

# Netzqualitätsmessungen an Abzweigleitungen für Steckdosen

## Anwendungsbericht

Viele Netzqualitätsprobleme werden auf der Ebene der Abzweigleitungen zu den Steckdosen und Verbraucher offensichtlich. Dafür gibt es einen einfachen Grund: Auf dieser Ebene sind die meisten empfindlichen Lasten (und empfindlichen Mitarbeiter) zu finden. Zudem endet hier die elektrische Anlage. Mängel können nicht mehr verborgen werden. Angenommen, Sie sollen ein Problem lösen. Sie haben bereits mit den beteiligten Personen gesprochen und verfügen über eine ungefähre Vorstellung von den Symptomen (Geräteaussetzer, intermittierende Fehler, Resets oder Abstürze usw.) und so viel wie möglich Informationen über das Timing und den Verlauf der Probleme. Jetzt müssen konkrete Fakten gesammelt werden. Es ist an der Zeit, Messungen vorzunehmen.

Der Schwerpunkt bei der Fehlersuche in der Ebene der Steckdosen und Verbraucher ist die Bestimmung, ob die verfügbare Spannung zwischen Phase und Neutralleiter (L-N) genügend stabil ist und ob die Amplitude für die Erfüllung der Anforderungen der Last(en) ausreicht.

### Messung

#### 1. Signalform

Die Signalform liefert schnelle Informationen auf einen Blick. Eine ideale Signalform wäre eine Sinuswelle. In diesem Fall (siehe Abbildung 1) ist die Spannungssignalform nach oben abgeflacht, was typisch für Gebäude mit vielen nicht-linearen Lasten wie PCs und anderen Bürogeräten ist (siehe Abbildung 2). Anhand der weiteren

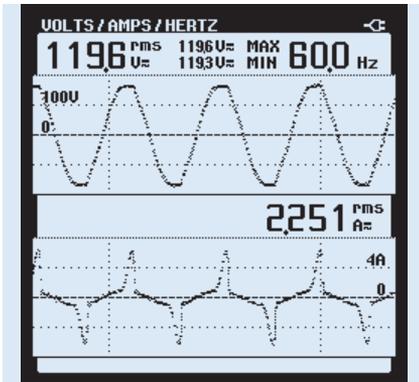


Abbildung 1: Signal mit abgeflachter Spitzenspannung

Messungen lässt sich bestimmen, ob die Abflachung nach oben zu stark ist.

#### 2. Spitzenspannung

Der Spitzenwert ist für elektronische Lasten entscheidend, da bei elektronischen Stromversorgungen die internen Kondensatoren auf den Spitzenwert der Netzspannung aufgeladen werden. Wenn der Spitzenwert zu niedrig ist, können die Kondensatoren evtl. nicht voll geladen werden, und die Fähigkeit der Stromversorgung, kurze Netzspannungseinbrüche zu überbrücken, wird beeinträchtigt. Bei einer Effektivspannung von 115 V beträgt der Spitzenwert  $1,414 \times 115 \text{ V} = 162,6 \text{ V}$ , wenn die Signalform sinusförmig ist. Wie gerade bei der Spannung mit abgeflachten Spitzen gezeigt, ist die Signalform in der Realität keineswegs sinusförmig und hat einen niedrigeren Spitzenwert.

#### 3. Effektivwert der Spannung

Zu einer Wechselgröße gibt der Effektivwert denjenigen Wert einer Gleichgröße an, die an einem ohmschen Verbraucher dieselbe Energie umsetzt. Nennspannungen von Geräten werden als Effektivwert (nicht als Spitzenwert) angegeben, da der Effektivwert ein Maß für die Energie ist, die aufgenommen wird.

Die Effektivspannung kann zu hoch oder zu niedrig sein, in der Regel werden Probleme aber durch zu niedrige Spannungen verursacht. Eine zu niedrige Effektivspannung zusammen mit abgeflachten Spitzen ist eine gefährliche Kombination für empfindliche Lasten.

