

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 62 (1971)

Heft: 11

Artikel: Beitrag zur Frage der Salznebelverschmutzungsprüfung an Massivstützern

Autor: Scharwächter, D.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-915827>

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: 23.02.2026

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

Beitrag zur Frage der Salznebelverschmutzungsprüfung an Massivstützern

Von D. Scharwächter, Trier-Ehrang

Im Jahre 1968 ist mit CIGRE-Bericht Nr. 25-08 der Vorschlag für ein Prüfverfahren veröffentlicht worden, das die Eigenschaften von Isolatoren gegenüber Salzwasserverschmutzung in Küstengebieten ermitteln soll. Es werden Versuchsergebnisse beschrieben, die an Massivstützern verschiedener Ausführungen mit diesem Verfahren durchgeführt worden sind. Die gefundenen Ergebnisse werden mit bereits veröffentlichten Versuchsergebnissen verglichen.

Le Rapport n° 25-08 présenté à la CIGRE, en 1968, décrit un procédé de détermination des propriétés d'isolateurs, en ce qui concerne leur encrassement par l'eau de mer, dans des régions côtières. L'auteur indique les résultats d'essais entrepris, selon ce procédé, à des isolateurs-supports massifs de différentes executions. Ces résultats sont comparés avec des résultats d'essais déjà publiés.

An dem Problem, geeignete Prüfverfahren für die Verschmutzungseigenschaften von Freiluftisolatoren zu entwickeln, wird seit vielen Jahren gearbeitet. Vorschläge, besonders für Prüfverfahren zur Beurteilung von Isolatoren gegenüber Industrieverschmutzung, sind zum Teil seit vielen Jahren bekannt. Hier sei nur die VDE-Vorschrift 0448 aus dem Jahr 1963 erwähnt [1]¹⁾. Für die Güte eines Verfahrens sind zwei Faktoren sehr wesentlich: die Reproduzierbarkeit der Messergebnisse und die Übereinstimmung der Laborergebnisse mit den Erfahrungen der Praxis. Die vorgeschlagenen Fremdschichtprüfverfahren haben in beiden Punkten bisher keine befriedigenden Ergebnisse gezeigt, grundsätzlich werden Vergleiche mit den Erfahrungen der Praxis immer schwierig und langwierig sein.

Über das mit CIGRE-Bericht Nr. 25-08 [2] vorgeschlagene Salznebelprüfverfahren ist inzwischen viel diskutiert worden, da hiemit ein Verschmutzungsverfahren vorgeschlagen wurde, dessen Reproduzierbarkeit zufriedenstellende Ergebnisse bringt. Entwickelt wurde dieses Verfahren vor allem in England zur Beurteilung von Isolatoren gegenüber Seewasserverschmutzung. Bisher sind mit diesem Verfahren fast ausschließlich Freileitungsisolatoren untersucht worden.

Zweck dieser Arbeit ist die Ergänzung der Untersuchungen für Freiluft-Massivstützer.

1. Salznebelverschmutzungsprüfungen an Massivstützern verschiedener Ausführungen

1.1 Prüfverfahren

Im CIGRE-Bericht Nr. 25-08 wird ein Prüfverfahren festgelegt, bei dem der Prüfling aus zwei um 180° versetzten Richtungen mit einem Wassernebel besprührt wird. Die Abmessungen der Vernebelungsdüsen und der Abstand dieser Düsen untereinander und zum Prüfling sind genau festgelegt.

Während aller Prüfungen wird neben dem Prüfaufbau die Prüfspannung, der Pressluftdruck in den Zerstäubungsdüsen und die Wassermenge, die durch die Düsen durchtritt, konstant gehalten. Variiert wird der Salzgehalt des Wassers, für den bestimmte Werte festgelegt sind. Zur Beurteilung des Fremdschichtverhaltens eines Isolators wird derjenige Salzgehalt zugrunde gelegt, bei dem bei vier Prüfzyklen, die jeweils über eine Stunde dauern, höchstens ein Überschlag aufgetreten ist. Dieser Salzgehalt wird als Stehsalzgehalt definiert. Für den Prüfling ist vor Beginn der Prüfungen eine gründliche Reinigung vorgeschrieben, die zwischen den einzelnen Prüfzyklen durch Abspritzen des Prüflings mit Leitungswasser wiederholt wird.

1.2 Prüfanlage

Die Prüfanlage, die für die Versuche verwendet wurde, entspricht den CIGRE-Vorschlägen. Sie wurde für eine effektive Prüfspannung von 30 kV bemessen, da nur für diese Spannung ein Transformator mit ausreichender Leistung zur Verfügung stand. Folgende elektrischen Werte wurden vom Hersteller für den Transformator angegeben:

| | |
|--------------------|-------------|
| Nennspannung | 220/30000 V |
| Nennstrom | 68/0,5 A |
| Kurzschlußspannung | 6,3 % |

Der Transformator wurde ohne zwischenliegenden Regeltransformator unmittelbar an das 220-V-Netz geschaltet.

Die Absicherung der Anlage erfolgte durch einen H-Sicherungsautomaten mit 25 A Nennstrom. Das Ansprechen des Automaten wurde als Überschlag bewertet, da wegen der starken Nebelbildung eine unmittelbare Beobachtung des Überschlages am Prüfling nicht möglich war. Beim Nennstrom des Transformators von 68 A schaltete der Automat entsprechend den Firmenangaben nach etwa 10 ms ab.

Die Stromaufnahme des Transformators wurde mit einem üblichen Linienschreiber aufgezeichnet. Hieraus konnte eine grobe Beurteilung erfolgen, wie weit der eingestellte Salzgehalt vom Stehsalzgehalt entfernt war. Die versprühte Wassermenge wurde mit einem Durchflussmengenmesser laufend kontrolliert und konstant gehalten. Zur Erreichung der vorgeschriebenen Durchflussmenge von 0,5 l pro Düse und pro Minute wurde die Salzlösung mit etwa 7 kg/cm² Druck in die Düsen geleitet. Mit Änderung des Salzgehaltes der Lösung ändert sich auch die Viskosität und damit die Anzeige des Durchflussmengenmessers. Vor Beginn der eigentlichen Versuche wurde für den Durchflussmesser eine Eichkurve erstellt, die diesen Einfluss berücksichtigt.

