

Zeitschrift:	Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses
Herausgeber:	Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen
Band:	75 (1984)
Heft:	4
Artikel:	Versorgungstechnische Aspekte beim bivalenten Betrieb elektrischer Wärmepumpen
Autor:	Broschk, J. / Hotopp, R.
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-904365

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 27.01.2026

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

Versorgungstechnische Aspekte beim bivalenten Betrieb elektrischer Wärmepumpen

J. Broschk und R. Hotopp

Im Rahmen eines Messprogramms an bivalenten Luft/Wasser-Wärmepumpen in Ein- und Zweifamilienhäusern wurde das Betriebsverhalten dieser Anlagen unter versorgungstechnischen Aspekten untersucht. Es zeigte sich beispielsweise, dass bei einer grösseren Anzahl von Wärmepumpen als ungünstigste Einschalthäufigkeit drei Einschaltungen je Stunde und je Wärmepumpe zu erwarten sind oder dass in Niederspannungsstromkreisen die Spitzenbelastung durch Anschluss von bivalenten Wärmepumpenheizungen um etwa 70% der hinzukommenden Wärmepumpen-Nennleistung steigt.

Dans le cadre d'un programme expérimental, des mesures ont été effectuées sur des systèmes biénergie à pompe à chaleur eau/air dans des maisons uni et bifamiliales, sous les aspects technologiques de fourniture. On a pu constater, par exemple, que pour plusieurs pompes à chaleur, la fréquence de branchement la plus défavorable est de trois branchements par heure et par pompe à chaleur, et que dans des circuits basse tension, le raccordement de chauffages biénergies à pompe à chaleur augmente la pointe de charge d'environ 70% de la puissance nominale des pompes à chaleur ajoutées.

1. Einleitung

In den Jahren 1978 und 1979 wurden vom RWE (Rheinisch-Westfälischen Elektrizitätswerk) an 41 bivalenten Luft/Wasser-Wärmepumpenanlagen Messungen ihres Betriebsverhaltens durchgeführt. Die Messergebnisse sind im Hinblick auf versorgungstechnische Aspekte ausgewertet worden. Als versorgungstechnische Aspekte werden angesprochen:

- Die Häufigkeit von Spannungseinbrüchen durch das Einschalten von Verdichtermotoren und
- die Veränderung der Netzbelastung.

2. Anlagenbeschreibung

Die untersuchten Wärmepumpenanlagen sind in Ein- und Zweifamilienhäusern eingebaut, die über das gesamte Versorgungsgebiet des RWE verteilt sind. Die Häuser werden entweder mit einer Radiatoren- oder Warmwasser-Fussbodenheizung beheizt.

Sämtliche Wärmepumpen sind als bivalente Luft/Wasser-Wärmepumpen ausgeführt, d.h., sie entziehen der Außenluft Umgebungswärme bis herab zu Temperaturen von etwa +3 °C. Bei tieferen Temperaturen ist die Wärmepumpe ausgeschaltet, und die fossile Ergänzungsheizung – meist als Ölheizung ausgeführt – ist in Betrieb. Der bivalente Umschaltpunkt zwischen den beiden Wärmeerzeugern weicht je nach Auslegung der Wärmepumpe mehr oder weniger stark von 3 °C ab.

3. Messungen

Die Messungen sind mit Magnetbandrecordern durchgeführt worden, die in den Anlagen aufgestellt sind. Die Recorder erfassen in Intervallen von 2 min (Messperiodendauer), ob die Wärmepumpe eingeschaltet ist. Mit Hilfe der EDV können für einzelne Wärmepumpen oder – zeitgleich

überlagert – beliebige Wärmepumpengruppen ihre Betriebszeiten dargestellt werden. Außerdem können die Ergebnisse für Messperiodendauern ermittelt werden, die ein Vielfaches der tatsächlich erfassten Messperiodendauer von 2 min sind.

Über die Nennleistung der Wärmepumpen bei einer Außentemperatur von +3 °C lassen sich auch Belastungsverläufe und daraus abgeleitete Zusammenhänge darstellen.

