

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 92 (2001)

Heft: 15

Artikel: Reduzierung der magnetischen Felder in der Nähe elektrischer Anlagen

Autor: Gantenbein, Fritz / Orzan, David / Walther, Peter

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-855729>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 23.12.2024

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Reduzierung der magnetischen Felder in der Nähe elektrischer Anlagen

Erfahrungen mit einem Berechnungsprogramm

Die Verordnung über den Schutz vor nicht ionisierender Strahlung (NISV) ist seit dem 1. Februar 2000 in Kraft. Sie legt unter anderem Grenzwerte für die 50- und 16²/₃-Hertz-Anlagen fest, die z.T. schwierig einzuhalten sind. Spezielle Computerprogramme wurden entwickelt, um die Feldverhältnisse an Frei-

leitungen zu berechnen und die Emissionen durch geeignete Phasenordnung zu optimieren. Die vorgeschlagenen Verbesserungsmaßnahmen können den Betreibern elektrischer Anlagen helfen, mit ein-

Fritz Gantenbein, David Orzan, Peter Walther

fachen Methoden Feldreduktionen im Leitungs- und Anlagenbau zu erreichen. Dadurch können unliebsame Überraschungen vermieden, zusätzliche Kosten gespart und Terminverzögerungen ausgeschlossen werden, da das Objekt vor der Realisierung optimiert werden kann.

Der vorliegende Artikel stellt anhand von zwei Beispielen vor, wie man mit

einem Feldberechnungsprogramm die vorhandenen Probleme optimal lösen kann. Das erste Beispiel beschreibt eine Freileitung, bei der der vorgegebene Grenzwert des magnetischen Feldes überschritten wird. Die Berechnungen zeigen die Feldverhältnisse vor und nach der Optimierung der Leiteranordnung. Als zweites Beispiel wird eine ältere Verteilanlage beschrieben, welche erneuert werden musste.

Es werden Vorgehensweisen aufgezeigt, welche eine markante Reduktion des magnetischen Feldes bewirken. Dies ist vor allem wichtig, sofern sich in Anlagennähe Orte mit empfindlicher Nutzung befinden. Die Wirksamkeit des vorgeschlagenen Konzeptes kann durch einen Vergleich der Felder vor und nach der

Renovation der Anlage verifiziert werden. Dabei wurden Messungen und Berechnungen verglichen.

Magnetische Felder einer Freileitung

Für die Ermittlung der magnetischen Felder sind neben den elektrischen Daten auch die Mastbilder mit den Leiterhöhen massgebend. Damit auch die Orte mit empfindlicher Nutzung¹ im Programm berücksichtigt werden können, sind genaue Angaben über die der Leitung nächstliegenden Bauten, Kinderspielflächen und dergleichen einzugeben. Die anschließende Berechnung mit dem Resultat des Abstandes zum 1- μ T-Grenzwert und zu den Orten mit empfindlicher Nutzung beeinflusst den Trasseeverlauf. Durch Anpassungen an der Leitungsgeometrie (Mastbild, Leiterhöhe) oder durch Trasseänderung kann der 1- μ T-Grenzwert von empfindlichen Orten distanziert werden.

Die Eingabe der Anlagen im verwendeten Programm EFC-400² erfolgt meist durch Einsetzen bereits vorhandener Objekte aus Bibliotheken. Im Programm sind verschiedene Mastbilder, Mittelspannungszellen, Niederspannungsverteilungen, Kabel, Trafos und andere Objekte verfügbar. Optimierungen müssen im Programm manuell durchgeführt werden.

Im nachfolgend beschriebenen Beispiel wird die Ausbreitung der Felder einer Freileitung untersucht und gezeigt, wie diese durch geeignete Anordnung der Leiter reduziert werden können. In Bild 1 ist das Rechenergebnis für eine 220-kV-Doppelleitung mit nicht optimaler Phasenordnung dargestellt. Es wurde davon ausgegangen, dass die am häufigsten vorkommende Energierichtung bei beiden Leitungssträngen identisch ist. Da die Felder nach den Vorschriften beim thermischen Grenzstrom bei 40°C Umgebungstemperatur zu beurteilen sind, wurden sie auf Grund des Leiterquerschnitts mit 745 A berechnet.