1.3 Prüfkörper

Im CIGRE-Bericht wird als Prüfspannung der $1/\sqrt{3}$ fache Wert der höchstzulässigen Betriebsspannung empfohlen. Für die zur Verfügung stehende Prüfspannung von 30 kV ergaben sich damit Prüfkörper von etwa 600 mm Bauhöhe.

Für die Prüfungen wurden verschiedene Isolatoren als Prüfkörper entworfen und gefertigt. Aus Vereinfachungsgründen wurden bei fast allen Typen der Schirmaussendurchmesser konstant gehalten und die gleichen Armaturen verwendet. Dadurch war das Stich- und Fadenmass aller Isolatoren praktisch konstant.

Bei Beginn der Prüfungen ergaben sich für die ersten Prüfkörper sehr hohe Stehsalzgehaltswerte. Daraufhin wurde das Fadenmass der Isolatoren durch Auflage einer geerdeten Metallfolie auf den entsprechenden Schirm auf etwa 400 mm verkürzt.

¹⁾ Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.

| | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|-----|-----|
| Salzgehalt g/l | 2,50 | 3,53 | 5,00 | 7,07 | 10,0 | 14,1 | 20,0 | 28,3 | 40,0 | 56,6 | 80,0 | 113 | 160 | 226 |
| Salzgehaltstufe | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |

1.4 Allgemeine Angaben zur Auswertung der Prüfergebnisse

Grundsätzlich werden sechs Faktoren einen Einfluss auf den Stehsalzgehalt eines Isolators haben:

Prüfspannung;
Prüfanordnung des Isolators, z. B. Hochspannungszuführung am Kopf oder Fuss des Prüflings;
Fadenmass;
Strunkdurchmesser;
Kriechweg;
Bauformeinflüsse, z. B. Schirmform, Schirmabstand und -ausladung, Verhältnis Strunkdurchmesser zum Schirmdurchmesser.

Den Einfluss der Bauform ausgenommen, sind alle Faktoren klar definier- bzw. messbar. Aufgrund der in diesen Untersuchungen festgestellten Zusammenhänge erscheint es sinnvoll, mit folgenden Einflussfaktoren zu rechnen:

$$\text{spezifisches Fadenmass} = \frac{\text{Fadenmass}}{\text{Prüfspannung}} \frac{\text{cm}}{\text{kV}} = l_{\text{spez}}$$

$$\text{spezifischer Kriechweg} = \frac{\text{Kriechweg}}{\text{Fadenmass}} \frac{\text{mm}}{\text{mm}} = k_{\text{spez}}$$

$$\text{Strunkdurchmesser} \quad \text{mm} = d$$

Als zusätzliche Faktoren verbleiben die Prüfanordnung des Isolators und die Bauformeinflüsse. Die Prüfanordnung der im ersten Abschnitt beschriebenen Versuche entsprach in allen Fällen der CEI-Publikation 168, Ausgabe 1964, § 28.2 [3]. Zur Vereinfachung der Auswertung werden die logarithmisch geteilten Stehsalzgehaltswerte durch Numerierung in eine lineare Teilung transformiert (Tabelle I). (Der Stehsalzgehalt, ausgedrückt in der Stufenummerierung, wird mit St_H bezeichnet.)

1.5 Untersuchung verschiedener Stützer mit Schirmprofilen nach DIN 48115

1.5.1 Ausführung der einzelnen Isolatortypen und Versuchsergebnisse

Als Grundlage für die Versuche ist ein Isolator mit 50 mm Schirmausladung und -abstand vorgesehen worden (Typ 1.4), der in verschiedenen Versuchsreihen variiert wird. Folgende Versuchsreihen wurden geprüft:

Reihe 1: Einfluss des Strunkdurchmessers;

Reihe 2: Einfluss der Schirmzahl bei konstantem Kriechweg;

Reihe 3: Einfluss der Schirmausladung;

Versuchsergebnisse

Tabelle II

| Isolatortyp | Kriech- weg mm/ mm | Strunk Ø mm | Schirm- zahl | Schirmau- sladung mm | Schirm- abstand mm | Stehsalzgehalt | | | | | | | | |
|-------------|-----------------------------|-------------------|-----------------|----------------------------|--------------------------|----------------|----|----|-------|----|----|----|----|-----|
| | | | | | | 7 | 10 | 14 | 20 | 28 | 40 | 56 | 80 | g/l |
| | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | Stufe | | | | | |
| 1.1 | | 50 | | | | | | | | | | | | |
| 1.2 | 2,6... | 100 | 7 | 50 | 50 | | | | | | | | | |
| 1.3 | 2,8 | 150 | | | | | | | | | | | | |
| 1.4 | | 180 | | | | | | | | | | | | |
| 2.1 | 2,44 | 220 | 12 | 30 | 30 | | | | | | | | | |
| 2.2 = 1.4 | 2,74 | 180 | 7 | 50 | 50 | | | | | | | | | |
| 2.3 | 2,68 | 130 | 5 | 75 | 75 | | | | | | | | | |
| 2.4 | 2,85 | 100 | 5 | 90 | 90 | | | | | | | | | |
| 3.2 = 1.4 | 2,74 | 180 | 7 | 50 | 50 | | | | | | | | | |
| 3.3 | 3,72 | 130 | 7 | 75 | 50 | | | | | | | | | |
| 3.4 | 4,25 | 100 | 5 | 90 | 90 | | | | | | | | | |
| 4.2 = 1.4 | 2,74 | 180 | 7 | 50 | 50 | | | | | | | | | |
| 4.3 | 2,11 | 180 | 5 | 75 | 75 | | | | | | | | | |
| 4.4 | 2,06 | | 5 | 90 | 90 | | | | | | | | | |
| 5.1 | 3,72 | | 5/4 | 75/50 | 75 | | | | | | | | | |
| 5.2 | 3,25 | 130 | 5/4 | 75/25 | 75 | | | | | | | | | |
| 5.3 = 2.3 | 2,74 | | 5 | 75 | 75 | gr. Schirm | | | | | | | | |

Das Fadenmass aller Isolatoren lag zwischen 390 und 420 mm

Reihe 4: Einfluss des Schirmabstandes;

Reihe 5: Einfluss durch Zwischenschirme.

