

Der Dreh mit dem Drehstrom

Durch geschicktes Nutzen der Phasenverschiebung elektrische Wechselfelder minimieren

Mit der Netz-Wechselspannung der elektrischen Hausinstallation (230 V, 50 Hz) sind entsprechende elektrische Wechselfelder verbunden. Die Messung dieser Wechselfelder und der von ihnen beeinflussten Körperspannung am Menschen gehört zu den Routineaufgaben der baubiologischen Meßtechnik, ebenso wie die Erarbeitung von fundierten Sanierungsvorschlägen für die untersuchten Bereiche. Dabei genügt es häufig nicht, denjenigen Stromkreis, der das untersuchte Zimmer versorgt, einfach mit einem Netzfreischalter auszurüsten. Denn die im abgeschalteten Zustand verbleibenden elektrischen Restfelder und Körperspannungen liegen oft noch im Bereich der starken Anomalie ($> 5V/m$ bzw. $100mV^{(1)}$) und nicht selten sogar der extremen Anomalie ($> 50V/m$ bzw. $1000 mV^{(1)}$). Bisher wird kaum beachtet, daß es sich hier um elektrische Mehrphasensysteme handelt, was jedoch von grundlegender Bedeutung für das Verständnis der Feldentstehung und für einfache, aber wirkungsvolle Sanierungsmaßnahmen ist.

Eine Phase kommt selten allein

Auch wenn vom Sicherungskasten die meisten Leitungen als Einphasen-Leitungen²⁾ in die verschiedenen Räume abzweigen: Das Energieversorgungsunternehmen liefert uns die elektrische Energie über ein Dreiphasennetz - das sogenannte Drehstromnetz - in's Haus. An den drei "heißen Leitern" liegen gleich große, sinusförmige Spannungen an, die zeitlich um jeweils 1/3 ihrer Schwingungsdauer gegeneinander verschoben sind und als "Phasen" L1, L2 sowie L3 bezeichnet werden ("L" für Leiter). Die Phasen haben gegenüber dem geerdeten Nullleiter (Bezeichnung "N") jeweils eine Spannungshöhe von 230 V (Effektivwert).

Dieser technische Zusammenhang läßt sich in Form von phasenverschobenen Sinuskurven graphisch darstellen, wobei diese Graphik mit drei ineinander gezeichneten Schwingungen recht unübersichtlich wird. Viel übersichtlicher und in der Elektrotechnik gebräuchlich ist die Darstellung mit Zeigerdiagrammen, die wir in einer etwas vereinfachten Form benutzen wollen. Das Zeigerdiagramm eines Dreiphasennetzes ist aus Bild 1 ersichtlich. Der Nullleiter N entspricht dem Mittelpunkt; die Phasen L1, L2 und L3 werden durch die drei Zeiger repräsentiert. Die Phasenwinkel zwischen den Zeigern betragen $360^\circ/3 = 120^\circ$; man bezeichnet dies

auch als Phasenverschiebung von jeweils 120° . Die Zeigerlängen sind proportional zur Höhe (= dem Betrag) der Spannungen.

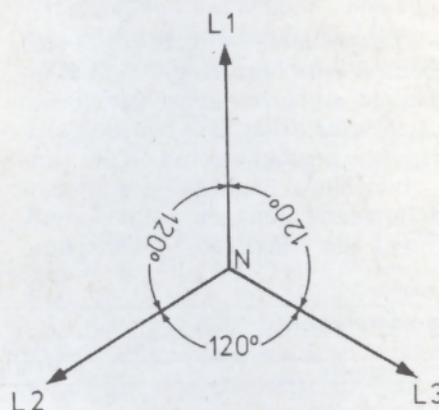


Bild 1: Zeigerdiagramm der Spannungen des Dreiphasennetzes (Drehstromnetz)

Die folgenden Betrachtungen gelten gleichermaßen für elektrische Netz-Wechselspannungen, die damit verbundenen elektrischen Wechselfelder und die hiervon beeinflussten Körperspannungen. Wegen ihrer Bedeutung für die baubiologische Meßpraxis konzentrieren wir uns auf die Körperspannungen.

