

Kleine Ursache – große Wirkung

Magnetische Wechselfelder und ihre Ursachen

Immer wieder trifft man bei Messungen in Gebäuden auf magnetische Wechselfelder, deren Ursachen nicht in Hochspannungs- oder Dachständerleitungen, Trafostationen oder Erdkabeln im Gehweg liegen, sondern die hausintern durch eine nicht zeitgemäße Elektroinstallation verursacht werden. Anhand von drei Beispielen werden typische Situationen mit Elektroinstallationen aufgezeigt, die bei Durchführung einer „sauberen“ Installation und Kenntnis der Problematik von Fehlströmen nicht entstanden wären.

Ursachen für magnetische Wechselfelder

Durchfließt ein Wechselstrom einen Leiter, so entsteht ein Magnetfeld, dessen Feldlinien sich im Bezug auf die Flussrichtung des Stromes dem Uhrzeigersinn entgegengesetzt rund um den Leiter ausbilden. Die Feldlinien verlaufen in konzentrischen Kreisen und sind in sich geschlossen.

Wird nun direkt neben diesem Leiter ein zweiter Leiter mit dem Rückstrom in gleicher Stärke geführt, so heben die sich entgegengesetzt orientierten Feldlinien größtenteils auf. Dies ist zum Beispiel bei jedem Verlängerungskabel der Fall. In der Elektrotechnik wird der Hinleiter als Außenleiter und der Rückleiter als Neutraleiter (früher Nullleiter) bezeichnet.

Betrachtet man die gebäudeinterne Elektroinstallation, so sind zwei grundlegende Formen zu unterscheiden: Das TN-C-Netz und das TN-S-Netz, wobei die Kombination dieser beiden Formen als TN-C-S-Netz eine Mischvariante darstellt. Das TN-C- und TN-C-S-Netz beinhalten einen gemeinsamen PEN-Leiter, bestehend aus dem Schutz(PE)-Leiter und dem Neutral(N)-Leiter. Der Buchstabe **C** besagt, dass der PEN-Leiter in der gesamten Anlage des TN-C-Netzes geführt wird. Das TN-C-S-Netz besteht vereinfacht gesagt, aus zwei verschiedenen Netz-Systemen, dem TN-C- und dem TN-S-Netz. Beim TN-S-Netz wird der PEN-Leiter aus dem TN-C-Netz in einen PE- und N-Leiter aufgeteilt. Auch wenn beide Leiter nun getrennt geführt werden, haben sie immer noch das gleiche Potential, wie der PEN-Leiter.

Der Rückstrom vom Verbraucher fließt im TN-C-Netz über den PEN-Leiter, im TN-S-Netz über den N-Leiter. Der PEN-Leiter hat wie der PE-Leiter eine Schutzfunktion, die zwangsläufig dazu führt, dass es an mehreren Stellen im Gebäude mit allen metallenen Rohr- und Gebäudesystemen zur Verbindung kommt. Bestimmte Teile dieser metallenen Systeme müssen in einem Gebäude in den Schutzpotential mit einbezogen werden. Dies geschieht über die Haupterdungsklemme (MET) z.B. im Keller, welche auch eine Verbindung zum PEN-Leiter des Versorgungsnetzbetreibers VNB über die Hauptausgleichsschiene HAS haben muss. Mit dieser Maßnahme sollen diese metallenen Systeme mit dem Schutzleitersystem auf gleiches Potential gebracht werden, um Potentialunterschiede möglichst zu vermeiden.

Kommt es nun im TN-C-System zu einer Verbindung des PEN-Leiters mit den vorgenannten metallenen Systemen oder im TN-C-S-System zu einer Verbindung des PE-Leiters mit seiner Verbindung zum N-Leiter, so besteht die Gefahr, dass sich ein Parallelweg bildet und ein Teil des Neutralleiter-Stromes, abhängig vom Widerstand der Strompfade, über diese metallenen Systeme fließen kann. Sind diese metallenen Systeme in den Schutzpotentialausgleich mit einbezogen, so fließt dieser Teilstrom über die Haupterdungsklemme und den PEN-Leiter zurück.

Vermeiden kann man dies, wenn in der Elektroanlage ein reines TN-S-System installiert wird. Hier ist konsequent darauf zu achten, dass es zu keiner Verbindung von N- und PE-Leiter in der Anlage kommt.

Wenn beispielsweise auf dem stromführenden Hinleiter 5 Ampere (A) Strom fließen und auf dem Rückleiter nur 4 A, dann resultiert ein Fehlstrom von 1 A. Dieser verursacht in 1 m Abstand rund 200 Nanotesla (nT) magnetische Flussdichte.

Die Ursache für das fehlende 1 A liegt in der Regel bei dem TN-C- oder TN-C-S-System, mit seinen bereits genannten Nachteilen. Eine Kontrolle darüber, wo die Neutral(N)-Leiterströme fließen und wie groß die dadurch entstehende Induktionsschleife sein mag, hat in der Regel niemand mehr.

Durch diese Fehlströme (auch Differenz- oder vagabundierende Ströme bezeichnet), wie sie beim TN-C- und TN-C-S-System vorkommen, können, wie schon erwähnt, metallene Rohr- und Gebäudesysteme sowie Kabeltrassen, Datenleitungen, Abschirmungen, Schirmungen von Kabeln, Gerätegehäuse, PC-Gehäuse oder auch komplette informationstechnische Anlagen zu Parallelstrompfaden für den Betriebsstrom des PEN-Leiters (Schutz- und Neutralleiter) werden.

Beispiel 1: Kinderbett und Fehlströme auf einer Fernwärmeleitung

Bei der Überprüfung des Schlafplatzes eines Kleinkindes wurden bis zu 1.500 Nanotesla magnetische Flussdichte im Bettbereich festgestellt. Hier waren dringend Reduzierungsmaßnahmen angeraten.

Eine Langzeitmessung mit ESTEC-Datenloggern und Stromessschlaufen bzw. -zangen ermöglichte sowohl die Erfassung der magnetischen Wechselfelder im Kinderbett als auch der Fehlströme auf der Hauptstromleitung und den Fernwärmeleitungen: Hier zeigten sich bei der Auswertung eindeutige zeitliche Zusammenhänge. Die Höhe des Fehlstroms auf der Hauptstromleitung war in nahezu gleicher Stärke, verteilt auf beide Fernwärmeleitungen, messbar.

