

# Wie lässt sich langfristig Geld sparen?

Unser Stromverteilnetz arbeitet mit verschiedenen Spannungen. Um von einer Spannungsebene in die nächste zu kommen, sind Transformatoren (Trafos) notwendig. Bereits in einem Dorf von 2000 Einwohnern sind mehrere Trafos im Einsatz. Verteiltrafos sind im Leistungsbereich von 50...2500 kVA und einer Eingangsspannung von maximal 36 kV auf dem Markt. Es gibt sie in verschiedenen Qualitätsausführungen.

Raymond Kleger

In jeder politischen Gemeinde fragt man sich in der Werkkommission beim Neubau oder Ersatz von Trafostationen, ob sich eine höhere Investition in eine Anlage mit besserem Wirkungsgrad lohnt. Eine Trafostation arbeitet problemlos 30 Jahre und mehr. Es ist damit klar, dass Mehrkosten für eine besonders effiziente Station genau zu prüfen sind. Ein höherer Wirkungsgrad und damit tiefere Verluste können sich mehr als auszahlen. Tiefere Netzverluste können die Marge des Stromanbieters verbessern.

## Warum überhaupt Trafos?

Dafür gibt es mehrere Gründe. Bis anhin dominierten für die Stromversorgung zur Hauptsache Grosskraftwerke. Dies bedeutet lange Wege bis zu den Endverbrauchern. Da stellt sich natürlich die Frage, wäre es demnach nicht sinnvoll, mit dezentralisierten Kleinkraftwerken nahe bei den Endverbrauchern zu arbeiten? Ein Grosskraftwerk erzeugt 1 GW. Für die gleiche Leistung braucht es beispielsweise 10 000 Kleinkraftwerke von je 100 kW. Es ist für jedermann einleuchtend, dass der Personalaufwand für die Kleinkraftwerke viel grösser ist als für das eine Grosskraftwerk. Es kommt hinzu, dass der Wirkungsgrad eines Kleinkraftwerks tiefer liegt als derjenige eines Grosskraftwerks. Die grösseren Leitungsverluste beim Einsatz von Grosskraftwerken werden so kompensiert.

Eine ganz wichtige Tatsache wird aber immer bedeutender beim Zubau von Klein- bis Kleinstkraftwerken: Unser Netz ist auf Grosskraftwerke angewiesen. Die Stabilität ist sonst nicht gewährleistet. In Grosskraftwerken arbeiten Generatoren mit riesiger Schwungmasse. Das Zuschalten und Abschalten grosser Lasten wird so viel einfacher abgefedert als bei Kleinkraftwerken. Photovoltaikanlagen liefern beispielsweise, abhängig von der Sonneneinstrahlung, eine bestimmte Leistung. Sie sind ausserstande, auch nur kurzzeitig, 20% mehr zu liefern, es sei denn, die Anlage ist mit einer Speicherbatterie gekoppelt.

Nun bleibt aber noch eine weitere Frage. Warum kann man unser ganzes

Verteilnetz nicht einfach mit 230/400 V aufbauen, da könnte man ja gleich alle Verluste von Transformatoren einsparen? Irgendwie einleuchtend, oder? Diese Frage wollen wir mit einem ganz einfachen Beispiel beantworten. Wir nehmen dazu an, dass wir 100 kW über 10 km übertragen müssen – das ist eigentlich noch eine kurze Strecke. Der Einfachheit halber nehmen wir ein einphasiges System mit 230 V. Der Spannungsverlust darf 1% betragen.

Strom bei 230 V // 16 kV

$$I = \frac{P}{U} = \frac{100'000W}{230V} = 435 A // 6,25 A$$

Zulässiger Spannungsfall:

$$\Delta U = 1\% \text{ von } 230V = 2,3V // 160V$$

Dadurch anfallender Leitungswiderstand:

$$R_L = \frac{2,3V}{435 A} = 5,29m\Omega // 25,6\Omega$$

Notwendiger Leitungsquerschnitt:

$$R_L = \frac{\xi \cdot l}{A} \rightarrow A = \frac{\xi \cdot l}{R_L}$$

$$A = \frac{0,0178\Omega mm^2 / m \cdot 20'000m}{0,00529\Omega} =$$

$$A = 67'300 mm^2 // 113,9 mm^2$$

Als runder Leiter gäbe das einen Leitungsdurchmesser von:

$$D = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 67'000 mm^2}{\pi}}$$

$$D = 259 mm // 4,21 mm$$

Bei 230 V müssten grotesk grosse Leiter mit riesigen Querschnitten zum Einsatz kommen. Abgesehen davon, dass es solche Leiter gar nicht gibt, wären die auch unglaublich teuer. Bei 16 kV

1



Aufbau eines typischen freiatmenden Verteiltrafos von Rauscher & Stoecklin.

