# Ein unmögliches Paar ?

Ringkerntrafo und flinke Nennstromabsicherung.

Das Bild zeigt einen 1 kVA, 230 V Ringkerntrafo und einen C 4 A Leitungsschutzschalter davor. Der Ringkerntrafo ist verlustarm ausgelegt und hat einen Nennstrom von 4,3 A und einen Einschaltstrom von ca. 56 mal Nennstrom = 240 A. Der C 4 A Schutzschalter löst beim 6 fachen Nennstrom = 24 A flink aus. Der Einschaltstrom des Trafos ist also um Faktor 10 zu groß.
Fazit: Der Trafo ist damit nicht absicherbar!

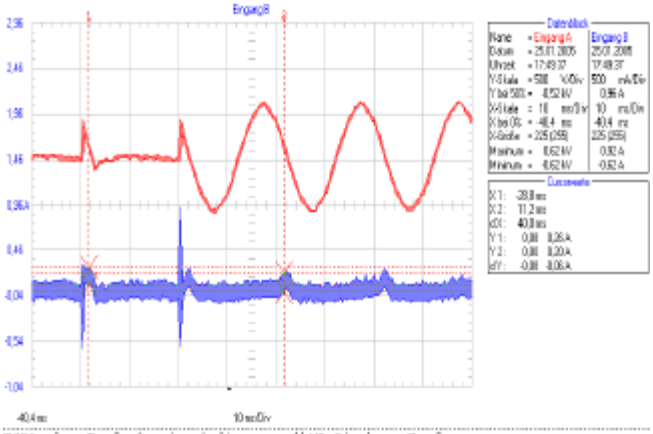
Eigentlich schade, dass die beiden nicht so ohne weiteres zusammenpassen, denn jeder für sich hat große Vorteile. Der verlustarme Trafo ist belastungssteif, bleibt nahezu kalt und hat einen zu vernachlässigenden Leerlaufstrom. Der C 4A Leitungsschutzschalter könnte den Trafo und auch gleich die langen Leitungen nach dem Trafo vor Überlastung oder Kurzschluss optimal schützen. (Weil ein Kurzschluss auch am Ende einer langen Leitung vorkommen kann, sind die dann auftretenden Ströme nicht hoch und müssen trotzdem dem Leitungsschutzschalter auslösen). Im Anlagenbau sind solche langen Leitungen zum Speisen von vielen kleinen Stellantrieben mit 24 V AC durchaus üblich. Bisher muss man deshalb große Kabelquerschnitte verlegen, weiche Trafos und Absicherungen für hohe Nennströme verwenden. Dicke Kabel kosten aber deutlich mehr als dünne. Siehe die Berechnungen am Ende des Berichtes.
**Wird jedoch ein sogenanntes „Trafoschaltrelais“ dazwischen gesetzt, dann vertragen sich die beiden oben abgebildeten Bauteile bestens**.

Bisher als Trafo verwendete, marktübliche und einschaltstromarme Steuertrafos können erfahrungsgemäss bereits im Leerlauf so heiß werden, dass man sie nicht mehr anfassen kann.
Die Ursache heiß werdender Trafos ist konstruktiv bedingt. Man kann Trafos entweder verlust-arm oder einschaltstrom-arm auslegen. Beides zusammen geht nicht.
*(Wenn man einen Trafo einschaltstromarm und trotzdem verlustarm auslegen würde, dann wäre der Trafo wegen der deutlich kleineren Induktion B für die Induktionsreserve, wesentlich größer und auch viel teuerer als ein verlustarmer Trafo.)*
Mit dem Argument **einschaltstrom- armer** Trafo genügt man vordergründig den preislichen und technischen Anforderungen, und nimmt die störende Wärmeentwicklung und den höheren Stromverbrauch in Kauf. Nicht selten werden dann Lüfter zur Kühlung eingesetzt.
Die Alternative zum schon im Leerlauf heiß werdenden Trafo, wäre ein verlustarmer Trafo. Dessen aber dann hoher Einschaltstrom würde aber den zum Trafo Nennstrom passenden Absicherungs- Schutz- Schalter beim Einschalten jedes mal auslösen.