Die Ergebnisse sind der Tabelle II zu entnehmen.

1.5.2 Auswertung der Versuchsreihen 1 bis 5

Aus den gewonnenen Ergebnissen der einzelnen Versuchsreihen kann nicht immer unmittelbar auf den Einfluss der veränderten Grösse geschlossen werden. So verändert sich z. B. in der Versuchsreihe 3 gleichzeitig mit der Schirmausladung der spez. Kriechweg und der Strunkdurchmesser des Isolierkörpers. Zur Trennung der einzelnen Faktoren ist der Einfluss des spez. Kriechweges k_{spez} und des Strunkdurchmessers d auf

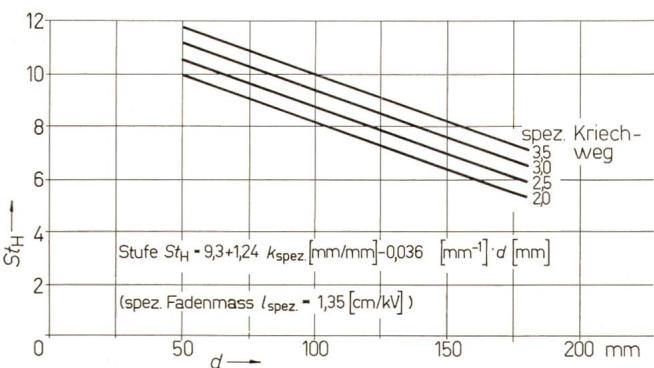


Fig. 1
Einfluss vom Strunkdurchmesser d und spez. Kriechweg k_{spez} auf den Stehsalzgehalt St_H

den Stehsalzgehalt St_H gemeinsam für alle Typen durch eine zweifache Regressionsrechnung ermittelt worden. Dabei ist lineare Abhängigkeit angenommen worden. Das Ergebnis widerlegt diese Annahme nicht und zeigt das erwartete Resultat. Der Stehsalzgehalt erhöht sich mit steigendem Kriechweg und kleiner werdendem Strunkdurchmesser. Der Zusammenhang zwischen den drei Größen ist in Fig. 1 graphisch dargestellt und lässt sich entsprechend folgender Formel ausdrücken:

$$\text{Stehsalzgehaltstufe } St_H = 9,3 + 1,24 k_{\text{spez}} - 0,036 (mm^{-1}) d (mm)$$

Die tatsächlichen Messwerte streuen gegenüber den aus der Formel errechneten mit einer Standardabweichung von $s = 1,17$ Stufen. Da das spez. Fadenmass bei allen hier ausgewerteten Versuchen praktisch konstant gewesen ist, ist in der Standardabweichung neben den zufälligen Streuungen der Messwerte vor allem der Einfluss der Schirmausführung enthalten. In Fig. 2 ist dieser Einfluss als Abweichung der praktischen Messergebnisse von den theoretisch zu erwartenden graphisch dargestellt. Auffallend ist, dass der Isolator 2.3 mit 75 mm Schirmausladung und -abstand den besten Stehsalzgehalt hat. Werden die Abmessungen auf 90 mm vergrössert, tritt eine wesentliche Verschlechterung ein. Dieses Ergebnis bestätigt sich in der Versuchsreihe 3. Auch hier liegt das Maximum bei 75 mm Schirmausladung. Eine Erhöhung des Schirmabstandes entsprechend Versuchsreihe 4 bringt eine Verbesserung im Stehsalzgehalt (da jedoch gleichzeitig der Kriechweg verkleinert wird, ist die Verbesserung teilweise oder ganz aufgehoben). Versuchsreihe 5 zeigt, dass die Schirmausführung mit abwechselnd grossem und kleinem Schirm keine Verbesserung der Ergebnisse bringt.

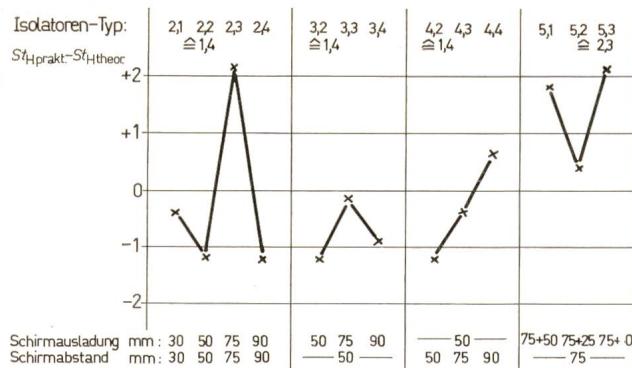


Fig. 2
Einfluss der Bauform auf den Stehsalzgehalt

1.6 Untersuchung von Schirmprofilen, die von DIN 48115 abweichen, Versuchsreihe 6

Auf der Grundlage des Isolators 1.4 mit 50 mm Schirmausladung und -abstand und 180 mm Strunkdurchmesser wurden Isolatoren mit von der DIN-Norm abweichenden Schirmprofilen geprüft. Die Ergebnisse dieser Versuchsreihe sind in Fig. 3 dargestellt. Ein schlechtes Abschneiden des Rippenisolators war zu erwarten, da sich über die Oberfläche des Isolators eine geschlossene Salzlösungsschicht legt, die unmittelbar zum Überschlag führt. Nicht zu erwarten waren die Ergebnisse der anderen Schirmformen. Warum der Schirm nach DIN mit Tropfkante schlechtere Ergebnisse bringt als eine Ausführung ohne Tropfkante und eine Ausführung mit Tropfkante und zusätzlichem Unterschirm, kann nicht eindeutig begründet werden. Neuere Versuche an anderer Stelle haben das Ergebnis bestätigt. Sie wurden an Massivstützern der Reihe 220 durchgeführt.