**Tabelle 1: Daten von Verteiltrafos. Verluste von der EU-Norm 548/2014**

Leistung [kVA] Öl, Giessharz	Primärspannung [kV]	Kurzschlussspannung [%] Schweiz	Leerlaufverluste [W]	Lastverluste [W]	Gewicht [kg]
100	12...36	4	145 (AO)	1750 (CK)	500... 680
100	12...24	4	280 (AO)	2050 (BK)	590... 830
250	12...36	4,2	300 (AO)	3250 (CK)	820...1140
250	12...36	4,2	520 (AO)	3800 (BK)	990...1190
400	12...36	4,4	430 (AO)	4600 (CK)	1160...1520
400	12...36	4,4	750 (AO)	5500 (BK)	1310...2100
630	12...36	4,6	600 (AO)	6500 (CK)	1750...2240
630	12...36	4,6	1100 (AO)	7600 (BK)	1770...2900
1000	12...36	5	770 (AO)	10500 (CK)	3000...3500
1000	12...36	5	1550 (AO)	9000 (BK)	3000...3500

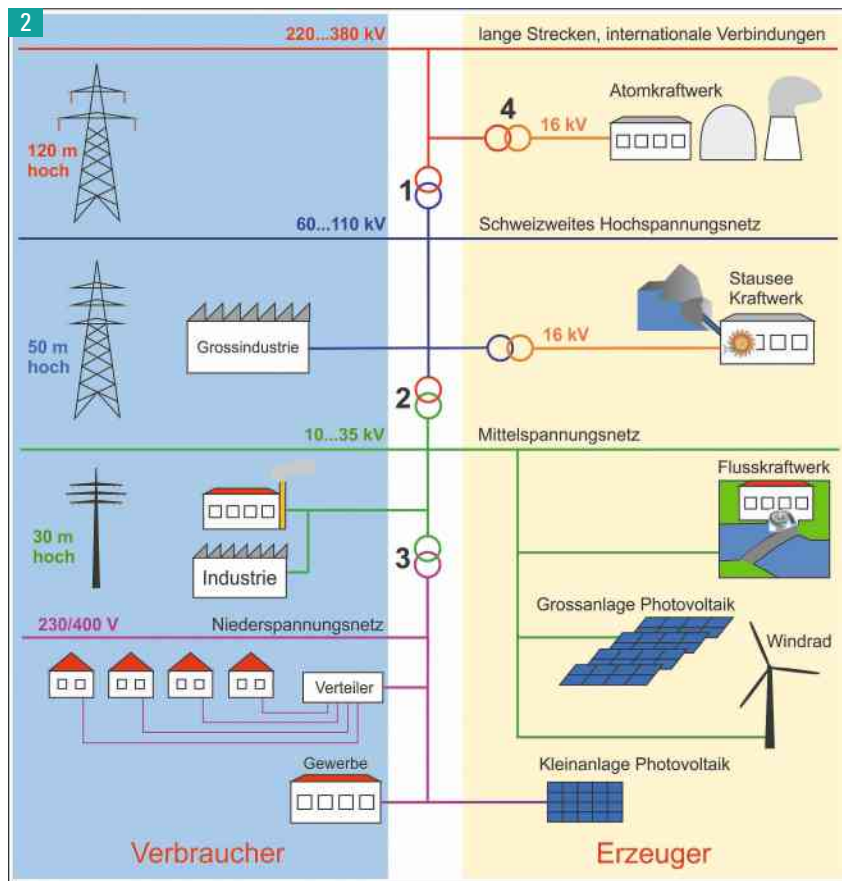
anstelle von 230 V ergeben sich vernünftige Querschnitte. Damit ist klar, grosse Leistungen lassen sich über längere Strecken nur mit Hochspannung übertragen. Unser Verteilnetz arbeitet deshalb auf der Höchstspannungsebene, wo Strecken von mehreren 100 km zu überwinden sind, mit 220...380 kV. Auf der nächsttieferen Stufe sind es 60...110 kV, auf einer weiteren Stufe tiefer sind es rund 10...35 kV. Verteilnetze in einer kleineren Stadt oder einem Dorf arbeiten in der Schweiz typisch mit 16...20 kV. Schlussendlich wird unsere Niederspannung von 230/400 V aus den 16 kV gewandelt. Die vier aufgezählten Spannungsebenen zeigen, dass in

unserem Netz drei Transformatorstufen zwischen dem Höchst- und dem Niederspannungsnetz liegen (Bild 2). Damit sind allerdings nur die «Abwärtsstufen» gezählt, eine braucht es aber noch im Kraftwerk, um von der Generatorspannung eines Grosskraftwerks von zirka 16 kV auf die 230...380 kV zu kommen.

Nebenbei, die Netzverluste, dazu zählen die Leitungs- und Trafoverluste, sind stark unterschiedlich in Europa. Länder mit schlechter Infrastruktur liegen bei 10%, Luxemburg bei 2% dank sehr kurzen Übertragungsstrecken. Deutschland liegt bei rund 4,6%. Die Schweiz hat Werte ähnlich Deutschland.



