



GLIENKE
HEMMERLEIN

TIEFENERDER

Glienke-Hemmerlein Metall GmbH

Heilbronner Straße 93

74348 Lauffen a.N.

www.gh-metall.de

	<u>Gliederung</u>	Seite
1.	<u>Einleitung</u>	3
2.	<u>Aufgaben der Erdung</u>	4
	2.1. Widerstand	
	2.2. Erderspannung	
	2.3. Begriffe	
	2.4. Anwendungsgebiete	
3.	<u>Einflußgrößen auf die Qualität der Erdung</u>	6
	3.1. Bodenart	
	3.2. Klimatische Bedingungen	
	3.3. Korrosion	
	3.4. Erderwerkstoffe	
4.	<u>Vergleich zwischen Tiefenerdern und Oberflächenerdern</u>	15
	4.1. Tiefenerdung durch vertikal eingebrachte, zusammenfügbare Erderstäbe	
	4.2. Oberflächenerdung durch minder tief einge- brachte Platten, im Graben horizontal ver- legte Erder	
5.	<u>Berechnung von Erdern und Erdungsanlagen</u>	19
	5.1. Meßverfahren für örtlich spezifischen Erdwiderstand	
	5.2. Allgemeine Formel für die Berechnung von Tiefenerdern	
	5.3. Berechnung der Tiefe und Anzahl von Tiefenerdern	
6.	<u>Beschreibung der Tiefenerder System Langer</u>	22
	6.1. Allgemeine Angaben	
	6.2. Die Kugelpressverbindung und ihre Vorteile	
7.	<u>Einbringen der Tiefenerderstäbe</u>	25
	7.1. Einbringen von Hand	
	7.2. Maschinelles Einbringen	

	Seite
8. <u>Prüfberichte</u>	27
8.1. Studiengemeinschaft für Starkstromanlagen e.V. Nellingen	
8.2. ASEA Schweden	
8.3. Laboratoire central des industries electriques Fontenay aux Roses - Frankreich	
9. <u>Literaturverzeichnis</u>	34
10. <u>Tabellen und Abbildungsverzeichnis</u>	36

1. Einleitung

Seit über 20 Jahren stellt die Firma Glienke & Co. GmbH, Gerätebau KG, Tiefenerder her.

Im Laufe der Jahre kamen unsere Tiefenerder millionenfach in der Energiewirtschaft und dem Fernmeldewesen des In- und Auslandes zum Einsatz und haben sich bestens bewährt.

Leichtes Einbringen und gute elektrische Leitfähigkeit, sowie mechanische Stabilität der Kugelpressverbindung zeichnen unsere Tiefenerder aus. Dies sind Dinge, die der Praktiker zu schätzen weiß.

In der Fachliteratur kann vieles über Tiefenerder gelesen werden, doch sind diese Abhandlungen oft zu abstrakt, zu theoretisch.

Wir haben hier versucht für den Praktiker das wesentlich Wissenswertes über Tiefenerder zusammenzutragen und meinen, daß diese kleine Schrift, auf die Verwendung von Tiefenerdern zugeschnitten, Ihnen sicher bei der Lösung Ihrer Erdungsprobleme behilflich sein wird.

2. Aufgaben der Erdung

Für die Techniker, die heute elektrische Hoch- und Niederspannungsanlagen entwerfen, bauen und betreuen müssen, ist das Problem der Erdung dieser Anlagen von großer Wichtigkeit.

Elektrische Anlagen, welche im Falle eines Fehlers verschiedenster Art Unfallgefahren bergen, müssen gemäß VDE-Vorschriften über Einrichtungen verfügen, welche Gefährdungen von vornherein verhindern.

Erdungen "als leitende Verbindung zwischen den zu erdenden leitfähigen Teilen und dem Erdreich über eine Erdungsleitung" /1/ sind derartige Einrichtungen und Schutzmittel in diesem Sinne.

In der heutigen Zeit wird immer mehr Strom benötigt und der Bau energieherstellender Anlagen schreitet voran. Dieser Entwicklung Rechnung tragend, sind die Vorschriften über Erdung und Erdungsanlagen strenger geworden.

