Am TN-S-Netzanschluss führt kein Weg vorbei

Autor(en): **Mathys, René**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin.ch : Fachzeitschrift und Verbandsinformationen von Electrosuisse, VSE = revue spécialisée et informations des associations Electrosuisse, AES**

Band (Jahr): **103 (2012)**

Heft 12

PDF erstellt am: **29.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-857378

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Am TN-S-Netzanschluss führt kein Weg vorbei

Ein Praxisbericht des Elektrizitätswerks Dietlikon

Seit Jahrzehnten wird in öffentlichen Stromverteilnetzen sowie für Netzanschlüsse (alt Hausanschlüsse) das TN-C-Vierleitersystem mit kombiniertem Neutral- und Schutzleiter, als PEN-Leiter bezeichnet, verwendet. Durch den steigenden Einsatz von empfindlichen elektronischen Geräten und immer höheren Datenraten werden an heutige Verteilnetze immer höhere Anforderungen gestellt. Im Neutralleiter fliessen oft stark verzerrte Oberschwingungsströme und manchmal auch Gleichstromanteile. Der Einsatz eines getrennen Neutral- und Schutzleiters bringt zahlreiche Vorteile.

René Mathys

In TN-C-Systemen führt der PEN-Leiter den Betriebsstrom vom Neutralleiter. Der PEN-Leiter ist vereinbarungsgemäss kein aktiver Leiter und dient der Sicherheit. Er hat eine Doppelfunktion und ist in erster Linie Schutzleiter und nebenbei Neutralleiter. Ein Unterbruch hätte somit fatale Folgen.

Vagabundierende Ströme

Je kleiner der Parallelwiderstand der Gebäudeerdungsanlage und der Potenzialausgleichssysteme im Verhältnis zum Widerstand des PEN-Leiters, umso grössere Ausgleichs- und Neutralleiterströme werden vom PEN-Leiter abgezweigt und als vagabundierende Ströme, auch Streuströme genannt, im ganzen Gebäude verbreitet. Es entstehen Spannungsdifferenzen zwischen geerdeten Teilen sowie niederfrequente Magnetfelder (Bild 1).

Diese vagabundierenden Ströme, die über Potenzialausgleichsleitungen, Kommunikationsanlagen, Schirme von Datenleitungen und Wasser- und Heizungsrohre im Gebäude fliessen, können zu Korrosionsschäden an Wasser- und Heizungsrohrsystemen sowie an anderen Anlagen und Teilen führen (Bilder 2 und 4).

Aber die Ausgleichsströme im Potenzialausgleichssystem empfindlicher Anlagen müssen nicht gross sein, um immense Störungen zu verursachen – es reichen bereits kleine Ausgleichsströme. Elektromagnetische Störungen treten auf geerdeten Schirmen von Datenleitungen bereits bei einigen 10 mA auf.

EMV

Da vagabundierende Ausgleichs- und Neutralleiterströme in TN-C-Systemen immer vorhanden sind und einen grossen Oberschwingungs-, zwischenharmonischen und Gleichstromanteil aufweisen, stellen sie die wichtigste EMV-Störquelle dar. Je grösser der Strom im Schutzleiter, desto grösser ist das EMV-Störpotenzial. Aus EMV-Sicht ist das TN-C-System nicht akzeptabel.

Durch Mehrfacherdungen des PEN-Leiters entstehen Situationen, bei denen sich Neutralleiterströme als vagabundierende Ströme ausbreiten und EMV-Probleme verursachen können (Bild 6).

Das Netzsystem ist entscheidend für eine optimale elektromagnetische Verträglichkeit (EMV). Die Norm EN 50310:2010, Tabelle 3, beschreibt das Verteilungsnetz im Aussenbereich im TN-S-System, als «Bestes System einer Stromverteilungsanlage bezüglich EMV». Die EM-verträgliche Lösung ist also nur im TN-S-System möglich. Mit einem richtig dimensionierten Fünfleiter-Netzkabel kann man somit nichts falsch machen.

Um den EMV-Anforderungen in Zukunft gerecht zu werden, sollten die Ver-

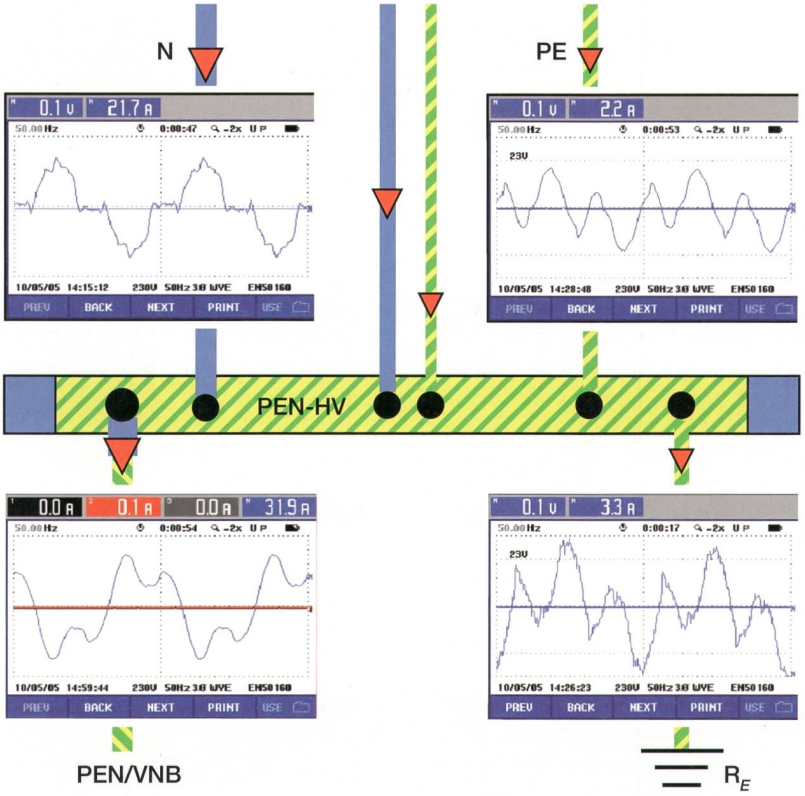

Bild 1 Der Strom im Neutral- und PEN-Leiter wird zunehmend mit Störgrössen belastet. Der am stärksten verzerrte Strom fliesst immer über die Erdungsanlage und das «ohmsche» Erdreich. Durch die Mehrfacherdungen sind die Stromflüsse im PEN-Leiter oft schwer erklärbar.

