

# GEAFOL-Gießharztransformatoren

## Planungshinweise

Power Transmission and Distribution

**SIEMENS**

# Inhalt

<b>Eckdaten für die Planung</b>	
Technische Voraussetzungen	4
Bestimmungen, Vorschriften, Normen	4
Größe und Gewicht	4
<b>Anforderungen an den Aufstellungsort</b>	
Schutzmaßnahmen für Gewässerschutz nach DIN VDE 0101	5
Schutzmaßnahmen für Brandschutz und Funktionserhalt nach DIN VDE 0101	5
Aufstellung von Transformatoren mit Nennspannung über 1 kV	
Schutzmaßnahmen für Brandschutz und Funktionserhalt	6
Klassifizierung nach IEC 60076-11	6
Temperatur der Kühlluft	7
Besondere Aufstellungsbedingungen	7
Mindestabstände	7
Raumgestaltung	8
Berührungsschutz	9
Beispiele für die Ausführung	9
Raumteilung zwischen Trafos	9
<b>Anschlusstechnik</b>	
Anschluss der Oberspannung	10
Anschluss der Oberspannung mit Steckverbindungen	10
Oberspannungs-Anzapfungen	10
Anschluss der Unterspannung	10
Anschluss der Erdungs- und Kurzschließvorrichtungen	10
<b>Temperaturüberwachung</b>	
Temperaturüberwachung	12
Funktion	12
<b>Trafo-Zusatzbelüftung für mehr Leistung</b>	
Merkmale der Lüfter	13
Wirtschaftlichkeit der Zusatzbelüftung	13
<b>Lüftung des Transformator-Raumes</b>	
Voraussetzungen	14
Berechnung der Verlustwärme im Raum	15
Berechnung der Wärmeabfuhr	15
$Q_{v1}$ : Wärmeabfuhrung mit dem natürlichen Luftstrom	15
Berechnungsbeispiel	15
$Q_{v2}$ : Wärmeabfuhrung über Wände und Decken	15
$Q_{v3}$ : Wärmeabfuhrung mit dem erzwungenen Luftstrom	16
Lüftungskanäle	16
Raum-Lüfter	16
Kriterien für die Wahl des Raum-Lüfters	17
Leistung des Raum-Lüfters	17
$p_R$ : Druckdifferenz durch Strömung	17
$p_B$ : Druckdifferenz durch Beschleunigung	17
Berechnungsbeispiel	17
<b>Geräusche</b>	
Das Schallempfinden des Ohres	19
Die messtechnische Annäherung an das Ohr	19
Ausbreitung der Geräusche	20
Schall-Leistung	20
Maßnahmen zur Geräuschkürzung	20
– Luftschall	20
– Körperschall	21
– Körperschall-Isolierung: Bemessung	21
– Körperschall-Isolierung: Berechnungsbeispiel	21
Geräuschstärke im Trafo-Nebenraum: Berechnungsbeispiel	22
<b>EMV von Verteilungstransformatoren</b>	
	23



Überall leicht zu integrieren:

# GEAFOL – für höchste Anforderungen vor Ort

Überall dort, wo hohe Lastdichten eine verbrauchernahe Stromversorgung erfordern, sind GEAFOL®-Gießharztransformatoren die optimale Lösung. Sie geben Planern die notwendige Freiheit: Weil sich mit ihnen Netzkonzepte wirtschaftlich verwirklichen lassen. Weil sie umweltfreundlich und sicher sind.

Und weil sie eine schwerpunktnahe Stromversorgung ermöglichen, ohne besondere Räume oder Vorkehrungen zu beanspruchen. Aspekte, die diese Verteilungstransformatoren besonders geeignet machen für den Einsatz in Gebäuden.

Der Vorteil: GEAFOL-Gießharztransformatoren lassen sich überall leicht integrieren – direkt vor Ort, ob in Geschäfts- und Wohngebäuden oder in der Fertigung für den Einsatz in der Industrie oder für das Transport- und Verkehrswesen.

Vorschriften wie Brand- oder Grundwasserschutz sind mit GEAFOL-Gießharztransformatoren ganz einfach zu erfüllen. So ist diese Technik nicht nur schwer brennbar und selbstverlöschend, feuchte- und tropenfest, sondern auch geräuscharm. Und weil sie viele Auswahlmöglichkeiten bieten, erleichtern sie die Anpassung an die Anlage – die Planung wird flexibler.

Wie auch Sie Ihre Anlage optimal mit GEAFOL planen – diese Broschüre gibt Ihnen wichtige Hinweise.





# Eckdaten für die Planung

Hier vorab die Eckdaten für die Planung Ihrer GEAFOI-Anlage

## Technische Voraussetzungen

Alle technischen Daten gelten für GEAFOI-Gießharztransformatoren mit folgenden Merkmalen:

- Einsatz in abgeschlossener Betriebsstätte gemäß DIN VDE 0101 bzw. DIN VDE 0108
- Leistung 50–2500 kVA
- Spannung bis  $U_m = 36$  kV

Die Daten gelten im Wesentlichen auch

- für Transformatoren über 2500 kVA
- für flüssigkeitsgefüllte Transformatoren in den Punkten „Schutzmaßnahmen für Gewässerschutz, Brandschutz und Funktionserhalt“ sowie für „Lüftung“ und „Geräusch“

## Bestimmungen, Vorschriften, Normen

Unsere GEAFOI-Transformatoren erfüllen alle zu berücksichtigenden nationalen, europäischen und internationalen Normen.

### Vorschriften

- IEC 60076-11
- DIN VDE 0532

### Normen

- DIN 42 523 Trockentransformatoren 50 Hz, 100–2500 kVA
- HD 538.1 S1

Beim Errichten und Betreiben von Anlagen sind zu berücksichtigen:

- DIN VDE 0100 – für die Errichtung von Starkstromanlagen mit Nennspannungen bis 1000 V
- DIN VDE 0101 – für die Errichtung von Starkstromanlagen mit Nennspannungen über 1 kV

- DIN VDE 0105 – für den Betrieb von Starkstromanlagen
- DIN VDE 0108 – für Errichtung und Betrieb von Starkstromanlagen in Bauten mit Menschenansammlungen sowie für die Sicherheitsbeleuchtung in Arbeitsstätten
- DIN VDE 0141 – für die Erdung von Starkstromanlagen mit Nennspannung über 1 kV
- Elt Bau VO – Normen der Bundesländer für die „Elektrische Betriebsraumverordnung“
- Arb. Stätt. VO – Bestimmungen zur Arbeitsstättenverordnung
- TA-Lärm – Anleitung zum Schutz vor akustischer Belastung

Weitere Planungs- und Auslegungshinweise sind enthalten in:

- VDI 2078 – für die Berechnung der Kühllast in klimatisierten Räumen
- AGI J 12 – Bauliche Ausführung; Räume für Innenschaltanlagen Arbeitsblatt der Arbeitsgemeinschaft Industriebau e. V. (AGI)

## Größe und Gewicht

Alle planungsrelevanten Daten zu Abmessung und Gewicht bietet unser Katalog „GEAFOI-Gießharztransformatoren“ in der aktuellen Ausführung (Bestell-Nr. E50001-K7101-A101-A5).

Maßgeblich für die konkrete Ausführung der Transformatoren ist das Angebot bzw. die Auftragsdokumentation.



# Anforderungen an den Aufstellungsort

GEAFOL-Transformatoren stellen die geringsten Anforderungen an den Aufstellungsort. Dies ergibt sich aus den Vorschriften für Grundwasserschutz, Brandschutz und Funktionserhalt in DIN VDE 0101, DIN VDE 0108 und der Elt Bau VO. Im Folgenden der Vergleich von Transformatoren verschiedener Ausführungen auf Basis dieser Vorschriften, wie sie 1997 gültig waren.



## Schutzmaßnahmen für Gewässerschutz nach DIN VDE 0101

Trafoausführung	Kühlungsart nach EN 60076-2	Allgemein	in abgeschlossenen elektrischen Betriebsstätten	Freiluftanlagen
Mineralöl <sup>1</sup>	O	<ul style="list-style-type: none"> <li><b>a</b> Auffangwannen und Sammelgrube</li> <li><b>b</b> Austritt von Flüssigkeit aus der Sammelgrube muss verhindert werden</li> <li><b>c</b> Wasserhaushaltsgesetz und die landesrechtlichen Verordnungen sind zu beachten</li> </ul>	als Auffangwannen sind undurchlässige Fußböden mit Schwellen zulässig bei max. 3 Trafos und je Trafo weniger als 1.000 l Flüssigkeit	unter bestimmten Voraussetzungen keine Auffangwannen und Sammelgruben  vollständiger Text aus VDE 0101, Abschnitt 5.4.2.5 C, ist unbedingt zu berücksichtigen
Trafos mit Silikonöl bzw. synth. Ester <sup>2</sup>	K	Wie bei Kühlmittelbezeichnung O	←	←
Gießharz-Trockentransformatoren	A	Keine Maßnahmen erforderlich	←	←

- 1) bzw. Brennpunkt der Kühl- und Isolierflüssigkeit ≤ 300 °C  
 2) bzw. Brennpunkt der Kühl- und Isolierflüssigkeit > 300 °C

## Schutzmaßnahmen für Brandschutz und Funktionserhalt nach DIN VDE 0101

Kühlmittelbez.	Allgemein	Freiluftanlagen
O	<ul style="list-style-type: none"> <li><b>a</b> Räume feuerbeständig F90A getrennt</li> <li><b>b</b> Türen feuerhemmend T30</li> <li><b>c</b> Türen ins Freie schwer entflammbar</li> <li><b>d</b> Auffangwannen und Sammelgruben so angeordnet, dass Brand nicht weitergeleitet wird, ausgenommen bei Aufstellung in abgeschlossenen elektrischen Betriebsstätten mit max. 3 Trafos, je Trafo weniger als 1.000 l Flüssigkeit</li> <li><b>e</b> Schnell wirkende Schutzeinrichtungen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><b>a</b> ausreichende Abstände</li> </ul> oder <ul style="list-style-type: none"> <li><b>b</b> feuerbeständige Trennwände</li> </ul>
K	Wie bei Kühlmittelbez. O <b>a</b> , <b>b</b> und <b>c</b> kann entfallen, wenn <b>e</b> vorhanden	keine Maßnahmen erforderlich
A	Wie bei Kühlmittelbez. K, jedoch ohne <b>d</b>	keine Maßnahmen erforderlich



### Aufstellung von Transformatoren mit Nennspannung über 1 kV Schutzmaßnahmen für Brandschutz und Funktionserhalt

Kühlmittelbez.	zusätzliche Anforderungen für Anlagen für Menschenansammlungen aus DIN VDE 0108 und Elt Bau VO
O	<p><b>a</b> Aufstellung in abgeschlossenen elektrischen Betriebsstätten</p> <p><b>b</b> Diese dürfen nur im Erdgeschoss und bis 4 m unter der Geländeoberfläche sein</p> <p><b>c</b> Ausgang nur unmittelbar oder über einen Vorraum ins Freie</p> <p><b>d</b> Traforaumwände feuerbeständig</p> <p><b>e</b> Traforaumwände dick wie Brandwände</p> <p><b>f</b> Türen feuerhemmend, aus nicht brennbaren Baustoffen</p> <p><b>g</b> Bei Türen ins Freie genügt Ausführung aus nicht brennbaren Baustoffen</p> <p><b>h</b> Auslaufende Flüssigkeit muss sicher aufgefangen werden</p> <p><b>i</b> Selbsttätige Schutzeinrichtungen gegen die Auswirkung von Überlastungen sowie von inneren und äußeren Fehlern</p>
K	Wie bei Kühlmittelbez. O, jedoch ohne <b>b, c</b> und <b>e</b>
A	Wie bei Kühlmittelbez. K, jedoch ohne <b>h</b>

### Klassifizierung nach IEC 60076-11

In dieser Vorschrift sind Umgebungs-, Klima- und Brandklassen definiert und dadurch wird den unterschiedlichen Betriebsbedingungen am Aufstellungsort Rechnung getragen.