$$x + x = x ?$$

Die von den verschiedenen Phasen hervorgerufenen Körperspannungen überlagern sich. Nehmen wir einmal an, daß zwei Phasen über ihre elektrischen Felder am Untersuchungsort zwei Körperspannungen hervorrufen, die betragsmäßig

gleich groß sind (L1 und L2 in Bild 2). Ihre Überlagerung entspricht im Zeigerdiagramm einer geometrischen Addition. Hierzu wird durch Parallelverschiebung ein Zeiger so positioniert, daß sich sein Anfang an der Spitze des anderen Zeigers befindet, wobei die Zeigerrichtungen und -längen nicht verändert werden. In Bild 2 ist L2 parallel nach oben verschoben und dort gestrichelt dargestellt. Nach dieser Methode erhalten wir als geometrische Summe einen resultierenden Zeiger (strichpunktiert) mit dem gleichen Betrag wie die beiden ursprünglichen (weil in diesem speziellen Fall die drei Zeiger ein gleichseitiges Dreieck bilden) und einem Phasenwinkel von 60° .

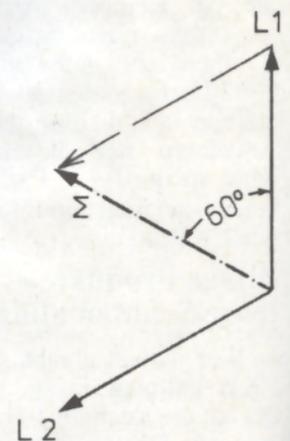


Bild 2: Addition von zwei phasenverschobenen Spannungen im Zeigerdiagramm

Dieses überraschende Ergebnis zeigt die Bedeutung der Phase! Mißt man nur die Beträge der Körperspannungen, so scheint sich durch die Ad-

dition gegenüber den Einzelspannungen nichts geändert zu haben. Es wird der Anschein erweckt, als habe gar keine Addition stattgefunden. Erst wenn man die Phase mit betrachtet, sieht man, was wirklich gesehen ist.

Dieser Zusammenhang ist von großer praktischer Bedeutung, wenn man den umgekehrten Weg geht und die Addition aufhebt. In der Praxis bedeutet dies, eine der beiden Phasen im Sicherungskasten abzuschalten. Dann scheint diese Abschaltung nämlich überhaupt nichts oder nur wenig zu bewirken. Gleiches gilt für die zweite Phase. In Wirklichkeit starke vorhandene Felder können damit leicht als unbedeutend angesehen werden. Erst die Abschaltung beider Phasen führt zum Verschwinden oder zur drastischen Reduzierung des Feldes und der Körperspannung. Mit der Kenntnis dieser Zusammenhänge erklärt sich bereits ein Teil des manchmal "seltsamen Verhaltens" der Körperspannung beim Schalten der Sicherungen.

Wo etwas verschoben wird, kann auch was verschwinden

Eine Besonderheit des Drehstromnetzes mit seinen drei gegeneinander verschobenen Phasen ist von großer Bedeutung für Maßnahmen zur Feldminimierung. Dieses Netz hat nämlich die Eigenschaft, daß sich seine Spannungen zu Null addieren, wenn sie symmetrisch sind; d.h. wenn die Winkel zwischen den Phasen gleich groß sind ($360^\circ/3 = 120^\circ$) und die Beträge der drei Spannungen jeweils gleich groß

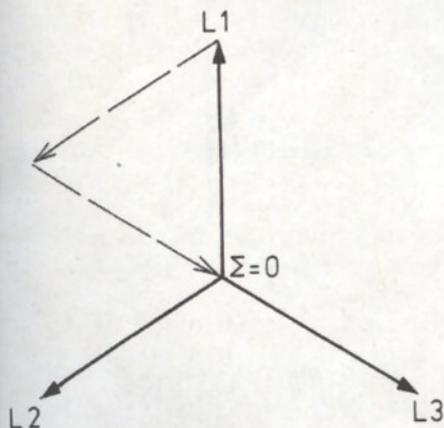


Bild 3: Addition von drei phasenverschobenen Spannungen im Zeigerdiagramm

sind. Symmetrie der Netzspannung liegt so gut wie immer vor. Und wo symmetrische Netzspannungen zu symmetrischen E-Feldern führen, resultieren auch symmetrische Körperspannungen, die sich gegenseitig aufheben. Bild 3 zeigt die geometrische "Addition zu Null" durch Parallelverschiebung im Zeigerdiagramm.

Generell gilt, daß die Addition von Sinusschwingungen gleicher Frequenz wieder eine Sinusschwingung dieser Frequenz ergibt, wobei resultierender Betrag und Phasenwinkel sich ändern können. Bei symmetrischen Komponenten (symmetrisch nach Betrag und Phase) ergibt sich der Sonderfall, daß der Betrag zu Null wird und verschwindet.

