

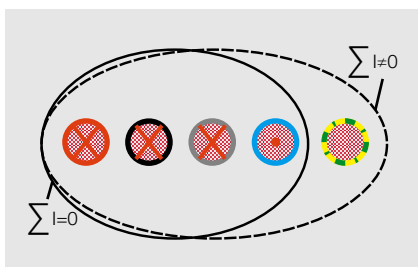
# NISV- und EMVU-gerechte Starkstrom- installationen

## Mit einfachen Massnahmen viel erreichen

Die Verteilung von grossen Strömen verlangt nach sorgfältiger Planung, auch bezüglich der elektromagnetischen Umweltverträglichkeit (EMVU). Seit dem Jahr 2000 gibt die Verordnung zum Schutz vor nichtionisierender Strahlung (NISV) Grenzwerte für elektromagnetische Felder vor. Die Energieversorger haben gelernt, wie man die Emissionen von Übertragungs- und Verteilsystemen massiv verringern kann. Im Installationsbereich, wo die NISV (noch) nicht gilt, herrscht diesbezüglich ein grosses Manko. Mit einfachen Massnahmen lassen sich hier aber enorme Verbesserungen erzielen.

### Christian Fischbacher

Wenn Vor- und Rückströme in einem Stromkreis nicht gleich gross sind, spricht man von einem Summenstrom. Das Beispiel in **Bild 1** zeigt, dass auch im Netzsystem TN-S der Summenstrom, gemessen über alle Leiter ( $L_1$ ,  $L_2$ ,  $L_3$ , N, PE), stark von null abweichen kann. Summenströme können hohe Werte annehmen (deutlich über 10 A) und sind in der Praxis leider weit verbreitet. Die fehlenden Rückströme können im Gebäude auf allen elektrisch leitenden Teilen nachgewiesen werden (Erdleiter, Armierungen, Gas- und Wasserleitungen, Lüftungskanäle, Kabeltrassen, etc.) und verursachen u.a. lästige Magnetfelderrhöhungen und Korrosionsschäden. Zudem sind Summenströme entscheidend beteiligt an kostspieligen EMV-Problemen in EDV-Netzwerken und Rechenzentren, bei medizinischen Diagnosegeräten, elektronischen Steuerungen sowie an sensiblen Forschungs- und Entwicklungsinstrumenten.



**Bild 1** Typisches Drehstromsystem.

### Ursachen von Summenströmen

Einerseits entstehen Summenströme durch eine Mehrfacherdung des PEN-Leiters, wodurch sich der PEN-Strom aufteilt (**Bild 2**). In der Folge ist der Summenstrom gemessen über  $L_1$ ,  $L_2$ ,  $L_3$  und PEN nicht mehr null. Die negativen Folgen sind: Erdpotenzialverschiebungen, erhöhte Magnetfelder und Korrosionsschäden an Eisenarmierungen, Gas- und Wasserleitungen.

Andererseits werden Summenströme durch induzierte Schutzleiterspannungen im Netzsystem TN-S erzeugt (**Bild 3**). Die Kopplungsspannung zwischen zwei Leitern hängt u.a. auch von deren Abstand ab. Weil im abgebildeten Fall die Abstände der Aussenleiter gegenüber

dem PE unterschiedlich sind, ist die Summe der PE-Koppelspannungen nicht mehr null (aus Übersichtsgründen ist nur die Koppelspannung zwischen  $L_1$  und PE eingezeichnet). Bei mehrfach geerdetem PE wandelt sich die induzierte Schutzleiterspannung in einen Schutzleiterstrom, der vergleichbare Werte annehmen kann wie im Netzsystem TN-C. Leider ist der in **Bild 3** gezeigte Fall vielen Ingenieuren, Elektroplanern und Installateuren weder bewusst noch bekannt. Die Auswirkungen entsprechen denen des ersten Falls.