Umgebungs-kategorie berücksichtigt Luftfeuchte, Feuchteniederschlag und Verschmutzung.

Klasse E0: kein Feuchteniederschlag, Verschmutzung vernachlässigbar

Klasse E1: gelegentlicher Feuchteniederschlag, Verschmutzung begrenzt möglich

Klasse E2: häufiger Feuchteniederschlag oder Verschmutzung, auch beides gleichzeitig

Klimakategorie berücksichtigt die niedrigste Umgebungstemperatur.

Klasse C1: Innenraumaufstellung nicht unter  $-5\text{ °C}$

Klasse C2: Freiluftaufstellung bis herab auf  $-25\text{ °C}$

Die Klimakategorie ist somit auch ein Maß für die Rissfestigkeit des Gießharzvergusses.

Brandklasse berücksichtigt die möglichen Brandfolgen.

Klasse F0: Eine Begrenzung der Brandgefahr ist nicht vorgesehen.

Klasse F1: Durch die Eigenschaften des Transformators wird die Brandgefahr begrenzt.

### Wichtig!

Gemäß DIN 42 523 müssen die erforderlichen Klassen durch den Betreiber definiert werden.

GFAFOL-Transformatoren erfüllen die höchsten definierten Klassen:

Umgebungs-kategorie E2

Klimakategorie C2

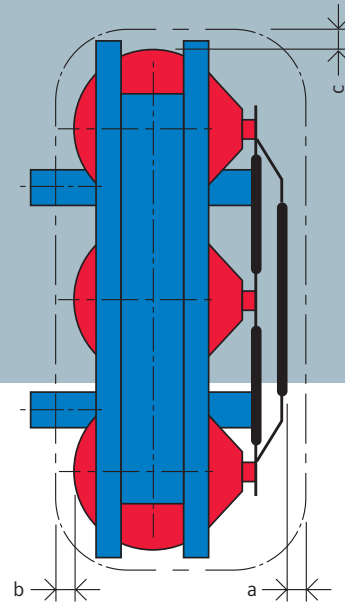
Brandklasse F1

Damit sind GFAFOL-Transformatoren:

- betriebssicher – auch bei Feuchteniederschlag und Schmutzbelastung
- im Schutzgehäuse IP 23 und Sonderanstrich geeignet zur Freiluftaufstellung bei Temperaturen bis  $-25\text{ °C}$  (tiefere Temperaturen auf Anfrage)
- ein hoher Beitrag zum Brandschutz



# Anforderungen an den Aufstellungsort



**Bild 1:**  
Mindestabstände um  
GEAFOL-Transformatoren

## Temperatur der Kühlluft

Transformatoren werden entsprechend der einschlägigen Normen für folgende Werte der Kühlluft ausgelegt:

- maximal 40 °C
- monatlicher Durchschnitt des heißesten Monats 30 °C
- Jahresmittel 20 °C

Bei Normalbetrieb wird dabei der normale Lebensdauerverbrauch erzielt. Für den Lebensdauerverbrauch sind insbesondere die mittlere Jahrestemperatur sowie die Belastung entscheidend. Davon abweichende Temperaturen der Umgebung verändern die Belastbarkeit der Anlage (*Tabelle 1*).

## Besondere Aufstellungsbedingungen

Extreme Bedingungen vor Ort sind bei der Anlagen-Planung zu berücksichtigen:

- Relevant für den Einsatz in tropischem Klima sind Anstrich und vorherrschende Temperaturen
- Bei Einsatz in über 1.000 m Höhe ist eine Sonderauslegung betreffend Erwärmung und Isolationspegel notwendig, siehe IEC 60076-11
- Bei erhöhter mechanischer Beanspruchung – Einsatz in Schiff, Bagger, Erdbebengebiet usw. – können konstruktive Zusätze erforderlich sein, z. B. Abstützen des oberen Joches.

## Mindestabstände

Bei besonders beengten Platzverhältnissen wie z. B. in Schutzgehäusen müssen Mindestabstände (*Tabelle 2*) beachtet werden. Damit werden Spannungsüberschläge verhindert.

**Tabelle 1**

Umgebungstemperatur (Jahresmittel)	Belastbarkeit
-20 °C	124 %
-10 °C	118 %
0 °C	112 %
+10 °C	106 %
+20 °C	100 %
+30 °C	93 %

**Tabelle 2**

Höchstspannung*) der Betriebsmittel $U_m$	Bemessungs-, Steh-, Blitz-, Stoßspannung*) LI		Mindestabstand ( <i>siehe Bild 1</i> )		
	Liste 1	Liste 2	a	b	c
kV	kV	kV	mm	mm	mm
12	-	75	120	**)	50
24	95	-	160	**)	80
24	-	125	220	**)	100
36	145	-	270	**)	120
36	-	170	320	**)	160

\*) siehe DIN EN 60076-3 (VDE 0532 T3)

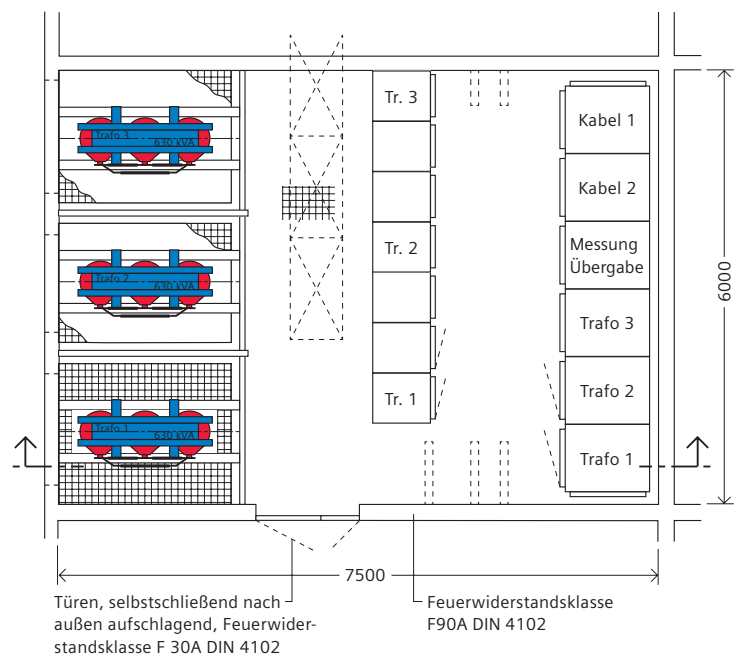
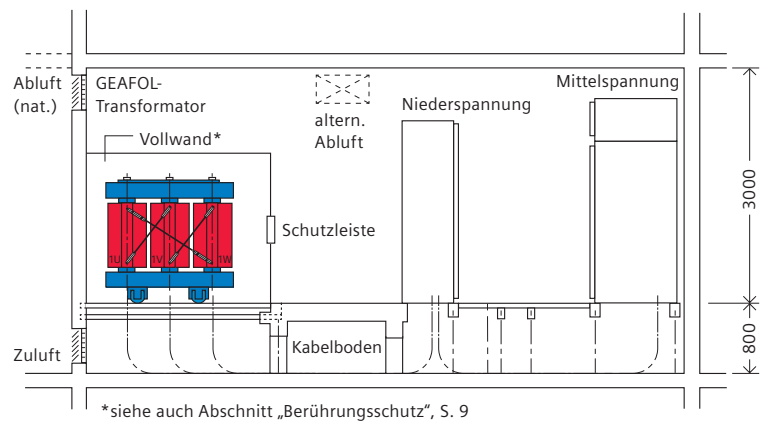
\*\*\*) Abstand b = Abstand a, wenn hier OS-Anzapfungen; sonst: Abstand b = Abstand c.



### Raumgestaltung

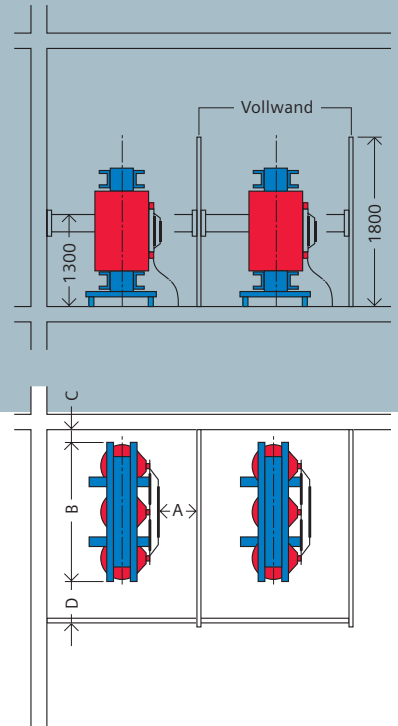
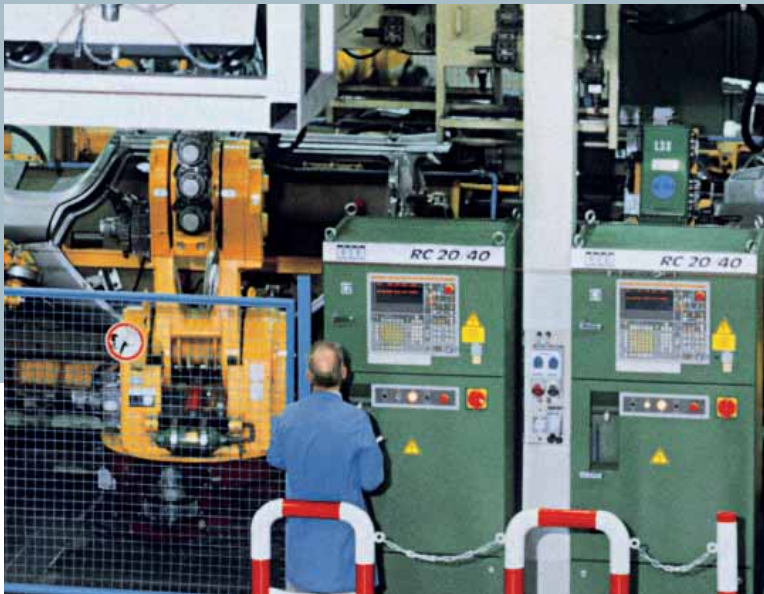
GEAFOL-Gießharztransformatoren können ohne Zusatzmaßnahmen mit Mittel- und Niederspannungs-Schaltanlagen zusammen in einem Raum untergebracht werden. Damit können bauseits erhebliche Kosten für Transformatorzellen eingespart werden. Dieser Raum kann im Gegensatz zum Raum mit Öltrafos 4 m unter der Geländeoberfläche oder in Obergeschossen von Gebäuden vorgesehen werden.

Bei Anlagen, die in den Geltungsbereich der Elt Bau VO fallen, müssen Türen der Feuerwiderstandsklasse F30A und Wände der Feuerwiderstandsklasse F90A den elektrischen Betriebsraum feuerbeständig abtrennen, Brandwände (24 cm) wie bei Öltrafos sind bei GEAFOLE-Transformatoren jedoch nicht erforderlich.



**Bild 2:**  
Anordnungsbeispiel nach  
DIN VDE 0108.  
GEAFOL-Transformatoren  
und Schaltanlagen in elektrischer  
Betriebsstätte zur Versorgung  
eines Bürogebäudes





**Bild 3:**  
Beispiel Schutzleiste

## Berührungsschutz

Die Gießharz-Oberfläche der Trafo-Wicklung ist im Betrieb nicht berührungssicher. Deshalb ist ein Schutz gegen zufälliges Berühren notwendig. Für Berührungssicherheit sorgen verschiedene Maßnahmen bei Aufstellung des Transformators in einer elektrischen Betriebsstätte, z. B. der Einbau von Schutzleiste (Bild 3) oder Gitter (Bild 4).

