

**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:** 66 (1975)

**Heft:** 8

**Artikel:** Statistische Betrachtungen zur Oberschwingungsproblematik in Anlagen der Leistungselektronik

**Autor:** Kloss, A.

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-915285>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 05.04.2026

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

# Statistische Betrachtungen zur Oberschwingungsproblematik in Anlagen der Leistungselektronik

Von A. Kloss

621.382.333.34 : 621.316.7 : 621.3.018.32

Bei Grossanlagen der Leistungselektronik mit mehreren unabhängigen Einheiten ist es zweckmässig, die Stromoverschwingungen des Netzes mit statistischen Methoden zu untersuchen. Die Oberschwingungen kann man wie zweidimensionelle Zufallsvektoren betrachten, bei denen man mit der Monte-Carlo-Methode den Summenvektor für ein vorgegebenes Risikomass ermitteln kann. Zahlreiche Beispiele mit verschiedenen typischen Zufallsvektoren zeigen, wie gross der statistische Einfluss auf den resultierenden Summenvektor ist, und können weiter als Basis bei Untersuchungen der Netzbelastung mit Stromoverschwingungen dienen.

Pour de grandes installations d'électronique de puissance, comprenant plusieurs unités indépendantes, il convient d'étudier statistiquement les harmoniques de courant du réseau. Ces harmoniques peuvent être considérées comme des vecteurs aléatoires bidimensionnels, dont on peut déterminer, par la méthode de Monte-Carlo, le vecteur résultant avec une marge donnée. De nombreux exemples avec différents vecteurs aléatoires typiques montrent l'importance de l'influence statistique sur le vecteur résultant et peuvent servir de base pour les études de la sollicitation du réseau par des suroscillations de courant.

## 1. Problemstellung

Die Anlagen der Leistungselektronik – wie Stromrichter, Umrichter, Wechselstrom und Drehstromsteller – belasten das speisende Netz mit nichtsinusförmigen Strömen. Für die einzelnen Schaltungen der Leistungselektronik ist, bei gewisser Idealisierung, der Oberschwingungsgehalt des Netzstromes relativ leicht mit der Fourieranalyse zu ermitteln. So treten zum Beispiel bei der meistverbreiteten Drehstrombrückenschaltung die Oberschwingungen der 5., 7., 11., 13., 17., 19. usw. Ordnungszahl  $n$  auf, wobei die Amplituden der Oberschwingungen mit der steigenden Ordnungszahl indirekt proportional abnehmen.

Die Anlagen der Leistungselektronik sind in der Regel zur Steuerung der Leistung verwendet und wie Spannung-Ausschnittsteuergeräte aufgebaut. Mit der Aussteuerung der Spannung verschiebt sich der Netzstrom und gleichzeitig auch seine Grund- und Oberschwingungen. Die Oberschwingung der Ordnungszahl  $n$  verschiebt sich ungefähr  $n$ -mal schneller als die Grundschwingung. Das verursacht, dass schon ein relativ

kleiner Steuerbereich von  $35^\circ$  für die 5. Oberwelle eine Phasenverschiebung von fast  $180^\circ$  und für die 11. Oberwelle über  $360^\circ$  bedeutet. Bei thyristorgespeisten Antrieben liegt der Steuerwinkel der Stromrichter zwischen  $10$  bis  $165^\circ$  el., und die Strombelastung variiert von  $0$  bis  $300\%$  des Nennwertes. Dementsprechend ändert sich auch die Amplitude und die Phasenlage der Oberschwingungen des Netzstromes.

Bei Anlagen mit mehreren  $N$ -Einheiten ist der Oberschwingungsnetzstrom  $I_n$  mit der geometrischen Summe der einzelnen Oberschwingungsströme der gleichen Ordnungszahl gebildet. Bei kleinerer Anzahl von Einheiten, mit definierten Strom- und Steuerverhältnissen, kann man während des Arbeitsprozesses den zeitlichen Verlauf  $I_n = f(t)$  der Netz-Oberschwingungen ermitteln. Das sei auf Beispiel eines Umkehr-Kaltwalzwerkes gezeigt (Fig. 1).

Das Kaltwalzwerk (Fig. 1) besteht aus drei Einheiten – Abhaspel, Gerüst und Aufhaspel –, die mit dem gewälzten Bandmaterial so gebunden sind, dass man in jedem Augenblick die Ströme  $I_M$  und Spannungen  $U_M$  der Antriebsmotoren  $M$

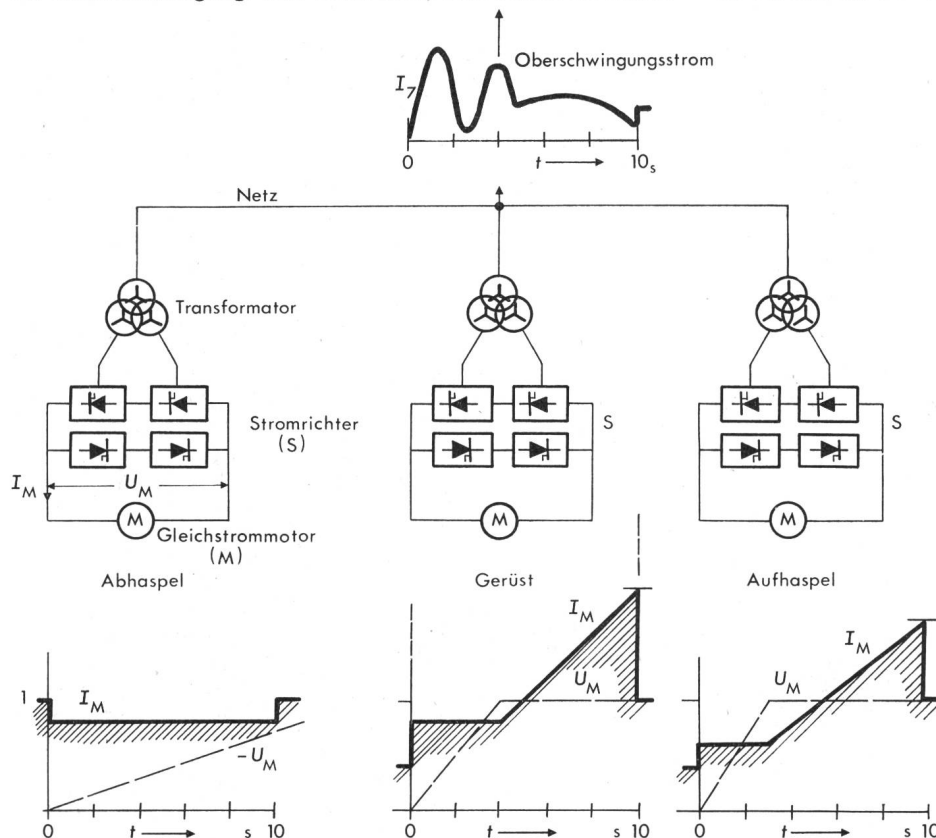


Fig. 1  
 Schema der Speisung eines Umkehr-Kaltwalzwerkes und typischer Strom- und Spannungsverlauf beim Hochfahren  
 $I_M$  Strom im Gleichstrommotor M  
 $U_M$  Spannung am Gleichstrommotor M  
 $t$  Zeit