Ringkerntransformator hat auch bei kleinen Leistungen sehr gute Eigenschaften.



Aufbau Hoch- und Niederspannungsnetz in der Schweiz.

### TrafoGrößen

Die allergrössten Trafos bringen es auf eine Leistung von 600 MVA. Solche Trafos arbeiten mit einem Wirkungsgrad von 99,75%. Ein Trafo von beispielsweise 40 kVA arbeitet mit rund 96% Wirkungsgrad. Würde ein 600-MVA-Trafo ebenfalls mit 96% Wirkungsgrad arbeiten, könnte man mit der Verlustleistung ein grösseres Dorf «heizen», weil die Verluste bei Nennbelastung 24 MW betragen würden.

Je grösser ein Trafo, desto geringer wird auch das Gewicht und Volumen bezogen auf die Nennleistung. 2 Beispiele: Trafo 0,1 MVA: 220 kg Eisen ohne Gehäuse, 115 kg Kupfer ergibt 300 VA/kg, Wirkungsgrad 98,3%. Trafo 500 MVA: 99,6 t Eisen, 40 t Kupfer, ergibt 3600 VA/kg, Wirkungsgrad 99,8%. Auch dieses Verhältnis spricht für Grosssysteme.

Tabelle 1 zeigt ein paar Daten von Verteiltrafos bis 1000 kVA. Dabei fällt auf, dass Öltrafos die durchwegs kleineren Verluste aufweisen, und dies sowohl im Leerlauf als auch unter Last. Apropos Leerlaufverluste – diese sind auch bei Belastung des Trafos da.

Sobald der Trafo am Netz hängt, fallen die Leerlaufverluste an; sie ändern bei Belastung nicht!

In der EU werden die Verluste, wie sie in der Eco-Trafonorm 548/2014 definiert sind, voll ausgereizt. In der Schweiz wurden bereits vor Inkrafttreten der EU-Eco-Trafonorm Trafos eingesetzt, welche diese Norm bezüglich der Wirkungsgrade deutlich überschreiten. Im Gegensatz zu Öltrafos, bei denen die Anschlüsse heute berührungssicher sind, ist das bei Giessharztrafos nicht gegeben. Man darf auch die Spulen nicht berühren. Dies bedeutet, dass mit speziellen Abdeckungen und Schutzabständen für einen sicheren Betrieb gesorgt werden muss.

### Aufbau eines Trafos

Momentan sind europaweit deutlich mehr Öltrafos als Giessharztrafos im Einsatz. In der Schweiz liegt das Verhältnis bei zirka 10:1. Um die Ausdehnung des Öls aufzufangen, kommen zwei Methoden zum Einsatz:

- **Offene Ausführung:** In der Schweiz ist die offene Ausführung als Standard festgelegt. Im Trafogehäuse besteht ein Luftpolster. Es gibt zwei Entlüftungsöffnungen, über die der Luftaustausch mit dem Luftpolster unter dem Deckel im Trafoinnern stattfindet. Dieses Luftpolster steht über die ganze Oberfläche in Kontakt mit der Kühlflüssigkeit und allfällig aufgenommene Feuchtigkeit kann bei höheren Kühlmitteltemperaturen wieder austreten. Diese freitrende Ausführung zeichnet sich durch geringeres Ölvolumen und geringere Abmessungen aus. Im Betrieb arbeitet der Transformator drucklos und es gibt keine mechanische Beanspruchung des Trafogehäuses. Die freitrende Ausführung hat sich tausendfach bewährt und ist kostengünstig.
- **Hermetisch dicht:** Das Trafogehäuse ist komplett gefüllt mit Öl. Bei höheren Temperaturen muss die Ausdehnung des Öls aufgefangen werden. Dies geschieht über die gewellte Stahlausenhülle. Dehnt sich das Öl bei Wärme aus, verformen sich die Blechwellen und nehmen so das grössere Ölvolumen auf. Bei höheren Temperaturen des Öls stehen diese Trafogehäuse unter erheblichem Druck.

Das Öl in einem Trafo hat zwei Funktionen: Es dient als Isolier- und Kühlmittel. Eine Flüssigkeit kann min-

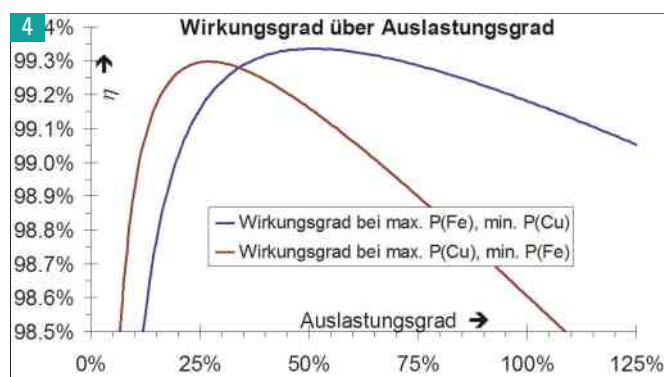
destens zehnmals so viel Wärme transportieren wie Luft. Weil die Isolierfähigkeit von Öl viel besser ist als von Luft, können Schlagweiten und Kriechwege gegenüber Luft um 80% reduziert werden. Ein Öltrafo lässt sich kompakter bauen als ein Trafo mit Luftisolation oder Giessharztrafo. Bei luftisolierten als auch Giessharztrafos treten mehr Verluste auf als bei einem leistungsmässig gleichen Öltrafo.