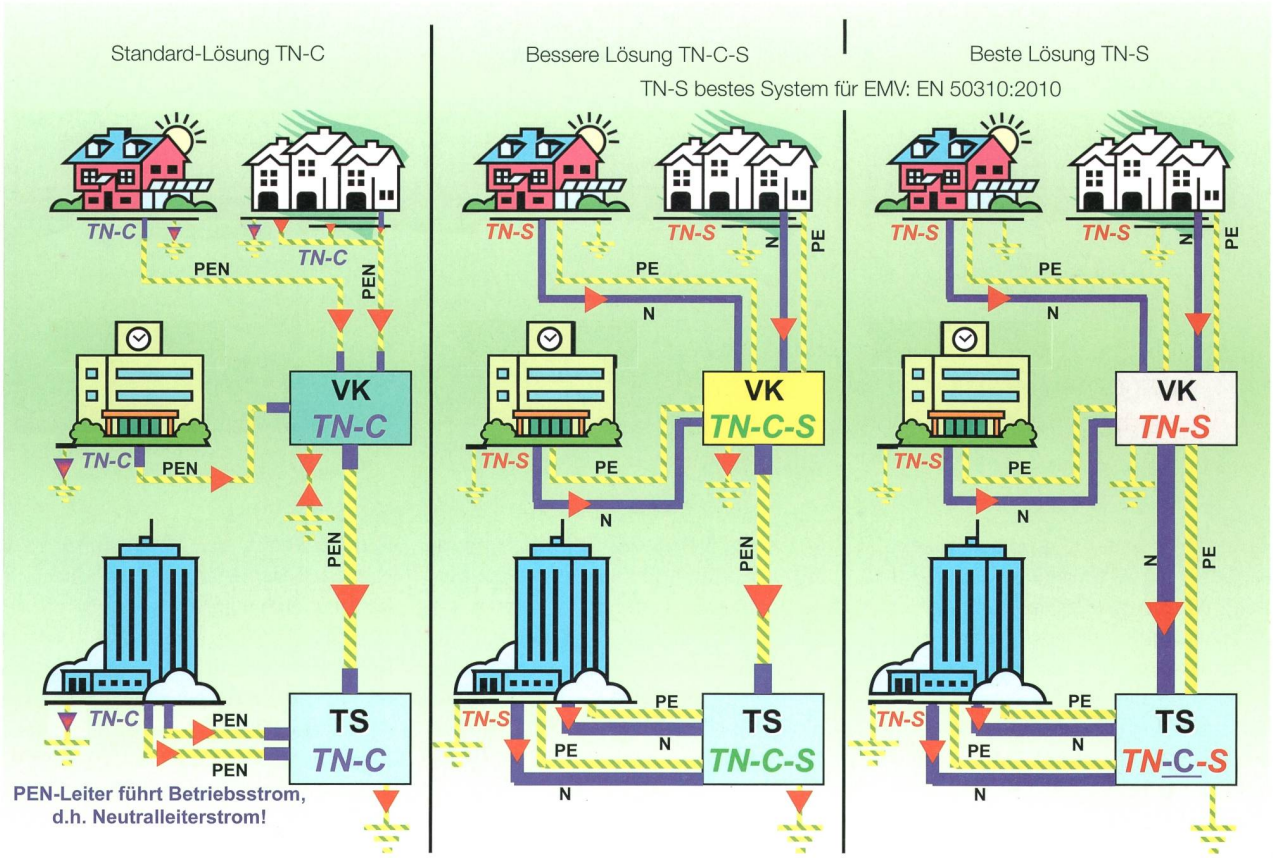

Bild 2 Elektrische Netzsysteme im Stromverteilnetz: TN-C, TN-C-S, TN-S. Durch Mehrfacherdungen des PEN-Leiters entstehen vagabundierende Ströme.

teilnetzbetreiber bei allen Neubauten für den Netzanschluss das Fünfleiterkabel Typ GKN, mit konzentrischem äusseren Leiter (Schutzleiter PE), verwenden.

Zudem entstehen durch die heutigen Geräte mit mehrheitlich nichtlinearen Lastströmen (PC, Drucker, TV, Netzteile usw.) Oberschwingungen, die die Spannungsqualität beeinträchtigen (Bild 3). Die Störfähigkeit der elektromagnetischen Felder wird mit höheren Frequenzen grösser.

Massnahmen

Für Netzanschlüsse im Stromverteilnetz sollte das TN-S-System so früh wie möglich eingesetzt werden, um einen EMV-gerechten Netzanschluss zu erzielen. Dadurch können die netzbedingten Beeinflussungen im Gebäude wirkungsvoll reduziert und das Korrosionsrisiko vermindert werden.

Die Kabelquerschnitte sollten in Bezug auf die Spannungsqualität und den Oberschwingungslasten im Neutralleiter sowie den Schutzmassnahmen grosszügig ausgelegt werden. Auf diese Weise können auch juristische Auseinandersetzungen, wie z.B. Schadenersatzforderungen bei Ausfällen, vermieden werden. Für die Produkthaftung ist der Verteilnetzbetreiber bis zur Grenzstelle Netz-/Hausinstallation verantwortlich (Bild 5).

Neutralleiterbelastung steigt

Im Stromverteilnetz des Elektrizitätswerks Dietlikon wird vorwiegend bei Wohnbauten eine stetige Zunahme der

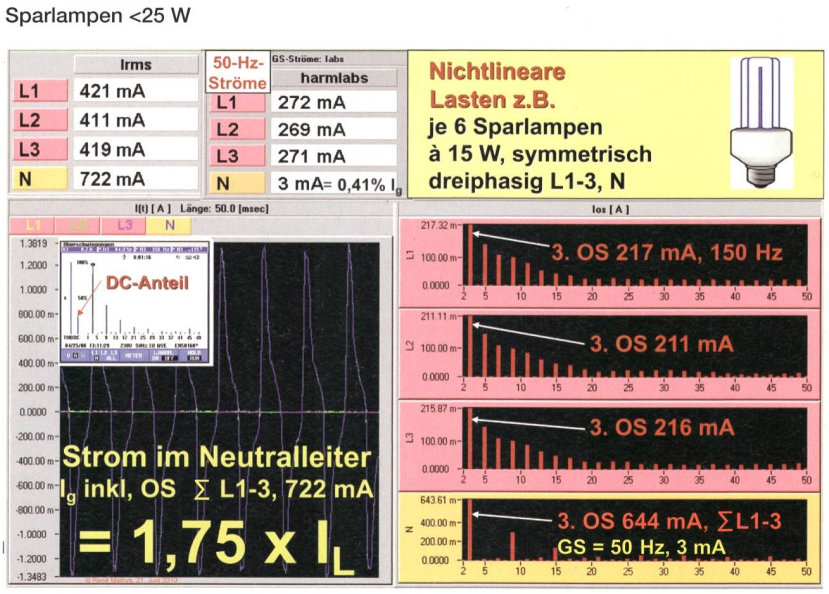

Bild 3 Oberschwingungen erhöhen den Strom im Neutralleiter. Bei dreiphasig symmetrisch angeschlossenen Sparlampen addieren sich die Oberschwingungsströme des Nullsystems aller drei Polleiter im Neutralleiter. Der Gesamtstrom im Neutralleiter ist 1,75 mal grösser als der Polleiterstrom.

