

The background of the page is a close-up photograph of the windings of a transformer. The windings are arranged in concentric layers, with the outermost layer being a vibrant red color. The inner layers are a lighter, metallic grey. The lighting is dramatic, highlighting the texture and curvature of the windings. In the top left corner, there is a white rectangular box containing the Siemens logo.

SIEMENS

GEAFOL-Gießharztransformatoren

Planungshinweise

[siemens.de/geafol](https://www.siemens.de/geafol)

Inhalt

GEAFOL – für höchste Anforderungen vor Ort	4
Eckdaten für die Planung	5
Technische Voraussetzungen	5
Bestimmungen, Vorschriften, Normen	5
Größe und Gewicht	5
Anforderungen an den Aufstellungsort	6
Sicherheitsmaßnahmen für Brandschutz nach DIN EN 61936-1	6
Klassifizierung nach Ökodesign-Richtlinie 2009/125/EC	7
Temperatur der Kühlluft	8
Besondere Aufstellungsbedingungen	8
Mindestabstände	8
Berührungsschutz	8
Anschlusstechnik	9
Anschluss der Oberspannung	9
Anschluss der Oberspannung mit Steckverbindungen	9
Oberspannungsanzapfungen	9
Anschluss der Unterspannung	9
Anschluss der Erdungs- und Kurzschließvorrichtungen	9



Temperaturüberwachung	10	Geräuschpegel	18
Temperaturüberwachung mit Kaltleiterfühler (PTC)	10	Das Schallempfinden des Ohres	18
		Die messtechnische Annäherung an das Ohr	19
Trafo-Zusatzbelüftung für mehr Leistung	11	Ausbreitung der Geräusche	19
Merkmale der Lüfter	11	Schalleistung	19
Wirtschaftlichkeit der Zusatzbelüftung	11	Abhängigkeit des Schalldrucks vom Abstand	19
		Maßnahmen zur Geräuschminderung Luftschall	20
Lüftung des Transformator-Raumes	12	Körperschall	21
Voraussetzungen	12	Körperschall-Isolierung: Bemessung	21
Berechnung der Verlustwärme im Raum	12	Körperschall-Isolierung: Berechnungsbeispiel	21
Berechnung der Wärmeabführung	12	Geräusch im Trafo-Nebenraum:	
Q_{v1} : Wärmeabführung mit dem natürlichen Luftstrom	12	Berechnungsbeispiel	22
Q_{v2} : Wärmeabführung über Wände und Decken	12	EMV von Verteilungstransformatoren	23
Q_{v3} : Wärmeabführung mit dem erzwungenen Luftstrom	13	CE-Kennzeichnung	23
Lüftungskanäle	14		
Raumlüfter	14		
Kriterien für die Wahl des Raumlüfters	14		
Leistung des Raumlüfters	14		
p_R : Druckdifferenz durch Strömung	15		
p_B : Druckdifferenz durch Beschleunigung	15		
Berechnungsbeispiele	16		
1. Druckverlust durch Rohrreibung	16		
2. Druckverlust durch Einzelkomponenten	16		
Druckdifferenz durch Strömung insgesamt	17		
Ergebnis: Gesamtdruckdifferenz des Lüfters	17		



GEAFOL – für höchste Anforderungen vor Ort

Überall leicht zu integrieren

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 bietet, erleichtert 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 GEAFOL-Anlage

Technische Voraussetzungen

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

- Einsatz in abgeschlossener Betriebsstätte gemäß IEC61936-1 (DIN EN 61936)
- Leistung 100 – 3.150 kVA
- Spannung bis $U_m = 36$ kV

Die Daten gelten im Wesentlichen auch

- für Transformatoren über 3.150 kVA
- für flüssigkeitsgefüllte Transformatoren in den Punkten Sicherheitsmaßnahmen für Brandschutz und Schutz gegen Leckverlust sowie für Lüftung und Geräusch

Bestimmungen, Vorschriften, Normen

Unsere GEAFOL-Transformatoren erfüllen alle zu berücksichtigenden nationalen, europäischen und internationalen Normen (auftragsbezogen).

Vorschriften / Normen

- IEC 60076-11
- DIN VDE 0532
- EN 50541-1 Trockentransformatoren 50 Hz, 100 – 3.150 kVA, $U_m \leq 36$ kV
- EN 50588-1 Mittelspannungstransformatoren 50 Hz, $U_m \leq 36$ kV
- Installation innerhalb der EU: Ökodesign-Richtlinie 2009/125/EC muss berücksichtigt werden.
- Installation innerhalb der USA: DOE rule 10 CFR Part 431 muss berücksichtigt werden.
- GOST

Beim Errichten und Betreiben von Anlagen sind zu berücksichtigen:

- DIN VDE 0100 – für die Errichtung von Starkstromanlagen mit Nennspannungen bis 1 kV
- IEC61936-1 (DIN EN 61936) – für die Errichtung von Starkstromanlagen mit Nennspannungen über 1 kV
- DIN VDE 0105 – für den Betrieb von elektrischen Anlagen
- DIN VDE 0141 – für die Erdung von speziellen Starkstromanlagen mit Nennspannung über 1 kV

Weitere Planungs- und Auslegungshinweise sind enthalten in:

- VDI 2078 – für die Berechnung der Kühllast in klimatisierten Räumen
- AGI J 12 – Bauliche Ausführung; Räume für Schaltanlagen bis 36 kV Arbeitsblatt der Arbeitsgemeinschaft Industriebau e. V. (AGI)

Größe und Gewicht

Alle planungsrelevanten Daten zu Abmessung und Gewicht bietet unser Katalog „GEAFOL-Gießharztransformatoren“ in der aktuellen Ausführung (Bestell-Nr. E50001-G640-K230) und der Katalog „GEAFOL Basic“ (Bestell-Nr. EMTR-B10005-00)

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 Brandschutz und Schutz gegen Leckverlust nach IEC 61936-1 (DIN EN 61936-1). Im Folgenden der Vergleich von Transformatoren verschiedener Ausführungen auf Basis dieser Vorschriften, wie sie 2011 gültig waren.

Sicherheitsmaßnahmen für Brandschutz nach DIN EN 61936-1 (VDE 0101-1), vereinfachte Übersicht

Transformatorart	Klasse	Sicherheitsmaßnahmen in Innenraumanlagen in abgeschlossenen elektrischen Betriebsstätten		Freiluftanlagen
Flüssigkeits- transformatoren (O)	Flüssigkeitsvolumen			
	≤ 1.000 l	Wände EI60 bzw. REI60	Türen müssen eine Feuerwiderstandsdauer von mindestens 60 min haben. Für ins Freie öffnende Türen ist es ausreichend, wenn diese schwer entflammbar sind.	Ausreichende Abstände und/oder feuerbeständige Trennwände
	> 1.000 l	Wände EI90 bzw. REI90 oder EI60 bzw. REI60 und automatische Feuerlöscheinrichtung		
Schwer brennbare Flüssigkeits- transformatoren (K)	Nennleistung / höchste Betriebsspannung			
ohne erhöhten Schutz	ohne Einschränkung	Wände EI60 bzw. REI60 oder automatische Feuerlöscheinrichtung		
mit erhöhtem Schutz	≤ 10 MVA und $U_m \leq 38$ kV	Wände EI60 bzw. REI60 oder Abstand 1,5 m waagerecht und 3 m senkrecht		
Trockentransformatoren (A)	Brandklasse			
	F0	Wände EI60 bzw. REI60 oder Abstand 0,9 m waagerecht und 1,5 m senkrecht		Ausreichende Abstände oder feuerbeständige Trennwände
	F1	Nicht brennbare Wände		Keine zusätzlichen Maßnahmen wegen Brandschutz erforderlich



Klassifizierung nach IEC 60076-11 In dieser Vorschrift sind Klima-, Umgebungs- und Brandklassen definiert. Dadurch wird den unterschiedlichen Betriebsbedingungen am Aufstellungsort Rechnung getragen.

