

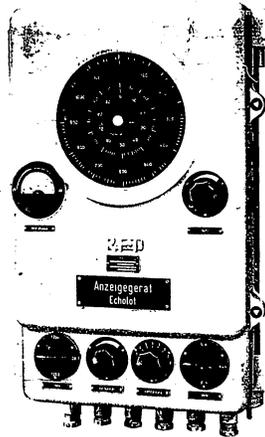
50X1-HUM

Page Denied

Next 2 Page(s) In Document Denied

Echolotanlage

Typ ELA-10



Zweck der Anlage:

Die Anlage ist zum Einbau auf Schiffen vorgesehen und dient zur Bestimmung der Wassertiefen.

Arbeitsweise:

Eine in „m-Wassertiefe“ geeichte Skala gestattet fortlaufend, die augenblicklich unter dem Schiffsboden vorhandene Wassertiefe abzulesen. Zur Tiefenmessung wird von einem am Schiffsboden befindlichen Sender ein Ultraschallimpuls ausgestrahlt, der zum Meeresgrund läuft, dort reflektiert wird und als Echo zum Schiff zurückkommt. Aus der gesamten Laufzeit wird die Tiefe bestimmt.

Umfang des Gerätes:

- 1 Anzeigerät mit fünfstufigem Verstärker
- 1 Stoßgenerator SGE-10
- 1 Schwinger SWE-10 mit Gehäuse
- 1 Verteilerdose VTE-10
- 1 Umformer UGW 22

Technische Daten:

Zur Ablesung der Wassertiefe dient
der Bereich I von 0 . . . 100 m
und Bereich II von 0 . . . 1200 m

Messfrequenz: 31,75 kHz

Impulsdauer: etwa 1 m s

Impulsfolgefrequenz:
I 7,5 Hz II . . . IV: 0,625 Hz

Röhrenbestückung: Verstärker:

- 1 × ECH 11
- 1 × EF 11
- 1 × EF 12
- 1 × EL 12
- 1 × Thyatron OSW 3433 b 1

Stromversorgung:

220 V / 50 Hz

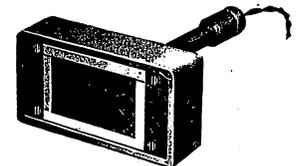
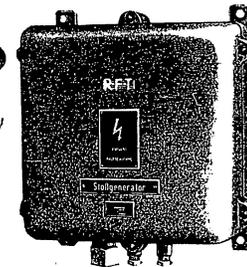
bei Fehlen eines Wechselstromnetzes

Umformer UGW 22, 220 V-/220 V, 50 Hz

oder 110 V-/220 V, 50 Hz

oder 24 V-/220 V, 50 Hz

Leistungsaufnahme aus dem Gleichstrom-Bordnetz etwa 400 W
Gewicht der Gesamtanlage ohne Kabel 125 kg



Schwinger SWE-10

Echolotanlage

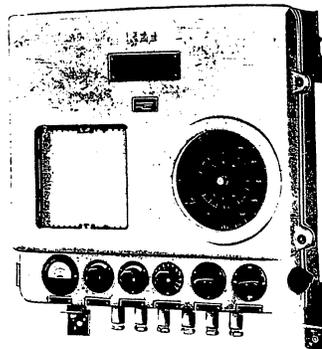
VEB FUNKWERK KÖPENICK
BERLIN-KÖPENICK · WENDENSCHLOSS-STR. 154/58

Weiter fertigen wir:
Schiffsfunk-Sende- und Empfangsgeräte 100 Watt
Sendegeräte Mittel-/Grenzwellen 100 Watt
Sendegeräte Kurzwellen 100 Watt
Mittelwellensender 10 Watt
Notsender 60 Watt
Notruf-Alärm- und Empfangsgeräte
Notruf- und Empfangsgeräte
Rettungsboot-Sende- und Empfangsgeräte
Echolotanlagen

Export-Information durch „DIA“ Deutscher Innen- und Außenhandel – Elektrotechnik –
Berlin C 2, Liebknechtstraße 14, Telegrammadresse: Dialektro Berlin.

Echografanlage

Typ EGA 10



Zweck der Anlage:

Die Anlage ist zum Einbau auf Schiffen vorgesehen und dient zur ununterbrochenen Bestimmung der Wassertiefe.

Arbeitsweise:

Eine in „m-Wassertiefe“ geeichte Skala gestattet fortlaufend, die augenblicklich unter dem Schiffsboden vorhandene Wassertiefe abzulesen. Gleichzeitig werden die vorhandenen Tiefenwerte laufend auf einem Papierstreifen registriert.

Zur Tiefenmessung wird von einem am Schiffsboden befindlichen Sender ein Ultraschallimpuls ausgestrahlt, der zum Meeresgrund läuft, dort reflektiert wird und als Echo zum Schiff zurückkommt. Aus der gesamten Laufzeit wird die Tiefe bestimmt.

Umfang des Gerätes:

- 1 Anzeigegerät mit 5stufigem Verstärker und Schreiber
- 1 Stoßgenerator SGE-10
- 1 Schwinger SWE-10 mit Gehäuse
- 1 Verteilerdose VTE-10
- 1 Umformer UGW 22

Technische Daten:

Zur Ablesung der Wassertiefe dient
der Bereich I von 0 ... 100 m
und Bereich II von 0 ... 1200 m

Die Registriereinrichtung ist aufgeteilt in
Bereich I von 0 ... 400 m
Bereich II von 400 ... 800 m
Bereich III von 800 ... 1200 m

Messfrequenz: 31,75 kHz

Impulsdauer: etwa 1 m s

Impulsfolgefrequenz:

I: 7,5 Hz II ... IV: 0,625 Hz

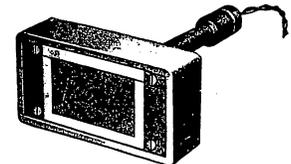
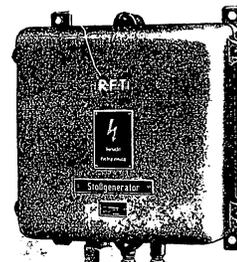
Röhrenbestückung: Verstärker:

- 1 × ECH 11
- 1 × EF 11
- 1 × EF 12
- 1 × EL 12
- 1 × Thyatron OSW 3433b.1

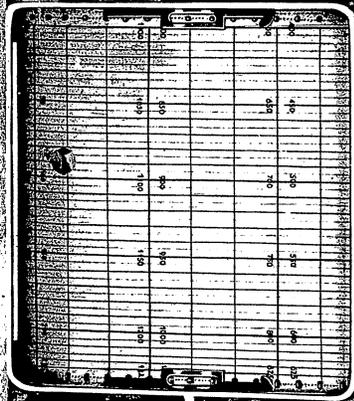
Stromversorgung:

220 V 50 Hz
bei Fehlen eines Wechselstromnetzes
Umformer UGW 22, 220 V- 220 V, 50 Hz
oder 110 V- 220 V, 50 Hz
oder 24 V- 220 V, 50 Hz

Leistungsaufnahme aus dem Gleichstrom-Bordnetz: etwa 400 W
Gewicht der Gesamtanlage ohne Kabel 125 kg



Schwinger SWE-10



Echografanlage

VEB FUNKWERK KÖPENICK

BERLIN-KÖPENICK · WENDENSCHLOSS-STR. 154/58

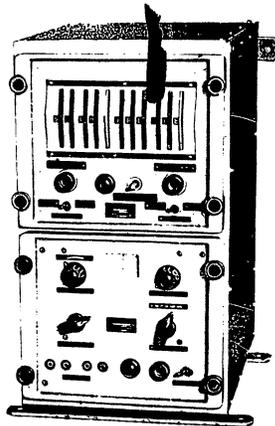
Weiter fertigen wir:
Schiffsfunk-Sende- und Empfangsgeräte 100 Watt
Sendegeräte Mittel-/Grenzwelle 100 Watt
Sendegeräte Kurzwelle 100 Watt
Mittelwellensender 10 Watt
Notsender 60 Watt
Notruf-Alarm- und Empfangsgeräte
Rettungsboot-Sende- und Empfangsgeräte
Echografanlagen
Echolotanlagen

Export-Information durch «DIA» Deutscher Innen- und Außenhandel – Elektrotechnik –

Berlin C 2, Liebknechtstraße 14, Telegrammadresse: Dialektro Berlin.

Notruf- und Empfangsgerät

Typ 1353.3 A



Das Notruf- und Empfangsgerät ist zur Aufstellung im Funkraum eines Schiffes bestimmt.

Es dient dazu, im Seenotfalle das Alarmzeichen und den Notruf automatisch auf den Schiffssender zu tasten.

Außerdem ermöglicht es den Empfang von A_1 , A_2 und A_3 -Sendungen im Kurz- und Mittelwellen-Seefunkbereich.

Folgende Normeinschübe sind in einem gemeinsamen Gestell untergebracht:

1. Automatischer Notrufgeber Typ 1673.5 A 1
2. Notempfänger Typ 1340.9 A 1

Die Einschübe lassen sich aus dem Gestell herausziehen, so daß jedes Bauteil leicht zugänglich ist.

Der elektrische Anschluß der Geräte erfolgt durch Messerleisten an der Rückseite der Einschübe. An den Frontplatten befinden sich sämtliche Bedienungsknöpfe, Skalen, Sicherungen usw.

Zu 1. Automatischer Notrufgeber

Der Notrufgeber enthält 2 Tastgeräte

1. Alarmzeichengeber
2. Notrufgeber

Das Alarmzeichen besteht aus einer Folge von 12 Zeichen, von je 4 sec. Dauer mit dazwischenliegender Pause von je 1 sec.

Der Notrufgeber hat folgenden Inhalt:

3 \times SOS, de, 3 \times Schiffsrufzeichen, Schiffsort nach geogr. Breite und Länge.

Sämtliche Zeichen können automatisch ununterbrochen auf den Sender getastet werden.

Stromversorgung: 24-V-Batterie

Leistungsaufnahme etwa 4 W.

Zu 2. Notempfänger

6-Kreis-Überlagerungsempfänger mit 2 umschaltbaren Frequenzbereichen:

Bereich I von 4-10 MHz (75 \div 30 m)

Bereich II von 350-540 kHz (856 \div 555 m)

Betriebsarten: A_1 , A_2 , A_3

Bandbreite A_1 schmal: \pm 80 Hz, beide Bereiche

Bandbreite A_1 breit A_2 A_3 Bereich I: \pm 3 kHz

Bandbreite A_1 breit A_2 A_3 Bereich II: \pm 2,5 kHz

Empfindlichkeit: Erforderliche Eingangs-Spannung zur Erzeugung: Von 2 mW am Kopfhörer \leq 50 μ V

Röhrenbestückung: 2 \times 6 SA 7
2 \times 6 SK 7
1 \times 6 X 5

Max. Ausgangsleistung: 50 mW

Abschlußwiderstand: 2000 Ohm

Stromversorgung: 220 V, 50 Hz

Leistungsaufnahme: ca. 20 VA

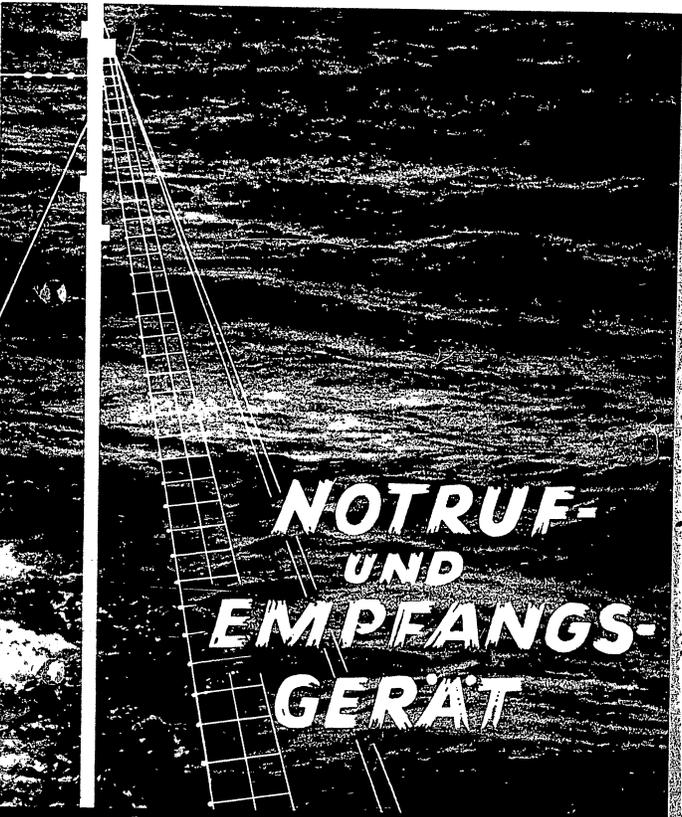
Abmessungen des Gesamtgerätes:

Höhe: etwa 465 mm

Tiefe: 420 mm

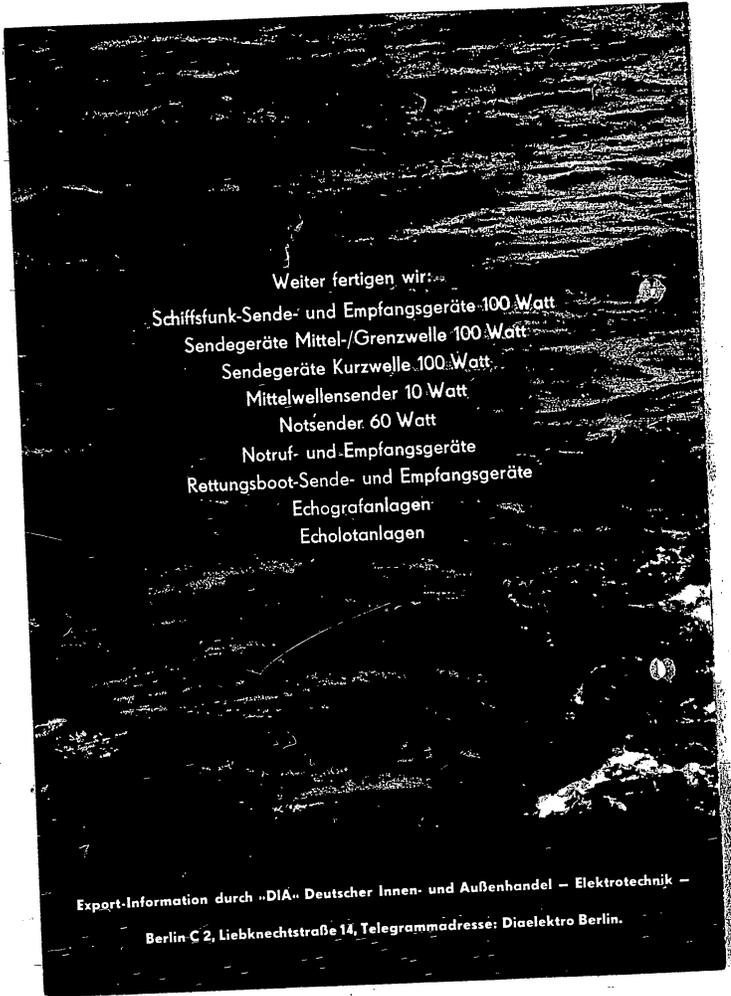
Breite: etwa 310 mm

Gewicht: etwa 32 kg



**NOTRUF-
UND
EMPFANGS-
GERÄT**

VEB FUNKWERK KÖPENICK
BERLIN-KÖPENICK · WENDENSCHLOSS-STR. 154/58



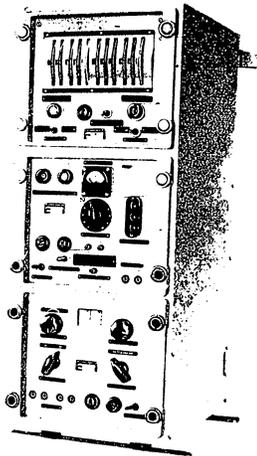
Weiter fertigen wir:

- Schiffsfunk-Sende- und Empfangsgeräte 100 Watt
- Sendegeräte Mittel-/Grenzwellen 100 Watt
- Sendegeräte Kurzwellen 100 Watt
- Mittelwellensender 10 Watt
- Notsender 60 Watt
- Notruf- und Empfangsgeräte
- Rettungsboot-Sende- und Empfangsgeräte
- Echografanlagen
- Echolotanlagen

Export-Information durch "DIA" Deutscher Innen- und Außenhandel - Elektrotechnik -
Berlin C 2, Liebknechtstraße 14, Telegrammadresse: Diaelektro Berlin.

Notruf- Alarm- und Empfangsgerät

Typ 1353.2 A 1



Zweck und Aufbau:

Das Notruf-Alarm- und Empfangsgerät ist zur Aufstellung im Funkraum eines Schiffes bestimmt. Es dient zur automatischen Überwachung der Seenotwelle (600 m) und bei eigenem Seenot-Fall zur Tastung des Notsenders ohne personellen Einsatz. Weiterhin ist der Empfang von A_1 , A_2 und A_3 -Sendungen im Kurz- und Mittelwellen-Sekundärbereich möglich. Folgende Normeinschübe sind in einem gemeinsamen Gestell untergebracht:

1. Automatischer Notrufgeber Typ 1673.5 A 1
2. Automatischer Alarmempfänger Typ 1643.3 A 1
3. Notempfänger Typ 1340.9 A 1

Die Einschübe lassen sich aus dem Gestell herausziehen, so daß jedes Bauteil leicht zugänglich ist. Der elektrische Anschluß der Geräte erfolgt durch Messerleisten an der Rückseite der Einschübe. An den Frontplatten befinden sich sämtliche Bedienungsknöpfe, Skalen, Meßinstrumente und Sicherungen.

Zu 1. Automatischer Notrufgeber

Der Notrufgeber enthält 2 Tastgeräte:

1. Alarmzeichengeber
2. Notrufgeber

Das Alarmzeichen besteht aus einer Folge von 12 Zeichen von je 4 sec. Dauer mit dazwischenliegenden Pausen von je 1 sec.

Der Notruf hat folgenden Inhalt:

3 x SOS, de, 3 x Schiffsrufrzeichen, Schiffsort nach geogr. Breite und Länge.

Sämtliche Zeichen werden ununterbrochen automatisch auf den Sender getastet.

Stromversorgung: 24-V-Batterie
Leistungsaufnahme etwa 4 W.

Zu 2. Automatischer Alarmempfänger:

Der automatische Alarmempfänger ist das Gegengerät zum automatischen Notrufgeber und dient zur Überwachung der Seenotwelle (600 m) ohne personellen Einsatz. Beim Eintreffen von mindestens 4 Alarmzeichen werden ein oder mehrere optische oder akustische Alarmsignale in Tätigkeit gesetzt.

Das Gerät besteht aus dem Festwellenempfänger und dem Selektor zur Auswahl des Alarmzeichens und Einschaltung der Alarmanlage, dem Präzisionsoszillator und Prüfzeichengeber zur Prüfung des Empfängers und Selektors.

Technische Daten:

Frequenz: 500 kHz (600 m Seenotwelle)

Bandbreite: ± 8 kHz

Betriebsart: A_1 , A_2 , B

Röhren-Best. 8 x EF 12

2 x EF 14

1 x E Z 12

1 x Si V 280.40

Stromversorgung: 220 V 50 Hz u. 24 V-Batterie

Leistungsaufnahme: etwa 70 Watt

Zu 3. Notempfänger:

6 Kreis-Überlagerungsempfänger mit zwei umschaltbaren Frequenzbereichen.

Bereich I von 4—10 MHz (75 \pm 30 m)

II „ 350—540 kHz (856 \pm 555 m)

Betriebsarten: A_1 , A_2 , A_3

Bandbreite A_1 schmal: 80 Hz

Bandbreite A_1 breit A_2 , A_3 Bereich I: 3 kHz

Bandbreite A_1 breit A_2 , A_3 Bereich II: 2,5 kHz

Empfindlichkeit: Erforderliche Eingangsspannung zur Erzeugung: Von 2 mW am Kopfhörer ≤ 50 μ V

Max. Ausgangsleistung: 50 mW

Abschlußwiderstand: 2000 Ohm

Stromversorgung: 220 V/50 Hz

Leistungsaufnahme: etwa 20 VA

Röhrenbestückung: 2 x 6 SA 7

2 x 6 SK 7

1 x 6 X5

Abmessungen der Gesamtanlage:

Höhe: 680 mm

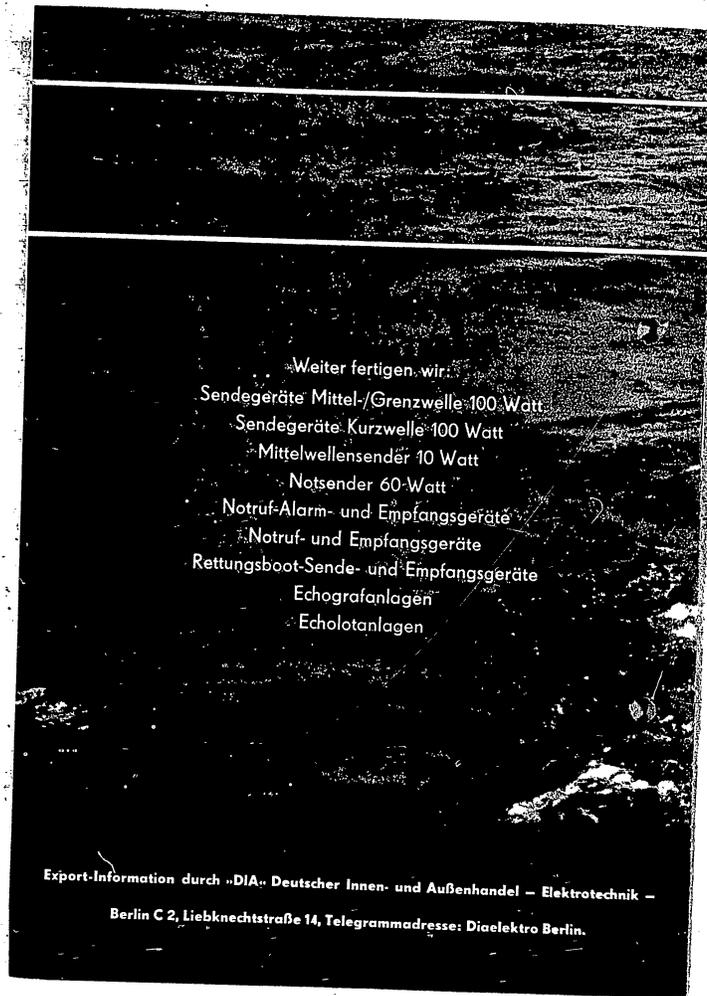
Tiefe: 420 mm

Breite: 310 mm

Gewicht: ca. 43 kg

**NOTRUF-
ALARM-
UND
EMPFANGS-
GERÄT**

VEB FUNKWERK KÖPENICK
BERLIN-KÖPENICK · WENDENSCHLOSS-STR. 154/58



Weiter fertigen wir:

- Sendegeräte Mittel-/Grenzwellen: 100 Watt
- Sendegeräte Kurzwellen: 100 Watt
- Mittelwellensender 10 Watt
- Notsender 60 Watt
- Notruf-Alarm- und Empfangsgeräte
- Notruf- und Empfangsgeräte
- Rettungsboot-Sende- und Empfangsgeräte
- Echografanlagen
- Echolotanlagen

Export-Information durch -DIA- Deutscher Innen- und Außenhandel - Elektrotechnik -
Berlin C 2, Liebknechtstraße 14, Telegrammadresse: Diaelektro Berlin.

optische oder akustische Alarmsignale in Tätigkeit gesetzt. Das Gerät besteht aus dem Festwellenempfänger und einem Selektor zur Auswahl der Alarmsignale und Einschaltung der Alarmanlage, dem Prüf-Oscillator und Prüfzeichengeber zur Prüfung des Empfängers und Selektors.

TECHNISCHE DATEN

Frequenz: 500 kHz (600 m Seentwelle)
 Bandbreite: ± 8 kHz
 Betriebsart: A₁, A₂, B
 Röhrenbestückung: 2 EF 14, 8 EF 12, 1 EZ 12, 1 STV 280/40

Stromversorgung:

Die Stromversorgung erfolgt:

1. Vom Bordnetz 220 Volt/50 Hz direkt.
2. Über Umformersatz für Normalbetrieb (Bordnetzspannung).
 - a) Umformer-Aggregat für Sender, bestehend aus einem Gleichstrom-Antriebsmotor für 110 V = bzw. 220 V = und einem gekuppelten Wechselstrom-generator 220 Volt/50 Hz mit einer Abgabeleistung von 1 kVA. Die Regelung dieser abgegebenen Wechselspannung erfolgt durch Beeinflussung des Generatorfeldes in Verbindung mit einem Kohledruckregler.
 - b) Einanker-Umformer für Auto-Alarmpfänger und Allwellenempfänger. Eingangsspannung 110 V = beziehungsweise 220 V =, Ausgangsspannung 220 Volt/50 Hz mit einer Abgabeleistung von 120 VA.
3. Über Umformersatz für Notbetrieb (24 Volt-Batterie)
 Umformer-Aggregat für Sender, bestehend aus einem Gleichstrom Antriebsmotor 24 Volt und einem gekuppelten Wechselstrom generator 220 Volt/50 Hz mit einer Abgabeleistung von 750 VA.

Leistungsaufnahme:

Automatischer Alarmpfänger etwa 70 VA
 Allwellenempfänger etwa 55 VA
 Empfänger und Sender „Vorheizen“ etwa 360 VA
 Sendung: A₁-Betrieb etwa 560 VA
 Sendung: A₂-Betrieb etwa 750 VA
 Bei Betrieb mit Notbatterie kann mit reduz. Leistung etwa 30-50 W gearbeitet werden.

Größe der Notbatterie:

Um einen 6-stündigen Notbetrieb mit Sender und Empfänger durchführen zu können, müssen die Notbatterien eine Fassungskapazität von mindestens 260 A/h bei 24 Volt besitzen.

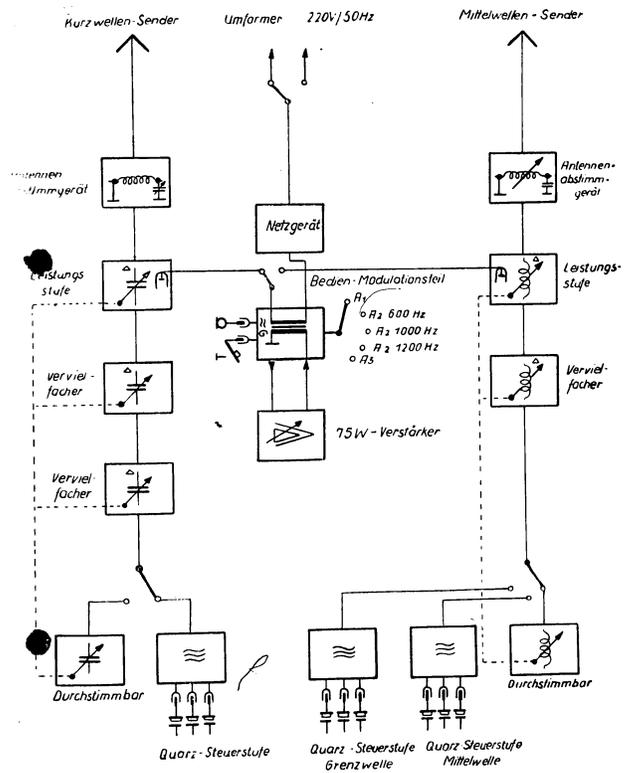
Abmessung der Gesamtanlage:

Breite: 1230 mm Höhe: 1250 mm Tiefe: 420 mm

Gewicht der Gesamtanlage: etwa 350 kg

Abmessungen und Gewicht der Umformer für Normalbetrieb:

Aggregat mit Grundplatte:
 Länge: 880 mm Breite: 370 mm Höhe: 410 mm Gewicht: 128 kg
 Einanker-Umformer für Empfänger:
 Länge: 295 mm Breite: 245 mm Höhe: 235 mm Gewicht: 15 kg



Blockschaltbild Schiffsfunk-Sende- und Empfangsgerät 100 Watt

BT ZGL 1045 15 Trang Nr. 5042 53 A 0506 53

Das Modulationsteil befindet sich im Bediengerät. Ein Mikrofonverstärker verstärkt die vom Kohlemikrofon (Telefon-Handapparat) kommende Sprechspannung. Zur Vermeidung eines unzulässig hohen Modulationsgrades wird die Modulationsspannung von einem Schwellwert ab, der einer normalen Sprechlautstärke entspricht, automatisch geregelt.

Bei A₂-Betrieb liefert ein LC-Generator die Tonfrequenzen 800, 1000, 1200 Hz, die sich wahlweise eintönen lassen.

Zur Tastung des Senders dient ein Relais, dem ein Mithör-Relais parallel geschaltet ist, das bei A₁- und A₂-Betrieb den Kopfhörer am Empfänger an die Mithöreinrichtung schaltet.

Röhrenbestückung: 1 × EF 11, 1 × EBF 11,
1 × EF 12, 1 × 6 H 6,
1 × EF 14,

Mittel-Grenzwellensender:

Der Mittel-/Grenzwellensender ist ein 3stufiger Röhrensender mit einer durchstimmbaren Steuerstufe und umschaltbar auf eine gesonderte Steuerstufe, mit der 3 Festfrequenzen je Bereich eingeschaltet werden können. Die Festfrequenzen können mit Quarzen stabilisiert werden. An die Steuerstufe schließen sich die Verdoppler- und Endstufe an.

An Stelle des Einschubes Typ 1600.1 A 1 kann der Einschub Typ 1603.1 A 1 verwendet werden, bei dem es möglich ist, mit beliebigen Quarzfrequenzen zu arbeiten.

Der Frequenzbereich ist aufgeteilt in:
Bereich I 0,365 – 0,550 MHz (820 – 545 m)
Bereich II 1,600 – 3,000 MHz (188 – 100 m)

Röhrenbestückung: 1 × EF 14, 1 × LV 3, 2 × P 50.

Quarzbestückung:

Mittelwelle: 3 Vakuumquarze nach Zeichnung Nr. 364614 (Ans. 2) Zeiss-Jena
Grenzwelle: 3 Schwingquarze 25 nach Zeichnung Nr. 364611 (Ans. 2) Zeiss-Jena

Die Quarzfrequenzen sind an die vom PFZ freigegebenen Betriebsfrequenzen für den Mittel-Grenzwellenbereich gebunden und betragen 1, der ausgestrahlten Arbeitsfrequenzen.

Kurzwellensender:

4-stufiger Röhrensender mit einer durchstimmbaren Steuerstufe und umschaltbar auf eine gesonderte Steuerstufe für 3 Festfrequenzen und deren Harmonischen in den nach Atlantic-City zugelassenen Seefunkbändern. Die 3 Festfrequenzen sind innerhalb der Seefunkbänder abgleichbar und können mit und ohne Quarze betrieben werden. An die Steuerstufe schließen sich 2 Vervielfacher-Stufen an, die je nach Frequenzbereich die Steuerfrequenz verdoppeln, vervierfachen, verdachtfachen und danach der Endstufe zugeführt werden.

Das Frequenzband ist aufgeteilt in:
Bereich III 3 – 6 MHz (100 ± 50 m)
Bereich IV 6 – 12 MHz (50 ± 25 m)
Bereich V 12 – 24 MHz (25 ± 12,5 m)
Röhrenbestückung: 3 × EF 14, 1 × LV 3, 2 × P 50

Quarzbestückung:

3 Schwingquarze 17 nach Zeichnung Nr. 364610 (Ans. 2) von VEB Zeiss-Jena. Die Quarzfrequenzen müssen innerhalb des Seefunkbandes liegen und betragen die Hälfte der im Bereich III ausgestrahlten Frequenz.

An Stelle des Einschubes Typ 1604.2 A 1 kann der Einschub Typ 1602.3 A 1 verwendet werden, bei dem es möglich ist, die drei eingestellten Festfrequenzen durch drei beliebige Quarze im Bereich von 1,5 bis 3 MHz zu stabilisieren, von denen die zweite, vierte und achte Harmonische ausgestrahlt werden.

Für beide Sender gilt:
Frequenztoleranz: Bereich I ± 0,1 " " Bereich II – V ± 0,2 " "
Leistung: A₁-Betrieb 100 W
A₂-Betrieb 100 W | auf allen Bereichen
A₃-Betrieb 100 W

Betriebsarten: A₁, A₂, A₃
Tastung: Gittersperrspannungstastung an den Röhren der Vervielfacherstufen

Modulation: Anodenmodulation
Modulationsgrad: 0–80 " " einstellbar

Die Modulationsfrequenz bei A₂ ist auf 800, 1000 oder 1200 Hz einstellbar. Bei A₃-Betrieb Dynamik-Kompression und Frequenzbereich von 300–3400 Hz.

Klirrfaktor: max. 10 " " bei 800 Hz und m = 80 " "
Störten: – 40 db bezogen auf 80 " " Modulationsgrad

Oberwellen: Für alle Ausstrahlungen außerhalb der eingestellten Frequenz = – 40 db
Abstimmung: Einknopfabstimmung mit optischer Feinskala
Frequenzinstellgenauigkeit: 1 × 10 " "

Telefriegeschwindigkeit: 200 Zeichen/min.

Antennen-Abstimmergerät (Mittelwelle):

Der Anschluß des Senders an das Antennen-Abstimmergerät erfolgt über ein 60-Ohm-Kabel. Als Abstimmanzeige dient ein Dioden-Voltmeter. Der Sender kann an die üblichen Schiffsantennen mit der statischen Antennenkapazität von 200 – 800 pF bei einem Antennenwiderstand von 2,5 – 10 Ohm angeschlossen werden.

Antennen-Abstimmergerät (Kurzwelle):

Abstimmanzeige und Anpassung an das Abstimnteil erfolgt wie bei dem Antennen-Abstimmergerät Mittel. Der Sender kann an beliebige Antennen angeschlossen werden. (Empfohlen wird eine Schrägdraht-Antenne 25 m Länge.)

Notrufgeber:

Der Notrufgeber enthält 2 Tastgeräte:
1. Alarmzeichengeber, 2. Notrufgeber.

Das Alarmzeichen besteht aus einer Folge von 12 Zeichen von je 4 Sekunden Dauer mit dazwischenliegender Pause von 1 Sekunde.

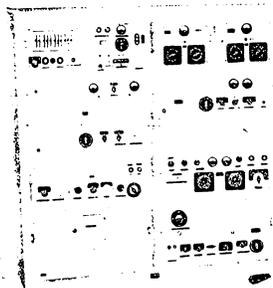
Der Notruf hat folgenden Inhalt:
3 × SOS, de, 3 × Schiffsnummern und Schiffsort nach geographischer Breite und Länge.

Automatischer Alarmempfänger:

Der automatische Alarmempfänger ist das Gegengerät zum automatischen Notrufgeber und dient zur Überwachung der Seenotwelle (600 m) ohne personellen Einsatz. Beim Eintreffen von mindestens 4 Alarmzeichen werden ein oder mehrere

Schiffsfunk-Sende- und Empfangsgerät 100 Watt

Typ 1410.1 A1



ZWECK UND AUFBAU DES GERÄTES

Das Schiffsfunk-Sende- und Empfangsgerät wurde hauptsächlich für den Bedarf der Hochsee-Schifffahrt entwickelt und besteht aus den folgenden 10 Norm-Einschüben, die alle in einem gemeinsamen Gestell untergebracht sind:

- | | |
|--|----------------|
| 1. Netzgerät | Typ 1491.3 A 1 |
| 2. Allwellenempfänger | Typ 1340.5 A 1 |
| 3. 75-Watt-Verstärker | Typ 1581.1 A 1 |
| 4. Bediengerät | Typ 1493.1 A 1 |
| 5. Mittel-/Grenzwellensender | Typ 1600.1 A 1 |
| 6. Kurzwellensender | Typ 1604.2 A 1 |
| 7. Antennen-Abstimmgerät (Mittelwelle) | Typ 1554.6 A 1 |
| 8. Antennen-Abstimmgerät (Kurzwelle) | Typ 1554.5 A 1 |
| 9. Automatischer Notrufgeber | Typ 1673.3 A 1 |
| 10. Automatischer Alarmempfänger | Typ 1343.1 A 1 |

Für die Durchführung von Sendungen im Frequenzbereich 0,365 – 0,550 MHz (820 – 545 m) sowie 1,6 – 3 MHz (188 – 100 m) und 3,0 – 24 MHz (100 – 12,5 m)

sind zwei Sender-Einschübe, und zwar Mittel-/Grenzwellensender und Kurzwellensender, geschaffen worden. Beide Sender sind nebeneinander in einem Gestell untergebracht. Die Sender werden von einem gemeinsamen Netzgerät versorgt und von einem Bediengerät gesteuert, wobei aber nur jeweils ein Sender in

Betrieb genommen werden kann. Die Sender werden bei A₁- und A₂-Betrieb durch einen Modulations-Verstärker (75W-Verstärker) anodenmoduliert und haben je ein eigenes Antennen-Abstimmgerät und einen eigenen Antennenanschluß.
Für den Empfang von Sendungen im Bereich von 0,12 – 30 MHz (2500 : 10 m) ist ein Allwellenempfänger vorgesehen.
Zur Überwachung der Seenotwelle (600 m) bei nicht besetzter Station ist der automatische Alarmempfänger vorgesehen. Dieser Empfänger spricht auf die internationalen Alarmzeichen an und läßt Alarmsignale an Bord aus, die den Funker zum Abhören der eintreffenden SOS-Rufe an die Station rufen.
Bei eigenem Seenotfall werden durch den automatischen Notrufgeber die laut internationalen Abmachungen festgelegten Zeichen automatisch auf den Sender gesteuert.

TECHNISCHE DATEN

Netzgerät:

Das Netzgerät erfordert eine Betriebsanspannung 220 V/50 Hz, die je nach Art des Bordnetzes entweder direkt oder über Umformer aus dem Bordnetz 110 V = 220 V/50 Hz bzw. 220 V = 220 V/50 Hz und bei Notbetrieb aus der 24-Volt-Batterie über Umformer 24 Volt = 220 V/50 Hz entnommen werden kann.

Allwellenempfänger:

Frequenzbereich: 0,12 – 30 MHz, (2500 : 10 m) unterteilt in 8 durchstimmbare Bereiche und einen Festfrequenzbereich 9 für 500 kHz (600 m Seenotwelle).
Empfindlichkeit: Eingangsspannung für Na = 50 mW bei
Signalspannung = 3 : 1

Rauschspannung

Wellenbereiche: 1 . . . 8 = 3 µV bei A₁-Betrieb
Wellenbereich: 9 = 20 µV

Wellenbereiche: 1 . . . 8 = 10 µV bei A₂-Betrieb

Ausgangswerte: Abschlußwiderstand 600 und 2000 Ohm

Ausgangsleistung = 0,5 W

Eingang: symmetrische und unsymmetrische Antennenanncpplung

Röhrenbestückung: 3 : 6 SK 7 1 VR 150/30

2 : 6 SA 7 1 5 Z 4

1 : 6 AC 7 1 6 H 6

1 : 6 J 3

Netzanschluß: 75, 150, 220 V/40 . . . 60 Hz

75-Watt-Verstärker (Modulationsverstärker):

Ausgangsleistung: 75 W

Ausgangsspannung: 100 V

Eingangsspannung: 50 – 100 mW

Eingangswiderstand: 100 kOhm

Frequenzgang: 50 – 10 000 Hz ± 0,25 N

Klirrfaktor: 5 %

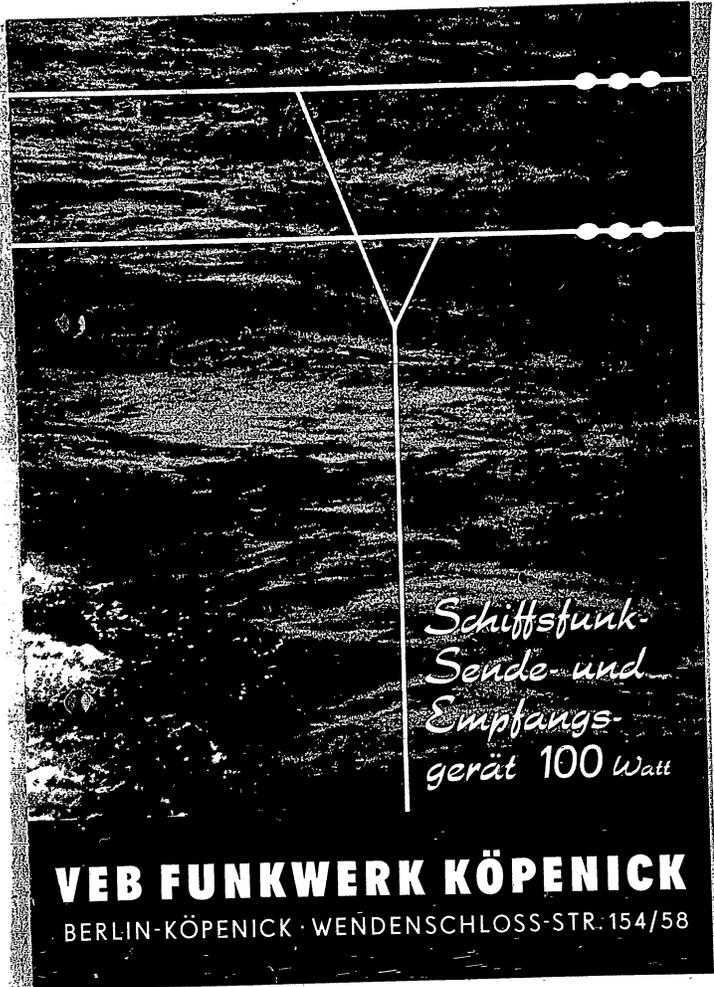
Sekundärer Belastungswiderstand: 133 Ohm

Netzanschluß: 110, 127, 220, 240 V/50 Hz

Röhrenbestückung: 3 : EF 12 2 : P 50

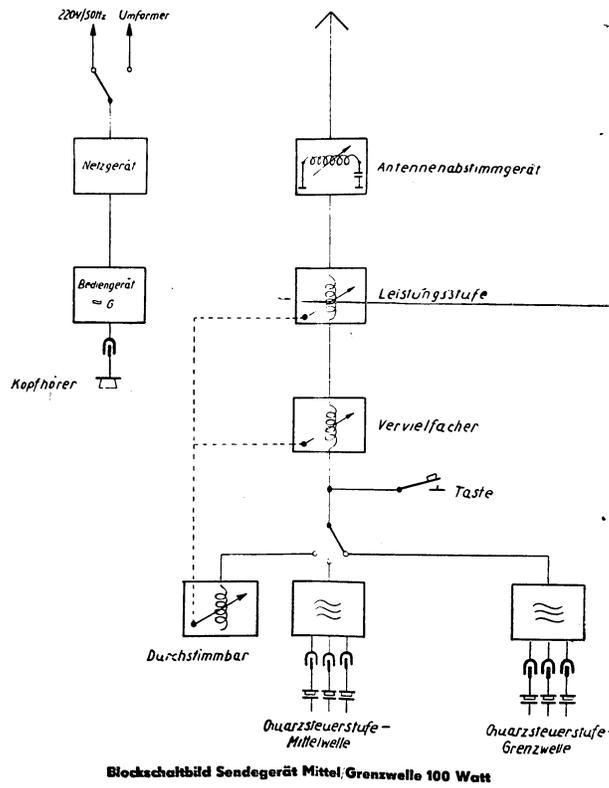
Bediengerät:

Die Stromversorgung des gesamten Gerätes wird vom Bediengerät aus geschaltet. Dieses hat drei Schalter, wovon Schalter 1 die Stromversorgungsart, Schalter 2 die Betriebsart und Schalter 3 die Modulationsart bestimmt.



*Schiffsfunk-
Sende- und
Empfangs-
gerät 100 Watt*

VEB FUNKWERK KÖPENICK
BERLIN-KÖPENICK · WENDENSCHLOSS-STR. 154/58



Weiter fertigen wir:
 Schiffsfunk-Sende- und Empfangsgeräte
 Sendegeräte Kurzwellen 100 Watt
 Mittelwellensender 10 Watt
 Notsender 60 Watt
 Notruf-Alarm- und Empfangsgeräte
 Notruf- und Empfangsgeräte
 Rettungsboot-Sende- und Empfangsgeräte
 Echografanlagen
 Echolotanlagen

Export-Information durch -DIA- Deutscher Innen- und Außen
 Berlin C 2, Liebknechtstraße 14, Telegrammadresse:

Stromversorgung:

Die Stromversorgung erfolgt: 1. vom Bordnetz 220/50 Hz direkt
2. über Umformer-Aggregat, gespeist von 110 V bzw. 220 V

Das Umformer-Aggregat besteht aus einem Gleichstrom-Antriebsmotor für 110 V = bzw. 220 V - und einem gekuppelten Wechselstromgenerator 220 V/50 Hz mit einer Abgabeleistung von 1 kVA.

Die Regelung dieser abgegebenen Wechselspannung erfolgt durch Beeinflussung des Generatorfeldes in Verbindung mit einem Kohledruckregler.

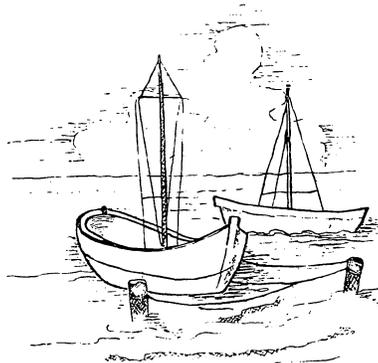
Leistungsaufnahme:

Heizung der Thermostaten	80 W
Sender - Vorheizen	350 VA
Sender - Betrieb	555 VA

Abmessungen:

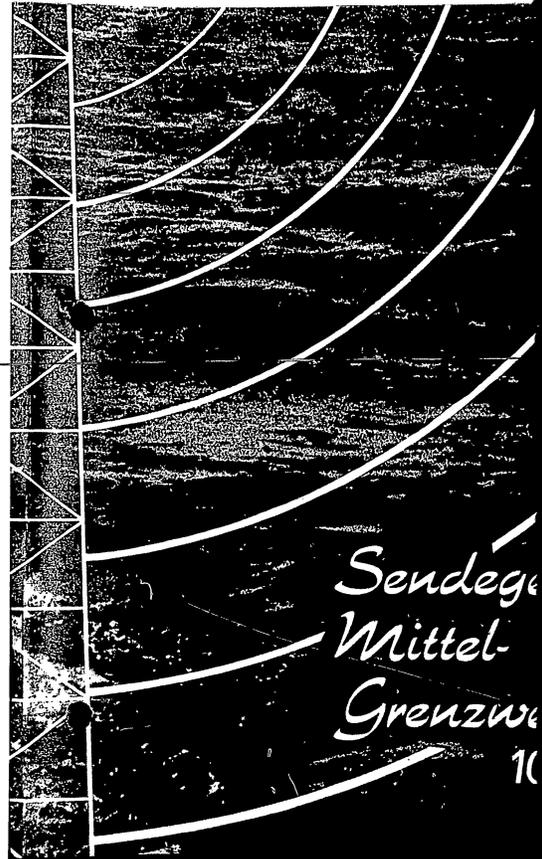
Höhe	1040 mm
Breite	570 mm
Tiefe	400 mm

Gewicht: etwa 110 kg



87 ZGL 1644 B 15 A 6056 53

Transp.-Nr. 5862 53

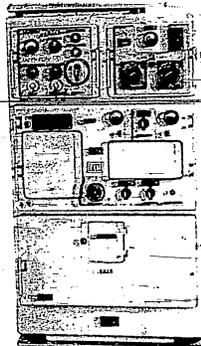


Sendegeräte
Mittel-
Grenzwerte
10

VEB FUNKWERK KÖP
BERLIN-KÖPENICK · WENDENSCHLOS

Sendegerät Mittel-/Grenzwellen 100 Watt

Typ 1510.1 A 1



ZWECK UND AUFBAU DES GERÄTES

Das Sendegerät wurde nach den Vorschriften des Seeregisters entwickelt und eignet sich besonders für den Funkdienst auf Schiffen, zum Einsatz auf Küstenfunkstellen sowie zum Presse-, Polizei- und Behörden-Funkdienst.

Das Gerät besteht aus:

- | | |
|---|----------------|
| 1. Netzgerät | Typ 1491.3 A 1 |
| 2. Bediengerät | Typ 1493.2 A 1 |
| 3. Mittel-/Grenzwellensender | Typ 1600.3 A 1 |
| 4. Antennenabstimmgerät (Mittel-/Grenzwellen) | Typ 1554.6 A 1 |

Sämtliche Geräte sind in einem gemeinsamen Gestell als Normeinschübe untergebracht. Nach Lösen der Schnellverschlüsse läßt sich jeder der Einschübe aus dem Rahmengestell herausziehen und um 45° nach unten kippen, so daß die einzelnen Bauteile leicht zugänglich sind. Die elektrische Verbindung der Geräte untereinander erfolgt durch Messerleisten an der Rückseite der Einschübe. An den Frontplatten befinden sich sämtliche Schalter, Bedienungsknöpfe, Skalen, Meßinstrumente und Sicherungen.

Netzgerät:

Das Netzgerät erfordert eine Betriebsspannung 220 V/50 Hz, die je nach Art des Bordnetzes entweder direkt oder über Umformer aus dem Bordnetz 110 V - 220/50 Hz bzw. 220 V = 220 V 50 Hz entnommen werden kann.

Bediengerät:

Die Stromversorgung des gesamten Gerätes wird vom Bediengerät aus geschaltet. Durch den Hauptschalter kann wahlweise die Netzspannung direkt oder der erforderliche Umformer eingeschaltet werden. Zur Tastung des Senders dient ein Relais, dessen Kontakt die Mithöreinrichtung an den Kopfhörer schaltet.

Mittel-/Grenzwellensender:

Der Mittel-/Grenzwellensender ist ein 3-stufiger Röhrensender mit einer durchstimmbaren Steuerstufe und ist umschaltbar auf eine gesonderte quarzstabilisierte Steuerstufe, mit der 3 beliebig wählbare Quarzfrequenzen je Bereich eingeschaltet werden können. An die Steuerstufe schließen sich die Verdoppler und die Endstufe an.

Das Frequenzband ist aufgeteilt in:

- | | | |
|------------|---------------------------------|--------|
| Bereich I | 0,365 - 0,550 MHz (820 - 545 m) | 0,1 % |
| Bereich II | 1,6 - 3 MHz (188 - 100 m) | 0,02 % |

- | | |
|-------------------------------------|---|
| Leistung: | 100 W im Leistungskreis auf allen Bereichen |
| Frequenztoleranz: | Auf allen Bereichen $\pm 0,2$ % |
| Betriebsart: | A ₁ - tonlos |
| Tastung: | Gittersperrspannungstastung an den Röhren der Vervielfacherstufen |
| Abstimmung: | Einknopfabstimmung mit optischer Feinskala |
| Frequenzeinstellgenauigkeit: | 1 · 10 ⁻⁴ |
| Telegrafiegeschwindigkeit: | 200 Zeichen/min. |
| Röhrenbestückung: | 1 · EF 14
1 · LV 3
2 · P 50 |

Quarzbestückung:

Mittelwelle: 3 Vakuumquarze nach Zeichnung Nr. 364614 (Ans. 2) Zeiss-Jena
Grenzwellen: 3 Schwingquarze nach Zeichnung Nr. 364611 (Ans. 2)
Die Quarzfrequenzen können beliebig gewählt werden und betragen die Hälfte der ausgestrahlten Arbeitsfrequenzen.

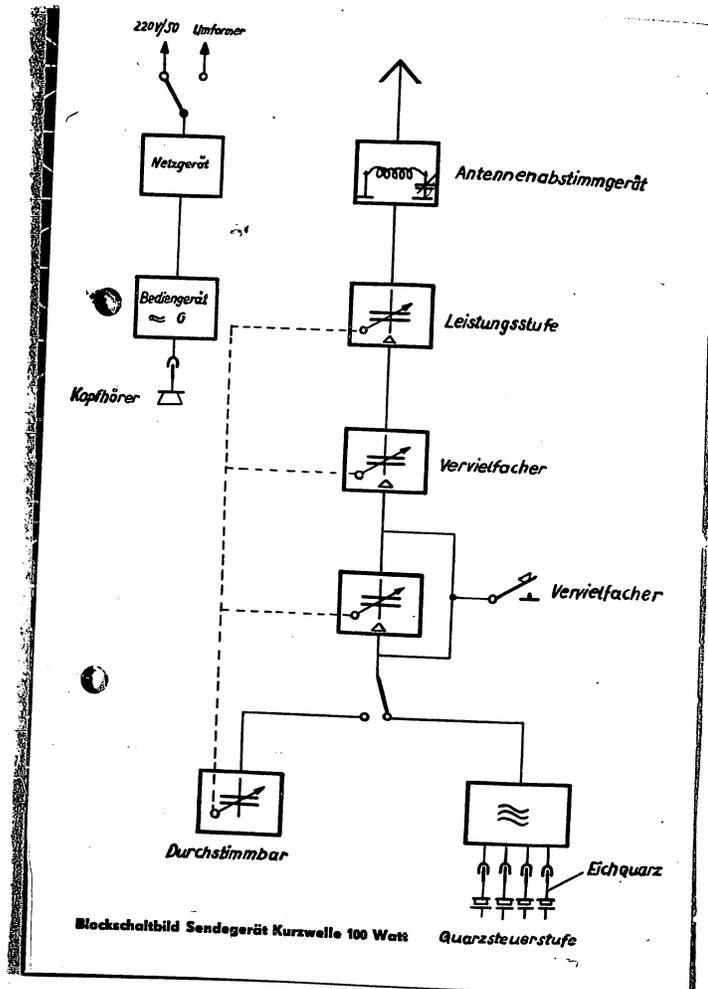
Antennenabstimmgerät:

Der Sender wird über ein 60-Ohm-Kabel an das Antennenabstimmgerät angeschlossen. Der Anschluß des Senders kann an die üblichen Schiffsantennen mit der statischen Antennenkapazität von 200 - 800 pF bei einem Antennenwiderstand von 2,5 - 10 Ohm erfolgen.



*Sendegerät
Mittel-
Grenzwelle
100 Watt*

VEB FUNKWERK KÖPENICK
BERLIN-KÖPENICK · WENDENSCHLOSS-STR. 154/58



Stromversorgung:

Die Stromversorgung erfolgt:

1. vom Bordnetz 220/50 Hz direkt
2. über Umformer-Aggregat, gespeist von 110 V bzw. 220 V =

Das Umformer-Aggregat besteht aus einem Gleichstrom-Antriebsmotor für 110V = bzw. 220 V = und einem gekoppelten Wechselstromgenerator 220 V/50 Hz mit einer Abgabeleistung von 1 kVA.

Die Regelung dieser abgegebenen Wechselspannung erfolgt durch Beeinflussung des Generatorfeldes in Verbindung mit einem Kohledruckregler.

Leistungsaufnahme:

Heizung des Thermostaten	80 W
Sender - Vorheizen	350 VA
Sender - Betrieb	555 VA

Abmessungen:

Höhe	1040 mm
Breite	570 mm
Tiefe	400 mm

Gewicht: etwa 110 kg

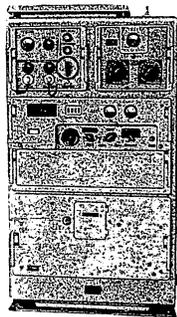


87 ZGL 1644 A13 A6055 53

Transp.-Nr.: 5802 53

Sendegerät Kurzwele 100 Watt

Typ 1514.2 A 1



ZWECK UND AUFBAU DES GERÄTES

Das Sendegerät wurde nach den Vorschriften des Seeregisters entwickelt und eignet sich zum Einsatz auf Schiffen und Küstenfunkstellen sowie zum Presse-, Polizei- und Behörden-Funkdienst.

Das Gerät besteht aus:

1. Netzgerät Typ 1491.3 A 1
2. Bediengerät Typ 1493.2 A 1
3. Kurzwellensender Typ 1604.3 A 1
4. Antennenabstimmgerät (Kurzwele) Typ 1554.5 A 1

Sämtliche Geräte sind in einem gemeinsamen Gestell als Normeinschübe untergebracht. Nach Lösen der Schnellverschlüsse läßt sich jeder der Einschübe aus dem Rahmengestell herausziehen und um 45° nach unten kippen, so daß die einzelnen Bauteile leicht zugänglich sind. Die elektrische Verbindung der Geräte untereinander erfolgt durch Messerleisten an der Rückseite der Einschübe. An den Frontplatten befinden sich sämtliche Schalter, Bedienungsknöpfe, Skalen, Meßinstrumente und Sicherungen.

Netzgerät:

Das Netzgerät erfordert eine Betriebsspannung 220 V/50 Hz, die je nach Art des Bordnetzes entweder direkt oder über Umformer aus dem Bordnetz 110 V ± 20 50 Hz, bzw. 220 V = 220 V 50 Hz entnommen werden kann.

Bediengerät:

Die Stromversorgung des gesamten Gerätes wird vom Bediengerät aus geschaltet. Durch den Hauptschalter kann wahlweise die Netzspannung direkt oder über erforderliche Umformer eingeschaltet werden. Zur Tastung des Senders dient ein Relais, dessen Kontakt die Mithöreinrichtung an den Kopfhörer schaltet.

Kurzwellensender:

Der Kurzwellensender ist ein 4-stufiger Röhrensender mit einer durchstimmbaren Steuerstufe und ist umschaltbar auf eine quarzstabilisierte Steuerstufe für drei Quarzfrequenzen und deren Harmonischen. An die Steuerstufe schließen sich zwei Vervielfacherstufen, die je nach Frequenzbereich die Steuerfrequenz verdoppeln, vervierfachen und verachtfachen und danach der Endstufe zugeführt werden. Zur Frequenzkontrolle der Steuerstufe dient ein 1,5 MHz-Quarzoszillator. Gerichtet wird nach dem Schwebungsnullverfahren mit Kopfhörer.

Das Frequenzband ist aufgeteilt in:

- Bereich I 3 – 6 MHz (100 ÷ 50 m)
- Bereich II 6 – 12 MHz (50 ÷ 25 m)
- Bereich III 12 – 24 MHz (25 ÷ 12,5 m)

Leistung: 100 W im Leistungskreis

Frequenztoleranz: Auf allen Bereichen ± 0,2 %

Betriebsart: A₁ – tonlos

Tastung: Gittersperrspannungstastung in den Röhren der Vervielfacherstufen.

Abstimmung: Einknopfabstimmung mit optischer Feinskala.

Frequenzeinstellgenauigkeit: 1 × 10⁻⁴

Telegrafgeschwindigkeit: 200 Zeichen/min.

Röhrenbestückung: 3 × EF 14

1 × LV 3

2 × P 50

Antennenabstimmgerät:

Der Sender wird über ein 60-Ohm-Kabel an das Antennenabstimmgerät angeschlossen. Der Anschluß des Senders kann an beliebige Schiffsantennen erfolgen. (Empfohlen wird eine Schrägdrahtantenne 25 m Länge.)

Quarzbestückung:

3 Schwingquarze 17 ⌀ nach 364610 (Ans. 7) von Zeiss Jena. Die Quarzfrequenz beträgt die Hälfte der im Bereich I von 3-6 MHz ausgestrahlten Frequenz und kann innerhalb dieses Frequenzbandes beliebig gewählt werden. Vom Lieferwerk wird nur der Eichquarz gleicher Type von 1,5 MHz mitgeliefert.

*Sendegerät
Kurzwellen
100 Watt*

VEB FUNKWERK KÖPENICK
BERLIN-KÖPENICK · WENDENSCHLOSS-STR. 154/58

Für die Übertragung an die Empfänger werden drei Quecksilber-Relais der Firma Statex benötigt, die außerhalb des Kontaktgehäuses angeordnet sind. Sie arbeiten nach dem Arbeitsstrom-Prinzip bei einer Spannung von 60 Volt und haben eine Schaltleistung von 15 bzw. 30 Amp. Ihre Aufstellung darf nur in senkrechter Lage erfolgen.

Abmessungen (Maße über alles):

Breite etwa 56 mm; Tiefe etwa 75 mm; Höhe etwa 135 mm.

Gewicht etwa 0,5 kg.