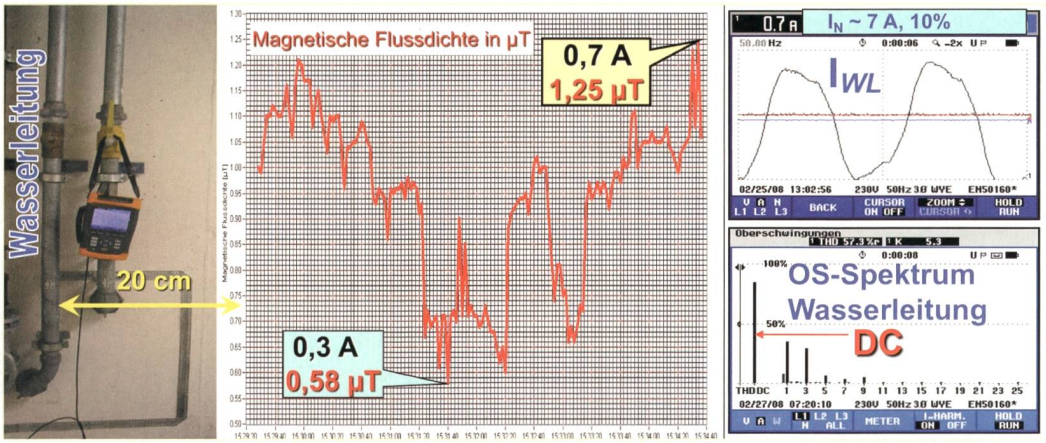

Bild 4 Vagabundierende Ausgleichsströme fliessen über das Potenzialausgleichssystem und die Wasserleitung im Gebäude mit einem TN-C-Anschluss. Im Abstand von 20 cm zur Wasserleitung wird bei einem Stromfluss von 0,3 A eine magnetische Flussdichte von 0,58 µT und bei 0,7 A 1,25 µT gemessen.

Neutral-/PEN-Leiterbelastungen mit den entsprechenden Oberschwingungen festgestellt. Messungen in den Trafostationen zeigten innerhalb von 2 Jahren zum Teil Erhöhungen bei den Höchstwerten um 20 % und bei den Mittelwerten um 33 %. Durch den vermehrten Einsatz von elektronischen Geräten, insbesondere von Steckernetzteilen und der Gebäudeautomation mit ihren Informationsanlagen sowie von dezentralen Erzeugungsanlagen, wird auch die Netzqualität immer stärker strapaziert. Neuerdings ist auch eine Zunahme der Störpegel durch Zwischenharmonische (auch Interharmonische genannt) festzustellen. Zwischenharmonische sind sinusförmige Spannungen, deren Frequenzen zwischen denen der Oberschwingungen liegen, d.h. ihre Frequenzen sind kein ganzzahliges Vielfaches der Grundfrequenz.

Generell lässt sich sagen, dass je grösser die Netzimpedanzen in Stromverteilnetzen sind, desto kleiner werden die Kurzschlussleistungen und umso grössere Netzrückwirkungen sind zu erwarten.

Präsenz von Oberschwingungen und Zwischenharmonischen

Oberschwingungen (OS) gehören zur Gruppe der Netzrückwirkungen und haben ein sehr breites EM-Störpotenzial. Sie entstehen vorwiegend durch Verbraucher mit nichtlinearen Lastströmen. Ein weiteres Problem ist, dass OS den Strom im Neutral- bzw. PEN-Leiter erhöhen und im Extremfall einen Leiter thermisch zerstören sowie Brände verursachen können. OS-Ströme im Nullsystem (nichtdrehende Oberschwingungen), deren Ordnungszahl durch 3 teilbar ist, (3, 6, 9, ...), addieren sich im Neutral- bzw. PEN-Leiter. Dominant ist die 3. OS mit 150 Hz. Bei gleichmässiger Oberschwingungsbelastung und Gleichphasigkeit ist der Strom der 3. Oberschwingung im Neutralleiter genau dreimal so hoch wie der Polleiterstrom bei 150 Hz. Der Gesamtstrom im Neutral-/PEN-Leiter kann grösser als der 2-fache Polleiterstrom werden, im Extremfall das 2,2 – 2,4-fache!

Mit Untersuchungen beauftragte Messspezialisten in Deutschland haben bei Funktionsstörungen in einem Hotelkomplex den 2,4-fachen Neutralleiterstrom ermittelt, weil die Beleuchtung im Hotel von Glühlampen auf Energiesparlampen umgestellt wurde. Bei einem Polleiterstrom von 100 A erreicht der Neutralleiterstrom bis 240 A. Die Störungen lassen nicht lange auf sich warten.

Oberschwingungen erhöhen zudem die Impedanz von Kabelleitungen sowie den induktiven Spannungsfall in der jeweiligen Frequenz. Zusätzlich kommt die Auswirkung der Stromverdrängung bzw. des Skineffekts ab etwa 500 Hz hinzu.

Heute sind bereits über 90 % aller 230-V-Wechselstromverbraucher Oberschwingungserzeuger. Eine deutliche Zunahme durch den vermehrten Einsatz von Energiesparlampen sowie dem Einsatz von energieeffizienten Geräten und dezentralen Erzeugungsanlagen ist voraussehbar. Der konsequente Einsatz eines TN-S-Systems, bei dem der Neutralleiter nach den Oberschwingungslasten bemessen ist, schafft hier Abhilfe (Bild 7).

Steigende Pegel bei den Zwischenharmonischen

Das Störpotenzial der Zwischenharmonischen ist weitgehend vergleichbar mit den Oberschwingungen. Es entstehen Flicker in der Netzspannung, und Rundsteueranlagen können durch Nebenfrequenzen gestört werden.