Die Klimaklasse berücksichtigt die niedrigste Umgebungstemperatur.

Klasse C1: Innenraumaufstellung nicht unter -5 °C , Nachweis durch Prüfung

Klasse C2: Freiluftaufstellung bis herab auf -25 °C , Nachweis durch Prüfung

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

Die Umgebungsklasse berücksichtigt Luftfeuchte, Feuchteniederschlag und Verschmutzung.

Klasse E0: keine Kondensation, Verschmutzung vernachlässigbar

Klasse E1: gelegentliche Kondensation, Verschmutzung begrenzt möglich, Nachweis durch Prüfung

Klasse E2: Häufige Kondensation oder starke Verschmutzung, auch beides gleichzeitig, Nachweis durch Prüfung

Die Brandklasse berücksichtigt die möglichen Brandfolgen.

Klasse F0: Besondere Maßnahmen zur Begrenzung der Brandgefahr werden nicht vorgesehen

Klasse F1: Durch die Eigenschaften des Transformators wird die Brandgefahr begrenzt, Nachweis durch Prüfung

Wichtig!

Gemäß EN 50541-1 müssen die erforderlichen Klassen durch den Betreiber definiert werden.

GEAFOL-Transformatoren erfüllen die höchsten in IEC 60076-11 definierten Klassen:

Klimaklasse	C2
Umgebungsklasse	E2
Brandklasse	F1

Damit sind GEAFOL-Transformatoren:

- betriebssicher – auch bei Kondensation und Schmutzbelastung
- im Schutzgehäuse IP23 und Sonderanstrich geeignet zur Freiluftaufstellung bei Temperaturen bis -25 °C (tiefere Temperaturen bzw. besondere Umgebungsbedingungen auf Anfrage)
- ein hoher Beitrag zum Brandschutz

Ökodesign-Richtlinie

Transformatoren, die innerhalb der Europäischen Union installiert werden, müssen die Anforderungen der Ökodesign-Richtlinie 2009/125/EC erfüllen. Die Ökodesign-Richtlinie definiert die Rahmenbedingungen, nach denen die Anforderungen für das umweltgerechte Design von energieverbrauchsrelevanten Produkten festgelegt werden.

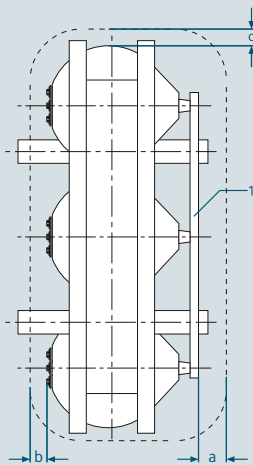


Bild 1:
Mindestabstände um GEAFOI-
Gießharztransformatoren mit
Schaltleiste (1)

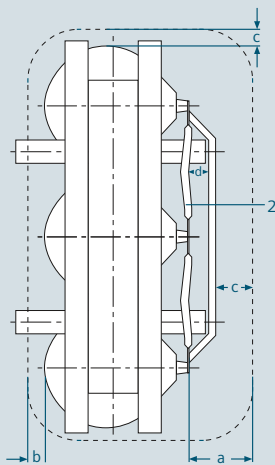


Bild 2:
Mindestabstände um GEAFOI-
Gießharztransformatoren mit
Verbindungsrohren (2)



Temperatur der Kühlluft

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

- maximal 40 °C
- Monatsmittel 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*).

Tabelle 1

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

Besondere Aufstellungsbedingungen

Extreme Bedingungen vor Ort sind bei der Anlagenplanung zu berücksichtigen:

- Relevant für den Einsatz unter extremen Klimabedingungen sind Luftfeuchtigkeit 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, Windkraftanlagen usw. – können konstruktive Zusätze erforderlich sein, z. B. Abstützen des Transformators oben.

Mindestabstände

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

Berührungsschutz

Die Gießharzoberfläche der Trafo-Wicklung ist im Betrieb nicht berührungssicher. Deshalb ist ein Schutz gegen zufälliges Berühren notwendig.

Tabelle 2

Höchste Spannung für Betriebsmittel $U_m^{1)}$ (Effektivwert)	Nenn-Steh-Blitzstoßspannung $U_U^{1)}$		Mindestabstände			
	Liste 1 [kV]	Liste 2 [kV]	a [mm]	b [mm]	c [mm]	d [mm]
12	–	75	120	*	50	40
24	95	–	160	*	80	50
24	–	125	220	*	100	70
36	145	–	270	*	120	90
36	–	170	320	*	160	110

¹⁾ siehe IEC 60071

* Wenn auf dieser Seite OS-Anzapfungen liegen, dann gilt für den Abstand b der Wert der Spalte a, ansonsten gilt der Wert der Spalte c

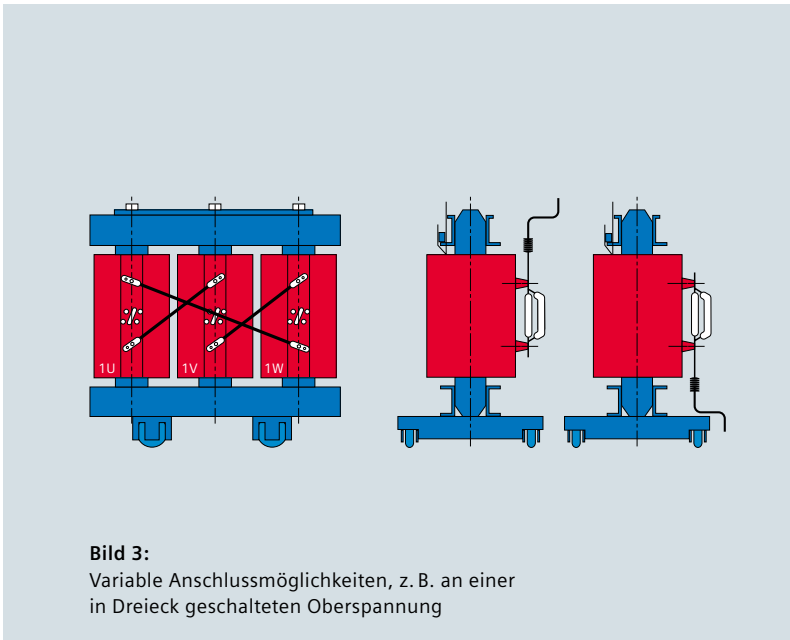


Bild 3:
Variable Anschlussmöglichkeiten, z. B. an einer in Dreieck geschalteten Oberspannung



Anschlussstechnik

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

Anschluss der Oberspannung

In der Standardausführung ist der OS-Anschluss des Transformators am oberen Spulenanschluss; der Anschluss unten ist auf Bestellung möglich (Bild 3). 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 (Bild 4).

