

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins :
gemeinsames Publikationsorgan des Schweizerischen
Elektrotechnischen Vereins (SEV) und des Verbandes Schweizerischer
Elektrizitätswerke (VSE)

Band: 61 (1970)

Heft: 21

Artikel: Rückwirkungen der Geräte mit Phasenanschnittsteuerung auf die
Verteilnetze der Elektrizitätswerke

Autor: Mühlethaler, H.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-915991>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 15.10.2024

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

Energie-Erzeugung und -Verteilung

Die Seiten des VSE

Rückwirkungen der Geräte mit Phasenanschnittsteuerung auf die Verteilnetze der Elektrizitätswerke

Von H. Mühlethaler, Luzern

Immer häufiger kommen in der Industrie, im Gewerbe und neuerdings auch im Haushalt Geräte mit gesteuerten Halbleitern (Thyristoren) auf den Markt.

Mit solchen Apparaten wird die Helligkeit von Beleuchtungen stufenlos und nahezu verlustlos geregelt, die Drehzahl von Antriebsmotoren verändert oder konstant gehalten, Schweissanlagen, Gleich- und Wechselrichter gesteuert, usw.

Ein Thyristor mit Phasenanschnittsteuerung arbeitet wie ein Schalter, der sich in einem gewissen Zeitpunkt jeder Stromhalbperiode schliesst und bei jedem Stromnulldurchgang automatisch wieder öffnet. In jeder Sekunde schaltet somit der Thyristor den Strom hundertmal ein und aus. Je nach

dem eingestellten Einschaltzeitpunkt (Schaltwinkel) wird ein Teil jeder Stromhalbperiode unterdrückt und der Rest durchgelassen. Durch das Verändern des Schaltwinkels lässt sich eine kontinuierliche Leistungsregulierung zwischen Null- und Vollast erreichen.

Durch die steilen Anschnittflanken wird bei der Phasenanschnittsteuerung die Stromkurvenform verzerrt. Es entstehen bei Anschnitt nur der positiven oder negativen Halbwellen der Sinuskurve Oberwellenströme der Ordnungszahlen 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 usw. und bei Anschnitt beider Halbwellen, Oberwellenströme der Ordnungszahlen 3, 5, 7, 9, 11 usw.

Die erzeugten Oberwellenströme schliessen sich über das speisende Netz und es entstehen, je nach der bestehenden

Oberströme- und Spannungsabfälle verursacht durch eine 5-kVA-Gleich-Wechselrichteranlage, gemessen am Anschluss einer Kabelzuleitung 60 m 4×120 mm² Cu plus 50 m 4×70 mm² Cu.

Tabelle I

Ordnungszahl v	Strom in R		Spannung R-O		Ordnungszahl v	Strom in R		Spannungen R-O	
	I	%	U	%		I	%	U	%
1	77,0	100,0	225,0	100,0	18	—	—	—	—
2	23,0	29,9	1,1	0,5	19	1,2	1,6	0,4	0,2
3	0,7	0,9	1,4	0,6	20	—	—	—	—
4	6,8	8,8	0,5	0,2	21	0,6	0,8	0,2	0,09
5	5,7	7,4	2,1	0,9	22	0,6	0,8	0,4	0,2
6	—	—	—	—	23	0,4	0,5	0,2	0,09
7	4,5	5,8	1,0	0,4	24	—	—	—	—
8	2,5	3,2	0,4	0,2	25	0,6	0,8	0,3	0,1
9	—	—	—	—	26	—	—	0,3	0,1
10	2,7	3,5	0,7	0,3	27	—	—	—	—
11	1,2	1,6	1,0	0,4	28	0,4	0,5	0,2	0,09
12	—	—	—	—	29	0,7	0,9	0,2	0,09
13	2,3	3,0	0,3	0,1	30	—	—	—	—
14	0,6	0,8	0,3	0,1	31	0,6	0,8	0,2	0,09
15	—	—	—	—	32	0,8	1,0	0,3	0,1
16	1,6	2,1	0,5	0,2	33	0,8	1,0	0,1	0,05
17	—	—	—	—	34	0,7	0,9	0,1	0,05