## Beispiele für die Ausführung

Bild 3 und 4 zeigen Beispiele für die Ausführung des Schutzes gegen zufälliges Berühren.

Für die Größen der Abstände A, B und C gilt die Regel:

- Mindestabstand (Tabelle 2)

plus

- 30 mm Sicherheitszuschlag (praxis-erprobtes Maß)

plus

- Montageabstand (je nach Platzbedarf).

Schutzabstand D (Bild 3) ist gefordert bei Trennung mit Leisten, Ketten oder Seilen, angebaut in einer Höhe von 1.100–1.300 mm.

Hier gilt bei  $U_m$ :

12 kV = 500 mm
24 kV = 500 mm
36 kV = 525 mm

Schutzabstand E (Bild 4) ist gefordert bei einer Gitterhöhe von 1.800 mm.

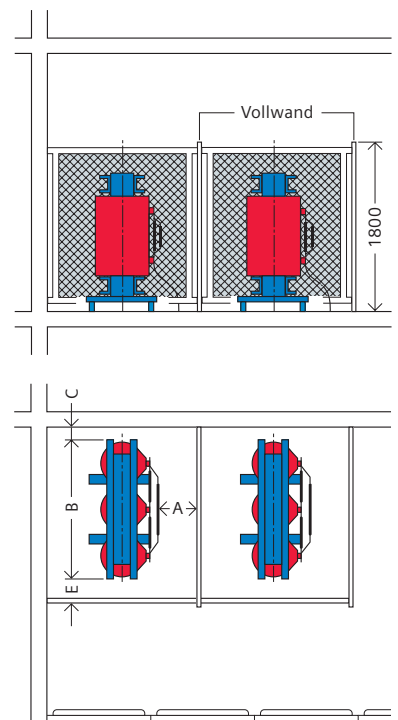
Hier gilt bei  $U_m$ :

12 kV = 215 mm
24 kV = 315 mm
36 kV = 425 mm

Und: max. 40 mm Maschenweite für Gittertüren bzw. Schutzgitter. Schutzabstand D und E gemäß DIN VDE 0101.

## Raumteilung zwischen Trafos

Bei Anordnung mehrerer GEAFOL-Trafos in einem Raum (Bilder 2, 3 und 4) ist eine Raumteilung nicht Vorschrift, sie wird aber in der Regel realisiert: per einfacher, nicht brennbarer Trennwand. Klare Vorteile bringt eine Abtrennung, wenn Trafos unterschiedliche Netze versorgen: Muss ein Trafo freigeschaltet werden, kann der andere in Betrieb bleiben.



**Bild 4:**  
Beispiel Gitter

# Anschlussstechnik

Bedarfsgerechte Optionen für den Anschluss der Ober- und Unterspannung kennzeichnen die variable Anschlussstechnik der GEAFOL-Transformatoren.

## Anschluss der Oberspannung

In der Standardausführung ist der OS-Anschluss des Transformators am oberen Spulenanschluss; der Anschluss unten ist auf Bestellung möglich (*Bild 5*). Die geschraubten Schaltverbindungen stellen die Dreiecksschaltung her. Am Ende der Schaltstangen erfolgt der Trafo-Anschluss wahlweise an einer geraden oder abgewinkelten Anschlussfläche.

## Anschluss der Oberspannung mit Steckverbindungen

Die Ausrüstung mit Außenkonus-Steckdurchführungen für den Oberspannungsanschluss ist möglich (*siehe Bild 6*).

## Oberspannungs-Anzapfungen

Die OS-Anzapfungen ermöglichen eine Anpassung an die örtlichen Netzverhältnisse. Mit Schaltlaschen und Schraubverbindungen kann die erforderliche Anzapfung eingestellt werden.

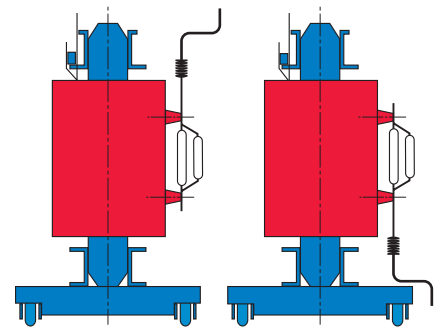
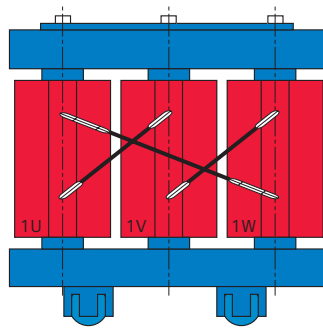
## Anschluss der Unterspannung

Auch der US-Anschluss ist in der Standardausführung am Transformator oben angeordnet, der Anschluss unten ist ebenfalls auf Bestellung möglich (*Bild 7*). Werden vor Ort Dehnungsbänder zwischengeschaltet, wird der US-Anschluss vor mechanischen Spannungen und Körperschallübertragung geschützt.

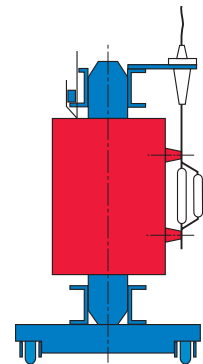
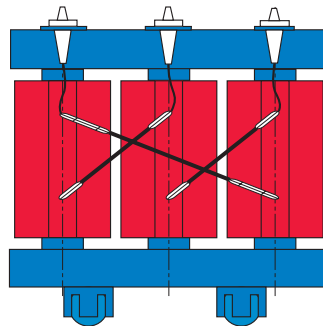
## Anschluss der Erdungs- und Kurzschließvorrichtungen

Hierfür können an den Leiteranschlüssen Kugelfestpunkte 20 mm oder 25 mm Durchmesser, gerade oder abgewinkelt, angebracht werden, für die Oberspannung an der Schaltstange, für die Unterspannung an der Leiteranschlussfläche.



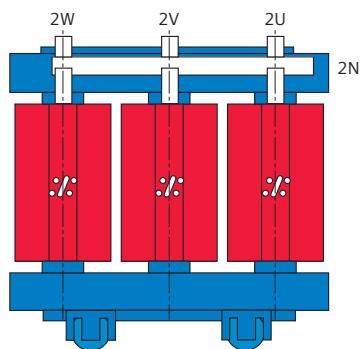


**Bild 5:** Variable Anschlussmöglichkeiten, z. B. an einer in Dreieck geschalteten Oberspannung

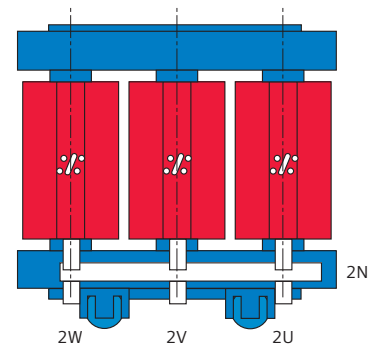


**Bild 6:** OS-Steckverbindungen

**Bild 7a und 7b:** GEAFOL-Transformatoren mit US-Anschlusstechnik



**Bild 7a:** Leiter- und Sternpunktanschluss oben



**Bild 7b:** Leiter- und Sternpunktanschluss unten



# Temperaturüberwachung

Die Temperaturüberwachung von GEA FOL-Transformatoren kann in der Niederspannungswicklung durch Kaltleitertemperaturfühler (PTC), durch Einsatz von PT 100 oder eines Thermometers mit Kapillarrohr erfolgen. Dabei wird die Temperatur der US-Wicklung kontrolliert, bei Stromrichter-Transformatoren auch die Kerntemperatur. Am kostengünstigsten ist die Überwachung mit Kaltleiterfühlern ohne Anzeige der Temperatur. Jeder GEA FOL-Transformator ist mindestens mit einer Kaltleiter-Fühlerschleife für Auslösung ausgerichtet.

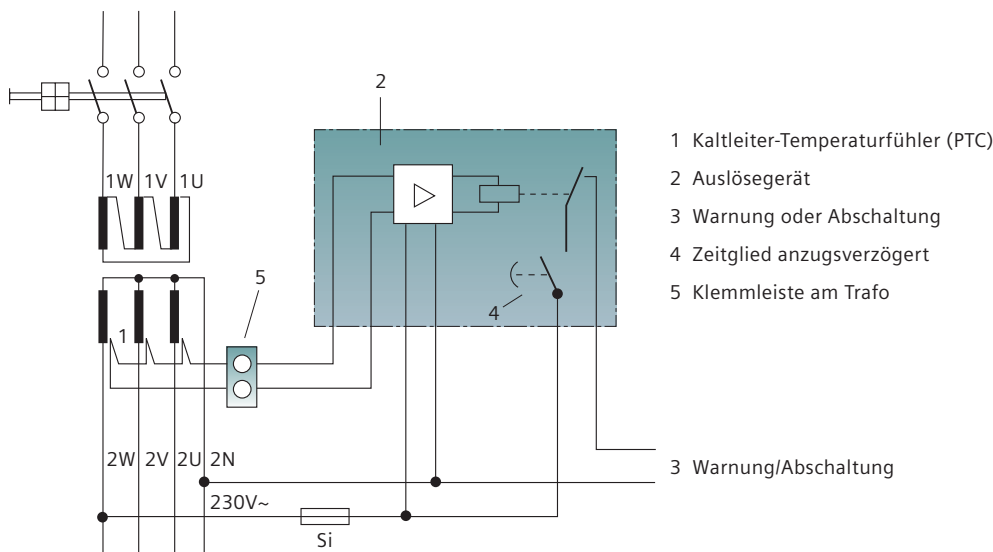
## Funktion

### Temperaturüberwachung mit Kaltleiterfühler (PTC)

Bei einem Drehstrom-Transformator besteht ein System aus 3 in Reihe geschalteten Kaltleiterfühlern – pro Phase ein Fühler – und einem Auslösegerät. Die Temperaturfühler arbeiten als Widerstände: Wird die Ansprechtemperatur erreicht, erhöht sich ihr Widerstand sprunghaft – und sofort schaltet das Auslösegerät um. Kühlt die Wicklung um ca. 3 K unter Ansprechtemperatur ab, wird die Relaispule im Auslösegerät voll erregt – der Wechselkontakt schaltet zurück. Der Vollschutz arbeitet nach Ruhestromprinzip. Er bietet auch automatisch Schutz gegen Leitungsbruch im Fühlerkreis.

Erfolgt die Temperaturüberwachung mit zwei Systemen, so ist das eine auf Warnung, das andere auf Auslösung geschaltet. Die Nennansprechtemperaturen beider Systeme unterscheiden sich um 20 K. Ein drittes System kann z. B. die Lüftersteuerung übernehmen. Wird die Steuerspannung für die Temperaturüberwachung direkt von der Trafo-Sekundärseite entnommen, ist zusätzlich ein Zeitglied notwendig. Dieses Zeitglied überbrückt die Spanne vom Moment der Trafo-Zuschaltung bis zum Anziehen des Relais im Auslösegerät. Die Umgebungstemperatur des Auslösegerätes ist auf 55 °C begrenzt. Zweckmäßig ist deshalb der Einbau in die Mittel- oder Niederspannungs-Verteilerschränke.