2. Empfänger und Zusatzgerät

Der Empfänger besteht aus einer Montageplatte aus Leichtmetallguß mit den einzelnen Bauelementen und einem punktgeschweißten Schutzkragen, der verschiebbar an der Montageplatte angeschraubt ist. Beim Einzelempfänger trägt der Schutzkragen die Mattglasscheibe und man kann hier durch Verschieben des Kragens gegenüber der auf der Montageplatte befindlichen Optik die gewünschte Größe der Leuchtziffern zwischen 60 mm und 80 mm einstellen. Auf Wunsch kann die Zifferngröße auf 100 mm erweitert werden. Beim Empfänger für Tableaueinbau befindet sich die Mattscheibe im Tableaukasten. Hier ist die gewünschte Zifferngröße gegeben durch Einhaltung einer bestimmten Einbautiefe des Empfängers in Tableaukasten. Für jede Leuchtzifferreihe mit Ziffern von 0.....9 ist ein Drehmelder-Empfänger mit dazugehöriger Optik und Beleuchtungslampe vorgesehen, die eine Baueinheit bilden. Wird von einem Empfänger z. B. die Darstellung von dreistelligen Zahlen gefordert, so werden drei Baueinheiten nebeneinander angeordnet. Jede Baueinheit übernimmt die Darstellung einer Zifferreihe, die die Einer, Zehner oder Hunderter darstellt. Auf der Drehmelder-Empfängerachse sitzt eine Ziffernscheibe, auf der die ausgestanzten Ziffern von 0.....9 verteilt sind. Mit Hilfe einer Beleuchtungslampe mit punktförmiger Wendel und einer Optik, bestehend aus Kondensator und Objektiv, wird die eingestellte Ziffer auf der Mattscheibe abgebildet. Für die Scharfstellung der abgebildeten Ziffer auf der Mattscheibe kann die Optik verstellt werden.

Abmessungen (Maße über alles):

Breite etwa 350 mm; Tiefe etwa 250 mm; Höhe etwa 210 mm,
dazu kommt eine Bewegungsfreiheit von etwa 80 mm für eine unter dem Gerät befindliche Klappe.

Gewicht etwa 10 kg.

akustische Signale nicht angebracht sind, z. B. in Fernsehstudios, Theatern, Krankenhäusern, Warenhäusern usw. Die Rufziffer wird am Geber eingestellt, elektrisch auf die angeschlossenen Empfänger übertragen und dort in einem Tableau oder im Einzelempfänger als Leuchtzeichen zur Anzeige gebracht. An einen Geber können bis zu 40 Empfänger angeschlossen werden. Es besteht auch die Möglichkeit, mehrere räumlich getrennt liegende Geber wahlweise an eine Gruppe von Empfängern zu schalten. Die elektrische Übertragung der Leuchtzeichen geschieht mit Hilfe eines Kontaktgebers und Drehmelder-Empfängern.

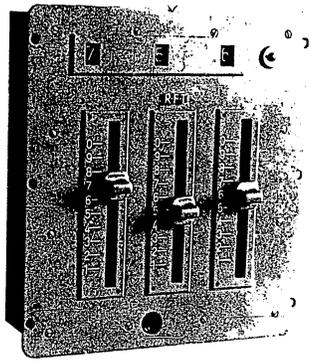
Am Geber wird die gewünschte Zahl mittels Hebel durch Vorwahl der entsprechenden Ziffern in spannungslosem Zustand eingestellt. Durch Drücken der Impulstaste erscheint auf der Mattscheibe am Empfänger mit Hilfe einer Optik das Leuchtzeichen. Das spannungslose Einstellen des Kontaktgebers und das Impulsgeben sind zwei voneinander getrennte Handhabungen, die durch gegenseitige Verriegelung gewährleistet sind.

1. Kontaktgeber

Der Kontaktgeber besteht aus einem punktgeschweißten Stahlblechgehäuse, in dem die Montageplatte aus Leichtmetallguß mit den einzelnen Bauelementen untergebracht ist. Die Zifferneinstellung erfolgt mit Hilfe eines von Hand einstellbaren Hebels auf die gewünschte Ziffer ähnlich wie bei den Registrierkassen. Über 2 Kegelräder wird die Hebelbewegung in eine Drehbewegung eines Drehschalters umgesetzt. Die Einstellung des Hebels auf die gewünschte Ziffer ist durch eine Rastung gewährleistet. Mittels einer Schnurscheibe und einer Zifferntrommel kann man die eingestellte Zahl am Kontaktgeber ablesen. Bei kurzzeitigem Drücken und Loslassen der Impulstaste erfolgt automatisch eine Impulsabgabe von etwa 2 Sek., die für das ruhige Einstellen der Ziffer im Empfänger notwendig ist. Für das Ein- und Ausschalten des Kontaktgebers ist ein Kippschalter eingebaut. Zwei Klemmleisten dienen zur Verbindung der Außenkabel mit der Innenschaltung. Zur Kontrolle für die Betriebsbereitschaft des Gerätes ist eine Kontrollampe vorgesehen, die beim Einschalten des Kontaktgebers aufleuchtet.

Abmessungen (Maße über alles):

Breite etwa 350 mm; Tiefe etwa 304 mm; Höhe etwa 265 mm.
Gewicht etwa 13 kg.



Geber

REGIE-ANLAGE

Umfang der Anlage

Zu einer Regie-Anlage gehören folgende Geräte:

1. 1 Kontaktgeber mit 2 Quecksilber-Relais Statex Type 30/1 und 1 Quecksilber-Relais Statex Type 15/1
2. 1...40 Empfänger mit Zusatzgeräten.

Beschreibung

Die Regie-Anlage hat die Aufgabe, bestimmte Personen durch Leuchtzeichen, die in den verschiedenen Räumen aufleuchten, zu rufen. Die Anlage arbeitet geräuschlos und wird überall dort gebraucht, wo

Das außerhalb des Empfängers befindliche Zusatzgerät enthält einen Transformator 220-5 V und ein Relais für die Stromversorgung bzw. Schaltung der Projektionslampen.

Abmessungen (Maße über alles):

Breite etwa 160 mm; Tiefe etwa 120 mm; Höhe etwa 100 mm
Gewicht etwa 1,5 kg.

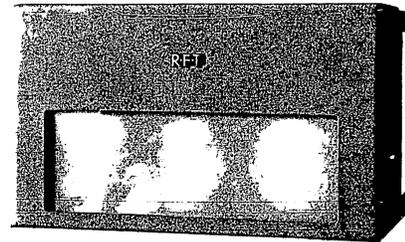
Raum für Prinzipstromlaufplan
(s. anliegende Skizze)

Prinzipstromlauf

Die Gleichstromdrehmelder sowie alle Relais der elektrischen Verriegelungseinrichtung arbeiten mit 60 V Gleichspannung, die einer Batterie oder einem Netzgleichrichter entnommen wird. Der Gleichspannungsleistungsbedarf eines dreistelligen Empfängers beträgt während der Impulsgabe etwa 50 Watt, sonst ist er Null.

Die Projektionslampen werden von einem Transformator aus dem 220-V., 50-Hz-Wechselspannungsnetz gespeist. Ihre Leistungsaufnahme beträgt etwa 45 Watt für einen dreistelligen Empfänger.

Ein Kontaktgeber verbraucht etwa 15 Watt.



Empfänger

|||||
7 5 6 |

*Szenen-
Anzeige-
Gerät*

VEB FUNKWERK KÖPENICK

BERLIN-KÖPENICK · WENDENSCHLOSS-STR. 154/58

Analysierzeit: ca. 0,1 sec.
 Frequenzmeßgenauigkeit: $\pm 5\%$
 Amplitudenmeßgenauigkeit: $\pm 5\%$
 Eingangsspannung min. zur Erzeugung eines gerade sichtbaren Ausschlages: 1 m V (Schalterstellung von Sch 1=0,1 V)
 Eingangsspannung max.: 100 V entsprechend einer Strichlänge von ca. 60 mm
 unterteilt in 7 Bereiche: 0,1 V, 0,3 V, 1 V, 3 V, 10 V, 30 V, 100 V
 Zusätzliche Gleichspannung am Eingang: bis 250 V zulässig
 Eingangsimpedanz: 100 k Ω , 50 pF, einseitig geerdet
 Ausgangsimpedanz der Filter: 2 k Ω
 Ausgangsspannung des Vorverstärkers (abhören, oszillographieren): ca. 1 V_{eff} } bei der für den gewählten Bereich höchstzulässigen Eingangsspannung
 Filterausgangsspannung: ca. 0,7 V_{eff} }
 Röhrenbestückung: 3 \times 6 AC 7 2 \times EZ 12
 1 \times 6 AG 7 1 \times RFG 5
 1 \times 6 SK 7 2 \times STV 280/40
 2 \times 6 H 6 1 \times STV 280/80
 1 \times 6 6 \times 5 1 \times EW 3-9 V 1,8 A
 1 \times 6 J 6 1 \times OR 2068 b (wie umseitig)

Elektronenstrahlröhre 2068 b HF (OSW)
 Leuchtfarbe: grün
 Schirmdurchmesser: 130 mm
 Anodenspannung: 2000 V
 Ablenkempfindlichkeit: vertikal: 0,35 mm/V
 horizontal: 0,35 mm/V
 Abmessungen: Höhe 860 mm Breite 483 mm Tiefe 970 mm
 Gewicht: ca. 200 kg
 Netzspannung: 110, 127, 220, 240 V \pm 10%
 Netzfrequenz: 44-56 Hz
 Leistungsaufnahme: ca. 230 VA 1 \times 6 SA 7

Verwendungszweck

Das Spektrometer SSP 10 liefert mit geeigneten elektrischen Schalldruckempfängern ein Bild der Schallenergieverteilung (Spektrum) im Frequenzbereich von 36 Hz — 18 kHz (9 Oktaven). Dieser Bereich wird in sehr kurzer Zeit überstrichen; auf dem Schirm einer Braunschen Röhre erscheinen alle Komponenten nahezu gleichzeitig. Zeitlich veränderliche Vorgänge können praktisch lückenlos verfolgt werden, entweder durch visuelle Beobachtung oder durch Filmaufnahmen, jedoch sollen nicht-periodische Änderungen nicht in kürzeren Abständen als 0,1 s erfolgen. Hierbei werden aus dem Gesamtspektrum in jeder Oktave 4 Bänder von ca. 1/4 Oktavenbreite ausgefiltert und abgebildet. Selbstverständlich kann das Gerät auch allein oder zusammen mit einem geeigneten Verstärker zur direkten Analyse eines Gemisches von Wechselspannungen verschiedener Frequenz benutzt werden.

Kurzbeschreibung

Ableschaltung: ...
 Filterbereich: ...
 Ableschalt: ...
 Impulsbreite: ...

Die Schaltung ist nach Schwebelung mit Netzfrequenz. Ablenkamplitude ...
 Die Messung der Impulsdauer durch Zeitmarken 0,2 und 20 ...
 Die Messung der Impulsbreite durch die Zeitplatte 2 und der Wehnelde ...
 Die Messung der Impulsbreite durch die Zeitplatte 2 und der Wehnelde ...
 Die Messung der Impulsbreite durch die Zeitplatte 2 und der Wehnelde ...

Abmessungen: ...
 Gewicht: ...
 Bauteilliste: ...
 Konstruktionsart: ...
 Bauweise: ...
 Nutzbarer Schalldruckbereich: ...
 Ableseschaltung: ...
 Betriebsbereich: ...
 Frequenz: ...
 Leistungsaufnahme: ...

Verwendungszweck

Als Steuerungsdienst für ...

15



SCHALLSPEKTROMETER Typ SSP-10
 Waren Nr. 36 47 69 00

Technische Daten

Frequenzbereich: 36—18 000 Hz
 Zahl der Filter: 36 (4 Filter je Oktave)
 Mittel-Frequenz der Filter: 40, 48, 57, 67, 80, 95, 113, 134, 160, 190, 226, 269, 320, 380, 452, 538, 640, 760, 904, 1076, 1280, 1520, 1808, 2152, 2560, 3040, 3616, 4304, 5120, 6080, 7232, 8608, 10240, 12160, 14464, 17216 Hz.

19

Röhrenbestückung:

4 × 5Z4
 7 × 6AC7
 4 × 6AG7
 1 × 6SJ7
 1 × 6SN7
 1 × 6J5
 3 × 6L6
 2 × 6V6
 1 × RFG 5
 1 × S1/02 ill c 6,3 V
 1 × SiV 280/80
 1 × EW 85-255/80
 1 × Glimml. MR 110 (14-04)
 1 × OR 1/100/2 (siehe oben)

Abmessungen:

Breite: 552 mm } Maße
 Höhe: 688 mm } über
 Tiefe: 389 mm } alles

Gewicht:

etwa 77 kg

Netzanschluß:

110, 127, 220, 237 V, 50 Hz
 Leistungsbedarf: etwa 300 VA

Verwendungszweck

Dieses Gerät dient zur Beobachtung und Messung fremder periodischer Impulse bei Impulsbreiten von 0,1 bis 500 μ sec und einmaliger elektrischer Vorgänge. Außerdem kann das Gerät als Normal-Oszillograf benutzt werden. Die Kippfrequenz beträgt 10 Hz bis 30 kHz.



IMPULS-GENERATOR Typ JS 1-4/52

Waren-Nr. 36472900

Technische Daten

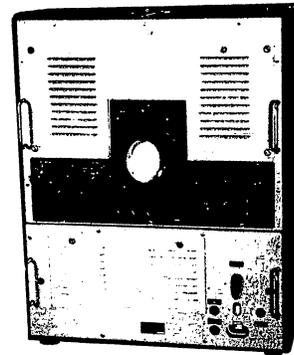
Impulsgeber

Impulsfolgefrequenz: min. ca. 15 Hz
 max. ca. 15 kHz
 Frequenzgenauigkeit: ca. \pm 10%
 Synchronisierung wahlweise mit Netzfrequenz oder aus einem konstanten Sinusgenerator auf die Eingangsbuchse.
 Die Entnahme der Multivibratorimpulse für die Synchronisierung eines separaten Impulsoszillografen aus besonderer Buchse ist vorgesehen.
 Impulsdauer: kontinuierlich regelbar 0,1–10 μ sek.
 Impulsamplitude: pos. max. 40 Volt
 neg. max. 70 Volt
 bei Belastung mit 500 Ohm: pos. max. 35 Volt
 neg. max. 60 Volt
 Ausgangsamplitudenregelung: kontinuierlich und in 5 Dekaden
 1; 10⁻¹; 10⁻²; 10⁻³; 10⁻⁴.

ein Impuls von etwa 20 μ sec Dauer gewonnen, der einmal zur Helltastung des Braunschen Rohres, andererseits zur Erzeugung eines impulsmäßig geschriebenen Sägezahn und auch noch zur Synchronisierung des Zeitmarkengebers herangezogen wird. Dieser Ablenksägezahn ist linear und wird symmetrisch über den Schalter „Normalkipp-Impulskipp“ der Oszillografenröhre zugeführt.

Bei Stellung „Normalkipp“ werden auf der Elektronenstrahlröhre die üblichen periodischen Sägezähne geschrieben, nur mit dem Unterschied, daß sich längs des Striches ein hellgetasteter Leuchtfleck befindet. Zur Vornahme einer Messung wird dann der Kipp mit den zu beobachtenden Impulsen derartig synchronisiert, daß 2 oder 3 Impulse sichtbar sind.

Nunmehr wird der Leuchtfleck auf einen dieser Impulse geschoben und der Umschalter auf Stellung „Impuls“ geschaltet. Hierbei erscheint nun der gewählte Ausschnitt in der angegebenen Vergrößerung. Nunmehr kann auch ein Zeitmarkengeber mit 0,5 μ sec Punktabstand zum Auszählen der Impulsdauer eingeschaltet werden.



IMPULS-OSZILLOGRAF Typ OG 2-7/52

Waren-Nr. 36477250

Technische Daten

Elektronenstrahlrohr:	Type OR 1/100/2 mit 100 mm nutzbarem Schirmdurchmesser, Anodenspannung: etwa 2000 V Ablenkempfindlichkeit: vertikal etwa 0,2 mm/V, horizontal etwa 0,16 mm/V
Normal-Kippgerät:	Frequenzbereich etwa 10 Hz bis 30 kHz in 6 Bereichen kontinuierlich regelbar
Fremdgesteuertes Kippgerät:	mit 5 wählbaren Ablenkzeiten: 1, 5, 20, 50, 500 μ sec
Start-Stopp-Kippgerät:	mit 5 wählbaren Ablenkzeiten: 1, 5, 20, 50, 500 μ sec
Breitbandverstärker:	Bandbreite: 3 db 15 Hz - 4 MHz Bandbreite: 1 db 20 Hz - 3,2 MHz Verstärkungsfaktor: etwa 100
Zeitmarkengeber:	5 wählbare Frequenzen: 10 MHz, 4 MHz, 2 MHz, 400 kHz, 40 kHz; Punktabstand: 0,1, 0,25, 0,5, 2,5 und 25 μ sec.

Technische Daten

Elektronenstrahlröhre:	OR 1/100-2	
	Schirmdurchmesser	100 mm
	Anodenspannung	2000 V
	Ablenkempfindlichkeit	
	Meßplatten	0,20 mm/V
	Zeitplatten	0,16 mm/V
	Eingangswiderstand bei direkter Messung	500 kOhm
Verstärker:	Frequenzbereich	ca. 30 Hz - 2 MHz
	Verstärkungsfaktor	ca. 100
	Eingangswiderstand	5 kOhm
	Aussteuerbereich auf Elektronenstrahlröhre	ca. 30 mm
Normal-Kippperät:	Frequenzbereich	ca. 35 - 15 000 Hz
	Eigen-, Fremdsynchronisation und 50 - Hz - Synchronisation	
	Synchronisierbedarf	ca. 1 V _{eff}
Impuls-Kippperät:	Impulsfolgefrequenz	500 - 30 000 Hz
	Ablenkzeit	ca. 20 μsek.
	Impulsbreiten meßbar	0,3 μsek. - 20 μsek.
Zeitmarkengeber:	Frequenz	2 MHz ± 2%
	Punktabstand	0,5 μsek.
Netzanschluß:	Spannung	110, 127, 220, 237 V _{eff}
	Frequenz	50 Hz
	Leistungsaufnahme	ca. 300 VA
Abmessungen:	Höhe	610 mm
	Breite	530 mm
	Tiefe	330 mm
Gewicht:		ca. 50 kg

12

Röhrenbestückung:

3X6 SJ 7
 4X6 SN 7
 1X6 V 6
 5X6 AC 7
 2X6 6X5
 1X6 AG 7
 1X6 L 6
 1XOR 1-100-2
 2XAZ 12
 1XRFG 5
 1XEW 85-255-80
 1XStabi STV 280-80
 2XStabi STV 150-20
 1XStabi STV 70-6
 1 RFT-Selen-Trockengleichrichter A 102/15

Beschreibung

Der Impuls-Oszillograf dient zur Beobachtung und Messung von solchen Impulsen, die infolge ihrer kurzen Dauer und niedrigen Frequenz auf normalen Oszillografen nicht mehr einwandfrei zu beobachten sind. Das im Gerät befindliche Oszillografenrohr gestattet, infolge der hohen Anodenspannung, auch Impulse mit relativ niedriger Frequenz genügend lichtstark abzubilden. Sind die Spannungen der zu messenden Impulse zu klein, so kann über den im Gerät vorhandenen zweistufigen Verstärker (etwa 100-fache Verstärkung) die Messung vorgenommen werden. Durch Betätigung eines besonderen Schalters kann wahlweise bei Benutzung ein und derselben Eingangsbuchse die Meßspannung direkt oder über den Verstärker der Meßplatte zugeführt werden. Der im Kippperät erzeugte Sägezahn wird über eine Verstärker-Umkehrstufe auf die notwendige Amplitude gebracht und als symmetrische Ablenkspannung der Braunschen Röhre zugeführt. Der Frequenzbereich des Kippperätes beträgt 35-15 000 Hz, umschaltbar in 5 Stufen bei etwa 10prozentiger Überlappung. Aus den in diesem Kippperät erzeugten Sägezähnen wird in einer weiteren Stufe durch Abschneidung ein Stück herausgeschritten, wobei durch eine entsprechende Schaltanordnung eine Phasenverschiebung über die Dauer des Hinlaufes des Sägezahnes, d. h. also fast um 360° möglich ist. Dadurch kann der Ausschnitt beliebig über die fast ganze Breite des Ablenksägezahnes verschoben werden. In der folgenden Differentiations- und Begrenzerstufe wird

13

An der Zeitplattenbuchse (ebenfalls halb eingesteckt) ist die Kippsägezahnspannung für äußere Zwecke abgreifbar.

Umschalter für Eigen-, Netz- und Fremdsynchronisation sowie für Eigen-, Fremd- und 50 Hz-Sinusablenkung sind eingebaut.

Die Amplitude der Sinusablenkung ist von 2 mm bis über Schirmdurchmesser regelbar.

Buchsen für kurzzeitig periodische Helligkeitsmodulation mit Hochspannungsschutzkondensator sowie für langzeitige Strahlunterdrückung sind eingebaut.

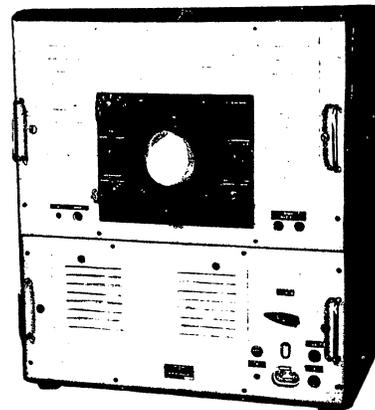
Verwendungszweck

Der Oszillograf OG 2-1/52 dient zur Beobachtung und Messung beliebiger elektrischer Vorgänge im Nieder- und Hochfrequenzbereich bis ca. 15 MHz.

(Bei Verstärkerbenutzung liegt die Grenzfrequenz bei 8 MHz.)

Der Spannungswert des Oszillogramms bei Sinusform ist aus dem Verstärkungsfaktor und dem abgelesenen Meßwert direkt bestimmbar.

Die Frequenz kann aus dem angezeigten Zeitmaßstab des Kippgenerators ermittelt werden.



IMPULS-OSZILLOGRAF Typ OG 2-4/52

Waren Nr. 76 47 29 00

Zweck

Der Impuls-Oszillograf dient in erster Linie zur Beobachtung und Messung von Impulsen aller Art; er kann aber auch als Normal-Oszillograf benutzt werden.

Wirkungsweise

Aus einem normalen Sägezahn wird mittels eines besonderen Phasenschiebers und durch Differentiation ein bestimmter Betrag ausgeschnitten und elektrisch auf die erforderliche Breite gedehnt. Ein Zeitmarkengeber gestattet die Festlegung der Zeitdauer der beobachteten Impulse.

Rohrenbestückung:
 3 Stück 6 AC 7
 2 Stück 6 AG 7
 2 Stück 6 L 6 oder 6 P 3
 1 Stück 6 J 5
 4 Stück EL 12
 1 Stück EW 70 ... 210 120 od. 60 ... 180/120
 1 Stück RFG 5
 1 Stück StV 70 6
 1 Stück StV 280 80
 2 Stück Z 2 c
 1 Stück GR 150 DK 26 12
 1 Stück 2068 c HF (OSW)

Kathodenstrahlrohre
 Leuchtschirmfarbe
 Schirmdurchmesser
 M: Lichtschutz, bis und Meßscheibe
 Anodenspannung
 Ableskompatibilität der Meßplatten und Zeitplatten
 max. Meßspannung
 max. zulässige Spitzenspannung
 Eingangswiderstand in Meß- und Zeitplatte

grün, auf Wunsch blau
 130 mm
 geeicht in V_{eff} bei Spitzenablesung
 $\pm 1500 V$
 $\pm 0,46 mm V$
 $\pm 0,45 mm V$
 $12 V_{eff}$ (Sinusform)
 $500 V$
 $3 MOhm$

Meßverstärker für Y-Achse (Meßplatten)
 Frequenzbereich
 Grenzfrequenzen
 Phasenrein
 Verstärkungsfaktor
 Verstärkungsregelung

$8 Hz \dots 7 MHz$
 Toleranz $\pm 1 db$
 $6 Hz, 8 MHz$
 $100 Hz \dots 300 kHz$
 max. 1500fach, eingestellt 1000fach
 in 8 geeichten Abschwächerstellungen

max. Eingangsspannung: $12 V_{eff}$ (Sinusform)
 max. zulässige Spitzenspannung: $500 V$
 Eingangswiderstand: ca. $1 MOhm$
 Eingangskapazität: Normaleingang ca. $40 pF$, Spezialeingang ca. $25 pF$

Hochvakuumkippergerät für X-Achse (Zeitplatten)

Frequenzbereich: $10 Hz \dots 1 MHz$
 Grobregelung in 9 Stufen, Feinregelung kontinuierlich
 Amplitude: kontinuierlich regelbar
 Synchronisierverstärkung: regelbar, bis $15 MHz$ verwendbar
 Rücklaufverdunkelung: an- bzw. abschaltbar

Kippergerät umschaltbar als Verstärker für X-Achse (Zeitplatten)

Frequenzbereich $\pm 1 db$: $4 Hz \dots 600 kHz$
 Grenzfrequenzen: $3 Hz, 1 MHz$
 Phasenrein: $20 Hz \dots 200 kHz$
 Verstärkungsfaktor: ca. 150fach
 Verstärkungsregelung: kontinuierlich
 max. Eingangsspannung: $0,7 V_{eff}$ (Sinusform)
 max. zulässige Spitzenspannung: $500 V$
 Eingangswiderstand: ca. $0,5 MOhm$
 Eingangskapazität: ca. $45 pF$

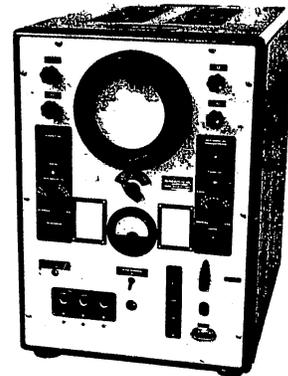
Beide Meßplatten und die Zeitplatte 2 sind zusätzlich kapazitätsarm herausgeführt, M 1, M 2 je ca. $20 pF$ Z 2 ca. $22 pF$ (galv. gekoppelt).

An den Meßplattenbuchsen kann (halb eingesteckt) der Verstärkerausgang für andere Zwecke benutzt werden.

Eingangswiderstand: ca. 100 kOhm
 Die Phasenwinkel beider Verstärker haben den gleichen Frequenzgang; sie sind 1° von 80 Hz bis 100 kHz
Kippgerät
Kippfrequenz: 20 Hz bis 160 kHz stetig regelbar
 Netz-, Eigen- und Fremdsynchronisierung
Synchronisierungsspannung: ca. 1 V_{eff} min zulässig max. 80 V_{eff}
Röhrenbestückung: 4 - 6 AC7
 2 - RV 12 P 2000
 1 - RIG 5
 1 - 6 X 5
 1 - Stabilisator FRB 110/12 05
 1 - OR 2 100 2 (siehe oben)
Abmessungen: Höhe 415 mm
 Breite 233 mm
 Tiefe 514 mm
Gewicht: ca. 25 kg
Betriebsspannung: 110 V, 127 V, 220 V 50 Hz
Leistungsaufnahme: ca. 80 VA

Verwendungszweck

Der Zweistrahl-Oszillograph OG 2 6 52 dient zur Beobachtung und Messung zwei verschiedener elektrischer Vorgänge über einer gemeinsamen Zeitachse. Für das eine Strahlensystem ist Fremdableitung durch eine von außen zuzuführende Spannung möglich.

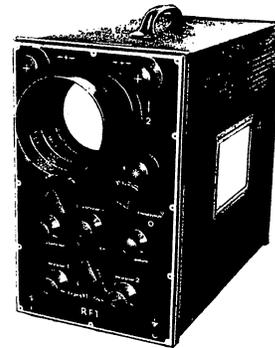


NORMAL-OSZILLOGRAF Typ OG 2-1/52

Waren Nr. 3647 71 10

Technische Daten

Betriebsspannung: 110, 127, 220, 237 Volt
Stromart und Frequenz: Wechselstrom 45...60 Hz
Leistungsaufnahme: ca. 420 VA
Gehäuseabmessungen: Höhe 550 mm
 Breite 400 mm
 Tiefe 540 mm
Abmessungen über alles: Höhe 580 mm
 Breite 420 mm
 Tiefe 620 mm
Gewicht: ca. 75 kg



ZWEISTRAHL-OSZILLOGRAPH Typ OG 2-6/52

Waren Nr. 36477130

Technische Daten

Elektronenstrahlröhre:	OR 2/100/2 (Zweistrahloszillographenröhre)
Leuchtschirmfarbe:	grün, auf Wunsch blau
Schirmdurchmesser:	100 mm
Anodenspannung:	ca. 1000 V
Ablenkung:	doppelt elektrostatisch, Zeitablenkung symmetrisch
Ablenkempfindlichkeit:	
vertikal (Meßplatten):	0,55 mm/V
horizontal (Zeitplatten):	0,50 mm/V
Verstärker:	Frequenzbereich ca. 6 Hz ... 250 kHz Toleranz ± 1 db Grenzfrequenzen ca. 4 Hz und 1 MHz
Verstärkungsfaktor:	max. 80 ... 100
Regelung	kontinuierlich

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
Zweistrahli-Oszillograf	5
Typ OG 2-6/52	
Normal-Oszillograf	7
Typ OG 2-1/52	
Impuls-Oszillograf	11
Typ OG 2-4/52	
Impuls-Oszillograf	15
Typ OG 2-7/52	
Impuls-Generator	17
JS 1-4/52	
Schallspektrometer	19
Typ SSP-10	

Export-Information durch „DIA“ Deutscher Innen- und Außenhandel - Elektrotechnik
Berlin C 2, Liebknechtstraße 14, Telegramm-Adresse Diaelektro Berlin

3

Besondere Bedeutung in unserem reichhaltigen Fertigungsprogramm kommt den Meßgeräten zu. Sie dienen in erster Linie dazu, den Wissenschaftler und Ingenieur in seiner verantwortungsvollen Forschungsarbeit zu unterstützen. Aber auch im Labor, im Prüffeld, in der Kontrolle und Güteprüfung sind sie zu einem unentbehrlichen Hilfsmittel geworden.

Vielseitige Verwendbarkeit, einfache Bedienung, geringer Leistungsverbrauch und geschmackvolle Ausführung sind die hervorragenden Merkmale unserer Meßgeräte.

In unseren Entwicklungs- und Konstruktionsabteilungen arbeitet ein Stamm langjährig erfahrener Fachleute an der Weiterentwicklung, so daß unsere Geräte jederzeit den neuesten Fertigungsstand aufweisen. Eingehende Prüfungen in den Labors und Prüffeldern garantieren für einwandfreie Qualität aller gelieferten Geräte.

Die vielen Nachfragen, besonders auch aus dem Ausland, sind das beste Zeugnis dafür



VEB FUNKWERK KÖPENICK
BERLIN-KÖPENICK · WENDENSCHLOSS-STR. 154/58

Allgemeine Daten:

Betriebsspannung	24 V · 5% Gleichspannung
Stromaufnahme	0,9 A
Gewicht	8 kg
Abmessungen	320 x 220 x 160 mm
Wiedergabegerät hierzu	BG 4-0 (W)

Verwendungszweck:

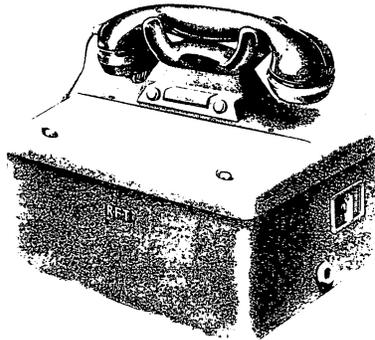
Der Zugmeldespeicher wurde vorzugsweise für den Eisenbahn-Zugmelder entwickelt und dient zur fernmündlichen Übermittlung von Zugmeldungen bei gleichzeitiger Aufzeichnung und Speicherung dieser Gespräche. Hierdurch besteht die Möglichkeit, bei besonderen Vorkommnissen alle hierzu geführten Gespräche bei Bedarf mit einem besonderen Wiedergabegerät abzuhören. Als Gegenstelle kann wahlweise ein normaler OB-Fernsprecher oder ein weiterer Zugmeldespeicher benutzt werden. Das Gerät gestattet die selbsttätige Aufzeichnung von Gesprächen bis zu einer Gesprächsdauer von 3 Stunden. Bei weiterer Aufnahme werden die ältesten Aufzeichnungen automatisch so weit gelöscht, wie es die jeweilige neue Gesprächsaufnahme erfordert.

WIEDERGABEGERÄT

Technische Daten:

Leistungs-Aufnahme	220 V ~ ca. 40 W
Röhrenbestückung	2 x EF 14, 1 x EBF 14
Lautsprecher	permanent-dynamisch 1,5 Watt 130 mm Ø
Gewicht	9 kg
Abmessungen	320 x 250 x 180

Bei besonderen Vorkommnissen dient das Wiedergabegerät zum nachträglichen Abhören der mit dem Zugmeldespeicher geführten Gespräche. Das Abhören kann beliebig oft wiederholt werden.



ZUGMELDESPEICHER TYP BG 4 10 (A)
„TELETON“

Technische Daten:

Fernsprechteil:	Betriebsart	OS
	Mikrofon	W 43
	Fernhörer	2 x 27 Ohm
	Ausgangsspannung	0,775 V
	Erforderl. Eingangsspannung	0,1-1 V
	Rufspannung an 1 000 Ohm	65 V, 25 Hz.
	Eingangs-Impedanz	1 400 Ohm
Aufzeichnungsteil:	Stromaufnahme bei Aufzeichnung	0,9 A
	bei Rufen	1,2 A
	Tonträger	250 m Magnetband 6,35 mm Doppelspur
	Bandgeschwindigkeit	4,77 cm/sec.
	Speicherzeit bei Dauerbetrieb	3 Stunden
	Frequenzumfang	300 ... 2700 Hz.
	Fremdspannungsabstand	ca. 30 db
	Lösung und Vormagnetisierung	durch Gleichstrom

Unser Schiffsfunk-Bauprogramm
Schiffsfunk-Sende- und Empfangsgerät 100 Watt
Sendegerät Mittel-/Grenzwelle 100 Watt
Sendegerät Kurzwelle 100 Watt
Sendegerät Mittelwelle 10 Watt
Notsender 60 Watt
Notruf-Alarm- und Empfangsgerät
Notruf- und Empfangsgerät
Rettungsboot-Sende- und Empfangsgerät
Funkleitfeuer
Echografanlage
Echolotanlage

Export-Information durch „DIA“ Deutscher Innen- und Außenhandel – Elektrotechnik –

Berlin C 2, Liebknechtstraße 14, Telegrammadresse: Diaelektro Berlin.

Abmessungen:

Gehäusedurchmesser	70 mm	90 mm
Länge (ohne Wellenstumpf)	110 mm	155 mm
Flanschdurchmesser	90 mm	114 mm
Gewicht:	1,5 kg	3,5 kg

Die Klammerwerte gelten für nur kurzzeitigen Betrieb.

Anmerkung: Ferraris-Motoren für andere Spannungen unter 110 V bzw. andere Frequenzen auf Anfrage.

Beschreibung

Der Ferrarismotor ist ein Spezial-Elektromotor für Wechselstrom (Induktionsmotor). Er dient zum Antrieb kleiner Getriebe, die in Meßeinrichtungen bzw. selbsttätigen Kleinststeuerungen häufig vorkommen und hat sich wegen seiner besonderen Eigenschaften — äußerst geringes Trägheitsmoment des Läufers, Eigendämpfung, große Betriebssicherheit (keine Schleifkontakte)— bestens bewährt. Der Motor besteht im wesentlichen aus einem Ringfeldstator mit zwei senkrecht zueinander angeordneten Wicklungen. Konzentrisch im Statorring befindet sich ein feststehender Eisenanker. Den Rotor bildet eine dünnwandige zylindrische Aluminiumlocke, die in den enggehaltenen Luftspalt zwischen Stator und Anker hineinragt. Die beiderseits in Kugellagern laufende Rotorwelle ist mit einem Zahnritzel versehen. Dieses greift in das am Motor angesetzte Übersetzungsgetriebe ein und dreht so den kräftigen Abtriebszapfen. Das Übersetzungsgetriebe kann den jeweiligen Erfordernissen entsprechend ausgeführt werden.

Die Wirkungsweise des Motors beruht auf Erzeugung eines Drehfeldes im Stator, das in der Rotorglocke Wirbelströme induziert. Drehfeld und Rotorströme ergeben ein Antriebsdrehmoment in Drehrichtung des umlaufenden Magnetfeldes. Zur Erzeugung des Drehfeldes wird einer der beiden Wicklungen ein konstanter Erregerstrom zugeführt, während durch die andere Wicklung ein phasenverschobener Steuerstrom fließt. Die Phasenverschiebung läßt sich durch Einschaltung eines Kondensators in den Erreger- oder Steuerstromkreis leicht erreichen.

Sonderausführungen mit Befestigungsflansch vorn (nur für Typ 70/80 und 70/110) bzw. abnormale Spannungen und Frequenz 500 Hz auf Anfrage.

Die Drehmelder dienen zur Fernübertragung von Winkelwerten auf elektrischem Wege und werden vorwiegend als Bauelemente für die Befehlsübermittlung in Schiffskommando-Anlagen verwendet, außerdem in:

Förderanlagen im Bergbau, Niveau-Fermeßanlagen, Schleusentor und Wehr-Stellungsanzeigern, Windrichtungsanzeigern, Lichtanlagen, sowie ganz allgemein zur Fernübermittlung von Stellungsunterschieden, insbesondere auch als Indikatoren bei Fernsteuerungen.

Bei einfachem Aufbau und großer Unempfindlichkeit bieten diese bewährten Bauelemente größte Betriebssicherheit und finden deshalb immer breitere Anwendung.

Die einfachste elektrische Übertragungseinrichtung besteht mindestens aus einem Geber- und einem Empfängerdrehmelder. Beide haben motorähnliche Bauart, bestehen also im wesentlichen aus einem Stator und einem Rotor.

Die Drehmelder werden mit einphasigem Wechselstrom betrieben. Ihre Einstellung kommt durch Induktionswirkung in den zu einer Übertragungseinheit zusammengeschalteten Geber- und einem bzw. mehreren Empfängerdrehmeldern zustande. Beim Schließen des Stromkreises springen alle angeschalteten Empfänger-Drehmelder in die vom Geber-Drehmelder befohlene Stellung und folgen kontinuierlich den weiteren Stellungsänderungen des Geber-Drehmelders. Mittels auf den Rotorachsen der Drehmelder befestigter Zeiger können die jeweiligen Einstellungen über Skalen abgelesen werden.

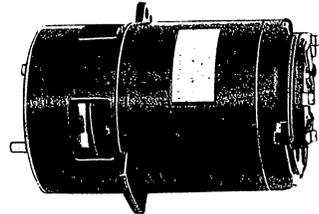
Durch Verwendung besonderer Kontakte, die bei Stellungsabweichung zwischen Geber und Empfänger einen Signalstromkreis schließen, lassen sich auch akustische bzw. optische Signale auslösen.

Der Stator ist mit einer dreiphasigen Wicklung versehen. Der Rotor trägt die Erregerwicklung, die über zwei Schleifringe mit den Anschlußklemmen verbunden ist.

In jedem Falle sind also drei Verbindungsleitungen für die Statorwicklungen und zwei für die Felderregung erforderlich.

Der Diff.-Drehmelder hat sowohl im Stator als auch im Rotor eine dreiphasige Wicklung. Durch die damit bewirkten Kraftflüsse entsteht eine resultierende Drehbewegung am Rotor, und zwar werden je nach Schaltung die an den Gebern eingedrehten Winkelwerte addiert oder subtrahiert.

22



Ferraris-Motoren

Technische Richtwerte:

Nenngröße (Typ)	71/110	91/155
Erregerspannung	110 V ~	110 V ~
Steuerspannung	20 (50) V ~	12 (20) V ~
Betriebsfrequenz	50 Hz	50 Hz

Leistungsaufnahme:

Erregerwicklung	15 VA	90 VA
Steuerwicklung	2,5 (8) VA	7,5 (20) VA

Abtriebswerte am Glockenrotor:

Leerlaufdrehzahl	2600 (2650) U/min	2600 (2800) U/min
Lastdrehzahl	1600 (1500) U/min	1750 (1600) U/min
Max. Leistung	0,6 (1,5) Watt	2,5 (5) Watt
Anlauf-Drehmoment	50 (125) cmg	300 (450) cmg
Anlaufspannung	0,2—0,4 V ~	0,5 V ~
(für Leerlauf)		

23

Hauptsicherungskasten

Das Leichtmetallgehäuse ist durch eine aufklappbare Tür mit Gummiring abgedichtet. Das Gehäuse enthält einen Wahlschalter zum Umschalten auf den Haupt- oder Reserve-Umformer, einen Hauptschalter und je 1 Schalter für den Betrieb der Maschinentelegraphen-Fahrtmeß-Ruderlageanzeige und der Schiffswellen-umdrehungsanzeige-Anlage. Jeder Stromkreis ist mit einer Glimmlampe versehen und für sich abgesichert. Die Sicherungen sind durch eine in der Tür befindliche Klappe mit Schnellverschluß leicht zugänglich. Ferner ist ein Voltmeter, das die Generatorspannung 110 V anzeigt und 1 Regler für die Generatorspannung eingebaut. Abmessungen des Hauptsicherungskastens: (Maße über alles)

Höhe etwa 830 mm, Breite etwa 518 mm,
Tiefe etwa 275 mm,
Gewicht etwa 50 kg.

Umformer

Der Umformer hat folgende technische Daten:
Motorspannung 220 V — bzw. 110 V —
Erregung 220 V — bzw. 110 V —
Generatorleistung 2 KVA bei $\cos \varphi = 0,5$.
Generatorstrom 18,2 A
Generatorspannung 110 V
Frequenz 50 Hz bei 3000 U min.
Die Generatorspannung kann bei Vollast um $\pm 10\%$ geregelt werden
Der Umformer ist entstört.

Abmessungen: (Maße über alles)
Länge etwa 710 mm, Höhe etwa 350 mm
Breite etwa 370 mm
Gewicht etwa 100 kg.

Handanlasser

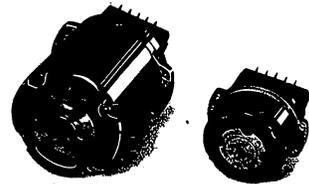
Der Handanlasser ist in einem Blechgehäuse eingebaut und mit einem Haltemagnet ausgerüstet.

Abmessungen: (Maße über alles)
Breite etwa 220 mm, Höhe etwa 310 mm
Tiefe etwa 265 mm
Gewicht etwa 15 kg.

Handdrehzahlregler

Der Handdrehzahlregler ist in einem Blechgehäuse eingebaut. Es enthält einen Regelwiderstand und einen Zungenfrequenzmesser. Mit dem Regelwiderstand wird die Drehzahl des Antriebsmotors und damit die Frequenz der Generatorspannung geregelt.

Abmessungen: (Maße über alles)
Breite etwa 390 mm, Höhe etwa 310 mm
Tiefe etwa 190 mm
Gewicht etwa 10 kg.



Typ 90 145: Geber

Typ 70 80: Empfänger

Drehmelder

Technische Richtwerte

Gebrauchsart	Emp länger	Emp länger	Differenzial Emp länger	Geber	Geber	Geber
Typ	70 80/6	70 110/7	70/110.3	70 110/7	90/115/2	90 145/2
Spannung	110 V	110 V	110 V	110 V	110 V	110 V
Frequenz	50 Hz	50 Hz	50 Hz	50 Hz	50 Hz	50 Hz
Aufnahme	20 VA	45 VA	45 VA	45 VA	60 VA	80 VA
Belastbarkeit	80 cmg	120 cmg	120 cmg	2 Empl.	5 Empl.	7 Empl.
				70/80	70/80 bzw. 70/110	70/80 bzw. 70/110
Richtmomentzunahme max.	8 cmg ¹⁰	12 cmg ¹⁰	12 cmg ¹⁰	—	—	—
Statischer Einstellfehler	$\pm 1,5^\circ$	$\pm 1,5^\circ$	$\pm 1,5^\circ$	—	—	—
Abmessungen:						
Gehäuse-durchmesser:	68 mm	68 mm	68 mm	68 mm	92 mm	92 mm
Gehäuselänge	78 mm	108 mm	108 mm	108 mm	112 mm	142 mm
Flansch-durchmesser	83 mm	83 mm	83 mm	83 mm	109 mm	109 mm
Gewicht:	0,7 kg	1,2 kg	1,2 kg	1,2 kg	2,2 kg	3,2 kg

3. Windgeschwindigkeits- und Windrichtungs-Empfänger

Diese Empfangsgeräte enthalten je einen Drehmelderempfänger, wobei die Windgeschwindigkeit, in m/sec. bzw. der Winddruck in kg/m² und die Windrichtung in Winkelgraden angezeigt wird.

Die Empfangsgehäuse können je nach Verwendungszweck und Einbauart geliefert werden:

- a) Für Schalltafeleinbau:
In einem staubdichten und lackierten Stahlblechgehäuse
- b) Für Wandbefestigung in rauen oder feuchten Betrieben:
In einem spritz- und schwallwasserdichten Aluminium-Gußgehäuse (Material: AL MG 5)

4. Registriergeräte

Die Registriergeräte enthalten als schreibendes System einen Empfänger-Drehmelder, der den zeitlichen Verlauf der Windgeschwindigkeit bzw. der Windrichtung auf einem Wachspapierstreifen (120 mm breit) mittels Saphirstift aufschreibt. Der Papiertransport erfolgt durch Uhrenlaufwerk mit einer Laufdauer von sechs Tagen. Der beschriebene Meßstreifen wird von einer selbsttätigen Aufwickelvorrichtung aufgenommen. Das Gehäuse des Registriergerätes ist staub- und spritzwasserdicht. Ein großes Frontfenster gestattet den Überblick der Aufzeichnungen des Schreibwerkes für einen längeren Zeitabschnitt.

Stromversorgung

Zur Fernübertragung der mit den Gebern gemessenen Windrichtung und Windgeschwindigkeit werden (für die Drehmelder) 110 Volt Wechselstrom 50 Hz benötigt. Diese Spannung kann jedem normalen Licht- oder Kraftnetz gegebenenfalls über Transformator entnommen werden. Der Leistungsbedarf beträgt für den Windgeschwindigkeits- und für den Windrichtungsgeber je etwa 100 VA $\cos \varphi$ etwa 0,3, für jeden Anzeigen-Empfänger oder jedes Registriergerät beträgt der Leistungsverbrauch $\cos \varphi$ etwa 0,3. Für die Fernübertragung zum Geber und Empfänger bzw. Registriergerät sind fünf Leitungen erforderlich. Die Leistung der eventuell gewünschten Heizung wird auf Anfrage angegeben. Je nach Umfang und Verwendungszweck gehören zur Installation der Anlage Sicherungs- oder Verteilerkästen. Im Bedarfsfalle kann die Windmeßanlage von einer Batterie über einen dahinter geschalteten kleinen Wechselstrom-Umformer und auch bei Ausfall des allgemeinen Stromnetzes in Betrieb gehalten werden.

18

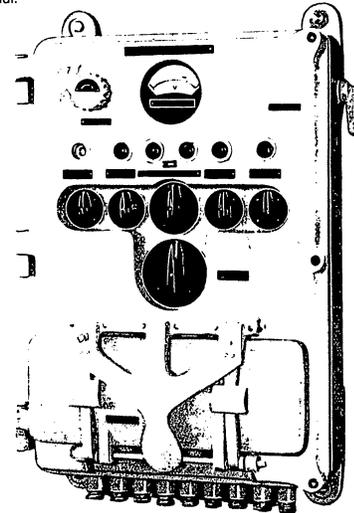
Stromversorgungs-Anlage für Schiffsführungsgeräte

Umfang der Anlage

1. 1 Hauptsicherungskasten
2. 1 Umformer
- 3a. 1 Handanlasser oder 3b. 1 Selbstanlasser mit Fernschalter
4. 1 Handdrehzahlregler.

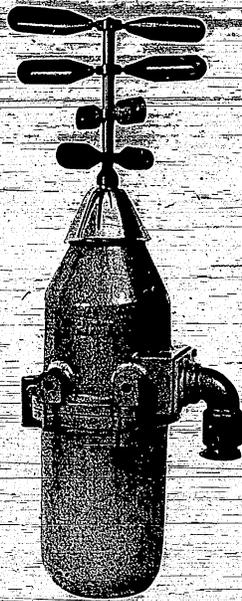
Beschreibung

Die Stromversorgungsanlage dient dazu, die erforderliche Wechselspannung für die Schiffsführungsanlagen zu erzeugen, zu verteilen und zu überwachen. Die an Bord vorhandene Gleichspannung von 220 bzw. 110 V wird in einem Umformer, der je nach Ausführung von Hand oder selbsttätig angelassen werden kann, in 110 V, 50 Hz Einphasen-Wechselspannung umgeformt. Im Hauptsicherungskasten erfolgt die Verteilung und Absicherung für die einzelnen Anlagen. Durch die im Hauptsicherungskasten eingebaute Warnsignalanlage wird die gesamte Stromversorgung überwacht. Bei Ausfall der Spannung erfolgt ein akustisches und optisches Signal.



Hauptsicherungskasten

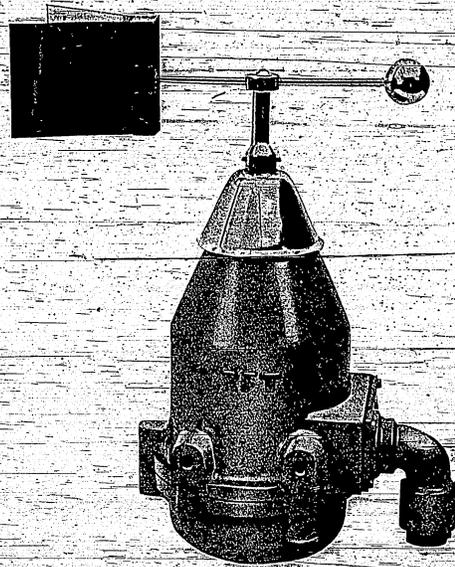
19



Windgeschwindigkeits-Geber

der Windgeschwindigkeit bis 42 m/sec. eingerichtet. Die beiden Kontaktfederarme werden bei Windgeschwindigkeiten von 15 m/sec. und darüber und bei 20 m/sec. und darüber betätigt. Auf Verlangen können die Windgeschwindigkeits-Geber mit einer Heizungseinrichtung vorgesehen werden, die ein einwandfreies Arbeiten auch bei den niedrigsten Außentemperaturen gewährleistet.

16



Windrichtungs-Geber

2. Der Windrichtungs-Geber
Der Windrichtungs-Geber besteht aus einer Windfahne, mittelbar gekoppeltem Drehmelder-Geber, der die Windrichtung auf elektrischem Wege auf die Empfänger und gegebenenfalls auf das Registriergerät überträgt. Auf Verlangen können die Windrichtungs-Geber mit einer Heizungseinrichtung vorgesehen werden, die ein einwandfreies Arbeiten der Anlage auch bei den niedrigsten Außentemperaturen gewährleistet.

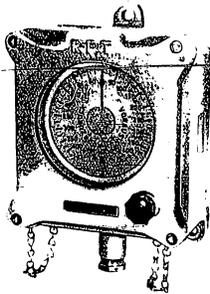
17

2. Geteiltes Kettenrad

Das geteilte Kettenrad besteht aus zwei Hälften, die miteinander verschraubt auf der Schiffswelle sitzen. Es wird je nach dem Durchmesser der Schiffswelle geliefert. Die Kette mit dem erforderlichen Kettenschloß soll in der Länge so kurz wie möglich gehalten werden.

3. Empfänger

Das Leichtmetallgehäuse ist durch einen aufschraubbaren Deckel mit Gummiring abgedichtet. Im Gehäuse befindet sich ein Dauerfeld-Drehspul-Instrument und vier Beleuchtungslampen mit Verdunklungseinrichtung, die über verschiedene Helligkeitsstufen auf der letzten Stufe abgeschaltet werden können. Die Empfänger werden auch ohne Skalenbeleuchtung und in Spezialausführung (Schalttafel-Einbauminstrument) geliefert.



Empfänger

Da bei den üblichen Voltmetern der Zeiger einen Skalensektor von nur etwa 90 Grad bestreicht, ist, um eine größere Ablesegenauigkeit zu erzielen, ein gleichpoliges Dauerfeld-Drehspul-Instrument eingebaut worden. Bei diesem Instrument bestreicht der Zeiger, mit dem Nullpunkt in der Mitte liegend, einen Anzeigebereich von etwa 120 ... 0 ... 120 Grad

Abmessungen: (Maße über alles)

Höhe	etwa	360 mm
Breite	etwa	240 mm
Tiefe	etwa	170 mm
Gewicht	etwa	9 kg

4. Widerstandskasten

Der Widerstandskasten ist spritzwasserdicht ausgeführt. Das Gehäuse besteht aus seewasserbeständigem Hydronalium, es ist eloxiert und marinegrau lackiert. Der Widerstandskasten enthält die justierbaren Widerstände je nach Anzahl der Geber. Der Energiebedarf der Anlage für Umdrehungs-Fernanzeige ist äußerst gering. Nur für den Empfänger mit Beleuchtung werden etwa 20 VA benötigt.

Windmeßanlage

Je nach Verwendung, Zweck oder Aufgabe können zu einer Anlage gehören:

1. 1 oder mehrere Windgeschwindigkeits-Geber
2. 1 oder mehrere Anzeige- oder Registriergeräte für Windmeßgeschwindigkeit
3. 1 oder mehrere Windrichtungs-Geber
4. 1 oder mehrere Anzeige- und Registriergeräte für Windrichtung
5. 1 Schalt- oder Sicherungskasten

Zweck

Windmeßanlagen dienen zur Messung der Windgeschwindigkeit und der Windrichtung einschließlich Fernübertragung der Meßwerte und zur laufenden Registrierung der Meßwerte.

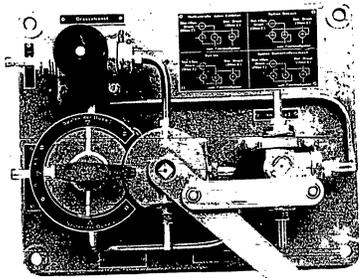
Verwendung

Windmeßanlagen finden Verwendung auf Großtagebaugeräten, Förderbrücken, Absetzer usw., Windgeschwindigkeits-Meßanlagen auch auf Schiffen. Auf Förderbrücken sind die Windmeßanlagen ein bedeutungsvolles Sicherheitsorgan. Sie dienen hierbei zur Einleitung der gegen das Abtreiben derartiger großer Bauwerke erforderlichen Maßnahmen. Auf Schiffen bilden sie die Grundlage für die Feststellung des Abtreibens von der geraden Kurslinie.

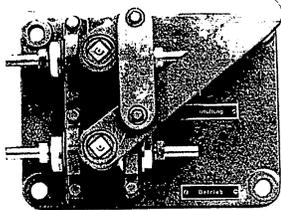
Beschreibung

1. Windgeschwindigkeits-Geber

Der Windgeschwindigkeits-Geber besteht aus einem sehr wetterbeständigen, wasserdichten Gehäuse und trägt ein in mehreren Ebenen angeordnetes Schalenkreuz. Das Schalenkreuz wird durch die Einwirkung des Winddruckes um einen der Windgeschwindigkeit proportionellen Winkel aus seiner Null-Lage herausgedreht. Die Drehbewegung des Schalenkreuzes ist über eine Dämpfungs- und eine Radziereinrichtung mit einem Drehmelder-Geber verbunden. Der Drehmelder-Geber überträgt den der Windgeschwindigkeit proportionellen Drehwert auf elektr. Wege auf die entfernt angebrachten Empfänger und gegebenenfalls auf das Registriergerät. Von der Achse werden unmittelbar im Windgeschwindigkeits-Geber Kontaktfedersätze betätigt, die über Relais Signale und Schaltvorgänge auslösen können. Die Windgeschwindigkeits-Geber werden vor ihrer Auslieferung im Windkanal geeicht. Der Windgeschwindigkeits-Geber ist für die Messung



Armaturentafel II



Armaturentafel I

Armaturentafeln

Die Armaturentafel I dient zur Entlüftung der Membrankammern und Leitungen. Bei der Tafel II sind die Hähne so angeordnet und verblockt, daß eine Beschädigung der Membran beim Durchspülen der Düsen nicht eintreten kann. Das Drosselventil soll ein Pendeln der Wassersäule verhindern und ist dementsprechend einzustellen.

Düsenanordnung

Der dynamische Druck wird entnommen entweder durch eine feste Düse am Steven (Stevenlog) oder durch eine einziehbare Düse am Boden (Bodenlog). Der statische Druck wird entnommen aus einer festen Düse an einer solchen Stelle der Außenhaut des Schiffes, bei der der statische Druck bei allen Fahrstufen möglichst konstant ist.

Energiebedarf

Der Energiebedarf des Druckfahrtmessers beträgt 100 VA. Außerdem werden je Empfänger etwa 25 VA benötigt. Der Leistungsfaktor der Anlage beträgt etwa $\cos \varphi = 0,4$. Betriebsspannung 110 V/50 Hz.

Anlage zur Schiffswellenumdrehungs-Fernanzeige (SUZ)

Umfang der Anlage

Die Anlage besteht aus folgenden Geräten:

1. Drehzahlgeber
2. 1 bis maximal 10 Empfängern, je nach Bedarf
3. 1 Widerstandskasten

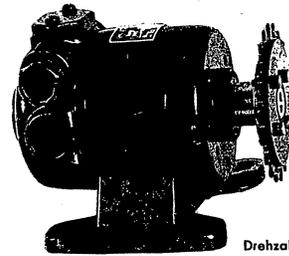
Beschreibung

Die Anlage für die Schiffswellenumdrehungs-Fernanzeige dient zur Messung und elektrischen Übertragung der jeweiligen Schiffswellenumdrehungen pro Minute auf Empfänger sowie zur Anzeige der Fahrtrichtung (voraus — zurück). Die Empfänger können an verschiedenen Stellen des Schiffes untergebracht werden, z. B. auf der Kommandobrücke, am Maschinenleitstand usw. Die Wirkungsweise der Anlage beruht auf einer Spannungsmessung. Eine Gleichstrommaschine, die mit der Schiffswelle über Kettenräder und Kette gekuppelt ist, erzeugt eine der Schiffswellendrehzahl proportionale Spannung. Diese Spannung wird auf Spannungsanzeigegeräte (Empfänger) übertragen, die eine geeichte Skala in Umdrehungen pro Minute haben.

Aufbau der Einzelgeräte

1. Geber

Der Geber ist eine spritzwasserdichte Gleichstrom-Tachometermaschine in seewasserfester Ausführung. Die Drehzahl der Tachometermaschine beträgt etwa 1000 U/min bei der Schiffswellen-Nennndrehzahl.



Drehzahlgeber

Auf dem Achsstumpf der Tachometermaschine ist ein kleines Kettenrad befestigt, welches über eine Kette von einem auf der Schiffswelle sitzenden geteilten Kettenrad angetrieben wird.

Abmessungen:

Länge	etwa 150 mm	Höhe	etwa 120 mm
Breite	etwa 135 mm	Gewicht	etwa 2 kg

Fahrtmeßanlage für Schiffe

Umfang der Anlage

Zu einer Fahrtmeßanlage gehören außer der von der Wert zu liefernden Düseneinrichtung mit Rohrleitungen folgende Geräte:

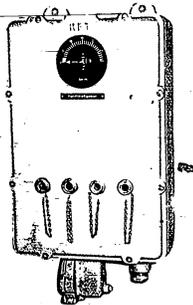
1. 1 Druckfahrmesser mit eingebautem Geber
2. 1 Verteilerkasten
3. 1 bis 6 Empfänger, je nach Bedarf
4. 1 Armaturentafel (zweiteilig)

Beschreibung

Die Fahrtmeßanlage dient zur Ermittlung der Schiffsgeschwindigkeit und Übertragung der Werte auf Empfänger, die an verschiedenen Stellen des Schiffes untergebracht sind, z. B. auf der Kommando- brücke, am Maschinenleiststand usw. Die Geschwindigkeit wird am Druckfahrmesser bzw. an den Empfängern in Seemeilen pro Stunde angezeigt.

Der Meßbereich beträgt 0...30 sm/h. Auf Wunsch können die Geräte auch für kleinere Bereiche: 0 bis 16 oder 0 bis 20 sm/h geliefert werden.

Das Verfahren beruht auf einer Staudruckmessung. Dieser Staudruck (dynamischer Druck) ist dem Quadrat der Schiffsgeschwindigkeit proportional. Es wird also der dynamische Druck bei fahrendem Schiff gemessen, quadriert und vom Gerät in Geschwindigkeits- werten umgewandelt.



