Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 52 (1961)

Heft: 1

Artikel: Kann die Wirtschaftlichkeit der Nachimprägnierung hölzerner Masten auch für kleine Netze ermittelt werden?

Autor: Vodoz, J. / Schwerer, B.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-916806

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: 09.07.2025

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

Kann die Wirtschaftlichkeit der Nachimprägnierung hölzerner Masten auch für kleine Netze ermittelt werden?

Von *J. Vodoz* und *B. Schwoerer*, Zürich

621.315.668.1.004.4 : 338

Nach einigen grundsätzlichen Erwägungen über das Problem der Berechnung der Wirtschaftlichkeit der Nachimprägnierung hölzerner Masten werden die hauptsächlichsten Ergebnisse einer Untersuchung, welche die Verfasser im Auftrage der Aare-Tessin A.-G. für Elektrizität, Olten, durchgeführt haben, zusammenfassend wiedergeben.

Après avoir fait quelques réflexions fondamentales sur le problème du calcul des avantages économiques de l'imprégnation ultérieure des poteaux de bois, les auteurs communiquent sous une forme condensée les principaux résultats d'une étude qu'ils ont effectuée pour le compte de l'Aar et Tessin S. A. d'Electricité, à Olten.

A. Problemstellung

Die wichtige Frage der Wirtschaftlichkeit der Nachimprägnierung hölzerner Stangen wurde in der Schweiz wie im Ausland wiederholt besprochen und geprüft. Praktiker, Wissenschaftler und Statistiker haben versucht, auf Grund mehrjähriger Beobachtungen über das Verhalten der Stangen grosser Netze den Einfluss verschiedener Nachimprägnierungsmittel und -verfahren auf die mittlere Lebensdauer der Stangen zu erfassen.

Grundsätzlich können solche Untersuchungen nur dann zu sicheren Ergebnissen führen, wenn die Wahl der Versuchsbedingungen die Festhaltung des Einflusses zahlreicher Faktoren ermöglicht.

Solche sind zum Beispiel: die Holzart, die Herkunft und die Qualität der Masten, die Verfahren und Mittel der Grundimprägnierung, die Dauer und Art der Lagerung der Masten vor ihrem Einbau, die äusseren Einflüsse am Einbauort (geologischer Untergrund, Acker, Wald, Klima) das unterschiedliche Verhalten von Stangen bei Neubau und Auswechslungen, die Verfahren und Mittel der Nachimprägnierung, der Zeitpunkt der ersten und der weiteren Nachimprägnierungen, die Beurteilung der Stangen durch die Kontrollorgane, usw.

Bei kleinen Netzen mit nur einigen tausend Stangen können solche Versuche nicht durchgeführt werden. Zudem können die praktischen Ergebnisse der Grossuntersuchungen nur soweit auf die kleinen Netze übertragen werden, als die Grundbedingungen in beiden Fällen übereinstimmen. Eine genügende Vergleichbarkeit trifft aber nur selten zu.

Die Ermittlung der Wirtschaftlichkeit der Nachimprägnierung hölzerner Masten wird bei kleineren Netzen meistens noch dadurch erschwert, dass nur spärliches statistisches Material vorliegt. Es stellt sich daher die Frage, wie man in solchen Fällen, bei anscheinend ungünstiger Ausgangslage, zu eindeutigen Ergebnissen kommen kann. Im Folgenden sollen daher die wichtigsten Ergebnisse einer im Auftrag der ATEL, Olten, für ihr Regionalnetz durchgeführten Untersuchung[1]) zusammengefasst werden. Anschliessend soll auch die Berechnungsmethode dargelegt werden.

B. Allgemeine Ergebnisse der Untersuchung

Die Untersuchung beruht auf folgendem statistischen Material:

Tabellen über das Verhältnis von Auswechslungen und Zuwachs zur Anzahl Stangen, d. h.: jährliche Angaben über die totale Zahl der Stangen und Streben, die Zahl der Auswechslungen, den Zuwachs und das Total neuer Stangen.