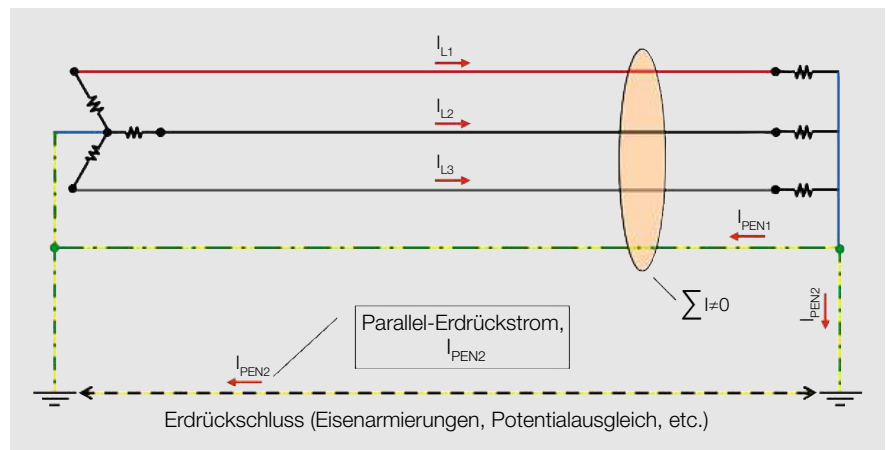
Man darf sich deshalb die Frage stellen, ob man Einzelleiter- und Schienensysteme für Starkstromverbindungen nicht grundsätzlich verbieten müsste.

### Überhöhte Magnetfelder

Von überhöhten Magnetfeldern spricht man, wenn gesetzliche oder technische Grenzwerte überschritten werden. **Tabelle 1** zeigt entsprechende Werte.

Bei Einzelleiter- und Schienenverbindungen fällt das magnetische Feld in Bezug auf die Distanz relativ langsam ab. Kommen Summenströme hinzu, verschärft sich das Problem um Grössenordnungen, vor allem bei den technischen Grenzwerten.

Das Beispiel in **Bild 4** verdeutlicht das Problem. Die Grafik zeigt, wie sich der Magnetfeldverlauf stark verändert, wenn ein Teil des Neutralleiterstroms



**Bild 2** Entstehung von Summenströmen im Netzsystem TN-C.

(hier 30 A) fehlt. Beispielsweise verschiebt sich im gezeigten Fall der AGW-Grenzwert von 2,5 m auf 5 m, von der Distanzverschiebung der technischen Grenzwerte gar nicht zu sprechen.

### Zusatzverluste

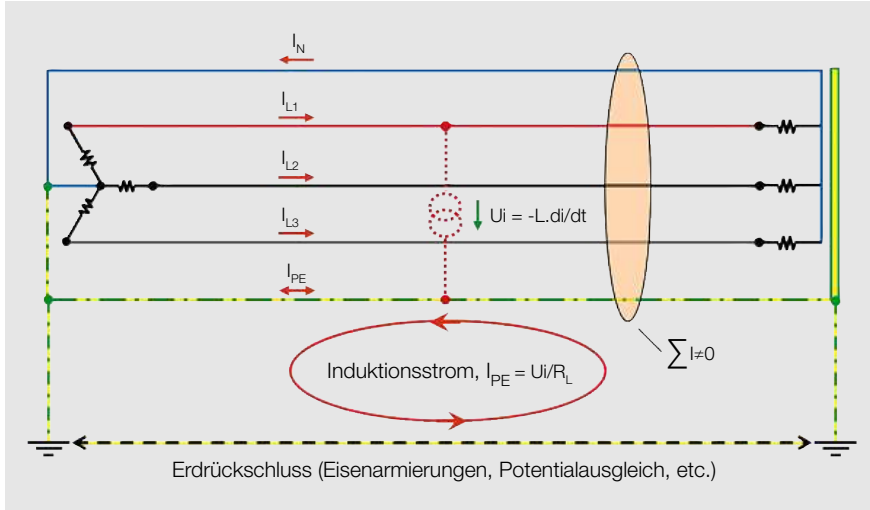
Der Wirkwiderstand einer 50-Hz-Starkstromleitung setzt sich zusammen aus dem Widerstandsbelag  $R'$  und dem Zusatzwiderstandsbelag  $\Delta R'$  (Skin- und

Proximityeffekt, Bild 5). Bei Einzelleitern und Schienensystemen erhöht sich  $\Delta R'$  um weitere 10–15%.