**Einschaltstrom Begrenzer**
helfen zwar die hohen Einschaltströme von verlustarmen Trafos zu begrenzen, können dies aber nur teilweise.
Sie beinhalten meistens zeitverzögert-überbrückte NTC oder andere Fest-Widerstände oder bestehen nur aus NTC´s. Es ist damit jedoch nur das seltene, Einschalten nach einer längeren Pause zu beherrschen. Das Einschalten auf einen Kurzschluss vertragen diese (NTC) - Einschaltstrom- Begrenzer überhaupt nicht.
Kommen **mehrere Einschaltvorgänge hintereinander** oder kurze Netzspannungs-Unterbrechungen vor, so sind dabei die Widerstände in den Einschaltstrom Begrenzern heiß oder noch überbrückt und können so den Einschaltstrom **nicht begrenzen** oder gar selbst Schaden nehmen.

**Sogenannte „Trafoschaltrelais“,** welche den Einschaltstrom ganz vermeiden, erlauben es verlustarme Trafos einzusetzen und erfüllen alle oben genannten Bedingungen. Die Auswahl der Absicherung ist dann ganz einfach. (Siehe Bild auf Seite 2.)

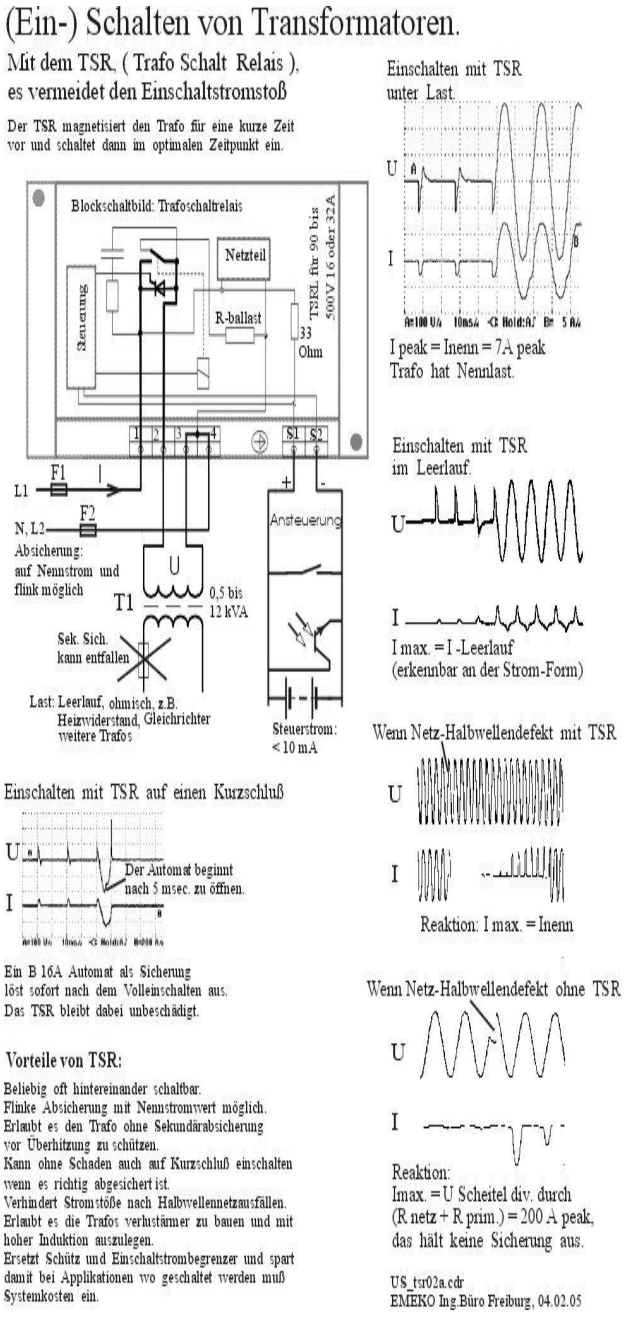
Der Einschaltvorgang mit einem **Trafoschaltrelais-** TSR, das einen verlustarmen 1 kVA Ringkerntrafo einschaltet, ist in dem unten stehenden Bild zu sehen.