Druckfahrmesser mit eingebautem Geber

1. Druckfahrmesser

Die Fahrtbewegung des Schiffes erzeugt in einer Meßdüse einen entsprechenden dynamischen Druck, den man auf eine Membrane im Druckfahrmesser einwirken läßt. Der gleichzeitig einwirkende statische Druck wird dadurch ausgeschaltet, daß der einen Membranseite dynamischer plus statischer Druck und der anderen Seite nur statischer Druck zugeführt wird. Die durch den dynamischen Druck hervorgerufene Durchbiegung der Membrane wird

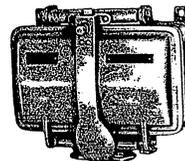
über eine Hebelanordnung auf einen Meßhebel übertragen, dessen Auslenkung proportional dem dynamischen Druck ist. Durch diese Auslenkung wird ein elektrischer Indikator verstellt, dessen Spannung einem Steuermotor zugeführt wird. Der Steuermotor spannt entsprechend der Meßhebelauslenkung eine Meßfeder, welche den Meßhebel wieder in die Null-Lage zurückführt, wobei der Steuermotor stromlos wird und stehen bleibt. Dynamischer Wasserdruck und Meßfederzug halten sich somit das Gleichgewicht. Eine Änderung der Schiffsgeschwindigkeit ruft eine Änderung des dynamischen Druckes hervor; der Steuermotor spannt oder entspannt dabei die Meßfeder so lange, bis der Meßhebel wieder in seine Lage zurückgekehrt ist. Der Steuermotor verstellt gleichzeitig einen Geber, an welchen bis zu sechs Empfänger angeschlossen werden können, um die Schiffsgeschwindigkeit an verschiedenen Stellen des Schiffes zur Anzeige zu bringen.

Abmessungen: (Maße über alles)

Breite	etwa 375 mm	Tiefe	etwa 230 mm
Höhe	etwa 740 mm	Gewicht	etwa 40 kg

Sicherungskasten

Empfänger



2. Verteilerkasten

Der spritzwasserdichte Verteilerkasten mit abschraubbarem Deckel enthält Klemmenleisten zum Anschließen der Kabel. Diese werden über Kabelstützen in das Gehäuse eingeführt. Am Verteilerkasten erfolgt der Anschluß der Betriebsspannung 110 V/50 Hz, die von der Stromversorgungsanlage geliefert wird.

3. Empfänger

Der Empfänger dient zur Anzeige der vom Druckfahrmesser ermittelten Schiffsgeschwindigkeit. Er erhält seine Werte durch elektrische Übertragung von einem im Druckfahrmesser untergebrachten Gebersystem. Der Empfänger enthält ein Empfänger- gebrauchtes Gebersystem, drei Beleuchtungslampen mit Verdunklungseinrichtung, eine Klemmenleiste und eine auswechselbare Trockner-Patrone zum Aufsaugen der Luftfeuchtigkeit.

Abmessungen: (Maße über alles)

Breite	etwa 240 mm	Tiefe	etwa 165 mm
Höhe	etwa 362 mm	Gewicht	etwa 12 kg

Ruderlagenanzeigeanlage

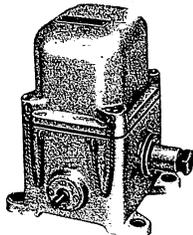
Umfang der Anlage

Die Anlage besteht aus folgenden Geräten:

1. 1 Ruderlagengeber
2. 1 bis 6 Empfänger, je nach Bedarf
3. 1 Verteilerkasten

Beschreibung

Die Anlage dient zur elektrischen Übertragung der jeweiligen Ruderlage auf Empfänger, die an verschiedenen Stellen des Schiffes untergebracht sind, z. B. auf der Kommandobrücke, im Steuerhaus usw.



Ruderlagengeber

1. Ruderlagengeber

Der Ruderlagen-Geber ist mechanisch mit dem Ruderschiff verbunden und gibt den der Ruderlage entsprechenden elektrischen Wert an die angeschlossenen Empfänger. Das Leichtmetallgehäuse ist durch einen aufschraubbaren Deckel mit eingelegetem Gummiring abgedichtet. Im Gehäuse ist das Gebersystem und eine Klemmenleiste untergebracht.

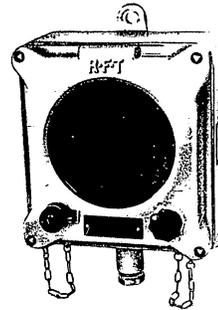
Abmessungen: (Maße über alles)

Breite	etwa 240 mm
Höhe	etwa 300 mm
Tiefe	etwa 230 mm
Gewicht	etwa 8 kg

2. Ruderlagen-Empfänger

Der Ruderlagen-Empfänger dient zur Anzeige der jeweiligen Ruderlage, die er als elektrische Werte vom Geber erhält. Das Leichtmetallgehäuse ist durch einen aufschraubbaren Deckel mit eingelegetem Gummiring abgedichtet. Es enthält ein Empfängersystem mit Zeiger, eine Skala, auf der der Ruderwinkelbereich von 44° ... 0° ... 44° aufgezeichnet ist, drei Beleuchtungslampen und Verdunkelungseinrichtung, eine Klemmenleiste und eine austauschbare Trockner-Patrone zum Aufsaugen der Luftfeuchtigkeit.

8



Abmessungen:
(Maße über alles)

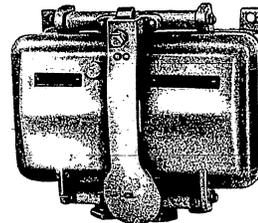
Breite	etwa 240 mm
Höhe	etwa 362 mm
Tiefe	etwa 165 mm
Gewicht	etwa 12 kg

RUZ-Empfänger

3. Verteilerkasten / Sicherungskasten

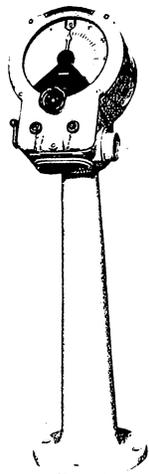
Anzahl und Größe des Kastens richten sich nach dem Umfang der jeweiligen Anlage. Der Deckel des Verteilerkastens ist abschraubbar und mit einem Gummiring abgeschlossen.

Der Energiebedarf des Ruderlagen-Gebers beträgt etwa 80 VA. Außerdem werden je Empfänger etwa 25 VA benötigt. Der Leistungsfaktor der Anlage beträgt etwa $\cos \varphi = 0,3$.

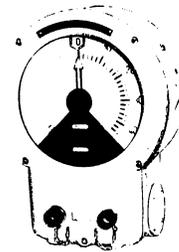


Sicherungskasten

9



Rudertelegraf-Geber



Rudertelegraf-Empfänger

Rudertelegraf-Anlage

Umfang der Anlage

Die Rudertelegraf-Anlage besteht aus folgenden Geräten:

- 1 Rudertelegraf-Geber,
- 1 Rudertelegraf-Empfänger
- 1 Sicherungskasten

Verwendungszweck

Die Rudertelegraf-Anlage gestattet, bei Ausfall der elektr. Übertragung zur Rudermaschine bzw. der Rudermaschine selbst Ruderkommandos an den Rudergänger zur Steuerung des Ruders mittels Handantrieb zu übertragen. Die Kommandos werden vom Rudertelegraf-Geber (Schiffsführungsstand) an den im Hilfsruderraum befindlichen Rudertelegraf-Empfänger weitergegeben. Als Quitungswert wird die jeweilige Ruderlage sowohl an den Rudertelegraf-Geber als auch an den Rudertelegraf-Empfänger laufend zurückgemeldet.

Rudertelegraf-Geber

Der Rudertelegraf-Geber wird als Säulen- oder Wandgerät geliefert. Das Gehäuse enthält zwei Drehmelder, eine Beleuchtungseinrichtung und zwei Schouzeichen-Relais (Stromlos-Anzeige). Auf

der Frontseite des Gerätes befindet sich eine Skala, auf der der Ruderwinkelbereich von 44' ... 0 ... 44' aufgezeichnet ist. Vor dieser Skala sind zwei Zeiger angeordnet. Der außen laufende Rahmenzeiger (rot) gibt die befohlene Ruderlage an. Der innenlaufende Zentralzeiger zeigt die jeweilige Ruderlage an.

Das Handrad auf der Frontseite des Gerätes dient zur Einstellung des befohlene Ruderlagenwinkels. Die Skala wird von vier Lampen (24 V) beleuchtet. Die Verdunklungseinrichtung wird stufenlos geregelt und in der äußersten Linksstellung abgeschaltet.

Abmessungen:

	Säulenausführung	Wandausführung
Breite	etwa 350 mm	etwa 350 mm
Höhe	etwa 1360 mm	etwa 530 mm
Tiefe	etwa 415 mm	etwa 250 mm
Gewicht	etwa 30 kg	etwa 20 kg

Rudertelegraf-Empfänger

Der Rudertelegraf-Empfänger ist als Wandgerät ausgeführt. Im Gehäuse sind zwei Empfänger-Drehmelder angeordnet. Einer für den befohlene Ruderlagenwinkel und der zweite für die jeweils tatsächliche Ruderlage. Die Skalenausführung ist die gleiche wie die des Gebers.

Sicherungskasten

Der Sicherungskasten enthält die für die einzelnen Stromkreise notwendigen Sicherungen und die für die Kabelverteilung erforderlichen Klemmen. Der Kasten hat Schnellverschluss.

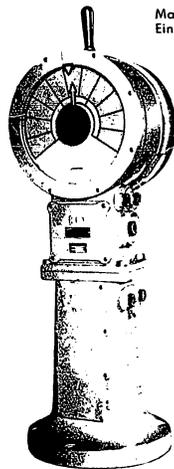
Stromversorgung

Die Anlage arbeitet mit einer Betriebsspannung 110 V/50 Hz. Die Ein- und Ausschaltung der RT-Anlage erfolgt mit dem am Geber befindlichen Schalter. Die Betriebsspannung 110 V/50 Hz ist im Sicherungskasten der Anlage abgesichert. Der Energiebedarf beträgt für den Geber ca. 120 VA; für den Empfänger ca. 50 VA.

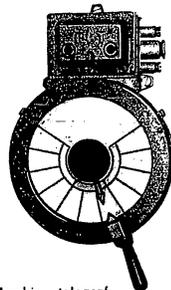
Die für die Kommandostellen bestimmten Geräte (Geber) sind als freistehende Säulenapparate ausgebildet und haben Innenbeleuchtung, die unmittelbar von der Speiseleitung der Anlage abgezweigt wird.

Bei Doppelschraubenschiffen sind, um Platz und Kosten zu sparen, zwei Geberköpfe auf einer Säule angeordnet (Doppelgeber). Eine Säule mit nur 1 Geberkopf (Einfachgeber) ist für ein Einschraubenschiff bestimmt.

Wenn die Kommandogabe wahlweise von mehreren Stellen erfolgen soll (z. B. von der Brücke, von der StB-Nock oder der BB-Nock), werden mehrere Maschinentelegraf-Gebersäulen aufgestellt und diese untereinander durch Ketten-Seil-Zug gekoppelt. In diesem Falle bewegen sich die gekoppelten Kommandohebel gleichzeitig, unabhängig, welcher Kommandogeber bedient wird.



Maschinentelegraf-Einfachgeber



Maschinentelegraf-Empfänger

Maschinentelegraf-Geber

Das Gerät besteht aus einer Säule mit einem bzw. zwei spritzwasserdicht aufgeschraubten Köpfen. Die Kommandohebel sind sinnfällig angeordnet, d. h. für Kommando „Voraus“ werden sie in Fahrtrichtung gedrückt, und für Kommando „Zurück“ entgegen der Fahrtrichtung. Eine Raste hält die Einstellhebel in der jeweiligen Befehls-

stellung fest. Im Kopfgewand sind je ein Geber- und Empfängersystem (Quittungsempfänger) angeordnet. Rechts und links befindet sich je eine Skalen Scheibe von etwa 300 mm \varnothing , die durch je 4 Lampen erleuchtet werden. Die 8 Lampen können durch eine gemeinsame Verdunkelungseinrichtung über verschiedene Helligkeitsstufen abgeschaltet werden. Als Achtungssignal für die Quittungsgabe vom Maschinentelegraf-Empfänger ist im Gebergerät je eine Schnarre eingebaut. Ein durch die Skalen Scheiben sichtbar werdendes Schanzeichen zeigt an, wenn die Anlage stromlos ist. Die Kabelzuführung erfolgt von unten her durch die Säule.

Abmessungen:	Einfachgeber	Doppelgeber
Höhe etwa	1180 mm	1220 mm
Kopfdurchmesser	380 mm \varnothing	380 mm \varnothing
Skalendurchblick	300 mm \varnothing	300 mm \varnothing
Breite	295 mm	430 mm
Gewicht	38 kg	45 kg

Maschinentelegraf-Empfänger

Zu einer Maschinentelegraf-Anlage für einen Doppelschraubendampfer gehören zwei Empfänger, ein Empfänger für die Steuerbordmaschine und ein Empfänger für die Backbordmaschine. Bei Einstellung des Bedienungshebels am Maschinentelegraf-Geber auf ein bestimmtes Kommando wird gleichzeitig auf elektrischem Wege der Anker des Empfängersystems im Maschinentelegraf-Empfänger in die gleiche Stellung gedreht. Eine mit dem Anker gekuppelte Kontaktvorrichtung wird geschlossen und bringt eine Hupe oder Glocke im Maschinenraum zum Erläutern. Vor Ausführung des Kommandos muß dieses dem Maschinentelegraf-Geber quittiert werden, indem der Einstellhebel am Empfänger in die entsprechende Stellung gebracht wird. Dabei wird der Kontakt für die Hupe bzw. Glocke geöffnet und diese stillgesetzt und der Zeiger des Quittungsempfängers im Maschinentelegraf-Geber elektrisch in die Stellung gedreht, die der Einstellhebel am Empfänger hat, so daß Einstellhebel und Zeiger am Geber in Deckung stehen. Im spritzwasserdichten Gehäuse des Maschinentelegraf-Empfängers befinden sich

1 Empfängersystem sowie 1 Gebersystem für die Quittungsgabe. Die Skalen Scheibe hat 300 mm \varnothing .

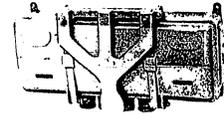
Abmessungen:	Höhe etwa	410 mm	Tiefe	250 mm
Gehäuse	\varnothing 380 mm		Gewicht etwa	15 kg

Sicherungskasten

Der Sicherungskasten enthält die Sicherungen für die einzelnen Stromkreise sowie Klemmenleisten. Zur schnellen und bequemen Auswechslung der Sicherung ist der Kasten mit einem Schnellverschluß versehen.

Energiebedarf

Die Anlage wird mit Wechselstrom 110V/50 Hz betrieben. Der Energiebedarf der Maschinentelegraf-Anlage beträgt für den Doppelgeber mit Beleuchtung etwa 250 VA und für jeden Empfänger mit Quittungsgeber etwa 100 VA. Der Leistungsfaktor der Anlage beträgt etwa $\cos \varphi = 0,4$.

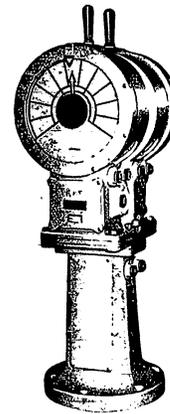


Sicherungskasten

Inhaltsverzeichnis

Maschinentelegraf-Anlage	3
Rudentelegraf-Anlage	6
Ruderlagenanzeige-Anlage	8
Fahrmeßanlage	10
Anlage zur Schiffswellenumdrehungs-Fernanzeige	13
Windmeßanlage	15
Stromversorgungsanlage	19
Drehmelder	21
FerrisMotoren	23

Export-Information durch „DIA“ Deutscher Innen- und Außenhandel - Elektrotechnik
Berlin C.2, Liebknechtstraße 14 - Telegrammadresse: Diaelektro



Maschinentelegraf-Doppelgeber

Maschinentelegraf-Anlage

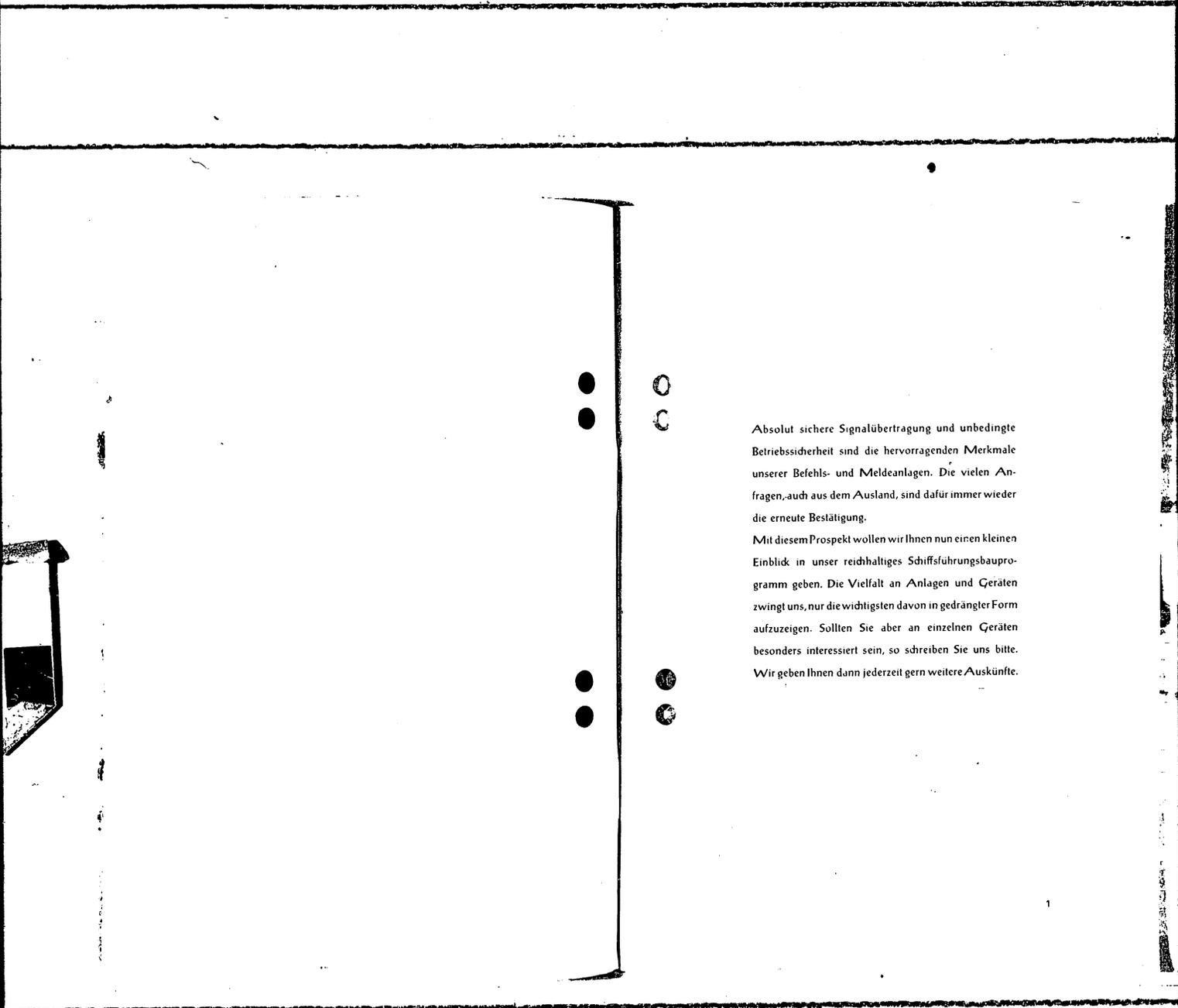
Umfang der Anlage

Zu einer M-T-Anlage gehören folgende Geräte:

1. 1 Maschinentelegraf-Doppelgeber für ein Doppelschraubenschiff
2. 1 Maschinentelegraf-Einfachgeber für ein Einschraubenschiff
3. 1 oder 2 Maschinentelegraf-Empfänger mit einer Hupe oder Glocke
4. 1 Sicherungskasten bzw. Verteilerkasten

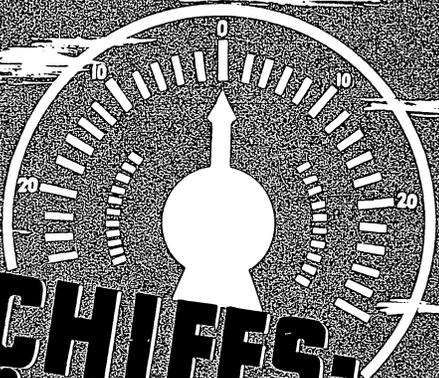
Beschreibung

Der Maschinentelegraf verbindet die Kommandostellen des Schiffes mit dem Maschinenraum, er ist zur Quittungsgabe eingerichtet und enthält je ein Geber- und ein Empfängersystem. Zur Befehlsgabe dient ein Einstellhebel, der mittels Zahnradübertragung den Anker des Gebersystems antreibt und durch eine Rastenvorrichtung in der erwünschten Kommandostellung festgehalten wird. Das Empfängersystem bewegt den in der Mitte der Skalenscheibe angeordneten Zeiger.



Absolut sichere Signalübertragung und unbedingte Betriebssicherheit sind die hervorragenden Merkmale unserer Befehls- und Meldeanlagen. Die vielen Anfragen, auch aus dem Ausland, sind dafür immer wieder die erneute Bestätigung.

Mit diesem Prospekt wollen wir Ihnen nun einen kleinen Einblick in unser reichhaltiges Schiffsführungsbauprogramm geben. Die Vielfalt an Anlagen und Geräten zwingt uns, nur die wichtigsten davon in gedrängter Form aufzuzeigen. Sollten Sie aber an einzelnen Geräten besonders interessiert sein, so schreiben Sie uns bitte. Wir geben Ihnen dann jederzeit gern weitere Auskünfte.



**SCHIFFS-
FÜHRUNGS-
GERÄTE**

VEB FUNKWERK KÖPENICK
BERLIN-KÖPENICK · WENDENSCHLOSS-STR. 154/58

Sollwertesteller

Mit dem Sollwertesteller wird in der Schaltwarte ein „Sollwert“ eingestellt, der z. B. die jeweilige Belastung des Kraftwerkes vorschreibt. Dieser Wert wird auf dem unteren Lichtbandstreifen angezeigt. Auf dem darüberliegenden Lichtbandstreifen wird der augenblickliche Belastungs-„Istwert“ des Kraftwerkes angezeigt. Dieser Istwert kann von einer vorhandenen Fernmeß-Anlage abgegriffen werden.

Bei Änderung des Sollwertes oder sprunghafter Änderung des Istwertes ertönt ein Signal, das somit zur Beobachtung des Instrumentes bzw. zur Überwachung der Anlage auffordert.

Steuergerät

Zur Speisung des Lichtbandinstrumentes dient ein Verstärker, der getrennt davon aufgestellt werden kann. Er enthält einen Wechselrichter, der die von der Fernmeß-Anlage oder von einem anderen geeigneten Indikator kommende Gleichspannung umformt. Außerdem sind Gegentaktverstärker und Stromversorgung in dem Gerät untergebracht.

Durch ein in der Frontplatte eingebautes Milliampereometer kann der Anodenstrom der Endverstärkerrohren kontrolliert werden.

Drei Signallampen zeigen an:

Verstärker eingeschaltet

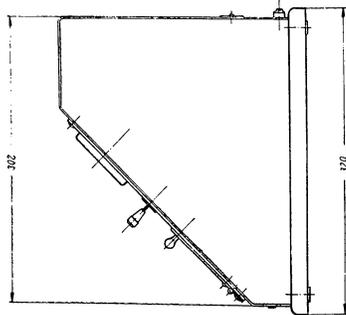
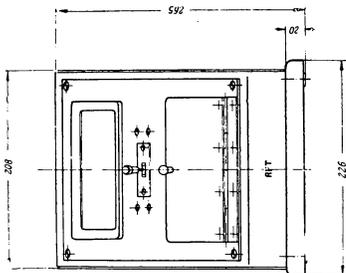
Sollwertesteller eingeschaltet

Beleuchtung Lichtband-Instrument eingeschaltet

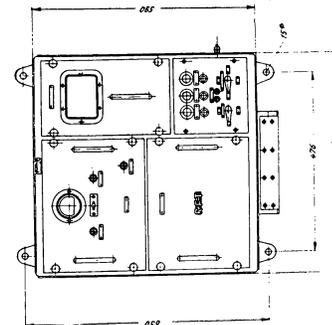
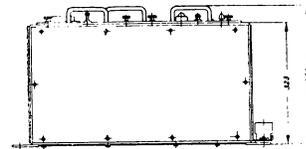
Der Gegentaktverstärker liefert die Steuerspannung für den Ferraris-Motor im Lichtband-Anzeigeelement. Dieser bewirkt die veränderliche Abdeckung der beleuchteten Skala.

Export-Information durch „DIA“ Deutscher Innen- und Außenhandel — Elektrotechnik
Berlin C2, Liebknechtstraße 14 — Telegrammadresse: Dialektra Berlin

154 R 2763 1 289



Schlüsselsteller



Steuergerät

RFET
ELEKTRISCHE SIGNAL U.
STEUEREINRICHTUNGEN

LICHTBAND-INSTRUMENT

Waren Nr. 36420000

Technische Daten

Lichtband-Anzeigeelement
Beleuchtung: 4 Leuchtstoffröhren HNT 120, 25 W
Steuergerät:
Anschluß an 220 V Wechselstrom
Leistungsaufnahme: ca. 450 VA
Bestückung: 2 Röhren EL 12 spez.

1	..	EF 12
1	..	Z 2c
2	..	Eisen-Wasserstoffwiderstände EW 50/150-1000
2 EW 75/255/100
1 EW 70/210-60

Verwendungszweck

Das Lichtband-Instrument wird überall dort Anwendung finden, wo eine präzise Anzeige im Kesselhaus eines Kraftwerkes oder einer Großraumschaltanlage verlangt wird, die auf größere Entfernung einwandfrei ablesbar ist. Mit entsprechend beschrifteter Skala kann dieses Gerät zur Anzeige von Strom, Spannung, Leistung, Dampfmenge oder Dampfdruck, Wassermenge oder Wasserdruck und dergleichen verwendet werden.

Aufbau und Arbeitsweise

Das Lichtband-Instrument besteht aus:

Lichtband-Anzeigeelement

Eine von der Rückseite beleuchtete Skala (7 x 200 cm) wird proportional dem Meßwert abgedunkelt. Zwei Anzeigesysteme, die je nach Ausführung über oder nebeneinander angeordnet sind, zeigen den Ist- und Sollwert an. Sie sind in einem staubdichten Gehäuse eingebaut. Der Bandantrieb erfolgt durch einen Ferraris-Motor. Das zugehörige Getriebe ist ferner staubdicht gekapselt, offene Kontakte und Kollektoren sind daher nicht vorhanden. Dieses Gerät kann auch mit je einer Skala auf der Vorder- und Rückseite geliefert werden, so daß eine Beobachtung von zwei Seiten aus möglich ist.



VEB FUNKWERK KÖPENICK

Berlin-Köpenick, Wendenschloßstraße 154-158

Fernruf: Sammel-Nr. Berlin 64 80 91
Nachruf: Berlin 64 79 79

Telegrammadresse:
EREFTE Funkwerk Berlin

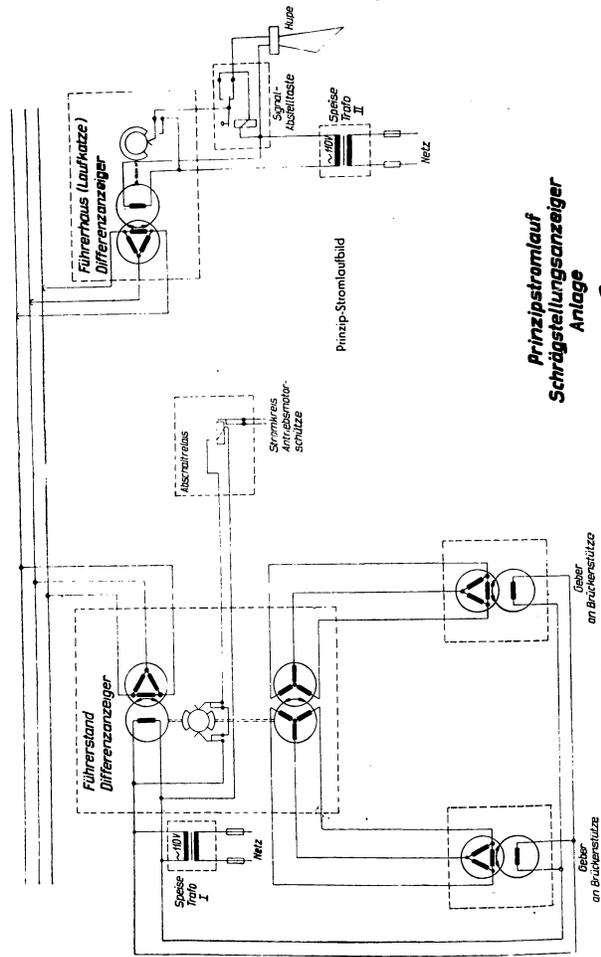
Erreichen der maximal zulässigen Schräglage über Nockenkontakte, ein Relais und Schaltschütze, die Antriebsmotoren abschaltet. Die Rotorstellung wird durch einen gleichlaufenden kleinen Drehmelder-Geber über Schleifleitungen auf einen im Führerhaus der Laufkatze befindlichen Drehmelder-Empfänger übertragen, der durch seine Anzeige auch dort eine Schräglagenkontrolle ermöglicht und bei Erreichen der Grenzschräglage ein akustisches Warnsignal auslöst. Das Warnsignal kann durch eine Abstell-einrichtung so abgeschaltet werden, daß sich die Warneinrichtung bei Rückgang der Schräglage selbsttätig wieder einschaltet.

Die Anlage wird mit einphasigem Wechselstrom 110 V 50 Hz über 2 Speisetrofos betrieben. Anpassung an die jeweiligen Netzspannungs-verhältnisse mit Normalfrequenz ist somit möglich. Die Leistungsaufnahme der beiden Speisetrofos betragt:

Speisetrofo I	etwa 300 VA
Speisetrofo II	etwa 120 VA

Export-Information durch „DIA“ Deutscher Innen- und Außenhandel – Elektrotechnik
Berlin C2, Liebknechtstraße 14 – Telegrammadresse: Diaelektro Berlin

154 R 28891 313



**Prinzipstromlauf
Schrägstellungsanzeiger
Anlage**

Die Schrägstellungsanzeiger-Anlage dient zur Anzeige und Begrenzung der Schräglage, die bei Verladebrücken mit Einzelantrieb der Brückenstützen durch Abweichungen im Gleichlauf der Stützenlaufwerke entsteht. Sie umfasst:

- 2 Gebergeräte
- 1 Differenzanzeiger für den Führerstand
- 1 Differenzanzeiger für das Führerhaus der Laufkatze
- 1 Verteilerkasten mit Abschaltrelais
- 1 Kasten mit Signalabstelltaste
- 2 Speisetransformatoren
- 1 Warnhupe

Das Gebergerät ist ein kräftiger Drehmeldergeber in wasserdichtem Gußgehäuse, der über Stirnräder mit einem Kettenrad gekuppelt und mit Zeiger bzw. Justierskala versehen ist. Er wird mit einer Kette angetrieben. Der Differenzanzeiger für den Führerstand ist ein in ein wasserdichtes Gußgehäuse eingebauter Differential-Drehmelderempfänger, der auf seiner Rotorwelle einen Zeiger und Schaltnocken für die Kontakteinrichtung zur Grenzlagen-Abschaltung trägt und über Stirnräder einen Drehmeldergeber nachdreht. Eine übersichtliche Skala gewährleistet eine gute Ablesung.

Der Differenzanzeiger für das Führerhaus der Laufkatze ist ein Drehmelder-Empfänger mit Zeiger und Skala sowie einer Kontakteinrichtung für ein Warnsignal, eingebaut in ein wasserdichtes Gußgehäuse.

Der Verteilerkasten enthält Abzweigklemmen und ein Hilfsrelais für die Grenzlagen-Abschaltung.

Der Kasten mit Signalabstelltaste enthält ein Melderelais mit Druckknopf zur Löschung des Warnsignals.

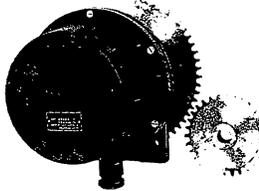
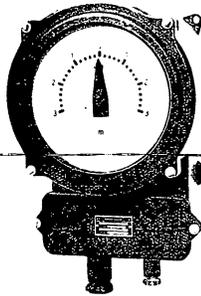
Die Speisetransformatoren sind ebenfalls in wasserdichte Gehäuse eingebaut.

Die Rotoren der in den Brückenstützen montierten Gebergeräte werden über Kettenantrieb von je einem auf der Schiene laufenden Meßrade um einen dem zurückgelegten Wege proportionalen Drehwinkel verstell. Die zu den Winkeln gehörenden elektrischen Werte werden auf den Differential-Drehmelder im Führerstand weitergeleitet, dessen Rotor sich entsprechend der Differenz der Meßwerte einstellt, evtl. Ststellungsabweichung der Brückenstützen von der Gleichlaufstellung auf der Skala anzeigt und bei

RF
ELEKTRISCHE SIGNAL- U.
STEUEREINRICHTUNGEN

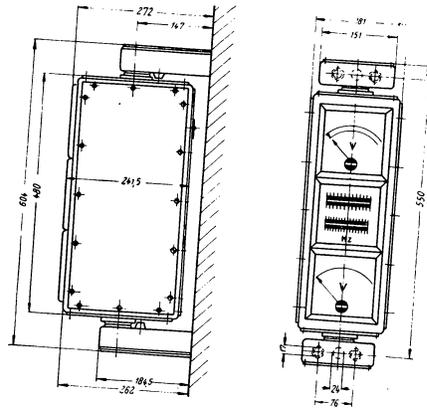
SCHRÄGSTELLUNGSANZEIGER-ANLAGE

Waren-Nr. 36 42 00 00



VEB FUNKWERK KÖPENICK

Berlin-Köpenick, Wendenschloßstraße 154-158
Fernruf: Sammel-Nr. Berlin 64 80 91 Telegrammadresse:
Nachruf: Berlin 64 79 79 EREFTE Funkwerk Berlin



Export-Information durch „DIA“ Deutscher Innen- und Außenhandel - Elektrotechnik
Berlin C2, Liebknechtstraße 14 - Telegrammadresse: Diaelektro Berlin

154 R 2763 1 291

REGELGERÄTE

PARALLELSCHALTGERÄT

Waren-Nr. 36 25 15 00

Technische Daten

Das Gerät ist über 2 einphasige Spannungswandler mit einer Sekundärspannung von 100 V anzuschließen.

Leistungsbedarf des Gerätes: Je Wandler 10 VA
Hilfsspannung 220 V, Wechselstrom ca. 60 VA
Projektionslampe für Nullspannungsinstrument 6 V 5 W

Verwendungszweck

Das Gerät wird dort in Anwendung kommen, wo es darauf ankommt, in kleineren Kraftwerken, Industriezentralen, Prüffeldern und Versuchsfeldern einen Synchron-generator auf das Netz zu schalten. Die Aufschaltung erfolgt automatisch, eine Aufschaltung in Phasenopposition wird dadurch vermieden. Das Zusammenschalten findet bei einem Frequenzunterschied von 0 0,1 Hz statt.

Aufbau

In einer drehbaren Schaltsäule sind ein Doppelspannungsmesser, Doppelfrequenzmesser und Nullspannungsvoltmeter untergebracht. In dem Nullspannungsvoltmeter ist eine Optik mit einer Fotozelle eingebaut. Bei einer bestimmten Stellung des Zeigers, der mit einem Spiegel ausgerüstet ist, wird die Fotozelle belichtet und ein Impuls zur Betätigung des Leistungsschalters gegeben. Die Belichtungszeit ist ein Maß für die Schwebungsfrequenz. Sämtliche Schaltelemente sind in der Schaltsäule eingebaut.

*



VEB FUNKWERK KÖPENICK

Berlin Köpenick, Wendenschloßstraße 154 - 158

Fernruf : Sammel-Nr. Berlin 64 80 91
 Nachruf : Berlin 64 79 79

Telegrammadresse :
 EREFTE Funkwerk Berlin

derartige Holztrockenverfahren mit Hochfrequenzenergie einmal in großem Umfang auch wirtschaftlich vorteilhaft werden, denn der Gesamtenergiebedarf ist im Vergleich zu anderen Trockenmethoden nicht sehr unterschiedlich. Die Kosten für eine entsprechende HF-Generatoranlage müssen also höher sein. Hat man es aber mit sehr speziellen und teuren Hölzern zu tun, wie man sie z. B. zum Herstellen von Musikinstrumenten braucht, dann werden die Energiekosten der Hochfrequenzwärme relativ gering im Vergleich zum Gesamtwert des Materials, ja sie werden überhaupt unbedeutend. Ist daher ein Arbeitsverfahren so zu betrachten, daß Erzeugnisse mit ausgezeichneten Qualitäten schnell hergestellt werden sollen, dann kann der dielektrische Erwärmungsprozeß sehr gut wirtschaftlich werden. Trotz der relativ hohen Anlagen- und Energiekosten wird er in jeder Beziehung ökonomisch vertretbar.

Man kann diese Probleme so formulieren, daß man sagt: Die wirtschaftliche Rechtfertigung muß immer in der Einsparung von Arbeit oder Zeit gefunden werden, d. h. in der Vergrößerung des Produktionsausstoßes oder in der Verbesserung des Produktes. Das sind Faktoren, durch welche die Energiekosten häufig ganz zu vernachlässigen sind, und die Anlagekosten zu einem nicht mehr bedenklichen Posten in der Wirtschaftlichkeitsrechnung werden.

In der Regel ist die Frage nach der Wirtschaftlichkeit einer HF-Generatoranlage immer dann positiv zu beantworten, wenn mindestens *eine* der folgenden Bedingungen erfüllt werden kann:

- a) niedrige Kosten je Werkstück,
- b) hohe Qualität des Produktes,
- c) verbesserte Arbeitsbedingungen,
- d) besondere Umstände, die andere Heizmethoden überhaupt nicht oder nur mangelhaft anwendbar machen.

Die *festen Kosten* einer industriellen Hochfrequenzanlage hängen natürlich in starkem Maße von der Art des gewünschten Prozesses ab. Den Interessenten stehen zur Information besondere Katalogblätter für die lieferbaren Gerättypen zur Verfügung. Falls präzisere Beantwortung von Investitionswünschen verlangt wird, wird um sorgfältiges Ausfüllen besonderer Fragebogen gebeten.

Die *laufenden Kosten* setzen sich aus Kosten für die aus dem Netz bezogene Energie, für das etwa erforderliche Kühlwasser und den notwendigen Röhrenersatz zusammen. Als recht nützliche Faustregel kann der dreifache Betrag einer vom HF-Generator an den Arbeitskreis abgegebenen Nutzleistung in kWh verwendet werden. Die jährlichen Abschreibungskosten werden im allgemeinen mit dem gleichen Wert geschätzt, wie die laufenden Kosten.

46

E. Schlußbetrachtungen

Als der VEB Funkwerk Kopenick vor 2 Jahren den Auftrag erhielt, im Rahmen des Fünfjahresplanes die Voraussetzungen für die alsbaldige Versorgung aller Industriezweige mit modernen Warmbehandlungsanlagen der Hochfrequenztechnik zu schaffen, nahmen die Fachkollegen des Werkes diese überaus dankbare und zukunftsreiche Aufgabe voller Hingabe auf. Es kam zunächst darauf an, bewährte Verfahren zu reproduzieren, wobei international erkannte Mängel durch Neuentwicklungen zu beseitigen waren. Deshalb wurde auch das Schwergewicht der Arbeit auf die Lösung der vielen Arbeitskreisprobleme gelegt.

Der Stand unserer gegenwärtigen Entwicklung auf dem Gebiet der industriellen Hochfrequenz ist dadurch gekennzeichnet, daß er sich in einem allmählichen Übergang von zweckgebundener Arbeit zur freieren Perspektivarbeit befindet. Das kann aber nur dann erfolgreich werden, wenn der angebahnte Erfahrungsaustausch ständig intensiver wird. Darum hoffen wir auf die fruchtbare Mitarbeit der Kollegen in allen Industriezweigen des In- und Auslandes. Ihre Betriebserfahrungen sind ein unentbehrlicher Faktor für die weitere Ausschöpfung der vorläufig noch relativ ungenutzten Möglichkeiten industrieller Hochfrequenzanlagen. Derartige Anlagen sind aber ohne Zweifel Garantien für bedeutende Verbesserungen der Rationalisierung in der Produktion. Die sich anbietenden vielen Möglichkeiten glauben wir mit diesem Informationsheft deutlich genug skizziert zu haben.

In diesem Zusammenhang weisen wir die Interessenten auch auf den als Sonderheft verfügbaren Teil II hin, der das ebenso bedeutsame Gebiet der „induktiven Erwärmung“ zur Behandlung metallischer Werkstoffe enthält.

Der VEB Funkwerk Kopenick schließt diese Ausführungen mit dem Wunsche und der Hoffnung, daß seine Bemühungen um die Entwicklung der industriellen Hochfrequenz einer aufblühenden Friedensproduktion dient, deren Früchte dem Wohlstand aller Menschen zugute kommen soll!

47

der Flüssigkeit in keinem Fall einen gewissen Maximalwert übersteigen, der als Sicherheitsgrenze für die temperaturempfindliche Lösung festzulegen ist.

Die latente Wärme zur Verdampfung von Wasser beträgt 540 Kalorien je Gramm. Daraus ergibt sich, daß zum Verdampfen einer Menge von 1 Liter je Stunde eine Leistung von 0,63 kW zugeführt werden muß. Das ist ein beträchtlicher Wert. Zur Verteilung dieser Energie in der Flüssigkeit durch Wärmeleitung und Konvektion nach der abdampfen Oberfläche hin werden wesentliche Temperaturgefälle erforderlich, besonders wenn die Flüssigkeit etwas viskos ist, wie es bei niedrigen Temperaturen der Fall sein kann. Wenn aber Temperaturgefälle bestehen, bedeutet das, daß entweder einige Flüssigkeitsteile überhitzt sind, oder es ist andernfalls notwendig, daß die Verdampfung schon bei niedrigeren Temperaturen auftritt. Damit wird aber auch das Temperaturgefälle wegen dem niedrigen Dampfdruck geringer, wenn tatsächlich eine Reduzierung der Verdampfungstemperatur eingerichtet werden kann.

Die dielektrische Erwärmung verteilt die erforderliche Leistung in der ganzen Flüssigkeit und vermindert daher das Temperaturgefälle. Mit anderen Worten wird die Verdampfungsenergie bei einer gegebenen Maximaltemperatur durch hochfrequente Erhitzung vergrößert.

Derartige Verdampfungsprozesse sind vor allen Dingen für biologische Stoffe vorteilhaft, besonders wenn niedrige Verdampfungstemperaturen gefordert werden. Die Abb. 29 veranschaulicht die schematische Darstellung einer Vakuumverdampfungsanlage, die mit einem 2 kW HF-Generator betrieben werden kann und etwa 3 Liter Wasser je Stunde verdampft.

Siehe Abb. 33: Vakuum-Verdampfungsanlage mit dielektrischer Aufheizung

Ein wesentliches Kennzeichen dieser Hochfrequenz-Verdampfungsanlage ist die Anordnung der Elektroden *außen* am Kochgefäß. Natürlich wird auch etwas Wärme in den Glaswänden erzeugt, was aber durch Auswahl geeigneter Gläser in vernünftigen Grenzen gehalten werden kann. Wenn in besonderen Fällen die Verwendung von Gefäßen mit Innenelektroden gefordert werden sollte, dann ist zu bedenken, daß sich bei vielen Flüssigkeiten durch Hochfrequenzwärme keine Vorteile mehr ergeben. Alle wässrigen Lösungen sind Halbleiter mit einer Leitfähigkeit, die nahezu unabhängig von der Frequenz ist. Daher ist in solchen Fällen eine Erwärmung mit Hilfe gewöhnlicher Ströme nicht nachteiliger.

Im Zusammenhang mit dem Prinzip des beschriebenen Verdampfungsverfahrens ist besonders die praktisch durchgeführte Konzentration von Penicillinlösungen zu nennen. Dieser Prozeß hat durch seine hervorragenden Vorzüge die bisherigen Verfahren sehr vereinfacht, so daß die Produktion bedeutend erhöht werden konnte. Mit einem 2 kW HF-Generator können etwa 2000 Penicillinampullen je Stunde konzentriert werden.

44

14. Laborhilfsgeräte:

Die dielektrische Wärme bietet sich als nützliches Hilfsmittel für die wissenschaftliche Arbeit in den Laboratorien an, besonders dann, wenn letzte Spuren von Wasser aus organischen Stoffen entfernt werden müssen, z. B. bei Feuchtigkeitsmessungen.

Die wirksamste Methode zum Entfernen von Wasser ist die Erhitzung des behandelten Stoffes im Vakuum. Ein Vakuum ist natürlich auch eine ausgezeichnete Wärmeisolation, Darum ist es oft sehr schwer, die nötige Wärmemenge in ein Material zu bringen, das unter Vakuum liegt. Mit dielektrischer Erwärmung werden diese Schwierigkeiten überwunden. Da für experimentelle Arbeiten in kleinem Maßstab selten hohe Spannungen gebraucht werden, ergeben sich beim Anlegen der nötigen Betriebsspannungen an die Arbeitselektroden kaum Schwierigkeiten. Zweckmäßig werden — wenn möglich — für Laborzwecke die höchsten verfügbaren Frequenzen benutzt, um die geforderten Prozesse bei möglichst niedriger Spannung durchführen zu können.

Die für Laborarbeiten geeigneten HF-Generatoren können Ausgangsleistungen von 0,1 bis 2 kW Hochfrequenzenergie abgeben.

D. Wirtschaftlichkeitsfragen

Mit Herausgabe dieses Informationsblattes möchte der VEB Funkwerk Köpenick eine Lücke schließen, die nicht nur störend in der Planarbeit unserer Industrie war, sondern wohl auch der Grund für die oft viel zu bescheidenen Wünsche einerseits und die manchmal völlig falschen Vorstellungen von den Möglichkeiten der industriellen Hochfrequenz andererseits in den verschiedenen Produktionszweigen war. Der selbstverständlich nur zusammenfassende Überblick über die wesentlichsten Anwendungsgebiete der dielektrischen Erwärmungsverfahren wäre daher nicht vollständig, wenn ihm nicht einige Bemerkungen über die Wirtschaftlichkeitsfragen hinzugefügt würden.

Es ist nicht immer richtig, daß ein Hochfrequenz-Wärmeverfahren auch wirtschaftlich vertretbar ist, wenn es nur wirksamer und rascher als mit anderen Prozessen ausgeführt werden kann. Die Hochfrequenzenergie ist notwendigerweise im Vergleich zu anderen Energieformen sehr kostspielig. Wenn daher das Abwägen der Kostenfragen allein entscheidend für die Auswahl eines Verfahrens ist, dann sollte in der Regel die Hochfrequenzwärme zu Gunsten einer anderen Wärmemethode nicht eingesetzt werden. Es besteht z. B. gar kein Zweifel darüber, daß Bauholz schneller durch dielektrische Aufheizung, als in gewöhnlichen dampferhitzten Trockenöfen behandelt werden kann. Aber man kann gegenwärtig noch nicht behaupten, daß

45

unter welcher der Leistungsfaktor irgendeines Seuchenerregers groß wird, während der des umgebenden Mediums relativ klein bleibt, dann würde man mit dieser epochalen Entdeckung ein Neuland betreten können, das in der Tat eine nicht zu übersehende Weiterentwicklung ermöglicht. Man könnte dann durch Anlegen eines angemessenen elektrischen Feldes in kurzer Zeit die Erreger abtöten, ohne irgend eine unnötige oder möglicherweise schädliche Erwärmung der umgebenden Stoffe hervorzurufen. Leider sind derartig ideale selektive Erwärmungen gegenwärtig auf dem Gebiet der Sterilisationsverfahren nur äußerst selten möglich. Man wird also daran erinnert, daß solche Sterilisationsprozesse durch dielektrische Aufheizung des ganzen Materialvolumens hervorgerufen werden, was man eben u. U. mit anderen Wärmeverfahren einfacher und billiger machen kann.

Wenn auch die vorhandenen Unterlagen über den praktischen Wert der dielektrischen Erwärmung für derartige Prozesse noch wenig umfangreich ist, gewähren sie aber doch einen hinreichend brauchbaren Überblick über das, was möglich ist oder nicht.

Die hochfrequente Behandlung von Pflanzenknollen, die von Insekten befallen sind, war wohl das früheste Verfahren zur Abtötung von Schädlingen. Es gibt keinen Zweifel, daß der Prozeß erfolgreich durchgeführt werden kann. Ebenso kann Getreide mit Hochfrequenzenergie auf eine Temperatur gebracht werden, die ausreicht, um alle darin befindlichen Schädlinge zu töten. Aber derartige Verfahren sind kostspielig, denn es wäre abwegig, hierbei von einer selektiven Erwärmung der Schädlinge zu sprechen, obgleich der Umstand vorteilhaft sein mag, daß das trockene Getreide nur einen kleinen Leistungsfaktor besitzt, während jener der Schädlinge wohl hoch sein kann. Aber die Beziehungen der dielektrischen Faktoren des Getreides mit denen der Schädlinge ergeben Werte, die selbst bei hohen Leistungsfaktoren klein bleiben, so daß sogar ein extrem großer Leistungsfaktor der Schädlinge nicht unbedingt nutzbringend ist.

Ein dielektrisches Erwärmungsverfahren, das während des Krieges in größerem Umfang und mit guten Erfolgen durchgeführt wurde, ist die Abtötung von Ungeziefer in Kleidungsstücken. Auch hierbei handelt es sich nicht um selektive Erwärmung, denn die zu behandelnden Kleidungsstücke wurden zuerst mit Wasser besprengt. Dieser Prozeß ist also ganz ähnlich demjenigen, der zum Trocknen von Garnen u. ä. angewandt wird. Die Vorteile sind demnach in der raschen und gleichmäßigen Aufheizung zu finden, die natürlich einen großen Ausstoß an Kleidungsstücken ermöglicht und die Garantie gibt, daß die notwendige Hitze auch wirklich in das ganze Material eingedrungen ist.

Ein sehr sorgvolles und aktuelles Problem unserer Bauwirtschaft ist die Schwammbekämpfung in den Häusern. Es ist nicht ohne Grund anzunehmen, daß hierbei die Hochfrequenzwärme als wesentliches, wenn nicht überhaupt einzig erfolgreiches Hilfsmittel zur Verfügung

42

steht, zumal die zu erhaltenden Volksvermögenswerte vielfach größer sind, als die Anschaffungs- und Betriebskosten für HF-Generatoranlagen.

Schließlich sei noch darauf hingewiesen, daß die dielektrische Erwärmung u. U. auch zur Sterilisierung von hochwertigen Anzuchtgeräten in Gewächshäusern usw. zu verwenden ist.

12. Hochfrequenz-Diathermie:

Wenn auch die Entwicklung und Herstellung von HF-Generatoren für Hochfrequenz-Diathermie nicht zu den Aufgaben des VEB Funkwerkes Köpenick gehört, kann doch auf die Einbeziehung der wesentlichsten Merkmale dieses Anwendungsgebietes der dielektrischen Erwärmung in diese Informationen der Vollständigkeit halber nicht verzichtet werden.

Die Hochfrequenz-Diathermie ist dielektrische Erwärmung, die am menschlichen Körper angewendet wird. Auch sie hat manchmal von sich behauptet, daß auf gewissen Frequenzen krankheitszerzehende Organismen selektiv abgetötet werden können. Das ist selbstverständlich unter gewissen Voraussetzungen möglich, obgleich praktisch eine derartig scharf konzentrierte Aktion meistens höchst unwahrscheinlich erscheint, weil man von den dielektrischen Eigenschaften der behandelten Stoffe wirklich noch sehr wenig weiß. Es muß zugegeben werden, daß die diathermischen Prozesse sich manchmal so darstellen, als ob sie gar nicht thermisch wären. Aber es erwies sich in jedem Fall als wahrscheinlich, daß die einzige Wirkung im menschlichen Körper eine rein thermische sein muß. Zu mindestens ergeben gewissenhafte Untersuchungen keine Anzeichen von nichtthermischen Effekten und auch keinerlei Spuren von selektiven Erwärmungen. Selbst bei wiederholten Experimenten, bei denen ursprünglich derartige Wirkungen beobachtet sein sollten, erwiesen sich die Vermutungen leider als nicht reproduzierbar. Damit werden aber die nahen physikalischen Beziehungen zu den Problemen der industriellen Hochfrequenz aufgedeckt. Alle Perspektiven für die dielektrische Wärmeerzeugung gelten daher im Grundsätzlichen auch für die Hochfrequenz-Diathermie.

13. Pharmazeutische Industrie:

Zur Konzentration von Lösungen, die nur bei niedrigen Temperaturen beständig bleiben, wird ein Verfahren benutzt, das in enger Beziehung zur Vakuumtrocknung steht. Der Prozeß verlangt, daß die Flüssigkeit mit einem relativ großen Energiebetrag versorgt wird, der zum Verdampfen des Wassers usw. erforderlich ist. Dabei darf die Temperatur

43

der dielektrische Heizablauf stets ein unsicherer Faktor bleiben. Außerdem ist das Kochen ein viel verwickelterer Prozeß als das bloße Warmen. Man kann also feststellen, daß die dielektrische Aufheizung zum Kochen zwar äußerst rasch aber völlig unberechenbar erfolgt. Jedenfalls sind in diesem Fall gegenwärtig keine wichtigen Vorteile zu erkennen, so daß die Frage der Einführung von Hochfrequenzkochen mit Recht sehr umstritten ist. Hinzu kommt daß die hierzu zweckmäßigen Geräte mit sehr hohen Betriebsfrequenzen arbeiten müssen und daher einen erheblichen apparativen Aufwand erfordern, der beträchtliche Anforderungen an die Produktion stellt.

Nicht unerwähnt darf aber die vorteilhafte Möglichkeit einer Sterilisation von Lebensmitteln bleiben, die bereits verpackt oder eingepopt sind. Hierzu ist das bereits praktisch durchgeführte Abtöten von Schimmelsporen in verpackten Broten und das Pasteurisieren von Milch und Bier in Flaschen zu nennen.

10.2 Dehydrieren von Gemüse:

Bemerkenswerte Fortschritte sind in den letzten Jahren bei der Herstellung dehydrierter Gemüse zu verzeichnen. Um die notwendigen Aufwendungen für Verpackungsmaterial und Transportraum so wirtschaftlich wie möglich zu machen, werden die losen Gemüseschnitzel in Blöcke von etwa 2,5 cm Dicke gepreßt. Damit diese Trockengemüseblöcke ausreichend zusammengehalten, darf das Material aber nicht im trockenen Zustand gepreßt werden. Um nach dem Verpressen auch die qualitative Haltbarkeit zu garantieren, ist daher eine starke Schlußtrocknung erforderlich. Diese Endbehandlung soll die Restfeuchtigkeit z. B. in einem Kohlgemüseblock auf 9 bis 5% reduzieren. Die dazu früher übliche thermische Behandlung wird in Tunneltrocknern unter einer Temperatur von nur 60 °C durchgeführt, weil höhere Temperaturen zu unerwünschten Materialänderungen führen, d. h. zu Bräunungen und Versengungen. Man braucht daher 6 bis 8 Stunden für diese alte Schlußtrocknung.

Zur Anwendung dielektrischer Erwärmung für derartige Trockenverfahren liegen sehr aufschlußreiche Erfahrungen vor. Mit einigen Vorteilen kann eine dielektrische Trocknung der Gemüseblöcke durchgeführt werden, wenn zwischen den Oberflächen der im Kondensatorfeld befindlichen Blöcke und der oberen Kondensatorelektrode ein Luftspalt eingerichtet wird. Außerdem müssen alle Gemüseblöcke gegeneinander und gegen die untere Kondensatorelektrode durch Papiereinlagen isoliert werden. Auch ist es erforderlich, einen Warmluftstrom durch den Luftspalt streichen zu lassen, damit die ausgetriebenen Wrasen abgeführt werden, ohne wieder an der kalten Elektrode zu kondensieren und dann auf das

40

Trockengut zurückfallen. Die notwendige Behandlungszeit kann auf etwa 1/5 der sonst üblichen Dauer verringert werden, ist also durchaus noch nicht ideal.

Eine wesentliche Verbesserung trat durch dielektrische Erwärmung der Gemüswürfel in einem niedrigen Vakuum ein. Hierzu ist die Einstellung eines Luftdruckes von etwa 15 cm Quecksilbersäule zweckmäßig, was praktisch keine großen Schwierigkeiten bereitet. Da jetzt das Wasser bereits bei 60 °C kocht, kann ein wesentlich größerer Energiebetrag von den Materialblöcken absorbiert werden, ohne die Verbrennungstemperatur zu überschreiten, die zu Bräunungen führt. Die Behandlungszeiten können jetzt auch nur auf 20 bis 25 Minuten abgekürzt werden. Jedoch ist die Frage der Wirtschaftlichkeit auch in diesem Falle positiv zu beantworten, wenn volkswirtschaftliche Aspekte den Aufwand der Anlagen und Betriebskosten rechtfertigen.

Für einen etwaigen praktischen Einsatz der industriellen Hochfrequenz zum Dehydrieren von Gemüse ist noch der Hinweis wichtig, daß zum optimalen Leistungsumsatz die Lage der Gemüseblöcke im Kondensatorfeld richtig sein muß. Durch die Pressung liegen nämlich die Schichten parallel zur Oberfläche der Blöcke. Die Gemüswürfel müssen daher so in den Arbeitskondensator eingelegt werden, daß eine bereits beschriebene dielektrische Quersfelderwärmung eingerichtet wird, um eine möglichst gleichförmige Aufheizung zu erzielen.

10.3 Trocknen und Rosten:

Das dielektrische Trocknen von Tabak wird allgemein als sehr vorteilhaft bezeichnet. Auf diese Art ist es möglich, einen Tabakballen oder ein gefülltes Tabakfaß ohne weiteres zu trocknen, wenn die zulässige spezifische Feuchtigkeit für die Weiterverarbeitung zu groß ist. In diesem Fall werden die Nachteile alter Trockenbehandlungen durch Einsatz von Hochfrequenzwärme besonders deutlich überwunden. Auch in gewissen Verarbeitungsprozessen ergeben sich verschiedene nützliche Anwendungsmöglichkeiten für die Hochfrequenzenergie.

Kaffeebohnen lassen sich im hochfrequenten Kondensatorfeld gut rösten, wenn sie gerührt werden, um die durch ihre regellose Lage sonst bedingten unregelmäßigen Erwärmungen zu verhindern.

11. Schädlingsbekämpfung:

Die Eigentümlichkeit der dielektrischen Erwärmungsverfahren, selektive Aufheizungen zu ermöglichen, ist verständlicherweise von jeher ein Ansatzpunkt für zahlreiche Versuche und Entwicklungsziele gewesen und ist es noch. Wenn z. B. eine Frequenz gefunden werden könnte,

41

Bei größeren Werkstücken mit dicken Glasquerschnitten wird zweckmäßigerweise mit doppelseitigen Flammenelektroden gearbeitet. Auf jeden Fall sind alle derartigen Prozesse nur bei Gläsern mit sehr großer Wärmebeständigkeit praktisch.

Siehe Abb. 32: Schematische Darstellung zur dielektrischen Erwärmung von dicken Glasquerschnitten

Die interessante Eigentümlichkeit der selbsttätigen Leistungsregelung im Material verhindert überhitzte Stellen und das Entstehen von Luftblasen, die sich besonders bei dicken Querschnitten einstellen, wenn mit Wärmeleitmethoden erhitzt wird. Natürlich hängt der Wirkungsgrad eines dielektrischen Verfahrens von den dielektrischen Eigenschaften der Gläser ab. Die Änderung des Phasenwinkels auf hohen Temperaturen ist eine Funktion der normalen elektrischen Leitfähigkeit des Materials, also eine Werkstoffeigenart. Das bedeutet aber, daß der Verlustwinkel auf irgendeiner materialabhängigen Temperatur sich umgekehrt mit der Frequenz ändern wird. Daraus ergibt sich, daß es für eine bestimmte Glassorte eine günstige Frequenz geben muß. In der Regel werden wegen der wünschenswerten großen Energiekonzentration möglichst hohe Frequenzen bevorzugt.

Mit Vorteil werden zum dielektrischen Schweißen nur Gläser mit hohen Schmelzpunkten verwendet. Bei weichen Gläsern ist der Nutzen nicht so wesentlich, daß die besonderen Kosten von HF-Generatoranlagen gerechtfertigt werden. Bewährt hat sich das Verschmelzen von Glasgefäßen für Röhren, Glühlampen, Gleichrichter, Vakuumrelais u. a. m.

