedingt durch eine ausgezeichnete Fixierung an der Holzfaser, ferner durch die Bildung von Kupferresinat sowie die Umbildung zu Kupferoxydul und in kalkhaltigen Böden durch die Bildung von Kupferkarbonat.

*Rabanus* hat durch Versuche weiter festgestellt, dass die Angriffsfreudigkeit eines schon kräftig ausgebildeten Mycels grösser ist, als die des aus Sporen zunächst hervorgehenden ganz schwachen Mycels. Diese laboratoriumsmässig gemachten Feststellungen stimmen mit der praktischen Erfahrung insofern überein, als eine neue Stange, die an Stelle einer ausgedienten, faulen Leitungsstange in das gleiche Loch gestellt wird, eine geringere Lebensdauer aufweisen wird, d. h. die neue Stange hält den Angriffen der sich bereits im Boden befindlichen ausgebildeten Mycelien nicht mehr so lange stand, wie es die alte gegenüber den als blossen Sporen an sie gelangten Pilzen imstande war.

## Technische Mitteilungen — Communications de nature technique

### Das Grosskraftwerk am Rio Negro in Uruguay

(Nach M. Enzweiler und O. Herrler, Siemens-Z., 1943, Nr. 1, S. 1...17)

621.311.21(899)

#### 1. Grundlagen

Der Rio Negro, dessen Gesamtlänge sich über etwa 850 km erstreckt, durchquert das Land Uruguay in vorwiegend südwestlicher Richtung. Sein Gesamteinzugsgebiet umfasst eine Fläche von 68 200 km<sup>2</sup>; an der Sperrstelle, die etwa 250 km vom Ozean entfernt liegt, kommt ein Einzugsgebiet von 38 000 km<sup>2</sup> in Betracht<sup>1)</sup>. Bei einem Höhenunterschied von 130 m auf die Gesamtflusslänge ist im einzelnen ein stark wechselndes Gefälle vorhanden, das zwischen 0,29 und 0,17 ‰ schwankt.

Die jährliche Niederschlagsmenge im Einzugsgebiet des Rio Negro beträgt rund 1100 mm; der Niederschlag ist im Jahresablauf sehr unregelmässig verteilt, so dass ausgesprochen niederschlagsarme Monate (z. B. Juli und August) mit niederschlagsreichen (besonders April) abwechseln<sup>2)</sup>.

<sup>1)</sup> Die gesamte Bodenfläche der Schweiz beträgt 41 000 km<sup>2</sup>.

Auch die Wasserführung weist starke Schwankungen auf. An der Sperrstelle sind als geringste Wassermengen 22 m<sup>3</sup>/s, als mittlere 444 m<sup>3</sup>/s und als höchste etwa 5400 m<sup>3</sup>/s innerhalb von 23 Jahren aufgezeichnet worden<sup>3)</sup>. Von einem einmaligen Katastrophenhochwasser von 9000 m<sup>3</sup>/s mit Wasserständen bis zu 18 m über Niedrigwasser und schwersten Ueberflutungen wird berichtet.

Kennzeichnend für die Wasserführung ist der verhältnismässig schnelle Uebergang vom Niedrigwasser zum Hochwasser; an der Baustelle wurde ein Wasseranstieg von 7 m in 9 Stunden beobachtet.

#### 2. Baulicher Teil

Die Stauanlage beim Rincón del Bonete in der Nähe von Paso de los Toros, etwa 250 km nördlich von Montevideo gelegen, sieht eine grösstenteils in aufgelöster Bauweise ange-

<sup>2)</sup> In Zürich beträgt die jährliche Niederschlagsmenge auch rund 1100 mm.

<sup>3)</sup> Die mittlere Wassermenge des Rio Negro ist etwa gleich gross wie die mittlere Sommer-Wassermenge der Rhone unterhalb Genf.