Bei der Entwicklung von nichtlinearen Verbrauchern arbeiten die Hersteller daran, die Störpegel der klassischen Oberschwingungen zu senken, das gelingt den Herstellern zum Teil, aber im Gegenzug sind damit die Pegel der Zwischenharmonischen gestiegen. Bei Messungen in einer Trafostation, von der ausschliesslich Wohnbauten versorgt werden und keine zusätzlichen Bauten dazu gekommen sind, blieben innerhalb von 4 Jahren die Oberschwingungsströme praktisch konstant hoch. Hingegen wurden bei einzelnen Strömen von Zwischenharmonischen Pegelerhöhungen von mehr als 80 % gemessen.

Interessant ist die Tatsache, dass sich einige Ströme von Zwischenharmonischen im Neutral-/PEN-Leiter addieren, sich also gleich verhalten wie die Oberschwingungsströme. Zusätzlich problematisch wird es, wenn sich Nebenfrequenzen ±100 Hz zur örtlich verwendeten Rundsteuerfrequenz bilden und dadurch die Funktion von eigenen und fremden Rundsteueranlagen gestört wird (Bild 9).

Spannungsdifferenz zwischen N und PE

Die Spannungsdifferenz zwischen N- und PE-Leiter muss so klein wie möglich gehalten werden. Empfohlen wird im Taschenbuch «Elektrische Anlagen gemäss Starkstromverordnung» (Electrosuisse, Ausgabe 2009) eine Spannung unter 5 V (2,17 % der Bezugsspannung 230 V) vom Netzanschlusspunkt des Verteilnetzbetreibers bis zum Hausanschlusskasten im Gebäude. Für alle Netzanschlüsse – auch beim Einfamilienhaus – sollten die Kabelquerschnitte nicht kleiner als 50 mm² sein.

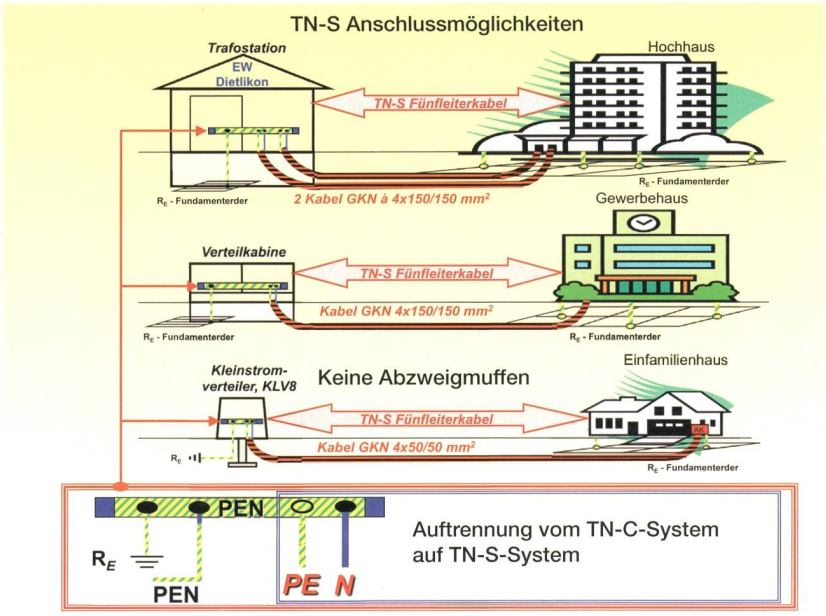

Bild 5 TN-S-Anschlüsse können direkt von der Trafostation, Verteilkabine oder von einem Kleinstromverteiler erstellt werden. Bei den Anschlüssen werden die bisherigen Betriebsmittel genutzt. Es entstehen somit keine weiteren Kosten. Es sollten auf keinen Fall Anschlüsse über Abzweigmuffen erstellt werden.

Bei Netzanschlüssen mit Fünfleiterkabeln im TN-S-System ergeben sich die in Tabelle 1 präsentierten Werte, wobei die Impedanz gemäss der vereinfachten Berechnung der Betrag der geometrischen (komplexen) Addition der Wirk- (R) und der Blindwiderstände (ν.X) ist. ν stellt die Ordnungszahl der Oberschwingung dar. 150 Hz ist also die 3. Oberschwingung, ν beträgt dabei 3.

Mit den gebräuchlichsten Kabellängen für Netzanschlüsse, Beispiele mit Längen von 25 m und 50 m bei Spannungsdifferenzen ΔU, zwischen N-PE von 1 V bis 3 V sowie den entsprechenden Kabelquerschnitten, liegen die Spannungsdifferenzen ΔU unter 5 V. Bei oberschwingungsbehafteten Strömen ist eine Zunahme der Kabelimpedanz in der jeweiligen Frequenz erkennbar, zudem tritt der Skineffekt ab etwa 500 Hz in Erscheinung. Eine effiziente Massnahme gegen diese Beeinflussungen ist eine niedrige Netzimpedanz durch Vergrösserung der Kabelquerschnitte.

Dimensionierungskriterien

Die Netzanschlusskabel sollten nicht allein aufgrund der Belastungswerte dimensioniert werden, sondern in Bezug auf die Spannungsqualität, den Oberschwingungslasten im Neutralleiter und den Schutzmassnahmen. Die Querschnitte sollten grosszügig und weitsichtig bemessen werden. Zudem muss mit einem erhöhten Gleichstromanteil in den Stromversorgungsleitungen infolge der zunehmenden Verwendung elektronischer Schaltnetzteile in Geräten gerechnet werden. Mit einem durchgängigen TN-S-System von der Steckdose bis zur Verteilkabine/Trafostation des Verteilnetzbetreibers werden die Zerstörungen von Erdungsanlagen sowie Schäden und Störungen an Geräten und Anlagen durch EMV-Phänomene, verbunden mit den entsprechenden zeitlichen sowie finanziellen Aufwendungen, in den meisten Fällen vermieden.

Die elektromagnetische Verträglichkeit wird mit einem durchgängigen TN-S-System erheblich verbessert. Zudem wird eine «stromfreie» Schutz-Potenzialausgleichs- (SPA) und Erdungsanlage erzielt sowie die Korrosionserscheinungen an fremden, leitfähigen Anlageteilen und Installationen vermieden.

Der Einsatz von Fünfleiter-GKN-Kabeln im TN-S-System für alle Netzanschlüsse ist immer die beste Lösung für den Hauseigentümer und den Verteilnetzbetreiber. Die Mehrkosten für ein Fünfleiter-GKN-Kabel 4x50/50 mm² betragen pro Meter rund 10 CHF. Bei einem EFH-Neubau mit einem TN-S-Netzanschlusskabel von 25 m und Baukosten von 1 Mio. CHF entsprechen diese Mehrkosten 0,25 ‰.