9. Metallindustrie:

Aus dem Auslande wird in neuester Zeit von erfolgreicher Verwendung der Hochfrequenzwärme zum Trocknen von Formsandkernen in Gießereien berichtet. Die geformten Kerne werden auf einem Fließband kontinuierlich durch den Arbeitskondensator eines HF-Generators geschickt und dabei erheblich schneller getrocknet, als es sonst üblich ist. Die Trockenzeiten können gegenüber älteren Verfahren von mehreren Stunden auf 10 bis 20 Minuten gesenkt werden. Die zweckmäßige Leistungsdosierung erfolgt nach ähnlichen Grundsätzen, wie bei der Trocknung keramischer Massen und hängt verständlicherweise von der Größe der Formsandkerne ab.

Ganz neue Perspektiven ergeben sich für hochfrequente Erwärmungsverfahren beim Überziehen von metallischen Werkstücken mit Korrosionsschutzschichten aus Kunststoffen, wodurch in zahlreichen Fällen ein vorteilhafter Ersatz bisher notwendiger Buntmetalle möglich wird.

38

10. Ernährungs- und Genußmittelindustrie:

Die dielektrische Wärme hat schon von Anfang an viele Anziehungspunkte für alle diejenigen gehabt, die sich mit der Sterilisation von Nahrungsmitteln und vor allen Dingen auch biologischen Stoffen beschäftigen.

Die der Hochfrequenzwärme eigentümliche Fähigkeit, die Aufheizung augenblicklich im Ganzen behandelten Volumen und dabei praktisch gleichförmig zu machen, ist selbstverständlich eine verlockende Tatsache. Sie erfüllt an sich die Forderung, daß kein Teil des thermisch behandelten Gutes weder unzureichend aufgeheizt, noch unzulässig überhitzt werden darf, wenn wertvolle Nährstoffe erhalten bleiben sollen. Über die praktische Anwendung der dielektrischen Erwärmung im Bereich der Ernährungs- und Genußmittelindustrie liegen aus dem In- und Auslande eine Reihe von Versuchsergebnissen und praktischen Erfahrungen von bewährten Verfahren vor.

10.1 Warmbehandlung von Lebensmitteln:

Es dürfte nach den bisherigen Ausführungen einleuchtend sein, daß die dielektrische Erwärmung ein sehr rasches Mittel zur Erhitzung großer Massen von Lebensmitteln ist. Man kann sie zum Schmelzen großer Fettblöcke oder Gütern ähnlich Schokolade, Gelatine usw. verwenden. Sie kann auch zum sehr raschen Auftauen von gefrorenen Lebensmitteln und zur schnellen Wiedererwärmung bereits vorbereiteter Mahlzeiten benutzt werden. Unter gewissen Voraussetzungen wurde sie auch zum Konservieren von Lebensmitteln, zum Trocknen, Dörren, Rösten, Blanchieren, Eindicken, Pasteurisieren und Sterilisieren eingeführt. Werden alle diese Prozesse mit gewöhnlichen Oberflächenheizmethoden durchgeführt, dann dauern sie verhältnismäßig lange. Eine kurze Behandlungsdauer ist aber von wesentlicher Bedeutung, so daß die hochfrequente Erwärmung u. U. wertvoll werden kann.

Im Ausland sind dielektrische Heizanlagen in gewissem Umfang zum Anwärmen vorbereiteter Speisen eingeführt worden. Man kann z. B. eine Fleischpastete in 1 oder 2 Minuten durch HF-Energie anwärmen, und es wird behauptet, daß man die so behandelte Pastete nicht von einer frisch zubereiteten unterscheiden könne. Die sich dabei ergebenden Vorteile für Großküchen in Gaststätten mit Schnellbedienung oder für Kleinküchen in Verkehrsflugzeugen sind unbestreitbar. Man sollte im gegenwärtigen Entwicklungsstadium aber noch nicht erwarten, daß die Hochfrequenzwärme auch zum Kochen von Speisen geeignet ist. Da die Rohstoffe der Küchenrezepte natürlich vielfältige dielektrische Varianten besitzen und selbstverständlich auch niemals „genormt“ werden können, wird

39

Feuchtigkeit aus keramischen Massen. Durch geeignete Formung des Arbeitskondensators und zweckmäßige Leistungsdosierung kann auch bei unregelmäßigen Werkstückformen eine praktisch gleichmäßige Erhitzung des keramischen Gutes erreicht werden. Der Produktionsausschuß wird erheblich gesenkt. Die Zeitersparnisse bei dielektrischer Trocknung betragen gegenüber einer Lufttrocknung 95%. Obgleich die Tatsache des Trockenverlaufes von innen nach außen mit wesentlichen Vorteilen ausgenutzt werden kann, ist auch dieser Trockenprozeß gewissen Begrenzungen unterworfen. Die Leistungsdichte ist nicht nur von dem sich schnell ändernden Verlustwinkel des behandelten Gutes abhängig, sondern auch von den freiwerdenden enormen Dampfmen gen. Da 1 kg Wasser bei Verdampfung unter normalem Atmosphärendruck in einer Stunde ein Volumen von 1,62 m³ benötigt, entstehen beim Entweichen aus dem Werkstück Dampfdrücke, die in Abhängigkeit von den Eigenschaften der keramischen Masse zu Ribbildungen oder sogar vollständiger Zerstörung des Rohlings führen können. Es ergibt sich daher für den praktischen Einsatz der Hochfrequenzwärme eine Grenze, von der ab eine elektrische Widerstandsheizung oder ein Brennstoffheizverfahren wirtschaftlicher wird.

Auch die Fragen des dielektrischen Trockenverfahrens für keramische Rohlinge sind darum erst nach orientierenden Voruntersuchungen erschöpfend zu beantworten.

8. Glasindustrie:

Allgemein betrachtet, ist die industrielle Hochfrequenz nicht ohne weiteres in der Glasindustrie verwendbar, denn der dielektrische Leistungsfaktor *kalter* Gläser ist äußerst klein. Die thermische Behandlung des kalten Glases kann mit anderen Wärmemethoden daher meistens viel vorteilhafter durchgeführt werden. Dennoch ist eine Anzahl von hochfrequenten Behandlungsverfahren sowohl zum Schmelzen wie auch zum Weichmachen, Abtrennen und Schweißen schon seit einigen Jahren in der Industrie gut bewährt. Die Wirtschaftlichkeit dieser Verfahren hängt jedoch von einigen Voraussetzungen ab.

Der dielektrische Verlustfaktor von Glas nimmt mit steigender Temperatur sehr rasch zu. Ist das Glas einige hundert Grad Celsius warm, dann kann eine dielektrische Erwärmung mit den ihr eigenlämlichen Vorteilen ausgeführt werden. Zum Vorheizen bis auf die geeignete Temperatur werden dabei Gasflammen oder andere geeignete Mittel zu Hilfe genommen. Eine dielektrische Erwärmung wird dann besonders wertvoll, wenn die thermisch zu behandelnden Zonen sehr scharf begrenzt werden sollen und eine präzise geregelte Erwärmung besonders dicker Glasquerschnitte gefordert wird.

36

8.1 Schmelzen:

Die Rohteile Sand, Soda und Kalk werden zum Schmelzen in einen geeigneten Tiegel gebracht, der zur ausreichenden Wärmeisolation in ein Quarzrohr gebettet wird. Ein luftdichter Quarzdeckel schließt das Gefäß ab, so daß eine leichte Kontrolle des Prozesses unter eindeutiger Atmosphäre ermöglicht wird. Um eine gleichmäßige Durchwärmung des Schmelzgutes zu sichern, wird eine Relativbewegung der Charge zum elektrischen Feld eingerichtet, d. h. entweder die Arbeitselektroden oder der Tiegel bewegt. Damit sollen die sonst möglichen selektiven Überhitzungen verhindert werden, die infolge des inhomogenen Gutes entstehen können.

8.2 Weichmachen, Abtrennen, Schweißen:

Bei der Glasbearbeitung ist zum Verformen, Abtrennen oder Schweißen meistens eine thermische Vorbehandlung durch Gasflammen oder elektrische Widerstandsheizung zweckmäßig. Nach Vorwärmung auf etwa 500°C setzt dann der dielektrische Erwärmungsprozeß ein, wobei in erster Linie die Vorzüge selektiver Erwärmbarkeit ausgenutzt werden.

Sollen z. B. Glasteile zusammengesetzt werden, dann wird eine Elektrodenanordnung eingerichtet, von der die eine Elektrode direkt auf das Ende der Schweißnaht gelegt und die andere in Form einer kleinen Gasflamme auf den gegenüberliegenden Anfang der Schweißnaht konzentriert wird. Da die Flamme genügend leitfähig ist, kann sie tatsächlich als Elektrode verwendet werden. Ihr elektrischer Widerstand wird durch Variieren der Flammenlänge vorteilhaft zur richtigen Leistungsdosierung ausgenutzt.

Siehe Abb. 31: Dielektrisches Schweißen von Glasteilen

Der Schweißprozeß hat folgenden interessanten Verlauf: Die Temperatur steigt zunächst am Flammenberührungspunkt an. Mit Steigerung der Temperatur wird der Leistungsfaktor des Glases rasch größer, so daß die erzeugte Wärme endlich einen optimalen Wert erreicht. Dieser Zustand tritt ein, wenn das Glas den überhaupt möglichen maximalen Verlustwinkelwert von 45° annimmt. Da aber die Temperatur weiter ansteigt, nimmt auch der Winkelwert weiter zu, aber die erzeugte Wärme wird geringer, weil das behandelte Material elektrolytisch wird. Dafür nehmen aber die angrenzenden Punkte der Schweißnaht jetzt ein Maximum an Leistung auf, bis auch diese wieder den Phasenwinkel von 45° überschreiten, und damit die Maxima nach den nächsten Punkten hin verschoben werden usw. Es läuft also gewissermaßen eine Welle maximaler Wärmezeugung an der Schweißnaht entlang, bis die ganze Strecke wirksam aufgeheizt und verschweißt ist.

37

anderen Trockenverfahrensfälle. Die industrielle Hochfrequenz wird daher nur dann zum textilen Trocknen eingesetzt, wenn es auf präzise gesteuerte Endfeuchtigkeitsgehalte und Entfernen gewisser Restfeuchtigkeiten ankommt, oder wenn besonders dicke Materialien getrocknet werden müssen. Bei einer Reihe dieser Trockenprozesse ist u. U. eine Ergänzung durch Infrarotwärme zweckmäßig. Ein sehr gutes Beispiel bewährter dielektrischer Erwärmung ist das Trocknen von Garnrollen. Es hat sich als außerordentlich vorteilhaft erwiesen, weil alle Nachteile der alten Trockenverfahren vollständig beseitigt werden können.

Beim Trocknen in warmer Umluft ist es notwendig, den Prozeß langsam bei mäßiger Lufttemperatur durchzuführen, damit die Wasserentfernung aus den Oberflächenanlagen nicht schneller erfolgt, als die Feuchtigkeit der Innenlagen sich ihren Weg zur Oberfläche bahnen kann. Geschieht das nicht, dann ergeben sich ungleichmäßige Trocknungen und Schrumpfungen, wodurch die nachfolgende Färbung ebenfalls ungleichmäßig wird. Das daher nur langsam durchgeführte alte Trockenverfahren dauert darum 10 bis 14 Tage.

Bei Anwendung einer dielektrischen Erwärmung kann die Verdampfungsintensität bedeutend erhöht werden, was durch die gleichmäßig verteilte Wärmeerzeugung begünstigt wird. Die Zellulose der Kunstgarne hält Wärme bis zu 95 oder 100° C ohne chemische Veränderungen aus. Auch die physikalische Struktur wird durch die rasche Wasserentfernung nicht beeinflusst, das daher meistens ausgekocht werden kann. Aus diesen Gründen ist die Verringerung der Behandlungszeit auf 20 bis 30 Minuten möglich. Falls die Rollen im Schleuderverfahren gut vorgetrocknet sind, lassen sich die Trockenzeiten noch weiter reduzieren. Allein bei Vergleich der alten mit der neuen möglichen Behandlungsdauer wird der Vorteil dielektrischer Erwärmung bestechend deutlich.

Auch zum Trocknen von Gewebestoffen und Pflanzenfasern ist Hochfrequenzenergie in kontinuierlichen Verfahren sehr oft vorteilhaft anwendbar. Hierbei lassen sich die Behandlungszeiten von u. U. 24 Stunden auf 15 bis 20 Minuten abkürzen.

Ein weiteres erfolgreiches Anwendungsgebiet dielektrischer Wärmeerzeugung deutet die thermische Nachbehandlung von gewissen Garnen an, die z. B. für Reifeneinlagen gebraucht werden. Um die Zwirnung der Fäden dauerhaft zu machen, müssen die Garne bei einer Temperatur von etwa 70 bis 80° C feucht gedünstet werden. Die in Wachspapier o. ä. eingewickelten Rollen können mit Hilfe eines Förderbandes durch den Arbeitskondensator des HF-Generators transportiert werden. Wird hierzu ein 20 kW HF-Generator verwendet und jede Garnrolle etwa 10 bis 15 Minuten lang behandelt, dann können stündlich 75 Rollen ausgestoßen werden, da mehrere Rollen gleichzeitig durch das Kondensatorfeld laufen.

Die Betriebsspannung am Arbeitskondensator beträgt dabei etwa 10 kV. Nach Ausstoß bleiben die Rollen solange gelagert, bis sie sich vollständig abgekühlt haben. Erst dann darf das Einwickelpapier entfernt werden.

Siehe Abb. 29: RFT-Gerät zum dielektrischen Trocknen

Von zunehmender Bedeutung, besonders im Ausland, scheint auch die hochfrequente Warmbehandlung von textilen Halbfabrikaten und Fertigprodukten der Kunstfaserindustrie zu sein, um gewisse Endqualitäten zu erzeugen.

In der textilen Gummierungs- und Imprägnierungstechnik wird sich die dielektrische Wärmebehandlung bei Erhärtungs-, Gelatinier- und Vulkanisierverfahren immer mehr durchsetzen. Da die grundsätzlichen Bedingungen den Abschnitten 2 bis 4 entnommen werden können, braucht nur noch darauf hingewiesen werden, daß die besonderen Arbeitsverhältnisse der textilen Verfahren die Entwicklung spezieller Kondensatorelektroden erfordern.

6. Papier- und papierverarbeitende Industrie:

Auch für die dielektrischen Trockenverfahren der Papierindustrie gelten die gleichen Grundsätze, wie sie unter Abschnitt 3.7 erläutert wurden. In der Praxis werden die Papierbahnen kontinuierlich getrocknet, wobei die Trockenzeiten auf etwa den 20sten Teil der sonst üblichen Behandlungszeiten gesenkt werden können. Aus Wirtschaftlichkeitsgründen kann aber in manchen Fällen der Einsatz von Infrarotwärme wesentlich vorteilhafter als eine dielektrische Ausheizung sein.

Mit bemerkenswertem Nutzen ist dagegen stets das dielektrische Verleimen von kartonierten Pappen und Hartpapieren verbunden. Ein ganz ähnliches und neuzeitliches Verfahren ist das Abbinden von geleimten Buch- und Papierblockrücken, wobei die Abbindezeit schnelltrocknender Leime von günstigenfalls einigen Minuten auf nur wenige Sekunden herabgesetzt werden kann.

Siehe Abb. 30: RFT-Gerät zum dielektrischen Aushärten von Buch- oder Papierblockrücken

7. Keramische Industrie:

Das Abkürzen der Trockenzeit vor dem Brennen von keramischen Rohlingen ist eine entscheidende Vorbedingung für Produktionserhöhungen, Qualitätsverbesserungen und Selbstkostensenkungen. Die sehr gründlichen Untersuchungen von H. I. Martin bieten brauchbare Hinweise für die Grenzen der dielektrischen Erwärmung zum Entfernen der freien

wird und daher an der Oberfläche so lange feucht bleibt, bis alle Feuchtigkeit ausgetrieben ist. Das nachträgliche Arbeiten des Holzes bleibt sehr gering. Die Trockenzeit beträgt u. U. nur $1/3000$ bis $1/1200$ der Zeiten von sonst üblichen Verfahren.

Dennoch spielt die dielektrische Holz Trocknung gegenwärtig noch keine so hervorragende Rolle wie andere hochfrequente Wärmeverfahren, besonders in Fällen mit großem Feuchtigkeitsgehalt, wobei das Trockenverfahren auf einfachere und billigere Art als mit industrieller Hochfrequenz durchführbar ist.

Der Energiebedarf beim Trocknen bis zum Fasersättigungswert beträgt allgemein je kg Wasserentzug rund 1 kWh. Soll weiter bis auf 18 bis 20% absoluten Feuchtigkeitsgehalts getrocknet werden, dann müssen bis zu 1,5 kWh/kg aufgebracht werden.

Für die praktische Leistungsdimensionierung können folgende Anhaltswerte dienen:

Bei einer Behandlungszeit von 15 Minuten sollte feines Schnittholz mit 0,5 bis 2 W/cm³ unter einer Feldstärke von 100 bis 200 V/cm getrocknet werden, während gelagertes Schnittholz mit 2 bis 8 W/cm³ unter einer Feldstärke von 200 bis 400 V/cm zu behandeln ist.

Erwähnenswert ist, daß die dielektrische Trocknung von Holz für Spulenkörper und andere Bauelemente der Hochfrequenztechnik ein seit langem bekanntes und bewährtes Verfahren ist. Auch zum Trocknen wertvoller Hölzer und von Kork wird die industrielle Hochfrequenz eingesetzt.

4. Gummiindustrie:

Eines der jüngsten industriellen Anwendungsgebiete der Hochfrequenzwärme liegt in der gummiherstellenden Industrie. Wenn ihre Bedeutung in diesem Fall auch noch nicht so wesentlich ist wie in anderen Industriezweigen, so steht doch fest, daß sie sicher die Wege zu völlig neuartigen Produktionsmethoden bei Steigerung von Qualität und Quantität weist. Die Beantwortung der Frage nach den Gründen der relativ zögernden Einführung von Hochfrequenzgeneratoren in die Gummiindustrie deutet auch in diesem Fall auf Aufgaben hin, die von den Chemikern gelöst werden müssen, wenn die möglichen radikalen Produktionsverbesserungen durchgesetzt werden sollen.

Es ist Tatsache, daß der weitaus größte Teil der Gummierzeugung für die Reifenproduktion verbraucht wird. Um einem Reifen die notwendigen Abrieb- und Dehnungsfestigkeiten zu geben, wird ihm eine beträchtliche Menge Füllstoff, z. B. Kohlenstoff, beigemischt. Die unregel-

mäßige Verteilung dieser Füllstoffe ergibt ein inhomogenes Dielektrikum, das dielektrisch nicht ohne weiteres gleichmäßig aufgeheizt werden kann. Es kommt also darauf an, eine Mischung zu erzeugen, mit der bei mindestens gleichen mechanischen Eigenschaften ein dielektrisches Gefüge geschaffen wird, mit welchem der Vorzug schneller und gleichmäßiger Erwärmung durch Hochfrequenzenergie ausnutzbar ist.

Wie allgemein bekannt, werden bei der Reifenherstellung die notwendigen Preßformen mit Dampf geheizt, so daß die Wärmeenergie langsam von außen in das Innere des Rohlings geleitet wird. Bei großen Reifen besteht dabei die Gefahr, daß die äußeren Schichten schon vulkanisieren, während die Umwandlung im Innern infolge noch zu niedriger Temperatur nicht einsetzen konnte. Diesem ungünstigen Fertigungsablauf kann eben durch eine dielektrische Erwärmung entgegengewirkt werden. Der damit erreichbare schnellere Ablauf des Prozesses ermöglicht selbstverständlich auch eine bessere Ausnutzung der Preßformen.

Die Vulkanisationszeiten für gewöhnliche Fahrzeugreifen betragen bei den bisher üblichen Verfahren 30 bis 40 Minuten, während sie durch Einsatz industrieller Hochfrequenz auf 6 bis 10 Minuten verringert werden können. In etwa 15 bis 20 Minuten kann bei dielektrischer Erwärmung der Vulkanisationsprozeß von Riesenreifen durchgeführt werden, der sonst 1,5 bis 2 Stunden dauert. Allgemein kann gesagt werden, daß durch hochfrequente Aufheizung die Dauer des Prozesses auf $1/3$ der alten Zeiten reduziert wird.

Es ist praktisch, das Verfahren durch eine relativ kurze Aufheizzeit von etwa 10 bis 15 Sekunden bei etwa 35 W/cm³ und unter 6000 V/cm einzuleiten, um eine Temperatur von 160° C zu erzeugen. Während des nun beginnenden Vulkanisationsvorganges wird die Leistungszuführung nun reguliert, daß die Temperatur konstant bleibt. Die notwendige Dauer dieser Stehzeit hängt von dem Beschleuniger ab, der dem Gummigemenge zugesetzt wird.

Besondere Formen besitzen die zu diesem Verfahren notwendigen Arbeitselektroden, auf die hier nicht näher eingegangen zu werden braucht.

5. Textil- und Kunstfaserindustrie:

Der größte Teil aller z. Zt. in der Textil- und Kunstfaserindustrie eingesetzten HF-Generatoranlagen dient Trockenprozessen. Die grundsätzlichen Regeln zur Beantwortung der Wirtschaftlichkeitsfrage beim Trocknen von Holz Wasserentzug durch Hochfrequenzenergie, die beim Trocknen von Holz bereits erörtert wurden, gelten auch für diese wie überhaupt für alle

Wenn nach Abb. 23 die Dielektrizitätskonstante des Holzes z. B. 3 ist und die der Leimschicht 30, dann ist zum Durchlaufen der Feldlinien in der Leimfuge trotz der dazwischenliegenden 12 mm dicken Holzlage nur sehr wenig Energie aufzubringen. Würde dagegen der Elektrodenabstand auf weniger als 12 mm verringert, dann wäre das nicht mehr der Fall, weil die Feldlinien nun eine relativ größere Holzmasse passieren müßten. Ein Versetzen der Elektroden auf mehr als 25 mm Abstand würde jedoch fast den gleichen alten Zustand wieder herstellen, obgleich der Spannungsabfall an der Leimfuge kleiner als ursprünglich geworden ist.

3.5 Punktförmiges Verleimen:

Bei der Vormontage hölzerner Zusammenbauten oder Halbfabrikaten ist oft ein Nageln oder Binden notwendig, um die Stücke in gewünschter Form für die weitere Bearbeitung zusammenzuhalten. Diese Methode läßt selbstverständlich viel zu wünschen übrig.

Auch in diesem Fall ist der Vorteil selektiver Erwärmbareit durch Hochfrequenzenergie ausgezeichnet auszunutzen. Hierzu wurde eine Spezialvorrichtung entwickelt, die „Hochfrequenz-Pistole“ genannt wird und bereits unter Abschnitt 2.2 bei Erörterung der HF-Schweißverfahren von Kunststoffen beschrieben wurde. Dieses HF-Wärme-werkzeug wird dann über ein Spezialkabel von einem 0,1 kW HF-Generator gespeist und ist sehr universell verwendbar.

Siehe Abb. 28: Die Hochfrequenz-Pistole in Arbeitsstellung

Es ist wohl ohne weiteres einleuchtend, daß dieses Arbeitsverfahren viele Anwendungsmöglichkeiten bietet. Es muß bemerkt werden, daß gerade in diesem Fall die Vorteile der selektiven Erwärmbareit durch Hochfrequenzenergie so groß sind, daß der hier besonders schlechte Wirkungsgrad dennoch vielfach ausgeglichen wird.

3.6 Kunstholzproduktion:

Steigende Bedeutung hat die dielektrische Erwärmung für die Herstellung von Preß- und Tränkhölzern. Die Probleme hierbei sind die gleichen, wie bei der Preßtechnik mit thermohärtbaren Massen.

3.7 Holz Trocknung:

Das dielektrische Trockenverfahren besitzt nicht ohne weiteres alle jene Merkmale, die bei anderen Hochfrequenzwärmeverfahren mit großem Nutzen ausgewertet werden können.

30

Zum Verdampfen einer bestimmten Wassermenge wird natürlich stets dieselbe Energiemenge gebraucht, ganz gleich in welcher Form diese zur Verfügung steht. Die Hochfrequenzenergie hat daher von vornherein den Nachteil, daß sie kostspielig ist, denn sie ist eine veredelte Energieform, deren Umwandlung natürlich Kosten verursacht. Sie ist daher auf jeden Fall teurer als gewöhnliche elektrische Energie und daher wesentlich teurer als Dampfergie, die für eine Reihe industrieller Trockenverfahren verwendet wird. Das dielektrische Trockenverfahren kann daher in der Regel zum Trocknen allgemeiner Nutzhölzer nur sehr schwer wirtschaftlich eingerichtet werden. Wirtschaftlich vertretbar wird es aber dann, wenn durch die Eigenarten der industriellen Hochfrequenz Schwierigkeiten überwunden werden können, durch die ein Trockenverfahren drastisch behindert wird, so daß dem Einsatz der teuren Hochfrequenz ein bedeutender Nutzen gegenübersteht.

Die dielektrische Erwärmung ist stets in der Lage, eine gewünschte Temperatur des zu trocknenden Stoffes viel schneller zu erzeugen, als das mit jedem anderen Prozeß möglich ist. Jedoch ist dieser Vorgang nur ein Teil des Trockenprozesses. Der andere Teil, nämlich das Entfernen des Wassers aus dem behandelten Material, ist jedoch hinsichtlich der Schnelligkeit sehr abhängig von gewissen Materialeigenschaften. Man kann z. B. einen großen Holzblock sehr gut und schnell dielektrisch aufheizen. Dicht vor dem Siedepunkt des Wassers wird dieses durch den inneren Dampfdruck schnell herausgetrieben. Die Kraft dieses Dampfausstoßes hängt selbstverständlich von der Menge der HF-Energiezufuhr ab. Das heftige Austreiben des Wassers kann aber u. U. die Struktur des Materials zerstören. Die Arbeitsgeschwindigkeit hat daher eine Maximalgrenze, bis zu der die Materialstruktur nicht beschädigt wird. Ist die Arbeitsgeschwindigkeit aber so klein, daß man sie mit anderen Wärmemethoden auch erreichen kann, dann sind mit dielektrischer Erwärmung keine Vorteile zu gewinnen, trotz der wesentlich kürzeren Aufheizperiode zu Beginn des Prozesses.

Obgleich also das Trocknen von Holz grundsätzlich sehr gut möglich ist, hängt der praktische Einsatz der Hochfrequenzwärme für diesen Zweck sehr von der Wirtschaftlichkeitsfrage ab. Gewiß wird im Gegensatz zur sonst üblichen Umlufttrocknung durch die dielektrische Erwärmung eine praktisch gleichmäßige Durchhitzung des Holzstückes erreicht. Auch kann eine verlangte Temperatur innerhalb des Holzes genau eingehalten werden, wobei u. U. die Zuhilfenahme geeigneter Regel- und Steuergeräte entscheidend günstig auf die Wirtschaftlichkeitsfrage einwirkt. Auch ist die Qualität des mit Hochfrequenz getrockneten Holzes sehr gut. Bei richtiger Leistungsdosierung ergeben sich weder Risse noch Verwerfungen, weil das Holz praktisch von innen heraus getrocknet

31

den Holzpartien erfolgen. Während die Spannzeiten bisher bei Kaltverleimung 240 bis 720 Minuten und bei Warmverleimung durchschnittlich 60 Minuten betragen, kann man mit dielektrischer Aufheizung schon nach einer Minute Behandlungszeit eine Zugfestigkeit von mindestens 1 kg/mm² erreichen. Ein derartig ge- geleimtes Holz kann sofort weiter bearbeitet werden (Sägen, Hobeln, Bohren, Drehsein, Lacken usw.).

Siehe Abb. 22: Dielektrische Parallelfelderwärmung zur Stabholzverleimung

Soll z. B. eine 0,9 × 2,5 m große Holzplatte aus 12 Stäben mit einem Querschnitt von je 2,5 × 7,5 cm² zusammengeleimt werden, dann macht man das aus wirtschaftlichen Gründen zweckmäßig im Vorschubverfahren. Wird hierzu ein 2 kW HF-Generator eingesetzt, dann ist die ganze Platte in etwa 1,5 Minuten fertig verleimt. Die aufzubringenden Energiekosten für eine derartige Platte betragen 0,8 Pfg. bei 6 Pfg./kWh.

Siehe Abb. 23: Dielektrische Parallelfelderwärmung zur kontinuierlichen Stabholzverleimung

Wenn eine große Menge von Einzelstäben miteinander verleimt werden müssen, dann ist die zunehmende Anzahl von Leimfugen sehr vorteilhaft, weil damit der relative Holzanfall am Gesamtvolumen des Werkstückes verringert wird. Werden die Stabholzplatten zusätzlich furniert, dann gelten hierfür die Bedingungen der Sperrholzherstellung.

Die zur Stabholzherstellung erforderlichen HF-Generatoren müssen in der Regel 2 bis 10 kW Hochfrequenzleistung abgeben. In Spezialfällen werden auch Anlagen höherer Leistungsfähigkeit eingesetzt.

3.4 Holzbauverfahren:

Für die Massenherstellung von kleinen Bauteilen der Holzverarbeitenden Industrie (Möbeln, Rundfunkgehäusen u. a. m.) kann die dielektrische Erwärmung von außerordentlicher Bedeutung werden. Auch hier müssen bisher Spannzeiten von 3 bis 4 Stunden in Kauf genommen werden. Je größer der tägliche Produktionsausstoß ist, desto umfangreicher werden die Einsparungen an Nebenkosten durch Reduzierung der Ausgaben für Einspanneinrichtungen und Fortfall bisher benötigter Lagerflächen, wenn dielektrische Aufheizanlagen eingeführt werden. Zuverlässige Produktionsplanungen werden möglich, und Engpässe können beseitigt werden.

Ein 2 kW HF-Generator ist in der Lage, z. B. alle Leimfugen eines Gehäuses von 400 × 250 × 230 mm in einer Minute auszuhärten. Daher kann eine derartige Generatortype schon den Ansprüchen eines ziemlich großen Produktionsausstoßes genügen.

28

Für die praktischen Verfahren sind viele Elektrodenanordnungen möglich. Sie nutzen meistens die Parallelfelderwärmung aus, wozu allerdings oft auch Streufelder erzeugt werden. Die große Dielektrizitätskonstante der gegenwärtig verfügbaren Kunstharzleime ist für diese Verfahren vorteilhaft, weil die elektrischen Feldlinien in den Medien mit großer Dielektrizitätskonstante konzentriert werden. Das ist der Grund, weshalb weite Varianten in den Anordnungen der Arbeitselektroden möglich sind.

Siehe Abb. 24: Elektrodenanordnung zum dielektrischen Eckenverleimen

Eine Elektrodenanordnung, z. B. zum dielektrischen Eckenverleimen, kann in eine Vorrichtung gebaut werden, in der das ganze Rohteil zusammengehalten und geleimt wird. Diese Vorrichtung läuft dann über eine Gleitbahn so in die Vorwärmkammer, daß die Elektroden genau auf den gewünschten Stellen des Rohteiles liegen und die HF-Energie selbsttätig eingeschaltet wird. Ein Zeitschaltwerk besorgt die vorgewählte richtige Behandlungsdauer. Eine so einfache Verleimungseinrichtung ermöglicht zügigen Ablauf der Produktion. Nur wenige derartige Anlagen können größte Ausstoßmengen gewährleisten.

Siehe Abb. 25: Elektrodenanordnungen zum dielektrischen Verleimen von Leisten

Wenn lange Leisten auf ebenen Platten befestigt werden müssen, ist die sehr wirksame Elektrodenanordnung nach Abb. 25 zu empfehlen. Die große Dielektrizitätskonstante der Leimschicht absorbiert nahezu die ganze Energie und erzeugt in extrem kurzer Zeit die Aushärtetemperatur. Sogar wenn nach Abb. 22 die Leimfuge durch Nutung vertieft ist, absorbiert die Leimschicht immer noch mehr Energie, als das unmittelbar zwischen den Elektroden stehende Holz.

Siehe Abb. 26: Elektrodenanordnung zum dielektrischen Verleimen von Nuten

Auch in diesen Fällen dürfen die Längen der Elektroden in Abhängigkeit von der Betriebsfrequenz gewisse Längen nicht überschreiten. Im anderen Fall sind dann u. U. besondere Schallmaßnahmen notwendig, um auch sehr lange Werkstücke gleichmäßig aufzuheizen zu können.

Wenn noch einmal an die Tatsache erinnert wird, daß die Konzentration der elektrischen Feldlinien durch den Wert des Dielektrikums beeinflusst werden kann, dann bedeutet das praktisch, daß beim Durchlaufen einer Feldlinie durch ein z. B. 250 mm langes Medium mit einer Dielektrizitätskonstante von 11 weniger Energie in Anspruch genommen wird, als beim Passieren eines 25 mm dicken Stoffes mit einer Dielektrizitätskonstante von 1. Dieser Vorteil kann dann ausgenutzt werden, wenn es nicht möglich ist, die Elektroden dicht an die Leimfuge heranzubringen.

Siehe Abb. 27: Elektrodenanordnung zur indirekten dielektrischen Fugenverleimung

29

werden 5 Minuten lang etwa 45 kW Hochfrequenzenergie gebraucht. Die Energiekosten wurden hierbei je Sperrholzplatte 0,45 DM bei 6 Pfg./kWh betragen. Hierbei bleibt der zusätzliche Energiebedarf für etwaige Trockenvorgänge im Holz unberücksichtigt.

3.2 Geformte Sperrholzteile:

Auch bei der Produktion von geformten Sperrholzteilen, z. B. Möbelteilen, langen Spanten u. ä. ist die Hochfrequenzwärme wertvoll. Bei diesem Verfahren werden die zu verleimenden Holzfolien in einer Verformungseinrichtung oder Presse zwischen hölzernen Schablonen in die gewünschte Form gebracht. Dann bleiben die Werkstücke solange unter Preßdruck stehen, bis der Leim ausgehärtet ist. Bei Kaltverleimungen wird die Verformungseinrichtung hierzu allein von einem Werkstück bis zu 8 Stunden in Anspruch genommen. Mit Hilfe dielektrisch erwärmter Harnstoff- und Phenolleime kann der Prozeß in wenigen Minuten beendet sein. Als Arbeitselektroden dienen Metallfolien, mit denen die Schablonen gefüttert werden.

Da die Arbeitskondensatoren in Abhängigkeit von der Betriebsfrequenz eine gewisse geometrische Länge nicht überschreiten dürfen, sind zur Sicherung gleichförmiger Temperaturverteilungen über lange Werkstücke u. U. besondere Schaltmaßnahmen erforderlich.

3.3 Schicht- und Stabholzverleimungen:

Bei der bisher betrachteten Querfelderwärmung wurden in Abhängigkeit von den dielektrischen Faktoren des Holzes und Leimes beide Materialien erwärmt. Ideal würde es selbstverständlich sein, nur in den Leimschichten Wärme zu erzeugen, ohne das Holz aufzuheizen. Das kann nahezu durch die Parallelfelderwärmung erreicht werden.

Siehe Abb. 20: Prinzipieller Aufbau einer Presse für Parallelfelderwärmung

Durch zweckentsprechenden Aufbau der Presse müssen Verzerren des elektrischen Parallelfeldes möglichst vermieden werden. Die Breite des Schichtholzes, das auf diese Art thermisch behandelt werden kann, wird durch das sicher zu beherrschende Spannungsmaximum (15 kV Spitzenwert) begrenzt. Solange es daher keine besseren Leime gibt, als die gegenwärtig zur Verfügung stehenden, liegt die Maximalbreite bei etwa 50 cm. Bei breiteren Schichthölzern muß aus wirtschaftlichen Gründen die Querfelderwärmung angewendet werden. Erst wenn endlich Leime hergestellt werden,

die viel kleinere Dielektrizitätskonstanten als die bisher üblichen haben, wobei die dielektrischen Erwärmungsfaktoren sogar angemessen kleiner werden dürfen, können die Vorteile der dielektrischen Erwärmung voll ausgenutzt werden. In diesem Zusammenhang muß auch darauf hingewiesen werden, daß Leimpapierfolien aus ähnlichen Gründen meistens für Parallelfelderwärmungen nicht brauchbar sind.

Trotz aller dieser gegenwärtig noch in Kauf zu nehmenden Nachteile, die eine völlige Ausschöpfung der bestechend vorteilhaften Hochfrequenzwärme behindert, ist die Schichtholzerstellung dennoch viel besser mit dielektrischer Aufheizung durchzuführen.

Es sei daran erinnert, daß beim alten Trockenkammerverfahren die ganzen Stücke solange erwärmt werden müssen, bis der Leim zwischen den einzelnen Holzlagen abgebunden hat. Dabei muß während der langen Behandlungszeit die Ribbildung durch Austrocknen des Werkstückes verhindert werden.

Soll z. B. ein Balken aus Nadelstichthölzern mit einem Gesamtquerschnitt von 1800 cm² (30 × 60 cm) und einer Länge von 730 cm aus 15 Fichtenholzlagen von je 4 cm Dicke mit Hilfe der industriellen Hochfrequenz zusammengesetzt werden, dann benötigt man zum Aushärten der Leimfugen in 5 Minuten etwa 116 kW Hochfrequenzleistung.

Siehe Abb. 21: Dielektrisches Erwärmen eines Schichtholzbalkens

Die Energiekosten je Balken betragen dabei etwa 1,60 DM bei 6 Pfg./kWh. Da ein HF-Generator für diese Leistung nicht immer verfügbar sein wird, kann der Balken auch in mehreren Abschnitten bei entsprechend kleineren Leistungen abgebunden werden.

Für die praktische Datierung dieser Prozesse gelten im übrigen ähnliche Regeln wie für die Sperrholzerzeugung. Bewährte Verfahren liegen in der Produktion von Bau- und Bogenträgern, Masten, Rudern, Propellern, Schuhleisten u. a. m.

Ein weiteres sehr nützlich Anwendungsgebiet für die hochfrequente Erwärmung ist das Aushärten von Stabholzverleimungen. Bekanntlich kann viel abgefallenes Nutzholz durch diese Methode in großem Umfang wieder wirtschaftlichen Zwecken zur Verfügung gestellt werden, wodurch wesentliche Einsparungen beim Gesamtnutzholzverbrauch erzielt werden können. Die Kosten für die erforderlichen Spannwerkzeuge, die zum bisher üblichen Verleimen erforderlich waren, sind zu vermeiden. Große Lagerflächen für die gespannten und geleimten Werkstücke können für andere Zwecke freigemacht werden.

Im allgemeinen wird zur dielektrischen Erwärmung von Stabholzverleimungen die Parallelfelderwärmung ausgenutzt, so daß die Temperaturerhöhungen in den Leimschichten viel schneller als in



Abb. 30

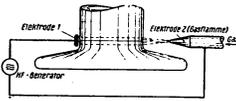


Abb. 31

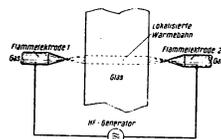


Abb. 32

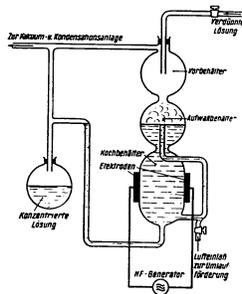


Abb. 33

b) *Mehrfachfelder*, wobei die „heiße“ Elektrode in die Mitte zweier Stapel gelegt und Ober- sowie Unterteil der Presse als Gegen- elektroden benutzt werden oder Vielfachfelder durch Anord- nung kammförmig geschichteter Elektroden erzeugt werden.
 Siehe Abb. 19: *Querfelderwärmung mit Mehrfachfeldern*

Die Erörterung der sonstigen Umstände, die bei Auswahl und Di- mensionierung der verschiedenen-Kondensatorfeldanordnungen mit- bestimmend sind, würde nicht dem Zweck dieser Schrift ent- sprechen. In der Hauptsache handelt es sich dabei um die Kom- pensierung von Wärmeleit- und -abstrahlverlusten, die zu un- erwünschten Temperaturgefällen an den Werkstückoberflächen führen könnten. Auch in diesem Zusammenhang ist die Tatsache erwähnenswert, daß diesen Problemen zwar mit mathematischen Darstellungen beizukommen ist, man allgemein aber mit empiri- schen Arbeiten leichter weiterkommt.

In Anbetracht der gegenwärtigen Rohstofflage ist schließlich noch eine Erörterung darüber notwendig, wie sich der *Feuchtigkeitsgehalt des Holzes* auf die hochfrequenten Erwärmungsverfahren auswirkt. Natürlich wird die Dielektrizitätskonstante des Holzes in hohem Maße durch den Feuchtigkeitsgehalt beeinflusst, und zwar derart, daß feuchtere Hölzer eine größere Dielektrizitätskonstante besitzen und die Leimschichten daher u. U. schneller aufgeheizt werden können. Aber ein zu großer Feuchtigkeitsgehalt ist wiederum unzulässig, weil das Holz dann die Tendenz zum Reißen hat. Selbstverständlich könnte das dann notwendige Vertrocknen an Stelle in Trockenkammern ebenfalls durch dielektrische Erwärmung in der Presse erfolgen, was in gewissen Grenzen tatsächlich auch praktisch durchgeführt wird, in gewissen Grenzen darum, weil der Einsatz von Hochfrequenzenergie zum Verdampfen großer Wassermengen in diesem Fall zu unwirtschaftlich werden könnte. Bei zu großem Feuchtigkeitsgehalt besteht übrigens auch die Gefahr, daß es zu einer unerwünschten Feuchtigkeitsdurchsetzung der Leimschichten und daher zu schlechten Leimfugen kommt.

Für die *praktische* Durchführung des Verfahrens sollte bei Beginn der Erwärmung nur ein geringer Preßdruck angesetzt werden, um den flüchtigen Fugenausscheidungen das Austreten zu er- leichtern. Ist die Härte-temperatur erreicht, dann wird der Druck langsam bis auf etwa 25 kg/cm² gesteigert.

Die Abbindezeit der Kunstharz- oder Kauritleime können von 3 Stun- den auf 10 Minuten reduziert werden. Der Leistungsbedarf beträgt in der Regel bei einer Feldstärke von nur 150 V/cm etwa 1,5 W/cm², wenn der Leim schon in 5 Minuten ausgehärtet sein soll. Um z. B. eine Sperrholztafel von 3 m² mit einer Dicke von 1 cm herzustellen,

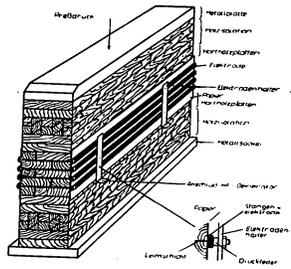


Abb. 21

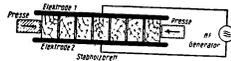


Abb. 22

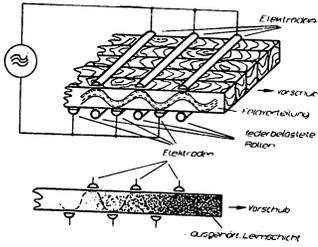


Abb. 23

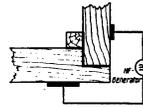


Abb. 24

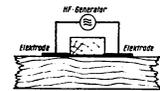


Abb. 25

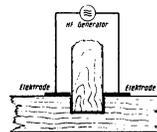


Abb. 26

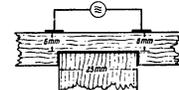


Abb. 27

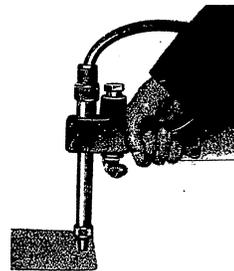


Abb. 28

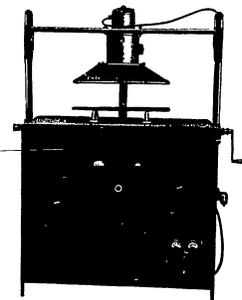
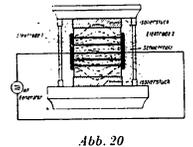
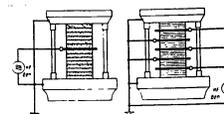
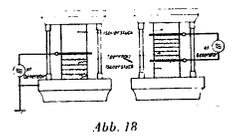
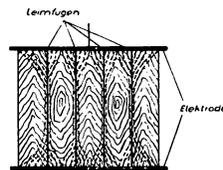
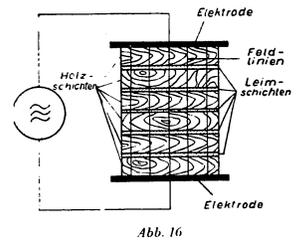
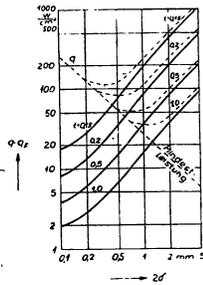
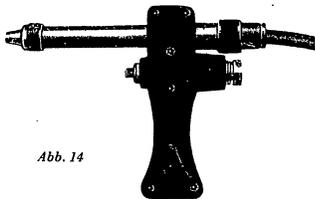
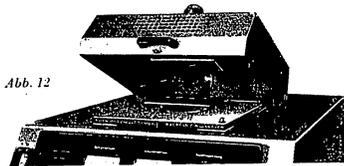
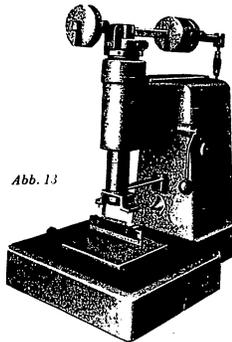
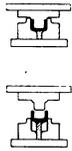
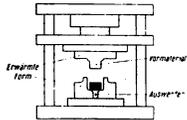
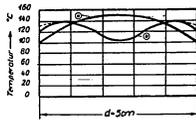


Abb. 29





- ⓐ Langsame Heizung mit relativ kleiner Leistung und langer Aufheizzeit (0,7W/cm², 7min)
- ⓑ Schnelle Heizung mit relativ großer Leistung und kurzer Aufheizzeit (7W/cm², 40sek)

Abb. 4

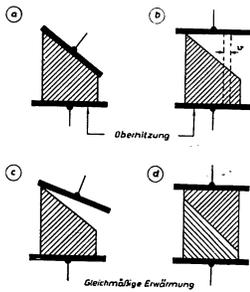


Abb. 5

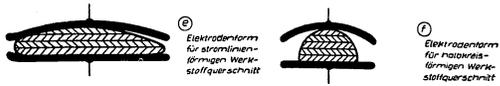


Abb. 6

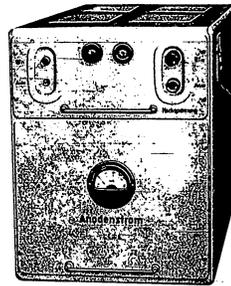


Abb. 7

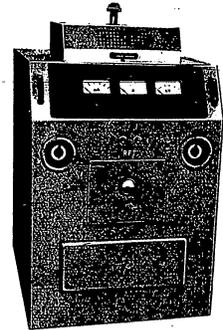


Abb. 8

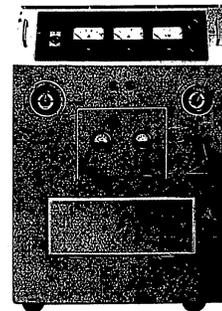


Abb. 9

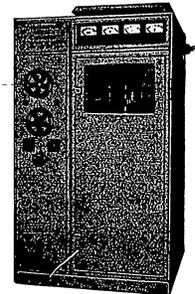


Abb. 10

Bei der *selektiven Aufheizung* sind wiederum drei Gruppen zu unterscheiden, nämlich

- a) *Querfelderwärmung*, wobei die zu erwärmenden Schichten parallel zu den Elektroden des Arbeitskondensators liegen und die elektrischen Feldlinien alle Schichten *quer* schneiden. Die Spannungsverteilung hängt also von den Dielektrizitätskonstanten der Schichten ab, während die Erwärmung in den Schichten außer von der wirksamen Spannung auch von ihren Verlustwinkelwerten bestimmt wird.
Siehe Abb. 16: Querfeldverfahren bei dielektrischer Erwärmung
- b) *Parallelfelderwärmung*, wobei die zu erwärmenden Schichten mit den Elektroden des Arbeitskondensators einen rechten Winkel bilden und die elektrischen Feldlinien zu allen Schichten *parallel* verlaufen. Der Spannungsabfall ist in diesem Fall gleichmäßig über die Dicke des Materials verteilt. Jedoch werden die Feldlinien in Abhängigkeit von der Dielektrizitätskonstante der Schichten nach solchen höherer Werte konzentriert, so daß in bezug auf die gesamte Werkstückdimensionierung mit relativ kleinen Leistungen oft erstaunliche Arbeitsleistungen möglich sind.
Siehe Abb. 17: Parallelfeldverfahren bei dielektrischer Erwärmung
- c) *Streifelfelderwärmung*, wobei die zu erwärmenden Schichten in einem gekrümmt verlaufenden elektrischen Feld liegen, das zwischen zweckmäßig angeordneten Kondensatorelektroden meistens so gebildet wird, daß eine Art „sekundäre“ Parallelfelderwärmung entsteht. Diese Methode ist in der Regel dann wertvoll, wenn das Parallelfeldverfahren nicht durchführbar oder die Querfelderwärmung zu unwirtschaftlich ist.

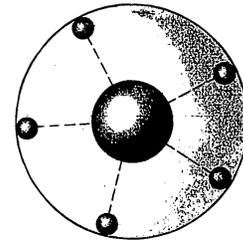


Abb. 1

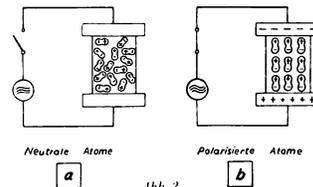


Abb. 2

3.1 *Sperrholzproduktion:*

Sehr eindrucksvolle Beispiele für die Vorzüge durch Anwendung von Hochfrequenz-Wärme liefert die Sperrholzindustrie. Die dielektrischen Zustände der lamellierten und durch Leimschichten miteinander verbundenen Sperrholzplatten sowie ihre Dimensionen bedingen für eine dielektrische Aufheizung die Wahl der sogenannten *Querfelderwärmung*. In Abhängigkeit von der Materialblockdicke und der damit im Zusammenhang stehenden notwendigen Betriebsspannungshöhe sind grundsätzlich zwei Kondensatorfeldarten zu unterscheiden, nämlich:

- a) *Einfachfelder*, wobei eine „heiße“ Elektrode auf das zu behandelnde Material gelegt wird, während die Presse selbst als Gegenelektrode wirksam ist, oder aus thermischen Gründen eine besondere Gegenelektrode isoliert von der Presse eingelegt wird.

Siehe Abb. 18: Querfelderwärmung mit Einfachfeldern

N.	Kanal		Frequenz		(kHz)	Welle (m)	
	MHz	Breite	Band von	Band bis		Band von	Band bis
1	13,56 ± 0,05 %		13 553,22	13 566,78	13,56	22,135	22,112
2	27,12 ± 0,6 %		26 957,28	27 282,72	325,44	11,128	10,996
3	40,68 ± 0,05 %		40 659,66	40 700,34	40,68	7,378	7,371

Abb. 3

tion, aber weder die gewöhnlichen tierischen noch pflanzlichen Leime sind besonders wasserfest. Man hatte daher mit intensiver wissenschaftlicher Methodik endlich die Suche nach besseren Bindemitteln aufgenommen. Das führte über die Entwicklung von Kaseinleimen u. ä. in den 30er Jahren zur Einführung der synthetischen Leime, und man fand, daß die Sorten aus Phenol-Formaldehyd-Harzen eine Dauerfestigkeit besaßen, die alle bisher bekannten Qualitäten weit übertraf. Leider waren diese Leime aber ziemlich teuer, so daß die Weiterarbeit zur Herstellung des Harnstoff-Formaldehyd-Leimes führte, der zwar nicht die hervorragenden Eigenschaften der Phenolsorten besitzt, dafür aber billiger als diese und wesentlich besser als die alten Leime ist.

Man gewinnt sowohl die Phenol- wie auch die Harnstoffleime in Pulverform, die in Wasser härtbar ist. Beide Arten haben eine thermische Erhärtungseigenschaft, wobei sie bei einer bestimmten Temperatur plastisch werden und dann infolge Polymerisation in einen dauernden festen Zustand umgewandelt werden, d. h. sie haben den gleichen Charakter, wie die thermohärtbaren Preßstoffmassen. Hinsichtlich dieser Reaktion unterscheiden sich die Harnstoffleime von den Phenolsorten dadurch, daß ihre Polymerisation bei niedrigeren Temperaturen als jene für Phenole eintritt. Es ist aber möglich, beiden Leimarten chemische Katalysatoren als Beschleuniger beizugeben, um durch Reduzierung der notwendigen Aushärtetemperaturen zu relativ vernünftigen Fertigungszeiten zu kommen.

Gewiß war die Einführung z. B. der Heißpressen in die Sperrholzproduktion ein weiterer Fortschritt, denn man konnte die beim Kaltpressen erforderliche hohe Werkhallentemperatur, die nicht nur unbehaglich, sondern auf die Dauer auch gesundheitsschädlich ist, beseitigen. Leider sind aber auch gegenwärtig noch aus Kostengründen derartige Kaltpreßanlagen in vielen Industrien des In- und Auslandes vorhanden.

Aber auch die Warmbehandlungsmethoden der bisherigen Verleimungstechnik haben noch erhebliche Mängel. Die gewöhnlich dampfbeheizten Vorrichtungen müssen ihre Wärme durch Leitung in das Material abgeben. Weil aber die thermisch zu behandelnden Werkstoffe immer schlechte Wärmeleiter sind, vergeht eine beträchtliche Zeit, ehe eine relativ gleichmäßige Temperaturverteilung selbst in Stücken mäßiger Dicke erreicht werden kann. Heißt man z. B. Holz von 5 cm Dicke beiderseits mit 150°C warmen Platten auf, dann wird eine Zeit von etwa 30 Minuten gebraucht, ehe die zentralen Schichten des Holzes auf 80°C angewärmt sind. Müssen sogar 100°C erreicht werden, dann ist die Behandlungszeit schon auf 50 Minuten auszudehnen. In diesem Mangel liegt die Gefahr der leider allzu bekannten unvollkommenen Produktion, weil eben die zentralen Schichten des behandelten Werkstückes unterheißt bleiben, während die Außenschichten schon überheißt sind. Etwas günstiger liegen die Verhältnisse bei dünneren Materialsichten, z. B. Sperrholztafeln. So kann man eine dreischichtige Tafel aus Holzfolien von je 3 mm Dicke in 3 bis 4 Minuten

22

aushärten, während für dickere Lagen von etwa 12 mm schon wieder 20 Minuten Behandlungszeit erforderlich werden. Natürlich stellen diese Tatsachen der Warmbehandlung gegenüber den Kaltverfahren, die sich übrigens von vielen Stunden bis zu mehreren Tagen ausdehnten, schon einen großen Fortschritt dar. Doch bietet der Einsatz dielektrischer Erwärmungsverfahren neue und noch wesentlich vorteilhaftere Möglichkeiten.

Um die Vorzüge der hochfrequenten Aufheizung verständlicher zu machen, ist es zweckmäßig, die allgemeinen Merkmale der Leimverfahren und ihrer Mechanismen zu betrachten. Der grundsätzliche Unterschied in der Struktur zwischen Sperrholz und Schichtholz besteht darin, daß beim ersten die Fasergefüge der einzelnen Lagen transversal und beim letzten parallel geschichtet werden. Obgleich die Anzahl der Betriebsanlagen für Sperr- und Schichtholzherstellung weniger zahlreich als diejenige für andere Verleimungszwecke ist, muß dieser Prozeß infolge der Bedeutung dieser Produktion doch als *Hauptverfahren* bezeichnet werden. Dagegen sind Prozesse, mit denen Verbindungen verschiedenartiger oder auch fester Hölzer hergestellt werden, zweckmäßig in eine Gruppe der *Nebenverfahren* zusammenzufassen. Die Menge des bei den Hauptverfahren benötigten Leimes übersteigt den Bedarf für Nebenverfahren beträchtlich. Diese Tatsache beeinflusst entscheidend die Auswahl der geeigneten Leimsorten in Abhängigkeit von ihren Aushärteigenschaften. Trotz aller erreichten zweckentsprechenden Verbesserungen genügen die heute verfügbaren Leime immer noch nicht den Wünschen der modernen Produktion. Die Ermittlung brauchbarer Verfahren kann sich daher nicht allein auf technische Daten stützen, sondern ist in nicht unbeträchtlichem Umfang auf praktische Erfahrungswerte angewiesen. Hieraus ergeben sich für die Weiterentwicklung der Verleimungstechnik Aufgaben für die Chemiker, deren Lösung bedeutende Produktionssteigerungen ermöglichen würden.

Nach diesen Ausführungen ist es naheliegend, daß die *dielektrische Erwärmung*, die ja in Körpern mit schlechter thermischer Leitfähigkeit eine gleichmäßige Temperaturerhöhung hervorruft, mit hervorragenden Vorzügen auch für die Holzverleimungsverfahren verwendbar ist. Der Umstand, daß die elektrischen Eigenarten der zu verbindenden Materialien gewöhnlich sehr unterschiedlich von denen der Leime sind, bietet sich zum Ausnutzen der möglich selektiven Aufheizung an, wenn auch die gegenwärtig verfügbaren Leime noch nicht den wirklich gewünschten Charakter besitzen, gibt es dennoch eine Reihe von Verfahren, die mit synthetischen Leimen trotzdem hervorragende Vorteile bringen. Es gibt bei der Kondensatorfelderwärmung zwei Verfahrensorten, nämlich

- a) *vollkommene Erwärmung* von Werkstücken, wobei das Materialvolumen gleichmäßig stark durchwärmt wird,
- b) *selektive Erwärmung* von Werkstückpartien, wobei die Wärmeentwicklung auf bestimmte Werkstückzonen konzentriert wird.

23

b) Fortlaufende Schweißprozesse

Bei einer Reihe von Verfahren ist eine schnell intermittierende oder auch kontinuierliche Schweißung der Nähte notwendig, wobei auch die Möglichkeit zum Herstellen von Winkeln und Bogen gegeben sein muß. Im ersten Fall wird die Schweißnaht durch eine Linie dicht aneinander gereihter Punkte gebildet. Diese Technik hat sich außerordentlich bewährt. Werden dagegen z. B. wasserdichte Nähte gefordert, dann sind meistens Schweißelektroden notwendig, die den Linien der geforderten Nähte forlaufend folgen können. Die hierzu dienenden Nahtschweißmaschinen besitzen Rollenelektroden, zwischen denen das zu schweißende Material hindurchläuft, und die auch seinen Transport besorgen. Da das elektrische Feld zwischen den Rollen- bzw. Stabelektroden stark konzentriert ist, erfolgt die Verschweißung an den Berührungspunkten mit dem Material, wobei der Elektrodendruck die Güte der Schweißnaht sichert. Die notwendige schnelle Abkühlung wird nach dem Austritt aus den Elektroden durch die umgebende Luft oder in Sonderfällen auch durch wassergekühlte Schweißelektroden besorgt.

Für die Leistungsdosierung gelten ähnliche Regeln, wie für die Hebeldruckschweißungen. Sie hängt verständlicherweise von der zu erwärmenden Materialmenge ab, die je Sekunde aufzuheizen ist, d. h. von der Foliendicke und der Geschwindigkeit des Durchlaufes. Wird z. B. eine Arbeitsgeschwindigkeit von 5 cm/Sek. gefordert, wobei die Schweißnahtbreite 4 mm und die Gesamtfoliendicke 1 mm beträgt, dann wird eine Hochfrequenzleistung von etwa 50 W gebraucht. Ein HF-Generator mit einer abgegebener Leistung von 0,1 kW ist daher auch für diese Zwecke durchwegs geeignet.

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß die Schweißung von thermoplastischen Stoffen eine bestehende Möglichkeit zum Verbinden von Kunststoff-Fabrikaten jeder Art mit Hilfe der industriellen Hochfrequenz ist. Zur Herstellung von Naht- und wulstlosen Schweißungen begrenzter Länge oder an dickeren Werkstücken werden meistens Schweißpressen mit stabförmigen Elektroden verwendet. Dagegen wird die Nahtschweißmaschine, die in ihren mechanischen Funktionen einer Nähmaschine sehr ähnlich ist, zum Schweißen fortlaufender Nähte mit hervorragenden Vorteilen verwendet. Diese Verfahren werden in steigendem Maße zur Bearbeitung von Schutzbekleidungen, Schuhen, Taschen, Verpackungen, technischen Vorrichtungen, Kabelisolationen, Tuben u. v. a. m. in der Industrie eingeführt. Sie sind für alle Produktionszweige uneingeschränkt, bei denen die Verbindung von Kunststoffen die Basis der Produktion ist.

