

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: 71 (1980)

Heft: 23

Artikel: Entstörungsmassnahmen in Starkstromversorgungsnetzen

Autor: Hausdorf

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-905317>

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: 29.01.2025

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

Entstörungsmassnahmen in Starkstromversorgungsnetzen

Von K. Hausdorf

621.311.4

Es wird von geeigneten Entstörungsmassnahmen in Starkstromversorgungsnetzen 380/220...1000 V in Industriebetrieben gesprochen. Der Aufsatz befasst sich im wesentlichen mit technischen Möglichkeiten zur Vermeidung von Beeinflussungen durch den leitungsgebundenen sowohl nieder- wie auch hochfrequenten Bereich des Störspektrums. Als Entstörgerät wird das Industrienetzfilter und seine Weiterentwicklung beschrieben.

Discussion des mesures d'antiparasitage appropriées à des réseaux de distribution de 380/220 V à 1000 V dans des entreprises industrielles. L'exposé concerne surtout les possibilités techniques d'éviter le domaine lié aux lignes du spectre basse et haute fréquence des parasites. Description du filtre pour réseaux industriels, servant de dispositif de déparasitage ainsi que de son perfectionnement.

1. Allgemeines

1.1 Elektromagnetische Verträglichkeit

Unter der Elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV) versteht man hier die Fähigkeit elektrischer Betriebsmittel, in einer bestimmten elektromagnetischen Umgebung (EMV-Klima) ohne gegenseitige Beeinträchtigung zu funktionieren [1]. Der Begriff EMV findet zunehmende Beachtung auch in Industriebetrieben oder allgemein in Umgebung mit rauhem elektromagnetischem Klima. Dort ist es oft besonders schwierig und auch kostspielig, entweder einen ausreichenden Störabstand oder einen kleinen Störpegel zu erreichen.

Insbesondere durch den steigenden Einsatz von Apparaten der Leistungselektronik einerseits und von empfindlichen elektronischen Geräten andererseits, haben die Probleme der gegenseitigen Beeinträchtigung durch leitungsgebundene Störungen stark an Bedeutung gewonnen. Die Elektronik hat Eingang in die gesamte Industrie gefunden. Die auf Störeinflüsse aus dem Netz empfindlichen Messgeräte und -systeme, EDV-Anlagen, Überwachungs- und Steuersysteme usw. müssen wirksam geschützt werden. Dies setzt jedoch Kenntnis der auftretenden oder möglichen Störungen voraus.

1.2 EMV-Planung

Die EMV-Planung ist ein Problem der technisch-wirtschaftlichen Optimierung. Sie wird in folgender Reihenfolge ausgeführt: Festlegung der Bedürfnisse (Analyse und Planung), Projektierung von EMV-Massnahmen, Bau sowie Nachweis der Wirksamkeit der Massnahmen.

Es gibt natürlich bei der EMV-Planung gewisse Unterschiede zwischen neu konzipierten und bereits vorhandenen Anlagen. Zur Vermeidung unzulässiger Beeinflussungen ist es wirkungsvoller, eine *vorausschauende* EMV-Planung durchzuführen anstelle von ausschliesslich nachträglichen Abhilfemassnahmen, die an fertigen Systemen oft schwer durchführbar sind [2].

EMV-Spezialisten sollten bei der Planung von Anfang an mitwirken. Dadurch erreicht man die notwendige Ausweitung des EMV-Bewusstseins bei Auftraggeber und Auftragnehmer. Als Ziel eines jeden Projektes kann man die Sicherstellung ungestörter und uneingeschränkter Funktion bezeichnen. Dies ist Veranlassung genug, um EMV-Planung auch dort durchzuführen, wo es bisher nicht üblich ist.

1.3 EMV-Normung

Für die Planung der EMV in Stromversorgungsnetzen, vor allem auf dem Gebiet der niederfrequenten Beeinflussungen unterhalb von 150 kHz, gibt es noch keine Normung [3].

Die Festlegung von *Verträglichkeitspegeln* für die verschiedenen EMV-Parameter als Betriebsbedingungen für die Betriebsmittel ist der erste Schritt. Auf dieser Basis können dann für die verschiedenen Betriebsmittel Anforderungen hinsichtlich der Störfestigkeit festgelegt werden. Dazu sind zahlreiche Beobachtungen und Messungen im Netz notwendig. Es ist zu hoffen, dass das sehr umfangreiche Aufgabengebiet im nationalen und internationalen Rahmen (IEC TC 77) möglichst bald bearbeitet werden kann.