Prinzipschaltbild für Temperaturüberwachung



**Bild 8:** Stromversorgung des Auslösegerätes durch ein vom zu schützenden Transformator gespeistes Netz



# Trafo-Zusatzbelüftung für mehr Leistung

Durch Anbau von Querstromlüftern wird die Leistung von GEAFOL-Transformatoren bis 2.500 kVA und bei Schutzart IP 00 bis zu 50 % gesteigert. Mit dieser effizienten Bebelastung steigt z. B. die Dauerleistung beim Typ 1.000 kVA auf 1.500 kVA, ohne dass die zulässigen Wicklungstemperaturen überschritten werden.

Die Angabe auf dem Typenschild lautet dann:

- Bemessungsleistung 1.000 kVA bei Kühlungsart AN und
  - Bemessungsleistung 1.500 kVA bei Kühlungsart AF
- Somit können Leistungsreserven bereitgehalten und länger dauernde Lastspitzen abgedeckt werden. Für die Zusatzbelüftung werden an beiden Längsseiten je 2 oder 3 Lüfter angebracht.

## Merkmale der Lüfter

- Einphasen-Wechselstrommotor (Außenläufer IP 00)
- Berührungsschutz für Motor
- Schall-Druckpegel in der Regel 71–74 dB (A), damit geräuschbestimmend.

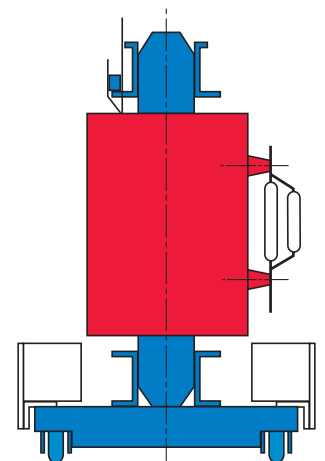
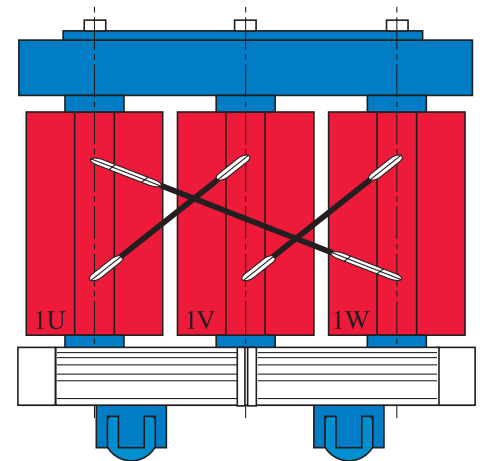
Für das temperaturabhängige Einschalten der Lüfter ist ein Steuergerät erforderlich. Das Abschalten erfolgt über ein einstellbares Zeitrelais im Steuergerät.

Bei Betrieb mit Lüfter – also Kühlungsart AF – ist zu berücksichtigen:

- Platzbedarf der Lüfter, z. B. bei einem 1.000-kVA-Transformator Länge + ca. 200 mm, Breite + ca. 200 mm
- Der US-Anschluss muss so ausgeführt werden, dass der Luftstrom an den Spulen nicht beeinträchtigt wird
- Die größere Verlustleistung des Transformators. Die Kurzschlussverluste steigen quadratisch mit der Belastung. Dies ist relevant für die Auslegung der Raumlüftung (siehe Seite 16) und bezüglich der Betriebskosten

## Wirtschaftlichkeit der Zusatzbelüftung

Die Kosten für Lüfter und Lüftersteuerung sind im Leistungsbereich bis 2.500 kVA nahezu konstant. Bei Leistungen bis 400 kVA ist es meistens wirtschaftlicher, eine höhere Trafoleistung anstatt einer Zusatzbelüftung einzusetzen. Dauerbetrieb mit 150 % Nennlast bei Kühlungsart AF ist zulässig, die Kurzschlussverluste betragen jedoch dann das 2,25 fache des Wertes bei 100 % Nennlast; beim 1.000-kVA-Transformator z. B. 22,5 kW statt 10 kW. Beim Einsatz eines Transformators mit höherer Nennleistung wären zwar die lastabhängigen Verluste geringer, die Leerlaufverluste jedoch höher. Daraus lässt sich ableiten, dass die Ausrüstung mit Zusatzbelüftung weniger bei Dauerbetrieb wirtschaftlich ist, sondern eine günstige Lösung für Reservehaltung und zur Abdeckung von Lastspitzen darstellt. Durch den Einsatz von Lüftern kann sich auch der Wartungsaufwand erhöhen.



**Bild 9:** Anbau von Querstromgebläsen an GEAFOL-Trafos

# Lüftung des Transformator-Raumes

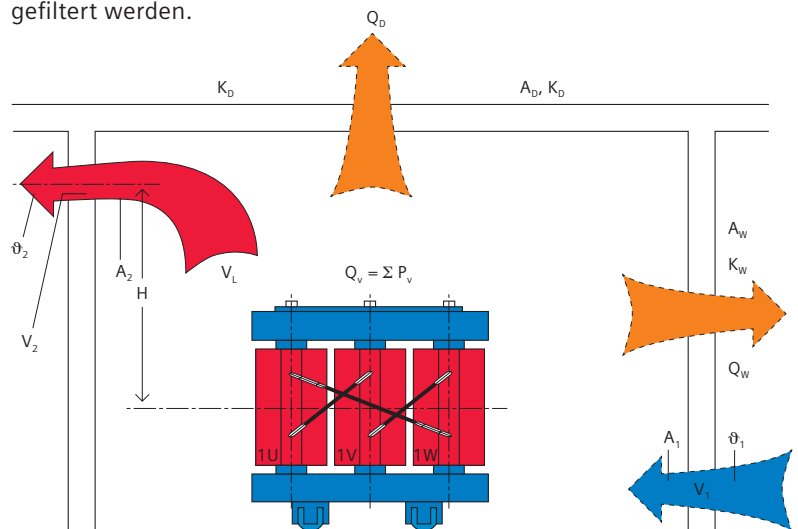
Bei jedem Trafo-Betrieb entsteht Verlustwärme. Sie muss aus dem Trafo-Raum abgeführt werden. Vorrangig zu prüfen ist hierbei die Möglichkeit einer natürlichen Be- und Entlüftung. Falls diese nicht ausreichend ist, ist der Einbau einer mechanischen Lüftungsanlage (zwangsläufig) geboten.

Hierzu im Folgenden wichtige Hinweise für:

- Berechnung einfacher Systeme zur natürlichen und erzwungenen Lüftung
- Diagramme und Beispiele zur Bemessung von Lüftungsanlagen
- effiziente Musteranlagen zur Lüftung

## Voraussetzungen

Die Umgebungstemperatur der nach VDE ausgelegten Transformatoren darf nicht mehr als +40 °C betragen (siehe dazu Seite 7 – mittlere Tages- und Jahrestemperaturen). Auf diesen Maximalwert der Kühlmitteltemperatur, erhöht um die nach IEC 60076-11/VDE 0532 zulässige Wicklungsübertemperatur und den entsprechenden Heißpunktzuschlag, sind die in die Spannungswicklungen eingebauten Temperaturfühler abgestimmt. Dabei ist es für die folgenden Betrachtungen unwesentlich, ob die Transformatoren selbstkühlend (Kühlungsart AN) oder mit zur Leistungssteigerung angebauten Lüftern (Kühlungsart AF) betrieben werden. Die Lüftungsanlage muss auf jeden Fall für die maximal auftretende Verlustwärme bemessen werden. Eine gute Kühlwirkung wird erzielt, wenn die Kühlluft im unteren Bereich des Raumes einströmt und an der entgegengesetzten Raumseite unterhalb der Decke ins Freie abgeführt wird. Falls die Zuluft stark verschmutzt ist, muss sie gefiltert werden.



$Q_v$ : abgeführte Verluste insgesamt (kW)	$Q_{w,d}$ : über Wände und Decken abgeführte Verluste (kW)
$P_v$ : Trafo-Verlustleistung (kW)	$A_{w,d}$ : Fläche der Wände und Decken
$v$ : Luftgeschwindigkeit (m/s)	$K_{w,d}$ : Wärmedurchgangszahl ( $\frac{W}{m^2K}$ )
$A_{1,2}$ : Zu-/Abluftquerschnitt (m <sup>2</sup> )	Indices: W – Wand, D – Decke
$\Delta\theta_L$ : Lüfterwärmung (K), $\Delta\theta_L = \theta_1 - \theta_2$	$V_L$ : Luftmenge (m <sup>3</sup> /s)
$H$ : thermisch wirksame Höhe (m)	

Bild 10: Angaben zur Lüftungsberechnung



### Berechnung der Verlustwärme im Raum

Die Verlustwärme resultiert aus der Verlustleistung des Transformators. Die Verlustleistung eines Trafos ist:

$$P_v = P_0 + 1,1 \times P_{K120} \times \left(\frac{S_{AF}}{S_{AN}}\right)^2 \text{ (kW)}$$

Hierbei bezeichnet:

$P_0$ : Leerlaufverluste (kW)

$1,1 \times P_{K120}$  (kW): Kurzschlussverluste bei 120°C (gemäß Listen- oder, falls schon vorhanden, Prüfscheinangabe), hochgerechnet mit Faktor 1,1 auf Arbeitstemperatur der Isolierklassen OS/US = F/F bei GEAFOL-Transformatoren.

$S_{AF}$ : Leistung bei Kühlungsart AF (kVA)

$S_{AN}$ : Leistung bei Kühlungsart AN (kVA)

Die gesamte Verlustwärme im Raum ( $Q_v$ ) ist die Summe der Verlustwärme aller Trafos im Raum:

$$Q_v = \sum P_v$$

### Berechnung der Wärmeabfuhr

Für die Abführung der gesamten Verlustwärme im Raum ( $Q_v$ ) stehen folgende Wege zur Verfügung:

- $Q_{v1}$ : Abführung mit dem natürlichen Luftstrom
- $Q_{v2}$ : Abführung über Wände und Decken
- $Q_{v3}$ : Abführung mit dem erzwungenen Luftstrom

$$Q_v = P_v = Q_{v1} + Q_{v2} + Q_{v3}$$

### $Q_{v1}$ : Wärmeabführung

#### mit dem natürlichen Luftstrom

Für den Teil der Verlustwärme, den der natürliche Luftstrom abführt, gilt:

$$Q_{v1} = 0,1 \times A_{1,2} \times \sqrt{H \times \Delta\vartheta_L^3} \text{ (kW)}$$

Zu Bezeichnungen siehe Text *Bild 10*:

Für die grafische Lösung kann das Nomogramm *Bild 11* verwendet werden.

Hier ein **Berechnungsbeispiel** zum natürlichen Luftstrom.

Gegeben sind:

- $Q_{v1} = \sum P_v = 10 \text{ kW}$
- $H = 5 \text{ m}$ ;  $\Delta\vartheta_L = \vartheta_2 - \vartheta_1 = 15 \text{ K}$  (Praxis-Wert)

Gesucht sind:

- Menge der Zu- und Abluft  $V_L$
- Zu- und Abluftquerschnitt  $A_{1,2}$  ( $Q_{v2}$  wird hier vernachlässigt)

Lösung mit Nomogramm (*Bild 11*):

Von  $Q_{v1} = 10 \text{ kW}$  ist eine erste Fluchtlinie zu ziehen nach  $\Delta\vartheta_L = 15 \text{ K}$ . Sie schneidet die Leiter  $V_L$  bei  $0,58 \text{ m}^3/\text{s}$  – dem gesuchten Wert der Luftmenge.

