Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 63 (1972)

Heft: 10

Rubrik: Energie-Erzeugung und -Verteilung : die Seiten des VSE

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: 02.10.2025

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

Energie-Erzeugung und -Verteilung

Die Seiten des VSE

Sondernummer
Holzschutz im Leitungsbau

Bericht über die 38. Diskussionsversammlung vom 11. November 1971 in Zürich

Die Diskussionsversammlung über «Holzschutz im Leitungsbau» wurde für die deutschsprechenden Teilnehmer am 11. November 1971 in Zürich durchgeführt; diejenige für die französischsprechenden erfolgte am 3. Mai 1972.

Herr A. Strehler, Präsident der Kommission des VSE für Diskussionsversammlungen über Betriebsfragen, leitete die Versammlung in Zürich, an der 127 Personen teilnahmen. Als Diskussionsleiter amtete Herr E. Weilenmann, Emmenbrücke, Präsident der Kommission für Holzschutz im Leitungsbau.

Weitere Referenten waren die Herren:

Prof. Dr. sc. nat. O. Wälchli,
Leiter der biologischen Abteilung der EMPA, St. Gallen

R. Berchtold,
Direktor der Holzindustrie Renfer & Co. AG, Biel

H. Steinle,
technischer Beamter der Linienabteilung der GD. PTT, Bern

J. Stösser,
Chef des Leitungsbaues der EKZ, Zürich

F. Seiler,
Vorsteher der Installationsabteilung der BKW, Bern

Begrüssung und Einführung

Von *A. Strehler*, St.Gallen

Im Namen des Vorstandes des VSE und im Namen der Kommission für Diskussionsversammlungen über Betriebsfragen und im Namen der Kommission für Holzschutz im Leitungsbau heisse ich Sie herzlich willkommen zur 38. Diskussionsversammlung.

Die heutige Veranstaltung entspringt einer Anregung der Kommission für Holzschutz im Leitungsbau. Sie soll die Spezialisten des Leitungsbaues mit den neusten Erkenntnissen über die Imprägnierung und Nachbehandlung der Holzmasten informieren.

Ich darf darauf hinweisen, dass bereits im Jahre 1951 eine Diskussionsversammlung sich mit diesem Thema befasste. Schon damals haben zwei der heutigen Referenten, nämlich der derzeitige Präsident der Kommission, Herr E. Weilenmann, und der wissenschaftliche Experte Prof. Dr. O. Wälchli die Tagung mit Referaten bereichert.

In der Kommission für Holzschutz im Leitungsbau arbeiten die Vertreter der Werke und der biologische Experte eng zusammen mit den Vertretern der Imprägnierungsanstalten. Zur heutigen Tagung sind daher auch sie eingeladen worden, und ich möchte sie an dieser Stelle in globo begrüssen.

Die beiden Kommissionen haben vereinbart, dass das Begrüssungs- und Schlusswort durch den Präsidenten der Kommission für Diskussionsversammlungen erfolgt, dagegen die Diskussion durch den Präsidenten der Kommission für Holzschutz im Leitungsbau geleitet wird. Es ist vorgesehen, die Referate am Vormittag zu halten, so dass am Nachmittag genügend Zeit für eine ausgiebige Diskussion zur Verfügung steht.

A. Strehler, Präsident der Kommission
für Diskussionsversammlungen
9000 St. Gallen

Aufgabe und Arbeitsweise der Kommission für Holzschutz im Leitungsbau

Von *E. Weilenmann*, Emmenbrücke

In einer Versammlung von Betriebsleitern vom 2. März 1935 wurde erstmals über den zunehmenden vorzeitigen Stangenausfall berichtet. Gestützt darauf wurden die Werke an dieser Versammlung eingeladen, die Frage der Holzfäule zu verfolgen und ihre Beobachtungen im Bulletin des SEV laufend bekanntzugeben.

Auf Grund der schlechten Erfahrungen der Nachkriegszeit, die allerdings zum Teil auf schlechte Salzqualitäten während des Krieges zurückzuführen waren, fand am 15. November 1951 eine Diskussionsversammlung des VSE über moderne Imprägnierverfahren für Holzmasten statt. Neben Erfahrungen in ihren eigenen Netzen, konnten sich die Referenten auf die Ergebnisse einer Umfrage stützen, die das Sekretariat VSE kurz zuvor bei den Mitgliedwerken durchgeführt hatte. Dabei zeigte es sich, dass zwar im Durchschnitt sowohl bei den Werken als auch bei den PTT eine mittlere Lebensdauer der Holzmasten zwischen 20 und 25 Jahren erreicht wurde, jedoch die vorzeitigen Stangenausfälle in den ersten 10 Jahren relativ hoch waren. Gestützt auf diese Feststellungen wurde an der Versammlung der Wunsch geäussert, der VSE möge sich dieser Frage annehmen. In seiner Sitzung vom 5. Dezember 1951 setzte der Vorstand des VSE die «Kommission zum Studium der Imprägnier- und Nachbehandlungsverfahren für Holzmasten» ein. Ihr neuer Name lautet: «Kommission Holzschutz im Leitungsbau.»

Die damalige Lage auf dem Gebiete der Stangenimprägnierung in der Schweiz lässt sich kurz wie folgt skizzieren: Die Imprägnierung der Masten erfolgte praktisch ausschliesslich nach dem Boucherie-Verfahren mit Kupfersulfat, wobei einige Werke im Sinne eines zusätzlichen Schutzes der Bodenzone vor dem Stellen einen Doppelstockschutz anbrachten. Rund zwei Drittel dieser zusätzlich mit einem Doppelstockschutz versehenen Masten wurden mit einem Anstrich mit Teeröl sowie zum Teil durch Anbrennen zu schützen versucht, während andere Stangen nach dem Impfstich-Verfahren, dem Bandage-Verfahren und nach dem Hilag-Verfahren, d. h. zusätzliche Boucherisierung des Stangenfusses, mit einem UA-Salz behandelt wurden. Ein Teil der Werke führte nach einer gewissen Standdauer Nachbehandlungen durch.

Neben der Imprägnierung der Stangen im Boucherie-Verfahren mit Kupfersulfat wurden von einzelnen Werken laufend Versuche mit anderen Imprägnierverfahren und anderen Schutzmitteln durchgeführt. In der Westschweiz wurden zum Teil teerölimprägnierte Masten aus Frankreich verwendet, während bei anderen Werken das Osmose-Verfahren mit U- und UA-Salzen zur Anwendung gelangte, oder kyanisierte Stangen aus der Imprägnieranstalt Laufenburg oder aus dem süddeutschen Schwarzwald bezogen wurden. Im engeren Alpengebiet und im Tessin wurden ferner unimprägnierte Lärchen- und Kastanienhölzer als Stangen verwendet.

Die Kommission des VSE zum Studium der Imprägnier- und Nachbehandlungsverfahren für Holzmasten erhielt vom Vorstand VSE den Auftrag, alle Fragen im Zusammenhang mit der Imprägnierung von Holzstangen zu studieren und nach Möglichkeiten zu suchen, eine Verlängerung der Lebensdauer der Stangen herbeizuführen. Dieses Ziel sollte nach Auffassung der Kommission durch die Verwendung von neuen wirksameren Imprägniermitteln erreicht werden. Die Kommission nahm ihre Untersuchungen unter Mitarbeit der biologischen Abteilung der EMPA St. Gallen zu Beginn des Jahres 1952 auf, wobei zur praktischen Erprobung der Imprägniermittel und Imprägnierverfahren zwei Versuchsfelder in Rathausen bei Luzern und ein solches in Starkenbach, Toggenburg, angelegt wurden.

Die Kommission, die vom Vorstand des VSE diese Arbeit zugeteilt bekam, setzt sich aus Vertretern von grösseren und kleineren Elektrizitätswerken der deutschen und französischen Schweiz zusammen. Aber auch der grösste Stangenverbraucher der Schweiz, die Generaldirektion der PTT, hat einen Sitz in dieser Kommission. Da einzig die PTT Stangen im ganzen Land stehen hat, ist ihre Mitarbeit für die Kommission äusserst wertvoll, sind doch die Bodenverhältnisse für die Zerstörung von hölzernen Leitungsmasten weitgehend mitbestimmend. Herr Professor Wälchli, Leiter der biologischen Abteilung der EMPA, St. Gallen, den Sie heute noch in zwei Vorträgen hören werden, berät die Kommission in Holzschutzfragen, wie zum Beispiel Eignung der Imprägniermittel, Einbringbarkeit in die verschiedenen Holzarten in verschiedenen Verfahren, quantitative und qualitative Analysen, Schutzmittelverteilung, Diffusionsvermögen und vieles mehr. Wir schätzen uns glücklich, die Mitarbeit eines Biologen von internationalem Ruf in Anspruch nehmen zu dürfen.

Holzzerstörer kennen keine Landesgrenzen, deshalb hat die Kommission des VSE Kontakte mit ausländischen, speziell mit den Holzschutzkommissionen des Verbands Deutscher Elektrizitätswerke und der Österreichischen Elektrizitätswerke aufgenommen. Die Aussprachen haben gezeigt, dass wir auf dem richtigen Weg sind, das gesteckte Ziel, das heisst ein besserer Holzschutz zu erreichen. Interessanterweise sind die Imprägniermethoden im Ausland anders als bei uns. In der Schweiz wird ausschliesslich nach den Saftverdrängungs-Verfahren imprägniert, währenddem in Deutschland und Österreich auch trockenes Holz imprägniert wird, und zwar mit diversen Salzen oder mit Teeröl. Über die Imprägnierverfahren, die in der Schweiz zur Anwendung kommen, werden Sie in einem anschliessenden Vortrag von Herrn Berchtold, Imprägnierwerke Renfer & Co., Biel, orientiert werden. Unterschiede bestehen aber auch in der Nachpflege in den einzelnen Ländern. In Deutschland wird die Nachpflege von Holzmasten fast ausschliesslich nach Bandage-Verfahren, Anstrichbandage, Wickelbandage, Schaumstoffbandage usw., durchgeführt. In der Schweiz wird der Nachpflege immer mehr Beachtung geschenkt. So gibt es Werke, die schon 20 und mehr Jahre mit gutem Erfolg das Impfstich-Verfahren – auch Cobra-Verfahren genannt – anwenden. Aber auch die Bandage findet Verwendung; dabei konnten wir feststellen, dass bei beiden Verfahren bei richtiger Anwendung gute Resultate erzielt werden.

Nebst den Aussprachen mit deutschen und österreichischen Kommissionen arbeiten wir sehr eng mit dem VSIA, dem Verband Schweizerischer Imprägnieranstalten, zusam-

men. Diese Zusammenarbeit ist für das Imprägnierwesen von sehr grosser Wichtigkeit, können doch so gemeinsame Probleme am einfachsten gelöst werden. Unsere Kommission arbeitet Richtlinien über die Anwendung verschiedener Verfahren und Imprägniermittel aus und empfiehlt den Werken, mit überprüfter Imprägnierung behandelte Stangen einzukaufen. Den Werken steht es aber frei, nach ihrem Gutdünken geschütztes Material zu bestellen. Die Imprägneure haben sich bei der Behandlung des Holzes nach den Wünschen der Kunden zu richten. In der Praxis ist es aber so, dass nach den Richtlinien behandelte Stangen angeboten werden. Das über lange Zeit verwendete Boucherie-Verfahren musste mit Rücksicht auf die Gewässerverschmutzung aufgegeben werden. Eine Anzahl Imprägnieranstalten arbeiten nach dem Wechseldruck-Verfahren und die anderen nach dem Trog-Saug-Verfahren. Ich freue mich, Ihnen mitteilen zu können, dass die Zusammenarbeit mit dem VSIA Herr Präsident Steiner, Walkringen, und der technischen Kommission dieses Verbandes, Herr Präsident Déscœudres, Palézieux, ausgezeichnet funktioniert und sehr angenehm ist.

Nach zehnjähriger Tätigkeit unserer Kommission konnten wir an die Herausgabe von Richtlinien herantreten, in welchen festgehalten wird, wie die Holzbeschaffenheit sein muss und speziell wie die Imprägnierung mit dem entsprechenden Mittel zu vollziehen ist.

1962	VSE	Allgemeine Bedingungen für die Lieferung von imprägnierten Holzmasten
1962	VSE und PTT	Richtlinien für die Imprägnierung von Leitungsmasten aus Holz nach dem Saftverdrängungs-Verfahren nach Boucherie mit Salzen
1964	VSE	Richtlinien für die Imprägnierung von Leitungsmasten aus Holz nach dem Osmose-Verfahren
1962	VSE und PTT	Richtlinien für die Imprägnierung von Leitungsmasten aus Holz nach dem Trog-Saug-Verfahren mit Salzen
1963	VSE und PTT	Richtlinien für die Imprägnierung von Leitungsmasten aus Holz nach dem Wechseldruck-Verfahren mit Wolmanit UAR oder Basilith UAS
1963	VSE und PTT	Richtlinien für die Imprägnierung von Leitungsmasten aus Holz nach dem Wechseldruck-Verfahren mit Bolidensalz K 33
1964	VSE	Richtlinien für die Anwendung des Impfstich-Verfahrens a) als Doppelstockschutz b) als Nachpflege
1968	VSE und PTT	Richtlinien für die Imprägnierung von Leitungsmasten aus Holz nach dem Trog-Saug-Verfahren mit Wolmanit CB
1968	VSE und PTT	Richtlinien für die Imprägnierung von Leitungsmasten aus Holz nach dem Wechseldruck-Verfahren mit Wolmanit CB
1968	VSE und PTT	Richtlinien für die Imprägnierung von Leitungsmasten aus Holz nach dem Wechseldruck-Verfahren mit Basilith CFK

Wie Sie aus dieser Zusammenstellung ersehen, haben wir die Richtlinien für die jeweiligen Salze und die Verfahren ausarbeiten müssen, dabei ist zu bemerken, dass die Richtlinien für die älteren Salze noch bestehen, diese Salze aber nicht mehr verwendet werden.

Da seinerzeit die Holzmasten nach dem Boucherie-Verfahren mit Kupfersulfat imprägniert wurden, man hatte also immer ein Verfahren und ein Imprägniermittel, war es nicht notwendig, die Leitungsstangen speziell zu bezeichnen. Mit der Einführung neuer Verfahren und neuer Mittel wurde eine Bezeichnung der Holzmasten eine Notwendigkeit. Seit 1969 müssen die Holzmasten, nebst den in der Starkstromverordnung verlangten Bezeichnungen, zusätzlich folgendermassen bezeichnet werden:

Für das Imprägnierverfahren wählten wir einen Buchstaben, für das Imprägniermittel hingegen eine Zahl.

Die in der Schweiz angewendeten Verfahren:

B = Boucherie-Verfahren
D = Trog-Saug-*D*ruck-Verfahren
O = Osmose-Verfahren
I = Impfstich-Verfahren
S = Trog-*S*aug-Verfahren
W = Wechseldruck-Verfahren

Die zur Anwendung gelangenden Imprägniermittel:

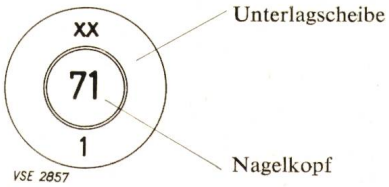
1 = Kupfersulfat
2 = Wolmanit UAR oder Basilith UAS
3 = Bolidensalz K 33
4 = Wolmanit CB
5 = Basilith CFK

Wird ein Holzmast im Trog-Saug-Verfahren mit dem Wolmanit CB imprägniert, so erhält dieser Mast das Zeichen S4, wobei S = Verfahren und 4 = Mittel bedeutet. Sollte aber ein Holzmast nach dem Wechseldruck-Verfahren mit Basilith CFK imprägniert sein, so ist das Zeichen W5. Mit den schon bestehenden Brennzeichen auf Holzmasten zusammen, ist es immer möglich, alle notwendigen Angaben am Holzmast abzulesen (Art. 98 Starkstromverordnung).

1. der Imprägneur
2. die Mastenlänge
3. das Jahr der Imprägnierung
4. die Art der Imprägnierung
5. das Imprägniermittel

Auch die Nachpflege von Holzmasten muss auf diesem vermerkt werden. Hier haben wir ebenfalls eine einfache Lösung gefunden. Ein verzinkter Nagel trägt auf dem Kopf die Jahreszahl der Nachpflege. Mit diesem Nagel wird eine Unterlagscheibe mit den Initialen der Nachpflegefirma und des Zeichens der Nachpflegeart auf dem Holzmast befestigt.

Nr. 1 = Impfstich-Verfahren
Nr. 2 = Bandage-Verfahren
Nr. 3 = Fournose
Nr. 4 = Bohrlochtränkung



Dieses Beispiel zeigt, dass der Holzmast im Jahre 1971 von der Firma XX nach dem Impfstich-Verfahren nachgepflegt wurde.

Meine Herren! Ich möchte Sie im Namen unserer Kommission bitten, darauf zu achten, dass die Imprägnieranstalten wie die Nachpflegefirmen die Bezeichnung richtig und vollständig ausführen, die Zukunft wird bestätigen, wie wichtig die Bezeichnungen sind.

Kontrollwesen. Verschiedene Vorkommnisse haben die Kommission veranlasst, dem Vorstand des VSE den Vorschlag zu unterbreiten, Ausbildungskurse für Freileitungskontrolleure durchzuführen. Dieser, von der Notwendigkeit der Leitungskontrolle überzeugt, beauftragte das Sekretariat mit der Organisation und Durchführung. Die grosse Anzahl der Angemeldeten bewies das Interesse der Werke an dieser Ausbildungsmöglichkeit. An 24 Kursen beteiligten sich ca. 450 Teilnehmer, die, glaube ich, von den Kursen etwas profitieren konnten. Bei dieser Gelegenheit erlaube ich mir, Sie auf einen ausserordentlich wichtigen Punkt aufmerksam zu machen. Viele, leider allzu viele Vorgesetzte sind oder waren der Auffassung, dass man irgend jemand mit der Leitungskontrolle beauftragen könne. War ein Arbeiter unbequem oder passte er sich schlecht in eine Arbeitsgruppe ein, wurde er mit der Kontrolle von Holzmasten und Freileitungen betraut. Dies ist bestimmt falsch. Der Kontrolleur versieht einen Vertrauensposten, er muss also ein solider, zuverlässiger und vor allem ein fähiger Mann sein. Der Kontrolleur trägt eine grosse Verantwortung.

Bei dieser Gelegenheit muss ich noch auf eine gewisse Gefahr beim Stellen von hölzernen Leitungsmasten hinweisen. In verschiedener Hinsicht ist es notwendig, dass die frisch imprägnierten Holzmasten eine gewisse Zeit gelagert werden, bevor sie zur Aufstellung verwendet werden dürfen. Erstens sollen die Imprägniersalze weitgehend fixiert sein, und zweitens sollen die Holzmasten einen gewissen Trockengrad erreicht haben, d. h. Holzmasten sollen, wenn immer möglich, acht bis zwölf Monate nach der Imprägnierung gelagert werden. Messungen, die wir im Auftrag des Starkstrominspektorates durchgeführt haben, zeigen, dass Holzmasten bei verschiedener Feuchtigkeit auch ganz verschiedene elektrische Widerstände zeigen. Die Messungen wurden folgendermassen ausgeführt: Auf isolierten Unterlagen wurden 13 m lange Leitungsstangen gelagert. Im Abstand von 10 m wurden die Stromquellen angeschlossen. Die Widerstände wurden bei Spannungen von 300 Volt bis 9000 Volt gemessen. Bei einer Lagerzeit von zwei Jahren, einem Strom von 0,6 Milliampère und einer Spannung von 600 Volt resultierte ein Widerstand von 1 000 000 Ohm. Bei einem Mast, der nur 8 Monate gelagert war, ergaben sich folgende Messungen: Strom 6 Milliampère, Spannung 600 Volt, Widerstand 100 000 Ohm. Bei einem Holzmast, der nur zwei Monate gelagert war, ergaben sich folgende Daten: Strom 0,3 Ampère, Spannung 600 Volt und somit einen Widerstand von nur 2000 Ohm. Ich glaube, diese Zahlen sagen Ihnen genug, sie sagen Ihnen bestimmt, dass beim Stellen von Leitungsstangen Vorsicht am Platze ist.

Versuchsfelder. Wie schon früher erwähnt, unterhält unsere Kommission zwei Versuchsfelder in Rathausen bei Luzern und ein solches in Starkenbach im Toggenburg. In diesen Feldern werden sämtliche Imprägnierverfahren, Nachbehandlungsverfahren sowie die Imprägniermittel auf ihre Eignung in praxisnahen Versuchen geprüft. Da wir nicht 20 oder 30 und mehr Jahre zuwarten können, bis die Ergebnisse vorliegen, werden in den Versuchsfeldern sämtliche Holzmastenstücke in dreijährigen Intervallen mit diversen Pilzen infiziert, und wir erhalten in kürzester Zeit die Resultate. Was im Labor festgestellt wird, bestätigt sich ebenfalls im Versuchsfeld. In Rathausen wie in Starkenbach werden die Stangen jährlich ein- bis zweimal bis zum Steinkranz freigelegt. Herr Prof. Dr. Wälchli übernimmt jedesmal die gründlichen Untersuchungen jedes einzelnen Mastes und erstellt einen ausführlichen Bericht über die interessanten Ergebnisse. Aus den Berichten ist ersichtlich, ob sich die einzelnen Imprägniermittel bewähren oder nicht.

Sehr geehrte Herren! Mit meinen Ausführungen habe ich versucht, Ihnen einen Einblick in die Tätigkeit der Kommission «Holzschutz im Leitungsbau» zu vermitteln. Ich hoffe, dass die heutige Diskussionsversammlung dazu beiträgt, Unklarheiten zu klären, so dass Sie mit der Überzeugung heimkehren können, die Kommission arbeite im Interesse der Stangenbesitzer und versuche das Beste zu erreichen.

Ich will meine Ausführungen nicht beenden, ohne meinen Mitarbeitern in der Kommission «Holzschutz im Leitungsbau» für ihre Mitarbeit recht herzlich zu danken. Dieser Dank gebührt ebenfalls dem Sekretariat des VSE, das die Anliegen unserer Kommission tatkräftig unterstützt, was die Durchführung der heutigen Diskussionsversammlung ebenfalls beweist.

Adresse des Autors:
E. Weilenmann, a. Sektionschef der CKW Luzern, Bühlstrasse 12, 6020 Emmenbrücke.

