

Neutralleiterströme

Die steigende Zunahme der Gerätedichte, insbesondere verursacht durch die Häufung von Computern, Druckern usw., im Bürobereich hat zur Folge, dass sich die Netzbelastungen bei 5-Leiter-Systemen zu Ungunsten des Neutralleiters auswirken. In der Fachliteratur wird vermehrt auf diese Problematik und deren Ursachen hingewiesen. Diese liegen einerseits bei den Verbrauchern und andererseits bei den Mängeln in der Stromüberwachung. Wie sich diese aktuelle Thematik auf die Installationstechnik, Gerätequalität, Planung, Kontrolle usw. auswirkt, ist von grossem Interesse. Die im vorliegenden Beitrag beschriebenen Untersuchungen zeigen, wie die Strombilanzen bei Steckdoseninstallationen in einem Büroraum aussehen können und wie diese entstehen.

Martin Arnold/Henrik Lowack

Typische Büroeinrichtungen

In den letzten Jahren hat sich gezeigt, dass im Bürobereich mit der starken Zunahme an computergesteuerten Geräten eine entsprechende Verbreitung von Schaltnetzteilen stattgefunden hat. Diese Entwicklung wird, jedoch eher in abgeschwächtem Masse, in der Zukunft anhalten. Vom Einzelbüro bis hin zur grossflächigen Bürolandschaft werden pro Arbeitsplatz ein oder mehrere Geräte angeschlossen. Computer mit Bildschirm, Printer, Scanner, Fotokopierer usw. bestimmen mehr und mehr das Bild eines Büroarbeitsbereiches, vereinzelt aber auch kombiniert mit Arbeitsplatzbeleuchtungen, oder anderen Verbrauchern mit ohmschen Anteilen. Diese Geräte werden in den meisten Anwendungen über Steckdosensysteme an die elektrische Energieversorgung angeschlossen.

Bei der Planung von Bürobereichen werden vom Elektroplaner für den Energiebereich üblicherweise Mehrfachsteckdosen eingebaut in Brüstungskanäle oder bei Doppelböden in Anschlusskasten oder Tischanschlussboxen vorgesehen. Diese werden über ein Kabelsystem, bestehend aus Rund- und Flachkabeln, ab den Verteilanlagen als Gruppenleitungen eingespeist und in den meisten Fällen mit 16 A abgesichert. Die Anzahl Sicherungs-

gruppen wird in Abhängigkeit von Fläche, Raumform, Raumlagerung, Leistungsanforderungen usw. festgelegt.

Beim Bezug der Arbeitsplätze oder bei deren Umdisponierungen oder bei Arbeitsplatzweiterungen werden dann üblicherweise die am nächsten liegenden Steckdosen genutzt. Reichen die Steckerplätze bei diesen Dosen nicht aus, werden mit Mehrfachsteckern oder Steckdosenleisten zusätzliche Anschlussmöglichkeiten geschaffen, obwohl im Nahbereich von einigen Metern die nächste Steckdose vorhanden wäre. Dies hat zur Folge, dass die ursprünglich vorgesehene Anzahl PC oder ähnliche Verbraucher überschritten wird und dadurch der Neutralleiterstrom sich im 3-PhasenSystem in der Speiserichtung unkontrolliert aufsummieren kann.



Bild 1 Grossraumbüro in einer Industrieanlage.

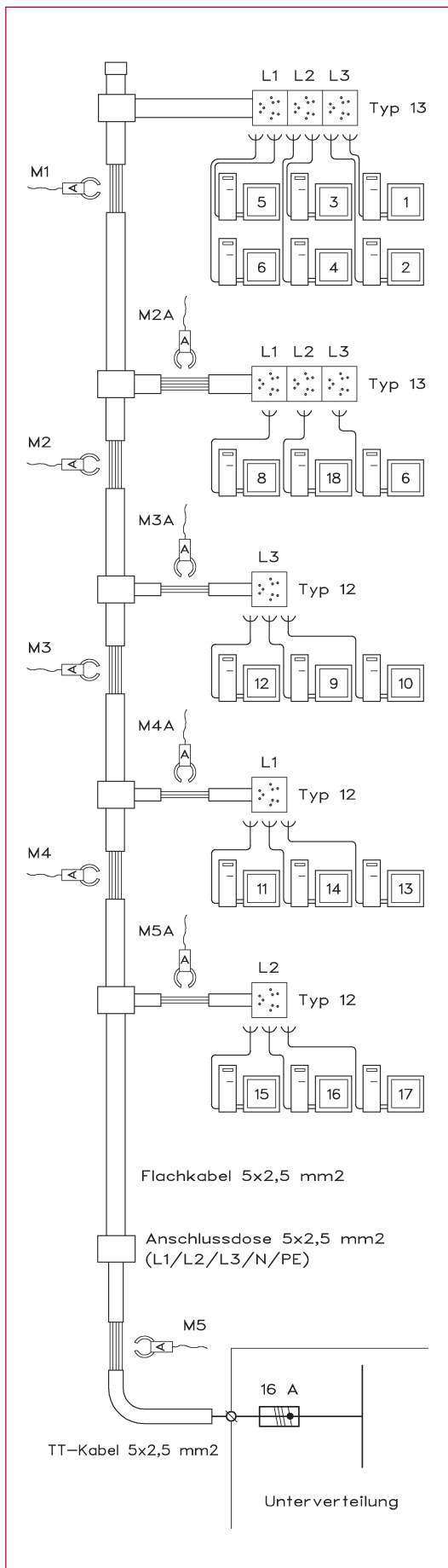


Bild 2 Prinzip Versuchsaufbau.