feststellen kann. Damit sind also auch der Aussteuerungswinkel und Ströme der speisenden Stromrichter  $S$  gegeben, so dass man die Oberschwingungen auch in jedem Augenblick berechnen kann. Im Beispiel von Fig. 1 ist jeder Stromrichter in zwei seriegelagerte Gruppen aufgeteilt, die separat gesteuert sind («Folgesteuerung»), so dass der Netz-Oberschwingungsstrom mit geometrischer Summe von insgesamt sechs Vektoren ( $N = 6$ ) gebildet ist. Summenvektor der 7. Oberschwingung  $I_7$  bei Hochfahren des Kaltwalzwerkes ist dann in zeitlicher Darstellung aus Fig. 2 zu ersehen. Zum Vergleich ist da noch Verlauf der arithmetischen Summe dargestellt.

Bei Anlagen mit grosser Anzahl unabhängigen Stromrichtereinheiten ist es praktisch unmöglich, genau die Oberschwingungen im Netz zu berechnen. In diesem Fall rechnet man meistens einfach mit der «Worst case»-Methode, das heisst, man

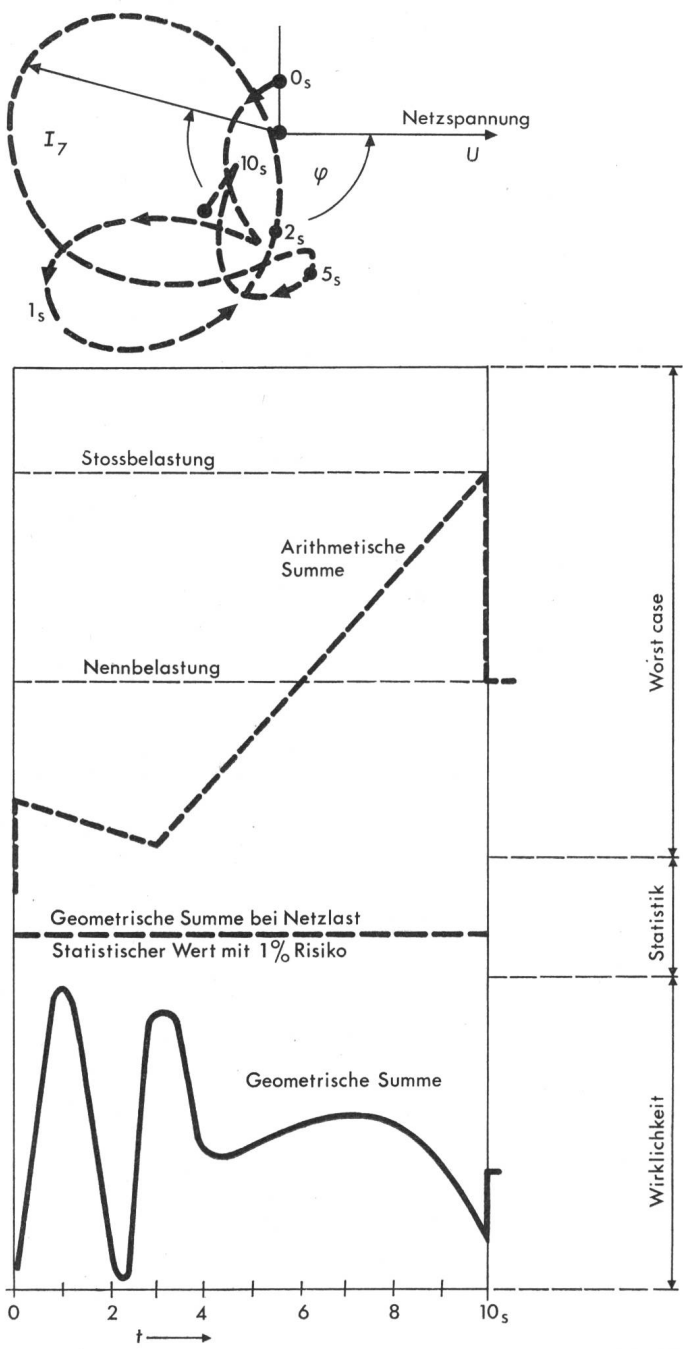


Fig. 2 Die Netzstrom-Oberschwingung der 7. Ordnungszahl des Kaltwalzwerkes beim Hochfahren  
 $t$  Zeit  
 $I_7$  Oberschwingungsstrom

bildet die arithmetische Summe von allen Oberschwingungen der einzelnen Stromrichter. Da muss man aber für die arithmetische Summe als Basis die Nennbelastung, die Stossbelastung oder eine andere angenommene Betriebsbelastung der Einheiten annehmen. Das Resultat kann dann vom wirklichen Oberschwingungsverlauf stark abweichen, wie es schon in Fig. 2 gezeigt wurde.

Je grösser die Anzahl der Einheiten  $N$  in Anlagen der Leistungselektronik, desto unwahrscheinlicher ist es, dass sich die Oberschwingungen arithmetisch addieren. Die «Worst case»-Methode führt da also zur Überschätzung der Oberschwingungsbelastung des Netzes. Um eine realistische Schätzung zu bekommen, ist es zweckmässig, bei den Oberschwingungsuntersuchungen die Methoden der mathematischen Statistik zu verwenden und so die Wahrscheinlichkeiten zu berechnen, mit denen ein bestimmter Wert der Oberschwingung eintreten kann. Mit der statistischen Methode muss man also immer mit einer Unsicherheit rechnen.

**2. Statistische Aufgabestellung des Oberschwingungsproblems**

Für die statistische Betrachtung des Oberschwingungsproblems bei Anlagen mit  $N$  unabhängigen Oberschwingungsquellen kann man das Problem wie folgt formulieren.

