

# Kostengünstige Niedrigtemperaturheizung mit Wärmepumpe

Autor(en): **Zogg, Martin**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association Suisse des Electriciens, de l'Association des Entreprises électriques suisses**

Band (Jahr): **92 (2001)**

Heft 11

PDF erstellt am: **22.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-855721>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

# Kostengünstige Niedrigtemperaturheizung mit Wärmepumpe

## Messungen an zwei Heizungssystemen

Bei Niedrigenergiehäusern – wie etwa Häusern nach Minergiestandard – sinkt der Heizleistungsbedarf auf rund die Hälfte konventioneller Bauten. Damit steigt der Wärmebedarfsanteil für die Warmwasserbereitung auf 30–40% des gesamten Wärmebedarfs. Dies stellt neue Anforderungen an die Heizsys-

teme. Um einen hohen Komfort kostengünstig und mit möglichst geringer Umweltbelastung zu erreichen, wurden Wärmeerzeugung, Wärmeverteilung und Gebäude im Rahmen eines vom Bundes-

*Martin Zogg*

amt für Energie (BFE) unterstützten Forschungsprojekts als Gesamtsystem untersucht. Auf Grund der dort angestellten theoretischen Überlegungen und der Laborversuche wurden drei Funktionsmuster für drei neue Niedrigenergiehäuser gebaut und in den Heizperioden 98/99 und 99/00 detailliert ausgemessen. Diese ergänzenden Versuche dienten in erster Linie der praktischen Erprobung der im Projekt vorgeschlagenen Konzepte einfacher Wärmepumpenheizungen ohne Wärmespeicher. Dabei wurde auch das Reaktionsverhalten der vorgeschlagenen neuen Steuer- und Regelungsmethoden auf das reale Benutzerverhalten untersucht. Der vorliegende Bericht schildert die aus dem Vergleich resultierenden Erkenntnisse.

### Die untersuchten Systeme

Zwei der untersuchten Objekte wurden mit konventionellen Fussbodenheizungen ausgerüstet. Sie erfüllen den Minergiestandard. Das dritte Haus wurde mit Luft als Wärmeverteilungssystem ausgestattet. Dieses System verspricht zwar ein sehr interessantes Preis-Leistungs-Verhältnis, doch traten für eine abschliessende Bewertung noch zu viele Kinderkrankheiten auf. Hier ist noch ein erheblicher Weiterentwicklungsbedarf vorhanden. Auf eine Wiedergabe der Resultate des dritten Funktionsmusters wird deshalb verzichtet und nur über die bereits ausgereiften Lösungen mit kon-

ventionellen Fussbodenheizungen berichtet.

In Tabelle I werden die zwei untersuchten Systeme vorgestellt, welche bereits zur Anwendung empfohlen werden können. Alle verwendeten Komponenten (mit Ausnahme des am Schluss beschriebenen Versuchsreglers) sind im Handel erhältlich.

Die aus preislichen Gründen einfachen hydraulischen Schaltungen mit direkter

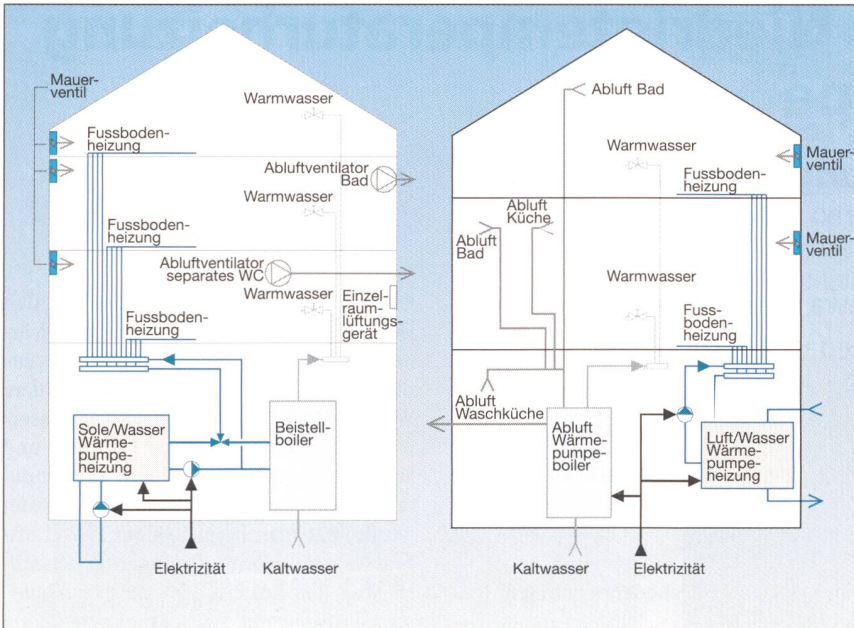
Einbindung der Wärmepumpe in den Heizkreislauf ohne Wärmespeicher, Wärmespeicherladepumpen und Mischventile können Bild 1 entnommen werden. Während das System SW (Sole/Wasser) mit einer kontrollierten Lüftung und Wärmerückgewinnung durch den separaten Wärmepumpenboiler ausgerüstet wurde, hat man beim System LW (Luft/Wasser) aus Komfortgründen erst nachträglich im Erdgeschoss eine mechanische Lüftung mit Wärmerückgewinnung eingebaut.