TSRL-plus-Trafo-1, einschalten von 1kVA Ringkern-Trafo

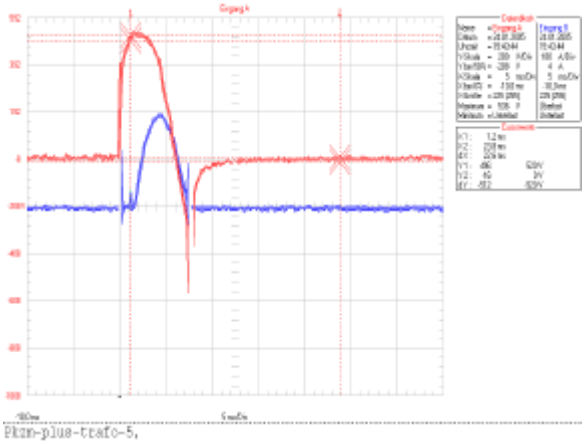
Der Trafo ist unbelastet beim Einschalten. Es

entsteht mit dem TSR nur der Leerlauf-Strom von ca. 80 mA peak beim eingeschalten, mehr Strom fließt wirklich nicht. (obere Kurve = U, untere Kurve = I.)
Der Trafo wird vor dem (Voll)-Einschalten durch die unipolaren Spannungszipfel für kurze Zeit vormagnetisiert und dann im richtigen Moment voll eingeschaltet. Die Sättigung des Trafoeisens wird dabei immer vermieden. (Einschaltverfahren Patent Nr. EP 0575715)
Seit mehr als 7 Jahren sind diese „**Einschaltstrom Vermeider“** auf dem Markt und werden in steigendem Maße auch in sensiblen Bereichen wie zum Beispiel in Medizingeräten eingesetzt . Unter Last eingeschaltet fließt damit von Anfang an nur der Nennstrom. Ohne Last eingeschaltet, siehe oben, fließt beim Einschalten nur der Trafo-Leerlaufstrom. Ein TSR kann über 5 Millionen mal in seiner Lebensdauer den Nennstrom auch häufig hintereinander schalten.
Damit ist es auch möglich einen Schutzschalter zu benutzen, der im Einstellbereich gut zum Trafo passt und auch den Teillastbetrieb absichern kann. Siehe die Schilderung weiter unten. Das wäre dann zum Beispiel ein PKZM0-2,5 für den Trafo mit 1kVA Leistung bei 400V, mit 2,5A Nennstrom. Es ist auch ein B oder C Typ Doppel-Leitungsschutzschalter unter dem Nennstrom-Wert des Trafos einsetzbar wenn eine noch flinkere Absicherung gewünscht wird. Eine Sekundärseitige Absicherung kann dann ganz wegfallen.
Nur **bei Ringkerntrafos ist der Leerlaufstrom so verschwindend klein**, dass er überhaupt nicht zur Erwärmung im Trafoblech beiträgt. Deshalb sind diese Trafos in Zukunft als Energiespartrafos, die sehr belastungssteif sind, sehr interessant, wenn die einzige Unart die sie haben mit dem TSR beseitigt ist. (Diese Unart ist der hohe Einschaltstrom.)
Man kann mit dem TSR auch ruhig einen größeren Trafo einsetzen, wenn man eine besonders steife Ausgangsspannung haben möchte, weil die dann etwas größeren Leerlaufverluste von zusätzlichen 7 Watt, bei einem zum Beispiel 2000VA statt 1000VA Trafo, eben überhaupt nicht ins Gewicht fallen. Die absoluten Wirkverluste nehmen dann für diese Teillast sogar ab.
Einen 2kVA Trafo kann man dann zum Beispiel auch auf 0,5kVA absichern wenn die Last nicht größer ist.
Im Bild rechts ist ein Blockschaltbild vom TSR zu sehen mit den Messkurven vom Einschalten bei belastetem und unbelasteten Trafo.
Auch beim **Einschalten auf einen Kurzschluss** nimmt das TSR keinen Schaden, wenn die Absicherung korrekt ausgeführt ist. Nach dem Beseitigen des Kurzschlusses ist das TSR sofort wieder einschaltbereit.
Das Bild rechts oben zeigt einen verlustarmen Steuertrafo, der mit einem TSR eingeschaltet und mit B oder C-Leitungsschutzschaltern flink auf den Nennstrom abgesichert ist.