Oberspannungsanzapfungen

Die OS-Anzapfungen ermöglichen eine Anpassung an die örtlichen Netzverhältnisse. Mit Schalttaschen 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 5). Werden vor Ort Dehnungsbänder zwischengeschaltet, wird der US-Anschluss vor mechanischen Spannungen und Körperschallübertragung geschützt.

Anschluss der Erdungs- und KurzschlieÙvorrchtungen

Hierfür können an den Leiteranschlüssen Kugelfestpunkte mit 20 mm oder 25 mm Durchmesser, gerade oder abgewinkelt, angebracht werden, für die Oberspannung an den Verbindungsrohren, für die Unterspannung an den Leiteranschlussflächen.

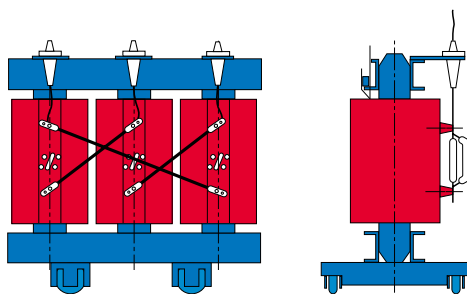


Bild 4:
OS-Steckverbindungen

Bild 5:
GEAFOLE-Transformatoren mit US-Anschlussstechnik

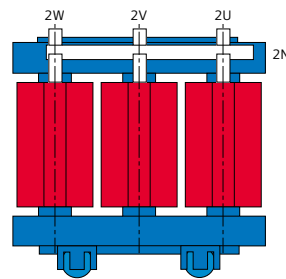


Bild 5a:
Leiter- und Sternpunktanschluss oben

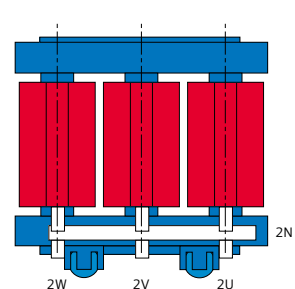


Bild 5b:
Leiter- und Sternpunktanschluss unten



Temperaturüberwachung

Die Temperaturüberwachung von GEA FOL-Transformatoren kann in der Niederspannungswicklung durch Kaltleiterfühler (PTC), durch Einsatz von PT100 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 ausgerüstet (Bild 6).

Temperaturüberwachung mit Kaltleiterfühler (PTC)

Bei einem Drehstromtransformator besteht ein System aus mindestens einem Kaltleiterfühler im Mittelschenkel oder aus drei 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 ein Alarmkontakt des Auslösegerätes wird betätigt. Kühlt die Wicklung um ca. 3 K unter Ansprechtemperatur ab, schaltet der Alarmkontakt zurück.

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. Umgebungstemperaturen für Auslösegeräte sind begrenzt, z. B. auf 55 °C. Zweckmäßig ist deshalb der Einbau in die Mittel- oder Niederspannungs-Verteilerschränke.

Prinzipschaltbild für Temperaturüberwachung mit Kaltleiterfühler (PTC)

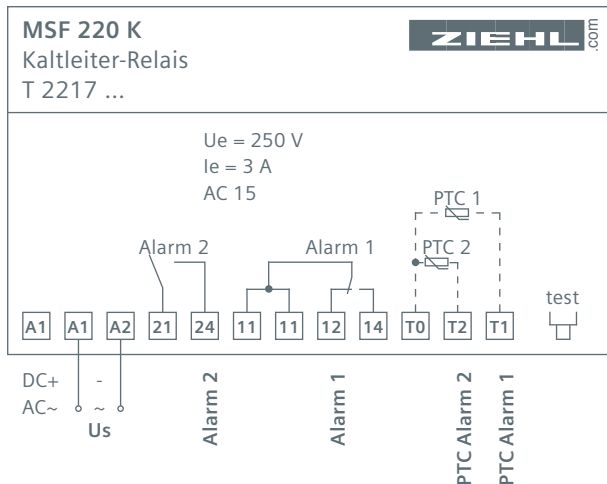


Bild 6:
Anschlussplan Standardauslösegerät für PTC-Sensoren

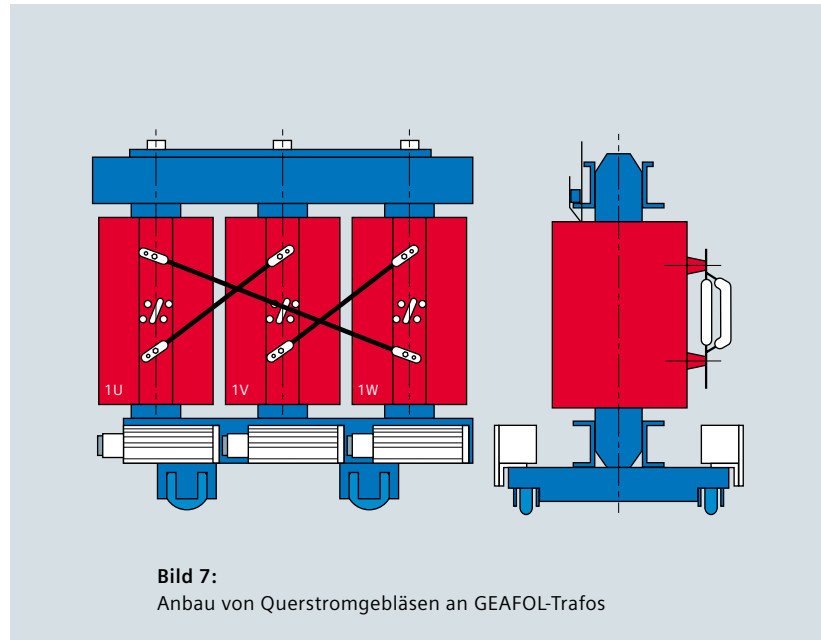


Bild 7:
Anbau von Querstromgebläsen an GEAFOLE-Trafos

Trafo-Zusatzbelüftung für mehr Leistung

Durch Anbau von Querstromlüftern wird die Leistung von GEAFOLE-Transformatoren bis 3.150 kVA und bei Schutzart IP00 bis zu 50 % gesteigert. Mit dieser effizienten Beblasung steigt z. B. die Dauerleistung beim Typ 1.000 kVA auf 1.500 kVA, ohne dass die zulässigen Wicklungstemperaturen überschritten werden (*Bild 7*).

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 zwei oder drei Lüfter angebracht.