Der Spannungsabfall hängt vom Strom, der durch die Last fließt, und von der Impedanz der Zuleitung ab, d. h. faktisch von der Länge und vom Durchmesser der Leitung. Im NEC (210-19.a, FPN Nr. 4) wird ein Grenzwert für den Spannungsabfall zwischen dem Leistungsschalter und der am weitesten entfernten Steckdose von 3 % und ein Spannungsabfall einschließlich Versorgungsleitung und Abzweigleitung von nicht mehr als 5 % empfohlen (NEC = National Electrical Code, in den USA üblicher Standard für Elektroinstallationen).

#### 4. Aufzeichnung (kurzzeitig)

Die Aussagekraft der oben angegebenen Messung ist durch ihren statischen Charakter beschränkt. Viele Lasten erfordern beim ersten Einschalten mehr Strom (Einschaltstrom oder Anlaufstrom). Dieser kurzzeitig hohe Strom kann wegen des zusätzlichen Spannungsabfalls in den Leitern eine kurzzeitig niedrige Spannung (Spannungseinbruch) verursachen. Derartige Spannungseinbrüche werden oft durch Lasten verursacht, deren Einschaltströme in der gleichen Abzweigleitung oder über die gleiche Unterverteilung fließen.

Die Messung des Spannungseinbruchs Spannungsabfalls im ungünstigsten Fall mit einer Dauer von mindestens 100 ms (etwa 5 Perioden bei 50 Hz) kann mit der Min/Max-Funktion eines Digitalmultimeters, z. B. Fluke 87V oder Fluke 287/289 während des Einschaltens der Last erfolgen. Wie können wiederkehrende Spannungseinbrüche gemessen werden? Die durchgängige Erfassung von Spannungseinbrüchen ist mit der Trenddarstellungsfunktion

Tabelle 1: Messungen an Abzweigleitungen für Steckdosen

Spannungsmessungen	Beachten	Messgerät
1. Signalform	Signalform der Spannung mit Verzerrung anschauen	43B, 434, 435
2. Spitzenspannung	Übermäßig abgeflachte Spitzenspannung	43B, 434, 435 Digitalmultimeter mit Spitzenwertmessung Min/Max
3. Effektivspannung	Zu niedrige Effektivspannung (Dauerzustand oder intermittierende bzw. zyklische Spannungseinbrüche)	43B, 434, 435, 1750 (Spannungseinbrüche/Spannungserhöhungen) Digitalmultimeter (Min/Max)
4. Aufzeichnung (kurzzeitig)	Spannungseinbrüche, Spannungserhöhungen, Unterbrechungen, während das Messgerät vor Ort bleibt (typische Aufzeichnungszeit 4 Minuten bis 1 Stunde)	43B, 434, 435, 1750 (Spannungseinbrüche/Spannungserhöhungen oder Transienten)
5. Aufzeichnung (langfristig)	Spannungseinbrüche, Spannungserhöhungen, Spannungseinbrüche, Transienten	VR1710, 1740-Serie, 1750, 1760
6. Neutralleiter/Schutzleiter	Spannung zwischen Neutralleiter und Schutzleiter zu hoch (oder fast 0)	43B, 434, 435 Digitalmultimeter

„Sags & Swells“ (Spannungseinbrüche und -erhöhungen) eines Netz- und Stromversorgungsanalysators Power-Analysators möglich. Eine Aufzeichnungsdauer zwischen vier Minuten und einer Stunde (also zwischen einer Tasse Kaffee und einer Mittagspause) kann ausreichen, um festzustellen, ob wiederkehrende Spannungsschwankungen vorliegen.

**5. Aufzeichnung (langfristig)**

Für längere Aufzeichnungen können mit dem Spannungsereignis-Recorder Fluke VR1710 Spannungseinbrüche, Spannungserhöhungen, Spannungsausfälle, Transienten und Frequenzabweichungen aufgezeichnet werden, während das Gerät an die Steckdose angeschlossen ist. Das Gerät kann mehrere Tage bis Monate lang vor Ort verbleiben und unbeaufsichtigt intermittierende Ereignisse aufzeichnen (Datenpuffer für 175.000 Ereignisse). Jetzt wird deutlich, warum es so wichtig ist, die Benutzer dazu anzuhalten, ein Fehlersuchprotokoll zu führen. Die Korrelation zwischen Gerätefehlfunktionen und Spannungsereignissen ist ein stichhaltiger Beweis für ein Netzqualitätsproblem.