Die Frage steht im Raum, wie sich diese Situation in Anbetracht der typisch vorkommenden Schaltnetzteile mit pulsformigen Stromformen zeigt.

Vorschriften

In der Regel werden bei Büroeinrichtungen die Steckdosen über Gruppenleitungen von 2,5 mm² verkabelt und mit 16 A abgesichert. Es kommen dabei Steckdosen der Typen 12, 13 und 15 mit einer Nennstromstärke von 10 A zum Einsatz. Es werden vermehrt auch Steckdosen der Typen 23 und 25, die für einen Strom von 16 A bemessen sind, eingesetzt.

In der Niederspannungs-Installationsnorm (NIN 2000) ist in Bezug auf die Belastung der Steckdosen dazu festgehalten:

5.1.2.1 Betriebsbedingungen

2 Strom

1. Bei der Wahl der Betriebsmittel ist der im Normalbetrieb auftretende Betriebsstrom zu berücksichtigen. Die Betriebsmittel müssen ebenfalls den Strom führen können, der unter abnormalen Betriebsbedingungen während der durch die Ansprechennlinien der Schutzorgane bestimmten Dauer fließen kann.

2. Für ortsfest montierte Netzsteckdosen mit einer Nennstromstärke von 10 A darf die Nennauslösestromstärke des vorgeschalteten Überstromunterbrechers höchstens 16 A betragen.

3. Für ortsfest montierte Netzsteckdosen mit Nennstromstärken von mehr als 10 A darf die Nennauslösestromstärke des vorgeschalteten Überstromunterbrechers nicht grösser sein als die Nennstromstärke der Netzsteckdose.

Steckdosen Typ 12, 13 und 15 mit einer Nennstromstärke von 10 A dürfen maximal mit 16 A abgesichert werden. Steckdosen vom Typ 23 und 25 mit einem Nennstrom von 16 A dürfen nicht höher abgesichert werden.

Die Strombelastbarkeit der Kabel ist in 5.2.3.1.1.11 der NIN vorgegeben. Die Belastbarkeit steht in Abhängigkeit von der Verlegeart. Nach NIN 5.2.3.1.1.10 gelten bei Verlegung der Kabel in einem Hohlraum (z. B. Hohlboden von etwa 25 cm) oder in einem Brüstungskanal mit horizontalem Verlauf die Verlegearten B bzw. B2. Die Bestimmung der Querschnitte bzw. deren Strombelastbarkeit hat nach NIN 5.2.3.1.1.14 .1.–.3 zu erfolgen. Bei

der Durchführung der vorgegebenen Lösungsschritte führt das Resultat bei 16 A Nennstrom für ein oder zwei Stromkreise zu einem Querschnitt von 2,5 mm² Kupfer. Beträgt die Häufung mehr als zwei Stromkreise oder mehr als zwei mehradrige Kabel, so ist ein grösserer Querschnitt erforderlich oder die Absicherung ist zu reduzieren.

Neueste Untersuchungen zeigen, dass Flach- oder Rundkabel, wie sie in Kanalsystemen, in Doppelböden oder Hohldecken vorkommen, im Kurzschlussfall bei einer Nennauslösestromstärke von 16 A bis etwa 50 m Nutzlänge (Länge ohne Zuleitung), problemlos betrieben werden können. Bei Längen um die 100 m Nutzlänge ist beim Einsatz von Leitungsschutzschaltern mit der Charakteristik C auf eine tiefere Absicherung auszuweichen. Nutzlängen der Flach- oder Rundkabel >100 m sollten vermieden werden oder es ist eine alternative Lösung (z. B. Mitten- oder Mehrfacheinspeisung) zu wählen. (Die im vorstehenden Text genannten Leitungslängen gelten als durchschnittliche Richtwerte. Sie können je nach Netzbedingungen variieren.)

Untersuchungen an typischen Büroverkabelungen

Gestützt auf verschiedene Aussagen, dass Neutralleiterüberlastungen zu Schäden führen können, war es interessant zu erfahren, ob dies für konventionelle Büroverkabelungen mit Steckdosensystemen zutrifft und ab welchen Grössenordnungen dies zu Problemen führen kann. Es stand im Vordergrund an einer Gruppenleitung (3L/N/PE) die Stromverhältnisse zu durchleuchten. Auch war von Interesse, allfällige damit zusammenhängende Kabelerwärmungen in Erfahrung zu bringen.

Zu diesem Zweck wurden in einer Bürolandschaft ein Raum von etwa 7,5 × 32 m mit 14 Arbeitsplätzen (Bild 1), zwei Versuchsaufbauten mit verkabelten Steckdosen eingerichtet und daran 18 Computer inklusive CRT-Monitore angeschlossen. 18 PC-Einheiten wurden gewählt, weil sich dies an der Polleiterbelastbarkeit orientiert. Schritt für Schritt wurden die PC auf die drei Polleiter gleichmässig verteilt steckbar aufgeschaltet. Anschliessend wurde auch ein einphasig-



Bild 3 Zusätzliche PC-Einheiten (1–6).

Bild 4 Strommessungen

Bild 5 Oberschwingungsgehalte der PC-Ströme (PC + Monitor).

ger ohmscher Heizkörper mit 2000 W angeschlossen, um die Wirkung von 50-Hz-Verbrauchern, zu werten. Der Versuchsaufbau bestehend aus Rund- und Flachkabel, umfasste (Bild 2):

- Gruppenüberstromunterbrecher von 16 A (3L/N/PE) in einer Unterverteilung.
- TT-Speisekabel $5 \times 2,5 \text{ mm}^2$ mit Übergang (Anschlussdose/Adapter

$5 \times 2,5 \text{ mm}^2$, bemessen für 16 A) auf ein Flachkabel $5 \times 2,5 \text{ mm}^2$.