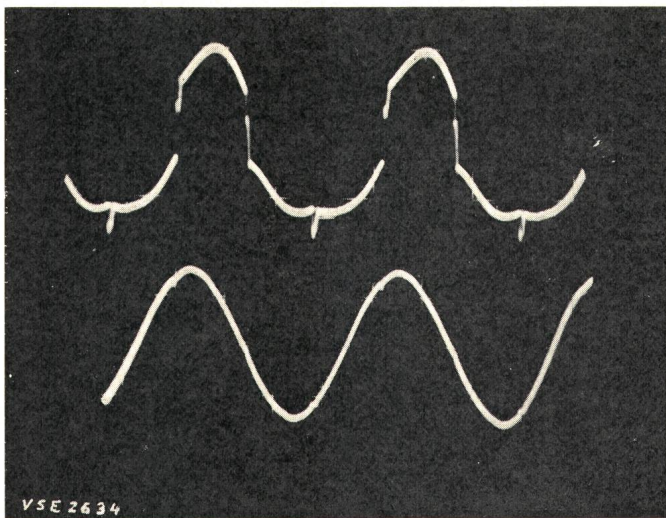


Fig. 1

Leitungsimpedanz, kleinere oder grössere Oberwellenspannungsabfälle. Durch Resonanzeinwirkung können diese noch angehoben werden. Im Netz vorhandene induktive Verbraucher, Transformatoren, Sperrdrosseln, Kondensatoren, usw. sind erhöhten Belastungen ausgesetzt und dadurch gefährdet. Aber auch die Empfänger aller bis vor kurzem angewendeten Netzkommando-Systeme können zu Falschbefehlen angeregt werden, sofern diese an längeren Leitungen liegen.

Geräte bis 1 kW Anschlussleistung, somit auch deren Regler mit Phasenanschnittsteuerung, sind gemäss Verfügung des Eidg. Verkehrs- und Energiewirtschaftsdepartementes radiostörschutzpflichtig. Diese Vorschrift gilt jedoch nur für den Frequenzbereich 150 kHz bis 1550 kHz. Die mit dem Radiostörschutzzeichen des SEV versehenen Regelgeräte erfüllen somit nur die Entstörungsbedingungen im genannten Frequenzbereich.

Um einen geordneten Betrieb der Starkstromnetze aufrecht zu erhalten, wird es notwendig, die beschriebenen Stromüberschwingungen in bestimmten Grenzen zu halten. Eine Arbeitsgruppe des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätswerke (VSE) hat deshalb zuhänden seiner Mitglieder eine Empfehlung über den Anschluss von Thyristoren mit Phasenanschnittsteuerung ausgearbeitet. Diese Empfehlungen wur-

den im Bulletin SEV Nr. 15, «Seiten des VSE», vom 19. Juli 1969 veröffentlicht und lauten:

«Statische Regler und Gleichrichter mit Phasenanschnittsteuerung dürfen — mit Rücksicht auf eine möglichst unverzerrte Spannungskurve — pro Bezüger ohne spezielle Bewilligung höchstens folgende maximale Reglerleistung aufweisen:

Spannung	max. Anschluss	Rückleitung
1 × 220 V	600 W	mit Nulleiter
3 × 220 V	1800 W	mit Nulleiter
3 × 380 V	2600 W	ohne Nulleiter

Höhere Reglerleistungen dürfen nur mit besonderer Bewilligung angeschlossen werden.»

