**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

**Herausgeber:** Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

**Band:** 67 (1976)

**Heft:** 13

**Artikel:** Über die Ursachen von Frühausfällen bei hölzernen Leistungsmasten = Les causes de la pourriture prématurée des poteaux en bois pour lignes électriques

**Autor:** Wälchli, O.

**DOI:** https://doi.org/10.5169/seals-915178

**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:** 17.07.2025

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

# Über die Ursachen von Frühausfällen bei hölzernen Leitungsmasten

Von O. Wälchli

*In letzter Zeit sind der Kommission des VSE für Holzschutz im Leitungsbau von verschiedener Seite Meldungen über Frühausfälle zugegangen, welche Stangen betreffen, die Ende der sechziger und anfangs der siebziger Jahre imprägniert worden sind. Diese Tatsache ist beunruhigend, und es ist notwendig, dass die Gründe, die zu diesen Ausfällen geführt haben, abgeklärt werden. Dies ist auch deshalb wichtig, um Fehldeutungen der Ursachen der Frühausfälle zu vermeiden. Im nachfolgenden Artikel werden diese Fragen behandelt.*

### 1. Standortsbestimmung

Die Kommission des VSE für Holzschutz im Leitungsbau wurde im Jahre 1951 gegründet und befand sich der Tatsache gegenüber, dass bei den damals mit Kupfersulfat im Boucherieverfahren imprägnierten Holzmasten durch den kupferresistenten Porenhausschwamm *(Poria vaporaria)* zahlreiche Frühausfälle verursacht wurden [7]. Der als Porenhausschwamm bezeichnete Pilz erwies sich später als Gruppe verschiedener Arten von Porenschwämmen, wie zum Beispiel *Poria vaillantii, P. placenta* und *P. monticola,* die sich alle als kupferresistent erwiesen. Die Kommission erhielt die Aufgabe, auf dem Markt vorhandene Schutzmittel und dafür geeignete Imprägnierverfahren zu prüfen und entsprechende Massnahmen vorzubereiten, um die unerwünschten und hohe Kosten verursachenden Frühausfälle auszuschalten. In der Folge wurden von der Kommission zahlreiche Schutzsalze und Verfahren für die Grundimprägnierung sowie für den Doppelstockschutz und die Nachpflege geprüft. Trotz der eindeutig besseren Schutzwirkung der heute zur Verfügung stehenden Schutzsalze muss jetzt festgestellt werden, dass die in die Imprägnierqualität gesetzten Erwartungen nicht in jeder Beziehung erfüllt worden sind. Die Imprägnierqualität ist aber nicht nur vom Schutzmittel abhängig, sie wird auch beeinflusst durch die Imprägniertechnik ganz allgemein, wie Tränkverfahren, Schältechnik, aber auch durch die bei der Holzbeschaffung angewandte Sorgfalt.

### 2. Entwicklungen auf dem Gebiete der Imprägniertechnik

Zum besseren Verständnis wird kurz auf die wichtigsten Entwicklungen auf dem Gebiet der Imprägniertechnik hingewiesen, über die zum Teil früher schon berichtet worden ist [3, 8, 9, 10].

#### *2.1 Holzschutzmittel*

Über die Entwicklung und die Wirkung der Schutzsalze wurde anlässlich der Diskussionstagung des VSE über Holzschutz im Leitungsbau 1971 berichtet [10]. Seit der Gründung der Kommission ist bei den Schutzmitteln, die für die Imprägnierung von Leitungsstangen verwendet werden, eine Entwicklung zu immer wirksameren und mit einem breiteren Wirkungsspektrum ausgestatteten Schutzsalzen festzustellen. Sie ist von einem Einzelsalz, dem Kupfersulfat, über verschiedene Salzgemische verlaufen. Bei diesen letzteren handelt es sich um Mischungen von Chrom-Fluor-(CF-), Chrom-Fluor-Arsen-(CFA-), Chrom-Kupfer-Arsen-(CKA-), Chrom-Kupfer-Bor-(CKB-) und Chrom-Kupfer-Fluor-(CKF-)Sal-

# Les causes de la pourriture prématurée des poteaux en bois pour lignes électriques

Par O. Wälchli

*Ces derniers temps, la Commission de l'UCS pour la protection des bois dans la construction de lignes a reçu de divers côtés des informations relatives à des défaillances prématurées de poteaux dont l'imprégnation date de la fin des années soixante ou début des années septante. Ces faits sont inquiétants et il importe que leur cause soit tirée au clair. Cela importe aussi si l'on veut éviter toute fausse interprétation des faits et de leur cause. L'article ci-dessous traite de la question.*

### 1. Détermination des lieux

La Commission de l'UCS pour la protection des bois dans la construction de lignes a été constituée en 1951 et s'est vue immédiatement confrontée au fait que de nombreux cas de pourriture prématurée de poteaux de bois, qui étaient alors imprégnés au sulfate de cuivre par procédé Boucherie, étaient causés par la *Poria vaporaria* qui résiste au cuivre [7]. Plus tard le champignon denommé *Poria vaporaria* s'est révélé être un groupe de diverses variétés de *Poria* telles par exemple la *Poria vaillantii,* la *Poria placenta* et la *Poria monticola* qui se sont toutes révélées résistantes au cuivre. La commission s'est alors vue chargée d'étudier divers produits existant sur le marché et les procédés d'imprégnation y correspondant et d'élaborer les mesures en découlant, susceptibles d'éliminer ces pourritures prématurées aussi indésirables que lourdement onéreuses. Par la suite, la commission a étudié nombre de sels protecteurs et de procédés pour l'imprégnation fondamentale ainsi que pour la protection supplémentaire du pied et pour le traitement ultérieur. Malgré l'effet protecteur indubitablement meilleur des sels actuellement disponibles, on doit maintenant reconnaître que les espoirs que l'on plaçait dans la qualité de l'imprégnation n'ont pas été satisfaits à tous égards. Cependant la qualité d'imprégnation ne depend pas uniquement de la substance protectrice. Elle est influencée également par la technique générale d'imprégnation, c'est-à-dire le procédé d'imprégnation, la méthode d'écorçage ainsi que le choix des bois.

### 2. Evolution de la technique d'imprégnation

Pour mieux nous faire comprendre, nous allons rappeler brièvement les principaux progrès réalisés dans la technique d'imprégnation relativement à ce qui avait été déjà exposé en son temps [3, 8, 9, 10].

#### *2.1 Agents protecteurs du bois*

A l'occasion de l'Assemblée de discussion de l'UCS sur la «Protection des bois dans la construction en 1971, il a été présenté un rapport [10] sur l'évolution et les effets des sels protecteurs. Depuis la création de la commission, on a pu constater une évolution des agents protecteurs utilisés pour l'imprégnation des poteaux de lignes dans le sens de leur efficacité toujours plus grande ainsi que d'un élargissement de leur gamme d'application. Cette évolution partie d'un sel unique, le sulfate de cuivre, est passée par différents mélanges de sels. Il s'agit là de mélanges de sels de chrome-fluor (CF), de chrome-fluor-arsenic (CFA), de chrome-cuivre-

zen. Die heute verwendeten CKB- und CKF-Salze zeichnen sich, im Gegensatz zu den meisten früher verwendeten Produkten, durch gute und ausgeglichene Wirkung sowohl gegen Braun-, Weiss- wie auch Moderfäulepilze aus. Zudem zeigen sie eine gute Beständigkeit gegen Auslaugung durch Wasser und sind arsenfrei. Eine gute biologische Wirkung bei Leitungsstangen ist aber nur dann gewährleistet, wenn die dazu notwendigen und auch vorgeschriebenen Mengen an Salzen bei der Imprägnierung in das Holz eingebracht werden [4, 5, 6]. Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die heute verwendeten Schutzsalze bei sachgemässer Anwendung einen guten und dauerhaften Schutz mit breitem Wirkungsspektrum gewährleisten.