Die Nutzlänge des Kabels (Flachkabel) betrug 38 m. Zwei Flachkabel-Anschlussdosen/Adapter $5 \times 2,5 \text{ mm}^2$, bemessen für 16 A mit je einem Anschlusskabel $5 \times 2,5 \text{ mm}^2$ mit einer Länge von 1 m, und daran angeschlossen je 3×3 -fach-Steckdosen Typ 13, eingebaut in einer Bodenanschlussdose. L1, L2 und L3 waren je auf eine 3-fach Steckdose verdrahtet.

- 3 Flachkabel-Anschlussdosen/Adapter $5 \times 2,5 \text{ mm}^2$, bemessen für 16 A mit je einem Anschlusskabel $3 \times 2,5 \text{ mm}^2$ mit einer Länge von 1 m und daran angeschlossen je eine 3-fach-Steckdose Typ 12. L1, L2 und L3, waren je auf eine 3-fach-Steckdose durchgeschaltet.
- 18 Computer mit CRT-Monitoren auf die 5 Anschlusseinheiten verteilt und gesteckt angeschlossen, wobei auf L1, L2 und L3 je 6 PC-Einheiten entfielen.

Es wurden die vorhandenen Arbeitsplatz-Computer inkl. Monitore verwendet. Um zusätzliche Belastungen erhalten zu können, wurden noch weitere PC-Einheiten (1–6) im Grossraumbüro platziert und angeschlossen (Bild 3).

Die Verkabelung der Versuchsaufbauten war so vorbereitet, dass an allen Knoten Strommessungen vorgenommen werden konnten (siehe Messstellen M1–M5 und M2A–M5A in Bild 2 Versuchsaufbau).

Der Versuchsaufbau mit Rundkabeln (TT) war sinngemäss aufgebaut. Es wurden daran jedoch nur einzelne Strommessungen (bei 18 PC + Heizkörper) durchgeführt, weil die Stromverteilung grundsätzlich gleich ist. Für die Messungen (Bild 4) kam ein Digitalspeicher-OSZilloskop Yokogawa DL-1740 zum Einsatz. Sample-

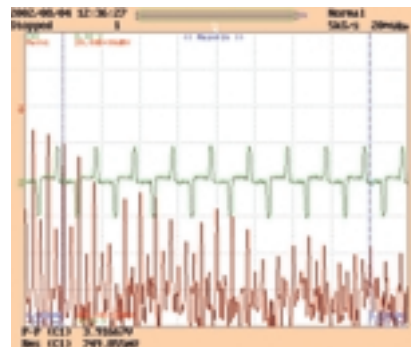


Bild 6 Typische Stromaufnahme der untersuchten PC; horizontal: 250 Hz/Gitterabstand, vertikal: 10 dBA/Gitterabstand ($I_{\text{RMS}} = 10^{I/20}$)

Rate: 5 kSamples/s, Power-Spektrum (FFT):

1 kWords, Hanning-Fenster, RMS-Messfenster: 160 ms, Kopplung: AC. Als Stromzangen wurden LEM PR30 und PR 1030 verwendet.

Auf das interne ZIP-Laufwerk wurden die kompletten Datensätze abgespeichert, sodass offline die Kurvenformen zur Auswertung zur Verfügung standen. Aus den Datensätzen konnten sämtliche Amplituden, einschliesslich diejenigen der Oberschwingungen, herausgelesen werden.

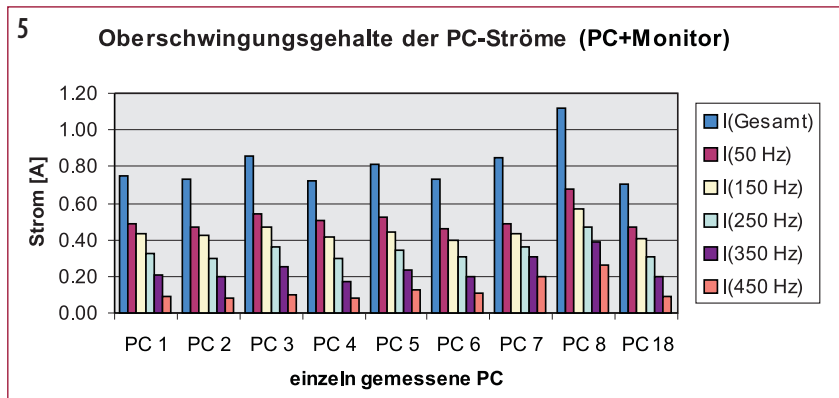
Ergebnisse

Zunächst wurden an einzelnen PC inkl. Monitor die Ströme gemessen. Die Resultate sind in Bild 5 zusammengestellt. Dort sind die Oberschwingungsanteile der Pulsströme gut sichtbar. Das typische Zeitsignal (Pulsströme) und Spektrum (alle Oberschwingungen) eines der 18 PC zeigt das Oszillogramm Bild 6.

Beim Betrieb der PC im 3-Phasensystem überlagern sich im Neutralleiter erwartungsgemäss die durch 3 teilbaren ungeradzahligten Oberschwingungen. Die entsprechenden Spektren bei 3, 6, 9 und 18 PC gehen aus den 4 Oszillogrammen in Bild 7 hervor.

