

# Transformatoren berechnen - leicht gemacht!

Programmbeschreibung zu ‚Trafo.xls‘

Bei Bastelprojekten ist es gelegentlich notwendig, einen Trafo oder Übertrager zu wickeln, denn nicht immer ist der im Laden so zu kaufen, wie man ihn gerade braucht. Weil die Berechnung von Hand doch vergleichsweise umständlich ist, habe ich vor einiger Zeit ein kleines EXCEL-Blatt erstellt, das einem nun den Großteil der Mühe abnimmt. Nur noch ein paar Werte eingegeben und schwupp – schon hat man einen Zettel mit den Wickeldaten in der Hand!

Die Rechnung liefert für 50Hz-Netztransformatoren im Leistungsbereich von 5 bis ca. 500VA brauchbare Werte. Die Bedienung ist einfach, aber man muß wissen, was die Angaben in den einzelnen Feldern bedeuten. Hier ist die Anleitung für all jene, die glauben, daß sie so etwas auch einmal brauchen können.

## Berechnungsblatt:

**Eingaben:**

Kerntyp:	M85a	Art:	Netztrafo
Blechkicke:	0,4 [mm]	Kernmaterial:	Warmgewalztes Blech
Kernfüllfaktor:	0,95 [-]		
Induktion:	1,30 [T]		

Kern:		Kernfläche:	9,367 [cm <sup>2</sup> ]
Äußere Länge	8,5 [cm]		
Äußere Breite	8,5 [cm]		
Dicke	3,4 [cm]		
Innere Breite	2,9 [cm]		

Fenster:		Fensterfläche:	5,635 [cm <sup>2</sup> ]	Fensterfüllfaktor:	0,976 [-]	<<Das wird schon sehr knapp!!
Länge netto	4,9 [cm]					
Breite netto	1,15 [cm]					

Frequenz:	50 [Hz]
Kurzschlußspg:	10 [%]

Wicklungen:	Spannung:	Strom:	Par. Drähte:	Durchm.:	Drahtisolation:	Drahtfläche:
Primär_1:	230 [V]	0,399 [A]	1	0,40 [mm]	0,03 [mm]	0,126 [mm <sup>2</sup> ]
Sekundär_1:	48 [V]	1,700 [A]	1	0,90 [mm]	0,05 [mm]	0,636 [mm <sup>2</sup> ]
Sekundär_2:	19 [V]	0,100 [A]	1	0,30 [mm]	0,03 [mm]	0,071 [mm <sup>2</sup> ]
Sekundär_3:	[V]	[A]		[mm]	[mm]	0,000 [mm <sup>2</sup> ]
Sekundär_4:	[V]	[A]		[mm]	[mm]	0,000 [mm <sup>2</sup> ]
Wicklungsfüllfaktor:	0,661 [-]					

**Ausgaben:**

Prim.Wicklungspg:	0,2703 [V/Wdg]
-------------------	----------------

Wicklungen:	Wicklungszahl:	Leistung:	Stromdichte:	Wickelfläche:
Primär_1:	850,8 [Wdg]	91,9 [VA]	3,18 [A/mm <sup>2</sup> ]	1,573 [cm <sup>2</sup> ]
Wicklungsisolation:	0,40 [mm]			0,196 [cm <sup>2</sup> ]

Sek.Wicklungspg:	0,2433 [V/Wdg]	Art der Last:		
Sekundär_1:	197,3 [Wdg]	Kapazitiv	3,74 [A/mm <sup>2</sup> ]	<<Hoch!!
Sekundär_2:	78,1 [Wdg]	Kapazitiv	1,98 [A/mm <sup>2</sup> ]	<<Niedrig
Sekundär_3:	0,0 [Wdg]	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
Sekundär_4:	0,0 [Wdg]	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!