1.7 Untersuchung des Fadenmasseinflusses, Versuchsreihe 7

In dieser Versuchsreihe wurde der Isolator 1.4 bei verschiedenen Fadenmassen geprüft. Zu diesem Zweck wurde die im Abschnitt 1.3 beschriebene Metallauflage auf verschiedene

| Typ | Schirmform | Bezeichnung | Kriechweg mm mm | Stehsalzgehalt | |
|-----|------------|------------------------------|-----------------------|----------------|-------|
| | | | | g/l | Stufe |
| 6.2 | | Rippen-schirm | 2,47 | < 5 | < 3 |
| 1.4 | | DIN-schirm | 2,74 | 10 | 5 |
| 6.3 | | AGROB-Versuchsschirm | 2,67 | 14 | 6 |
| 6.4 | | in USA üblicher Schirm | 2,65 | 20 | 7 |
| 6.1 | | Ähnlich 1.4 mit Unter-schirm | 2,71 | 28 | 8 |

Fig. 3
Untersuchung von Isolatoren ähnlich Typ 1.4 mit unterschiedlichen Schirmprofilen

²⁾ Für die Vergleiche sind die Fremdversuche nach den im Abschnitt 1.4 festgelegten Gesichtspunkten ausgewertet worden.

Schirme aufgelegt. Die Ergebnisse sind in Tabelle III dargestellt. Die gefundene Abhängigkeit zwischen dem Stehsalzgehalt und dem spez. Fadenmassen beträgt:

$$+ 1 \text{ [Stufe] Stehsalzgehalt} = + 0,1 \left[\frac{\text{cm}}{\text{kV}} \right] \text{ spez. Fadenmass}$$

2. Vergleich der Ergebnisse aus Abschnitt 1 mit anderen Veröffentlichungen ²⁾

Die wohl wesentlichsten Fragen nach Abschluss dieser Versuche sind, inwieweit die gefundenen Ergebnisse mit anderen Versuchen übereinstimmen und ob die gefundenen Beziehungen auf Isolatoren höherer Spannungsreihen bezogen werden können. Bisher gibt es wenig veröffentlichte Versuchsergebnisse mit dem Salznebelprüfverfahren. Messungen werden vor allem

Zur Untersuchung des Fadenmasseinflusses

Tabelle III

| Typ | Fadenmass mm | Schirmzahl | Stehsalzgehalt | |
|-----|-----------------|------------|----------------|-------|
| | | | g/l | Stufe |
| 1.4 | 350 | 6 | 5 | 3 |
| | 400 | 7 | 10 | 5 |
| | 450 | 8 | 20 | 7 |
| | 500 | 9 | 28 | 8 |

Alle übrigen Werte des Isolators 1.4 siehe Tabelle II.

beim Centro Elettrotecnico Sperimentale Italiano (CESI) in Mailand und der Studiengesellschaft für Hochspannungsanlagen e.V. (SFH) in Mannheim-Rheinau durchgeführt. Messergebnisse sind von der SFH im technischen Bericht Nr. 221 veröffentlicht worden. Von der CESI sind Vergleichsversuche veröffentlicht, die im CIGRE-Bericht Nr. 25-08 enthalten sind. Zusätzlich sind Ergebnisse an Spezial-Langstabisolatoren für Salzverschmutzungsgebiete aus Italien bekannt. In Tabelle IV sind die Veröffentlichungen und die wesentlichsten Daten der Isolatoren zusammengestellt. Da es sich bei den Veröffentlichungen fast ausschliesslich um Freileitung isolatoren handelt, sind bei einem Vergleich mit den Ergebnissen des Abschnittes 1 zwei wesentliche Punkte zu beachten:

a) Der Prüfaufbau ist nicht vergleichbar. Die Freileitung isolatoren werden hängend geprüft. Die Spannungszuführung erfolgt von unten. Die Massivstützer werden auf einer U-Schiene stehend mit Spannungszuführung von oben geprüft.

b) Bei der im Abschnitt 1 geprüften Serie lag der mittlere Strunkdurchmesser der Isolatoren bei 137 mm. Die in den Veröffentlichungen geprüften Isolatoren haben als Vollkerntypen im allgemeinen 75 mm Strunkdurchmesser. Für die geprüften Kappenketten lässt sich dieser Durchmesser der Vollkerntypen nicht definieren.

Der Einfluss des spez. Fadenmasses auf den Stehsalzgehalt ist für alle Isolatorengruppen in Fig. 4 graphisch dargestellt, bezogen auf einen spez. Kriechweg von $2,1 \frac{\text{mm}}{\text{mm}}$. In Fig. 5 ist der Einfluss des spez. Kriechweges auf den Stehsalzgehalt ebenfalls graphisch dargestellt, in diesem Falle auf ein spez. Fadenmass von $1,6 \frac{\text{cm}}{\text{kV}}$ bezogen. Zu diesem Zweck wurden alle Isolatorengruppen einer zweifachen linearen Regression unterworfen.

Aus den beiden Bildern ergeben sich folgende wesentlichen Gesichtspunkte:

a) Die Messungen im Prüffeld der AGROB liegen im Stehsalzgehalt wesentlich über allen anderen Ergebnissen.

b) Mit steigender Prüfspannung sinkt der zu erwartende Stehsalzgehalt. Am deutlichsten zeigt sich das in Fig. 4, Messreihen E, F und G.

| Ver-suchs-reihe | Prüffeld | Veröffentlichung | Isolatoren-Nr. | spez. Fadenmass l_{spez} cm kV | spez. Kriechweg k_{spez} mm mm | Prüfspannung kV |
|-----------------|----------|---|----------------------------------|--|--|--------------------|
| A | AGROB | Versuchsreihen Nr. 1...5 | | 1,35 | 2,0...3,3 | 30 |
| B | AGROB | Versuchsreihe Nr. 7 | | 1,1...1,7 | 2,74 | 30 |
| C | CESI | CIGRE-Bericht 25-08 [2] | A...F | 1,2...1,8 | 1,7...2,8 | 85 |
| D | CESI | Italienische Werte, nicht veröffentlicht | | 1,6 (1,5...1,7) | 1,7...3,0 | 85 |
| E | SfH | Bericht Nr. 221 [4] | IS-1.1...1.4 IS-2.1...2.4 | 1,8...3,0 | 1,4...2,3 | 13,3/13,9 |
| F | SfH | | IS-11.1...11.4 IS-12.1...12.4 | 1,4...2,0 | 1,7...2,4 | 72 |
| G | SfH | | IS-13.1...13.4 | 1,45 (1,38...1,47) | 2,1 (1,7...2,4) | 145 |
| H | SfH | | IS-5.1...5.4 | 1,87 | 1,6...2,1 | 13,9 |