Dies bedeutet:

**Bei  $\Delta\vartheta_L = 15 \text{ K}$  werden pro kW Verlustleistung ca.  $200 \text{ m}^3/\text{h}$  Luft benötigt (Richtwert).**

Vom Schnittpunkt der ersten Fluchtlinie mit der Zapfenlinie (rechts der Leiter  $V_L$ ) ist eine zweite Fluchtlinie zu ziehen nach  $H = 5$ . Sie schneidet die Leiter  $A_{1,2}$  bei  $0,78 \text{ m}^2$  – dem gesuchten Wert für den freien Querschnitt der Zu- und Abluft. Strömungswiderstände für Eintrittsöffnung mit Drahtgitter, 10–20 mm Maschenweite, und Austrittsöffnung mit feststehender Jalousie sind hier schon eingeordnet, Drahtgitter statt Jalousien auch an der Austrittsöffnung reduzieren den geforderten Querschnitt um 10%. Gegebenenfalls sind alle querschnittsverengenden Teile durch Vergrößerung des Querschnitts gesondert zu berücksichtigen.

### $Q_{v2}$ : Wärmeabführung über Wände und Decken

Für den Teil der Verlustwärme, den Wände und Decken abführen, gilt:

$$Q_{v2} = (0,7 \times A_w \times K_w \times \Delta\vartheta_w + A_D \times K_D \times \Delta\vartheta_D) \times 10^{-3} \text{ (kW)}$$

Hierbei bezeichnet:

- $K_{w,D}$  = Wärmedurchgangszahl
- $A_{w,D}$  = Fläche der Wände und Decken
- $\Delta\vartheta_{w,D}$  = Temperaturdifferenz innen/außen (sonst siehe auch *Bild 10*).

Tabelle 3: Einige Beispiele

Material	Dicke cm	Wärmedurchgangszahl $K^*$ $\text{W/m}^2 \text{ K}$
Leichtboden	10	1,7
	20	1,0
	30	0,7
Backstein	10	3,1
	20	2,2
	30	1,7
Beton	10	4,1
	20	3,4
	30	2,8
Metall	–	6,5
Glas	–	1,4

\*)  $K$  erfasst Wärmedurchgang und Wärmeübergang an den Oberflächen

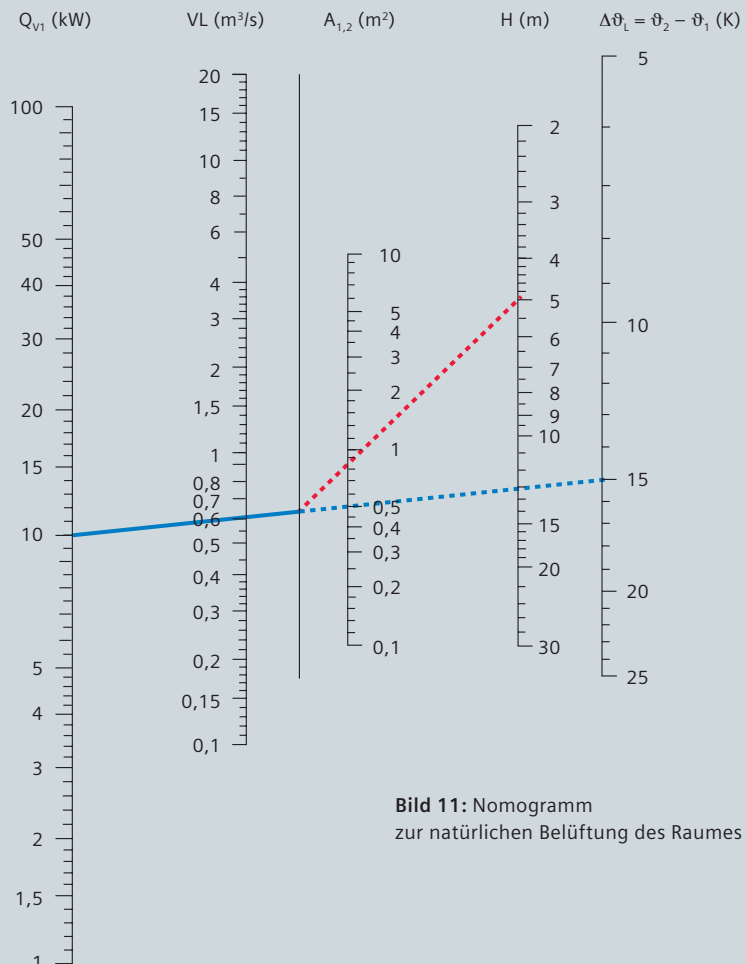


Bild 11: Nomogramm zur natürlichen Belüftung des Raumes

### $Q_{v3}$ : Wärmeabführung mit dem erzwungenen Luftstrom

Der Teil der Verlustwärme  $Q_{v3}$ , den der erzwungene Luftstrom abführt, ist in der Regel viel größer als die Anteile  $Q_{v1}$  und  $Q_{v2}$ . In der Praxis heißt das für die Berechnung der Zwangslüftung: Man setzt  $Q_{v3} = \sum P_{v_i}$ . Demnach kann die Zwangslüftung allein die Gesamtlüftung leisten und  $Q_{v1}$  und  $Q_{v2}$  stellen Sicherheitsreserven dar. Für die durch erzwungenen Luftstrom abgeführte Wärme gilt:

$$Q_{v3} = V_L \times C_{PL} \times \rho_L \times \Delta\vartheta_L \text{ (kW)}$$

Hierbei bezeichnet:

- $V_L$  = Luftmenge ( $\text{m}^3/\text{s}$ )
- $C_{PL}$  = Wärmekapazität der Luft:  
=  $1,015 \frac{\text{kWs}}{\text{kg} \times \text{K}}$
- $\rho_L$  = spezifische Dichte der Luft bei  $20^\circ\text{C}$   
=  $1,18 \text{ kg/m}^3$
- $\Delta\vartheta_L$  = Lufteerwärmung (K)  
=  $\vartheta_2 - \vartheta_1$

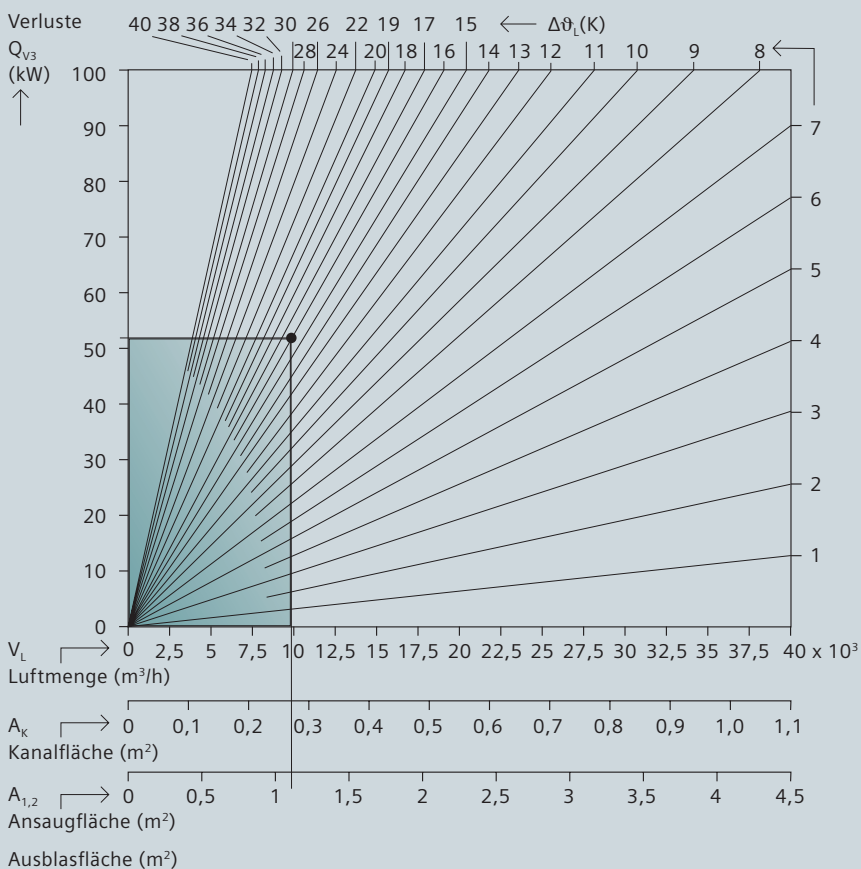
Das Nomogramm in *Bild 13* setzt diese Formel um. So lässt sich z. B. für eine Luftgeschwindigkeit im Lüftungskanal von  $10 \text{ m/s}$  und für unterschiedliche Temperaturdifferenzen  $\Delta\vartheta_L$  Folgendes bestimmen:

- Menge der abzuführenden Luft
- Fläche des Kanals
- Fläche für Ansaugen/Ausblasen der Luft (ca. 4 x Kanalfläche).

Dabei gilt für das Verhältnis von Luftmenge  $V_L$ , Luftgeschwindigkeit  $v$  und Durchschnittsquerschnitt  $A$ :

$$V_L = v \times A$$

In Transformatorenräumen kann eine Luftgeschwindigkeit von  $0,6$  bis  $0,7 \text{ m/s}$  zugelassen werden. Ist der Raum nicht begehbar, kann diese Luftgeschwindigkeit noch höher gewählt werden.



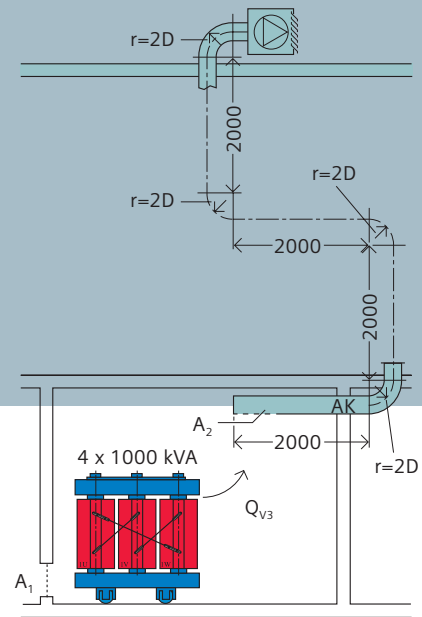
**Bild 13:** Nomogramm zur Zwangsbelüftung des Raumes bei  $V_{\text{kanal}} = 10 \text{ m/s}$

### Lüftungskanäle

Für die Lüftungskanäle soll verzinktes Stahlblech oder Kunststoff (kein PVC) verwendet werden. Ihr Querschnitt kann rechteckig oder rund sein. Der Einbau einer Feuerschutzklappe im Kanal ist gefordert, wenn er durch eine Brandschutzwand führt. Die Gitter am Zu- und Abluftkanal sollen Tiere und Gegenstände fernhalten. Zu beachten: Der errechnete Zu-/Abluft-Querschnitt der Luftgitter ist mit dem Faktor 1,7 zu multiplizieren, weil der effektive Durchlassquerschnitt der Gitter nur ca. 60% beträgt. Verstellbare Luftgitter erlauben eine exaktere Einstellung auf die benötigte Menge der Zuluft.

### Raum-Lüfter

Für die Raum-Lüftung können Kasten-, Radial- oder Axiallüfter verwendet werden. Sie werden von verschiedenen Herstellern angeboten. Besonders wichtig für die Wahl des Raum-Lüfters ist die geforderte Gesamtdruckdifferenz ( $\text{N/m}^2$ ). Zur Errechnung siehe Abschnitt „Leistung des Raum-Lüfters“. Um Arbeitsgeräusche des Raum-Lüfters zu senken, kann eine Schalldämpfung notwendig sein. Schalldämpfer werden direkt in die Lüftungskanäle eingebaut. Zu beachten: Spezielle Verhältnisse vor Ort können den normalen Geräuschpegel erhöhen. Und: Sind mehrere Raum-Lüfter in Betrieb, so addieren sich die Geräusche (siehe hierzu Seite 19, „Geräusche“).



