

## Sicherheit der Verteilanlage – ein komplexer Themenkreis

Heute die Eigenschaften einer „sicheren Verteilanlage“ zu beschreiben, ist schwierig bis unmöglich. Zunächst muss man sich einmal klar werden, wie umfänglich der Begriff Sicherheit zu sehen ist. Man kann zwischen Sicherheit für Menschen, Gebäude, Installationen und der sicheren (zuverlässigen) Funktion von Systemen, ihrer gegenseitigen Beeinflussung usw. unterscheiden. Dabei bemerkt man, wie weitläufig das Thema ist und wie verschwommen teilweise die Grenzen zwischen den Bereichen verlaufen. Wir wollen trotzdem versuchen, diese Thematik unkompliziert zu erläutern.

### Stichwort: vernetzte Multimediasysteme

Im Zeichen immer komplexerer Installationen wird es zunehmend schwieriger, alle Sicherheitsziele in vollem Umfang und dauerhaft zu erreichen. Die klassischen Maßnahmen des äußeren und inneren Blitzschutzes „Erdung und Potentialausgleich“ in einer Empfangsanlage sind heute nach wie vor unverzichtbar, reichen aber bei weitem nicht aus. Das wahre Problempotential wird sich erst im multimedialen, intelligenten Haus offenbaren. Hier sind durch den Betrieb unterschiedlichster vernetzter Systeme für die Energieversorgung, Unterhaltung, Kommunikation, Datentechnik, Steuerung, Sicherheit etc. völlig neue Probleme entstanden. Deren Lösung ist durch Anwendung der bestehenden Normen und Vorschriften (noch) nicht restlos möglich.

### Sicherheit: ein trügerischer, gefühlter Zustand

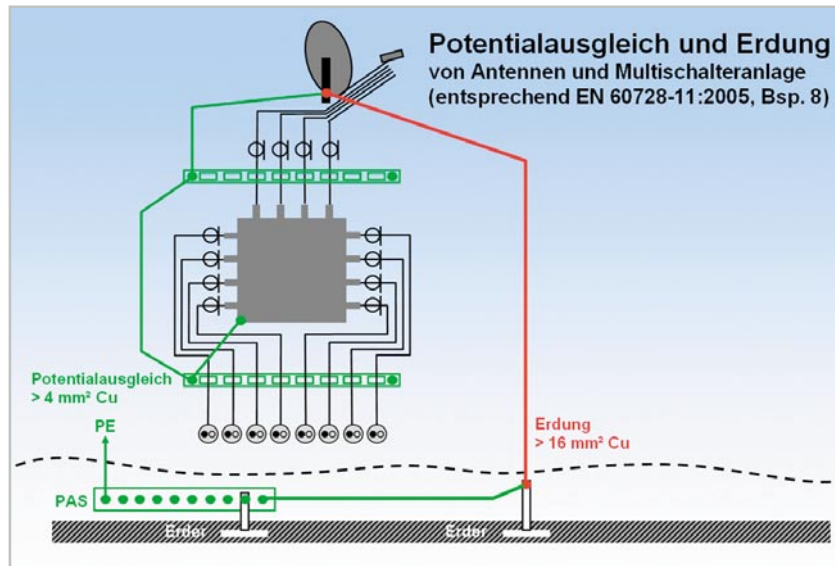
Wer glaubt, eine Sache oder ein Verfahren sei sicher, wenn lange genug nichts passiert ist, erliegt einer subjektiven Täu-

schung. Abbildung 1 verdeutlicht diese Aussage recht gut. Der schweißende Mechaniker ist vielleicht schon vielmals unter solch gewagten Stützkonstruktionen seiner Arbeit nachgegangen. Offensichtlich ist nie etwas dabei passiert, aber ist seine Vorgehensweise deshalb sicher? Sicher nicht, vielmehr lauert die Gefahr im Hintergrund und wartet darauf,



Bild 1: Tausendmal ist nichts passiert ... aber sicher?"

**Bild 2:** Korrekt blitzschutzgeerdete und potentialausgeglichene Sat-Empfangsanlage



das subjektive Sicherheitsgefühl plötzlich und ohne Vorwarnung zu beenden.