**6. Spannung zwischen Neutralleiter und Schutzleiter**

Angenommen, Sie messen an der Steckdose zwischen Phase und Neutralleiter einen zu niedrigen Wert. Sie können keine Aussage darüber treffen, ob der Messwert deshalb zu niedrig ist, weil die Spannung an der Unterverteilung zu niedrig ist, oder weil die Abzwegleitung überlastet ist. Sie könnten versuchen, die Spannung an der Verteilung zu messen. Es ist aber nicht immer problemlos möglich festzustellen, von welcher Verteilung die gemessene Steckdose mit Strom versorgt wird. Außerdem ist der Zugang zu einer Verteilung mitunter unbequem.

Die Messung der Spannung zwischen Neutralleiter und Schutzleiter ist oft der einfachere Weg, die Belastung eines Stromkreises zu messen. Wenn im Stromkreis Strom fließt, entsteht ein bestimmter Spannungsabfall im spannungsführenden Leiter und im Neutralleiter. Wenn der spannungsführende Leiter und der Neutralleiter den gleichen Querschnitt und die gleiche Länge haben, ist der Spannungsabfall

in beiden gleich groß. Der gesamte Spannungsabfall an beiden Leitern wird von der Quellenspannung subtrahiert. Die an der Last verfügbare Spannung ist um diesen Betrag kleiner als die Quellenspannung. Je größer die Last ist, desto höher ist der Strom, und desto höher ist die Spannung zwischen Neutralleiter und Schutzleiter.

Die Spannung zwischen Neutralleiter und Schutzleiter kann man sich als das „Spiegelbild“ der Spannung zwischen Phase vorstellen: Wenn die Spannung zwischen Phase und Neutralleiter niedrig ist, ist die Spannung zwischen Neutralleiter und Schutzleiter entsprechend höher (siehe Abbildung 4).

**Signale mit abgeflachte Spitzenspannung**

Die Signalform mit abgeflachten Spitzen ist typisch für die Spannung in einem Geschäftsgebäude mit vielen PCs. Wodurch wird dieses Phänomen verursacht?

Das Energieversorgungsunternehmen liefert Wechselspannung, elektronische Geräte werden jedoch mit Gleichspannung betrieben. Die Umwandlung von Wechselspannung in Gleichspannung erfolgt durch eine Stromversorgung. Diese enthält einen Brückengleichrichter, der Wechselspannung in eine pulsierende Gleichspannung umwandelt, mit der dann ein Kondensator geladen wird. Über die Last wird dem Kondensator Ladung entnommen, und der Kondensator wird wieder aufgeladen. Der Kondensator wird jedoch nur vom Spitzenwert der Welle geladen, da nur zu diesem Zeitpunkt die angelegte Spannung höher als die Kondensatorspannung ist. Der Kondensator zieht impulsweise Strom bei jedem Halbzyklus-Spitzenwert der gelieferten Spannung. Dies geschieht mit praktisch allen elektronischen Lasten im Stromkreis. Nachdem verdeutlicht worden ist, was die Lasten von der Quelle fordern, soll jetzt näher beleuchtet werden, was die Quelle liefern kann.

Wenn die Quelle vollkommen „starr“ wäre, d. h. beliebig hohe Ströme ohne Spannungsverringerng liefern könnte, gäbe es keine abgeflachten Spitzen (oder Spannungseinbrüche bzw. Spannungsverzerrungen). Man kann sich das so vorstellen: Wenn man unendlich

viel Geld besäße, würde das Bezahlen der Rechnungen nicht weh tun. In der Realität hat die Fähigkeit einer Quelle, hohe Ströme zu liefern jedoch praktische Grenzen. Dieser Grenzwert wird in der Regel mit dem Prinzip der so genannten Quellenimpedanz beschrieben. Dabei handelt es sich um die gesamte Impedanz vom Messpunkt (bzw. dem Punkt, an dem sich die Last befindet) zurück zur Quelle. Zur Quellenimpedanz tragen hauptsächlich zwei Faktoren bei. Der erste Faktor ist die Verdrahtung. Je länger der Leiter und je kleiner dessen Durchmesser ist, desto höher ist die Impedanz. Der zweite Faktor ist die Innenimpedanz des Transformators (bzw. anderer Quellen). Diese Innenimpedanz drückt aus, dass ein Transformator einer bestimmten Größe bzw. Spezifikation nur einen bestimmten Strom liefern kann.