2. Netzstörungen

Von allen Arten der Netzstörungen stellen Impulse für elektronische Geräte die unangenehmsten Störungen dar (4). Impulse entstehen durch Schaltvorgänge im Netz. Das Frequenzspektrum liegt bei einigen 100 kHz, die Amplituden können im Niederspannungsnetz einige 10 V erreichen.

Ausserdem treten auch sehr steile Störsignale (HF-Impulse im ns-Bereich) mit grosser Amplitude (einige 100 V) auf, die zu Fehlfunktionen führen können. Diese Störungen wirken allerdings nur in relativ begrenzter Umgebung des Störers. Weiter verbreiten sich nur Störungen im μ s- und ms-Bereich.

Eine andere Störungsart ist die Verzerrung der Sinuskurve (50 Hz), die manchmal unzulässig ist. Diese Störung wird durch einen starken Anteil niederfrequenter Oberwellen verursacht.

Die folgenden Betrachtungen beschränken sich auf die obigen Arten von Störungen und deren Frequenzbereich von 2 kHz bis einige MHz.

Die Auswirkungen sind sowohl von der Art des Störers wie auch von der Art des Verbrauchers (Gestörten) abhängig [4]. In dieser Hinsicht sollen hier nur folgende 2 Verbrauchergruppen betrachtet werden: breitbandige Messverstärker mit hoher Verstärkung sowie digitale Schaltungen. Bei diesen sind ein störungsfreier Messeingang in breitem Frequenzbereich bzw. eine einwandfreie Versorgung ohne Impulsstörungen wichtig und notwendig.

3. Entstörungsmassnahmen

Für das genannte EMV-Klima wird eine breitbandige Entstörung benötigt. Es kommen weder Saugkreise für Oberwellen noch konventionelle Funkentstörfilter (ab 150 kHz) in Frage.

Der Hauptanteil der Entstörung soll beim Störer liegen. Dies ist jedoch in der Praxis nicht immer möglich oder wirtschaftlich. Alle ergriffenen Massnahmen sollen einen wirksamen und vollständigen Schutz der Verbraucher gewährleisten und gleichzeitig Störmöglichkeiten im Netz verhindern. Die maximale Entstörwirkung erreicht man, wenn die Entstörgeräte

im Rahmen einer EMV-Planung berücksichtigt werden. Es geht nicht nur um die Frage der mechanischen Anordnung (Lage, Erdung), sondern vor allem um die elektrische Auslegung.

Die in der Entstörtechnik üblichen Massnahmen umfassen Entstörkondensatoren, Entstördrosseln sowie Filter. Die Wahl des geeigneten Entstörmittels richtet sich grundsätzlich nach dem geforderten Entstörgrad (Dämpfung), dem Frequenzband, der Art der Störung und den Impedanzen von Störer und gestörtem Verbraucher.

Hohe Dämpfung über einen grossen Frequenzbereich kann man nur mit einem Filter aus einer Kombination von Kondensatoren und Drosseln erreichen. Mit derartigen Filtern lässt sich auch der Nachteil vermeiden, dass die Dämpfung für eingeprengte Spannung (beim Kondensator) oder für eingeprengten Strom (beim Drosselfilter) nicht vorhanden ist [5].

4. Netzfilter

4.1 Eigenschaften

Filterschaltungen sollen das Ausbreiten von bestimmten Frequenzen oder Frequenzbereichen verhindern oder zumindest einschränken. Die technischen Frequenzen (50/60 oder 400 Hz) sollen aber ohne Behinderung passieren. Diese Forderung lässt sich mit einem Tiefpass (Längsinduktivitäten und Querkapazitäten) bzw. einer Bandsperre realisieren. Dies sind Reaktanzvierpole mit einem Durchlassbereich unterhalb einer Grenzfrequenz bzw. einem Sperrbereich zwischen zwei Grenzfrequenzen.

Die Dämpfung und der Frequenzbereich richten sich nach dem Pflichtenheft. Bei geforderten Dämpfungen > 60 dB soll auf jeden Fall die Notwendigkeit überprüft werden. Derartige Dämpfungen können zu einer unnötigen Verteuerung des Filters führen. Für die Dämpfung von Impulsen muss bei der Festlegung der Grenzfrequenz eines Filters die notwendige Impulsdämpfung berücksichtigt werden.