### Geräusche

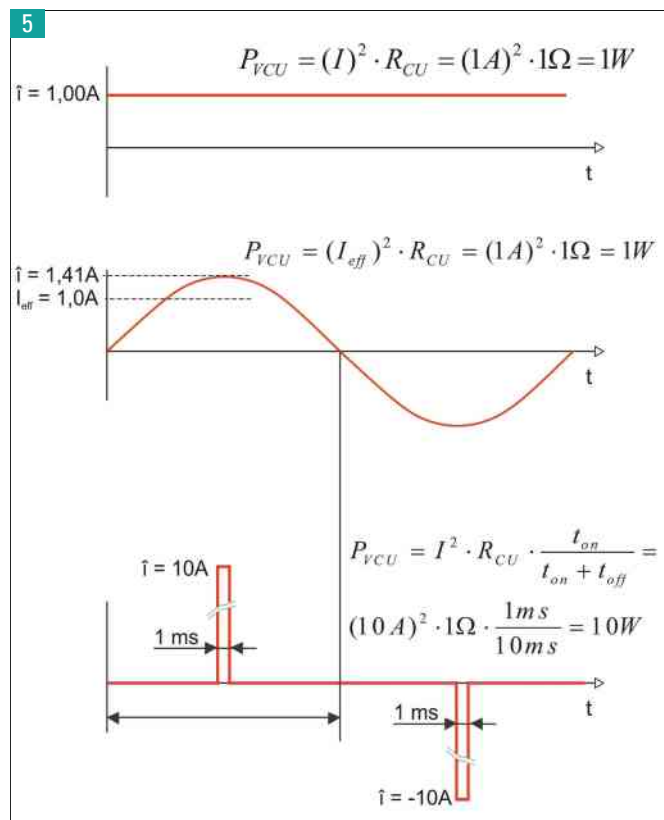
Jedermann weiss, dass Trafos brummen. Warum ist das überhaupt so? In einem Trafo hat es im Normalfall ja keine «bewegten» Teile wie bei einem Motor. Dazu gibt es eine einfache Antwort: Magnetostruktion. Magnetisierbare Stoffe

ändern ihre Ausmasse, sobald ein Magnetfeld anliegt. Der Effekt ist proportional zur Stärke des Magnetfeldes. Das Blech erfährt dabei eine Längenänderung. Wenn sich also das Blech eines Trafos 100 Mal pro Sekunde ausdehnt und wieder zusammenzieht, führt dies zu Geräuschen. Die Geräusche sind umso stärker, je mehr sich die Längenänderung des Trafobleches auf die Konstruktion auswirken kann. Der typische Ton beträgt 100 Hz, weil jede Halbwelle der Sinusspannung zählt.

Die Konstruktion eines Trafos hat erheblichen Einfluss auf die Intensität der Geräusche. Dazu ein Beispiel aus dem Alltag eines Elektroinstallateurs. Ein gut aufgebauter und richtig montierter Ringkerntrafo (Bild 3) brummt bei



Verluste eines Trafos, einmal optimiert für geringe Leerlaufverluste (braune Kurve), einmal für geringe Lastverluste.



Drei Ströme mit extrem unterschiedlichen Wirkungen in einer Trafowicklung.



50 Hz nur ganz wenig, weil sich die Längenänderung des Bleches kaum auf die Konstruktion auswirkt. Dies gilt unter der Bedingung, dass der Trafo über zwei Gummiunterlagen befestigt wird. Ein billiger Trafo aus dem Warenhaus brummt viel stärker. Wird allerdings die Spannung bei einem Ringkerntrafo für Halogenlampen (230 V/12 V) angeschnitten, ist ein deutliches Brummen zu hören. Der Ton verrät es, es sind vor allem die massiven Oberschwingungen zu hören.

Verteiltrafos gibt es nicht als Ringkernausführung. Den typischen Aufbau zeigt Bild 1. Um hier die Geräusche tief zu halten, müssen die Bleche sehr sauber zusammengehalten werden. Die Qualität des Trafos zeichnet sich dadurch aus, dass der Erbauer es eben fertigbringt, die Längenänderungen des Bleches so aufzufangen, dass sich diese nicht auf die Konstruktion übertragen – und somit brummt der Trafo wenig. Auch bei einem Verteiltrafo können Oberschwingungen zu penetranten Geräuschen führen, wenn beispielsweise ein grosser, schlecht entstörter Umrichter als Last arbeitet.