Zur Beurteilung, ob ein oder mehrere Regler mit Phasenanschnittsteuerung höherer Leistung ohne störende Rückwirkungen auf das stromliefernde Netz angeschlossen werden dürfen, dient die Netzkurzschlussleistung am Anschlusspunkt der fraglichen Geräte. Sie dürfen angeschlossen werden, sofern der Anschlusswert 1 % der Netzkurzschlussleistung nicht überschreitet. Dabei gilt für Geräte an 220 V die einphasige, für Drehstromgeräte die Gesamtkurzschlusslei-

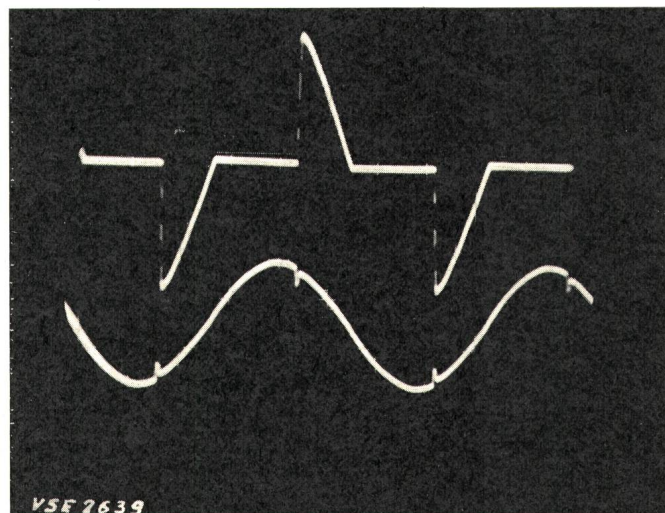


Fig. 3

stung. Wird eine Bewilligung für den Anschluss von Thyristoren mit Phasenanschnittsteuerung höherer Leistung erteilt, so soll dem Abnehmer die Verpflichtung überbunden werden, allfällig auftretende Störungen auf seine Kosten zu beheben.

Leider ist das Regelprinzip vieler Geräte nicht näher bekannt. Den Elektrizitätswerken fällt es deshalb oft schwer, solche mit Phasenanschnittsteuerung zu erkennen, um bei der Erteilung von Anschlussbewilligungen die Empfehlungen des VSE geltend machen zu können. Häufig berufen sich die Lieferanten solcher Geräte auf die eingebauten Filter und auf das Prüfzeichen des SEV. Dabei wird verschwiegen, dass die niederfrequenten Oberwellenströme solcher geprüften Geräte praktisch uneingeschränkt vorhanden sind.

Um die Problematik des Anschlusses solcher Geräte an die Verteilnetze zu veranschaulichen, seien nachstehend eini-

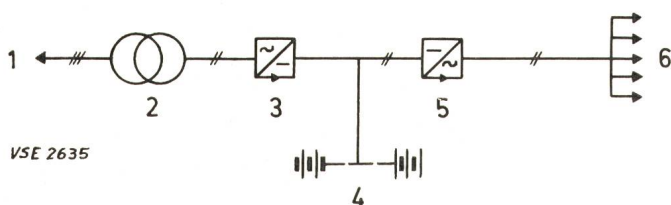


Fig. 2

Prinzip-Schaltbild einer Gleich-Wechselrichteranlage für eine Funkpeilung in einem abgelegenen Versorgungsgebiet

- 1 Netz 3 × 380/220 V: 200 m 4 × 70 mm² Freileitung Aldrey
600 m 4 × 50 mm² Freileitung Aldrey
369 m 4 × 25 mm² Kabel Cu
- 2 Transformator 10 kVA 3 × 380 V/1 × 220 V
- 3 Gleichrichter ~ 220 V/— 256 V
~ 40 A/— 20 A
- 4 Akkumulatorenbatterie
- 5 Wechselrichter — 228 V/~ 230 V
— 22 A/~ 17,4 A