Im Unterschied zur Nachrichtentechnik ist die Bemessung von Filtern für Starkstromanlagen nur mit einigen Einschränkungen möglich [6]. Eine dieser Einschränkungen betrifft den Spannungsabfall über den Filterinduktivitäten und den Blindstrom durch die Filterkapazitäten. Für tiefe Grenzfrequenzen z.B. sind grosse Filterkapazitäten notwendig. Dabei steigen sowohl der Aufwand für Bauelemente als auch die Blindströme. Oft können die gerechneten Kenngrössen aus technischen oder wirtschaftlichen Gründen nicht realisiert werden. Es bestehen also technische Grenzen bezüglich der zulässigen Betriebsstromstärken und Betriebsspannungen.

Eine weitere Einschränkung betrifft die Variationen von Störer- und Verbraucherimpedanz. Im Netz sind diese Impedanzen erstens oft nicht bekannt und zweitens veränderlich. Dadurch wird das Verhalten der Filter stark beeinflusst. Um auch bei unbekanntem oder variablen Impedanzen eine ausreichende Dämpfung und einen sauberen Dämpfungsverlauf ohne Einbrüche zu erreichen, müssen mehrgliedrige Filter verwendet werden. Ferner soll die Konfiguration des Filters allfällige Anpassungen an die unterschiedlichen Impedanzen im Betrieb ermöglichen.

Ein Netzfilter soll im weiteren, je nach Anwendung, beide Störspannungen auf Leitungen unterdrücken, d.h. sowohl die symmetrische (zwischen Leitungen) wie auch die asymmetrische (gegen Erde) Komponente.

4.2 Konstruktion

Industrienetzfilter werden zur Entstörung von grossen elektrischen Maschinen und Anlagen verwendet. Infolge des grossen Einbauvolumens wird eine Schrankbauweise benötigt.

Es sind ausreichende Schirmungs- und Erdungsmassnahmen zu treffen, um die Wirksamkeit des Filters nicht zu reduzieren. Dieses soll in einem Metallgehäuse untergebracht werden, und die Verbindung zwischen seiner Erdleitung und Erde soll genügend hochfrequenz-niederohmig ausgeführt werden. Das Filter muss an die Schutzterde angeschlossen werden.

4.3 Bauelemente

Bestandteile solcher Filter sind, wie erwähnt, Drosseln und Kondensatoren. Diese stehen für die Starkstromanwendung nur mit einem begrenzten Typenspektrum zur Verfügung. Neben anderen werden folgende Anforderungen gestellt: niedrige Verluste (Erwärmung) beim Betriebsstrom und ausreichende Spannungsfestigkeit bei auftretenden Überspannungen. Im allgemeinen sind vorschriftsgemäss gebaute Kondensatoren diesen Anforderungen gewachsen. Bei Drosseln hingegen müssen besondere Massnahmen getroffen werden.

Kondensatoren und Drosseln verhalten sich in der Praxis nicht als reine Reaktanzen. Der Einfluss der Umgebung, grosser Abmessungen und der Geometrie macht sich stark bemerkbar. Demzufolge werden die idealen Eigenschaften nicht erreicht. Eine Drossel lässt sich grob als eine Parallelschaltung von Induktivität und Kapazität, ein Kondensator als eine entsprechende Reihenschaltung darstellen.

Tiefpassfilter mit üblichen Drosselspulen (einige $10 \mu\text{H}$) und Kondensatoren (einige $10 \mu\text{F}$) sind nur im Bereich tiefer Frequenzen verwendbar (Fig. 1). Sie wirken auch nur in einem mehr oder weniger schmalen Frequenzband (Fig. 2).

Um auch im Bereich höherer Frequenzen (einige 100 kHz) eine ausreichende Dämpfung zu erreichen, muss die Schaltungskonfiguration um besondere Bauelemente erweitert werden. Zu diesem Zweck werden geeignete HF-Entstördrosseln (Stabkern-drosseln) verwendet (Fig. 3; 4). Durch den stetigen Dämpfungsanstieg bis zur relativ hohen Eigenresonanzfrequenz wird