Als Ursache wurde die Schutzpotential-Ausgleichsleitung zwischen der Potentialausgleichschiene im Sicherungskasten und dem Wärmetauscher ausgemacht, auf der ein Teil des Rückstromes (in Abb. 1 z. B. 1 A) vom N-Leiter zum Fließen kam und sich größtenteils über den Wärmetauscher, den Vor- und Rücklauf der Fernwärme, irgendwo außerhalb des Gebäudes seinen Weg zur Stromquelle gesucht hat. Dieses Kabel wurde entlang der Kellerdecke unterhalb des Kinderzimmers bis zum Heizungsraum geführt.

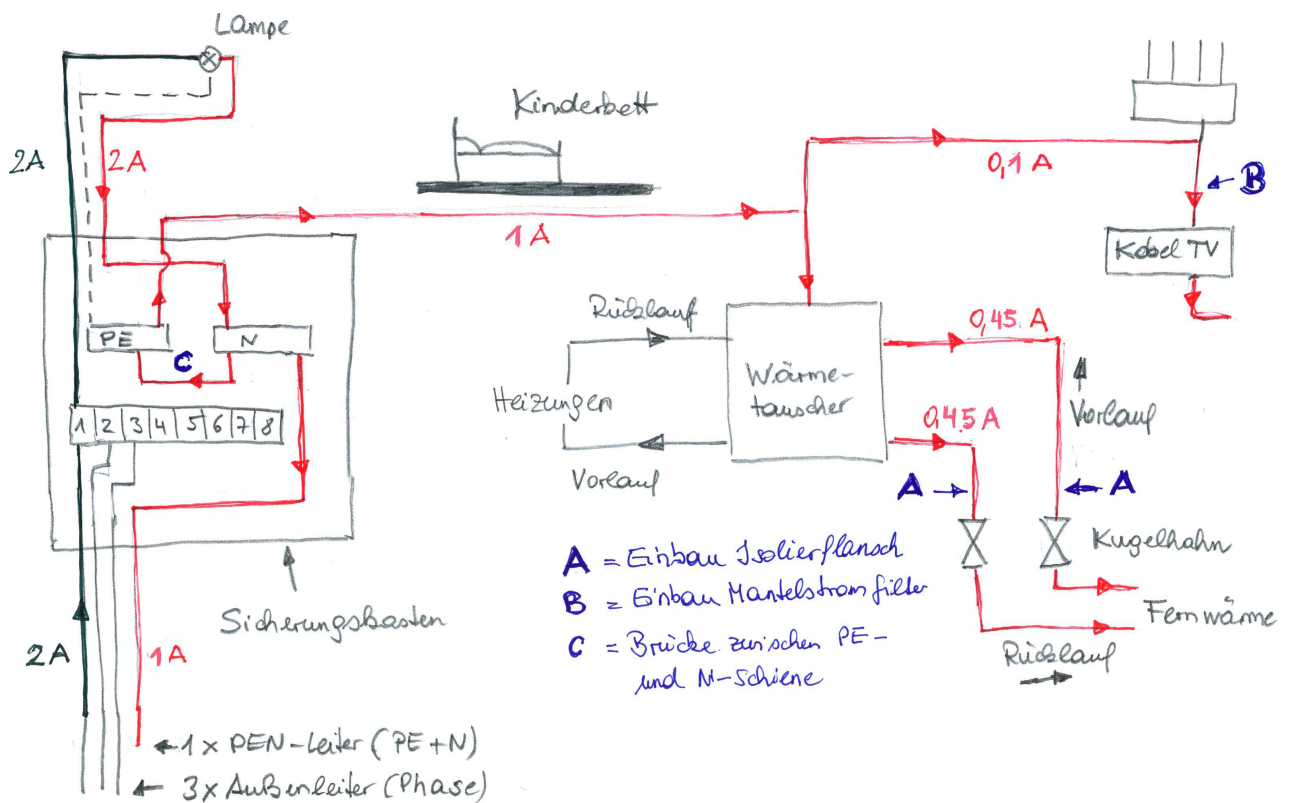


Abb. 1: Fließschema für die Elektroanlage und Rückleiterströme (rot)

Abhilfemaßnahme

Zur Unterbindung des Stromflusses über die Fernwärmerohre wurde die Empfehlung ausgesprochen, elektrisch isolierende Rohrverbindungen der Firma Kyburz / INRAG direkt nach den Kugelhähnen beim Eintritt der Fernwärmeleitungen in den Keller einzusetzen (Abb.2).



Abb. 2: Fernwärmerohre mit Isolierflanschen oberhalb der Kugelhähne

Vor und während der Umbaumaßnahmen wurden im Kinderzimmer die magnetischen Wechselfelder mit einem Datenlogger erfasst. Somit konnte der Erfolg der durchgeführten Maßnahme sehr gut dokumentiert werden (Abb. 3).

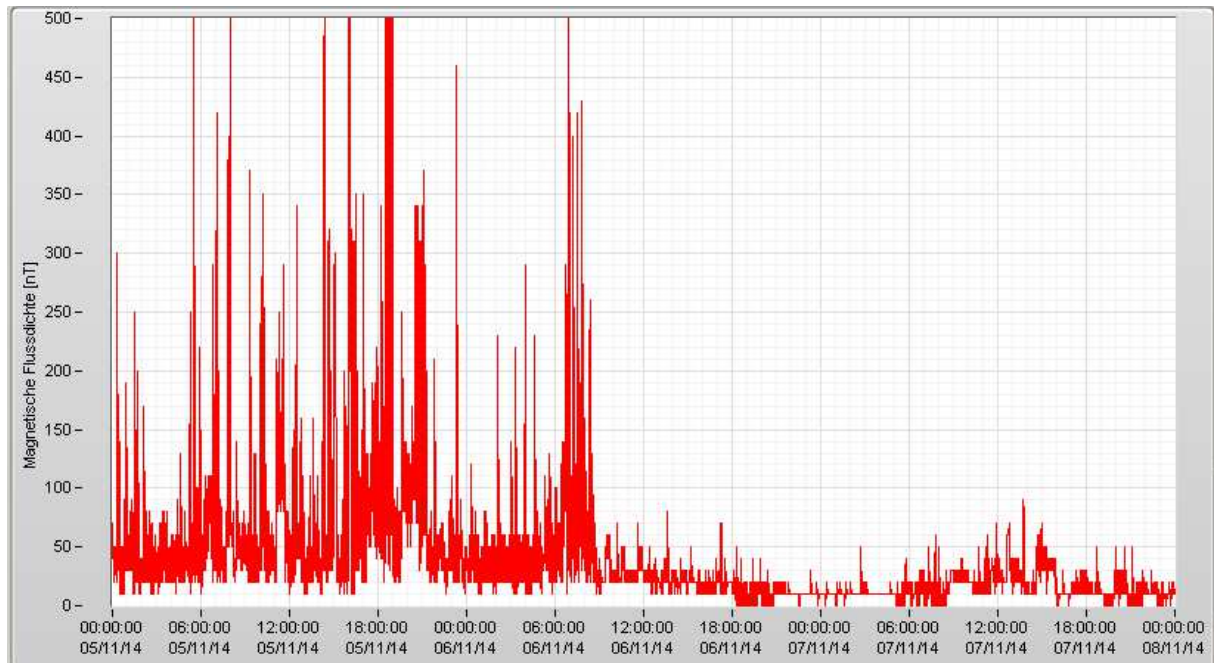


Abb. 3: Zeitlicher Verlauf der magnetischen Flussdichten während drei Tagen vor (linke Bildhälfte) und nach Einbau der Isolierflansche (rechte Bildhälfte)