Das Drehstromkabel: Eingebaute Symmetrie

Soweit zum theoretischen Hintergrund. In der Praxis gelingt die Feldkompensation des Drehstromnetzes um so besser, je näher die drei Leiter beieinander liegen. Beim Drehstromkabel hängt der Abstand der Leiter vom Kupferquerschnitt der Adern und der Dicke ihrer Isolation ab, so daß sich die Felder nicht exakt zu Null addieren können, sondern ein - kleines - Restfeld bleibt. Aber auf jeden Fall verursacht eine Drehstromleitung erheblich niedrigere Felder als eine Einphasenleitung. Typische Feldstärken der beiden Leitungsarten sind in Tabelle 1 aufgeführt.

	Abstand = 10 cm	Abstand = 30 cm
Einphasen-Mantelleitung, 230 V	150 V/m	50 V/m
Dreiphasen-Mantelleitung, 230 V	10 V/m	2 V/m

Tabelle 1: Elektrische Wechselfeldstärken bei Einphasen- und Dreiphasen-Mantelleitung (in Luft)

Der Kompensationseffekt der symmetrischen Drehstromleitung ist in der baubiologischen Meßpraxis anschaulich nachvollziehbar, wenn man eine Sicherung eines Drehstromverbrauchers abschaltet (z. B. Elektroherd oder Durchlauferhitzer). Hier steigt mit dem Abschalten einer der drei Phasen (alle einphasigen Kreise ebenfalls abgeschaltet!) das elektrische Feld an, weil die Kompensation der beiden anderen Phasen durch diese nun fehlende

Phase nicht mehr erfolgt.

Tip: Bei Hausuntersuchungen sollte man darauf achten, ob Sicherungen dauernd abgeschaltet sind und ob diese ggf. zu einer Drehstromleitung gehören.

Würde man in der gesamten Hausinstallation nur Drehstromkabel verwenden - ohne besondere Abschirmung - so wären die elektrischen Wechselfeldstärken aus den oben erläuterten Gründen deutlich niedriger als bei der üblichen Einphasen-Verkabelung.

Nun läßt sich beim Schalten der Sicherungen aber auch beobachten, daß elektrische Feldstärke und Körperspannung nicht nur ansteigen, wenn eine der Sicherungen von Dreiphasenleitungen abgeschaltet wird, sondern daß sie auch ansteigen können, wenn einphasige Kreise abgeschaltet werden.

"Feldsalat" in den Räumen

Die Erklärung dieses Effektes läßt sich aus dem dargestellten Beispiel des Drehstromkabels ableiten, und es geschieht hier nichts wesentlich anderes. Der Unterschied besteht lediglich darin, daß die verschiedenen Phasen nicht in einer Mantelleitung eng zusammen liegen, sondern räumlich voneinander entfernt und über das ganze Haus verteilt. Denn üblicherweise werden die verschiedenen Einphasen-Stromkreise bei der Installation nicht alle auf die selbe Phase gelegt, son-

dern im Dreierhythmus abwechselnd an die Phasen L1, L2 und L3 angeschlossen. Wie stark die Phasen der einzelnen Stromkreise sich auf die elektrische Feldstärke im Raum auswirken, hängt ab vom individuellen Verlauf der Leitungen und ihrer Entfernung zum Untersuchungsort, Art der Kabel, baulichen Gegebenheiten, verwendeten Baustoffen (ggf. kapazitive Ankopplung), Feuchte der einzelnen Wände (ggf. Abschirmwirkung) usw. Da-

durch kommt es in jedem Raum zu einem unterschiedlichen "Feldmix" mit meist unsymmetrischen Komponenten.

Sind die Felder in einem Raum alle von der selben Phase hervorgehoben, so führt das Abschalten eines Stromreises zur Verringerung der Gesamtfeldstärke und -körperspannung. Bei unterschiedlichen Phasen muß dies durchaus nicht sein; es kann ebenso zu einem Anstieg kommen. Das folgende Beispiel macht dies deutlich.

Auf einen Schlafplatz mögen die elektrischen Wechselfelder von fünf Stromkreisen einwirken und Körperspannungen verursachen, die gemäß Tabelle 2 auf die einzelnen Phasen verteilt sind.