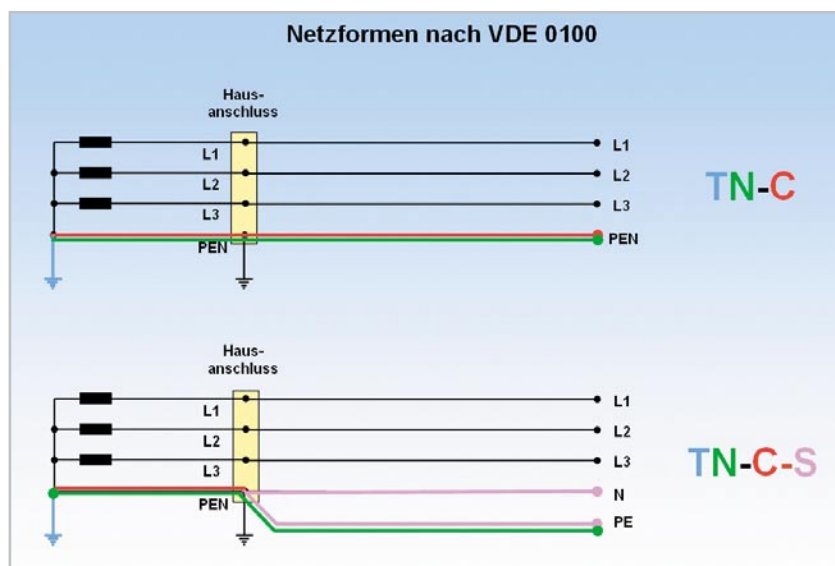
An der Wikipedia-Definition „Sicherheit bezeichnet einen Zustand, der frei von unvermeidbaren Risiken der Beeinträchtigung ist oder als gefahrenfrei angesehen wird“ wird erkennbar, dass eine absolute Sicherheit ohne jedes Restrisiko nicht herstellbar ist. Aber man kann die bestmögliche Sicherheit unter Beachtung aller zeitgemäßen anerkannten Regeln der Technik erzielen.

## Die Antennenanlage

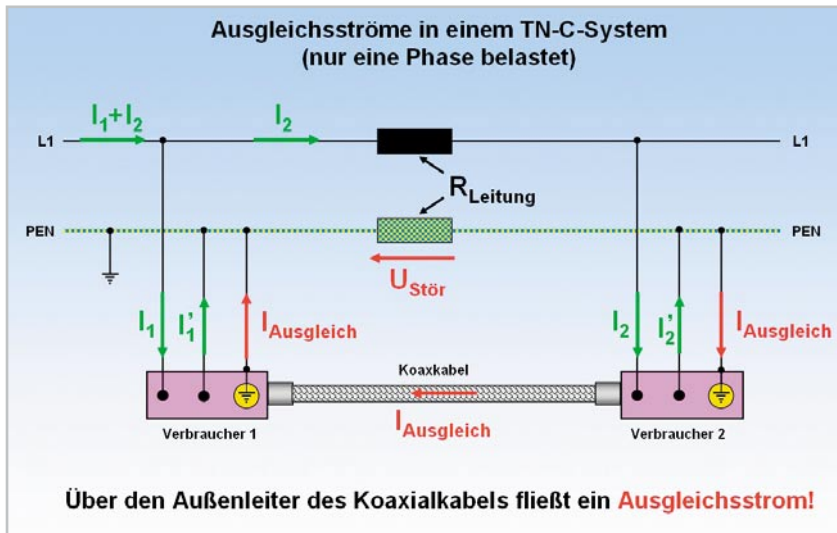
Das Empfangs- und Verteilsystem für hochfrequente Rundfunksignale bietet durch die klassischen Maßnahmen des inneren und äußeren Blitzschutzes ein hohes Maß an Sicherheit für Leib und Leben des Benutzers und für das Gebäude, in dem er lebt. Das Thema ist in der VDE 0855, ihrem Nachfolger, der DIN EN 50083, und jetzt aktuell in der DIN EN 60728-11:2005 (Kabelnetze für Fernsehsignale, Tonsignale und interaktive Dienste, Teil 11: Sicherheitsanforderungen) ausführlich behandelt. Die Norm gilt für Sicherheit von Anlagen und Geräten, des daran arbeitenden Personals, der angeschlossenen

Teilnehmer und Endgeräte. Stichwörter: Schutz gegen Umgebungseinflüsse, Potentialausgleich und Erdung, Stromversorgung der Anlage, Schutz gegen Berührung und Annäherung an Starkstromverteilsysteme, Schutz gegen atmosphärische Überspannungen, mechanische Festigkeit von Antennenaufbauten. Einen guten Überblick gibt die Internetseite der DKE (Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE, [www.dke.de/NR/rdonlyres/7FFB6827-8A67-4849-9C3E-DBF6CAAFB2C0/16740/NormenderReiheVDE0855.pdf](http://www.dke.de/NR/rdonlyres/7FFB6827-8A67-4849-9C3E-DBF6CAAFB2C0/16740/NormenderReiheVDE0855.pdf)).