Merkmale der Lüfter

- Einphasen-Wechselstrommotor (Außenläufer IP00)
- Schalldruckpegel in der Regel 71 – 74 dB (A), damit geräuschbestimmend

Für das temperaturabhängige Einschalten der Lüfter ist ein Steuergerät erforderlich. Das Abschalten erfolgt über eine einstellbare Zeit 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 und bezüglich der Betriebskosten

Wirtschaftlichkeit der Zusatzbelüftung

Die Kosten für Lüfter und Lüftersteuerung sind im Leistungsbereich bis 3.150 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 die Reservehaltung und zur Abdeckung von Lastspitzen darstellt. Durch den Einsatz von Lüftern kann sich auch der Wartungsaufwand erhöhen.



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 ausreicht, ist der Einbau einer mechanischen Lüftungsanlage (zwangsläufig) geboten.

Hierzu im Folgenden wichtige Hinweise für:

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

Voraussetzungen

Die Umgebungstemperatur der nach IEC ausgelegten Transformatoren darf nicht mehr als +40°C betragen (siehe dazu Seite 8 – mittlere Monats- und Jahrestemperatur). Auf diesen Maximalwert der Kühlmitteltemperatur, erhöht um die nach IEC 60076-11/VDE 0532 zulässige Wicklungsübertemperatur und den entsprechenden Heißpunktzuschlag, sind die in die Unterspannungswicklungen 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.

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 Wärmeabführung

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

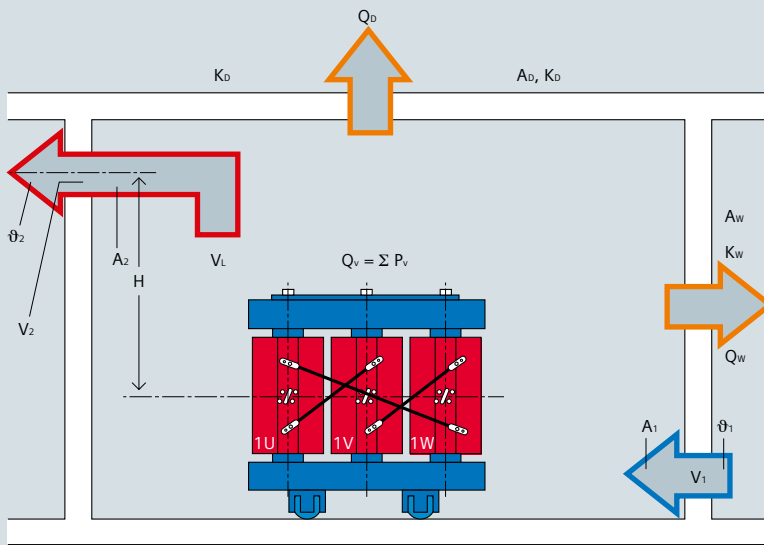
- Q_{v1} : Abführung mit dem natürlichen Luftstrom
- Q_{v2} : Abführung über Wände und Decken
- Q_{v3} : Abführung mit dem erzwungenen Luftstrom

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

Q_{v1} : Wärmeabführung mit dem natürlichen Luftstrom

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

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



- Q_v : abgeführte Verluste insgesamt (kW)
- P_v : Trafo-Verlustleistung (kW)
- v : Luftgeschwindigkeit (m/s)
- $A_{1,2}$: Zu-/Abluftquerschnitt (m²)
- $\Delta\theta_L$: Lufterwärmung (K), $\Delta\theta_L = \theta_2 - \theta_1$
- H : thermisch wirksame Höhe (m)
- $Q_{w,D}$: über Wände und Decken abgeführte Verluste (kW)
- $A_{w,D}$: Fläche der Wände und Decken
- $K_{w,D}$: Wärmedurchgangszahl ($\frac{W}{m^2K}$)
- Indices: W – Wand, D – Decke
- V_L : Luftmenge (m³/s)
- Frischluftzuführung
- warme Abluft
- Abwärmeabfuhr über Wände/Decken

Bild 8:
Angaben zur Lüftungsberechnung

Zu Bezeichnungen siehe Text *Bild 8*:

Für die grafische Lösung kann das Nomogramm *Bild 9* verwendet werden.

Hier ein **Berechnungsbeispiel** zum natürlichen Luftstrom.

Gegeben sind:

- $Q_{v1} = \sum P_v = 10 \text{ kW}$
- $H = 5 \text{ m}$; $\Delta\theta_L = \theta_2 - \theta_1 = 15 \text{ K}$ (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 9*):

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

Dies bedeutet:

Bei $\Delta\theta_L = 15 \text{ K}$ 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} : Wärmeabfuhr über Wände und Decken

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

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

Hierbei bezeichnet:

- $K_{w,D}$ = Wärmedurchgangszahl (*Tabelle 3*)
- $A_{w,D}$ = Fläche der Wände und Decken
- $\Delta\theta_{w,D}$ = Temperaturdifferenz innen/außen (siehe auch *Bild 8*)

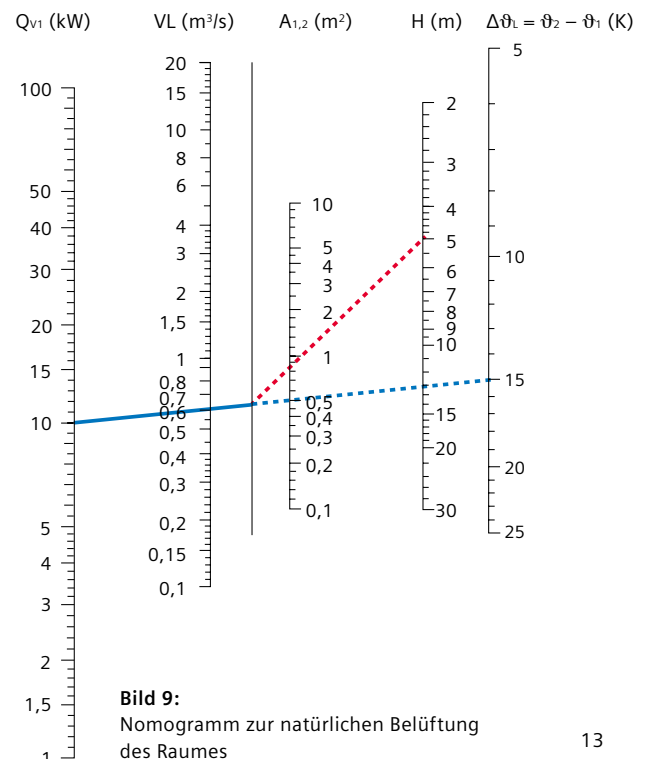


Bild 9:
Nomogramm zur natürlichen Belüftung des Raumes



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} = ∑ P_v. 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 (m³/s)
- C_{PL} = Wärmekapazität der Luft:
= 1,015 $\frac{\text{kWs}}{\text{kg} \times \text{K}}$
- ρ_L = spezifische Dichte der Luft bei 20 °C
= 1,18 kg/m³
- Δϑ_L = Lufterwärmung (K)
= ϑ₂ - ϑ₁

Das Nomogramm in *Bild 10* setzt diese Formel um. So lässt sich z. B. für eine Luftgeschwindigkeit im Lüftungskanal von 10 m/s und für unterschiedliche Temperaturdifferenzen Δϑ_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 Durchchnittsquerschnitt A:

$$V_L = v \times A$$

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

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.