Stand und Verfahren der Mastenimprägnierung

Von *O. Wälchli*, St. Gallen

Einleitung

In unserem modernen technischen Zeitalter werden immer noch zum überwiegenden Teil Leitungsmaste aus Holz verwendet und nicht solche aus einem neuzeitlichen Material wie z. B. aus Kunststoffen. Beim Abwägen der Vor- und Nachteile stellt man fest, dass die Vorteile der Holzmasten immer noch so gross sind, dass die Verwendung von Masten aus andern Materialien vorläufig noch nicht oder, wie bei Betonmasten, nur für bestimmte Aufgaben in Frage kommt. Vorteile des Holzmastes sind die leichte Beschaffung, weil in ausreichender Zahl vorhanden, das geringe Gewicht, die leichte Bearbeitbarkeit und auch die gute Anpassungsfähigkeit im Leitungsnetz. Im weiteren zeichnen sich die nach modernen Verfahren und mit modernen Schutzmitteln imprägnierten Leitungsstangen durch mittlere Standdauern von weit über 30 Jahren aus, was gegenüber einer Standdauer von 20...25 Jahren vor etwa 15...20 Jahren eine wesentliche Verbesserung darstellt. Auch in andern Ländern wurden ähnliche Erfahrungen gemacht [1].

Die gute Qualität der imprägnierten Holzmasten wird erreicht durch

1. Auswahl gesunden Holzes;
2. Anwendung hochwirksamer Holzschutzsalze mit breitem Wirkungsspektrum;
3. Anwendung von leistungsfähigen Imprägnierverfahren, die eine weitgehende Durchtränkung des Splintteiles ermöglichen, und schliesslich
4. konsequente Nachpflege der in den Leitungsnetzen stehenden Stangen.

Auf die Einzelheiten der Holzauswahl soll nicht näher eingegangen werden. Die Richtlinien des VSE «Allgemeine Bedingungen für die Lieferung von imprägnierten Holzmasten» geben darüber Auskunft. Es sollen vielmehr die in der Schweiz für die Mastenimprägnierung wichtigen Holzschutzmittel und Imprägnierverfahren behandelt werden.

Holzschutzmittel, deren Entwicklung und Eigenschaften

Die Imprägnierung von Leitungsmasten erfolgt in unserem Land ausschliesslich mit wasserlöslichen Holzschutzsalzen.

Im Anschluss an eine im Jahr 1951 vom VSE in Bern durchgeführte Diskussionsversammlung über moderne Imprägnierverfahren wurde die Kommission «Holzschutz im Leitungsbau» gegründet, in deren Rahmen mit Untersuchungen zum Zweck der Verbesserung der Dauerhaftigkeit der Leitungsstangen begonnen wurde [5]. In Laboratoriumsuntersuchungen wurde eine grössere Anzahl von Schutzmitteln, die für die Mastenimprägnierung in Frage kamen, in bezug auf die pilzwidrige Wirkung, die Diffusionsfähigkeit, die Auslaugbarkeit resp. die Fixierbarkeit am Holz und andere physikalisch-technische Eigenschaften untersucht [8; 10; 12; 13]. Auf Grund der Ergebnisse lassen sich Rückschlüsse in bezug auf die Dauerhaftigkeit der Imprägnierungen ziehen. Auch den Fragen der Toxizität, vor allem im Zusammenhang mit Viehvergiftungen, wurde grosse Beachtung geschenkt. Mit dem Ziel festzustellen, für welche Imprägnierverfahren sich die zur Verfügung stehenden Schutzsalze eignen, wurden mit Holzschutzmitteln, die sich in den Laboratoriumsuntersuchungen als aussichtsreich für die praktische Verwendung erwiesen, in Zusammenarbeit mit Imprägnierwerken Tränkversuche mit mehreren Verfahren unter verschiedenen Bedingungen durchgeführt [12]. Schliesslich wurden Feldversuche angesetzt, in denen das Verhalten von verschieden imprägnierten Stangenabschnitten unter praxisnahen Bedingungen untersucht wurde [6; 7; 9] (Fig. 1). In den drei Versuchsfeldern (zwei in Rathausen und eines in Starkenbach im Toggenburg) werden vor allem die Einflüsse der Bodenart, der Bodenreaktion, der Düngung und der Höhe der Niederschläge auf die Imprägnierungen verfolgt. Die bisher vorliegenden Resultate haben wesentlich zur Erhöhung der Standdauer der Leitungsstangen beigetragen.

Die Entwicklung in der Richtung zu immer wirksameren und mit einem breiteren Wirkungsspektrum ausgestatteten Schutzmitteln lässt sich an den anorganischen Schutzsalzen gut verfolgen. Sie ist von einem Einzelsalz, dem Kupfersulfat, zu verschiedenen Salzgemischen verlaufen. Bei den Salzgemischen 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)-Salzen. Die in der Schweiz durchgeführten Untersuchungen erfolgten zeitlich etwa in der angegebenen Reihenfolge der Salze.

Was die biologische Wirkung gegen holzzerstörende Organismen betrifft, kann festgestellt werden, dass sich die jetzt zur Verfügung stehenden Salzgemische durch eine gleichmässigere Wirkung gegen verschiedene Schädlingsgruppen und durch ein breiteres Wirkungsspektrum auszeichnen (Tab. I). Seit dem letzten Jahrhundert wurden in der Schweiz die Leitungsstangen mit Kupfersulfat getränkt. Im Laufe der Zeit musste man feststellen, dass kupferresistente Pilze, die früher unter der Bezeichnung *Poria vaporaria* bekannt waren, immer häufiger auftraten und vorzeitige Stangenausfälle verursachten, weil sie sich mangels Konkurrenz durch kupferempfindliche Arten ungestört ausbreiten und entwickeln konnten [5]. Sie können Holz auch bei Kupfersulfatgehalten von 25...50 kg/m³ und sogar mehr angreifen (Tab. I). Es soll erwähnt werden, dass

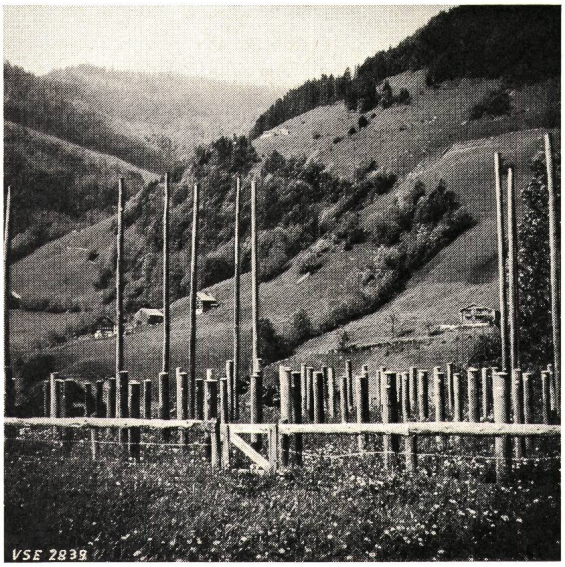


Fig. 1
Versuchsfeld des VSE in Starkenbach (Toggenburg) zur Prüfung von Mastenimprägnierungen.

die Bezeichnung *Poria vaporaria* nicht mehr verwendet werden soll, denn es hat sich gezeigt, dass es sich dabei nicht um eine genau definierte Art handelt. Vielmehr wurden unter dieser Bezeichnung durch verschiedene Forscher verschiedene sich ähnlich verhaltende Pilzarten verstanden. Wir haben z. B. von Leitungsstangen die kupferresistenten Porenschwämme *Poria vaillantii, Poria placenta* und *Poria monticola* isoliert, die sich gegenüber den Holzschutzsalzen ähnlich verhalten.

In den fünfziger Jahren sind aus den klassischen CFA-Salzen die neuen sauer eingestellten CFA-Salze entwickelt worden. Diese fanden infolge der verbesserten pilzwidrigen Wirkung gegen die Basidiomyceten, auch gegen die kupferresistenten, den damals allein bekannten wichtigen Holzzerstörern, der verbesserten Auslaugbeständigkeit und ihrer Anwendbarkeit in verschiedenen Imprägnierverfahren eine weite Verbreitung. Erst allmählich wurde die schlechte Wirkung dieser fluor- und arsenhaltigen Salzgemische gegen die neu erkannten Moderfäulepilze festgestellt, die das Holz auch bei über 50 kg/m^3 Salzgehalt angreifen können (Tab. I). Diese Beobachtungen wirkten ernüchternd, regten aber zu neuen Forschungen an. Die daraufhin untersuchten Chrom-Kupfer-Arsen-Salzgemische (CKA-Salze) zeigten allgemein gute Wirkung, weil die Kupferkomponente gute moderfäulewidrige Wirkung aufweist und die kupferresistenten Pilze durch die Wirkung der Arsensalze aufgehalten werden. Der Wunsch nach toxikologisch weniger bedenklichen arsenfreien Schutzsalzen führte dann schliesslich zur Entwicklung der Chrom-Kupfer-Bor- (CKB-Salze) und der Chrom-Kupfer-Fluor-Salzgemische (CKF-Salze). Diese zeigen sowohl gegen Basidiomyceten wie auch gegen Moderfäuleerreger allgemein gute und ausgeglichene Wirkung. Zudem zeigten die Feldversuche, dass die oberirdischen Partien der mit chrom-kupferhaltigen Schutzmitteln getränkten Masten ihr Aussehen während wenigstens 5 Jahren kaum veränderten. Diese Imprägnierungen ergeben somit auch einen ausgesprochenen Oberflächenschutz gegen die durch Schimmelpilze verursachte Vergrauung sowie gegen photolytische Abbauerscheinungen von bewitterten Holzoberflächen. Eine gute biologische Wirkung ist für ein Schutzmittel ausschlaggebend. An verschiedene chemisch-physikalische und technische Eigenschaften müssen aber ebenfalls hohe Anforderungen gestellt werden. So bestimmt die Diffusionsfähigkeit eines Schutzmittels dessen Verteilungsfähigkeit im Holz und damit die Wahl des anzuwendenden Imprägnierverfahrens (Fig. 2). Die Fixierung im Holz resp. die Auslaugbarkeit ist für die Wirkungsdauer einer Imprägnierung ausschlaggebend. Diese Eigenschaften sind vor allem bei im Freien in der Erde oder im Wasser verbautem Holz wichtig, wo ständig eine Auslaugwirkung vorhanden ist. Die in Tabelle II zusammengestellten prozentualen Auswaschverluste für verschiedene Schutzmittel geben Aufschluss über die Auslaugbarkeit der verschiedenen Wirkkomponenten. In den CFA-Salzen wird vor allem das Arsen stark gebunden und damit schwer auslaugbar. In den kupferhaltigen Salzgemischen (CKA, CKB und CKF) wird das Kupfer sehr stark fixiert, was für die Dauerhaftigkeit der Schutzwirkung von grosser Bedeutung ist. Die zweite Komponente der Salzgemische wird unterschiedlich gebunden. Die schwache Fixierung des Bors im CKB-Salz wird teilweise durch eine wesentlich bessere Eindringung in das Holz ausgeglichen (Fig. 5). Andererseits ist das Kupfersulfat, wenn es allein verwendet wird, zu etwas mehr als 80% auslaugbar. Der nicht auslaugbare Rest gewährleistet keine ausreichende Schutzwirkung mehr.

Bei der Verwendung von Holzschutzmitteln muss auch deren Toxizität berücksichtigt werden. Unerwünscht sind vor allem die arsenhaltigen Schutzmittel. Dies ist ein weiterer Grund, warum in der Schweiz keine CFA-Salze und, trotz ihrer ausgeglichenen Schutzwirkung, keine CKA-Salze verwendet werden. Das Arsen ist die giftigste Komponente der besprochenen Schutzsalze. Aber auch die andern Bestandteile, wie Fluor-, Kupfer-, Chrom- und Borsalze sind mehr oder weniger starke Gifte, wirken sie doch auch gegen die holz-

Auswaschbarkeit von Schutzsalzen
Bestimmung nach DIN-Vorschrift 52176, Blatt 2, Chemisches Verfahren

Tabelle II

Schutzsalze	geprüfte Komponenten	Auswaschverluste in % nach Lagerung der Proben während		
		4 Wochen	8 Wochen	14 Wochen
CFA (sauer)	Fluor Arsen	44 14	33 2,7	33 1,7
CF (sauer)	Fluor	42	28	26
CKA	Kupfer Arsen	4,9 9,3	4,3 10,5	
CKB	Kupfer Bor	1,9 95	0,9 93	1,8 89
CKF	Kupfer Fluor Chrom	4,8 61,5 32,9		
Kupfersulfat	Kupfer		81	82

Grenzwerte einiger Holzschutzmittel

Tabelle I

Schutzmitteltyp	Grenzwerte in kg je m^3 Holz (kg/m^3)				
	Braunfäule		Moderfäule		Hausbock
	Original	ausgelaugt	Original	ausgelaugt	Original
Kupfersulfat	25...50	über 50	4	ca. 15	1
Quecksilberchlorid	0,7	0,7	über 30	über 30	0,5
CFA-Salz	2,2	11	über 50	über 60	0,5
CF-Salz	3	14	ca. 50	über 60	0,5
CKA-Salz	6	12	7	15	2
CKB-Salz	2,5	20	4	10	2
CKF-Salz	2,8	12	5	6	0,7
Steinkohlenteeröl	30	30	–	über 120	30
Pentachlorphenol	2	3	4	4,5	10
Dinitrophenol	6	30	7	30	–

zerstörenden Organismen giftig. Aus diesem Grund muss mit allen Schutzmitteln sorgfältig gearbeitet werden.

Zusammenfassend zeigt sich, dass für die Mastenimprägnierung heute sehr wirksame Schutzmittel zur Verfügung stehen. Diese weisen breite Wirkungsspektren auf und gewährleisten eine dauerhafte Wirkung. Trotz des erreichten hohen Standes sind weitere Verbesserungen möglich und erwünscht. Die Forschung ist ständig an der Arbeit, so dass bei den Holzschutzmitteln auch in Zukunft mit weiteren Verbesserungen gerechnet werden darf.

Imprägnierverfahren für Leitungsmaste

Die Imprägniertechnik muss sich nach den zu imprägnierenden Holzarten richten [1; 4; 11]. Die wichtigste Holzart für die Herstellung von Leitungsmasten ist in unserem Land die Rottanne oder Fichte. Gerade diese Holzart lässt sich schwer imprägnieren. In trockenem Zustand ist die Fichte z. B. nach dem Vakuum-Druckverfahren im Kessel nur schwer tränkbar [4].

Andererseits ist es aber möglich, die Fichtenstangen in saftfrischem Zustand einwandfrei zu imprägnieren, wenn die zu verwendenden Schutzsalze und die Imprägnierverfahren aufeinander abgestimmt sind. Mit Hilfe der sogenannten Saftfrisch- resp. Saftverdrängungsverfahren kann der gesamte Splintteil der Fichtenstämme getränkt werden. In der Technik der Saftfrischimprägnierung wurden in den letzten 20 Jahren grosse Fortschritte erzielt, indem die Entwicklung von handwerklichen (Osmose- und Boucherieverfahren) zu maschinellen Verfahren, wie dem Trogsaug- und Wechseldruckverfahren, verlaufen ist [11].

Das heute nur noch gelegentlich angewendete Osmoseverfahren arbeitet ohne maschinelle Einrichtungen. Es ist ein Diffusionsverfahren, bei welchem die Verwendung von saftfrischem Holz Voraussetzung ist. Die Eindringung der in Pastenform auf die weissgeschälten Stangen aufgetragenen Schutzsalze erfolgt in den zu Stapeln aufgeschichteten und wasserdampfdicht eingepackten Stangen durch Diffusion. Die Imprägnierzeit von etwa 3 Monaten ist lang. Für das Osmoseverfahren können nur langsam und schwach fixierende Salze verwendet werden. Dies wirkt sich auf die Dauerhaftigkeit resp. die Auslaugbarkeit nachteilig aus, so dass das Osmoseverfahren in der Regel nur in Kombination mit einer zusätzlichen Behandlung der Einbauzone verwendet werden sollte.

Das Boucherieverfahren als ursprüngliches und typisches Saftverdrängungsverfahren wird nur noch vereinzelt angewendet. Es ist an sich ein sehr gutes Verfahren, das aber auch verschiedene Nachteile aufweist. So ist die Dauer mit 1...5 Wochen, je nach Stangenlänge, lang. Die am Zopf abtropfende Salzlösung lässt sich nicht mehr verwenden, ergibt Salzverluste von 40...50 % und kann zu Grundwasserverschmutzungen führen. Aus diesem Grund darf das Boucherieverfahren infolge der verschärften Gewässerschutzbestimmungen nicht mehr angewendet werden. Ein weiterer Grund, der die Verwendung dieses Verfahrens heute ausschliesst, sind die modernen Schutzsalze, die infolge ihrer zum Teil raschen Fixierung im Holz vorzeitig gebunden werden und deshalb eine unvollständige Tränkung ergeben können.

Als Folge der Neuentwicklungen auf dem Gebiet der Schutzsalze mussten auch die Imprägnierverfahren den neuen Bedingungen angepasst werden. In der Schweiz werden heute für die Tränkung der Fichtenstangen in erster Linie das Trogsaug- und das Wechseldruckverfahren angewendet. Beide Verfahren sind Umlaufverfahren, die eine Wiederverwendung der Tränklösung ermöglichen und mit welchen Salzverluste vermieden werden können. Beide Verfahren erlauben eine weitgehende Rationalisierung des Arbeitsablaufes bei der Imprägnierung.

Beim Trogsaugverfahren werden die weissgeschälten Maste am Zopfende mittels Saugkappen an eine Vakuumpumpe angeschlossen und vollständig in der Tränklösung untergetaucht [2] (Fig. 3). Mit Hilfe eines Vakuums wird die Schutzsalzlösung vom Stangenfuss gegen den Zopf längs durch die Stange hindurchgesaugt, wobei ein Teil der Salzlösung auch über die Mantelfläche in das Holz eintritt. Dabei wird der Baumsaft verdrängt und durch die Salzlösung ersetzt. Das Verfahren ermöglicht innerhalb von etwa 7 Tagen eine vollständige Im-

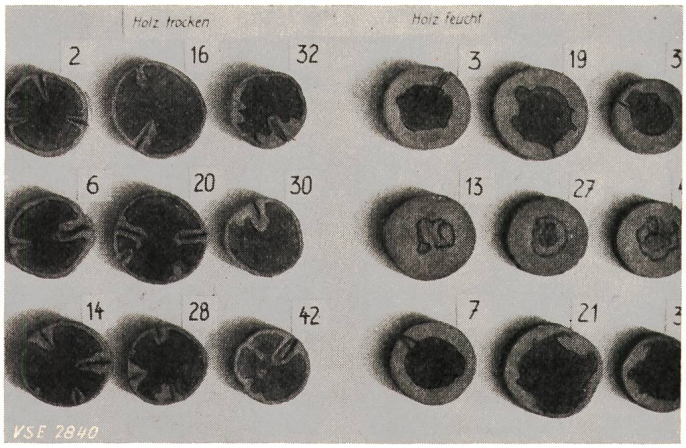


Fig. 2
Tränkversuch mit einer 6 %igen Lösung eines CF-Salzes bei trockenem und feuchtem Fichtenrundholz und verschiedenen Tränkbedingungen.
Die hellen Zonen sind von Fluorsalz durchtränkt. Probengruppe links, Holz trocken, rechts, Holz feucht.

Tränkbedingungen:

Oberste Reihe:	2 Tage in Salzlösung von 60 °C und 2 Tage in Salzlösung von 20 °C.
Mittlere Reihe:	5 Stunden in Wasser von 95 °C und anschliessend 4 Tage in Salzlösung von 20 °C.
Untere Reihe:	4 Tage in Salzlösung von 20 °C.

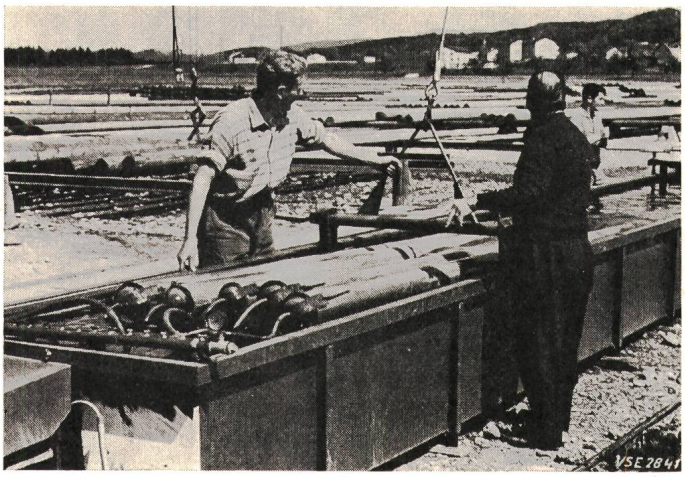


Fig. 3
Trogsaugtränkung in Versuchsanlage
Stangenhölzer mit angesetzten Saugkappen werden in der Tränklösung in Trog untergetaucht. Mittels Vakuum wird über die Saugkappen (links) die Imprägnierlösung längs durch den imprägnierbaren Splintteil des Holzes gesaugt.

prägnierung des Splintes. Voraussetzung ist aber, dass das Holz bei der Imprägnierung einwandfrei saftfrisch ist. Angetrocknete Holzpartien haben fehlerhafte Imprägnierung zur Folge.

Das Wechseldruckverfahren stellt die jüngste Entwicklung der Saftfrischverfahren in der Stangenimprägnierung dar [14]. Es stehen uns dafür vollautomatisch arbeitende Anlagen zur Verfügung. Über die maschinellen und apparativen Einrichtungen der Wechseldruckanlagen wurde früher schon berichtet [3; 11]. Das Verfahren beruht darauf, dass bei saftfrischem Holz durch kurzfristige Druckwechsel zwischen einem etwa 90...95 %igen Vakuum und 7...8 atü Druck die im Holz vorhandene Luft und der Baumsaft allmählich herausgesaugt und an deren Stelle Imprägnierlösung hineingepresst werden. Die Imprägnierung erfolgt dabei über die Markstrahlen und die Hoftüpfel der Holztracheiden. Die rasch aufeinander folgenden Druckwechsel ermöglichen die Überwindung des bei der schwer tränkbaren Fichte besonders ausgeprägten Verschlusses der Hoftüpfel bei einseitig wirkendem Druck. Unter der Voraussetzung, dass das Holz einwandfrei saftfrisch ist und keine angetrockneten Holzpartien vorhanden sind, ermöglicht dieses Verfahren innerhalb von etwa 20 Stunden eine vollständige Tränkung des Splintes.