Die noch verbleibenden Restfelder waren auf den Anschluss des Schirms des Kabelfernsehens an das Schutzpotential zurückzuführen. Über diesen konnte nun ein Teil des Rückstromes aus dem Haus fließen. Nach Einbau eines Mantelstromfilters wurde auch dieser ungewollte Strompfad unterbunden (Abb. 4).

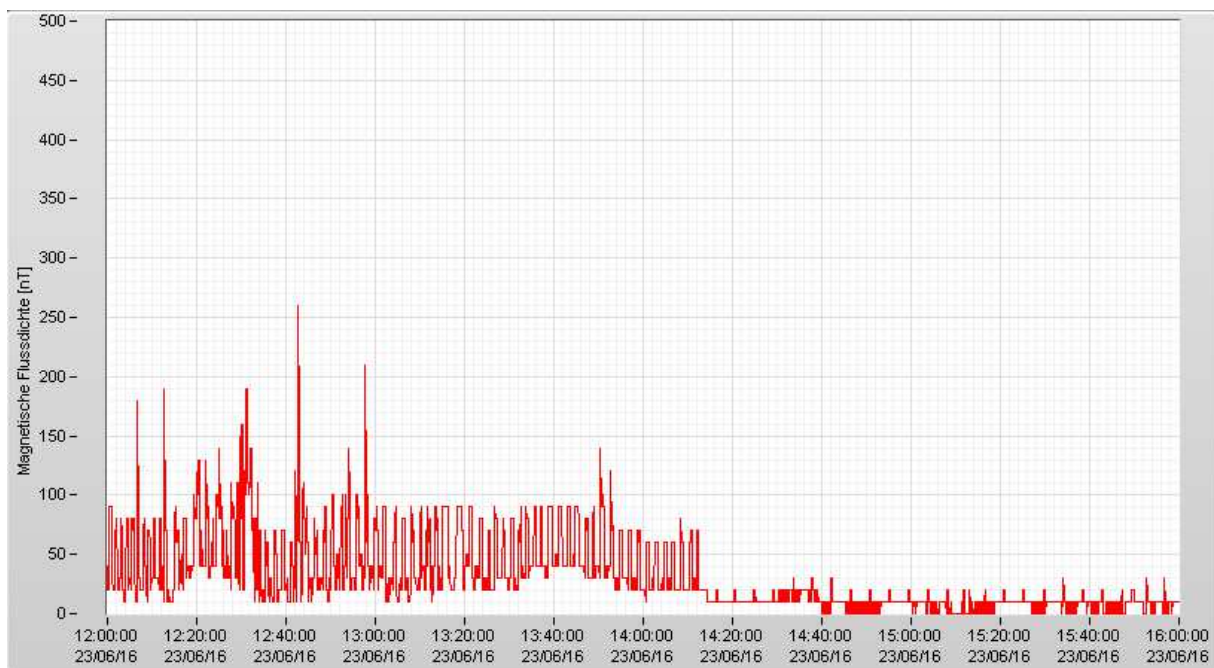


Abb. 4: Zeitlicher Verlauf der magnetischen Flussdichten während vier Stunden vor (linke Bildhälfte) und nach Einbau des Mantelstromfilters (rechte Bildhälfte)

Beispiel 2: Hausanbau und Fehlströme auf einer Gasleitung

Bei verdichteter Bauweise kommt es häufig vor, dass an ein bestehendes Haus (Haus 1) ein zweites Haus (Haus 2) angebaut wird.

Im vorliegenden Fall wurde das neue Gebäude (Haus 2) mit seinen Versorgungsleitungen für Strom und Wasser an das bestehende ältere Haus (Haus1) angeschlossen. Die Stromversorgung erfolgte über eine Dachständerleitung, die Wasserversorgung wurde über ein Kunststoffrohr realisiert.

Zu einem späteren Zeitpunkt erfolgten die Demontage der Dachständerleitung und die Montage eines 4-adrigen Kabels (drei Außenleiter und ein PEN-Leiter, PEN = Neutral- und Schutzleiter kombiniert), das unterhalb des Firstbalkens im Haus 2 geführt wurde. Von dort führte die Leitung weiter durch einen nicht mehr genutzten Abluftschacht bis in den Keller zum Sicherungskasten.

Weil das Haus 2 über keinen eigenen Fundamenterder verfügte, hatte die zuständige Elektrofachkraft zwischen den beiden Schutzpotentialausgleichen SPA vom Haus 2 und Haus 1 einen Potentialausgleichsleiter verlegt und das Haus 2 somit an den Fundamenterder des Hauses 1 angeschlossen. Dieser Potentialausgleich wurde vom Keller aus an der Außenwand des Gebäudes bis zum Dachboden geführt und erst von dort parallel mit dem 4-adrigen Stromkabel bis zum Haus 1 verlegt.

In jüngerer Zeit erfolgte die Umstellung auf eine Gasheizung und die Anbindung an das Gasnetz des Nachbarhauses (Haus 1) mit einem Kupferrohr.

Im Rahmen von routinemäßigen Langzeitmessungen erfolgte die Erfassung der magnetischen Wechselfelder an fünf Messpunkten gleichzeitig: Elternschlafzimmer, 3 Kinderzimmer und Wohnzimmer. In einem Kinderzimmer wurden bis zu 550 Nanotesla in der Spitze, im Wohnzimmer in der Nähe des Kachelofens bis zu 3.300 Nanotesla ermittelt.

Eine weitere Langzeitmessung mit ESTEC-Datenloggern und Strommessschlaufen bzw. -zangen ermöglichte sowohl die Erfassung der magnetischen Wechselfelder im Kinderzimmer als auch der Differenzströme auf der Hauptstromleitung, des zusätzlich verlegten Potentialausgleichsleiters zum Haus 1 und der Gasleitung. Die Auswertung zeigte exakte zeitliche Zusammenhänge. Der Fehlstrom auf der Hauptstromleitung war mit z.B. 2 A in gleicher Stärke, verteilt mit je 1 A, auf dem zusätzlichen PE-Leiter und der Gasleitung messbar (Abb. 5).

