

Verfahren zur Bewertung der Korrosionswahrscheinlichkeit durch den Einfluß von Wechselströmen

*Fachreferat, gehalten von Herrn Dipl.-Ing. Klaus Horras auf der Jahreshauptversammlung 2001
des Fachverbandes Kathodischer Korrosionsschutz e.V. in Dresden.*

Korrosionserscheinungen bedingt durch Wechselstrom-einflüsse sind z. Zt. das beherrschende Thema der Korrosionsschutzfachleute. Man unterscheidet drei Beeinflussungsarten nämlich kapazitive, ohmsche und induktive Beeinflussung. Mit kapazitiver Beeinflussung muß nur beim Bau einer Rohrleitung im Einflußbereich einer Hochspannungsfreileitung gerechnet werden. Hier sind Maßnahmen gegen das Bestehenbleiben zu hoher Berührungsspannungen erforderlich, wie z. B. Erdungen aufgebockter Rohrleitungen. Für Korrosionserscheinungen an Rohrleitungen ist diese Beeinflussungsart nicht relevant.

Ohmsche Beeinflussungen können immer dann auftreten, wenn große Wechselströme im Erdboden fließen, die die Rohrleitungen als niederohmigen Leiter benutzen. Diese Art der Beeinflussung kommt u. a. bei Bahnlinien vor, die große Unterwerksabstände und damit große Schienenspannungsfälle aufweisen.

Die wesentliche Beeinflussungsart ist die induktive Beeinflussung durch Hochspannungsfreileitungen oder durch die Fahrleitung von wechselstrombetriebenen Bahnen. Die Höhe der Beeinflussung kann nach AfK3 berechnet werden. Sie ist abhängig vom Abstand zwischen der Rohrleitung und der Freileitung, der Länge des Parallelverlaufes, der Größe des Betriebswechselstromes u. a. m..

Bis vor einigen Jahren lag die zulässige Beeinflussung durch Wechselstrom bei 65 V. Dieser Wert ist z. Zt. noch die zulässige Berührungsspannung. Wurde diese Spannung überschritten, mußten Maßnahmen zur Verringerung der Spannung vom Betreiber der Rohrleitung getroffen werden. Hierbei wurde jedoch nicht berücksichtigt, daß durch den Wechselstrom-einfluß auch Korrosionsschäden auftreten können. Dieses Problem trat dadurch auf, daß immer häufiger Rohrleitungen im Bereich von Hochspannungstrassen geplant und verlegt wurden und sich die Umhüllung der Rohrleitungen immer weiter

verbesserte. Das führte bei kleinen Fehlerstellen in der Rohrumhüllung zu großen Wechselstromdichten, die dann, trotz wirksamen kathodischen Schutzes, zu Korrosionsschäden führten.

Nur eine elektrische Meßgröße ist in DIN 50925 zu Beurteilung der Korrosionswahrscheinlichkeit durch Wechselstrom-einfluß angegeben. Es ist die Bestimmung der Wechselstromdichte an einer 1 cm² großen Fläche. Hier wird gefordert, daß die Stromdichte nicht größer als 30 A m⁻² sein darf, um Korrosionsangriffe durch Wechselstrom auszuschließen. Bei Werten zwischen 30 und 100 A m⁻² sind Korrosionsangriffe nicht auszuschließen und bei Werten von >100 A m⁻² sind Angriffe zu erwarten.

In der Praxis werden drei Methoden unterschieden. Zur Ermittlung der aktuellen Wechselstromdichte werden Meßelektroden aus Stahl mit einer freien Fläche von 1 cm² auf den Erdboden aufgesetzt und über ein Amperemeter mit der Rohrleitung verbunden. Aus dem gemessenen

Strom und der Oberfläche wird die Wechselstromdichte errechnet.

$$J_{\approx} = \frac{I_{\approx}}{A} \quad (1)$$

mit:

I_{\approx} = Wechselstrom an der Meßprobe in A

A = Fläche der Meßprobe in m²

J_{\approx} = Wechselstromdichte an der Meßprobe in A m⁻²

Ist die Oberfläche sehr trocken, wird diese durch Wasser angefeuchtet. Fehler bei dieser Methode ist, daß sich der spezifische Bodenwiderstand am Aufstellungsort der Meßelektrode von dem an der Fehlerstelle in der Rohrumhüllung unterscheidet, so daß dieses Verfahren nur eine grobe Abschätzung der Korrosionswahrscheinlichkeit zuläßt.