Für die Schutzwirkung ist die Verteilung der verwendeten Schutzsalze im Innern des Holzes von ausschlaggebender Bedeutung. Je kürzer die Imprägnierdauer eines Verfahrens ist, um so leichter ist die Wahl des Schutzmittels. Bei langsam verlaufenden Verfahren können nur langsam fixierende Schutzmittel verwendet werden. Rasch fixierende Salze sind dafür nicht geeignet, weil sie bis zum Eintritt der Fixierung nicht genügend Zeit für eine befriedigende Eindringung und Verteilung haben. Bei rasch ablaufenden Imprägnierverfahren können sowohl langsam wie auch rasch fixierende Schutzsalzgemische verwendet werden. Die Schutzsalzverteilung im Holz ist somit von der Zusammensetzung des Schutzmittels und damit auch von den Fixierungseigenschaften desselben abhängig. Es hat sich z. B. gezeigt, dass die CFA-Salze sowohl im Boucherie-, im Trogsaug- wie auch im Wechseldruckverfahren angewendet werden können. Die CKB-Salze eignen sich für das Trogsaug- und das Wechseldruckverfahren, nicht aber für das alte Boucherieverfahren. Die CKA- und CKF-Salze eignen sich für die Verwendung im Wechseldruckverfahren, weniger gut aber im Trogsaugverfahren und im Boucherieverfahren. Diese Betrachtungen zeigen, dass sich die in radialer Richtung, aber auch längs der Stange einstellende Salzverteilung von der Art des Salzgemisches und von der Wahl des Imprägnierverfahrens abhängig ist.

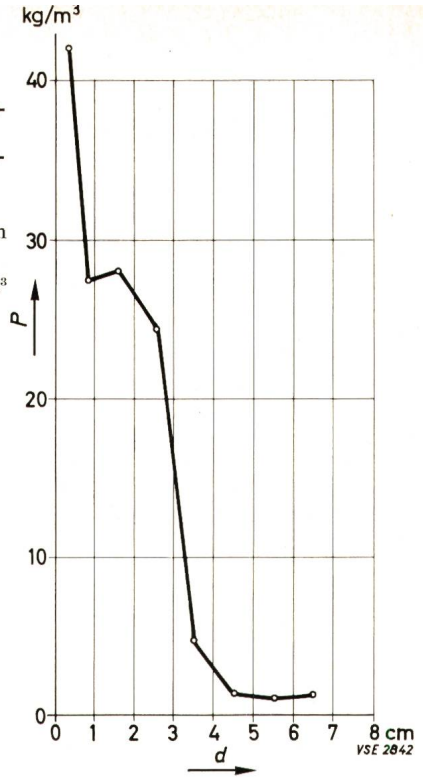


Fig. 4
Radiale Verteilung von CKB-Salz bei einer im Trogsaugverfahren getränkten Fichtenstange in einem Abstand von 1,5 m vom Fussende.
d = Abstand in cm von der Mantelfläche
P = kg CKB-Salz pro m³ Holz

Die Untersuchung der quantitativen Verteilung der Salze zeigt in radialer Richtung der Leitungsstangen, d. h. von aussen nach innen, ein Konzentrationsgefälle (Fig. 4). Der Schutzsalzgehalt beträgt im äussersten cm der Mantelzone das Mehrfache der notwendigen Salzmenge und fällt nach innen zur Kernzone kontinuierlich ab. Beim in der Fig. 4 dargestellten Beispiel liegt der Salzgehalt in den äusseren 3 cm des Splintes somit durchwegs bei 24 kg/m³ und mehr und steigt im äussersten cm sogar bis auf 42 kg/m³. Ein hoher Salzgehalt in den äussersten Holzzonen ist für eine gute und dauerhafte Schutzwirkung, vor allem gegen die Moderfäulepilze, von ausschlaggebender Bedeutung. Von ähnlicher Wichtigkeit ist auch die Art der Verteilung in der Längsrichtung der Stangen. Die Fig. 5 zeigt, dass die Salzeindringung gegen das Fuss- und Zopfende etwas ansteigt. Leichter diffundierbare resp. weniger stark fixierende Komponenten, wie z. B. Borsalze, dringen tiefer ein, unter Umständen bis in den äusseren Kern hinein, während stark fixierende Komponenten (Kupfer- und Chromsalze) in ihrer Verteilung auf den Splintanteil beschränkt bleiben. Die quantitative Verteilung beim Trogsaugverfahren zeigt bei Anwendung geeigneter Salze normalerweise den in Fig. 6 dar-

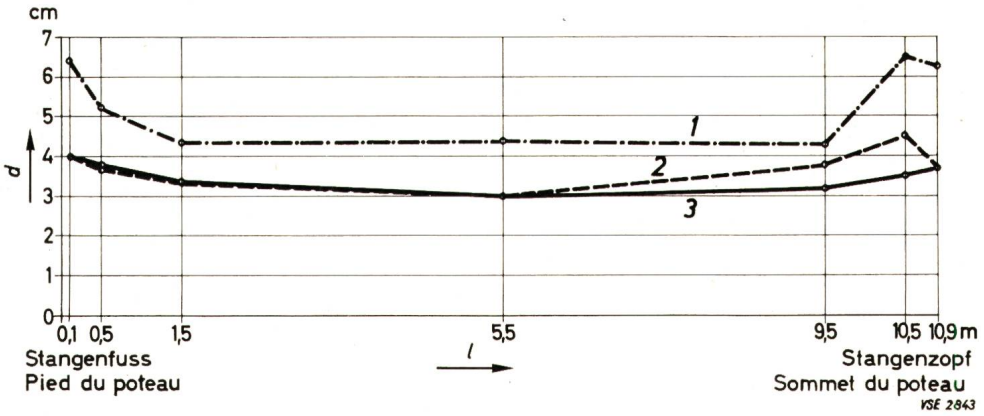


Fig. 5
Eindringung von CKB-Salz längs eines Fichtenmastes nach Imprägnierung im Trogsaugverfahren.
1 Bor-Komponente
2 Chrom-Komponente
3 Kupfer-Komponente
l Stangenlänge in Metern
d Abstand von der Oberfläche

gestellten Verlauf. Der vor allem gegen den Stangenfuss deutlich ansteigende Salzgehalt ist von besonderer Bedeutung, weil damit die am stärksten gefährdete Einbauzone besser geschützt wird. Auch gegen das Zopfende ist ein erwünschter, etwas erhöhter Salzgehalt feststellbar. Die Salzverteilung längs der Stangen wird beim Trogsaugverfahren auch durch die Stangenlänge beeinflusst. Beim Wechseldruckverfahren ergibt sich längs eine ähnliche Salzverteilung wie beim Trogsaugverfahren, aber mit dem Unterschied, dass die Salzgehalte im Fuss- und Zopfteil der Stangen etwa in gleichem Mass ansteigen [12].

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass, neben den wirksamen Schutzsalzen, mit dem Trogsaugverfahren und dem Wechseldruckverfahren zwei sehr leistungsfähige Imprägnierverfahren zur Verfügung stehen. Die Forschung wird aber auch auf dem Gebiet der Imprägniertechnik weitergehen, so wird z. B. untersucht, ob die Imprägnierbarkeit der Fichtenstangen durch geeignete Vorbehandlungen verbessert werden könnte, so dass sie auch in trockenem Zustand im Vakuum-Druckverfahren getränkt werden könnten. Dadurch würde die Gefahr von Infektionen über Schwindrisse herabgesetzt. Desgleichen wäre auch eine weitergehende Rationalisierung und Verkürzung des Imprägniervorganges möglich.

Mastennachpflege

Neben einer einwandfreien Grundimprägnierung trägt auch eine systematische und konsequente Nachpflege der besonders gefährdeten Einbauzone der im Netz stehenden Leitungsstangen wesentlich zur Verlängerung der Standdauer bei. Die Impfstichbehandlung und das Anlegen von Bandagen (Fig. 7) sind hierzu besonders geeignete Verfahren. Auf Grund der Ergebnisse der Feldversuche und der praktischen Erfahrungen verschiedener Elektrizitätswerke ist folgendes Vorgehen empfehlenswert: Die erste Nachpflege soll 8...10 Jahre nach dem Einbau und die zweite und dritte nach jeweils weiteren 10...12 Jahren durchgeführt werden. Die dritte Nachpflege würde somit 28...34 Jahre nach dem Einbau der Stangen in das Netz fällig. Zur Vermeidung von zu grossen Festigkeitsverlusten sollten die Leitungsstangen nicht mehr als dreimal geimpft werden. In dieser Hinsicht sind bei der Verwendung von Bandagen keine Beschränkungen notwendig. Das Impfstichverfahren wird in der Regel durch einen Teerölanstrich, eventuell mit zusätzlichem Einbrennen, ergänzt, was vor allem zur Verbesserung der Schutzwirkung gegen Moderfäule beiträgt. Neben diesen beiden werden heute weitere Verfahren, wie Zentralbohrverfahren und Bohrlochverfahren, untersucht.

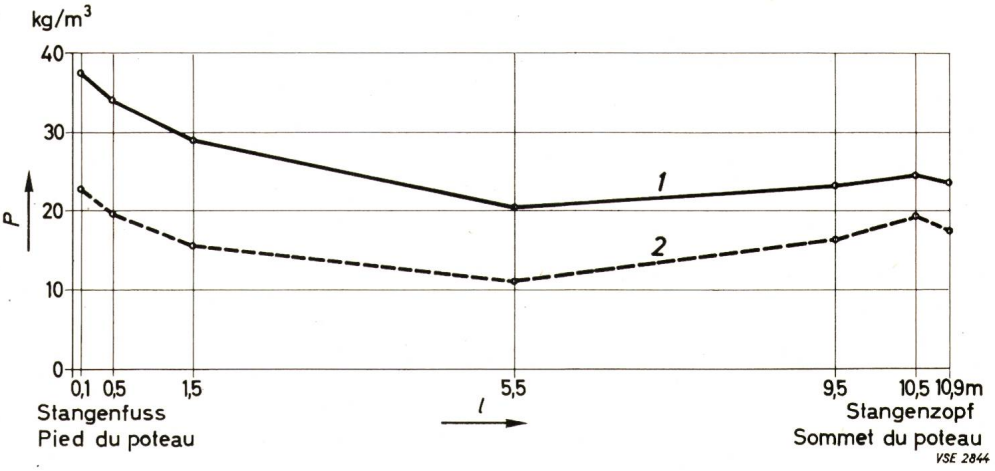


Fig. 6
Gehalte an CKB-Salz bei einer im Trogsaugverfahren getränkten Fichtenstange.
1 Salzgehalt in imprägnierter Zone
2 Salzgehalt bezogen auf das gesamte Holzvolumen
l Stangenlänge in Metern
P kg CKB-Salz pro m³ Holz

Fig. 7
Nachpflege eines Leitungsmastes in Einbauzone mit Schaumstoff-Fertigbandage.
Links: Umwickeln der Stange mit schutzsalzhaltigem Schaumstoffkissen. Rechts: Mit Kunststoff-Folie abgedecktes Schaumstoffkissen. Die klebstoffhaltigen Folienränder ermöglichen eine Abdichtung, die das Einfliessen von Regenwasser verhindert.

Zusammenfassung

Die Stangenimprägnierung hat einen hohen Qualitätsstand erreicht. Verschiedene Faktoren haben dazu beigetragen. Die Entwicklung auf dem Gebiet der Schutzsalze führte zu Produkten mit breitem Wirkungsspektrum und allgemein guter Wirkung gegen alle wichtigen Schädlingsgruppen. Es war möglich, die früher häufig aufgetretenen Frühausfälle zu eliminieren. Die hohe Fixierbarkeit und die gute Auslaugbeständigkeit gewährleisten eine bessere Dauerwirkung. In der nächsten Zukunft darf man somit mit einem weiteren Ansteigen der Standdauer der Leitungsstangen rechnen.

Die technische Weiterentwicklung der Imprägnierverfahren hat dazu geführt, dass Salzverluste durch Versickern in den Boden vermieden werden können. Damit ist auch die Gefahr von Grundwasserverunreinigungen durch Holzschutzsalze weitgehend gebannt. Der Imprägnierablauf konnte wesentlich beschleunigt werden, was eine Rationalisierung des Imprägnierbetriebes möglich machte.

Mit den zur Verfügung stehenden Saftfrischverfahren lässt sich der gesamte Splintteil durchtränken, wie übrigens auch beim alten Boucherieverfahren. Die bedeutende Verbesserung der Imprägnierqualität ist in erster Linie die Folge der Vervollkommnung der Schutzmittel. Diese allein würde aber wenig nützen, wenn keine Verfahren zur Verfügung stünden, mit welchen die Schutzsalze so in das Holz hineingebracht werden können, dass eine optimale Wirkung erreicht wird. In dieser Hinsicht haben die jetzt zur Verfügung stehenden Tränkverfahren für die Imprägnierung der schwer tränkbaren Fichte mit stark fixierenden Schutzsalzen wesentlich zur Verbesserung der Qualität und damit der Dauerhaftigkeit beigetragen. Es hat sich auch in unseren schweizerischen Verhältnissen gezeigt, dass die Entwicklung der Imprägniertechnik und der Schutzmittel Hand in Hand gehen muss.

Literatur

[1] *Becker, G.:* Grundschutz von Holzmasten. Elektrizitätswirtschaft, 63(1964)Nr. 25, 927...932.

[2] *Gewecke, H.:* Die Frischimprägnierung von Masten aus Fichten- und Tannenholz nach dem Saftverdrängungsverfahren. Holz als Roh- und Werkstoff, 15(1957), 119...124.

[3] *Henriksson, St. T., Bellmann, H.* und *Benker, J.:* Erfahrungen mit dem Wechseldruckverfahren bei der Imprägnierung von Fichtenmasten mit Kupfer-Chrom-Arsen-haltigen Salzgemischen. Mitt. der deutschen Gesellschaft f. Holzforschung, Heft Nr. 48(1961), 84...88.

[4] *Liese, W.:* Stand des Holzschutzes für Leitungsmaste. Holz-Zentralblatt (1968)Nr. 79, 1151...1153.

[5] *Wälchli, O.:* Pilze auf Holzmasten, unter besonderer Berücksichtigung des Porenhausschwammes (Poria vaporaria). Bulletin SEV, 44(1953) Nr. 1, 14...20.

[6] *Wälchli, O.:* Über Anlage und Durchführung der Freilandversuche des VSE zur Prüfung von Stangenimprägnierungen. Bulletin SEV, 45(1954)Nr. 14, 161...165.

[7] *Wälchli, O.:* Bericht über die ersten Ergebnisse der Prüfung verschiedener Stangenimprägnierungen in den Freilandversuchen des VSE. 3. Mitt. Bulletin SEV, 47(1956)Nr. 14.

[8] *Wälchli, O.:* Versuche über die Imprägnierung von Holzmasten. 4. Mitt., Lagerung und Kupfersulfatgehalte bei boucherisierten Leitungsstangen. Bulletin SEV, 48(1957)Nr. 7.

[9] *Wälchli, O.:* Bericht über die Versuche des VSE zur Prüfung von Stangenimprägnierungen. 5. Mitt., Bulletin SEV, 49(1958)Nr. 13.

[10] *Wälchli, O.:* Anforderungen an Holzschutzimprägnierungen zur Bekämpfung von Pilz- und Insektenschäden. Schweiz. Ztschr. f. Forstwesen (1962)Nr. 5, 215...233.

[11] *Wälchli, O.:* Neue Methoden der Stangenimprägnierung. Bulletin SEV, 54(1963), 213...220.

[12] *Wälchli, O.:* Der Einfluss verschiedener Schutzverfahren und Schutzsalze auf die Salzverteilung in getränkten Leitungsmasten. Holz als Roh- und Werkstoff, 22(1964), 64...68.

[13] *Wälchli, O.:* Einfluss der Lagerung von imprägnierten Leitungsstangen auf den Gehalt und die Verteilung von sauren UA-Salzen. Bulletin SEV, 56(1965)Nr. 3.

[14] *Wälchli, O.:* Oscillating Pressure Method. Journal of the Inst. of Wood Science, No. 26 (Vol. 5. No. 2), (1970), 42...43.

Adresse des Autors:
Prof. Dr. *O. Wälchli,* Eidgenössische Materialprüfungs- und Versuchsanstalt, Unterstr. 11, 9000 St. Gallen.

Herstellung und Imprägnierung des Leitungsmastes in der Praxis

Von *R. Berchtold*, Biel

1. Holzbeschaffung

Fichten und Tannenbestände, die Rohstangen produzieren, findet man vom Jura bis an die Voralpen. Da Leitungsstangen gerade, schlank und vollholzig sein müssen, sind Bäume aus reinen, dichtgewachsenen Nadelholzbeständen am geeignetsten. Die Anforderungen an das Holz sind gross. Es muss gerade, ohne Drehwuchs, ohne grobe Äste sein, und darf keine Schäden durch Blitzschlag oder Streifung aufweisen. Dazu muss das Holz vollkommen gesund und saftfrisch sein.

Das Fällen, Rücken und Transportieren hat mit äusserster Sorgfalt zu geschehen, um eine Verletzung der Rinde zu verhindern. Verletzte Rinde führt zur Austrocknung der darunterliegenden Holzschicht, was eine gute Imprägnierung im Saftfrisch-Verfahren verunmöglicht. Dass für dieses Holz und die sorgfältige Handhabung ein höherer Preis als für andere Verwendungszwecke von Schwachholz bezahlt werden muss, ist verständlich.

In Zukunft könnten Schwierigkeiten dadurch entstehen, dass nur eine Winterfällung aus Personalmangel nicht mehr möglich ist. Viele Forstverwaltungen haben kaum mehr Personal aus Bauernkreisen, sondern arbeiten mit Holzfällern, die ganzjährig angestellt werden. Diese müssen nun auch das ganze Jahr über Holzschläge vornehmen.

Eine weitere Schwierigkeit entsteht durch die vermehrte Mechanisierung der Holztransporte, indem es immer öfter zu Streifschäden der Rinde kommt. Das Rücken wird kaum noch mit Pferden, sondern mit Seilwinden bewerkstelligt. Dabei hat der Windenführer niemals den gleichen Überblick über das zu rückende Holz wie ein Pferdeführer, der neben dem Tier und dem Holz hergeht. Die modernen Lastwagen mit Kranen und Seilwinden tragen auch nicht zu einer sorgfältigen Behandlung bei.

Man wird versuchen müssen, trotz der Mechanisierung im Forstbetrieb den speziellen Anforderungen an das Rohstangenholz gerecht zu werden.

Der Transport der Stangen auf den Werkplatz sollte möglichst im Winter oder Vorfrühling erfolgen, um ein Austrocknen durch Einwirkung von Sonne und Wärme zu vermeiden. Oft ist aber wegen verschneiten oder vereisten Waldstrassen (in den Voralpen und im Jura) ein Abtransport erst im Frühling möglich. Da muss das Holz durch Spritzen mit Rundholzschutzmitteln vor Käferbefall geschützt werden.

Auf dem Werkplatz wird das nicht sofort zur Verarbeitung gelangende Holz dicht gestapelt und, mit Rinde zugedeckt, vor dem Austrocknen geschützt.

2. Ablängen und Ausformen

Die nächste Operation ist das endgültige Ausformen der Stangen. Im Wald bleiben bei der Einmessung des Holzes öfters Holzfehler oder Krümmungen unentdeckt, (der Lieferant legt die Stange in ihrer schönsten Ansicht bereit) und ausserdem ist zum mindesten bei Beginn der Schläge der effektive Bedarf an fertigen Stangen nach Längen noch nicht bekannt.

Beim Ausformen werden noch etwa 5 bis 25 % des Holzes von der Stangenherstellung ausgenommen. Diese Abfälle können als Papierholz oder, wo das Imprägnierwerk eine Sägerei angegliedert hat, als Sägerundholz Verwendung finden. Immerhin ist mit einem beträchtlichen Preisverlust zu rechnen. Einige Imprägnierwerke schneiden das Papierholz erst nach dem Entrinden von den Stangen ab, was den Vorteil ergibt, dass sie weissgeschältes Papierholz verkaufen können.

Die Imprägnierwerke mit Wechseldruckanlage bringen nach dem Absägen der Stangen auch gleich an den Schnittflächen die Abdichtung, bestehend aus einem Anstrich mit Kunstharzbinder, an. Diese Abdichtung verhindert ein Aus- oder auch Eindringen von Luft und Imprägnierlösung über die Stirnholzflächen.

3. Das Entrinden

Für das Trogsaug- wie auch für das Wechseldruck-Verfahren muss das Holz weissgeschält werden. Das heisst, neben der Rinde soll auch das Kambium restlos entfernt werden, ja, die äussersten Jahrringe müssen angeschnitten werden. Diese Arbeit wird heute mit Schälmaschinen ausgeführt, da Handarbeit viel zu teuer ist und ausserdem keine Arbeitskräfte für so schwere körperliche Arbeit mehr gefunden werden.

Die Schälmaschinen für Leitungsmaste arbeiten alle nach dem gleichen Prinzip. Angetriebene Vorschubrollen drehen den Stamm in einer schraubenförmigen Bewegung vorwärts. Zwei Fräsköpfe entfernen Rinde und Bast, wobei einer als Vorschneider, der andere als Fertigschneider wirkt. Da Rinde meistens viel Sand und kleine Steine enthält, wird für den Vorschälkopf ein Hartmetallwerkzeug verwendet. Mit solchen Messern kann man ohne weiteres 1000 Stangen entrinden, bevor man sie nachschärfen muss. Immerhin braucht es für das Nachschärfen dann auch eine Spezialmaschine mit Diamantschleifscheiben.

Die Enden der Stangen können von der Maschine nicht entrindet werden, weshalb man diese von Hand noch fertigputzen muss. Dafür sind die Stangen auf Poltern ausgelegt. Bevor man sie nun auf die Imprägnierwagen für das Wechseldruck-Verfahren oder in die Tröge verlädt, werden die Stangen nach effektivem Druchmesser und Länge eingemessen, um deren genauen Kubikinhalt zu berechnen. Dies ist für die spätere Berechnung der Salzaufnahme sehr wichtig. Darauf werden die Stangen auf die Imprägnierwagen verladen, wobei man darauf achtet, in dem vorhandenen Kesselraum möglichst viel Holz unterzubringen. Man dreht also etwa halb und halb Stöcke und Zöpfe zueinander, und verlädt kleine und grosse Stangen je auf ein separates Rollwagenpaar, zum Beispiel 7–8–9 m und 10–11–12 m, wenn der Kessel 21 m lang ist. Beim Trogsaug-Verfahren werden alle Stockenden gegen die gleiche Querwand des Troges gedreht, damit die Saugkappen alle auf einer Seite angebracht werden können. Meistens sind separate Tröge für kurze, mittlere und lange Stangen vorhanden, um das Trogvolumen möglichst gut mit Holz auszufüllen und damit weniger Salzlösung zu brauchen.