Wir wollen es beim Thema Erdung und Potentialausgleich an dem modifizierten Beispiel 8, einer Sat-Empfangsanlage mit Multischalterverteilung, belassen (Abbildung 2). Das Wesentliche in Kürze: Kern der Anlage ist die Potentialausgleichschiene, die mit der Gebäudeerde und, falls vorhanden, einer separaten Blitzschutzterde verbunden wird. Den Antennenmast schließt man über einen Massivleiter mit mindestens 16 mm<sup>2</sup> Kupfer oder 25 mm<sup>2</sup> Eisen auf kürzestem Weg (zweckmäßigerweise außenliegend) an den Fundamenteerder an. Zur Vermeidung von Potentialunterschieden in der geerdeten Verteilanlage werden die Mäntel aller Koaxial-Kabel miteinander verbunden (>4 mm<sup>2</sup> Cu). Dazu verwendet man am besten Erdungsblöcke. Erdungsklemmschienen, wie sie eini-



**Bild 3:** Netzformen nach VDE 0100



**Bild 4:** Wo der Neutralleiter gleichzeitig als Schutzleiter „missbraucht“ wird, werden hohe Ausgleichsströme provoziert.

ge Hersteller noch im Programm haben, sollten wegen Mikroreflexionen an den Quetschstellen nicht eingesetzt werden.

### Ausgleichsströme durch ungeeignete Stromnetzformen

Um das Problem richtig darstellen zu können, ist ein kleiner Exkurs in die Netzformen nach VDE 0100 sinnvoll.

Die VDE 0100 unterscheidet im Hinblick auf die Erdungsverhältnisse von Spannungsquelle und Verbraucher verschiedene Netzformen und kennzeichnet diese in Form einer Buchstaben- und Zifferngruppierung (Abbildung 3).

Der erste Buchstabe kennzeichnet die Erdungsart des Sternpunkts beim Stromnetzbetreiber, in der Regel in der Trafostation des EVU (T: Erde [Terra], I: isoliert).

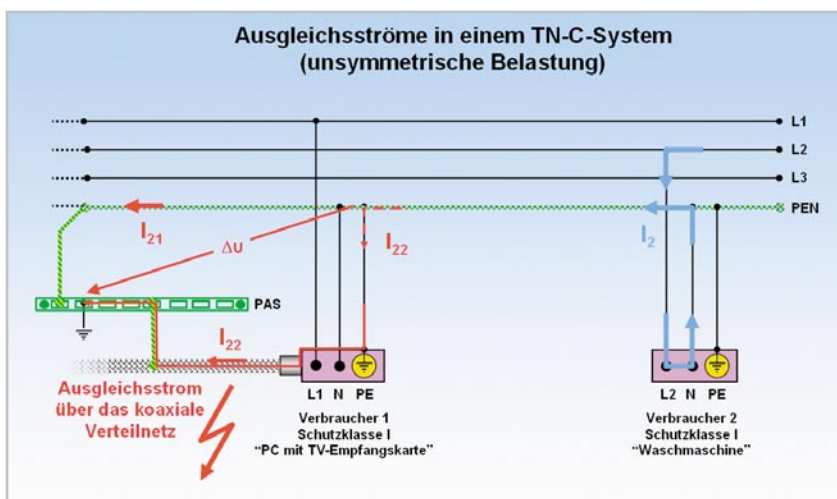
Der zweite Buchstabe beschreibt die Beziehung der berührbaren Teile des Verbrauchers zur Erde: T: Erde (Terra), N: Neutral (mit Betriebserder verbunden).