Tabelle II

Ordnungszahl v	Strom in S		Spannung S-O		Ordnungszahl v	Strom in S		Spannung S-O	
	I	%	U	%		I	%	U	%
1	23,0	100,0	210,0	100,0	23	0,8	3,5	1,6	100,0
3	1,6	7,0	30,0	14,3	25	0,4	1,4	2,2	1,1
5	2,1	9,5	12,0	5,7	27	0,7	3,0	1,5	0,7
7	1,8	7,8	7,0	3,3	29	0,8	3,5	1,0	0,5
9	0,5	2,2	2,8	1,3	31	0,4	1,7	1,9	0,9
11	0,5	2,2	2,2	1,1	33	0,4	1,7	1,9	0,9
13	0,8	3,5	4,8	2,3	35	0,4	1,7	1,0	0,5
15	0,4	1,7	3,8	1,8	37	0,4	1,7	1,6	0,8
17	0,4	1,7	1,6	0,8	39	0,3	1,3	1,6	0,8
19	1,0	4,4	2,7	1,3	41	0,3	1,3	1,2	0,6
21	1,1	4,8	3,6	1,7					

ge, durch gesteuerte Halbleiter verursachte, Störeinflüsse beschrieben und kommentiert.

1. Zur Speisung einer Computer-Anlage wurde eine Gleich-Wechselrichter-Stromversorgung von 50 kVA-Leistung installiert. Der $3 \times 380/220$ V-Anschluss der Liegenschaft erfolgt über eine Kabelleitung von 60 m 4×70 mm² Cu plus 50 m 4×70 mm² Cu. Die Leistung des Netztransformators beträgt 800 kVA.

Im Gebäude der Computer-Anlage gingen ständig Vorschaltgeräte von Leuchtstoffröhren defekt. Die Ursache dieser Beschädigungen wurde schliesslich dem hohen, in der Hauptverteilung gemessenen Oberwellengehalt, laut Tabelle I, zugeschrieben. Die thyristorgesteuerte Gleich-Wechselrichteranlage verursachte Oberwellenströme nach Bild 1, wodurch bei der gegebenen Leitungsimpedanz die Summe aller Oberwellenspannungen die knapp bemessenen Vorschaltgeräte der Leuchtstoffröhren zerstörten.

2. Zur Speisung einer Funkpeilung dient eine Gleich-Wechselrichteranlage gemäss Prinzipschaltbild 2. Die Anlage

*Oberströme- und Spannungsabfälle verursacht durch ein 7,6-kVA- 1×380 -V-Schweißgerät, gemessen am Anschluss einer Zuleitung von 646 m Freileitung plus 130 m Kabel.
Messergebnisse im Leerlauf.*

Tabelle III

Ordnungszahl v	Strom in R		Spannungen R-O	
	I	%	U	%
1	1,43	100,0	230,0	100,0
3	5,70	400,0	3,5	1,52
5	1,40	98,0	4,2	1,82
7	1,45	101,0	2,2	0,96
9	3,20	225,0	5,5	2,40
11	0,76	53,0	1,3	0,56
13	2,85	200,0	2,3	1,00
15	1,62	113,0	3,4	1,48
17	0,32	22,4	0,6	0,26
19	0,53	37,0	1,2	0,52
21	0,62	43,2	1,1	0,48
23	0,07	4,9	0,4	0,17
25	0,22	22,5	0,8	0,35
27	0,22	22,5	0,5	0,22