Hier sei z.B. auf die VDE-Bestimmungen /2/ hingewiesen, welche die Frage der Erdung recht umfangreich behandeln.

Um all diesen Anforderungen zu entsprechen, und um wirksam zu sein, muß eine Erdung gewisse wesentliche Eigenschaften aufweisen:

2.1. Widerstand

- Die Erdungsanlage muß einen Widerstand haben, welcher entsprechend der Aufgabe bestimmt wird und nicht überschritten werden darf.

Gemäß VDE 0100/5.73 § 10, 3 darf der Gesamterdungswiderstand aller Betriebserdungen 2Ω nicht überschreiten.

Dieser Widerstand muß über längere Zeit konstant sein. Die Überprüfung von Erdungsanlagen sollte alle fünf Jahre stichprobenweise erfolgen /3/.

2.2. Erderspannung

- Die Erdungsanlage in Kraftwerken und Umspannstationen bis 1 kV muß so ausgelegt sein, daß die durch einen Einfacherdschluß hervorgerufene Erderspannung 65 V nicht überschreitet (VDE 0100/5.73, § 17,b).
- Die Erdung muß so ausgelegt sein, daß keine gefährliche "Schrittspannung" oder "Berührungsspannung" auftreten kann.

Als gefährlich im Sinne von VDE 0100/5.73, § 5,c gelten Spannungen über 65 V.

Diese Liste ließe sich noch mit vielen anderen Beispielen fortsetzen.

Es ist mithin klar, daß der Fachmann viele Fragen beantworten muß, ehe er an die Planung einer in ihren Abmessungen und Auslegung der Vorschriften entsprechenden Erdungsanlage schreiten kann.

In den folgenden Kapiteln wollen wir auf diejenigen Grössen eingehen, welche auf den Endwert einer Erdung Einfluß haben.

2.3. Begriffe

Ausbreitungswiderstand eines Erders bzw. einer Erdungsanlage ist der Widerstand des Erdreiches zwischen dem Erder bzw. der Erdungsanlage und der Bezugserde.

Berührungsspannung ist der Teil der Erdungsspannung, der vom Menschen überbrückt werden kann, wobei der Stromweg über den menschlichen Körper von Hand zu Fuß oder von Hand zu Hand verläuft.

Bezugserde ist ein Bereich der Erde, insbesondere der Erdoberfläche, der von dem zugehörigen Erder so weit entfernt ist, daß zwischen beliebigen Punkten dieses Bereiches keine merklichen Spannungen auftreten.

Erdboden ist der Ausdruck für die Erde als Ortsbezeichnung.

Erde ist die Bezeichnung für das Erdreich und den Erdboden.

Erden heißt, einen Punkt des Betriebsstromkreises oder ein nicht zum Betriebsstromkreis gehörendes, leitfähiges Teil über eine Erdungsanlage mit dem Erdreich verbinden.

Erder sind Leiter, die in das Erdreich eingebettet sind und mit ihm in leitender Verbindung stehen. Teile von Zuleitungen zu einem Erder, die unisoliert im Erdreich liegen, gelten als Teile des Erders.

Erdreich ist der Ausdruck für die Erde als Stoffbezeichnung.

Erdschluß ist eine durch einen Fehler entstandene leitende Verbindung des Betriebsstromkreises mit der Erde oder einem geerdeten Teil.

Erdungsanlage ist die Gesamtheit miteinander leitend verbundener Erder mit ihren Erdungsleitungen und gegebenenfalls Erdungssammelleitungen.

Erdungswiderstand ist die Summe von Ausbreitungswiderstand des Erders und Widerstand der Erdungsleitung.

Schrittspannung ist der Teil der Erdungsspannung, der vom Menschen mit einem Schritt von 1 m Länge überbrückt werden kann, wobei der Stromweg über den menschlichen Körper von Fuß zu Fuß verläuft. Für die Größe der Schrittspannung sind keine zulässigen Grenzwerte vorgeschrieben.