Die folgenden Ergebnisse sind jeweils aus einer grösseren Zahl von Einzelmessungen gewonnen worden. Sie werden als Durchschnittswerte bezogen auf eine Anlage dargestellt.

4. Monatliche Betriebsdauer, Stromverbrauch einer Anlage

Bevor die versorgungstechnischen Aspekte des Betriebes von bivalenten Wärmepumpen beschrieben werden, soll ein kurzer Überblick über ihr Betriebsverhalten gegeben werden.

In Figur 1 sind die Monatssummen der durchschnittlichen Betriebsdauer bzw. des elektrischen Energiebedarfs einer bivalenten Wärmepumpe dargestellt. Im Maximum werden etwa 300 Betriebsstunden pro Anlage und Mo-

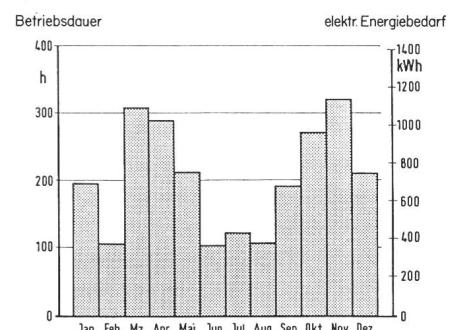


Fig. 1 Betriebsdauer und elektrischer Energiebedarf

Adresse der Autoren

Dipl.-Ing. J. Broschk und Dipl.-Ing. R. Hotopp,
Rheinisch-Westfälisches Elektrizitätswerk, Abteilung
Anwendungstechnik, Postfach 10 31 65, D-4300 Essen 1

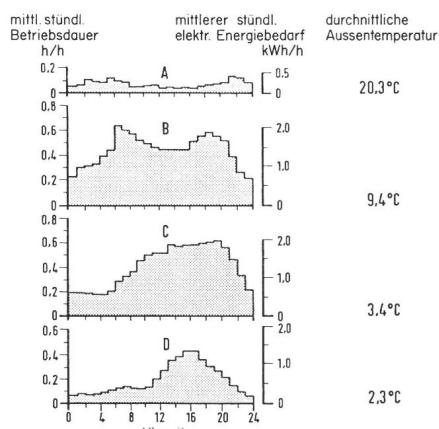


Fig. 2 Tagesgang des WP-Betriebes

nat erreicht, was einem Energiebedarf von 1100 kWh entspricht. Dies gilt in den Übergangsjahreszeiten, also den Monaten März/April und Oktober/November. In den Wintermonaten Dezember bis Februar nimmt die Betriebsdauer der Wärmepumpe deutlich ab, weil die Außentemperaturen zeitweise den bivalenten Umschaltpunkt unterschreiten.

Die niedrige Betriebsdauer in den Sommermonaten ist im wesentlichen durch die Warmwasserbereitung (WWB) bestimmt. Daneben tritt ein geringer Wärmebedarf für die Raumheizung vor allem in den Morgenstunden auf.

5. Belastungsverlauf über die Tageszeit

In Figur 2 ist der Belastungsverlauf – die stündliche Betriebsdauer und der elektrische Energiebedarf – über die 24 Stunden eines Tages dargestellt. Jeweils mehrtägige Zeiträume mit etwa gleichen Tagesmitteltemperaturen wurden ausgewählt, um ein für die jeweilige Temperatur typisches Betriebsverhalten darzustellen. Es ergeben sich je nach Außentemperatur charakteristische Belastungsverläufe.

Der unter A dargestellte Belastungsverlauf ist typisch für warme Sommerzeiten. Bestimmt wird er durch die Anforderungen für die Warmwasserbereitung: Geringe Betriebsdauern über den Tag mit niedrigen Spitzen in den Morgen- und Abendstunden durch Warmwasserbedarf.

Mit abnehmenden Tagesmitteltemperaturen fällt zunächst in den Morgen- und Abendstunden ein Heizwärmebedarf an. Das führt zu deutlich ausgeprägten Spitzen bei der stündlichen Betriebsdauer. Bei weiter sinkenden Außentemperaturen steigt der

Heizwärmebedarf und damit auch die stündliche Betriebsdauer an den übrigen Tagesstunden.