Protokolle über die jährlichen Leitungskontrollen. Diese enthalten Angaben über die schadhaften Stangen, wie: Nummer, Jahrgang (Brennzeichen), Lage des Schadens oben oder unten, Art des Schadens, Fäulnis stark oder schwach.

Die Ergebnisse der Auswertung dieser Tabellen und Protokolle wurden dank enger Zusammenarbeit mit den für das Netz der ATEL verantwortlichen Herren, durch verschiedene praktische und für dieses Netz charakteristische Angaben vervollständigt, so dass schliesslich für die Berechnung der Wirtschaftlichkeit der Nachimprägnierung hölzerner Stangen, folgende Grössen vorlagen:

— die mittlere Lebensdauer der Masten einiger typischer Leitungen (Wiese- und Ackerland, Wald, Jura), somit auch
— der Prozentsatz der jährlich auszuwechselnden Masten,
— die Höhe der Ersatz- und Auswechslungskosten in Abhängigkeit von der Länge der Masten.

Zur Berechnung der Wirtschaftlichkeit wurden die Barwerte der summierten Unterhaltungskosten je einer unbehandelten und einer nachbehandelten Leitung verglichen. In Abhängigkeit der verschiedenen Kosten (Stangenpreis, Auswechslung, Nachbehandlung), des Zeitpunktes der ersten und der nachfolgenden Nachimprägnierungen konnte berechnet werden, um wieviele Jahre die mittlere Lebensdauer der Masten durch die Nachbehandlung verlängert werden muss, damit sich diese sicher bezahlt macht. Bei den im Fall der ATEL eingesetzten Zahlen für die mittlere Lebensdauer und die Auswechslungs- und Nachimprägnierungskosten zeigte sich zum Beispiel folgendes:

[1]) Für die Erlaubnis, die wichtigsten Ergebnisse dieser Arbeit zu veröffentlichen, möchten wir der Direktion der ATEL bestens danken.

Für Masten von mittlerer Länge (12—13 m) wäre eine Nachbehandlung im 10. und im 18. Jahr nach ihrer Aufstellung bereits wirtschaftlich, wenn die mittlere Lebensdauer um 3 Jahre, d. h. von 21 auf 24 Jahre verlängert würde. Bei drei Nachpflegen, wobei die erste im 1. Jahr, die weiteren im 8. und 16. Jahr erfolgen würden, müsste die mittlere Lebensdauer um 5 Jahre verlängert werden.

Selbstverständlich können diese, für den bestimmten Fall der ATEL berechneten Beispiele nicht einfach auf andere Netze übertragen werden, sondern es müssen die für jedes Netz charakteristischen Zahlen ermittelt und in die entsprechenden mathematischen Formeln eingesetzt werden. Mit der im folgenden Abschnitt dargelegten Berechnungsmethode ist es aber nun möglich, nicht nur bei grossen Netzen, über die reiches statistisches Material vorliegt, sondern auch bei kleinen Netzen, über deren Masten wenig bekannt ist, die Wirtschaftlichkeit der Nachimprägnierung nicht nur gefühlsmässig oder überschlagsweise abzuschätzen, sondern sie zu berechnen und in einzusparenden Franken auszudrücken.

Auf Grund einer solchen Untersuchung kann mit Sicherheit entschieden werden, ob sich die Mehrauslagen für die Nachimprägnierung der Masten (nach den durch den VSE empfohlenen Verfahren) lohnt oder nicht.

C. Ableitung von mathematischen Formeln für die grundsätzliche Berechnung der Wirtschaftlichkeit der Nachimprägnierung

Es wird davon ausgegangen, dass eine Leitung für eine unendlich lange Zeit unterhalten werden soll. Summiert man den Barwert aller damit verbundenen zukünftigen Kosten, so erhält man einen Betrag, der, heute angelegt, die Leitung für alle Zeiten finanzieren könnte. *Durch Vergleich der Barwerte von Leitungen mit und ohne Nachpflege kann die Wirtschaftlichkeit der Nachimprägnierung berechnet werden.*

Bezeichnungen:

M	Fr.	Kosten eines neuen Mastes inkl. Transport bis zum Aufstellungsort.
A	Fr.	Kosten für die Aufstellung eines Mastes
L	Jahre	Erfahrungsgemässe mittlere Lebensdauer eines Mastes, wenn keine Nachbehandlungen erfolgen.
N	Fr.	Kosten einer Nachbehandlung inkl. Erdarbeiten usw.
μ		relative Verlängerung der Lebensdauer eines Mastes durch Nachbehandlungen.
$\mu \cdot L$	Jahre	Lebensdauer eines nachbehandelten Mastes.
t_1	Jahre	Zeit bis zur ersten Nachimprägnierung. Erfolgt die erste Nachimprägnierung sofort nach dem Aufstellen des Mastes, so ist $t_1 = 0$.
t	Jahre	Zwischenraum zwischen zwei aufeinanderfolgenden Nachpflegen. Wird z. B. empfohlen, den Mast erstmalig nach 8 Jahren nachzubehandeln, dann wieder nach 15 und 22 Jahren, so dass er im 29. Jahr ersetzt werden muss, dann ist: $t_1 = 8; t = 7; z = 3; \mu \cdot L = 29$
z		Anzahl der Nachbehandlungen, die während der Lebenszeit an einem Mast vorgenommen werden.
i		Zinsfuss
v		Abzinsungsfaktor (Diskontfaktor)

$$v = \frac{1}{1 + \frac{P}{100}} = \frac{1}{1+i}$$

für $p = 4\%$ ist $i = 0{,}04$ und $v = 0{,}96$

1.1 *Barwert der Kosten für nichtbehandelte Masten : K*

Der Barwert einer in T Jahren fälligen Zahlung Z ist:

$$B = Z \cdot v^T$$

$$K = (M+A) + (M+A)v^L + (M+A)v^{2L} + \\ + (M+A)v^{3L} + \ldots + (M+A)v^{nL}$$

Vorstehender Ausdruck ist eine geometrische Reihe. Wenn n gegen ∞ geht, strebt K einem Grenzwert zu.

$$K_\infty = \lim_{n\to\infty} K = \lim_{n\to\infty} (M+A) \sum_{n\to 0}^{\infty} v^{nL} = (M+A)\frac{1}{1-v^L}$$

1.2 *Barwert der Kosten für nachbehandelte Masten. K_N*

Diese setzen sich zusammen aus:

a) Kosten für neue Masten nach jeweils $\mu \cdot L$ Jahren:

$$(M+A) + (M+A)v^{\mu L} + (M+A)v^{2\mu L} + \ldots \\ = (M+A)\frac{1}{1-v^{\mu L}}$$

b) Kosten für Nachbehandlungen jeweils t_1 Jahre nach der Neuaufstellung eines Mastes:

$$Nv^{t_1} + Nv^{\mu L + t_1} + Nv^{2\mu L + t_1} + \ldots \\ = Nv^{t_1}\left(\frac{1}{1-v^{\mu L}}\right)$$

c) Kosten für Nachbehandlungen, welche noch zusätzlich nach den Zeiten $t_1 + t$, $t_1 + 2t$, ... $\mu L + t_1 + t$, $\mu L + t_1 + 2t$, ... usw. erfolgen.

$$Nv^{t_1+t} + Nv^{t_1+zt} + Nv^{t_1+3t} + \ldots + Nv^{t_1+(z-1)t} \\ + Nv^{\mu L+t_1+t} + Nv^{\mu L+t_1+2t} + \ldots Nv^{\mu L+t_1+(z-1)t} \\ + Nv^{2\mu L+t_1+t} + Nv^{2\mu L+t_1+2t} + \ldots Nv^{2\mu L+t_1+(z-1)t} \\ + \ldots \\ = Nv^{t_1}\left(\frac{1}{1-v^{\mu L}}\right) \cdot \left(\frac{1-v^{zt}}{1-v^t} - 1\right)$$

Diese drei Posten summiert ergeben:

$$K_N = \frac{1}{1-v^{\mu L}}\left[M + A + Nv^{t_1}\frac{1-v^{zt}}{1-v^t}\right]$$