In den angeführten Veröffentlichungen fehlen die Angaben über die Fadenmasse der Isolatoren. Die für die Berechnung notwendigen Fadenmasse wurden auf Grund von Zeichnungs- und Katalogangaben ermittelt.

c) Der relative Einfluss des spez. Fadenmasses auf den Stehsalzgehalt zeigt für alle Versuche eine etwa gleiche Tendenz.

d) Der relative Einfluss des spez. Kriechweges auf den Stehsalzgehalt ist grösseren Streuungen unterworfen. Auffallend ist der geringe Einfluss des Kriechweges bei den AGROB-Versuchen.

werden, wird auch mehr Salzlösung von den Schirmkanten abtropfen. Die abtropfende Salzlösung bedeutet für den Kriechweg eine «Vorbelastung». Der Kriechwegeinfluss müsste mit steigendem Strunkdurchmesser geringer werden.

3. Versuch einer Erklärung der Abweichungen in den Ergebnissen

3.1 Einfluss des vom Isolator abtropfenden Salzwassers

Auffallendes Ergebnis des in Abschnitt 2.1 angestellten Vergleiches ist der geringe Einfluss, den die Kriechwegveränderung auf den Stehsalzgehalt bei den AGROB-Versuchen ergeben hat. Die Annahme, dass dieser geringe Einfluss des Kriechweges auf den grossen Strunkdurchmesser dieser Versuchsreihen zurückzuführen ist, führt zu folgender Überlegung:

Bei dem von CIGRE vorgeschlagenen Verfahren wird mit hohem Luftdruck eine Salzlösung zerstäubt und aus zwei Richtungen gezielt auf den Isolator geblasen. Diese Nebelschwaden schlagen sich zum Teil am Isolator nieder und tropfen an den Schirmkanten ab. Da sich mit steigendem Strunkdurchmesser mehr Nebelschwaden am Isolator niederschlagen

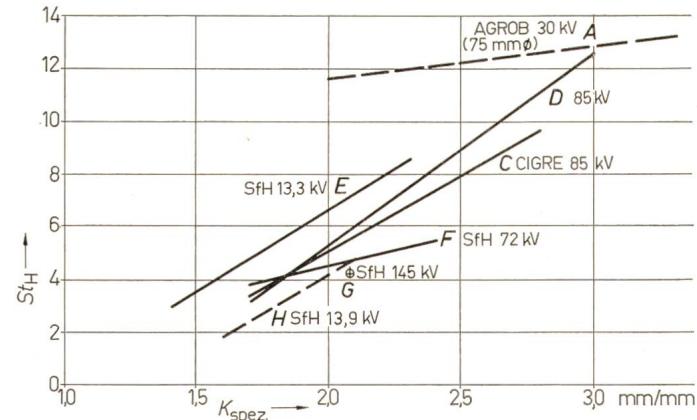


Fig. 5
Einfluss des spez. Kriechweges K_{spez} auf den Stehsalzgehalt S_t_H
Spez. Fadenmass 1,6 cm/kV

Zur Untermauerung dieser theoretischen Überlegung sind an den Isolatoren der Versuchsserien 1 und 2 des Abschnittes 1 Wassermengenmessungen während der Salzwasserbenebelung durchgeführt worden. Die Versuchsanordnung ist gegenüber den Bedingungen des Abschnittes 1 nicht verändert worden. Lediglich der Pressluftdruck hat von 7 auf 5 kg/cm² reduziert werden müssen, da die ursprünglich verwendete Kompressor-anlage nicht mehr zur Verfügung gestanden hat. Zwischen das geerdete Untergestell und die Fussarmatur ist eine Blechplatte von etwa 500 mm Durchmesser geschoben worden, auf die die Wassermessgefäße gestellt wurden. Unter den Rand des untersten Schirmes wurden vier Messgefäße gestellt, die die abtropfende Salzlösung auf jeweils 70 mm Schirmkantenbreite aufgefangen haben. Die mittleren Werte aus 3 Versuchen (Versuchsdauer jeweils 15 min), wurden auf den Gesamtschirmumfang umgerechnet. Sie sind in Fig. 6 dargestellt.

Das Ergebnis ist eindeutig. Beim Salznebelprüfverfahren tropft mit steigendem Strunkdurchmesser immer mehr Salzlösung am Isolator herunter. Das gleiche gilt dementsprechend

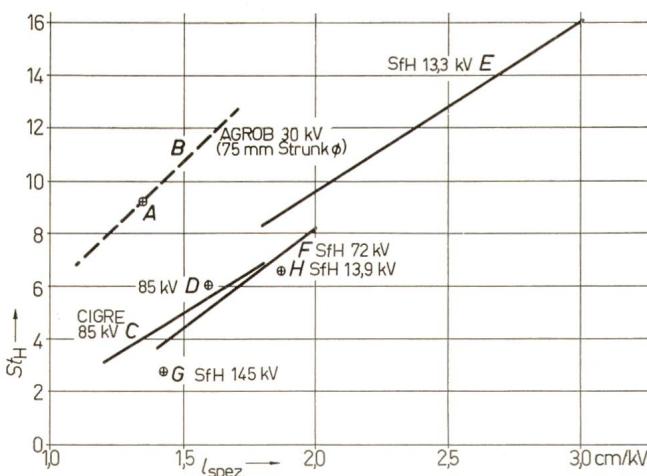


Fig. 4
Einfluss des spez. Fadenmasses l_{spez} auf den Stehsalzgehalt S_t_H
Spez. Kriechweg 2,1 mm/mm
Weitere Bezeichnungen siehe Fig. 1

für die Vergrösserung der Bauhöhe eines Isolators, da auch hier die Fläche, an der sich Salznebel niederschlagen kann, vergrössert wird. In beiden Fällen wird durch die abtropfende Salzlösung der Kriechweg im unteren Teil des Isolators «vorbelaetzt», der Einfluss des Kriechweges geht zurück. Dies ist sehr deutlich aus den Werten der Tabelle V ersichtlich. Die Angaben der Spalte 4 in dieser Tabelle entsprechen den Steigungen der Regressionsgeraden in Fig. 5.