Der Belastungsverlauf nach Bild B gilt für Tage mit einer Außentemperatur von etwa 10 °C. Er ist gekennzeichnet durch zwei Merkmale:

- Steiler Anstieg der Belastung in den frühen Morgenstunden nach Aufhebung der Nachtabsenkung,
- hoher Leistungsbedarf an den Tages- und frühen Abendstunden.

Der Tageshöchstwert der mittleren stündlichen Betriebsdauer erreicht in den Morgenstunden 0,6 bis 0,7 Stunden pro Stunde.

Einen deutlich veränderten Belastungsverlauf zeigt Bild C für durchschnittliche Außentemperaturen etwas oberhalb des bivalenten Umschaltpunktes von etwa 3 °C. Die Betriebsstunden der Wärmepumpe nehmen im Laufe des Vormittags nur allmählich zu, weil der Wärmebedarf zu dieser Tageszeit in vielen Anlagen über die fossile Ergänzungsheizung gedeckt werden muss. Die Ursache dafür ist in der niedrigen Außentemperatur zu suchen, die am Morgen für einige Zeit unter dem bivalenten Umschaltpunkt liegt und erst nach dem allmählichen Anstieg im Verlauf des Vormittags die Umschaltung von Ergänzungs- auf Wärmepumpenheizung erlaubt. Bei diesen Witterungsbedingungen werden erst ab etwa 12 Uhr mittags die höchsten Betriebsdauern erreicht.

An Wintertagen mit Durchschnittstemperaturen etwas unterhalb des bivalenten Umschaltpunktes ergibt sich ein Belastungsverlauf gemäß Bild D. Eine deutlich ausgeprägte Belastung wird nur an den wärmsten Stunden des Tages am Nachmittag erreicht. Der Spitzenwert liegt bei diesen Temperaturen aber bereits etwa 30% unter dem Maximum an Tagen mit etwas höheren Außentemperaturen.

Ein Punkt in diesen Darstellungen bedarf einer Erläuterung: Es wurden keine höheren Betriebsdauern als etwa 0,7 h/h erreicht. Das ist auf die größere Anzahl von Wärmepumpen zurückzuführen. Bei ihnen muss eine unterschiedlich große Dimensionierung bezogen auf den Wärmebedarf in Rechnung gestellt werden. Daher sind die bivalenten Umschaltpunkte nicht bei allen Anlagen auf denselben Wert eingestellt. Im übrigen muss die gebietsmäßige Verteilung der Wärmepumpenanlagen berücksichtigt werden; sie führt zu örtlich unterschiedlichen Abweichungen von der angegebenen Ta-

gesmitteltemperatur mit entsprechend veränderten Belastungsverläufen.

6. Gleichzeitigkeitsgrad

Für die Auslegung von Übertragungsnetzen ist neben der zuwachsenden Anschlussleistung von bivalenten Wärmepumpen auch ihr Gleichzeitigkeitsgrad g zu berücksichtigen. Er ist folgendermassen definiert:

$$g = \frac{\text{gemeinsame Höchstlast einer Wärmepumpengruppe}}{\text{Summe der Einzelhöchstleistungen aller Wärmepumpen}}$$

Als Einzelhöchstleistungen können näherungsweise die Nennleistungen bei einer Außentemperatur von +3 °C angesetzt werden. Für die Bestimmung des Gleichzeitigkeitsgrades ist die Anzahl der Wärmepumpen massgebend, die über einen Niederspannungsstromkreis versorgt werden können. Bei einem Wärmepumpen-Sättigungsgrad von 100% könnten von einem 250-A-Stromkreis etwa 24 Haushalte mit bivalenten Wärmepumpen versorgt werden; dabei ist eine mittlere Leistung von 4 kVA für die bivalente Wärmepumpe und 3 kVA für den normalen Haushaltbedarf angesetzt. Im Grenzfall sind also die Spannungsänderungen durch den gleichzeitigen Betrieb von 25 bivalenten Wärmepumpen zu berücksichtigen.