### 2.2 *Imprägnierverfahren*

Die Imprägniertechnik muss sich, wie schon früher ausgeführt wurde [10], einerseits nach den zu imprägnierenden Holzarten und anderseits aber auch nach den zu verwendenden Holzschutzmitteln richten. Die im Vergleich zu vielen andern Holzarten schwer zu imprägnierende Fichte wird in saftfrischem Zustand entweder im Trogsaug- oder im Wechseldruckverfahren imprägniert. Die heute angewendeten Kombinationen von Verfahren und Schutzmitteln, also Wechseldruckverfahren mit CKB- oder CKF-Salzen und Trogsaugverfahren mit CKB-Salz, sind, unter der Voraussetzung, dass das Holz einwandfrei saftfrisch ist und die Imprägnierbedingungen den erwähnten VSE-PTT-Richtlinien entsprechen, für die Fichtenstangenimprägnierung geeignet. Sie gewährleisten eine Durchtränkung des Splintteiles und in den Fuss- und Zopfpartien zum Teil auch des äusseren Kernes. Ein Nachteil der Saftfrischimprägnierung sind aber die nachträglich entstehenden Schwindrisse, die bis in den nicht imprägnierten Kernteil verlaufen und Infektionspforten für holzzerstörende Pilze darstellen. Die Schliessung dieser Lücken bei der Grundimprägnierung ist das Ziel weiterer Forschungen.

### 2.3 *Schältechnik*

Im Verlaufe der Rationalisierung der gesamten Imprägniertechnik ist man auch von der arbeitsaufwendigen Handschälung zur rationelleren Schälung der Leitungsstangen mit

arsenic (CKA), de chrome-cuivre-bore (CKB) et de chrome-cuivre-fluor (CKF). Les sels CKB et CKF, employés aujourd'hui, se distinguent à l'égard des produits employés autrefois par un effet fongicide égal contre la pourriture, qu'elle soit brune, blanche ou molle. Ils montrent de plus une bonne résistance contre le lessivage de l'eau et ne contiennent pas d'arsenic. Mais on ne peut attendre une action biologique suffisante sur les poteaux de lignes que lorsque les quantités nécessaires et même prescrites de sels sont injectées dans le bois à l'imprégnation [4, 5, 6]. En résumé, on peut tenir pour établi que, lorsqu'ils sont convenablement appliqués, les sels protecteurs employés aujourd'hui garantissent une protection excellente, durable et à large spectre d'efficacité.

### 2.2 *Procédés d'imprégnation*

Comme il a déjà été dit précédemment [10], la technique d'imprégnation a varié d'une part selon le genre de bois à traiter et d'autre part selon les ingrédients employés. L'épicéa qui, comparé à d'autres sortes de bois, se laisse difficilement imprégner, se traite encore à l'état vert (état de sève fraîche) soit par aspiration au bassin soit par vide et pression alternés. Pour autant que le bois soit réellement à l'état de sève fraîche et que les conditions de l'imprégnation soient conformes aux prescriptions UCS/PTT, les combinaisons des procédés et des agents protecteurs actuellement utilisés, à savoir: le procédé par vide et pression alternés avec des sels CKB ou CKF, ou le procédé par aspiration en bassin, avec le sel CKB, peuvent être appliqués à l'imprégnation des poteaux d'épicéa. Ils garantissent la saturation de l'aubier et même parfois des zones externes du cœur au pied et au sommet. Un inconvénient toutefois de l'imprégnation à l'état de sève fraîche est l'apparition ultérieure de fentes de retrait qui gagnent jusqu'au cœur non imprégné créant des voies de pénétration aux champignons destructeurs de bois. L'obturation de ces fentes lors de l'imprégnation fondamentale fait encore l'objet de nos recherches.

### 2.3 *Technique d'écorçage*

En rationalisant la technique d'imprégnation, on est venu à remplacer le laborieux écorçage manuel des poteaux par un procédé plus rationnel faisant appel aux écorceuses mécani-

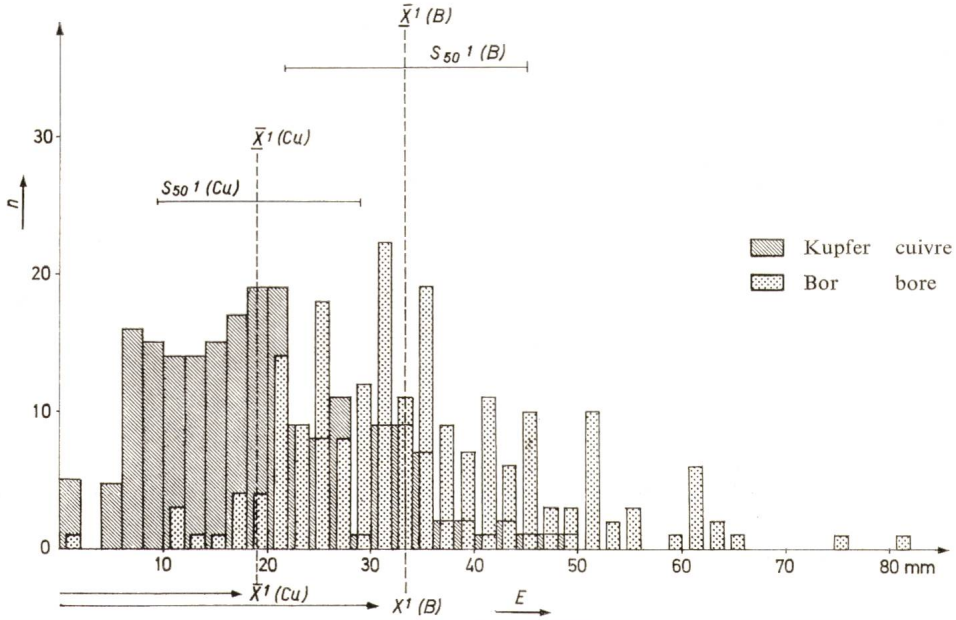


**Fig. 1**
**Verteilung der Eindringtiefen des Kupfer- und Borsalzes bei 204 Masten, die im Trogsaugverfahren mit CKB-Salz imprägniert wurden.**
*N* Anzahl Masten
*E* Eindringtiefe in mm

**Répartition des profondeurs de pénétration des sels de cuivre et de bore sur 204 poteaux imprégnés au sel CKB par le procédé d'aspiration au bassin.**
*N* nombre de poteaux
*E* profondeurs de pénétration en mm

*Eindringtiefen von Kupfer- und Borsalz – Profondeurs de pénétration des sels de cuivre et de bore* Tabelle I – Tableau I

| Imprägnierwerk / Usine d'imprégnation | Imprägnierverfahren / Procédé | | Anzahl Stangen / Nombre de poteaux | Mittlere Eindringtiefen und Streuungen in mm / Profondeurs moyenne de pénétration et écart-type en mm | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Kupfersalz / Sel de cuivre | Borsalz / Sel de bore |
| 1 | Trogsaug | Aspiration au bassin | 204 | 18,95 ± 9,9 | 32,87 ± 12,2 |
| 2 | Wechseldruck | Pressions alternées | 192 | 17,23 ± 7,7 | 28,79 ± 13,4 |
| 3 | Wechseldruck | Pressions alternées | 192 | 15,84 ± 6,4 | 36,41 ± 12,8 |

Schälmaschinen übergegangen. Bei der Handschälung war die Gefahr, dass mehr als die Rinde und der Bast weggeschält wurde, praktisch nicht vorhanden. Bei der automatischen Schälung der Stangen mittels Maschine hingegen besteht die Gefahr, dass grössere Teile des Splintes weggeschält werden. Dies ist besonders dann der Fall, wenn die Leitungsstangen Krümmungen oder exzentrischen oder sonstwie unregelmässigen Wuchs aufweisen. Die Maschinenschälung verlangt eine besonders sorgfältige Arbeit, wenn man nicht grosse Splintverluste und damit Verluste an imprägnierbarem Anteil der Stangen in Kauf nehmen will. Einer sachgerechten Maschinenschälung ist deshalb besondere Aufmerksamkeit zu schenken.

### 3. Erhebung über die Schutzsalzeindringung in verschiedenen Imprägnierwerken

Im Jahre 1973 wurden zur Ermittlung der Imprägnierqualität bei drei Imprägnierwerken von je etwa 200 mit CKB-Salz imprägnierten Leitungsmasten je eine Bohrprobe entnommen. Bei einem Werk wurde nach dem Trogsaugverfahren und bei zwei Werken nach dem Wechseldruckverfahren gearbeitet. Die Untersuchung umfasste hauptsächlich Fichten und nur wenig Weisstannen von 11, 12 und 13 m Länge. Alle Bohrproben wurden in der Stangenmitte entnommen. Mit Hilfe spezifischer Farbreaktionen wurde die Eindringtiefe von Kupfer- und Borsalzen bestimmt und in Millimetern angegeben. Die Resultate wurden für jedes Werk getrennt statistisch ausgewertet und in Säulendiagrammen dargestellt [1] (Fig. 1 und 2).