4. Das Imprägnieren

Als das Kupfersulfat als Imprägniermittel durch giftigere, respektive beständigere Salzgemische ersetzt wurde, sahen sich die Imprägnierwerke gezwungen, Verfahren anzuwenden, die eine Verschmutzung des Bodens und damit des Grundwassers mit Imprägnierlösung verhinderten. Es kamen also nur Verfahren in Frage, die mit einem geschlossenen System arbeiten und die gleichzeitig das Imprägnieren in saftfrischem Zustand erlauben. Fichten- und Tannenholz kann leider in trockenem Zustand nur unvollkommen imprägniert werden, in saftfrischem Zustand dagegen gut. Andere Holzarten wie Föhre und Lärche, die sich trocken imprägnieren lassen, sind in der Schweiz, sowohl was die Ansprüche an Form und Wuchs (gerade, schlank) betrifft, wie auch in den benötigten Stückzahlen, nicht zu beschaffen. Ausländisches Rohmaterial kommt wegen der hohen Transportkosten sowie der Unsicherheit der Lieferungen kaum in Frage. Dies sind die Gründe, weshalb in der Schweiz das Trogsaug-Verfahren sowie das Wechseldruck-Verfahren eingeführt wurden.

a) Wechseldruck-Verfahren

Das Prinzip des Wechseldruck-Verfahrens wurde von Herrn Prof. Wälchli erläutert. Der Verlauf der Kurven des Vacuums und der Druckzeiten wird durch ein automatisches Steuergerät gegeben. Es ist möglich, diesen Ablauf in einem gewissen Ausmass zu variieren. Dies könnte unter Umständen je nach Herkunft des Stangenholzes auch nötig werden, um eine optimale Eindringtiefe zu erreichen. Auch ist es möglich, dass die Jahreszeit einen gewissen Einfluss ausübt. (Man sagt ja, dass auch gefälltes Holz im Frühjahr «in den Saft kommt».) Als Richtlinie hat sich erwiesen, dass für das Imprägnieren mit CB-Salz eine Dauer von 20 Stunden pro Charge, eine Lösungskonzentration von 5 bis 5,3 % zu Beginn der Imprägnierung und eine Lösungstemperatur von Minimum 10 °C die besten Ergebnisse zeigen. Der Verlauf der Druck- und Vakuumszeiten wird nach den von der Boliden AG herausgegebenen Kurven eingehalten.

Die durchschnittliche Salzaufnahme pro Kubikmeter Holz beträgt 14 bis 16 kg, wobei keine Charge unter 12 kg liegt. Die Eindringtiefe der Kupferkomponente ist ungefähr gleich der Splintbreite, diejenige der Borkomponente ist tiefer.

Die Salzaufnahme wird wie folgt berechnet. Die genaue Holzmenge, die im Kessel ist, wurde nach dem Entrinden durch Messen und Kubieren bestimmt. Man misst ebenfalls bei Beginn und Ende der Imprägnierung die Lösungsmenge, und bestimmt die Salzkonzentration. Durch eine einfache Rechnung wird nun aus Lösungsschwund und Konzentrationsabnahme die vom Holz aufgenommene Salzmenge ermittelt.

Die Imprägnieranlagen funktionieren im allgemeinen sehr gut, immerhin ist eine periodische sorgfältige Revision alle Jahre nötig. Das Salz löst sich mit Hilfe eines Rührwerks leicht im Wasser. Wo das Wasser stark kalkhaltig ist, ist es gut, dieses einige Tage in einem Behälter stehen zu lassen, bevor man es zur Lösungsherstellung braucht. Durch das Stehen sinkt ein grosser Teil des Kalkes auf den Boden des Behälters ab, und das Chlor kann entweichen. Die Schlammbildung in den Imprägnieranlagen ist dadurch wesentlich geringer, und die feinen Poren des Holzes werden nicht mit Schlamm verstopft.

b) Trogsaug-Verfahren

Dieses Verfahren, von Dr. Gewecke entwickelt, hat eine grosse Ähnlichkeit mit dem früher angewendeten System Boucherie.

An den Zopfenden werden mit Dichtungen versehene Kappen angebracht, die mittels Gummischlauchleitungen an eine Vacuumpumpe angeschlossen werden. Durch das Vacuum entsteht im Holz eine Flüssigkeitsbewegung, die wiederum Imprägnierlösung vom Stock sowie von der Mantelfläche her in das Holz einzieht. Der Baumsaft wird nun durch die Imprägnierlösung zum Zopfende hingeschoben und dort abgesaugt. Die Imprägnierung des Holzes ist gut, wenn am Zopf Lösung von derselben Konzentration austritt, wie sie im Trog vorhanden ist. Die Lösungskonzentration beträgt 2,8 bis 3,2 %. Die Salzaufnahme beim Wolmanit CB liegt zwischen 13 und 16 kg/m³ Holz. Die Dauer der Imprägnierung richtet sich nach der Länge der Stangen, zwischen rund 7 und 10 Tagen. Pro Trog werden 80 bis 120 Stück Stangen eingefüllt und gleichzeitig imprägniert.

Die Berechnung der Salzaufnahme erfolgt ähnlich wie beim Wechseldruck-Verfahren. Auch das Herstellen der Salzlösung erfolgt gleich, abgesehen vom Umstand, dass beim Trogsaug-Verfahren die Lösungskonzentration geringer ist als beim Wechseldruck-Verfahren. Das Salz ist jedoch genau dasselbe.

5. Stapelung

Nach der Imprägnierung werden die Stangen aus dem Kessel ausgefahren respektive aus dem Trog herausgehoben. Nun ist es zweckmässig, wenn man sie zuerst während einiger Zeit dicht aufeinander schichtet (ohne Zwischenlatten). Durch das Dicht-an-dicht-Liegen geht der Trocknungsprozess langsamer vonstatten, was ermöglicht, dass durch Diffusion noch eine Verbesserung der Imprägniermittelverteilung erreicht wird. Auch die Rissbildung ist kleiner, da Risse besonders dann entstehen, wenn die Oberfläche rasch trocknet, der Kern jedoch noch nass ist.

Nach mehreren Wochen werden die Stangen dann nach Längen getrennt gestapelt: die kürzeren meist Schicht für Schicht, kreuzweise, die längeren Stangen mit Zwischenlatten. Oft werden die Maste auch gleich zur Übernahme ausgebreitet und nach Gutbefund durch den Abnahmebeamten gestapelt.

Adresse des Autors:
R. Berchtold, Direktor der Holzindustrie Renfer & Co. AG, Bözingenstrasse 186, 2500 Biel.

Holztragwerke aus der Sicht der PTT

Technisch, wirtschaftlich, Bedürfnisse und Anforderungen

Von *H. Steinle*, Bern

Wenn ich hier Gelegenheit habe, als Vertreter der PTT-Betriebe zu Ihnen zu sprechen, tue ich es mit dem Wunsche, Ihnen in einem recht kurzen Abriss etwas über die Technik unserer Leitungsnetze zu erläutern. Sie sollen wissen, dass auch wir dieselben Probleme haben und dass wir uns am Suchen eines sicheren und wirtschaftlichen Holzschutzes beteiligen.

Der Geschäftsleitung des VSE und dem Präsidenten der Kommission für Holzschutz danke ich im Namen der Generaldirektion PTT für die geleistete Arbeit, von der wir heute profitieren.

Die PTT, besonders diejenigen Leute, die sich früher mit der Zeichen- und Sprachübertragung befassten, haben mit bescheidenen Mitteln Übertragungsleitungen gebaut. So weiss die PTT-Chronik zu berichten, dass vor 120 Jahren die erste eindrähtige Telegraphenleitung für die Wegstunde 110 Stangen benötigte. Eine Stange kostete damals inklusive Transport auf die Baustelle 1 Franken 10 Rappen. Nach den Empfehlungen sollten sie am Fussende angebrannt und geteert werden. Da aber ein Preis von 50 Rappen für diese Prozedur nicht zu verantworten war, verzichtete man auf die heute bekannte gute Schutzwirkung des Teers.

30 Jahre später begann der Bau von Telephonleitungen. Es bestanden vom Telegraphennetz damals schon 120 000 Stangen, davon waren 30 % nicht imprägniert!

Die nach 1920 rigoros einsetzende Verkabelung der oberirdischen Bezirks- und Fernleitungsnetze liess ein Verschwinden der vielen Leitungsstangen erhoffen. Es kam dann aber der ungeahnte Teilnehmerzuwachs. Wiederum vermehrten sich die Leitungsstränge in der Landschaft. Erneut machte man sich an die Verkabelung dieser Anschlussleitungen und baute in der Folge die Ortsnetze mit gemischter oberirdischer und unterirdischer Anschlussart.

Wie gestaltet sich nun die heutige Situation, mit einigen Zahlen belegt:

Seit Jahren kaufen wir jährlich 35 000–40 000 Holzstangen in Längen von 7–11 m. Davon sind 20 % für den Ersatz fauler Stangen.

Von den 2 Millionen Telephonanschlüssen sind heute 1/4 teilweise oberirdisch bedient.

Wir rechnen pro Anschluss im Durchschnitt mit 2,2 Stangen, was einen Gesamtbestand von 1,1 Millionen ergibt. Diesen Bestand gilt es nun zu erhalten und zu pflegen.

Alle Jahre werden 14 000 neue Teilnehmeranschlüsse teilweise oberirdisch erstellt, was 30 000 neue Stangen erfordert. Wir sehen keinen Grund, dass diese Regelmässigkeit in den nächsten Jahren nicht fortdauern sollte.

Die nachfolgenden Hinweise auf einige Prinzipien dienen dem Bauleiter des Elektrizitätswerkes als Information:

- Wir rechnen bei der Projektierung mit einem Anschluss pro Wohnung, wenn es sich um Wohnhäuser handelt.
- Häuser mit mehr als zwei Wohnungen werden in der Regel unterirdisch angeschlossen.
- Kreuzungen mit Hochspannungsleitungen und Hauptstrassen werden möglichst vermieden.
- Die Gemeinschaft mit Niederspannungsleitungen wird nur in Ausnahmefällen beansprucht.
- Der Standort des Kabelüberführungspunktes wird so gewählt, dass kurze Zuführungen zu den Häusern entstehen.
- Linien mit Traversen werden immer seltener, neue werden kaum mehr gebaut.
- Eine Linie mit 4 Abonnentenleitungen ist heute teurer als ein Erdkabel in gut stechbarem Boden.
- Die Grundprinzipien sind gegeben, sie können aber wegen der Vielfalt der Regionen in der Schweiz nicht überall angewendet werden. Die Streusiedlungen im Appenzell und die Dörfer im Tessin sind Beispiele der Verschiedenartigkeit.

Gegenüber den Elektrizitätswerken haben wir für den Bau unserer oberirdischen Anlagen gewisse grosse Vorteile:

- Ein ausgerüsteter Tragmast kostet uns durchschnittlich 250 Franken.
- Wir können uns den gegebenen Verhältnissen durch Wahl der Spannweiten, Stangenlängen und Leitungstrassen besser anpassen.
- Schwierigkeiten weichen wir oft durch Verkabelung aus.
- Die Einführungen in die Häuser bilden keine Probleme.
- Die Durchleitungsbewilligungen sind noch ohne grosse Schwierigkeiten erhältlich.
- Wir sind für Änderungen an der Trasseführung flexibler.
- Wir arbeiten mit Spannungen, die Mensch und Tier nicht gefährden.
- Die mechanischen Beanspruchungen sind bedeutend kleiner.
- Die Holzstangen sind kürzer, leichter und billiger.

In neuerer Zeit bauen wir Anlagen mit Luftkabel anstelle von Blankdraht, was die Montagezeiten erheblich verkürzt. Die Holzstangen lassen sich dabei jedoch nicht vermeiden.

Anlagen mit Kunststoffkabel für Erdverlegung, als Ersatz für Freileitungen, kommen nun ebenfalls in dafür geeigneten Gebieten zur Ausführung.

Sie sehen, dass wir durch die Bedürfnisse der Kundschaft einerseits und unsere Baumethoden andererseits im Leitungsbau weniger exponiert sind, als es früher noch der Fall war. Wir haben Ihnen infolgedessen für Ihre eigene Entfaltung Platz gemacht.

Die Probleme des Holzschutzes beschäftigen uns ebensosehr wie alle andern, die sich mit dem Verbauen dieses Materials befassen.

Seit unserer Mitgliedschaft in der Holzschutzkommission des VSE haben sich auch den PTT-Betrieben die Tore für die neuen Erkenntnisse im Holzschutz geöffnet.

Es sind heute die wirtschaftlichen Überlegungen und die hohen Arbeitslöhne, die uns zwangen, dem Problem Holzschutz erhöhte Aufmerksamkeit zu schenken. Leider zeigt unsere Stangenstatistik, dass die mittlere Lebensdauer weit unter derjenigen der Stangen der Elektrizitätswerke liegt. Es ist nun unsere Aufgabe, durch geeignete Massnahmen eine Verbesserung zu erzielen.

Unter Berücksichtigung von Verkabelungen und Leitungsumbauten rechnen wir mit einer mittleren Standdauer

von 25 Jahren. Wenn wir nun etwas darüber hinaus die Lebensdauer auf 30 Jahre erhöhen können, mit den Mitteln die uns zur Verfügung stehen, dürften wir das gesteckte Ziel erreichen. So hoffen wir.

Es war anfänglich die Meinung bei uns, dass eine gute Grundimprägnierung mit den neuen Salzen eine Vor- oder Nachbehandlung erübrige. Besonders immer im Hinblick auf die Kostenfrage. Als wir aber mit unseren PTT-Nachbarn diskutierten, mussten wir erkennen, dass diese nicht nur vor- oder nachbehandeln, sondern vor- *und* nachbehandeln. Die deutsche Bundespost zum Beispiel hat die mechanische Vorbehandlung der Fichtenstange freigegeben.

Wir haben nun vor ein paar Jahren für die Nachbehandlung endlich grünes Licht gegeben und lassen Impfen und Bandagieren. Impfen in grösserem Ausmass nach Unterhaltsprogramm und Bandagieren bei wiederzuverwendenden Stangen. Unsere Erfahrungen sind noch ungenügend, um zu wissen, welches von beiden Nachpflegemitteln das bessere ist. Vorläufig betrachten wir beide als in gleichem Grade wirksam. Das Impfstichverfahren jedoch ist nur gut, wenn man sich auf eine einwandfreie Arbeit seitens der Unternehmer verlassen kann.

Eine Erscheinung, die uns Sorgen macht, sind die Tiervergiftungen durch nachbehandelte Stangen. Wir möchten behaupten, dass sie nicht auftreten können, wenn die Nachpflegearbeit mit der nötigen Sorgfalt durchgeführt wird. Dem Unternehmer muss klar gemacht werden, dass wir uns solche Tiervergiftungen nicht leisten können, wollen wir weiterhin die Durchleitungsrechte für Stangenlinien erwerben.

Den Doppelstockschutz haben wir bis heute noch nicht eingeführt. Die Gründe liegen in der relativ kurzen Standdauer unserer Stangen sowie den finanziellen Aufwendungen und nicht zuletzt am Vertrauen auf eine gute Grundimprägnierung.

Über unsere Stangenkontrolle ist folgendes zu bemerken:

Wie bereits erwähnt, versuchen wir durch geeignete Massnahmen das mittlere Lebensalter unserer Stangen zu heben. Dass das mittlere Alter heute so tief ist (19 Jahre), hat verschiedene Gründe:

– Junge, wenig erfahrene Stangenkontrolleure werden mit der Stangenkontrolle betraut.
– Es fehlt ihnen die Sicherheit in der Beurteilung des Holzzustandes und allen oft der Mut für die Entscheidung einer weiteren Verwendbarkeit der Stangen.
– Der Stangenkontrolleur wird nach zu kurzer Zeit durch andere ersetzt.
– Es werden Stangen in der Linie als faul bezeichnet oder ausgebaut und hernach im Materialmagazin als faul klassiert, die es nicht sind.
– Man hat Mühe, noch gute, ausgebaute Stangen, die etwas älter sind, wieder zu verwenden.
– Ganz allgemein fehlt es am Sparwillen.

Wir haben uns nun diesem Problem der Stangenkontrolle angenommen und bereits durch Kurse für Stangenkontrolleure, geleitet von Herrn Weilenmann, einen vielversprechenden Anfang gemacht.

Lang ist die Kette der Beeinflussungen einer Holzstange, angefangen vom kleinen Tannenbaum bis zum erhofften langjährigen Betriebseinsatz in der Anlage. Alle, die daran beteiligt sind, müssen überlegen: Gesundes Holz und wirksamer Holzschutz bewahrt uns vor hohen Betriebskosten und gibt uns Vertrauen zum Bauelement «Holzmast».

Es geht nicht nur allein darum, die Lebensdauer unserer Holzstangen zu verlängern, sondern ebensosehr um eine wirksame Unfallverhütung.

Die Zukunft sehen wir so, dass wir den eingeschlagenen Weg weiter beschreiten, mit Ihnen zusammen in der Kommission für Holzschutz mitarbeiten und weiterhin der Forschung vertrauen.

Abschliessend erlaube ich mir, meine Herren, die Gelegenheit zu benützen, um Ihnen für die stets erfreuliche Zusammenarbeit mit den Kreistelephondirektionen bestens zu danken.

Wir haben gemeinsame Interessen und Ziele: ein leistungsfähiges, betriebssicheres Leitungsnetz, immer in der Absicht unseren Kunden zu dienen.

Ihre Holzstangen sind Energieträger, unsere tragen Verbindungen – trachten wir danach, dass Ihre starke Energie mit unserer schwachen stets in guter Verbindung bleibe.

Adresse des Autors:
H. Steinle, Technischer Beamter der Linienabteilung der Generaldirektion PTT, Bern.

Netzunterhalt, Mastennachpflege und wirtschaftliche Überlegungen

Von *J. Stösser*, Zürich

1. Allgemeines

Die starke Zunahme der Kabelleitungen in der Nachkriegszeit lässt die Frage zu: «Sind Freileitungen noch zeitgemäss und ist die Nachpflege der Holzmasten immer noch aktuell?» Trotzdem die Erdkabel auch in ländlichen Versorgungsnetzen vermehrt anzutreffen sind, bleiben weitläufige Netze mit Freileitungen in den älteren Dorfteilen und zu abgelegenen Gehöften weiter bestehen. Sie sind im Laufe der Jahre sogar zu erweitern und zu verstärken. Freileitungen bilden zudem ein wesentliches Überbrückungselement in Kabelgebieten mit vorerst ungesicherten Leitungstrassen. In der heutigen Zeit ist das Neue raschen Veränderungen unterworfen, dass man sich fragen darf: «Wo sind die dauerhaften Kabeltrassen?» Diese sind aber eine unbedingte Voraussetzung für die Erstellung eines 3–4mal teureren unterirdischen Netzes gegenüber einem oberirdischen.

Der Holzmast im Freileitungsbau hat heute wohl etwas an Bedeutung verloren, er bleibt aber ein sehr wirtschaftliches und anpassungsfähiges Bauelement und lässt sich sogar als Provisorium mehrmals verwenden.

Der Holzmastenbestand in den Verteilnetzen der Elektrizitätswerke des Kantons Zürich hat sich seit Jahrzehnten gehalten, ein wesentlicher Rückgang ist noch nicht voraussehbar (siehe Fig. 1). Investiert sind rund 87 000 Masten, was einem Materialwert von über 10 Millionen Franken entspricht. Es lohnt sich, ein derartiges Kapital zu erhalten.

Um solche Werte möglichst lange zu nutzen – für die ganze Schweiz, ohne PTT, dürfte es sich um mehr als 100 Millionen Franken handeln – soll kein rohes Holz erdverbaut werden, mit Ausnahme von Kastanien- und Lärchenholz und Holz für kurzzeitige Provisorien. Es ist deshalb richtig, wenn in Art. 102 der «Verordnung über Starkstromanlagen» schon vor mehreren Jahrzehnten eine zuverlässige Imprägnierung verlangt wird.

2. Grundimprägnierung

Die Grundimprägnierung garantiert gegenüber dem unbehandelten Holzmast eine wesentliche Lebensverlängerung. Rohes Fichten- oder Tannenholz, wie es in der Schweiz fast ausnahmslos anfällt, würde nur 4–5 Jahre halten. Deshalb sollen für Provisorien nur imprägnierte Masten verwendet werden.

Anerkannte Verfahren und Imprägniermittel gewährleisten heute eine gute Grundimprägnierung, auf die in diesem Vortrag nicht weiter eingetreten werden soll.

3. Die unerlässliche Mastenkontrolle

Im Unterhalt eines oberirdischen Verteilnetzes ist die periodische Mastenkontrolle von ausschlaggebender Bedeutung. Alle Leitungen sind nach Art. 74 der «Verordnung über Starkstromanlagen» zu revidieren. Für Holzmasten genügt eine jährliche Revision, solange die Tragwerke noch in gutem Zustande sind. Demgegenüber erwähnt die Schweizerische Unfallversicherungsanstalt in einem im April 1970 herausgegebenen Unfallverhütungsblatt, dass die Stangen normalerweise alle 3 Jahre einmal gründlich zu untersuchen sind.

Dieser Widerspruch, der in allernächster Zeit zu bereinigen ist, zeigt ganz deutlich die heutige Situation, in der das Personal der Elektrizitätswerke mit Netzerweiterungen überlastet ist und für den nötigsten Unterhalt kaum mehr Zeit findet.

Der Unterhalt darf aber auch in der heutigen Situation nur soweit reduziert werden, dass die Betriebssicherheit und der Unfallschutz gewährleistet bleiben. Auch die EKZ haben ihre Personalsorgen und verlangen deshalb seit Jahren im Hochspannungsnetz nur noch eine jährliche Holzmastenkontrolle. Im Niederspannungsnetz wird ein 3-jähriger Turnus eingehalten. Für alle Masten sind gründliche Kontrollen mit Erdabdeckung nur noch alle 3 Jahre vorzunehmen, währenddem in der Zwischenzeit für die Hochspannung einfachere Kontrollen genügen sollten. Über die Ausführung der Kontrolle wurde das Werkpersonal in vom VSE durchgeführten Kursen instruiert. Es sei lediglich erwähnt, dass jeder Mast, unabhängig von seinem Alter und auf der ganzen Länge, zu kontrollieren ist.

4. Einflüsse auf die Lebensdauer

Für die Lebensdauer sind mit ungefähr gleichem Gewicht Holzqualität, Schutzmittel und Imprägnierverfahren ausschlaggebend. Wesentlich ist aber auch der Standort des Mastes, vor allem in Bezug auf die Bodenverhältnisse. Alle diese Gegebenheiten spielen in einer so komplexen Art mit, dass die Ergebnisse mehr aus der praktischen als aus der theoretischen Sicht beurteilt werden dürfen. Unter den Witterungseinflüssen wird das Schutzmittel ausgelaugt und das Holz an der Oberfläche etwas abgebaut und aufgerissen, was zu einer Verminderung der Festigkeit führt.

Schliesslich sei hier einmal ganz deutlich darauf hingewiesen, dass die Bodenfeuchtigkeit um den Mast, gegenüber derjenigen in der weiteren Umgebung wesentlich höher liegt.