### Messergebnisse

Die Messergebnisse an den beiden Versuchsobjekten gemäss Tabelle I können durch drei Kennzahlen beschrieben werden. Die entsprechenden Bilanzgebiete sind in Bild 2 dargestellt.

Referenz	SW	LW
Standort	Grafstal ZH	Schötz LU
Gebäudetyp	EFH, einseitig angebaut Holztafel-Leichtbau	EFH, alleinstehend Holztafel-Leichtbau
Wärmegewinn-Verhältnis $\gamma$	2,9	3,2
Wärmequelle für Heizung	Erdwärmesonde	Umgebungsluft
Wärmequelle für Warmwasserbereitung	Erdwärmesonde	Gebäudeabluft
Wärmepumpe für Heizung	bei B0/W35 4,9 kW / COP = 4,6	bei A7/W35 7,2 kW / COP = 4,0
Wärmepumpe für Warmwasserbereitung	gleiche WP bei B0/W50 4,6 kW / COP = 2,9	separate WP bei A20/W50 1,0 kW / COP = 2,45
Warmwasserbereitung	Beistellboiler, alternativ zur Heizung geladen	separater Wärmepumpenboiler
Wärmespeicher	keiner	keiner
Fussbodenheizung mit $T_{\text{vor}}/T_{\text{rück}}$ [°C]	34/29	35/30
Thermostatventile	keine	keine
Abluftwärmenutzung	keine	für Warmwasser-WP
Zuluft	Mauerventile	Mauerventile
Steuerung/Regelung für Heizung	konventioneller 2-Punkt-Regler	konventioneller 2-Punkt-Regler und neue Konzepte
Energiebezugsfläche [m <sup>2</sup> ]	174	155
Heizenergiebedarf nach SIA 380/1 [MJ/m <sup>2</sup> a]	201	181
Wärmeleistungsbedarf nach SIA 384/2 [kW]	5,0	3,64
Minergiestandard	erfüllt	erfüllt

Tabelle I Untersuchte Wärmepumpenheizungssysteme mit Fussbodenheizung



**Bild 1** Hydraulische Schaltung der beiden Anlagen

Links: System SW (Grafstal) mit alternativer Heizung und Beistellboilerladung durch die gleiche Wärmepumpe; rechts: System LW (Schötz) mit separater Heizungsärmepumpe und Wärmepumpe mit Gebäudeabluft als Wärmequelle (Bild aus Schlussbericht des Forschungsprogramms)

Die üblicherweise angegebene Jahresarbeitszahl (JAZ) der Wärmepumpenanlage

Gleichung (1), siehe Kasten

ist das über ein ganzes Jahr gebildete Verhältnis aus der von der Wärmepumpe abgegebenen Wärme  $Q_{WP}$  abzüglich der Wärmeverluste allfälliger Speicher des Wärmeverteilsystems  $Q_{SP}$  zu der im Bilanzgebiet 1 des Bildes 2 zugeführten elektrischen Energie. Die zugeführte elektrische Energie setzt sich aus der elektrischen Energie für die Wärmepumpe  $E_{WP}$ , der elektrischen Energie für die Sole- oder Umgebungsluftumwälzung  $E_{WQ}$  und der elektrischen Energie für eine allfällige Speicherladepumpe  $E_{SP}$  zusammen.

