

**Verlustarme 50Hz Klein-Transformatoren bleiben kalt, sparen damit Verlustenergie und übertragen den Strom kostengünstiger. Sie können aber nur dann verwendet werden, wenn der hohe Einschaltstrom unter allen Umständen vermieden wird. Wie das erreicht wird zeigt dieser Artikel. (So genannte Einschaltstrombegrenzer genügen nicht.)**

**Ringkerntransformatoren** lassen sich besonders gut als Energiespartrafos bauen, die sich auch unter Vollast nicht mehr als um 40 Grad C erwärmen. Sie werden aber bisher nur in Sonderfällen eingesetzt, wo es besonders auf das geringere Gewicht und die Streufeldarmut ankommt.

**Bisher verwendete**, marktübliche und einschaltstromarme EI- oder UI- Kern Transformatoren können bereits im Leerlauf so heiß werden, dass man sie nicht mehr anfassen kann.

Unter Vollast werden sie im Kupferwickel bis zu 130 Grad C heiß. Man nutzt dabei die hohe Temperaturfestigkeit der Lackdraht-Isolierschichten aus.

Hohe Eigenerwärmung bedeutet aber immer höhere Verluste bei der Energieübertragung. Ein Trafo wird bisher meist so ausgelegt, dass er möglichst billig in der Anschaffung ist, dann also wenig Kupferanteil und viel billiges und damit leider verlustbehaftetes Eisen beinhaltet. Damit ist er in der Anschaffung billig aber im Betrieb teuer. Ähnlich wie ein Kühlschrank einer schlechten Energieklasse.

Die verlustbehafteten Glühbirnen oder Motore werden in der Zukunft vom Markt verbannt, weshalb werden dann die Energieverschwender Trafos weiter verkauft? Dafür gibt einen technischen Grund.

**Ein Energieverschwender- also heißer Trafo verursacht jedoch einen geringeren Einschaltstromstoß** als ein verlustarmer, kalt bleibender Trafo, was dem Anlagenbauer entgegenkommt und die primärseitige Absicherung des Trafos auf Nennstromwerte erst möglich macht. (Der Einschaltstromstoß entsteht nur beim Einschalten und erwärmt den Trafo nicht nennenswert.) Weshalb er entsteht ist auf der Homepage:

[www.emeko.de](http://www.emeko.de) beschrieben.

Der Nutzer des heißen Trafos bezahlt diesen billigen Trafo jedoch mit unnötig hohen Stromverbrauchskosten die im Laufe seines Gebrauchs entstehen.

Wegen dem auch bei "heißen Trafos" vorhandenen Einschaltstrom, den jeder Trafo verursacht, sind jedoch besonders träge Trafoschutzschalter als Absicherung nötig. Solche Trafoschutzschalter sind teurer in der Anschaffung als einfache Leitungsschutzschalter. Was am Trafo an Kosten eingespart wird, muss dann wieder für den Trafoschutzschalter und vor allem für den höheren Stromverbrauch ausgegeben werden.

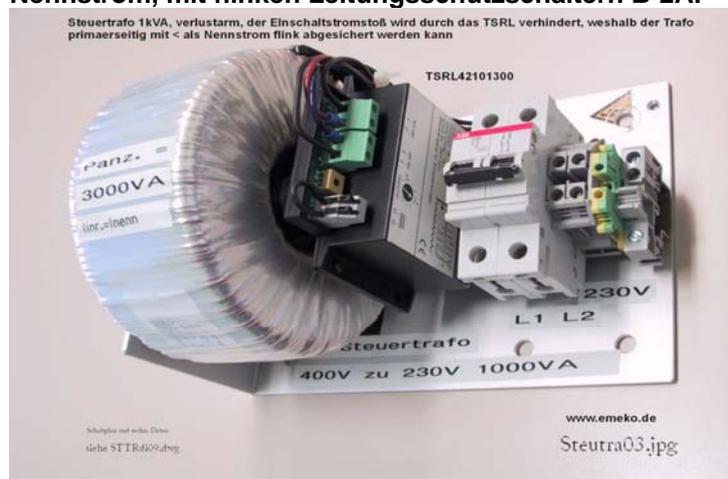
Aber bisher konnte man das eben nicht anders lösen. **Nachhaltig gedacht ist das nicht.**

Kalt bleibende Trafos haben jedoch einen hohen Einschaltstrom, der eine richtige Absicherung fast unmöglich macht. Das ist also bisher ein technisches Dilemma. Mit der Bezeichnung „**einschaltstromarmer**“ Trafo genügt man den technischen Anforderungen, und nimmt die störende Wärmeentwicklung und den höheren Stromverbrauch in Kauf.