	Phase L1	Phase L2	Phase L3
SK-Nr.1	500 mV		
4	200 mV		
2		110 mV	
5		200mV	
3			90 mV

Tabelle 2: Von den einzelnen Stromkreisen (SK) abhängige Körperspannungen, geordnet nach Phasen (Kreis 1: Schlafzimmerstromkreis)

Aus diesen Daten konstruieren wir ein Zeigerdiagramm (Bild 4). Die niedrigeren Spannungen tragen wir auf jedem Phasenpfeil innen auf, die großen Beträge außen. Wir sehen, daß hier von einer Symmetrie der Spannungsbeträge keine Rede sein kann. Dementsprechend ist eine relativ hohe Gesamtkörperspannung zu erwarten.

Die geometrische Addition der drei Spannungspfeile durch Parallelverschiebung liefert diese resultierende Gesamtkörperspannung (Σ), deren Betrag wir bei Hausuntersuchungen messen, wenn alle Sicherungen eingeschaltet sind. Der Betrag liegt in unserem Beispiel bei 530 mV. Außerdem erkennen wir aus Bild 4, daß die Phase der resultierenden Körperspannung gegenüber L1 des Schlafzimmerstromkreises um 21° verschoben ist.

Was geschieht, wenn wir den Schlafzimmerstromkreis abschal-

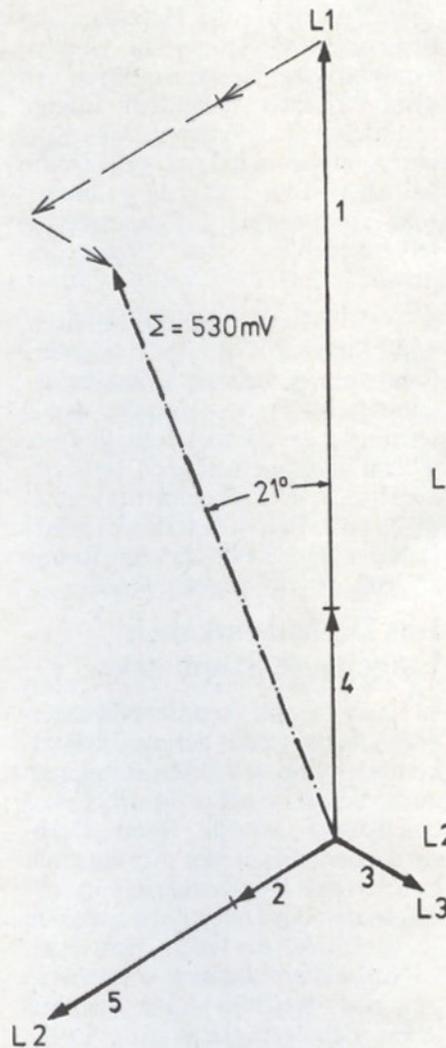


Bild 4: Zeigerdiagramm zu Tabelle 2, alle Stromkreise ein

ten? Dann entfällt der Spannungsanteil des Stromkreises Nr. 1 im Diagramm, und gemäß Bild 5 ergibt sich eine neue resultierende Körperspannung mit verändertem - hier glücklicherweise verkleinertem - Betrag von 220 mV und veränderter Phase. Wir schalten nun zusätzlich den Stromkreis Nr. 4 ab. Er liegt auf der selben Phase wie Stromkreis Nr. 1, dessen Abschalten die Körperspannung deutlich vermindert hatte. Man sieht in Bild 6 auf einen Blick, daß dies die unsymmetrischste aller bisher betrachteten Versionen ist; die Phase L1 fehlt völlig. Es ergibt sich eine resultierende Körperspannung von 280 mV. Hier ist der Fall eingetreten, daß die Körperspannung durch Abschalten eines Stromkreises in ihrem Betrag gestiegen ist; natürlich hat sich auch die Phasenlage verändert.