### Verluste

Die Verluste eines Trafos setzen sich aus zwei Komponenten zusammen: Leerlauf- und Lastverluste. Trafos können nach verschiedenen Kriterien optimiert werden. Ein Trafo, der zur Hauptsache im Leerlauf arbeitet, sollte natürlich so konstruiert sein, dass seine Leerlaufverluste gering sind. Dies wird dadurch erzielt, dass viel Eisen mit tiefer Induktion zum Einsatz gelangt. Ein Leerlauf-optimierter Trafo erzielt beispielsweise seinen besten Wirkungsgrad bei 25% Auslastung (Bild 4). Der Einsatz eines solchen Trafos ist dann sinnvoll, wenn selten mehr als 25% anstehen. Trafos mit Kupferwicklungen lassen sich kompakter und mit weniger Gewicht bauen als solche mit Aluwicklungen bei vergleichbaren Verlusten. Dank der EU-Vorgaben dürfen in allen EU-Ländern neu keine minderwertigen Trafos mehr zum Einsatz gelangen. In der Schweiz wurde das Kosten-Nutzendenken (TCO) schon lange beachtet, weil man erkannt hat, dass über die Lebenserwartung eines Trafos (30 Jahre) seine Verluste für die Vollkostenrechnung eine erhebliche Rolle spielen. Deshalb wird höchstens zwischen sehr gut und exzellent gewählt. Der ideale Arbeitspunkt ist dort, wo die Leerlauf- und Lastverluste etwa gleich gross sind.

6



Geschweisstes Blechpaket bei Kleintrafo führt zu grösseren Leerlaufverlusten. (Quelle: Karl Weiss GmbH)

Es gilt:

$$S = S_N \cdot \sqrt{\frac{P_0}{P_L}}$$

$S$  = Scheinleistung [VA]

$S_N$  = Nennscheinleistung [VA]

$P_0$  = Leerlaufverluste [W]

$P_L$  = Lastverluste in [W]

Schauen wir uns die Verluste etwas genauer an.

#### Lastverluste:

Die Lastverluste ergeben sich über die Tatsache, dass gilt:

$$P_{VCU} = I^2 \cdot R_{CU}$$

Die Formel macht klar: Die Verluste steigen quadratisch mit dem Strom. Wird der Strom nichtsinusförmig, können die Verluste extrem zunehmen. Dazu ein krasses Beispiel in Bild 5. Ein Gleichstrom von 1 A erzeugt in einem Widerstand von 1  $\Omega$  eine Verlustleistung von 1 W. Ein Sinusstrom mit einem Effektivwert von 1 A erzeugt ebenfalls eine Verlustleistung von 1 W.

Nimmt man einen extrem puls förmigen Strom (z.B. kleine LED-Lampe), entstehen bei einem Strom mit einem linearen Mittelwert von 1 A wie beim Gleichstrom, hingegen Verluste von 10 W. Der Effektivwert des puls förmigen Stromes beträgt 3,33 A. Das Verhältnis von Effektivwert zu linearem Mittelwert ist in diesem Beispiel gross, nämlich 3,3. Beim Sinus ist dieses Verhältnis nur 1,11. Es braucht ein gutes Messgerät, um diesen puls förmigen Strom richtig messen zu können.

Im ersten Moment denkt man vielleicht, dass ein Trafo mit Aluwicklung leichter wird als einer mit Kupferwick-

lung gleicher Leistung und gleichen Verlusten. Das Gegenteil ist der Fall, weil die Aluwicklung mit grösseren Querschnitten mehr Platz benötigt und somit mehr Eisen; das Gesamtgewicht nimmt um 10...15% zu.

*Leerlaufverluste:* Diese setzen sich aus zwei Komponenten zusammen: Hystereseverluste und Wirbelstromverluste. Wenn wir fürs Erste einmal annehmen, dass der Strom sinusförmig und die Spannung nur wenig ändert, sind die Hystereseverluste annähernd konstant. Bei 50 Hz wird das Blech 100 Mal pro Sekunde ummagnetisiert. Dies führt zu Verlusten, die in Form von Wärme anfallen. Natürlich versucht man die Hystereseverluste klein zu halten. Bei neuen Trafos kommt chemisch behandeltes Blech von 0,23 mm Stärke zum Einsatz. Dieses erzeugt pro Kilogramm Eisen 0,6 W Wärme. Älteres, kornorientiertes Blech liegt bei 1 W, 50 Jahre altes Blech bei 2 W. Harmonische können deutlich mehr Verluste produzieren in einem Trafo, der für 50 Hz ausgelegt ist. Ist beispielsweise eine hohe Harmonische von 250 Hz vorhanden, produziert diese fünfmal mehr Verluste als eine gleichwertige Amplitude von 50 Hz.