Es sind  $N$  Oberschwingungsvektoren der gleichen Ordnungszahl  $n$  gegeben ( $x = 1, 2, \dots, N$ ). Jeder Vektor  $I_{nx}$  ändert in der betrachteten Zeit zufällig seine Länge  $I_{nx}$  und seinen Phasenwinkel  $\varphi_{nx}$ :

$$I_{nx \min} \leq I_{nx} \leq I_{nx \max}$$

$$\varphi_{nx \min} \leq \varphi_{nx} \leq \varphi_{nx \max}$$

wobei die Häufigkeitsverteilung der Länge und des Winkels vorgegeben wird. In jedem Augenblick bilden diese zweidimensionalen Zufallsvektoren eine geometrische Summe:

$$I_n = I_{n1} + I_{n2} + \dots + I_{nx} + \dots + I_{nN}$$

Der Summenvektor  $I_n$  ist dann auch eine zufällige Veränderliche mit einer Häufigkeitsverteilung, die von der Anzahl  $N$  und Häufigkeitsverteilungen der einzelnen  $I_{nx}$  abhängt. Absolutes Maximum des Summenvektors ist mit der arithmetischen Summe der einzelnen Vektorsmaximum gebildet:

$$I_{n \max} = \sum_{x=1}^N I_{nx \max}$$

Aus dem Verlauf der relativen Summenhäufigkeit des Vektors  $I_n$  kann festgestellt werden, wie gross die Wahrscheinlichkeit  $p$ , dass ein bestimmter Betrag des Summenvektors  $I_{np}$  nicht überschritten wird, ist. Oder umgekehrt kann man für eine vorgegebene Wahrscheinlichkeit  $p$  den Betrag des Summenvektors  $I_{np}$ , der nicht überschritten wird, ermitteln.

Für Berechnung der relativen Summenhäufigkeiten der geometrischen Summe  $I_n$  von  $N$  zweidimensionalen Zufallsvektoren  $I_{nx}$ , mit vorgegebener Verteilung der Länge und des Winkels, ist es zweckmässig, die statistische Simulation des zufälligen Experiments – Methode Monte Carlo – zu verwenden. Da wird einfach  $m$ -mal die Berechnung des Summenvektors  $I_n$  durchgeführt und dann aus den  $m$ -Werten die Summenhäufigkeit gebildet, wobei für jede Berechnung die Länge und der Winkel der einzelnen Vektoren von einem Zufallsgenerator geliefert wird. Anzahl  $m$  der Berechnungen – Versuchen – muss genügend hoch sein, um zuversichtliche Aussagen zu bekommen.

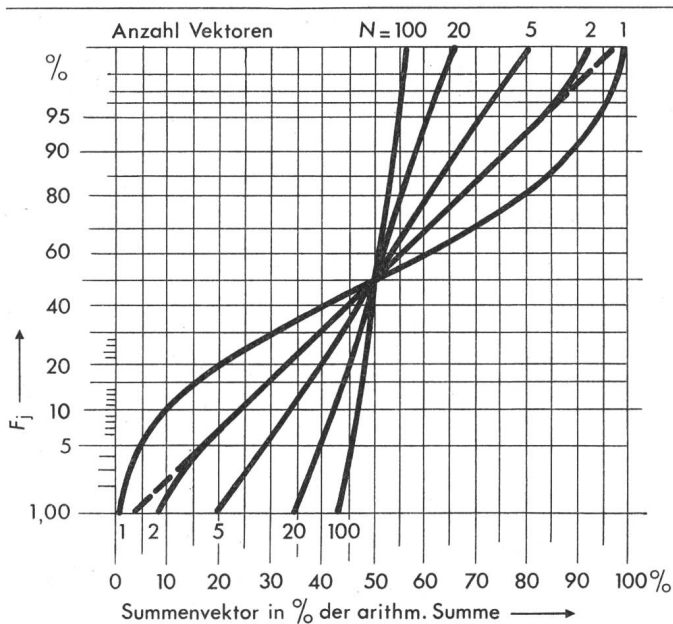


Fig. 3 Summenhäufigkeit  $F_j$  des bezogenen Summenvektors für  $N$  gleiche Vektoren mit konstantem und gleichem Winkel und zufälliger Länge mit konstanter Häufigkeitsverteilung zwischen 0 und 1

### 3. Relative Summenhäufigkeiten der geometrischen Summe von typischen Zufallsvektoren

Die Oberschwingungsströme von  $N$  unabhängigen Leistungselektronik-Einheiten sind als zweidimensionale Zufallsvektoren betrachtet, wo die Häufigkeitsverteilung der Länge und des Winkels mit den Betriebsbedingungen der Einheiten gegeben ist. Für einige typische Fälle werden mit der Monte-Carlo-Methode die relativen Summenhäufigkeiten der Summenvektoren berechnet und ausgewertet. Für die Berechnungen wurde ein spezielles Computerprogramm entwickelt.

#### 3.1 Vektoren mit konstantem Winkel und zufälliger Länge

Bei  $N$  gleichen Vektoren mit gleichem und konstantem Winkel  $\varphi$  und mit einer Länge, die zwischen 0 und 1 liegt, wurde mit der Monte-Carlo-Methode die relative Summenhäufigkeit des auf die arithmetische Summe bezogenen Summenvektors berechnet und in das Wahrscheinlichkeitsnetz eingetragen. Die Häufigkeitsverteilung der zufälligen Längen wurde als konstant angenommen, d. h., jeder Wert zwischen 0 und 1 hat bei jedem Vektor dieselbe Wahrscheinlichkeit. Das Resultat zeigt Fig. 3. Die Summenhäufigkeiten verlaufen ganz symmetrisch durch den Schwerpunkt des Netzes, und bei höheren  $N > 5$  ist der Verlauf linear. Das bedeutet, dass es sich hier um eine normale (Gaussische) Verteilung handelt, was theoretisch übrigens zu erwarten ist (Wirkung des zentralen Grenzwertsatzes).

#### 3.2 Vektoren mit konstanter Länge und zufälligem Winkel

In diesem Falle wurden alle  $N$  Vektoren mit konstanter und gleicher Länge, aber mit zufälligem Winkel angenommen. Winkel jedes Vektors hat im Bereich von 0 bis  $360^\circ$  konstante Häufigkeitsverteilung. Die berechneten Summenhäufigkeiten des Summenvektors werden gleich wie im ersten Beispiel auf die arithmetische Summe bezogen und ins Wahrscheinlichkeitsnetz eingetragen. Das Resultat ist aus Fig. 4 zu sehen.