Der Neutralleiterstrom wird bei symmetrischer Belastung hauptsächlich durch die beiden Oberschwingungsanteile 150 Hz und 450 Hz bestimmt, wobei der 150-Hz-Anteil klar dominiert. Die Überlagerung der Oberschwingungen 150 Hz, 450 Hz, usw. und deren Effekt wird in Bild 8 veranschaulicht.

Da bei den Messungen mit 12 und 15 PC die Belastung um 3 PC nicht symmetrisch war, entstanden deutli-



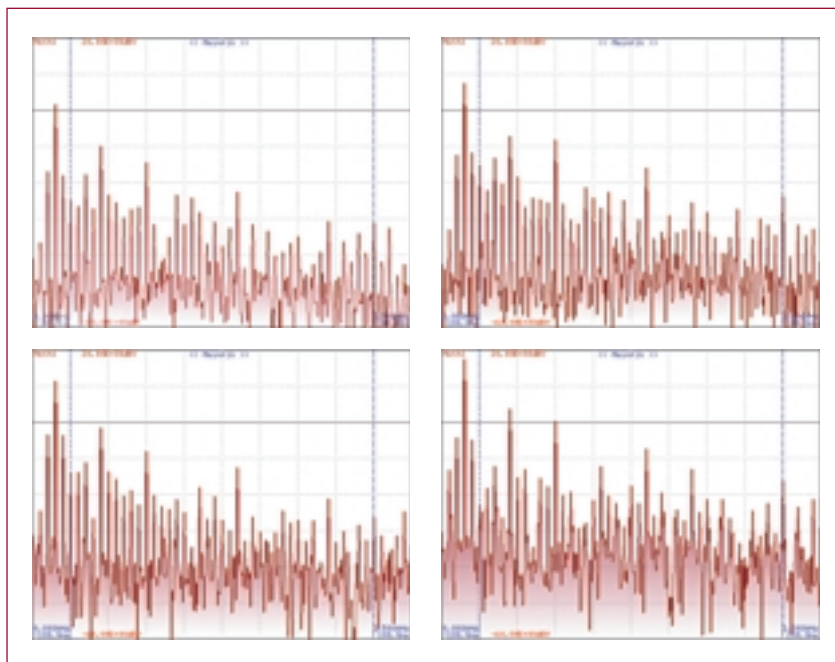


Bild 7 Neutralleiterspektren bei 3, 6, 9 und 18 PC (Messstellen M1, M2, M5); horizontal: 250 Hz/Gitterabstand, vertikal: 10 dBA/Gitterabstand, 0 dBA ist bei der horizontalen durchgezogenen Linie.

che, wenn auch geringe 50-Hz-Anteile (Messstellen M3, M4). Der Strom im Neutralleiter des 5-Leiter-Kabels steigt linear mit der Anzahl PC an.

Von Interesse war auch ein Faktor, der besagt, welcher Neutralleiterstrom zu erwarten ist, wenn die Polleiterströme symmetrisch sind und die Verbraucher die besagten Pulsströme aufnehmen. Aus der Grafik in Bild 9 lässt sich ein solcher Faktor eruieren. Darin sind die Polleiter- und Neutralleiterströme dargestellt bei 1×3 PC, 2×3 PC, 3×3 PC und 6×3 PC bei symmetrischer Aufteilung auf die drei Polleiter.

Typische Polleiterströme bei 3 und 6 PC sind aus den beiden Oszillo-

grammen in Bild 10 ersichtlich. Daraus lässt sich erkennen, dass auch die summierten Pulsströme von 6 PC den gleichen qualitativen Verlauf zeigen wie der Pulsstrom eines einzelnen PC. Bild 11 zeigt zusammenfassend die relativen Verhältnisse der Stromanteile in L3 bei 1, 3 und 6 PC.

Bei 6×3 PC betrug der Faktor zwischen Polleiter- und Neutralleiterstrom 1,75. Das heisst, der Neutralleiterstrom war 1,75-mal höher als der mittlere Polleiterstrom.

In der Grafik (Bild 9) wird bewusst auf eine noch grössere Anzahl PC linear extrapoliert, um zu zeigen, dass für die Bestimmung der Belastbarkeit (Nennauslösestromstärke) des Ver-

brauchersystems, überwiegend bestehend aus pulsstrombeziehenden Geräten, die Neutralleiterbelastung mitberücksichtigt werden muss.

Abschliessend wurde der Fall betrachtet, wo zusätzlich zu den 18 PC eine grosse ohmsche Last auf einen Polleiter aufgeschaltet wird. Als ohmsche Last wurde ein 2000-W-Heizkörper eingesetzt (Bild 12). Die Strombilanzen sind in der Tabelle 1 eingetragen. Bei den Messungen der Ströme stellte man fest, dass jetzt der Polleiter den höheren Strom führt.

Die Stromaddition bewirkt im Effektivwert nicht die gleiche Steigerung wie beim Polleiter, weil im Neutralleiter der 150-Hz-Anteil stark dominiert. Hingegen sind die 50-Hz- und 150-Hz-Anteile beim Polleiter etwa gleich. Nur gleichfrequente Anteile dürfen gewöhnlich addiert werden. Also müssen zunächst die Effektivwerte der 50-Hz- und 150-Hz-Anteile für Pol- und Neutralleiter bestimmt werden. Diese können den Spektren (Bild 13) entnommen werden. Die beiden Frequenzanteile sind über die Wurzel aus der Quadratsumme der beiden Anteile zu bilden.

$$I_{Gesamt} = \sqrt{\left(\sum I_{50}\right)^2 + \left(\sum I_{150}\right)^2}$$

Die Berechnung der Gesamtströme kann so gemäss Tabelle 1 auf verschiedene Wege erfolgen. Hier ein möglicher Weg für die Gesamtstromberechnung aus den einzelnen 50 Hz- und 150 Hz-Teilströmen:

$$I(L1)_{Gesamt} = \sqrt{(2,92 \text{ A} + 9,3 \text{ A})^2 + (2,4 \text{ A} + 0,25 \text{ A})^2} = 12,5 \text{ A}$$

Die Messungen wurden bei einer Umgebungstemperatur von 29 °C ± 1 °C durchgeführt.