Der Gleichzeitigkeitsgrad wird sowohl von der Messperiodendauer als auch von der Anzahl der Wärmepumpen bestimmt. Die Abhängigkeit von beiden Parametern ist in Figur 3 dargestellt. Darin ist der größte Gleichzeitigkeitsgrad eines Jahres angegeben.

Die Abhängigkeit des maximalen Gleichzeitigkeitsgrades von der Messperiodendauer ist deutlich zu erkennen: Er nimmt mit wachsender Messperiodendauer und Wärmepumpenzahl ab. Durch Vergrößerung der

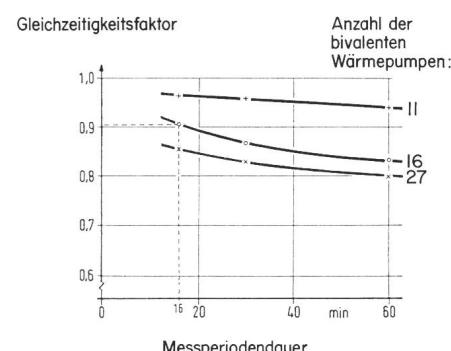


Fig. 3 Gleichzeitigkeitsfaktor einer Gruppe von bivalenten Wärmepumpen

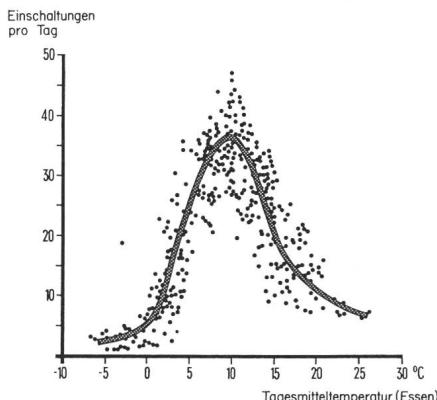


Fig. 4 Durchschnittliche tägliche Zahl der Einschaltung einer bivalenten Luft/Wasser-Wärmepumpe in Abhängigkeit von der Tagesmitteltemperatur (Essen)

Messperiodendauer von 16 auf 60 min nimmt der Gleichzeitigkeitsgrad von 27 Wärmepumpen von 0,87 auf 0,80 ab. Bei konstanter Messperiodendauer von beispielsweise 16 min erniedrigt sich der maximale Gleichzeitigkeitsgrad von 0,96 auf 0,87, wenn die Gesamtzahl der betrachteten Wärmepumpen von 11 auf 27 erhöht wird.

7. Einschalthäufigkeit und Spannungseinbruch

Bei der bivalenten Wärmepumpe handelt es sich im wesentlichen um ein motorisches Verbrauchsmittel. Bekanntlich ist jeder Motoranlauf mit bis zu zehnfachem Anlaufstrom im Vergleich zum Nennstrom verbunden. Das führt nach Massgabe der Netztimpedanz am Anschlussort der Wärmepumpe zu entsprechend hohen Spannungseinbrüchen, die das menschliche Auge unter Umständen als störende Lichtstromänderung (unsteadiness) von Glühlampen (Flicker) wahrnimmt. Neben der Amplitude dieser Flicker ist auch ihre Häufigkeit massgeblich für das menschliche Störempfinden.

Die mittlere Anzahl täglicher Einschaltungen von Wärmepumpen ist in Figur 4 über der Tagesmitteltemperatur dargestellt. Die maximale Anzahl täglicher Einschaltungen je Wärmepumpe, gemittelt aus einer grösseren Anzahl, wird bei Außentemperaturen von etwa +10 °C mit rund 50 Einschaltungen/Tag erreicht. Für die Intensität der Flicker sind aber nicht die Einschaltungen einer einzelnen Wärmepumpe über einen ganzen Tag, sondern die Einschaltungen pro Stunde massgeblich. Ferner dürfen nicht nur die Flicker jeder Wärmepumpe einzeln betrachtet werden, sondern es müssen