**Bild 12:** Skizze zum Berechnungsbeispiel für Zwangsbelüftung

### Kriterien für die Wahl des Raum-Lüfters

Bei der Wahl des Raum-Lüfters sollte nach folgenden Kriterien geprüft werden:

- Luft-Fördermenge (m<sup>3</sup>/h) in Relation zum Druck (N/m<sup>2</sup>)
- Drehzahl im Betrieb (um Geräusche niedrig zu halten: max. 600–800 min<sup>-1</sup>)
- Betriebsspannung V
- Nennleistung kW
- Frequenz Hz
- Schall-Druckpegel dB (A)

### Leistung des Raum-Lüfters

Für die Antriebsleistung P des Raum-Lüfters gilt:

$$P = \frac{p \times V_L}{3,6 \times 10^6 \times \eta} \quad (\text{kW})$$

Hierbei bezeichnet:

- p = Gesamtdruckdifferenz bei strömender Luft (N/m<sup>2</sup>):  
 $p = p_R + p_B$
- V<sub>L</sub> = Luftmenge (m<sup>3</sup>/h)
- η = Wirkungsgrad des Lüfters (0,7...0,9)

### p<sub>R</sub>: Druckdifferenz durch Strömung

Die Druckdifferenz p<sub>R</sub> entsteht durch

- Rohrreibungswiderstand p<sub>R</sub> im geraden Rohr = Rohrlänge L x spezifischer Rohrreibungswiderstand p<sub>RO</sub>
- Einzelwiderstände, verursacht durch Umlenken, Abzweige, Gitter, Querschnittsänderungen

Anhaltswerte für den Druckverlust durch p<sub>R</sub> sind:

Tabelle 4

Wandeinbau inkl. Jalousien	ca. 40–70 N/m <sup>2</sup>
Jalousien	ca. 10–50 N/m <sup>2</sup>
Gitterroste	ca. 10–20 N/m <sup>2</sup>
Schalldämpfer	ca. 50–100 N/m <sup>2</sup>

Bei „Freies Absaugen/Freies Einblasen“ sind Mittelwerte zu wählen.

### p<sub>B</sub>: Druckdifferenz durch Beschleunigung

Für die Druckdifferenz durch Beschleunigung p<sub>B</sub> (N/m<sup>2</sup>) gilt:

$$p_B = 0,61 \times v_k^2 \quad (\text{N/m}^2)$$

Hierbei bezeichnet:

- v<sub>k</sub> = Luftgeschwindigkeit (m/s) im Kanal
- V<sub>L</sub> = Luftmenge (m<sup>3</sup>/h)
- A<sub>K</sub> = Kanalfäche (m<sup>2</sup>)

wobei:  $v_k = \frac{V_L}{3600 \times A_K}$

Hier ein **Berechnungsbeispiel** zum erzwungenen Luftstrom – siehe dazu Bild 12 und 13. Gegeben sind:

- 4 GEAFOL-Trafos, Leistung je 1.000 kVA
- Verlustwärme insgesamt  
 $Q_{v3} = \sum P_v = 4 \times 12,9 \text{ kW} = 51,6 \text{ kW}$   
(für Reserve-Sicherheit vernachlässigt: Q<sub>v1</sub> und Q<sub>v2</sub>)

- 40°C max. Kühlluft-Temperatur gemäß IEC 60076-11/VDE 0532 (in heißen Ländern mit θ<sub>1</sub> > 40°C sind spezielle Maßnahmen erforderlich: Vorkühlung der Luft, Reduzierung der Trafo-Leistung oder Trafo-Auslegung für hohe Temperaturen)
- Temperaturdifferenz Δθ<sub>L</sub> = 16 K

Daraus ergibt sich mit Hilfe des Nomogramms (Bild 13):

- Menge der Kühlluft: 10.000 m<sup>3</sup>/h
  - Querschnittsfläche des Luftkanals: 0,28 m<sup>2</sup>
  - Luftansaug-Querschnittsfläche: 1,12 m<sup>2</sup>
- Bild 12 zeigt ein Lüftungs-System mit folgenden Komponenten:
- 1 Abluftventilator (Raum-Lüfter)
  - 1 Jalousieklappe
  - 4 Bogen 90°, r = 2D
  - 8 m verzinkter Blechkanal, gerade – Querschnitt: 0,7 x 0,4 m
  - 1 Abluftgitter – freie Ausblasfläche: ca. 1,12 m<sup>2</sup>
  - 1 Zuluftgitter – freie Ansaugfläche: ca. 1,12 m<sup>2</sup>

Für die Gesamtdruckdifferenz des Ventilators gilt:

Druckverlust durch Strömung plus

Druckverlust durch Beschleunigung:

$$p = p_R + p_B$$

Bestimmung der Komponenten:

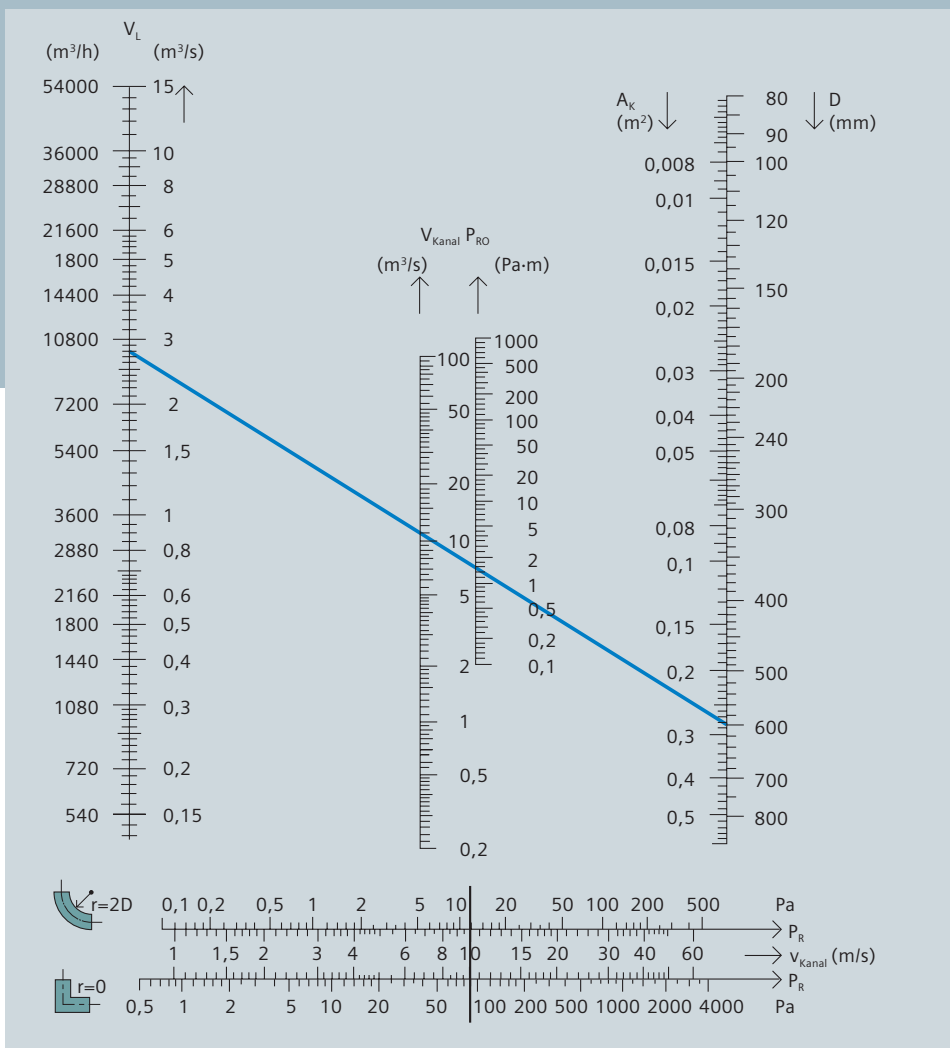
### p<sub>R</sub>: Druckdifferenz durch Strömung

Die Druckdifferenz durch Strömung ist die Summe der Verluste aus:

1. Widerstand durch Rohrreibung
2. Widerstände durch Einzel-Komponenten



# Lüftung des Transformator-Raumes



**Bild 14:** Nomogramm zur Ermittlung der Druckdifferenz von Lüftungskanälen – hier für Luftdichte 1,18 kg/m<sup>3</sup> und 20 °C. Zur Skalen-Bezeichnung siehe Seite 16.

## 1. Druckverlust durch Rohrreibung

Der Druckverlust je Kanal-Meter ist im Nomogramm (Bild 14) auf der Leiter  $p_{R0}$  ablesbar: als Schnittpunkt jener Geraden, auf der die schon ermittelten Werte für  $V_L$  und  $A_K$  bzw.  $D$  liegen.  $A_K$  gilt hierbei für rechteckige,  $D$  für runde Kanal-Querschnitte.

In unserem Beispiel – Verbindungsgerade Bild 14 – ergibt sich als spezifischer Rohrreibungs-Widerstand pro Kanal-Meter

$$p_{R0} = 1,5 \frac{\text{N}}{\text{m}^2 \times \text{m}}$$

Bei insgesamt 8 m Kanallänge  $L$  gilt:

$$p_R = p_{R0} \times L = 1,5 \times 8 = 12 \text{ Pa}$$

## 2. Druckverlust durch Einzel-Komponenten

Die Werte für den Druckverlust durch Einzel-Komponenten ergeben sich aus Bild 14 und Tabelle 4. In unserem Beispiel:

4 Bogen 90°, $r = 2D$ , $v_K = 10 \text{ m/s}$	mit je 12,0 Pa	48 Pa
1 Zuluftgitter		20 Pa
1 Abluftgitter		20 Pa
1 Jalousie (Ausblasen)		50 Pa
		<hr/>
		$\Sigma p_R = 138 \text{ Pa}$

## Druckdifferenz durch Strömung insgesamt

Die Druckdifferenz durch Strömung insgesamt ist damit

$$p_R = \text{Summe der Reibungsverluste} = 12 + 138 = 150 \text{ Pa}$$

$p_B$ : Druckdifferenz durch Beschleunigung  
Für  $p_B$  (Pa) gilt:  $p_B = 0,61 \times v_K^2$  ( $v_K$  in m/s)

In unserem Beispiel  $v_K = 10 \text{ m/s}$  ergibt sich als Druckdifferenz durch Beschleunigung:

$$p_B = 0,61 \times 10^2 = 61 \text{ Pa}$$

## Ergebnis: Gesamtdruckdifferenz des Lüfters

Damit ergibt sich für die Gesamtdruckdifferenz des Lüfters (Ventilator) in unserem Beispiel:

$$p = p_R + p_B = 150 + 61 = 211 \text{ Pa}$$

Geeignet für die Lüftung ist somit ein Ventilator mit einer Luft-Förderung von 10.000 m<sup>3</sup>/h und einer Gesamtdruck-differenz von 211 Pa.

Werden dem Hersteller die Werte zu Luft-Förderung und Gesamtdruckdifferenz genannt, so erübrigt sich zumeist eine Extra-Berechnung der Antriebsleistung.

# Geräusche



Gießharztransformatoren GEA FOL haben aufgrund ihres besonderen konstruktiven Aufbaus ein Geräuschniveau, das dem von Öl-Transformatoren annähernd gleich ist.

Die Geräuschwerte sind in dem Katalog „GEA FOL-Gießharztransformatoren 100 bis 16000 kVA“, Bestell-Nr. E50001-K7101-A101-A5, angegeben. Diese Werte erfüllen die Forderungen der Norm. Die Geräusche entstehen durch Magnetostriktion der Kernbleche. Sie sind bei Verteilungstransformatoren abhängig von der Induktion, aber nicht von der Belastung. Oberschwingungen in der Spannung, z. B. durch Stromrichterbetrieb, erhöht das Geräusch.