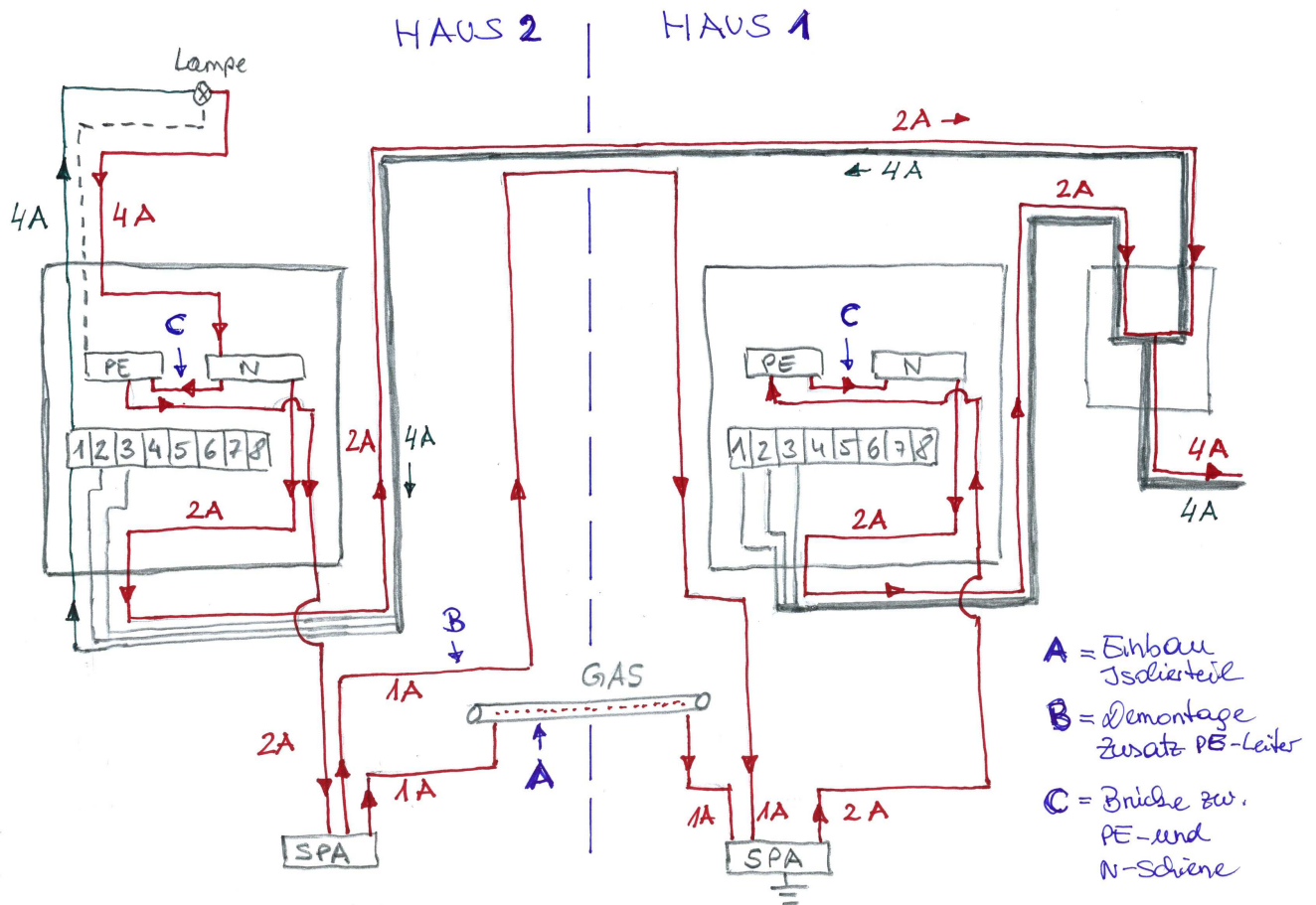


Abb. 5: Dem Rückleiterstrom bieten sich insgesamt drei Wege vom Haus 2 in das Haus 1 an.

Abhilfemaßnahme

Zur Unterbindung des Stromflusses über den separat gezogenen Potentialausgleichsleiter wurde dieser entfernt und das Haus erhielt eine eigene Erdung über einen Tiefenerder (Erdspieße). Durch diese Maßnahme erhöhte sich der Rückleiterstrom auf der Gasleitung um das Doppelte. Anschließend wurde die bereits vorgesehene Unterbrechung der Gasleitung mit einem Isolierstück im Haus 2 durchgeführt. Ab diesem Zeitpunkt waren keine Fehlströme mehr auf der Hauptstromleitung messbar und die magnetischen Wechselfelder waren in der Nähe des Kamins von 3.300 Nanotesla auf 200 Nanotesla in der Spitze abgefallen (Abb. 6). Die noch vorhandenen Restfelder wurden durch Fehlströme auf den Erdkabeln in der Straße vor dem Haus 1 verursacht. Sie sind nicht ohne größeren Aufwand reduzierbar.