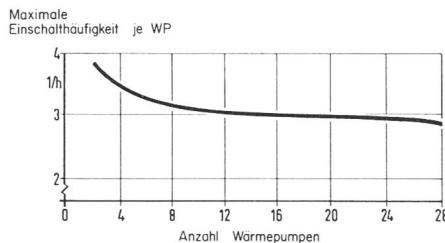


Fig. 5 Maximale Einschalthäufigkeiten in Abhängigkeit von der Anzahl der Wärmepumpen

auch die von den anderen Wärmepumpen derselben Niederspannungsstromkreise berücksichtigt werden. Die Reduzierung der spezifischen Einschalthäufigkeit bei wachsender Zahl von Wärmepumpen zeigt Figur 5. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Einschalthäufigkeit einer einzelnen Wärmepumpe maximal sieben Einschaltungen pro Stunde betragen kann. Diese Ergebnisse sind unabhängig davon, ob eine Wärmepumpe auch die Warmwasserbereitung übernimmt.

Durch die Spannungseinbrüche beim Anlauf von Wärmepumpen könnten je nach Anschlusspunkt im Niederspannungsnetz und je nach Anzugsstrom¹⁾ der Wärmepumpe Flicker als Störungen empfunden werden. Um Beanstandungen durch Kunden öffentlicher Niederspannungsversorgungsnetze zu vermeiden, sind in der Bundesrepublik Deutschland folgende Anschlusskriterien für Wärmepumpen ausgearbeitet²⁾:

- Im allgemeinen dürfen Wärmepumpen dann unmittelbar an das Netz angeschlossen werden, wenn deren Anzugsstrom höchstens 40 A (ab 1. Januar 1984 30 A) beträgt.
- Wärmepumpen über 1 kW Anschlussleistung müssen eine Einrichtung haben, mit der die Einschaltungen pro Stunde auf höchstens drei begrenzt werden.
- Wärmepumpen über 1 kW Anschlussleistung müssen eine Verzögerungseinrichtung haben, die verhindert, dass eine selbsttätige Einschaltung unmittelbar nach Wiederkehr der ausgebliebenen Spannung erfolgt. Die Verzögerungszeiten müssen vom Hersteller unveränderbar fest eingestellt und möglichst gleichmässig auf den Be-

¹⁾ Anzugsstrom ist der Strom, der bei Nennspannung an einem Verdichter mit blockiertem Rotor 3 s nach dem Einschalten gemessen wird. Die Wicklungstemperatur vor dem Einschalten beträgt $(32 \pm 8)^\circ\text{C}$.

²⁾ Für schweizerische Verhältnisse siehe neue Empfehlungen des VSE für den Anschluss von Wärmepumpen, S. 229...230 dieses Bulletins, Anm. d. Red.).

reich von 10 bis mindestens 200 s verteilt werden. Falls erforderlich, werden die Wärmepumpen zusätzlich mit einer Anlaufstrombegrenzung geliefert.

8. Belastungsänderung im Niederspannungsnetz

Mit wachsender Anzahl von angeschlossenen bivalenten Wärmepumpen ändert sich die Netzelastung in allen Spannungsebenen. Auf höheren Spannungsebenen wird der Anteil von Wärmepumpen an der übertragbaren Leistung kleiner. Hier soll der Grenzfall des Netzes mit dem höchsten Leistungsanteil durch Wärmepumpen dargestellt werden.

Diese grösste Laständerung durch Wärmepumpen ist in einem Niederspannungsstromkreis zu erwarten.

Es wurde untersucht, wie sich in unterschiedlichen Niederspannungsstromkreisen die Spitzenbelastung durch den Zugang von bivalenten Wärmepumpen vergrössert. Es stellt sich in erster Linie die Frage, ob die Umschaltung von bivalentem Wärmepumpen- auf fossilen Heizbetrieb bei etwa 3 °C verhindert, dass die Spitzenbelastung trotz des Zugangs von bivalenten Wärmepumpen steigt. Dazu sind Belastungen von teil- bzw. voll-elektrischen Haushalten mit denen von Wärmepumpen überlagert worden.

Da die Belastung von Wärmepumpen und Haushalten mit unterschiedlichen Messperioden gemessen worden ist, bezieht sich die Auswertung auf die kleinste gemeinsame Messperiode von 30 min.