## Das Schallempfinden des Ohres

Unter dem hier interessierenden Schall verstehen wir Druckschwingungen des elastischen Mediums Luft im Hörbereich. Die Frequenz dieser Druckschwingungen empfindet das Ohr als Tonhöhe, die Druckamplitude als Lautstärke. Während die Amplitude des Schallwechseldruckes  $p$  und die Frequenz als physikalische Größe messtechnisch exakt erfasst werden können, ist die subjektive Empfindung des Ohres für Lärm einer direkten Messung nicht ohne weiteres zugänglich. Schwingungen mit Frequenzen unter 16 Hz und über 16 kHz werden vom Ohr nicht mehr als Schall wahrgenommen. Die Aufnahmefähigkeit für den Schalldruck reicht von  $2 \times 10^{-4} \mu\text{bar}$  der Hörschwelle bis an die bei  $2 \times 10^3 \mu\text{bar}$  liegende Schmerzschwelle.

Dieser große Druckbereich wird logarithmisch unterteilt. Eine Steigerung der Schall-Leistung  $P$  um das 10fache des Bezugswertes wird 1 Bel = 10 Dezibel (dB) genannt (Die Schall-Leistung ist dem Quadrat des Schalldruckes  $p$  proportional). Damit erhält man für den „Schallpegel“  $L$  folgende Beziehungen:

$$L = 10 \lg \frac{P}{P_0} = 10 \lg \frac{p^2}{p_0^2} \text{ (dB)}$$

Da Schallmessungen auf der Messung des Schalldruckes beruhen, ist Gleichung (1) die am häufigsten verwendete Beziehung. Der Schalldruck an der Hörschwelle von etwa  $2 \times 10^{-4} \text{ bar}$  ist dabei der Bezugswert  $p_0$ .

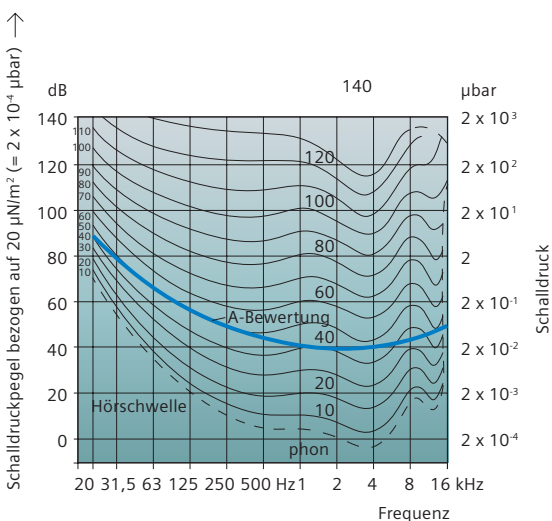
$$(1) L = 20 \lg \frac{p}{p_0} \text{ (dB)}$$

In dem durch Frequenz und Schalldruck gegebenen Empfindungsbereich des Ohres, der Hörfläche (siehe Bild 15), werden jedoch Schalleindrücke mit gleichem Schalldruck  $p$ , aber unterschiedlicher Frequenz nicht gleich laut empfunden. Die Hörfläche ist deshalb unterteilt durch Kurven gleicher „Lautstärke“.

## Die messtechnische Annäherung an das Ohr

Die Beurteilung eines Geräusches durch Messung des Schallpegels hat der frequenzabhängigen Ohrempfindung Rechnung zu tragen. Es müssen bei der Messung, entsprechend dem Verlauf der Kurven gleicher Lautstärke, tiefe und hohe Frequenzen im Geräuschspektrum stärker als mittlere bewertet (ausgefiltert) werden.

Die Bewertungskurve A (siehe Bild 15) stellt im Frequenzbereich bis 500 Hz eine Näherung für die Kurve gleicher Lautstärke dar.



**Bild 15:** Hörschwelle und Kurven gleicher Lautstärkepegel für Sinustöne im freien Schallfeld bei zweiohrigem Hören

## Ausbreitung der Geräusche

Betriebsgeräusche des Trafos breiten sich vor Ort als Luft- und Körperschall aus. Zur Geräuschminderung sind für jede Form des Schalls andere Mittel anzuwenden. Hauptziel der Geräuschminderung: Einhaltung der erlaubten Werte an der Grundstücks- oder Anliegergrenze.

## Schall-Leistung

Die Schall-Leistung ist ein Maß für die Lärmmenge, die von einer Schallquelle erzeugt wird. Sie charakterisiert das Geräusch der Quelle und ist – im Unterschied zum Schall-Druckpegel – unabhängig vom Messort oder der Akustik in der Umgebung. Die Bestimmung der Schall-Leistung  $L_{WA}$  ist in IEC bzw. EN 60076-10 (VDE 0532 T76-10) angegeben. Schall-Leistungswerte sind Maximalwerte ohne Toleranz. Die Schall-Leistung ist wie folgt bestimmt:

Ermittlung des Schall-Druckpegels  $L_{pA}$  auf einer definierten Hüllfläche rund um den Trafo *addiert mit dem* Logarithmus der Hüllfläche  $S$ .

Als Formel:

$$L_{WA} = L_{pA} + L_S$$

Hierbei bezeichnet:

das Hüllflächenmaß  $L_S = 10 \times \lg \frac{S}{S_0}$  (siehe Tabelle 5)  $S_0 = 1 \text{ m}^2$

Abhängigkeit des Schalldrucks vom Abstand

$L_{pA}$  = im Abstand  $R \geq 30 \text{ m}$  mess- und hörbarer Schall-Druckpegel hierfür gilt nach obiger Formel:

$$L_{pA} = L_{WA} - L_{SR}$$

wobei  $L_{SR} = 10 \lg \frac{2\pi R^2}{S_0}$

Das Diagramm in *Bild 17* zeigt das Abstandsmaß  $L_{SR}$  als Funktion des Abstandes  $R$ . Damit lässt sich leicht bestimmen, wie hoch der Schall-Druckpegel  $L_{pA}$  eines Trafos in bestimmten Abständen ist (siehe hierzu auch DIN EN 60551).

## Ein Beispiel:

$L_{WA} = 70 \text{ dB}$  und  $R = 35 \text{ m}$ .

Dazu direkt im Diagramm ablesbar.

$L_{SR} = 39 \text{ dB}$ ;

Somit beträgt der Schall-Druckpegel bei freier Schallausbreitung:

$$L_{pA} = 70 \text{ dB} - 39 \text{ dB} = 31 \text{ dB}.$$

## Maßnahmen zur Geräuschminderung Luftschall

Die Wände und Decke im Trafo-Raum bewirken durch Reflexion eine Zunahme des Luftschalls. Relevant für das Maß der Schall-Reflexion sind:

- $A_R$  = Gesamtoberfläche des Raumes
- $A_T$  = Trafo-Oberfläche
- $\alpha$  = Schall-Schluckgrad der Wände und Decken

*Bild 18* zeigt, wie diese Faktoren die Geräuschentwicklung bestimmen.

Im Folgenden einige Beispiele des Schall-Schluckgrades  $\alpha$  für unterschiedliches Baumaterial – hier bei 125 Hz.

**Tabelle 5:** Trafo-Oberfläche -AT (ca.-Angabe) mit dem entsprechenden Hüllflächenmaß  $L_S$

$S_T$ (kVA)	$A_T$ (m <sup>2</sup> )	$L_S$ 0,3 m (dB)
100	3,8	6
160	4,4	6,5
250	4,7	7
400	5,5	7,5
630	6,4	8
1.000	8,4	9
1.600	10	10
2.500	14	11,5

**Tabelle 6**

Baumaterial für Trafo-Raum	Schall-Schluckgrad $\alpha$
Ziegelmauer roh	0,024
Ziegelmauer verputzt	0,024
Beton	0,01
Glasfaserplatten 3 cm, auf harter Rückwand	0,22
Schlackenwolle 4 cm, mit glatter Pappe abgedeckt	0,74

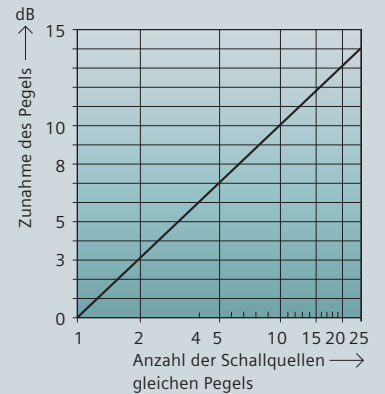
So kann der Anstieg der Betriebs-Geräusche durch Reflexion mit Auskleiden des Trafo-Raums reduziert werden – sehr stark z. B. bei Verwendung von Schlackenwolle. *Bild 18* macht dies deutlich.

Der Schall-Druckpegel im Raum wird nach außen durch die Wände gedämmt.

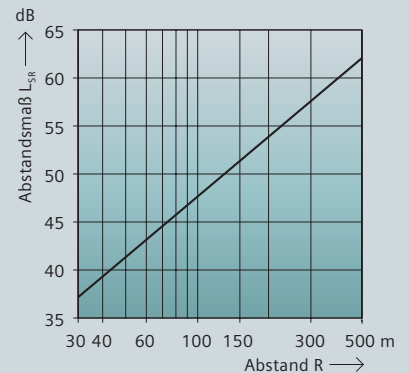
Beispiele für die Dämmwirkung:

- Ziegelwand, 12 cm Dicke = 35 dB (A) Dämmung
- Ziegelwand, 24 cm Dicke = 39 dB (A) Dämmung

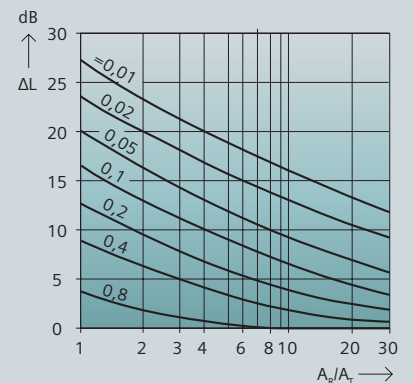
Zu berücksichtigen ist hierbei die Dämmwirkung von Türen und Lüftungskanälen – zumeist reduzieren sie die Raumdämmung. Außerhalb des Trafo-Raums nimmt der Schall-Druckpegel mit der Entfernung kontinuierlich ab (*siehe Bild 19*).



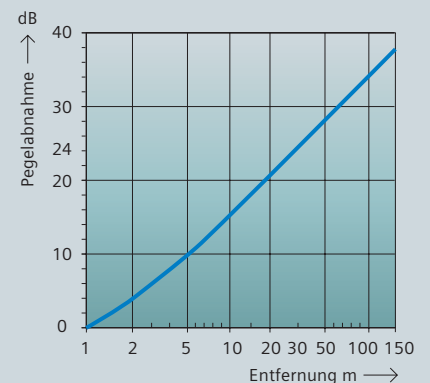
**Bild 16:** Zunahme des Geräuschpegels bei mehreren Schallquellen mit gleichem Pegel



**Bild 17:** Abstandsmaß  $L_{SR}$  als Funktion des Abstandes  $R$

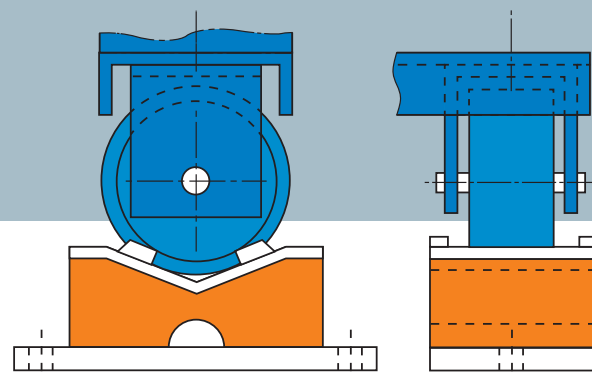


**Bild 18:** Zunahme der Betriebsgeräusche im Trafo-Raum durch Reflexion



**Bild 19:** Abnahme des Schall-Druckpegels mit der Entfernung vom Trafo-Raum





**Bild 20:** Trafolager zur körperschallisolierenden Aufstellung von Transformatoren

### Körperschall

Trafo-Geräusche übertragen sich auch über die Kontaktfläche des Trafos zum Boden auf Wände und andere Teile des Trafo-Raums.