Raumlüfter

Für die Raumlüftung können Kasten-, Radial- oder Axiallüfter verwendet werden. Sie werden von verschiedenen Herstellern angeboten. Besonders wichtig für die Wahl des Raumlüfters ist die geforderte Gesamtdruckdifferenz (N/m²). Zur Errechnung siehe Seite 15, Abschnitt „Leistung des Raumlüfters“. Um Arbeitsgeräusche des Raumlüfters 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. Sind mehrere Raumlüfter in Betrieb, so addieren sich die Geräusche (*siehe hierzu Seite 18, „Geräuschpegel“*).

Kriterien für die Wahl des Raumlüfters

Bei der Wahl des Raumlüfters sollte nach folgenden Kriterien geprüft werden:

- Luft-Fördermenge (m³/h) in Relation zum Druck (N/m²)
- Drehzahl im Betrieb
(um Geräusche niedrig zu halten: max. 600–800 min⁻¹)
- Betriebsspannung V
- Nennleistung kW
- Frequenz Hz
- Schalldruckpegel dB(A)



Wärmedurchgangszahl, einige Beispiele

Material	Dicke cm	Wärmedurchgangszahl K ⁻¹ W/m ² K
Leichtboden	10	1,7
	20	1,0
	30	0,7
Backstein	10	1,7
	20	1,0
	30	0,7
Beton	10	1,7
	20	1,0
	30	0,7
Metall	–	6,5
Glas	–	1,4

*) K erfasst Wärmedurchgang und Wärmeübergang an den Oberflächen

Tabelle 3

Leistung des Raumlüfters

Für die Antriebsleistung P des Raumlüfters gilt:

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

Hierbei bezeichnet:

- p = Gesamtdruckdifferenz bei strömender Luft (N/m²):
p = p_R + p_B
- V_L = Luftmenge (m³/h)
- η = Wirkungsgrad des Lüfters (0,7... 0,9)

p_R: Druckdifferenz durch Strömung

Die Druckdifferenz p_R entsteht durch

- Rohrreibungswiderstand p_R im geraden Rohr = Rohrlänge L x spezifischer Rohrreibungswiderstand p_{RO}
- Einzelwiderstände, verursacht durch Umlenken, Abzweige, Gitter, Querschnittsänderungen

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

p_B: Druckdifferenz durch Beschleunigung

Für die Druckdifferenz durch Beschleunigung p_B (N/m²) gilt:

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

Hierbei bezeichnet:

- v_K = Luftgeschwindigkeit (m/s) im Kanal
- V_L = Luftmenge (m³/h)
- A_K = Kanalfläche (m²)

wobei $v_K = \frac{V_L}{3600 \times A_K}$

Richtwerte für den Druckverlust durch p_R sind:

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

Tabelle 4

Nomogramm zur Zwangsbelüftung des Raumes

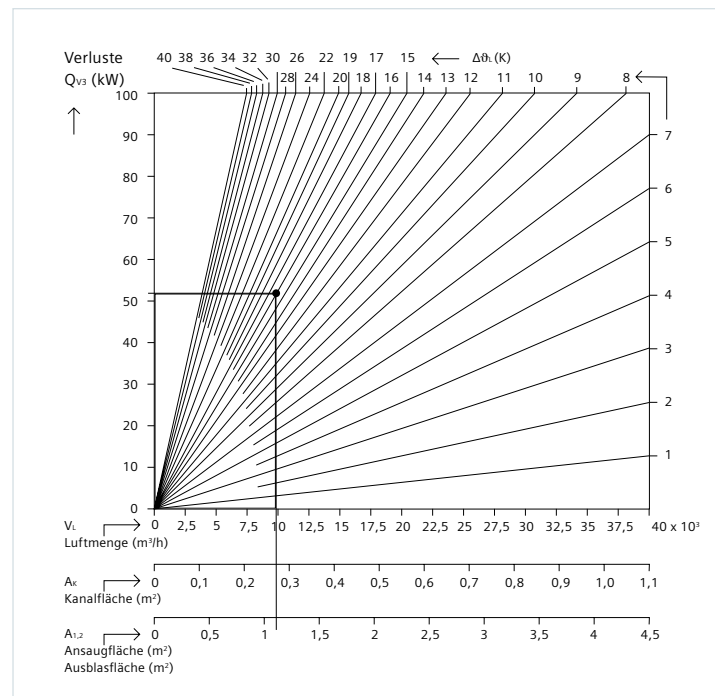


Bild 10:

Nomogramm zur Zwangsbelüftung des Raumes bei V_{Kanal} = 10 m/s

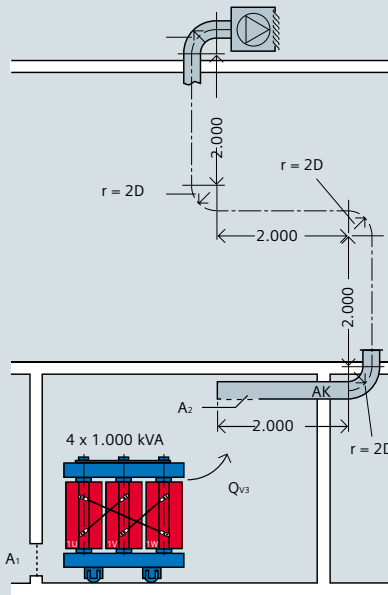


Bild 11:
Skizze zum
Berechnungsbeispiel für
Zwangsbeltüftung



Hier ein **Berechnungsbeispiel** zum erzwungenen Luftstrom – siehe dazu (*Bild 10 und Bild 11*).

Gegeben sind:

- 4 GEAFOI-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_{v1} und Q_{v2})
- 40°C max. Kühlluft-Temperatur gemäß IEC 60076-11/VDE 0532 (in heißen Ländern mit $\vartheta_1 > 40^\circ\text{C}$ sind spezielle Maßnahmen erforderlich: Vorkühlung der Luft, Reduzierung der Trafo-Leistung oder Trafo-Auslegung für hohe Temperaturen)
- Temperaturdifferenz $\Delta\vartheta_L = 16 \text{ K}$

Daraus ergibt sich mithilfe des Nomogramms (*Bild 10, Seite 15*):

- Menge der Kühlluft: 10.000 m³/h
- Querschnittsfläche des Luftkanals: 0,28 m²
- Luftansaug-Querschnittsfläche: 1,12 m²

Bild 11 zeigt ein Lüftungssystem mit folgenden Komponenten:

- 1 Abluftventilator (Raumlüfter)
- 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 m²
- 1 Zuluftgitter – freie Ansaugfläche: ca. 1,12 m²

Für die Gesamtdruckdifferenz des Ventilators gilt:

- Druckverlust durch Strömung plus
- Druckverlust durch Beschleunigung:

$$p = p_R + p_B$$

Bestimmung der Komponenten:

p_R: Druckdifferenz durch Strömung

Die Druckdifferenz durch Strömung ist die Summe der Verluste aus:

1. Widerstand durch Rohrreibung
2. Widerstände durch Einzelkomponenten

1. Druckverlust durch Rohrreibung

Der Druckverlust je Kanalmeter ist im Nomogramm (*Bild 12*) 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 Kanalquerschnitte.