Die Quellenimpedanz ist am Ende der Abzwegleitung (dem am weitesten von der Quelle entfernten Punkt) am höchsten. Dies ist auch der Punkt, an dem alle elektronischen Lasten am Spitzenwert der Spannungswelle Strom ziehen. Dadurch wird der Spannungsspitzenwert nach unten gezogen (abgeflacht). Das kann man mit der Situation vergleichen, dass alle zu bezahlenden Rechnungen am gleichen Tag des Monats eintreffen. Je mehr Lasten vorhanden sind (je mehr Rechnungen eintreffen), desto stärker ist die Abflachung der Spitzen. Je größer die Quellenimpedanz ist (je weniger Bargeld vorhanden ist), desto stärker ist die Abflachung der Spitzen.

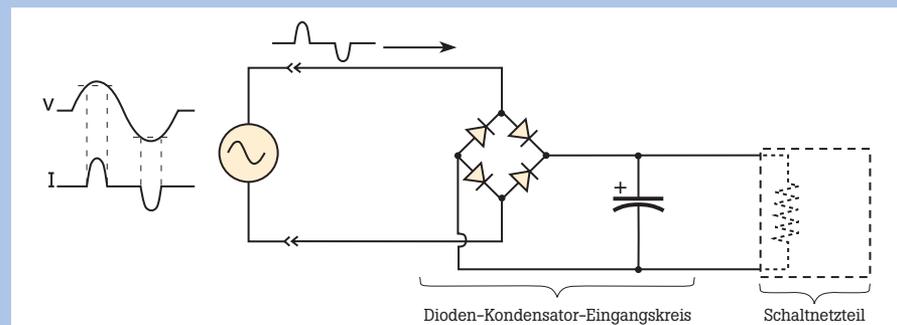


Abbildung 2: Spannung mit abgeflachten Spitzen

## Anmerkungen zur Messung der Spannung zwischen Neutralleiter und Schutzleiter an der Steckdose

1. Eine häufig angewendete Faustregel besagt, dass die Spannung zwischen Neutralleiter und Schutzleiter an der Steckdose nicht mehr als 2 V betragen sollte. Eine höhere Spannung zeigt Überlastung an, 5 V gelten als Obergrenze. Bei dieser Messung ist natürlich ein gewisser Ermessensspielraum vorhanden.
2. Ein *hoher Messwert* kann auf einen für mehrere Abzweigungen gemeinsam genutzten Neutralleiter hindeuten. Durch diesen gemeinsamen Neutralleiter wird eine Überlastung und die Beeinflussung durch andere Stromkreise wahrscheinlicher.
3. In Stromkreisen mit hoher Last ist eine Spannung zwischen Neutralleiter und Schutzleiter normal. Wenn der Messwert stabil und nahe 0 V ist, kann in der Steckdose oder an der Unterverteilung eine unzulässige Verbindung zwischen Neutralleiter und Schutzleiter vorliegen (oft durch lose Neutralleiterdrähte, die einen Erdungspunkt berühren). Alle Verbindungen zwischen Neutralleiter und Schutzleiter mit Ausnahme der an der Transformatorquelle (und/oder an der Hauptverteilung) sind zu entfernen, um Rückströme durch die Schutzleiter zu verhindern.
4. Wenn die Spannung zwischen Neutralleiter und Schutzleiter an der Steckdose niedrig ist, ist alles in Ordnung. Wenn die Spannung zwischen Neutralleiter und Schutzleiter an der Steckdose hoch ist, muss bestimmt werden, ob das Problem hauptsächlich auf der Ebene der *Abzweigung* oder der *Verteilung* liegt. Wenn davon ausgegangen wird, dass es in den dazwischenliegenden Verteilungen und Steckdosen keine unzulässigen Verbindungen zwischen Neutralleiter und Schutzleiter gibt, führt Ihre „Messleitung“ für den Schutzleiter bis zur Quelle zurück, so dass die Spannungsabfälle bis zur Quelle gemessen werden.