Amorphes Eisen mit einer Stärke von 0,03 mm (Folie), erzeugt nur 0,2 W, wäre also hochinteressant. Es gibt Hersteller, die Verteiltransformatoren mit amorphem Blech entwickelt haben. Diese werden interessanterweise grösser, weil sich amorphes Blech nur bis etwa 1,3 Tesla magnetisieren lässt, verglichen mit 1,75 Tesla von kaltgewalztem, kornorientiertem Blech. Bis jetzt konnten sich Trafos mit amorphem Blech im grossen Stil nicht durchsetzen, weil sie teuer, grösser und lauter sind.

Die Wirbelstromverluste entstehen dadurch, dass im Blech selbst auch Spannungen induziert werden und eben nicht nur in der Sekundärwicklung, wie dies beim theoretisch idealen Trafo der Fall ist. Dies führt zu unerwünschten Wirbelströmen. Um die Wirbelstromverluste klein zu halten, wird der Kern nicht aus einem Stück gefertigt, sondern das Blech wird lamelliert. Der Kern eines Trafos ist also aus vielen einzelnen Blechen von 0,23 mm Stärke zusammengesetzt. Die einzelnen Bleche sind voneinander elektrisch isoliert. Hersteller von Trafos müssen darauf achten, dass die einzelnen Bleche nirgends eine elektrische Verbindung haben. Schrauben, die die Bleche zusammenhalten, müssen isoliert montiert werden. Bei Kleintrafos sieht man oftmals, dass die Blechpakete zusammengeschweisst sind

(Bild 6). Das ist mit ein Grund, dass hier die Verluste des Trafos problemlos 20% betragen können.

Die Leerlaufverluste werden auch Eisenverluste genannt. Ein Trafo von beispielsweise 630 kVA (Öl-Quartiertrafo) älterer Version verfügt über Leerlaufverluste von 740 W. Nach der aktuellen EU-Norm 548/2014 dürfen die Leerlaufverluste maximal 600 W betragen. Die Leerlaufverluste trägt das EVU. Natürlich werden diese Verluste letztlich auf den Strompreis umgeschlagen. Der Unterschied in den Leerlaufverlusten liegt also bei 140 W. Jetzt besteht beispielsweise die Frage, ob es sich lohnt, einen 20 Jahre alten Trafo im Rahmen einer Trafostationserneuerung zu ersetzen nur weil ein neuer Trafo effizienter arbeitet? Die Rechnung

zeigt, das EVU spart in 10 Jahren mit dem neuen Trafo 1840 Franken bei einem Strompreis von 15 Rappen. Ein neuer Trafo von 630 kVA kostet rund 16 000 Franken, der alte müsste nach rund 30 Jahren ersetzt werden.

#### Strahlungsarme Trafos

Die Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung (NISV) gilt seit dem Jahre 2000. Sie enthält zwei verschiedene Grenzwerte:

- Immissionsgrenzwert (IGW) = Gefahrenabwehr
- Anlagengrenzwert (AGW) = Vorsorge

Bei Trafos müssen nur die niederfrequenten magnetischen Felder (50 Hz) berücksichtigt werden. Die AGW gelten bei Nennbetrieb. Zur Vermeidung von

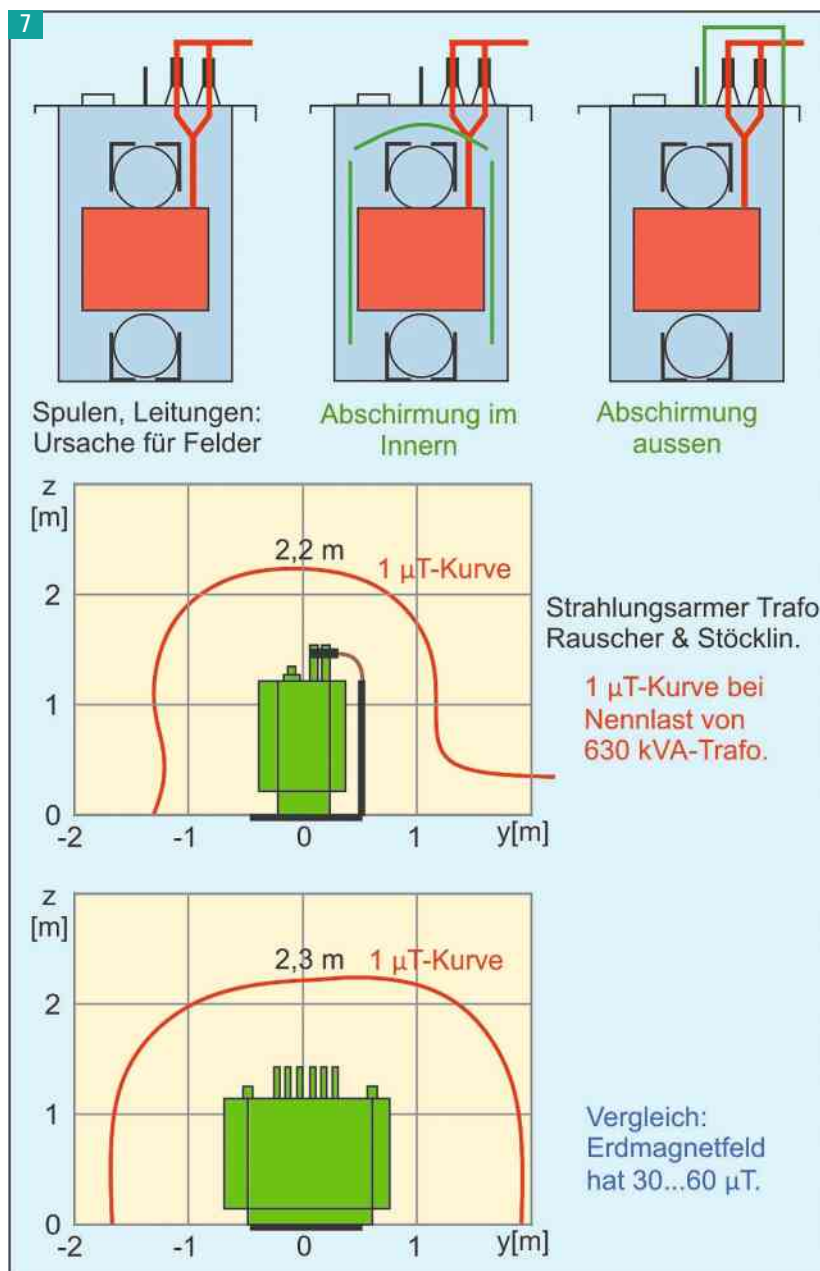
Feldern ist zuerst einmal die Standortwahl eines emissionsarmen Trafos wichtig. Weiter sind die Kabel emissionsarm zu verlegen. In einem dritten Schritt können allenfalls noch aufwendige Flächenabschirmungen an Decken und Wänden erfolgen. Bild 7 zeigt einen strahlungsarmen Trafo der Leistung 630 kVA bei Nennbetrieb von Rauscher & Stoecklin.

