Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 54 (1963)
Heft: 22

Artikel: Neue Methoden der Stangenholzimprägnierung
Autor: Wälchli, O.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-916531

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

Neue Methoden der Stangenholzimprägnierung

Von *O. Wälchli,* St. Gallen

Einleitung

Die Anforderungen, die an Holzschutz-Imprägnierungen gestellt werden müssen, sind in erster Linie von der Art der Verwendung und der Beanspruchung des Holzes abhängig. Es muss dabei unterschieden werden, ob das imprägnierte Holz vor Regen geschützt unter Dach, im Freien der Beregnung oder sogar der ständigen Auslaugwirkung im Wasser ausgesetzt verwendet wird. Begreiflicherweise müssen die Imprägnierungen von Leitungsstangen in dieser Beziehung hohen Ansprüchen genügen. Auf der einen Seite muss darnach getrachtet werden, hochwirksame Schutzmittel zu verwenden und andererseits müssen Imprägnierverfahren zur Verfügung stehen, die eine möglichst weitgehende Durchdringung der imprägnierfähigen Holzanteile gewährleisten.

Über die Anforderungen, die an Holzschutzimprägnierungen gestellt werden müssen, wurde früher berichtet [11]. In diesem Aufsatz sollen die Fortschritte in der Methodik der Stangenimprägnierverfahren dargestellt werden. Gleichzeitig soll gezeigt werden, auf welchen Wegen bei Leitungsstangen eine den hohen Anforderungen gerecht werdende Imprägnierqualität erreicht werden kann.

Bei Leitungsstangen müssen sowohl hinsichtlich der pilzwidrigen und insektenwidrigen Wirkung, der Auslaugbeständigkeit als auch der Eindringtiefe der Schutzmittel hohe Anforderungen gestellt werden, weil die Stangen im Gebrauch unter Bedingungen stehen, die einen ständigen kombinierten Angriff durch die Witterung, Beregnung und die verschiedenen schädlichen Pilze und Insekten ermöglichen.

Bevor wir zum eigentlichen Thema kommen, sei folgendes nochmals zusammengefasst:

Die *pilzwidrige und insektenwidrige Wirkung* einer Imprägnierung richtet sich gegen eine grosse Zahl holzzerstörender Basidiomyceten, wie z. B. Poria- und Lenzites-Arten u. a. m., aber auch gegen Ascomyceten und andere niedere Pilze, die als Moderfäuleerreger (Fig. 1) auftreten können, und schliesslich gegen einige holzzerstörende Insekten, wie z. B. den Hausbockkäfer. Die Güte der pilzwidrigen und insektenwidrigen Wirkung wird sowohl von der Art und Zusammensetzung des Schutzmittels, wie auch von der Schutzmittelverteilung im Holz gegeben.

Eine gute Auslaugbeständigkeit ist bei Leitungsstangen, die der Auslaugwirkung durch Regen und Bodenfeuchtigkeit ausgesetzt sind, unbedingt notwendig, wenn eine lange Standdauer der Stangen verlangt werden soll. Sie ist vom zu verwendenden Schutzmittel resp. dessen Fixierbarkeit an der Holzfaser, sowie auch von der Eindringtiefe und Schutzmittelverteilung abhängig [9, 11].

Schliesslich darf festgehalten werden, dass je grösser die Eindringtiefe eines Schutzmittels ist, umso sicherer auch die Schutzwirkung und umso geringer die Auslaugverluste sind. Die Eindringtiefe ist von der Holzart, vom Feuchtigkeitszustand, von der Splintbreite, bezw. dem Splint-Kern-Verhältnis und schliesslich vom angewendeten Imprägnierverfahren und der Qualität der Durchführung der Imprägnierung abhängig.

Da in der Schweiz die Leitungsstangen praktisch ausschliesslich mit Salzen imprägniert werden, will ich mich auf die mit Salzen arbeitenden Imprägnierverfahren beschränken. Damit ist aber kein Werturteil über die Salz- oder Ölimprägnierung verbunden.

Gerade unsere wichtigste Stangenholzart, die Fichte, ist, verglichen mit andern Hölzern, z. B. der Föhre, schwer imprägnierbar. Dies ist für die Auswahl des Imprägnierverfahrens von Bedeutung. Es haben sich vor allem die Verfahren als geeignet erwiesen, mit denen saftfrisches Holz imprägniert werden kann.

Entwicklung in der Imprägniertechnik

Ein Vergleich der verschiedenen Imprägnierverfahren zeigt, dass hinsichtlich apparativ-technischer Einrichtun-

Fig. 1

Fichtenspätholz

Zellwände der Tracheiden mit charakteristischen Moderfäuleschäden (520mal vergrössert, Aufnahme EMPA-C/VII)

gen grosse Unterschiede vorhanden sind. Es ist eine fortschreitende Entwicklung vom Osmoseverfahren, das von apparativen Einrichtungen unabhängig ist, über das Boucherie-, die Trogsaug- bis zum Wechseldruckverfahren feststellbar. Parallel dazu geht eine immer weiter gehende Abkürzung der Imprägnierdauer. Nachstehend sollen die verschiedenen Verfahren und ihre Eigenschaften beschrieben werden.

Diffusionsverfahren:

Neben den eigentlichen Saftverdrängungsverfahren wird für die Stangenimprägnierung auch das Osmoseverfahren angewendet. Es ist ein Diffusionsverfahren, bei welchem die Verwendung saftfrischen Holzes Voraussetzung ist. Die Schutzsalze werden in Pastenform auf die weissgeschälten, saftfrischen Stangen aufgetragen, die Stangen anschliessend zu dreieckigen Stapeln aufgeschichtet und diese wasserdampfdicht eingepackt. Da die Diffusionsvorgänge langsam vor sich gehen, dauert es in der Regel bis zur völligen Imprägnierung etwa 3 Monate. Die Einbringmenge an Salz ist durch die maximal mögliche Salzpastenmenge, die ohne abzutropfen auf die Stangen gebracht werden kann, beschränkt. Dieses Verfahren wird heute in der Regel mit einem zusätzlichen Schutz in der Einbauzone mittels Impfstichverfahren und durch konsequente Nachpflege kombiniert und führt dadurch zu guten Erfolgen.