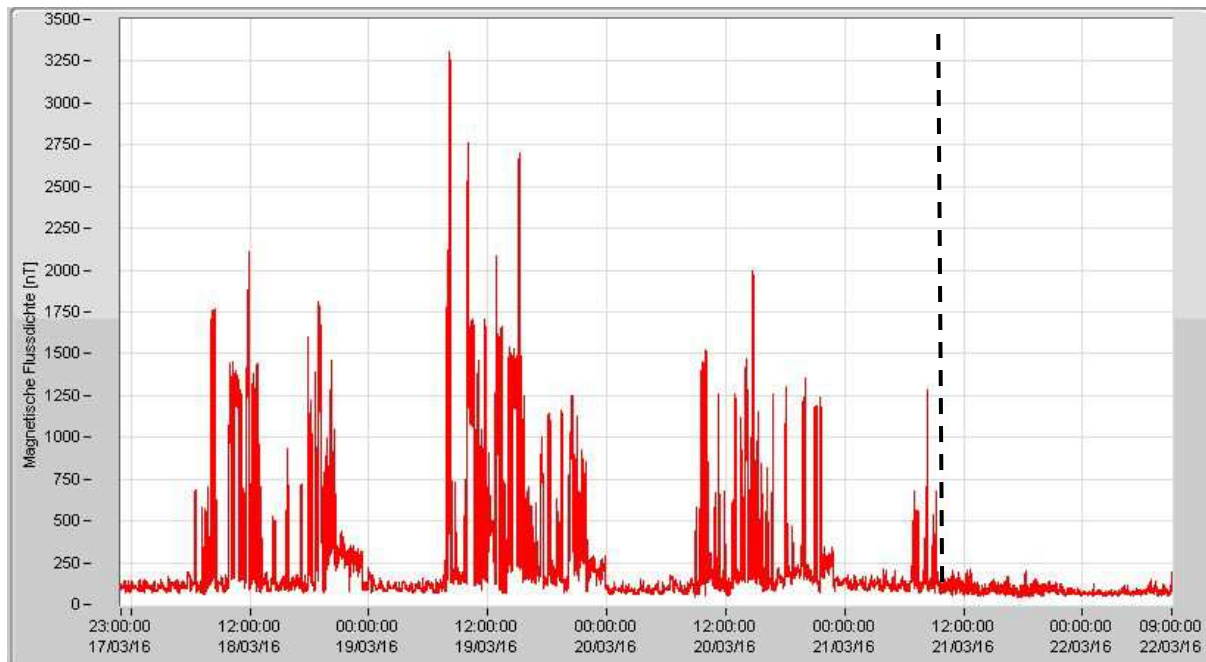


Abb. 6: Magnetische Wechselfelder im Wohnzimmer (17.03. um 23 Uhr bis 22.03. um 9 Uhr). Die strichlierte Linie stellt den Zeitpunkt (21.03. um 10:45 Uhr) des Einbaus des Isolierstücks in die Gasleitung dar.

Empfehlungen

Es wird generell empfohlen, alle elektrisch leitfähigen Verbindungen bei Versorgungsleitungen wie Wasser, Gas oder Fernwärme durch Isolierstücke zu unterbrechen. Bei Kabelschirmen von Telefon- und Kabel-TV-Leitungen empfehlen sich Mantelstromfilter. Dadurch können keine Ströme der hauseigenen Elektroinstallation mehr über diesen Weg das Haus verlassen oder über diesen in das Haus eindringen.

Wichtig: Wenn TN-S Netze auch nach Umbaumaßnahmen weiterhin Fehlströme aufweisen, dann ist die Elektroinstallation NICHT VDE-gerecht und muss durch einen Elektrofachmann überprüft werden!

Beispiel 3: Arbeitsplatz und Differenzströme durch TN-C-Netze

Bei Arbeitsplatzmessungen in einer Steuerkanzlei oberhalb einer Bank wurden stark schwankende magnetische Wechselfelder mit Spitzenwerten bis zu 1.600 nT und Mittelwerten um 900 nT ermittelt.

Von der Haupteinspeisung wurden über separate Stromzähler zwei Parteien im 2. Stock, die Steuerkanzlei im 1. Stock und die Bank im Erdgeschoss sowie das Treppenhaus versorgt. An den fünf Stromleitungen wurden während einer kurzzeitigen Messung Differenzströme zwischen 0,4 und 12 A ermittelt.

Interessant waren Zeitbereiche mit erhöhten bzw. niedrigeren magnetische Feldstärken in der Steuerkanzlei, die durch Langzeitmessungen mit Datenloggern ermittelt worden. Das zeitliche Verhältnis von erhöhten zu niedrigeren magnetischen Wechselfeldern lag nachts bei 10 zu 16 Minuten und wechselte mittags auf 14 zu 10 Minuten. Als Ursache hierfür konnte während der heißen Julitage das Ein- und Ausschalten der Klimaanlage für den Raum mit dem Geldautomat ermittelt werden: je heißer es wurde, umso länger musste gekühlt werden.

Die Stromleitungen wurden auf einer Kabelbühne an der Decke der Bank, unterhalb der Arbeitsplätze der Mitarbeiter des Büros im 1. Obergeschoss, geführt. Die Datenlogger waren auf den Schreibtischen positioniert. Die Auswertung von vier Messungen und deren gleichzeitiger graphischer Darstellung (Abb. 7) zeigt die zeitlichen und räumlichen Schwankungen der magnetischen Flussdichten. Die Messpunkte 1 und 2 (Messwerte rote und blaue obere Kurve) lagen direkt oberhalb der Kabelbühne, die Messpunkte 3 (grün, mittlere Kurve) und 4 (hellblau, untere Kurve) lagen in weiter entfernten Büroräumen.

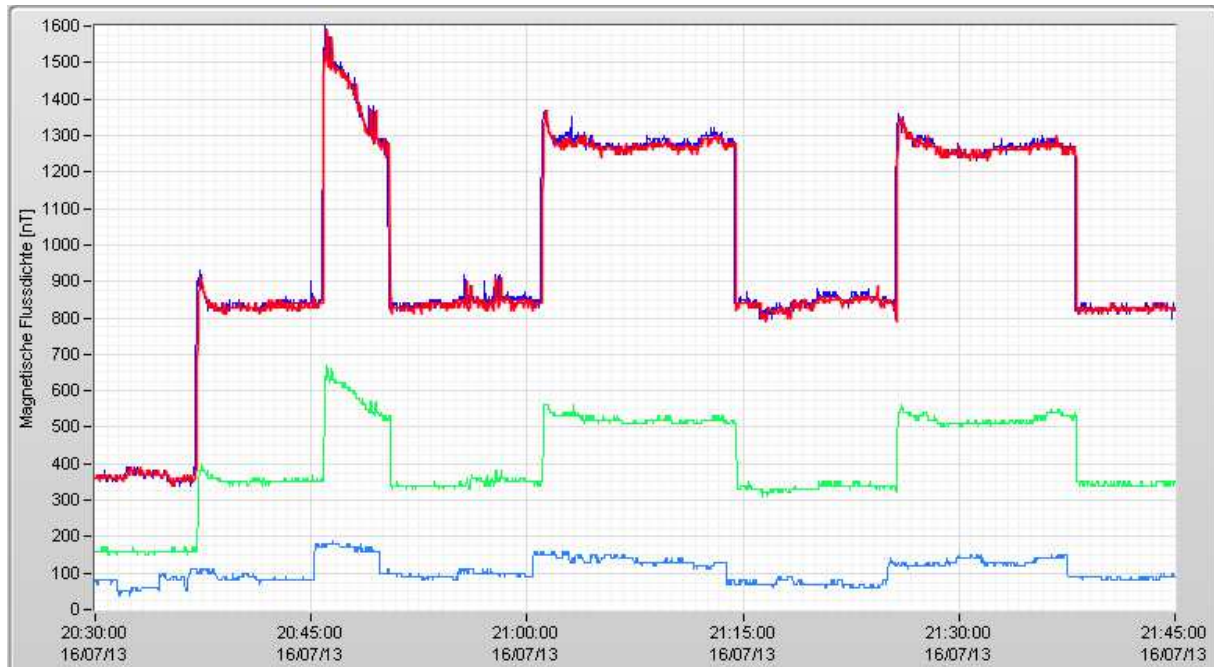


Abb. 7: Zeitlicher Verlauf der magnetischen Wechselfelder an vier Messpunkten mit Schwankungen auf Grund einer Klimaanlage (Kühlvorgang ein bzw. aus)