Unter Berücksichtigung der zahlreichen Faktoren, die die Imprägnierqualität beeinflussen können, unterscheiden sich die Resultate relativ geringfügig. Die mittleren Eindringtiefen des Kupfer- und des Borsalzes sind in der Tabelle I zusammengestellt.

Die festgestellten Unterschiede in den Eindringtiefen sind nicht nur Ausdruck des angewendeten Imprägnierverfahrens, sondern verschiedener weiterer, die Imprägnierqualität beeinflussender Faktoren, unter welchen die Schälung und die Provenienz des Holzes unter Umständen eine wichtige Rolle spielen können.

Zur Frage der Ursache der schon erwähnten Frühausfälle geben die für alle drei Werke ähnlichen Säulendiagramme über die Verteilung der Eindringtiefen mehr Anhaltspunkte. In den Fig. 1 und 2 sind die Verteilungsdiagramme der Eindringwerte für das im Werk 1 angewendete Trogsaugverfahren und für das im Werk 2 angewendete Wechseldruckverfahren dargestellt. Die Verteilungen der Kupfer- und Borwerte sind bei beiden Werken ähnlich. Der Bereich der Eindringwerte für Kupfer liegt zwischen 0 und etwa 50 mm,

ques. Avec l'écorçage à main, il n'y avait pratiquement aucun risque d'enlever plus que l'écorce et le liber. En revanche, l'écorçage à la machine comporte le danger d'arracher une part importante de l'aubier. Cela se produit surtout lorsque les poteaux présentent des irrégularités de rectitude ou tous autres accidents de croissance. L'écorçage mécanique exige un travail particulièrement soigné si l'on veut éviter de grosses pertes d'aubier c'est-à-dire de la partie la mieux imprégnable du poteau. L'écorçage mécanique pour être fait selon les règles de l'art demande une attention toute particulière.

### 3. Sondage sur la pénétration des sels protecteurs auprès de différents établissements d'imprégnation

En 1973, pour déterminer la qualité de l'imprégnation dans trois entreprises d'imprégnation, on a prélevé une éprouvette de forage sur quelque 200 poteaux imprégnés aux sels CKB, livrés par elles. Une entreprise travaillait selon le procédé par aspiration en bassin et les deux autres par vide et pression alternés. L'enquête portait essentiellement sur des poteaux d'épicéa et sur quelques-uns seulement de sapin blanc, tous de 11, 12 et 13 m de longueur. Toutes les éprouvettes ont été prélevées à mi-hauteur des poteaux. A l'aide de réactions spécifiques colorantes, on a déterminé la profondeur de pénétration des sels de cuivre et de bore, que l'on a exprimé en mm. Les résultats ont été recueillis statistiquement pour chaque entreprise et portés sur diagrammes en colonnes [1] (fig. 1 et 2).

Compte tenu des nombreux facteurs susceptibles d'influencer la qualité d'imprégnation, les résultats divergent relativement peu. Les profondeurs moyennes de pénétration des sels de cuivre et de bore sont portés au tableau I.

Les différences de profondeur relevées ne dépendent pas seulement du procédé d'imprégnation mais aussi de différents autres facteurs influant sur la qualité d'imprégnation, au nombre desquels l'écorçage et la provenance des bois jouent un rôle primordial.

Quant aux causes de pourritures prématurées précédemment évoquées, les diagrammes en colonnes, semblables pour les trois entreprises, donnent plus d'indications sur la répartition des pénétrations. Les fig. 1 et 2 représentent respectivement les diagrammes de répartition des valeurs de pénétration pour le procédé par aspiration en bassin appliqué dans l'entreprise 1 et celles obtenues dans l'usine 2 par le procédé de vide et pression alternés. Les répartitions des valeurs relatives au cuivre et au bore sont pour les deux entreprises semblables. La gamme des valeurs de pénétration pour le cuivre s'étend de 0 à environ 50 mm et pour le bore de 0 à un peu plus de 80 mm. Mais il est surprenant de constater que

derjenige für Bor von 0 bis etwas über 80 mm. Auffallend ist aber, dass in beiden Fällen ein grosser Anteil von Masten weniger als 10 mm Kupfersalzeindringung aufweist. Beim Werk 1 sind es 42 Masten von 204 (= 20,6 %) und beim Werk 2 30 Masten von 192 (= 15,6 %). 5 (= 2,5 %) bzw. 3 Masten (= 1,6 %) weisen sogar Eindringtiefen von nur 0 bis 2 mm auf. Es ist klar, dass Masten mit diesen geringen Eindringtiefen von 2 mm und weniger gegen Pilzschäden nicht geschützt sein können. Auch die Leitungsstangen mit Eindringtiefen bis zu 10 mm müssen als anfällig gegen Pilzbefall beurteilt werden, weil der Infektionsweg bei den nachträglich entstehenden Schwindrissen bis zum nicht geschützten Holz nur kurz und die Wahrscheinlichkeit für das Eintreten einer Pilzinfektion deshalb gross ist. Die Fig. 1 und 2 zeigen ferner, dass bei mehr als der Hälfte der geprüften Masten, nämlich bei 59,3 % bei Werk 1 und bei 67,2 % bei Werk 2, Eindringtiefen des Kupfersalzes von weniger als 20 mm festgestellt wurden. Dies ist deshalb von Interesse, weil zum Beispiel von den deutschen Stangenverbrauchern (VDEW und Bundespost) in der Einbauzone eine minimale Eindringtiefe von 20 mm angestrebt wird.

### 4. Frühausfälle, die dabei festgestellten Schäden und die Imprägnierqualität

In den letzten Jahren wurden durch die EMPA zahlreiche Leitungsstangen zur Ermittlung der Ursache des vorzeitigen Ausfalles untersucht. In allen Fällen handelte es sich um Stangen, die Ende der sechziger und Anfang der siebziger Jahre imprägniert worden sind. Die untersuchten Stangen wiesen durchwegs durch Pilze verursachte Vermorschungsschäden auf, die sich in der Regel von Schwindrissen aus ins Innere der Masten ausgebreitet haben (Fig. 3 und 4). Die Schäden entstanden meistens in der Einbauzone, wobei eine Infektion unmittelbar über Boden durch offene Schwindrisse oder bei sehr geringen Eindringtiefen direkt über die Mantelfläche erfolgt sein muss. In einigen Fällen wurden auch über Boden Fäuleschäden im Kern festgestellt. Das Ausmass der festgestellten Zerstörungen variiert sehr stark, im Extremfall waren praktisch die gesamten nicht getränkten Anteile der Stangen vermorscht. Interessant ist die Tatsache, dass die

dans le cas des deux entreprises une grosse proportion des poteaux présente une pénétration du cuivre inférieure à 10 mm. Pour l'entreprise 1 c'est le cas de 42 poteaux sur 204 (= 20,6 %) et pour l'entreprise 2 de 30 poteaux sur 192 (= 15,6 %). 5 (= 2,5 %) respectivement 3 (= 1,6 %) poteaux accusent même des profondeurs de 0 à 2 mm. Il est clair que des poteaux présentant une pénétration de 2 mm et moins des sels protecteurs ne sont pas du tout protégés contre l'attaque des champignons. Même les poteaux de lignes dont les profondeurs de pénétration des sels ne dépassent pas 10 mm doivent être considérés comme exposés à l'agression des champignons. Dans ce cas, par la faible profondeur de l'imprégnation, l'infection a un chemin très court à parcourir jusqu'au bois du cœur non imprégné. Dès lors, la probabilité de contamination de ces bois, par les champignons, est très grande. Les fig. 1 et 2 montrent de plus que, pour plus de la moitié des poteaux examinés, exactement 59,5 % pour l'usine 1 et 67,2 % pour l'usine 2, on a pu observer des profondeurs de pénétration des sels de cuivre de moins de 20 mm. Ceci est particulièrement intéressant du fait par exemple que les utilisateurs allemands de poteaux (VDEW et Postes fédérales) exigent pour la zone d'implantation une profondeur minimale de pénétration de 20 mm.