Saftverdrängungsverfahren:

Boucherie-Verfahren: Seit mehr als 100 Jahren wird das Saftverdrängungsverfahren in seiner ältesten Form nach Boucherie in der Schweiz für die Stangenimprägnierung angewendet. Als Imprägniermittel diente von alters her Kupfersulfat. Dieses Salz eignet sich für das Boucherieverfahren deshalb gut, weil es nur in relativ geringem Masse und vor allem langsam fixiert und deshalb gut durch das saftfrische Holz hindurchläuft [12]. Die Imprägnierlösung wird mittels statischem Druck von 10...13 m Wassersäule vom Fussende her in den völlig saftfrischen Stamm hineingedrückt und verdrängt den Baumsaft aus den Zellhohlräumen des Splintholzes. Infolge der verschiedenen Leitfähigkeit der Zellbahnen geschieht dies nicht in einer gleichmässig bis zum Zopf voranschreitenden Front, sondern an den verschiedenen Stellen des Splintquerschnittes mit sehr verschiedenen Geschwindigkeiten [2]. Bis aus dem gesamten Splint des Zopfquerschnittes die Lösung in genügender Konzentration austritt, fliesst an vielen Stellen schon bald nach Beginn der Tränkung fast unverdünnte Lösung aus und geht durch Abtropfen in den Boden verloren. Auf diese Weise treten Salzverluste von 40...50 % und oft noch mehr ein. Das Boucherieverfahren ist ein gutes Imprägnierverfahren. Es ermöglicht die Imprägnierung des ganzen Splintes. Die mit Kupfersulfat imprägnierten Leitungsstangen ergaben bisher eine mittlere Standdauer von etwa 23...24 Jahren [1], allerdings mit sehr grossen Streuungen.

Neben dem imprägniertechnischen Nachteil der grossen Salzverluste wurden bei der Kupfersulfat-Imprägnierung in den letzten Jahrzehnten ständig grösser werdende *vorzeitige Stangenausfälle,* vor allem in den ersten 5...12 Standjahren beobachtet [1]. Diese werden hauptsächlich durch einige kupferresistente Poria-Arten und durch grosse Auswaschverluste durch Beregnung schon bei der Lagerung der Stangen verursacht [9].

Diese Ausfälle gaben denn auch den Anstoss zur Suche nach Schutzmitteln, die auch gegen die kupferresistenten Pilze gute Wirkung ergeben [7, 8 und 10]. Dabei zeigte sich bald, dass im Holz rasch fixierende Salze und Salzgemische für die Verwendung im Boucherieverfahren nicht durchwegs geeignet sind. Die Entwicklung führte zunächst über die unbefriedigend ausgefallenen Versuche mit den klassischen UA-Salzen zu den neuartigen sauer eingestellten UA-Reform-Salzen. Diese ergeben im Boucherieverfahren sehr gute Resultate inbezug auf Imprägnierqualität, Auslaugbeständigkeit und auch inbezug auf die pilzwidrige Wirkung. Die Fixierung konnte von den Erfindern so gesteuert werden [6], dass der Durchfluss der Imprägnierlösung durch die Stangen nicht durch vorzeitige Festlegung der Salze gehindert wird, und dass während der Lagerung der Stangen trotzdem eine weitgehende Fixierung, bei Arsen bis zu etwa 98 % und bei Fluor bis zu etwa 60...67 %, erfolgt [10].

Zwei Faktoren erwiesen sich für die Anwendung der UA-Reform-Salze im Boucherieverfahren als nachteilig: Die bis zu 50 % betragenden Verluste der im Vergleich zu Kupfersulfat teureren Salze in den Abtropflösungen und die Gefahr von Grundwasserverunreinigungen durch die Fluor- und Arsen-haltigen Salze. Dasselbe gilt auch für das

Bolidensalz BIS, das sich ebenfalls in gewissen Grenzen als geeignet erwiesen hat.

Trogsaugdruckverfahren: In dieser Beziehung bedeutet das zunächst entwickelte Trogsaugdruckverfahren ein Fortschritt. Es ist ebenfalls ein Saftverdrängungsverfahren und besteht darin, dass das saftfrische Stangenholz in weissgeschältem Zustand in mit Imprägnierlösung gefüllten Trögen untergetaucht wird. Bei diesem Verfahren wird vom Fussende her, wie dies auch beim Boucherieverfahren der Fall ist, Imprägnierlösung eingepresst und am Zopfende gleichzeitig mit einem Vakuum von etwa 90 % abgesaugt. Der abgesaugte Baumsaft bzw. die Lösung wird in den Trog zurückgeleitet und wieder verwendet. Der Baumsaft dient hier somit auch als Lösungsmittel. Die Konzentration der Troglösung wird während der Imprägnierung geringer und muss vor jeder neuen Imprägnierung durch Salzzugabe wieder auf die notwendige Höhe gebracht werden. Wie Gewecke [2] gezeigt hat, ist das Vakuum wesentlich wirksamer als der Druck.

Trogsaugverfahren: Aus diesem Grunde wurde das Trogsaugdruck-Verfahren in dem Sinne modifiziert, dass überhaupt kein Druck mehr angewendet wird, sondern sowohl vom Fuss als auch vom Zopfende der Stangen mittels Vakuum gesaugt wird. Dieses Verfahren wird als Trogsaugverfahren bezeichnet. Bei den völlig in Imprägnierlösung untergetauchten Stangen wird der Baumsaft an beiden Enden abgesaugt und die Imprägnierlösung von der Mantelfläche radial in den Stamm hineingesaugt.

In der Schweiz wurde das Verfahren noch weiter modifiziert, indem der Baumsaft nur noch am oberen Stangenende (Zopf) mittels Vakuum abgesaugt wird. Bei dieser Anordnung ist ein Nachfliessen der Imprägnierlösung sowohl von der Stirnfläche am Fussende, als auch von der gesamten Mantelfläche her möglich. Im Auftrag des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätswerke (VSE) und unter tatkräftiger Mithilfe verschiedener Imprägnierwerke durchgeführte Versuche haben gezeigt, dass unter den verschiedenen Modifikationen das Trogsaugverfahren mit einseitigem Saugen am Zopf bezüglich Qualität der Imprägnierung die besten Resultate ergab.

Gegenüber dem Boucherieverfahren weist das Trogsaugverfahren, das nicht nur ein Durchlauf-, sondern ein Umlaufverfahren ist, folgende Vorteile auf:

— Die beim Boucherieverfahren auftretenden grossen Salzverluste von etwa 50 % werden vermieden, weil die am Zopf abgesaugte Lösung wieder verwendet werden kann.