Aus der Berechnung ist ersichtlich, in welcher Entfernung der Grenzwert von 1 μ T liegt (äusserster, blauer Kreis). Im vorliegenden Fall befindet sich der Wohnbereich innerhalb der Grenzwert-

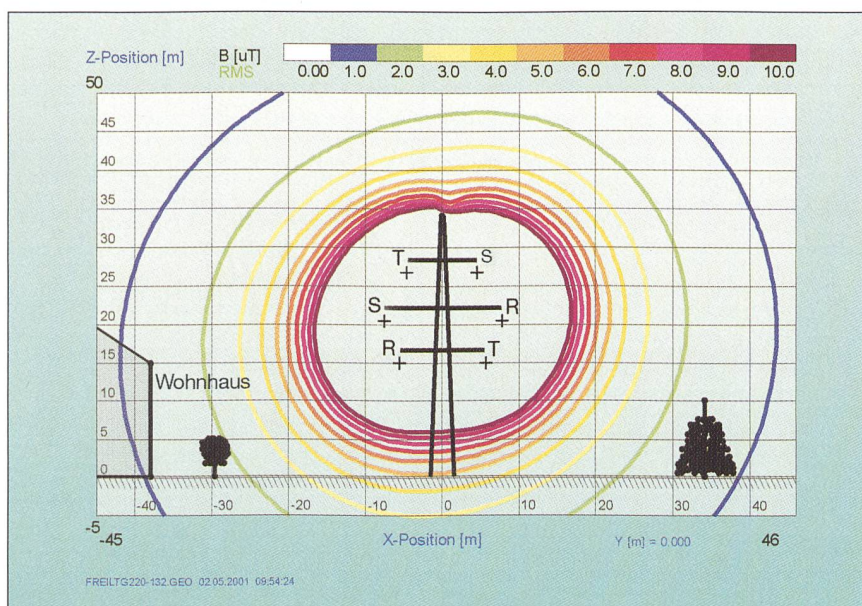


Bild 1 220-kV-Leitung mit nicht idealer (nicht punktsymmetrischer) Anordnung der Leiter (berechnet)

Das Wohnhaus liegt im Grenzwertbereich von 1 μ T. Die Kreise definieren Orte mit identischer magnetischer Feldstärke.

Technische Daten: Leiter 364 mm² Al und 40 mm² Stahl; thermischer Grenzstrom 745 A; Grenzwert 1 μ T

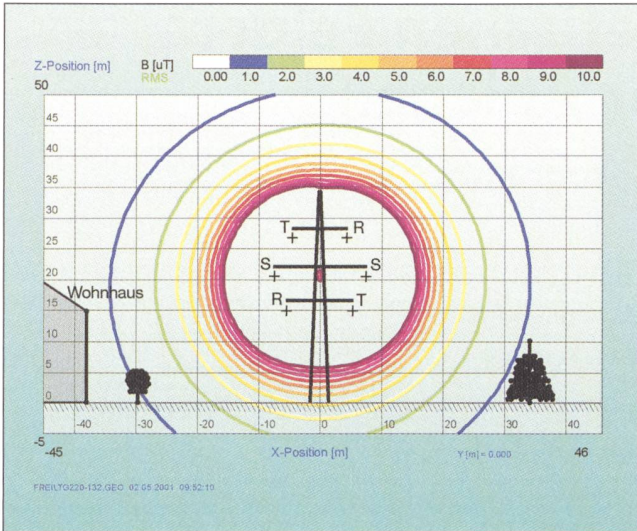


Bild 2 Gleiche Berechnung wie Bild 1, aber mit punktsymmetrischer Anordnung der Leiter

Das Feld weicht um etwa 10 m zurück. Das Wohnhaus liegt jetzt ausserhalb des Grenzwertes. Technische Daten: wie in Bild 1

zone. Mit weiteren Berechnungen kann rasch die optimale Anordnung der Phasen mit minimaler Feldemission gefunden werden. Der idealste Fall ist die punktsymmetrische Anordnung der Leiter (Bild 2).