2.3 Gelatinieren von thermoplastischen Stoffen

Ganz ähnliche Grundsätze wie beim Schweißen von thermoplastischen Stoffen in fester Form gelten auch für die Verfahren zum Gelatinieren von pastenartigen Kunststoffen wie z. B. Igelitpaste. Die Herstellung von wasserdichten Schichten, Korrosionsschutzüberzügen, Kabel- und Leitungsisolationen, Treib- und Förderbändern unter Ausnutzung der dielektrischen Erwärmung bieten wiederum Vorteile, die mit keiner anderen thermischen Behandlung erreicht werden können.

2.4 Pressen von sonstigen Kunststoffen

Nach Betrachtung der Beispiele zum dielektrischen Vorwärmen von thermohärtbaren Preßmassen wird es als selbstverständlich erscheinen, daß die Hochfrequenzwärme in jedem Fall mit Vorteil ausgenutzt werden kann, wenn eine gleichmäßige Erwärmung von dicken, ebenen Tafeln oder Blöcken aus anderem nichtleitenden Material verlangt wird.

Zur Herstellung von Zahnrädern werden die Rohlinge aus geschichteten Kunststofftafeln zusammengesetzt und unter Preßdruck durch synthetische Leime gebunden. Die praktischen Merkmale eines derartigen Verfahrens bitten wir den Interessenten unter den Abschnitten für Holzverleimungen nachzulesen.

Auch die Aushärtung von Schleifscheiben, die aus abriebfestem Material bestehen und durch Kunstharzleime verfestigt werden, wird nach gleichen Prinzipien durchgeführt.

Schließlich muß noch das Pressen von „organischen Gläsern“ erwähnt werden, wobei oft ziemlich dicke Platten auf die erforderliche Erweichungstemperatur vorgeheizt werden, damit sie dann in entsprechende Formen oder Schablonen zu pressen sind.

Wie bereits betont, handelt es sich zwar immer um dieselben Grundsätze, doch können die speziellen Verfahren erst unter Berücksichtigung der dielektrischen und technologischen Materialeigenschaften präzise bestimmt werden.

3. Holzverarbeitende Industrie:

Es ist Tatsache, daß die Fortschritte der Verleimungstechnik in der Holzverarbeitenden Industrie deren Modernisierung in entscheidendem Maße beeinflußt haben. Bis zur Jahrhundertwende standen seit ältesten Zeiten nur tierische Leime zur Verfügung. Die dann geschaffenen ersten pflanzlichen Leime verbesserten zwar die sich ausdehnende Sperrholzproduk-

Der Arbeitskondensator, zwischen dessen Elektroden das Vormaterial zum Aufheizen eingelegt wird, ist in der Regel ein Bestandteil des HF-Generators. In Sonderfällen kann auch eine Vorwärmanrichtung geliefert werden, die vom Generator abgesetzt an anderen geeigneten Stellen aufgebaut und über ein Hochfrequenzkabel gespeist wird. In anderen Fällen ist auch die zentrale Versorgung einer Reihe von kleineren abgesetzten Vorwärmwerkzeugen durch einen entsprechenden HF-Generator möglich.

2.2 Schweißen von thermoplastischen Stoffen

Polyvinylchlorid, Akrylsäureester und Zelluloseacetate können in Form von Folien, Platten und Tafeln thermisch bearbeitet werden. Diese Stoffe sind in kaltem Zustand fest und werden bei Erwärmung auf Temperaturen ab etwa 70° C weich und plastisch. Es ergeben sich dabei aber keine molekularen Änderungen, so daß die Materialien nach Abkühlen ihren ursprünglichen Zustand wieder annehmen.

Die Möglichkeit der selektiven Erwärmung durch hochfrequente Behandlung führte zur Entwicklung von Verfahren zum Verbinden bzw. Schweißen thermoplastischer Stoffe, einem Verfahren, das heute überaus weit verbreitet ist. Die alten Methoden zur Bearbeitung dieser heute für vielfältige Zwecke von der Industrie verwendeten Materialien haben mancherlei Unzulänglichkeiten. Das meistens übliche normale Nähen führt infolge der Nähadeneinschnitte in den verhältnismäßig weichen Stoff zur Reißneigung, besonders beim Strecken des Materials. Die Anwendung der dielektrischen Erwärmung, mit der die zu schweißenden Werkstücke rasch in den plastischen Zustand versetzt und dann durch nachhaltigen Druck zum Verfließen an den Nahtstellen gebracht werden können, ist auch hier mit hervorragenden Vorteilen verbunden.

Die Schweißverfahren für thermoplastische Stoffe werden zweckmäßig in zwei Gruppen unterteilt.

a) Schweißpreßverfahren

In diesem Fall werden die zu verbindenden Werkstücke zwischen zwei entsprechende, meistens stabförmig ausgebildete Elektroden gepreßt und dann verschweißt. Die geometrische Form der Schweißnaht kann also leicht durch passende Elektroden bestimmt werden, die leicht aus den Halterungen der Schweißpresse zu entfernen und auszuwechseln sind.

Siehe Abb. 13: Schweißpresse zum Herstellen von Verbindungen thermoplastischer Stoffe

18

Ein einfacheres Werkzeug ist sinngemäß dadurch zur Verfügung zu stellen, daß zwei kleine Elektroden an einen Handgriff gebaut werden, so daß eine dem Lötkeben ähnliche Vorrichtung entsteht. Der Spalt zwischen den Elektroden wirkt als Schneide, unter der die Schweißnaht entsteht. Wird dieser „Schweißkolben“ langsam an der gewünschten Verbindungsnaht entlang gezogen, dann können auf diese einfache Art vielerlei Nahtvarianten hergestellt werden.

Zum punktförmigen Schweißen dient die sog. „Schweißpistole“. Sie verdeutlicht besonders stark die Vorteile der dielektrischen Erwärmung, wenn eine genaue Lokalisierung der Schweißstellen gefordert wird. Das offene Ende des Pistolenrohres wird einfach auf den Schweißpunkt aufgedrückt.

Siehe Abb. 14: Schweißpistole zum Herstellen punktförmiger Verbindungen thermoplastischer Stoffe

Die zum Schweißen thermoplastischer Stoffe verwendeten HF-Generatoren liefern in der Regel 0,1 oder 1 kW Hochfrequenzleistung. Zur zentralen Versorgung mehrerer vom Generator abgesetzt arbeitender HF-Schweißwerkzeuge kann aus wirtschaftlichen Gründen auch die Wahl von 2- oder 10-kW-HF-Generatoren zweckmäßig werden.

Der praktisch erreichbare Leistungsumsatz hängt in starkem Maße von Sonderverhältnissen ab, die das hochfrequente Schweißverfahren von Kunststoffen kennzeichnen. Es können von der im Dielektrikum erzeugten Wärme infolge der u. U. sehr dünnen Folien wesentliche Wärmebeiträge an die kalten Elektroden abgeführt werden, so daß eine brauchbare Temperaturverteilung durch entsprechende Leistungsdosierung gesichert werden muß. Der Leistungsbedarf hängt von der Foliendicke ab. Es gibt daher eine Mindestleistung, mit der bei einer bestimmten Foliendicke die erforderliche Temperatur noch erreicht wird, so daß einwandfreies Verfließen des Stoffes garantiert ist. Mit zunehmender Foliendicke wird die Leistungsbilanz günstiger. Der Wirkungsgrad steigt mit möglicher Verkürzung der Schweißzeit durch höheren Leistungsaufwand wesentlich an.

Siehe Abb. 15: Schweißleistung als Funktion von Foliendicke und Aufheizzeit (Nach Wintergerst)

Der Energiebedarf beträgt in der Regel 225 W/cm³. Präziser sind aber die dem Parameter von Wintergerst zu entnehmenden Angaben in Abhängigkeit von Foliendicke und Aufheizzeit. Die HF-Spannung an den Arbeitselektroden wird gewöhnlich auf 5 kV/cm Feldstärke bemessen.

19

Für die Vorheizung von Tabletten und Pulvern bietet die dielektrische Erwärmung hervorragende Vorteile. Es sind nicht nur alle bisherigen Schwierigkeiten zu beseitigen, sondern noch weitere Vorteile auszunutzen. Das ganze Materialvolumen kann gleichförmig in einer Minute oder weniger in Fließzustand versetzt werden. Infolgedessen können die Tabletten größere Querschnitte als sonst zulässig haben. Dielektrisch aufgeheiztes Preßmaterial sollte stets in Form von flachen Tabletten, Tafeln oder Blöcken vorbereitet werden, weil lose Pulver nicht immer gleichförmig zu erwärmen sind, wenn sie nicht mit besonderen Hilfsmitteln in eine Lage gleichmäßiger Dicke und Dichte gebracht werden. Auch der Wirkungsgrad des Generators kann aus Anpaßgründen bedeutend schlechter werden, wenn mit pulverförmigen Massen gearbeitet wird. Der schnelle Verlauf der dielektrischen Erwärmung erlaubt übrigens auch ein Vorheizen auf höhere Temperaturen als bisher zulässig, ohne das Risiko einer Vorverfestigung befürchten zu müssen. Es ist sogar anzustreben, die Vorbehandlung in einer Zeit von nur 20 bis 30 Sekunden auf relativ hohe Temperaturen zu treiben, wobei allerdings an den schnellen Transport in die Presse besondere Anforderungen zu stellen sind. Die Durchführung von Hand reicht hierzu gewöhnlich nicht mehr aus. Aber selbst wenn die einzigartigen Vorteile der dielektrischen Erwärmung nicht bis zur äußersten Konsequenz ausgenutzt werden, ist der dann immer noch erreichbare Nutzen so groß, daß man die industrielle Hochfrequenz zu einem bevorzugten, ja, unentbehrlichen Produktionsmittel in jedem Preßwerk machen kann.

Siehe Abb. 12. Ein mit Preßstofftablett gefüllter Arbeitskondensator

Bei hochfrequenter Erwärmung kann die Presse sofort nach Beschickung geschlossen werden, weil das Material infolge vollkommener Fließzustände ohne relativ kalte oder schürfende Bestandteile ist. Damit wird nicht nur die Behandlungszeit in der Preßform stark verkürzt, sondern selbstverständlich auch der Produktionsausstoß vergrößert. Da die Masse in der Form besser fließt, kann der Preßdruck bedeutend verringert werden, so daß der Werkzeugverschleiß auf ein Minimum reduziert werden kann. Die bessere Fließbereitschaft schützt aber auch etwa eingetragene und meist wenig widerstandsfähige Metalleinlagen vor Zerbrechen oder Verbiegen. Es ist allgemeine Erfahrung, daß bei dielektrischer Vorwärmung viel gleichwertigere Erzeugnisse herzustellen sind und der Ausschuß praktisch zu beseitigen ist.

Ein weiterer wichtiger Vorteil ist die Tatsache, daß die bisherigen in den Preßwerken aus bekannten Gründen angestrebte Dickenbegrenzung bei hochfrequenter Vorheizung stärkstens reduziert wird, wenn sie nicht überhaupt ganz aufgehoben werden kann. Auch das ist wegen der erreichbaren gleichmäßigeren hohen Temperatur der Tabletten oder Tafeln möglich.

16

Wie bereits ausgeführt, wird die erforderliche Behandlungszeit für die Vorwärmung bei jedem Rohlingsquerschnitt stark verkürzt und beträgt nur noch 1/5 bis 1/3 derjenigen alter Verfahren. Die Zeiteinsparungen werden erfahrungsgemäß bei Dicken von mehr als 6 mm zunehmend bedeutungsvoller. Die Preßtechnik wird mit Hilfe der dielektrischen Aufheizzeit überhaupt in die Lage versetzt, wesentlich dickere Werkstücke herzustellen, als es mit den bisher üblichen Wärmbehandlungsmethoden möglich war. Auch können jetzt viel kompliziertere Formen einwandfrei geprüßt werden.

In diesem Zusammenhange sei darauf hingewiesen, daß für sehr kleine Preßteile wie z. B. Knöpfe oder Kappen von Zahnpastatuben, die wirtschaftlichen Vorteile der industriellen Hochfrequenz nicht immer so selbstverständlich gegeben sind, wie bei größeren Stücken. Die Projektierung muß in solchen Fällen mit besonderer Sorgfalt arbeiten, wenn ein interessiertes Preßwerk nicht auch schon für andere Werkstücke die hochfrequente Vorwärmung eingeführt hat.

Es sind wiederholt Vorschläge gemacht worden, die bereits in der Presse liegenden Materialien dielektrisch aufzuheizen, um den Transport von der Vorwärmeinrichtung in die Presse aus an sich einleuchtenden Gründen zu vermeiden. Obgleich das in Spezialfällen möglich ist, kann eine derartige Kombination nicht zur Regel gemacht werden. Unzweckmäßige geometrische und elektrische Verhältnisse in der Presse führen meistens zu inhomogenen Erwärmungen, wenn diesem Umstand nicht durch entsprechende konstruktive Änderungen der Presse entgegengegewirkt wird. Es ist meistens zweifelhaft, ob ein derartiger Aufwand gegenüber dem Nachteil einer externen Vorwärmung zu rechtfertigen ist, weil die u. U. empfehlenswerte Mechanisierung des Transportes in die Presse mit relativ billigeren Mitteln ausführbar ist.

Schließlich muß noch auf die Möglichkeit hingewiesen werden, daß die industrielle Hochfrequenz auch zum Aufheizen von Chargen im Spritzpreßverfahren vorteilhaft eingesetzt werden kann. Viele der Schwierigkeiten beim bisherigen Spritzpressen können damit beseitigt werden.

Die zum Vorwärmen thermohärtbarer Massen in der Preßtechnik geeigneten HF-Generatoren geben in der Regel 0,1 bis 1 oder 2 kW Nutzleistung ab. Die umsetzbare Leistung schwankt je nach verwendetem Vormaterial zwischen 90 und 50 Prozent. Der Leistungsbedarf beträgt im allgemeinen 2,5 bis 4,5 W/cm²/Min. Mit der kleinsten Generatortype können daher in einer Minute etwa 35 g vorgewärmt werden, während die 2 kW Type rund 650 g in der gleichen Zeit aufheizt.

Die Betriebsspannung an den Elektroden des Arbeitskondensators wird so eingerichtet, daß das Kondensatorfeld eine Feldstärke von 1,5 bis 2 kV/cm besitzt.

17

Siehe Abb. 7: 0,1 kW HF-Generator

Siehe Abb. 8: 2 kW HF-Generator mit Arbeitskondensator

Siehe Abb. 9: 2 kW HF-Generator mit Kabelausgang zur Speisung abgesetzter Arbeitskondensatoren

Siehe Abb. 10: 20 kW-Generator

Zur näheren Information der Interessenten sind für alle Generatortypen Merkblätter vorhanden, die weitere Einzelheiten enthalten

II. Anwendungsgebiete:

I. Vorwort:

Die nachfolgenden Ausführungen verschaffen einen Überblick über den gegenwärtigen Stand der Verfahrenstechnik. In diesem Zusammenhang muß noch einmal daran erinnert werden, daß z. Z. die Anfangsentwicklung eines industriellen Prozesses miterlebt wird, der sich nach übereinstimmender Ansicht aller Experten des In- und Auslandes in vielen Anwendungsformen als revolutionierend erweisen wird.

Der thermische Behandlung elektrisch nichtleitender Stoffe hat den Zweck, einen oder gelegentlich auch zwei oder drei mögliche Prozesse auszuführen. Diese drei Prozesse eröffnen ein überaus weites Anwendungsgebiet. Im einzelnen handelt es sich um folgende drei Gruppen:

- a) Ablauf von temperaturempfindlichen chemischen Reaktionen oder Änderungen von molekularen Strukturen,
- b) Entfernen von Wasser oder flüssigen Medien,
- c) Weichmachen von plastischen Stoffen.

Der Umfang thermischer Behandlungsarten wurde bisher dadurch beschränkt, daß den alten Erwärmungsmethoden ein unvermeidlich steiler Temperaturabfall nach dem Innern des behandelten Stückes zu anhaftete. Das ist durch die Tatsache bedingt, daß bei allen alten Verfahren die Wärme die Mittellagen des Materials erst durch Wärmeleitung erreichen kann. Hierbei ist zu bedenken, daß die Wärmeleitfähigkeit derartiger Stoffe immer schlecht ist. Natürlich ist es möglich, durch Aufwand entsprechend langer Aufheizzeiten den steilen Temperaturabfall langsam auszugleichen. Aber es gibt einerseits viele Verfahren, bei denen der Zeitfaktor aus technischen Gründen einen Maximalwert nicht überschreiten darf, und andererseits können wirtschaftliche Gründe einen wesentlichen Einfluß auf das zulässige Arbeitstempo nehmen. Das sind die Gründe, weshalb viele Warmbehandlungsverfahren, die mit den alten Methoden überhaupt nicht ausführbar sind, viel vorteilhafter mit der schnellen und gleichmäßigen dielektrischen Aufheizung

ermöglicht werden. Außerdem können aber auch viele Verfahren, die man bisher mit alten Mitteln einrichtete, durch Einführen der dielektrischen Erwärmung wesentlich verbessert werden.

Die Anwendungsformen der dielektrischen Erwärmung sind zur besseren Übersicht in den nachfolgenden Ausführungen unter den einzelnen Industriegruppen zusammengefaßt worden.

2. Kunststoffindustrie:

2.1 Pressen von thermohärtbaren Stoffen

Den bisher unzweifelhaft größten Fortschritt hat die Hochfrequenzwärme dem Pressen von Kunststoffen gebracht. Ihr wurden dadurch überhaupt erst die Wege zu ihrer gegenwärtigen Bedeutung in der Industrie geebnet.

Thermohärtbare Massen werden bekanntlich zur Herstellung vieler Teile verwendet. Sie basieren entweder auf Phenol- oder Harnstoffharzen, denen ein geeigneter Füllstoff in Form von feinen Partikeln aus Holz, Textilien, Asbest oder einigen anderen Mineralien zugesetzt wird. Wenn derartige Massen je nach Type auf 100 bis 140° C erwärmt werden, verändern sie sich zuerst in einen plastischen Zustand, so daß Verfließen und Verpressen in jede gewünschte Form möglich wird. Unter Einhalten einer gewissen Stehzeit, in der durch exothermische Nachwirkung eine weitere Temperaturerhöhung um 15 bis 20° C eintritt, wird eine chemische Reaktion hervorgerufen, die zum Aushärten des Preßlings führt und als „Polymerisation“ bekannt ist.

Siehe Abb. 11: Schematische Darstellung der Preßverformung

Das gepreßte Werkstück ist dann fertig und kann aus der Form ausgestoßen werden, solange es noch heiß ist. Der ganze Arbeitsprozeß wird dann mit dem nächsten Stück wiederholt. Es ist einleuchtend, daß die Produktionsmenge von der Behandlungszeit je Stück abhängt. Diese muß daher so kurz wie möglich sein.

Das Vorwärmen in der bisherigen Art hat erhebliche Mängel. Infolge der schlechten Wärmeleitfähigkeit aller Preßstoffe nimmt diese Vorbehandlung durch Wärmeleitung von außen in das Innere der Masse einen beträchtlichen Teil der gesamten Prozeßdauer in Anspruch. Bei unvorsichtiger Wärmedosierung wird die Preßmasse an der Oberfläche schon hart, ehe sie in die Preßform kommt. In anderen Fällen ist bei Preßbeginn noch nicht die notwendige Plastizität erreicht, was zu besonderer Werkzeugbeanspruchung führt.

C. Die Verfahren

I. Datierung:

1. Frequenzwahl:

Die bisher in allen Ländern übliche Freizügigkeit bei der Auswahl geeigneter Betriebsfrequenzen ist neuerdings durch internationale Vereinbarungen beschränkt worden, die auch ihren Niederschlag im sogenannten „Hochfrequenzgesetz“ der DDR finden. Ein derartiges Gesetz war ohne Zweifel notwendig, um alle kommerziellen Funkdienste und den Rundfunkbetrieb vor Störungen zu sichern. Trotz dieser weniger großen Bewegungsmöglichkeit beim Einsatz von Hochfrequenz-Generatoren berücksichtigen die internationalen Regeln aber doch die besonderen Forderungen der industriellen Sender. Es stehen für den Betrieb vorläufig drei Kanäle zur Verfügung. Durch Einordnen der industriellen Hochfrequenz-Anlagen für dielektrische Erwärmungszwecke in diese Kanäle werden die sonst notwendigen u. U. sehr kostspieligen Abschirmmaßnahmen überflüssig.

Siehe Abb. 3: Die Frequenzbänder für Hochfrequenz-Generatoren

Die Auswahl eines dieser verfügbaren Frequenzkanäle hängt vom Volumen des zu behandelnden Gutes, von seinen geometrischen Dimensionen, von seinen Materialkonstanten und von der Spannungsfestigkeit des betreffenden Dielektrikums ab. Über den praktischen Leistungsbedarf werden nähere Angaben in den Ausführungen zu den Anwendungsgebieten gemacht.

2. Der Arbeitskreis mit dem HF-Wärmeerkzeug:

Die Arbeitskreise für dielektrische Erwärmungen sind mit ihren HF-Wärmeerkzeugen sehr wichtige Teile der Anlagen, die überhaupt entscheidend für die Wirtschaftlichkeit der Verfahren sind. Mancher Mißerfolg ist durch unsachgemäße Dimensionierung und Konstruktion der Arbeitskondensatoren verursacht worden. Außer der zum Erzielen homogener elektrischer Felder notwendigen richtigen Formgebung müssen zugleich auch Überschlänge und Glimmentladungen verhindert werden. Direkt am Werkstück anliegende sogenannte Kontaktelektroden, die in gewissen Fällen einer bestimmten Verformungsbewegung des behandelten Werkstückes folgen müssen, werden am besten aus entsprechend elastischen Stoffen gefertigt oder mit ihnen umkleidet. Dabei werden von diesen Füll- oder Verkleidungsmaterialien Eigenschaften verlangt, die keine unnötigen Energieverluste entstehen lassen bzw. nur eine gewünschte Temperatur annehmen. Für die Entwicklung derartiger Kunststoffe werden sich künftig noch eine Reihe neuer Aufgaben ergeben, von deren Lösung die Wirtschaftlichkeit der Arbeitsverfahren wesentlich abhängt und beeinflusst wird.

12

Auch die *Aufheizzeit* spielt bei der dielektrischen Aufheizung oft eine wichtige Rolle. Bei allen Prozessen geht nämlich ein Teil der erzeugten Gesamtwärme durch Abstrahlung oder Wärmeleitung verloren oder in benachbarte, nicht direkt erwärmte Medien über.

Siehe Abb. 4: Temperaturverlauf in einem dielektrisch erwärmten Werkstück

Nach Bild 4 ist eine Temperaturverteilung zu erkennen, die nach den Oberflächen des Werkstückes zu abfällt. Je schneller nun, aber die Aufheizung durchgeführt werden kann, und je dicker das Werkstück ist, desto geringer werden die Abstrahlverluste. Diese Oberflächenabkühlung kann — wenn nötig — dadurch kompensiert werden, daß zwischen Einsatzgut und den kalten Kondensatorelektroden ein Isoliermaterial gelegt wird, das natürlich ein schlechter Wärmeleiter sein muß. Oft können hierzu auch Materialien mit einem Verlustfaktor ausgewählt werden, wodurch absichtlich eine gewisse Erwärmung der Schutzschichten hervorgerufen wird, so daß die Wärmeverluste aus dem behandelten Werkstück nach außen vernachlässigbar klein oder überhaupt ganz unterbunden werden. Auch ergeben sich bei derartigen Prozessen Kombinationsmöglichkeiten mit Oberflächenaufheizungen durch Infrarotwärme oder andere elektrothermische Verfahren.

Siehe Abb. 5: Dielektrische Erwärmung unregelmäßiger Werkstücke

Besondere Überlegungen erfordern Werkstücke mit unregelmäßigen Formen. In der Regel ist eine praktisch homogene Erwärmung des behandelten Stückes durch geeignete Gestaltung der Kondensatorelektroden möglich, wobei entweder passende Füllstoffe oder Luftspalte zu Hilfe genommen werden. Auf gleiche Art ist in anderen Fällen aber auch eine gewollte ungleichmäßige Erwärmung von homogenen Werkstückvolumen mit regelmäßigen Formen durchführbar.

Siehe Abb. 6: Dielektrische Erwärmung unregelmäßiger Werkstücke (II)

Man wird aus der Mannigfaltigkeit dieser kurzen Übersicht über die Probleme des Arbeitskreises erkennen, daß in diesem Teil der Anlage im wesentlichen die Charakteristik eines Industriesenders liegt. Die Wissenschaftler und Ingenieure des RFT Funkwerkes Kopenick VEB haben den verwickelten Vorgängen in diesem Kreis ihre besondere Aufmerksamkeit zugewandt, um trotzdem die Bedienbarkeit der Anlagen unter Berücksichtigung der besonderen Betriebsbedingungen so einfach und trotzdem sicher wie möglich zu machen.

3. Hochfrequenz-Generatoren:

Alle Generatoren entsprechen den Bestimmungen des „Hochfrequenzgesetzes“ und können daher ohne besondere Schutzmaßnahmen so in den Produktionsablauf eingeordnet werden, daß ein Maximum an Wirtschaftlichkeit garantiert wird.

13

Elektronen werden durch das Potential des einwirkenden Feldes nach der positiven Seite hin verschoben, während der Kern selbst einer Kraft in entgegengesetzter Richtung unterliegt. Die durch diese Strukturverschiebung hervorgerufene Atomdeformation hebt das elektrische Gleichgewicht auf. Die Atome haben polaren Charakter angenommen.

Die mehr oder weniger große Verschiebung der atomaren Struktur des Dielektrikums wirkt praktisch so, als ob die Platten eines geladenen Kondensators mehr oder weniger dicht zusammenstehen, als es in Wirklichkeit der Fall ist. Die polare Eigenart der Stoffpartikel eines Dielektrikums bestimmt also den Wert der Dielektrizitätskonstante ϵ . Sie ist ein Werkstoff-Faktor, der von der Polarisierbarkeit der Atome unter dem Einfluß eines fremden elektrischen Feldes abhängig, einem Produkt aus der Verschiebungsgröße der positiven und negativen Ladungsschwerpunkte und der Größe der Ladungen.

3. Dielektrische Verluste:

Ausgehend von der Vorstellung des bisher betrachteten elektrostatisch geladenen Kondensatorfeldes müssen aber noch die eintretenden Zustände untersucht werden, wenn der Kondensator mit einer hochfrequenten Wechselspannung beschickt wird. Unter dem Einfluß des nunmehr einwirkenden Wechselfeldes werden die polaren Partikel des Dielektrikums zu einer Art dauernden Drehung veranlaßt. Ohne die jüngsten von dieser Auffassung etwas abweichenden Theorien zu verfälschen, kann man bei dieser Darstellung bleiben, zumal hiermit ein einprägsames Bild der scheinbaren Entstehung von Strömen und ihrer Begleiterscheinungen ermöglicht wird.

Siehe Abb. 2: Polare Moleküle im elektrischen Kondensatorfeld

Infolge der dauernden Umpolarisierungen des elektrischen Wechselfeldes muß man den beeinflussten atomaren Dipolen zwei Gleichgewichtslagen zuordnen. Der Energiepegel des Dipols wechselt also ebenfalls in Abhängigkeit von der Polarität des einwirkenden Kraftfeldes. Dreht sich nun ein Dipol von einer Lage niedriger Energie zu einer solchen mit höherem Energiebetrag, dann wird Energie absorbiert. Im umgekehrten Falle wird dagegen Energie abgestrahlt. Der einem Wechselfeld ausgesetzte Dipol gibt mehr Energie ab, als er absorbiert. Der größte Teil dieser abgestrahlten Energie wird an das Wärmespektrum abgegeben. Diese Vorgänge sind die Grundlage für die Erklärung der Verluste, die einem polaren Dielektrikum anhaften.

4. Eigenarten der Werkstoff-Faktoren:

Nun hat aber die Frequenz des elektrischen Wechselfeldes noch einen Einfluß auf die bisher beschriebenen Vorgänge. Solange nämlich ein Dipol in der Lage ist, sich gleichzeitig mit den Feldwechseln zu drehen, bleibt die Dielektrizitätskonstante der Stoffe von der Frequenz unabhängig.

10

Mit Höherwerden der Frequenz tritt aber allmählich ein Zustand ein, in welchem die Dipolbewegungen gewissermaßen zu träge werden und den Umpolungen des einwirkenden Feldes nicht mehr exakt folgen können. Dadurch wird die Dielektrizitätskonstante kleiner. Durch weitere Frequenzerhöhung wird endlich ein Zustand erreicht, unter dem weder die Atomkerne noch die zu ihnen gehörenden Elektronen überhaupt noch in der Lage sind, den Rhythmus der Feldumpolungen zu folgen. In diesem Falle wird die Dielektrizitätskonstante gleich 1 und damit gleich der des Vakuums. Dieses endliche Abfallen auf 1 erfolgt sehr steil, wobei die dielektrischen Verluste infolge der nun möglichen maximalen Energieabstrahlung des Dipols scharf ansteigen. Es ist also zu erwarten, daß dielektrische Materialien in gewissen Frequenzbändern verschiedene optimale Energieabsorptionen zeigen und natürlich auch die damit zusammenhängenden charakteristischen Änderungen der Dielektrizitätskonstante.

Die Werkstoff-Faktoren variieren aber auch sehr mit der Temperatur, denn die molekulare Reibung ist temperaturabhängig. Die Polarisierbarkeit der Atome bzw. Moleküle wird um so größer, je lockerer die natürliche Struktur der Elektronenschalen im atomaren Gefüge aufgebaut ist, d. h. je leichter sie deformierbar ist. Sie ist also materialabhängig.

Mit anderen Worten kann man sagen, daß die intermolekularen Reibungseffekte zur Erwärmung eines mit Hochfrequenz behandelten Stoffes führen. Da natürlich alle Moleküle an dieser Arbeit gleichmäßig stark beteiligt sind, wird das gesamte Werkstoffvolumen auch gleichmäßig stark erwärmt. Die damit verbundene Energieabsorption, die ja für die Wärmeentwicklung aufgebracht werden muß, verändert die Phasenlage zwischen Strom und Spannung. Der Phasenwinkel zwischen beiden wird auf den Wert 90° geändert, so daß kein reiner Blindstrom mehr fließt, sondern auch ein Wirkstromanteil entsteht, der für den gewünschten Nutzleistungsumsatz im behandelten Gut entscheidend ist. Der Verlustfaktor $\tan \delta$ ist daher einleuchtenderweise neben der Dielektrizitätskonstante ϵ von wesentlicher Bedeutung für die Bestimmung der notwendigen Hochfrequenzleistung.

Es kann hier nur angedeutet werden, daß man es bei vielen Stoffen mit geschichteten Dielektrika verschiedener Materialfaktoren zu tun hat, so daß sich — mit Ausnahme der Frequenz — alle wesentlichen Größen des Leistungsumsatzes ändern und sich sehr komplizierte Verknüpfungen zur Vorausbestimmung eines Verfahrens ergeben.

Jedenfalls sind optimale Wirkleistungen vor allen Dingen bei Stoffen mit großen Verlustfaktoren zu erreichen. Der Wirkungsgrad steigt proportional mit der Frequenz, weshalb möglichst hohe Frequenzen für die dielektrische Erwärmung eingesetzt werden. Jedoch sind diesem Wunsche Grenzen gesetzt, vor allen Dingen dadurch, daß die Maximalleistung der Hochfrequenz-Generatoren mit Zunahme der Frequenz schlechter wird.

11

B. Grundlagen

1. Allgemeines

Die dielektrische Erwärmung von Stoffen erfolgt dadurch, daß die zu behandelnden Medien der Einwirkung eines elektrischen Feldes ausgesetzt werden und dabei elektro-magnetische Wellenenergie absorbieren. Die Absorptionsverluste werden in Wärme umgesetzt. Das dabei für diese Hochfrequenzwärme wesentliche Kennzeichen ist die Tatsache, daß sie im behandelten Material selbst erzeugt wird, und nicht wie bei allen anderen Verfahren durch Strahlung, Wärme Konvektionsbewegung oder Wärmeleitung zur gewünschten Stelle gebracht werden muß. Zur Übertragung der Hochfrequenzenergie werden als wichtige Hilfsmittel sogenannte Hochfrequenz-Wärmeverköcher gebraucht, die bei dielektrischen Heizverfahren immer die Form von Kondensatoranordnungen u. U. ganz besonderer Bauart haben. Zwischen den Elektroden eines derartigen Arbeitskondensators wird das zu behandelnde Gut als Dielektrikum gelagert. In Sonderfällen können die Werkstoffe auch kontinuierlich durch das Kondensatorfeld geführt werden. Wird an einen derartigen Arbeitskondensator eine hochfrequente Wechselspannung gebracht, dann erfolgt in Abhängigkeit von gewissen Eigenschaften des aufzuheizenden Stoffes und den elektrischen Verhältnissen des Kondensatorfeldes die gewünschte Erwärmung.

II. Theorie der dielektrischen Erwärmung

1. Einleitung

Es würde weit über den Rahmen des Zweckes dieser Informationen hinausgehen, die an sich sehr interessanten aber verwickelten physikalischen Vorgänge zu erörtern. Entsprechende Fachliteratur ist in Vorbereitung und wird den Fachkreisen ab 1953 zur Verfügung stehen. Dem interessierten Leser soll mit nachfolgenden Ausführungen lediglich ein allgemeiner Überblick über die physikalischen Zusammenhänge des dielektrischen Erwärmungsverfahrens vermittelt werden.

Betrachtet man die Formel für die zu einem Verfahren benötigte Hochfrequenzleistung je Kubikzentimeter

$$N = 5,56 \cdot f \cdot e \cdot E^2 \cdot \tan \delta \cdot 10^{-12} \text{ (W/cm}^3\text{)}$$

dann kann aus dieser einfachen Beziehung festgestellt werden, daß die erzeugte Wärme in Abhängigkeit von der aufgebrachten Leistung proportional ist in folgenden Faktoren:

f = Frequenz,

e = Dielektrizitätskonstante des behandelten Stoffes

E² = Quadrat der Feldstärke

tan δ = Verlustwinkel des behandelten Stoffes.

Von diesen Faktoren fallen die Werte e und tan δ auf, die sich auf Eigenschaften des dielektrisch zu erwärmenden Stoffes beziehen.

2. Dielektrizitätskonstante e

Bekanntlich bilden zwei Metallplatten, die durch Isolierstoffe (Luft, Glas, Glimmer usw.) voneinander getrennt werden, einen Kondensator. Wird z. B. an einen Luftkondensator eine elektrische Batterie geschaltet, dann fließt momentan ein großer Strom, der praktisch aber schnell wieder bis auf null absinkt, wenn nämlich die Kondensatorplatten das Batteriepotal angenommen haben. Der Kondensator ist jetzt geladen. Die Elektrizitätsmenge, welche in dem nun zwischen den Platten aufgebauten elektrostatischen Feld gespeichert wird, ist proportional der angelegten Batteriespannung und der Plattenfläche, jedoch umgekehrt proportional dem Plattenabstand des Kondensators.

Vergleicht man diesen Vorgang mit der „Aufladung“ eines Kondensators, dessen Volumen zwischen den Platten an Stelle von Luft mit Glimmer ausgefüllt wurde, dann ist festzustellen, daß jetzt die Menge der gespeicherten Energie beträchtlich größer geworden ist. Da aber die angelegte Batteriespannung die gleiche geblieben ist, muß folglich das elektrische Fassungsvermögen des Kondensators, d. h. seine „Kapazität“ größer geworden sein. Der Betrag dieser Kapazitätsvergrößerung ist gleich einem Faktor, der mit „Dielektrizitätskonstante“ bezeichnet wird und ein Charakteristikum dielektrischer Stoffe darstellt.

Die Natur dieser Ladungen in einem Dielektrikum wird durch die atomare Struktur des Materials erklärt. Es gibt in Übereinstimmung mit den 92 Elementen der Natur — und einigen künstlichen wie z. B. Plutonium — ebenso viele Arten von Atomen, die eben Bausteine dieser Elemente sind. Nach Rutherford-Bohr bewegen sich die negativen Elektronen in einem Kern mit positivem Ladungscharakter die negativen Elektronen in kreisförmigen Bahnen. Das Atom bildet ein System elektrischer Ladungen, in welchem die negativen Elektronen ein Gleichgewicht mit den positiven Protonen herstellen, so daß die resultierende Ladung gleich null ist. Tun sie das nicht, dann werden schon von Natur aus elektrische Dipole gebildet, die ein elektrisches Moment besitzen, d. h. es entstehen Dipole, die ein elektrisches Moment besitzen. Die Dipolorientierung derartiger Stoffe ist aber innermolekular begrenzt, weil die Partikel innerhalb des Materialblockes unsymmetrisch geschichtet sind, und daher nach außen auch keine resultierende Ladung wirken kann. Erst wenn ein derartiges Gefüge in ein fremdes elektrisches Feld gebracht wird, dessen fundamentale Eigenart es ist, eine Kraft auf jede in ihm befindliche Ladung auszuüben, werden alle Atome bzw. Moleküle gezwungen, sich in Richtung des auf sie wirkenden Feldes zu drehen, wobei sie außerdem noch eine zusätzliche Deformierung ihrer normalen Struktur erleiden. Es sei vermerkt, daß derartige Stoffe dielektrisch am leichtesten zu erwärmen sind.

Siehe Abb. 1: Aufbau eines Atoms.

Treffen jedoch die Ladungen eines Atoms von Natur aus so zusammen, daß sie sich neutralisieren, dann erhält dieser Stoff erst polare Eigenschaften, wenn er in ein elektrisches Feld gebracht wird. Die negativen

strielle Anwendung einer dielektrischen Erwärmung es ermöglicht, eine Reihe von Behandlungsverfahren in den Produktionsprozeß einzufliedern, die früher in keiner Weise befriedigende, lange Zeit und Energieersparnisse, völlige Gleichmäßigkeit größter Ausstoßmengen, beliebige Wärmekonzentrationsmöglichkeiten, Ausschlußbeseitigung, Sauberkeit und Verhütung nachteiliger Strukturveränderungen im behandelten Werkstoff, sind die wichtigsten Merkmale der Hochfrequenzwärme. Es gibt sonst kein anderes Verfahren, das alle diese Produktionswünsche auf einmal erfüllen könnte.

II. Merkmale des Verfahrens

Es mag erstaunlich erscheinen, wenn man feststellt, daß die wissenschaftlichen Kenntnisse von den physikalischen Erscheinungen bei dielektrischen Wärmeprozessen zum Teil schon über 100 Jahre alt sind. Aber es sind nun einmal gewisse Zeiträume nötig, um von der ersten Idee bis zum praktischen Bestand der Sache zu kommen, damit das Wesentliche vom Zufälligen getrennt wird, und aus den Kenntnissen langsam logisch dargestellte Erkenntnisse entstehen. Die praktischen Nutzenwendungen der alten klassischen Theorien für die dielektrische Erwärmung als Produktionsmittel begannen noch viel später, als die der induktiven Erwärmung. Man ist daher zu Unrecht geneigt, den dielektrischen Heizverfahren den Anschein größerer Neuheit zu geben. Ihre Entwicklung in jüngster Zeit ist auch keine Konsequenz epochaler physikalischer Neuerkenntnisse, sondern sie ist vielmehr technologisch als wissenschaftlich begründet.

Der Vorschlag von Tesla (1891) zur Anwendung von örtlicher hochfrequenter Erwärmung im menschlichen Körper dürfte der erste praktische Schritt in der Entwicklung dielektrischer Wärmemethoden gewesen sein. Der Name Schereschewsky ist mit Arbeiten verbunden, in denen die Beziehungen zwischen der verwendeten Frequenz und der Behandlungszeit beim Abtöten tierischer Schädlinge behandelt wurden. Als mit der Entwicklung der Funksendetechnik (1920) leistungsfähigere Hochfrequenzgeneratoren verfügbar wurden, begannen endlich sehr umfangreiche und sorgfältige Untersuchungen, die vielfältiger waren, als man es eigentlich der Patentliteratur entnehmen kann. Von 1924 ab erschienen viele Beschreibungen über Verfahren wie z. B. zum Trocknen von Papier, zum Sterilisieren und Kochen von Milch, zum Bekämpfen von Insektenplagen u. a. m. Man hatte aber immer noch keinen Grund anzunehmen, daß die Hochfrequenzströme wirkungsvoller als gleich große Niederfrequenzströme sein sollten. Als einzige vorteilhafte Eigenart wußte man die Tatsache auszunutzen, daß Hochfrequenzenergie als sogenannter "kapazitiver Strom" durch eine praktisch nichtleitende Schicht sogar unter relativ kleinen Spannungen übertragen werden konnte, und daß die Spannung mit Zunahme der Frequenz immer mehr reduzierbar war. Die Weiterentwicklung der Hochfrequenztechnik verlangte dann aber pazifere Untersuchungen der Energieverluste in Stoffen, die mit kapazitiven Strömen belastet wurden. Man fand, daß es Fälle einer Wärmezeugung gab, die offensichtlich ganz unabhängig vom spezifischen Widerstand des betrachteten Materials sein mußten. Es stellte sich auch ein fehlerhaftes Verhalten der damals verwendeten Isolierstoffe ein, wobei sich

gewisse Materialien unter Hochfrequenz sehr stark erhitzen, obgleich sie nach den Gesetzen der Ohmschen Wärmezeugung eigentlich keine merkliche Erwärmung zeigen durften. So kam es zum Erkenntnis, daß die hochfrequente oder besser dielektrische Erwärmung nicht einfach eine Sache der Stromleitung war, sondern zwischen dieser und dem kapazitiven Strom grundsätzliche Unterschiede bestehen. Mit dem Begriff des "Verlustwinkels" dielektrischer Stoffe wurde der Schlüssel für die Probleme geschaffen. Er stellte die praktische Verbindung zu atomaren und molekularen Strukturveränderungen her, die unter dem Einfluß elektrischer Kondensatorfelder erzwingen werden können, und die in den verschiedensten Arten mit der Frequenz des elektrischen Wechselfeldes variieren können. Damit waren die wesentlichen Voraussetzungen für die Verfahrensentwicklung in den letzten 15 Jahren geschaffen.

Obgleich die dielektrische Erwärmung gegenwärtig noch nicht für alle nichtleitenden Stoffe ausgenutzt werden kann, ist sie für eine Vielzahl von derartigen Materialien zur Wärmebehandlung einsetzbar. Sie wird mit hervorragenden Erfolgen für Wärmeverfahren bei thermisch verformbaren oder härzbaren Werkstoffen verwendet, sowie für eine Reihe von festen Medien und Flüssigkeiten mit gewissen Viskositäten, die eine pflanzliche oder tierische Basis besitzen. Auch der größte Teil aller nichtleitenden mineralischen Substanzen stellt ein brauchbares Dielektrikum für hochfrequente Wärmebehandlung dar.

Man muß mit Recht annehmen, daß die Bedeutung der dielektrischen Erwärmung einmal diejenige der induktiven Aufheizung an Vielseitigkeit übertreffen wird, obgleich gegenwärtig noch vielmehr Warmbehandlungswecke üblich größerer installierter Leistung für induktive Warmbehandlungswecke eingesetzt sind. Gerade die dielektrische Heizmethode bietet die Möglichkeit, eine Reihe von Wärmebehandlungen nichtleitender Stoffe durchzuführen, die mit anderen Verfahren überhaupt nicht einzurichten sind.

Die oft bestehenden Ergebnisse hochfrequenter Wärmebehandlungen sind Ursachen dafür, daß diese Methoden bei Wissenschaftlern und Technikern aller Industriezweige ein weit verbreitetes Interesse fanden. Nicht jedes theoretisch mögliche Verfahren kann praktisch sogleich erfolgreich sein. Deshalb darf bei Physikern und Chemikern, Biologen und Metallurgen und nicht zuletzt auch bei den Hochfrequenz-Ingenieuren kein Zweifel darüber bestehen, daß es sich bei der industriellen Hochfrequenz wohl um ein modernes Produktionsmittel mit sehr oft faszinierenden Möglichkeiten handelt, ihre gemeinsamen Bemühungen aber bereits eingeführte und bewährte Verfahren ständig verbessern müssen und neue, erprobte Methoden finden können. Diesem Ziel dient die unermüdete Arbeit der Wissenschaftler, Ingenieure und Mechaniker in den Entwicklungs- und Fertigungsstellen des RFT-Funkwerkes Köpenick VEB.

Es gibt für die vielen Anwendungsformen keine Universallösungen. Um unsere Industrie vor Ruckschlägen zu sichern, sollte jedes Verfahren erst nach sorgfältigen Voruntersuchungen entwickelt und projektiert werden. Hierzu steht auch die von der Fachkommission für induktive und dielektrische Erwärmung eingerichtete Beratungsstelle beim Funkwerk Köpenick VEB gern zur Verfügung.

	Seite
11. Holzverarbeitung	28
12. Pulverförmiges Verarbeiten	30
13. Kunststoffproduktion	30
14. Hochdruckanlag.	30
15. Gummiindustrie	32
16. Textil- und Kunststoffindustrie	33
17. Druck- und papierverarbeitende Industrie	35
18. Chemische Industrie	35
19. Glasindustrie	36
20. Schmelzen	37
21. Weichmachen, Abtrennen, Schweißen	37
22. Metallindustrie	38
23. Eisen-, Stahl- und Gießereiwirtschaft	39
24.1. Warmbehandlung von Lebensmitteln	39
24.2. Dehydrieren von Gemüse	40
24.3. Trocknen und Rosten	41
25. Schädlingsbekämpfung	41
26. Hochfrequenz-Diathermie	43
27. Pharmazeutische Industrie	43
28. Laborhilfsgeräte	45
D. Wirtschaftlichkeitsfragen	45
E. Schlußbetrachtungen	47

A. Einführung

I. Vorwort:

Einen bedeutenden Beitrag zur industriellen Warmbehandlung, wenn nicht überhaupt den größten, lieferte in jüngster Zeit die sich rapide entwickelnde Hochfrequenztechnik. Die industrielle Anwendung elektro-magnetischer Schwingungen ist in der Tat aus mancherlei Gründen erstaunlich. Obgleich d'Arsonval schon im Jahre 1800 gewisse vorteilhafte Effekte hochfrequenter Ströme gegenüber Wechselströmen niedriger Frequenz oder gar Gleichströmen entdeckte, und H. Schering vor etwa 25 Jahren bahnbrechende Arbeit über „Verluste im Kondensatorfeld“ leistete, setzte sich die industrielle Hochfrequenz doch erst in den letzten Jahren als Folge der rasanten hochfrequenztechnischen Entwicklungen des letzten Krieges in ständig steigendem Maße durch. Die dielektrische Erwärmung dient zur Warmbehandlung von nicht- bzw. sehr schlechtleitenden Materialien. Sie ergänzt im Komplex „Hochfrequenzwärme“ nicht nur den praktisch schon etwas älteren Prozeß der induktiven Werkstoffwärmerung, sondern erschloß darüber hinaus völlig neue Möglichkeiten für die Warmbehandlungstechnik in der Produktion. Die Entwicklungsperspektiven weisen außerdem auf Erschließung neuer Anwendungsgebiete hin, deren Möglichkeiten zur Zeit mit Sicherheit überhaupt noch nicht übersehen werden können. Die industrielle Hochfrequenz hat sich ohne Zweifel zum modernsten Produktionsmittel zur Warmbehandlung entwickelt. Wegen ihrer vielseitigen Anwendungsformen, ihrer hervorragenden Vorzüge gegenüber bisher üblichen Methoden, sowie auch wegen der Möglichkeiten oft verblüffender Produktionsvereinfachungen kann und darf sie beim Bemühen unserer Industrie um bessere Produktionsergebnisse und im Ringen um Erfüllen der Volkswirtschaftspläne nicht mehr übersehen werden.

Angesichts der Tatsache, daß sich die Hochfrequenzwärme in allen Industrieländern der Erde anschickt, die alten Warmbehandlungsverfahren in vielen Fällen zu verdrängen, liegt die Frage nach den Gründen nahe, weshalb es zu einer so relativ schnellen Ausweitung dieser Warmbehandlungsart kam. Gewiß war es im Ausland zunächst einmal die Tatsache, daß ein reichliches Angebot elektrischer Energie sowohl in kVA als auch in kWh, sowie die Massenfertigung und das Fließband die ersten Ursachen zur Einführung der industriellen Hochfrequenz in die Produktion waren und sogar die relativ hohen Investitionskosten für dera-tige Anlagen in Kauf genommen wurden. Wenn diesen rein wirtschaftlichen Erwägungen aber noch unter den Aspekten unserer Volkswirtschaft die technologischen Vorzüge des dielektrischen Erwärmungsverfahrens hinzugefügt werden, dann kann die Frage, ob und in welchen Fällen ein dielektrisches Heizverfahren eingeführt werden soll oder nicht, sehr genau beantwortet werden. Der Umstand, daß die indu-

INHALTSVERZEICHNIS

A. Einführung	Seite
I. Vorwort	5
II. Merkmale des Verfahrens	6
B. Grundlagen	
I. Allgemein	8
II. Theorie der dielektrischen Erwärmung	8
1. Einleitung	8
2. Dielektrizitätskonstante	9
3. Dielektrische Verluste	10
4. Eigenarten der Werkstoff-Faktoren	10
C. Die Verfahren	
I. Datierung	12
1. Frequenzwahl	12
2. Der Arbeitskreis und die HF-Wärmewerkzeuge	12
3. HF-Generatoren	13
II. Anwendungsgebiete	14
1. Vorwort	14
2. Kunststoffindustrie	15
2.1 Pressen von thermohärtbaren Stoffen	15
2.2 Schweißen von thermoplastischen Stoffen	18
2.3 Gelatinieren von thermoplastischen Stoffen	21
2.4 Pressen von sonstigen Kunststoffen	21
3. Holzverarbeitende Industrie	21
3.1 Sperrholzproduktion	24
3.2 Geformte Sperrholzteile	26
3.3 Schicht- und Stabholzverleimungen	26

HOCHFREQUENZWARME IN DER INDUSTRIE

von ERICH TRIPMACHER
RFT Funkwerk Köpenick VEB

TEIL I
DIELEKTRISCHE ERWARMUNGSVERFAHREN

REF

HOCHFREQUENZWARME IN DER INDUSTRIE

Teil I

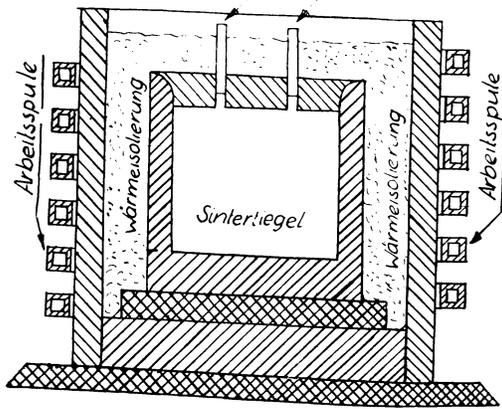
Dielektrische Erwärmungsverfahren



VEB FUNKWERK KOPENICK
BERLIN-KOPENICK · WENDENSCHLOSSTRASSE 154-158
Telegrammadresse: EREFTE Funkwerk Berlin
Fernsprecher: Sammel-Nr. Berlin 048091 Nachruf Berlin 047979

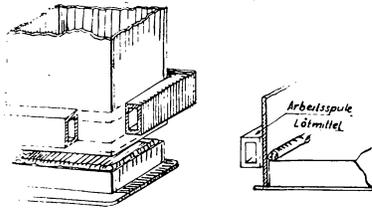
Bild 26

Zu- u Abführung des Schutzgases



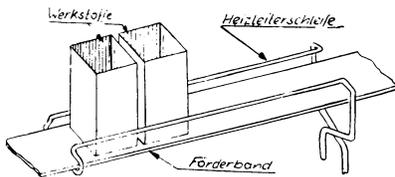
Schematische Darstellung eines Induktions-Sinterofens

Bild 23



Induktives Löten im Standverfahren

Bild 24



Kontinuierliches Löten von becherförmigen Werkstücken

Bild 25

Betriebsfrequenz Hz	Eindringtiefe δ mm	Mindest- Blechstärke mm	Mindest \emptyset mm
1	2	3	4
50	73,2	etwa 200	etwa 250
2 400	10,2	" 30	" 35
8 100	5,6	" 16	" 20
100 000	1,5	" 5	" 5,5
400 000	0,8	" 2,5	" 2,8
1 000 000	0,5	" 1,6	" 1,8
13 000 000	0,15	" 0,48	" 0,53
27 000 000	0,1	" 0,32	" 0,35

Geeignete Frequenzen zum Behandeln von Werkstücken
in Abhängigkeit von den Materialabmessungen

Bild 21

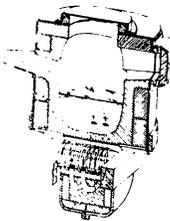
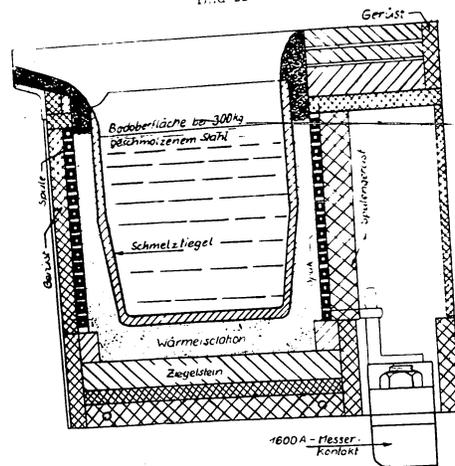


Bild 22



Schematische Darstellung eines Hochfrequenzofens

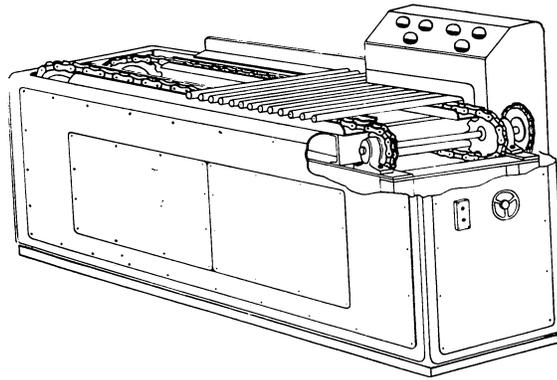
Bild 19

Werkstückart	Maschinengenerator 30 - 250 kW		Röhrengenerator 2 - 100 kW	
	2,5-10 Hz	8-100 Hz	400 kHz	13 od. 27 MHz
Härten von Kleinsteilen	—	—	—	1
Härten schmalen Blechs	—	—	1	1
Härten mittelgroßer Teile				
bis 25 mm Durchmesser	—	2	1	—
25 - 50 mm Durchmesser	2	1	2	—
über 50 mm Durchmesser	1	2	3	—
Härten großer Teile				
bis 300 mm Durchmesser	1	2	3	—
über 300 mm Durchmesser	1	3	—	—
Durchdringung				
bis 10 mm	—	3	1	—
bis 20 mm	—	3	1	—
bis 30 mm	—	2	1	—
bis 50 mm	2	1	2	—
über 50 mm	1	2	—	—

— höchste Frequenz
 — noch brauchbare Frequenz
 — abnehmende Brauchbarkeit

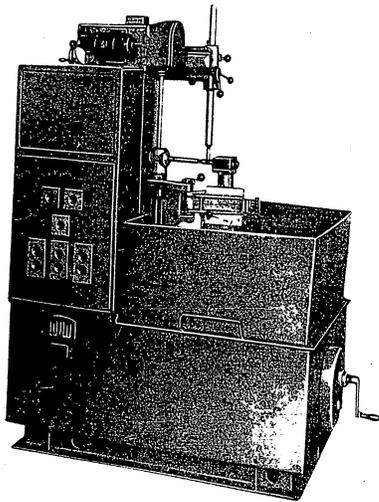
Die günstigsten Frequenzen zum induktiven Härten

Bild 20



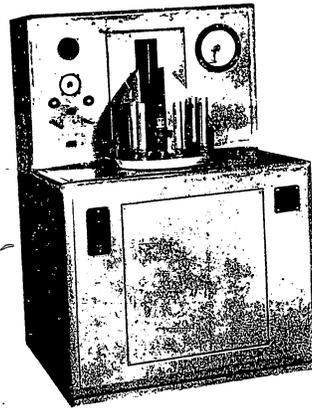
Pinna-wärmofen Type HA-2

Bild 17



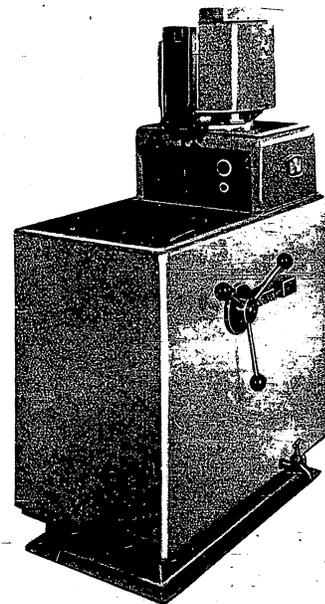
Zahnrad-Härtemaschine IHZ 450

Bild 18



Bolzen-Härtemaschine

Bild 16

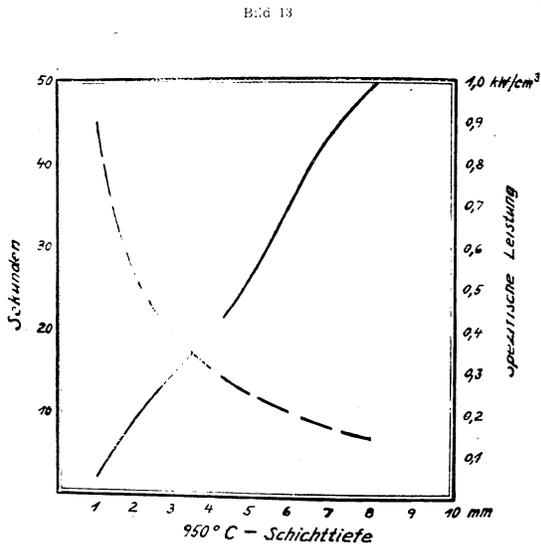


Kleinteil-Härteautomat

Bild 15

GuBart	Zusammensetzung in %										Erreichbare Härtegrade in Rockwell
	C		Si	Mn	Cr	Mo	Ni	P	S		
Maschinenguß DIN 1691 Gr 22.01 Gr 26.01	3,92	0,01	2,71	2,00	0,06	—	—	0,151	0,130	45	
	2,96	0,94	2,02	1,77	0,60	—	—	0,160	0,023	52-55	
Mechanik Sorte B Sorte C	2,20	0,86	2,01	1,66	0,69	—	—	0,237	0,104	50 55	
	1,97	0,75	2,82	1,75	0,58	—	—	0,276	0,096	45 50	
	3,61	0,76	2,97	1,77	0,99	0,20	0,53	0,50	0,170	0,068	45-50

Erreichbare Härtegrade verschiedener Gußwerkstoffe



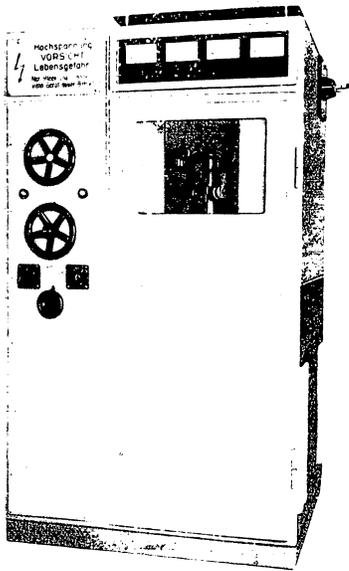
Temperaturverlauf einer 950° C-Schicht
als Funktion von Leistung und Zeit