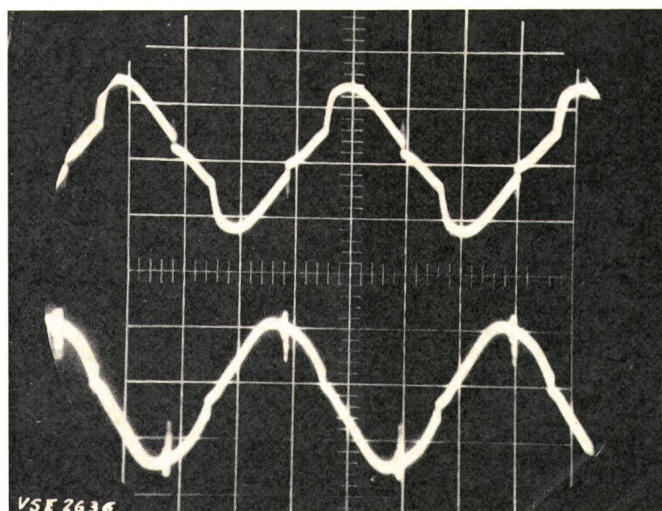
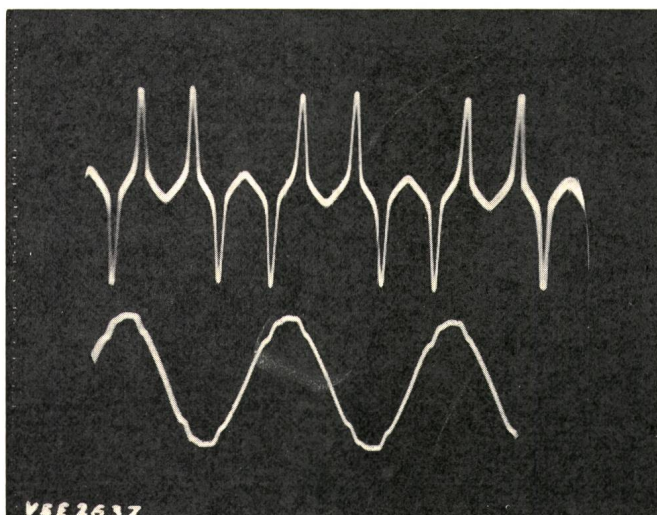


Fig. 4

liegt in einem sehr abgelegenen Gebiet an 800 m Freileitung plus 370 m Kabel. Einige an diesem Strang liegende Netzkommandoempfänger wurden durch 1050 Hz Störspannungen beeinflusst. Urheber war die Gleich-Wechselrichteranlage. Bild 3 zeigt die Strom- und Spannungs-

Fig. 5



Ordnungszahl v	1 Regler 1000 W Phasenanschnitt 110°				2 Regler 2000 W Phasenanschnitt 110°			
	Strom		Spannungen P-O		Strom		Spannung P-O	
	I	%	U	%	I	%	U	%
1	2,27	100,0	225,0	100,0	4,31	100,0	220,0	100,0
3	1,59	70,0	1,7	0,75	3,18	70,70	3,4	1,55
5	0,80	35,20	2,8	1,24	1,59	39,00	3,8	1,72
7	0,45	19,80	0,9	0,40	0,91	21,00	1,6	0,73
9	0,45	19,80	1,0	0,45	0,88	20,05	2,0	0,91
11	0,29	12,80	0,7	0,31	0,61	14,10	1,5	0,68
13	0,27	11,90	0,8	0,35	0,50	11,60	1,6	0,73
15	0,25	11,00	0,9	0,40	0,48	11,10	1,8	0,82
17	0,19	0,84	1,0	0,45	0,36	0,83	1,6	0,73
19	0,18	0,79	1,0	0,45	0,34	0,79	1,8	0,82
21	0,16	0,71	0,8	0,35	0,30	0,70	1,5	0,68
23	0,15	0,66	0,8	0,35	0,25	0,58	1,5	0,68
25	0,14	0,62	0,8	0,35	0,25	0,58	1,5	0,68
27	0,11	0,48	0,8	0,35	0,21	0,48	1,4	0,64
29	0,11	0,48	0,8	0,35	0,20	0,46	1,4	0,64
31	0,10	0,44	0,8	0,35	0,19	0,44	1,3	0,59