Vergleicht man die beiden Berechnungen gemäss den Bildern 1 und 2 miteinander, so führt die Phasenoptimierung zu einer effektiven Verminderung der Feldemission einer Freileitung. Nachdem der Netzbetreiber laut Empfehlung zwei Phasen kreuzte (siehe Bild 2), sanken die Werte wie erwartet und in der Nähe des

Wohnhauses wurde der Grenzwert nicht mehr überschritten. Es lassen sich mit dem gleichen Programm auch Freileitungen mit mehr als zwei Strängen mit verschiedenen Spannungsebenen und mit unterschiedlichen Frequenzen (z. B. 50 Hz und $16^{2/3}$ Hz) berechnen.

Empfehlung zur Reduzierung des magnetischen Feldes

1. Allgemein: Damit die Feldstärken klein bleiben, sollten die Phasenleiter kleine Abstände zueinander aufweisen, aber aus Betriebssicherheitsgründen

müssen die Leiter trotzdem ausreichend distanziert sein.

2. Einfache Systeme: Idealerweise sind hier Leiteranordnungen im Dreieck anzuwenden und Anordnungen in einer Ebene zu vermeiden.
3. Mehrfache Systeme: Bei mehreren Systemen auf dem gleichen Tragwerk ist mit einer Optimierung durch das Programm die günstigste Leiteranordnung herauszufinden.

Magnetische Felder einer Trafostation

Die zu sanierende Anlage besteht im Wesentlichen aus einer Niederspannungsverteilung mit 20 Abgängen und grossen Abständen zwischen den Sammelschienen, die von zwei 630-kVA-Transformatoren im Parallelbetrieb gespeist wird. Die Mittelspannungsinstallation ist in offener Bauart mit blanken Leitern ausgeführt. Drei Meter von der Trafostation entfernt befindet sich ein Kinderspielplatz, bei dem der zulässige Grenzwert überschritten wird (Bild 3). Eine Forderung des Kunden war, dass der Grenzwert durch die sanierte Anlage eingehalten wird.

Die Auswirkungen möglicher Sanierungsmaßnahmen wurden rechnerisch überprüft und mit den NISV-Anforderungen verglichen. Durch den Einsatz neuer

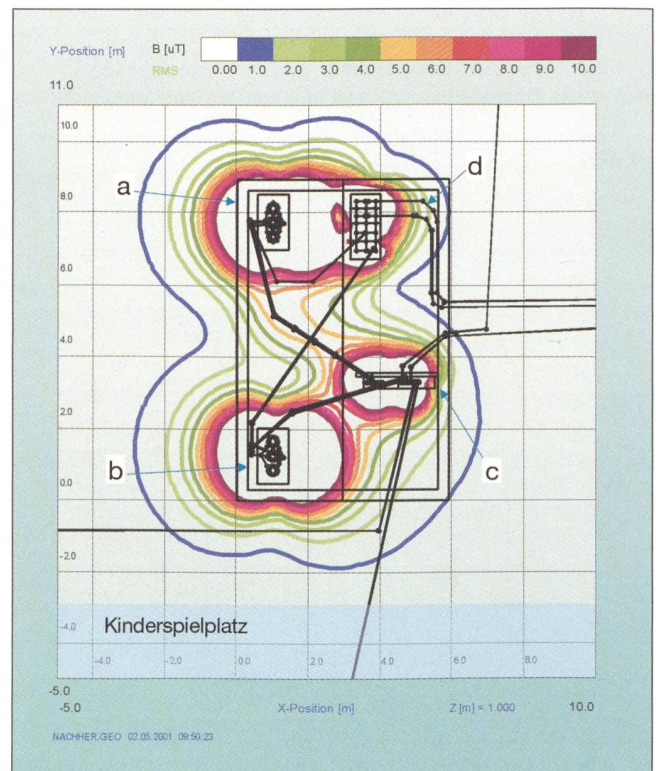
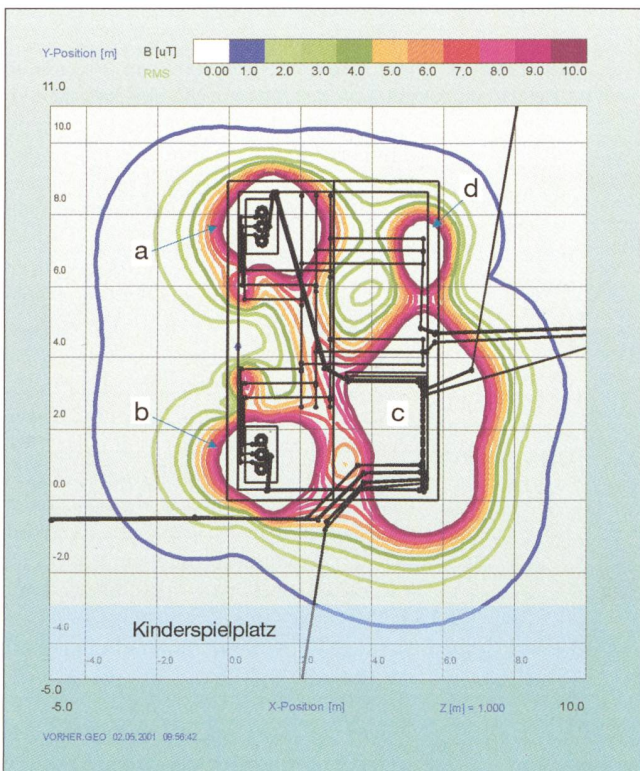