Der dritte und vierte Buchstabe kennzeichnen die Art der Verlegung von Nullleiter (auch Neutralleiter genannt; hellblau) und Schutzleiter (PE = Protective Earth; grün-gelb) in der Anlage des Verbrauchers: S: separat (N und PE sind als separate Leiter ausgeführt), C: combined (N und PE sind in einem Leiter zusammengefasst)

Das TN-C-System ist veraltet (bei Neuinstallationen nicht

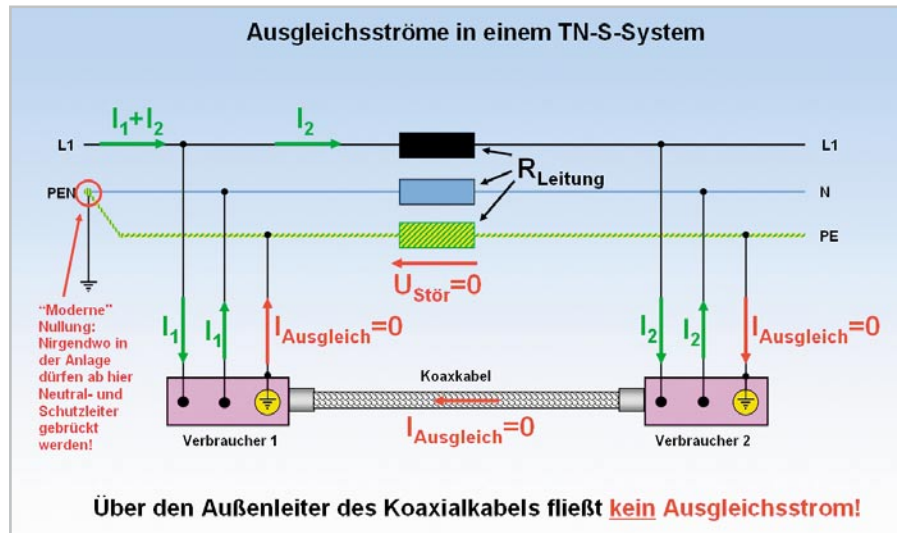
mehr zulässig), aber noch häufig im Gebäudebestand anzutreffen. Insbesondere im Steigleitungsbereich älterer Gebäude finden sich noch oft TN-C-Strukturen, in den renovierten Wohnungen wurde aber die TN-S-Netzform verwendet. Das TN-C-System hat einen großen Nachteil: Bei einer Unterbrechung des PEN-Leiters und defekter Isolation eines leitenden Gerätegehäuses besteht bei dessen Berührung Lebensgefahr. Außerdem rufen reguläre Lastströme im PEN zwischen den über die Schutzleiteranschlüsse geerdeten Verbrauchern Potentialdifferenzen hervor, die zu Störspannungen und dadurch hervorgerufene Ausgleichsströme führen. Abbildung 4 illustriert das.

Nehmen wir einmal an, die beiden Verbraucher wären PCs mit TV-Empfangskarten und das Koax-Kabel eine durchgeschleifte Antennenleitung. Dann ergibt sich der folgende Ausgleichsstrommechanismus. Der Laststrom von Verbraucher 2 durch den PEN-Leiter erzeugt an dessen Leitungswiderstand im Abschnitt zu Verbraucher 1 eine Störspannung  $U_{Stör}$ , die einen Ausgleichsstrom  $I_{Ausgleich}$  über den Schirm eines Koaxial-Kabels zwischen den Verbrauchern fließen lässt. Dieser Ausgleichsstrom kann zu Fehlfunktionen beim Empfang führen. Viel gravierender wird das Problem, wenn ein starker Verbraucher, wie z. B. eine Waschmaschine, den Spannungsfall zwischen Verbraucher 1 und Verbraucher 2 stark erhöht. Das Tückische daran ist, dass der dadurch verursachte Ausgleichsstrom nur zeitweise (bei laufender Waschmaschine



**Bild 5:** Auch Lasten an anderen Phasen verursachen Ausgleichsströme.

**Bild 6:** Wenn von der Trafostation bis zur Gebäudeeinführung mit 4 Leitern (TN-C) und ab hier mit 5 Leitern (TN-S) gefahren wird, spricht man von einem TN-C-S-Netz. Jetzt verursacht der Spannungsfall am Neutraleiter keine Ausgleichsströme mehr.