Bei beiden Versuchsaufbauten wurde bei Volllast (inkl. Heizkörper) auch die Temperatur an der Zuleitung gemessen. Bei beiden Kabeln schwankte die Oberflächentemperatur zwischen 31–32 °C. Diese Abweichung ist auch eine Folge der Kabelkonstellationen

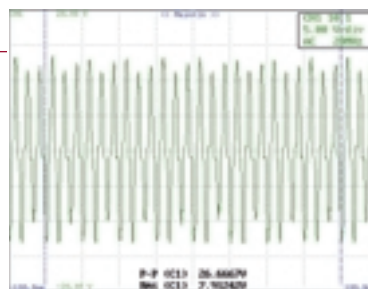
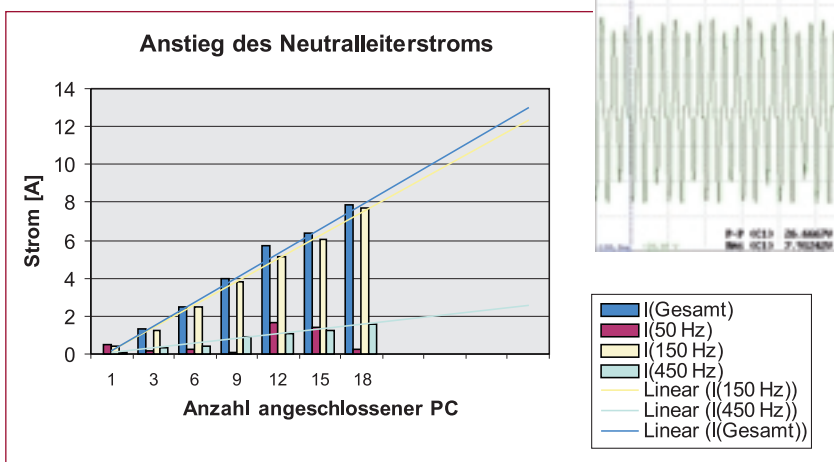


Bild 8 Neutralleiterstromverhalten in Abhängigkeit der angeschlossenen PC. Das Oszillogramm zeigt dazu den typisch beobachteten Zeitverlauf des Neutralleiterstroms bei symmetrischer Belastung; horizontal: 20 ms/Gitterabstand, vertikal: 5 A/Gitterabstand.

und deren Anordnung. Es wurde ein Messgerät Fluke 52 verwendet.

Der gesamte Neutralleiterstrom (beim Einspeisepunkt) konnte erwartungsgemäss auch beim Rundkabelsystem verifiziert werden. Geringe Abweichungen waren auf schwankende Leistungsaufnahmen einzelner PC zurückzuführen.

Bei der praxisnahen Untersuchung konnten an den Kabeloberflächen keine bedeutenden Temperaturerhöhungen gemessen werden. Vertiefte Temperaturuntersuchungen können nur bei höheren Strömen durchgeführt werden und bedürfen labormässiger Aufbauten.

Interpretation/Diskussion

Die angeschlossene Anzahl von 18 PC (mit einer Absicherung von 16 A) bei

den beiden Versuchsaufbauten (siehe dazu Bild 2; Prinzipschema für den Versuch mit Flachkabel) kann durchaus als treffende Grössenordnung betrachtet werden. Dies stimmt auch bezüglich der Leistungsaufnahme. Es gibt aber auch Anlagen, bei denen 25 PC-Einheiten angeschlossen sind. In solchen wird die Neutralleiterbelastbarkeit gemäss Vorschrift immer noch nicht erreicht.

Aus Erfahrung kann gesagt werden, dass die aufgetretenen Oberschwingungsgehalte einer Grössenordnung entsprechen, die auch in der neueren Fachliteratur angeführt wird. Es ist aber durchaus möglich, dass mehrere PC vom gleichen Typ wie PC 8 (Bild 14) an einer Gruppenleitung angeschlossen werden. Dies ist zum Beispiel aktuell bei leistungsstarken PC,

Stromanteile [A]	ohne Heizkörper	Heizkörper	mit Heizkörper
I(L1) Gesamt	4,42	9,32	12,6
I(N) Gesamt	7,91	9,32	12,0
I(L1) 50 Hz	2,92	9,3	12,1
I(N) 50 Hz	0,22	9,3	9,5
I(L1) 150 Hz	2,4	0,25	2,63
I(N) 150 Hz	7,5	0,25	7,7

Tabelle 1 Strombilanz des Messaufbaus (18 PC + Heizkörper).

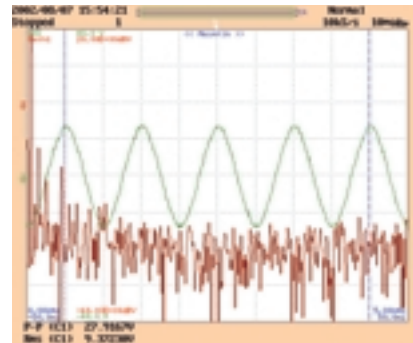


Bild 12 Stromaufnahme des Heizkörpers; horizontal: 500 Hz/Gitterabstand, vertikal: 10 dBA/Gitterabstand.