Netzqualitätsmessungen im TN-S-System

Die überwiegende Mehrzahl der Messobjekte im Gebäude ist im TN-S-System mit 5 Leitern und zunehmend auch im Stromverteilnetz anzutreffen. Messgerätehersteller könnten die Arbeit der Messbeauftragten erheblich erleichtern, wenn sie preisgünstige und einfach zu handhabende Netzanalysatoren mit elektronischer Speicherfunktion anbieten würden. Auf dem Markt sind wenige hochstehende, sehr komplexe und teure Messgeräte erhältlich, die für das TN-S-System geeignet sind.

Für die Sicherstellung der Netzqualität sowie für das erfolgreiche Ermitteln von Störgrössen sind aussagekräftige, effiziente und vor allem zeitgleiche EMV-Messungen aller 5 Leiter im TN-S-System notwendig. Ein Netzanalysator muss daher auf jeden Fall über mindestens 5 Spannungseingänge sowie 5 Stromein-

ΔU 1 V = 0,43 %: Kabel 25 m		
25 mm²	**50 mm²**	**95 mm²**
50 Hz GS, 47 A	50 Hz GS, 86 A	50 Hz GS, 163 A
150 Hz 3.OS, 44 A (–6,3 %)	150 Hz 3. OS 76 A (–11,6 %)	150 Hz 3. OS 119 A (–27 %)
ΔU 2 V = 0,87 %: Kabel 50 m		
25 mm²	**50 mm²**	**95 mm²**
50 Hz GS, 47 A	50 Hz GS, 86 A	50 Hz GS, 163 A
150 Hz 3.OS, 44 A (–6,3 %)	150 Hz 3. OS 76 A (–11,6 %)	150 Hz 3. OS 119 A (–27 %)
ΔU 3 V = 1,30 %: Kabel 50 m		
25 mm²	**50 mm²**	**95 mm²**
50 Hz GS, 71 A	50 Hz GS, 129 A	50 Hz GS, 244 A
150 Hz 3.OS, 66,5 A (–6,3 %)	150 Hz 3. OS 114 A (–11,6 %)	150 Hz 3. OS 178 A (–27 %)

Tabelle 1 Neutralleiterströme. ΔU ist die Spannungsdifferenz N-PE vom Netzanschlusspunkt bis zum Hausanschlusskasten (HAK). Die Messungen wurden mit Haag Combi-Quant am HAK durchgeführt, die Berechnungen nach R- und X-Belägen. Die berechneten Werte der Spannungsdifferenzen sind durchwegs grösser als die gemessenen. Bei der Berechnung ist man also auf der sicheren Seite.

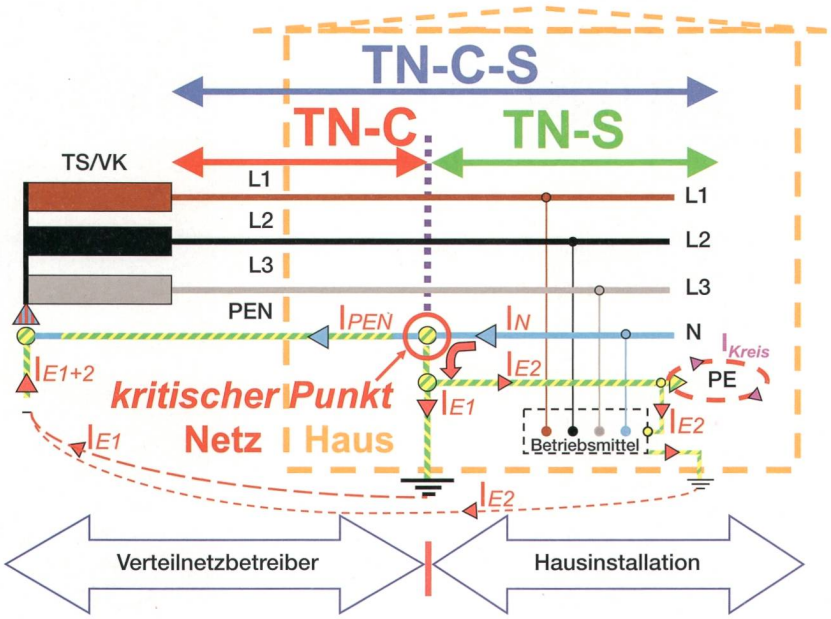

Bild 6 In Gebäuden sollten nirgends kombinierte Neutral- und Schutzleiter (PEN) eingesetzt werden. Der Verteilnetzbetreiber sollte stets TN-S-Anschlüsse verwenden, weil dies «hausgemachte» EMV-Probleme durch Mehrfacherdungen des PEN-Leiters verhindert.

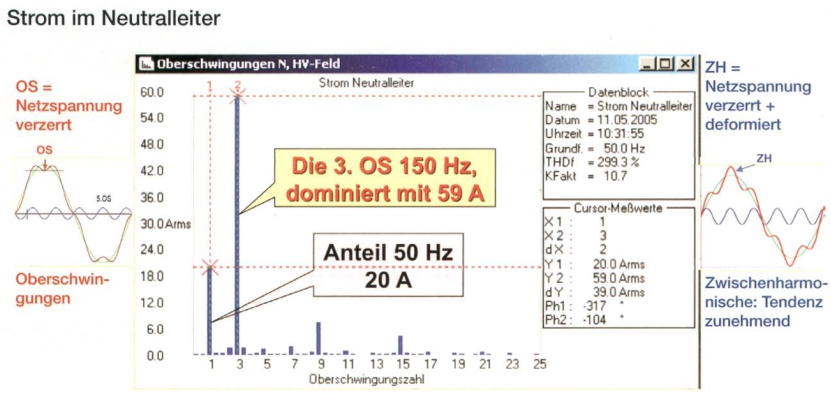

Bild 7 Die Kabelquerschnitte müssen nach den Oberschwingungslasten im Neutralleiter bemessen werden, da der Strom im Neutral-/PEN-Leiter im Extremfall das 2,2 bis 2,4fache des Polleiterstroms beträgt.