Die Spannung zwischen Neutralleiter und Schutzleiter entsteht durch den Spannungsabfall am Neutralleiter durch den zur Verbindung zwischen Neutralleiter und Schutzleiter zurückfließenden Strom. Wenn das System ordnungsgemäß verdrahtet ist, dürfen außer am Quellentransformator (laut NEC die Quelle des separat abgeleiteten Systems, in der Regel ein Transformator) keine Verbindungen zwischen Neutralleiter und Schutzleiter vorhanden sein. In dieser Situation darf im Schutzleiter praktisch kein Strom fließen und somit an ihm auch keine Spannung abfallen. Der Schutzleiter steht faktisch als eine lange Messleitung zurück bis zur Verbindung zwischen Neutralleiter und Schutzleiter zur Verfügung.

### Gemeinsam benutzte Neutralleiter

Einige Gebäude sind so verdrahtet, dass für zwei oder drei Phasen ein einziger Neutralleiter verwendet wird. Die ursprüngliche Absicht war, die Vierleiterverdrahtung der

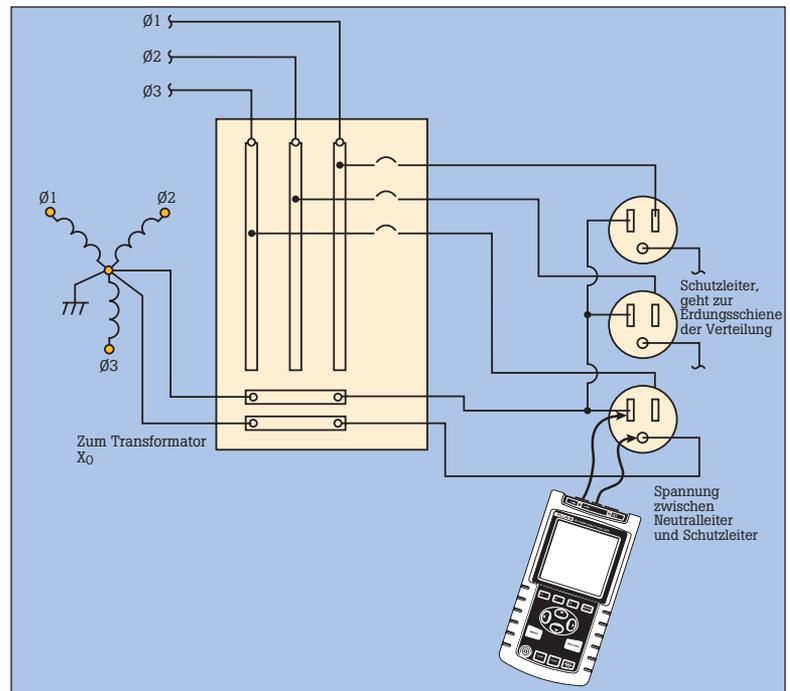


Abbildung 3: Bei gemeinsam benutztem Neutralleiter steigt die Spannung zwischen Neutralleiter und Schutzleiter.

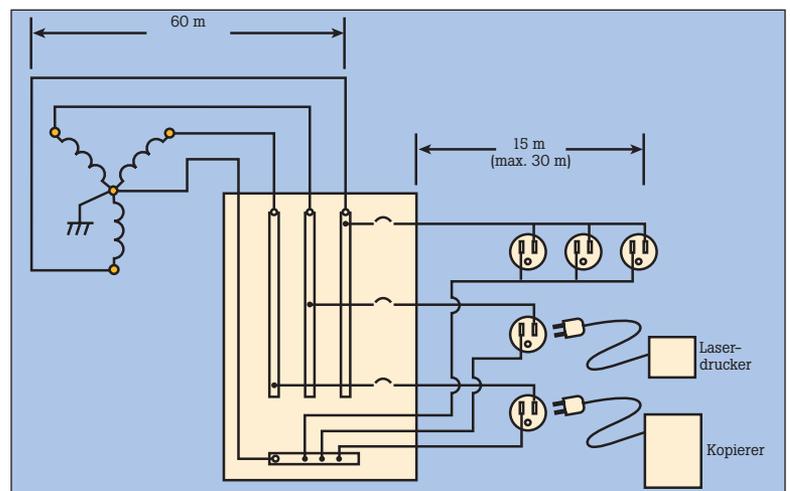


Abbildung 4: Die Spannung zwischen Neutralleiter und Schutzleiter steigt bei höherem Laststrom