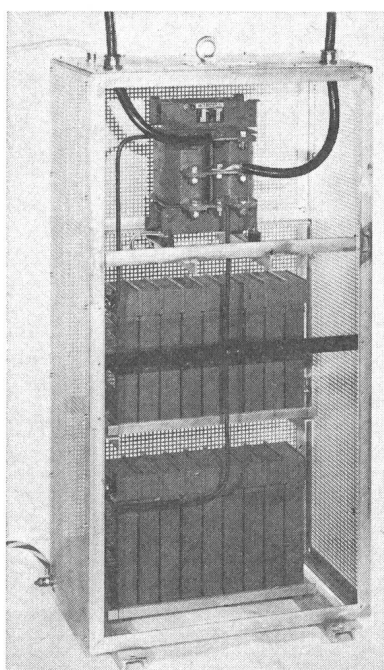


Fig. 1
Niederfrequenzfilter
380 V \sim /265 A

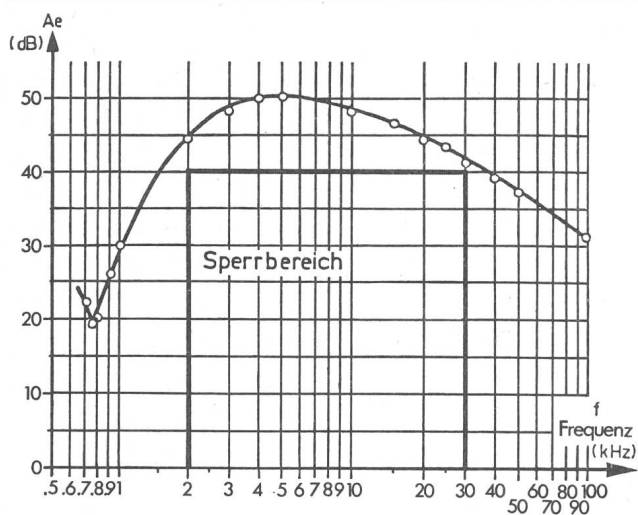


Fig. 2 Einfügungsdämpfung A_e in Abhängigkeit von der Frequenz f
Filter 380 V~/265 A, gemessene Werte



Fig. 3 Einfügungsdämpfung A_e in Abhängigkeit von der Frequenz f
Filter 380 V~/130 A, gemessene Werte

der Dämpfungsabfall anderer Komponenten kompensiert. Dadurch lassen sich folgende Vorteile erzielen: grosse Kapazitätswerte der konventionellen Kondensatoren und dadurch tiefe Grenzfrequenz; höhere Eigenresonanzfrequenz der Drosseln und somit grössere Bandbreite.

Für noch höhere Frequenzen kann die Schaltung um Durchführungselemente ergänzt werden. Mit einem Durchführungskondensator oder koaxialen Breitband-Durchführungsfiler wird ein Dämpfungsanstieg bis weit in den MHz-Bereich erreicht.

4.4 Grenzwerte bei der Filterauslegung

Bisher gab es einige Standardtypenreihen für Dämpfungen von z. B. 60 dB im Frequenzbereich von 150 kHz bis 30 MHz mit Stromstärken von 5...200 A und einer Betriebsspannung von 380/220 V (6). Es galt früher als nicht üblich und wirtschaftlich, für Starkstromanlagen mit Stromstärken über 40 A grössere Dämpfungen als 40 dB unterhalb von 20 kHz breitbandig einzuhalten.

Mit der Notwendigkeit der Netzverriegelung auch weit unterhalb von 150 kHz ändern sich die bisherigen Bemessungsgrenzwerte. Es werden Filter für Stromstärken bis zu 1000 A, Betriebsspannungen bis 1000 V und breitbandige Dämpfung von ≥ 40 dB im Frequenzbereich 2 kHz bis einige MHz hergestellt. Die Grenzbetriebsstromstärke ergibt sich in Abhängigkeit von der spezifizierten Dämpfung sowie vom zulässigen Spannungsabfall. Bei hohen Spannungen steigen natürlich auch die Blindströme. Zu deren Begrenzung kann, je nach Anlage, eine interne (im Filter) oder externe Kompensation vorgesehen werden.

Um jedoch auch unter diesen verschärften Bedingungen wirtschaftlich tragbare Filter bauen zu können, sind folgende Gesichtspunkte zu beachten:

- die notwendige Dämpfung ist aufgrund von vorhandenen Störungen und der Störimmunität des Verbrauchers zu spezifizieren,
- bei der Berechnung der Filter sind die Eigenschaften der Bauelemente voll zu berücksichtigen und auszunutzen.

Im allgemeinen ist mit Hilfe eines Rechnerprogramms weitgehende Optimierung möglich.