Bild 14

Marken- bezeichnung	Chemische Zusammensetzung in %											Erreichbare Härtegrade in Rockwell
	C	Si	Mn	P höchstens	S	Cr	Mo	V	Ni			
C 35	0.32-0.40	0.25-0.50	0.4-0.7	0.05	0.05	—	—	—	—	—	—	50-56
C 45	0.42-0.50	0.25-0.50	0.5-0.8	0.05	0.05	—	—	—	—	—	—	55-61
C 53	0.50-0.57	0.25-0.50	0.4-0.7	0.05	0.05	—	—	—	—	—	—	58-63
C 63	0.57-0.65	0.25-0.50	0.5-0.8	0.05	0.05	—	—	—	—	—	—	60-65
CK 35	0.32-0.40	0.25-0.50	0.4-0.7	0.04	0.04	—	—	—	—	—	—	50-56
CK 45	0.42-0.50	0.25-0.50	0.5-0.8	0.04	0.04	—	—	—	—	—	—	55-61
CK 53	0.50-0.57	0.25-0.50	0.4-0.7	0.04	0.04	—	—	—	—	—	—	58-63
CK 56	0.53-0.60	0.20-0.40	0.4-0.7	0.04	0.04	—	—	—	—	—	—	60-65
CK 60	0.57-0.65	0.25-0.50	0.5-0.8	0.04	0.04	—	—	—	—	—	—	60-65
40 Mn 4	0.36-0.44	0.25-0.50	0.8-1.1	0.04	0.04	—	—	—	—	—	—	52-58
37 Mn Si 5	0.33-0.41	1.1-1.4	1.1-1.4	0.04	0.04	—	—	—	—	—	—	52-58
46 Mn Si 4	0.42-0.50	0.8-1.0	0.8-1.0	0.04	0.04	—	—	—	—	—	—	55-61
53 Mn Si 4	0.50-0.57	0.8-1.0	0.8-1.0	0.04	0.04	—	—	—	—	—	—	58-63
42 Mn V 7	0.38-0.45	0.15-0.35	1.6-1.9	0.04	0.04	—	—	0.07-0.12	—	—	—	55-61
53 Cr V 4	0.30-0.37	0.15-0.35	0.8-1.1	0.04	0.04	0.9-1.2	—	0.07-0.12	—	—	—	58-63
38 Cr V 4	0.55-0.68	0.15-0.35	0.8-1.1	0.04	0.04	0.9-1.2	—	0.07-0.12	—	—	—	60-65
34 Cr Mo 4	0.30-0.37	0.15-0.35	0.5-0.8	0.035	0.035	0.9-1.2	0.15-0.25	—	—	—	—	52-58
42 Cr Mo 4	0.38-0.45	0.15-0.35	0.5-0.8	0.035	0.035	0.9-1.2	0.15-0.25	—	—	—	—	58-63
50 Cr Mo 1	0.40-0.45	0.15-0.35	0.7-1.0	0.035	0.035	0.9-1.2	0.15-0.25	—	—	—	—	58-63
36 CrNiMoV	0.32-0.40	0.25	0.4-0.8	0.04	0.04	1.0	0.2	—	—	—	—	53-59
55 CrNiMoV	0.51-0.58	0.25	0.4-0.8	0.04	0.04	0.7	0.15	—	—	—	—	59-63
C 70 W 2	0.68-0.75	0.15-0.30	0.2-0.35	0.03	0.03	—	—	—	—	—	—	60-65

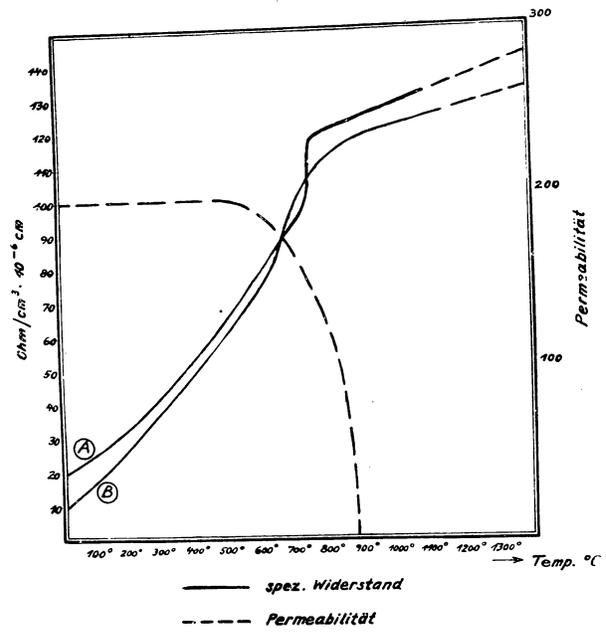
Erreichbare Härtegrade verschiedener Stähle

Bild 11



20 kW HF-Röhrengenerator für induktive Warmprozesse

Bild 12



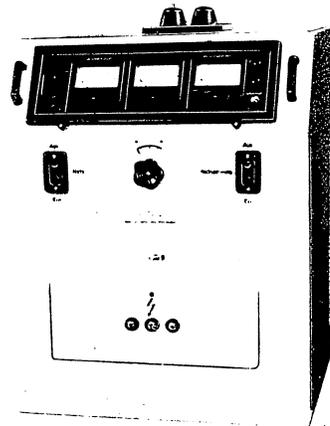
Spezifischer Widerstand und Permeabilitätswerte von Eisen und Stahl in Abhängigkeit von der Temperatur

Bild 9



Maschinengenerator 30 60 kW 8100 Hz

Bild 10



2 kW HF-Röhrengenerator für induktive Warmprozesse

Verfahren der Werkstücke mit zugehörigen Arbeitsspulen

F2 0439/3

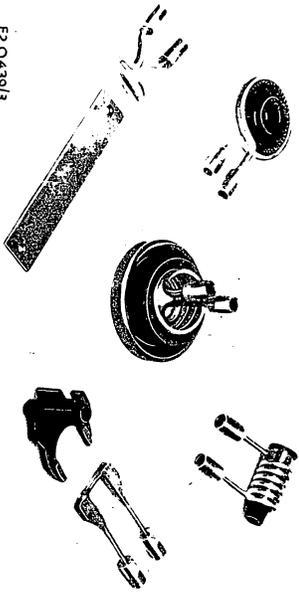
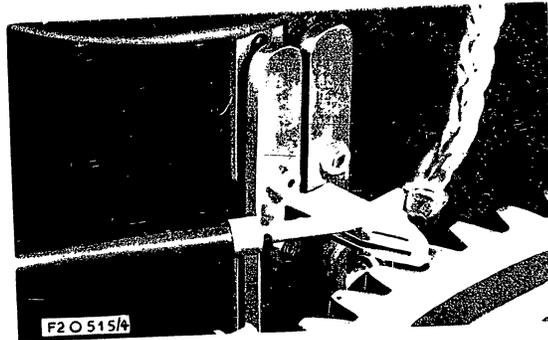
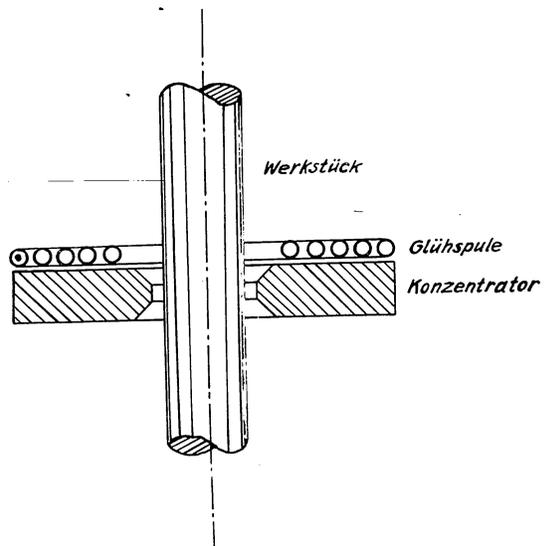


Bild 8



RFT-Härtekoppl für Zahnflankenhärtungen

Bild 6



Schematische Darstellung eines Scheibenkonzentrators

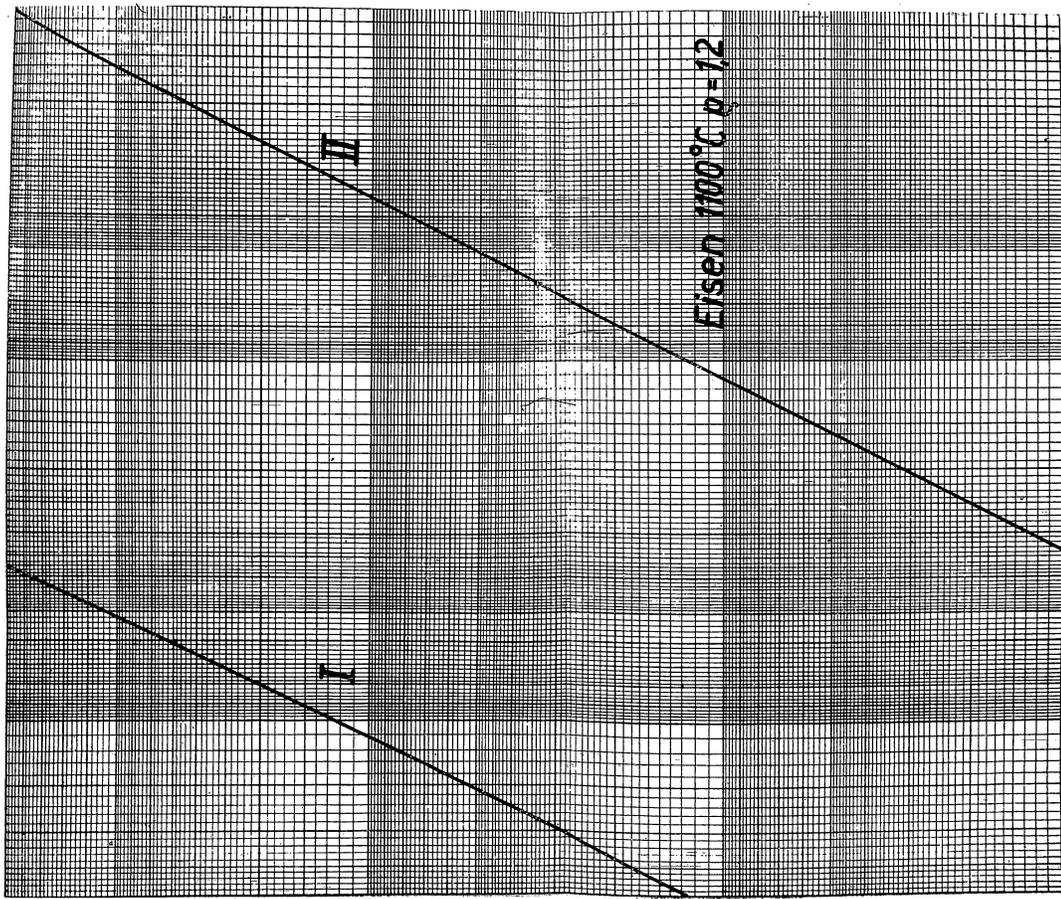
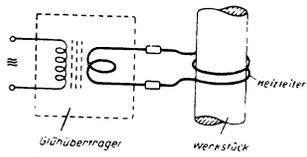


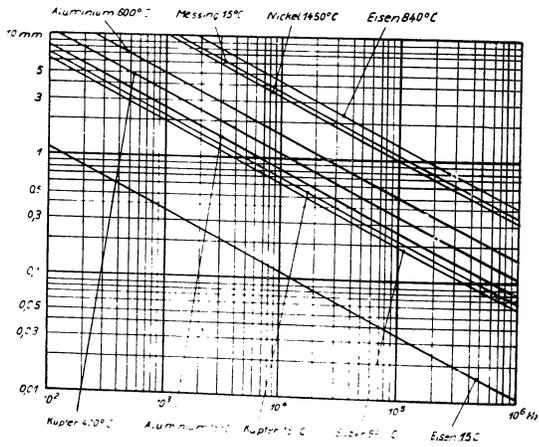
Bild 4
Die Minimalfrequenz in Abhängigkeit vom Werkstückdurchmesser

Bild 5



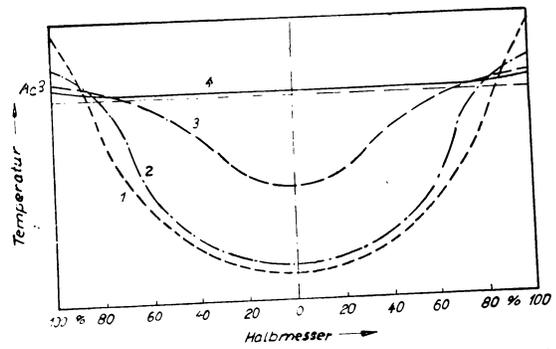
Schematische Darstellung eines Arbeitskreises zur induktiven Erwärmung mit Glühübertrager oder Konzentrador

Bild 2



Abhängigkeit der Eindringtiefe in verschiedenen Materialien von der Frequenz

Bild 3



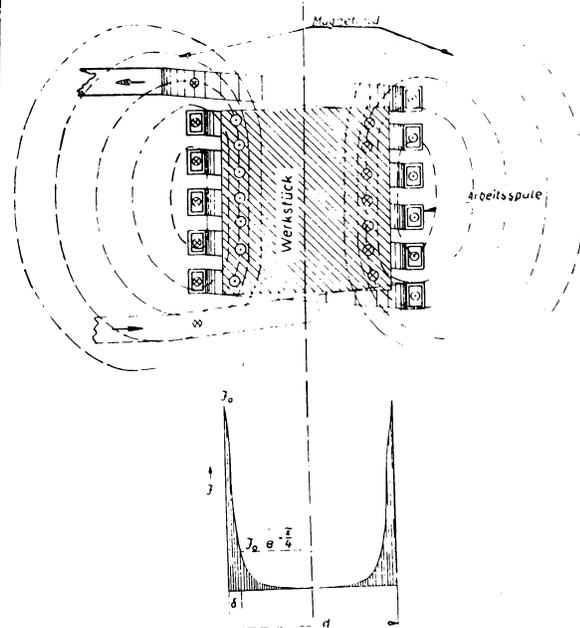
Die Temperaturverteilung in einem Werkstück als Funktion der Zeit

Bildverzeichnis:

- Bild 1: Arbeitspule mit Magnetfeld und Stromverteilung im Werkstück.
- Bild 2: Abhängigkeit der Eindringtiefe in verschiedenen Materialien von der Frequenz.
- Bild 3: Die Temperaturverteilung in einem Werkstück als Funktion der Zeit.
- Bild 4: Die Minimalfrequenz in Abhängigkeit vom Werkstückdurchmesser.
- Bild 5: Schematische Darstellung eines Arbeitskreises zur induktiven Erwärmung mit Glühübertrager oder Konzentrator.
- Bild 6: Schematische Darstellung eines Scheibenkonzentrators.
- Bild 7: Verschiedene Werkstücke mit zugehörigen Arbeitsspulen.
- Bild 8: RPT-Härtkopf für Zahnflankenhärtungen.
- Bild 9: Maschinen-generator 30 60 kW 8100 Hz.
- Bild 10: I-W-HF-Röhrengenerator für induktive Warmprozesse.
- Bild 11: D-W-HF-Röhrengenerator für induktive Warmprozesse.
- Bild 12: Spezifischer Widerstand und Permeabilitätswerte von Eisen und Stahl in Abhängigkeit von der Temperatur.
- Bild 13: Temperaturverlauf einer 950°C-Schicht als Funktion von Leistung und Zeit.
- Bild 14: Erreichbare Härtegrade verschiedener Stähle.
- Bild 15: Erreichbare Härtegrade verschiedener Gußwerkstoffe.
- Bild 16: Kristall-Härtautomat.
- Bild 17: Zahnrad-Härtmaschine IHZ 450.
- Bild 18: Brüten-Härtmaschine.
- Bild 19: Die flüssigsten Frequenzen zum induktiven Oberflächenhärten.
- Bild 20: Pulsenwärmofen Type HA-2.
- Bild 21: Schematische Darstellung eines Niederfrequenzofens.
- Bild 22: Schematische Darstellung eines Hochfrequenzofens.
- Bild 23: Induktives Löten im Standverfahren.
- Bild 24: Nichtmetallisches Löten von becherförmigen Werkstücken.
- Bild 25: Geeignete Frequenzen zum Behandeln in Blechen in Abhängigkeit von der Blechstärke.
- Bild 26: Schematische Darstellung eines Induktions-Sinterofens.

40

Bild 1



Arbeitspule mit Magnetfeld und Stromverteilung im Werkstück

schreibungsbeträge werden in der Regel in gleicher Höhe wie die Betriebskosten angenommen. Es ist aber keine Seltenheit, daß induktive Erwärmungsanlagen bereits in einem Jahr abgeschrieben werden können. Die Hochfrequenzerwärmung ist natürlich an gewisse Voraussetzungen gebunden. Damit sie möglichst rationell gemacht werden kann, müssen ihre Eigenarten im Rahmen der Planung von Anfang an gebührend berücksichtigt werden. Der Konstrukteur muß z. B. bei Anwendung der induktiven Härtung schon auf diese Eigenarten Rücksicht nehmen und sollte es verstehen, den speziellen Vorzügen des Verfahrens durch seine Arbeiten zur vorteilhaften Ausnutzung zu verhelfen. Es kann auch lohnend werden, den Fertigungsablauf umzustellen und den besonderen Möglichkeiten einer induktiven Warmbehandlung anzupassen, womit nicht behauptet werden soll, daß HF-Generatoranlagen den Fertigungsfluß bestimmen; denn sie arbeiten ganz im Gegenteil bei gewissenhafter Datierung stets mit gewissen Reserven.

Auf Wunsch steht allen interessierten Werken eine von der „Fachkommission für induktive und dielektrische Erwärmung“ eingerichtete Beratungsstelle jederzeit gern beratend zur Verfügung. Diese Stelle befindet sich beim Funkwerk Köpenick VEB, Berlin-Köpenick, Wendenschloßstraße 154/158.

E. Schlußbemerkungen

Als das Funkwerk Köpenick VEB vor zwei Jahren den Auftrag erhielt, im Rahmen des Fünfjahresplanes die Voraussetzungen für die alsbaldige Versorgung aller Industriezweige mit modernen Warmbehandlungsanlagen der Hochfrequenztechnik zu schaffen, nahmen die Fachkollegen des Werkes diese überaus dankbare und zukunftsreiche Aufgabe voller Hingabe auf. Es kam zunächst darauf an, bewährte Verfahren zu reproduzieren, wobei international anerkannte Mängel durch Neuentwicklungen zu beseitigen waren. Deshalb wurde auch das Schwergewicht der Arbeit auf die Lösung der vielen Arbeitskreisprobleme gelegt.

Der Stand unserer gegenwärtigen Entwicklung auf dem Gebiet der industriellen Hochfrequenztechnik ist dadurch gekennzeichnet, daß er sich in einem allmählichen Übergang von zweckgebundener Arbeit zur freieren Perspektivarbeit befindet. Das kann aber nur dann erfolgreich werden, wenn der angebahnte Erfahrungsaustausch ständig intensiver wird. Darum hoffen wir auf die fruchtbare Mitarbeit der Kollegen in allen Industriezweigen des In- und Auslandes. Ihre Betriebserfahrungen sind ein unentbehrlicher Faktor für die künftige Ausschöpfung der vorläufig noch relativ ungenutzten Möglichkeiten industrieller Hochfrequenzanlagen. Derartige Anlagen sind aber ohne Zweifel Garantien für be-

deutende Verbesserung der Rationalisierung in der Produktion. Die sich anbietenden vielen Möglichkeiten glauben wir mit diesem Informationsheft deutlich genug skizziert zu haben.

In diesem Zusammenhang weisen wir die Interessenten auch auf den als Sonderheft verfügbaren Teil I hin, der das ebenso bedeutsame Gebiet der „dielektrischen Erwärmung“ zur Behandlung elektrisch nichtleitender Werkstoffe enthält.

Das RFT-Funkwerk Köpenick VEB schließt diese Ausführungen mit dem Wunsch und der Hoffnung, daß seine Bemühungen um die Entwicklung der industriellen Hochfrequenz einer aufblühenden Friedensproduktion dient, deren Früchte dem Wohlstand aller Menschen zugute kommen sollen!

Ausschüßquoten z. B. im Transformatoren- und Elektromotorenbau sind zu beseitigen.

Soweit es sich um mäßige Temperaturen handelt, sind Metallbehälter oder auch Platten mit Hochfrequenzwärme in vielen Fällen besser und wirtschaftlicher zu beheizen, als durch elektrische Widerstands- oder Gaswärme. In der Kunststoffindustrie ergeben sich für die Anwärmmung von Verformungswerkzeugen u. a. gewisse Verfahrensmöglichkeiten. In chemischen Werken und der Kunstfaserindustrie verwendet man induktiv beheizte Anlagen für chemische Prozesse in Apparaten, Druckgefäßen, Retorten, Behältern, Rohrleitungen und Ventilen besonders dort, wo Flammen und Gase unerwünscht sind oder wenn mit hohem Behälterdruck gearbeitet wird. Die relativ niedrigen Temperaturen, die hohe Permeabilität des Behältermaterials und die oft großen Dimensionen gestatten vielfach eine direkte Anwendung der 50-Hz-Netzfrequenz, allerdings oft auch unter Zwischenschalten von Hochstromtransformatoren. Auch dieses Anwendungsgebiet ist sicher noch sehr entwicklungsfähig. Die Vielfalt der sonstigen induktiven Aufheizverfahren kann im Rahmen dieser Ausführungen nicht annähernd vollständig wiedergegeben werden. Ob es sich um Zinnverflüssigung bei der Weißblechherstellung, um Schaffen von Metallüberzügen auf Keramik, wie z. B. Isolatoren und Lampensockeln, um Trocknen von Farben auf Metallen, um Sterilisation ärztlicher Instrumente oder um das Einschmelzen von Metaldurchführungen in Glasgefäße handelt, es sind in jedem Falle Prozesse, die wegweisend die vielen Möglichkeiten eines Einsatzes der industriellen Hochfrequenzenergie in allen Produktionszweigen andeuten.

D. Wirtschaftlichkeitsverfahren

Die Wirtschaftlichkeitsrechnung für einen induktiven Erwärmungsprozeß ist mit den spezifischen Verhältnissen der Verfahren eng verbunden. Da selten ein Fall wie der andere gelagert ist, sind keine präzisen Angaben möglich, wohl aber Regeln als Anhaltspunkte zu nennen.

Es ist nicht immer richtig, daß der Einsatz von Hochfrequenzwärme allein deswegen wirtschaftlich zu vertreten wäre, weil ein Prozeß schneller als mit anderen Verfahren durchzuführen ist, denn die Hochfrequenzleistung ist eine Energieform, deren Umwandlung kostspielig ist. Handelt es sich also nicht um beträchtliche Zeitersparnisse im Fertigungsablauf, dann können die u. U. höheren Energiekosten keinesfalls aufgewogen werden. Sollten bei der Wahl zwischen induktiver Erwärmung und einem anderen Verfahren nur die Energiekosten die Hauptüberlegung darstellen, dann ist jede andere Methode billiger als die induktive. Handelt es sich aber darum, daß ein Erzeugnis mit hervorragenden Vorzügen schnell und beliebig oft reproduzierbar hergestellt werden muß, dann sind sowohl die

relativ hohen Investitionskosten wie auch Energiekosten bedenkenlos in Kauf zu nehmen. Die wirtschaftliche Rechtfertigung für die induktive Erwärmungsanlage ist immer dann gegeben, wenn Einsparungen an Arbeit, Material und Zeit zu erwarten sind, d. h. ein erhöhter Produktionsausstoß und die Verbesserung des Erzeugnisses. Das sind Faktoren, durch welche die Energiekosten vernachlässigbar klein und die Anlagenkosten zu einem sich schnell amortisierenden Betrag werden. Zusammengefaßt kann man sagen, daß die Hochfrequenzwärme dann rationell wird, wenn mindestens eine der folgenden Bedingungen erfüllt werden kann:

1. Niedrige Kosten je Werkstück.
2. Hohe Qualität des Produktes.
3. Verbesserte Arbeitsbedingungen.
4. Besondere Umstände, die andere Heizmethoden überhaupt nicht oder nur ungenügend anwendbar machen.

Um eine Wirtschaftlichkeitsrechnung aufstellen zu können, ist in enger Zusammenarbeit zwischen Anlagenbenutzer und herstellendem Werk eine Klarstellung folgender Punkte erforderlich:

1. Die geforderte stündliche Ausstoßmenge und die notwendigen Temperaturen für das zu behandelnde Gut.
2. Beabsichtigte Wärmebehandlung nebst Angaben über Gestalt, Abmessungen und Gewichte der Werkstücke, deren Anfall und Weiterverarbeitung.
3. Mindestanforderungen, die hinsichtlich Qualität (Aussehen, Maßhaltigkeit, Festigkeit, Härte, Homogenität, Gleichmäßigkeit usw.) an das thermisch fertige Stück gestellt werden.
4. Die bisherigen Fertigungskosten für die Warmbehandlung je Stück.

Die für ein Verfahren aufzubringende Generatorleistung ergibt sich aus dem Punkt 1 der vorstehenden Zusammenfassung. Die Punkte 2 und 3 bestimmen das einzurichtende Verfahren und die erforderlichen halb- oder vollautomatischen Zusatzeinrichtungen, welche zur zweckentsprechenden Werkstückführung und Energieeinsparung von oft ausschlaggebender Bedeutung für die Wirtschaftlichkeit sind. Sie können oft recht umfangreich und kompliziert werden, so daß ihre Anschaffungskosten nicht selten jene des Generators erreichen und übersteigen.

Bei sicherer Schätzung der laufenden Betriebskosten (Energie, Röhrenersatz, Kühlwasser) können diese etwa mit dem dreifachen Wert der kWh aufgebrachtener Nutzleistung angenommen werden. Die Ab-

gesamte Abstrahl- und Konvektionswärmeverluste bedeutend verringert werden, ist es verständlich, daß ein induktives Glühen mit hoher Wirtschaftlichkeit verbunden ist. Die Glühspulen werden bei derartigen Verfahren meistens direkt am Ausgang der Ziehpressen usw. angeordnet, so daß das gezogene oder geschlagene Material mit Ausstoßgeschwindigkeit durch diese hindurchläuft und auf die gewünschte Glüh-temperatur gebracht wird. Die Erfahrungen beim Weichglühen von Röhren haben ergeben, daß der Zunderverlust auf 90 Prozent reduziert werden kann, d. h. er ist mit etwa 0,25 Prozent anzusetzen gegenüber den bisher üblichen 2 Prozent beim Ofenglühen. Das Gefügeinduktiv ge- glühter Materialien ist viel feinkörniger, was durch die kurzen Aufheiz-zeiten und die einwirkenden elektromagnetischen Kräfte verursacht wird. Es liegen eine Reihe sehr guter Erfahrungen zum Weichglühen von Roh- ren von 10 bis 150 mm Durchmesser bei Wandstärken von 1 bis 10 mm vor. Die Hochfrequenzleistungen werden für normale Stahlsorten auf 0,25 kW/kg datiert, um Glüh-temperaturen von 1000° C zu erzielen. Bei praktisch unmagnetischen Werkstoffen mit starkem Chrom-Nickel-Gehalt wird im allgemeinen eine Leistung von 0,35 kWh/kg festgesetzt.

Die Hochfrequenzwärme dient auch zum Aufheben von Spannungen, die durch Schweißen oder Stanzen entstehen, sowie zum Abbau der beim Schweißen hochwertiger Werkstoffe möglichen Aufhärtung. Zunehmende Bedeutung gewinnt das induktive Weichglühen und Vergüten von Schweißnähten bei hochbeanspruchten Röhren im Dampfkesselbau u. ä., wobei es sehr auf die genaue Konzentration der Vergütungswärme auf die Schweißzone allein ankommt. Das kann mit induktiver Erhitzung ohne Schwierigkeiten und einwandfrei erreicht werden.

Siehe Bild 25
Geeignete Frequenzen zum Behandeln von Blechen in Abhängigkeit
von der Blechstärke

Die Skizzierung der Glühverfahren wäre unvollständig, wenn nicht auch die Möglichkeit des induktiven Erhitzens unter Vakuum erwähnt würde, wie z. B. beim Entgasen der Elektroden in den Gefäßen der Vakuum-technik. Es ist bekannt, daß die Art der Anlagen infolge der Abhängig-keit des Wirkungsgrades vom Verhältnis des Werkstückdurchmessers zur Eindringstufe der induzierten Ströme von der Größe der Werkstücke ab- hängt. Von bestimmten Werkstückdimensionen ab bleiben die Verfahren daher den Maschinengeneratoren vorbehalten, obgleich für eine ganze Anzahl gegenwärtig in der Industrie vorhandener hochfrequenter Glüh- anlagen wegen des besseren Gesamtwirkungsgrades bei kleineren Werk- stücken Röhrengeneratoren eingesetzt sind.

Mit den Fortschritten des Schnellzerpanens ergaben sich gewisse Schwierigkeiten, z. B. die ungenügende Standzeit der Zerspanungs-

34

werkzeuge und schädliche Schwingungen bestimmter Maschinenteile. Dieser Behinderung wußte man oft nur durch Zurückgehen auf kleinere Spanquerschnitte zu begegnen. Die Tatsache, daß die Zerspanbarkeit bestimmter legierter Stähle bei einer Temperatur von 800 bis 900° C der von weichem Eisen entspricht, führte zum Einsatz der induktiven Erhitzung in spanabhebenden Bearbeitungsprozessen. Man heizt die zu bearbeitende Fläche in einer Tiefe auf, die gleich der gewünschten Span- tiefe ist. Der unbearbeitete Werkstückkern bleibt thermisch völlig un- beeinflusst. Dieses jüngste Verfahren der Zerspanungstechnik weist ohne Zweifel auf sehr aussichtsreiche Möglichkeiten hin.

Sintern

Eng verbunden mit der zunehmenden Bedeutung von Sintermetallen in Form von Hartmetallen ist die Entwicklung von induktiven Erwärmungs- verfahren zum Sintern. Die in der Metallkeramik erforderlichen Tem- peraturen liegen im allgemeinen zwischen 1350 und 1450° C, und kön- nen u. U. so hoch werden, daß andere Heizkörper für diese Zwecke aus- scheiden müssen. Die induktiv beheizten Sinteranlagen werden in der Regel als Ofen mit Schutzgasatmosphäre gebaut, so daß während der Sinterung Wasserstoff über das Gut fließt, um eine einwandfreie Verbindung der Partikel zu erreichen. Da die Wärme im Sintergut selbst erzeugt wird und nicht von außen nach innen geleitet werden muß, können die sonst leicht eintretenden Oberflächenüberhitzungen des Sin- terlings durch induktive Aufheizung einwandfrei verhindert werden.

Siehe Bild 26
Schematische Darstellung eines Induktions-Sinterofens

Trocknen, Wärmen und sonstiges

Als neuestes und bestens bewährtes Anwendungsgebiet der induktiven Erwärmung ist das Trocknen und Einbrennen von Lack-, Anstrich- und Schutzüberzügen auf metallischen Werkstücken zu nennen. Die oft er- heblichen Schwierigkeiten mit den bisher üblichen Trockenverfahren können im wesentlichen beseitigt werden. Der Umstand bei den alten Prozessen, daß sich durch Luftfeinflüsse zunächst an der Lackoberfläche eine Haut bildet, die das weitere schnelle Eintrocknen behindert und auch zu Blasen- und Rißbildungen sowie schädlichen Einflüssen auf benachbarte Materialien führt, macht das Trocknen von unten her mit Hilfe der induktiven Erwärmung der metallischen Unterlage sehr zweck- mäßig. Durch derartige Verfahren können die alten Behandlungszeiten durch Ofentrocknung von mehreren Stunden auf wenige Minuten ab- gekürzt werden. Die durch lange Trockenzeiten bedingten oft hohen

35

Es wird einleuchten, daß die Qualität derartiger Lötungen gut ist. Die Lötstellen sind nahezu zunderfrei und brauchen kaum nachgearbeitet zu werden. Nur in Sonderfällen wird unter Schutzgas gearbeitet, wenn die Lötstellen absolut oxydfrei zu halten sind. Die Energiekosten liegen in jedem Fall weit unter den sonst üblichen Beträgen. Der Typenhebel einer Schreibmaschine z. B. kann in einer automatischen Vorrichtung, die von einem 2-kW-HF-Generator mit Energie versorgt wird, in 0,8 Sekunden weich gelötet werden. Die Energiekosten liegen bei einem Preis von 6 Pf/kWh bei etwa 6/1000 Pf je Stück.

Bei den normalen Methoden des Hartlötens wird zum Erhitzen auf Löttemperatur ein LötKolben oder eine Gasflamme benutzt. Die Temperatur liegt aber je nach Lötmittellegierung 2- bis 3fach höher als beim Weichlöten. Das Werkstück kann sich deshalb besonders beim Löten mit Gas leicht verziehen, während beim Arbeiten mit LötKolben die erforderlichen Lötzeiten beträchtlich werden. Auch in diesen Fällen muß eine erhebliche Handfertigkeit vorausgesetzt werden, um zufriedenstellende Hartlötungen zu garantieren. Zum Hartlöten von Konstruktionsteilen wurden deshalb in der Fließfertigung in den letzten Jahren Schutzgasöfen verwendet. Diese sehr umfangreichen Anlagen und alle Schwierigkeiten können durch Einführen von HF-Generatoranlagen relativ beschränkter Umfanges mit bedeutenden Vorteilen beseitigt werden. Die hiermit aufzuwendende Fertigungstechnik wird auf jene Verfahrensart vereinfacht, wie sie zum induktiven Weichlöten erforderlich ist. Das Hartlötmittel wird ebenfalls in eine geeignete Gestalt vorgeformt und auf die Lötfläche gebracht, in die es nach Aufheizen auf Schmelztemperatur fließt. Besonders geeignet als Lot sind Messing-Silber-Legierungen, die ein so hohes Maß an Bereitwilligkeit zum Herstellen homogener Lötverbindungen besitzen, daß ihre Festigkeit diejenige des Werkstückmaterials übertreffen kann. Die zu lötenen Werkstücke werden von Hand oder automatisch geführt. Besondere Maßnahmen gegen Verzunderung sind nicht notwendig. In gewissen Fällen ist zur Reinigung der Verbindungsstellen das Auflegen von etwas Borax zusammen mit dem Hartlot zu empfehlen. Besonderen Eingang hat das induktive Hartlöten in der Fahrrad- und Motorradindustrie gefunden. Ein vollständiger Fahrradrahmen, der bisher im Tauchlötenverfahren bearbeitet wurde, kann mit allen Lötstellen in knapp einer Minute und ohne Nacharbeit induktiv gelötet werden. Der Energieverbrauch beträgt dabei etwa 0,6 kWh, d. h. etwa 3,5 Pf je Energiekosten sind je Rahmen aufzubringen. Dieser Betrag liegt also weit unter dem Bedarf der bisher üblichen Verfahren. Allgemeine Erfahrungen haben ferner ergeben, daß für die Hartlötung von Vorderradgabeln etwa 0,2 kWh und für Lenker 0,15 kWh je Stück aufgebracht werden müssen. Zum Hartlöten eines Nähmaschinenfußes wird eine Zeit von nur 3 Sekunden gebraucht, wenn der HF-Generator eine Leistung von 2 kW Hochfrequenzenergie abgeben kann, so daß sich also ein Energiekostenpreis von 2/1000 Pf je Stück ergibt.

32

Die Entwicklung ist auf dem Gebiet des induktiven Lötens sehr in Fluß, so daß mit Sicherheit noch manche Neuerung zu erwarten ist.

Es bedarf keiner weiteren Erläuterung mehr, um zu verstehen, daß die selektiven Erwärmungsmöglichkeiten durch Hochfrequenzenergie sich auch zum Schweißen anbieten. Die HF-Generatoren werden tatsächlich mit guten Erfolgen zum Schweißen von Längs- und Rundnähten an Metallrohren verwendet. Diese äußerst bedeutungsvolle Arbeit kann schon in einer Minute ausgeführt werden, wobei Schweißgüten erreicht werden, die von weit größerer Festigkeit als die sonst üblichen sind.

In der Vakuumtechnik ist das induktive Schweißen von Teilen der Rundfunkröhren alt bewährt.

Glühen

Die Tatsache, daß die induktive Erwärmung auch bei einer einmal gewählten festen Generatorfrequenz mit Hilfe der richtigen Bemessung von Leistung und Aufheizzeit für die unterschiedlichsten Warmbehandlungen zu verwenden ist, bietet auch vorteilhafte Möglichkeiten zum Normalisieren, Anlassen, Weichglühen, Zwischenglühen, Patentieren u. a. m.

Das Vergüten von Profilstählen, Rohren und Stangen durch induktive Erwärmung im kontinuierlichen Arbeitsverfahren verschafft über die ganze Werkstücklänge eine vollkommen gleichmäßige Güte, während Verzug und Verzunderung praktisch unbedeutend sind.

Das Anlassen wird in ähnlicher Weise durchgeführt, aber mit dem hierbei für die induktive Erhitzung wesentlichen Merkmal, daß die Anlaßtemperaturen wegen der nur kurzen Behandlungszeit je Flächeneinheit des Werkstückes höher gewählt werden müssen, als bei den bisherigen Ofenverfahren. Dabei ergibt sich bei gleicher Festigkeit der behandelten Stücke eine erhöhte Kerbschlagzähigkeit.

Zum Weichglühen werden die Vorteile der Induktionsheizung besonders deutlich, wenn die thermische Behandlung örtlich begrenzt, d. h. selektiv erfolgen soll, damit die benachbarten Werkstückteile in ihrer Güte nicht beeinträchtigt werden. Eine hochfrequente Erwärmung wird zum Weichglühen von Rohren, Blechen und Drähten verwendet, die durch Aufstreifen oder Tiefziehen zu hart wurden. Den Nachteilen der üblichen Methode durch Erhitzen im Ofen unter 600° C für die Dauer von etwa einer Stunde und der damit meistens verbundenen Zunderbildung, stehen die Vorteile einer Behandlung mit Hochfrequenz gegenüber. Es können z. B. in einer Minute o. ä. Stangen mit einem Durchmesser von etwa 25 mm auf eine Temperatur von etwa 750° C gebracht und gegläht werden. Die Erwärmungszeit wird nun so kurz, daß sich praktisch kein Zunder bilden kann. Weil infolge der kurzen Erhitzung die

33

tierende Generatoren eingesetzt. Größere Schmelzen bis zu 20 Tonnen werden durch Niederfrequenzöfen beherrscht.

Ein charakteristisches und wichtiges Merkmal der Induktionsschmelzen ist die in ihnen durch elektrodynamische Spulenfeldkräfte erzeugte lebhafteste Badbewegung. Der diese Durchmischung verursachende Druck ist umgekehrt proportional der Wurzel aus der Betriebsfrequenz. Er nimmt also mit Höherwerden der Frequenz ab, besitzt allerdings auf Frequenzen zwischen 100 bis 400 kHz immer noch nennenswerte Größen. Selbstverständlich hängt die Stärke der Baddurchmischung auch von der in die Charge übertragenen Leistung ab, mit deren Zunahme sie also größer wird.

Die Hochfrequenzschmelze arbeitet sauber, schnell und mit vorher genau zu bestimmender Temperatur. Der Kohlenstoffgehalt ist leicht zu regeln.

Siehe Bild 21
Schematische Darstellung eines Niederfrequenz-Schmelzofens

Das Verfahren bewährt sich besonders für Umschmelz- und Legierungsprozesse hoher Qualität und Reinheit. Durch die Baddurchmischung wird eine vollkommene Auflösung der Legierungsbestandteile und gleichmäßige chemische Zusammensetzung der Charge gewährleistet. An keiner Stelle ist die Temperatur höher als gewünscht. Fremde chemische Einflüsse durch Flammgase oder sonstige Verunreinigungen können durch die Eigenart und Kürze des Verfahrens praktisch beseitigt werden. In besonderen Fällen wird unter Vakuum oder Schutzgasatmosphäre gearbeitet.

Siehe Bild 22
Schematische Darstellung eines Hochfrequenz-Schmelzofens

Eine hervorragende Eigenschaft der Hochfrequenzschmelzen ist der geringe Abbrand, was besonders beim Einschmelzen legierter Stähle wichtig ist, wenn sich die Legierungsbestandteile bereits im Einsatz befinden. Es ist eine völlig gleichmäßige Schmelzbehandlung der Legierungen von Beginn des Prozesses bis zur Beendigung möglich. Jede gewünschte Sollanalyse kann genau eingehalten werden. Bemerkenswert ist auch, daß beim Schmelzen von niedrig gekohlten Stählen jede Sicherheit vor ungewünschter Aufkohlung des Bades gegeben ist. Da große Energiemengen auf relativ kleine Chargenvolumen zu konzentrieren sind, können sehr kurze Schmelzzeiten erzielt werden. Zum Schmelzen kleiner Chargen legierter Werkzeugstähle werden bevorzugt höhere Frequenzen verwendet, wie auch für gewisse Schmelzverfahren mit Edelmetallen und zur Herstellung von Kleinfußwerkstücken mit schwieriger Formgebung.

30

In steigendem Umfang wird die induktive Erwärmung auch in den Produktionsgängen zum Zusammenschmelzen von Verbundmetallen oder zu ihrer Verbindung mit anderen Konstruktionsteilen durch Schleuderfußverfahren eingesetzt.

Schließlich sei noch auf die Möglichkeit hingewiesen, daß metallische Teile als Fremdkörper in nichtmetallischen Stoffen durch induktive Erhitzung ausgeschmolzen werden können.

5. Löten und Schweißen

Mit hervorragenden Vorteilen wird die Möglichkeit der beliebig zu steuernden Konzentration von Hochfrequenzenergie auch zum Weich- und Hartlöten sowie zum Schweißen in vielen Fertigungsgängen ausgenutzt. Es ist bekannt, daß das Weichlöten in der Serienproduktion manche Schwierigkeiten macht, besonders auch beim Herstellen luftdichter Lötstellen. Durch die Verwendung von Hochfrequenzwärme werden diese Lötprozesse in größtem Umfang vereinfacht. Das rasche Erhitzen in Sekunden oder Bruchteilen davon läßt nahezu keine Oxydation auftreten. Die Produktion wird bedeutend beschleunigt und qualitativ verbessert. Die Lötsparsnisse sind beträchtlich. Da die Verfahren in der Regel automatisiert werden, können die bisher stets erforderlichen Fachkräfte durch Hilfskräfte ersetzt werden.

Siehe Bild 23
Induktives Löten im Standverfahren

Ein Lötprozeß durch induktive Erhitzung wird meistens so durchgeführt, daß im ersten Arbeitstakt das Lötmittel in geeignet vorgeformten Ringen, Rechtecken oder anderen Gestalten auf die Lötfläche gelegt oder fallengelassen wird. Dann wird die Arbeitsspule, die das Werkstück an der Lötfläche umfaßt, oder ein sogenannter Lötkegel, dessen Konzentrationsflächen unmittelbar über der Lötfläche stehen, mit Hochfrequenzenergie beschickt. Das nun rasch auf Schmelztemperatur erhitzte Lötmittel fließt infolge der kapillaren Einwirkung bereitwillig in die ebenfalls heiße Werkstückfuge und garantiert eine einwandfreie Lötverbindung, wenn die Verbindungsflächen sauber sind. Das typische Merkmal des induktiven Lötens ist die Tatsache, daß das Werkstück selbst selektiv an der Lötfläche erhitzt wird, und damit das bisherige Risiko unzulänglich erhitzter Lötflächen beseitigt ist, wie es bei den Lötkegelmethoden meistens vorherrscht. Der bislang notwendige Grad manueller Geschicklichkeit des Lötenden ist also nicht mehr erforderlich.

Siehe Bild 24
Kontinuierliches Löten von becherförmigen Werkstücken

31

lich. Bei zweckmäßiger Entwicklung der Anwärmeinrichtungen und vielleicht sogar automatischer Materialzuführung kann der Ofenmann eingespart werden. In großen Gesenkschmieden ist eine zentrale Energieversorgung mit einer einzigen Generatoranlage durchaus möglich, von der die an den Pressen befindlichen Anwärmeinrichtungen zentral mit Energie versorgt werden.

Auch die Vorschuberwärmung findet in der Warmverformungstechnik Anwendung. Sollen z. B. die Enden von Stahlstangen laufend auf Schmiedetemperatur gebracht werden, dann läßt man eine lange Stahlstange kontinuierlich oder intermittierend durch eine Arbeitsspule laufen. Dahinter wird das erwähnte Stück in einer Vorrichtung, z. B. zur Fertigung von Kugellagerringen, gestäubt, abgeschlagen und zu einem Ring verarbeitet.

4. Schmelzen

Die älteste Anwendungsform der induktiven Erhitzung ist der Induktionsschmelzofen in der metallurgischen Industrie. Man unterscheidet grundsätzlich Niederfrequenz- und Hochfrequenzöfen.

Um die Jahrhundertwende wurden zunächst Niederfrequenzöfen entwickelt. Er fand große Verbreitung, weil die Induktionsheizung wärmetechnisch den Idealfall der elektrischen Heizung darstellt; denn die Wärmeenergie wird bekanntlich direkt in der Charge erzeugt. Die elektrische Energie wird daher nahezu restlos in Wärme verwandelt. Die ersten brauchbaren und z. T. heute noch in Betrieb befindlichen Schmelzöfen mit sogenannter offener Rinne waren von der Bauart RÖCHLING-RODENHAUSER, die zum Schmelzen von Stahl und Bronze sowie anderen Kupferlegierungen dienen.

Die Entwicklung der Ofentype AJAX-WYATT mit geschlossener Rinne und besonderer Herdbaumform steigerte die Anwendungsmöglichkeiten der Niederfrequenzöfen bedeutend. Diese Ofentype wurde auch in Deutschland eingeführt, wo sie durch RUSS verbessert worden ist und heute noch eine übliche Bauart darstellt. Sie kann für ein-, zwei- oder dreiphasige 50-Hz-Wechselstromanschlüsse hergestellt werden. Diese Ofentypen gehören zum Entwicklungs- und Fertigungsprogramm vom VEM Lokomotivbau-Elektrotechnische Werke VEB. Sie werden in diesen Informationen deswegen erwähnt, um die Anwendungsbereiche der induktiven Erwärmungsprozesse lückenlos wiederzugeben.

Nachdem mit den Niederfrequenzöfen bereits Betriebserfahrungen vorlagen, begann mit dem Bau von Hochfrequenzschmelzöfen die Entwicklung der industriellen Hohenfrequenztechnik. Infolge der jetzt höheren Betriebsfrequenzen konnte man die bei Niederfrequenzöfen oft als wünschenswert erscheinende Verstärkung des magnetischen Flusses und einer

besseren Kopplung mit der Charge auf andere Art lösen. Der Schmelzkern konnte nun in das Innere der Spule gebracht werden, d. h. in die größte magnetische Felddichte. Man war in der Lage, eine Tiegelform zu schaffen, die sowohl in metallurgischer wie auch in thermischer Hinsicht gleich günstige Formen hat. Die ersten von NORTHROP gebauten Schmelzöfen wurden mit Funkenstreckenformern auf Betriebsfrequenzen von 50 bis 60 000 Hz betrieben. Ab 1922 löste man diese Generatoren durch die Übernahme RIBAUD'schen rotierenden Maschinenformern ab, so daß nun auch größere Ofeneinheiten betrieben werden konnten. Sie wurden zum Schmelzen von Nickel, Nickellegierungen, Bronzen u. ä. sowie auch verschiedenen Stahllarten verwendet. Später wurden dann für kleinere Schmelzchargen oder für besondere metallurgische Zwecke höhere Betriebsfrequenzen verlangt, so daß heute auch Röhrengeneratoren für Hochfrequenzschmelzen eingesetzt werden.

Bemerkenswert sind die Tiegelfragen für Hochfrequenzöfen. Die früher verwendeten Tiegel hatten sich nicht bewährt. Man stampft sie daher außerhalb des Ofens und setzt sie ungebrannt ein. In anderen Fällen wird der Tiegel nach einem von ROHN entwickelten Verfahren im Ofen hergestellt. Dazu wird je nach Art des einzuschmelzenden Materials eine Eisen- oder Metallschablone zentrisch in die Ofenspule gesetzt, so daß mit der inneren Spulenverkleidung ein Hohlraum gebildet wird. In diesen Hohlraum wird feuerfestes Material gewisser Formgröße geschüttet, dem ein Frittmittel beigegeben wird. Durch Beschießen der Ofenspule mit Hochfrequenzenergie erfolgt eine Erhitzung der Schablone, so daß die Innenwand der Schüttung zusammengesintert werden kann und eine feste Tiegelwand entsteht. Die äußeren Schichten der Schüttung bleiben in körnigem Zustand und wirken als Wärmeisolation. Sollten sich während der Schmelzprozesse Auswaschungen an der gesinterten Tiegelwand ergeben, dann schadet das nicht, weil das freigelegte Material nachgesintert wird. Man hat damit eine große Sicherheit gegen Tiegelbruch durchbrüche geschaffen.

Die von einer Hochfrequenzschmelze aufgenommene Leistung steigt bei gleichbleibenden geometrischen Ofenverhältnissen und physikalischen Eigenschaften der Charge mit der Wurzel aus der Betriebsfrequenz und dem Quadrat der Amperewindungszahl der Ofenspule. Die induzierten Ströme werden in der oberen Schicht der Charge konzentriert, wodurch die höhere Wirksamkeit einer Hochfrequenzschmelze entsteht. Nach der Achse der Charge hin nimmt die Dichte des induzierten Stromes bekanntlich exponentiell ab, wenn der Chargendurchmesser groß genug ist. Er soll daher erfahrungsgemäß mindestens 10fach größer sein als die Eindringtiefe. Aus dieser Voraussetzung ergibt sich andererseits aber auch die Notwendigkeit zur Auswahl einer richtigen Betriebsfrequenz in Abhängigkeit von der Größe der Chargendurchmesser, u. U. der einzelnen Chargenteile. In der Regel werden zum Schmelzen von Chargen bis zu 30 kg Röhrengeneratoren und für Chargen bis zu 2 Tonnen ro-

beseitigt praktisch den Ausschuß und beschränkt die Nacharbeit auf ein Minimum, wenn sie nicht überhaupt völlig überflüssig wird. Die Wirtschaftlichkeit der induktiven Härteverfahren wird besonders dann hervorragend, wenn der Prozeß auf Spezialvorrichtungen oder Maschinen durchgeführt werden kann.

Siehe Bild 16
Kleinteil-Härteautomat

Beim Verfahren mit **Ständerwärmung** wird jedes Werkstück nach Erreichen der erforderlichen Härtetemperatur sofort innerhalb der Arbeitsspule abgeschreckt, ausgeworfen und durch das nächste ersetzt, oder es wird in ein Abschreckbad geworfen, während das nächste in die Spule fällt. Durch Automatisierung derartiger Verfahren kann das Zeitintervall Erreichen der Härtetemperatur und dem Abschrecken beliebig kurz gemacht werden, da u. U. die Aufheizung sogar innerhalb der Abschreckflüssigkeit, z. B. Öl oder Wasser, durchführbar ist. In solchen Fällen bildet sich nach Anlegen der Hochfrequenzleitung um das heiße Werkstück eine Dampfschicht, durch welche die Werkstückoberfläche von der Abschreckflüssigkeit isoliert wird. Nach Wegschalten der Leistung bricht natürlich die Dampfschicht zusammen, so daß die Abschreckung selbsttätig einsetzen kann. Wird für einen derartigen Abschreckprozeß Wasser verwendet, und soll dem gehärteten Stück eine glänzende und völlig saubere Oberfläche erhalten bleiben, dann ist eine Beimengung von etwa 3 Prozent Schwefelsäure zum Abschreckwasser zu empfehlen, das dadurch aber elektrisch leitend wird. Die von ihm umgebene Spule muß daher einen säure- und hitzebeständigen Schutzüberzug besitzen, um sie gegen die Abschreckflüssigkeit zu isolieren.

Siehe Bild 17
Zahnrad-Härtemaschine

Beim Verfahren mit **Vorschubheizung** wird eine Relativbewegung zwischen Arbeitsspule und Werkstück eingerichtet. Dieser Prozeß ermöglicht die Reduzierung der im RF-Generator installierten Leistung und wird daher meistens bei größeren Härteflächen angewandt. Die Temperaturhöhe wird durch Regeln der Vorschubgeschwindigkeit gesteuert. Die Wasserbrause unmittelbar hinter der Arbeitsspule oder Heizleiterschleife sorgt für intensives, gleichmäßiges und zeitgerechtes Abschrecken, falls hierzu nicht der kaltbleibende Werkstückkern zur Selbstabschreckung ausreicht. Bei rotationssymmetrischen Teilen wird meistens ein Umlaufen des Stückes vorgesehen, um den Verzug noch besser zu steuern.

Siehe Bild 18
Bolzen-Härtemaschine

26

Für die Durchführung vollautomatischer Oberflächenhärteverfahren stehen Vorrichtungen und Maschinen zum Härten von Zahnrädern mit Modul 2,5 bis 15 (40 bis 900 mm Durchmesser), Kurbelwellen, Nockenwellen, Spindeln, Bolzen, Rollen und Ringen für Wälzlager, bogenverzahnten Rädern und sonstigen rotationssymmetrischen Werkstücken (Außen- und Innenflächenbehandlung) zur Verfügung. Weitere Modelle sind in Vorbereitung.

Siehe Bild 19
Die günstigsten Frequenzen zum induktiven Oberflächenhärten

3. Warmverfahren

Während zum induktiven Oberflächenhärten in den meisten Fällen Frequenzen über 100 kHz, d. h. also Röhrengeneratoren eingesetzt werden, finden die Maschinengeneratoren in der Preß- und Schmiedetechnik wohl ihr Hauptanwendungsgebiet, wobei sie sich wegen ihrer imponierenden Vorteile gegenüber den üblichen Warmbehandlungsmethoden in immer stärkerem Maße einbürgern. Die vielen Mängel des direkten Stromdurchflusses, der Gas-, Koks- oder Kohlenöfen werden beseitigt. Überhitzungen durch schlechte Temperaturkontrollen fallen fort. Ungünstige Gefügeveränderungen durch Überzeiten entstehen nicht mehr. Wartezeiten und lange Transportwege gehören der Vergangenheit an. Die induktive Erwärmung ermöglicht überhaupt eine völlig neue Einteilung des Produktionsganges. Die Arbeitsspule kann z. B. direkt an die Schmiedepresse angebaut und die Aufheizzeit dem Arbeitstakt der Fließfertigung angepaßt werden. Der Vorteil der induktiven Erwärmungs-

Siehe Bild 20
Pinnenwärmofen Type HA-2

verfahrens liegt in der großen Sauberkeit ohne Ruß und große Wärmeverluste, den relativ kurzen Aufheizzeiten ohne wesentliche Verzerrung, dem geringen Energieverbrauch sowie der selektiven Erhitzungsmöglichkeit.

Durch die Vorzüge beim Einsatz industrieller Hochfrequenzanlagen in den Preß- und Schmiedebetrieben kann deren Ausstoß durch Fortfall der Wärmepausen und Wartezeiten auf 40 bis 70 Prozent und mehr erhöht werden. Durch die praktische Zunderfreiheit wird eine gute Maßhaltigkeit der verformten Stücke möglich. Die Lebensdauer der sehr teuren Gesenke u. ä. wird um mindestens 300 Prozent erhöht. Die oft stundenlangen Anheizzeiten alter Anlagen fallen fort, weil die Generatoren in wenigen Minuten arbeitsbereit sind. Eine beliebige Betriebsunterbrechung ist daher ohne Schwierigkeiten und Verlustkosten mög-

27

können. Infolge dieser schnellen Oberflächenerhitzung kann praktisch jede Zunderbildung unterbunden werden. Der Verzug größerer Werkstücke kann innerhalb der Schleifgenauigkeit gehalten werden. Da die Verfahren durch richtige Dosierung von Frequenz, Leistung und Zeit so eingerichtet werden, daß die in der Oberflächenschicht konzentrierte Wärmeenergie keine Zeit hat, in den darunterliegenden Kern abzuwandern, bleibt dieser kalt und zähe. Nach Abschalten der Hochfrequenzenergie ist es manchmal möglich, die konzentrierte Wärme so rasch in die kalt gebliebene Werkstückmasse abfließen zu lassen, daß das wie ein Abschreckungsvorgang wirkt. Voraussetzung hierzu ist, daß eine Energiekonzentration von mehr als 1 kW/cm² verwendet wird. In diesem Fall ist der Temperaturabfall während der Aufheizung so groß, daß nach einer Sekunde Energieeinsatz die Oberfläche auf 1050° C gebracht wird, während die Temperatur in 1 mm Tiefe unter der Oberfläche 850° C und in 2 mm Tiefe 600° C beträgt. Wird die Leistung jetzt abgeschaltet, dann läuft die Hitze so schnell in die Masse des Werkstückes weg, daß die Oberfläche u. U. ausreichend abgeschreckt und daher gehärtet wird.

In vielen Fällen verläuft dieses Selbstabschrecken jedoch zu langsam, so daß ein übliches Abschrecken durch Flüssigkeit eingerichtet werden muß, ehe sich merkliche Verluste durch Wärmeableitung in den kalten Kern einstellen. Gelingt es, den Abschreckungsprozeß zeitlich richtig und mit der nötigen Intensität einzurichten, dann werden beliebig oft reproduzierbare Härtegrade garantiert, die mit keinem anderen Verfahren zu erreichen sind.

Die zur induktiven Oberflächenhärtung geeigneten Stähle müssen einen Mindestkohlenstoffgehalt von 0,35, besser 0,4 Prozent besitzen. Dieser Umstand ist oft von entscheidendem Einfluß dadurch, daß bisher unbedingt benötigte legierte Stähle durch zähe Stähle mit ausreichendem Kohlenstoffgehalt ersetzt werden können.

Siehe Bild 14
Erreichbare Härtegrade verschiedener Stähle

Während mit Einführung der Einsatz- und Nitrierhärtung geeignete Stähle entwickelt wurden, bediente man sich bei der induktiven Oberflächenhärtung zunächst vorhandener und geeigneter Vergütungsstähle. Erst vor etwa 10 Jahren begann man mit einer normenmäßigen Zusammenfassung und versuchte, zweckmäßige Stähle für Oberflächenhärteverfahren weiterzuentwickeln. Die Übersicht (Bild 14) faßt alle brauchbaren unlegierten und legierten Stähle zusammen. Die Gruppe der nichtlegierten Edelstähle CK 35 bis 60 verbürgt größere Gleichmäßigkeiten, bessere Oberflächen und größte Freiheit von nichtmetallischen Einschlüssen gegenüber der Gruppe der Nichtedelstähle C 35 bis C 60. Die CrV-Stähle sind infolge ihrer Legierung sehr empfindlich und ver-

langen daher bei sorgfältiger Einrichtung des Verfahrens eine vorsichtige Behandlung. Falls besonders hohe Oberflächenhärte verlangt wird, sind folgende Vergütungsstähle zu empfehlen: Der Nichtedelstahl C 60, der unlegierte Edelstahl CK 60 und die legierten Edelstähle 53 MnSi 4 und 58 CrV 4. Die Stähle CK 56, 34 CrMo 4, 42 CrMo 4, 50 CrMo 4 und C 70 W 2 sind im Zuge der Weiterentwicklung besonders für Oberflächenhärteverfahren geschaffen worden.

Mit steigendem Kohlenstoffgehalt werden also höhere Härtewerte erreicht. Durch Schmelzeigentümlichkeiten der Karbide, durch die Struktur des Gefüges und nicht zuletzt durch die Abschreckintensität werden gewisse Streuungen der möglichen Härtewerte bedingt. Außer Kohlenstoff sollten die Stähle auch einen gewissen Prozentsatz Mangan enthalten, um die Rißempfindlichkeit herabzusetzen. Zusätze von Chrom bis zu 2 Prozent schaden nicht. Höherer Chromgehalt gefährdet eine einwandfreie Härtung und kann starken Verzug des Werkstückes zur Folge haben, weil wegen den zu kurzen Aufheizzeiten nicht alle Karbide gelöst werden können. Ähnliches gilt u. U. auch für andere Legierungsbestandteile, trifft bei den normalen Stählen aber selten zu. Als Anhalt für die Auswahl jeweils geeigneter Stähle kann folgende Übersicht dienen:

Stahlsorte:	Anwendungszwecke:
C 35	Weniger beanspruchte Werkstücke für den allgemeinen Maschinen- und Fahrzeugbau.
C 45	Kleinere Kurbelwellen, Kolbenbolzen, Nockenwellen, Getriebewellen u. ä.
C 53 u. 60	Größere Zahnräder, Kettenbolzen, Kolbenbolzen, Bohrspindeln, Drehbankspindeln, Schnecken und Schneckenwellen, Präge- und Riffelwalzen.
CK 35	Weniger beanspruchte Werkstücke, die besonders gleichmäßig und rein sein müssen.
CK 45	Triebwerkteile, die besonders gleichmäßig und rein sein müssen.
CK 53, 56 u. 60	Getriebewellen, Getrieberäder, Nockenwellen, Kolbenbolzen, Zylinderbüchsen, die besonders gleichmäßig und rein sein müssen.
40 Mn 4	Getriebewellen und Zahnräder.
53 Mn Si 4	
37 Mn Si 5	Kurbelwellen für Otto- und Dieselmotoren sowie Zahnräder im Fahrzeugbau, Baggerbolzen, Schwingarme und Schwabungen.
46 Mn Si 4	

Schließlich ist, wie ebenfalls beschrieben, die Temperaturverteilung im Werkstückquerschnitt noch von der Wärmeabführung in das Innere abhängig. Je langsamer das Erhitzen unter relativ geringer spezifischer Heizleistung eingerichtet wird, desto wirksamer wird der Faktor der zeitabhängigen Wärmeleitung in den Kern des Materials, so daß sich der Temperaturabfall stetig in Richtung des Wärmeflusses verschiebt, bis endlich eine praktisch gleichmäßige Temperaturverteilung erreicht wird.