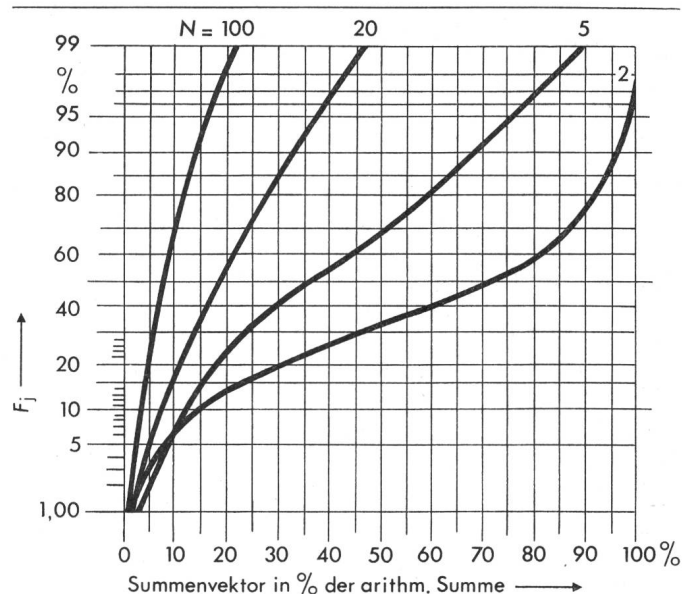


Fig. 4 Summenhäufigkeit  $F_j$  des bezogenen Summenvektors für  $N$  gleiche Vektoren mit konstanter Länge und zufälligem Winkel mit konstanter Häufigkeitsverteilung zwischen 0 und  $360^\circ$

#### 3.3 Vektoren mit zufälliger Länge und zufälligem Winkel

Bei der dritten Variante von Berechnungen der Summenhäufigkeit von Summenvektoren wurden beide Veränderliche – die Länge und der Winkel – als Zufällige betrachtet. Mit konstanter Häufigkeitsverteilung liegt die Länge der Vektoren zwischen 0 und 1 und der Winkel zwischen 0 und  $360^\circ$ . Das Resultat ist in Fig. 5 dargestellt.

Anschaulich kann man die drei untersuchten Beispiele vergleichen, wenn man zu den Summenhäufigkeiten des bezogenen Summenvektors die entsprechende Häufigkeitsverteilung bildet (Fig. 6).

Ist der Winkel konstant und die Länge die zufällige Veränderliche, dann konzentriert sich die Häufigkeit des Summen-

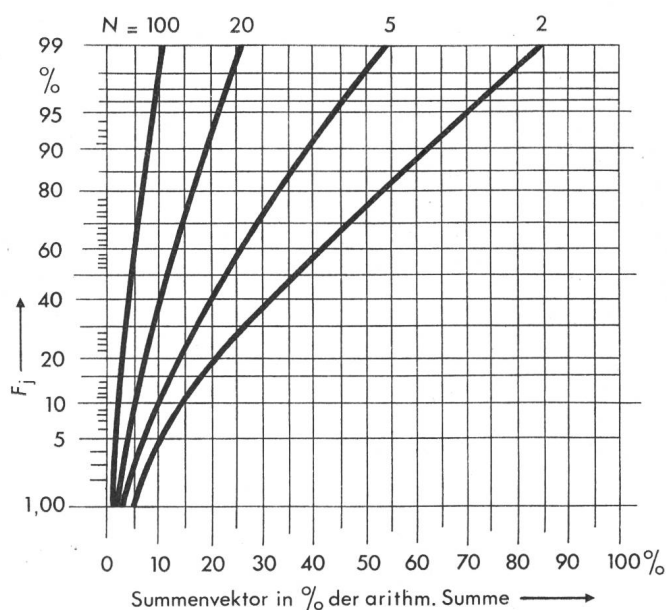


Fig. 5 Summenhäufigkeit  $F_j$  des bezogenen Summenvektors für  $N$  gleiche Vektoren mit zufälliger Länge (0...1) und zufälligem Winkel (0... $360^\circ$ ) mit konstanten Häufigkeitsverteilungen

vektors mit zunehmender Anzahl der Vektoren  $N$  immer stärker zu dem 50-%-Wert der maximalen arithmetischen Summe (Fig. 6a). Ist der Winkel die zufällige Veränderliche, dann verschiebt sich das Häufigkeitsmaximum zu den kleineren Werten (Fig. 6b und c).