Unterverteilung (drei Phasen und ein Neutralleiter) auf der Ebene der Abzweigungen nachzubilden. Theoretisch fließt im Neutralleiter nur der Strom zurück, der durch Unsymmetrie zwischen den drei Phasen auftritt. Dadurch kann ein Neutralleiter für drei Phasen verwendet werden. Diese Verdrahtungsvereinfachung wurde mit der Zunahme der nicht-linearen einphasigen Lasten schnell zur Sackgasse. Das Problem besteht darin, dass die Oberschwingungen, die von nicht-linearen Lasten erzeugt werden (hauptsächlich dritte Oberschwingung), arithmetisch addiert und über den Neutralleiter

zurückgeführt werden. Durch die Überhitzung eines zu schwach bemessenen Neutralleiters besteht hier nicht nur ein potenzielles Sicherheitsproblem. Der zusätzliche Neutralleiterstrom erhöht auch die Spannung zwischen Neutralleiter und Schutzleiter. Es ist zu beachten, dass diese Spannung zwischen Neutralleiter und Schutzleiter von der an der Last verfügbaren Spannung zwischen Phase und Neutralleiter subtrahiert wird. Wenn Sie jetzt das Gefühl haben, dass gemeinsam benutzte Neutralleiter eine der schlechtesten Ideen sind, die jemals in der Praxis implementiert worden sind, dann trägt Sie Ihr Gefühl nicht.

## Lösungen

### Leistungsgerechte Verdrahtung im Vergleich mit den Mindestanforderungen gemäß Vorschrift

Jeder erfahrene Techniker, der Störungen in Energienetzen sucht, weiß, dass die Ursachen für die meisten Probleme im Gebäudeleitungsnetz (einschließlich des Erdungssystems) zu finden sind. Eine hohe Netzqualität hängt von einer hochwertigen Verdrahtung ab. In der Industrie wird dies als leistungsgerechte Verdrahtung bezeichnet (siehe Tabelle 2). Durch eine leistungsgerechte Verdrahtung soll insbesondere die Spannung zwischen Phase und Neutraleiter an der Last aufrechterhalten bzw. wiederhergestellt werden. Es ist zwischen „leistungsgerechter Verdrahtung“ und den „Mindestanforderungen gemäß Vorschrift“ zu unterscheiden. Im NEC sind die absoluten Mindestanforderungen für Verdrahtungen festgelegt, wobei hauptsächlich der Brandschutz und die Sicherheit des Personals im Vordergrund stehen. Der NEC muss selbstverständlich immer eingehalten werden. Gleichzeitig muss jedoch klar sein, dass der NEC nicht das Ziel verfolgt, Normen für die Erzielung einer optimalen Netzqualität festzuschreiben. In vielen Gebäuden kann es sich jedoch auszahlen, eine leistungsgerechte Verdrahtung zu installieren oder sogar nachzurüsten. Ein erfahrener Techniker hat es einmal so ausgedrückt: „Wenn jedes Gebäude mit einer leistungsgerechten Verdrahtung ausgestattet wäre, könnte ich meinen Beruf an den Nagel hängen. Dieser Fall wird aber mit Sicherheit nicht in absehbarer Zeit eintreten“.

### Power Conditioning

In manchen Situationen können auch an den Steckdosen installierte Power Conditioner (Leistungskonditionierer) zur Verbesserung der Netzqualität eine sinnvolle Lösung sein. Das kann entweder als Ergänzung zu Verdrahtungsänderungen oder als eine wirtschaftlich sinnvolle Alternative zu bestimmten Verdrahtungsänderungen erfolgen.