Körperschall-Isolierung des Trafos reduziert oder unterbindet diesen Weg der Schall-Übertragung. Die Stärke des primären Betriebs-Geräusches kann damit nicht vermindert werden.

Aber: Körperschall-Isolierung optimiert die Raum-Dämmung. Verzichtbar wird so in vielen Fällen eine schallschluckende Verkleidung der Wände, z. B. mit Schlackenwolle.

Für die Körperschall-Isolierung der GEAFOL-Trafos sorgen Metallgummischienen und spezielle Trafo-Lager (siehe Bild 20).

Und: Auch für den Schienenanschluss der Niederspannungs-Schaltanlagen stehen elastische Zwischenstücke zur Verfügung – für konsequente Körperschall-Isolierung im gesamten Trafo-Raum.

### Körperschall-Isolierung: Bemessung

Kleine Eigenfrequenz des Schwingungssystems Trafo-Isolierkomponenten im Verhältnis zur erregenden Frequenz – dies ist wichtig für die Bemessung der Körperschall-Isolierung.

In der Praxis vielfach bewährt: Isolierkomponenten, die bei der Trafo-Gewichtskraft  $F$  eine elastische Stauchung  $s$  von mindestens 2,5 mm erfahren.

Zu beachten ist die maximale zulässige Belastung der Isolierkomponente: die Federkonstante  $C_D$  (N/cm). Sie wird wie folgt berechnet:

$$C_D = \frac{F}{s}$$

### Körperschall-Isolierung: Berechnungsbeispiel

Hier ein Beispiel zur Berechnung der Körperschall-Isolierung: Dabei sind gegeben:

- 1 GEAFOL-Gießharztransformator mit 1000 kVA Leistung
- Trafo-Masse: 2.630 kg
- 4 Auflagepunkte für die Isolierung
- Standort: Kellergeschoss – d. h. auf massivem Fundament; Stauchung damit:  $s = 0,25$  cm
- $g = \text{Erdfallbeschleunigung} = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

### Lösung:

Die Kraft ( $F$ ) je Auflagepunkt beträgt:

$$F = \frac{\text{Trafo-Masse} \times g}{\text{Zahl der Auflagepunkte}}$$

hier also

$$F = \frac{2.630 \times 10}{4} = \text{ca. } 6.575 \text{ N}$$

Für die Federkonstante ergibt sich somit:

$$C_D = \frac{F}{s} = \frac{6.575}{0,25} = 26.300 \text{ N/cm}$$

Für die Bestellung empfiehlt sich damit: Wahl von 4 Komponenten mit Federkonstante  $\leq 23.400$  N/cm und  $\geq 8.500$  N zulässiger statischer Dauerbelastung.

### Besonderheit:

Steht der Trafo im Obergeschoss eines Gebäudes, so muss mit erhöhter Schwingung des Fundaments gerechnet werden. Hier empfiehlt sich die Wahl einer elastischen Stauchung  $s$  bis 0,5 cm.

# Geräusche

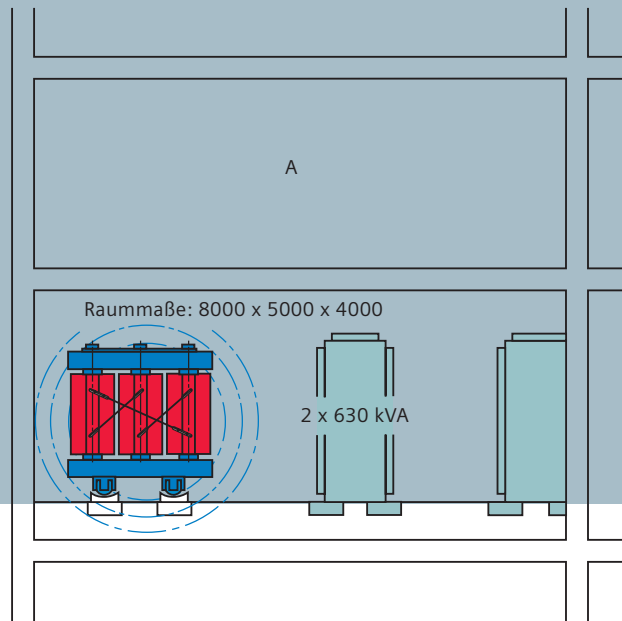


Bild 21: Skizze zum Berechnungsbeispiel

## Geräuschstärke im Trafo-Nebenraum: Berechnungsbeispiel

Hier ein Beispiel zur überschlägigen Berechnung der Geräuschstärke, die sich in einem Raum A neben dem Trafo-Raum ergibt (siehe Bild 21).

Dabei sind gegeben:

- 2 GEAFOL-Gießharztransformatoren mit je 630 kVA Leistung
- Körperschall-Isolierung ist realisiert
- Luftschall-Übertragung nach A nur via Fußboden
- Trafo-Raum-Innenfläche  $A_R = 184 \text{ m}^2$ ; Nebenraum A gleich groß
- Oberfläche eines Trafos  $A_T = 6,4 \text{ m}^2$
- Fußbodenfläche des Raums  $A_F = 40 \text{ m}^2$ ;
- Wände aus Beton, 24 cm dick

### Lösung:

Schall-Leistung des Trafos gemäß Liste oder Diagramm (Bild 15):

$$L_{WA} = 70 \text{ dB}$$

Für den Schalldruck im Trafo-Nahbereich ( $\approx 1 \text{ m}$ ) gilt:

$$L_{pA} = L_{WA} - L_{S,0,3m} - 5 \text{ dB};$$

5 dB ist dabei die Abnahme des Geräuschpegels für die Vergrößerung von  $L_S = 0,3 \text{ m}$  auf  $1 \text{ m}$ ;

wobei:

$$L_{S,0,3m} \approx 10 \lg \frac{A_T}{1 \text{ m}^2} = 10 \lg 6,4 = 8 \text{ dB}$$

So ergibt sich für den Schalldruck:

$$L_{pA} = 70 - 8 - 5 = 57 \text{ dB (A)}$$

für die Geräuscherhöhung durch Reflexion gilt:

$$\frac{A_R}{A_T} = \frac{184 \text{ m}^2}{6,4 \text{ m}^2} = 29$$

Bei Schall-Schluckgrad  $\alpha = 0,01$  (Betonwände), ergibt sich – nach Diagramm (Bild 18):

$$\Delta L = + 12 \text{ dB (A)}$$

plus

nach Diagramm (Bild 16):

Zuwachs bei 2 Trafos (2 Schallquellen) = + 3 dB (A)

Dies ergibt:

$$57 \text{ dB (A)} + 12 \text{ dB (A)} + 3 \text{ dB (A)} = 72 \text{ dB (A)}$$

minus

Dämmung durch Betondecke (24 cm) = 39 dB

Somit ist der nach Raum A übertragene Schall-Druckpegel = 33 dB (A).

Hinzu kommt: Erhöhung des Schall-Druckpegels im Nebenraum (gleiche Raumgröße) durch Reflexion:

$$\frac{A_R}{A_F} = \frac{184 \text{ m}^2}{40 \text{ m}^2} = 4,6$$

Bei Schall-Schluckgrad  $\alpha = 0,6$  im Nebenraum (geschätzt – bei Teppichen, Vorhängen usw.) ergibt sich nach Diagramm (Bild 18):

$$\Delta L = + 3 \text{ dB (A)}$$

### Ergebnis:

Der Schall-Druckpegel in Raum A beträgt insgesamt:  
 $33 + 3 = 36 \text{ dB (A)}$ .





# EMV von Verteilungstransformatoren

Beim Betrieb von Transformatoren treten elektrische und magnetische Felder auf. Das elektrische Feld von Öl- und GEAFOI-Transformatoren sowie deren Anschlüsse wird außerhalb der Trafazelle oder der Kapselung des Transformators kaum wirksam. Kessel und Abdeckhauben des Öltransformators und Schutzgehäuse der GEAFOI-Transformatoren wirken als Faradayscher Käfig. Dies gilt auch weitgehend für Decken und Wände der Trafazellen, sofern diese nicht aus elektrischem Isoliermaterial bestehen.

Anlass zu Störungen können die magnetischen Felder geben. Das Streufeld eines GEAFOI-Transformators der Bemessungsleistung 630 kVA und der Kurzschlussleistung 6% beträgt bei Nennlast in 3 m Abstand zum Transformator ca. 5  $\mu\text{T}$ , bei einem Öltransformator mit gleichen Daten ca. 3  $\mu\text{T}$ . Im Bereich von  $a = 1$  bis 10 m kann für GEAFOI-Transformatoren der Richtwert für das magnetische Feld bei geänderter Leistung und Kurzschlussleistung aus folgender Formel abgeleitet werden:

$$B = 5 \mu\text{T} \frac{u_z}{6\%} \sqrt{\frac{S_n}{630 \text{ kVA}}} \left(\frac{3\text{m}}{a}\right)^{2,8}$$

Bei Öltransformatoren beträgt der Ausgangswert ca. 3  $\mu\text{T}$ . Die 26. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über elektromagnetische Felder – 26. BImSchV) vom 16. Dezember 1996 lässt am Einwirkungsort bei 50-Hz-Feldern eine max. elektrische Feldstärke von 5 kV/m und eine max. magnetische Flussdichte von 100  $\mu\text{T}$  zu. Einwirkungsort ist der Ort mit der stärksten Exposition, an dem mit einem nicht nur vorübergehenden Aufenthalt von Menschen gerechnet werden muss.

Elektrische Felder außerhalb der Trafazelle bzw. der Kapselung und magnetische Felder im Abstand über 3 m erreichen bei Verteilungstransformatoren die zulässigen Grenzwerte bei weitem nicht. Störungen am Bildschirm können ab ca. 1  $\mu\text{T}$  auftreten. Ausführliche Angaben sind in der Druckschrift „Verteilungstransformatoren und EMV“ (Bestell-Nr. E50001-U410-A14) enthalten.

## CE-Kennzeichnung

Transformatoren sind gemäß IEC 60076-11 als passive Elemente zu betrachten. Eine CE-Kennzeichnung ist gemäß COTREL-Vorgabe nicht zulässig.





Siemens AG  
Power Transmission and Distribution  
Transformers Division

Transformatorenwerk Kirchheim  
Hegelstraße 20  
73230 Kirchheim/Teck  
Deutschland  
Tel.: +49 (0) 7021 508-0  
Fax: +49 (0) 7021 508-495

Siemens Transzformátor Kft.  
1214 Budapest  
II. Rákóczi Ferenc u.189.  
Hungary  
Tel. +36 (1) 278 5300  
Fax +36 (1) 278 5335

[www.siemens.com/energy](http://www.siemens.com/energy)

Fragen zur Energieübertragung  
und -verteilung: Unser Customer  
Support Center erreichen Sie  
rund um die Uhr.

Tel.: +49 180/524 70 00  
Fax: +49 180/524 24 71  
(Gebührenpflichtig, z. B.: 12 ct/min.)

E-Mail: [support.energy@siemens.com](mailto:support.energy@siemens.com)  
[www.siemens.com/energy-support](http://www.siemens.com/energy-support)

Bestell-Nr. E50001-U413-A47-V2  
Printed in Germany  
Dispo-Stelle 19201  
TH 101-060450 101928 WS 09062.5