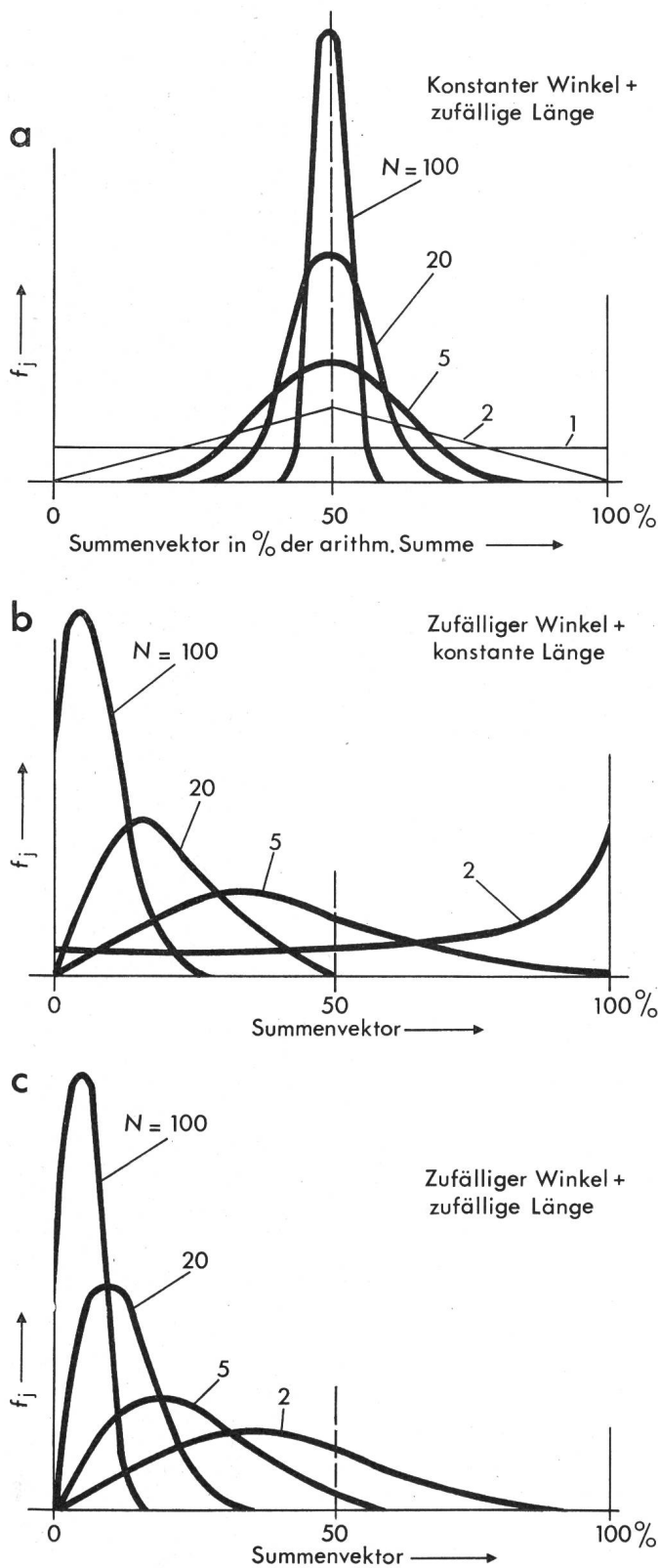


Fig. 6 Häufigkeitsverteilung des bezogenen Summenvektors entsprechend den Summenhäufigkeiten in  
 a Fig. 3  
 b Fig. 4  
 c Fig. 5  
 $f_j$  Häufigkeit

### 3.4 Einfluss der Parameter

Die obigen drei Varianten stellen die Extremfälle der beiden Parameter – Länge und Winkel – dar: entweder ist der Parameter konstant oder er schwankt zufällig im vollen Bereich. Auf einem Beispiel von 20 gleichen Zufallsvektoren wird weiter gezeigt, wie stark der Einfluss der einzelnen Parameter auf die Summenhäufigkeit des Summenvektors eigentlich ist. Lässt man die Vektorlänge konstant und ändert in Stufen den Schwankbereich des Zufallswinkels (0 bis  $90^\circ$ , 0 bis  $180^\circ$ , 0 bis  $270^\circ$  und 0 bis  $360^\circ$ ), dann verlaufen die entsprechenden Summenhäufigkeiten so, wie dies Fig. 7 zeigt. Die entsprechenden Häufigkeitsverteilungen sind dann in Fig. 8 dargestellt. Fig. 8 zeigt weiter auch die Häufigkeiten der Summenvektoren für folgende Fälle:

Der Winkel ist konstant, und die Längeschwankung ändert sich, der Winkel schwankt im vollen Bereich bei verschiedenen Längeschwankungen, und bei voller Längeschwankung ändert sich die Winkelschwankung. In Fig. 9 ist dann die ganze Berechnung zusammengefasst und für 99 % der Summenhäufigkeit ausgewertet. Es ist zu ersehen, dass der Winkel einen stärkeren Einfluss hat als die Länge.

### 3.5 Gruppen von ungleichen Vektoren

Bei den obigen Varianten handelt es sich immer um gleiche Zufallsvektoren. Das Ergebnis gilt aber auch für Vektoren mit unterschiedlichen Längen, soweit die Häufigkeitsverteilung der Längen gleich ist. Zum Beispiel bei  $N = 10$  Vektoren mit gleichen Längen (0 bis 1) ist der Verlauf der Summenhäufigkeit des bezogenen Summenvektors gleich wie für 10 Vektoren mit unterschiedlichen Längen (0 bis  $0 \cdot 1$ , 0 bis  $0 \cdot 2$ , 0 bis  $0 \cdot 3 \dots 0$  bis  $0 \cdot 9$ , 0 bis 1), wenn die Häufigkeitsverteilung der Längen und die Zufallswinkel von beiden Gruppen gleich sind.

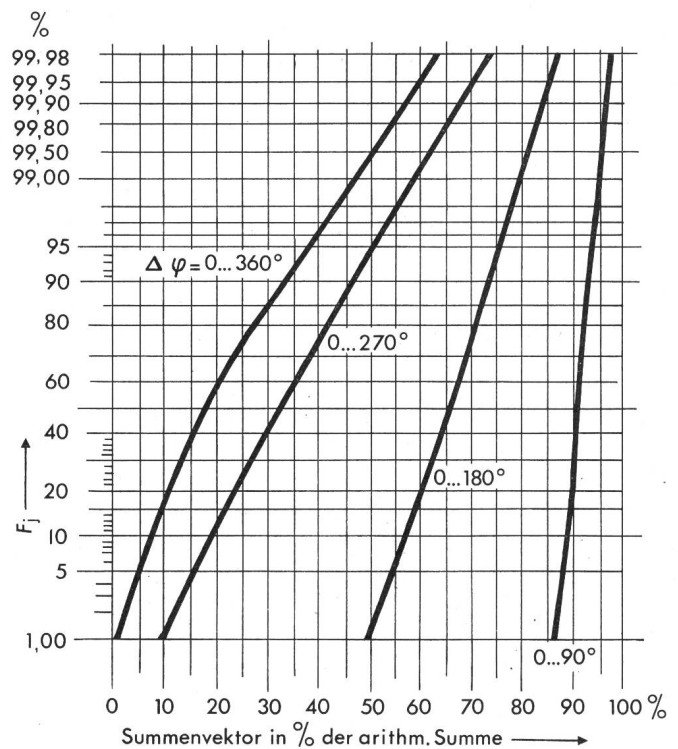


Fig. 7 Summenhäufigkeit  $F_j$  des Summenvektors von 20 gleichen Vektoren konstanter Länge mit verschiedenen Schwankungsbereichen des Zufallswinkels