## Wie ist es ohne TSR?

Untenstehendes Bild , zeigt den Einschaltvorgang von einem **verlustarmem 1kVA Trafo,** der über ein PKZM0-4-T abgesichert ist. **(Ohne TSR eingeschaltet.)**
Eingang A, oben= Spannung am Trafo, Eingang B, unten = Strom in den Trafo.




Der Trafoschutzschalter löst sofort innerhalb 10 Millisekunden aus beim Einschalten.

Der hier ohne TSR eingeschaltete verlustarme Steuertrafo hat einen luftspaltlosen Eisenkern mit Verlust armem Blech. Bei 1kVA hat er bei einer 400V Primärwicklung einen Einschalt-Strom von 200A peak, das sind 140Aeff. ( Das ist der 56 fache Nennstrom.) Sehr Verlustarme Ringkerntrafos dieser Größe haben sogar einen Einschaltstrom von über 180Aeff. ( Das ist der 72 fache Nennstrom.)

Trafo Schutzschalter, welche einen höheren Kurzschlussauslösestrom, von mehr als 22 Mal Nennstrom haben, gibt es nicht. Sie würden die sogenannten weichen Kurzschlüsse auch zu spät oder gar nicht abschalten und könnten damit zu einem Brandrisiko führen.

**Die Auswahl der zum Trafo passenden** Absicherung, **ist ohne TSR,** trotz einschaltstromarmen Trafos gar nicht einfach, wie folgendes Beispiel zeigt.

**Einphasige Steuertrafos** werden üblicherweise mit 400V, also zwischen zwei Leitern im Drehstromnetz betrieben. Ausgangsseitig erzeugen sie meist 230V AC oder 24V AC.
Die primärseitige Absicherung mit zwei Schmelzsicherungen ist nicht zu empfehlen wenn diese nicht gemeinsam auslösen.
Meistens werden Motorschutzschalter in einer „Trafo Version“, sogenannte Transformator-Schutz-Schalter dafür verwendet. (T-Zusatz.)

Wenn zum Beispiel ein Einschaltstrom armer 1kVA Steuertrafo mit primär 400V und **2,5 A** Nennstrom ohne TSR eingesetzt wird, dann muss z.B. ein PKZM0-4-T mit **4 A** Nennstrom als Absicherung davor geschaltet werden, damit der, obwohl niedere, Einschaltstrom den Schalter nicht auslöst.
Dieser spezielle Trafoschutzschalter hat eine fest eingestellte, flinke Auslöseschwelle von 84A eff. (21 mal 4A).
Diese liegt höher als beim normalen Motorschutzschalter PKZM0-4, (ohne T), der nur 56Aeff. hat und natürlich erst recht, auch beim einschaltstromarmen 1kVA Trafo auslösen würde.
Der einstellbare Absicherungs-Bereich diese Schalters reicht von 2,5 – 4 A.
Für die Überlast-Auslösung des 4A Schutz-Schalters dreht man den Knopf für die thermische Auslöseschwelle ganz zurück auf 2,5 A, was der niederste einstellbare Auslösewert ist.
Dieser Wert passt gerade noch zum Nennstrom des 1kVA Trafo.
Mit einem PKZM0-2,5-T dagegen, der auch vom Nennstrom her passen und auch den Teillastbereich abdecken würde, löst der Einschaltstrom den Schutzschalter aus, weil dieser nur eine 21 mal 2,5A = 52,5 A eff. hohe Kurzschlussauslöseschwelle hat.