auftritt und die Suche nach der Fehlerursache erschwert. Auch wenn die Verbraucher an unterschiedlichen Phasen betrieben werden, kommt es wegen des gemeinsamen Rückleiters (das Wort Neutraleiter wird absichtlich nicht verwendet) zu Ausgleichsströmen (Abbildung 5). Hier wird zwischen Verbraucher 1 und der Potentialausgleichsschiene ein im Wesentlichen durch Verbraucher 2 hervorgerufener Spannungsfall zum Auslöser des Ausgleichstroms über den Schirm des Koaxial-Kabels. Wir sehen an diesem Beispiel, dass ein gemeinsamer Neutral- und Schutzleiter in der Gebäudeverkabelung absolut unzulässig ist. Beim TN-S-System wird im Hausanschluss in Neutraleiter und Schutzleiter aufgetrennt. Im gesamten Verteilsystem darf dann nirgendwo mehr eine Verbindung zwischen Neutral- und Schutzleiter hergestellt werden! Jetzt verursacht der Rückstrom von Verbraucher 2 zwar am Leitungswiderstand des Neutraleiter-Abschnitts zu Verbraucher 1 eine Störspannung, nicht jedoch im Schutzleiter (Abbildung 6). Also fließt auch kein Ausgleichstrom über den Schirm eines Koaxial-Kabels zwischen den Verbrauchern.

mit oberwellenfreien „sauberen“ Sinusströmen neutralisieren sich diese wegen ihrer Phasenverschiebung um  $120^\circ$ , wenn sie über den Neutraleiter (daher der Name) zur Quelle zurückfließen. So weit die Theorie.

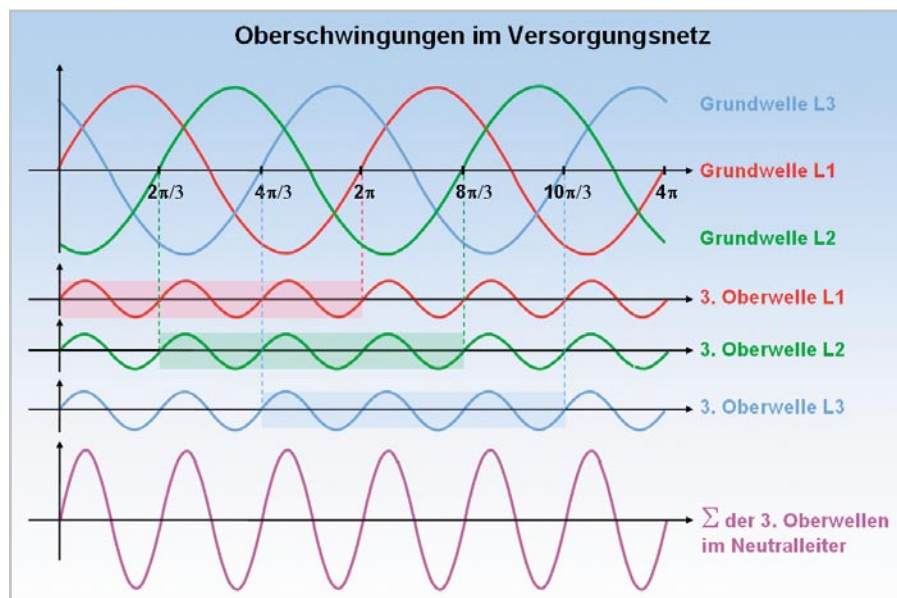
In der Realität ist aber zunehmend durch den massenhaften Einsatz von elektronischen nichtlinearen Verbrauchern wie Phasen- und -abschnittssteuerungen, Schaltnetzteilen in PCs, Druckern und Monitoren, elektronischen Durchlauferhitzern, elektronischen Vorschaltgeräten (EVG) usw. ein starker Oberwellengehalt in Netzspannung und -strömen zu verzeichnen. Die ungeraden Oberwellen, und davon besonders die dritte Oberwelle jeder Phase (150 Hz), sind besonders störend, da sie sich auch im symmetrischen Belastungsfall nicht im Neutraleiter kompensieren, sondern aufaddieren (Abbildung 7). Dadurch kann es bei entsprechend vielen nichtlinearen Lasten zu einer Überlastung eines Neutraleiters mit zu geringem Querschnitt kommen.

Abbildung 8 demonstriert anhand eines Oszillogramms (links), wie ein impulsförmiger Strom die Netzspannung abflacht. Diese Rückwirkung produziert Spannungsüberwellen. Noch gravierender ist die Oberwellensituation in diesem Beispiel beim Strom selber (rechts), wo die dritte Oberwelle stark ausgeprägt ist.

In TN-S-Systemen induziert der Neutraleiter im parallel ver-

## Rückströme mit Oberschwingungen

Im Idealfall eines symmetrisch belasteten Drehstromsystems



**Bild 7:** Die Oberwellen mit ungerader Ordnungszahl addieren sich im Neutraleiter. Besonders gravierend sind die Oberwellen 3. Ordnung.