Bild 3 (links): Trafostation vor dem Umbau. Zwei Trafos (a, b) mit je einer Leistung von 630 kVA sind in Betrieb ($I_{N\text{sek}} = 909$ A). c = Niederspannungsverteilung, d = Mittelspannungsinstallation – **Bild 4** (rechts): Trafostation nach dem Umbau. Zwei Trafos (a, b) mit je einer Leistung von 630 kVA sind in Betrieb ($I_{N\text{sek}} = 909$ A), die Niederspannungsverteilung (c) ist jetzt an einer Zwischenwand montiert. d = Mittelspannungsinstallation

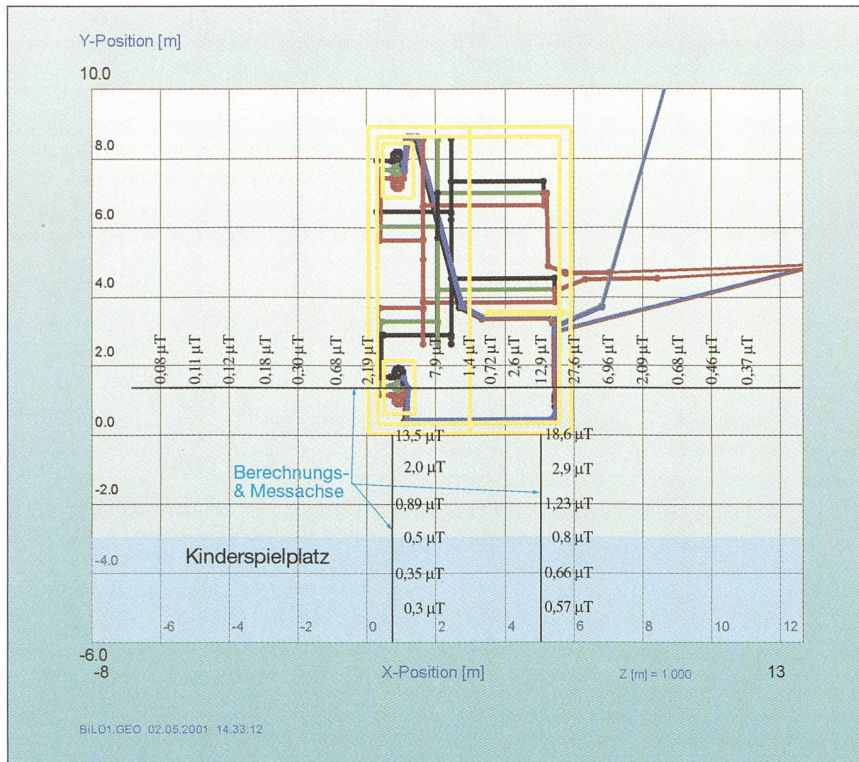


Bild 5 Gebäude der Trafostation mit ihren Komponenten
Die zum Vergleich verwendeten Berechnungs- und Messachsen sind im Bild eingetragen (blaue Pfeile).