Wiederholte Versuche, die Abtropflösung auch beim Boucherieverfahren wieder zu verwenden, schlugen fehl, weil die Leitungsbahnen schon beim Eintritt der Lösung an der Fussfläche infolge Schlammbildung verstopft werden. Beim Trogsaugverfahren tritt dies nicht ein, weil der Schutzmittellösung eine viel grössere Eindringfläche, nämlich die Fuss-Stirnfläche und die gesamte Mantelfläche der Stange zur Verfügung steht. Zudem wird die Imprägnierlösung bei den nicht entrindeten Stangen, wie sie im Boucherieverfahren verwendet werden, viel stärker durch Zellinhaltsstoffe, die in der Bast- und Kambialzone in grösseren Mengen vorhanden sind, verunreinigt als bei den weissgeschälten Stangen, wie sie im Trogsaugverfahren verwendet werden.

— Das Trogsaugverfahren ermöglicht eine starke Abkürzung der Imprägnierdauer von etwa 1½ bis etwa 3 Wochen beim Boucherieverfahren auf 5 bis 6 Tage.

— Der Platzbedarf für die Imprägnieranlage ist geringer.

Kesseldrucksaugverfahren: Eine noch weitergehende Beschleunigung des Imprägniervorganges wird im Kesseldruck-

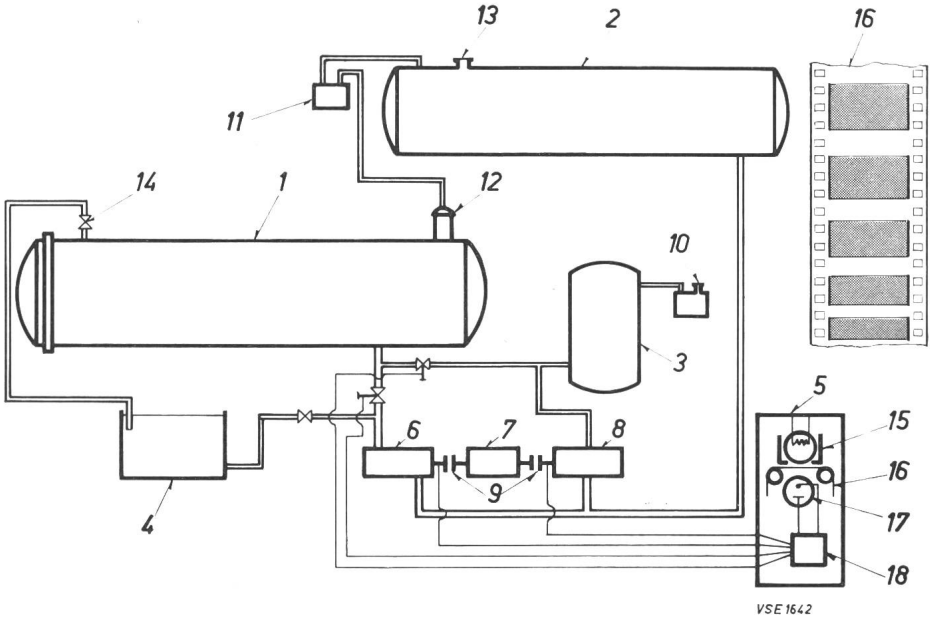


Fig. 2
Schema einer Wechseldruckanlage
(nach Henriksson, Bellmann und Benker [4])

1 Imprägnierkessel
2 Vorratsbehälter
3 Druckspeicher
4 Lösegefäss
5 Steuerung
6 Saugpumpe
7 Motor
8 Druckpumpe
9 Magnetkupplungen
10 kleiner Kompressor
11 kleine Vakuumpumpe
12 Flotteurventil
13 Luftstutzen
14 Sicherheitsventil
15 Lampe
16 Filmband
17 Photozelle
18 Verstärker

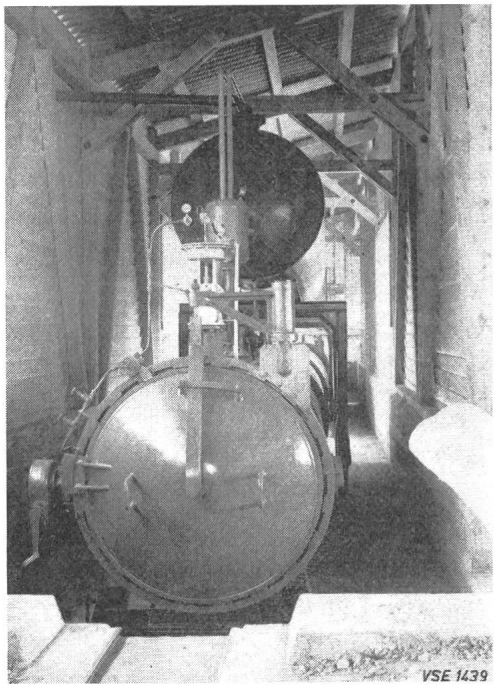


Fig. 3
Frontansicht der Wechseldruckanlage Dagmersellen
Grösse des Imprägnierzylinders: Länge 23 m, Durchmesser 1,3 m

saugverfahren erreicht, bei welchem die Stangen in einen Druckkessel eingefahren und am Zopf mit Saugkappen versehen werden. Nachdem die Stangen mit Imprägnierlösung überflutet sind, wird am Stangenzopf mittels Vakuum der Baumsaft herausgesaugt und gleichzeitig mit einem Druck von mehreren at auf der gesamten Mantelfläche der Stangen, also nicht nur von der Fuss-Stirnfläche her wie beim Trogsaugdruckverfahren, Imprägnierlösung eingepresst.

Dieses Verfahren erlaubt eine Abkürzung der Imprägnierdauer auf etwa 3 Tage.

Wechseldruckverfahren: Die jüngste Entwicklung in der Stangenimprägnierung stellt das Wechseldruckverfahren dar, welches grundsätzlich darauf beruht, dass bei saftfrischem Holz durch *kurzfristige Druckwechsel zwischen einem 95 %igem Vakuum und 8 atü Druck die im Holz vorhandene Luft und der Baumsaft allmählich herausgesaugt und an deren Stelle Imprägnierlösung hineingepresst werden* [3]. Die Imprägnierung erfolgt dabei über die Markstrahlen und die Hoftüpfel der Holztracheiden.