Bei einem 10-m-Mast ist mit der 2,5fachen und bei einem 15-m-Mast sogar mit der 3,5fachen Wassermenge beim Mastfuss zu rechnen. Diese errechneten Werte ergeben sich mit den für den Kanton Zürich massgebenden mittleren Niederschlagsmengen. Schwere, lehmhaltige Böden beeinflussen die Lebensdauer der Holzmasten nachteiliger als steinige oder sandige. Masten in Hartbelägen oder Pflästerungen weisen in der Regel eine recht gute Lebensdauer auf und werden deshalb in den Netzen der EKZ nicht nachgepflegt (Fig. 2).

Die Lebensdauer von imprägnierten Holzmasten liegt bei ca. 15–22 Jahren; sie kann aber mit einer gezielten Nachpflege ganz wesentlich erhöht werden (Fig. 3).

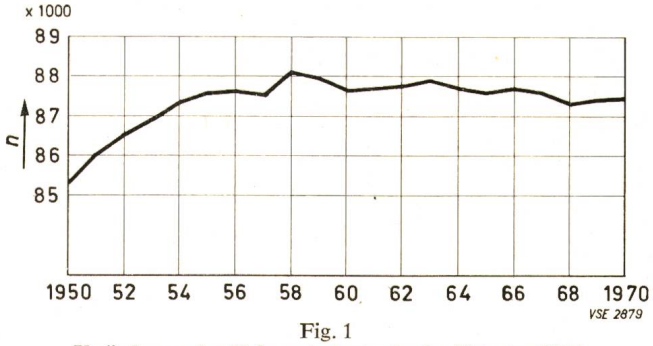


Fig. 1
Veränderung des Holzmastenbestandes im Netz der EKZ in den Jahren 1950—1970
n = Anzahl

5. Mastennachpflege

Die Wirksamkeit der Schutzmittel wird bekanntlich beim Erdaustritt der Masten am stärksten reduziert. Der Mastzopf ist durchwegs mit der Metallkappe so gut geschützt, dass mit frühzeitigen Zerstörungen nicht zu rechnen ist, was die Praxis genügend bewiesen hat. Deshalb beschränkt sich eine Mastennachpflege in der Schweiz auf die Zone beim Erdaustritt.

Die Nachpflege soll die im Laufe der Jahre verlorenen Schutzmittel ersetzen, das heisst sie sollte der Grundimprägnierung angepasst sein. Als Beispiel sei erwähnt, dass für einen kupfervitriolimprägnierten Mast UA-Salze genügen, weil diese mit den wenigen im Mast verbleibenden Kupferrückständen einen guten Schutz gegen A- und B-Pilze und auch gegen die Moderfäule ergeben. Für die vor Jahren mit UAR-Salzen imprägnierten Masten würde dagegen eine Nachpflege nur mit UA-Salzen allein weniger gute Ergebnisse bringen. Es sollte ein zusätzlicher Stoff gegen die Moderfäule zugegeben werden.

In den Versuchsfeldern des VSE in Rathausen und Starkenbach wurde festgestellt, dass sich für die Nachpflege besonders zwei Verfahren eignen: das Bandage- und das Impfstich-Verfahren (siehe Fig. 4 und 5). Mit der Bandage wird versucht, die Schutzmittel durch osmotische Wirkung und mit dem Impfstich-Verfahren auf mechanische Art – Stechen – in den Mast zu bringen.

Geprüft wurden auch andere Mittel und Verfahren auf unbehandeltem Holz, denn nur so kann ihre Schutzwirkung einwandfrei verglichen werden. Zugegeben, Versuche auf «grundimprägniertem» Holz würden der Praxis eher entsprechen. Leider können aber nicht exakt gleiche Grundimprägnierungen bei den verschiedenen Versuchsstücken erreicht werden, was für eine sichere Beurteilung Voraussetzung wäre. Es ergaben sich für die Impfstich- und Bandage-Verfahren gute Resultate. Der Pilzbefall an frei verbautem Holz war nach 10 Jahren sehr schwach bis schwach. Die untersuchten Anstrichverfahren zeigten bedeutend schlechtere Ergebnisse.

Dem Versuchsbericht der EMPA St. Gallen ist zu entnehmen, dass die erzielten Resultate nach 15 Jahren nicht mehr als ausreichend wirksam zu betrachten sind. Das führt zum Schluss, dass die Nachpflege nach ca. 10 Jahren wiederholt werden sollte. Auf diese Weise lassen sich grössere Schäden mit guter Sicherheit vermeiden.

5.1 Das Impfstich-Verfahren

Die Erde um den Mast ist mindestens 40 cm tief wegzunehmen. Ebenfalls ist auch ein höher liegender Steinkranz zu entfernen. Die Behandlungszone soll nach VSE-Vorschrift von 40 cm unter Erde bis 60 cm über Erde reichen. Die Einstiche sind in der Höhe 10 cm und am Umfang 4–5 cm zu distanzieren. Sie sind versetzt anzubringen. Die drehbare und damit anpassungsfähige Stechnadel dringt ca. 6 cm in den Mast ein. Die normale Holzfeuchtigkeit vermeidet das Brechen der Holzfasern; sie werden nur auseinandergepresst. Die teigige Schutzmittellösung (Cobra-Salze und ähnliche) beginnt unter Druck in ca. 2,5 cm Tiefe aus der Nadel zu fliessen und füllt die ganze Stichtiefe aus. Beim Herausnehmen der Nadel schliessen sich die Holzfasern und pressen einen Teil der Salze an die Oberfläche. Diese werden verstrichen und mit einem Bitumen überstrichen. Innerhalb weniger Monate verteilen sich die Salze nach osmotischem Gesetz, vor allem im Splint. Die einzubringende vorgeschriebene Salzmenge beträgt im Minimum 350 g pro Mast.

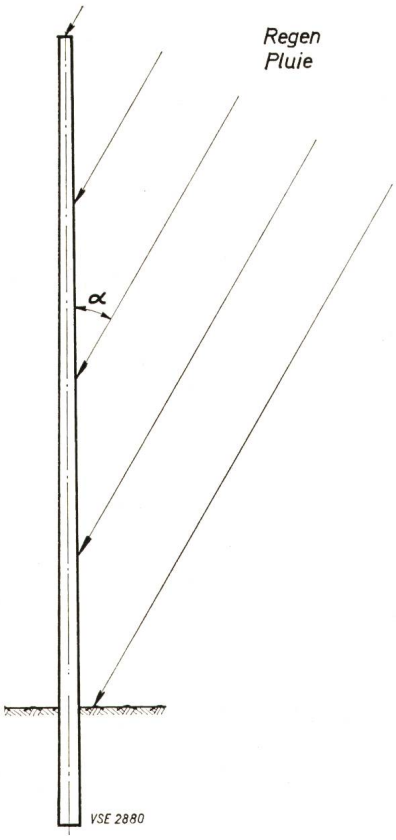


Fig. 2
Die Bodenfeuchtigkeit beim Masten ist wesentlich grösser als in der weiteren Umgebung, sie beträgt beim 10-m-Masten das 2,5fache und beim 15-m-Masten das 3,5-fache des Normalen (α = 30°).

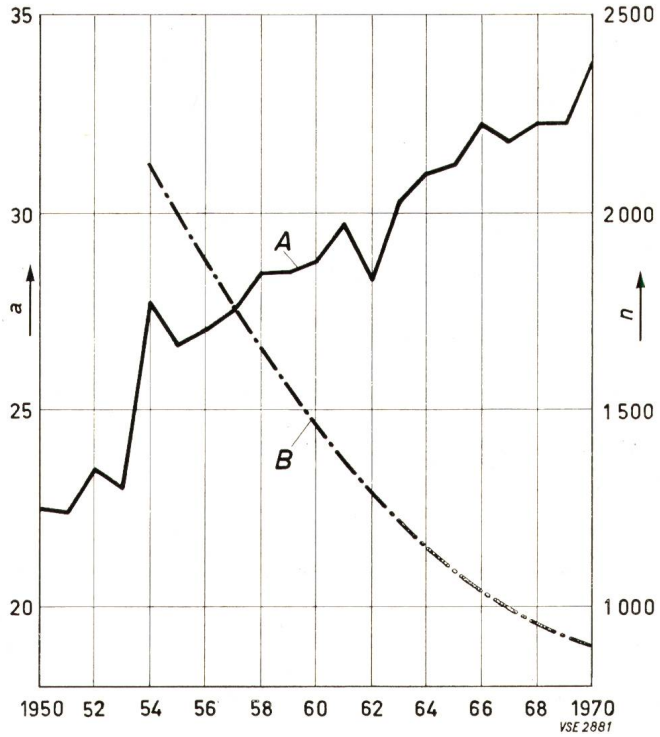


Fig. 3
A Mittl. Standdauer der wegen Fäulnis ausgewechselten Holzmasten im Netz der EKZ von 1950—1970. *B* Anzahl der wegen Fäulnis ausgewechselten Holzmasten im Netz der EKZ von 1954—1970.
a = Jahre; *n* = Anzahl

5.2 Das Bandage-Verfahren

Die Erde um den Mast wird wie beim Impfstich-Verfahren ausgehoben. Die Behandlungszone beträgt ca. 50 cm und soll mindestens 40 cm unter Erde beginnen. Das einzubringende Salz ist sehr konzentriert in der Bandage enthalten. Diese wird um den Mast gelegt, wobei darauf zu achten ist, dass der Salzteil nicht zu weit über die Erde herausreicht und so abgedichtet ist, dass kein Regenwasser eindringen kann.

Sollten die Vor- und Nachteile der beiden Verfahren genannt werden, ist auf die Tücken beider hinzuweisen. Das Impfen ergibt bei ordnungsgemässer Ausführung eine etwas grössere Tiefenwirkung und ist unabhängiger von Ast- und Buchspartien im Holz. Zudem kann die Schutzzone beim Impfverfahren über die Erdoberfläche ausgedehnt werden, was bei der Bandage nur mit speziellen Vorkehrungen für Viehschutz möglich ist. Die Bandage lässt sich am maschinengeschälten Mast einwandfrei abdichten, beim handgeschälten etwas weniger gut. Starke Windrisse wirken sich nachteilig auf die Bandage aus. Mit der Bandage erfährt der Mast sicher keine Festigkeitseinbusse. Eine Gefährdung der Tiere – Salz ist ein Leckerbissen – ist bei beiden Verfahren möglich, stärker aber mit der Bandage. Es kann auch gesagt werden, dass beim Impfstich-Verfahren die Möglichkeit einer Verschmutzung der Umgebung grösser ist.

Diese und noch viele andere Überlegungen führten die EKZ dazu, bei ausgebauten, aber wieder zu verwendenden Masten beim Stellen eine Bandage vom Personal der Baugruppe umzulegen. Für die eigentliche Nachpflege wird das Impfstich-Verfahren in einem Turnus von 9 Jahren angewendet, womit Spezialfirmen beauftragt werden.

Die Zeitspanne wurde als vielfaches der alle 3 Jahre auszuführenden gründlichen Mastenkontrolle gewählt, so dass zwei Kontrollen von unserem Personal und die dritte von der mit der Nachpflege beauftragten Spezialfirma vorzunehmen sind.

6. Statische Festigkeit der Holzmasten

In Art. 96 der «Verordnung über Starkstromanlagen» ist für Weich- und Hartholz eine zulässige Biegebeanspruchung von 150 kg/cm² festgelegt und es wird eine 3fache Sicherheit gegen Bruch gefordert. Kürzlich durchgeführte Versuche mit neuen Masten bestätigen die Richtigkeit dieser zwei aufeinander abgestimmten Werte. Dagegen kann bei älteren und verwitterten Masten der Sicherheitsfaktor unter Zugrundelegung der zulässigen Biegebeanspruchung etwas kleiner ausfallen. Die Reduktion kann bis 20 % gegenüber dem Anfangswert betragen, ohne dass am Mast mechanische Eingriffe vorgenommen wurden oder auffallende Fäulnisstellen vorhanden sind. Bei der Beurteilung dieses Ergebnisses ist aber zu berücksichtigen, dass der Wert des Sicherheitsfaktors bei neuen Masten über 3, das heisst sogar bei 3,5 liegen kann.

Die EKZ führten an 10 neuen und 40 gebrauchten Masten Biege- und Bruchversuche durch, um die durch das Impfstich-Verfahren zu erwartende Festigkeitseinbusse kennen zu lernen (Fig. 6). Der Eingriff war sowohl an der etwas grösseren Ausbiegung für eine bestimmte Zugkraft, wie in der etwas kleineren Bruchlast feststellbar. Die Mittelwerte – und nur auf diese kann abgestellt werden – wichen aber nur wenig von denjenigen ohne Behandlung ab. Es darf gesagt werden, dass die mechanische Schwächung durch das Impf-

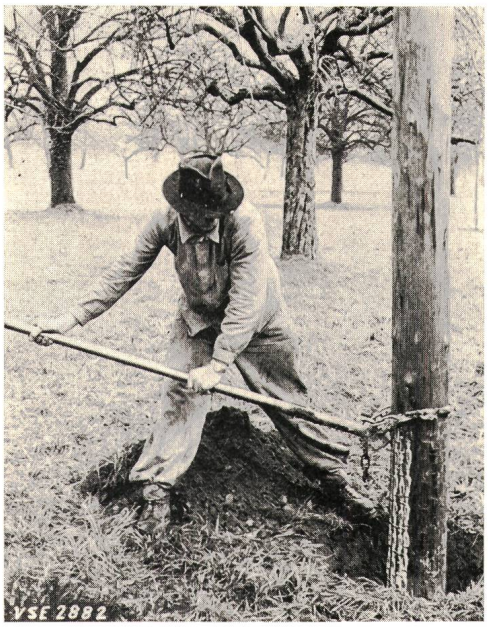


Fig. 4

Fig. 5

Fig. 6

stich-Verfahren ca. 10 % beträgt und dieser Wert gilt auch für 2- und 3maliges Impfen, was sehr erfreulich ist.

Dies zu wissen, war für die EKZ sehr wichtig, galt es doch zu entscheiden, wie die zweite Runde der Nachpflege im Netz vorsichgehen soll.

Schliesslich sei noch erwähnt, dass auch Versuche mit zwei verschieden langen Impfnadeln (7 und 6 cm) durchgeführt wurden; mit genau gleichen Ergebnissen, was vorausgesetzt werden konnte.

7. Schlussbetrachtungen

Die während 20 Jahren geführten Aufzeichnungen der EKZ ergaben eine Verlängerung der Standdauer der wegen Fäulnis ausgewechselten Masten von 22 auf 34 Jahre, womit der jährliche Mastenverbrauch im Netzunterhalt von ca. 2000 auf unter 1000 Stück gesunken ist. Das entspricht jährlichen Einsparungen von rund Fr. 250 000.–. In diesem Betrag sind die Aufwendungen für die Nachpflege und die bessere Grundimprägnierung berücksichtigt. Dieses Resultat ist nicht allein das Produkt der Nachpflege, sondern auch der im Laufe der Jahre verbesserten Grundimprägnierung. Die Erfahrungen zeigen aber recht deutlich, dass mit der Grundimprägnierung allein ein solch erfreuliches Ergebnis nie zu erreichen wäre.

Die EKZ verwenden heute Holzmasten imprägniert mit CB-Salzen nach dem Trog-Saug- oder Wechseldruck-Verfahren. Die Nachpflege wird im Turnus von 9 Jahren mit Cobra-Salzen oder ähnlichem nach dem Impfstich-Verfahren ausgeführt.

Der verstärkte Moderfäuleschutz wird vorläufig mit einem Zusatz von 3 % Pentachlorphenol im Bitumen für den Anstrich zu erreichen versucht. Es ist aber vorgesehen, dem Imprägniersalz ein saures Kupfer beizugeben und den Anteil Arsenat zu vermindern oder ganz wegzulassen. Damit würde das Salz etwas sympathischer und dem Umweltschutzgedanken besser angepasst. Die nötigen Versuche sind bei der EMPA im Gange.

Schliesslich sei darauf hingewiesen, dass der ständig steigende Energieabsatz auch stärkere Freileitungsnetze bedingt. Doppelleitungen auf gemeinsamem Gestänge sind häufiger. Das bedingt auch grössere statische Festigkeit der Masten. Die in Art. 99 der «Verordnung über Starkstromanlagen» angegebenen Mastendurchmesser für Regelleitungen können unter Umständen nicht mehr genügen. Um auch hier sicher zu gehen, sind Berechnungen anzustellen. In Fig. 7 sind die mit 3facher Sicherheit gerechneten Mastendurchmesser für verschiedene Mastausrüstungen zusammengestellt. Sie soll dem Leitungsbaupersonal eine einfache Hilfe sein.

Meine Herren, Sie ersehen aus all den heute gehörten Ausführungen, wie vielfältig die Probleme im einfachen «Holzmasten-Leitungsbau» sind. Ich hoffe, Ihnen mit meinen mehr nach der Praxis ausgerichteten Angaben ein wenig weiter zu helfen.

Adresse des Autors:
J. Stösser, Chef des Leitungsbaues, Elektrizitätswerke des Kantons Zürich, 8022 Zürich.

Mastausrüstung A			Spannweiten S in m	D in cm für Mastlängen					
H'S		N'S		10 m	11 m	12 m	13 m	14 m	15 m
3 × 5,5 ⌀ Cu			bis 50 m						
		4 × 5,5 + 4 ⌀ Cu	bis 50 m						
3 × 5,5 ⌀ Cu	+	4 × 5,5 ⌀ Cu	bis 50 m						
3 × 8 ⌀ Cu			bis 50 m						
		4 × 8 + 4 ⌀ Cu	bis 45 m	19	20	21	22	23	24
3 × 8 ⌀ Cu	+	4 × 5,5 ⌀ Cu	bis 40 m						
3 × 50² Cu/Ad			bis 50 m						
		4 × 50² Cu/Ad	bis 45 m						
3 × 95² Cu/Ad			bis 45 m						
6 × 8 ⌀ Cu			bis 50 m						
		4 × 95² + 4 ⌀ Cu	bis 50 m						
6 × 95² Cu/Ad			bis 40 m						
3 × 185² Ad			bis 50 m						
3 × 95² Cu/Ad	+	4 × 5,5 ⌀ Cu	bis 50 m						
3 × 8 ⌀ Cu	+	4 × 8 ⌀ Cu	bis 50 m	21	22	23	24	25	26
3 × 95² Cu/Ad	+	4 × 8 ⌀ Cu	bis 45 m						
3 × 5,5 ⌀ Cu	+	4 × 95² Cu/Ad	bis 50 m						
3 × 8 ⌀ Cu	+	4 × 95² Cu/Ad	bis 40 m						
3 × 8 ⌀ Cu	+	4 × 5,5 ⌀ Cu	40–50 m						
3 × 95² Cu/Ad	+	4 × 50² Cu/Ad	bis 40 m						
6 × 95² Cu/Ad			40–50 m						
3 × 95² Cu/Ad	+	4 × 8 ⌀ Cu	45–50 m	23	24	25	26	27	28
3 × 8 ⌀ Cu	+	4 × 95² Cu/Ad	40–50 m						

Fig. 7
Stärke der Holzmasten für Regelleitungen bestimmt nach der Windbelastung
D = Mast-ϕ, 2 m über Fuss gemessen
S = Mittelwert der angrenzenden Spannweiten
A = Mastausrüstung (Anzahl, Dimension und Distanzen der Leiter)
Strebenmasten sind mindestens so stark wie der zugehörige Mast zu wählen.

Auswertung einer einfachen Stangenstatistik

Von *Fr. Seiler*, Bern

Der Aufwand für den Ersatz von faulen Leitungsstangen stellt für ein Überlandwerk einen beachtlichen Kostenpunkt dar. Diese Tatsache ist auch der Grund für die Suche nach einer Optimierung des Holzschutzes im Leitungsbau in der Art, wie dies unsere VSE-Kommission betreibt.

Um den wirtschaftlichen Erfolg der Bemühungen zu messen und im Verlauf der Zeit zu vergleichen, benötigt man systematische Aufzeichnungen. Bei den BKW verfügen wir dank der Weitsicht unserer Vorgänger über ein ansehnliches Zahlenmaterial, welches bis zum Jahre 1904 zurückreicht. Trotzdem kann man dieses leider nicht als zeitgemässe Stangenstatistik bezeichnen.

Es ist ein besonderes Verdienst von Herrn Vizedirektor Grossen, diese Unterlagen bereits im Jahre 1951 gründlich studiert und in einem umfangreichen Bericht verarbeitet zu haben. Er hat uns den Weg über die Wahrscheinlichkeitsrechnung gewiesen und 1960 seine Berechnungen fortgesetzt, d. h. seine im Jahre 1951 gestellten Zukunftsprognosen weitgehend bestätigen können.

Als Grundlage für die Berechnungen dienten
— die Zahl der stehenden Stangen
— die Zahl der ausgewechselten Stangen
— das Total der gestellten Stangen.

Dies erscheint als sehr wenig. Wenn man aber bedenkt, dass seit 1904 mehrere grosse Verteilgebiete dazugekauft worden sind und dass für diese keine Unterlagen über den Stangenbestand erhältlich waren, so gewinnt man eine Ahnung über die Schwierigkeiten im Zusammenhang mit der Beschaffung genügend genauer Berechnungsgrundlagen. Das im Verlauf von 68 Jahren gesammelte Zahlenmaterial ist der Übersicht wegen in Fig. 1 graphisch dargestellt.

Aus Gründen des Textumfanges können wir nicht allen Gedankengängen folgen, sondern müssen uns darauf beschränken, die wesentlichen Bestände, Fakten, Resultate und Erkenntnisse zu vermitteln.

1. Der Holzstangenbestand der BKW per Ende 1970 beträgt 174168 Stück. Davon sind ca. 82 % mit Kupfersulfat nach dem Boucherieverfahren grundimprägniert. Etwa 11 % sind nach dem Osmoseverfahren grundimprägniert und die restlichen 7 % verteilen sich auf etwa 8 andere und neuere Imprägniermittel und Imprägnierverfahren.