### 4. Pourriture prématurée, dommages qui s'ensuivent et qualité d'imprégnation

Au cours de ces dernières années, l'EMPA (Laboratoire fédéral d'essai des matériaux) a examiné de nombreux poteaux de ligne afin de déterminer la cause de leur pourriture prématurée. Il s'agissait dans tous les cas de poteaux imprégnés à la fin des années soixante ou au début de la décennie septante. Tous les poteaux accusaient des dégâts causés uniquement par des champignons qui généralement s'étaient introduits à l'intérieur des poteaux par des fissures de retrait (fig. 3 et 4). Les atteintes se manifestent le plus souvent dans la zone d'implantation, une infection ayant dû se produire immédiatement au-dessus du sol par des fissures de retrait ou encore au-travers de la surface latérale lorsque la profondeur de pénétration est très restreinte. Dans certains cas on a relevé aussi au-dessus du sol des pourritures du cœur. L'im-

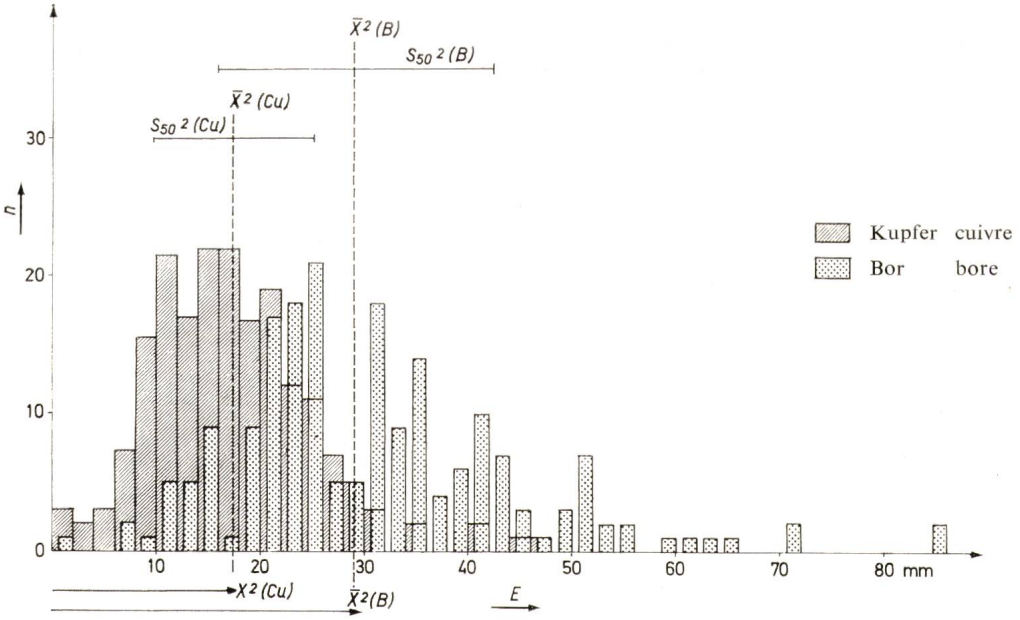


**Fig. 2**
**Verteilung der Eindringtiefen des Kupfer- und Borsalzes bei 192 Masten, die im Wechseldruckverfahren mit CKB-Salz imprägniert wurden.**
*N* Anzahl Masten
*E* Eindringtiefe in mm

**Répartition des profondeurs de pénétration des sels de cuivre et de bore sur 192 poteaux imprégnés au sel CKB par pressions alternées.**
*N* nombre de poteaux
*E* profondeurs de pénétration en mm

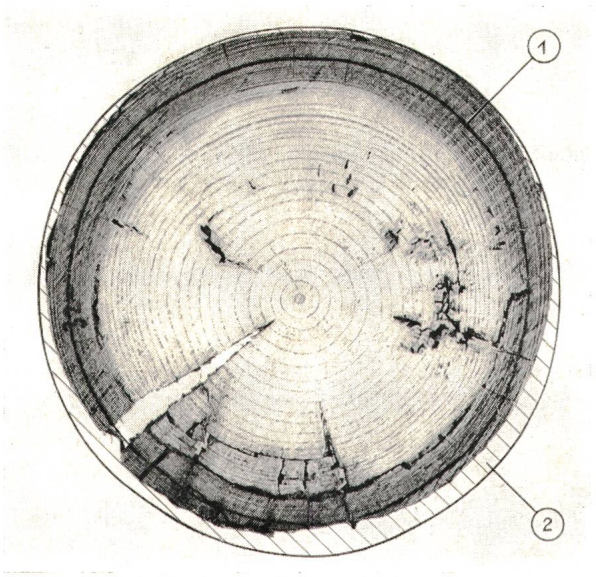


**Fig. 3**

**Mastquerschnitt mit Vermorschungsschäden im schutzmittelfreien Kern, die durch Infektionen über Schwindrisse verursacht wurden.**

Die dunkle Zone zeigt positive Kupferreaktion an. Man beachte die einseitig starken Schälverluste:

*1* äusserster vollständiger Jahrring
*2* minimal abgeschälte Holzmenge

**Coupe d'un poteau avec pourriture du coeur non protégé causée par infection pénétrant par les fentes de retrait.**

La zone sombre indique une réaction positive du cuivre. Observez sur un côté les fortes pertes par écorçage:

*1* cerne extérieur intact
*2* quantité minimale de bois enlevée

Schäden oft durch Pilze aus der Gruppe der *Lenzites*-Arten verursacht worden sind, also durch Pilze, welche vor allem im Freien über Boden verbautes Holz befallen. Die in den Fig. 3 und 4 gezeigten Schäden sind auf *Lenzites*-Befall zurückzuführen. Es wurden aber auch andere Pilzarten festgestellt.

Aufschlussreich sind die Ergebnisse über die Imprägnierqualität der untersuchten frühausgefallenen Leitungsstangen. Die Qualitätsbeurteilung erfolgt aufgrund der Eindringtiefen von Imprägniersalzkomponenten, vor allem derjenigen der Kupferkomponente, die im Holz weitgehend fixiert wird. Daneben wurden auch die Bor- und, wo vorhanden, die Fluorkomponente berücksichtigt. Die in letzter Zeit bei ausgefallenen Stangen festgestellten Eindringtiefen sind in der Tabelle II zusammengestellt. Die Ergebnisse zeigen, dass die mittlere Kupfereindringung bei allen Proben, mit Ausnahme von zwei Stangen, bei unter 10 mm liegt. Bei der Mehrzahl der Masten lag sie sogar unter 5 mm. Die minimalen festgestellten Eindringtiefen waren bei den meisten untersuchten Proben sogar bei 0 bis 2 mm. Auch die quantitativ bestimmten Schutzsalzgehalte lagen bei den untersuchten Proben meist im Bereich von etwa 2 bis 8 kg/m³, zum Teil noch tiefer, also wesentlich unterhalb der vorgeschriebenen Salzmenge von 12 kg/m³ [4, 5]. Es ist klar, dass solche ungenügende Imprägnierungen keinen ausreichenden Schutz gegen Pilzschäden ergeben können. Bei so geringen Eindringtiefen ist eine Infektion über Schwindrisse wegen der kleinen Weglänge, die von den Pilzsporen überwunden werden muss, ohne Schwierigkeiten möglich. Bei geringer Schutzsalzaufnahme ist auch die grosse Diffusionsfähigkeit portance des destructions constatées varie fortement; dans les cas extrêmes pratiquement toutes les parties non imprégnées des poteaux étaient pourries. Le fait est intéressant de constater que les dégâts ont été souvent causés par des champignons du groupe des *Lenzites,* donc par des champignons qui attaquent avant tout le bois situé au-dessus du sol. Les dégâts illustrés par les fig. 3 et 4 sont attribuables à une attaque de *Lenzites.* On a toutefois pu déceler encore d'autres espèces de champignons.