Aus diesen Überlegungen ergibt sich auch eine mögliche Erklärung dafür, dass die Versuchsreihen des ersten Abschnittes generell bessere Ergebnisse gezeigt haben als alle anderen. Bei den Versuchen dieses Berichtes wurden die Isolatoren stehend geprüft. Oberhalb der flachen Kopfarmatur befand sich lediglich die Seilnachbildung mit der Spannungszuführung. Bei allen anderen Versuchen sind die Isolatoren hängend geprüft. Bereist an den Isolatoren der Aufhängung schlägt sich der Salznebel nieder und tropft ab. Während bei den Versuchen dieses Berichtes der obere Isolatorbereich nur durch die auftretenden Nebelschwaden beansprucht wird, floss bei den Versuchen der CESI und SfH bereits über diesen Teil des Isolators das von der Aufhängung abtropfende Salzwasser. Es sind niedrigere Stehsalzgehaltswerte zu erwarten. Hier scheinen Vergleichsversuche und eine eventuelle Ergänzung der CIGRE-Empfehlung angebracht, die die Art der Montage des Prüflings im Versuchsräum eindeutig festlegt.

Nach den in diesem Abschnitt gemachten Feststellungen über den starken Einfluss des abtropfenden Salzwassers auf die Messergebnisse stellt sich die Frage, ob ein Prüfverfahren, das mit so starken Luftströmungen und Salznebelkonzentrationen arbeitet, wirklich Ergebnisse bringt, die das Verhalten der Prüflinge in der Praxis widerspiegeln. Isolatoren amerikanischer Ausführung mit sog. Regenschirmen an den Zwischenarmaturen, die das von den oberen Isolatoren abfließende Regenwasser ausserhalb des Schirmbereiches abtropfen lassen, würden sich bei dieser Prüfung gut bewähren. Es müsste allerdings noch experimentell ermittelt werden, wie weit diese Regenschirme über die Schirme der Isolierkörper hinausragen müssen, damit das Wasser bei Prüfung des Isolators entsprechend der CIGRE-Salznebelprüfung eindeutig ausserhalb des Isolatorbereiches abtropft.

3.2 Einfluss der Bauform

In den bisherigen Abschnitten ist der Einfluss des Strunkdurchmessers, des Kriechweges und des Fadenmasses, bezogen auf die Prüfspannung, festgestellt bzw. bestätigt worden. Die mit diesen Faktoren durchgeführten linearen Regressionsrechnungen ergeben theoretische Salzgehaltswerte, die teilweise

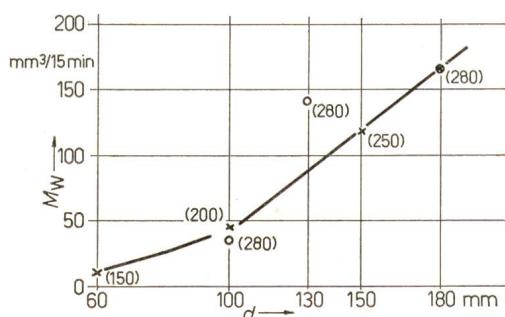


Fig. 6

Vom untersten Schirm des Isolators abtropfende Wassermenge M_W
d Isolatorenstrunk-Durchmesser
Zahlenwerte in () geben den Schirmdurchmesser der geprüften Isolatoren an

Erhöhung des Stehsalzgehaltes bei Erhöhung des spez. Kriechweges

$$\text{um } 1,0 \left[\frac{\text{mm}}{\text{mm}} \right]$$

Tabelle V

| Gruppe | Prüfspannung kV | Strunk-Ø mm | Erhöhung Stufen | Bemerkungen |
|--------|-----------------|-------------|-------------------|---------------------------------|
| A | 30,0 | 137 | 1,25 | Einfluss des Strunkdurchmessers |
| | 13,9 | 82 | 5,8 | |
| E | 13,3+13,9 | | 6,2 | Einfluss der Bauhöhe |
| | 72,0 | 60...75 | 2,4 | |
| G | 145,0 | | 1,4 ¹⁾ | |

¹⁾ Dieser Wert wurde aus dem max. Kriechwegunterschied dieser Versuchsreihe von $2,4 - 1,7 = 0,7 \left[\frac{\text{mm}}{\text{mm}} \right]$ und der Differenz der erzielten Salzgehaltsstufen von $3 - 2 = 1$ [Stufe] ermittelt.

von den praktischen Ergebnissen abweichen. Als Standardabweichung s der praktischen zu den theoretischen Stehsalzgehalten lässt sich für alle untersuchten Gruppen ein mittlerer Wert von $s \approx 2$ Stufen angeben. Wie bereits in Abschnitt 1.5.2 ausgeführt, ist in dieser Streuung neben den allgemeinen Streuungen der Messergebnisse vor allem die Bauform von Einfluss. Der Stehsalzgehalt eines Isolators lässt sich also allein durch die Bauform im Bereich von ± 4 Stehsalzgehaltstufen beeinflussen. Das entspricht $\pm 2 s = 95\%$ der möglichen Ergebnisse bei angenommener Normalverteilung.