Vom Stromzähler im Keller bis zur Unterverteilung 1 in der Bank im Erdgeschoss war ein 4-adriges Kabel (dreimal Außenleiter und einmal kombinierter Neutral- und Schutzleiter PEN) als TN-C Leitung verlegt worden. Laut Aussage des zuständigen Elektrounternehmers, der gleichzeitig auch Mitglied im Aufsichtsrat der Bank war und weder an einer Kooperation noch an einer Lösung des Problems in der Steuerkanzlei Interesse hatte, war von der Unterverteilung 1 (UV 1) bis zu Unterverteilung 2 ein 5-adriges Kabel verlegt worden. Eine Kontrolle ergab, dass das Kabel auf der einen Seite (UV 1) 5-adrig, auf der anderen Seite (UV 2) aber nur 4-adrig angeschlossen war.

Die Änderungen in einen korrekten Anschluss des 5-adrigen Kabels waren von Erfolg gekrönt und die mittlere Belastung sank von rund 900 nT auf 120 nT, die Spitzenwerte von 1.400 auf 800 nT. In den Grafiken bedeuten die senkrechten Striche den Tageswechsel, die waagerechte untere Linie liegt bei 100 nT, die obere bei 1.000 nT. In der Grafik vom 16. bis 18. Juli (Abb. 8) sind sehr deutlich die häufigen Ein- und Ausschaltvorgänge der Klimaanlage erkennbar, was in den Messungen vom 19. bis 21. Dezember (Abb. 9) nur noch selten der Fall ist.

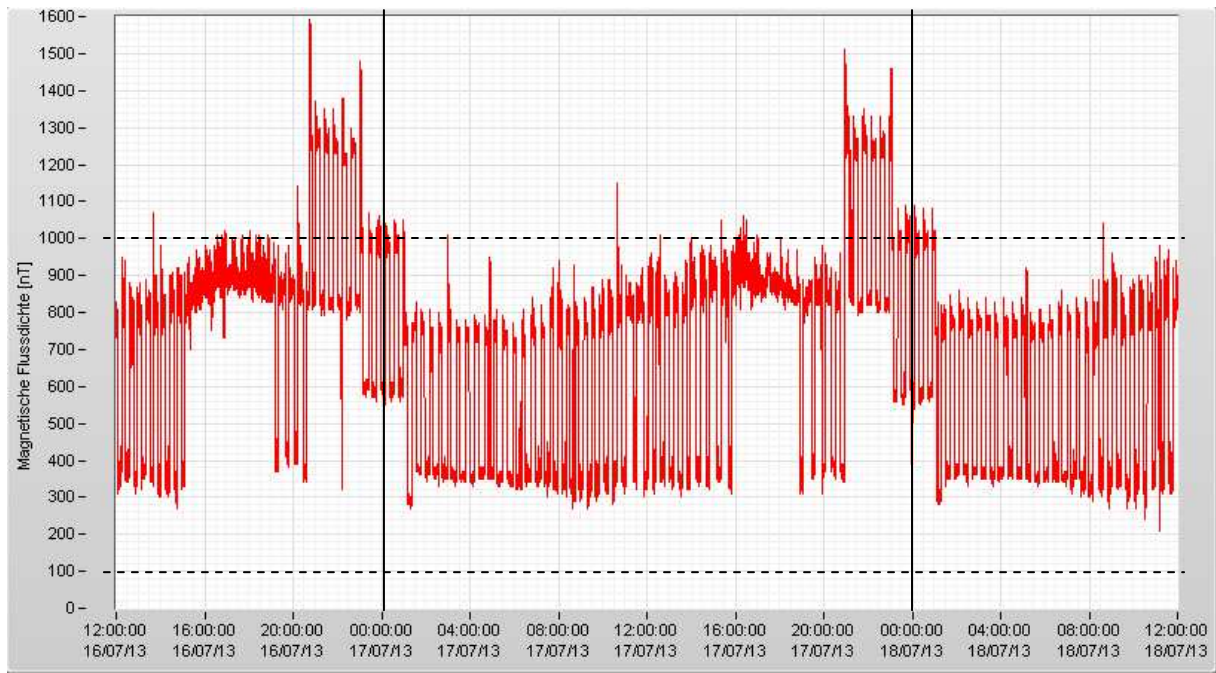


Abb. 8: Magnetische Wechselfelder im Ausgangszustand; 16.-18.07.2013, jeweils 12 Uhr

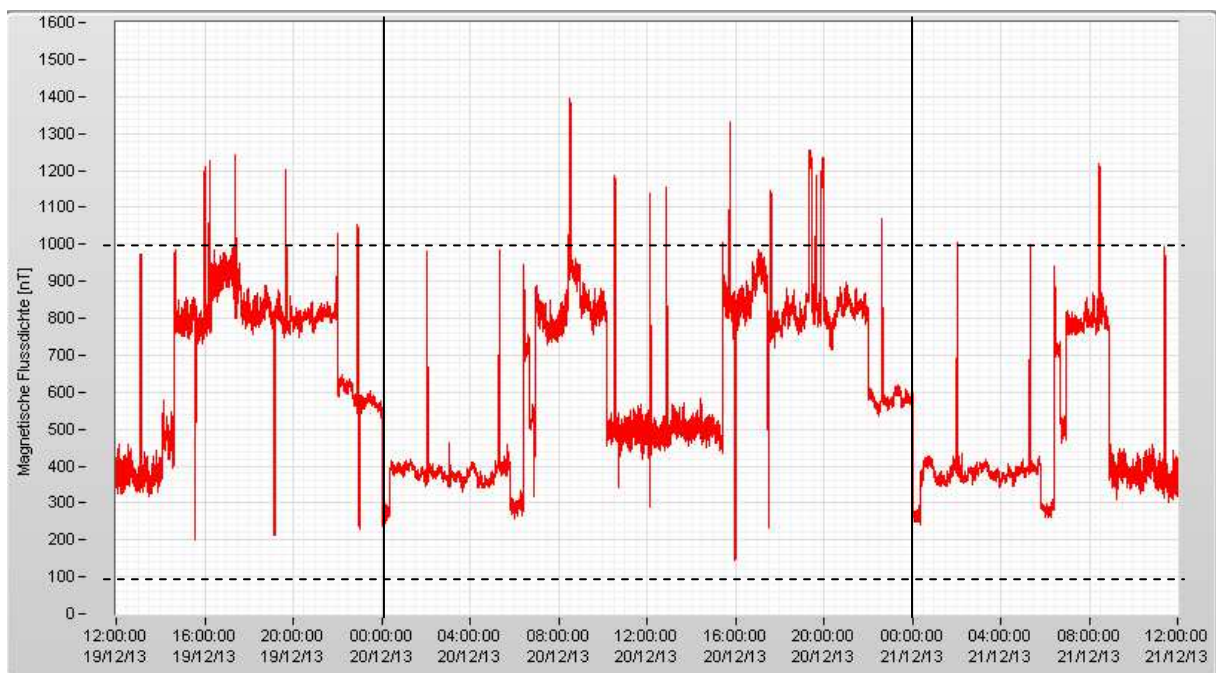


Abb. 9: Magnetische Wechselfelder VOR dem Umbau in der Unterverteilung 2; 19.-21.12.2013, jeweils 12 Uhr