Für die Durchführung der Wechseldruckimprägnierung stehen heute technisch weitentwickelte und vollautomatisch arbeitende Anlagen zur Verfügung, die für das Auge des technisch interessierten Menschen eine Freude sind. Die erste Anlage in der Schweiz steht seit Juni 1962 im Imprägnierwerk von Herrn *G. Luginbühl* in Dagmersellen in Betrieb. Seither sind verschiedene weitere Anlagen gebaut und ebenfalls in Betrieb genommen worden (Fig. 2, 3 und 4).

Die technisch relativ komplizierte Anlage stellt an den Imprägneur bzw. an das sie bedienende Personal verhältnismässig hohe Anforderungen in Bezug auf technisches Wissen, Einfühlungsvermögen und Sorgfalt in der Wartung und Pflege der Anlage. Das sind Anforderungen, die vielleicht im einen oder andern Fall zu gewissen Anfangsmisserfolgen im Imprägnierergebnis führen können.

Die Einrichtung einer Wechseldruckanlage (Fig. 2) besteht aus einem *Imprägnierzylinder,* der einen pulsierenden Druck von 8 atü aushalten muss, einem *Vorratsbehälter,* einem *Salzlösegefäss* mit Propellerrührwerk (Fig. 3). Hinzu kommt ein *Wechseldruckaggregat* aus Saug- und Druckpumpe mit Elektromotor. Vorteilhaft ist auch ein *Druckspeicher* (12 atü). Registrier- und Schreibautomaten fehlen ebenfalls nicht. Kernstück ist schliesslich die *Steuervorrichtung.* Das Tränkdiagramm in Form von hellen und dunklen Streifen auf einem Filmband bewegt sich zwischen einer Lampe und einer Photozelle (Fig. 4). Die beim Filmdurchlauf entstehenden Impulse durch die hellen und dunklen Streifen steuern über einen Verstärker und ein Schaltrelais, das Wechseldruckaggregat und die Membranventile. Während der Imprägnierung muss also kein Ventil oder Schalter von Hand reguliert werden.

Die kurzfristigen Druckwechsel ermöglichen die Überwindung der bei der schwer tränkbaren Fichte besonders ausgeprägten Ventilwirkung, bzw. des Verschlusses der Hoftüpfel bei einseitig wirkendem Druck. Die als Folge der Druckwirkung eintretende Flüssigkeitsströmung durch die Tüpfel führt zu einem Verschluss desselben, wenn der Torus die Hoftüpfelwand erreicht hat. In diesem Moment ist eine weitere Anwendung von Druck zwecklos. Durch die Wirkung eines darauffolgenden Vakuums kann der Tüpfel infolge der Ausdehnung der im Holz vorhandenen Luft wieder geöffnet werden, wobei gleichzeitig etwas Luft und Baum-

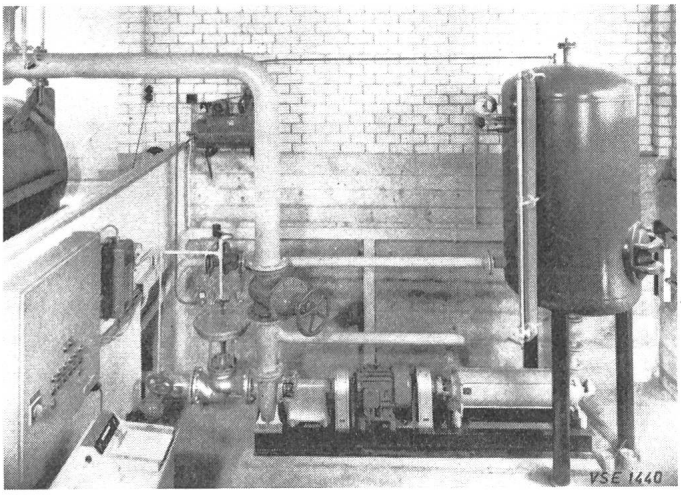


Fig. 4
Maschinenraum der Wechseldruckanlage Dagmersellen
Von links nach rechts: Steuerschrank, Registrier- und Schreibautomat; kleiner Kompressor für Druckspeicher; Wechseldruckaggregat mit Druckpumpe, Elektromotor und Saugpumpe; Druckspeicher

saft herausgerissen werden. Der Baumsaft vermischt sich mit der Imprägnierlösung, die dadurch verdünnt wird. Bei jeder Druckphase wird wieder etwas Lösung hineingepresst und bei jeder weiteren Vakuumphase etwas Luft und mit Lösung vermischter Baumsaft herausgesaugt, so dass die im Holz befindliche Lösung geringerer Konzentration allmählich in eine mit höherer Konzentration hinaufpulsiert wird. Jeweils eine Druck- und eine Vakuumphase stellen zusammen eine Tränkperiode dar.

Auf Grund dieser Vorgänge hängt der gute Verlauf einer Imprägnierung im Wechseldruckverfahren von folgenden Faktoren ab:

1. Das Fichtenholz muss saftfrisch sein und soll bis an seine Oberfläche über 50 % Wasser enthalten.
2. Gleichzeitig muss es aber auch lufthaltig sein, denn ohne Hilfe der sich während der Vakuumphase ausdehnenden Luft könnte kein Baumsaft herausgerissen werden. Die Luftentfernung aus dem Holz muss deshalb so dosiert werden, dass in den Stangen bis zum Schluss der Imprägnierung noch Luft vorhanden ist, denn ohne Luft im Holz funktioniert das Verfahren nicht.
3. Die Länge der Druckphase soll so lange dauern, bis der Tüpfelverschluss erreicht ist; dasselbe gilt auch für die Vakuumphase. Mit abnehmendem Luftgehalt während der Imprägnierung wird deshalb die Druckphase mit Vorteil immer mehr verlängert und die Vakuumphase verkürzt, um das Absaugen grosser Luftmengen zu vermeiden. Zu Beginn der Imprägnierung dauert die Tränkperiode etwa 1 Minute, wobei 30...50 % auf die Druck- und 70...50 % auf die Vakuumphase entfallen. Die Perioden werden im Verlaufe des Tränkprozesses allmählich länger, wobei sich gleichzeitig das Verhältnis zwischen Druck- und Vakuumphase verschiebt. Am Prozessende beträgt die Periode etwa 6½ Minuten, wovon dann nur noch 15 % auf die Vakuumphase und 85 % auf die Druckphase entfallen.
4. Da die Flüssigkeitsbewegung im Nadelholz in der Faserrichtung viel rascher abläuft als in der Markstrahlrichtung, werden die Splintbereiche an den Stirnenden mit einem Kunstharzüberzug versehen, damit die radiale Strömung gegenüber der achsialen nicht zu stark abfällt.