1.3 *Vergleich der beiden Barwerte*

Das Verhältnis K_N zu K der beiden Barwerte ist die wesentliche Grösse, die für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung in Frage kommt. Abgekürzt sei:

$$\frac{K_N}{K} = k$$

k gibt an, wieviel Prozent der Kosten ohne Nachpflege noch entstehen, wenn man regelmässig nachpflegt. k muss also kleiner sein als 1, damit die Nachpflege wirtschaftlich ist.

$$k = \frac{1-v^L}{1-v^{\mu L}} \left[1 + \frac{N}{M+A} v^{t_1} \left(\frac{1-v^{zt}}{1-v^t}\right)\right]$$

Die Werte für k müssen von Fall zu Fall ausgerechnet werden. Die Darstellung dieser Formel in einem Diagramm wäre zu umständlich, da k von 7 Variablen abhängt, nämlich:

$$v, L, \mu, \frac{N}{M+A}, z, t_1, t.$$

1.4 *Vereinfachte Wirtschaftlichkeitsberechnung*

Zur Vereinfachung der Wirtschaftlichkeitsberechnung kann der Fall betrachtet werden, bei dem der Zins nicht berücksichtigt zu werden braucht. Wird in die Wirtschaftlichkeitsformel

$$i = \text{o bzw. } v = 1$$

eingesetzt und für den entscheidenen Ausdruck $\frac{0}{0}$ der Grenzwert errechnet, so erhält man als neues Kostenverhältnis

$$k_0 = \lim_{v \to 1} k = \frac{1}{\mu}\left(1 + \frac{N}{M+A} z\right)$$

k_0 (ohne Zinsberücksichtigung) ist im allgemeinen kleiner als k (mit Zinsberücksichtigung). Liegt k_0 genügend weit unter 1, so ist das Ergebnis der vereinfachten Berechnung eindeutig. Liegt aber k_0 zwischen 0,85 und 1, so empfiehlt sich eine genaue Berechnung mit Zinsberücksichtigung.

1.5 *Sonderfälle der Wirtschaftlichkeitsformel:*

1.5.1 *Einmalige Nachpflege sofort.*

$$z = 1, t_1 = 0$$

$$k = \frac{1-v^L}{1-v^{\mu L}} \left(1 + \frac{N}{M+A}\right) \quad \text{mit Zinsberücksichtigung}$$

$$k_0 = \frac{1}{\mu} \left(1 + \frac{N}{M+A}\right) \quad \text{ohne Zinsberücksichtigung}$$

1.5.2 *Zweimalige Nachpflege, davon eine sofort, die andere nach t Jahren*

$$z = 2, t_1 = 0$$

$$k = \frac{1-v^L}{1-v^{\mu L}} \left(1 + \frac{N}{M+A} (1+v^t)\right) \quad \text{mit Zins}$$

$$k_0 = \frac{1}{\mu} \left(1 + 2\frac{N}{M+A}\right) \quad \text{ohne Zins}$$

1.6. *Ermittlung der minimalen Lebensdauerverlängerung*

1.6.1 *Mit Zinsberücksichtigung*

Die Wirtschaftlichkeitsgrenze für μ findet man, indem man in der allgemeinen Kostenformel $k = 1$ setzt und umformt:

$$\mu > \frac{\ln \left[v^L - \frac{N}{M+A} v^{t_1} \cdot \frac{1-v^{zt}}{1-v^t} \cdot (1-v^L)\right)}{\ln v^L}$$

Die Mindestlebensdauerverlängerung ΔL berechnet man wie folgt:

$$\Delta L = L \cdot (\mu - 1)$$

bzw.

$$\Delta L > \frac{L \cdot \ln \left[1 - \frac{N}{M+A} \cdot \frac{v^{t_1}}{v^L} \cdot \frac{1-v^{zt}}{1-v^t} (1-v^L)\right]}{\ln \cdot v^L}$$

1.6.2 *Ohne Zinsberücksichtigung*

$K_0 = 1$ gesetzt erhält man:

$$\mu > 1 + \frac{N}{M+A} \cdot Z$$

bzw.

$$\Delta L > \frac{L \cdot N}{M+A} \cdot Z$$

Literatur

Bavendamm, W.: Der Schutz von Holzmasten durch das Impfstichverfahren. Holz-Zentralblatt Bd. 87(1959), Nr. 54, S. 717...718.