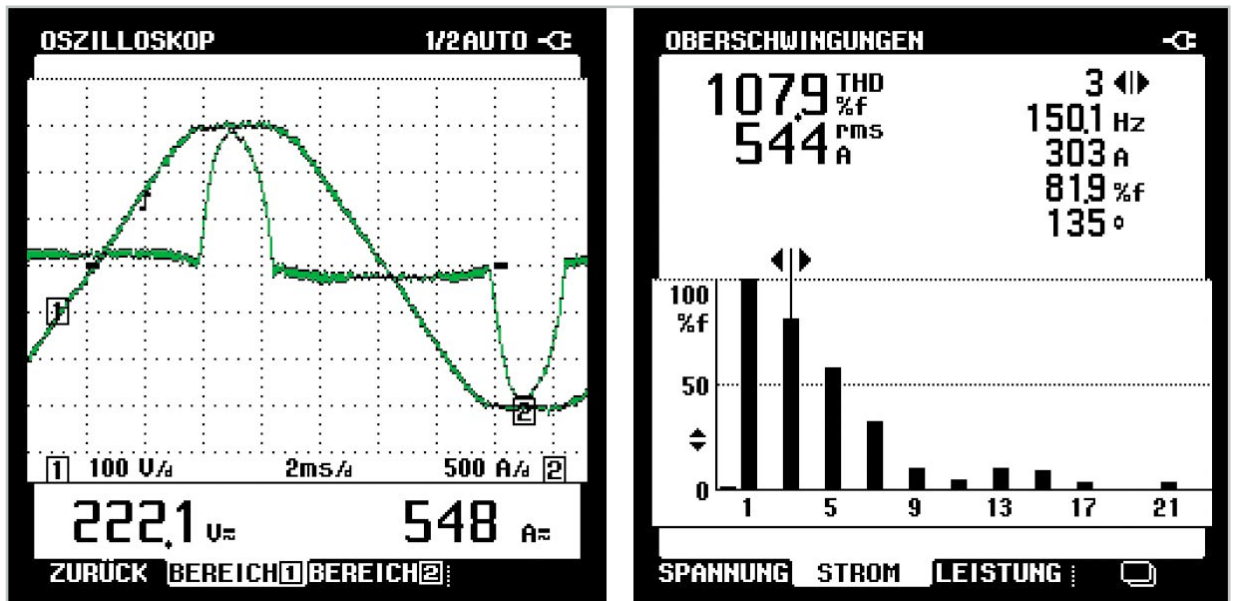


Bild 8: Nichtlineare Lasten verformen die Sinusschwingungen des Netzes und erzeugen dadurch Oberwellen. (Quelle: Fluke)

laufenden Schutzleiter durch unsymmetrische Lastverteilung die harmonischen Schutzleiterspannungen, die ohne weiteres zu Ausgleichsströmen von 10 bis 20 A führen können.

### Ableitströme von Schaltnetzteilen

In jedem Haushalt gibt es heute inzwischen eine Vielzahl von Geräten der Schutzklasse II. Sie sind verstärkt oder doppelt isoliert und haben keinen Anschluss an den Schutzleiter. Diese Schutzmaßnahme wird auch Schutzisolierung genannt. Geräte mit elektrisch leitenden Oberflächen sind durch eine verstärkte Isolierung vor Kontakt mit spannungsführenden Teilen geschützt. Typische Vertreter dieser Klasse sind TV-Geräte, Receiver, Videorecorder, CD-Player usw. In der weit überwiegenden Zahl der Fälle arbeiten diese Geräte mit Schaltnetzteilen (Abbildung 9), die wegen ihres funktionsbedingt stark nichtlinearen Lastverhaltens Oberwellen bis in den MHz-Bereich hinein produzieren.