Les données relatives à la qualité de l'imprégnation de poteaux de lignes examinés après pourriture prématurée sont très instructives. Le jugement de qualité se fait sur la base de la profondeur de pénétration des composants des sels d'imprégnation surtout celle des composants cuivrés qui se fixent le mieux au bois. On a de plus tenu compte des composants à base de bore et de fluor s'il y en avait. Les valeurs de pénétration observées naguère sur des poteaux prématurément mis hors d'usage sont portées au tableau II. Les résultats montrent que pour toutes les éprouvettes sauf deux la pénétration moyenne du cuivre est inférieure à 10 mm. Pour la plupart des poteaux, elle était même inférieure à 5 mm. Pour beaucoup d'échantillons examinés, les profondeurs constatées n'étaient même que de 0 à 2 mm. Quant à la teneur en sels protecteurs quantitativement déterminées, elle se tenait le plus souvent entre 2 et 8 kg/m³, parfois même moins, c'est-à-dire sensiblement au-dessous de la quantité prescrite de sel qui est de 12 kg/m³ [4, 5]. Il est clair que des imprégnations aussi insuffisantes ne sauraient procurer une protection satisfaisante contre les atteintes des champignons. Avec de si faibles profondeurs de pénétration, le court chemin que les spores ont à parcourir le long des fentes de retrait n'oppose aucune difficulté à la contamination. Pour une faible quantité de sel protecteur, la grande faculté de diffusion du sel de bore peut aussi dans certains cas compor-

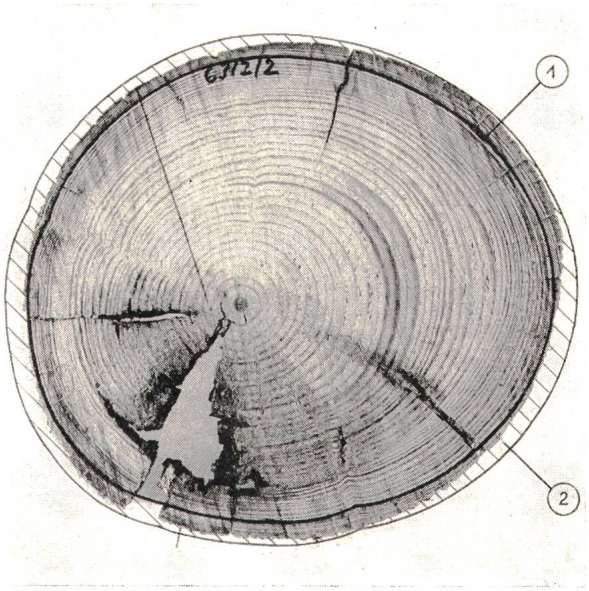


**Fig. 4**

**Mastquerschnitt mit starker Lenzites-Fäule an Schwindriss. Partiell starke Schälverluste vorhanden:**

*1* äusserster vollständiger Jahrring
*2* minimal abgeschälte Holzmenge

**Coupe de poteau avec forte pourriture par Lenzites à la fissure de retrait. Fortes pertes localisées par écorçage.**

*1* cerne extérieur intact
*2* quantité minimale de bois enlevée

des Borsalzes unter Umständen ein Nachteil, weil infolge des geringen Salzvorrates bei der Diffusion ein so starker Verdünnungseffekt eintritt, dass die Wirkung infolge Konzentrationsverminderung nicht mehr ausreichend sein kann.

Eine weitere Beobachtung betreffend den Schäleffekt ist beachtenswert. Bei zahlreichen Mastenquerschnitten ist eine ungleichmässige Schälung erkennbar, indem an ein und derselben Stange an entgegengesetzten Partien des Splintes grössere Unterschiede in der Anzahl abgeschälter Jahrringe festgestellt werden können. Dies ist zum Beispiel aus den Fig. 3 bis 5 deutlich erkennbar. An den drei Querschnitten ist der äusserste vollständige, nicht angeschnittene Jahrring, der an irgendeiner Stelle an der Oberfläche des Mastes liegt, markiert. Der äussere Splint wurde entsprechend der maximalen Anzahl vorhandener angeschnittener Jahrringe weggeschält. Diese Schälunterschiede betragen bei 20 untersuchten Stangen 3 bis zu 18 im Mittel 7 Jahrringe bzw. 2 bis 15 im Mittel

ter un inconvénient parce qu'avec la faible réserve de sel, la diffusion occasionne une telle dilution que l'efficacité peut n'être plus suffisante.

Il vaut la peine de pousser l'observation des effets de l'écorçage. Sur de nombreuses coupes de poteaux, on peut reconnaître un écorçage irrégulier du fait que sur un même poteau on peut observer en des parties opposées de l'aubier de fortes différences dans le nombre des cernes. Cela se voit très nettement sur les fig. 3 à 5 par exemple. Sur les trois coupes est marqué le cerne entier le plus excentrique qui n'a pas été entaillé et qui se situe en un endroit quelconque de la surface du poteau. L'aubier externe a été débarrassé jusqu'à concurrence du plus grand nombre des cernes entaillés. Cette différence d'écorçage intéresse, pour 20 poteaux examinés, de 3 à 18 soit en moyenne 7 cernes ou de 2 à 15 mm, soit en moyenne 11 mm. Mais la quantité d'aubier éliminée est encore plus grande, puisque aux endroits où l'effet d'écorçage

*Eindringtiefen der Schutzsalze als Mass für die Imprägnierqualität bei Leitungsstangen, die infolge Fäulnis vorzeitig ausgefallen sind, gemessen an unversehrter Stelle über den Schäden.* Tabelle II

*Profondeurs de pénétration des sels protecteurs, mesure effectuée sur la partie demeurée saine de la qualité de l'imprégnation des poteaux de lignes pourris prématurément.* Tableau II

| Ungefähre Standdauer Jahre | Imprägnier-jahr | Schutzmitteltyp | Eindringung des | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Kupfersalzes in mm | | | Bor- resp. Fluor-Salzes in mm | | |
| | | | Minimum | Maximum | Mittelwert | Minimum | Maximum | Mittelwert |
| Longévité approximative Années | Année d'imprégnation | Type de préservative | Pénétration de sel de | | | | | |
| | | | cuivre en mm | | | bore ou fluor en mm | | |
| | | | Minimum | Maximum | Moyenne | Minimum | Maximum | Moyenne |
| 3 | 1970 | CKB | 2 | 11 | 4 | –**) | – | – |
| 3 | 1970 | CKB | 0 | 3 | 2 | – | – | – |
| 3 | 1970 | CKB | 1 | 9 | 4 | – | – | – |
| 3 | 1970 | CKF | 0 | 3 | 2,2 | 4*) | 10*) | 6,5*) |
| 4 | 1969 | CKB | 1 | 4 | 3 | – | – | – |
| 4 | 1969 | CKB | 2 | 24 | 7 | – | – | – |
| 4 | 1969 | CKB | 1 | 8 | 2,5 | – | – | – |
| 4 | 1969 | CKB | 0 | 3 | 2,2 | – | – | – |
| 4 | 1970 | CKB | 0 | 8 | 2,8 | 0 | 34 | 14 |
| 5 | 1969 | CKB | 1 | 10 | 5 | nur stellenweise nachweisbar déterminable qu'en certains points seulement | | |
| 5 | 1969 | CKB | 2 | 7 | 5 | | | |
| 5 | 1969 | CKB | 1 | 7 | 3 | | | |
| 5 | 1969/70 | CKB | 10 | 21 | 14 | 38 | 45 | 41 |
| 5 | 1969/70 | CKB | 3 | 9 | 7 | 21 | 32 | 26 |
| 5 | 1969/70 | CKB | 5 | 14 | 9 | 8 | 27 | 19 |
| 5 | 1969/70 | CKB | 6 | 16 | 11 | 26 | 34 | 29 |
| 5 | 1969/70 | CKB | 5 | 13 | 8 | 13 | 30 | 21 |
| 5 | 1969/70 | CKB | 2 | 7 | 4 | 16 | 28 | 21 |
| 5 | 1970 | CKF | 1 | 7 | 3,5 | 15*) | 18*) | 16*) |
| 5 | 1970 | CKB | 0 | 4 | 2,9 | – | – | – |
| 5 | 1970 | CKB | 0 | 16 | 5,2 | – | – | – |

*) Fluornachweis **) – = keine Bestimmung *) Dét. pour le fluor **) – = pas déterminé

**Fig. 5**

**Mastquerschnitt ohne Vermorschungsschaden, aber mit partiell starken Schälverlusten:**

*1* äusserster vollständiger Jahrring
*2* minimal abgeschälte Holzmenge

**Coupe de poteau sans pourriture, mais avec fortes pertes localisées par écorçage:**

*1* cerne extérieur intact
*2* quantité minimale de bois enlevée

11 mm. Die gesamte abgeschälte Splintmenge ist aber noch grösser, weil auch an den Stellen mit dem kleinsten Schäleffekt wenigstens 1 oder 2 Jahrringe entfernt worden sind. Diese Schälverluste bedeuten eine Verminderung des imprägnierbaren Splintholzes und damit eine merkliche Verschlechterung der Imprägnierqualität.

Hier sei auch eine Bemerkung zur Frage der Salzentmischung in der Tränklösung eingefügt. Sobald ein Salzgemisch aus verschiedenen Salzen mit unterschiedlicher Fixierungsfähigkeit besteht, tritt während des Gebrauches in der Imprägnierlösung allmählich eine Entmischung ein, die von Zeit zu Zeit mit einem entsprechend zusammengesetzten Salzgemisch wieder korrigiert werden muss. Stärker entmischte Imprägniersalzlösungen können sich gegenüber nicht entmischten Lösungen dadurch unterscheiden, dass unter Umständen die pilzwidrige Wirkung und die Fixierungsfähigkeit nachteilig beeinflusst werden. Das Eindringvermögen hingegen kann, im Gegensatz dazu, wegen der schlechteren Fixierung sogar besser werden, was sich hinsichtlich der Verminderung der Frühausfälle eher positiv auswirken könnte.