In unserem Beispiel – Verbindungsgerade *Bild 12* – ergibt sich als spezifischer Rohrreibungs-Widerstand pro Kanalmeter

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

Bei insgesamt 8 m Kanallänge L gilt:

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

2. Druckverlust durch Einzelkomponenten

Die Werte für den Druckverlust durch Einzelkomponenten ergeben sich aus *Bild 12* und *Tabelle 4 (Seite 15)*.

In unserem Beispiel:

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



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 $v_k = 10$ 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 Luftförderung von 10.000 m³/h und einer Gesamtdruckdifferenz von 211 Pa. Werden dem Hersteller die Werte zu Luftförderung und Gesamtdruckdifferenz genannt, so erübrigt sich zumeist eine Extra-Berechnung der Antriebsleistung.

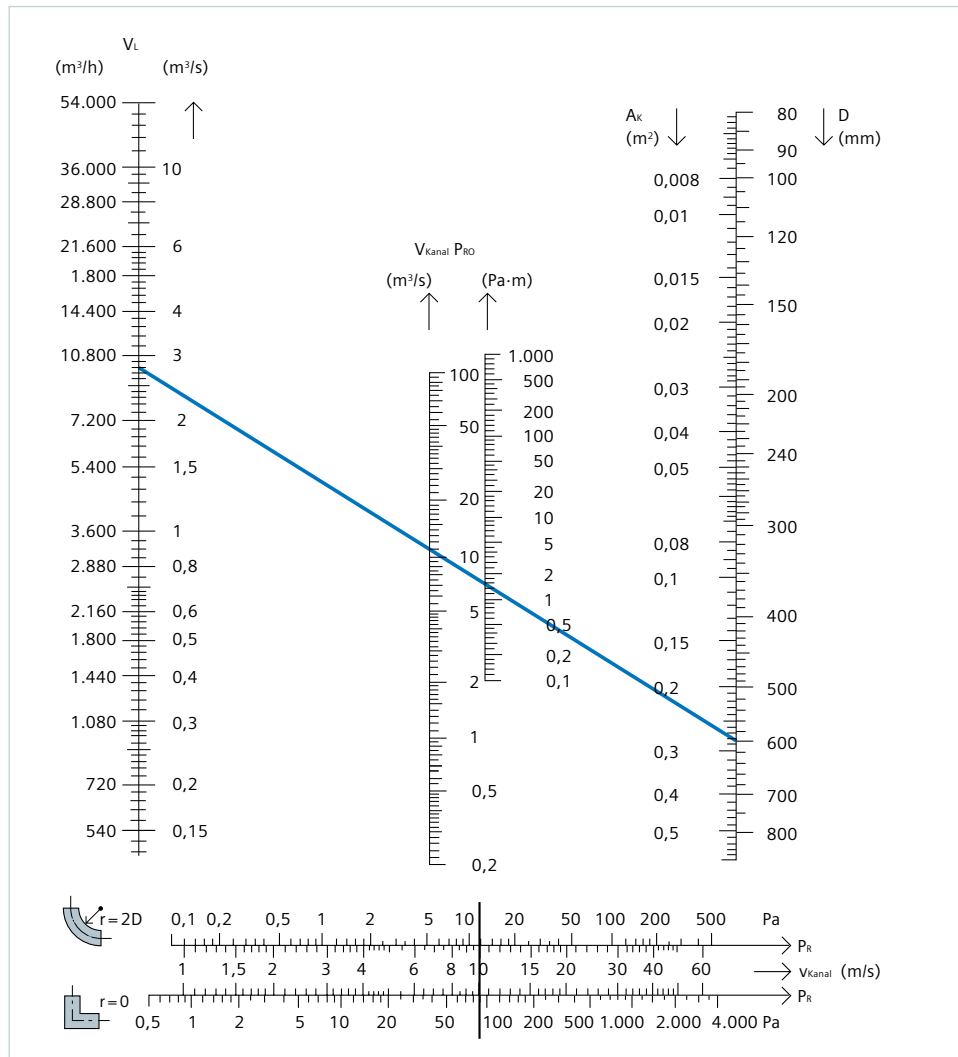


Bild 12:

Nomogramm zur Ermittlung der Druckdifferenz von Lüftungskanälen – hier für Luftdichte 1,18 kg/m³ und 20 °C. Zur Skalenbezeichnung siehe Bild 10 (Seite 15).

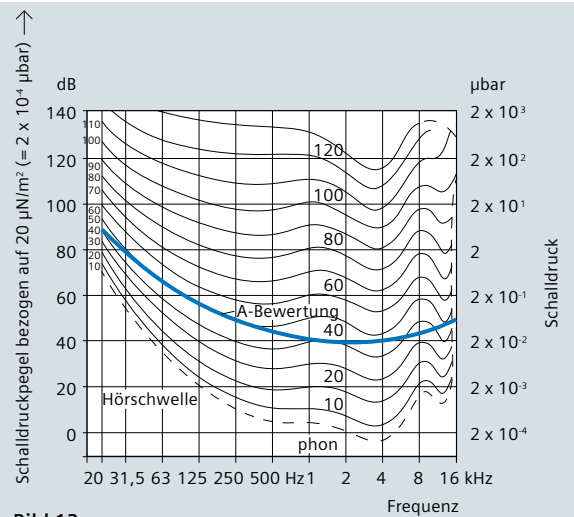


Bild 13: Hörschwelle und Kurven gleicher Lautstärkepegel für Sinustöne im freien Schallfeld bei zweiohrigem Hören

Geräuschpegel

GEAFOL-Gießharztransformatoren haben aufgrund ihres besonderen konstruktiven Aufbaus ein Geräuschniveau, das dem von Öltransformatoren annähernd gleich ist. Die Geräuschwerte sind in dem Katalog „GEAFOL-Gießharztransformatoren 100 bis 16.000 kVA“, Bestell-Nr. E50001-G640-K230, 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, erhöhen 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 2×10^{-4} µbar der Hörschwelle bis an die bei 2×10^3 µbar liegende Schmerzschwelle.

Dieser große Druckbereich wird logarithmisch unterteilt. Eine Steigerung der Schallleistung P um das 10-Fache des Bezugswertes wird 1 Bel = 10 Dezibel (dB) genannt (Die Schallleistung P ist dem Quadrat des Schalldruckes p proportional).

Damit erhält man für den „Schallpegel“ L folgende Beziehungen:

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

Der Schalldruck an der Hörschwelle von etwa 2×10^{-4} bar ist dabei der Bezugswert p_0 .