2 Mehrfamilienhäuser			
	Strom im Neutralleiter	**Strom über das Erdungs- und Potenzialausgleichssystem**	**Eingekoppelter Strom in den Hauptschutzleiter**
TN-C	89 A	1300 mA = 1,46 % von I_N	5,6 A = 6,29 % von I_N
TN-S	97 A	60 mA = 0,06 % von I_N (–96 %)	2,2 A = 2,26 % von I_N (–64 %)
Geschäftshaus			
	Strom im Neutralleiter	**Strom über vermaschtes Erdungs-/ Potenzialausgleichssystem**	**3. OS über vermaschtes Erdungs-/ Potenzialausgleichssystem**
TN-C	45,4 A	12,3 A = 27,1% von I_N	9,85 A = 21,7% von I_N
TN-S	49 A	4,4 A= 8,97% von I_N (–67 %)	1,7 A = 3,47 % von I_N (–84%)

Klammernwerte = Reduktion gegenüber TN-C-Netzanschluss

Tabelle 2 Bei den **2 Mehrfamilienhäusern** wird ein TN-S-Netzanschluss ab Verteilkabine eingesetzt mit einem 38 m langen Kabel, GKN 4x95/95 mm². Der TN-C-Netzanschluss wird simuliert. Das **Geschäftshaus** verfügt über einen TN-S-Netzanschluss direkt ab Trafostation. Vier 58 m lange Parallelkabel à 4x150/150 mm² werden eingesetzt. Der TN-C-Netzanschluss wird auch hier simuliert mit der Kurzschlussleistung 15 MVA, Z_N = 2,3 mΩ, Z_{PE} = 1,4 mΩ.

gänge verfügen. Mit 5 Strommesskanälen werden die drei Leiterströme sowie die Ströme im Neutral- und Schutzleiter gleichzeitig gemessen. Betriebsbedingte Ströme auf dem Schutzleiter durch vagabundierende Ströme im TN-C-System oder Ableitströme können die Betriebsmittel in ihrer ordnungsgemässen Funktion beeinträchtigen. Deshalb ist es immer notwendig, auch die Schutzleiterströme zu messen. Denn je mehr Strom im Schutzleiter fliesst, desto grösser ist das EMV-Störpotenzial.

Beim Einsatz von Netzanalysatoren, die nur 4 Stromeingänge zur Verfügung haben, ist der Messbeauftragte bei Messungen im TN-S-System stark gefordert. Für die Messung aller 5 Leiter, müssen zwei Messgeräte (Gerät 1: L1/L2/L3/N, Gerät 2: PE) mit entsprechendem Platzbedarf und Zeitaufwand eingesetzt werden. Möglicherweise sind die Geräte zudem von unterschiedlichen Herstellern. Das synchrone Erfassen der 5 Messgrössen ist so unmöglich, denn einzelne Messwerte bringen keine Aussage, wenn man keine Übersicht über deren zeitlichen Verlauf und Bezug der Störgrössen in den übrigen Leitern hat. Auch die Messauswertungen von zwei Messgeräten im PC werden sich als äusserst schwierig gestalten, denn eine Zuordnung der Störeinwirkung bzw. Art und Umfang vorhandener Störpegel, erfordert vom Fachmann sehr viel Erfahrung und enormen Zeitaufwand.

Positive Praxiserfahrungen mit TN-S

Anhand zweier Beispiele – 2 Mehrfamilienhäuser und ein Geschäftshaus – können die Vorteile des TN-S-Systems anschaulich gemacht werden (Tabelle 2). Die vagabundierenden Ausgleichs- und Neutralleiterströme sind bei TN-S deutlich kleiner.

Durch eine Überprüfung und Optimierung der Erdungs- und Potenzialausgleichssysteme können die vagabundierenden Ausgleichsströme noch weiter reduziert werden.

Differenzstrom-Überwachung

Zusätzlich zu vorhandenen Schutzeinrichtungen sind Differenzstrom-Überwachungsgeräte zur permanenten Kontrolle der Ströme sowie dem Aufspüren von EMV-Mängeln und für eine saubere, dauerhafte Trennung des Neutralleiters vom Schutzleiterpotenzial stets empfohlen.

Zum Einsatz kommen Differenzstrom-Überwachungsgeräte, die sich nach der Art, Frequenz und Kurvenform

der Ströme, die sie erfassen können, unterscheiden. Mit Differenzstrom-Überwachungsgeräten können Fehler- bzw. Differenzströme, Betriebsströme, vagabundierende Ströme und Ströme in N- und PE-Leiter überwacht werden.

Mit RCM-Differenzstrom-Überwachungsgeräten Typ A nach IEC 60755 lassen sich Wechselströme (42 bis 2000 Hz) und pulsierende Gleichfehlerströme überwachen.

Mit RCMA allstromsensitiven Differenzstrom-Überwachungsgeräten Typ B nach IEC 60755 können Wechselströme, pulsierende und glatte Gleichfehlerströme (0 bis 2000 Hz) überwacht und alle bekannten Fehler- und Differenzstromarten erkannt werden.

Bevorzugte Einbauorte sind Einspeisungen, Hauptverteilungen, Abgänge zu Verbrauchern und Anlagen, PEN-PE-Brücke, PAS und N-Leiter, PE-Leiter sowie der zentrale Erdungspunkt (ZEP).

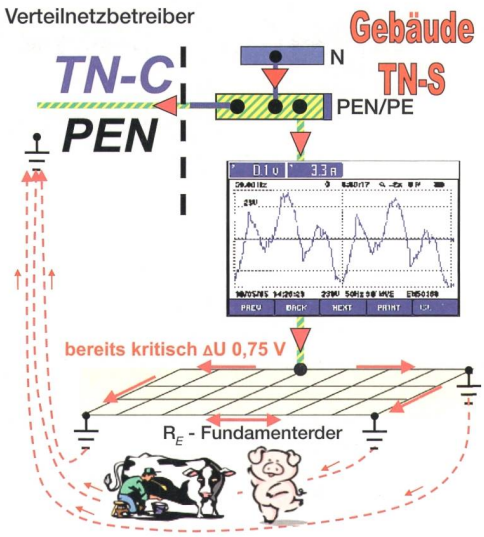

Bild 8 Strom über die Erdungsstrukturen. Tiere reagieren auf vagabundierende Ströme etwa 30 mal empfindlicher als Menschen. Bereits Spannungsdifferenzen von 0,75 V können Tiere in ihrem Wohlbefinden massiv beeinflussen. Bei oberschwingungs- und zwischenharmonisch behafteten Strömen erhöht sich die Impedanz von Kabelleitungen. Dagegen bleibt der Widerstand vom Erdreich praktisch unverändert. Folglich werden diese Ströme in TN-C-Systemen weiter zunehmen. Die über das Erdreich fliessenden Ströme können auch als «Fehlerströme» oder «Streuströme» bezeichnet werden.