### Leiterüberhitzung

Wird bei Einzelleiterverbindungen pro Phase mehr als ein Leiter benötigt, verteilen sich die Leiterströme nicht wie erwartet gleichmässig, sondern als Folge der Schlaufenbildung stark unterschiedlich (Bild 6). Das gesamte Starkstromübertragungssystem darf wegen der Gefahr einer Leiterüberhitzung nicht mehr mit Nennstrom betrieben werden, sondern vielleicht noch mit 60–70%.

Im Beispiel in Bild 6 ist gut zu erkennen, dass sich die Transformatorenströme wegen den Schlaufenbildungen der doppelt geführten Leiter ungleich auf die Doppelleitungen verteilen. Nach dem Induktionsgesetz induziert jeder Schlaufenstrom eine Spannung in den Nachbarschleifen. Wegen der Schlaufenvielfzahl sind die Auswirkungen theoretisch schwierig zu bestimmen. Wie das Beispiel aus der Praxis zeigt, können diese massiv leistungshemmend sein. Bei genauer Betrachtung erkennt man zudem, dass die Addition der Teilströme nicht mehr mit dem Laststrom übereinstimmen muss. Wird die Leiterzahl erhöht, multipliziert sich das Problem, verursacht durch Einzelleiter- und Schienensysteme.



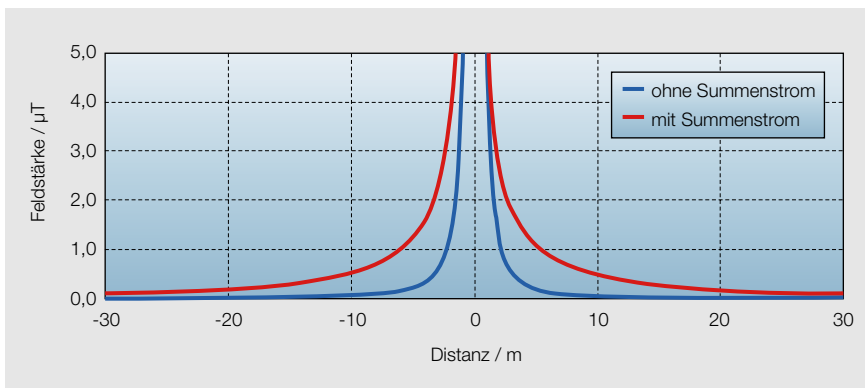
**Bild 3** Koppelspannung zwischen  $L_1$  und PE im Netzsystem TN-S.

Gesetzliche Grenzwerte	Frequenz (f)	Zulässige Feldstärke (B)
Immissionsgrenzwert (IGW)	50 Hz	100 $\mu\text{T}$
Vorsorgengrenzwert (AGW)	50 Hz	1 $\mu\text{T}$
<b>Technische Grenzwerte</b>		
Herzschrillmacher	50 Hz	15 $\mu\text{T}$
EEG und EKG	1 Hz – 100 Hz	0,2 $\mu\text{T}$ – 0,4 $\mu\text{T}$ pp
Rasterelektronenmikroskop	0,01 Hz – 2 kHz	0,1 $\mu\text{T}$ pp
Transmissionsmikroskop	0,01 Hz – 2 kHz	0,02 $\mu\text{T}$ pp

**Tabelle 1** Feldstärken-Grenzwerte.

Parameter	Einzelleiter parallel 4 x 1 x 185 mm <sup>2</sup> + 95 mm <sup>2</sup>	CFW PowerCable 4 x 185 mm <sup>2</sup> + 95 mm <sup>2</sup>
Prüfströme	$I_{L1} = 261 \text{ A}; I_{L2} = 260 \text{ A}; I_{L3} = 251 \text{ A}; I_N = 25 \text{ A}$	
	Vergleichswerte	
Feldstärke im Abstand von 1 m	2,4 $\mu\text{T}$	0,1 $\mu\text{T}$
Induktionsstrom in den PE	25,3 A	0,1 A
Verlustleistung des Kabelsystems	425 VA	397 VA
Zusatzverluste pro Meter Kabeltrasse	10–20 VA	0–1 VA
Belastung bei mehr als einem System	60–80%	100%

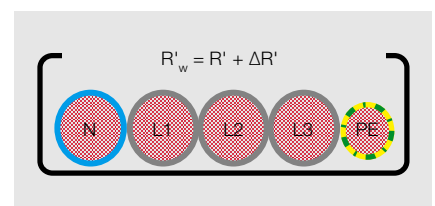
**Tabelle 2** Vergleich von Einzelleiter und CFW PowerCable.