Die Imprägnierzeiten hängen nicht nur von der Holzart und der Holzdimension, sondern auch vom Feuchtigkeitsgehalt des Holzes ab.

Während der Splint trockener Föhren innerhalb von 2...4 Stunden, d. h. bei 40...80 Perioden imprägniert werden kann, braucht es für saftfrische Föhrenstangen 14...18 Stunden und für Fichtenstangen üblicherweise 18...20 Stunden, bis ein Splint von 3...4 cm Breite durchtränkt ist; dies entspricht etwa 400 Perioden. Trockenes Fichtenholz kann erfahrungsgemäss nicht befriedigend imprägniert werden.

Im Gegensatz zu den andern Saftverdrängungsverfahren kann beim Wechseldruckverfahren die Schutzmittelaufnahme pro Imprägnierladung aus dem Verbrauch an Imprägnierlösung und der zu Beginn und am Ende bestimmten Konzentrationen der Imprägnierlösung genau kontrolliert werden (Tab. I und Fig. 5).

Die Eindringtiefe des Schutzmittels kann an Hand von Bohrproben oder Stangenquerschnitten an der sichtbaren Verfärbung und noch besser durch den Nachweis bestimmter Schutzmittelkomponenten mittels Farbreaktionen sichtbar gemacht werden, z. B.

— *Fluor* mittels Alizarinsulfonat-Zirkonoxychlorid-Reaktion (Gelbfärbung)
— *Kupfer* mittels Ferrocyankaliumlösung (Rotbraunfärbung)
— *Chrom* mittels Diphenylcarbazid (Violettfärbung).

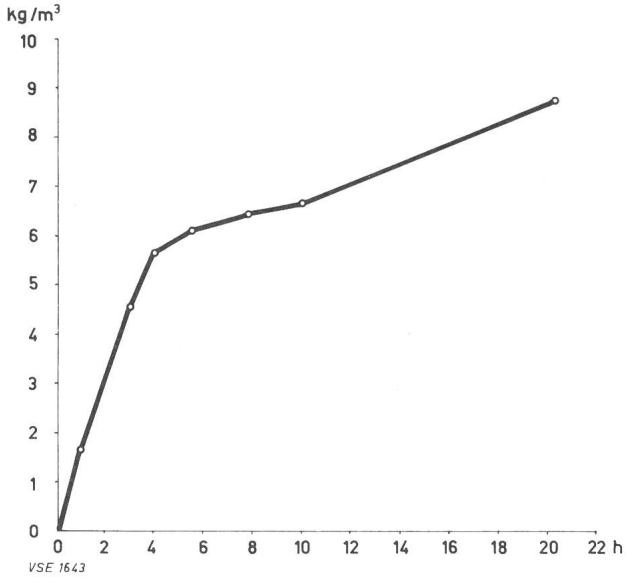
Wie wir gesehen haben, ist das Wechseldruckverfahren ein in technischer Hinsicht raffiniert ausgebildetes und rationell arbeitendes Verfahren. Es wird heute in der Schweiz für die Imprägnierung von saftfrischem Stangenholz, meist Fichte, verwendet. Ob heute schon unter optimalen Bedingungen gearbeitet wird oder ob der Imprägniereffekt durch

Lösungsaufnahme, Konzentration und Salzaufnahme im Verlaufe der Imprägnierung von 8,735 m³ Holz mit Bolidensalz K 33.

Tabelle I

Imprägnierdauer in Stunden	Verbrauch an Imprägnierlösung l	Konzentration der Lösung %	Gesamte Salzaufnahme des Holzes kg	Salzaufnahme kg/m³
0	0	2,16	0	0
1	205	2,125	14,571	1,67
3	370	2,05	39,689	4,54
4	552	2,03	49,146	5,63
5½	612	2,02	53,221	6,09
7¾	689	2,015	26,202	6,43
10	726	2,01	58,370	6,67
20¼	905	1,96	75,168	8,72

Fig. 5
Salzaufnahme des Holzes beim Wechseldruckverfahren in Abhängigkeit der Imprägnierzeit



Änderungen der Imprägnierungsbedingungen wie z. B. Dauer bzw. Verhältnis zwischen Druck- und Vakuumphasen u. a verbessert werden kann, lässt sich erst durch weitere Untersuchungen abklären. Es wäre denkbar, dass das Verfahren noch weiter verbessert und ausgebaut werden könnte.

In den schweizerischen Wechseldruckanlagen wurde bisher mit Salzen des Typus UA-Reform imprägniert. Das Imprägnierwerk Dagmersellen hat mit diesem Salztypus bisher gute Erfahrungen gemacht. Bei Anwendung einer 2,5 %igen Imprägnierlösung wurde durchschnittlich eine Salzaufnahme von etwa 8 kg/m³ Holz erreicht, wobei ein Streuungsbereich von 7,5...8,5 kg/m³ festgestellt wurde. Die erreichten Eindringtiefen wurden durch die biologische Abteilung der EMPA-C, St. Gallen, an 315 Bohrproben, die durch das Imprägnierwerk Dagmersellen stichprobenweise der Mitte von 315 Stangen unmittelbar nach deren Imprägnierung entnommen wurden, bestimmt. Es wurden sowohl die visuell sichtbare grün gefärbte Zone, als auch der Bereich der Fluoreindringung mit mindestens 0,2 % Natriumfluorid ausgemessen. Der Fluornachweis erfolgte auf bekannte Weise mit Hilfe des Alizarinsulfonat-Zirkonoxychlorid-Reagens, das mit Fluor eine Gelbfärbung erzeugt. Die sichtbare Grünfärbung, die vor allem die Anwesenheit von chromhaltigen Salzen anzeigt, ergab eine mittlere Eindringtiefe von 20 mm mit einer mittleren Streuung von ± 8,4 mm. Für das Fluor wurde eine mittlere Eindringtiefe von 33 ± 10,1 mm festgestellt (Fig. 6). Das Letztere muss als gutes Ergebnis gewertet werden.