Es zeigt sich – dies ist aus der Jahresdauerlinie nach Figur 6 zu entnehmen –, dass die durch die Haushalte hervorgerufene Spitzenbelastung des Nieder-

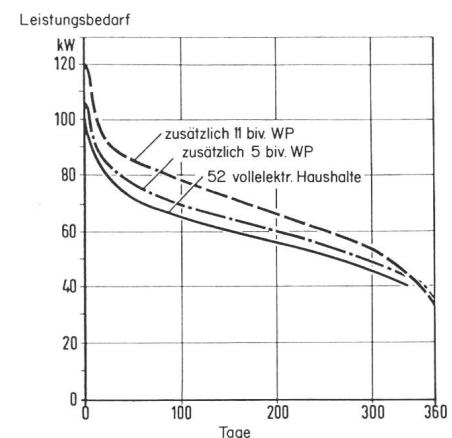


Fig. 6 Tagesspitzenwerte des 30-Minuten-Leistungsbedarfes

spannungsnetzes durch hinzugekommene bivalente Wärmepumpen trotz der Umschaltung am Bivalenzpunkt erhöht wird. Wegen der Überlagerung ist allerdings die Vergrösserung der Spitzenbelastung geringer als der maximale gleichzeitige Leistungsbedarf der zusätzlich versorgten Wärmepumpen.

Als Ergebnis dieser Untersuchung kann festgehalten werden: Bei der Planung von Niederspannungs-Stromkreisen mit überwiegender Haushaltsbelastung kann für 5 bis 16 Wärmepumpen ein maximaler Gleichzeitigkeitsgrad von etwa 0,7, unter Berücksichtigung der induktiven Stromkomponente von 0,85 angesetzt werden. Dieses Ergebnis gilt für Wärmepumpen mit und ohne Warmwasserbereitung.

9. Zusammenfassung

Die Auswertung von Messungen an bivalenten Luft-/Wasser-Wärmepumpen zur Raumheizung und teilweise auch zur Warmwasserbereitung in Ein- und Zweifamilienhäusern ermöglicht folgende Aussagen:

- Wärmepumpen mit und ohne Warmwasserbereitung unterscheiden sich in ihrem Betriebsverhalten kaum.
- Der elektrische Energiebedarf für den Betrieb einer Wärmepumpe über ein Jahr betrug im Durchschnitt 8585 kWh entsprechend einer durchschnittlichen Jahresbenutzungsdauer von etwa 2400 h.
- Bei einer Gesamtheit von bis zu 27 bivalenten Wärmepumpen sind als

ungünstigste Einschalthäufigkeit drei Einschaltungen je Stunde und je Wärmepumpe anzusetzen. Erst bei weniger als vier Anlagen sind höhere Werte für die spezifische Schalthäufigkeit zu erwarten.

- In Niederspannungs-Stromkreisen steigt die Spitzenbelastung durch Anschluss von bivalenten Wärmepumpenheizungen um etwa 70% der hinzukommenden Wärmepumpen-Nennleistung (unter Berücksichtigung der induktiven Stromkomponente um etwa 85%).