5. Ein Industriefilter der neuen Generation

- Frequenzbereich 2 kHz...10 MHz
- Dämpfung ≥ 50 dB asymmetrisch
- Betriebsspannung 380 V~
- Betriebsstrom 130 A
- Grenzfrequenz 300 Hz
- Blindstrombegrenzung extern

Mit diesem Filter (Fig. 3) kann eine relativ ausgeglichene Dämpfungskurve ohne nennenswerte Einbrüche in breitem Frequenzbereich erzielt werden. Dabei werden die bereits erwähnten Komponenten verwendet: Niederspannungs-Leistungskondensatoren, HF-Drosseln, Durchführungskondensator sowie koaxiales Breitband-Durchführungsfiler.

Es handelt sich um ein Gerät in Schrankbauweise und als Baukastensystem konzipiert (Fig. 4). Je nach Anwendung wird es entweder freistehend oder für die Montage an eine ge-

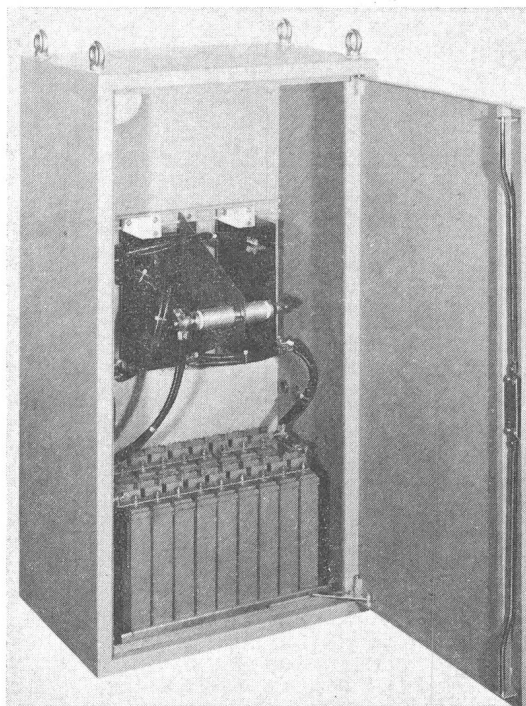


Fig. 4 Nieder- und Hochfrequenzfilter 380 V~/130 A

schirmte Kabine gebaut. Für höhere Ansprüche sind Ausbaumöglichkeiten vorgesehen. Erdungs- und Schutzleiteranschluss sind vorhanden.

6. Schlussbemerkungen

Es ist mit Sicherheit damit zu rechnen, dass einerseits durch den massiven Einsatz von Leistungselektronik auch das Störniveau auf Leitungen steigen wird und andererseits die Störimmunität der Verbraucher nicht unbegrenzt verbessert werden kann. Die Verwendung von Netzfiltern als Netzverriegelung bietet einige Vorteile vor allem in bezug auf Wirksamkeit in breitem Frequenzbereich. Somit wird der Einsatz von solchen Filtern sinnvoll, und weitere Verbesserungen können durch Optimierung erreicht werden. Solange bei der Auslegung die EMV-Grundsätze beachtet werden, sind derartige Filter auch in wirtschaftlicher Hinsicht für die Zukunft interessant.

Literatur

- [1] R. Eltschka: Planung elektromagnetischer Abschirmungen für EDV-Anlagen und Feinstmessräume in Grossbauten. E und M 97(1980)1, S. 12...15.
- [2] W. Rasek: Planung der elektromagnetischen Verträglichkeit. ETZ 100(1979)5, S. 221...225.
- [3] J. Weber: Sachaufgaben der EMV-Normung. ETZ 100(1979)5, S. 226...228.
- [4] J. Zollinger: Messen und Analysieren von Netzstörungen. Bull. SEV/VSE 70(1979)11, S. 550...554.
- [5] D. Stoll: EMC. Elektromagnetische Verträglichkeit. Berlin, Elitera-Verlag, 1976.
- [6] M. Ortloff: Technische Grenzen der Bemessung von Filterketten zur Funkentstörung von Starkstromanlagen. Siemens Z. 40(1966)3, S. 220...227.

Adresse des Autors

Dipl. Ing. K. Hausdorf, Micafil AG, 8048 Zürich.