## 5. Bewertung verschiedener Faktoren hinsichtlich ihrer Wirkung auf die Frühausfälle

Aufgrund der beschriebenen Beobachtungen und Untersuchungsergebnisse lassen sich die für die Frühausfälle verantwortlichen Ursachen abschätzen. Die Faktoren und ihre Bedeutung für die bisher eingetretenen und untersuchten Frühausfälle seien deshalb nachstehend nochmals zusammenfassend behandelt.

5.1. Was die Wirkung der heute verwendeten *Schutzsalze* betrifft, kann festgestellt werden, dass das Wirkungsspektrum, das heisst die Wirkung gegen die verschiedenen Gruppen von holzzerstörenden Pilzen, im Vergleich zu den früher

est le plus faible on a enlevé ou moins 1 à 2 cernes. Ces pertes par écorçage signifient une diminution de l'imprégnabilité de l'aubier d'où une appréciable diminution de la qualité de l'imprégnation.

Il sied ici de faire une remarque au sujet de la dissociation des solutions de sels mélangés. Dès l'instant que les sels mélangés présentent des capacités de fixation différentes, il se produit peu à peu en cours d'emploi une désagrégation de la solution à laquelle il faut remédier de temps en temps. Les solutions de sels fortement (désagrégées) dissociées peuvent se distinguer des autres en ce sens que leurs qualités fongicides peuvent dans certains cas s'altérer ainsi que leur faculté de fixation. En revanche, leur capacité de pénétration peut s'améliorer précisément à cause de leur moins bonne fixabilité, ce qui pourrait avoir un effet heureux sur la longévité des poteaux.

## 5. Application de divers facteurs quant à leurs effets sur la longévité

On peut supputer, sur la base des observations faites et des essais effectués, les causes de pourriture prématurée. Nous rappelons ci-dessous en les résumant ces divers facteurs et leur importance dans les cas observés et expérimentés.

5.1 En qui concerne l'effet des *sels protecteurs* actuellement employés, on peut tenir pour acquis que leur spectre d'efficacité c'est-à-dire leur effet fongicide sur divers groupes de champignons destructeurs est plus étendu et plus régulier que celui des sels utilisés naguère. A condition que l'on observe les proportions prescrites par les prescriptions UCS/PTT [4, 5, 6] et que le bois se prête à l'imprégnation, les sels protecteurs actuels garantissent une protection efficace. La cause de pourriture prématurée n'est pas à imputer, selon les résultats dont on dispose jusqu'ici, aux sels d'imprégnation utilisés.

5.2 Une *dissociation* importante des sels composants, telle qu'elle se produit à la longue d'un usage prolongé de la solution aboutit à une certaine altération de leurs propriétés. On ne dispose toutefois jusqu'ici d'aucune preuve que la pourriture prématurée en résulte.

5.3 Le *défaut de fraîcheur des bois* agit défavorablement sur la qualité de l'imprégnation. On l'observe notamment sur les bois déracinés, lors de blessures d'écorce, d'atteintes par le bostriche ou après un trop long entreposage sans soin.

5.4 La *provenance des bois* peut être significative si elle influe sur l'épaisseur de l'aubier. Un aubier étroit doit être considéré comme un défaut à cause surtout des fissures de retrait qui y apparaissent ultérieurement. Dans la grande majorité des cas de pourriture prématurée, il s'agissait de poteaux dont l'épaisseur d'aubier était faible.

5.5 L'*écorçage mécanique* actuel est souvent complice des pourritures prématurées, par le fait qu'il ne peut éviter l'enlèvement simultané de quantités appréciables d'aubier. L'épaisseur d'aubier s'en trouve réduite, d'où danger accru de contamination. Cela concerne surtout les bois à fût incurvé ainsi que les poteaux à croissance excentrique ou irrégulièrement conformés d'une manière ou d'une autre. Les plus mauvais sont les poteaux à aubier déjà étroit, qui, à l'extrême, risquent après écorçage de ne plus présenter du tout d'aubier imprégnable. On peut parer à ces inconvénients

verwendeten Salzen breiter und ausgeglichener ist. Vorausgesetzt, dass die in den VSE-PTT-Richtlinien [4, 5, 6] vorgeschriebenen Salzmengen angewendet werden und das Holz für die Imprägnierung geeignet ist, gewährleisten die heute verwendeten Schutzsalze eine gute Wirkung. Die Ursache der Frühausfälle liegt aufgrund der bisher vorliegenden Ergebnisse nicht bei den verwendeten Imprägniersalzen.

5.2. Eine zu weit gehende *Salzentmischung,* wie sie bei längerer Verwendung der Tränklösungen im Verlaufe der Zeit eintritt, führt zu gewissen Veränderungen der Salzeigenschaften. Es liegen bis jetzt aber keine Anhaltspunkte vor, aufgrund deren die Frühausfälle eine Folge einer Salzentmischung sein könnten.

5.3. *Mangelhafte Saftfrische* des Stangenholzes, auch nur partielle, wie sie bei Sturmholz, bei Rindenschäden, bei Nutzholzborkenkäferbefall oder nach allzulanger und unsorgfältiger Lagerung beobachtet werden kann, beeinflusst die Imprägnierqualität nachteilig.

5.4. Die *Provenienz des Stangenholzes* ist insofern von Bedeutung, als sie auch einen Einfluss auf die Splintbreite hat. Ein schmaler Splint ist vor allem wegen der nachträglich entstehenden Schwindrisse als Nachteil zu bewerten. Bei der überwiegenden Zahl der Frühausfälle handelt es sich um Stangen, bei denen der vorhandene Splintteil schmal war.

5.5. Die heute angewendete *maschinelle Schältechnik* ist an den Frühausfällen oft mitschuldig, indem ein Wegschälen von verhältnismässig grossen Splintmengen oft nicht vermieden werden kann. Der Splintanteil wird dadurch kleiner und damit die Infektionsgefahr grösser. Dies gilt vor allem für krummschäftige sowie für exzentrisch gewachsene oder sonstwie unregelmässig geformte Stangen. Besonders ungünstig sind die an sich schon schmalsplintigen Stangen, bei welchen im Extremfall nach der Schälung überhaupt kein imprägnierbarer Splint mehr vorhanden ist. Durch geeignete Auswahl der Stangen im Wald und Sorgfalt beim Schälen kann vorbeugend etwas getan werden.

5.6. Die heute angewendeten *Imprägnierverfahren,* nämlich das Trogsaug- und das Wechseldruckverfahren, sind auch für die Saftfrischimprägnierung von Fichtenstangen geeignet. Voraussetzung ist, dass das Stangenmaterial den «Allgemeinen Bedingungen für die Lieferung von imprägnierten Holzmasten» entspricht [2]. Die erst nachträglich entstehenden, bis in den Kern verlaufenden Schwindrisse, die Infektionspforten darstellen, sind ein Nachteil aller Saftfrischverfahren. Bei Stangen, die nur eine Grundimprägnierung aufweisen, ist bei schmalem Splint deshalb mit einer grösseren Infektionswahrscheinlichkeit zu rechnen.

Zusammenfassend ergibt sich folgendes: Die Qualität der heute verwendeten Salze an sich ist so gut, dass diese nicht für die Frühausfälle verantwortlich gemacht werden können. Die untersuchten Schadenfälle ergaben auch keine Hinweise dafür, dass die Ursache bei den Schutzsalzen liegen könnte. Die Frühausfälle sind vielmehr die Folge des Zusammentreffens ungünstiger, die Imprägnierqualität nachteilig beeinflussender Faktoren, wie die Verwendung von nicht einwandfrei imprägnierfähigem Stangenholz infolge mangelhafter Saftfrische (z. B. Sturmholz), von Holzprovenienzen mit schmalem Splint, von Stangen mit partiell grossen Schälverlusten sowie von Stangen mit nicht imprägnierten Schwindrissen als Folge der Anwendung von Saftfrischverfahren.

en choisissant convenablement les bois sur pied (en forêt) et en soignant l'écorçage.