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

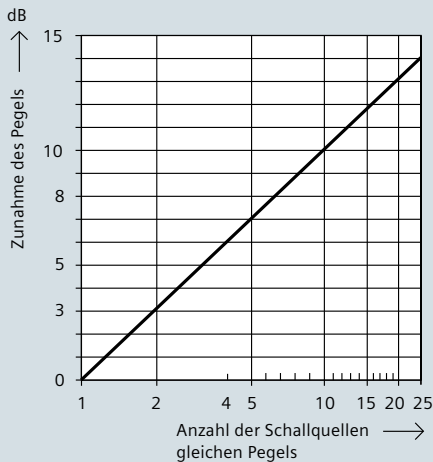


Bild 14:
Zunahme des Geräuschpegels bei mehreren Schallquellen mit gleichem Pegel

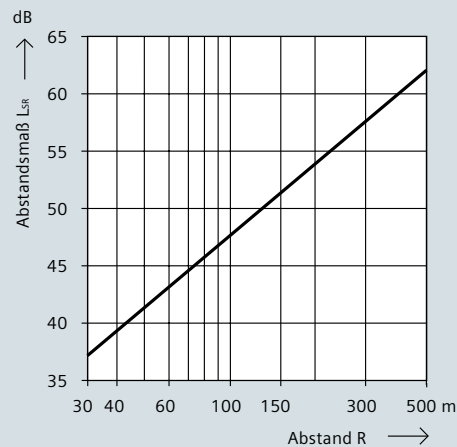


Bild 15:
Abstandsmaß L_{SR} als Funktion des Abstandes R

In dem durch Frequenz und Schalldruck gegebenen Empfindungsbereich des Ohres, der Hörfläche (*Bild 13*), 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 (*Bild 13*) stellt im Frequenzbereich bis 500 Hz eine Näherung für die Kurve gleicher Lautstärke dar.

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.

Schalleistung

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

Die Schalleistung ist wie folgt bestimmt: Ermittlung des Schalldruckpegels 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 $L_S = 10 \times \lg \frac{S}{S_0}$
(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 Schalldruckpegel;
hierfür gilt nach obiger Formel:

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

wobei $L_{SR} = 10 \lg \frac{S}{S_0}$

Das Diagramm (*Bild 15*) zeigt das Abstandsmaß L_{SR} als Funktion des Abstandes R . Damit lässt sich leicht bestimmen, wie hoch der Schalldruckpegel 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 Schalldruckpegel bei freier Schallausbreitung:

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

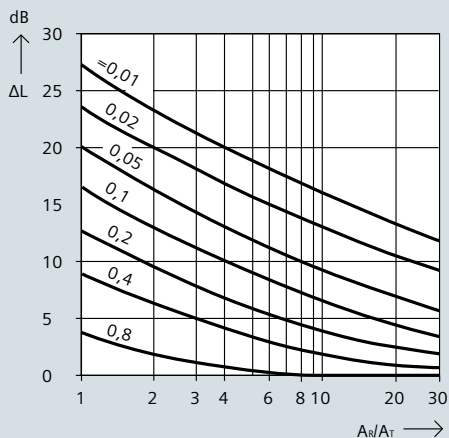


Bild 16:
Zunahme der Betriebsgeräusche
im Trafo-Raum durch Reflexion

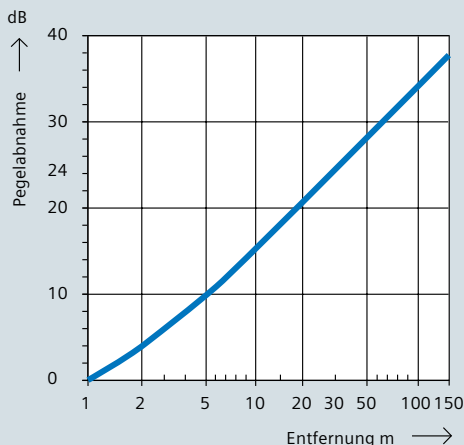


Bild 17:
Abnahme des Schalldruckpegels mit der
Entfernung vom Trafo-Raum



Maßnahmen zur Geräuschminderung – Luftschall

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

- A_R = Gesamtoberfläche des Raumes
- A_T = Trafo-Oberfläche
- α = Schallschluckgrad der Wände und Decken

Bild 16 zeigt, wie diese Faktoren die Geräuschentwicklung bestimmen.

Im Folgenden einige Beispiele des Schallschluckgrades α für unterschiedliches Baumaterial – hier bei 125 Hz.

S_r (kVA)	A_T (m ²)	L_s 0,3 (dB)
100	3,8	6,0
160	4,4	6,5
250	4,7	7,0
400	5,5	7,5
630	6,4	8,0
1.000	8,4	9,0
1.600	10,0	10,0
2.500	14,0	11,5

Tabelle 5
Trafo-Oberfläche- A_T (Ca.-Angabe) mit dem entsprechenden
Hüllflächenmaß L_s

So kann der Anstieg der Betriebsgeräusche durch Reflexion mit Auskleiden des Trafo-Raumes reduziert werden – sehr stark z. B. bei Verwendung von Mineralwolle.

Bild 16 macht dies deutlich. Der Schalldruckpegel 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-Raumes nimmt der Schalldruckpegel mit der Entfernung kontinuierlich ab (Bild 17).

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

Tabelle 6

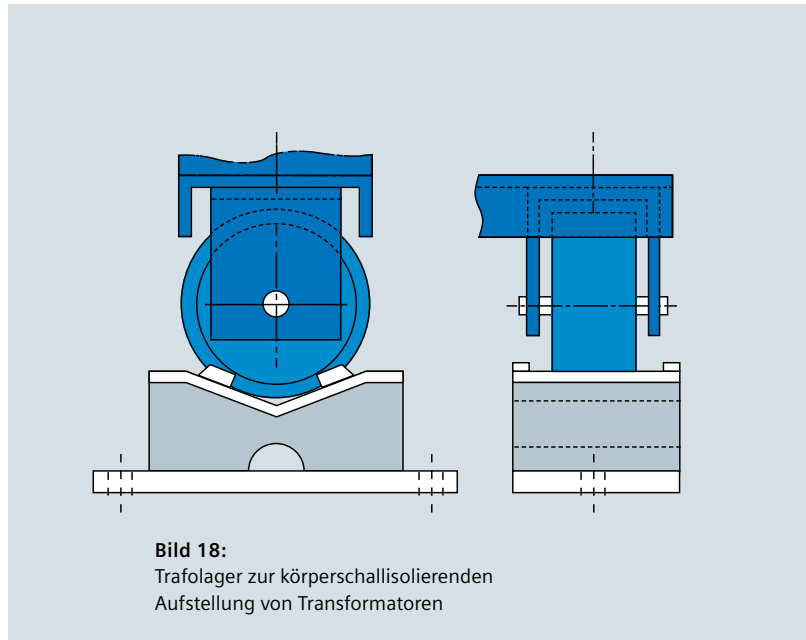


Bild 18:
Trafolager zur körperschallisierenden
Aufstellung von Transformatoren

Körperschall

Trafo-Geräusche übertragen sich auch über die Kontaktfläche des Trafos zum Boden auf Wände und andere Teile des Trafo-Raumes. Körperschall-Isolierung des Trafos reduziert oder unterbindet diesen Weg der Schallübertragung. Die Stärke des primären Betriebsgeräusches kann damit nicht vermindert werden.