Spezifischer Erdwiderstand ist der Widerstand eines Würfels Erde mit der Seitenlänge von 1 m, gemessen zwischen zwei Metallelektroden an gegenüberliegenden Flächen.

2.4. Anwendungsgebiete für Tiefenerder

Kraftwerke und Schaltanlagen

Anlageerdungen, Verbesserung der Maschenerdung, Steuerung von Berührungs- und Schrittspannungen.

Energieübertragung

Erden von Masten, Mastschaltern, Überspannungsableitern, Kabelarmierungen.

Transformatorstationen

Anlage- und Sondererdungen.

Industrieanlagen

Erden von Metallkonstruktionen und Rohrleitungen, Sondererdungen für Computer, Messgeräte und andere elektronische Anlagen.

Blitzschutz

Erdungen an Gebäuden, Tankanlagen, Antennen, Radaranlagen, Kränen und Hochkaminen.

3. Einflußgrößen auf die Qualität der Erdung

3.1. Bodenart

Im Vergleich zu Metallen leitet das Erdreich elektrischen Strom sehr schlecht.

Der Ohm'sche Widerstand des Erdreiches schwankt in sehr weiten Grenzen, in Abhängigkeit von Feuchtigkeitsgrad, Temperatur und Zusammensetzung des Bodens.

In der Erdungstechnik wird der spezifische Erdwiderstand in Ohm-meter gemessen (Ωm). Dies ist der Widerstand eines Würfels Erde mit der Seitenlänge von 1 m, gemessen zwischen zwei Metall-

elektroden an gegenüberliegenden Flächen. Der spezifische Erdwiderstand ist von entscheidender Bedeutung für den Ausbreitungswiderstand eines Erders.

Nachfolgende Tabelle gibt einen Überblick über Widerstandswerte verschiedener Materialien.

Tabelle 1: Spezifischer Widerstand verschiedener Materialien in Ωm (Größenordnung) /4/.

Gut leitendes Metall (Cu)	10^{-8}
Eisen, Blei	10^{-7}
Gut leitende Mineralien (kalkhaltig)	10^{-5}
Graphit	10^{-4}
Salzlösungen, konzentrierte Säuren	10^{-2}
Meerwasser	1
Kalkwasser	10
Blauer Ton mit Schwefelkies	10
Mergel, Torf, Humus (feucht)	10
Mergel, Torf, Humus (trocken)	10^2
See- oder Flußwasser	10^2
feiner, feuchter Sand	10^2
feiner, trockener Sand, Sand und trockener Kies	10^3
trockener Gips	10^3
Mutterfels, Basalt	10^4
kompakter Fels, trockener Beton	10^5
Granit, Gneis, Marmor	$10^6 - 10^9$
Steinsalz (Hydrocarbur)	10^{13}
Glimmer	$10^{12} - 10^{15}$

Tabelle 2: Mittelwerte der spezifischen Erdwiderstände /5/.

Art des Erdreichs	Moorboden	Lehm, Ton Ackerboden	feuchter Sand	feuchter Kies	trockener Sand trockenere Kies	steiniger Boden
spez. Erdwiderstand (Ω_m)	30	100	200	500	1000	3000

Die angeführten Zahlen sollen nur als Grundlage für eine Schätzung der Größenordnung einer zu erstellenden Erdungsanlage gelten. Sie wurden an Hand vieler Einzelmessungen ermittelt und zeigen deutlich die Schwankungen des spezifischen Widerstandes.

Für die endgültige Ausarbeitung einer Anlage sind am Ort der Erstellung gemessene Werte zu berücksichtigen.

Geschichtetes Erdreich hat oft, je nach Art der Schichten, in verschiedenen Tiefen einen unterschiedlichen spezifischen Widerstand.

3.2. Klimatische Bedingungen

Unabhängig von der Zusammensetzung kann sich das Erdreich in folgenden, von der Jahreszeit abhängigen, charakteristischen Zuständen befinden:

- ausgetrocknet
- feucht
- gefroren.

Völlig trockenes und völlig gefrorenes Erdreich weist viel höhere spezifische Erdwiderstände auf als das gleiche Erdreich in feuchtem Zustand.