5.6 Les *procédés d'imprégnation* actuellement appliqués, notamment le procédé par aspiration en bassin et celui par vide et pression alternés se prêtent également à l'imprégnation à l'état de sève fraîche de poteaux d'épicéa. Il faut toutefois que le bois des poteaux réponde aux «Conditions générales pour la fourniture des poteaux de bois imprégnés» [2]. Les fentes de retrait survenant ultérieurement à l'imprégnation pour atteindre le cœur constituent ainsi une porte ouverte à l'infection: elles sont un inconvénient inhérent à tous les procédés d'imprégnation à l'état de sève fraîche. La probabilité d'infection est dès lors grande pour les poteaux qui n'ont subi que l'imprégnation fondamentale et dont l'épaisseur d'aubier est faible.

En résumé: La qualité des sels utilisés aujourd'hui est telle qu'on ne peut les rendre responsables des défauts de longévité des poteaux. Les cas de dommages étudiés n'ont rien révélé qui indique que la cause en serait les sels protecteurs appliqués. Les pourritures prématurées sont bien plutôt dues à la conjonction de différents facteurs défavorables qui nuisent à la qualité de l'imprégnation tels que l'emploi de bois se prêtant mal à l'imprégnation à cause du manque de fraîcheur (bois déracinés p. ex.), de qualités de bois à faible épaisseur d'aubier, de poteaux dont l'écorçage a provoqué de grandes pertes d'aubier ainsi que de poteaux sur lesquels le mode d'imprégnation à l'état de sève fraîche a produit des fissures de retrait non imprégnées.

## 6. Mesures contre les pourritures prématurées

Il faut éviter les pourritures prématurées. Pour cela différentes mesures sont à prendre. Outre les *procédés immédiatement applicables* il est encore, pour l'avenir, des possibilités

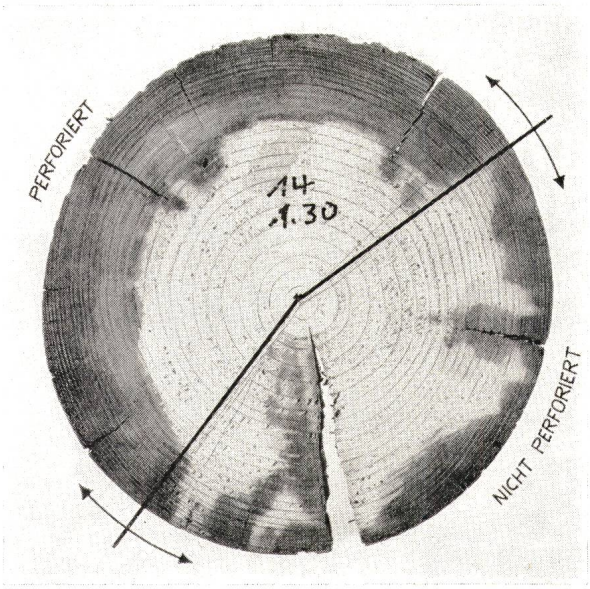


**Fig. 6**

**Abschnitt aus der auf etwa halbem Umfang perforierten Zone eines Mastes.**

Der perforierte Bereich weist im Gegensatz zum nicht perforierten, gleichmässig gute Eindringtiefe des Schutzsalzes auf.

**Echantillon prélevé sur la zone d'un poteau perforée sur son demi-pourtour.**

La zone perforée montre contrairement à l'autre une bonne profondeur régulière du sel d'imprégnation.

**Fig. 7**
**Querschnitt eines im trockenen Zustand im Vakuum-Druckverfahren getränkten Mastes mit imprägnierten Schwindrissen.**
Die dunkle Zone ist vom Schutzmittel durchtränkt.

**Coupe d'un poteau imprégné à l'état sec par procédé de vide et pression alternés et dont les fentes de retrait sont aussi imprégnées.**
La zone sombre est abreuvée d'agent protecteur.

## 6. Massnahmen zur Vermeidung von Frühausfällen

Frühausfälle müssen vermieden werden. Dafür kommen verschiedene Massnahmen in Betracht. Neben *sofort realisierbaren Verfahren* bestehen aber für die Zukunft auch Möglichkeiten, die Frühausfälle durch Verbesserung der heute angewendeten Imprägniertechnik zu vermeiden.

Zunächst ist darnach zu trachten, dass alle Massnahmen ergriffen werden, um mit den jetzt angewendeten Verfahren eine möglichst gute Grundimprägnierung zu erzielen. Es muss der Holzauslese, der Lagerung des Stangenholzes, der Saftfrische, der sorgfältigen Schälung und der sachgerechten Durchführung der Grundimprägnierung grösste Beachtung geschenkt werden. Wie die Erfahrung zeigt, können Schäden trotzdem nicht in jedem Fall vermieden werden.

Als sofort realisierbare Verfahren, mit welchen Frühausfälle unmittelbar und weitgehend vermieden werden können, ist die Anwendung eines Doppelstockschutzes, sei es das Impfstichverfahren oder das Bandageverfahren, zu empfehlen. Beide Verfahren wurden in den Feldversuchen des VSE in verschiedenen Variationen durchwegs mit gutem bis sehr gutem Erfolg geprüft [10], zudem haben sie sich auch in der praktischen Anwendung bei verschiedenen Elektrizitätswerken des In- und Auslandes bestens bewährt.

Bei einwandfreier Durchführung des Doppelstockschutzes ist es aufgrund der bisher vorliegenden Resultate möglich, die Nachpflegeintervalle ohne Nachteil von den bisher empfohlenen 8 bis 10 auf etwa 12 Jahre auszudehnen. In Zukunft muss auch versucht werden, die Grundimprägnierung zu verbessern.

Ein dazu geeignetes Verfahren, das aber noch genauer geprüft werden muss, ist das Perforationsverfahren, welches darin besteht, dass die Leitungsmaste vor der Imprägnierung in der Einbauzone nach festgelegten Plänen durch etwa 3 mm weite und 30 bis 40 mm tiefe Bohrungen perforiert werden. Bei den auf diese Weise mechanisch vorbehandelten Masten nehmen die perforierten Zonen wesentlich mehr Schutzsalz auf als die nicht behandelten Partien, zudem ergibt sich im allgemeinen eine regelmässige Eindringtiefe, die etwa der Perforationstiefe entspricht (Fig. 6). Da die offenen, nicht imprägnierten Schwindrisse der in saftfrischem Zustand getränkten Fichtenmaste (Fig. 3) eine Infektionsgefahr darstellen, muss auch überprüft werden, ob die Saftfrischimprägnierung eventuell durch eine Trockenholzimprägnierung ersetzt werden könnte. Bei trockenen Masten schon vorhandene Schwindrisse werden bei der Tränkung ebenfalls imprägniert und dadurch gegen Pilzinfektionen geschützt (Fig. 7). Durch geeignete Modifikation der bisher verwendeten Programme für die Vakuum-Druck-Imprägnierung für trockenes Holz könnte möglicherweise eine weitere Verbesserung der Grundimprägnierung erreicht werden.

d'améliorer la longévité en améliorant les techniques d'imprégnation aujourd'hui appliquées.

On peut considérer d'emblée que les procédés actuels permettent d'obtenir une excellente imprégnation fondamentale. Il suffit de prêter une attention particulière au choix des bois, à l'entreposage des poteaux, à la fraîcheur de la sève, à l'écorçage soigneux et à l'exécution selon les règles de l'art de l'imprégnation fondamentale. Ainsi que le démontre l'expérience, il n'est toutefois pas possible dans tous les cas d'éviter les dommages.

On peut recommander, comme premier procédé réalisable susceptible d'épargner immédiatement et largement les pourritures prématurées, l'application d'une protection supplémentaire de la base soit par traitement par piqûres, soit par bandage. Ces deux procédés ont été testés aux essais sur pied en plusieurs variantes par l'UCS et toujours avec des résultats bons à excellents [10].

En procédant de façon irréprochable à la protection supplémentaire de la base, les résultats obtenus jusqu'ici démontrent que l'on peut sans inconvénient prolonger à 12 ans les intervalles de traitements ultérieurs qui étaient jusqu'ici de 8 à 10 ans. A l'avenir on cherchera encore à améliorer l'imprégnation fondamentale.