Spulen in Trafos erzeugen Magnetfelder, es gibt keine Möglichkeit, diese zu kompensieren. Man kann nun die Auswirkung des Feldes innen über Schirmbleche und aussen bei den Anschlüssen über eine Abschirmhaube verringern. Weiter können die Anschlüsse auf der Niederspannungsseite so ausgeführt werden, dass sich deren Magnetfelder schon in geringer Distanz praktisch kompensieren – das ist in Bild 7 nicht gezeigt. Gegenüber Standardtrafos erfolgt auf diese Weise eine Halbierung der Feldwerte in gleicher Distanz gemessen. Wichtig ist aber auch, dass die Verkabelung ebenfalls strahlungsarm ausgeführt wird.

#### Spannungsabfall

Es ist bekannt, dass die Leerlaufspannung eines Trafos höher liegt als bei Nennbelastung. Im Katalog eines Trafoferstellers ist immer die Kurzschlussspannung angegeben. Diese beträgt typisch 4...6% für Trafos bis etwa 2,5 MVA. Bei ganz grossen Trafos (600 MVA) liegen die Werte bei 18...22%. Gemessen wird die Kurzschlussspannung so, dass die Sekundärseite des Trafos kurzgeschlossen ist. Die Spannung am Eingang des Trafos wird soweit erhöht, bis der Kurzschlussstrom auf der Sekundärseite den Nennstrom erreicht. Die Eingangsspannung liegt dann eben bei 4...22% der Nennspannung. Bei Nennbelastung des Trafos fällt also im Trafo selbst eine Spannung von 4...22% der Nennspannung ab. Aber aufgepasst, dies bedeutet nicht, dass die Ausgangsspannung des Trafos im Leerlauf gegenüber der Nennspannung um 4...22% tiefer liegt. Man muss dies vektoriell betrachten. Die Frage ist, wie viel sinkt die Ausgangsspannung eines Trafos bei Nennlast gegenüber dem Leerlauf wirklich?

Bei einem typischen Quartiertrafo von 630 kVA und 98,5% Wirkungsgrad, sinkt die Ausgangsspannung bei Nennlast um maximal 1,5%. Praktisch sind es eher nur etwa 1%, weil es ja nicht nur Lastverluste, sondern auch Leerlaufverluste gibt. Letztere sind konstant und wirken sich nicht auf die



Streufelder von Trafos, strahlungsarmer Typ von Rauscher & Stoecklin.





8

Herstellung einer Sekundärwicklung. (Quelle: Rauscher &amp; Stoecklin)

Ausgangsspannung aus. Typischerweise werden in der Schweiz Trafos eingesetzt, bei denen die Leerlaufspannung bei rund 420 V liegt. Die Ausgangsspannung bei Belastung hängt nicht nur von der Höhe des Stroms ab, sondern ist auch vom Leistungsfaktor abhängig.

#### Offene Anschlüsse

Ältere Trafos haben offene Anschlüsse. Dies ist mit ein Grund, dass diese Trafos gegen solche mit vollständig isolierten Anschlüssen gewechselt werden. Damit ist der Berührungsschutz auf der Hoch- und Niederspannungsseite gewährleistet. Der Giessharztrafo hingegen hat grundsätzlich keinen Berührungsschutz.