Max Schiesser 1880-1975

Am 20. September 1980 sind es 100 Jahre, seit Max Schiesser in Uster zur Welt kam. Sein Vater, ein Textilmechaniker, hatte es der Textilkrise wegen schwer und musste oft den Arbeitsplatz wechseln. Max Schiesser besuchte die Schulen von Uster und Winterthur und absolvierte an der Metallarbeiterschule eine Schlosserlehre. Dank der Hilfe des Onkels, der 1875 in Stockach eine Textilfabrik gegründet hatte, konnte er das Technikum Winterthur besuchen und im April 1901 auch erfolgreich abschliessen. Noch im gleichen Monat trat er als Schlosser bei Brown, Boveri & Cie. in Baden ein. Nach kurzer Zeit wünschte er, weil es ihm langweilig war, in die Wicklerei versetzt zu werden, was mit einer Rückversetzung zum Handlanger mit 32 Rp. Stundenlohn verbunden war. Schon im nächsten Jahr wurde er auf Montage geschickt, wobei er durch eigenmächtiges aber äusserst geschicktes Handeln Aufsehen erregte, mit dem Erfolg, dass man ihn ins Versuchslokal umteilte.

Im Sommer 1905 ging Schiesser auf die Wanderschaft, arbeitete kurz in einer Zuckerrfabrik in Nordfrankreich und schiffte sich, mit einer Empfehlung von Sidney Brown versehen, nach den USA ein. Nach nicht ganz 1½ Jahren, als er bei der New York Edison Comp. in Stellung war, erreichte ihn die Nachricht, seine Mutter sei schwer erkrankt. Er kehrte sofort heim und traf seine Mutter noch; aber schon am folgenden Tag starb sie. Er besuchte verschiedene seiner Kollegen bei BBC und wurde bei dieser Gelegenheit zum Wiedereintritt bei BBC animiert (22. September 1907) und seinem Wunsch gemäss wieder dem Versuchslokal zugeteilt.

1911 heiratete er die Tochter eines polnischen Gutsbesitzers, die er auf einer Auslandsreise kennen gelernt hatte. Im Jahre darauf bekam das Paar, das in ganz einfachen Verhältnissen lebte, eine Tochter. Die Ernennung zum Chef des Versuchslokales um 1920, verbunden mit Handlungsvollmacht, leitete seinen Aufstieg ein. In dieser Stellung arbeitete er im Auftrag einer vom SEV und VSE eingesetzten Kommission einen grundlegenden Bericht über Erdungstechnik aus. Dieser hatte zur Folge, dass nicht nur in der Schweiz, sondern auch im Ausland weiter geforscht und schliesslich zweckmässige Regeln für die Systeme der Erdung und Nullung aufgestellt wurden.

Zahlreich sind Schiessers Leistungen für Brown Boveri; so verbesserte er z.B. den Einankerumformer und befürwortete, trotz grosser Schwierigkeiten, den Bau von Eisen-Gleichrichtern. Nachdem er 1925 zum Direktor gewählt worden war, trat er für die Entwicklung des Druckluftschalters, den Bau des sog. Kurzschlusshauses sowie die Aufnahme der Hochfrequenztechnik ins Fabrikationsprogramm ein.

1937 ernannte der Verwaltungsrat ihn zum Delegierten, und im November des gleichen Jahres verlieh ihm die ETH die Würde eines Ehrendoktors. Auf diese Ehrung war er mit Recht stolz, weil er sich stets bewusst war, dass seine Bildung manche Lücke aufwies.

An der Landi 1939 hätte sich Schiesser einen eindrucklichen BBC-Stand gewünscht. Dass dies der Thematik wegen nicht möglich war, verstimmte ihn ernstlich. Als er aber bei der Eröffnung in der Abteilung Elektrizität die zahlreichen ausgestellten BBC-Produkte sah, kam er mit offenen Armen auf mich zu und sagte: Es ist eine wunderschöne Ausstellung, alles ist vergessen!

Schiesser hat nicht nur auf technischem Gebiet Verdienste. Er war es, der veranlasste, dass die BBC-Fabrikgebäude in Baden neu verputzt wurden, im Fabrikareal Bäume gepflanzt und Blumenbeete angelegt wurden und so das Bild der trostlosen Fabrik zum Verschwinden gebracht wurde.

Im SEV versah er von 1934 bis 1941 das Amt des Präsidenten; an der IEC-Versammlung in Stresa wurde er zum Präsidenten dieses internationalen Gremiums bestimmt.

Mit 81 Jahren trat Schiesser von allen seinen Ämtern zurück. Der Stadt Baden, die ihn schon früher zum Ehrenbürger ernannt hatte, stiftete er ein Jugendhaus. Ausserberuflich war er ein grosser Garten- und Hundefreund, wanderte gerne, am liebsten im Engadin. Am 14. Februar 1975 verschied Schiesser in seinem 95. Altersjahr in Baden. Seine Frau war ihm 7 Jahre vorangegangen. H. Wüger



Bildquelle: BBC