Man kann Trafos entweder verlustarm, also kalt bleibend und dann mit hohem Einschaltstrom oder man kann sie verlustreich, also heiß werdend und einschaltstromärmer auslegen.

Beides, einschaltstromarm und verlustarm zusammen geht nicht ohne einen zusätzlichen aktiven Einschaltstrom-Vermeider zu verwenden. (Einschaltstrom Vermeider sind elektronische Vorschaltgeräte, die durch physikalisch richtiges Einschalten den Einschaltstrom bei jeder Art von Trafo vermeiden. Sie werden auch **Trafo Schalt Relais**, TSR, genannt.)

**Bild eines verlustarmen 1kVA 400V zu 230V Ringkerntrafos zusammen mit dem Trafoschaltrelais TSRL, was den Einschaltstrom ganz vermeidet und der Primär-Absicherung auf kleiner als den Nennstrom, mit flinken Leitungsschutzschaltern B-2A.**



**Ringkerntrafos haben deutliche Strom-Spar-Vorteile** gegenüber herkömmlichen, „eckigen“ Trafos, besonders im Teillastbetrieb. Sie haben einen um mehr als Faktor 40 geringeren Leerlaufstrom und geringere Leerlaufverluste, weil die Kornorientierung der Bleche stets in der Magnetflussrichtung verläuft. Deshalb macht es Sinn gerade Ringkerntrafos mit weniger Wirkverlusten zu bauen, indem man auf einen größeren Kern dickere Kupferdrähte wickelt. Dabei entsteht aber bisher das Problem des sehr hohen Einschaltstromes, der dann die richtige Absicherung schwierig bis unmöglich macht, weshalb man von solchen Trafos im Anlagen- und Maschinenbau bisher die Finger ließ.

Der Einschaltstrom entsteht durch Sättigung des Trafoeisenkernes. Ein Ringkerntrafo gerät durch die Rest-Luftspaltfreiheit des Kernes eher in Sättigung als ein EI Trafo.

**Die Höhe des maximalen Einschaltstromes berechnet sich beim Ringkerntrafo ganz einfach aus der Primärspannungshöhe mal 0,9, dividiert durch den Kupferwiderstand der Primärwicklung und der Netzzuleitung.** Der Faktor 0,9 resultiert aus der Remanenzhöhe, die 0,9 mal der Nenninduktion beträgt. -- (Bei einem EI Trafo liegt die Remanenz bei nur 0,4 mal der Nenninduktion durch die Scherung der Hysteresekurve, was deshalb zu geringeren Einschaltströmen führt.)— Wird ein Trafo durch eine Netzspannungshalbwelle, ausgehend von der Remanenz über die Nenninduktion hinaus magnetisiert, so geht das Eisen in Sättigung und ist für den Rest der Spannungshalbwelle physikalisch nicht mehr vorhanden, weshalb nur noch der Leitungs- und Wicklungswiderstand den Primär-Strom begrenzt. Werden nun durch größere Wickel-Drahtquerschnitte, zwar die Verluste aber auch der Primärwicklungswiderstand verkleinert so erhöht sich der Einschaltstrom zusätzlich. Der Trafo ist dann zwar energiesparend aber nicht mehr absicher- und einschaltbar.

Damit wird klar weshalb man bisher Trafos mit höheren Wicklungswiderständen und mit Kernen mit Rest-Luftspalten ausgelegt hat, weil diese helfen den Einschaltstrom als inhärente, konstruktive Faktoren zu begrenzen.

**Wird ein so genanntes „Trafoschaltrelais“, TSR, vor den Trafo gesetzt,** dann ist dieses Einschaltstrom Problem gelöst und der Trafo kann nun sehr verlustarm ausgelegt werden ohne dass der Einschaltstromstoß überhaupt entsteht. Er entsteht dann auch nicht nach Kurzzeitunterbrechungen der Netzspannung. -Das „Trafoschaltrelais“ ist an zahlreichen Stellen im WWW in seiner Funktion beschrieben.- Die Auswahl der Primärseitigen Absicherung ist dann ganz einfach, weil der Einschaltstromstoß nicht nur begrenzt, sondern ganz vermieden wird. (Ein Trafo kann dann zum Beispiel auch auf weniger als den Nennstrom, nur entsprechend seiner Last flink abgesichert werden.) Anders als herkömmliche Einschaltstrom- Begrenzer ist ein Trafoschaltrelais Kurzschluss- und Überspannungsfest und kann den Trafo sogar oft hintereinander ohne Pause schalten.