An der Wechseldruckanlage in Dagmersellen traten bisher keine Störungen auf. Sie bleibt auch während der Wintermonate in Betrieb, so dass das Personal durchgehend beschäftigt werden kann.

Trockenholzimprägnierung:

Kesseldruckverfahren: Die Imprägnierung trockenen Stangenholzes im Kesseldruckverfahren mit Salzen wurde in der Schweiz bisher nur vereinzelt angewendet, weil die Fichtenstangen, die etwa 90 % der ganzen Produktion ausmachen, im Vergleich zu anderen Nadelhölzern, schwer imprägnierbar sind.

Aus wirtschaftlichen Gründen wäre eine Imprägnierung von trockenen Stangen wertvoll, fallen doch in städtischen Gebieten infolge zunehmender Verkabelung von Leitungen ziemlich viele gebrauchte aber noch intakte Stangen an, die durch eine Nachimprägnierung wieder voll einsatzfähig würden. Auch als Erstimprägnierung hätte eine Kesseldruckimprägnierung vorgetrockneter Stangen gewisse Vorteile. So würde vor allem die Lagerung vereinfacht. Pilzschäden, die bei der Saftfrischlagerung unter Rindenabdeckungen entstehen können, könnten vermieden werden und schliesslich könnten auch die auf jeden Fall entstehenden Schwindrisse, die hier vor der Imprägnierung entstehen würden, imprägniert werden.

Solche und ähnliche Betrachtungen veranlassten die Elektrizitätswerke des Kantons Zürich (EKZ), Imprägnierversuche mit luftgetrocknetem und aufgerissenem Stangenholz durchzuführen. Wie die Untersuchungen zeigten, wurden dabei gute Fluoreindringtiefen erreicht. Die bei sieben verschiedenen, zufällig ausgewählten Stangen festgestellten Eindringtiefen lagen im Bereich von 16...75 mm, bei einem Gesamtmittel von 42 mm. Zudem erhielten auch die vorhandenen Schwindrisse eine gute Imprägnierung (Fig. 7). Diese schönen Resultate dürfen aber noch nicht als endgültig betrachtet werden, denn die verwendete Anlage erlaubt keine normale Führung des Tränkprozesses. Die etwas schwache Saugpumpe ermöglichte nur eine langsame, etwa 20 Stunden dauernde Evakuierung, zudem wurde die Druckperiode bei 7...10 atü auf etwa 4 Tage ausgedehnt, wobei die Pumpe über Nacht jeweils abgestellt wurde. Möglicherweise sind die Gründe für die guten Resultate gerade in diesen, von den üblichen abweichenden Imprägnierbedingungen zu suchen.

Gesamthaft zeigen die Versuche, dass die Kesseldruckimprägnierung von trockenem Fichtenholz einer weiteren Prüfung wert ist. Dabei wären vor allem verschiedene Modifikationen des bisherigen Imprägnierschemas bezüglich Eva-

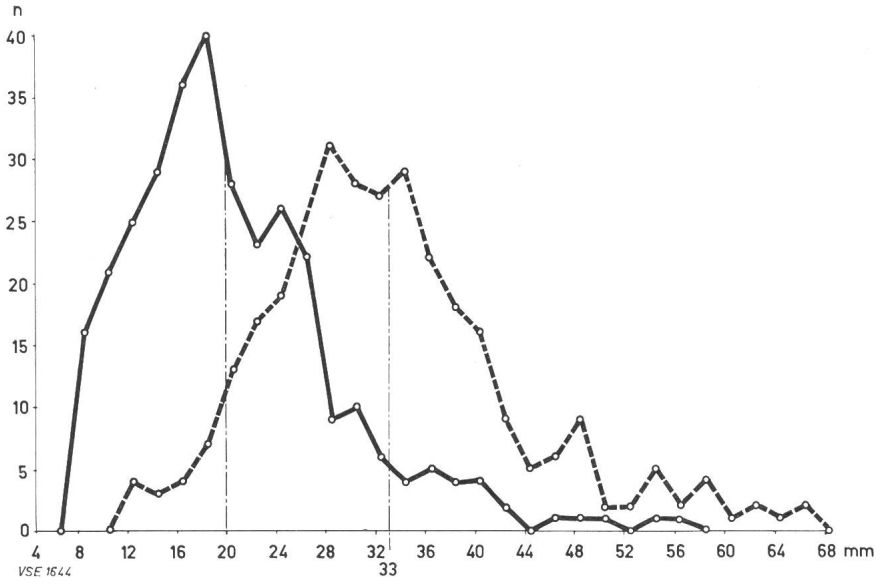


Fig. 6
Wechseldruckverfahren mit UA-Reform-Salztyp

Eindringtiefen von:
Chromsalz (visuell erkennbare Grünfärbung) } bei 315 Stangen
Fluorsalz

Probeentnahmen aus Stangenmitten bei 315 Stangen

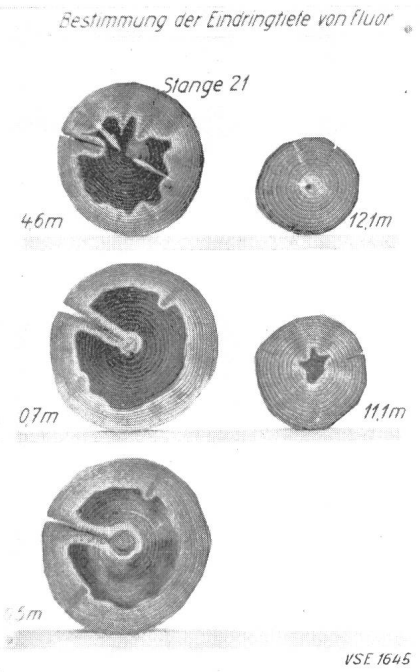


Fig. 7

Fichtenstange, 12,2 m lang, im Fussteil mit Zentralbohrung

Fluoreindringung nach der Imprägnierung in trockenem und aufgerissenem Zustand bei modifiziertem Kesseldruckverfahren

kuierungsgeschwindigkeit, Dauer der Druckperiode und auch Druckvariationen, sowie Gesamtdauer zu prüfen.