Für einen Vergleich mit Kesselheizungen ist auch die Wärme aus einer allfälligen Zusatzheizung und die dafür aufzuwendende elektrische Energie  $E_{ZH}$  gemäss dem Bilanzgebiet 2 des Bildes 2

massgebend. Weiter können auch Kesselheizungen mit Solaranlagen und Zuluftvorwärmung durch Erdregister ausgerüstet werden. Man erhält damit den Wärmeerzeugungsnutzungsgrad WNG zu:

Gleichung (2), siehe Kasten

Für die Verbraucher ist letztlich entscheidend, welche Energie sie für ihre im Raum oder im Warmwasser verteilte Nutzwärme aufwenden müssen. Sie können die Verlustwärme der Teilsysteme zur Heizwärmeverteilung und zur Luftumwälzung ausserhalb des isolierten Wohnbereichs  $Q_{VHL}$  nicht nutzen. Im Allgemeinen ebenfalls nicht nutzbar sind die Wärmeverluste des Warmwasserboilers und des Warmwasserverteilsystems (Bereitschaftsverluste)  $Q_{WSV}$ . Im Systemnutzungsgrad SNG nach Gleichung 3 werden diese Wärmeverluste als nicht nutzbar angesehen (ergibt ungünstigsten, tiefsten Wert). Weiter ist für das Gesamtsystem eine allfällige Wärmerückgewinnung aus der Abluft  $Q_{WRG}$  zu berücksichtigen. Mit dem entsprechenden zusätzlichen Aufwand an elektrischer Energie ( $E_{VHL}$ ,  $E_{WSV}$  und  $E_{WRG}$ ) erhält man:

Die üblicherweise angegebene Jahresarbeitszahl (JAZ) der Wärmepumpenanlage

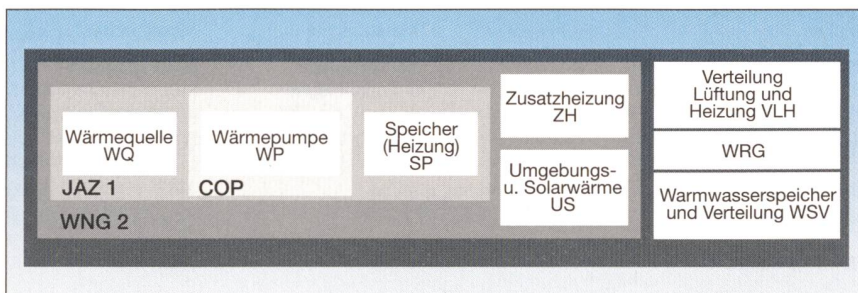
Gleichung (3), siehe Kasten

Dieser Nutzungsgrad des Gesamtsystems mit Wärmeverteilung und Bereitschaftsverlusten ist nicht zu verwechseln mit dem bei Kesseln häufig angegebenen Kesselnutzungsgrad. Dieser berücksichtigt nur das Teilsystem «Kessel» als Wärmeerzeugungselement analog zum Wärmeerzeugungsnutzungsgrad nach der Gleichung 2.

Wie aus Bild 3 hervorgeht, schneidet das System SW energetisch sowohl bei der Raumheizung wie auch bei der Warmwasserbereitung deutlich besser ab als das System LW. Beim System LW fällt die energetische Effizienz der Warmwasserbereitung trotz der Abluftwärmenutzung besonders enttäuschend aus. Bei der Kleinwärmepumpe für die separate Warmwasserbereitung ist zwar ein etwas geringerer Gütegrad zu erwarten, doch besteht hier trotzdem noch ein erheblicher Verbesserungsbedarf. Ebenfalls auffallend sind die grossen Bereitschaftsverluste bei der Warmwasserverteilung beider Systeme. Sie äussern sich im grossen Unterschied zwischen dem Wärmeerzeugungsnutzungsgrad und dem Nutzungsgrad nach der Warmwasserverteilung. Auch hier besteht Verbesserungspotential.

Während der Versuchsperiode wurde auch der Luftwechsel in den beiden Gebäuden durch Tracergasmessungen detailliert untersucht. Während die Räume des Systems SW mit der kontrollierten Einzelraumlüftung gleichmässig geringe  $CO_2$ -Konzentrationen aufwiesen, erwies sich das Weglassen einer kontrollierten

Die verallgemeinerbaren Schlüsse des gesamten Projekts werden als Anleitung für Planer von Wärmepumpenheizungssystemen in einem technischen Handbuch zusammenfassend dargestellt ([www.waermepumpe.ch/fe](http://www.waermepumpe.ch/fe) und [www.waermepumpe.ch/fe/projekte/nth](http://www.waermepumpe.ch/fe/projekte/nth)). Der ausführliche Schlussbericht zum BFE-Forschungsprojekt «Kostengünstige Niedrigtemperaturheizung mit Wärmepumpe, Phase 3 (Messungen an drei Funktionsmustern, Benutzereinfluss, Vergleich verschiedener Heiz- und Regelkonzepte)» ist unter [www.waermepumpe.ch/fe](http://www.waermepumpe.ch/fe), Rubrik «Berichte», oder bei Enet, 9320 Arbon, Tel. 071 440 02 55, [enet@temas.ch](mailto:enet@temas.ch), erhältlich.