Warmwasserboiler und eine Brücke

In den Langzeitaufzeichnungen nach dem Umbau in der UV 2 traten jedoch immer noch zeitweise Spitzenwerte auf, die um ca. 700 Nanotesla höher als die durchschnittliche Belastung von 100 nT waren (Abb. 10). Eine Ursache hierfür war zunächst nicht zu finden. Eine Einzelauswertung über mehrere Tage und Rückfrage in der Bank ergaben schließlich, dass zu den Zeiten der Spitzenwerte der Warmwasserboiler im Keller in den Waschbereichen der Toiletten durch Mitarbeiter bzw. Reinigungspersonal in Betrieb genommen worden war.

Im Rahmen einer weiteren detaillierten Überprüfung der Elektroanlage wurde festgestellt, dass in der Unterverteilung 2 eine Brücke zwischen der Schutzleiter- und Neutralleiterschiene vorhanden war, obwohl die Elektrofachkraft dies verneint hatte.

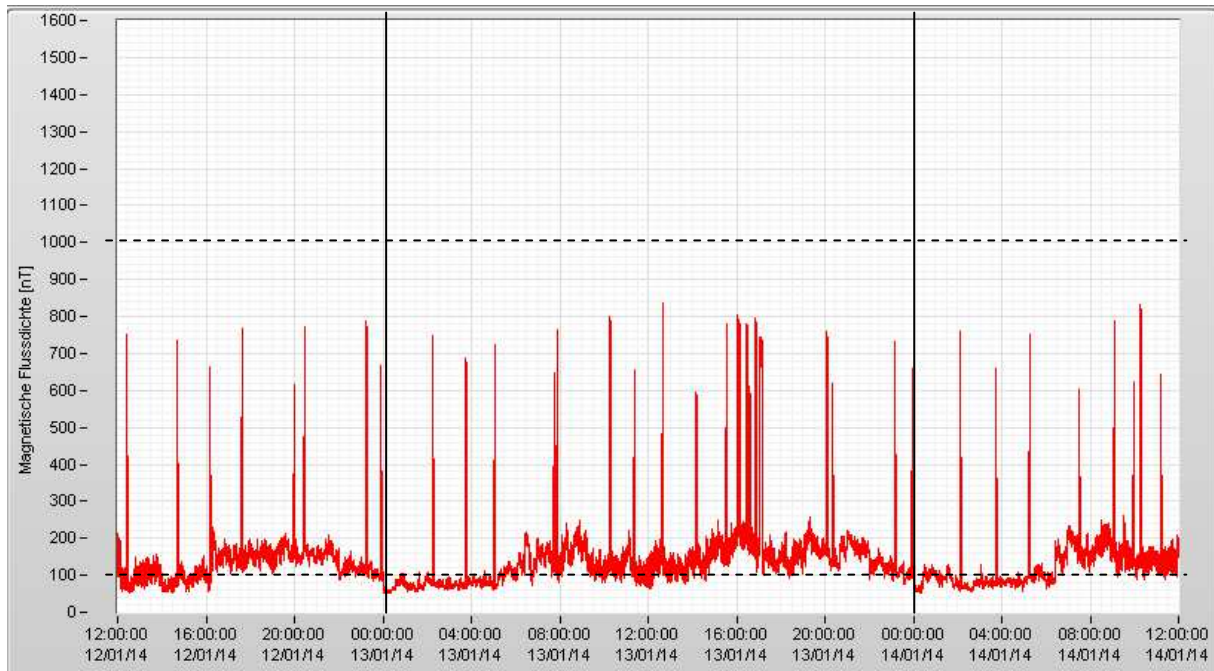


Abb. 10: Magnetische Wechselfelder NACH dem Umbau in der Unterverteilung 2; 12.-14.01.2014, jeweils 12 Uhr

Unter hohem Sicherheitsaufwand wurde die gesamte Stromversorgung der Bank in den frühen Morgenstunden eines Tages abgeschaltet und die Änderungsarbeiten mussten innerhalb von 30 Minuten durchgeführt werden.

Nach rund einem Jahr zwischen der ersten und letzten Messung, vielen Telefonaten und Gesprächen, Widerstand seitens des Elektrounternehmers, Umbauarbeiten und einigen unbezahlten Stunden konnte das Projekt im eigenen Interesse abgeschlossen werden. An dieser Stelle sei für die tatkräftige Unterstützung durch Herrn Mennekes von der Firma ESTEC gedankt.

Das Ergebnis lässt sich sehen: die magnetischen Wechselfelder schwankten im zweiten Sommer zwischen 20 und 100 nT, in der Regel blieben sie unter 100 nT (Abb. 11).