**Die Kombination von Trafoschaltrelais plus verlustarmer Ringkerntrafo kommt deshalb einem idealen Trafo nahe.**

Eine mögliche Auslegung solch eines Energiespar-Trafos im Vergleich zu herkömmlichen Trafos, zeigen untenstehende Beispiele:

Mit der verlustarmen Auslegung können Transformatoren in luftdichten Gehäusen auch Staub- und Feuchtigkeitsdicht gekapselt werden, weil sie sich kaum erwärmen und deshalb keine Fremdkühlung mehr benötigen.

Auch beim EMV Test nach EN 61000-4-11, der Prüfung mit „Voltage-Dips“, löst die flinke Absicherung nicht aus, weil sie das Trafoschaltrelais davor schützt. (Damit bestehen Transformatoren in Medizingeräten die EMV Prüfung, die in der Medizingeräte Norm, EN 60601-1-2, gefordert ist, in der die EN 61000-4-11, der Prüfung mit „Voltage Dips“ enthalten ist.)

**Tabelle 1:** Für die beispielhafte Auslegung eines 5kVA, 400V zu 80V Ringkern-Trenntrafos in Isolationsklasse T40A = max.105 grad. (Einschaltstromberechnung mit  $R_i$  vom Stromnetz von 0,2 Ohm und  $R_{prim-kalt}$ , bei 90% der Scheitelspannung weil die Remanenz 90% von  $B_{max}$  beträgt.).

Das Delta T ist an Oberfläche gemessen.

Die Werte für die Leerlaufverluste sind mit einem Trafoberechnungsprogramm ermittelt worden.

Berechnungsprogramme setzen für alle Trafos, egal welcher Kern verwendet wird, eine Remanenzhöhe von 0,35Tesla ein. Beim Ringkerntrafo liegt dieser Wert jedoch bei 90% von  $B_{max}$  und hat damit bei 1,55 Tesla eine Höhe von 1,4 Tesla, ist also 4 mal höher, was in den Programmen zu Einschaltstromberechnungen führt, welche gegenüber der Messung und in der Praxis viel zu klein sind. In diese Tabellen sind die richtigen Einschaltstromamplituden eingetragen.

**Tabelle 1 für Ringkerntrafos:**

Nr.	Delta T in grad. C bei Nennlast	Leerlaufstrom in mA	R-Prim In Ohm kalt	Ein-Schalt-strom In Aeff	Eisen-Verluste in W	Kupfer Verluste in W	Kupfergewicht in Kg	Eisengewicht in Kg	Maße in mm Durchm. / Höhe	Preis in Euro bei 500 Stück vom März 2010	Stromverlust-Kosten in €
1	80	83	0,186	932	18	101	11,4	19,2	300 / 115	226	211,1
2	55	80	0,136	1071	21	71	13,6	23,7	315 / 115	262	160,9
3	40	90	0,127	1100	23	66,4	12,3	26,8	320 / 125	264	158,8
4	20	60	0,08	1285	21	38	30,9	42	360 / 180	501	105,4

Stromverlustkosten im 100% Lastbetrieb des Trafos Nr.1 per anno, bei 0,2€/ kwh: 211,0 €

Stromverlustkosten im 100% Lastbetrieb des Trafos Nr.2 per anno, bei 0,2€/ kwh: 160,9 €

Stromverlustkosten im 100% Lastbetrieb des Trafos Nr.3 per anno, bei 0,2€/ kwh: 158,8 €

Stromverlustkosten im 100% Lastbetrieb des Trafos Nr.4 per anno, bei 0,2€/ kwh: 105,4 €

**Eine Erwärmung um Delta T = 40 Grad beim Trafo Nr. 3, erscheint als eine sinnvolle Auslegung für einen verlustarmen Transformator, welche die Gesamt Kosten berücksichtigt.**

Deshalb wird, nun der **Trafo Nr. 3** mit dem **Trafo Nr. 5** verglichen und Verbrauchs-Kosten Vorteile damit errechnet.

**Tabelle 2:**Für die beispielhafte Auslegung eines 5 kVA UI- Kern Trafos mit üblicher Auslegung in Isolationsklasse T40B = 130 grad. (Einschaltstromberechnung mit Ri vom Stromnetz von 0,2 Ohm und Rprim-kalt, bei 50% der Scheitelspannung weil die Remanenz 50% von Bmax beträgt.).