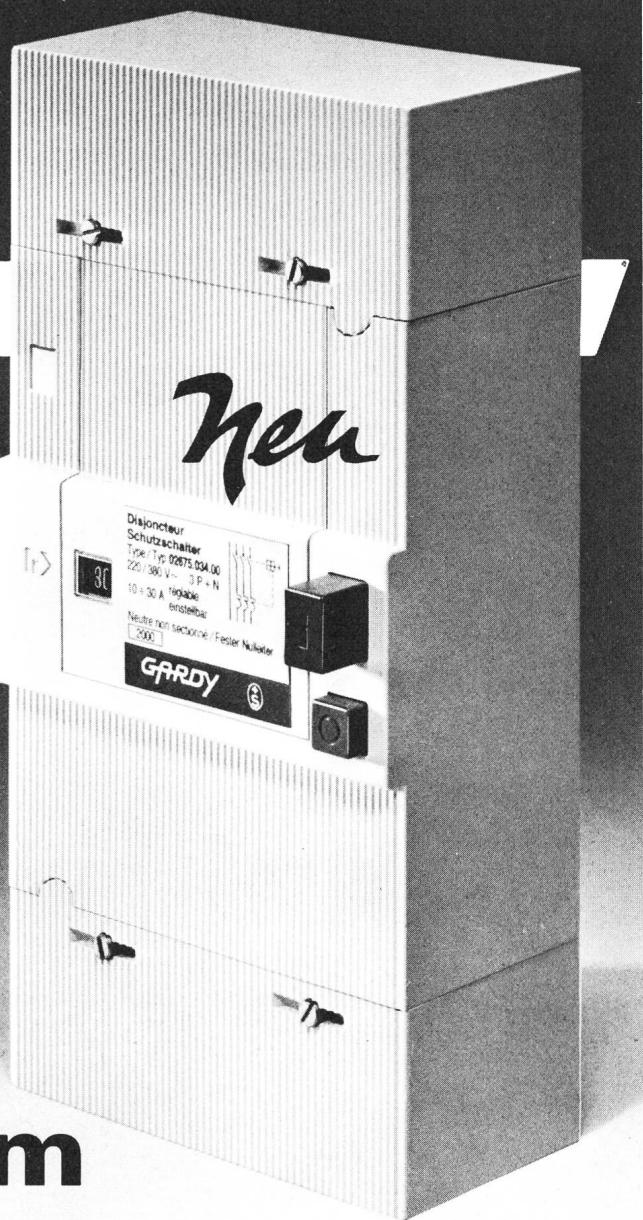
Aufgrund der dargelegten Messergebnisse sind zwischenzeitlich technische Änderungen in die Wärmepumpen-Konstruktionen eingeflossen, die die Einschalthäufigkeit begrenzen.

GARDY

10-15-20-25-30 A

5

Apparate
in einem



ÜBERSTROM-SCHUTZSCHALTER mit einstellbarem Nennstrom

10-15-20-25-30 A.

220/380 V ~ 3 P + N

mit festem oder trennbarem Nulleiter

Nennströme 30-40-50-60 A
sowie Fehlerstromfunktion (300 mA)
auf Anfrage erhältlich.

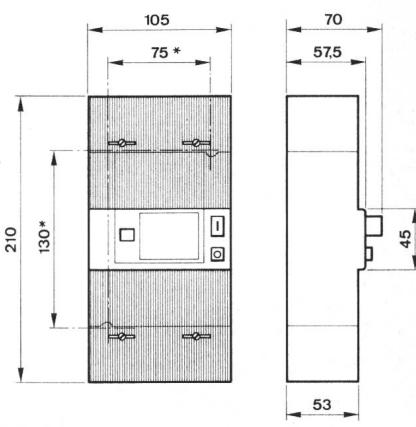
Fragen Sie uns.