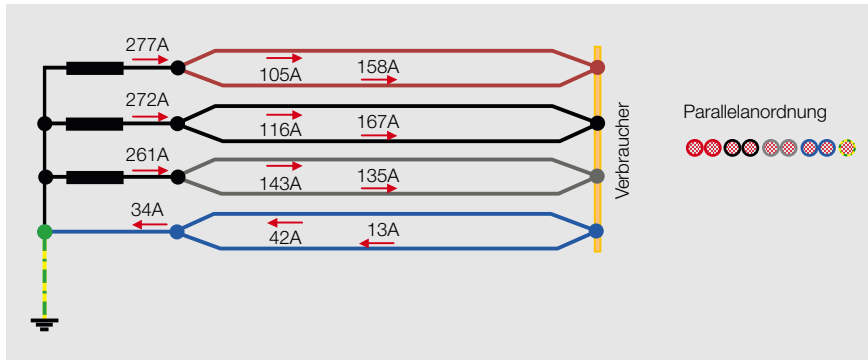
**Bild 4** Verlauf des magnetischen Feldes.  $I_{L1}=450 \text{ A}, I_{L2}=390 \text{ A}, I_{L3}=425 \text{ A}, I_N=52 \text{ A}$ ; Summenstrom=30 A.

### Massnahmen

Die hier beschriebenen und weitere, hier nicht aufgeführte Probleme können mit dem CFW PowerCable (Bild 7) auf pragmatische Weise ein für allemal gelöst werden. Die patentierte Idee besteht darin, dass die Aussenleiter ( $L_1, L_2, L_3, N$ ) optimal verseilt um den zentral geführten Schutzleiter angeordnet sind. Damit wird die magnetische Feldabstrahlung minimiert und die induzierte Schutzleiter-Spannung verschwindet vollständig. Somit entfallen die sonst unvermeidlichen Hysterese-, Wirbelstrom- und Summenstromverluste.



**Bild 5** Werden Einzelleiter in Stahltrassen verlegt, erhöht sich der Zusatzwiderstand  $\Delta R'$  infolge von Wirbelstrom-, Hysterese- und Summenstromeffekten um weitere 10–15%.



**Bild 6** Ungleiche Verteilung der Transformatorströme auf die Doppelleitungen.

Möglich wurde diese Kabelkonstruktion dank der Verwendung von extraweißen Litzen der Klasse 5 sowie modernen Isolationsmaterialien. Zudem schätzen Installateure diese Vorteile beim Verlegen und Anschliessen.

**Tabelle 2** bietet einen Überblick über die wichtigsten Merkmale im Vergleich zu Einzelleiter- und Schienensystemen. Die Vergleichszahlen sprechen für sich. Der Mehrpreis von 10–15% wird allein durch die deutlich geringeren Zusatzverluste schon nach kurzer Zeit amortisiert. Das CFW PowerCable leistet im Sinne der NISV bzw. der EMVU einen Mehrwert, der sich in Franken nicht beziffern lässt.

### Fazit

Bei Starkstromverbindungen in der Installation hat man die Probleme und negativen Folgen bei der Verwendung von Einzelleitern und Schienensystemen vollständig verkannt. Käme die Verordnung zum Schutz gegenüber nichtionisierender Strahlung (NISV) auch im Installationsbereich zur Anwendung, hätte dies weitreichende Konsequenzen.

In der sensiblen Medizintechnik sowie bei der Erstellung von Forschungs- und Entwicklungsstätten hat man die Problematik zwar erkannt, muss sich aber immer wieder mit zeitraubenden und teuren Massnahmen befassen. Mit dem Einsatz der PowerCable-Technologie von CWF als Starkstromverbindung vom Transformator bis zum Verbraucher gibt es eine effiziente, einfache und vergleichsweise kostengünstige Lösung aller NISV- und EMVU-Probleme.

Für grosse Ströme dürfen vorbehaltlos mehrere Kabel parallel geschaltet werden. Mit dem abgebildeten Konzept werden die Risiken und Nebenwirkungen in Bezug auf negative Auswirkungen von Starkstrominstallationen direkt beseitigt.