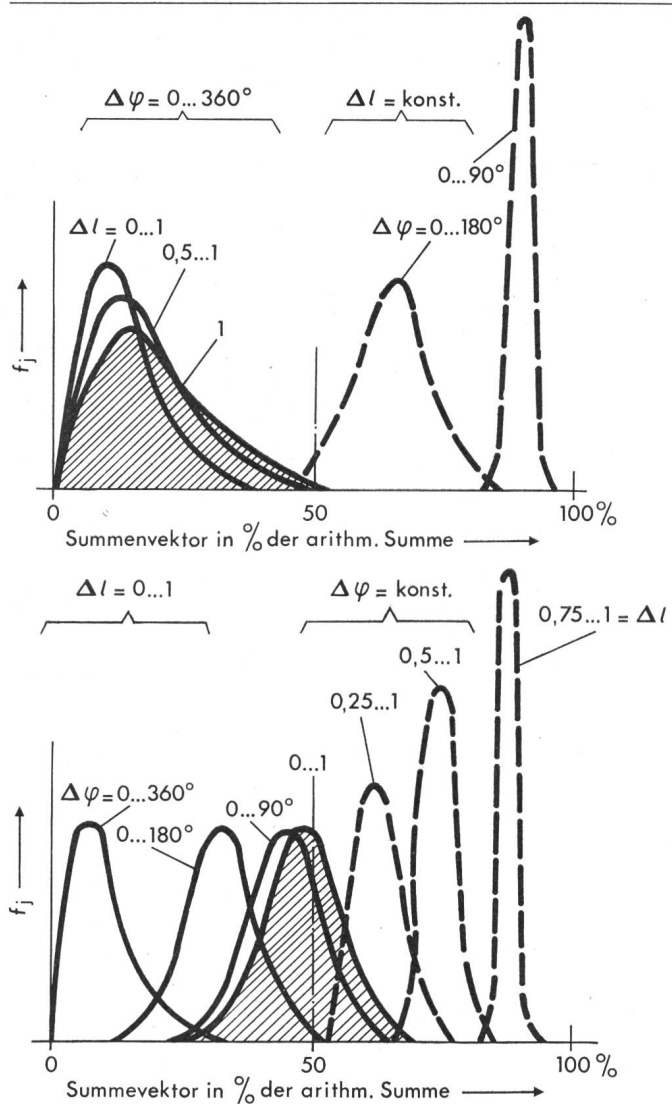


Fig. 8 Häufigkeitsverteilung  $f_j$  des bezogenen Summenvektors von 20 gleichen Vektoren für verschiedene Fälle des Schwankbereiches des Zufallwinkels  $\Delta\varphi$  und der Zufalllänge  $\Delta l$

Vergleichen wir weiter folgende zwei Gruppen von Zufallsvektoren. Eine Gruppe besteht aus zwei gleichen Vektoren mit zufälligem Winkel ( $0...360^\circ$ ) und zufälliger Länge ( $0...1$ ). Die zweite Gruppe besteht aus drei Vektoren, wo der eine gleich den Vektoren der ersten Gruppe ist ( $0...1, 0...360^\circ$ ) und die zwei weiteren Vektoren die halbe Länge haben ( $0...0,5$ ) und wieder in vollem Winkelbereich ( $0...360^\circ$ ) schwanken. (Dieses Beispiel entspricht dem Vergleich zwischen zwei einfachgesteuerten Stromrichtern und zwei Stromrichtern mit Folgesteuerung.) Das Ergebnis der statistischen Simulation ist in Fig. 10 ersichtlich. Auch da ist zu ersehen, dass auf die Summenhäufigkeit des bezogenen Summenvektors die Anzahl der Vektoren den entscheidenden Einfluss hat; die Verteilung der Gruppe von drei Vektoren der Länge 1, 0,5, 0,5 ist praktisch gleich der Verteilung von drei gleichen Vektoren (1, 1, 1).

#### 4. Praktische Anwendung der statistischen Methode

##### 4.1 Anzahl der Monte-Carlo-Versuche

Bei der Monte-Carlo-Methode sind die Zufallsversuche mathematisch simuliert. Von der Anzahl  $x$  der Simulationsversuche ist die Genauigkeit des betrachteten Summenvektors

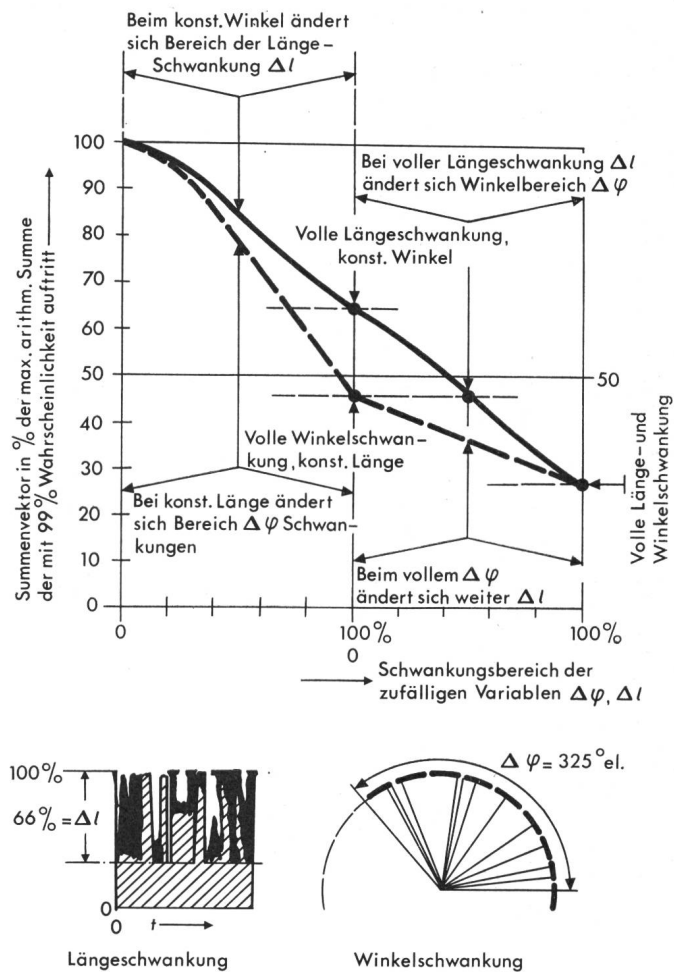
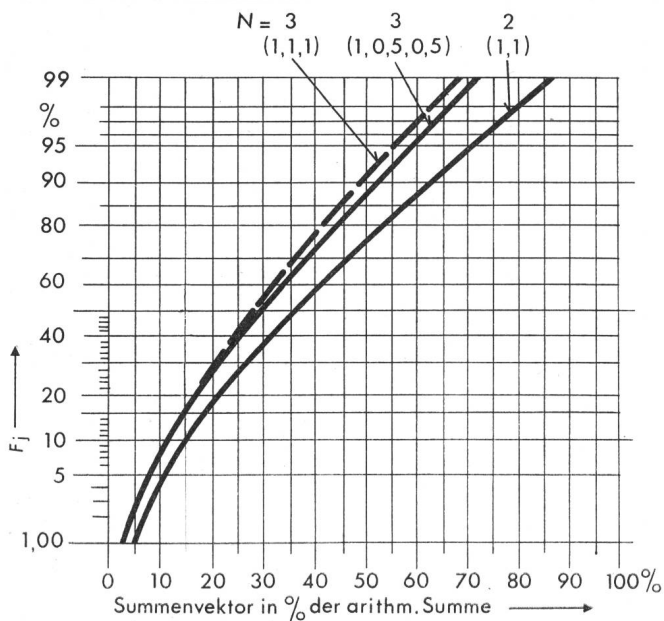


Fig. 9 Abhängigkeit des bezogenen Summenvektors von 20 gleichen Vektoren von der Schwankungsbreite des Zufallwinkels  $\Delta\varphi$  und Zufalllänge  $\Delta l$   
Auswertung für 99% der Summenhäufigkeit  $t$  Zeit

abhängig – je höher die Anzahl ist, desto zuverlässiger ist auch das Resultat. Fig. 11 zeigt, wie bei 5 und 10 Zufallsvektoren mit zufälliger Länge und zufälligem Winkel die Werte des bezogenen erwarteten Summenvektors von der Anzahl der Berechnungsversuche abhängen. Mit zunehmender Anzahl der Versuche nehmen auch erwartungsgemäss die maximalen Werte des Summenvektors, die in der Versuchsreihe auftreten, zu. Aus Fig. 11 ist weiter zu ersehen, wie viele Versuche nötig sind, um über eine vorgegebene Summenhäufigkeit eine zuverlässige Aussage zu bekommen. Summenhäufigkeit von 99% ist z. B. nach ca. 500 Versuchen, Summenhäufigkeit von 99,9% nach ca. 5000 Versuchen schon stabilisiert.