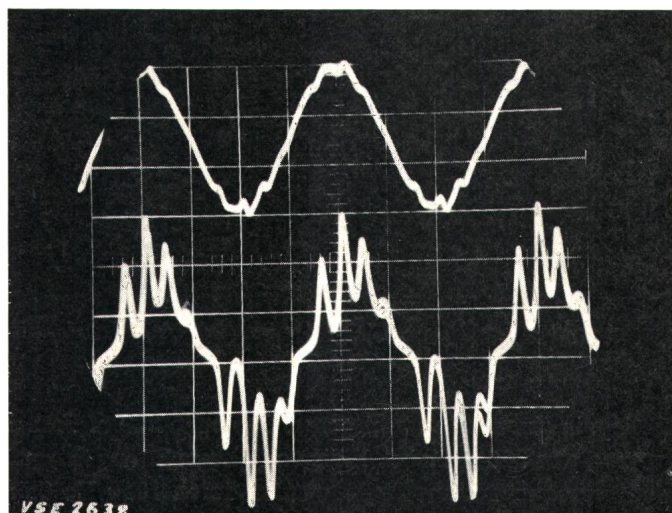


Fig. 6

kurve am Netzeingang und Tabelle II den entsprechenden Oberwellengehalt.

- In einem landwirtschaftlichen Betrieb mit kleiner Werkstätte hat ein Elektroschweißgerät den dort eingesetzten Netzkommandoempfänger derart beeinflusst, dass der in diesem Betrieb installierte Maximumzähler mit Fernrückstellung die Belastung mehrmals monatlich registrierte. Das Schweißgerät für wahlweisen Anschluss an 220 V und 380 V ist thyristorgesteuert. Der Anschlusswert beträgt 6,1 kVA bzw. 7,6 kVA, je nach der gewählten Anschlußspannung. Bilder 4 und 5 zeigen die Strom- und Spannungskurven im Leerlauf und unter Last, und in Tabelle III sind die Oberschwingungen im Leerlauf festgehalten. Die Liegenschaft wird über 646 m Freileitung plus 130 m Kabel versorgt und liegt an einem Netztransformator von 420 kVA Leistung.
- In einer Liegenschaft, welche über 392 m Freileitung

plus 30 m Kabel an einem Netztransformator von 100 kVA Leistung angeschlossen ist, werden zwei 220-V-Heizöfen von je 1000 Watt ohmscher Last durch Regler mit Phasenanschnittsteuerungen stufenlos reguliert.

Den durch 1 oder 2 Regler bei gleichen Anschnittwinkeln verursachte Oberschwingungsgehalt zeigt Tabelle IV, und die Kurvenformen von Strom und Spannung sind in Bild 6 festgehalten.

Bei nur einem eingeschalteten Ofen wird das Bild eines Fernsehapparates durch waagrechte Striche gestört (Bild 7). Bei beiden Öfen mit gleichen Anschnittwinkeln im Parallelbetrieb wird der dort installierte Netzkommandoempfänger mit einer Störspannung der 21. Ordnungszahl zu Falschbefehlen veranlasst. Die gemessene einphasige Kurzschlussleistung beträgt am Hauptanschluss der betreffenden Liegenschaft ca. 84 kVA. Gemäss den Empfehlungen des VSE dürfte an diesem Netzpunkt ein Gerät mit maximal 840 Watt Reglerleistung einphasig angeschlossen werden.



Fig. 7

Zusammenfassung

Die Aufrechterhaltung einer unverzerrten Sinuskurve und damit die Garantie für eine gut funktionierende Energieversorgung wird in Frage gestellt, wenn Geräte mit Phasenanschnittsteuerungen grösserer Leistungen und Stückzahlen im Haushalt und in der Industrie Eingang finden würden. An praktischen Beispielen wird gezeigt, warum der VSE die Begrenzung solcher Geräte als notwendig erachtete und entsprechende Empfehlungen ausarbeitete. Durch die Begrenzung der Leistungen wird erwartet, dass die Phasenanschnittsteuerung für jene Geräte nicht Anwendung findet, welche mit anderen Mitteln ebenso zufriedenstellend geregelt werden können.