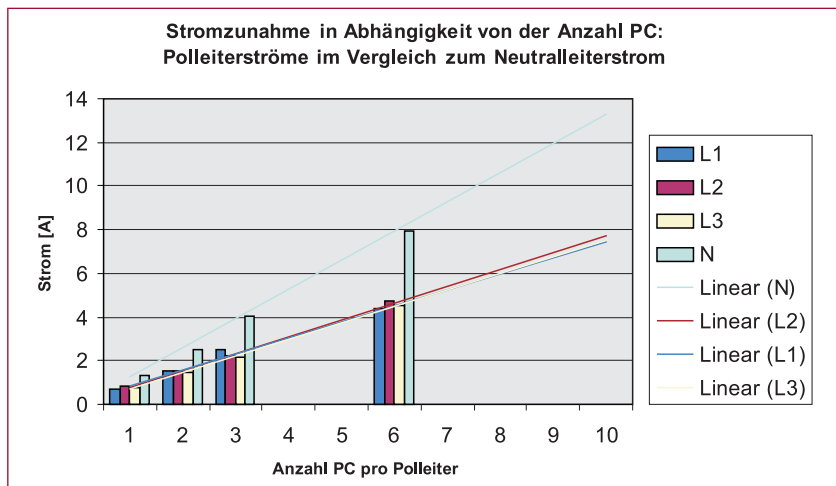


Bild 9 Stromaufnahme in Abhängigkeit von der Anzahl PC pro Polleiter.

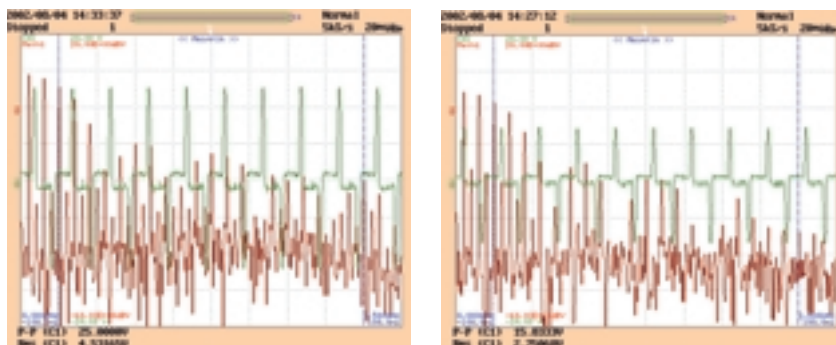


Bild 10 Polleiterströme von 3 und 6 PC (Messstellen M1, M5); horizontal: 250 Hz/Gitterabstand, vertikal: 10 dBA/Gitterabstand.

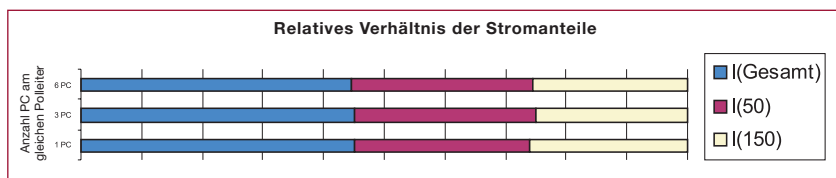


Bild 11 Relatives Verhältnis der Stromanteile in L3 bei 1, 3, und 6 PC (Messstellen M1, M2, M5).

wie sie bei CAD-Arbeitsplätzen eingesetzt werden. Es muss davon ausgegangen werden, dass der Oberschwingungsgehalt bzw. der Neutralleiterstrom entsprechend erhöht wird. Falls die 18 untersuchten PC die Charakteristik von PC 8 aufweisen würden, müsste mit einer Gesamtstromerhöhung von etwa 30% gerechnet werden.

Kommen zu den Pulsstromverbrauchern noch ohmsche Verbraucher hinzu, resultieren höhere Polleiterströme, sodass der Unterschied zwischen Pol- und Neutralleiterstrom geringer wird oder der Polleiter den höheren Strom führt.

Moderne PC werden zunehmend mit kompensierenden Netzteilen versehen. Durch zusätzliche Elektronik wird eine pulsförmige Stromaufnahme verhindert. Es resultiert ein sinusähnlicher Stromverlauf mit wesentlich geringeren Oberschwingungen (Bild 15). Die negativen Effekte im Neutralleiter können somit nicht mehr entstehen. In Büroverkabelungen mit solchen optimierten Schaltnetzteilen führen die Neutralleiter deutlich geringere Ströme als die Polleiter.

Aufgrund der möglichen erhöhten Neutralleiterströme auf Büro-Gruppenkabeln muss in den Verteilteilun-

gen die Neutralleiterdimensionierung gemäss NIN 4.7.3.3.2 erfolgen. Für einen Neutralleiterschutzz kann präventiv auch eine Überwachung eingesetzt werden.

Auch wenn ein Kabel kurzzeitig überlastet wird (die Vorgaben gemäss NIN vorausgesetzt), kann dies zu keinen Temperaturerhöhungen führen, die Schäden verursachen. Die normierte Belastbarkeitsgrenze ist so tief angesetzt, dass bei den vorgegebenen Absicherungen die Temperaturreserven noch ausreichend hoch sind.