(Einschaltstromarme Trafos liegen mit dem Einschaltstrom laut Herstellerangaben im Bereich von 15-25 mal I- Nenn, der tatsächliche Einschaltstrom liegt jedoch meistens darüber, weil er nur berechnet aber nicht gemessen wird.)

## Der zum Einsatz kommende einschaltstromarme Trafo muss wegen dem bei einem Trafo immer vorkommenden Einschaltstromstoß genau zum Schutzschalter passen.

Diese Forderung ist wie gesagt nur von einschaltstromarmen- und nicht von spannungssteifen- und verlustarmen Steuertrafos zu erfüllen.
Verlustarme Trafos müssen mit einem kleinen Innenwiderstand der Kupferwicklungen ausgelegt sein.
(Der primärseitige Wicklungswiderstand begrenzt aber, zusammen mit anderen Faktoren, den Einschaltstrom. Ein hoher Innenwiderstand ergibt einen kleinen Einschaltstrom aber höhere Verluste und umgekehrt.)

**Beispiel im Anlagenbau.**
Außerdem gilt für die **Auslegung der Absicherung von langen Abgangsleitungen** nach dem Trafo, wie sie im Anlagenbau vorkommen, dass ein Kurzschluss am äußersten Ende der Leitung, die Absicherung schnell genug auslösen muss.

Dabei ist der Kurzschlussstrom wegen des höheren Widerstandes der langen Leitung gering. Dazu passt nun die hohe Schwelle für den flinken Auslösestromwert des Schutzschalters nicht mehr in diesem Beispiel. Es muss deshalb eine zusätzliche sekundärseitige, einstellbare und schnell abschaltende Nennstrom-Absicherung eingesetzt werden.
Zum sicheren Abschalten bei sogenannten **weichen Kurzschlüssen** ist es nötig, dass der Trafo Innenwiderstand möglichst gering ist, was wiederum einen kleineren Kabelquerschnitt des abgehenden Kabels erlaubt.
Denn **die Summe der Widerstände im Stromkreis** bestimmt den Kurzschlussstrom, der die Sicherung auslösen muss.
Was im Trafo an Kupfer eingespart wird, muss unter Umständen für die Leitungen nach dem Trafo um ein mehrfaches ausgegeben werden. Siehe Beispiel unten.

## Beispiel:

In der unten abgebildeten **Applikations-Schaltung** ist für den Elektro-Planer gezeigt wie ein energiesparender Steuertrafo mit 0,8kVA, mit 400 V zu 230V, im Anlagenbau zum Speisen von weit entfernt und auseinander liegenden Verbrauchern eingesetzt wird.

Die 2 adrige Leitung nach dem Trafo ist 440 m lang und kann für 230V AC in nur 1,5 qmm Querschnitt ausgeführt werden.
(Bei einer 24VAC Leitung sekundärseitig, die üblicherweise öfter vorkommt in der Praxis, gilt das hier beschriebene ebenfalls, nur für höhere Drahtquerschnitte.)