Literatur

- Chun, E.: Entstehung und Begrenzung elektrischer Störungen bei der Lichtsteuerung. BBC-Nachrichten, Juli 1968, S. 400...406.
Kitten, H.: Netzoberwellen durch thyristorgesteuerte Spannungsregler. E. und M. 86(1969), S. 424...427.

- Limann, O.: Schwingungspaketsteuerungen mit Thyristoren und Triacs. Funkschau 40(1968), S. 589...590.
Meyer, D.; Gierse, G.: Thyristorstellglieder kleiner Leistung für Haushalt und Gewerbe. BBC-Nachrichten 50(1968), S. 159...165.
Müller-Lübeck, K.: Gleichrichter in halbgesteuerter Einphasen-Brückenschaltung und Wechselstromsteller. BBC-Nachrichten 50(1968), S. 136...143.
Schmucki, W.: Die Rückwirkungen der elektronischen Energieregler auf die elektrischen Verteilnetze. VSE Nr. 5 (1968).
G. Bretschneider; B. Zube; K. B. Nevries; E. Waldmann: Beeinflussung der Netze durch Geräte mit Phasenanschnittsteuerung. Elektrizitätswirtschaft Heft 8 (1970), S. 228...236.
Empfehlungen über den Anschluss von Thyristoren mit Phasenanschnittsteuerung. Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke, VSE, Juli 1969. Thyristor controls for domestic electrical appliances. The Electricity Council, Informations for the press, C/PR 389, Juli 1967.

Adresse des Autors:

H. Mühlethaler, Chef der Abteilung für Mess- und Fernwirkanlagen, Central-schweizerische Kraftwerke AG, Luzern.

Mitteilungen

Bericht der Eidgenössischen Materialprüfungs- und Versuchsanstalt für Industrie, Bauwesen und Gewerbe über die Ergebnisse der Stangenkontrollen 1967 in den Versuchsfeldern Rathausen und Starkenbach vom 1. Dezember 1969

In den beiden Versuchsfeldern Rathausen und Starkenbach wurden im Laufe von 15 Jahren über 650 mit verschiedenartigen Schutzmitteln behandelte Holzstangen gestellt und auf ihr Verhalten geprüft. Um Zufallsresultate auszuschliessen, wird der Boden rings um die Stangen periodisch mit einem Pilzgemisch infiziert. Zur Kontrolle des Gesundheitszustandes des Holzes werden die Stangenabschnitte bis auf 40 cm Tiefe aufgedrückt, freigelegt und äusserlich von der anhaftenden Erde befreit. Als Hilfsmittel dienen Zuwachsbohrer, Hammer und Dreikantspitz. Die gefundenen Zustände werden im Kartothekblatt jeder Stange festgehalten.

Wir entnehmen nachfolgend einzelne Abschnitte aus dem Bericht der von Herrn Dr. Wälchli, Leiter der biologischen Abteilung der Eidgenössischen Materialprüfungs- und Versuchsanstalt für Industrie, Bauwesen und Gewerbe, verfasst wurde.

1. Grundimprägnierungen

Als ungenügend erwiesen sich das Boucherieverfahren mit Kupfersulfat, das Trogsaugverfahren mit Basilit UA (CFA-Salz), das Osmoseverfahren mit UA Salz (CFA-Salz), das Kyanisierverfahren mit Sublimat, das Boucherieverfahren mit einem Boliden-Chrom-Arsen-Salzmischung (ohne Kupfer), die Imprägnierungen mit DD-Diffusions-Salz-Emulsionen, die Tauchimprägnierung mit Solignum sowie das Osmose-Verfahren mit Wolmanit UAP (CFA-Salz). Bei allen diesen Verfahren liegen die mittleren Fäulnisfaktoren bei 33 100%.