Siehe Bild 13
Temperaturverlauf einer 950 °C-Schicht als Funktion von Leistung und Zeit

Es kann im Zusammenhang mit diesen Darlegungen im Rahmen dieser Information lediglich darauf hingewiesen werden, daß sich durch Ausnutzung gewisser Impulsverfahren weitere Varianten ergeben.

Da die verschiedenen induktiven Erwärmungsprozesse die typischen Eigenarten einer Erhitzung durch Hochfrequenzenergie ausnutzen, soll der Übersicht halber zunächst eine Zusammenstellung der wichtigsten Merkmale folgen:

- a) **Unbeschränkter Temperaturbereich**, weil sehr hohe Wärmebeiträge zu erreichen sind. Die Energieübertragung kann eine Höhe von 420 kcal/min je cm² annehmen, während z. B. von den Wänden eines Ofens mit einer Temperatur von 1100 °C auf einen Körper nur 4,8 kcal/min je cm² übertragen werden können.
- b) **Selektive Erwärmbarkeit**, d. h. die Möglichkeit einer genau zu bestimmenden und begrenzenden Teilerwärmung an jeder beliebigen Stelle, selbst an sehr kleinen Stücken, und mit sehr wenig Verlustwärme.
- c) **Präzise Vollerhitzung** unter jedem gewünschten Behandlungsablauf, u. U. auch mit Hilfe automatischer Steuerung der Prozesse.
- d) **Kein Verzug und keine Verzunderung**, da wegen den sehr kurzen Aufheizzeiten Strukturveränderungen im Kern und Luftsauerstoffverbindungen an der Oberfläche der Werkstücke kaum wirksam werden können.
- e) **Bellebige Wärmekonzentration** in genau zu bestimmenden Oberflächenschichten.
- f) **Reproduzierbarkeit** beliebig großer Mengen, weil jedes behandelte Stück unter völlig gleichen Bedingungen bearbeitet wird.

20

g) **Erhitzung unter Vakuum oder Schutzgasatmosphäre.**

h) **Automatische Temperaturregelung** bei jedem Verfahren.

i) **Automatisierung und Einordnung der Anlagen** in die Fertigungsstraßen oder ähnliche Produktionsabläufe, so daß infolge der relativ kurzen Behandlungszeiten die Warmbehandlungsprozesse in keinem Fall mehr Engpaß der Fertigung sind.

j) **Verbesserte Arbeitsbedingungen** in der Nähe von induktiven Erwärmungsanlagen, da die bisher unvermeidlichen Hitzebelastigungen beseitigt sind.

k) **Bedienvereinfachung**, weil die Anlagen durch Personen bedient werden können, die keinerlei Spezialkenntnisse zu besitzen brauchen.

l) **Ständige Betriebsbereitschaft**, weil keine langen Vorheizzeiten zur Inbetriebnahme der Anlagen erforderlich und jederzeitige Betriebsunterbrechungen ohne Verlustkosten möglich sind. Alle Wartezeiten fallen fort.

Es gibt kein anderes als das induktive Erwärmungsverfahren, das alle diese Vorzüge zugleich besitzt. Entsprechend dem Ablauf der Behandlungsverfahren unterscheidet man Vollerwärmung, selektive Erwärmung, Schritterwärmung und Vorschub erwärmung, wobei u. U. für die gleichen Aufgaben das eine oder andere Verfahren angewendet werden kann.

2. Oberflächenhärten

Um die Vorteile der induktiven Oberflächenhärtung hervorzuheben, bei der die industrielle Hochfrequenzenergie in bestechender Art ausgenutzt wird, muß auf die Schwierigkeiten wie Verzug, Verzunderung, lange Zeiten der Vorbereitung, Behandlung und Nacharbeit, Materialschwierigkeiten und mangelnde Fachkräfte hingewiesen werden, die allen bisherigen Verfahren anhaften. Sie werden durch den Einsatz der Hochfrequenzwärme weitgehendst beseitigt. Wenn auch die Flammhärtung einen erheblichen Fortschritt für die Härteretechnik brachte, kann heute nicht mehr bestritten werden, daß ihr die Induktionshärtung erheblich überlegen ist.

Es ist bekannt, daß durch Hochfrequenzenergie viele kW/cm² in einer sehr dünnen Oberflächenschicht als Wärmeenergie gestaut werden können. Es ist in weniger als einer Sekunde ein Temperaturanstieg über den Curie- bzw. Umwandlungspunkt hinaus zu erreichen, wenn manchmal auch Behandlungszeiten von 2 bis 5 Sekunden je Flächeneinheit ohne Verzicht auf die Vorteile der induktiven Erhitzung festgesetzt werden

21

Glühübertrager einen sogenannten „Glühkopf“. Während der Glühübertrager universell verwendbar ist, sind die den betreffenden Werkstücken gut angepaßten Heizleiterschleifen leicht auswechselbar eingerichtet.

Siehe Bild 7
Verschiedene Werkstücke mit zugehörigen Arbeitsspulen

In der Regel sollten die Werkzeuge so gebaut werden, daß sie das zu erwärmende Stück umfassen, weil hierdurch der beste Wirkungsgrad zu erreichen ist. Um aber die Auswechselbarkeit der Teile zu ermöglichen, vor allen Dingen bei automatischen Betriebsabläufen, muß oft auf mehr oder weniger gebogene Schleifenformen ausgewichen werden. Läßt sich der damit verbundene schlechtere Wirkungsgrad nicht durch geeignete Maßnahmen zur Verbesserung der Feldkonzentration kompensieren, dann ist meistens die Verwendung von geteilten Klappspulen empfehlenswerter, deren größere Kosten durch den besseren Wirkungsgrad vertretbar sind.

Siehe Bild 8
RFT-Härtekopf für Behandlungen von Zahnradflanken

Um eine selbstverständlich stets zu fordernde gute Leistungsausnutzung zu sichern, muß jeder Arbeitskreis mit einem realen Widerstand am Generator erscheinen, d. h. ohne Blindkomponenten, wie sie durch Induktivitäten oder Kapazitäten entstehen. Die Blindwiderstände verschwinden, wenn ein Schwingkreis auf Resonanz gebracht wird. Daher werden der Induktivität einer Arbeitsspule entsprechende Kapazitäten zugeordnet, die sich bei Härteanlagen stets im Generator befinden, während sie bei allen anderen Anlagen unmittelbar an die Arbeitsvorrichtung gebaut werden.

Die vielseitigen Verfahrensformen der induktiven Erwärmung erfordern je nach Werkstückgestalt, Art des Prozeßablaufes oder Ausstoßmenge geeignete Halte- und Spannvorrichtungen oder Maschinen. Auch das sind sehr wichtige Teile der Gesamtanlage, besonders dann, wenn die Führung von Menschenhand nicht hinreichend genau oder schnell genug ausgeführt werden kann und daher weder die gleichmäßige und präzise Warmbehandlung gewährleistet, noch die möglichst weitgehende Ausnutzung der Anlage zu erreichen ist.

18

II. Anwendungsgebiete

I. Vorbemerkungen

Jeder in ein elektromagnetisches Wechselfeld gebrachte Metallkörper absorbiert je nach Gestalt und Materialart elektromagnetische Wellenenergie. Es wurde erläutert, daß in Abhängigkeit vom Werkstückdurchmesser d (oder auch der Werkstückdicke) zur Eindringtiefe δ eine maximal erreichbare Energieaufnahme eingerichtet werden kann. Ein derartiges Optimum an Leistungsumsatz ist von Größen abhängig, die Funktionen der Betriebsfrequenz und der elektrischen Materialfaktoren sind. Sollen Werkstücke thermisch behandelt werden, deren Durchmesser oder Dicken größer als die zur optimalen Leistungsübertragung notwendigen Werte sind, dann wird der Werkstückkern zwar nur ungenügend oder überhaupt nicht aufgeheizt, aber es werden damit die für eine Oberflächenhärtung erforderlichen elektrothermischen Voraussetzungen geschaffen.

Auch zum völligen Durchglühen eines Werkstückes soll dem elektromagnetischen Wechselfeld selbstverständlich ein Maximum an Energie entnommen werden. Aber das Verhältnis der Werkstückdimension d zur Eindringtiefe δ ändert sich mit der fortschreitenden Aufheizung des Materials; denn sowohl der spezifische Widerstand wie auch die Permeabilität sind temperaturabhängig.

Siehe Bild 12
Spezifische Widerstands- und Permeabilitätswerte von Eisen und Stahl in Abhängigkeit von der Temperatur

Stahlplatten oder ähnliche flachgestreckte Stücke absorbieren dann eine maximale Leistung, wenn das Verhältnis ihrer Dicke zur Eindringtiefe = 3,14 ist, während es bei zylindrischen Körpern = 3,535 betragen soll. In Temperaturbereichen um 1000° C steigt die Eindringtiefe auf den 50fachen Wert. Wird dieser Umstand nicht beachtet, dann muß damit gerechnet werden, daß z. B. bei einer Plattendicke mit dem Wert gleich der Eindringtiefe nur etwa ein Zehntel des möglichen Energieumsatzes erreicht werden kann. Bei Plattenmaßen, die kleiner als die Eindringtiefe sind, fällt die Energieumsatzmöglichkeit bei einem Verhältnis $d/\delta = 0,6$ auf 4 Prozent und bei 0,4 auf 1 Prozent der maximalen Wärmeerzeugung.

Es muß noch einmal darauf hingewiesen werden, daß das Absorptionsvermögen der elektrothermisch behandelten Werkstücke aber auch mit der Wurzel aus der Betriebsfrequenz steigt und daher im Bereich der hohen Frequenzen auf beträchtliche Werte kommt.

19

dem Quadrat des Arbeitspulenstromes ist, dann ist es einleuchtend, daß die gleiche Leistung auch erreicht werden kann, wenn man die Betriebsfrequenz bei entsprechend kleinerem Spulenraum erhöht. Das bringt mancherlei betriebliche und konstruktive Vorteile. Aus diesen Gründen sind für gewisse Verfahren auch Röhrengeneratoren mit Betriebsfrequenzen von 13,56 und 27,12 MHz zum induktiven Erwärmen vorteilhaft zu verwenden. Von der richtigen Frequenzzahl hängen also die Arten der einzusetzenden Generatoren, die Leistungsfähigkeit der Anlagen und die erreichbare Güte sowie die Erwärmungsart des Verfahrens ab.

2. Die Arbeitskreise und die HF-Werkzeuge

Die Arbeitskreise für induktive Erwärmung sind mit ihren Hochfrequenz-Wärmewerkzeugen sehr wichtige Teile der Anlagen, weil sie entscheidend für die Wirtschaftlichkeit der Verfahren und die Eigenarten der Verfahrensabläufe sind. Sie stellen das Charakteristikum einer industriellen Hochfrequenzanlage dar. Mancher Mißerfolg ist durch unsachgemäße Dimensionierung und Konstruktion der Arbeitskreise und besonders der HF-Wärmewerkzeuge sowie ihrer Hilfseinrichtungen verursacht worden.

Ein HF-Wärmewerkzeug überträgt die Hochfrequenzenergie in die zu behandelnden Werkstücke. Es wurde bereits darauf hingewiesen, daß das Werkstück als kurzgeschlossene Sekundärspule eines Transformators zu betrachten ist, dessen Primärwicklung die Arbeitsspule bildet.

Es wurde ebenfalls erwähnt, daß die induktive Erhitzung eine sehr genaue Begrenzung der Aufheizstellen erlaubt, d. h. eine selektive Erwärmung gestattet. Um das zu erreichen, müssen die Arbeitsspulen

Siehe Bild 5
Schematische Darstellung eines Arbeitskreises zur induktiven Erwärmung mit Glühübertrager oder Konzentrator

besondere Formen erhalten. Die einfachste Form ist die zylindrische Spule, die den Betrachtungen der physikalischen Vorgänge zugrunde lag. Sie kann als ein- oder mehrwändige Spule ausgeführt werden. Mehrwändige Arbeitsspulen lassen sich meistens direkt an den Generatorausgang anpassen, d. h. der an den Enden der Spule erscheinende Wirkwiderstand entspricht dem vorgeschriebenen Ausgangsbelastungswiderstand des Generators, so daß in dessen Leistungskreis derjenige Arbeitswiderstand auftritt, unter dem eine maximale Leistungabgabe garantiert wird.

Die aus Werkstück und Arbeitsspule gebildete Transformatoranordnung muß also den im Arbeitskreis auftretenden Wirkwiderstand so zum

16

Generator transformieren, daß die richtigen Betriebsbedingungen eingestellt werden, wobei das Verhältnis des Werkstückwiderstandes zum vorgeschriebenen Arbeitswiderstand des Generators die Dimensionierung der Transformationsglieder zwischen Werkstück und Generator bestimmt. Muß aber eine Spule verwendet werden, die nur aus einer einzigen Windung besteht, um eine sehr schmale Erhitzungszone ohne großes Streufeld zu erzeugen, dann wird zwischen Arbeitsspule und Generatorausgang ein weiterer Transformator erforderlich, der von der industriellen Hochfrequenztechnik „Glühübertrager“ oder bei besonderen Bauarten auch „Konzentrator“ genannt wird.

Siehe Bild 6
Schematische Darstellung eines Scheibenkonzentrators

Um den Wirkungsgrad derartiger Transformationsglieder hoch zu machen, wird dafür gesorgt, daß möglichst viele Kraftlinien des Magnetfeldes der Primärspulen auf die sekundären Windungen konzentriert werden; denn wenn die Streuung zu groß wird, dann muß konsequenterweise der transformierte Wirkwiderstand reduziert und damit der Wirkungsgrad schlechter werden. Zwar wäre in gewissem Umfang eine Kompensierung durch Aufbringen einer höheren Amperewindungszahl möglich, doch ergeben sich durch die dann größer werdenden Strombelastungen auch beträchtlichere Leitverluste in der Primärspule. Eine etwaige Vergrößerung des Leiterquerschnittes ergäbe schließlich ebenfalls keine Verbesserung mehr, weil infolge des Skin-Effektes der Gesamtstrom je Querschnittseinheit in einer Schicht auf der Spulenninnenseite aufgenommen werden muß, deren Dicke aber bekanntlich durch die frequenzabhängige Eindringtiefe bestimmt wird.

In Arbeitskreisen von Maschinengeneratoren werden derartige Transformatoren sehr oft in Kern- oder auch Mantelbauart ausgeführt, wozu allerdings besonders dünne Transformatorbleche verwendet werden müssen, die mit nicht mehr als 2000 Gauß gesättigt werden sollten, um die Verluste in tragbaren Grenzen zu halten.

Bedeutende Fortschritte in der Entwicklung dieser Transformationsglieder besonders für hohe Frequenzen konnten in jüngster Zeit dadurch gemacht werden, daß man durch Verwendung von sogenannten Ferriten (Hochfrequenzseisen) in geeigneten Formen und Zusammensetzungen sehr effektive magnetische Rückschlüsse schaffen konnte. Das ist im Prinzip dasselbe, wie der Gebrauch von verlustarmen Eisenblechen im Mittel- und Niederfrequenzbereich.

Da die Form der Glühspulen oder auch Heizleiterschleifen die entstehende Glühzone am Werkstück bestimmt, können sie sehr vielfältige Gestalt annehmen. Die Heizleiterschleifen sind einwändige Spulen besonderer Bauart. Sie bilden zusammen mit dem in diesem Fall stets notwendigen

17

vom Wirkungsgrad der Arbeitskreise ab. Dabei spielt das Verhältnis des Werkstückdurchmessers d zur Eindringtiefe δ eine wesentliche Rolle. Es ist praktisch wie auch mathematisch zu beweisen, daß sich ein Maximum an induzierter Volumenleistung ergibt, wenn dieses Verhältnis $d/\delta = 3,5$ ist, d. h. dann ist ein Optimum an Erwärmungsgeschwindigkeit und des Wirkungsgrades zu erreichen.

Siehe Bild 4
Die Minimalfrequenz in Abhängigkeit vom Werkstückdurchmesser

Die sich ergebende Minimalfrequenz für ein Verfahren darf auf keinen Fall unterschritten werden, kann aber ohne Bedenken relativ weit überschritten werden.

Zum Vorwärmen für Preß- und Schmiedezwecke müssen im allgemeinen je Tonne Schmiedegut 350 bis 500 kWh Energie in das thermisch zu behandelnde Material übertragen werden. Die Energiedichte je Flächeneinheit des Werkstückes wird auf relativ kleine spezifische Heizleistungen von 100 bis 300 W/cm² begrenzt, um unnötige Oberflächenüberhitzungen zu verhindern.

Zum Schmelzen werden folgende Hochfrequenzleistungen je kg Charge als wirksame Wärmeenergie in der Schmelze gebraucht:

Stahl = 0,45 kWh (Schmelzpunkt ab 1535° C),
Kupfer = 0,82 kWh (Schmelzpunkt 1083° C),
Nickel = 1,12 kWh (Schmelzpunkt 1452° C).

C. Die Verfahren:

I. Datierung

1. Frequenzzahl

Das Spektrum der industriellen Hochfrequenzen liegt im Gebiet von 500 bis 30 000 000 Hz (30 MHz), bestreicht also Bereiche, in denen auch die Rundfunk- und kommerziellen Funkdienste untergebracht sind. Um die selbstverständliche Störfreiheit dieser Dienste zu sichern, führten internationale Vereinbarungen zu einer Beschränkung des Einsatzes der Industriegeneratoren auf gewisse Standardfrequenzen bzw. Frequenzbereiche.

Bei sorgfältiger Durchsicht dieser Informationen wird man festgestellt haben, daß grundsätzlich mit Wechselströmen aller Frequenzen induktive Aufheizungen durchzuführen sind. Es wurde aber auch darauf hin-

14

wiesen, daß sich aus dem Verhältnis des Werkstückdurchmessers zur Frequenz- und werkstoffabhängigen Eindringtiefe zum Garantieren eines optimalen Wirkungsgrades eine bestimmte Minimalfrequenz ergibt. Die Betriebsfrequenz ist daher stets so hoch zu wählen, daß sie in jedem Falle gleich oder größer als die Minimalfrequenz ist.

Die industrielle Hochfrequenztechnik hat, deshalb Anlagen geschaffen, die den verschiedenen Anwendungsformen entsprechend jeweils geeignete Betriebsfrequenzen liefern können. Für den Bereich von 500 bis 10 000 Hz werden seit langen Jahren rotierende Mittelfrequenz-Generatoren gebaut, die man allgemein auch Maschinengeneratoren nennt. Neben einer zuerst von RIBAUD geschaffenen Type, die später in Deutschland durch SCHMIDT weiterentwickelt wurde, gibt es eine von GUY entworfene Bauart, die nach dem Wendepolprinzip arbeitet. In jüngster Zeit werden aber auch Generatorschaltungen zur Verfügung gestellt, die vorläufig auf Frequenzen bis zu einigen 1000 Hz arbeiten, und für die sich im Zuge weiterer Entwicklungsarbeit mit sog. gasgefüllten Gefäßen aussichtsreiche Perspektiven zur Erzeugung sehr billiger industrieller Mittelfrequenzen ergeben.

Für Frequenzen über 100 kHz werden gegenwärtig nur noch Röhrengeneratoren gebaut, die man übrigens auch Industriesender nennt. Sie führten zu der sehr beträchtlichen Ausweitung der Verfahren und ihrer Anwendungsgebiete.

Wenn auch die Röhrengeneratoren mit ihren hohen Frequenzen in vielen Fällen vorteilhafter als Maschinengeneratoren zu verwenden sind, darf doch nicht angenommen werden, daß sie die rotierenden Generatoren restlos ersetzen können. Die Notwendigkeit des Einsatzes von Maschinengeneratoren beginnt, wenn die Größe der zu behandelnden Chargen nicht mehr ausreicht, um mit Netzfrequenzen von 50 Hz wirtschaftlich vertretbar zu arbeiten, d. h. besonders beim Betrieb von Hochfrequenz-Schmelzöfen und für Glühprozesse in der Preß- und Schmiedetechnik. In selteneren Fällen werden Mittelfrequenz-Generatoren auch für Oberflächenbehandlung verwendet. Da aber die obere Frequenzgrenze einer Energieerzeugung mit gutem Wirkungsgrad für die Maschinengeneratoren bei 10 000 Hz liegt, wird damit die Grenze des Ausnutzungsbereiches für selektive Erwärmungsverfahren gezogen. Die Mehrzahl der selektiven Erhitzungsprozesse bleibt daher den Röhrengeneratoren vorbehalten. Der Bereich eines wirklichen nützlichen und vorteilhaften Einsatzes ist also für beide Generatorarten ganz verschieden.

Außer dieser durch betriebliche Voraussetzungen gezogenen Grenze zwischen Maschinen- und Röhrengeneratoren zeigt sich aber in jüngster Zeit eine Tendenz, im Bereich der Röhrengeneratoren anstelle der sonst üblichen Frequenzen von 100 bis 400 kHz möglichst noch höhere Frequenzen einzusetzen. Geht man von der Tatsache aus, daß die in einem Werkstück umsetzbare Leistung proportional der Betriebsfrequenz und

15

nämlich dadurch wünschenswert gesteuert werden, daß man die Wärmeleitfähigkeit des Materials wirksam werden läßt. Betrachtet man die Temperaturverläufe in Abhängigkeit von der Aufheizzeit (siehe Bild 3), dann ist zunächst einmal festzustellen, daß schon bei Vergleich einer theoretisch ermittelten Wärmeverteilung (Kurve I) unter hoher spezifischer Leistung und kurzer Aufheizzeit sowie dem praktisch zu erreichenden Temperaturgefälle (Kurve II) eine Differenz besteht. Es ist das gegensätzliche Verhalten der temperaturabhängigen Materialfaktoren, was zum deutlichen Abflachen des Kurvenverlaufes der Energieverteilung führt. Unter der Werkstückoberfläche herrscht infolge des Hauteffektes die Tendenz zu einer voreilenden Temperatur und infolgedessen auch zum Voreilen der Werkstoffaktoren. Diese Tatsache ist wiederum sehr nützlich für die induktive Oberflächenhärtungen, denn dieser Vorgang reguliert praktisch die Gefahr einer Überhitzung in den äußeren Werkstückschichten.

Siehe Bild 3

Die Temperaturverteilung in einem Werkstück als Funktion der Zeit

Durch die beiden weiteren Kurven des Bildes 3 wird die Bedeutung der Aufheizzeit erklärt. Die Kurve III stellt die Temperaturverteilung für eine mittlere spezifische Aufheizleistung bei entsprechend verlängerter Behandlungszeit dar. Die nun entstehenden größeren Erwärmungstiefen werden dadurch erzeugt, daß zunächst eine durch die Eindringtiefe δ bestimmte dünne Oberflächenschicht sehr rasch bis auf den Curiepunkt erhitzt wird. Dann erfolgt eine Übertragung der Hochfrequenzleistung in die nächste innere Schicht, die nun aber nicht mehr nur durch induzierte Ströme, sondern auch durch Wärmeleistung aufgeheizt wird. Dieser fortschreitende Prozeß verläuft so rasch, daß die Dicke der umgewandelten Schicht sich viel schneller vergrößert, als ihre Temperatur weiter ansteigen kann. Durch zeitliche Begrenzung dieses Verfahrens ist eine verlangte Erhitzungstiefe ohne Überhitzung der Außenschicht ganz präzise einstellbar und kann beliebig oft reproduziert werden. Auch diese Umstände sind charakteristisch für die Vorzüge einer induktiven Erwärmung, die zum Einhärteten auf größere Tiefen vorteilhaft ausgenutzt werden. Das typisch flache Temperaturgefälle garantiert einwandfreie Härtequalitäten, weil u. U. schon ein Überschreiten der vorgeschriebenen Temperatur um mehr als 50°C eine Gütebeeinträchtigung zur Folge haben kann. Es dürfte somit verständlich sein, daß mit einer einmal festgelegten Betriebsfrequenz die verschiedensten Einhärtetiefen erzeugt werden können.

Die Kurve IV zeigt schließlich eine gleichmäßige Durchwärmung des gesamten Werkstückquerschnittes, die bei geringer spezifischer Aufheiz-

leistung und relativ langen Behandlungszeiten erreicht wird. Diesen Prozeß benutzt man für die verschiedenen anderen Anwendungsgebiete der induktiven Erwärmung, wie: Durchhärten, Anlassen, Glühen, Warmverformen, Sintern oder schließlich auch Schmelzen.

Die sich aus den Varianten von Leistung und Zeit ergebende elegante Steuermöglichkeit des Erwärmungsprozesses läßt sich zu einer weiteren Regel zusammenfassen:

Regel 2:

Die theoretische Eindringtiefe ist nicht in jedem Fall unbedingt identisch mit der praktisch zu erreichenden Erwärmungstiefe. Diese kann vielmehr durch Zeit und Leistung unter Ausnutzen der Wärmeleitfähigkeit des thermisch behandelten Materials in weiten Grenzen präzise reguliert werden.

Die genaue Berechnung der für einen Prozeß aufzubringenden Leistung ist besonders wegen den temperaturabhängigen Materialfaktoren sehr verwickelt. Soll die Wärmeenergie in einer Oberflächenschicht für Härtzwecke konzentriert werden, dann ist die notwendige Generatorleistung annähernd nach folgender Faustformel zu ermitteln:

$$N = V \cdot 6.700 \text{ (Wattsekunden)}$$

Hierbei ist das Volumen V des gedachten Hohlzylinders in Kubikzentimeter einzusetzen. Die Dicke der sich — wie erläutert — vorstellbaren Wandstärke des Zylinders muß aber viel größer als die Eindringtiefe sein, und die Aufheizzeit darf 10 Sekunden nicht überschreiten.

Für den praktischen Aufwand an Hochfrequenzleistung zum induktiven Oberflächenhärten werden in der Regel etwa $1,5 \text{ kW/cm}^2$ Werkstückoberfläche gerechnet, um die erforderliche Härtetemperatur in einer Sekunde zu erreichen. In Sonderfällen kann der Energieansatz je cm^2 Werkstückoberfläche auf 2,5 bis $5,0 \text{ kW}$ und mehr gebracht werden, wobei die Aufheizzeiten natürlich entsprechend zu verringern sind. In anderen Fällen wird die spezifische Heizleistung unter entsprechend erhöhter Aufheizzeit auch verringert, sollte jedoch $0,5 \text{ kW/cm}^2$ möglichst nicht unterschreiten.

Bei den sehr niedrigen Frequenzen der Maschinengeneratoren beträgt der Leistungsbedarf in der Regel 4 bis 5 kW/cm^2 und wird nicht selten bis zu 20 kW/cm^2 datiert.

Zum vollständigen Durchhitzen eines Werkstückes auf etwa 1200 bis 1250°C werden je kg Glühgut aus Eisen oder Stahl durchschnittlich $1,0$ bis $1,5 \text{ kWh}$ dem Versorgungsnetz entnommen. Selbstverständlich hängt bei derartigen Verfahren der erreichbare Leistungsumsatz sehr

Es muß darauf hingewiesen werden, daß die industrielle Hochfrequenztechnik entgegen der präzisen Begriffsbestimmung aus Gründen der Zweckmäßigkeit unter „Hochfrequenz“ allgemein auch den Mittelbereich versteht, d. h. schon die Frequenzen ab 500 Hz aufwärts.

2. Induktionsprinzip

Legt man der nun folgenden Betrachtung die „klassische“ Anordnung der zylindrischen Spule zugrunde, und denkt man sich diese Spule durch einen Generator mit Wechselstrom versorgt, dann füllt und umgibt sie sich mit einem magnetischen Wechselfeld. Steht in diesem Feld ein elektrisch leitendes Werkstück, dann werden in ihm elektrische Ströme induziert, die in geschlossenen Bahnen parallel zur Oberfläche kreisen. In jedem stromdurchflossenen Leiter entsteht Wärme. Die Wärmeenergie ist proportional dem Quadrat des Stromes und dem Widerstand des Leiters, d. h. je größer die Ströme sind, desto schneller erwärmt sich das Werkstück. Es ist ein Vorteil der induktiven Erhitzung, daß die induzierten Ströme auf beträchtliche Beträge gebracht werden können. Diese an sich einfachen Tatsachen werden aber unter hochfrequenter Energie durch spezielle Eigenarten gekennzeichnet, die von Bedeutung für die praktische Ausnutzung zu den verschiedensten Verfahren sind.

Siehe Bild 1
Arbeitsspule mit Magnetfeld und die Stromverteilung im Werkstück

3. Skin- oder Hauteffekt

Die durch ein hochfrequentes Magnetfeld in das Werkstück induzierten Ströme sind nicht gleichmäßig über den ganzen Querschnitt verteilt, sondern die Stromfäden werden nach der Oberfläche hin verdrängt. Die Wärmeenergie wird also in einer relativ dünnen Schicht unter dem Werkstückmantel konzentriert und nimmt nach dem Kern zu stark ab. Diese Konzentration wird mit zunehmender Frequenz verstärkt und kann auf ungewöhnliche Intensitätsgrößen getrieben werden.

Die Eindringtiefe δ der Ströme hängt jedoch nicht nur von der Frequenz f des magnetischen Wechselfeldes der Arbeitsspule ab, sondern auch vom spezifischen Widerstand ρ und der magnetischen Leitfähigkeit μ (Permeabilität) des behandelten Werkstoffes ab. Sie ist proportional der Quadratwurzel aus dem spezifischen Widerstand ρ des Metalles und umgekehrt proportional der Quadratwurzel aus der Frequenz des Wechselstromes und der Permeabilität des zu erheizenden Stoffes.

$$\delta \text{ 503} = \sqrt{\frac{\rho}{\mu \cdot f}} \text{ [mm]}$$

10

Zur leichteren Verständlichkeit des Begriffes „Eindringtiefe“ kann man von der Vorstellung aus gehen, daß anstelle des massiven Werkstückzylinders für die stromdurchflossene Schicht ein Hohlzylinder mit der Wandstärke δ angenommen wird, über deren Querschnitt die Stromdichte als praktisch gleichmäßig verteilt zu denken ist. Daraus folgt weiter, daß das eingesetzte Werkstück einer einzigen, kurzgeschlossenen Windung entspricht, die als Sekundärwicklung zusammen mit der Arbeitsspule als Primärwicklung einen Transformator darstellt. Als derartige Übertragungsanordnung wird ein Arbeitskreis auch tatsächlich bei der Datierung der Einrichtungen aufgefaßt.

Zunächst ist also folgende für die induktive Erwärmung wichtige Feststellung zu treffen:

Regel 1:

Die in einem induktiv erhitzten Metallkörper erzeugte Wärmeenergie wird in einer Oberflächenschicht konzentriert, deren Dicke von der Betriebsfrequenz und den elektrischen Materialfaktoren abhängt. Der Kern des Körpers kann u. U. völlig unbeeinflusst und kalt bleiben.

Mit Zunahme der Betriebsfrequenz oder der magnetischen Leitfähigkeit wird die aufgeheizte Oberflächenschicht dünner. Je niedriger die Betriebsfrequenz und kleiner die magnetische Leitfähigkeit werden, desto dicker wird die Schicht, in der die Wärmeenergie gestaut wird. Große spezifische Widerstände erhöhen die Eindringtiefe, während eine bessere elektrische Leitfähigkeit die Eindringtiefe reduziert.

Siehe Bild 2
Abhängigkeit der Eindringtiefe in verschiedenen Materialien von der Betriebsfrequenz

Die Regel 1 weist auf einen Vorzug der hochfrequenten Erhitzung zum Oberflächenhärten hin, den kein anderes Erwärmungsverfahren besitzt.

Diese Vorgänge treten aber nur dann auf, wenn mit hohen spezifischen Leistungen und sehr kurzen Aufheizzeiten gearbeitet wird, so daß eine Wärmeableitung von der gestauten Wärmeenergie in das Innere des behandelten Stückes noch nicht wirksam werden kann.

4. Aufheizzeit und Leistung

Es ist ein glücklicher Umstand, daß zum Datieren eines induktiven Erwärmungsverfahrens auch noch die Faktoren Zeit und Leistung sehr vorteilhaft ausgenutzt werden können. Durch relative Verlängerung der Aufheizzeit kann die Temperaturverteilung im Werkstückquerschnitt

11

während des letzten Krieges blieb den offenen Behandlungen dann ganz vorenthalten. Nach dem Kriege stand bald fest, daß die USA und UdSSR auf dem Gebiet der hochfrequenten Warmbehandlungen führend geworden waren.

In Deutschland hatten sich in den Jahren 1937 bis 1945 die induktiven Erwärmungsanlagen auch zu einer gewissen Vollkommenheit entwickelt. Dieser Entwicklungsstand, ferner die den Wissenschaftlern, Ingenieuren und Technikern des Funkwerkes Köpenick VEB zur Verfügung gestellten Erfahrungen des befreundeten Auslandes und gewissenhafte Neuentwicklungen bildeten die Grundlage für die Weiterarbeit in der Deutschen Demokratischen Republik. Die hervorragenden Ergebnisse hochfrequenter Warmbehandlungen sind Ursache dafür, daß diese Methoden in allen Industriezweigen größtes Interesse gefunden haben. Nicht jedes theoretisch mögliche Verfahren kann praktisch sogleich erfolgreich sein. Deshalb darf bei Physikern und Chemikern, beim Metallurgen und Technologen und nicht zuletzt auch bei allen Betriebsfachleuten und Hochfrequenz-Ingenieuren kein Zweifel darüber bestehen, daß es sich bei der industriellen Hochfrequenz wohl um ein modernes Produktionsmittel mit sehr oft faszinierenden Möglichkeiten handelt, ihre gemeinsamen Bemühungen aber bereits eingeführte und sogar bewährte Verfahren ständig verbessern müssen und neue, erprobte Methoden finden können. Diesem Ziel dient die unermüdete Arbeit der Entwicklungs- und Fertigungsstellen des Funkwerkes Köpenick VEB und der mit ihm eng verbundenen WMW Maschinenfabrik Treptow VEB sowie des VEM-Elektromotorenwerkes Göllingen VEB.

Im Vordergrund der Entwicklungsarbeiten auf dem Gebiet der industriellen Hochfrequenztechnik steht auch die „Vollautomatik“ der Anlagen. Sie sollen nicht nur unter Berücksichtigung der besonders robusten Betriebsbedingungen für die Geräte ein Höchstmaß an Betriebssicherheit garantieren, sondern auch die Bedienung der Anlagen weitgehend unabhängig vom oft verwickelten Ablauf der Arbeitsprozesse und von allem Fachpersonal machen. Hierzu ergeben sich für die Regel- und Steuertechnik Aufgaben, aus denen Zusatzgeräte entstehen, die entweder völlig selbsttätig für die dauernde Einstellung eines optimalen Wirkungsgrades der Anlage sorgen oder den Arbeitsprozeß in irgend einer vorher bestimmten Art automatisch ablaufen lassen.

Es gibt für die vielen Verfahrensarten keine Universallösungen. Um unsere Industrie vor Rückschlägen zu sichern, sollte jeder Prozeß erst nach sorgfältigen Voruntersuchungen entwickelt und projektiert werden. Hierzu steht auch die von der „Fachkommission für Induktive und Dielektrische Erwärmung“ eingerichtete Beratungsstelle beim Funkwerk Köpenick VEB gern zur Verfügung.

8

B. Grundlagen:

I. Allgemeines

Eine induktive Erwärmung von Werkstoffen erfolgt dadurch, daß die zu behandelnden Medien der Einwirkung eines magnetischen Wechselfeldes ausgesetzt werden und dabei elektromagnetische Wellenenergie durch Vermittlung des Magnetfeldes absorbieren, die in Wärme umgewandelt wird. Das hierbei für die Hochfrequenzwärme wesentliche Kennzeichen ist die Tatsache, daß sie im behandelten Material selbst erzeugt wird und nicht — wie bei allen anderen Verfahren — durch Strahlung, Wärmekonvektionsbewegung oder Wärmeleitung zur gewünschten Stelle gebracht werden muß. Zur Übertragung der Hochfrequenzenergie werden als wichtige Hilfsmittel sogen. Hochfrequenz-Wärmewerkzeuge gebraucht, die bei induktiven Heizverfahren immer die Form von Spulenanordnungen u. U. ganz besonderer Bauart haben. In das Magnetfeld einer derartigen Spule wird das zu behandelnde Gut als Einsatz gebracht. In Sonderfällen wird zur kontinuierlichen oder intermittierenden Arbeit eine Relativbewegung zwischen Werkstück und Arbeitsspule eingerichtet. Wird an die Arbeitsspule eine hochfrequente Wechselspannung gebracht, dann erfolgt in Abhängigkeit von gewissen Eigenschaften des aufzuheizenden Materials und den elektrischen Verhältnissen des magnetischen Wechselfeldes die gewünschte Erwärmung.

II. Theorie der induktiven Erwärmung

1. Einleitung

Es ist der Zweck dieser Informationen, den interessierten Leser lediglich einen allgemeinen Überblick über die physikalischen Zusammenhänge des induktiven Erwärmungsverfahrens zu vermitteln. Sie ermöglichen ihm einen Einblick in die Eigenarten einer induktiven Erhitzung und damit Verständnis für die aus diesen Eigentümlichkeiten entwickelten verschiedenen Verfahren.

9

Wenn man feststellt, daß ein Stück Metall mit Hilfe der Hochfrequenzenergie im Bruchteil einer Sekunde auf Weißglut gebracht werden kann, ohne daß es in direkter Berührung mit irgend einem Teil der Anlage steht, ja sich sogar in einem Vakuum befinden kann, dann mag mancher Interessierte geneigt sein, allein diesen Umstand als entscheidenden Vorteil des Verfahrens zu betrachten. Aber die Frage nach den betriebswirtschaftlichen Gründen, die zum relativ schnellen Durchsetzen der Hochfrequenz-Wärmeanlagen führten, ist damit durchaus nicht ausreichend beantwortet. Im Ausland war es zunächst einmal die Tatsache, daß ein reichliches Angebot elektrischer Energie sowohl in KVA als auch in KWh gab. Hinzu kam die zunehmende Massen- und Fließbandfertigung. Werden diese rein spekulativen Gründe aber besonders unter den Aspekten unserer Volkswirtschaft durch die speziellen Vorzüge eines hochfrequenten Erwärmungsverfahrens ergänzt, dann kann die Frage, ob in welchen Fällen ein Hochfrequenz-Wärmeverfahren eingeführt werden soll oder nicht, sehr genau beantwortet werden. Der Umstand, daß die industrielle Ausnutzung einer Hochfrequenzerwärmung es ermöglicht, eine Reihe thermischer Behandlungsverfahren in den Produktionsprozeß einzufügen, die früher in keiner Weise befriedigten, ferner Zeit- und Energieersparnisse, völlige Gleichmäßigkeit größter Ausstoßmengen, beliebige Wärmekonzentrationsmöglichkeiten, Ausschußbeseitigung, Sauberkeit, Produktionsvereinfachung, Einsparen von Engpaßmaterial und Verhütung nachteiliger Strukturveränderungen im behandelten Werkstoff sind die Vorzüge einer Hochfrequenzerwärmung. Es gibt keine andere Warmbehandlung, die alle diese Produktionswünsche auf einmal erfüllen könnte.

Die zur hochfrequenten Warmbehandlung notwendige Vorrichtung ist im Grunde nichts anderes als eine mit hochfrequentem Wechselstrom beschickte Spule besonderer Bauart, in deren magnetisches Wechselfeld das zu behandelnde Werkstück eingeführt und dabei durch Induktionsströme erhitzt wird. Die Aufheizung erfolgt also direkt im behandelten Stück und nicht durch Wärmeleitung, Strahlung oder Konvektion. Ein derartiger Prozeß wird „Induktives Wärmeverfahren“ genannt.

Alle Vorrichtungen zum Übertragen der Hochfrequenzenergie in die Werkstücke nennt man „Hochfrequenz-Wärmewerkzeuge“. Sie werden durch HF-Generatoren mit Hochfrequenzenergie versorgt.

II. Geschichtliche Entwicklung

Das Heranreifen des fundamentalen Wissens zur praktischen Ausnutzung geht bis auf den Anfang des 19. Jahrhunderts zurück. Es war das Zeitalter des Galvanismus, als H. DAVY im Jahre 1812 von Experimenten berichtete, bei denen er in Versuchen mit dem damals neuen VOLTA'schen Element zwischen zwei Holzkohlenelektroden elektrische Funken

beobachtete, welche die Luft sehr stark erhitzen. Im Jahre 1815 hat PEPY Eisen erwärmt und aufgekohlt. CHILDREN verdampfte sogar gewisse Metalle. Doch scheiterten alle Versuche, einen praktischen Ofen zu schaffen, der die Elektrowärme ausnutzen konnte. Das VOLTA'sche Element war als Energiequelle unzulänglich.

Einige Jahre später verschaffte man sich durch mühsame empirische Arbeiten die ersten Vorstellungen über die Kraftwirkungen des Magnetismus. Im Jahre 1820 veröffentlichte OERSTED seine Arbeit über den „Elektrischen Konflikt“, der nicht im „Schließungsdraht“ einer galvanischen Kette eingeschlossen ist, sondern unabhängig davon in dem ihn umgebenden Raum verteilt ist, durch fremde Substanzen hindurchwirkt und „in Kreisen fortgeht“.

Das war der Grundstein unserer Auffassung von den elektromagnetischen Erscheinungen. Diese klassische Arbeit gibt Aufschluß über die fundamentale Verknüpfung von Elektrizität, Magnetismus und Mechanik, wenn auch das ordnende Prinzip noch fehlte. Erst über die weiteren Arbeiten von FARADAY (1830) und später MAXWELL kam es zur präzisen Vorstellung der Magnetfelder. Auch HEAVISIDE beschäftigte sich weiterhin mit der Problematik des Elektromagnetismus und schuf eindeutige Erklärungen zu den physikalischen Gesetzmäßigkeiten des magnetischen Feldes (1884), so daß endlich eine klare Definition der Induktionserscheinungen gegeben werden konnte, auch für die Induktionsströme, die ARAGO schon 50 Jahre vorher im Jahre 1830 beobachtet hatte.

Mit Erfindung der Dynamomaschine durch SIEMENS stand eine Energiequelle sehr hoher Intensität zur Verfügung. Es begann das Zeitalter der Elektrotechnik. Die erste von SIEMENS im Jahre 1879 gebaute elektro-thermische Schmelze war ein Lichtbogenofen, dem dann in allen Industrieländern der Erde allmählich verschiedene Varianten folgten. Aber diese auch heute noch verwendeten Ofenarten haben Unzulänglichkeiten, so daß 1892 der erste Induktions-Schmelzofen von COLBY gebaut wurde. Weitere Typen wurden 1905 von KJELLIN, FRICK und RÖCHLING-RODENHAUSER und 1916 von AJAX-WYATT und NOR-THRUP entwickelt und produziert. WEVER und FISCHER (1926) schafften Ordnung in die Berechnungsmethoden für Induktionsöfen. Die Entwicklung der industriellen Hochfrequenztechnik hatte begonnen. Als nach 1925 mit Entwicklung der Funksendetechnik immer leistungsfähigere Hochfrequenz-Röhrengeneratoren verfügbar wurden, erhielt die Technik der hochfrequenten Warmbehandlung neue und sehr starke Impulse.

Es ist leider auch für die nun einsetzende praktische Ausnutzung der industriellen Hochfrequenztechnik bezeichnend, daß die Frage der wissenschaftlichen Priorität allzu oft hinter der gewerblichen Urheberschaft zurücktreten mußte. Es entstehen ernste Spannungen wirtschafflicher Art zwischen den Herstellern und auch den Herstellerländern, sehr zum Nachteil des menschlichen Wohlstandes. Die enorme Weiterentwicklung

A. Einführung

I. Vorwort

Der jüngste Zweig der Warmbehandlung in allen Produktionsgebieten ist die industrielle Hochfrequenztechnik. Sie hat sich im letzten Jahrzehnt zu einem Produktionsmittel entwickelt, das seine hervorragende Bewährung nicht nur in vielfältigen Anwendungsformen unter Beweis stellt, sondern von dem man auch erwarten kann, daß es noch manche weitere industrielle Einsatzmöglichkeiten schaffen wird, deren Umfang noch gar nicht zu übersehen ist.

Die wissenschaftlichen Grundlagen der physikalischen Erscheinungen, die zur Erwärmung durch Induktionsströme nützlich verwertet werden, sind schon über ein Jahrhundert alt. Aber es blieb erst dem Zeitalter der Elektrotechnik vorbehalten, aus den klassischen Kenntnissen technologisch nutzbare Prozesse zu entwickeln. Die Geschichte der industriellen Hochfrequenztechnik begann nach der Jahrhundertwende als Folge der Erfindung der Siemens'schen Dynamomaschine. Durch die stürmischen Fortschritte der Hochfrequenztechnik im letzten Kriege erhielt sie einen rasanten Auftrieb. Die Hochfrequenzwärme wird heute sowohl zum Erhitzen von metallischen Materialien (induktive Verfahren) wie auch zum Aufheizen von elektrisch nichtleitenden Stoffen (dielektrische Verfahren) in einer oft auch für den Betriebsfachmann bestechenden Art als Produktionsmittel eingesetzt. Ihre äußerst anpassungsfähigen Anwendungsformen, ihre außerordentlichen Vorzüge gegenüber bisher üblichen Methoden sowie auch die mit ihr verbundenen Möglichkeiten manchmal sehr einschneidender Produktionsvereinfachungen sind die Gründe, daß die Warmbehandlungsverfahren mit Gas, Öl, Kohlen oder elektrischer Widerstandsheizung in ständig zunehmendem Maße durch Induktionswärme ersetzt werden. Die konsequente Planung unserer Volkswirtschaftsperspektiven übersah deshalb auch nicht die Entwicklung von industriellen Hochfrequenzanlagen, die den neuesten und besonderen Betriebsbedingungen der verschiedenen Industriezweige in der DDR entsprechen.

INHALTSVERZEICHNIS

A. Einführung	5
I. Vorwort	5
II. Geschichtliche Entwicklung	6
B. Grundlagen	9
I. Allgemeines	9
II. Theorie der induktiven Erwärmung	9
1. Einleitung	9
2. Induktionsprinzip	10
3. Skin- oder Hauteffekt	10
4. Aufheizzeit und Leistung	11
C. Die Verfahren	14
I. Datierung	14
1. Frequenzwahl	14
2. Die Arbeitsweise und die HF-Werkzeuge	16
II. Anwendungsgebiete	19
1. Vorbemerkungen	19
2. Oberflächenhärten	21
3. Warmverformen	27
4. Schmelzen	28
5. Löten und Schweißen	31
6. Glühen	33
7. Sintern	35
8. Trocknen, Wärmen und Sonstiges	35
D. Wirtschaftlichkeitsfragen	36
E. Schlußbemerkungen	38

HOCHFREQUENZWÄRME IN DER INDUSTRIE

von ERICH TRIPMACHER
RFT Funkwerk Köpenick VEB

TEIL II
INDUKTIVE ERWÄRMUNGSVERFAHREN

12711

HOCHFREQUENZWÄRME IN DER INDUSTRIE

Teil II

INDUKTIVE ERWÄRMUNGSVERFAHREN



VEB FUNKWERK KOPENICK
BERLIN-KOPENICK · WENDENSCHLOSS-STRASSE 164 · 158
Telegrammadresse: EREFT E Funkwerk Berlin
Fernsprecher: Sammel-Nr. Berlin 64 80 91 · Nachruf Berlin 64 79 79

wohl in keinem anderen Falle die Möglichkeit der Automatisierung des Arbeitsprozesses. Die Anlage läßt sich räumlich bequem in den organischen Fertigungsablauf einbauen, wodurch besonders bei größeren Werkstücken erhebliche Transportkosten eingespart werden. Die durch die Eigenheit der HF-Warmbehandlung bedingten Vorteile gestatten es, in vielen Fällen auf eine Nachbehandlung (richten, schleifen), zu verzichten.

Bedienung und Wartung

Der Generator ist den besonderen industriellen Betriebsbedingungen angepaßt und überrascht durch seinen einfachen und übersichtlichen Aufbau und leichte Bedienbarkeit, so daß die Arbeiten an der Anlage von ungelerten Kräften ausgeführt werden können. Die Wartung der Anlage geht nicht über den Rahmen der üblichen Wartung von Maschinen hinaus. Es wird lediglich erforderlich sein, daß in Räumen, die besonders der Verschmutzung ausgesetzt sind, das Gerät des öfteren vom Staub gereinigt wird.

Störfreiheit

Das Gerät entspricht in hochfrequenztechnischer Hinsicht den Bestimmungen über die Störfreiheit von Industriesendern. Es gilt mit dem Typenschild als eine den Bestimmungen entsprechende Anlage und kann somit ohne die Einholung einer bestimmten Genehmigung in Betrieb genommen werden und ist nur meldepflichtig.

Exportinformation durch „DIA“ Deutscher Innen- und Außenhandel Elektrotechnik, Berlin C 2, Liebknechtstraße 14, Telegramm-Adresse: DIAELEKTRO Berlin.

Allgemeines

Die industrielle Hochfrequenztechnik lieferte in jüngster Zeit einen bedeutenden, wenn nicht überhaupt den größten Beitrag auf dem Gebiet der Warmbehandlung von Werkstoffen. Ihre oft erstaunlichen Vorzüge führten in steigendem Maße zur Einführung in die Industrie. Sie hat sich praktisch zum modernsten Warmbehandlungsverfahren in der Produktion entwickelt und dient sowohl zur Erwärmung von elektrisch leitenden als auch von nicht leitenden Stoffen. Ihre vielseitigen Anwendungsformen sowie völlig neu und noch nicht im entferntesten ausgeschöpften Möglichkeiten für die Warmbehandlungstechnik und umwälzende Produktionsvereinfachungen, nicht zuletzt auch qualitative und quantitative Verbesserungen der Produktion, fordern von jedem verantwortungsbewußten Betriebsfachmann, daß die Hochfrequenzwärme beim Bemühen um bessere Produktionsergebnisse ernsthaft in Erwägung gezogen wird.

Das Funkwerk Köpenick wird Sie dabei jederzeit gern beraten und Ihnen nach Ihren Angaben weitere Vorschläge unterbreiten.

Anwendungsgebiete

Nicht- oder schlechtleitende Werkstoffe werden als Dielektrikum im elektrischen Feld eines Arbeitskondensators behandelt. Dagegen erwärmt man elektrisch leitende Stoffe im Magnetfeld einer Arbeitsspule durch Induktionsströme. Die Vorrichtungen, in die man die zu behandelnden Werkstücke oder Werkstoffe einbringt, werden HF-Wärmewerkzeuge genannt. Die erforderliche Hochfrequenzenergie wird von Hochfrequenzgeneratoren geliefert, wobei es sich um Geräte mit besonderen technischen Merkmalen handelt, die allgemein auch unter dem Begriff „Industriesender“ zusammengefaßt werden. Die Eigenart der Werkstoffe, ihre Form und der verlangte Produktionsablauf einerseits sowie die Wirtschaftlichkeitsfragen andererseits bestimmen die Art der Anlagen.

Interessenten stehen im VEB Funkwerk Köpenick jederzeit qualifizierte Fachkräfte zur Verfügung, die die zweckentsprechenden Anlagen nach sorgfältiger Voruntersuchung projektieren.

Anwendungsgebiete des 1 kW-HF-Generators:

Der 1 kW-HF-Generator dient als HF-Energiequelle für Arbeitseinrichtungen zur dielektrischen Erwärmung von elektrisch nicht- bzw. schlechtleitenden Stoffen.

Seine Verwendung ist durch eine kontinuierliche Leistungsregelung, die gestattet, daß die Ausgangsleistung beliebig im Bereich von 0,3 bis 1,2 kW geregelt werden kann, sehr vielseitig.

Ein Hauptanwendungsgebiet in der Produktion ist die HF-Vorsorgung ein- oder mehrerer Arbeitsrichtungen; z. B. von Schweißpressen der Type HSP 80 und HSP 400 oder entsprechender Vorwärmanlagen (Arbeitskondensatoren) für Kunststoffprüfmaschinen. Die HF-Energie des Generators ist ausreichend, um etwa 250 bis 300 g Prüfmasse in max. 1 min. auf die entsprechende Vorwärmtemperatur zu bringen.

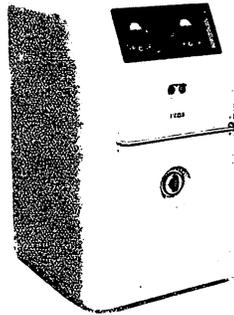
Auch ist der Generator, besonders durch seine kontinuierliche Leistungsstellung, für Interessenten geeignet, die grundsätzliche Untersuchungen auf dem Gebiet der Hochfrequenzwärme durchführen.

Bei Verwendung entsprechender Arbeitsrichtungen läßt sich der Generator auch zum induktiven Erwärmen von metallischen Werkstücken der Feinwerktechnik einsetzen. Z. B. Oberflächenhärten, Löten usw.

Weitere Anwendungen bestehen bei allen Arbeitsprozessen, bei denen durch ein entsprechendes Abstimme- bzw. Regelglied ein Kurzschlußwiderstand von 70 Ohm mit Sicherheit gehalten werden kann.

Wirtschaftlichkeit

Bei der Anschaffung einer HF-Anlage gelten in bezug auf die Wirtschaftlichkeit die gleichen Voraussetzungen wie bei allen Produktionsmitteln; es muß ein genügender Materialdurchlauf gewährleistet sein, so daß die Anlage ausgelastet werden kann. Sind diese Voraussetzungen vorhanden, so kann ohne Übertreibung gesagt werden, daß dieses Warmbehandlungsverfahren in bezug auf die Wirtschaftlichkeit der bisherigen Warmbehandlungstechnik weit überlegen ist. Dazu tragen vor allem folgende Faktoren bei: Da die Wärme allein im Werkstück erzeugt wird, betragen die Wärmeverluste nur einen Bruchteil gegenüber den bisher üblichen Verfahren. Diese Tatsache ist gleichbedeutend einer Energieeinsparung. Außerdem besteht



HIF-WÄRMEGENERATOR 1 KW
für dielektrische Erwärmung Typ Nr. 1721.2

Technische Daten:

Frequenz:	27.12 MHz \pm 0,6 %
HF-Leistung:	1 kW
HF-Ausgang:	Buchse für konz. 70-Ohm-Kabel
Röhrenbestückung:	2 \times SRS 03 3 \times P 50/1 SiV 280/40 3 \times OSW 3401 3 \times OSW 3402
Netzanschluß:	3/50 Hz 380 V
Leistungsaufnahme:	3,5 kVA
Abmessungen:	Tiefe: 700 mm Breite: 700 mm Höhe: 1100 mm

Exportinformation durch „DIA“ Deutscher Innen- und Außenhandel Elektro-
technik, Berlin C 2, Liebknechtstraße 14, Telegrammadresse: DIAELEKTRO
Berlin.

(285) KONSUM Druck Spindlersfeld B 6197 1 1434

Allgemeines

Die industrielle Hochfrequenztechnik lieferte in jüngster Zeit einen bedeutenden, wenn nicht überhaupt den größten Beitrag auf dem Gebiet der Warmbehandlung von Werkstoffen. Ihre oft erstaunlichen Vorzüge führen in steigendem Maße zur Einführung in die Industrie. Sie hat sich praktisch zum modernsten Warmbehandlungsverfahren in der Produktion entwickelt und dient sowohl zur Erwärmung von elektrisch leitenden als auch von nichtleitenden Stoffen. Ihre vielseitigen Anwendungsformen sowie völlig neue und noch nicht im entferntesten ausgeschöpften Möglichkeiten für die Warmbehandlungstechnik und unwäsende Produktionsvereinfachungen, nicht zuletzt auch qualitative und quantitative Verbesserungen der Produktion, fordern von jedem verantwortungsbewußten Betriebsfachmann, daß die Hochfrequenzwärme beim Bestreben um bessere Produktionsergebnisse ernsthaft in Erwägung gezogen wird.

Das Funkwerk Köpenick wird Sie dabei jederzeit gern beraten und Ihnen nach Ihren Angaben weitere Vorschläge unterbreiten.

Anwendungsgebiete

Dieser HF-Generator in Verbindung mit den erforderlichen Zusatzgeräten, den sogenannten HF-Werkzeugen, die zur Übertragung der HF-Energie dienen, kommt allgemein zur Erwärmung von elektrisch leitenden Werkstoffen zum Einsatz.

1. Oberflächen- und Durchhärtung von kleinen Zahn- und Schneckenrädern, Gewinde- und Spiralbohrern, Sägeblättern und Schnittmessern.

Vor der Härtung können die Werkstücke fertig bearbeitet werden und sind unmittelbar nach der Härtung in den meisten Fällen ohne Nachbearbeitung einbaufertig und verwendungsfähig.

2. Glühen, besonders Elektroden in evakuierten Glaskolben, wie Röhren, Leuchtrohren und dergl., Spannungsfreiglühen und örtliches Anlassen.
3. Hart- und Weichlöten von kleineren Teilen.
4. Schmelzen in Hochfrequenzöfen. Auch unter Vakuum, besonders für Laborzwecke.

Bei Bedarf können hierzu auch Vorrichtungen zum selbsttätigen intermittierenden bzw. kontinuierlichen Beschicken der HF-Wärmewerkzeuge angeboten werden.

Wirtschaftlichkeit

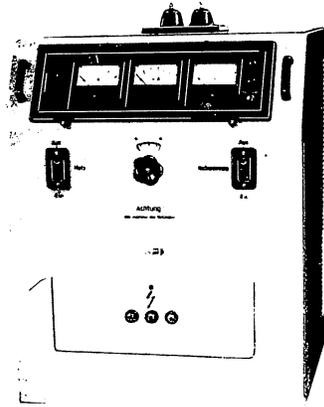
Bei der Anschaffung einer HF-Anlage gelten in bezug auf die Wirtschaftlichkeit die gleichen Voraussetzungen wie bei allen Produktionsmitteln; es muß ein genügender Materialdurchlauf gewährleistet sein, so daß die Anlage ausgelastet werden kann. Sind diese Voraussetzungen vorhanden, so kann ohne Übertreibung gesagt werden, daß dieses Warmbehandlungsverfahren in bezug auf die Wirtschaftlichkeit der bisherigen Warmbehandlungstechnik weit überlegen ist. Dazu tragen vor allem folgende Faktoren bei: Da die Wärme allein im Werkstück erzeugt wird, betragen die Wärmeverluste nur einen Bruchteil gegenüber den bisher üblichen Verfahren. Diese Tatsache ist gleichbedeutend einer Energieeinsparung. Außerdem besteht wohl in keinem anderen Falle die Möglichkeit der Automatisierung des Arbeitsprozesses. Die Anlage läßt sich räumlich bequem in den organischen Fertigungsablauf einbauen, wodurch besonders bei größeren Werkstücken erhebliche Transportkosten eingespart werden. Die durch die Eigenheit der HF-Warmbehandlung bedingten Vorteile gestatten es, in vielen Fällen auf eine Nachbehandlung (richten, schleifen), zu verzichten.

Bedienung und Wartung

Der Generator ist den besonderen industriellen Betriebsbedingungen angepaßt und überrascht durch seinen einfachen und übersichtlichen Aufbau und leichte Bedienbarkeit, so daß die Arbeiten an der Anlage von ungelerten Kräften ausgeführt werden können. Die Wartung der Anlage geht nicht über den Rahmen der üblichen Wartung von Maschinen hinaus. Es wird lediglich erforderlich sein, daß in Räumen, die besonders der Verschmutzung ausgesetzt sind, das Gerät des öfteren vom Staub gereinigt wird.

Störfreiheit

Das Gerät entspricht in hochfrequenztechnischer Hinsicht den Bestimmungen über die Störfreiheit von Industrieseudern. Es gilt mit dem Typenschild als eine den Bestimmungen entsprechende Anlage und kann somit ohne die Einholung einer bestimmten Genehmigung in Betrieb genommen werden und ist nur meldepflichtig.



HF-WARMEGENERATOR 2 KW
für induktive Erwärmung Typ-Nr. 1711.1

Technische Daten:

Arbeitsfrequenz:	400 kHz
Ausweichbereich:	125—450 kHz
Abgebbare HF-Leistung:	2,4 kW
Energieregelung:	durch Variometer (Rückkopplung)
Netzanschluß:	3/0 50 Hz 380/220 V
Zulässige Netzspannungsschwankung:	± 10%
Leistungsaufnahme:	5 kVA
Röhrenbestückung:	3 Röhren SRS 01 3 Gleichrichterröhren OSW 3402
Abmessungen:	Breite: 800 mm Höhe: 1030 mm Tiefe: 850 mm
Gewicht:	300 kg

Auch auf dem Gebiet des Hart- und Weichlotens ist die Leistungsfähigkeit der Anlage überzeugend. Es wurde zum Beispiel das Löten von Kühler-Elementen mit einem Vorschub von 3,5 m/min. durchgeführt. Bei Ausführung der gleichen Arbeit mittels Flammenlötlung wurde die doppelte Zeit benötigt, wobei nicht die gleiche Qualität erreicht wurde. Auch auf den anderen Anwendungsgebieten sind die Vorteile der HF-Wärme nicht zu übersehen.