kompakter Komponenten bei den Verteilungen auf der Mittel- und Niederspannungsebene war eine Verbesserung zu erwarten. Das Versetzen der Niederspannungsverteilung von der Aussenwand an eine Zwischenwand mit geringerem Sammelschienenabstand war ebenfalls vor-

teilhaft, wie auch der Einsatz von im Dreieck verlegten Mittelspannungskabeln anstelle blanker Leiter mit grösseren Distanzen. Günstig ist auch der Anschluss der Niederspannungssammelschiene in der Mitte, damit sich der Einspeisestrom beidseitig aufteilt und sich

dadurch die Felder teilweise aufheben. Für die Berechnung muss gemäss Verordnung der Nennstrom der Transformatoren berücksichtigt werden, obwohl dieser in der Regel nicht erreicht wird.

Ein Vergleich der Ergebnisse in den Bildern 3 und 4 zeigt eine deutliche Verminderung der Feldemission nach dem Umbau. Eine massive Verbesserung wird durch das Versetzen der Niederspannungsverteilung von der Aussenwand an eine Innenwand mit dem Einsatz kompakter Verteilungen mit kleinen Leiterabständen erzielt. Die Berücksichtigung aller Aspekte ergab ein gutes Ergebnis mit geringen Feldeinwirkungen auf den Kinderspielplatz. Es ist zu bemerken, dass die vorgeschlagenen Massnahmen für den Kunden keine zusätzlichen Kosten verursachten.

Vergleich

Da eine Trafostation eine komplizierte Anordnung darstellt, kann man sich fragen, wie weit die Berechnung mit der Wirklichkeit übereinstimmt. Zur Beantwortung dieser Frage wurden im Bereich der Anlage die magnetischen Felder entlang den in Bild 5 eingetragenen Messachsen aufgenommen³. Das Objekt eignete sich für einen Vergleich sehr gut, da es frei stehend, von allen Seiten gut zugänglich und weitgehend ohne Beeinflussungen von anderen elektrischen Installationen war.

Da die Messungen nur bei Teillast durchführbar waren, wurden die Messergebnisse zum Vergleich mit den Rechnungen linear auf den Nennleistungswert der Transformatoreinspeisung hochgerechnet.

Die gemessenen Belastungen der beiden 630-kVA-Trafos waren nicht ganz symmetrisch und betragen sekundärseitig im Durchschnitt 130 A pro Wicklung. Mit dem Programm wurde aber eine symmetrische Belastung von 130 A pro Phase angenommen (Bild 6).

Der Vergleich nach Bild 7 zeigt eine gute Übereinstimmung, ausser bei Zonen in unmittelbarer Nähe von Anlageteilen mit grossen Strömen wie z.B. Sammelschienen. Da mit dem Programm die abgehenden 400-V-Kabel als gleichmässig belastet vorgegeben wurden, dies aber nur angenähert der tatsächlichen Situation entsprach, sind dort Abweichungen nicht zu vermeiden, dürften aber in der Praxis in den meisten Fällen nicht von Bedeutung sein, da in unmittelbarer Nähe dieser Komponenten keine Räume mit empfindlicher Nutzung vorhanden sind. Sollte dies aber zutreffen, so müsste die räumliche Kabelanordnung mit den entsprechenden Abgangsstromwerten dem