**Bild 2** Bilanzgebiete für die Kennzahlen gemäss den Gleichungen (1) bis (3)

Lüftung beim System LW in der ersten Heizperiode als schlecht. Auf Grund der dichten Bauweise der Gebäudehülle kam es zu überhöhten CO<sub>2</sub>-Konzentrationen. Erst durch den nachträglichen Einbau einer mechanischen Lüftung konnte die Luftqualität erheblich verbessert werden.

### Neue regelungstechnische Konzepte

Trotz kostengünstiger direkter Einbindung der Wärmepumpe in den Heizkreislauf (ohne Speicher, Ladepumpe und Mischventil) vermochten alle untersuchten Regelungskonzepte die geforderten Komfortansprüche zu befriedigen. Beim System LW wurde der konventionelle rücklaufgeführte Zweipunktregler mit Raumtemperaturfühler (ZPR) im Laufe der Heizsaison 99/00 durch zwei Versuchssteuerungen und einen Versuchsregler nach neuen Konzepten ersetzt. Bei diesen fortschrittlicheren Lösungen wurde aus Kostengründen und wegen der bereits erwähnten Probleme bei der Wahl des Referenzraums generell auf eine Messung der Raumtemperatur verzichtet. Realisiert wurden die folgenden drei Konzepte.

### Energiekennlinienbasierte Steuerung (EKS)

Diese reagiert nur auf die Aussentemperatur und wurde im Rahmen des BFE-Forschungsprojekts «Pulsbreitenmodulation für Kleinwärmepumpenanlagen» bereits erprobt. Näheres dazu in [www.waermepumpe.ch/fe](http://www.waermepumpe.ch/fe), Rubrik «Berichte».

**Gleichungen**

$$(1) \quad JAZ = \frac{Q_{WP} - Q_{SP}}{E_{WP} + E_{WQ} + E_{SP}}$$

$$(2) \quad WNG = \frac{Q_{WP} - Q_{SP} + Q_{ZH} + Q_{US}}{E_{WP} + E_{WQ} + E_{SP} + E_{ZH} + E_{US}}$$

$$(3) \quad SNG = \frac{Q_{WP} - Q_{SP} + Q_{ZH} + Q_{US} - Q_{VHL} - Q_{WSV} + Q_{WRG}}{E_{WP} + E_{WQ} + E_{SP} + E_{ZH} + E_{US} + E_{VHL} + E_{WSV} + E_{WRG}}$$

### Modellbasierte Steuerung mit Voraussage der Aussentemperatur (MBS)

Hier wird der Wärmebedarf auf Grund eines Modells des Wärmepumpenheizungssystems und einer Voraussage der Aussentemperatur in den nächsten 24 Stunden auf Grund von Aussentemperaturmessungen der vergangenen 24 Stunden errechnet. Auch diese Variante wird in [www.waermepumpe.ch/fe](http://www.waermepumpe.ch/fe), Rubrik «Berichte», detaillierter vorgestellt.

### Beobachterbasierter Regler (BBR)

Beim BBR wird nebst der Aussentemperatur auch die Rücklauftemperatur des Heizungskreislaufs am Eintritt in die Wärmepumpe als Ersatz für den zu umgehenden Raumtemperaturfühler verwendet. Die Berechnung des Wärmebedarfs

erfolgt ebenfalls auf Grund eines Modells des Wärmepumpenheizungssystems mit automatisch identifizierten Parametern.