Die Primärseitige Absicherung ist mit einem Doppel – Leitungsschutzschalter B 2 A ausgeführt, was mit dieser niederen und flinken Absicherung bisher für einen Trafo dieser Art undenkbar war.
Die Primärseitige Absicherung schützt dabei auch das sekundärseitige lange Kabel vor Überlastung.
Das TSR schaltet den verlustarmen Ringkern-Trafo immer ohne Einschaltstromstoß ein, so dass dabei der B-Typ 2A Leitungsschutzschalter niemals auslöst.
Dadurch kann der primärseitige Automat, bei einem Kurzschluss an der max. 440m entferntesten Stelle der sekundärseitigen Leitung innerhalb von 5 Sekunden auslösen.

Der Kurzschlussstrom auf der Primärseite ist dabei nur 10A hoch. Siehe die Berechnungen im Beispiel unten. Sekundärseitig fließen max.17A bis die Sicherung auslöst.
Die sekundärseitige 1,5 qmm Leitung ist damit sicher vor Brandschaden bei Kurzschluss geschützt. Natürlich dürfen alle Lasten die zusammen auf der Sekundärseite einschalten, kurzzeitig nicht mehr als 4 A auf der Primärseite ziehen, damit die Absicherung nicht auslöst.
Ohne TSR und bei Absicherung mit einem PKZM0-4-T primärseitig, ohne eine zusätzliche sekundärseitige Sicherung dürfte die 1,5qmm Doppel Leitung nicht länger als 50m sein, weil sonst der zum Schutzschalter Auslösen nötige Kurzschlussstrom nicht mehr fließen würde.
Bei längeren Leitungen muss dann eben mehr Querschnitt spendiert werden.
Der Trafo muss dann trotzdem einschaltstromarm sein, damit der Schutzschalter vor dem Trafo beim Einschalten nicht auslöst.

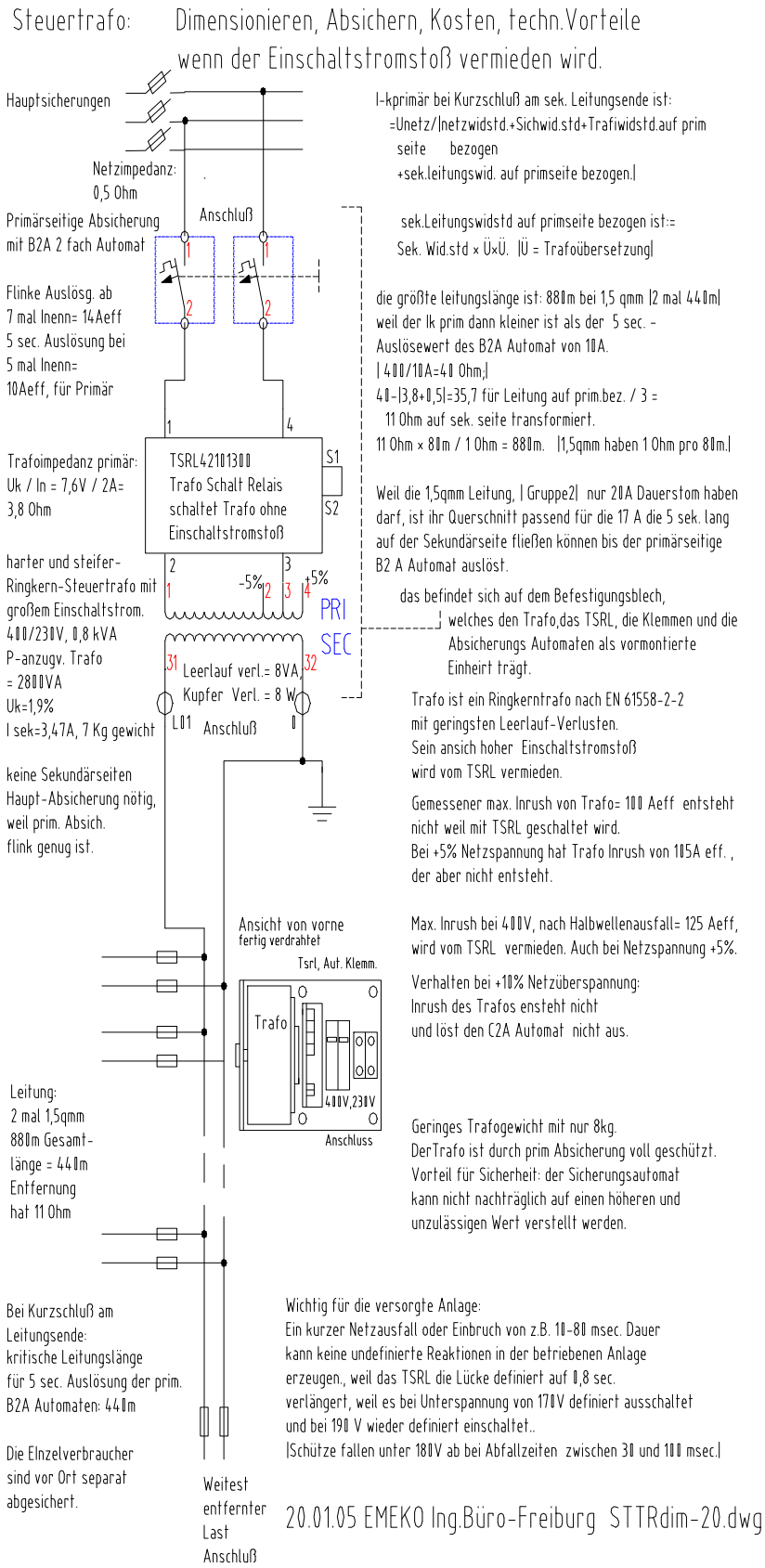
Wenn die Leitung aber zum Beispiel 440m lang sein muss, ergibt sich mit dem TSR eine Einsparung am Kabel von ca. 300€.
(Mit TSR ist ein 1,5qmm-, ohne TSR nur ein 4 qmm - Kabel möglich.) Ein 4 qmm Kabel kostet eben 350 Euro mehr als ein 1,5 qmm Kabel.