Das Delta T ist an Oberfläche gemessen.

Die Werte für die Leerlaufverluste sind mit einem Trafoberechnungsprogramm ermittelt worden.

Berechnungsprogramme setzen für alle Trafos, egal welcher Kern verwendet wird, eine Remanenzhöhe von 0,35Tesla ein. Beim UI Trafos liegt dieser Wert jedoch bei ca. 50% von Bmax und hat damit bei 1,44 Tesla eine Höhe von 0,72 Tesla, ist also 2 mal höher, was in den Programmen zu Einschaltstromberechnungen führt, welche gegenüber der Messung und in der Praxis zu klein sind.

**Tabelle 2 für UI-Kern Trafos.**

Nr.	Delta T in grad. C bei Nennlast	Kerngröße	Leerlaufstrom in mA	R-Prim In Ohm Kalt	Ein-Schalt-strom In Aeff	Eisen-Verluste in W	Kupfer Verluste in W	Kupfergewicht in Kg	Eisengewicht in Kg	Maße in mm Durchm./ Höhe	Preis in Euro bei 500 Stück vom März 2010	Stromverlust-Kosten in €
5	80	UI 150 / 77	800	0,375	417	34	162	11,3	17,5	150/140/130	214	344,3
6	80	MSE19 2/130	600	0,320	461	53	122	6,0	32	208/208/205	200	307,4
7	55	UI150/9 2	996	0,254	461	39	105	13	20,4	150/150/150	377	256,5
8	40	UI168/9 2	1380	0,148	690	51	675	16,2	25,5	168/168/150	480	144,9
9	20	UI210b/ 133	480	0,054	944	75	26	33,8	58	240/210/200	687	175,7

Stromverlustkosten im 100% Lastbetrieb des Trafos Nr.5 per anno, bei 0,2€/ kwh: 344,3 €

Stromverlustkosten im 100% Lastbetrieb des Trafos Nr.6 per anno, bei 0,2€/ kwh: 307,4 €

Stromverlustkosten im 100% Lastbetrieb des Trafos Nr.7 per anno, bei 0,2€/ kwh: 256,5 €

Stromverlustkosten im 100% Lastbetrieb des Trafos Nr.8 per anno, bei 0,2€/ kwh: 144,9 €

Stromverlustkosten im 100% Lastbetrieb des Trafos Nr.9 per anno, bei 0,2€/ kwh: 175,7 €

**Vergleich:**

Wird nun anstatt des **Trafo Nr. 5** ein **Trafo Nr. 3** verwendet, so werden bei Volllastbetrieb ca. **344,5** minus **158,8 € = 185,7 € per anno an Stromkosten eingespart.**

Bei 500 Stück Trafoschaltrelais TSRL 42101300 per anno, weil auch die Trafopreise mit 500 Stück per anno eingesetzt wurden, kostet ein Trafoschaltrelais € 61,22. (Nach der Preisliste von 2010.)

Folglich hat sich die Kombination aus dem **Ringkerntrafo Nr. 3** und dem Trafoschaltrelais schon nach wenigen Monaten amortisiert.

Die Einsparungen durch die weniger dicken Zuleitungen, wegen der nun möglichen Absicherung auf Nennstrom und nicht auf den 2-3 fachen Nennstrom, wurden hierbei noch nicht berücksichtigt.

In den Folgejahren beträgt die Einsparung an Stromkosten bei Volllast dann ca. 190.- €p.anno.

Auch bei Teillast ergeben sich noch deutliche Kostenvorteile.

Die Lebensdauer des Trafoschaltrelais ist mit 5 Millionen Schaltspielen so groß bemessen, dass eine Neubeschaffung auch bei 20 Schaltungen pro Stunde erst in mehr als 30 Jahren nötig würde.

Bei wenigen Einschaltungen pro Tag ist die Lebensdauer von Trafoschaltrelais vergleichbar mit der des Trafos.

Trafoschaltrelais werden seit über 13 Jahren in hochwertigen technischen Anlagen und in Medizingeräten verwendet.

*Freiburg den 26.04.2011, EMEKO Ing. Büro, Michael Konstanzer. [www.emeko.de](http://www.emeko.de).  
Word-texte/fzartikel/energiespartrafo-braucht--trafoschaltrelais.doc*