Abb. 1: Das Berechnungsblatt

## Berechnungsvorgang:

Ein üblicher Ausgangspunkt ist, daß man bestimmte Spannungen mit bestimmten Strömen braucht, und einen oder auch mehrere unterschiedliche Kerne zur Wahl hat. Es geht nun darum, zu prüfen, ob die benötigte Leistung mit dem Kern der Wahl übertragen werden kann oder nicht. Die Grenzen des Machbaren werden durch die Erwärmung von Wicklung und Kern einerseits sowie durch den zur Verfügung stehenden Wickelraum andererseits vorgegeben. Die Erwärmung wird nicht gesondert berechnet, sondern durch die Wahl eines Wertes für die Stromdichte indirekt berücksichtigt.

Geht man bei Induktion und Stromdichte von den Standardwerten aus, so erhält man als Ergebnis einen Transformator, der für Dauerbetrieb mit voller Last ausgelegt ist. Wird der Trafo nur kurzzeitig voll belastet und ist sonst im Leerlauf oder wird mit Teillast betrieben, so kann man durchaus höhere Stromdichten ansetzen, wie das beispielsweise bei einem Experimentier-Netzgerät der Fall ist.

Die andere Möglichkeit besteht darin, bei einem vorhandenen Kern die maximal übertragbare Leistung bei einer bestimmten Betriebsart zu ermitteln. Beide Möglichkeiten werden unterstützt, indem man die entsprechenden Parameter verändert und die Ergebnisse der einzelnen Berechnungen vergleicht.

Eingabefelder:

**Kerntyp:** Angaben zur Art des verwendeten Kernes; nähere Hinweise z.B. im → WERKBUCH der ELEKTRONIK von *Nährmann* (Angabe wird nicht für die Berechnung verwendet)

**Blechdicke:** Üblich sind Dicken von 0,3mm bis 0,5mm (wird nicht für die Berechnung verwendet)

**Kernfüllfaktor:** Berücksichtigt, daß die Bleche nicht absolut eben sind und somit zwischen ihnen auch im gepreßten Zustand ein kleiner Spalt bleibt. Ein guter Wert ist **0,95**

**Induktion:** Ist ein Maß für die magnetische Beanspruchung des Kernmaterials bei Nennspannung. Übliche Werte für warmgewalztes dickes Blech (0,5mm) liegen bei 1,2T und für dünnes Blech (0,3mm) bei 1,3T. Vergleichbare Werte für kaltgewalztes Blech liegen zwischen 1,7T und 1,8T.

**Art:** Angaben zum Verwendungszweck des Transformators (wird nicht für die Berechnung verwendet)

**Kernmaterial:** Man kann aus 4 Materialien wählen; üblich ist warmgewalztes Blech für geschichtete Kerne und kaltgewalztes Blech für Schnittbandkerne und Ringkerne. Ferrit und Eisenpulver sind Sondermaterialien für Impulsübertrager und HF-Technik. (Wird nicht für die Berechnung verwendet)