Zur Funkentstörung ist der Mittelpunkt der Entstörkondensatoren Y mit der Sekundärmasse bzw. dem Chassis des Empfangsgeräts verbunden. Über die Antennenbuchse ist damit auch der Schirm des Koaxial-Kabels angeschlossen. Zwi-

schon seinem Schirm und Nullleiter bzw. Phase steht damit eine (hochohmige) Spannung von 115 V an. Die bei Berührung durch den Menschen fließenden Ableitströme liegen weit unterhalb der Loslassschwelle und sind im ungestörten Betrieb ungefährlich. Nach DIN EN 60065 (VDE 0860) darf ein Grenzwert von 0,7 mA nicht überschritten werden. Wahrscheinlich hat jeder beim Einstecken des Antennensteckers schon einmal das auf die Y-Kondensatoren zurückzuführende „Kribbeln“ gespürt und die kleinen Fünkchen beobachtet. Zusammengefasst: Die Y-Kondensatoren überbrücken in Erfüllung ihrer Entstöraufgabe die Betriebsisolierung des Gerätes und verursachen damit einen Ableitstrom. Aus Sicherheitsgründen müssen sie selbstheilend sein, dürfen also nicht dauerhaft durchschlagen. Schließlich würden sie dann eine Verbindung zwischen Phase und den berührbaren Teilen des Geräts, z. B. der Antennenbuchse, herstellen.

### Ableitstrom = Fehlerstrom!

Abbildung 10 erläutert, wie der Ableitstrom eines Fernsehgerätes seinen Weg über den Schirm des Empfängeranschlusskabels, die Steckdose und den Schirm der Koaxial-Verkabe-

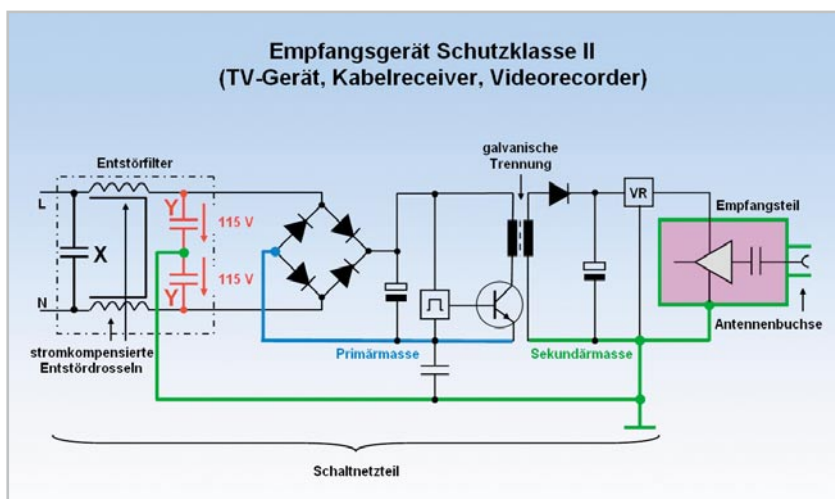
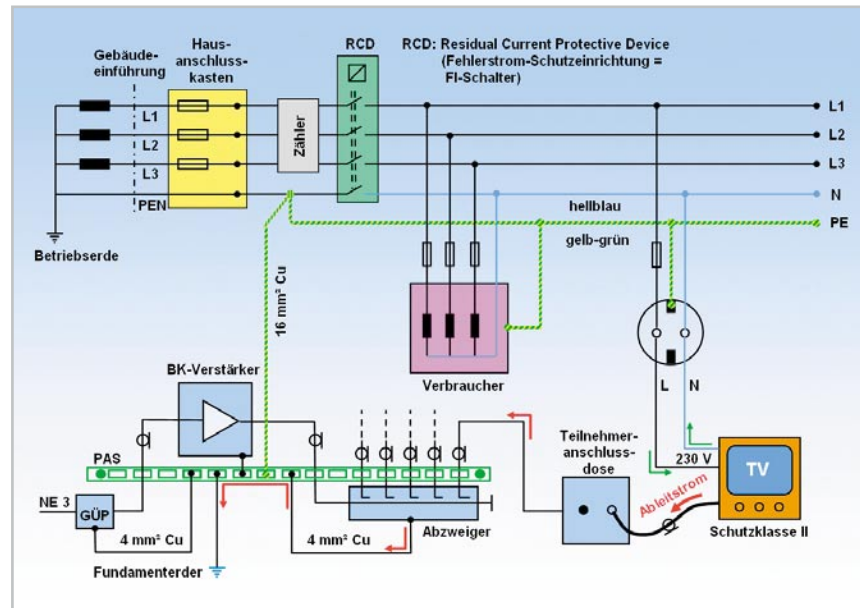


Bild 9: Die Y-Kondensatoren zur HF-Entstörung des Schaltnetzteils verursachen Ableitströme auf dem Schirm eines geeigneten Koaxial-Kabels.