Doppelstockschutz und Nachpflege

Neben der Verbesserung der Salze kann auch durch eine konsequente Anwendung eines zusätzlichen Schutzes in der Einbauzone vor dem Stellen und durch Nachpflegemassnahmen eine wesentliche Verlängerung der Standdauer erreicht werden.

Hier hat sich das Impfstichverfahren bisher wohl am besten bewährt, trotzdem es vom technischen Standpunkt aus gesehen, nicht als schönes Verfahren angesprochen werden kann. Bei mehrmaliger Anwendung auf ein und derselben Stange kann es unter Umständen zu einer gewissen Schwächung derselben führen. Bei sorgfältiger und sachgemässer Anwendung erlaubt es aber eine Tiefenimprägnierung, die unter günstigen Bedingungen bezüglich Diffusionsvermögen der verwendeten Salze und Holzfeuchtigkeit den ganzen Querschnitt des Splint- und des Kernholzes erfassen kann.

Auch die Anwendung von Salzbandagen hat sich für die Erreichung höherer Standdauern sehr bewährt, sofern ihre Anwendung konsequent in bestimmten festgelegten Zeitintervallen von etwa 8 Jahren erfolgt.

Die Entwicklung der Stangennachpflege ist sicher noch nicht am Ende angelangt. Es ist möglich, dass mit der Entwicklung leicht diffundierbarer Salzgemische auch das sogenannte Zentralbohrverfahren für eine zusätzliche Imprägnierung in der Einbauzone der Stangen in geeigneter Weise ausgebaut werden könnte. Dieses Verfahren besteht darin, dass die Leitungsstangen vom Fuss her mit einem Bohrkanal von etwa 2 m Länge und 2...3 cm Durchmesser versehen werden, der mit Salzen in Form von Pasten oder hochkonzentrierten Lösungen aufgefüllt werden kann. Die Nachpflege könnte bei der stehenden Stange über eine seitliche Bohrung am oberen Ende des Kanals durch Nachfüllen des Schutzmittels erfolgen. Mit diesem Verfahren wurde schon anfangs der 50er Jahre in Belgien und in Frankreich Versuche durchgeführt; es liegen allerdings keine Angaben über gute Erfolge vor [5]. In letzter Zeit wurden in Deutschland unter Verwendung eines neuen Salzgemisches wieder Versuche aufgenommen.

Da bei den Leitungsstangen immer die Einbauzone am stärksten gefährdet ist, muss die Schutzbehandlung in dieser Zone am stärksten sein. Es sollte deshalb eine differenzierte Schutzbehandlung angestrebt werden, die den tatsächlichen Anforderungen an die eingebauten Stangen Rechnung trägt. Bis heute wurde dies, wie schon erwähnt, durch zusätzliche Imprägnierungen mittels Impfstichverfahren und Bandagen erzielt.

Es ist anzunehmen und es scheint auch sinnvoll zu sein, dass die Entwicklungstendenz dahin gehen wird, eine verstärkte Imprägnierung der Einbaustelle der Stangen gleichzeitig mit der Durchführung der Grundimprägnierung in einem einzigen Prozess zu erreichen. Verschiedene Versuche, eine zusätzliche Tränkung durch radiales Anbohren der Stangen in der Einbauzone zu erreichen, haben eine gewisse, allerdings noch nicht zufriedenstellende Verbesserung gebracht.

Diese Entwicklungstendenz sollte weiter verfolgt werden, denn hier birgt sich die Möglichkeit der Schaffung eines Leitungsmastes mit differenzierter Schutzwirkung, je nach der tatsächlichen Gefährdung durch die Auslaugwirkung und durch holzzerstörende Schädlinge.

Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Was wurde nun durch die technische Entwicklung der Imprägnierverfahren erreicht? Es sind dies:

— Vermeidung der Abtropf- bzw. Salzverluste.
— Verhütung von Grundwasserverschmutzungen.
— Sehr wesentliche Beschleunigung des Imprägniervorganges.
— Rationalisierung des Imprägnierbetriebes.

Alle diese Erfolge sind in wirtschaftlicher und technischer Richtung bedeutungsvoll. Wie steht es nun mit der Qualität der Imprägnierung?

Bei den Saftverdrängungsverfahren ergibt sich im Prinzip keine wesentliche Änderung resp. Verbesserung der Qualität der Imprägnierung, die auf die technische Verbesserung des Verfahrens zurückgeführt werden könnte. Mit allen beschriebenen Saftverdrängungsverfahren kann nur der Splintteil imprägniert werden, was sowohl für das alte Boucherieverfahren als auch für das neueste Wechseldruckverfahren gilt. Die beim Wechseldruckverfahren stark abgekürzte Imprägnierdauer hat aber den Vorteil gebracht, dass auch rasch fixierende Salze vom Typus der Chrom-Arsen-Kupfer-Salzgemische verwendet werden können, was bei den länger dauernden Saftverdrängungsverfahren nicht oder nur beschränkt möglich ist. Inwieweit die verschiedenen Salzge-

mische auch zu Qualitätsunterschieden bezüglich der Salzverteilung und der Einbringmengen führen, muss noch abgeklärt werden. Das Wechseldruckverfahren erlaubt zudem auch eine genauere Kontrolle der aufgenommenen Salzmengen.

Die Imprägnierqualität konnte in den letzten Jahren aber ebenfalls wesentlich verbessert werden. Die Verbesserungen sind, neben der Entwicklung der Imprägnierverfahren, wesentlich auch durch die Vervollkommnung der Schutzmittel bedingt [11]. Es scheint, dass weitere Fortschritte am leichtesten zu erreichen sind, wenn die Entwicklung der Imprägniertechnik und diejenige der Schutzmittel Hand in Hand gehen und so gut wie möglich aufeinander abgestimmt werden können.

Literaturverzeichnis

[1] *Boegli, F.:* Stangenstatistik der Jahre 1952...1956. Techn. Mitteilungen PTT. *36* (1958) Nr. 4, 151...161.

[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.:* Holztränkung nach der Wechseldruckmethode. Holz als Roh- und Werkstoff. *12* (1954) Nr. 6. 233...241.

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

[5] *H. L.:* Un nouveau procédé d'imprégnation. Le poteau «RF-Réimprégnable». La Revue du Bois et de ses Applications. (1958) Nr. 12.