Un procédé qui devrait y tendre, mais qui demande encore examen plus approfondi est le procédé par perforation qui consiste, avant l'imprégnation à percer la zone d'implantation des poteaux selon un plan déterminé par des perforations de 3 mm de diamètre et 30 à 40 mm de profondeur. Sur les poteaux ainsi mécaniquement prétraités, les zones perforées absorbent sensiblement plus de sels protecteurs que le reste; il en résulte de plus une profondeur de pénétration plus régulière qui correspond à peu près à la profondeur des perforations (fig. 6). Comme les fissures de retrait ouvertes dans les poteaux d'épicéa traités à l'état de sève fraîche (fig. 3) constituent un risque d'infection, il faut encore examiner si l'imprégnation à l'état de sève fraîche ne devrait pas être remplacée éventuellement par une imprégnation sur bois sec. Sur des bois secs, les fissures déjà existantes sont également imprégnées à l'immersion et ainsi protégées contre la contamination due aux champignons (fig. 7). En modifiant convenablement les programmes de l'imprégnation par vide et pression alternés des bois secs, il se pourrait que l'on puisse encore améliorer l'imprégnation fondamentale.

**Literatur**

[1] EMPA: Bericht über vergleichende Untersuchungen der Eindringtiefen von Wolmanit CB in Leitungsmasten bei verschiedenen Imprägnierverfahren bzw. Imprägnierwerken. Bericht 47/6467 der EMPA vom 28. 5. 1974 an den VSE, Zürich.
[2] VSE: Allgemeine Bedingungen für die Lieferung von imprägnierten Holzmasten, Juni 1971.
[3] VSE-Kommission zum Studium der Imprägnier- und Nachbehandlungsverfahren für Holzmasten: Fortschritte in der Imprägnierung von Leitungsmasten. Bull. SEV 51(1960)7, S. 77...85.
[4] VSE und PTT: Richtlinien für die Imprägnierung von Leitungsmasten aus Holz nach dem Trogsaugverfahren mit Wolmanit CB. Juli 1968, Kennzeichen S4.
[5] VSE und PTT: Richtlinien für die Imprägnierung von Leitungsmasten aus Holz nach dem Wechseldruckverfahren mit Wolmanit CB. Dezember 1968, Kennzeichen W4.
[6] VSE und PTT: Richtlinien für die Imprägnierung von Leitungsmasten aus Holz nach dem Wechseldruckverfahren mit Basilit CFK, Dezember 1968, Kennzeichen W5.
[7] *O. Wälchli:* Pilze auf Holzmasten unter besonderer Berücksichtigung des Porenhausschwammes *(Poria vaporaria)*. Bull. SEV 44(1953)1, S. 14...20.
[8] *O. Wälchli:* Neue Methoden der Stangenholzimprägnierung. Bull. SEV 54(1963)22, S. 213...220.
[9] *O. Wälchli:* Der Einfluss verschiedener Schutzverfahren und Schutzsalze auf die Salzverteilung in getränkten Leitungsmasten. Holz als Roh- und Werkstoff, 22(1964), S. 64...68.
[10] *O. Wälchli:* Stand und Verfahren der Mastenimprägnierung. Bull. SEV 63(1972)10, S. 535...540.

**Adresse des Autors**

Prof. Dr. *O. Wälchli,* Chef Ressort Naturwissenschaften, Eidgenössische Materialprüfungs- und Versuchsanstalt, Unterstrasse 11, 9000 St. Gallen.

**Bibliographie**

[1] EMPA: Bericht über vergleichende Untersuchungen der Eindringtiefen von Wolmanit CB in Leitungsmasten bei verschiedenen Imprägnierverfahren bzw. Imprägnierwerken. Bericht 47/6467 der EMPA vom 28. Mai 1976 an den VSE, Zürich.
[2] UCS: Conditions générales pour la fourniture de poteaux en bois imprégnés (1973).
[3] UCS: Commission pour la protection des bois dans la construction de lignes: Progrès en matière d'imprégnation des poteaux de bois pour lignes aériennes. Bulletin ASE 51(1960)7, p. 77...85.
[4] UCS et PTT: Directives pour l'imprégnation des poteaux de bois selon le procédé en cuve par vide avec Wolmanite CB. Juillet 1968, lettre distinctive S4.
[5] UCS et PTT: Directives pour l'imprégnation des poteaux de bois selon le procédé par pression alternée avec Wolmanite CB. Décembre 1968, lettre distinctive W4.
[6] UCS et PTT: Directives pour l'imprégnation des poteaux de bois selon le procédé par pression alternée avec Basilite CFK, Décembre 1968, lettre distinctive W5.
[7] *O. Wälchli:* Les champignons sur les poteaux de bois avec mention particulière du bolet destructeur poreux *(Poria vaporia)*. Bulletin ASE 44(1953)1, p. 14...20.
[8] *O. Wälchli:* Nouvelles méthodes pour l'imprégnation des poteaux en bois. Bulletin ASE 54(1963)22, p. 213...220.
[9] *O. Wälchli:* Der Einfluss verschiedener Schutzverfahren und Schutzsalze auf die Salzverteilung in getränkten Leitungsmasten. Holz als Roh- und Werkstoff, 22(1964), p. 64...68.
[10] *O. Wälchli:* Etat actuel et procédés d'imprégnation des poteaux de bois. Bulletin ASE 63(1972)10, p. 535...540.

**Adresse de l'auteur**

Prof. Dr *O. Wälchli,* chef du Ressort Sciences naturelles, Laboratoire fédéral d'essai des matériaux et Institut de recherches, Unterstrasse 11, 9000 St-Gall.

# Frühausfälle und Doppelstockschutz bei hölzernen Leitungsstangen

Von F. Seiler und W. Popper

*Es werden die Ergebnisse einer Sonderauswertung des statistischen Materials der BKW über hölzerne Leitungsstangen kommentiert und eine Methode für die Beurteilung der Rentabilität des Doppelstockschutzes an Beispielen erläutert.*

*Le texte ci-dessous commente les résultats d'une exploitation particulière du matériel statistique des FMB sur les poteaux en bois des lignes aériennes et explique à l'aide d'exemples une méthode pour évaluer la rentabilité de la protection supplémentaire de la base.*

## 1. Einleitung

In letzter Zeit mehrten sich Klagen seitens der Elektrizitätswerke und der PTT über eine relativ grosse Anzahl hölzerner Leitungsstangen, welche bereits nach 2–10 Jahren infolge Fäulnis ersetzt werden mussten.

Die VSE-Kommission «Holzschutz im Leitungsbau» hat sich dieser Klagen angenommen und sucht deren Ursachen zu ergründen, um Massnahmen zur Verbesserung der Situation treffen zu können. Die Bernischen Kraftwerke AG, welche seit Jahrzehnten eine Statistik der infolge Fäulnis ausgewechselten Holzstangen führen, haben zu diesem Zweck eine Sonderauswertung ihres statistischen Materials in bezug auf die Frühausfälle durchgeführt. Diese Studie dürfte sowohl für die Stangenabnehmer als auch für die Imprägnierfirmen von Interesse sein.

## 2. Unterlagenmaterial

Die infolge Fäulnis ersetzten Stangen, welche nur eine Standdauer von 1–25 Jahren erreichten, wurden, um die Auswertung mit einem vernünftigen Aufwand überhaupt zu ermöglichen, in Altersklassen von je 5 Jahren zusammengefasst und die Anzahl der Stangen in jeder Klasse in ein prozentuales Verhältnis zur Gesamtzahl der ausgewechselten faulen Stangen des betreffenden Jahres gesetzt. Untersucht wurden die letzten 11 Jahre, das heisst der Anfall fauler Stangen in den Jahren 1964–1974. Das Zahlenmaterial ist aus Tabelle I ersichtlich.

Zur besseren Veranschaulichung wurden die Prozentwerte in einem Koordinatensystem dargestellt. Die Punkte erlauben es, mutmassliche, kontinuierliche Kurvenverläufe für jede Altersklasse zu bilden (Fig. 1). Um eine bessere grafische Darstellbarkeit zu erreichen, wurden die Klassen 1–5 und 6–10 Jahre zu einer einzigen Kurve 1–10 Jahre vereinigt.

## 3. Auswertung der Statistik

Die Frühausfälle (1–10 Jahre) sind in den vergangenen 11 Jahren praktisch konstant und sehr klein geblieben. Demgegenüber zeigen die Altersklassen 11–15 und 16–20 Jahre ausserordentlich erfreuliche Rückgänge in ihren Prozentanteilen von ihren verhältnismässig hohen Werten im Jahre 1964. Diesen Erfolg in der Haltbarmachung des Stangenholzes schreiben die BKW nicht nur der Grundimprägnierung, sondern in mindestens gleichem Masse der Wirkung des Doppelstockschutzes (DS) zu.