Bei den drei neuen Steuerungs- und Regelungskonzepten erfolgt die Zufuhr der Heizwärme durch Pulsbreitenmodulation. Bei dieser wird der für 24 Stunden berechnete Heizwärmebedarf in möglichst wenig Betriebsperioden («Wärmezufuhrpakete») zugeführt. Dauer und zeitliche Verteilung dieser Betriebsperioden über den Tag erfolgt unter optimierter Berücksichtigung von Sperrzeiten und Tarifstruktur ([www.waermepumpe.ch/fe](http://www.waermepumpe.ch/fe), Rubrik «Berichte»). Trotz fehlendem Raumtemperaturfühler und fehlendem Wärmespeicher konnte der geforderte Wohnkomfort mit diesen neuen Konzepten aufrechterhalten werden.

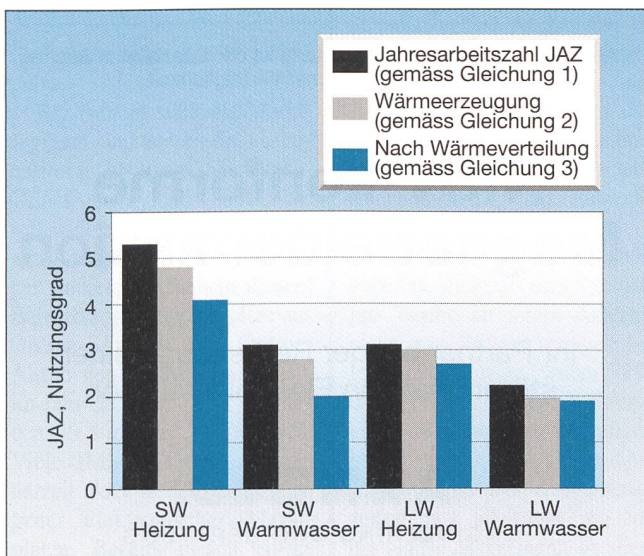


Bild 3 Vergleich der Ergebnisse der untersuchten Systeme für die Raumheizung und für die Warmwasserbereitung für die Periode Mai 1999 bis April 2000. Legende zu den Systemen SW und LW in der Tabelle I

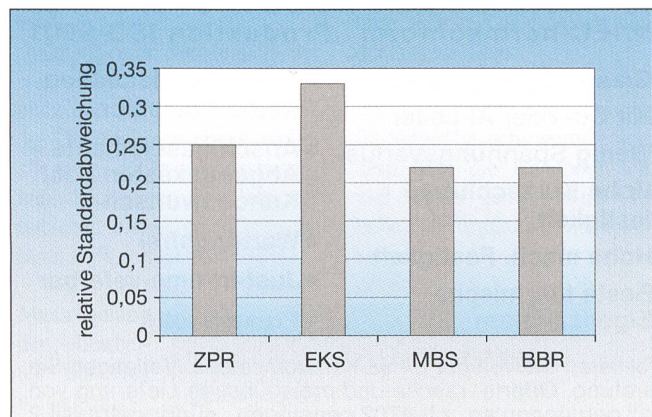


Bild 4 Vergleich der im System SW mit den unterschiedlichen Reglern erreichten relativen Standardabweichungen vom Sollwert der Raumtemperatur.

ZPR: konventioneller Zweipunktregler mit Raumtemperaturfühler (Mittelwert aus zwei Messperioden). Neue Regelungskonzepte ohne Raumtemperaturfühler: EKS (energiekennlinienbasierte Steuerung), MBS (modellbasierte Steuerung mit Voraussage der Aussentemperatur) und BBR (beobachterbasierter Regler).

Ein gutes Mass für die Regelgüte ist die Standardabweichung der Raumtemperatur vom Sollwert. Da die jeweiligen Messperioden ein unterschiedliches Aussentemperaturverhalten aufwiesen, muss die Standardabweichung der Raumtemperatur auf die Standardabweichung der Aussentemperatur in der jeweiligen Messperiode bezogen werden. Diese relative Standardabweichung vom Sollwert der Raumtemperatur wird in Bild 4 für die untersuchten Konzepte veranschaulicht. Gegenüber der konventionellen Zweipunktregelung mit Raumtemperaturfühler schneiden die modellbasierte Steuerung und die beobachterbasierte Regelung ohne Raumtemperaturfühler etwa gleich gut und die energieeffizienteste Steuerung etwas schlechter ab.