Installationsgrundsätze

In Anlagen, in welchen nicht im Voraus bekannt ist, welche Arten von Verbrauchern zum Einsatz gelangen, werden üblicherweise Steckvorrichtungen installiert. Für Installationen im Bürobereich kann das in der heutigen Zeit als Regel betrachtet werden. Dies lässt eine freizügige Verwendung der Energieverbraucher zu.

Die Installationstechnik wird sich in den nächsten Jahren wiederum verändern und weiterentwickeln. Tendenzen zeigen, dass die Neutralleiterbelastungsproblematik nicht auf dem heutigen Level verbleiben wird. Um dieser Problematik entgegenwirken zu können, müssen zukünftig ver-

Neutralleiterströme im 5-Leiter-System

Neutralleiterströme werden durch das Zusammenwirken der Verbraucher im Dreiphasensystem bestimmt. Verkabelungen, Kabelkonstruktionen und Anschlüsse haben keinen Einfluss darauf.

Netzteile mit *pulsförmiger Stromform* erzeugen – symmetrisch verteilt im Dreiphasensystem – zum Teil starke Neutralleiterströme.

Netzteile mit *sinusähnlicher Stromform* erzeugen – symmetrisch verteilt im Dreiphasensystem – sehr geringe Neutralleiterströme.

Die am häufigsten verbreiteten 230-V-Netzteile sind Schaltnetzteile, welche pulsformige Ströme aufnehmen. Solche Stromverläufe haben einen starken Oberschwingungsgehalt. Mit anderen Worten, zu der Grundschiwingung von 50 Hz kommen auch harmonische Schwingungen mit $n \times 50$ Hz hinzu. Aufgrund der zeitlichen Symmetrie der Pulsströme sind die entstehenden Harmonischen immer ungeradzahlig Vielfache von 50 Hz. Diese Harmonischen, im Weiteren Oberschwingungen genannt, können je für sich alleine angesehen, als Sinusschwingungen betrachtet werden. Somit kann der Pulsstrom als Summe von einzelnen Sinusschwingungen unterschiedlicher Frequenz und Amplitude dargestellt werden.

Im Dreiphasensystem ergeben sich unterschiedliche Konstellationen mit entsprechenden Stromkompensierungen wie auch Stromüberlagerungen. Entscheidend sind die Phasenlagen der jeweils zusammengeschalteten Verbraucher. Das Grundgerüst der Phasenlagen bilden die drei um 120° verschobenen Polleiterspannungen. An diesen Bezugsphasenlagen orientieren sich alle Ströme der Verbraucher. Folglich orientieren sich auch sämtliche Stromüberschwingungen daran.

Wenn überschwingungserzeugende Verbraucher in einem Dreiphasensystem betrieben werden, sind die ungeradzahlig Oberschwingungen, die durch 3 teilbar sind, in Phase. Die dritte Oberschwingung hat eine «Periodenlänge» vom 120° , die neunte 40° usw. Dies hat unmittelbare Konsequenzen für den Neutralleiter, wo diese Ströme der einzelnen Polleiter aufeinandertreffen und sich addieren.

Der vorliegende Beitrag zeigt ein durchgemessenes Praxisbeispiel, bei dem an einer Gruppenleitung nur Büro-PC angeschlossen sind. Diese bestimmen die stationäre Hauptlast. Verbraucher, die nur zeitweise Strom beziehen (insbesondere Kopiergeräte, Laserprinter usw.) wurden bewusst nicht mitgemessen, um Stromschwankungen zu vermeiden. Die Oberschwingungsanteile solcher Verbraucher sind mit den PC vergleichbar.

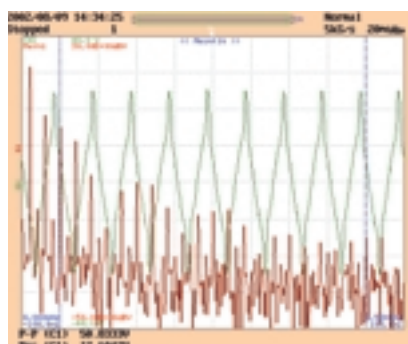
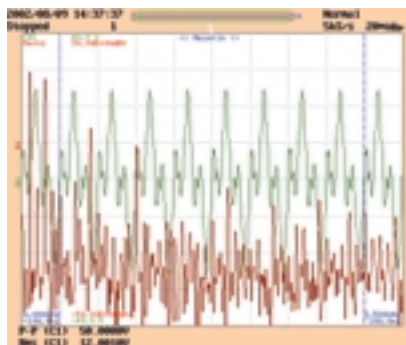


Bild 13 Polleiterstrom (L1) und Neutralleiterstrom am Einspeisepunkt (Messstelle M5) bei 18 PC und Heizkörper (2000 W); horizontal: 250 Hz/Gitterabstand, vertikal: 10 dBA/Gitterabstand.

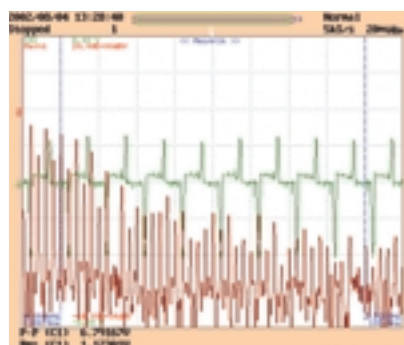


Bild 14 Typische Stromaufnahme eines PC mit Grossbildschirm; horizontal: 250 Hz/Gitterabstand, vertikal: 10 dBA/Gitterabstand.

mehrt gewisse Grundsätze beachtet werden.