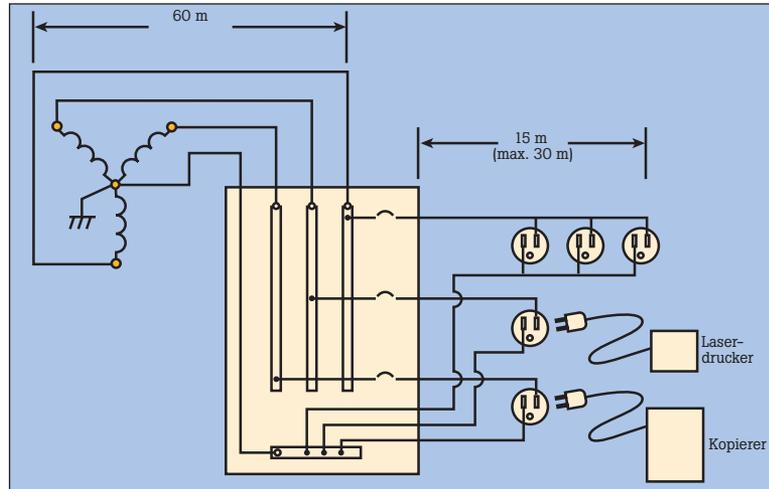


Abbildung 5: Leistungsgerechte Verdrahtung

**Tabelle 2: Vorschläge für die leistungsgerechte Verdrahtung von Abzweigungen**

Empfehlung	Grund
Auf lockere Verbindungen überprüfen.	Das Nächstliegende wird oft übersehen.
Gemeinsam benutzte Neutraleiter beseitigen. In neuen Anlagen für jede Abzweigung separate Neutraleiter verlegen.	Wechselwirkungen zwischen den Lasten und die Quellenimpedanz minimieren.
Die Anzahl der Steckdosen pro Abzweigung auf drei begrenzen.	Die Belastung und die Wechselwirkungen zwischen den Lasten minimieren.
Die Länge von 230-V-Abzweigungen auf 15 bis maximal 30 m begrenzen.	Die Quellenimpedanz minimieren.
Spezielle Abzweigungen für PCs, Laserdrucker und -kopiergeräte installieren. Spezielle Stromkreise in gesonderten Kabelkanälen führen.	Betroffene Lasten und Verursacherlasten getrennt halten. Kabelkanäle verhindern eine Kopplung zwischen den Stromkreisen.
Separate Schutzleiter installieren (unabhängig von der Kabelkanalverbindung).	Sicherstellen, dass die Schutzleiter immer eine geringe Impedanz zum Erdpotenzial aufweisen.
Alle Verteilungen, Leistungsschalter und Steckdosen beschriften.	Damit wird die Netzqualität zwar nicht unmittelbar verbessert, aber es erleichtert den Störungssuchern und Installateuren die Arbeit.

**Fluke. Damit Ihre Welt intakt bleibt.**

**Fluke Deutschland GmbH**  
 In den Engematten 14  
 79286 Glottertal  
 Telefon: (069) 2 22 22 02 00  
 Telefax: (069) 2 22 22 02 01  
 E-Mail: info@de.fluke.nl  
 Web: www.fluke.de

**Beratung zu Produkteigenschaften und Spezifikationen:**

Tel.: (07684) 8 00 95 45

**Beratung zu Anwendungen, Software und Normen:**

Tel.: 0900 1 35 85 33

(€ 0,99 pro Minute aus dem deutschen Festnetz,

zzgl. MwSt., Mobilfunkgebühren können abweichen)

E-Mail: hotline@fluke.com

**Fluke Vertriebsgesellschaft m.b.H.**

Liebermannstraße F01  
 A-2345 Brunn am Gebirge  
 Telefon: (01) 928 95 00  
 Telefax: (01) 928 95 01  
 E-Mail: info@as.fluke.nl  
 Web: www.fluke.at

**Fluke (Switzerland) GmbH**

Industrial Division  
 Hardstrasse 20  
 CH-8303 Bassersdorf  
 Telefon: 044 580 75 00  
 Telefax: 044 580 75 01  
 E-Mail: info@ch.fluke.nl  
 Web: www.fluke.ch

© Copyright 2004 Fluke Corporation. Alle Rechte vorbehalten.  
 Gedruckt in den Niederlanden 10/2004. Änderungen vorbehalten.  
 Pub\_ID: 11599-ger