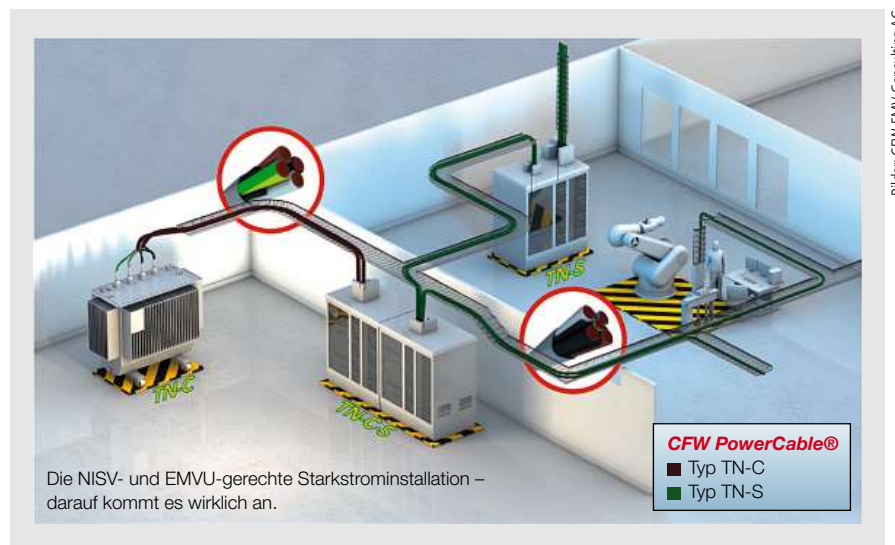
**Bild 8** zeigt, wie einfach eine NISV- bzw. EMVU-gerechte Starkstrominstallation ausgeführt werden kann, damit sowohl die gesetzlichen als auch die technischen Grenzwerte eingehalten werden. In der Elektrobiologie werden elektromagnetische Immissionen zudem mit gesundheitlichen Risiken in Verbindung gebracht. Fakt ist, dass in der Wohn- und Arbeitswelt teilweise enorme Aufwendun-

**Bild 7** Beim CFW PowerCable ist der Schutzleiter zentral geführt und die flexiblen, farbigen Aussenleiter verseilt um den Schutzleiter angeordnet.

gen getroffen werden müssen, um mit den negativen Auswirkungen der heutigen Installationspraxis leben und arbeiten zu können. Die Umsetzung der abgebildeten Massnahmen bereitet dem ein Ende.

### Autor

**Christian Fischbacher**, Geschäftsführer der CFW EMV-Consulting AG.  
CFW EMV-Consulting AG, 9410 Heiden  
ch.fischbacher@cfw.ch



**Bild 8** Ausführung einer NISV- bzw. EMVU-gerechten Starkstrominstallation.

### Résumé

#### Des installations à courant fort conformes à l'ORNI et à la CEME

##### Des mesures simples qui permettent de réaliser de nombreux objectifs

La distribution de courants élevés exige une planification consciencieuse, et ce, également en ce qui concerne la compatibilité électromagnétique de l'environnement (CEME). Depuis l'an 2000, l'Ordonnance sur la protection contre le rayonnement non ionisant (ORNI) fixe des valeurs limites relatives aux champs électromagnétiques. Les distributeurs d'énergie ont appris comment il est possible de réduire massivement les émissions des systèmes de transport et de distribution. La zone de l'installation, où l'ORNI ne s'applique pas (encore), fait l'objet d'un déficit important en ce qui concerne les liaisons à courant fort car des conducteurs individuels et des systèmes de rails sont utilisés. Plusieurs mesures simples, telles que l'usage de conducteurs de phase câblés de façon optimale autour d'un conducteur de protection central, permettent de réduire à un minimum le rayonnement de champs électromagnétiques. La tension induite du conducteur de protection disparaît complètement et les pertes dues à l'hystérésis, aux courants de Foucault et aux courants résiduels sont également supprimées. Au sens de la CEME, la technologie de câble à courant fort décrite apporte une valeur ajoutée qui ne se laisse guère chiffrer en francs. No