Boegli, F.: Stangenstatistik der Jahre 1952—1956. Techn. Mitt. PTT Bd. 36(1958), Nr. 4, S. 152...161.

Bürklin, G. A.: Ergebnisse einer Mastenstatistik. Elektr.-Wirtsch. Bd. 56(1957), Nr. 21, S. 778...782 und Nr. 23, S. 855...860.

Carlo, L.: Erfahrungen mit imprägnierten Holzmasten beim Service de l'électricité de Genève. Bull. SEV Bd. 44(1953), Nr. 2, S. 43...53.

Carlo, L.: Gegenwärtige Tendenzen beim Bau der elektrischen Verteilnetze. Bull. SEV Bd. 50(1959), Nr. 13, S. 641...649.

Göhre, K.: Die Nachimprägnierung hölzerner Leitungsmaste. Energietechnik Bd. 5, Nr. 11, S. 507...516.

Harder, H.: Der Holzmast im Freileitungsbau. Frankfurt a. M.: Verlags- und Wirtschaftsgesellschaft d. Elektrizitätswerke: 1957.

Hegner, Th.: Mastenstatistik der Deutschen Bundespost. Archiv für das Post- und Fernmeldewesen Bd. 6(1954), Nr. 3, S. 113...176.

Mahlke-Troschel, *L.:* Handbuch der Holzkonservierung. Berlin: Springer-Verlag: 1950.

Wälchli, O.: Pilze auf Holzmasten, unter besonderer Berücksichtigung des Porenhausschwammes. Bull. SEV Bd. 44(1953), Nr. 1, S. 14...20.

Wälchli, O.: Über Anlage und Durchführung der Freilandversuche des VSE zur Prüfung von Stangenimprägnierungen. Bull. SEV Bd. 45(1954), Nr. 23, S. 985...989.

Wälchli, O.: Bericht über die ersten Ergebnisse der Prüfung verschiedener Stangenimprägnierungen in den Freilandversuchen des VSE. Bull. SEV Bd. 47(1956), Nr. 13, S. 633...638.

Wälchli, O.: Lagerung und Kupfersulfatgehalte bei boucherisierten Leitungsstangen. Bull. SEV Bd. 48(1957), Nr. 7, S. 291...293.

Wälchli, O.: Bericht über die Versuche des VSE zur Prüfung von Stangen-Imprägnierungen. Bull. SEV Bd. 49(1958), Nr. 13, S. 585...593.

Wecker-Frey, *F.:* Ist das Nachimprägnieren von Leitungsstangen wirtschaftlich? Bull. SEV Bd. 34(1943), Nr. 20, S. 612...614.

Winnig, K.: Die Stangenstatistik der DRP und die Berechnung der mittleren Gebrauchsdauer. Archiv für Post und Telegraphie Bd. 62(1934), Nr. 1, S. 1...20.

Grundlegende Untersuchungen über den Nachschutz von Holzmasten mit Salzen. Mitteilungen der Deutschen Gesellschaft für Holzforschung Bd. 42(1958).

Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke: Imprägnier- und Nachbehandlungsverfahren für Holzmasten. Provisorische Empfehlungen vom Dezember 1954. (Nicht veröffentlicht.)

Fortschritte in der Imprägnierung von Leitungsmasten. Kurzbericht über einige Ergebnisse der Untersuchungen der Kommission des VSE zum Studium der Imprägnier- und Nachbehandlungsverfahren für Holzmasten. Bull. SEV Bd. 51(1960), Nr. 7, S. 369...376.

Adresse der Autoren:

Dr. *J. Vodoz,* beratender Ingenieur für Holzfragen, Talstrasse 39, Zürich; *B. Schwoerer,* Dipl. Ing. ETH, mathematische Organisationsplanung, Alte Feldeggstrasse 8, Zürich.