*Vorstand und Geschäftsführung des
Fachverbandes Kathodischer Korrosionsschutz e.V.
wünschen allen Mitgliedern
und Freunden des Verbandes
ein gesegnetes Weihnachtsfest
und ein erfolgreiches Jahr 2002.*

Beim zweiten, aufwendigeren Verfahren wird eine Meßelektrode in der Nähe der Rohroberfläche eingegraben und ein Anschluß von der von der Elektrode in eine Meßstelle eingeführt. Hier wird die Elektrode mit der Rohrleitung verbunden. Der fließende Strom kann jederzeit durch Einschalten eines Strommessers bestimmt werden. Auch Langzeitmessungen sind mit Einsatz von Datenloggern möglich und gestatten die Bestimmung von Mittelwerten über einen längeren Zeitraum. Die Fehlerquelle bei diesem Verfahren ist die ständige Verbindung mit dem kathodisch geschützten Rohr. Es kann an der Meßelektrode zu einer Deckschichtbildung kommen, die die freie Oberfläche der Elektrode verkleinert. Dadurch kommt es bei der Berechnung der Wechselstromdichte zu Fehlern.

Bei der dritten Methode werden Probebleche als Meßelektroden eingesetzt, die mit einer Wandstärken-Meßeinrichtung versehen sind. Hier kann jederzeit der Materialverlust bestimmt werden. Dieses Verfahren ist jedoch ziemlich aufwendig und kann nur an besonders gefährdeten Stellen eingesetzt werden.

Wegen der oben geschilderten Probleme bei der Stromdichtebestimmung in der Praxis erscheint es sinnvoll andere Meßgrößen zur Bewertung einer Korrosionswahrscheinlichkeit durch Wechselstrom heranzuziehen. Die am zu untersuchenden Objekt anstehende Wechselspannung ist sicherlich ein Maß für die Korrosionsgefährdung und mit dieser direkt proportional. Aus der Wechselspannung allein können jedoch keine eindeutigen Hinweise auf die Größe der Korrosionsgefahr abgeleitet werden (s. DIN 50925 unkritische Stromdichte). Es bietet sich eine weitere Meßgröße an, aus der der fließenden Strom und damit auch die Stromdichte berechnet werden kann. Bestimmt man an der zu untersuchenden Stelle den spezifischen Bodenwiderstand, so läßt sich aus der Größe der Fehlerstelle (1 cm² bei DIN 50925) der Widerstand R dieser Fehlerstelle berechnen. Nach dem ohmschen Gesetz ergibt sich dann der an der Fehlerstelle zu erwartende Strom I aus der gemessenen Spannung U und dem Widerstand der Fehlerstelle R . Dividiert man nun den Strom I durch die Fläche der Fehlerstelle A , so können Angaben über die Größe der örtlichen Stromdichte J gemacht werden. Die wechselstrombedingte Korrosionswahrscheinlichkeit ist also proportional der Wechselspannung U und dem spezifischen Widerstand des Bodens ρ .

Der Strom ergibt sich zunächst aus:

$$I_{\approx} = \frac{U_{\approx}}{R} \quad (2)$$

mit:

U_{\approx} = Wechselspannung Objekt/Boden in V

R = Widerstand der Fehlerstelle in Ω

I_{\approx} = Wechselstrom an der Fehlerstelle in A

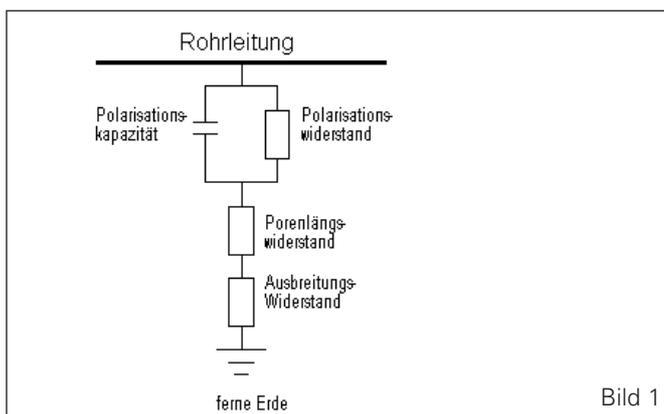


Bild 1

Bild 1 zeigt das elektrische Ersatzschaltbild einer Pore. Der durch den kathodischen Schutz erzeugte Polarisationswiderstand wird für Wechselstrom durch die Polarisationskapazität nahezu kurzgeschlossen und spielt daher bei den hier anzustellenden Betrachtungen keine Rolle.