- Bei der Planung von Energieversorgungseinrichtungen im Bürobereich ist die Anzahl der Gruppenleitungen in einem genügenden Masse zu konzipieren. Nutzleitungslängen von 50 m mit $2,5 \text{ mm}^2$ und einer Absicherung von 16 A sind eine realistische Grössenordnung. Werden Längen um die 100 m installiert, so sind in

der Regel Kompromisse wie höhere Querschnitte oder kleinere Absicherungen notwendig. Gegebenfalls ist auf Mitten- oder Mehrfacheinspeisungen auszuweichen.

- Es ist damit zu rechnen, dass die Pulsstrom erzeugenden Netzteile von PC-Systemen trotz zunehmender Verbesserungen einzelner Hersteller auch in der näheren Zukunft auf dem Markt bleiben. Aus diesem Grunde ist es weiterhin notwendig, die im 5-Leiter-System (3L/N/PE) entstehenden Neutralleiterströme zu berücksichtigen (Bild 9).

Die aus der Leistungsaufnahme resultierende maximale Anzahl angeschlossener PC (total 27–36 Einheiten, bzw. 9–12 pro Polleiter je nach Leistungsaufnahme) stellt dazu auch für die Praxis eine Grenze (Machbarkeitsgrenze bezüglich örtlicher Platzverhältnisse) dar.

- Pulsstrom erzeugende Netzteile (Bild 6) tragen zur Erhöhung der Neutralleiterströme bei. Bei der zu-

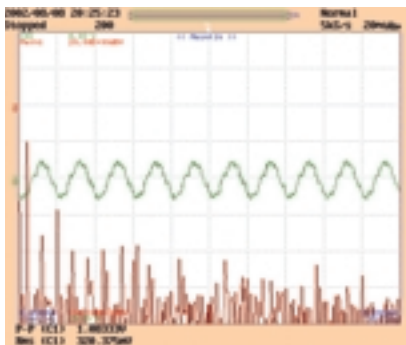


Bild 15 Sinusähnliche Stromaufnahme eines modernen PC ohne Monitor; horizontal: 250 Hz/Gitterabstand, vertikal: 10 dBA/Gitterabstand.

künftigen Gerätebeschaffung sollte vermehrt auf die Qualität der Netzteile geachtet werden. Es ist vorteilhaft, solche mit einer sinusähnlichen Stromform einzusetzen (PFC-Netzteile). Es ist zu empfehlen, bei der Beschaffung von Geräten diese Tatsache zu beachten. Dank dem stark reduzierten Oberschwingungsgehalt können beim Einsatz solcher Geräte die Absicherungen voll zum Tragen kommen.

Durch die in einer Büroumgebung vorhandenen Verbraucher mit ausgeprägten 50-Hz-Anteilen wird der Faktor Neutralleiterstrom/Polleiterstrom noch zusätzlich verringert.

- Wird ein Flachkabelsystem mit Adaptern eingesetzt, dann sind nur die dazu konzipierten Anschlüsselemente zu verwenden. Vermischungen verschiedener Produkte/Systeme können Störungen oder Schäden zur Folge haben.

Dies gilt im Wesentlichen auch für Rundkabelsysteme. Da es für Rundkabel eine Vielzahl von Herstellern bzw. Lieferanten gibt, ist hier der Produktequalität besondere Beachtung zu schenken.

- Bei der Installation von Rund- oder Flachkabelsystemen mit Anschluss-elementen/Adaptern sind klare Ausführungsanweisungen (Leitungsführungen, Anordnung der Anschlussstellen, Gruppeneinteilungen usw.) erforderlich. Um die Qualität der Installationen sicherzustellen, sollten diese z.B. entsprechend ISO 9000 ausgeführt werden.

- Anhand der gemessenen Werte und der daraus abgeleiteten Überlegungen kann festgestellt werden, dass diskutierte Schadenfälle nicht alleine auf Neutralleiterüberlastung, sondern auf ein ungünstiges Zusammenwirken verschiedener Problemkreise (Planungsfehler, Installationsmängel, Beschädigungen usw.) zurückzuführen sind.

Die Entstehung der Neutralleiterströme wird durch das Zusammenwirken der Verbraucher im Dreiphasensystem bestimmt. Verkabelungen, Kabelkonstruktionen und Anschlüsse haben keinen Einfluss darauf.

Unter Berücksichtigung der in diesem Bericht ausgeführten Darlegungen und Aspekte bietet die Verkabelung sowohl mit Rund- oder Flachkabeln im Bürobereich keine Probleme.

ET 08

**Martin Arnold und Henrik Lowack
Arnold Engineering und Beratung
Wallisellerstrasse 75
8152 Opfikon/Glattbrugg
www.arnoldeub.ch**

Martin Arnold ist Gründer und Inhaber der Arnold Engineering und Beratung, Opfikon ZH. Er befasst sich mit der Beratung, Prüfung und Optimierung in sämtlichen EMV-Belangen des installationstechnischen Bereiches.

Henrik Lowack ist Mitarbeiter bei Arnold Engineering und Beratung. Er befasst sich mit der EMV und den damit zusammenhängenden Problemen in messtechnischen Belangen wie sie bei elektrischen Installationen und Anlagen anzutreffen sind.

ARNOLD

ENGINEERING UND BERATUNG
EMV-, EMP-Schutztechnik

Wallisellerstrasse 75
Postfach 1204
CH-8152 Opfikon / Glattbrugg
Telefon 01/828 15 51
Telefax 01/828 15 52
arnoldeub@swissonline.ch
www.arnoldeub.ch