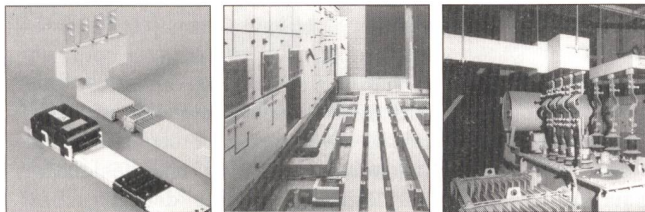
### Adresse des Autors

Dr. Martin Zogg, Kirchstutz 3, CH-3414 Oberburg, martin.zogg@bluewin.ch, Forschungsprogrammleiter Umgebungswärme, Abwärme, WKK (UAW) des Bundesamts für Energie, www.waerme-pumpe.ch/fe

## Le chauffage économique à basse température par pompe à chaleur

### Mesures effectuées sur deux systèmes de chauffage

Dans les maisons à basse énergie – comme p. ex. sous la norme Minergie –, la consommation d'énergie calorifique tombe à peu près à la moitié de celle des constructions conventionnelles. Ainsi, la part d'énergie nécessaire à la préparation d'eau chaude monte à 30% ou 40% de la consommation totale. Ceci pose de nouvelles exigences aux systèmes de chauffage. Afin de réaliser un confort élevé économiquement et avec le minimum d'impact sur l'environnement, la production de chaleur, la distribution du chauffage et le bâtiment ont été examinés sous forme de système global dans le cadre d'un projet bénéficiant de l'appui de l'Office fédéral de l'énergie (Ofen). Sur la base des réflexions théoriques et des essais en laboratoire, il a été construit trois modèles fonctionnels pour trois nouvelles maisons à basse énergie qui ont été mesurés en détail durant les périodes de chauffage 98/99 et 99/00. Ces essais complémentaires ont servi en premier lieu à l'épreuve pratique des concepts de chauffage simples à pompe à chaleur et sans accumulateur proposés dans le projet. A cette occasion, on a également examiné la réaction des nouvelles méthodes proposées de commande et de réglage au comportement réel des utilisateurs. Le présent article expose les enseignements tirés de la comparaison.



## LANZ HE Schienenverteiler zur Stromübertragung und -Verteilung

für Büro-, Gewerbe-, Zweck- und Industriebauten  
400 – 6'000 A/1'000 V AC/DC IP 54 und IP 68  
EN/IEC-normkonform Produktion ISO 9001

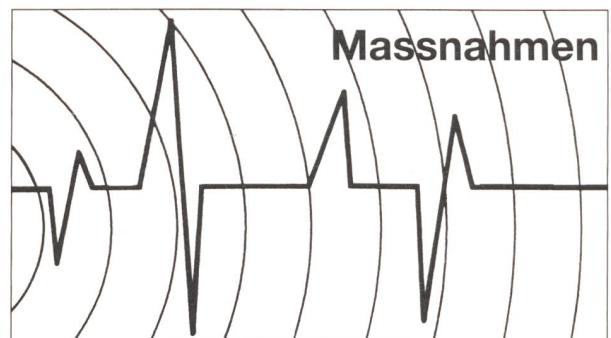
- Giessharzvergossen
- Mit Cu- oder Al-Leiter
- Wenig Spannungsverlust
- Hohe Kurzschlussfestigkeit
- Hohe mech. Festigkeit
- Beste thermische Eigenschaften
- Keine Kondensation
- Keine Korrosion
- Anschlüsselemente + Abgangskästen nach Kundenwunsch
- Wartungsfrei
- Just-in-time lieferbar
- Preisgünstig

Profitieren Sie von der LANZ Kernkompetenz. Verlangen Sie Beratung, Offerte, rasche und preisgünstige Lieferung von **lanz oensingen ag ch-4702 oensingen südringstrasse 2** tel. ++41/62 388 21 21 fax ++41/62 388 24 24 e-mail: info@lanz.oens.com

LANZ HE Schienenverteiler interessieren mich. Senden Sie Unterlagen.  
 Können Sie mich besuchen? – Bitte telefonische Voranmeldung  
Name/Adresse/Tel. \_\_\_\_\_

**LANZ** lanz oensingen ag  
4702 Oensingen Südringstrasse 2 Tel. ++41/62 388 21 21

0101 AR



ARNOLD Engineering und Beratung ist der Spezialist in Sachen  
Elektro-Magnetischer Verträglichkeit

## NISV-konforme Magnetfeldemission

Ihr Partner bei der Realisierung einer störungsarmen Elektroinstallation

**ARNOLD**

ENGINEERING UND BERATUNG

CH-8152 Opfikon/Glattbrugg, Wallisellerstrasse 75  
Telefon 01/828 15 51, Fax 01/828 15 52