Ohne TSR vor dem Trafo und mit einer zusätzlichen Sekundärseitigen Absicherung durch einen PKZM0-4, (Inenn Einstell = 3,4 A,) der nach 5 sec. bei 40A im Kurzschlussfall auslöst, ist für 440m Länge auch ein 4 qmm Kabel nötig und damit auch um ca. 300 € teurer als die Variante mit dem TSR.

Das Problem bei solchen Applikationen sind nicht die einspeisenahen und harten Kurzschlüsse, sondern die **fernen und weichen Kurzschlüsse**, welche die Absicherungsorgane noch mit Sicherheit zum auslösen bringen müssen.
Ein großer „5 Sekunden“ -Sicherungs- Auslöse Stromwert ergibt einen großen Querschnitt vom Kabel und umgekehrt.

Da hilft es enorm, wenn der Trafoeinschaltstrom nicht mehr vorhanden ist und die Absicherung sich **nur nach den Erfordernissen des Leitungsschutzes** richten muss.

Außerdem besitzt das TSR mit der Reaktion auf Netzhalbwelleneinbrüche eine definierte Abschalt-Schwelle bei Netz-Unterspannung von kleiner 170V, mit anschließendem Wiedereinschalten bei 190 V.

Damit wird bei **Netzeinbrüchen ein unkontrolliertes Schütz-Abfallen und Anziehen** unterbunden, was die Anlagen-Sicherheit erhöht und die Kontaktsätze dieser Schütze schont.
Ein separates Spannungs-Wächterrelais, was die Verbraucher in diesem Fall definiert aus- und einschaltet ist dann nicht mehr nötig.

Unten stehendes Beispiel zeigt einen Schaltplan im Anlagenbau, für die Speisung einer langen Energie-Bus-Leitung über einen Trafo. Ein Trafo ist wegen der Potenzialtrennung nötig oder wenn für die Speisung von vielen verteilten Stellantrieben eine 24AC Spannung gebraucht wird.