Fazit

Mit EMV-gerechten Netzanschlüssen verschafft sich ein Verteilnetzbetreiber einen deutlichen Standortvorteil. Die beste Lösung für einen dauerhaft störungsarmen Betrieb bietet nur ein TN-S-System, da es die kostenintensiven Bemühungen der Planer und Ausführenden für die Sicherstellung der elektromagnetischen Verträglichkeit in der Gebäudeinstallation nicht durch «TN-C-Abschnitte» vom Verteilnetzbetreiber beeinträchtigt.

Folgende Merkmale zeichnen den TN-S-Netzanschluss aus:

- Der Kunde hat die Gewissheit, dass sein Gebäude von «seinem» Elektrizitätswerk mit der besten Lösung für einen dauerhaften störungsarmen Betrieb versorgt wird.
- EMV-Freundlichkeit.
- Summenstromfreie und magnetfeldarme Energieübertragung.
- Geringere Korrosionsschäden im Gebäude, tiefere Kosten.
- Reduzierung der elektromagnetischen Felder.
- Starke Reduzierung der netzbedingten Störauswirkungen im Gebäude, tiefere Kosten.
- Ideale Verhältnisse, nahezu betriebsstromfreier Schutzleiter (PE).
- Keine Probleme bei der Netzkopplung von dezentralen Erzeugungsanlagen, da die Rückströme komplett im Neutralleiter fliessen.
- Einfache, wirkungsvolle Massnahme.
- Qualitätssteigerung und Optimierung der Stromverteilungsnetze.

Auch im Ausland erkennen immer mehr Verteilnetzbetreiber die Vorteile des Systems und verwenden für ihre Kunden das Fünfleiterkabel. Im öffentlichen Stromverteilungsnetz wurde das TN-S-System auch als Empfehlung in die Normen Cenelec HD 60364-1 (entspricht Teil 1 NIN), weiter in EN 50310, DIN V VDE V 0800-2 (VDE V 0800-2):2011-06, NIN 2010 sowie in das Taschenbuch «Elektrische Anlagen gemäss Starkstromverordnung» von Electrosuisse, Ausgabe 2009, aufgenommen.

In Dietlikon sind schon 85 Liegenschaften, inkl. Gewerbegebäuden mit leistungsstarken Anschlüssen von 1 kA, seit 2006 mit einem Fünfleiterkabel im TN-S-System an das öffentliche Stromverteilungsnetz angeschlossen, und es werden immer mehr.

Im Endeffekt ist der Netzanschluss die Basis jeder Gebäudestromversorgung. Auf TN-C-Kompromisslösungen

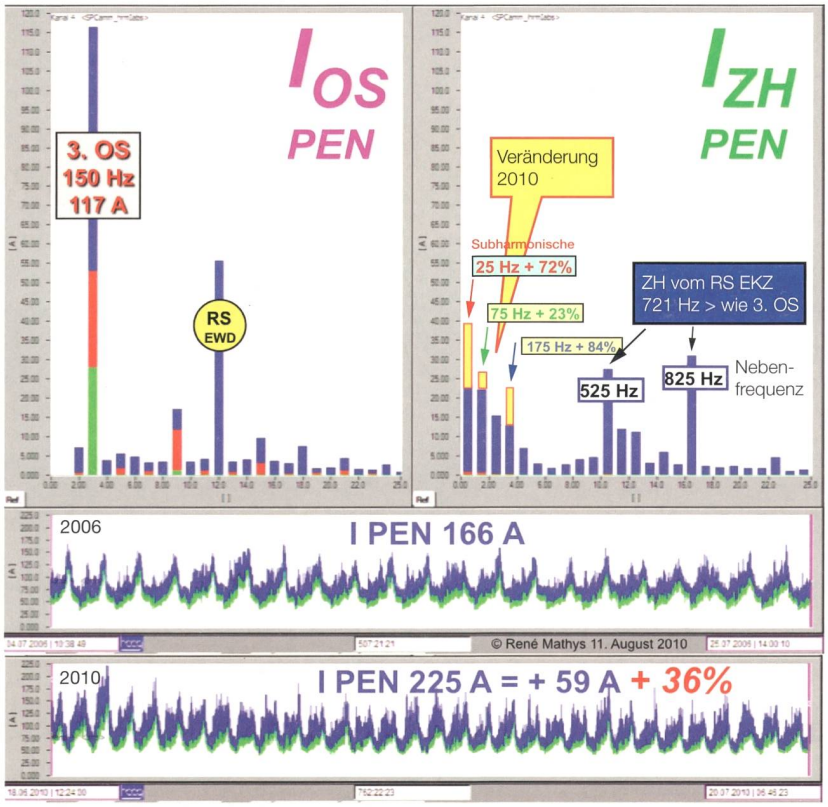

Bild 9 Zunahme des PEN-Leiterstroms zwischen 2006 und 2010 in einer Trafostation, die nur Wohngebäude versorgt. Neue Gebäude sind in dieser Zeit nicht dazugekommen.

Bilder: EW Dietlikon

Résumé

Le raccordement au réseau TN-S est incontournable

Un rapport d'expérience de la centrale électrique de Dietlikon

Depuis des décennies, les réseaux de distribution électrique publics ainsi que les raccordements au réseau (anciennement appelés raccordements des maisons) font appel au système à quatre conducteurs TN-C associant un conducteur neutre et un conducteur de protection (conducteur PEN). L'augmentation du nombre d'appareils électroniques sensibles utilisés et les débits de données toujours plus importants posent des exigences sans cesse croissantes aux réseaux de distribution actuels en ce qui concerne la compatibilité électromagnétique. Des courants harmoniques souvent très déformés et parfois même brièvement des parts de courant continu circulent dans le conducteur neutre.

Les avantages du système TN-S sont nombreux : le respect de la compatibilité électromagnétique, la baisse considérable des effets perturbateurs dus au réseau dans le bâtiment, un transfert d'énergie sans courant de somme et avec peu de champ magnétique, la réduction des dommages causés par la corrosion sur le bâtiment et un couplage au réseau optimal des installations de production décentralisées étant donné que les courants inverses circulent entièrement dans le conducteur neutre. C'est grâce à tous ces avantages que l'utilisation du système TN-S permet d'en diminuer les coûts consécutifs. Le système TN-S constitue une mesure simple qui produit des effets importants et apporte une contribution précieuse à l'augmentation de la qualité ainsi qu'à l'optimisation des réseaux de distribution. No

soll deshalb von der Quelle bis zum Endstromkreis verzichtet werden. Für den Verteilnetzbetreiber und seine Kunden bedeutet dies, dass die Vorteile vom TN-S-System im Aussenbereich auf der Hand liegen, denn es ist die beste Lösung. Ein gutes Netz ist etwas «kostbares», aber es gibt nichts teureres, als ein schlechtes Netz.