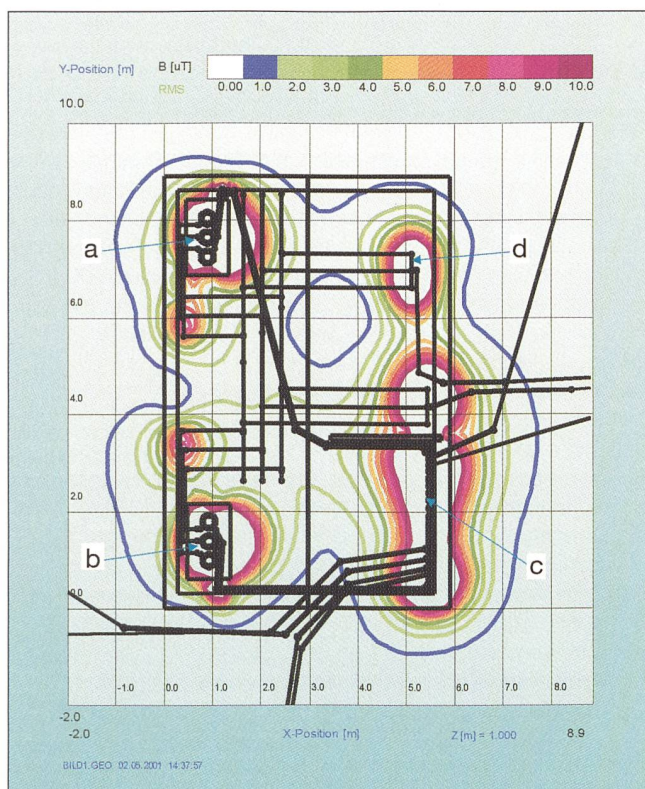


Bild 6 Ursprüngliche Anordnung der Komponenten

Berechnung wie Bild 3, aber mit einer Belastung von 130 A pro Phase. Die äusserste (blaue) Linie kennzeichnet den Grenzwert von 1 µT.
a, b = Trafos, c = Niederspannungsverteilung, d = Mittelspannungsinstallation

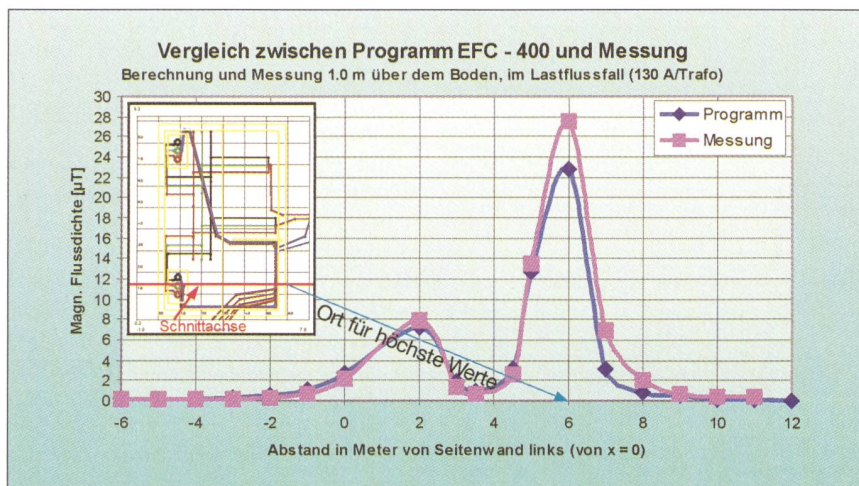


Bild 7 Vergleich

Berechnung mit dem Programm EFC-400 und Messung mit dem Messgerät für magnetische Felder. Im Bereich des Trafos (0 bis 2,0 m) sind keine Messungen möglich, daher wurden die Messpunkte interpoliert.

Berechnungsprogramm vorgegeben werden.

Im Anlagenraum lagen die meisten Messpunkte etwas über den Werten aus dem Berechnungsprogramm, dies ergibt sich aus der leicht asymmetrischen Belastung der einzelnen Phasen während des Messvorgangs. Asymmetrische Belastungen bewirken eine Erhöhung der auftretenden magnetischen Felder. Im Bereich des interessierenden Grenzwertes von $1 \mu\text{T}$, also in grösserer Entfernung von der Niederspannungsinstallation, sind aber kaum Unterschiede festzustellen. Im Pro-

gramm wären asymmetrische Eingaben möglich, aber da solche Betriebszustände von Zufälligkeiten abhängig und nicht reproduzierbar sind, werden Berechnungen in der Regel mit symmetrischer Last ausgeführt.

Empfehlungen für die Projektierung einer Trafostation

Zum Berechnen einer Transformatorstation sind nebst der räumlichen Anordnung weitere Parameter der Anlage wie elektrische Nenndaten notwendig. In den vorher dargestellten Beispielen und der

folgenden Stichwortliste werden Optimierungsmöglichkeiten aufgezeigt, die eine Verminderung der magnetischen Feldstärken bewirken.