Aber: Körperschall-Isolierung optimiert die Raumdämmung. Verzichtbar wird so in vielen Fällen eine schallschluckende Verkleidung der Wände, z. B. mit Mineralwolle. Für die Körperschall-Isolierung der GEAFOL-Trafos sorgen Trafolager (Bild 18).

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 1.000 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
- $g =$ Erdfallbeschleunigung $= 9,81 \frac{m}{s^2}$

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 vier Trafolager mit Federkonstante ≤ 23.400 N/cm und ≥ 8.500 N zulässiger statischer Dauerbelastung.

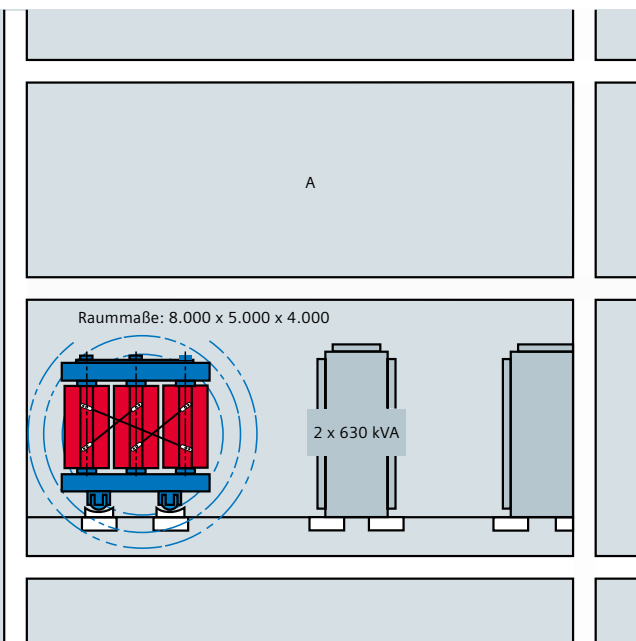


Bild 19:
Skizze zum Berechnungsbeispiel



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.

Geräuschpegel im Trafo-Nebenraum:

Berechnungsbeispiel

Hier ein Beispiel zur überschlägigen Berechnung des Geräuschpegels, der sich in einem Raum A neben dem Trafo-Raum ergibt (Bild 19).

Dabei sind gegeben:

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

Lösung:

Schallleistung des Trafos gemäß Liste oder Diagramm (Bild 13, Seite 18):

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

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

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

5 dB ist dabei die Abnahme des Geräuschpegels für die Vergrößerung von

$L_s = 0,3 \text{ m}$ auf 1 m ; wobei

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

So ergibt sich für den Schalldruck:

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

Für die Geräuscherhöhung durch Reflexion gilt:

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

Bei Schallschluckgrad $\alpha = 0,01$ (Betonwände) ergibt sich nach Diagramm

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

plus

nach Diagramm (Bild 14, Seite 19):

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 Schalldruckpegel = 33 dB(A).

Hinzu kommt: Erhöhung des Schalldruckpegels im Nebenraum (gleiche Raumgröße) durch Reflexion:

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

Bei Schallschluckgrad $\alpha = 0,6$ im Nebenraum (geschätzt – bei Teppichen, Vorhängen usw.) ergibt sich nach Diagramm (Bild 16, Seite 20):

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

Ergebnis:

Der Schalldruckpegel 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 GEAFOL-Transformatoren sowie deren Anschlüsse wird außerhalb der Trafazelle oder der Kapselung des Transformators kaum wirksam. Kessel und Abdeckhauben des Öltransformators und Schutzgehäuse der GEAFOL-Transformatoren wirken als Faradaysche Käfige. 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 GEAFOL-Transformators der Bemessungsleistung 630 kVA und der Kurzschlussleistung 6 % beträgt bei Nennlast in 3 m Abstand zum Transformator ca. 5 µT, bei einem Öltransformator mit gleichen Daten ca. 3 µT.

Im Bereich von a = 1 bis 10 m kann für GEAFOL-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 µT.

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 µT 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 µT auftreten. Ausführliche Angaben sind in der Druckschrift „Verteilungstransformatoren und EMV“ (Bestell-Nr. E50001-G640-A132-V1) enthalten.

CE-Kennzeichnung

1. Transformatoren sind gemäß IEC 60076-11 als passive Elemente zu betrachten. Eine CE-Kennzeichnung ist gemäß T&D Europe (COTREL) Festlegung nicht zulässig.

Dies betrifft Transformatoren, die nicht unter die Ökodesign-Direktive 2009/125/EC fallen, obwohl sie innerhalb der Europäischen Union installiert werden.

2. Ab Juli 2015 müssen Transformatoren, die innerhalb des Europäischen Wirtschaftsraums (EWR) in Umlauf gebracht werden, den Bestimmungen der neuen Direktive entsprechen, soweit diese anwendbar sind. Da die Direktive eine Maßnahme zur Implementierung der Ökodesign-Richtlinie 2009/125/EC darstellt, dient die CE-Kennzeichnung als Nachweis für die Einhaltung der Bestimmungen. Ein entsprechendes EU-Konformitäts-Zertifikat wird ausgestellt. Die obengenannte Richtlinie gilt nicht für Produkte, die für den Export in andere Länder außerhalb des Europäischen Wirtschaftsraums hergestellt wurden. Produkte, die bereits in Umlauf oder im Betrieb sind, können weiterhin betrieben werden.

Herausgeber Siemens AG 2016

Energy Management Division
Freyeslebenstraße 1
91058 Erlangen, Deutschland

Transformatorenwerk Kirchheim
Energy Management Division
Transformers
Hegelstraße 20
73230 Kirchheim/Teck, Deutschland
Tel.: +49 (0) 7021 508-0
Fax: +49 (0) 7021 508-495
siemens.com/energy-support

Siemens Transzformátor Kft.
1214 Budapest
II. Rákóczi Ferenc u.189., Hungary
Tel.: +36 (1) 278 53 00
Fax: +36 (1) 278 53 35

Wünschen Sie mehr Informationen,
wenden Sie sich bitte an unser
Customer Support Center.
Tel.: +49 180 524 70 00
Fax: +49 180 524 24 71
(Gebühren in Abhängigkeit vom Provider)
E-Mail: support.energy@siemens.com

Artikel-Nr. EMTR-B10008-00
Gedruckt in Deutschland
Dispo 19201, SIMC-0000-46721
L 214058 WS 01160.

Änderungen und Irrtümer vorbehalten.

Die Informationen in diesem Dokument enthalten lediglich allgemeine Beschreibungen bzw. Leistungsmerkmale, welche im konkreten Anwendungsfall nicht immer in der beschriebenen Form zutreffen bzw. welche sich durch Weiterentwicklung der Produkte ändern können. Die gewünschten Leistungsmerkmale sind nur dann verbindlich, wenn sie bei Vertragsschluss ausdrücklich vereinbart werden.