Literatur

- Manfred Grapentin, EMV in der Gebäudeinstallation – Probleme und Lösungen, Elektropraktiker Bibliothek, Verlag Technik Berlin, 2000.
- Wilhelm Rudolph und Otmar Winter, EMV nach VDE 0100, VDE-Schriftenreihe Band 66, VDE Verlag, 2000.
- Herbert Schmolke, EMV-gerechte Errichtung von Niederspannungsanlagen, VDE-Schriftenreihe Band 126, VDE Verlag, 2008.
- J. Schlabbach und W. Mombauer, Power Quality – Entstehung und Bewertung von Netzrückwirkungen; Netzanschluss erneuerbaren Energiequellen, VDE Schriftenreihe Band 127, VDE Verlag, 2008.
- René Mathys, Hausanschluss: Wechsel von TN-C auf TN-S, Fünfleiter-Hausanschlusskabel löst Probleme, Bulletin SEV/VSE 17/05, Seiten 37–40.
- René Mathys, Zusammenschluss der Bahn- und Netzerdung, 16,7-Hz-Wechselstrombahnen mit dem 50-Hz-Netz vermaschen, Bulletin SEV/VSE 24/25 06, Seiten 11–17.

Angaben zum Autor

René Mathys ist seit 1976 in der Energieversorgung tätig. Seit 1981 ist er bei den Gemeindewerken Dietlikon Betriebsleiter-Stv. und Autor von Fachberichten. Er ist seit 2008 technischer Experte in den DKE-Arbeitsgremien K 712 «Deutsche Kommission Elektrotechnik, Elektronik, Informationstechnik im DIN und VDE», Frankfurt am Main. Seine Spezialgebiete: Spannungsqualität/Netzrückwirkungen sowie elektrische Versorgungsnetze und die Erdungsproblematik.

Gemeindewerke Dietlikon, 8305 Dietlikon
rene.mathys@dietlikon.org

Stellungnahme

Position von Electrosuisse

Mit dem Fünfleiterkabel auf dem «letzten» Leitungsabschnitt vor dem Anschluss-Überstromunterbrecher wird die Auftrennung des PEN-Leiters in den Neutral- und in den Schutzleiter von der Hausinstallation in das Verteilnetz «vorverlegt».

Der Fünfleiter-Anschluss hat den klaren Vorteil, dass betriebsmässige Ströme über den Neutralleiter und nicht über den PEN-Leiter zum Trafosternpunkt zurückfliessen. Ströme über parallel zum PEN-Leiter geschaltete, leitfähige Gebäudeteile oder über metallene Systeme im Erdreich werden so ausgeschlossen. Betriebsströme fliessen folglich nur in dafür vorgesehenen Leitern. Der Schutzleiter bleibt beinahe «stromfrei» und führt nur im Fehlerfall Ströme.

In der Fachwelt wird das Fünfleiter-Verteilnetz kontrovers diskutiert: Einerseits betont man die höheren Kosten, andererseits bestehen kaum Zweifel an der positiven Wirkung. Gemessen an den Gesamtkosten der elektrischen Erschliessung fallen die zusätzlichen Kosten für die Fünfleiter-Hausanschlüsse kaum ins Gewicht. Eine Umstellung von bestehenden Anschlüssen ist jedoch teuer, denn sie bedingt ein Auswechseln der Anschlusskabel.

Beim Vierleiter-Anschluss (Anschlussleitung im System TN-C) wird ein gemeinsamer Leiter PE und N im selben Leiter bis zum Anschluss-Überstromunterbrecher geführt. Die Impedanz des PEN-Leiters ist in der Regel deutlich geringer, als jene über den Weg des Schutzleiters via Fundamenterder und Erdreich. Somit fliesst ein grosser Teil des Betriebsstromes über den PEN-Leiter zum Trafosternpunkt zurück. Parallel zum PEN-Leiter fliesst ein Teil des Betriebsstromes über die Erdungsleitung und das Erdreich, damit auch über «unerwünschte Pfade» zum Sternpunkt zurück.

Durch die Aufteilung in Schutz- und Neutralleiter sind vagabundierende Ströme praktisch eliminiert.

Es ist unzulässig und es würde das System «sabotieren», wenn nach der Aufteilung von TN-C auf TN-S die beiden Leiter N und PE wieder verbunden werden.

Künftige Anwendungen wie Fotovoltaikanlagen, Ladeeinrichtungen für Elektrofahrzeuge oder andere Verbraucher werden vermutlich hohe Oberschwingungsanteile mit sich bringen.

Im heutigen System TN-C-S wird der PEN-Leiter in jedem Gebäude geerdet. Damit wird einerseits die Vermaschung der PEN-Leiter und der Erder erreicht und trägt somit zu geringen Fehlerspannungen in den Gebäuden bei, andererseits werden damit die Körper (leitende Gehäuse) von Betriebsmitteln mit dem Erder im Gebäude verbunden. Bei erdverlegten Kabeln, in welchen alle Leiter unter einem gemeinsamen Kabelmantel liegen, ist ein Unterbruch des Neutralleiters oder eines anderen einzelnen Leiters sehr unwahrscheinlich.

Trennt man die beiden Leiterfunktionen in Schutz- und Betriebsfunktionen auf, tritt durch die Betriebsströme im Neutralleiter ein Spannungsfall auf und zwischen PE und N entsteht beim Anschluss-Überstromunterbrecher eine Spannungsdifferenz. Dieser Potenzialunterschied soll gering gehalten werden. In bebauten Gebieten werden kaum Probleme erwartet. In abgelegenen Gebieten sieht es anders aus, da dieser Punkt hier stärker ins Gewicht fällt.

Wir gehen davon aus, dass künftig vermehrt Verteilnetzbetreiber Gebäude mit Fünfleiterkabeln erschliessen werden. Ebenso können Anschlussleitungen mit Fünfleiterkabeln in bestehenden Gebäuden zur Lösung der beschriebenen Probleme beitragen. In Referenzlisten der Kabelhersteller ist ersichtlich, dass die Nachfrage nach Fünfleiter-Netzkabel in den letzen Jahren kontinuierlich gestiegen ist. Electrosuisse beobachtet die Entwicklung weiterhin mit grossem Interesse.

Josef Schmucki, Peter Bryner