**Äußere Länge:** Siehe nachstehende Skizze (wird nicht für die Berechnung verwendet)

**Äußere Breite:** Siehe nachstehende Skizze (wird nicht für die Berechnung verwendet)

**Dicke:** Siehe nachstehende Skizze

**Innere Breite:** Siehe nachstehende Skizze

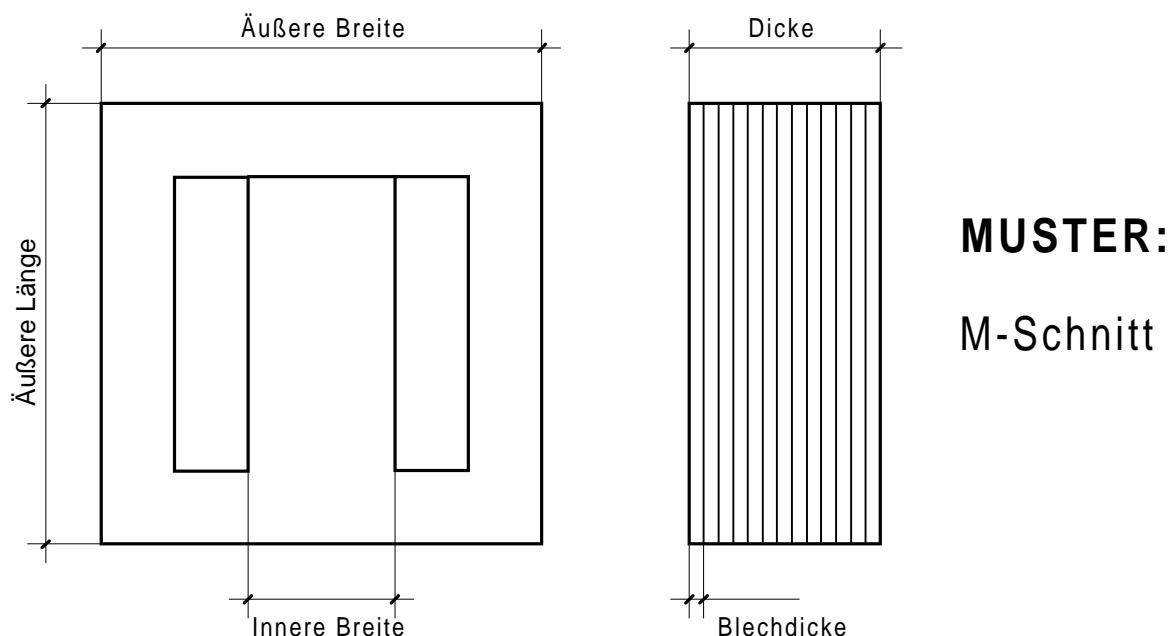


Abb. 2: Aus Einzelblechen geschichteter Kern

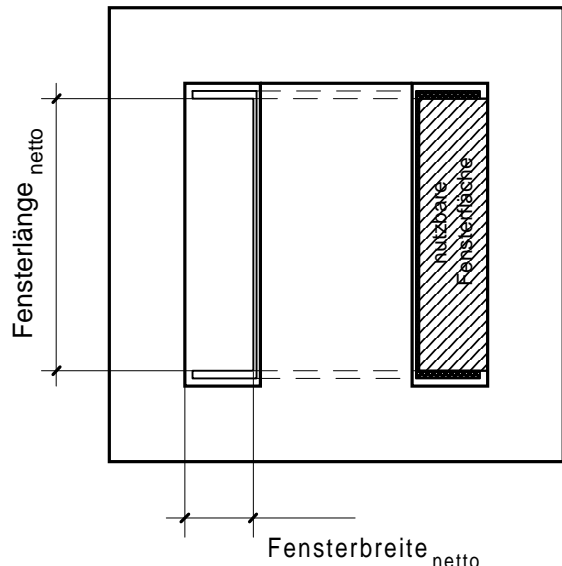
**Fensterlänge netto:** Siehe nebenstehende Skizze

**Fensterbreite netto:** Siehe nebenstehende Skizze

**Frequenz:** Frequenz, mit der der Transformator betrieben wird

**Kurzschlußspannung:** Jene Spannung in Prozent der Nennspannung, die man beim fertigen Trafo an der Primärseite anlegen muß, damit auf der kurzgeschlossenen Sekundärseite der Nennstrom fließt. Bei den von uns benötigten Trafos bewegt sich der Wert etwa zwischen 5% und 15%

**Spannung und Strom** der einzelnen Wicklungen: Hier gibt man die Nennspannungen und Nennströme an, die im normalen Dauerbetrieb erreicht werden sollen.