##### 4.2 Oberschwingungsreduktion des Netzstromes bei Grossanlagen der Leistungselektronik

Man sieht, dass bei grösserer Anzahl der Zufallsvektoren die Wahrscheinlichkeit, dass die arithmetische Summe auftritt, sehr gering ist, und dass, wenn man auf ein kleines vertretbares Risiko eingeht, dann mit einer erheblichen Reduktion des Summenvektors zu rechnen ist. Fig. 12 zeigt, wie man bei einem vorgegebenen Risikomass die Reduktion von  $N$  Zufallsvektoren mit gleichen Häufigkeitsverteilungen ermitteln kann. Es

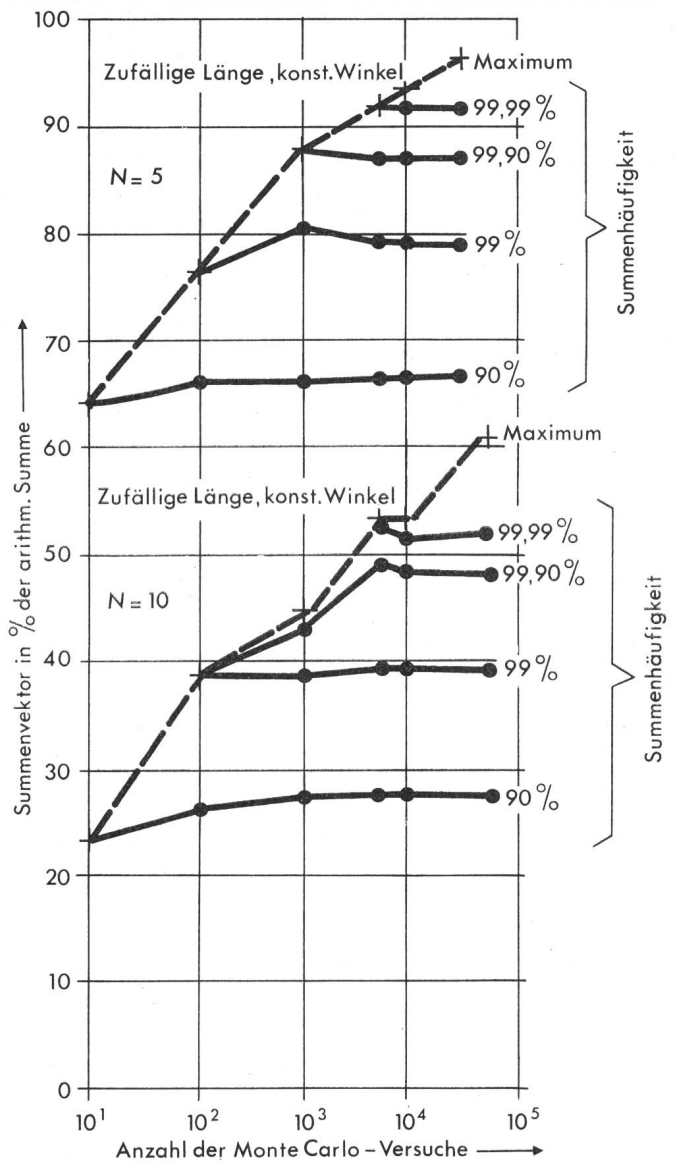


**Fig. 10** Die Summenhäufigkeit  $F_j$  des bezogenen Summenvektors ist nur von der Anzahl  $N$  der Vektoren abhängig bei gleicher Häufigkeitsverteilung der Längen und bei gleichem Zufallswinkel. Wie die einzelne Vektorlänge gross wird, spielt keine Rolle. So ist die Summenhäufigkeit von drei gleichen Vektoren (1, 1, 1) gleich der Summenhäufigkeit von drei ungleichen Vektoren (1, 0, 5, 0, 5)

werden da die drei ersten typischen Fälle der Vektoren, für die in Fig. 3, 4 und 5 die Summenhäufigkeiten dargestellt sind, betrachtet.

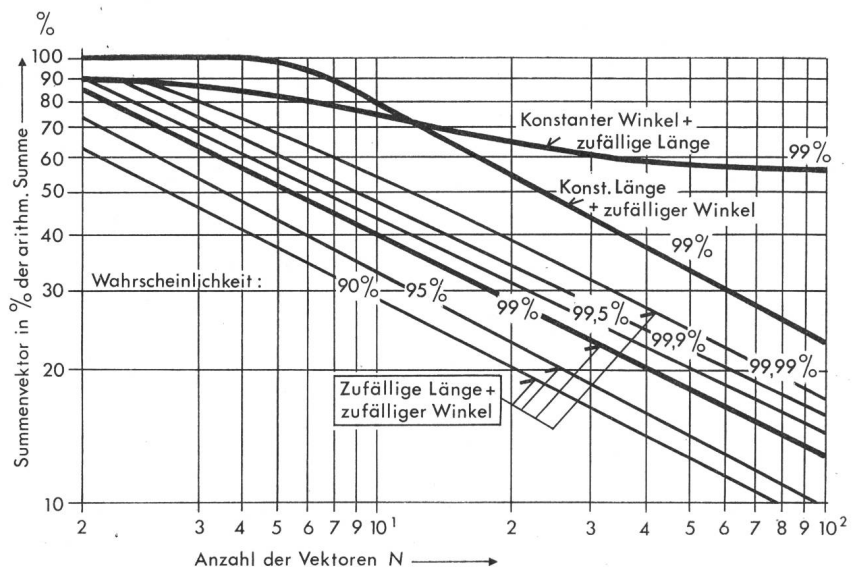
Besteht zum Beispiel eine Stromrichteranlage aus 10 unabhängigen Einheiten, deren Strombelastung und Aussteuerungswinkel im vollen Bereich schwanken, dann kann man damit rechnen, dass mit 99 % Wahrscheinlichkeit die Oberwellenströme nicht 38 % der arithmetischen Summe überschreiten. Mit 99,99 % Wahrscheinlichkeit, d. h. mit Risikomass von 0,01 %, wird nicht der 52-%-Wert überschritten, und die Wahrscheinlichkeit, dass die arithmetischen Summen überhaupt auftreten, beträgt (wenn man die Resultate der Fig. 11 weiter extrapoliert)  $10^{-8} - 10^{-9}$ .