2. Das Alter der ausgewechselten faulen Stangen hat sich im Laufe der Jahre wesentlich erhöht (Fig. 2).

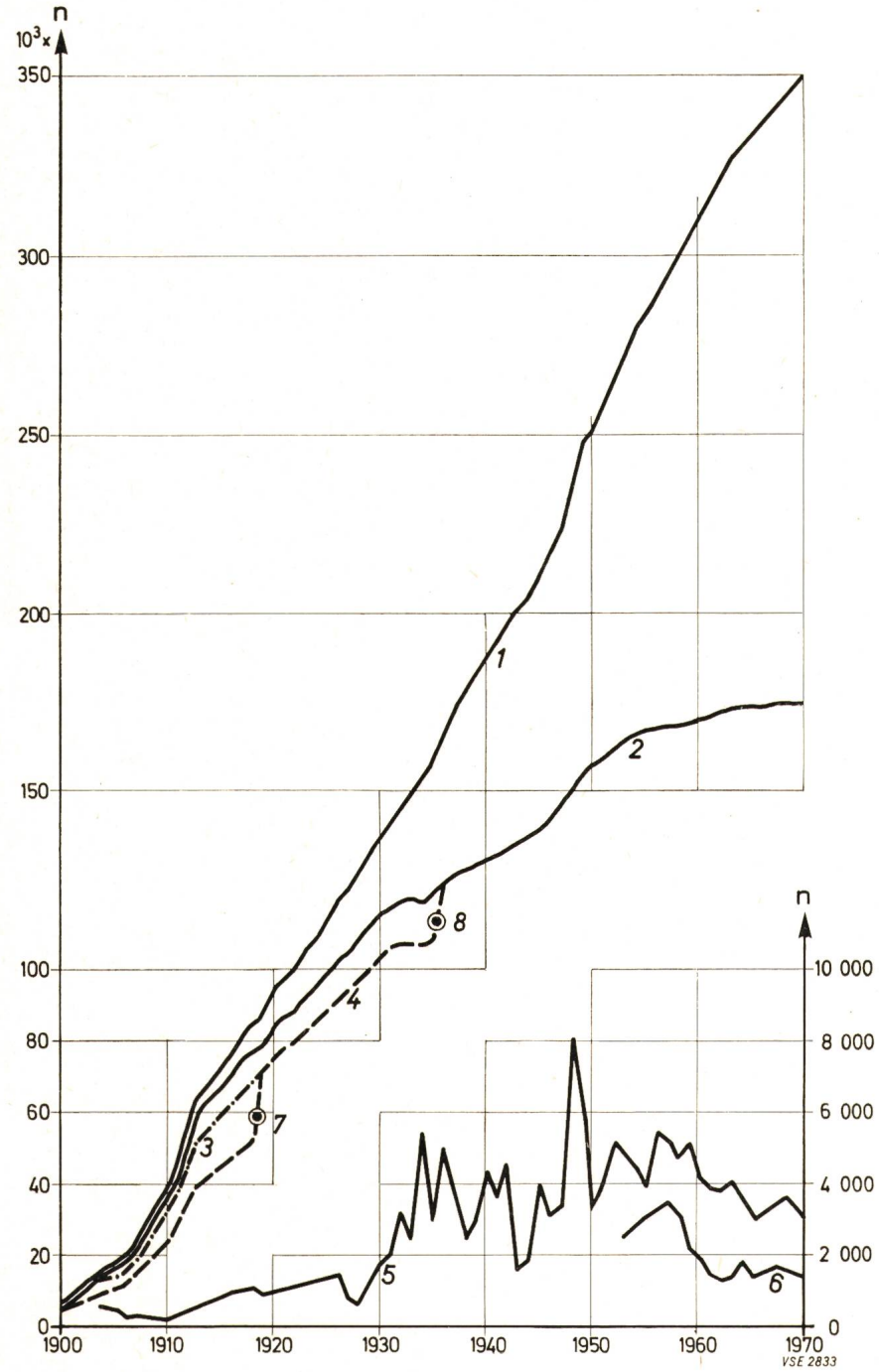


Fig. 1
Stangenstatistik

n Anzahl der Stangen
1 Summe der gestellten Stangen
2 Anzahl der stehenden Stangen unter Einbezug der vom EW Wangen und den Freiburgischen EW übernommenen Anlagen
3 Anzahl der stehenden Stangen unter Einbezug der übernommenen Anlagen des EW Wangen
4 Anzahl der stehenden Stangen gemäss Jahresberichten der BKW
5 Jährlicher Stangenersatz unter Einbezug der vom EW Wangen und den Freiburgischen EW übernommenen Anlagen
6 Anzahl der jährlich wegen Fäulnis ausgewechselten Stangen
7 Übernahme der Anlagen des EW Wangen
8 Übernahme der Anlagen der Freiburgischen EW

Im Diagramm sind die jährlich errechneten Punkte durch eine Mittelwertlinie ergänzt, um den Verlauf besser zu veranschaulichen. Mit diesem Alter der faulen Stangen muss man vorsichtig umgehen, um keine falschen Schlüsse zu ziehen. Während kupfersulfatimprägnierte Stangen im Jahre 1970 ein Durchschnittsalter von 34,8 Jahren erreichten, brachten es Osmosestangen nur auf 18,1 Jahre. Daraus auf die Qualität schliessen zu wollen wäre grundfalsch, denn kupfersulfatimprägnierte Stangen verwenden wir seit Beginn der Elektrifikation. Sie haben also Gelegenheit über 70 Standjahre zu erreichen, während wir vor 35 Jahren noch keine Osmosestangen verwendeten. Dieses Beispiel beweist, dass ohne die Wahrscheinlichkeitsrechnung keine gerechte Beurteilung möglich ist. Das Durchschnittsalter des Menschen kann ja auch nicht aus der Sterblichkeit eines Kinderheims oder derjenigen eines Greisenasyls, sondern nur aus der Gesamtheit der Menschen eines Landes oder Kontinents ermittelt werden.

3. Der Fäulnisherd und der Fäulnisgrad. Die Tatsache, dass der grösste Teil der Stangen wegen Fäulnis an der Erdaustrittsstelle ausgewechselt werden muss, veranlasste uns schon im Jahre 1926 die stehenden Stangen nachzupflegen, wobei wir uns dem Impfstichverfahren zuwandten. Bis nach dem Zweiten Weltkrieg erfolgte die Nachpflege aber nur sporadisch. Erst auf Grund der erwähnten Studie von Herrn Vizedirektor Grossen wurde seit 1951 die systematische Nachimpfung auch in einem zehnjährigen Turnus angeordnet und bereits die neuen Stangen mit diesem Verfahren zusätzlich geschützt (Doppelstockschutz).

Unsere Statistik erfasst seit jenem Entschluss auch noch den Ort des Fäulnisherdes jeder ersetzten faulen Stange, und zwar unterscheiden wir nach:

unten = Zone im Erdreich bis 50 cm über Erdaustritt
oben = Zone der Isolatoren
Schaft = Bereich zwischen den beiden andern Zonen

Die Auswertung dieser Kriterien zeigt zwischen den einzelnen Jahren eine relativ grosse Streuung, was darauf deutet, dass die Zahl der faulen Stangen mit 1300–1800 pro Jahr zu gering ist, um Vergleiche anzustellen. Um eine Veränderung in einer gewissen Zeitspanne erkennen zu können, ist es notwendig, ganze Perioden miteinander zu vergleichen, wie z. B. in Fig. 3 in einer Zeitspanne von 11½ Jahren.

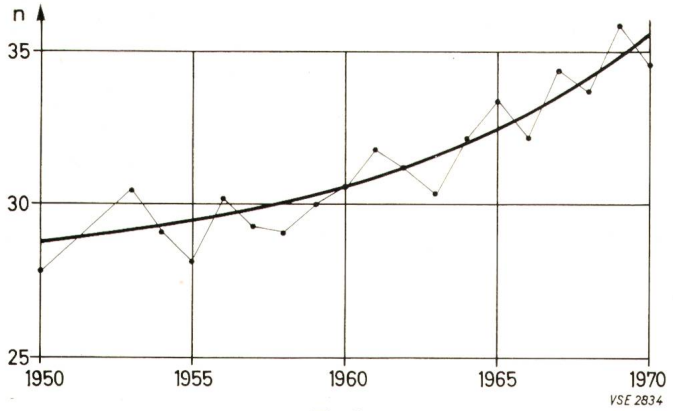


Fig. 2
Mittleres Alter der ausgewechselten faulen Stangen.
n = Standjahre

Periode	Fäulnisherd in %			
	unten	oben	Schaft	Total
1954 ÷ 1959 von total 13161 Stangen	72	28		100
1966 ÷ 1970 von total 7718 Stangen	69	21	10	100

Fig. 3
Prozentuelle Verteilung des Fäulnisherdes an den Stangen in den Perioden 1954—1959 und 1966—1970

Daraus geht mit aller Deutlichkeit hervor, wie wichtig der Schutz in der Einbauzone ist, aber auch wie stark man sich bemühen muss, diese Zone noch besser zu schützen, dies umsomehr, als unglücklicherweise die Erdaustrittszone genau mit der Zone der grössten mechanischen Beanspruchung der Stange zusammenfällt. Es ist folglich von grösster Bedeutung, wie eine Stange in bezug auf einen notwendigen Ersatz beurteilt wird. Kernfäule, Ringsumfäule und einseitige Fäule ergeben berechenbare und sehr unterschiedliche Widerstandsmomente und deswegen Rest-Festigkeiten oder Standsicherheiten der Stangen (Fig. 4).

Unsere Erwartung, gestützt auf die Bestimmungen der Starkstromverordnung, ein eindeutiges Mass für die zulässige Festigkeitsverminderung, d. h. für den maximalen Fäulnisgrad ableiten zu können, hat sich allerdings nicht erfüllt. Die Anforderungen der Starkstromverordnung, die in erster Linie für Weitspannleitungen gedacht sind, gehen für Regelleitungen zu weit. Die Wirklichkeit zeigt, dass die seit Jahrzehnten aus den praktischen Erfahrungen gewonnenen Regeln für den Bau von Holzmastenleitungen nicht allzu schlecht sind, wie das gelegentliche ausserordentliche Witterungsverhältnisse, die die Leitungen auf harte Proben stellen, beweisen. Für die Festigkeitsverminderung der Stangen bleibt in vielen Fällen kein Spielraum, wenn man die Artikel 95 und 96 der Starkstromverordnung streng anwenden wollte. Dieser Problemkreis ist unbedingt den mit der Revision der Starkstromverordnung beauftragten Instanzen zu einer ernsthaften Prüfung anzuempfehlen.

Die Kenntnis der Werte, wie sie im Diagramm (Fig. 4) dargestellt sind, ist jedenfalls für das mit der Stangenkontrolle und dem Stangenersatz betraute Personal besonders wichtig. Ein zu früher Stangenersatz bedeutet Verluste und ein zu später unter Umständen ein erhebliches Risiko. Eine gründliche diesbezügliche Personalinstruktion lohnt sich auf jeden Fall.

4. Die Ursachen des Stangenersatzes entnehmen wir Fig. 5, die wir als «Stangenhaushalt der Jahre 1964–1970» bezeichnet haben.

Es fällt besonders auf, dass die Zahl der allein infolge Fäulnis ersetzten Stangen nur 47,3% des jährlichen Stangenersatzes ausmacht. Für unsere nachfolgenden Berechnungen, die nach dem möglichen erreichbaren Alter und nach der Wirtschaftlichkeit der Schutzmassnahmen fragen, stützen wir uns nur auf die infolge Fäulnis ersetzten Stangen. Wir begehen damit einen gewissen Fehler, doch bildet dieses Vorgehen wohl die einzige Möglichkeit, die Angelegenheit in den Griff zu bekommen. Da die wegen Verlegungen anfallenden Leitungsstangen zu 60 % Wiederverwendung finden, wird diese Ungenauigkeit im wesentlichen korrigiert.

5. Die verschiedenen Stangenalter. Während das Durchschnittsalter der infolge Fäulnis ersetzten Stangen leicht aus der Anzahl der ersetzten faulen Stangen und der Summe aller Standjahre berechnet werden kann, ist das Durchschnittsalter der stehenden Stangen – mangels Einzelunterlagen – nur ermittelbar aufgrund einer mit Hilfe der Wahrscheinlichkeitsrechnung aufgestellten künstlichen Statistik und unter der Voraus-

setzung, dass in den früheren Perioden ungefähr nach gleichen Gesichtspunkten Stangenersatz betrieben worden ist.

Zur Vermeidung immenser Rechnungen wurden sowohl die ursprünglich gestellten Stangen als auch die infolge Fäulnis ersetzten in Altersklassen von je 5 Jahren zusammengefasst.

Um einen Überblick zu erlangen, ist es notwendig, den Einfluss der auf die einzelnen Jahre sehr ungleichmässig verteilten Anzahl der gestellten Stangen auf die Zahl der wegen Fäulnis ersetzten Stangen zu eliminieren, besonders weil in der Anzahl der gestellten Stangen auch die im Rahmen von Netzerweiterungen hinzugekommenen Stangen enthalten sind. Um diese Eliminierung zu erreichen, wurde der prozentuelle Anteil der wegen Fäulnis ersetzten Stangen an den in der gleichen Klasse gestellten Stangen ermittelt.

In Fig. 6 sind die Häufigkeiten sowohl der einzelnen Klassen der wegen Fäulnis ersetzten Stangen als auch die Häufigkeiten der aufgrund des prozentuellen Anteils ermittelten Werte für die entsprechende Klasse in Staffellinien aufgezeichnet. Gleichzeitig wurde die ideale Verteilungskurve berechnet und ebenfalls eingezeichnet. (Da die Abszisse des Scheitelpunktes der Glockenkurve dem Mittelwert der betreffenden Verteilungskurve entspricht, mussten beide Verteilungskurven nach den jeweiligen Mittelwerten orientiert werden, um einen Vergleich zu ermöglichen.) Wie aus diesem Diagramm ersichtlich ist, folgt die Staffellinie, der aufgrund des prozentuellen Anteils ermittelten Werte, der idealen Verteilungslinie mit weniger grossen Abweichungen als die ursprüngliche nicht korrigierte Staffellinie. Der für die korrigierte Staffellinie errechnete Mittelwert ist die wahrscheinliche durchschnittliche Lebenserwartung der Stangen in der Periode, welche statistisch verarbeitet wurde. So wurden bis jetzt dreimal (in den Jahren 1951, 1960 und 1971) derartige Berechnungen aufgestellt, und die aus diesen hervorgegangenen Werte für die durchschnittliche Lebenserwartung dienten als Grundlage für die Fig. 7 (obere Kurve).

Um aus den statistisch erfassten, wegen Fäulnis ausgewechselten Stangen Rückschlüsse auf den gesamten, statistisch nicht erfassten Stangenbestand zu ermöglichen, war es als Grundbedingung notwendig, die korrigierte Staffelkurve als der idealen Verteilungskurve entsprechend zu betrachten. Diese Ungenauigkeit musste in Kauf genommen werden, da es darum ging, wenigstens überhaupt einen, wenn auch nur angenäherten Überblick über die fast 175000 stehenden Stangen zu erhalten. Mit Hilfe des sogenannten Wahrscheinlichkeitsintegrals, welches dem Integral der für die korrigierte Staffellinie berechneten Verteilungskurve entspricht, ist es möglich, die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten irgendeines Einzelwertes der Statistik, d. h. in unserem Falle die Wahrscheinlichkeit für die Erreichung eines bestimmten Alters, bzw. die Wahrscheinlichkeit für die Auswechslung vor dem Erreichen eines bestimmten Alters, zu ermitteln. Aus diesen Angaben kann weiter auf die wahrscheinliche prozentuelle Verteilung des Stangenersatzes nach Altersklassen geschlossen werden.

Aus der bekannten und statistisch erfassten Anzahl der in den einzelnen Jahren gestellten Stangen ist es weiter möglich, mit Hilfe der Wahrscheinlichkeit für das Erreichen eines bestimmten Alters, die wahrscheinliche zahlenmässige und prozentuelle Verteilung des gesamten Bestandes der stehenden Stangen nach Altersklassen zu bestimmen (Fig. 8). Aus dieser künstlichen Statistik konnte dann das wahrscheinliche mittlere Alter der stehenden Stangen ermittelt werden (Fig. 7, untere Kurve).

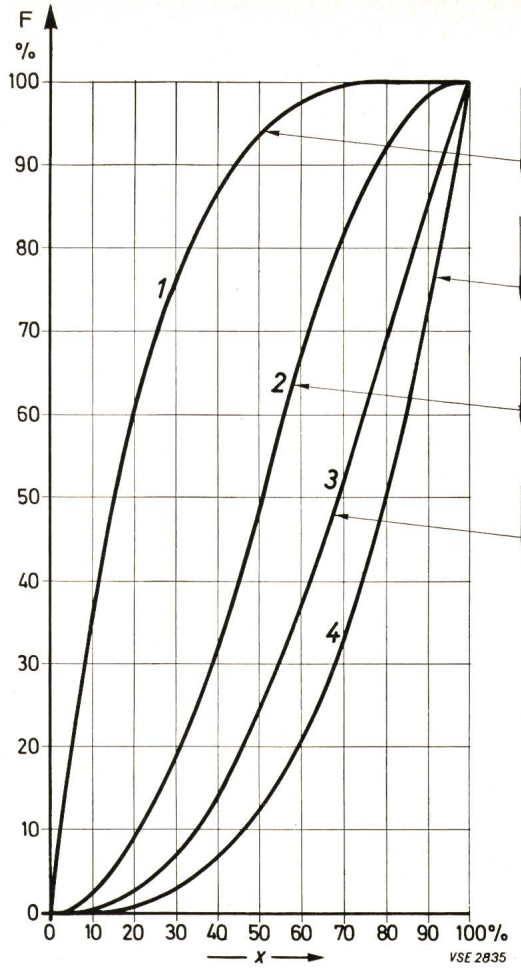


Fig. 4
Abnahme der Stangenfestigkeit infolge Fäulnis.

$$x = \frac{\text{gesunder } \phi \times 100}{\text{ursprünglicher } \phi}$$

F Festigkeit in Prozenten bezogen auf den ursprünglichen Durchmesser
A Belastung
1 Kernfaul
2/3 Einseitig angefault
4 Aussen rundum faul

	Durchschnitt der 7 Jahre in Stück pro Jahr	in % des Ersatzes	in % des Bestandes von 174076 Stangen
Auswechslung von Stangen			
infolge Fäulnis	1 565	47,3	0,90
infolge mech. Beschädigung	150	4,5	0,08
infolge Leitungsverlegung	1 591	48,2	0,91
Total Ersatz	3 306	100	1,89
Wiederverwendung gebrauchter Stangen	955	28,9	[1])
Nachbehandlung von Stangen		in % der Nachbehandelten	
Impfstich	9 983	92	5,73
Bandage	871	8	0,50
Total nachbehandelt	10 854	100	6,23

[1]) Von den infolge Leitungsverlegung ersetzten 1591 Stangen konnten 955 Stück (60 %) wieder verwendet werden. Die übrigen 40 % waren angefault oder für die Wiederverwendung zu alt.

Fig. 5
Stangenhaushalt der Jahre 1964—1970

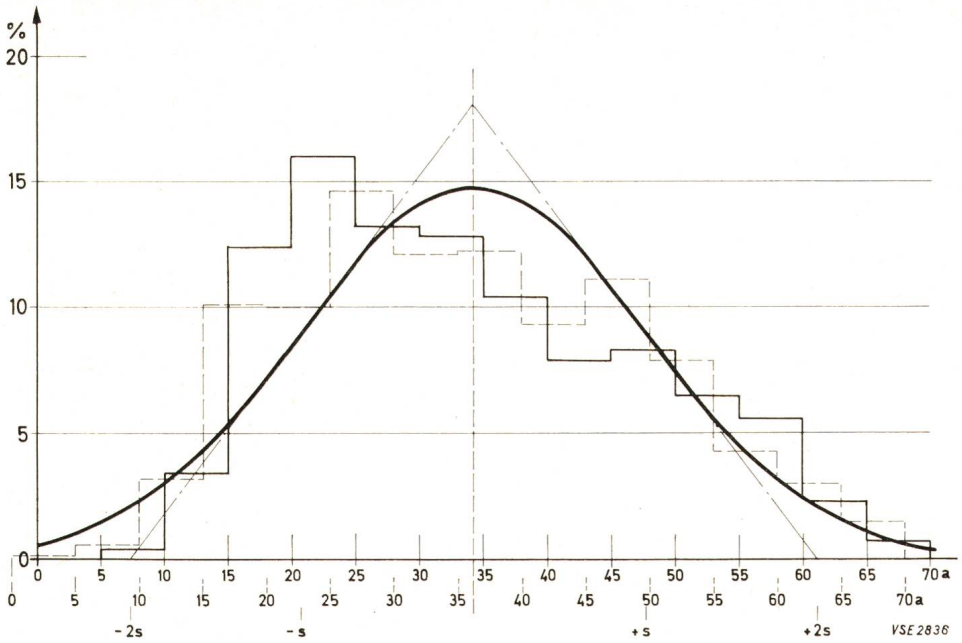


Fig. 6
Altersklassen der ausgewechselten Stangen

——— Prozentuelle Verteilung der wegen Fäulnis ausgewechselten Stangen

— — — Prozentuelle Verteilung der ersetzten Stangen, bezogen auf die gestellten Stangen

▬▬ Ideale Verteilungskurve

Wir haben also drei unterschiedliche Durchschnittsalter zu unterscheiden, nämlich:

— Das durchschnittliche Alter der infolge Fäulnis ersetzten Stangen; es wird bei uns jährlich ermittelt (zurzeit 34,6 Jahre aus der Berechnung oder 35,5 Jahre aus der Mittelwertlinie der Fig. 2).

— Die durchschnittliche Lebenserwartung der stehenden Stangen; sie wird in Zeitabschnitten von ca. 10 Jahren ermittelt und beträgt zurzeit 36,2 Jahre (Fig. 7).

— Das durchschnittliche Alter der heute stehenden Stangen; auch dieses wird nur in grösseren Zeitabständen berechnet und beträgt zurzeit 21,2 Jahre (Fig. 7).

Es wäre selbstverständlich wünschbar, eine genaue Rechnung durchführen zu können. Dies setzt aber eine Neuaufnahme aller 175000 Stangen und eine Bearbeitung mit dem Computer voraus. Um die sich dabei ergebenden Möglichkeiten wirtschaftlich ausnützen zu können, müssten gleichzeitig verschiedene Angaben über die einzelnen Stangen gespeichert werden, wobei sich das Problem der Auswahl der wichtigsten Parameter stellt. Es wird einmal reizvoll sein, unsere mathematische Ermittlung durch eine genaue statistische Untersuchung zu belegen.

Mit dem Zahlenmaterial der künstlichen Statistik lassen sich auch der künftige Stangenbedarf und der Kostenaufwand für den Stangenersatz berechnen. Davon sehen wir hier aus Platzgründen und weil dies keine besonderen Probleme aufwirft ab. Vielmehr interessiert noch

6. Die Ersparnis durch den Doppelstockschutz und die Nachpflege der Stangen, d. h. ein Weg, um diese zu berechnen. Wegen der ständig steigenden Preise lässt sich die konkrete jährliche Ersparnis infolge einer Verlängerung der Lebenserwartung von 29 Jahren im Jahre 1951 auf 36 Jahre im Jahre 1971 kaum in unbestrittener Art berechnen. (In diesem Zeitraum stiegen der Stangenpreis von Fr. 165.— auf Fr. 376.—, die Kapitalkosten von 4 % auf 6 % und demzufolge die Jahreskosten für eine Stange von Fr. 9.72 auf Fr. 25.72.)

Eine fiktive ziffernmässige Erfassung der jährlichen Ersparnis ist nur unter der hypothetischen Voraussetzung eines gleichbleibenden Stangenpreises und gleichbleibender Kapitalkosten möglich.