Bedienung und Wartung

Der Generator ist den besonderen industriellen Betriebsbedingungen angepaßt und überrascht durch seinen einfachen und übersichtlichen Aufbau und leichte Bedienbarkeit, so daß die Arbeiten an der Anlage von ungelehrten Kräften ausgeführt werden können. Die Wartung der Anlage geht nicht über den Rahmen der üblichen Wartung von Maschinen hinaus. Es wird lediglich erforderlich sein, daß in Räumen, die besonders der Verschmutzung ausgesetzt sind, das Gerät des öfteren vom Staub gereinigt wird.

Störfreiheit

Das Gerät entspricht in hochfrequenztechnischer Hinsicht den Bestimmungen über die Störfreiheit von Industriesendern. Es gilt mit dem Typenschild als eine den Bestimmungen entsprechende Anlage und kann somit ohne die Einholung einer bestimmten Genehmigung in Betrieb genommen werden und ist nur meldepflichtig.

Exportinformation durch „DIA“ Deutscher Innen- und Außenhandel Elektrotechnik, Berlin C 2, Liebknechtstraße 14, Telegrammadresse: DIAELEKTRO Berlin.

Allgemeines

Die industrielle Hochfrequenztechnik lieferte in jüngster Zeit einen bedeutenden, wenn nicht überhaupt den größten Beitrag auf dem Gebiet der Warmbehandlung von Werkstoffen. Ihre oft erstaunlichen Vorzüge führen in steigendem Maße zur Einführung in die Industrie. Sie hat sich praktisch zum modernsten Warmbehandlungsverfahren in der Produktion entwickelt und dient sowohl zur Erwärmung von elektrisch leitenden als auch von nichtleitenden Stoffen. Ihre vielseitigen Anwendungsformen sowie völlig neu und noch nicht im entferntesten ausgeschöpften Möglichkeiten für die Warmbehandlungstechnik und umwälzende Produktionsvereinfachungen, nicht zuletzt auch qualitative und quantitative Verbesserungen der Produktion, fordern von jedem verantwortungsbewußten Betriebsfachmann, daß die Hochfrequenzwärme beim Bemühen um bessere Produktionsergebnisse ernsthaft in Erwägung gezogen wird.

Das Funkwerk Köpenick wird Sie dabei jederzeit gern beraten und Ihnen nach Ihren Angaben weitere Vorschläge unterbreiten.

Anwendungsgebiete

Dieser HF-Generator in Verbindung mit den erforderlichen Zusatzgeräten, den sogenannten HF-Werkzeugen, die zur Übertragung der HF-Energien dienen, kommt allgemein zur Erwärmung von elektrisch leitenden Werkstoffen zum Einsatz.

1. Oberflächen- und Durchhärtung von kleineren Zahn- und Schneckenrädern (Modul 5), Gewinde- und Spiralbohrern, Sägeblättern und Schnittmessern, Wellen, Achsen, Bolzen, Spindeln sowie anderen Maschinenteilen.
Vor der Härtung können die Werkstücke fertig bearbeitet werden und sind unmittelbar nach der Härtung in den meisten Fällen ohne Nachbearbeitung einbaufertig und verwendungsfähig.
Jede gewünschte Härtetiefe bis zur Durchhärtung und scharfe Begrenzung der Harte-Fläche ist möglich.
2. Glühen, Spannungsfreiglühen, örtliches Anlassen oder Ausgleichen, Induktionserhitzung für das durchgehende Erwärmen von Werkstücken und örtlich beschränkter Teile derselben, Verwendung in der Feinschmiedetechnik.
Verflüssigung elektrisch niedergeschlagener Zinnüberzüge, die dadurch dichter und säurebeständiger werden (Konservenindustrie).
3. Hart- und Weichlöten. Die Erwärmung der Verbindungsstellen geschieht so schnell, daß eine Oxydation weitgehendst verhindert wird.

4. Schmelzen in Hochfrequenzöfen, besonders zur Herstellung von genauen Legierungen und Edelstählen.
5. Sintern, Pulvermetallurgie.

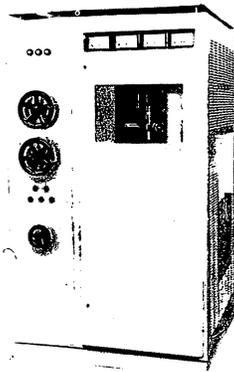
Bei Bedarf können hierzu auch Vorrichtungen zum selbsttätigen intermittierenden bzw. kontinuierlichen Beschicken der HF-Wärmewerkzeuge angeboten werden.

Wirtschaftlichkeit

Bei der Anschaffung einer HF-Anlage gelten in bezug auf die Wirtschaftlichkeit die gleichen Voraussetzungen wie bei allen Produktionsmitteln; es muß ein genügender Materialdurchlauf gewährleistet sein, so daß die Anlage ausgelastet werden kann. Sind diese Voraussetzungen vorhanden, so kann ohne Übertreibung gesagt werden, daß dieses Warmbehandlungsverfahren in bezug auf die Wirtschaftlichkeit der bisherigen Warmbehandlungs-Technik weit überlegen ist. Dazu tragen vor allem folgende Faktoren bei: Da die Wärme allein im Werkstück erzeugt wird, betragen die Wärmeverluste nur einen Bruchteil gegenüber den bisher üblichen Verfahren. Diese Tatsache ist gleichbedeutend einer Energieeinsparung. Außerdem besteht wohl in keinem anderen Falle die Möglichkeit der Automatisierung des Arbeitsprozesses. Die Anlage läßt sich räumlich bequem in den organischen Fertigungsablauf einbauen, wodurch besonders bei größeren Werkstücken erhebliche Transportkosten eingespart werden. Die durch die Eigenheit der HF-Warmbehandlung bedingten Vorteile gestatten es, in vielen Fällen auf eine Nachbehandlung (richten, schleifen), zu verzichten.

Das Anwendungsgebiet, das für die HF-Wärme zweifellos die größte Bedeutung besitzt, ist die Oberflächenhärtung. Ganz beträchtlich ist hier die Einsparung allein an Energiekosten, besonders bei größeren Werkstücken, an denen nur ein kleiner Teil gehärtet wird. Von den in der Produktion befindlichen Anlagen liegen Angaben vor, nach denen Energieeinsparungen gegenüber der Einsatzhärtung von mehr als 80 Prozent ermittelt wurden. Auch gegenüber der Brennhärtung wurde festgestellt, daß bei Ausführung der gleichen Arbeit mit einer HF-Zahnradhärteanlage nur 5 Prozent der Energiekosten erforderlich waren. Hinzu kommt eine ganz erhebliche Produktionserhöhung bei gleichzeitiger Vermeidung jeglichen Ausschusses. In den meisten Fällen kann auf eine Nacharbeit verzichtet werden, wodurch sich die Wirtschaftlichkeit der Anlage weiter erhöht.

Um einige Angaben über die Leistungsfähigkeit der Anlage zu machen, sei erwähnt, daß für eine Oberflächenhärtung von Laufzapfen für Motorwellen bei einer Einhärtetiefe von ungefähr 0,8 mm, bei einem Durchmesser von 10 mm und einer Länge von 25 mm etwa eine Sekunde Härtezeit pro Zapfen benötigt werden. Für die Härtung von Sägeblättern im Vorschubverfahren sind etwa 10 Sekunden pro Stück erforderlich.



HF-WÄRMEGENERATOR 10 KW

für induktive Erwärmung, Typ Nr. 17124

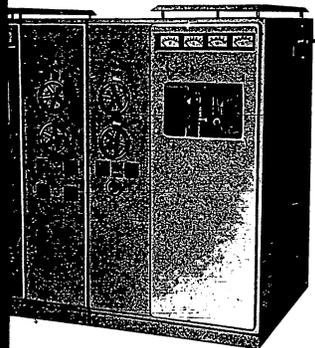
Technische Daten:

Frequenz:	400 kHz
Ausweichbereich:	350—450 kHz
HF-Leistung:	10 kW
Energieregulung:	kontinuierlich durch Anodenspannungsänderung
HF-Ausgang:	Klemmen auf keramischer Grundplatte
Netzanschluß:	Klemmverbindungen: 3/0 50 Hz 380/220 V
Zulässige Netzspannungsschwankung:	± 5 %
Leistungsaufnahme:	35 kVA
Röhrenbestückung:	1 Senderöhre RS 255 6 Gleichrichterröhren OSW
Kühlwasserbedarf:	a) für die Senderöhre 10 L/min. b) für die Arbeitsspulen bis 10 L/min. (je nach Arbeitsverfahren)
Abmessungen:	Höhe: 1950 mm Breite: 1250 mm Tiefe: 1300 mm

Betrifft: Ergebnisse beim Härten
von Stirnrädern Modul
8 mit 65 Zähnen mit der
20 kW HF-Zahnradhärte-
anlage.

1. Die HF-Zahnradhärteanlage ermöglicht ein gleichmäßiges Härten.
2. Verschleiß entstand bisher nicht.
3. Tageshärteleistung mit autogenem Brennen 18 Stck.
Tagesleistung mit HF-Energie 60 Stck.
4. Gaskosten bei Brennhärtung DM 10.25 je Rad.
Energiekosten bei HF-Härtung DM -.40 je Rad.

Hochfrequenz-Wärmegenerator 20 kW
17123 für induktive Erwärmungszwecke



400 kHz
300 ... 450 kHz
20 kW
Durch Anodenspannungsänderung
3 0 50 Hz 380/220 V + 10%
50 kVA

- 1 Senderöhre RS 255
- 6 Gleichrichterröhren OSW 3414.
- a) für die Senderöhre 45 l/min.
Rohwasser
- b) für die Arbeitsspule 10 l/min. oder
mehr, je nach Arbeitsverfahren
(Rohwasser)

Gegenstrom-Rückkühlanlage:	
Länge 400 mm	
Höhe 1800 mm	
Tiefe 1200 mm	

Das Anwendungsgebiet, das für die HF-Wärme zweifellos die größte Bedeutung besitzt, ist die Oberflächenhärtung. Ganz beträchtlich ist hier die Einsparung allein an Energiekosten besonders bei größeren Werkstücken, an denen nur ein kleiner Teil gehärtet wird. Von den in der Produktion befindlichen Anlagen liegen Angaben vor, nach denen Energieeinsparungen gegenüber der Einsatzhärtung von mehr als 80 Prozent ermittelt wurden. Auch gegenüber der Brennhärtung wurde festgestellt, daß bei Ausführung der gleichen Arbeit mit einer HF-Zahnradhärteanlage nur fünf Prozent der Energiekosten erforderlich waren. Hinzu kommt eine ganz erhebliche Produktionserhöhung bei gleichzeitiger Vermeidung jeglichen Ausschusses. In den meisten Fällen kann auf eine Nacharbeit verzichtet werden, wodurch sich die Wirtschaftlichkeit der Anlage weiter erhöht.

Um einige Angaben über die Leistungsfähigkeit der Anlage zu machen, sei erwähnt, daß für die Oberflächenhärtung von Lauzapfen für Motorwellen bei einer Einhärtetiefe von ungefähr 0,8 mm, bei einem Durchmesser von 10 mm und einer Länge von 25 mm etwa 0,5 Sekunden Härtezeit pro Zapfen benötigt werden. Für die Härtung von Ventilszapfen ist etwa 1,6 Sekunden pro Stück erforderlich. Bei einer Härtung von Nocken für Ventilheber konnten etwa 3000 Stück/h gehärtet werden.

Auch auf dem Gebiet des Hart- und Weichlötens ist die Leistungsfähigkeit der Anlage überzeugend. Es wurde zum Beispiel das Löten von Kühler-Elementen mit einem Vorschub von 8 m/min. durchgeführt. Bei Ausführung der gleichen Arbeit mittels Flammenlötlötung wurde die doppelte Zeit benötigt, wobei nicht die gleiche Qualität erreicht wurde. Auch auf den anderen Anwendungsgebieten sind die Vorteile der HF-Wärme nicht zu übersehen.

Bedienung und Wartung

Der Generator ist den besonderen industriellen Betriebsbedingungen angepaßt und überrascht durch seinen einfachen und übersichtlichen Aufbau und leichte Bedienbarkeit, so daß die Arbeiten an der Anlage von ungelerten Kräften ausgeführt werden können. Die Wartung der Anlage geht nicht über den Rahmen der üblichen Wartung von Maschinen hinaus. Es wird lediglich erforderlich sein, daß in Räumen, die besonders der Verschmutzung ausgesetzt sind, das Gerät des öfteren vom Staub gereinigt wird.

Störfreiheit

Das Gerät entspricht in hochfrequenztechnischer Hinsicht den Bestimmungen über die Störfreiheit von Industriesendern. Es gilt mit dem Typenschild als eine den Bestimmungen entsprechende Anlage und kann somit ohne die Einholung einer bestimmten Genehmigung in Betrieb genommen werden und ist nur meldepflichtig.

Export-Information durch „DIA“ Deutscher Innen- und Außenhandel Elektrotechnik — Berlin C2, Liebknechtstraße 14, Telegramm-Adresse: Dia elektro Berlin

Die Hochfrequenztechnik liefert in jüngster Zeit einen bedeutenden nicht überhaups den größten Beitrag auf dem Gebiet der Erwärmung von Werkstoffen. Ihre oft erstaunlichen Vorzüge führen zum Maße zur Einführung in die Industrie. Sie hat sich praktisch als erstes Warmbehandlungsverfahren in der Produktion entwickelt sowohl zur Erwärmung von elektrisch leitenden als auch von nichtleitenden. Ihre vielseitigen Anwendungsformen sowie völlig neue und im entferntesten ausgeschöpften Möglichkeiten für die Warmgusstechnik und umwälzende Produktionsvereinfachungen, nicht zu quantitativen und qualitativen Verbesserungen der Produktion, fordern den verantwortungsbewußten Betriebsfachmann, daß die Hochfrequenzwärme beim Bemühen um bessere Produktionsergebnisse ernsthaft in Betracht gezogen wird.

Die Firma Köpenick wird Sie dabei jederzeit gern beraten und Ihnen für Ihre Anfragen weitere Vorschläge unterbreiten.

Anwendungsbereiche

Die Hochfrequenzanlage wird in Verbindung mit den erforderlichen Zusatzgeräten, den sogenannten HF-Werkzeugen, die zur Übertragung der HF-Energie kommen, allgemein zur Erwärmung von elektrisch leitenden Werkstoffen eingesetzt.

Obertflächen- und Durchhärtung von Zahn- und Schneckenrädern, Gewinde- und Spiralbohrern, Wellen, Achsen, Bolzen, Spindeln sowie anderen Maschinenteilen.

Vor der Härtung können die Werkstücke fertig bearbeitet werden und sind unmittelbar nach der Härtung in den meisten Fällen ohne Nachbearbeitung einbaufähig und verwendungsfähig.

Die gewünschte Härtetiefe bis zur Durchhärtung und scharfe Begrenzung der Harteffläche ist möglich.

Die Induktion, Spannungsfreiglühen, örtliches Anlassen oder Ausglühen, Induktionserwärmung für das durchgehende Erwärmen von Werkstücken und örtlich beschränkter Teile davon, die Anwendung in der Feinschmiedetechnik, Verflüssigung elektrisch leitender geschlagener Zinnüberzüge, die dadurch dichter und beständiger werden (Konservenindustrie).

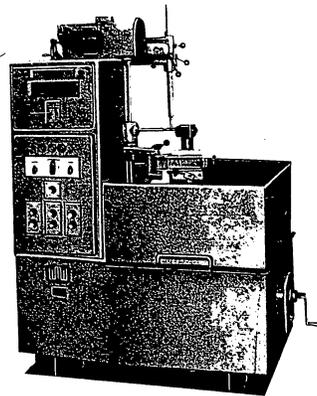
Die Erwärmung der Verbindungsstellen von Weichloten.

Die Erwärmung der Verbindungsstellen von Weichloten so schnell, daß eine Oxydation verhindert wird.

Die Erwärmung in Hochfrequenzöfen, besonders zur Herstellung von Legierungen und Edelstählen.

Die Erwärmung von Metallelegierungen.

Hierzu auch Vorrichtungen zum selbsttätigen intermittierenden Erhitzen der HF-Wärmewerkzeuge an



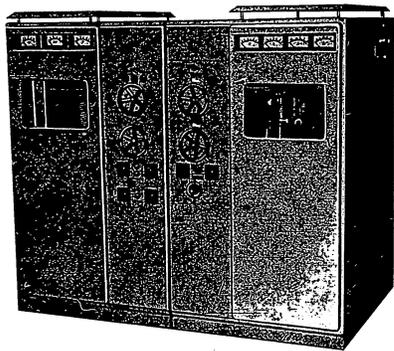
Zahnradhärteanlage IHZ 420

Wirtschaftlichkeit

Bei der Anschaffung einer HF-Anlage gelten in bezug auf die Wirtschaftlichkeit die gleichen Voraussetzungen wie bei allen Produktionsmitteln, es muß ein genügender Materialdurchlauf gewährleistet sein, so daß die Anlage ausgelastet werden kann. Sind diese Voraussetzungen vorhanden, so kann ohne Übertreibung gesagt werden, daß dieses Warmbehandlungsverfahren in bezug auf die Wirtschaftlichkeit der bisherigen Warmbehandlungstechnik weit überlegen ist. Dazu tragen vor allem folgende Faktoren bei: Da die Wärme allein im Werkstück erzeugt wird, betragen die Wärmeverluste nur einen Bruchteil gegenüber den bisher üblichen Verfahren. Diese Tatsache ist gleichbedeutend einer Energieeinsparung. Außerdem besteht wohl in keinem anderen Falle die Möglichkeit der Automatisierung des Arbeitsprozesses. Die Anlage läßt sich räumlich bequem in den organischen Fertigungsablauf einbauen, wodurch besonders bei größeren Werkstücken erhebliche Transportkosten eingespart werden. Die durch die Eigenheit der HF-Warmbehandlung bedingten Vorteile gestatten es, in vielen Fällen auf eine Nachbehandlung (richten, schleifen) zu verzichten.

Hochfrequenz-Wärmegenerator 20 kW

Typ 1712.3 für induktive Erwärmungszwecke



Technische Daten:

Arbeitsfrequenz: 400 kHz
 Ausweichbereich: 300 ... 450 kHz
 Abgebare HF-Leistung: 20 kW
 Energieregulierung: Durch Anodenspannungsänderung
 Netzanschluß: 3 0 50 Hz 380/220 V + 10%
 Leistungsaufnahme: 50 kVA
 Röhrenbestückung: 1 Senderöhre RS 255
 6 Gleichrichterröhren OSW 3414.

Kühlwasserbedarf:

a) für die Senderöhre 45 l/min.
 Rohwasser
 b) für die Arbeitsspule 10 l/min. oder
 mehr, je nach Arbeitsverfahren
 (Rohwasser)

Abmessungen:

Senderteil:	Netzteil:	Gegenstrom-Rückkühlanlage:
Länge 1100 mm	Länge 1100 mm	Länge 400 mm
Höhe 1950 mm	Höhe 1950 mm	Höhe 1800 mm
Tiefe 1200 mm	Tiefe 1200 mm	Tiefe 1200 mm

Allgemeines

Die industrielle Hochfrequenztechnik liefert in jüngster Zeit einen bedeutenden, wenn nicht überhaupt den größten Beitrag auf dem Gebiet der Warmbehandlung von Werkstoffen. Ihre oft erstaunlichen Vorzüge führen in steigendem Maße zur Einführung in die Industrie. Sie hat sich praktisch zum modernsten Warmbehandlungsverfahren in der Produktion entwickelt und dient sowohl zur Erwärmung von elektrisch leitenden als auch von nicht-leitenden Stoffen. Ihre vielseitigen Anwendungsformen sowie völlig neue und noch nicht im entferntesten ausgeschöpften Möglichkeiten für die Warmbehandlungstechnik und umwälzende Produktionsvereinfachungen, nicht zuletzt auch qualitative und quantitative Verbesserungen der Produktion, fordern von jedem verantwortungsbewußten Betriebsfachmann, daß die Hochfrequenzwärme beim Bemühen um bessere Produktionsergebnisse ernsthaft in Erwägung gezogen wird.

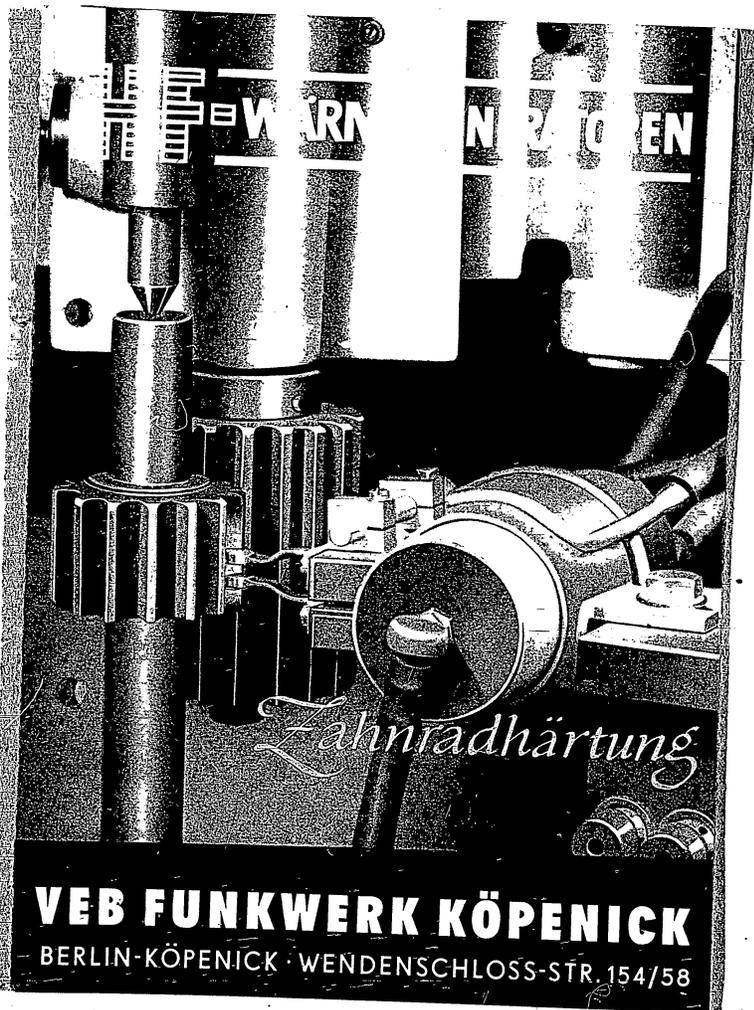
Das Funkwerk Köpenick wird Sie dabei jederzeit gern beraten und Ihnen nach Ihren Angaben weitere Vorschläge unterbreiten.

Anwendungsgebiete

Dieser HF-Generator in Verbindung mit den erforderlichen Zusatzgeräten, den sogenannten HF-Werkzeugen, die zur Übertragung der HF-Energie dienen, kommt allgemein zur Erwärmung von elektrisch leitenden Werkstoffen zum Einsatz.

1. Oberflächen- und Durchhärtung von Zahn- und Schneckenrädern, Gewinde- und Spiralbohrern, Wellen, Achsen, Bolzen, Spindeln sowie anderen Maschinenteilen.
 Vor der Härtung können die Werkstücke fertig bearbeitet werden und sind unmittelbar nach der Härtung in den meisten Fällen ohne Nachbearbeitung einbaufertig und verwendungsfähig.
 Jede gewünschte Härtetiefe bis zur Durchhärtung und scharfe Begrenzung der Härtefläche ist möglich.
2. Glühen, Spannungsfreiglühen, örtliches Anlassen oder Ausgleichen, Induktionserhitzung für das durchgehende Erwärmen von Werkstücken und örtlich beschränkter Teile davon, Verwendung in der Feinschmiedetechnik, Verflüssigung elektrisch niedergeschlagener Zinnüberzüge, die dadurch dichter und säurebeständiger werden (Konservenindustrie).
3. Hart- und Weichlöten. Die Erwärmung der Verbindungsstellen geschieht so schnell, daß eine Oxydation verhindert wird.
4. Schmelzen in Hochfrequenzöfen, besonders zur Herstellung von genauen Legierungen und Edelmetallen.
5. Sintern, Pulvermetallurgie.

Bei Bedarf können hierzu auch Vorrichtungen zum selbsttätigen intermittierenden bzw. kontinuierlichen Beschicken der HF-Wärmewerkzeuge angeboten werden.



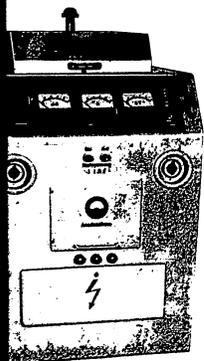
WARN **ROTEN**

Zahnradhärtung

VEB FUNKWERK KÖPENICK
BERLIN-KÖPENICK · WENDENSCHLOSS-STR. 154/58



Wärmegenerator 1,5 KW
 für industrielle Erwärmungszwecke mit Werkzeughaube



27,12 MHz \pm 0,6%
 - 1,5 kW

200 mm
 80 mm)
 bar bis
 von
 (ndell)

30 50 Hz 380 220 V
 + 5%
 bei Leerlauf: 1,3 kVA

102 i 3 Gleichrichterröhren OSW 3402
 1 STV 280 40
 1 STV 70 6

stellbar von 0,2-6 min
 1140 mm Höhe 1430 mm
 300 kg

Den bisher größten Fortschritt hat die Hochfrequenzwärme dem Pressen von Kunststoffen gebracht. Ihr werden dadurch überhaupt erst die Wege zu ihrer gegenwärtigen Bedeutung in der Industrie gebahnt. Thermohärtbare Massen werden bekanntlich zur Herstellung vieler Teile verwendet. Sie basieren auf Phenol oder Harnstoffharzen, denen geeignete Füllstoffe aus Holz oder Textilien beigegeben sind. Derartige Massen müssen auf etwa 130 C erwärmt werden und nehmen dann einen plastischen Zustand an, so daß sie beim Verpressen durch Verfließen in jede gewünschte Form gebracht werden können. Unter Einhaltung einer gewissen Stehzeit, in der durch exothermische Nachwirkung eine weitere Temperaturerhöhung um 15 bis 20 C eintritt, wird eine chemische Reaktion hervorgerufen, die zum Aushärten des Preßlings führt und als Polymerisation bekannt ist. Das Vorwärmen in der bisherigen Art, nämlich durch Erwärmung im Ofen, zeigt erhebliche Mängel. Infolge der schlechten Wärmeleitfähigkeit aller Preßstoffe nimmt diese Vorbehandlung durch Wärmeleitung von außen in das Innere der Masse einen beträchtlichen Teil der Vorgangszeit in Anspruch. Es kann sogar vorkommen, daß bei unvorsichtiger Dosierung der Wärme die Preßmasse an der Oberfläche schon hart wird, ehe sie in die Preßform kommt oder es ist noch nicht die notwendige Plastizität erreicht, was zu besonderer Werkzeugbeanspruchung führt. Für das Vorwärmen von Preßmassen in Tablettenform eignet sich die dielektrische Erwärmung ganz besonders dadurch, daß auch hier — wie bei allen anderen Verfahren — die Erwärmung von innen heraus geschieht und einen annähernd gleichen Temperaturverlauf im Gut gewährleistet. Die Aufheizzeit ist bedeutend kürzer und ein Ausschuß der fertigen Preßteile ist durch die gleichmäßige Erwärmung fast ganz zu vermeiden.

Export-Information durch „DIA“ Deutscher Innen- und Außenhandel
 Elektrotechnik — Berlin C 2, Liebknechtstraße 14, Telegramm-Adresse: Di
 elektro Berlin

(285) KONSUM-Druck Spindlersfeld 6057 1,5 1236

Aufbau:

Wärmegenerator 1,5 kW eignet sich zum Vorwärmen von Preßgut ca. 450 g. Der Werkzeugkreis besteht aus zwei parallel angeordnete Kondensatorplatten, zwischen die das Preßgut eingelegt wird. Elektrode ist in der Höhe verstellbar, so daß mit ihr eine Anpassung des Arbeitsvolumen erfolgen kann.

Bedienung:

Der Kondensator bildet einen Teil des Schwingkreises des Generators. Die Einstellung erfolgt automatisch durch ein Regelgerät. Die Dauer der Preßzeit kann durch ein Zeitschaltwerk eingestellt werden.

Arbeitsverfahren:

Der Generator mit dem angebauten Werkzeug soll nach Möglichkeit dicht an der Presse aufgestellt werden, um einen unnötigen Wärmeverlust zu vermeiden.

Wegen der Preßmasse zwischen den Elektroden, der auf der Deckplatte der Presse, die Abdeckung seiner Abdeckung der Handhabung auf Grund der Gefahr der Verletzung durch die Preßmasse zu vermeiden.

Leistungsfähigkeit:

Die benötigte HF-Leistung für 450 g Preßmasse bei einer Aufheizzeit von etwa 1,5 min. ist 1,5 kW. Im allgemeinen beträgt der Leistungsbedarf 3 bis 4,5 W/cm² pro Min. Wie bereits ausgeführt, wird die erforderliche Behandlungszeit für die Vorwärmung stark verkürzt und beträgt nur noch ein Fünftel bis ein Drittel der alten Verfahren. Die Zeiteinsparung wird bei Dicken von mehr als 6 mm von zunehmender Bedeutung. Die Preßtechnik kann mit Hilfe der dielektrischen Aufheizzeit überhaupt viel dickere Werkstücke herstellen als früher. Ebenso können die Formen viel komplizierter sein und einwandfreier verpreßt werden. Die Standzeit der Presse ist bedeutend kürzer, der Preßdruck wesentlich geringer und somit wird die Lebensdauer der Preßformen wesentlich verlängert.

Bedienung und Wartung:

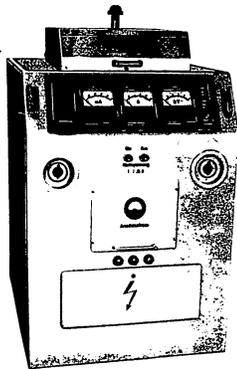
Der Generator ist den besonderen industriellen Betriebsbedingungen angepaßt und überrascht durch seinen einfachen und übersichtlichen Aufbau und leichte Bedienbarkeit, so daß die Arbeiten an der Anlage von ungelerten Kräften ausgeführt werden können. Die Wartung der Anlage geht nicht über den Rahmen der üblichen Wartung von Maschinen hinaus. Es wird lediglich erforderlich sein, daß in Räumen, die besonders der Verschmutzung ausgesetzt sind, das Gerät des öfteren vom Staub gereinigt wird.

Störfreiheit:

Das Gerät entspricht in hochfrequenztechnischer Hinsicht den Bestimmungen über die Störfreiheit von Industriesendern. Es gilt mit dem Typenschild als eine den Bestimmungen entsprechende Anlage und kann somit ohne die Einholung einer bestimmten Genehmigung in Betrieb genommen werden und ist nur meldepflichtig.

Hochfrequenz-Wärmegenerator 1,5 KW

Typ 1721.6 für dielektrische Erwärmungszwecke mit Werkzeughaube

**Technische Daten:**

Arbeitsfrequenz: 27,12 MHz + 0,6%
 HF Ausgang: 1,5 kW
 Arbeitskondensator 280x200 mm
 (nutzbare Fläche 260x180 mm)
 Plattenabstand einstellbar bis
 max. 70 mm (abzulesen von
 3 70 mm an Meßspindel)
 Netzanschluß: 3 0 50 Hz 380/220 V
 Zulässige Netzschwankung: + 5%
 Leistungsaufnahme: 4,8 kVA
 bei Leerlauf: 1,3 kVA
 Röhrenbestückung:
 2 Röhren RS 207 2 Röhren S 1 02 i 3 Gleichrichterröhren OSW 3402
 3 Röhren P 50 1 1 Röhre EL 12 1 STV 280,40
 2 Röhren 6 H 6 1 Röhre AZ 12 1 STV 70,6
 Zeitschaltwerk: einstellbar von 0,2—6 min
 Abmessungen: Breite 850 mm Tiefe 1140 mm Höhe 1430 mm
 Gewicht: etwa 300 kg

Maschinenaufbau:

Der HF-Wärmegenerator 1,5 kW eignet sich zum Vorwärmen von Preßmassen von ca. 450 g. Der Werkzeugkreis besteht aus zwei parallel angeordneten Kondensatorplatten, zwischen die das Preßgut eingelegt wird. Die obere Elektrode ist in der Höhe verstellbar, so daß mit ihr eine Anpassung an das Arbeitsvolumen erfolgen kann.

HF-Einrichtung:

Der Arbeitskondensator bildet einen Teil des Schwingkreises des Generators. Die Anpassung erfolgt automatisch durch ein Regelgerät. Die Dauer der Vorwärmzeit kann durch ein Zeitschaltwerk eingestellt werden.

Technologischer Verfahrensablauf:

Der Generator mit dem angebauten Werkzeug soll nach Möglichkeit dicht neben der Presse aufgestellt werden, um einen unnötig langen Transport der vorgewärmten Preßmassen zu vermeiden.

Nach Einlegen der Preßmasse zwischen die Elektrodenplatten des Arbeitskondensators, der auf der Deckplatte des Generators angeordnet ist und nach Schließung seiner Abdeckhaube kann der Arbeitsprozeß durch Einschalten der Hochspannung eingeleitet werden. Die benötigte Vorwärmzeit wurde auf Grund vorhergegangener Versuche genau festgelegt und an dem im Kontrollfeld des Generators befindlichen Zeitschaltwerk eingestellt. Nach Einschalten der Hochspannung läuft der Arbeitsprozeß vollautomatisch ab, d. h. eine Wartung des Generators während der Vorwärmzeit ist nicht erforderlich (ein Einschalten der Hochspannung bei geöffneter Werkzeughaube ist nicht möglich).

Nach Beendigung des Vorwärmprozesses öffnet sich die Abdeckhaube des Arbeitskondensators selbsttätig, die Hochspannung schaltet sich automatisch ab und die vorgewärmten Tabletten können herausgenommen und in die Presse eingelegt werden. Durch die Vorwärmung wird nicht nur die Behandlungszeit in der Preßform (durch Reduzierung der Standzeit auf ca. ein Drittel gegenüber nicht vorgewärmten Massen) stark verkürzt, sondern selbstverständlich auch der Produktionsausstoß vergrößert.

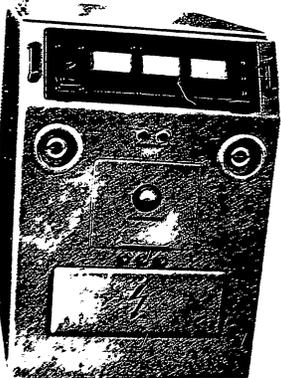
WÄRMEGENERATOREN

*Vorwärmen
von Preßmassen*

VEB FUNKWERK KÖPENICK
BERLIN-KÖPENICK · WENDENSCHLOSS-STR. 154/58

Hochfrequenz-Wärmegenerator

Für die elektrische Erwärmungszwecke
in der Technik, Arbeit und Laborausgang
Typ 3002



Bedienung und Wartung

Die Bedienung des Gerätes erfolgt durch die Bedienungselemente auf der Oberseite des Gerätes. Die Wartung ist durch die Öffnungen an der Unterseite des Gerätes möglich.

Störungen

Die Störungen sind durch die Bedienungselemente auf der Oberseite des Gerätes zu beheben. Die Störungen sind durch die Öffnungen an der Unterseite des Gerätes zu beheben.

Weitere Anwendungsgebiete des Gerätes

- Erwärmung von Flüssigkeiten
- Auslösen von Schweißgelenken und Klebverbindungen
- Erwärmen von Schweiß- und Schweißzusatzstoffen
- Erwärmen von Kunststoffen
- Erwärmen von Lacken
- Erwärmen von Klebstoffen
- Erwärmen von Schweißzusatzstoffen
- Trocknen und Verarbeiten von Materialien

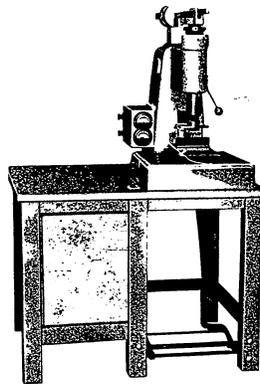
Die Anwendungsgebiete dieses Gerätes sind durch die Liste der weiteren Anwendungsgebiete des HF-Wärmegerätes, die mit dem Gerät geliefert wird, weiter ausgedehnt werden können.

Export-Information durch „DIA“ Deutsches Institut für Außenhandels-Elektrotechnik — Berlin C2, Liebknechtstraße 14, Telegramm-Adresse: Dialektro Berlin

- 1. 2. 3. 4. 5. 6. 7. 8. 9. 10. 11. 12. 13. 14. 15. 16. 17. 18. 19. 20. 21. 22. 23. 24. 25. 26. 27. 28. 29. 30. 31. 32. 33. 34. 35. 36. 37. 38. 39. 40. 41. 42. 43. 44. 45. 46. 47. 48. 49. 50. 51. 52. 53. 54. 55. 56. 57. 58. 59. 60. 61. 62. 63. 64. 65. 66. 67. 68. 69. 70. 71. 72. 73. 74. 75. 76. 77. 78. 79. 80. 81. 82. 83. 84. 85. 86. 87. 88. 89. 90. 91. 92. 93. 94. 95. 96. 97. 98. 99. 100.
- einstellbar von 0,2 - 6 min
Breite 800 mm Tiefe 1000 mm Höhe 1200 mm
etwa 300 kg

(285) KONSUM-Druck Spindlersfeld 6897 13 123

Die Hochfrequenztechnik lieferte in jüngster Zeit einen bedeutenden Beitrag auf dem Gebiet der Wärmebehandlung von Werkstoffen. Ihre oft erstaunlichen Vorzüge führen in großem Maße zur Einführung in die Industrie. Sie hat sich als das praktischste Wärmebehandlungsverfahren in der Produktion entwickelt, sowohl zur Erwärmung von elektrisch leitenden als auch von nicht leitenden Stoffen. Ihre vielseitigen Anwendungsformen sowie völlige Freiheit nicht im entferntesten ausgeschöpften Möglichkeiten für die Fertigungstechnik und umwälzende Produktionsvereinfachungen, auch qualitative Verbesserungen der Produktion, fordern von jedem verantwortungsbewußten Betriebsfachmann, daß die Hochfrequenzbehandlung ein zentraler Bestandteil der Produktion sein sollte. Die Bemühungen um bessere Produktionsergebnisse ernsthaft in Erwägung zu ziehen. Das Funkwerk Köpenick wird Sie dabei jederzeit beraten und Ihnen nach Ihren Angaben weitere Vorschläge unterbreiten.



Schweißpresse HSP 80

Technische Daten:

| | |
|-------------------------------|-------------|
| Preßdruck | max. kg 80 |
| Stempellänge | max. mm 800 |
| Nutzfläche | mm 370×410 |
| Platzbedarf der Maschine..... | mm 740×1020 |
| Höhe der Maschine | mm 1470 |

Technologischer Verfahrensablauf:

Das zu verschweißende Material wird zwischen zwei Elektroden gelegt, die der gewünschten Form entsprechen und dann je nach Stärke des Materials in Bruchteilen von Sekunden bis einigen Sekunden verschweißt. Nach beendigem Schweißvorgang erfolgt das Pressen mit der damit verbundenen Abkühlung. Der Preßdruck beträgt 10 kg/cm² und kann mit max. 80 kg/cm² für 8 cm² Schweißfläche durch Schiebegewichte oben an der Presse variiert werden.

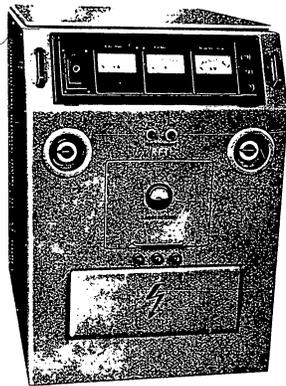
Die Bedienung der Anlage ist sehr einfach. Der Generator wird durch einen Druckschalter eingeschaltet und im Schweiß-Rhythmus getestet. Nachdem die Kunststoff-Folien unter die Elektroden gelegt sind, wird mit einem

Anwendungsbereiche:

In der HF-Behandlung werden für alle Produktionszweige und bei denen die Verwendung von Kunststoffen die Basis der Produktion ist, seitens des Funkwerks Köpenick verschiedene Methoden der Wärmebehandlung entwickelt, die über der Struktur der Folien und damit den Anforderungen des Verbrauchers nicht gewachsen waren. Durch Kleben oder Schweißen wird eine so feste und innige Bindung des Materials erreicht, wie sie durch andere Verfahren nicht zu erzielen ist. Das Schweißverfahren, bei dem gleichzeitig luft- und wasserdichte Verbindungen hergestellt werden, ist ein Beispiel für die vielen Gebrauchsgüter, die durch die Hochfrequenzbehandlung hergestellt werden können.

Hochfrequenz-Wärmegenerator

1,5 kW für dielektrische Erwärmungszwecke
mit abgesetztem Arbeitskreis (Kabelausgang)
Typ 1721.4



Technische Daten:

| | | |
|------------------------------------|--------------------------------|----------------------------|
| Arbeitsfrequenz: | 27,12 MHz | 0,6% |
| Abgebbare HF-Leistung: | 1,5 kW | |
| Netzanschluß: | 3 0 50 Hz | 380/220 V |
| Zulässige Netzspannungsschwankung: | - 5% | |
| Leistungsaufnahme: | 4,8 kVA | |
| bei Leerlauf: | 1,3 kVA | |
| Röhrenbestückung: | 2 Röhren RS 207 | |
| | 3 Röhren P 50/1 | |
| | 3 Gleichrichterröhren OSW 3402 | |
| | 1 STV 280/40 | |
| | 1 STV 70,6 | |
| Zeitschaltwerk: | einstellbar von 0,2—6 min | |
| Abmessungen: | Breite 800 mm | Tiefe 1000 mm Höhe 1200 mm |
| Gewicht: | | etwa 300 kg |

Allgemeines:

Die industrielle Hochfrequenztechnik lieferte in jüngster Zeit einen bedeutenden, wenn nicht überhaupt den größten Beitrag auf dem Gebiet der Warmbehandlung von Werkstoffen. Ihre oft erstaunlichen Vorzüge führen in steigendem Maße zur Einführung in die Industrie. Sie hat sich praktisch zum modernsten Warmbehandlungsverfahren in der Produktion entwickelt und dient sowohl zur Erwärmung von elektrisch leitenden als auch von nichtleitenden Stoffen. Ihre vielseitigen Anwendungsformen sowie völlig neue und noch nicht im entferntesten ausgeschöpften Möglichkeiten für die Warmbehandlungstechnik und umwälzende Produktionsvereinfachungen, nicht zuletzt auch qualitative Verbesserungen der Produktion, fordern von jedem verantwortungsbewußten Betriebsfachmann, daß die Hochfrequenzwärme beim Bemühen um bessere Produktionsergebnisse ernsthaft in Erwägung gezogen wird. Das Funkwerk Köpenick wird Sie dabei jederzeit gern beraten und Ihnen nach Ihren Angaben weitere Vorschläge unterbreiten.

Anwendungsgebiete:

Die Verfahren der HF-Behandlung werden für alle Produktionszweige unentbehrlich, bei denen die Verwendung von Kunststoffen die Basis der Produktion ist. Es gab selbstverständlich früher schon genügend Methoden der Kunststoffverarbeitung, die aber der Struktur der Folien und damit den Anforderungen des Verbrauchers nicht gewachsen waren. Durch Kleben oder Nähen wurde nie eine so feste und innige Bindung des Materials erreicht, als bei dem Schweißverfahren, bei dem gleichzeitig luft- und wasserdichte Nähte erzielt werden. Im Folgenden sind einige der vielen Gebrauchsgüter aufgeführt, die aus Kunststoff-Folien hergestellt werden:

- Regenbekleidung,
- Schürzen und Umhänge,
- wasser- und luftdichte Verpackungen von Lebensmitteln,
- Wäschesäcke und Kulturbeutel,
- Verpackungen von Überseegeütern,
- Schutzhauben und Bezüge für Apparate und Maschinen,
- Lufkissen und Matratzen,
- Artikel für den Strand,
- Einkaufstaschen, Damenhandtaschen, Etuis u. v. a. m.

WÄRMGENERATOR

Kunststoffschweißung

VEB FUNKWERK KÖPENICK
BERLIN-KÖPENICK · WENDENSCHLOSS-STR. 154/58



b) Nahtverschweißung:

Die Nahtschweißmaschine ähnelt in ihrer Form der üblichen Nähmaschine. An Stelle der Nähnadel ist eine Stempel­elektrode eingesetzt. Der kleine Amboß unter der Stichplatte und die Stempel­elektrode bilden die beiden Belege eines Kondensators, denen die hochfrequente Spannung zugeführt wird. Die Elektroden können die verschiedensten Formen erhalten und mit entsprechenden Prägungen versehen werden, um das Nahtbild den jeweiligen Bedürfnissen anzupassen.

Das Nahtbild sieht etwa folgendermaßen aus:

Die Stempel­elektrode hat eine quadratische oder wahlweise zu bestimmende Form. Durch ihr fortwährendes Auf- und Niedergehen wird ein Muster dicht aneinander gereihter Punkte oder Flächen auf die Folie geprägt. Durch Veränderung des Vorschubes kann das Nahtbild in seinem Aussehen und seiner Qualität so verändert werden, daß entweder luft- und wasserdichte Nähte oder auch nur sogenannte Ziernähte hergestellt werden können. Mit der Nahtschweißmaschine können selbstverständlich auch Kurven und Bogen geschweißt werden. Die Nahtschweißmaschine findet hauptsächlich in der Konfektion Verwendung, so z. B. zur Herstellung von Regenmänteln, Umhängen usw. Aber auch in der Täscher-Industrie bieten sich viele Anwendungsmöglichkeiten.

Technische Daten:

Vorschub 5 m/min. bei einer Foliendicke von 0,02 mm bis 0,1 mm
(einfach überlappt geschweißt).

Vorschub 2 m/min. bei einer Foliendicke über 0,1 bis max. 0,4 mm
(einfach überlappt geschweißt).

Bei einer Verschweißung mehrerer Folien übereinander (im Rahmen der Gesamtfoliendicke von 0,8 mm) muß eine entsprechende Reduzierung des Vorschubes erfolgen.

Schweißdruck je nach Foliendicke einstellbar
max. Elektrodenabmessungen 2X3 mm

Daten des Antriebsmotors:

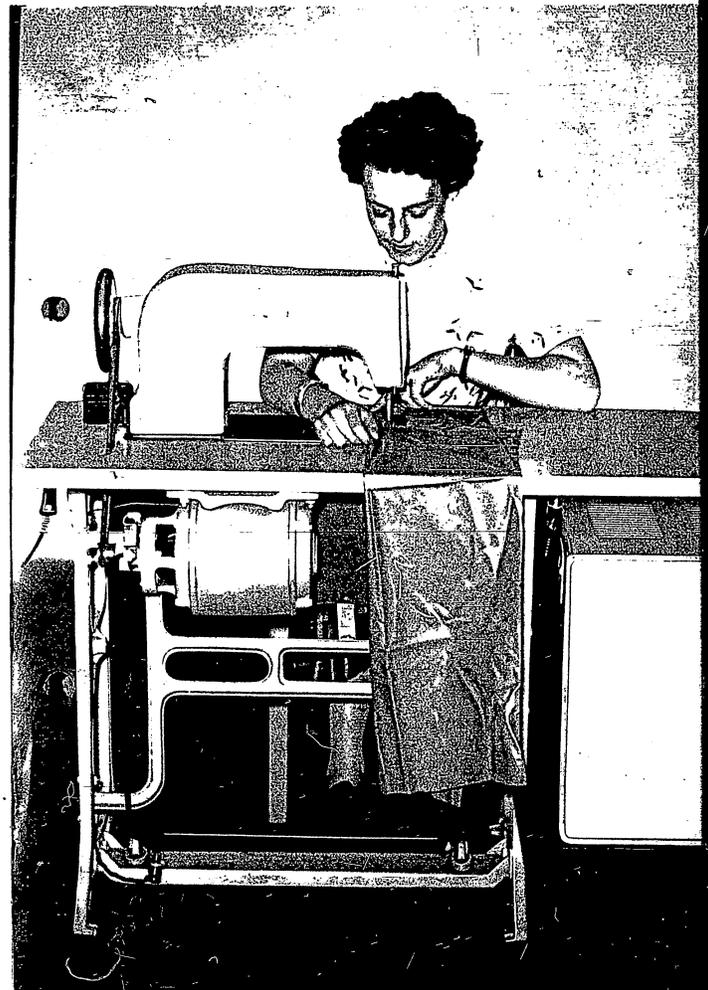
| | |
|-------------------------|---------------|
| Netzanschluß | 220 V 50 Hz |
| Leistungsaufnahme | ca. 0,24 kW |
| Leistung | ca. 0,285 kVA |
| Drehzahl | 1400 U/min. |

Abmessungen: 1050 Höhe 1100 Breite 550 Tiefe

Gewicht: 75 kg.

Export-Information durch „DIA“ Deutscher Innen- und Außenhandel —
Elektrotechnik — Berlin C2, Liebknechtstraße 14, Telegramm-Adresse: Dia-
elektro Berlin

(285) KONSUM-Druck Spindlersfeld 6057 1.5 1233



Kunststoffschweißung

1. Tubenschweißung:

Mit der Einführung der Kunststofftube galt es auch, eine wirtschaftlich verarbeitbare Verschlussart zu finden. So wurden einmal die Kunststofftuben von Hand mit Metallklammern verschlossen.

Ab erst die Anwendung von Hochfrequenz ermöglichte ein sauberes und rasches Verschließen der Tuben, eine wesentliche Produktionssteigerung und damit erhöhte Wirtschaftlichkeit.

In Zusammenarbeit mit der Mittweidaer Maschinenfabrik wurde eine vollautomatische Anlage geschaffen. Sie besteht aus unserem Typengenerator und der Umbaumaschine Typ AES.

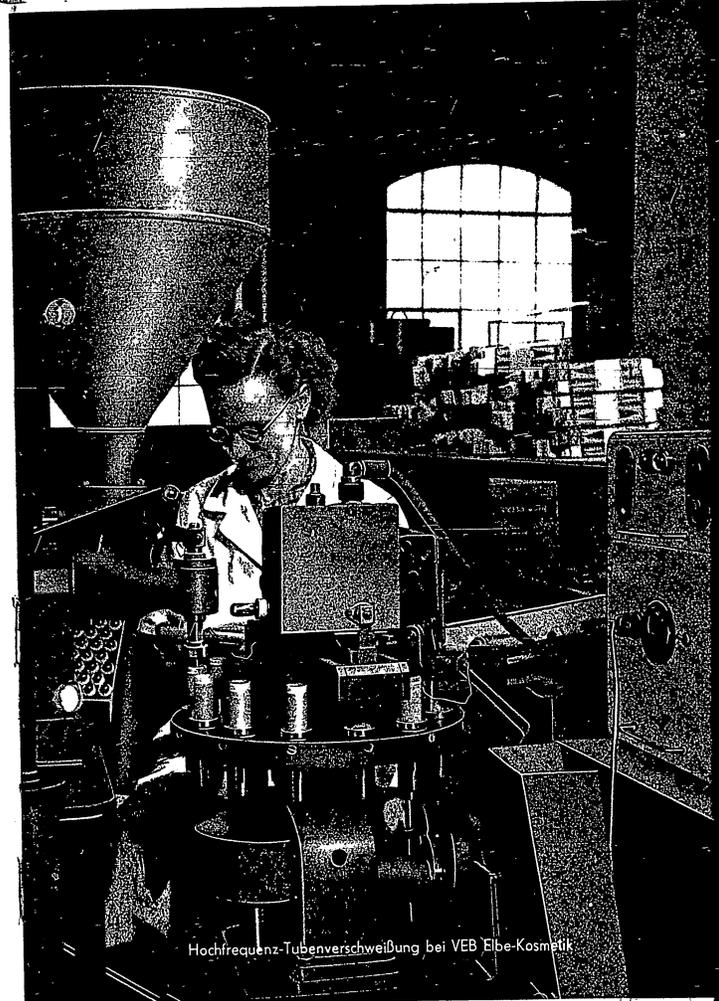
Im Jahre 1954 wird eine Tubenschweißmaschine angeboten. Ihre Konstruktion lehnt sich an die der Tufuma 50 an.

Bei den umgebauten Tubenfüll-Schweißmaschinen handelt es sich um sogenannte Rundläufer. Die Tuben werden von einer Seite in einen Rundtisch (Tubenhalterscheibe) eingesteckt und durchlaufen nacheinander die Füll- die Schweißvorrichtung und die Schere zum Beschneiden des Verschlussrandes. Die Füllmenge läßt sich durch den verstellbaren Hubraum der Einfüllvorrichtung bestimmen. Während der Transportbewegung der Tubenhalterscheibe sind beide Schweißelektroden geöffnet, so daß die unverschlossene Tube ohne anzustoßen zwischen die Elektroden geführt wird.

Sofort nach Stillstand schließen sich beide Elektroden, wobei die den vorgeschriebenen Schweißdruck erzeugende Druckbelastung wirksam wird. Die Elektroden bleiben während der Schweißung und der sich anschließende Abkühlzeit geschlossen. Um dem geschweißten Tubenrand ein schöneres Aussehen zu geben, wird der überstehende Rest des Tubenschafes direkt an der Grenze der Schweißstelle automatisch abgeschnitten. Die Abschnidevorrichtung werden die Tuben durch eine Schubstange, die durch einen Nocken betätigt wird, auf ein Transportband ausgeworfen. Über eine Blechrinne gelangen die Tubenabschnitte in einen untergestellten Behälter. Ein auf der Steuerwelle der Schließmaschine sitzender Nocken mit Schaltelektrode schaltet den Generator im Arbeitsrhythmus der Maschine. Nach erfolgtem Einschalten des Generators während des Arbeitsprozesses ist nicht notwendig. An dem Anpaßglied, das an der Maschine angebaute ist, befindet sich seitlich eine Glühlampe, die während des Schweißprozesses aufleuchtet und anzeigt, daß die Schweißung erfolgt.

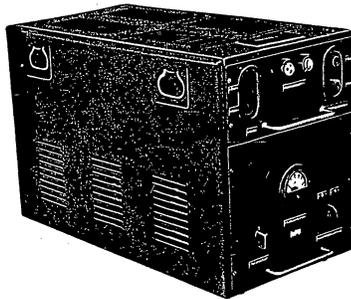
Umbaumaschine Modell AES:

| | |
|-------------------------|----------------------|
| Leistung pro Minute | 32 Stück |
| Füllmenge verstellbar | 3—85 cm ³ |
| Antriebskraftbedarf | 1,4 PS |
| Materialbehälter-Inhalt | 35—50 Ltr. |
| Gewicht | ca. 350 kg |
| Platzbedarf | 70×140 cm. |



Hochfrequenz-Tubenverschweißung bei VEB Elbe-Kosmetik

Hochfrequenz-Wärmegenerator 0,1 kW Typ 1721.3 F 2 für dielektrische Erwärmung



Technische Daten:

| | |
|-------------------------------------|--|
| Frequenz: | 27,12 MHz ± 0,6 % |
| HF-Leistung: | 0,1 kW |
| HF-Ausgang: | Buchse für HF-Kabel 70 Ohm |
| Röhrenbestückung: | 3 × P 50 1
1 × STV 280/40
1 × STV 70 6 |
| Netzanschluß: | 220 V 50 Hz |
| Zulässige Netzschwankungen: | 5% |
| Leistungsaufnahme:
bei Leerlauf: | etwa 500 VA
etwa 240 VA |
| Abmessungen: | Höhe 400 mm
Breite 350 mm
Tiefe 700 mm |
| Gewicht: | etwa 60 kg |

Anwendungsgebiete:

Mit Hilfe der vom 0,1-kW-Generator erzeugten Hochfrequenz kann man in Verbindung mit entsprechenden Zusatzgeräten eine dielektrische Erwärmung von elektrisch nicht- bzw. schlechtleitenden Stoffen vornehmen.

Schweißen und Verformen von thermoplastischen Stoffen,

Gelatinier- und Vulkanisierverfahren,

Aushärten von Kunstharzleimen in Holzfügen und Schichten,

Abbinden von Papierverleimungen,

Vorwärmen von Preßmassen u. a. (kleinere Mengen).

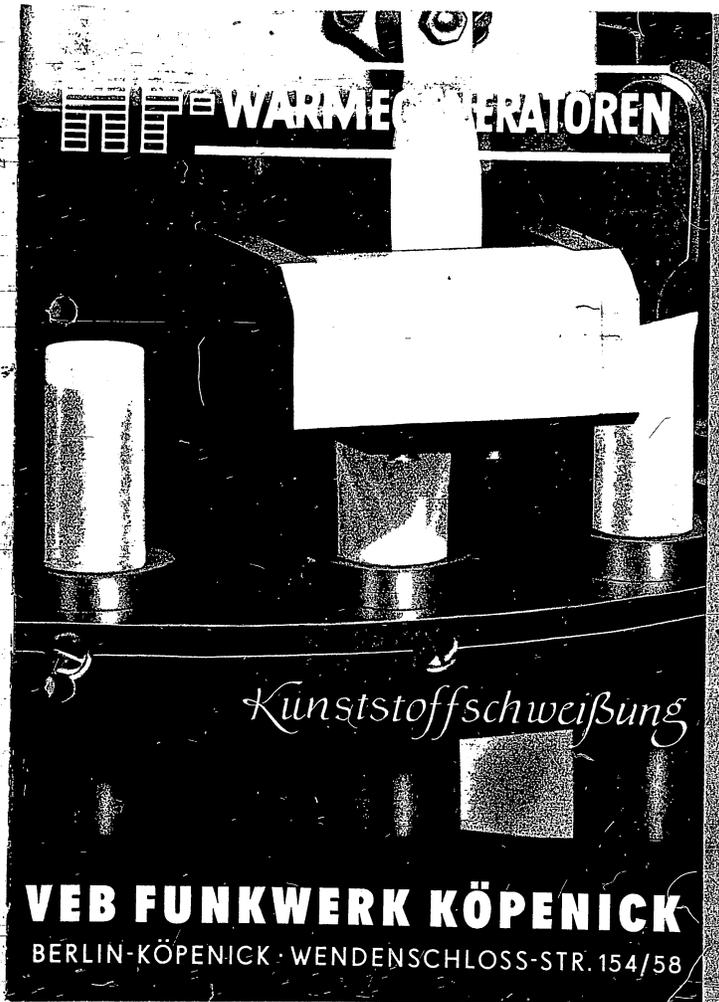
Die Anwendbarkeit dieser Verfahren bedingt die Erstellung von speziellen HF-Wärmewerkzeugen, die auf Grund der Aufgabenstellungen ausgebildet werden. Dabei werden wir Sie jederzeit gern beraten und Ihnen nach Ihren Angaben weitere Vorschläge unterbreiten.

Bedienung und Wartung:

Der Generator ist den besonderen industriellen Betriebsbedingungen angepaßt und überrascht durch seinen einfachen und übersichtlichen Aufbau und seine leichte Bedienbarkeit, so daß die Arbeiten an der Anlage von ungelerten Kräften ausgeführt werden können. Die Wartung der Anlage geht nicht über den Rahmen der üblichen Wartung von Maschinen hinaus. Es wird lediglich erforderlich sein, daß in Räumen, die besonders der Verschmutzung ausgesetzt sind, das Gerät des öfteren vom Staub gereinigt wird.

Störfreiheit:

Das Gerät entspricht in hochfrequenztechnischer Hinsicht den Bestimmungen über die Störfreiheit von Industriesendern. Es gilt mit dem Typenschild als eine den Bestimmungen entsprechende Anlage und kann somit ohne die Einholung einer bestimmten Genehmigung in Betrieb genommen werden und ist nur meldepflichtig.



WARMERERATOREN

Kunststoffsweißung

VEB FUNKWERK KÖPENICK
BERLIN-KÖPENICK · WENDENSCHLOSS-STR. 154/58

The advertisement features a central image of a large industrial machine, likely a plastic welding device. The machine has a prominent horizontal roller or conveyor belt in the center. To the left and right of this central component are vertical cylindrical structures. The background is dark, and the machine is highlighted with some lighting effects. The text is arranged around the machine, with 'WARMERERATOREN' at the top, 'Kunststoffsweißung' in a cursive font in the middle, and the company name and address at the bottom.



VEB FUNKWERK KÖPENICK
BERLIN - KÖPENICK

Fabrikationsprogramm