Der Widerstand der Fehlerstelle besteht aus zwei Teilwiderständen, die in Reihe geschaltet sind und zwar der Längswiderstand in der Fehlerstelle und dem Ausbreitungswiderstand.

Der Längswiderstand errechnet sich zu:

$$R_F = \frac{\rho * s}{A} \quad (3)$$

mit:

ρ = spezifischer Bodenwiderstand in Ω cm

s = Schichtdicke der Umhüllung in cm

A = Fläche der Fehlerstelle in cm²

R_F = Längswiderstand in der Fehlerstelle in Ω

Der Ausbreitungswiderstand der Fehlerstelle errechnet sich nach der Gleichung:

$$R_A = \frac{\rho}{2 * d} \quad (4)$$

mit:

ρ = spezifischer Bodenwiderstand in Ω cm

d = Durchmesser der Fehlerstelle in cm

R_A = Ausbreitungswiderstand der Fehlerstelle in Ω

Der Durchmesser d kann aus der Fläche A berechnet werden zu:

$$d = 2 * \sqrt{\frac{A}{\pi}} \quad (5)$$

mit:

A = Fläche der Fehlerstelle in cm²

d = Durchmesser der Fehlerstelle in cm

Der Gesamtwiderstand der Fehlerstelle ergibt sich aus der Addition der Teilwiderstände zu:

$$R = R_F + R_A = \frac{\rho * s}{A} + \frac{\rho}{4 * \sqrt{\frac{A}{\pi}}} = \rho * \left(\frac{1}{4 * \sqrt{\frac{A}{\pi}}} + \frac{s}{A} \right) \quad (6)$$

und durch Umstellung etwas übersichtlicher:

$$R = \frac{\rho * (s + 0,25 * \sqrt{\pi * A})}{A} \quad (7)$$

Durch Einsetzen in die Gleichung (2) ergibt sich die Größengleichung für den Wechselstrom zu:

$$I_{\approx} = \frac{U_{\approx} * A * 10^4}{\rho * (s + 0,25 * \sqrt{\pi * A})} \quad (8)$$

und die Wechselstromdichte durch Einsetzen in Gleichung (1) zu:

$$J_{\approx} = \frac{U_{\approx} * 10^4}{\rho * (s + 0,25 * \sqrt{\pi * A})} \quad (9)$$

mit:

U_{\approx} = Wechselspannung Objekt/Boden in V

ρ = spezifischer Bodenwiderstand in Ω cm

s = Schichtdicke der Umhüllung in cm

A = Fläche der Fehlerstelle in cm²

J_{\approx} = Wechselstromdichte in Am⁻²

Eine vereinfachte Gleichung für das geforderte $A=1 \text{ cm}^2$ lautet:

$$J_{\approx} = \frac{F * U_{\approx} * 10^4}{\rho} \quad (10)$$

mit:

$$F = \frac{1}{s + 0,25 * \sqrt{\pi * A}} \quad (11)$$

Wird die Fläche A mit 1 cm^2 angenommen und beträgt die Schichtdicke s 4 mm entsprechend 0,4 cm, so errechnet sich der Faktor F zu 1,1861.

Es ist sicher unstrittig, daß die Wechselspannung ohne Probleme fehlerfrei gemessen werden kann; auch Langzeitmessungen mit Mittelwertbildung und Extremwertauswertung sind ohne Schwierigkeiten möglich.

Problematisch ist lediglich die Ermittlung des spezifischen Bodenwiderstandes. Hier sollte nach Wenner mit einem Sondenabstand von 0,8 m der mittlere spezifische Bodenwiderstand bis zur Rohrverlegetiefe erfaßt werden.

Es ist zu erwarten, daß die Berechnung der Stromdichte aus Spannung und Widerstand wesentlich sicherer sein dürfte als der Einsatz von Meßproben.