Wenn wir von den heutigen Durchschnittskosten für eine fertig gestellte oder ausgewechselte Stange von Fr. 376.— und der Kapitalkosten von 6 % ausgehen, so entsprechen einer Lebenserwartung von 29 Jahren im Jahre 1951 die Jahres-

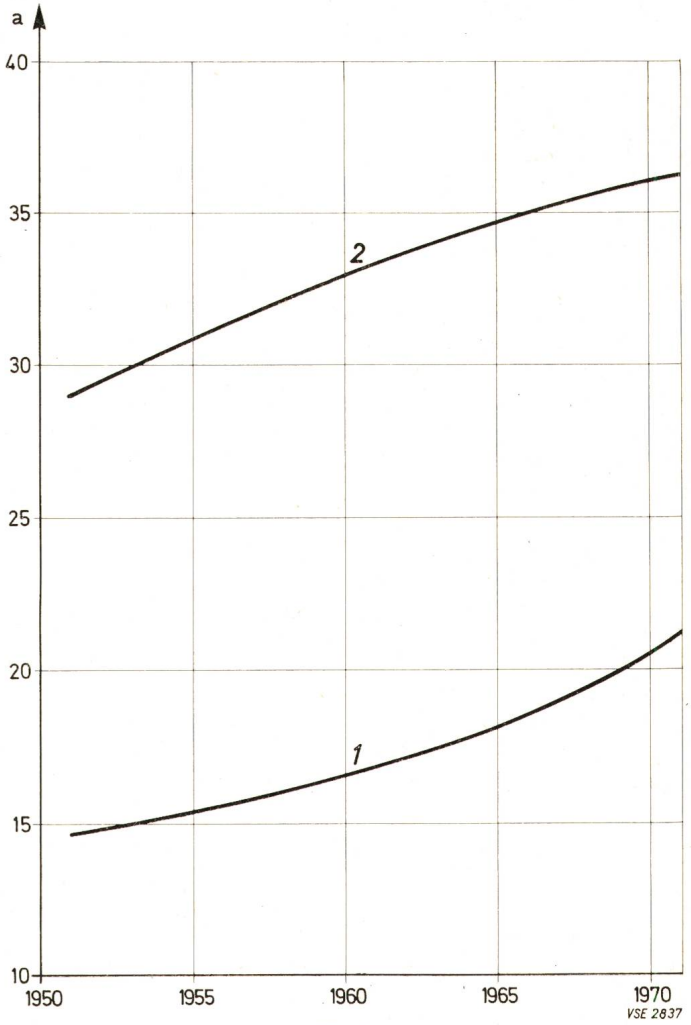


Fig. 7
Durchschnittliche Lebenserwartung und mittleres Alter der stehenden Stangen.

1 Mittleres Alter der stehenden Stangen
2 Durchschnittliche Lebenserwartung

kosten für eine Stange von Fr. 27.67 und für eine Lebenserwartung von 36 Jahren im Jahre 1971 die Jahreskosten von Fr. 25.72. Die Verringerung der Jahreskosten beträgt demnach in der Zeit von 1951 bis 1971:

$$27.67 - 25.72 = 1.95$$

Bei einer weiteren hypothetischen Voraussetzung eines Stangenbestandes im Jahre 1951 in der Grösse des heutigen von 174168 Stangen entspricht die fiktive jährliche Ersparnis:

$$1{,}95 \cdot 174\,168 = \text{Fr. } 339\,627.—.$$

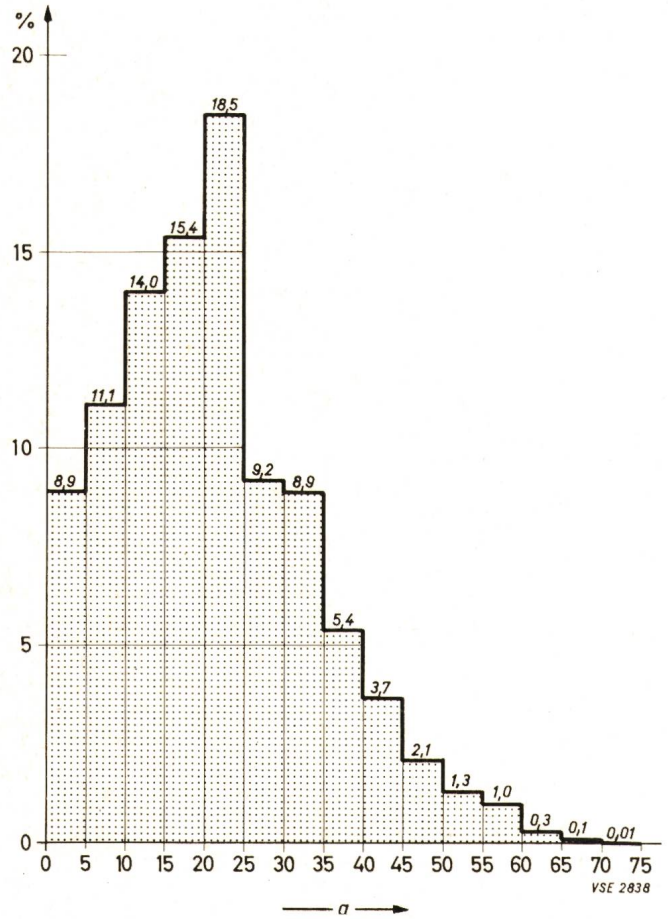


Fig. 8
Prozentuelle Verteilung der stehenden Stangen.
a Anzahl Jahre

Diese Ersparnis ist erst durch eine konsequent durchgeführte Nachpflege ermöglicht worden. Um noch die Kosten dieser Nachpflege zahlenmässig zu berücksichtigen, ist es notwendig, den für diesen Zweck im Jahre 1970 aufgewendeten Betrag von Fr. 217111.— von der errechneten Ersparnis in Abzug zu bringen. Es verbleibt dann immer noch eine Nettojahresersparnis von Fr. 122516.—, eine Zahl, die es rechtfertigt, diesen Problemen die nötige Aufmerksamkeit zu schenken, d. h. die Gruppenchefs, Monteure und Stangenkontrolleure zu unterrichten und in ihnen den Sinn für die wirtschaftlichen Belange des Holzschutzes im Leitungsbau wach zu halten.

Für den Leser, der mehr an die abstrakte Darstellung gewöhnt ist, sind die unter dem Abschnitt 6 aufgeführten Gedanken in einer Tabelle (Fig. 9) als Kurzfassung dargestellt.

Jahr	errechnete Lebens-erwartung Jahre	Durchschnitts-preis für fertig gestellte Stange, Franken	Kapital-zinsfuss	Jahres-kosten einer Stange Franken
1951	29	165.—	4 %	9.72
1960	33	210.—	4 %	11.57
1970	36	376.—	6 %	25.72

Die Jahreskosten 1951 bei einer Lebenserwartung von 29 Jahren, aber gerechnet zum heutigen Erstellungswert und Zinsfuss

betragen		Fr. 27.67
effektiv betragen sie heute		Fr. 25.72
Einsparung pro Stange		Fr. 1.95
oder bei 174168 Stück	=	Fr. 339 627.— pro Jahr
abzüglich: Effektivaufwand der Nachpflege		Fr. 217 111.— pro Jahr
Jahresersparnis durch die Nachpflege		Fr. 122 516.— pro Jahr

Fig. 9
Ersparnis durch die Nachpflege

Zum Schluss verbleibt dem Verfasser noch das Bedürfnis, seinen Mitarbeitern, den Herren Sieber und Popper für die Beschaffung von Unterlagen, die über die eingangs erwähnten hinausgehen, und für deren weitgehende mathematischer Verarbeitung zu danken.

Adresse des Autors:
Fr. Seiler, Vorsteher der Installationsabteilung, Bernische Kraftwerke AG, 3000 Bern.

Neuere Beobachtungen über Holzschädlinge an Leitungsmasten

Von *O. Wälchli*, St. Gallen

Trotzdem heute für den Schutz von Leitungsstangen sehr gute, mit breitem Wirkungsspektrum versehene Holzschutzmittel sowie leistungsfähige Imprägnierverfahren zur Verfügung stehen (1,4), treten immer wieder biologische Schäden auf. Es sind oft besondere Umstände, die zu einer Schädigung der Masten führen. Einwandfrei imprägnierte Leitungsmaste sind in der Regel vor Schäden gefeit. Die Hauptursachen für die Entstehung von Schäden sind die Verwendung von Schutzmitteln mit einseitiger Wirkung, die Verwendung von für die Imprägnierung ungeeignetem Holz, mangelhafte Imprägnierung der Masten, besondere Bodenverhältnisse oder auch verschiedene andere Gründe. An Hand einiger Beispiele sollen nachstehend Schäden beschrieben werden, die auf eine der obenerwähnten Ursachen zurückgeführt werden können.

Bien qu'on dispose à l'heure actuelle, pour protéger les poteaux de lignes, non seulement d'antiseptiques très bon et au large spectre d'efficacité mais aussi de procédés d'imprégnation énergiques (1,4), il apparaît encore toujours des dommages biologiques. Ce sont souvent des circonstances spéciales qui mènent à un endommagement des poteaux. Les poteaux correctement imprégnés sont en général à l'abri de dommages. Les causes principales des dommages sont l'emploi d'antiseptiques à effet unilatéral, l'emploi de bois impropre à l'imprégnation, l'imprégnation défectueuse des poteaux, des conditions particulières du sol, ou aussi différentes autres raisons. A l'aide de quelques exemples, nous allons décrire ci-après des dommages pouvant être attribués à l'une ou l'autre des causes méntionnés.

Schäden infolge einseitiger Wirkung von Schutzmitteln

Das klassische Beispiel eines Schutzmittels mit lückenhaftem Wirkungsspektrum ist das Kupfersulfat (3). Verschiedene kupferresistente Pilze, die früher gesamthaft unter der Bezeichnung *Poria vaporaria* bekannt waren, traten immer wieder als Schädlinge auf und verursachten vorzeitige Ausfälle (Abb. 1). Der Name *Poria vaporaria* soll nicht mehr verwendet werden, denn es hat sich gezeigt, dass es sich dabei um verschiedene Pilzarten handelt, die sich sehr ähnlich verhalten. In den letzten Jahren haben wir von beschädigten Kupfersulfatstangen die Arten *Poria vaillantii* (Porenhausschwamm), *Poria placenta* (Fleischfarbener Porenschwamm) und *Poria monticola* reingezüchtet. Diese verursachen alle eine typische Braunfäule (Abb. 2). Ihre Fähigkeit, das Kupfersulfat mit Hilfe von Oxalsäure in eine unlösliche und damit unwirksame Kupferverbindung (Kupferoxalat) umzuwandeln, ist sehr wahrscheinlich die Ursache ihrer Kupferresistenz. Die Identifikation der Pilze ist mit Hilfe von Fruchtkörperkulturen möglich (Abb. 3). Für die Gewinnung von Fruchtkörpern sind aber oft langwierige Versuche nötig. *Poria placenta* hat sich als gegen Schutzmittel allgemein ziemlich widerstandsfähig, als leicht züchtbar und schnellwüchsig erwiesen. Aus diesen Gründen wird er von der EMPA seit Jahren als Prüfpilz verwendet.

Da die kupferresistenten Pilze mangels Konkurrenz auf den Kupfersulfatstangen sich immer weiter ausbreiten konnten, wurden in den fünfziger Jahren für die Mastenimprägnierung die sauren Chrom-Fluor-Arsen-Salzgemische eingeführt. Die grossen Hoffnungen, die man wegen ihrer ausgezeichneten Wirkung gegen die bekannt gewesenen Holzzerstörer hatte, wurden zerstört, als man allmählich feststellte, dass bisher nicht bekannt gewesene Holzschädlinge immer stärker auftraten und an den mit den neuen Salzen imprägnierten Stangen unerwartete Schäden verursachten (2). Diese Schäden sind heute unter der Bezeichnung *Moderfäule* allgemein bekannt. Die Moderfäule wird durch niedere Pilze (Schimmelpilze) aus den Ordnungen der Schlauchpilze (Ascomyceten) und der «Fungi imperfecti» verursacht. Es handelt sich dabei um mikroskopisch kleine Pilze, die zum Teil seit langem als Textil- und Papierschädlinge bekannt sind (Abb. 4). Die sehr vielen verschiedenen Arten sind in den Böden allgegenwärtig. Sie benötigen zum Wachstum hohe Feuchtigkeit. Temperaturen von 20—30 °C sind besonders günstig. Laubholzarten werden unter günstigen Bedingungen sehr rasch zerstört. Glücklicherweise erfolgt die Schädigung von Nadelholz wesentlich langsamer, trotzdem können im Laufe von einigen Jahren vor allem an mit CFA-Salzen getränkten Leitungsstangen nicht tolerierbare Schäden entstehen. Die Moderfäulepilze greifen das Holz hauptsächlich von aussen, das heisst rein oberflächlich an. Sie fressen sich nur langsam in Form einer ziemlich gleichmässigen Schicht immer tiefer in das Holz hinein (Abb. 5). Das moderfaule Holz verfärbt sich meist graubraun, unter Umständen aber auch andersartig, zum Beispiel grün. In mikroskopischen Holzquerschnitten ist die Moderfäule in den Sekundärzellwänden, hauptsächlich der Spätholzanteile, an den in Faserlängsrichtung verlaufenden Perforierungen leicht erkenntlich. Diese Kanäle entstehen infolge des Durchwachsens der Sekundärwände der Holzzellen durch die Hyphen der Moderfäulepilze (Abb. 6).

Schäden infolge fehlerhaftem Holz

Vor einiger Zeit wurde der EMPA ein Bruchschaden, der an einer stehenden Stange eintrat, zur Untersuchung eingesandt. Über den Schaden wurde vor kurzem berichtet (5). Der Stangenbruch war die Folge eines Befalles durch den Nutzholzborkenkäfer *(Xyloterus lineatus)*. Dies ist ein sogenann-

Fig. 1
Leitungsstange mit Kupfersulfat imprägniert und in der Bodenzone durch Poria vaillantii vermorscht.
Vorn und rechts an der Stange für diesen Pilz charakteristische weisse Mycelstränge.

ter Holzbrüter, der seine Brutgänge nicht in der Bastzone anlegt, sondern sich in das Holz einbohrt und dieses dabei schwächt. In den drei festgestellten Anrisszonen des Bruches wurden fächerförmig verzweigte und verteilte Frassgänge festgestellt, die in ein Ausflugloch von 1—2 mm Durchmesser mündeten (Abb. 7). Im Innern des Holzes wurde das charakteristische Leitersystem einer Brutanlage dieses Insektes festgestellt (Abb. 8). Die Schwarzfärbung der Frassgangwände ist auf einen Bewuchs durch sogenannte Ambrosiapilze zurückzuführen, die vom Nutzholzborkenkäfer zu Nahrungszwecken gezüchtet werden. Da der Nutzholzborkenkäfer nur berindete noch nicht ausgetrocknete Stämme, hauptsächlich im Wald, befällt, entstand dieser Schaden mit Sicherheit vor der Imprägnierung. Dieses Beispiel zeigt, dass in den «Allgemeinen Bedingungen für die Lieferung von Holzmasten» des VSE mit vollem Recht gesundes Stangenholz ohne Insektenschäden verlangt wird.

Schäden infolge mangelhafter Imprägnierung und besonderen Bodenverhältnissen

Bei der Einführung neuer Holzschutzmittel ist bei den Verbrauchern sehr oft ein Misstrauen gegen das neue Schutzmittel, respektive die neue Imprägnierung feststellbar. Oft besteht dieses Misstrauen zu Recht. Auftretende Schäden können aber auch ungerechterweise einer ungenügenden Wirkung des Holzschutzmittels zugeschrieben werden. Wenn konkrete Fälle untersucht werden, zeigt sich meist, dass andere Ursachen zum frühzeitigen Stangenausfall geführt haben.

Schon nach zwei- bis dreijähriger Standdauer, also viel zu früh, fiel eine mit CFA-Salzen imprägnierte Leitungsstange aus. Dies wurde einer schlechten Wirkung des Schutzmittels zugeschrieben. Die Untersuchung zeigte aber eindeutig, dass die Schuld bei der gänzlich mangelhaften Tränkung der Stange lag. Die mittlere Eindringtiefe des Schutzmittels be-

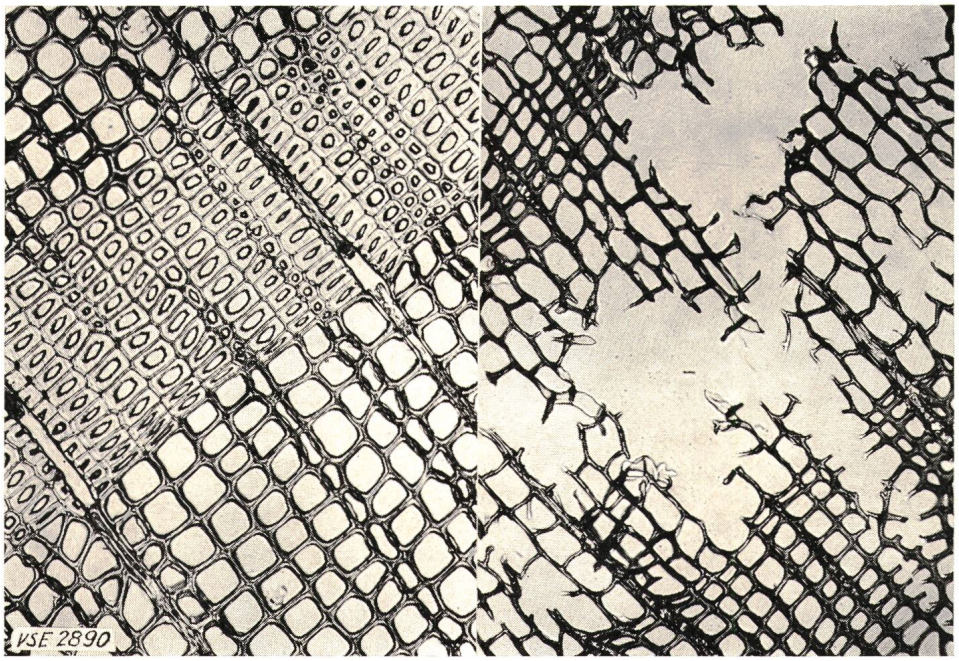


Fig. 2
Nadelholzquerschnitte
Links unversehrt, rechts durch Braunfäule zerstört.

Fig. 3
Kultur von Poria placenta auf mit Nährstoffen angereichertem Sägemehl mit Fruchtkörperbildung an aufgesetztem Holzblock.

Fig. 4
Stachybotrys atra, ein zelluloseabbauender Moderfäulepilz. Kurze Sporenständer mit zahlreichen Sporen.

trug nur 0,6 cm (Abb. 9). Der analytisch bestimmte Schutzsalzgehalt betrug in der imprägnierten Zone nur 2,6 kg/m³ resp. 0,35 kg/m³ bezogen auf das gesamte Holzvolumen –. Nach Vorschrift hätte das Holz 7 kg/m³ enthalten sollen. Also ein klarer Fall. Den festgestellten Schädling haben wir auf Leitungsstangen zum ersten Mal gefunden und als *Merulius ceracellus Bk. et Curt.* identifiziert. Er erzeugt eine faserig-kammerige Weissfäule, ähnlich der in Abb. 11 gezeigten.

Eine interessante Fäule, die ebenfalls bei mangelhafter Imprägnierung und gleichzeitig unter besonderen Bodenverhältnissen auftritt, wurde im VSE-Versuchsfeld Starkenbach und auch durch die BKW, Bern, in leicht sumpfigem Gelände festgestellt. Charakteristisch für diese Fäule ist, dass sie im Boden mit zunehmender Tiefe stärker wird. Die Stangen brechen nicht an der Bodenoberfläche, sondern etwa 80–120 cm darunter (Abb. 10), wo die Zerstörung des Holzes am stärksten ist. Das Holz wird dabei weitgehend faserig zersetzt (Abb. 11), schwammigweich und vollständig wassergesättigt. Der Pilz, der diese Fäule erzeugt, konnte reingezüchtet werden. Da er in den Kulturen bisher aber noch keine Fruchtkörper gebildet hat, war eine Bestimmung bisher noch nicht mit Sicherheit möglich.

Lagerfäuleschaden

In einem Lager von mit Kupfersulfat imprägnierten Leitungsstangen bei einem Imprägnierwerk wurde bei vielen normal imprägnierten Leitungsstangen eine sehr starke Rotstreifigkeit im Kern festgestellt (Abb. 12). Der Splintteil war duchwegs völlig sauber. Als Erreger wurde der Blutrote Schichtporling *(Stereum sanguinolentum)* festgestellt. Dieser tritt bei frisch geschlagenen Fichten im Wald oft als erster Schädling auf (6). Die Infektion erfolgt durch Sporenanflug und führt zu einer streifigen rotbraunen Verfärbung des Splintes und des Kernes. Eine Vermorschung des Holzes tritt

Fig. 5
Rundholz mit dunkelbraun gefärbter und durch Moderfäule zerstörter Mantelzone.

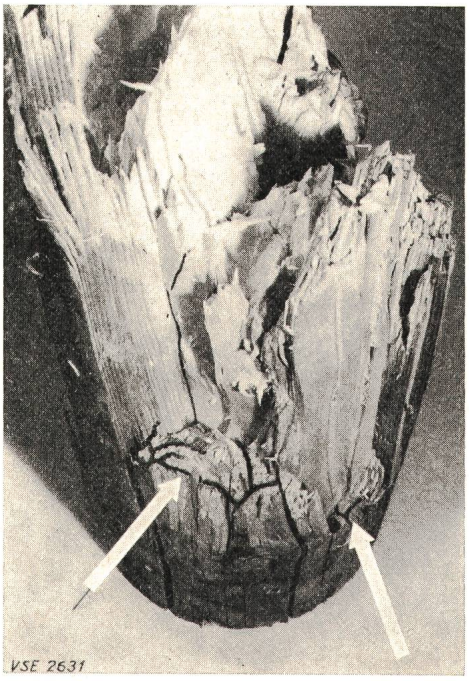


Fig. 7
Bruchzone mit fächerförmig verzweigten Gangsystemen des Nutzholzborkenkäfers (Xyloterus lineatus).