Es sei noch einmal das am Anfang erwähnte Kaltwalzwerk (Fig. 1) betrachtet. Die Anlage besteht für jede Stromrichtung



**Fig. 11** Abhängigkeit des bezogenen Summenvektors von der Anzahl durchgeführter Monte-Carlo-Versuchen. Es sind die Werte aufgezeichnet, die den Summenhäufigkeiten von 90, 99, 99,9 und 99,99 % entsprechen, sowie die absolut maximalen Werte des bezogenen Summenvektors, die während der Versuchsreihe auftreten

**Fig. 12** Auf die maximale arithmetische Summe bezogenen Summenvektor von  $N$  gleiche Zufallvektoren, der mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit nicht überschritten wird. Auswertung von drei Varianten der Zufallvektoren nach den Fig. 3, 4 und 5



aus 6 Stromrichtereinheiten, und weil die Stromrichter in Folgesteuerung arbeiten, wirken sie, statistisch betrachtet (Fig. 10), wie 4,5 unabhängige Einheiten, so dass man bei 99 % Wahrscheinlichkeit mit einer Reduktion der Oberwellen gegenüber dem arithmetischen Wert auf 56 % rechnen kann (Fig. 12). Aus Fig. 2 ist zu ersehen, dass dieser statistische Wert noch über dem genau berechneten Verlauf liegt, so dass man in diesem Fall auch mit der statistischen Schätzung an der sicheren Seite liegt.

Die Netzstrom-Oberschwingungen einer Stromrichteranlage sind bekanntlich von den Kommutierungsreaktanzen, Strombelastung, Aussteuerung und Schaltung der Stromrichter abhängig. Bei den statistischen Berechnungen müssen selbstverständlich diese Einflüsse, neben den für die statistische Simula-

tion erforderlichen Kenntnissen über die Häufigkeitsverteilung der Amplitude und des Phasenwinkels des Oberschwingungsvektors, berücksichtigt werden.

Die Oberschwingungsuntersuchung dient generell für die Entscheidung, ob für die betrachtete Anlage der Leistungselektronik Saugkreise nötig sind oder nicht, und weiter als Grundlage für die Auslegung der Saugkreise. Die Anwendung der statistischen Methode kann also unter Umständen dazu führen, dass man auf die sonst für den «Worst case» notwendige Saugkreisanlage verzichten kann oder ihre Leistung reduziert.

**Adresse des Autors:**

A. Kloss, Berechnungsingenieur, BBC AG Brown, Boveri & Cie., 5400 Baden.

---

## Literatur – Bibliographie

---

621.316.9

SEV-Nr. A 463

**Schutzmassnahmen in elektrischen Anlagen. Elektroschutz – Fragen und Antworten.** Von Gottfried *Biegelmeier*. 5. Auflage. Wien, Österreichischer Gewerbeverlag, 1974; kart., 8°, 288 S., 199 Fig., Tab. – Schriftenreihe des Wirtschaftsförderungsinstitutes der Bundeskammer der gewerblichen Wirtschaft.

Die kürzlich in fünfter Auflage in Österreich erschienene Veröffentlichung «Schutzmassnahmen in elektrischen Anlagen» weist eine auffällige Ähnlichkeit mit dem gleichnamigen im Jahre 1973 vom Verlag «Der Elektromonteur» in Aarau herausgegebenen Buch auf. In beiden Ausgaben wurde die Frage- und Antwortform angewendet, wodurch sich eine übersichtliche Gruppierung ergibt und sich die im Laufe der Zeit ergebenden Vorschriftenänderungen relativ leicht anpassen lassen. Auch textlich sind verschiedene Übereinstimmungen zu finden. Diese Parallelen haben sich nicht zufällig ergeben. Vielmehr ist daraus ein Zusammenwirken der beiden Autoren zu erkennen. Die schweizerische Ausgabe stützt sich auf die dritte Auflage des vorliegenden Buches, enthält aber verschiedene in der Zwischenzeit bekannt gewordene Neuerungen und trägt den schweizerischen Eigenheiten Rechnung. Das gleiche Verfahren, aber aus österreichischer Sicht, wendet nun der bekannte Verfasser bei seiner neuesten, fünften Ausgabe an. Besonders hervorzuheben ist, dass sich Dr. G. Biegelmeier bemühte, die letzten bekannt gewordenen Beschlüsse der internationalen Normenkommission (CEI 64) in

seine Arbeit aufzunehmen. Dadurch erhielt das Buch über die Grenzen Österreichs hinaus Bedeutung.

Zum Inhalt ist zu bemerken, dass der Leser nicht nur einen umfassenden Überblick über die möglichen und vorgeschriebenen Schutzmassnahmen gegen gefährliche Auswirkungen der Elektrizität im Niederspannungsbereich erhält, sondern auch eine Begründung der empfohlenen Massnahmen findet. Es wurde jedoch bewusst auf mathematische Abhandlungen verzichtet. Dadurch ist das Buch auch für Praktiker wie Elektromeister, Elektromonteur, Servicemonteur von Grossmaschinen und Sonderanlagen usw. verständlich. Als besonders wertvoll darf der Hauptabschnitt «Schutzmassnahmen in Räumen und Anlagen besonderer Art» gelten. Die allgemeinen Schutzvorkehrungen sind in verschiedenen Büchern beschrieben, doch selten werden die zahlreichen Anlagen an Orten erhöhter Gefahr oder für aussergewöhnliche Zwecke behandelt.

Da es, abgesehen von wenigen Spezialisten, den Fachleuten schwer fällt, sich im umfangreichen Vorschriftenwerk zurechtzufinden und seine Hintergründe zu erkennen, wird das vorliegende Buch ganz wesentlich dazu beitragen, dass jeweils die richtige Schutzmassnahme getroffen wird.

*E. Homberger*

Wir möchten noch darauf hinweisen, dass die Schreibweise der Buchstabensymbole im Text und in den Figuren verschieden ist und diese nicht der internationalen Norm (CEI) entsprechen.