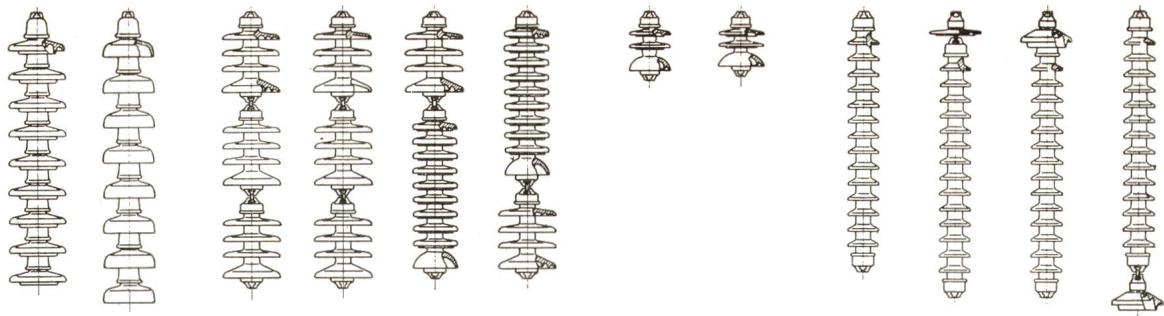
In Fig. 7 sind aus den Versuchsreihen C bis H vor allem die Isolatoren dargestellt, bei denen starke Abweichungen zwischen dem theoretischen und praktischen Salzgehalt festzustellen sind. Die Darstellung entspricht Fig. 2. Eine Untersuchung der in beiden Bildern dargestellten Ergebnisse zeigt, dass sich die Bauformeinflüsse schon im Bezug auf das Verhalten gegenüber der Salznebelprüfung nicht in bestimmte Schemata drängen lassen. Im folgenden seien einzelne Gesichtspunkte hervorgehoben:

a) Die Versuchsreihe 2 in Fig. 2 zeigt, dass der in der Literatur [4] wiederholt erwähnte Formfaktor $f = \int_0^k \frac{\pi D(k)}{dk}$ (mit D = Durchmesser des Isolators und k Kriechweg) für die Beschreibung des Schirmeinflusses nicht ausreichend ist. Für die Isolatoren 2.2 bis 2.4 ergeben sich Formfaktoren von $f = 1,36$ (Typ 2.2), $f = 1,86$ (Typ 2.3) und $f = 2,1$ (Typ 2.4). Die praktischen Messungen ergaben für den Typ 2.3 ein Optimum.

b) Gleichzeitig zeigt die Versuchsreihe 2 in Fig. 2, dass bestimmte Verhältnisse von Schirmabstand zu Schirmausladung unabhängig von der Abmessung nicht unbedingt zu guten Verschmutzungseigenschaften führen. In dieser Versuchsreihe ist das Verhältnis konstant. Allgemein zeigt sich jedoch, dass bestimmte Schirmausladungen und -abstände zu optimalen Ergebnissen führen. Nur so lässt sich auch der wesentliche Unterschied im Stehsalzgehalt der sehr ähnlichen Isolatoren IS-2.3 und IS-2.4 [5] der Fig. 7 erklären.

c) Die Untersuchungen mit Kombinationen unterschiedlicher Freileitungsisolatortypen lassen auf den ersten Blick den Eindruck entstehen, dass ein Langstabisolator in Verbindung mit einem darüber angeordneten Isolator mit grossem Schirmdurchmesser wesentlich bessere Ergebnisse bringt. Fig. 7 zeigt, dass dieser Einfluss nicht allein auf den grossen Schirmdurchmesser zurückzuführen ist. Der Langstabisolator IS-1.11 wird durch den darüber angeordneten Kappenisolator der Form K8 in der Isolieranordnung IS-12.1 sogar verschlechtert.

In dieser Isolieranordnung erhöht sich der spez. Kriechweg durch den Kappenisolator nicht. Wird über dem Langstab ein Kappenisolator der Form NK8 angeordnet (Isolieranordnung IS-12.3), so wird der spez. Kriechweg erhöht. Zusätzlich wird in dieser Anordnung im oberen Bereich des Langstabisolators eine geschützte Zone entstehen³⁾. Es ergibt sich ein guter Stehsalzgehaltswert. Wesentlich ist jedoch, dass der Isolator mit spez. höherem Kriechweg am oberen Ende der Isolierung angeordnet wird. In Isolieranordnung IS-12.4



| Versuchsreihe | C | | B | | A | | B | | D | | E | | IS-23 | | IS-24 | | IS-11.1 | | IS-12.1 | | IS-12.3 | | IS-12.4 | |
|------------------------|------|------|---|------|------|---|---|--|---|--|---|--|-------|-------|-------|--|---------|---------|---------|---------|---------|--|---------|--|
| Isolator Nr. | C | B | A | B | D | D | E | | | | | | IS-23 | IS-24 | | | IS-11.1 | IS-12.1 | IS-12.3 | IS-12.4 | | | | |
| Prüfspannung [kV] | 85 | | | | 85 | | | | | | | | 13.9 | | | | 72 | | | | | | | |
| spez. Fadenmaß [mm] | 1.64 | 1.72 | | 1.64 | | | | | | | | | 2.16 | | | | 1.48 | 1.74 | 1.70 | 1.80 | | | | |
| spez. Kriechweg | 2.80 | 2.36 | | 2.72 | 2.28 | | | | | | | | 2.96 | | | | 1.73 | 1.71 | 1.81 | 1.71 | | | | |
| Schirmdurchmesser [mm] | 280 | 246 | | 280 | 280 | | | | | | | | 200 | 227 | | | 150 | 254/150 | 250/150 | 150/250 | | | | |

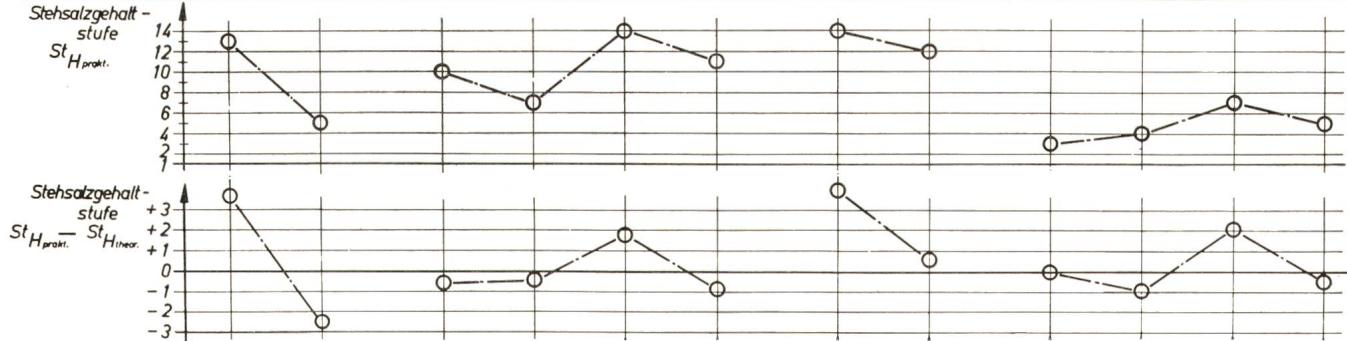


Fig. 7
Einfluss der Bauform verschiedener Isolatoren der zum Vergleich herangezogenen Versuchsergebnisse auf den Stehsalzgehalt
(siehe auch Tabelle IV)