**Bild 10:** In einer BK-Verteilung wie dieser summieren sich die Ableitströme am geerdeten Abzweiger.



lung bis zum geerdeten Abzweiger nimmt, wo er weitgehend abgeleitet wird. An dieser Stelle summieren sich die einzelnen Ableitströme. Eine schlechte Erdung kann zu hohen Berührungspotentialen und entsprechend unzulässigen, die Loslassschwelle des Menschen überschreitenden Körperströmen führen. Wird wegen Reparaturarbeiten der Kabel-Verstärker ausgetauscht und der Potentialausgleich entfernt, so besteht ohne Fehlerstromschalter für den Monteur und für alle BK-Teilnehmer eine erhebliche Gefahr eines Stromschlags.

Aber ein anderer Effekt ist ebenfalls zu beachten. Der vom TV-Gerät abfließende Betriebsstrom ist um den Ableitstrom verringert. Dies wird vom RCD (Residual Current Protective Device, Fehlerstromschalter, früher auch FI-Schalter genannt) als Fehlerstrom gewertet!

Der Betrieb mehrerer derartiger Geräte kann also zum Auslösen des RCDs führen. Besonders gravierend ist es, wenn durch einen Fehler im TV-Gerät vom Benutzer berührbare leitfähige Teile (z. B. Antennenbuchse und Scart-Buchse) gegen Erde unter Spannung stehen.

Ist der Kabelanschluss ordnungsgemäß mit in den Potentialausgleich einbezogen, fließt in diesem Fall ein Fehlerstrom über den Koaxialschirm. Wird der Bemessungsdifferenzstrom von z. B. 30 mA überschritten, löst der RCD-Schalter aus und unterbricht den Fehlerstromkreis. Ist kein RCD eingebaut, so muss sich ein ebenfalls über den Koaxialmantel fließender Fehlerstrom von z. B. 80 A (16 A x 5, B-Charakteristik vom Leitungsschutzschalter) ergeben, damit der Stromkreis unterbrochen wird!

Abgesehen von den geschilderten sicherheitsrelevanten Aspekten kann die Summe der Ableitströme zu Funktionsstörungen von HF-Geräten führen. Deren Ursache ist oft schwierig auszumachen, weil es sich meist um vom Verbraucherverhalten abhängige und schwer vorhersehbare Phänomene handelt.

umfassen. Satellitenreceiver, Hi-Fi-Anlagen, Netzwerkspeicher und viele andere IP-basierte (Internet Protocol) Geräte mit RJ45-Ethernet-Buchse stehen heute schon in den Regalen der Händler. In ihrem massenhaften praktischen Einsatz ist mit zusätzlichen Problemen zu rechnen. Vagabundierende Ausgleichsströme und Überspannungen bedrohen die Funktion solcher vernetzter Systeme und können zur Zerstörung ihrer Schnittstellen führen.

### Was ist zu tun?

Die beste Abhilfe wäre ein Verzicht auf nichtlineare Lasten und Y-Kondensatoren. Weil dies gleichbedeutend mit einem Verzicht auf die moderne Elektronik mit ihrem hohen Energieeinsparpotential wäre, wird das wohl niemand ernsthaft wollen. Aber man kann die Stromnetze so aufbauen, dass sie den Belastungen besser gewachsen sind. Dazu gehören großzügig dimensionierte Leiterquerschnitte und die Verlegung von fünf Leitern ab der Trafostation. Nur hier einmal Schutz- und Neutralleiter miteinander verbinden, dahinter nie mehr! In der heutigen Alltagsrealität kann die Potentialtrennung das Rezept gegen unerwünschte Ausgleichsströme sein. Durch den Einsatz von Glasfasern als Übertragungsmedium ist dies ohnehin gewährleistet. **ELV**

### In der Zukunft wachsende Probleme

Wohnungs- und gebäudeweite Installationen werden zunehmend Datennetze nach Art einer strukturierten Verkabelung

#### Internet:

[http://www.lpm.uni-sb.de/beruf/contents/elektro/Curricula\\_harmonisch/CurriculaHarmonisch1.pdf](http://www.lpm.uni-sb.de/beruf/contents/elektro/Curricula_harmonisch/CurriculaHarmonisch1.pdf)  
[http://www.lpm.uni-sb.de/beruf/contents/elektro/Curricula\\_harmonisch/CurriculaHarmonisch2.pdf](http://www.lpm.uni-sb.de/beruf/contents/elektro/Curricula_harmonisch/CurriculaHarmonisch2.pdf)