Abschließend wurden einige Diagramme erstellt, aus denen die Abhängigkeit der Stromdichte von der Wechselspannung, den spezifischen Bodenwiderstand und der Fehlerstellengröße hervorgeht.

Bild 2 zeigt die Abhängigkeit der Wechselstromdichte von der anstehenden Wechselspannung bei verschiedenen spezifischen Bodenwiderständen. Die Fehlerstellenfläche wurde zu 1 cm^2 angenommen.

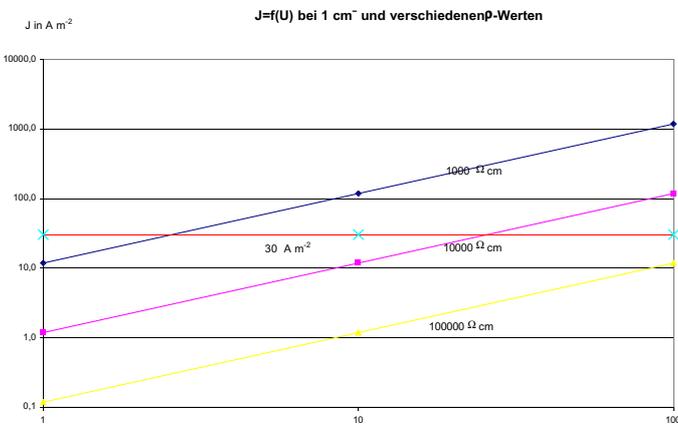


Bild 2 $J = f(U, \rho)$ bei 1 cm^2 Fläche

Die gelbe Linie zeigt, daß bei einem ρ -Wert von 100000 Ohm cm selbst bei einer Spannung von 100 V keine Überschreitung des Grenzwertes von 30 A m^2 auftritt. Beträgt der spezifische Bodenwiderstand nur 10000 Ohm cm , so wird die 30 A m^2 -Linie zwischen 20 und 100 V überschritten. Bei 1000 Ohm cm wird die 30 A m^2 -Linie schon bei einigen Volt überschritten.

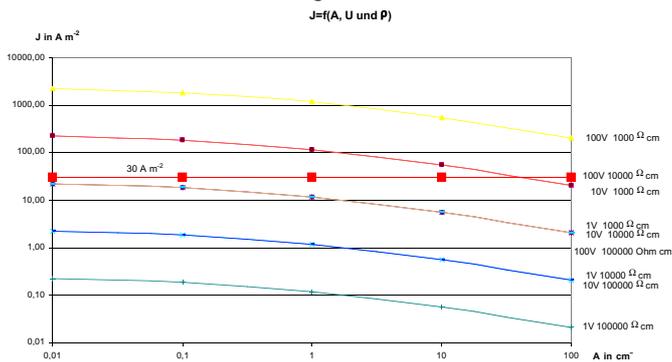


Bild 3 $J = f(A, \text{ und } \rho)$

Bild 3 zeigt alle Möglichkeiten der Stromdichte im Spannungsbereich von $1-100 \text{ V}$, im Bereich des spezifischen Widerstandes von $1000-100000 \text{ Ohm cm}$ und mit Fehlerstellengrößen von $0,01-100 \text{ cm}^2$. Das Diagramm zeigt die starke Abhängigkeit von der Wechselspannung und dem spezifischen Bodenwiderstand sowie den relativ kleinen Einfluß der Fehlerstellengröße.

Der in Gleichung (9) beschriebene Faktor bei ρ ist bezogen auf eine 1 cm^2 -große Fehlerstelle. Das nachfolgende Diagramm zeigt die Abhängigkeit dieses Faktors von der Größe der Fehlerstelle im halblogarithmischen Maßstab.