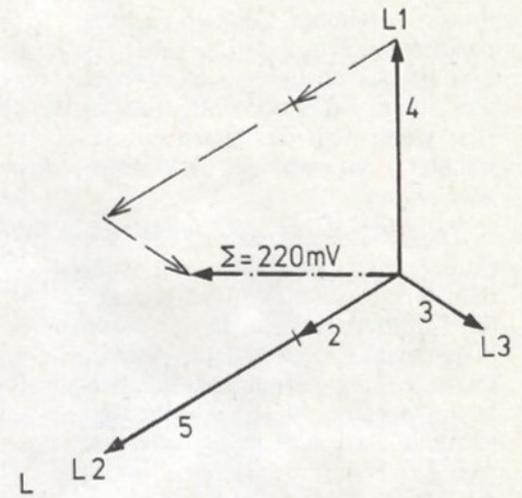


Bild 5: Zeigerdiagramm zu Tabelle 2, Stromkreis Nr. 1 aus

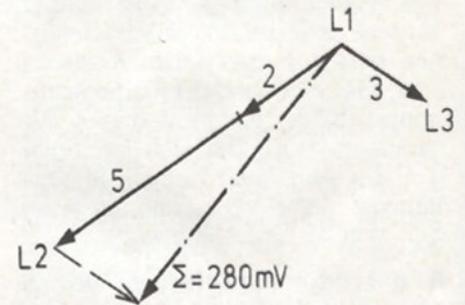


Bild 6: Zeigerdiagramm zu Tabelle 2, Stromkreise Nr. 1 und 4 aus

Schalten wir Stromkreis Nr. 4 wieder ein und stattdessen Stromkreis Nr. 5 aus; Bild 7 zeigt die resultierende Körperspannung. Mit einem Betrag von 100 mV hat sie sich verringert; die drei Phasenkomponenten sind jetzt symmetrischer geworden.

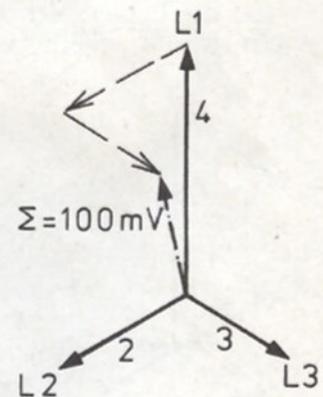


Bild 7: Zeigerdiagramm zu Tabelle 2, Stromkreise Nr. 1 und 5 aus

Die Ideallösung in diesem Beispiel ist mit Abschalten nicht erreichbar - außer der Trivillösung, alle Stromkreise abzuschalten. Was ge-

schieht aber, wenn wir versuchsweise die Phase tauschen, z.B. Stromkreis Nr. 2 von Phase L2 auf L3 legen und nur Stromkreis Nr. 1 abgeschaltet lassen? Mit etwas Glück haben wir durch diesen Phasentausch eine völlig symmetrische Konstellation geschaffen, und die resultierende Körperspannung verschwindet zu Null (Bild 8)!

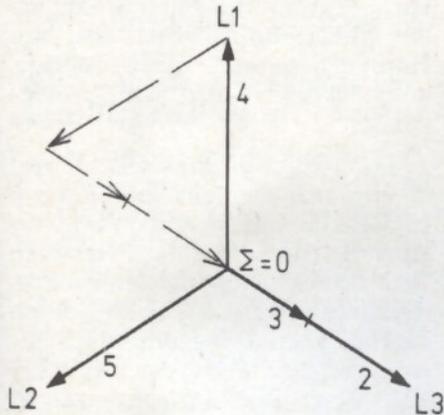


Bild 8: Zeigerdiagramm zu Tabelle 2, Stromkreis Nr. 1 aus, Nr. 2 von Phase L2 auf L3 getauscht

Auch an diesem Beispiel erkennt man, wie wichtig es ist, nicht nur den Betrag der Körperspannung zu messen, sondern auch über die Phasenbeziehungen Bescheid zu wissen.

Führt man die Phasenabschaltung und/oder den Phasentausch zur Minimierung der elektrischen Felder in einem Schlafzimmer durch, so ist die Auswirkung dieser Maßnahmen auch in ggf. weiteren vorhandenen Schlafräumen zu kontrollieren. Denn sie kann dort andere, eventuell schwächere oder sogar negative Resultate zeigen, da der "Feldmix" in jedem Zimmer anders zusammengesetzt ist.

Fassen wir die bisherigen Erkenntnisse zusammen, so sehen wir: Ziel des Baubiologen sollte es sein, zur Minimierung elektrischer Wechselfelder und der daraus resultierenden Körperspannung das elektrische Feld am Untersuchungsort möglichst symmetrisch zu machen. Oder anders ausgedrückt: Es kommt nicht darauf an, durch Feldfreischalter möglichst viele Stromkreise abzuschalten. Vielmehr sind die Stromkreise, die am Untersuchungsort elektrische Felder erzeugen, so auf die drei Phasen zu vertei-

len, daß die Felder sich möglichst gut kompensieren. Dies geschieht durch sinnvolle, gezielte Abschaltung und Phasentausch.