Gute bis genügende Resultate ergaben die Anstriche mit Xylophen SGR, das Impfstichverfahren Fa. Kind, das Osmoseverfahren mit Wolmanit UARK (saures CFA-Salz), das Boucherieverfahren mit Wolmanit UA Reform (saures CFA-Salz) und das Boucherieverfahren mit Kupfersulfat-Boliden BIS-Salz.

Unter den einfachen Imprägnierungen erwiesen sich die Teeröltränkungen im Kesseldruck- resp. Kesseldruck-Stech-Verfahren als sehr gut. Bei den weiteren Verfahren, die bisher ohne Schaden blieben, kann eine endgültige Beurteilung erst nach längerer Versuchszeit durchgeführt werden. Immerhin kann auch für die Stangen der beiden Versuchsgruppen Kesseldrucksaugverfahren mit Wolmanit UA Reform und Wechseldruckverfahren mit Bolidensalz K 33,

die 6 resp. 9 Jahre in den Versuchsfeldern stehen, eine gute Prognose gestellt werden.

2. Doppelstockschutzverfahren

Von den Doppelstockschutzverfahren erwiesen sich das Boucherieverfahren mit Impfstichbehandlung teilweise und die Tiefkyanisierung kombiniert mit Teerölbehandlung im Estradeverfahren durchwegs auch nach 15 Jahren als sehr gut. Nach 10jähriger Versuchsdauer waren die geimpften Proben mit einzelnen Ausnahmen einwandfrei. Nach 15 Jahren konnten verschiedene Schäden festgestellt werden. Es ergibt sich daraus, dass nach etwa 10 Jahren eine Nachimpfung fällig wird, wenn Schäden vermieden werden sollen. Weniger günstige Resultate ergaben die Fournoseverfahren, das aufeinanderfolgende Boucherisieren mit Kupfersulfat und UA-Salz (im Fuss), der Doppelstockschutz mit Boliden BIS-Salz und Kupfersulfat, sowie mit DD-Diffusions-salz-Emulsion.

3. Doppelstockschutzversuche, Herbst 1954

Die im Herbst 1954 angesetzten Doppelstockversuche ergaben für das Impfstichverfahren gute bis sehr gute Resultate. Nach 10 Jahren erwiesen sich alle Proben als intakt, während nach 13 Jahren aufgrund eines beginnenden Schadens für das Cobra-Salz ein Fäulnisfaktor von 6% resultierte. Auch diese Resultate zeigen, dass nach etwa 10 Jahren die Impfbildung wiederholt werden sollte. Unter den Anstrichverfahren erwiesen sich auf mit Kupfersulfat boucherisierten Stangen das Witoxyl hell, das Hordazit PU, das Osmolit, das Solignum, das Produkt D 903 und Cobra-Tox als gut.

Etwas weniger günstig, aber immer noch befriedigend, sind die Resultate mit Carbolineum PTT und Avenarius Carbolineum ausgefallen. Die Bohrlochtränkung mit Xylamon ergab keine sichere Wirkung, weil sich das ölige Schutzmittel im feuchten Holz in der Bodenzone nicht verteilen kann. Die gute Wirkung der ausgeführten Schutzbehandlung ist immer auf eine kombinierte Wirkung der Grundimprägnierung mit Kupfersulfat und der Doppelstockschutzbehandlung zurückzuführen.

Nachbehandlungsverfahren Herbst 1954

Die Nachbehandlungsverfahren werden durchwegs auf Stangenproben ohne jede Grundimprägnierung geprüft. Dadurch ist die Prüfung sehr viel strenger. Vermorschungsschäden treten wesentlich rascher auf. Es wird dadurch möglich, in relativ kurzer Zeit eine deutliche Differenzierung in der Wirkung zwischen den einzelnen Verfahren zu erreichen. Die vorliegenden Resultate zeigen, dass das