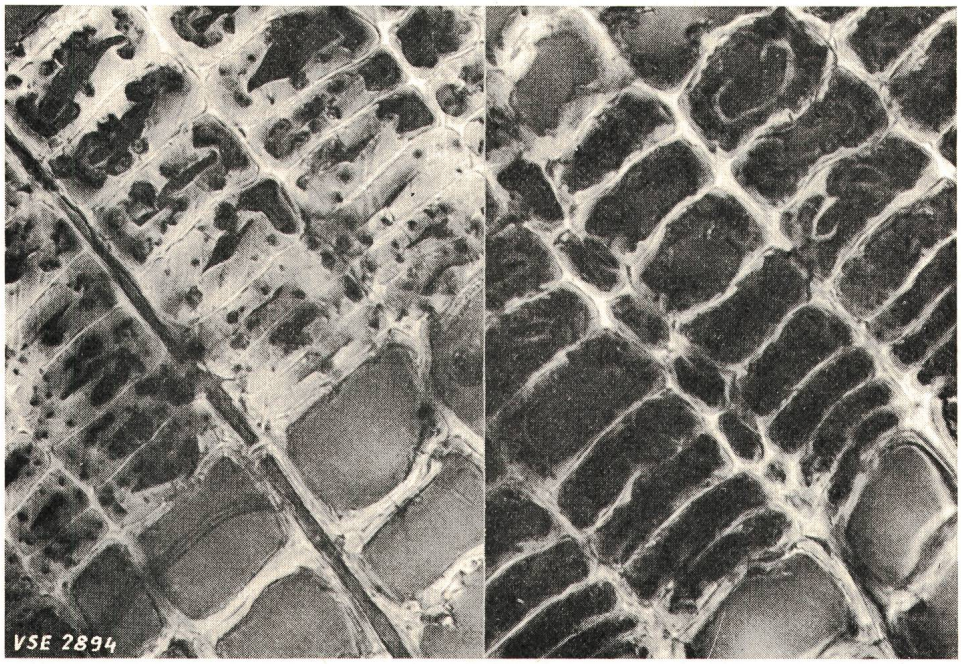


Fig. 6
Föhrensplintholz von Moderfäule befallen
Links: Mittelstarke Moderfäule mit Querschnitten von charakteristischen Längskanälen in den Sekundärwänden der Spätholztracheiden. Rechts: Sehr starke Moderfäule, Sekundärzellwände völlig zersetzt. Mittellamellen zwischen den Zellen sind noch erhalten.

nur langsam ein. Wenn die Rotstreifigkeit der vorliegenden Leitungsstangen vor der Imprägnierung während der Lagerung eingetreten wäre, müsste sie nicht nur im nicht getränkten Kern, sondern auch im imprägnierten Splintteil vorhanden sein. Die genaue Untersuchung der Schäden zeigte dann, dass die Rotstreifigkeit tatsächlich an den fertig imprägnierten Stangen auf dem Imprägnierwerk eingetreten ist. Es konnte nachgewiesen werden, dass das Abschneiden einer Zopfscheibe zur Kontrolle der Qualität der Imprägnierung die eigentliche Ursache war, indem dabei die nicht getränkte und damit nicht geschützte Kernfläche freigelegt wurde. Hier konnte eine Infektion ohne Hindernis eintreten und infolge der vorhanden gewesenen Feuchtigkeit anwachsen. Die Rotstreifigkeit konnte sich bei den mit Kupfersulfat imprägnierten Stangen natürlich nur im Kern und nicht im geschützten Splintteil entwickeln. Solche unerwartete Schäden können durch nachträgliches Überstreichen von nicht geschützten Kernflächen mit einer Schutzmittellösung vermieden werden. Dieses Beispiel zeigt, dass auch an sich als harmlos betrachtete Massnahmen die Bedingungen so verändern können, dass Schäden eintreten.

Ein Nachteil der Saftfrischimprägnierung

Bei saftfrisch imprägnierten Leitungsstangen entstehen beim Austrocknen Schwindrisse, die bis in den nicht imprägnierten Kernteil reichen. Über solche Schwindrisse können durch Sporenanflug auch bei guter Imprägnierung Pilzinfektionen eintreten (Abb. 13). Wenn genügend Feuchtigkeit vorhanden ist, kann der Pilz anwachsen und eine Kernfäule verursachen, wie dies beim in Abb. 13 gezeigten Beispiel der Fall war. Besonders gefährlich sind die Schwindrisse unmittelbar über Boden, weil hier in der Regel die Feuchtigkeitsverhältnisse für die Sporenkeimung günstig sind. Sehr häufig auftretende Kernfäuleerreger sind der Tannen- und der Zaunblättling *(Lenzites abietina* und *Lenzites sepiaria).* Im vorliegenden Fall wurde *Lenzites abietina* als Erreger festgestellt (Abb. 14). Beide Arten bilden leicht keimfähige Sporen. Zudem sind beide Pilze sehr trocken- und wärmeresistent. Sie sterben auch nach längeren Trockenperioden nicht ab und können bei Wiederbefeuchtung durch Regenwasser wieder weiterwachsen. Die Schäden werden meist erst sehr spät erkannt, weil sowohl der Zaun- wie auch der Tannenblättling erst bei weitgehender Zersetzung des Holzes an dessen Oberfläche Fruchtkörper bilden. Diese Schäden könnten durch die Imprägnierung der Stangen in trockenem und aufgerissenem Zutand, wie dies zum Beispiel beim Vakuum-Druckverfahren der Fall ist, verhindert werden. Dabei würden auch offene Schwindrisse getränkt und damit geschützt, so dass eine Infektion nicht mehr möglich wäre.

Schlussfolgerungen

Die verschiedenen Beispiele zeigen, dass an Leitungsstangen trotz neuer und guter Schutzmittel immer wieder neue und unerwartete Schäden auftreten können. Diese meist überraschenden Schäden können bei ungenügender Kenntnis der Bedingungen, die zu deren Entstehung geführt haben, leicht falsch interpretiert werden. Durch eine genaue Untersuchung ist es meistens möglich, die Schadenursache eindeutig festzustellen. Die beschriebenen Beipiele zeigen, wie einseitige Wirkung von Schutzmitteln zu Schäden durch kupferresistente Pilze und durch Moderfäulepilze, wie nicht den

Fig. 8
Leitersystem einer Brutanlage des Nutzholzborkenkäfers.

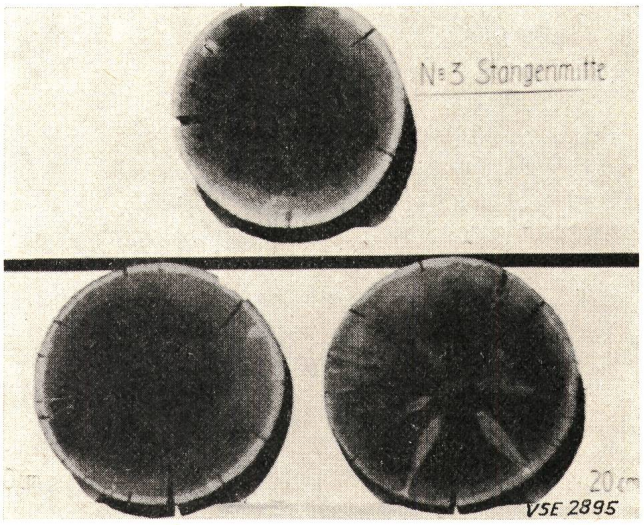


Fig. 9
Leitungsmast mit ungenügender Schutzsalzeindringung (helle Zone).

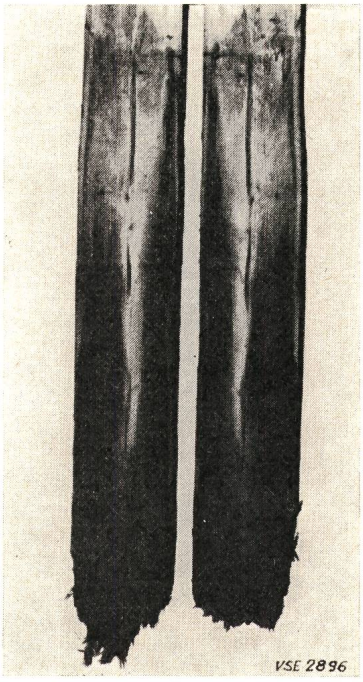


Fig. 10
Fichtenstange mit nach unten zunehmender faseriger Nassfäule.
Bruchstelle 100—120 cm unter Boden.

Anforderungen entsprechendes Holz mit Insektenbefall zu Bruchschäden, wie mangelhafte Imprägnierung und besondere Bodenverhältnisse zu kaum bekannten Schadenbildern, wie Massnahmen zur Kontrolle der Imprägnierqualität zu Rotstreifigkeit oder wie ein bestimmter Nachteil der Saftfrischimprägnierung zu Kernfäuleschäden führen können. Oft handelt es sich dabei um selten oder einmalig auftretende Schäden. Es lohnt sich aber, die Schadenursachen abzuklären, weil jeder Befund neue Einblicke in Mängel von Schutzmitteln oder Imprägnierverfahren sowie in das Verhalten von Holzschädlingen unter besonderen Umweltverhältnissen ermöglicht. Da die Elektrizitätswerke an Verbesserungen, die zu einer Verlängerung der Standdauer der Leitungsstangen führen können, interessiert sind, sollten nicht erklärbare Schäden wenn immer möglich der Abteilung Werkstoff-Biologie der Eidgenössischen Materialprüfungs- und Versuchsanstalt in St. Gallen zur Untersuchung eingesandt werden. Oft geben solche Schäden den Anstoss für die Verbesserung von Schutzmitteln und Tränkverfahren.

Literatur

[1] *Becker G.*, Grundschutz von Holzmasten. Elektrizitätswirtschaft, *63* (1964),Nr.25, 927—932.

[2] *Theden, G.*, Bestimmung der Wirksamkeit von Holzschutzmitteln gegenüber Moderfäulepilzen durch ein Erd-Eingrabe-Verfahren. Holz als Roh- und Werkstoff, *19* (1961), 352—357.

[3] *Wälchli O.*, Pilze auf Holzmasten, unter besonderer Berücksichtigung des Porenhausschwammes *(Poria vaporaria)*. Bulletin SEV, *44 (1953)*, Nr. 1, 14—20.

[4] *Wälchli O.*, Neue Methoden der Stangenimprägnierung. Bulletin SEV, *54* (1963), Nr. 22.

[5] *Wälchli O.*, Nutzholzborkenkäfer als Schädling in Leitungsmasten. Bulletin SEV, *61* (1970), Nr. 20, 256—257.

[6] *Zycha H.*, und *Knopf H.*, Pilzinfektion und Lagerschäden an Holz. Schweiz. Zeitschr. f. Forstwesen, *114* (1963), Nr. 9, 531—537.

Adresse des Autors:

Prof. Dr. *O. Wälchli*, Eidgenössische Materialprüfungs- und Versuchsanstalt, Unterstrasse 11, 9001 St. Gallen.

Fig. 11
Faserige Nassfäule wie in Abb. 10 gezeigt.
Das Holz weist faserige Zersetzung mit Kavernenbildung auf.

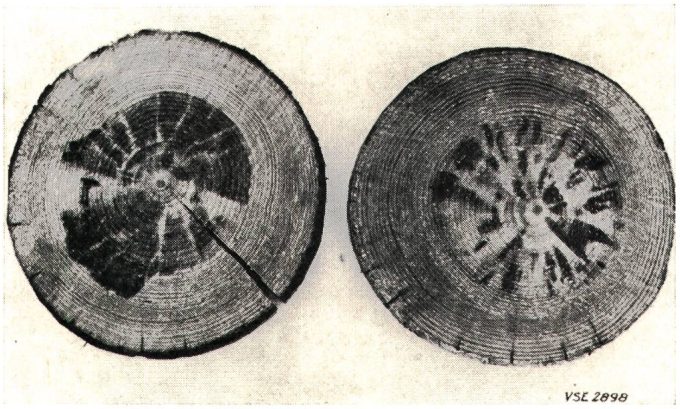


Fig. 12
Rotbraunverfärbung im nicht geschützten Kern einer Leitungsstange verursacht durch Stereum sanguinolentum.

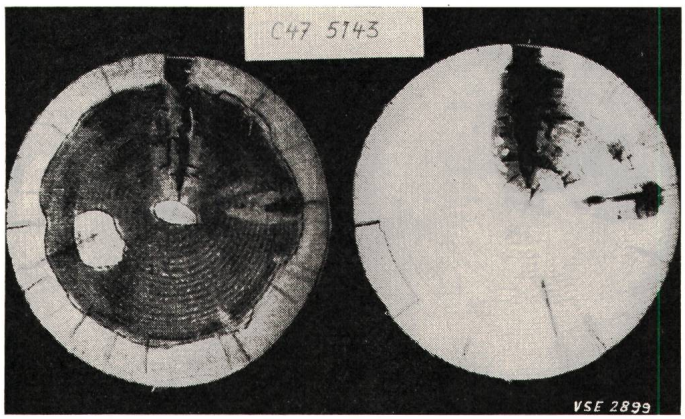


Fig. 13
Infektion des nicht geschützten Kernes bei saftfrisch imprägnierter Stange in einem Schwindriss.
Helle Zone in Abschnitt links: Imprägnierter Splint.

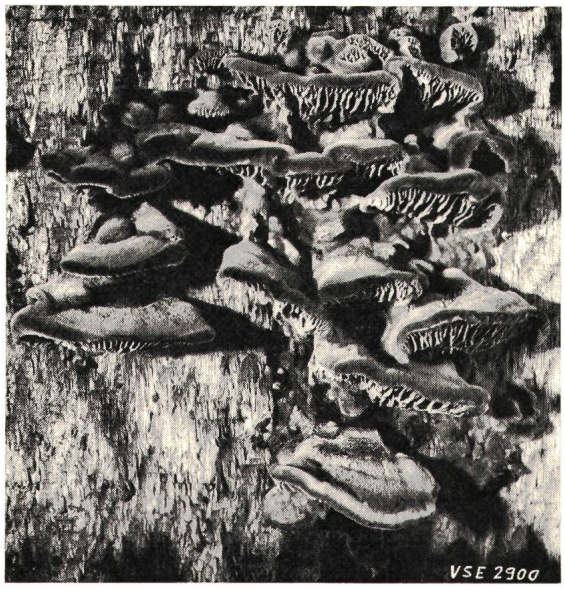
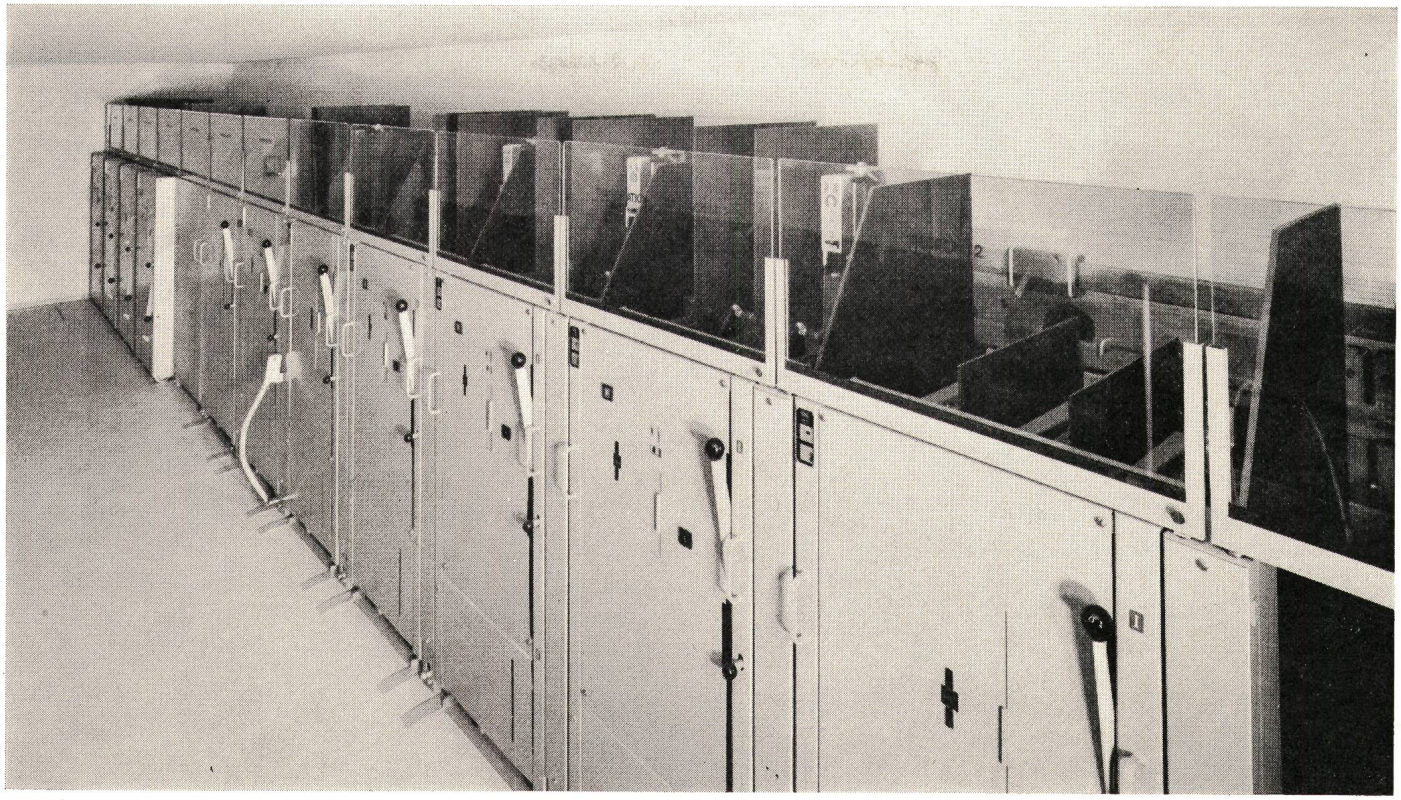


Fig. 14
Fruchtkörper von Lenzites abietina, einem Kernfäuleerreger bei Leitungsstangen.

Redaktion der «Seiten des VSE»: Sekretariat des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätswerke, Bahnhofplatz 3, Zürich 1; Postadresse: Postfach 8023 Zürich; Telephon 01 / 27 51 91; Postcheckkonto 80–4355; Telegrammadresse: Electrunion Zürich.
Redaktor: Dr. *E. Bucher*

Sonderabdrucke dieser Seiten können beim Sekretariat des VSE einzeln und im Abonnement bezogen werden.

Mittelspannungsanlage PB eliminiert Raumprobleme

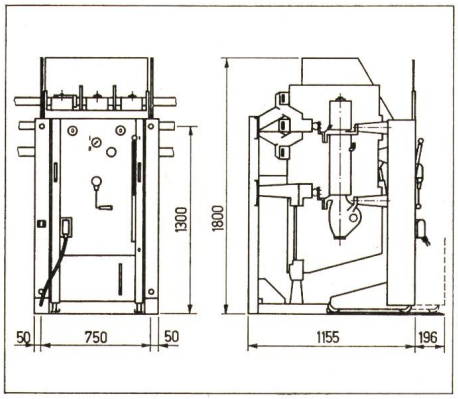


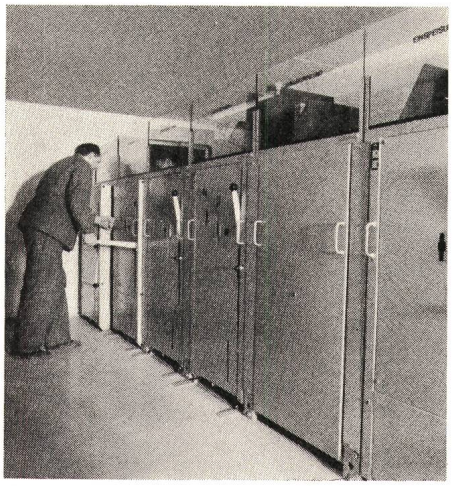
Eine zukunftsweisende Technik reduziert den Platzbedarf gegenüber Zellen konventioneller Bauart um 55%. Zwei Meter Raumhöhe genügen, um die einheitlich 750 mm breiten Zellen für 12 und 24 kV aufzunehmen.

Diese Lösung wurde durch eine konsequente Anwendung von Feststoffisolation erzielt. Die Zellen sind durch eine Isolationswand getrennt, nach oben bleiben sie offen.

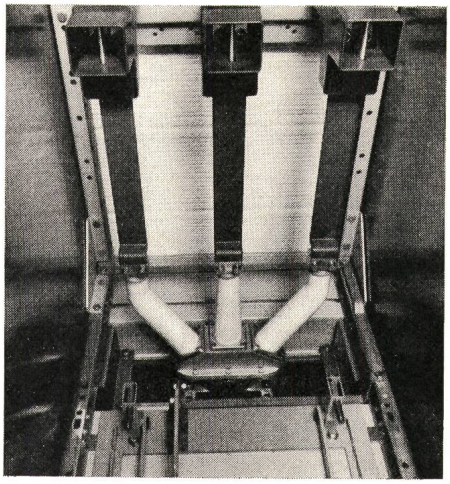
Die kurzschlussfeste Bauweise bis zu 1000 MVA bei 24 kV mit Einfach- oder Doppelsammelschienen in Zweileistungsschalter-Methode kann in jedem Netzverhältnis eingesetzt werden.

Durch die Teilisolation aller elektrischen Leiter wird ein Wandern des Lichtbogens verhindert. Zellentrennwände lokalisieren eventuell auftretende Kurzschlüsse. Eine bis auf 1800 mm Höhe geschlossene Frontwand bietet dem Bedienungspersonal wirksamen Schutz.





Unser standardisiertes Geräteprogramm kann leicht in die Zellen eingesetzt werden. Ölstrahlschalter, Lasttrenner und Messapparate auf Wagen bilden ein einheitliches, ausfahrbares Trennwagensystem. Die fest in den Zellen eingebauten Apparate bleiben gut zugänglich. Mit den modernen Kabelendverschlüssen kann heute jedes beliebige Kabel eingeführt werden. Verkürzte Montagezeiten werden durch anschlussfertige Bauteile nach dem Baukastensystem erreicht.



Die kompakte Mittelspannungsanlage Typ PB eliminiert Raumprobleme. Eine moderne, zukunftsweisende Bauart mit hoher, in allen Belangen garantierter Betriebssicherheit. Geprüft nach schweizerischen und ausländischen Vorschriften.

Denken Sie schon beim Planen an Sprecher & Schuh

S&S

Sprecher & Schuh AG
Aarau / Schweiz
Telefon 064 22 33 23

H 13.579.5.71

155°C ... und trotzdem bei 350°C lötbar

Soldex
lackisolierter Draht

Temperaturindex 155

Neue, verbesserte Qualität zum gleichen Preis!

Die wesentlichsten Vorteile des direkt lötbaren Kupferdrahtes Soldex C 0.3 und C 1.3:
Wärmedruckfestigkeit 230°C
lösungsmittelbeständig
alterungsbeständig
gute Schabefestigkeit
hohe kurzzeitige Überlastbarkeit

Verwendungsgebiet:
Telephonie, Apparatebau, Kleinmotoren

Schildern Sie uns Ihr Problem – wir beraten Sie gerne!

Schweizerische Isola-Werke
CH-4226 Breitenbach, Tel. 061 802121

Im Dienste der Elektro-Technik