- Verbindungen zwischen Trafo und Niederspannungsverteilung mit möglichst kurzen Kabeln im Dreieck verlegen; evtl. Einsatz von emissionsarmen Sammelschienen
- Niederspannungsverteilung eher in der Mitte des Raumes und nicht an die Aussenwand montieren (abhängig von Orten mit empfindlicher Nutzung)
- Kleine Phasenabstände bei den Nieder- und Mittelspannungsverteilungen
- Günstige Raumeinteilung
- Einspeisung der Niederspannungsverteilung in der Mitte (bessere Kompensation des Feldes)
- Nur wenig überdimensionierte Trafos einsetzen
- Abschirmmassnahmen in der Trafostation mit geeigneten Materialien sofern notwendig, falls billigere Massnahmen nicht möglich sind

Nach den Ergebnissen in Bild 4 liegt der Grenzwert von $1 \mu\text{T}$ nach der Sanierung ausserhalb des Spielplatzes. Auf den anderen drei Seiten der Anlage sind im $1\text{-}\mu\text{T}$ -Bereich keine Häuser oder Zonen empfindlicher Nutzung gemäss NISV vorhanden. Sind auf diese Weise keine zufrieden stellenden Lösungen möglich, müsste man Abschirmmassnahmen – mit Vorteil im Traforaum – vorsehen.

Mit einem Vergleich zwischen Messung und Berechnung konnte nachgewiesen werden, dass die Resultate auch in komplexen Anordnungen wie bei der betrachteten Trafostation gut mit den gemessenen Feldgrössen übereinstimmen. Die Berechnungen zeigen, dass durch entsprechende räumliche Dispositionen und den Einsatz kompakter Verbindungselemente und Komponenten möglichst günstige Feldbedingungen für die kritischen Zonen erreichbar sind.

Adresse der Autoren

BKW FMB Energie AG, Technik und Engineering, 3000 Bern 25; Dr. David Orzan, david.orzan@bkw-fmb.ch; Fritz Gantenbein, El.-Ing., fritz.gantenbein@bkw-fmb.ch; Peter Walther, El.-Ing., peter.walther@bkw-fmb.ch

¹ a) Räume in Gebäuden, in den sich Personen regelmässig während längerer Zeit aufhalten; b) öffentliche oder private, raumplanungsrechtlich festgesetzte Kinderspielplätze; c) diejenigen Flächen von unüberbauten Grundstücken, auf denen Nutzungen nach den Buchstaben a) und b) zugelassen sind.

² Die Berechnungen wurden mit dem Programm EFC-400 der Firma FGEU (Forschungsgesellschaft für Energie und Umwelttechnologie, Deutschland) durchgeführt.

³ Die Messungen wurden mit dem Messgerät Programm Typ Tesla 100 durchgeführt.

Réduction des champs magnétiques dans l'environnement des équipements électriques

L'Ordonnance sur le rayonnement non ionisant (Orni) est en vigueur depuis le 1^{er} février 2000. Elle fixe en particulier pour les installations électriques 50 Hz et $16\frac{2}{3}$ Hz des limites parfois difficiles à respecter. Cet article présente des exemples d'application où un programme de calculs a permis de trouver une solution optimale à ces problèmes.

On considère tout d'abord le cas d'une ligne aérienne dont l'émission de champ magnétique dépasse la limite fixée par la norme. Les calculs montrent la situation avant et après l'optimisation de la disposition des conducteurs. Ensuite, on décrit le cas d'un poste de distribution ancien devant être rénové. En plus des caractéristiques habituelles pour ce type de poste, l'exploitant exigeait à juste titre une conformité à l'Orni. On décrit les mesures simples qui ont permis une réduction significative de la valeur du champ magnétique dans une zone sensible proche. L'efficacité du concept proposé peut être vérifiée en comparant les deux cartographies de champ magnétique correspondant à la situation avant et après la rénovation. Enfin, une comparaison entre des mesures et des calculs valide le programme de calculs utilisé. Cet article illustre un des avantages propre à toutes les simulations, à savoir celui de prévoir avec précision la situation avant la réalisation effective du projet, évitant ainsi les mauvaises surprises et les coûts supplémentaires occasionnés par des modifications ultérieures.