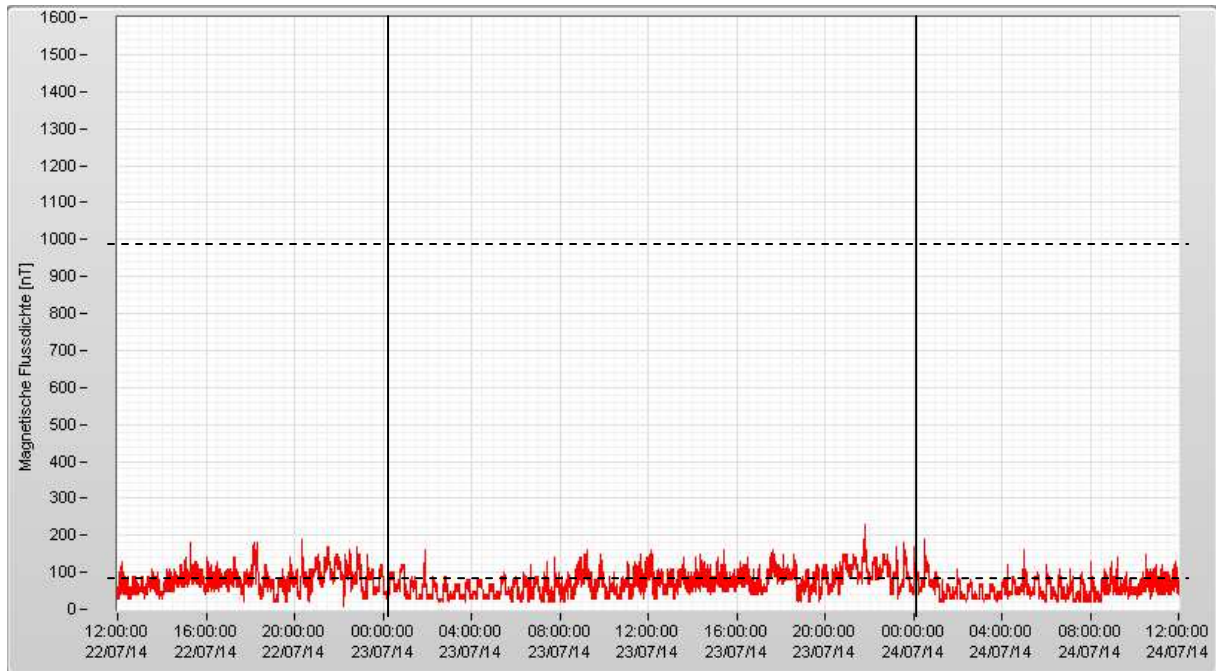


Abb. 11: Magnetische Wechselfelder nach Abschluss der Umbauarbeiten

Eine direkte Aneinanderreihung der jeweils ersten 8 Stunden aus den Abb. 8-11 zeigt in der Abb. 12 sehr gut den erfolgreichen Verlauf vom Ausgangs- bis zum Endzustand nach den jeweiligen Umbauarbeiten in der Elektroinstallation.

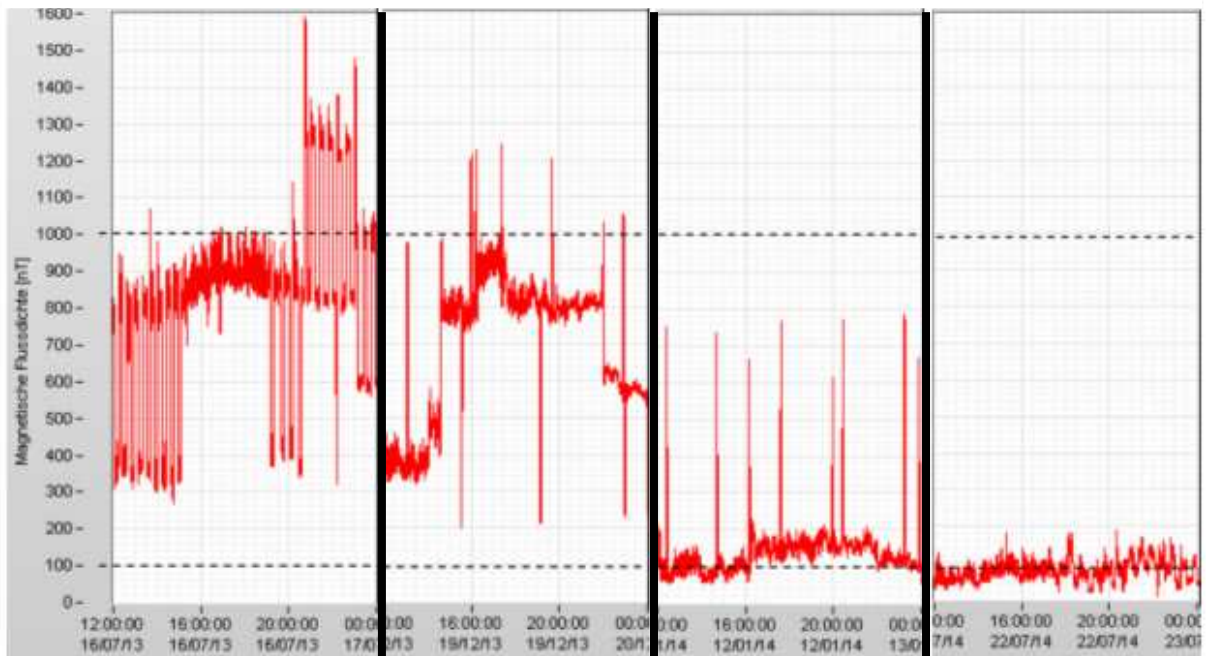


Abb. 12: Zeitlicher Verlauf der magnetischen Wechselfelder (mit je 8 Stunden) im Sommer (links), im Winter (Mitte links), nach korrektem Anschluss des 5-adrigen Kabels (Mitte rechts) und nach Beseitigung der Brücke in der Unterverteilung 2 (rechts)

Empfehlungen

Elektroinstallationen sollten stets als TN-S-Netze ausgeführt werden, was inzwischen eine VDE-Vorschrift ist. Trotz Fehlerstromschutzschaltern bestehen noch Möglichkeiten für Fehlströme, was im vorliegenden Bericht nicht thematisiert worden ist. Die Suche nach Brücken zwischen PE- und N-Leitern kann bisweilen sehr zeit- und kostenintensiv sein. Hier ist der für die Elektroanlage zuständige Fachmann unbedingt hinzu zu ziehen. Werden letztendlich alle Brücken beseitigt, so wird man mit entsprechend niedrigen magnetischen Flussdichten belohnt!

Weiterführende Informationen

Im Rahmen des auch vom IBN zur Qualitätssicherung von „Baubiologischen Messtechnikern IBN“ anerkannten Workshops „Magnetische Wechselfelder: Netzformen der Energieversorgung und ihre Auswirkungen auf Fehl- und Ausgleichsströme“ der *Iphöfer Messtechnik Seminare IMS*, in Kooperation mit dem Berufsverband Deutscher Baubiologen VDB e.V., werden oben beschriebenen Situationen an praxisnahen Modellen durch die Teilnehmer geübt.

Dr.-Ing. Dietrich Moldan
Am Henkelsee 13, 97346 Iphofen
Baubiologe IBN
Mitglied im Berufsverband Deutscher Baubiologen VDB e.V.
www.drmoldan.de
Tel: 0 93 23 / 87 08-10

HINWEIS:

Dieser Artikel wurde in gekürzter Form in der Zeitschrift *Wohnung & Gesundheit* des Instituts für Baubiologie und Nachhaltigkeit IBN im Heft 160, Herbst 2016 veröffentlicht.