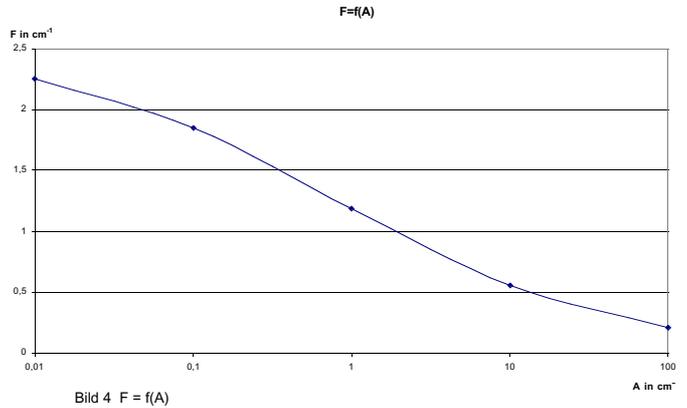


Bild 4 $F = f(A)$

Deutlich sieht man der beim spezifischen Widerstand ρ stehende Faktor ca. $1,2$ beträgt. Er verändert sich im halblogarithmischen Maßstab nahezu linear. Während er bei kleineren Fehlerstellen zunimmt, was eine Erhöhung der Korrosionswahrscheinlichkeit durch Wechselstrom bedeutet, verringert sich der Faktor bei größeren Fehlerstellen.

Eine weitere Überlegung ist die Tatsache wert, daß aus Berührungsschutzgründen die Wechselspannung Rohrleitung/Erde nicht über 65 V sein darf. Wird diese Forderung eingehalten, so kann aus der Angabe in DIN 50925 mit einer kritischen Stromdichte von 30 A m^2 ein kritischer spezifischer Bodenwiderstand errechnet werden. Oberhalb dieses ρ -Bereiches sind Wechselstromkorrosionen nicht zu erwarten, während bei niedrigeren ρ -Werten mit einem Korrosionsangriff gerechnet werden muß. Dieser Wert liegt bei einer Fehlerstellengröße von 1 cm^2 bei ca. 25000 Ohm cm und ist naturgemäß flächenabhängig. Diese Abhängigkeit zeigt Bild 5.

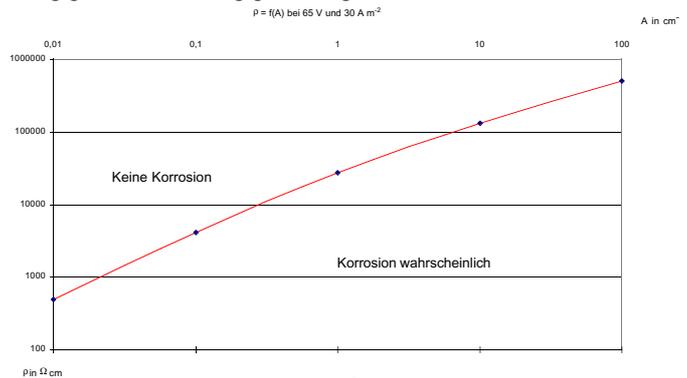
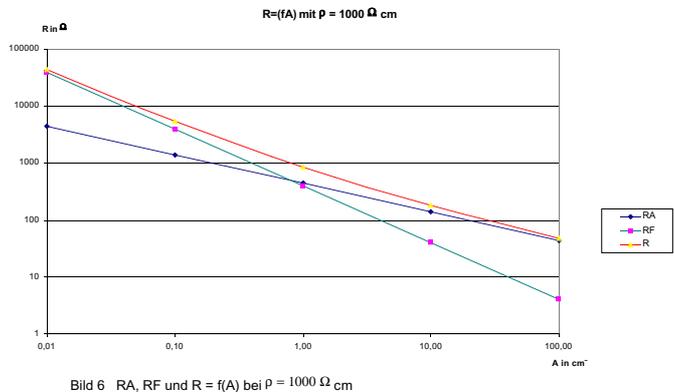


Bild 5 $\rho = f(A)$ bei $U = 65 \text{ V}$ und $J = 30 \text{ A m}^2$

Es ist deutlich zu erkennen, daß bei 1 cm^2 Fläche der kritische ρ -Wert bei ca. 25000 Ohm cm liegt und mit größerer Oberfläche zunimmt. Das bedeutet, daß, wie oben bereits erwähnt, bei größeren Flächen Wechselstromkorrosionen schon bei höheren ρ -Werten zu erwarten sind. Bei sehr kleinen Flächen reicht schon ein spezifischer Bodenwiderstand von ca. 1000 Ohm cm aus, um Korrosionen durch Wechselstrom unwahrscheinlich werden zu lassen, wenn die zulässige Berührungsspannung von 65 V eingehalten wird und die zulässige Wechselstromdichte gemäß DIN 50925 30 A m^2 betragen darf.