GARDY SA GENÈVE

15 RUE MARZIANO • POSTFACH 230 • CH-1211 GENEVE 24
TEL. 022/43 54 00 • TELEX 422067 gdy ch

ELEKTRISCHE APPARATE HOCH- UND NIEDERSPANNUNG

GARDY

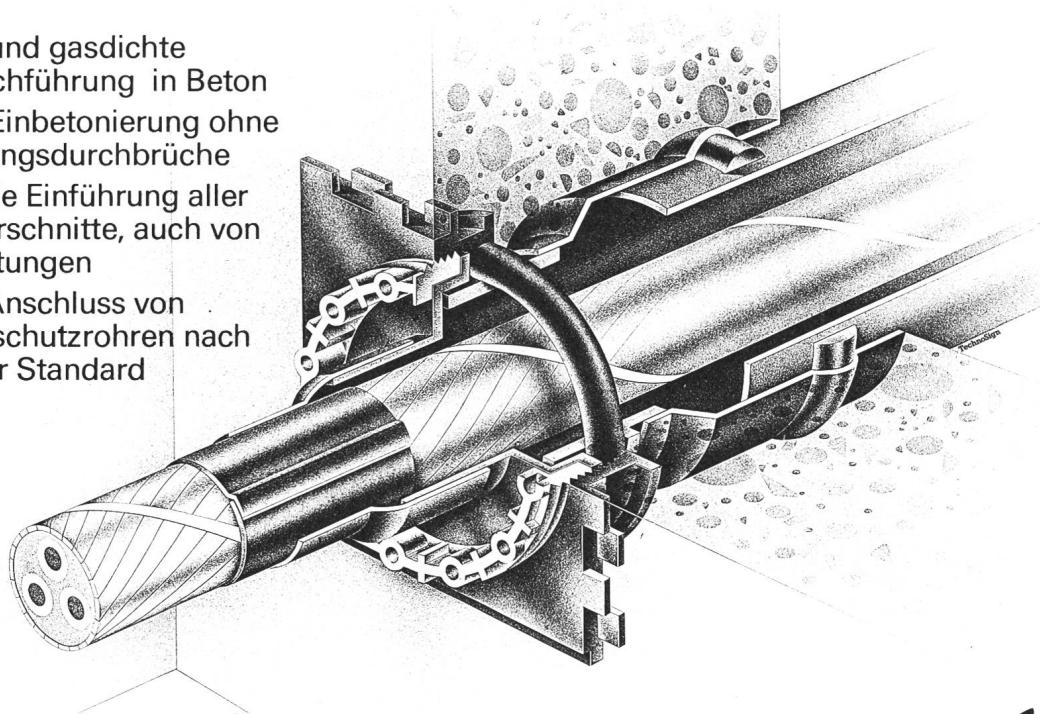


AGENTUREN: ZÜRICH ■ BIRSFELDEN / BL ■ KRIENS / LU ■ CHUR ■ GENÈVE ■ PRÉVERENGES / VD ■ CONTHEY / VS ■ DAVESCO / TI

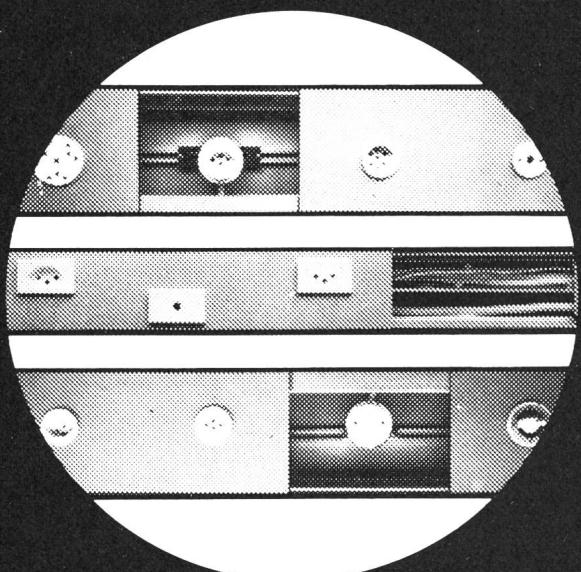
Die dichte Kabdurchführung!

System Hauff

- Wasser- und gasdichte Kabdurchführung in Beton
- Bündige Einbetonierung ohne Verschalungsdurchbrüche
- Universelle Einführung aller Kabelquerschnitte, auch von Sanitärleitungen
- Direkter Anschluss von PE-Kabelschutzrohren nach Schweizer Standard



**Studer Draht- und Kabelwerk AG
CH-4658 Däniken SO
Tel. 062 65 14 44 Tx 68963**



Brüstungs-Kanäle

Mod. MIK

(2 Größen: 100×50 und 150×50 mm)

Die niedrigsten Kleinkanäle und trotzdem versehen mit den notwendigen Finessen für Feller-Einbauteile FLF 3/5 und FFF. Zeitsparende Montage, die denkbar preisgünstigste Lösung

Mod. BRK (Grösse 170×62 mm)

Erster hochtemperaturbeständiger Brüstungskanal. Ohne Zwischenkonstruktion montierbar. Speziell konzipiert für schweizerische Einbauteile.

Kostensparend in Anschaffung und Montage.

Fabrikation:
Mobilwerke
U. Frei AG
9442 Berneck SG
Tel. 071 712 242

Verkauf:
W. Bösch AG
Im Spitz 35
8330 Pfäffikon ZH
Tel. 01 950 15 43

**Schweizer Qualitätsprodukte
aus Berneck/SG**