Der Phasentausch hat gegenüber der Abschaltung zusätzlich den Vorteil, daß seine Effekte immer wirken und nicht nur während bestimmter Zeiten, in denen kein Strom und damit auch keine Netzspannung benötigt wird.

Körperspannungsmessung einmal anders

Die aufgezeigten Effekte von Dreiphasenfeldern eröffnen einen neuen Weg der Körperspannungsmessung. In einem analytischen Meßverfahren kann auf systematische Weise die Phasenkonstellation der Stromkreise für eine optimale Feldkompensation ermittelt werden.

Dazu geht man folgendermaßen vor: Am Sicherungskasten wird die aktuelle Zugehörigkeit der einzelnen Stromkreise zu den drei Phasen ermittelt. Hierfür benötigt man ein spezielles, kontaktlos arbeitendes Phasentestgerät, um die Abdeckhaube der Sicherungen nicht öffnen zu müssen oder die Hilfe eines Elektrikers.

Dann werden sämtliche Stromkreise abgeschaltet; am Untersuchungsort (Schlafplatz) wird alles für eine Körperspannungsmessung vorbereitet. Da Bewegungen der Versuchsperson die Meßergebnisse beeinflussen können, ist es vorteilhaft anstelle einer Person einen "Dummy" (leitfähiges Vlies in Körpergröße) zu verwenden, an dem das Voltmeter angeschlossen wird. Nun wird systematisch nacheinander jeweils eine Sicherung eingeschaltet, die zugehörige Körperspannung gemessen und die Sicherung wieder ausgeschaltet. Die Meßergebnisse werden in einer Tabelle (wie z.B. Tabelle 2) zusammengestellt. Zeichnet man mit diesen Daten das zugehörige Dreiphasen-Zeigerdiagramm, so läßt sich mit einiger Erfahrung durch "scharfes Hinsehen" und Probieren die optimale Phasenkombination herausfinden. Dieses analytische Verfahren hat den Vorteil, daß man beliebige Kombinationen in ihren Wirkungen "auf dem Papier" simulieren kann. Die graphische Zeigermethode ist dabei sehr anschaulich

und in ihrer Genauigkeit für die Praxis ausreichend.

Das beschriebene Verfahren funktioniert nur so einfach, wenn die betrachteten E-Felder ausschließlich von den Installationen der eigenen Wohnung verursacht werden. Das Kriterium hierfür ist, daß nach Abschalten aller Sicherungen die Körperspannung auf Null zurückgeht. Dies wird i.d.R. bei Einfamilienhäusern der Fall sein. Streuen aber externe Felder ein, so bleibt auch nach Abschalten aller Sicherungen ein Restfeld, das relativ schwach, aber auch sehr stark sein kann; letzteres insbesondere in Stadtwohnungen mit hoher Nachbarwohnungs- und Installationsdichte. Da dieses externe Feld nicht abschaltbar ist, kann man ebenfalls durch Phasentausch an der eigenen Installation versuchen es so gut wie möglich zu kompensieren. Dieses externe Feld meßtechnisch zu erfassen ist aber nicht mehr ganz einfach, da man es auch hinsichtlich seiner Phasenlage messen müßte, wofür ein spezielles Phasenmeßgerät mit interner Referenzphase erforderlich wäre.

Fazit

Die bisher in der Baubiologie üblichen Methoden zur Verringerung elektrischer Wechselfelder - Abschirmung und Abschaltung - werden durch den gezielten Phasentausch von Stromkreisen um ein neues Verfahren ergänzt. Ziel des Phasentauschs - ggf. in Kombination mit Feldfreischaltern - ist es, am Untersuchungsort eine symmetrische Ausprägung der drei Phasenkomponenten von E-Feld und Körperspannung zu erreichen und dadurch die resultierende Gesamtfeldstärke bzw. körperspannung zu minimieren.

1) Gemäß dem "Standard der baubiologischen Meßtechnik (SBM-97/5)" und den zugehörigen "Baubiologischen Richtwert-Empfehlungen für Schlafbereiche"

2) Schwarzer "heißer" Leiter [Phase, L] und blauer Nullleiter [N]; dazu aus Sicherheitsgründen, aber ohne Funktion für den normalen Stromfluß, der grün-gelbe Schutzleiter [PE]

Dr.-Ing. Martin H. Virnich
Baubiologe IBN, Mönchengladbach