**Wicklungsfüllfaktor:** Die von einer Wicklung beanspruchte Fläche ist nicht völlig mit Kupfer ausgefüllt, weil

der Draht runden und nicht quadratischen Querschnitt hat  
der Draht außen mit einer Isolierschicht überzogen ist  
die einzelnen Lagen der Wicklung gegeneinander isoliert sind  
die Wicklungen gegeneinander isoliert sein müssen  
die Wicklung nicht 100%ig Windung an Windung aufgebracht werden kann

Ein höherer Füllfaktor als ca. 66% ist in der Praxis kaum zu erreichen, meist liegt der Wert sogar etwas darunter! Voraussetzung hierfür ist, daß nicht 'wild', sondern sehr sauber gewickelt wird (Windung an Windung).

**Parallele Drähte:** Es hängt von der Größe des Trafos ab, wo die Grenze für den Übergang auf 2 oder mehr Einzeldrähte liegt. Durchmesser über 1,0mm sind auch mit Wickelvorrichtung zunehmend schwierig zu verarbeiten.

**Durchmesser:** Hier ist der Durchmesser des unisolierten Kupferleiters einzusetzen

**Drahtisolation:** Stärke des Lackauftrages auf den Durchmesser bezogen

**Wicklungsisololation:** Isolierlage zwischen den Wicklungen zur Gewährleistung der elektrischen Sicherheit

**Art der Last:** Je nach angeschlossener Last ist die Verlustleistung und damit die Erwärmung der Wicklungen unterschiedlich.

Man kann aus 3 Möglichkeiten wählen, wobei die kapazitive Belastung den ungünstigsten Fall darstellt, denn dort ist die für den Stromfluß zur Verfügung stehende Zeit am kürzesten und der Strom und damit die Verlustleistung dementsprechend hoch ( $\rightarrow P = I^2 \cdot R$ ).

Ausgabefelder:

**Kernfläche:** Eisenquerschnitt des Kernes

**Fensterfläche:** Die Wickelfläche im Fenster, die tatsächlich zur Verfügung steht

**Fensterfüllfaktor:** Ein Maß für den am Ende des Wickelvorganges verbrauchten Platz im Fenster. Füllfaktor 1 bedeutet, daß absolut kein freier Platz für weitere Windungen mehr zur Verfügung steht.

*Die Rechnung setzt voraus, daß die Wicklung stramm und so platzsparend wie nur möglich aufgebracht worden ist!*

**Strom** der Primärwicklung: Ergibt sich aus der sekundär verlangten Leistung

**Drahtfläche:** Der Kupferquerschnitt der verwendeten Wickeldrähte

**Primäre Windungsspannung:** Das Ergebnis aus den in der FORMEL eingesetzten Werten

**Primäre Windungszahl:** Anzahl der Windungen jener Wicklung, welche die Leistung zuführt

**Sekundäre Windungszahl:** Anzahl der Windungen jener Wicklungen, die dem Trafo Leistung entnehmen

**Stromdichte:** Ein Maß für die Strombelastung und damit für die Erwärmung der Wickeldrähte.  
Für kleine Trafos (5 – 25VA) nimmt man 3,0 bis 3,5, für mittlere (25 – 200VA) 2,5 bis 3,0 und für große 2,0 bis 2,5 als Richtwert an.

**Wickelfläche:** Platzbedarf der jeweiligen Wicklung unter Einrechnung des Wicklungsfüllfaktors

#### Allgemeine Hinweise:

Wer sich für den Rechengang interessiert, kann zum besseren Verständnis die den Feldern hinterlegten Formeln nachvollziehen. Die genannten Werte für Induktion, Füllfaktoren, Stromdichten etc. sind Mittelwerte aus der Praxis und nicht unbedingt auch für Sonderfälle gültig.

Will man es anlässlich eines bestimmten Anwendungsfalles noch genauer wissen, so ist es allemal ratsam, sich Unterlagen über die magnetischen Eigenschaften der ins Auge gefaßten Kerne bei Herstellern oder Händlern von Trafokernen zu beschaffen. Damit weiß man dann ziemlich exakt, welcher Wert für die Induktion anzusetzen ist (das Kernmaterial ist die größte Unbekannte in unserer Rechnung!).