(NK8 unter dem Langstabisolator angeordnet) wird der höhere spez. Kriechweg des Kappenisolators durch das vom Langstab abtropfende Salzwasser «vorbelastet». Gleichzeitig fehlt die geschützte Zone im oberen Teil des Langstabisolators, der Stehsalzgehalt wird wesentlich schlechter.

d) Wie im Abschnitt 1.6 bereits festgestellt, ist der Einfluss des Schirmprofils nicht eindeutig zu erklären. Es bestätigt sich bei den Isolatoren A und B der Versuchsreihe D (Fig. 7). Hier sind die Unterschirme nur durch die gleichzeitige Erhöhung des Kriechweges wirksam.

e) Das sehr schlechte Ergebnis der Isolieranordnung B der Versuchsreihe C (Fig. 7) wird darauf zurückzuführen sein, dass sich über die Außenflächen der Glockenschirme durch die niederschlagenden Salznebel Schwaden ein weitgehender Kurzschluss der Isolierstrecke ergibt.

f) Unabhängig von den in diesem Bericht untersuchten einzelnen Einflussgrößen auf den Stehsalzgehalt interessiert den Anwender vor allem die Frage, welcher Stehsalzgehalt sich bei den einzelnen Isolatortypen, bezogen auf die Bauhöhe, erzielen lässt. Aufgrund der Untersuchung bisher veröffentlichter Ergebnisse in diesem Bericht lässt sich sagen, dass die Ausführungen Vollkernisolator und Kappenisolator Ergebnisse in der gleichen Größenordnung bringen. Die besten Ergebnisse, bezogen auf die Bauhöhe, erbrachten von allen in Tabelle IV enthaltene Typen die Ausführung IS-2.3 in dem Bereich 13,3 kV und Reihe D, Isolator D im Bereich 72 kV und 85 kV. Der Typ C der Reihe C war als einziger der hier untersuchten Kappentypen den Vollkerntypen etwa gleichwertig.

Zusammenfassung

In diesem Bericht ist versucht worden, im Zusammenhang mit der Veröffentlichung des CIGRE-Salzverschmutzungsprüfverfahrens Hinweise auf die Einflussgrößen zu erarbeiten, die den Stehsalzgehalt für Massivstützer bestimmen. Die Untersuchungen haben gezeigt, dass die vom Isolator abtropfende Salzlösung — das CIGRE-Verfahren arbeitet mit hohen Salznebelkonzentrationen, die gezielt auf den Isolator geblasen werden — einen erheblichen Einfluss auf die Ergebnisse hat. Dadurch werden die Stehsalzgehalte mit steigender Bauhöhe

3) Der Einfluss der Spannungsverteilung bei den verschiedenen Isolieranordnungen bleibt in diesem Bericht unberücksichtigt, da entsprechende Untersuchungsergebnisse fehlen.

und stärker werdendem Strunkdurchmesser wesentlich verschlechtert; es schlägt sich an diesen Isolatoren mehr Salzlösung nieder.

Die Schirmausführung hat einen ebenfalls erheblichen Einfluss auf die Ergebnisse. Es lässt sich jedoch hiefür keine optimale Lösung aus den bisher vorliegenden Untersuchungen finden, da sich zu viele Einflüsse überlagern. Grundsätzlich ist zu sagen, dass offene Schirmformen mit Ausladungen der Schirme von etwa 60...70 mm und nicht viel kleineren Schirmabständen zu guten Ergebnissen führen. Für höhere Spannungsreihen ist der Einbau von «Regenschirmen», z. B. an den Zwischenarmaturen vorteilhaft, die das vom oberen Isolatorteil abtropfende Salzwasser ausserhalb des unteren Isolatorbereiches abfließen lassen.

Alle gefundenen Ergebnisse gelten, streng genommen, nur für das Verhalten der Isolatoren gegenüber der Salzverschmutzungsprüfung. Die im Hintergrund stehende entscheidende Frage, inwieweit diese Ergebnisse auf die Verschmutzungsverhältnisse der Praxis übertragen werden können, kann vorerst nicht beantwortet werden.

Literatur

- [1] Vorläufige Richtlinien für die Untersuchung von Freiluftisolatoren für Anlagen mit Wechselspannungen über 1 kV unter Fremdschichteinfluss. VDE-Vorschrift 0448/1.63.
- [2] P. J. Lambeth e. a.: Méthode d'essai d'isolateurs sous brouillard salin artificiel. Rapport CIGRE No. 25-08, 1968.
- [3] Essais des supports isolants et éléments de colonnes d'intérieur et d'extérieur, destiné à des installations de tension nominale supérieure à 1000 V. Publication de la CEI No. 168, 1964.
- [4] Das Isoliervermögen von Freiluftisolatoren bei Salzverschmutzung. Technischer Bericht Nr. 221 der Studiengesellschaft für Hochspannungsanlagen e. V. Berlin/Mannheim-Rheinau, SFH, 1969.
- [5] G. Reverey: Hochspannungsisolatoren unter Fremdschichteinfluss. Prüfverfahren und Ergebnisse. Elektrizitätswirtsch. 58(1959)2, S. 41...47 + Nr. 3, S. 90...96.
- [6] K. Schaudinn: Neuer 20 kV-Freiluftisolator mit hoher Sicherheit gegen salzhaltige Nebel. Stemag Nachrichten - (1969)42, S. 1161...1162.

Adresse des Autors:
D. Scharwächter, Hirtgrasstrasse 3, D-8045 Ismaning.