#### Isolierung

Ein Trafo ist gegenüber Blitzeinschlägen nicht genügend isoliert. Da müssen Überspannungsableiter für eine Begrenzung der Spannung sorgen. Ein Verteiltrafo wird immer mit mindestens der doppelten Nennspannung geprüft. Bei einem Trafo mit 12 kV auf der Primärseite wird mit einer Stosspannung von 75 kV (Typenprüfung) geprüft und mit einer Dauerspannung von 28 kV (Stückprüfung). Man hat noch kaum je gehört, dass es zu einem Durchschlag von der Primär- zur Sekundärseite eines Verteiltrafos gekommen ist. Viel problematischer sind Überlastungen, welche zu einer vorzeitigen Alterung des Trafos führen. In unseren Netzen kommt dies selten vor, hingegen im Mittelmeerraum, z. B. in einem Feriendorf, öfters. Bei Hochbetrieb tritt locker die zehnfache Leistung gegenüber der Nebensaison auf.

#### Welcher Trafotyp?

Bereits eingangs wurde erwähnt, dass das Verhältnis von Öltrafos zu Giess-

harztrafos in der Schweiz bei zirka 10:1 liegt, in Europa bei geschätzten 4:1. Es gibt Anwendungen, wo Öltrafos gar nicht erlaubt sind. Es sind dies: Schiffe, Grundwasserschutzgebiete und allenfalls in der Lebensmittelindustrie. Wenn nur die Brandlast im Vordergrund steht, kann mit speziellen Ölen, beispielsweise MIDEL 7131, BIO Envirottemp FR3, gearbeitet werden. Bei Berücksichtigung aller Kosten (TCO) kommt der Giessharztrafo teurer als der Öltrafo. Der Einsatz von Giessharztrafos macht daher ohne zwingende Gründe keinen Sinn.

#### Aufbau Giessharztrafo

Bei der Hochspannungsseite werden Aluminiumbänder durch eine besonders spannungsfeste Polypropylenfolie getrennt (Bild 9). Auf einer Maschine werden die Alu- und Isolationsfolie zusammengebracht. Die Primärspule wird dann samt Anschlüssen zusammengebaut und in einem Ofen zusammen mit reinem Silikatmaterial (Quarzsand) und speziellen Epoxidharzen vakuumvergossen. Die Anschlüsse aus der Giessharzform bestehen aus Messingeingpresmmuttern. Anstelle von Alu- können selbstverständlich auch Kupferfolien zum Einsatz gelangen. Bei Bild 9 sieht man aussen an den Wicklungen auf der Hochspannungsseite die Y- $\Delta$ -Verbindungsstäbe. Der gesamte Giessharzkörper ist mechanisch robust, feuer- und feuchtigkeitsbeständig. Eine Folienwicklung hat den Vorteil, dass die Spannungsbeanspruchung pro Lage nie die Windungsspannung übersteigt, wohingegen bei einer Runddrahtausführung die Beanspruchung ohne weiteres die doppelte Lagenanspannung erreicht. Je nach Trafotyp wird die Sekundärseite ähnlich der Primärwicklung aufgebaut, allerdings ist hier natürlich die Lagen-

spannung viel tiefer. Die Brandfestigkeit von Giessharztrafos ist ausserordentlich gut. Je nach Hersteller dürfen Giessharztrafos auch dauernd mit bis zu 50% überlastet werden, ohne dass diese Schaden nehmen. Dies bedingt in den meisten Fällen einen Lüfter. Selbstverständlich erhöhen sich dadurch auch die Lastverluste und die Ausgangsspannung sinkt weiter ab.

#### Fazit

In der EU kommen nach wie vor «billige» Verteiltrafos zum Einsatz (A0-CK). Dies verwundert umso mehr, als doch laut einer Studie 9 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub> oder 4% der EU-Zielvorgabe von Kyoto eingespart werden könnten, würde man sehr verlustarme Trafos einsetzen. In der Schweiz kommen zum Glück seit Langem hochwertige Verteiltrafos zum Einsatz. Die meisten EVU in der Schweiz schaffen sogar Typen an, die über die beste genormte Kategorie hinausgehen. Das lohnt sich, da sich der Mehrpreis für einen qualitativ hochwertigen Trafo schon nach wenigen Jahren einspielt. Die Premiumklasse, wie sie beispielsweise Rauscher & Stoecklin anbietet, weist noch weitere positive Eigenschaften auf: Die Störfelder sind äusserst gering, gleiches gilt für die Geräuschemissionen. Letzteres kann matchentscheidend in verdichteten, urbanen Wohnlagen sein. ■

Aufbau Giessharztrafo mit Folienwicklungen der Firma Tesar. Stäbe aussen an Wicklungen für Y- $\Delta$ -Verbindung. (Quelle Rauscher & Stoecklin)

9