Zum Abschluß noch einige Überlegungen zum Entwurf AfK 11 vom November 2000. Bei den obigen Betrachtungen wurde der Gesamtwiderstand einer Fehlerstelle aus der Summe des Porenlängswiderstandes R_F und des Ausbreitungswiderstandes der Fehlerstelle R_A berechnet.

Bild 6 zeigt die Abhängigkeit der Widerstände R_F , R_A und R von der Fehlerstellenfläche bei einem spezifischen Bodenwiderstand von $1000 \Omega \text{ cm}$.

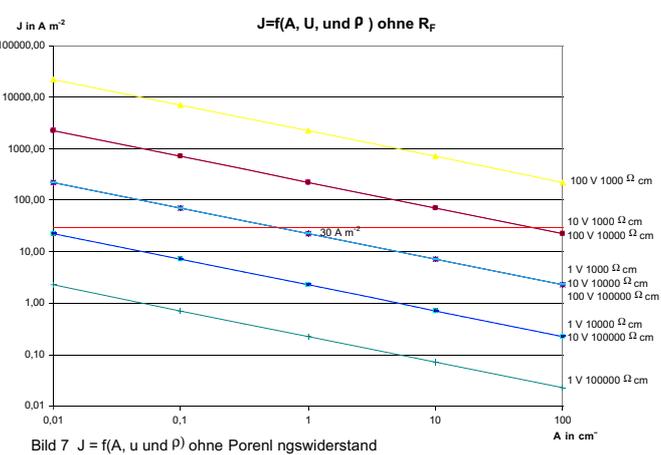


Der Widerstand R_F in der Pore verläuft im doppelt logarithmischen Maßstab mit einer relativ starken Neigung. Bei kleinen Fehlerstellenflächen verläuft seine Kurve im geringen Abstand zur Kurve des Gesamtwiderstandes R . Es kann also gesagt werden, daß hier R_F widerstandsbestimmend ist. Im Gegensatz dazu verläuft die Kurve von R_A flacher. Sie hat einen Parallelverlauf mit der Kurve von R bei großer Fehlerstellenfläche. In diesem Fall spielt R_F zur Bildung des Gesamtwiderstandes keine Rolle. Bei 1 cm^2 Fläche kreuzen sich die Kurven von R_F und R_A . Das bedeutet, daß der Gesamtwiderstand doppelt so groß ist, wie die beiden Einzelwiderstände. Wird, wie in AfK 11 angegeben, nur mit dem Ausbreitungswiderstand der Pore R_A gerechnet, so wird schon bei einer 1 cm^2 großen Fläche der Strom doppelt so groß. Bei 1 mm^2 großen Flächen liegt der Fehler schon beim Faktor 10.

Bild 7 zeigt im Vergleich zu Bild 3 die Verhältnisse ohne Berücksichtigung des Porenlängswiderstandes.

Fachverband Kathodischer Korrosionsschutz e.V.
 Postfach 6004, 73717 Esslingen
 PVSt., DPAG, Entgelt bezahlt E 13001

Impressum: Die Mitteilungen des Fachverbandes Kathodischer Korrosionsschutz e.V. werden vom Fachverband Kathodischer Korrosionsschutz e.V., Sitz Esslingen a. N., Postfach 6004, 73717 Esslingen, Telefon (07 11) 91 99 27 20, Telefax (07 11) 91 99 27 77 herausgegeben und erscheinen vierteljährlich. Der Bezugspreis ist durch den Mitgliedsbeitrag abgegolten. Für den Inhalt verantwortlich: Hans J. Spieth, Postfach 6050, 73717 Esslingen. Redaktion: Dipl.-Phys. W. v. Baeckmann, Essen, Hans J. Spieth, Esslingen. Für namentlich gekennzeichnete Beiträge trägt der Verfasser die Verantwortung. Nachdruck mit Quellenangabe und Übersendung von zwei Belegexemplaren erwünscht.



Wir freuen uns auf Ihr Kommen

Die
des
findet
im

Jahreshauptversammlung 2002
Fachverbandes Kathodischer Korrosionsschutz e.V.
am Montag, 29. und Dienstag, 30. April 2002
Hotel „Queens Hotel Heidelberg“, Heidelberg, statt.

Bitte merken Sie sich diesen Termin vor. Die Einladungen gehen Ihnen in den nächsten Tagen zu. Anmeldeschluß ist der 01. Februar 2002.