[6] *Schulz, W. O.* und *Sippel, E.:* Über die Beeinflussbarkeit der im Holz vor sich gehenden Fixierung von U- und UA-Salzen durch Säurezusätze. Holz als Roh- und Werkstoff. *14* (1956) 257...267.

[7] *VSE:* Fortschritte in der Imprägnierung von Leitungsmasten. SEV-Bull. Energie-Erzeugung und Verteilung (1960) Nr. 7, 77...85.

[8] *Wälchli, O.:* Über Anlage und Durchführung der Freilandversuche des VSE zur Prüfung von Stangenimprägnierungen. SEV-Bull., Energie-Erzeugung und Verteilung (1954) Nr. 14, 161...165.

[9] *Wälchli, O.:* Lagerung und Kupfersulfatgehalte bei boucherisierten Leitungsstangen. SEV-Bull., Energie-Erzeugung und Verteilung (1957) Nr. 7, 69...71.

[10] *Wälchli, O.:* Bericht über die Versuche des VSE zur Prüfung von Stangenimprägnierungen. 5 Mitt. SEV-Bull., Energie-Erzeugung und Verteilung (1958) Nr. 13, 121...129.

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

[12] *Zycha, H.* und *Härtel, W.:* Zur Frage der Holzimprägnierung mit Kupfersulfat. Mitt. aus der Biolog. Bundesanstalt f. Land- u. Forstwirtschaft (1956) H. 86, 49...63.

Adresse des Autors:

Dr. *O. Wälchli,* Leiter der biologischen Abteilung der Eidg. Materialprüfungs- und Versuchsanstalt C, St. Gallen.

Inbetriebnahme der 1000. Transformatorenstation der EKZ

Die Elektrizitätswerke des Kantons Zürich (EKZ) besitzen ein dicht über das ganze Kantonsgebiet verteiltes Netz von Transformatorenstationen verschiedenster Bauarten. Am 25. September 1963 erfolgte die Inbetriebnahme der 1000. Station in Thalwil. Dies veranlasste die EKZ, die Lokalpresse zu einer Besichtigung einzuladen; auf einer ausgedehnten Rundfahrt wurde eine gute Übersicht geboten über die grosse Vielfalt des Stationenbaues in Vergangenheit und Gegenwart.

Für die Speisung einzelner Weiler, abgelegener Gehöfte oder temporärer, grösserer Baustellen dienen Mastenstationen. Diese Mastenstationen, die bis zu einer Leistung von 250 kVA gebaut werden, sind bei den Überlandwerken recht verbreitet. So besitzen die EKZ heute deren 550 oder 55 % aller Stationen. Bei dieser Bauart wird der Transformator auf zwei Holz- oder Betonmasten montiert.

Turmstationen entstanden aus dem Bestreben heraus, die Transformatoren, welche für grössere Leistungen respektable Gewichte aufweisen, zu ebener Erde unterzubringen. Die Freileitungen liessen sich trotzdem in genügender Höhe abspannen. Es ist offensichtlich, dass sich diese hohen, unproportionalen Gebäude schlecht in ihre Umgebung einfügten.

Dank den technischen Fortschritten ist nun vieles anders geworden. In Städten lassen sich Transformatorenstationen bedenkenlos in Geschäfts- oder Wohnhäusern unterbringen; in ländlichen Gegenden ist dies leider nicht ohne weiteres möglich, weil nachts das brummende Geräusch der Transformatoren den allgemeinen Geräuschpegel übertrifft. Trotzdem werden bei den EKZ nur noch etwa 5 % aller gemauerten Stationen freistehend gebaut. Mehrheitlich kombiniert man sie mit anderen Gebäuden, wie Turnhallen, Feuerwehrgerätehäuschen und Pumpstationen. Unter Zwischenschaltung einer Garage lassen sie sich sogar mit Einfamilienhäusern kombinieren. (Siehe Fig. 1.) Es ist schwer, ihrer Bauform eine einheitliche Bezeichnung zu geben, charakteristisch ist vielmehr der Wille zu einer harmonischen Einfügung in die Umgebung.

Die früher errichteten Turmstationen waren normalisiert, daher wirkten sie immer als Fremdkörper. Heute überlässt man die architektonische Planung in der Regel demjenigen Architekten, der die Umgebung gestaltet. So wird zwar die Station nichts anderes vortäuschen, aber sie fügt sich im gleichen Stil in die Umgebung ein. Überdies sorgt man für eine Bepflanzung mit einheimischen Bäumen und Sträuchern, was um so eher möglich ist, als die abgehenden Leitungen durchwegs verkabelt werden. Damit ist ein guter Schutz der Landschafts- und Dorfbilder erzielt worden.

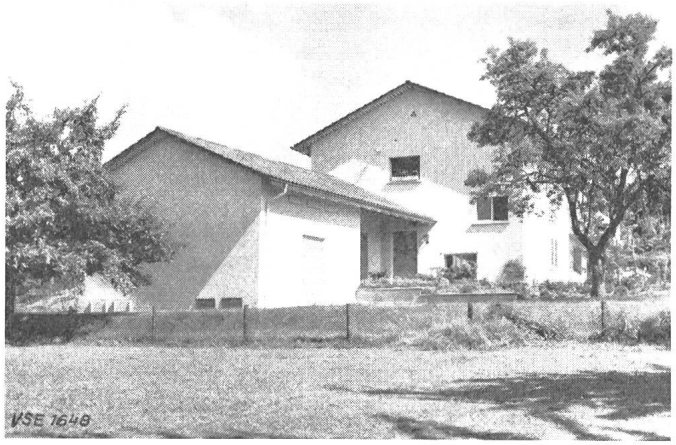


Fig. 1
Transformatorstation, unter Zwischenschaltung einer Garage an ein Einfamilienhaus angebaut

Für eine Mastenstation müssen heute etwa 10 000...15 000 Fr. aufgewendet werden; gemauerte Stationen kosten 40 000...70 000 Fr., in besonderen Fällen mehr. Die EKZ haben bis Ende 1962 rund 17,3 Millionen Franken für den Bau von Transformatorenstationen aufgewendet, was ungefähr 30 % der Ausgaben für das gesamte Verteilnetz ausmacht.

Der Bedarf an Transformatorenstationen ist in den letzten Jahren stark gestiegen. Das grosse Bauvolumen konnte nur dank einer weitgehenden Normierung der zu verwendenden elektrischen Bauteile bewältigt werden.