Vollkommen trockenes Erdreich wirkt wie ein Isolator. Schichten des Erdreichs, welche lange Zeit Trockenheit und Sonne ausgesetzt waren, kommen diesem Zustand sehr nahe. In Deutschland beträgt die Stärke von Trockenschichten 10-20 cm, ist also nicht allzu groß.

Eine Erdung, welche ausschliesslich in den der Oberfläche näherliegenden Schichten eingebracht ist, wird in Dürreperioden absolut unwirksam.

Zahlreiche Untersuchungen haben gezeigt, daß die an der Oberfläche liegenden Erdschichten, wo die Feuchtigkeit jahreszeitlich abhängig schwankt, auch Schwankungen des spezifischen Wi-

derstandes aufweisen.

Eine gewisse Konstanz der Widerstandsverhältnisse tritt erst in einer Tiefe von 3-4 m auf.

Weiter ist zu berücksichtigen, daß die Temperatur ebenfalls den spezifischen Widerstand beeinflusst:

Der Widerstand des Bodens steigt beträchtlich, wenn Frost einsetzt und kann in der gefrorenen Schicht einige tausend Ohm erreichen.

In Europa muß, in Abhängigkeit von den klimatischen Bedingungen, für die Berechnung von Erdungsanlagen eine Tiefe der gefrorenen Schicht von bis zu 1 m berücksichtigt werden.

Man sieht also, daß der Widerstand eines Bodens jahreszeitlich und klimatisch bedingten Schwankungen unterliegt, welche um so geringer sind, je tiefer die bezogene Schicht unter der Erdoberfläche liegt.

Dies sei durch folgende Diagramme illustriert:

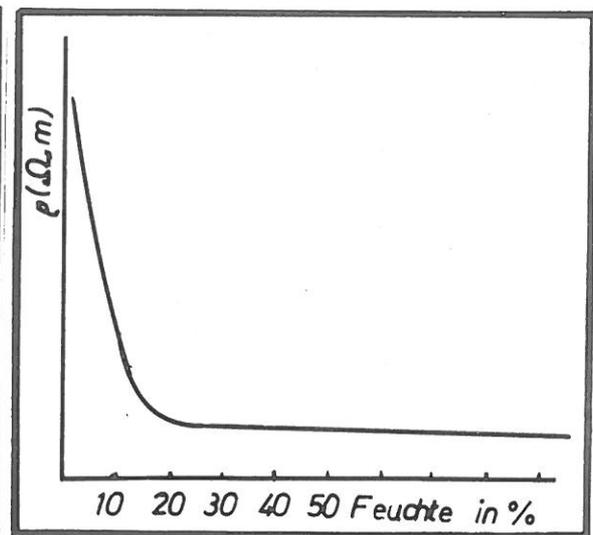
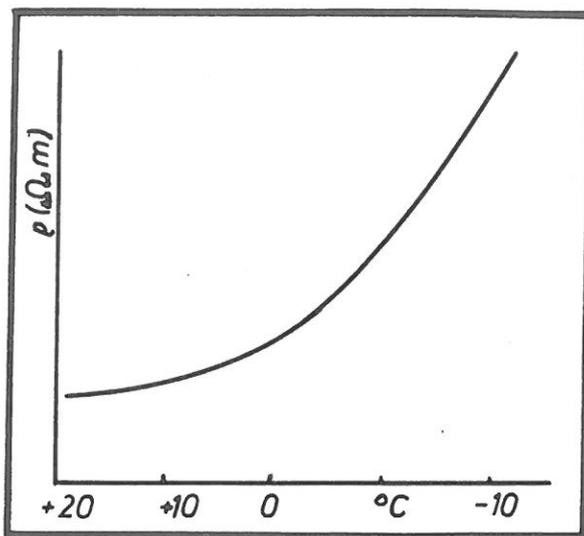


Bild 1:

Spezifischer Widerstand des Erdreichs in Abhängigkeit der Bodentemperatur (qualitativ)

Bild 2:

Spezifischer Widerstand des Erdreichs in Abhängigkeit der Bodenfeuchte (qualitativ)

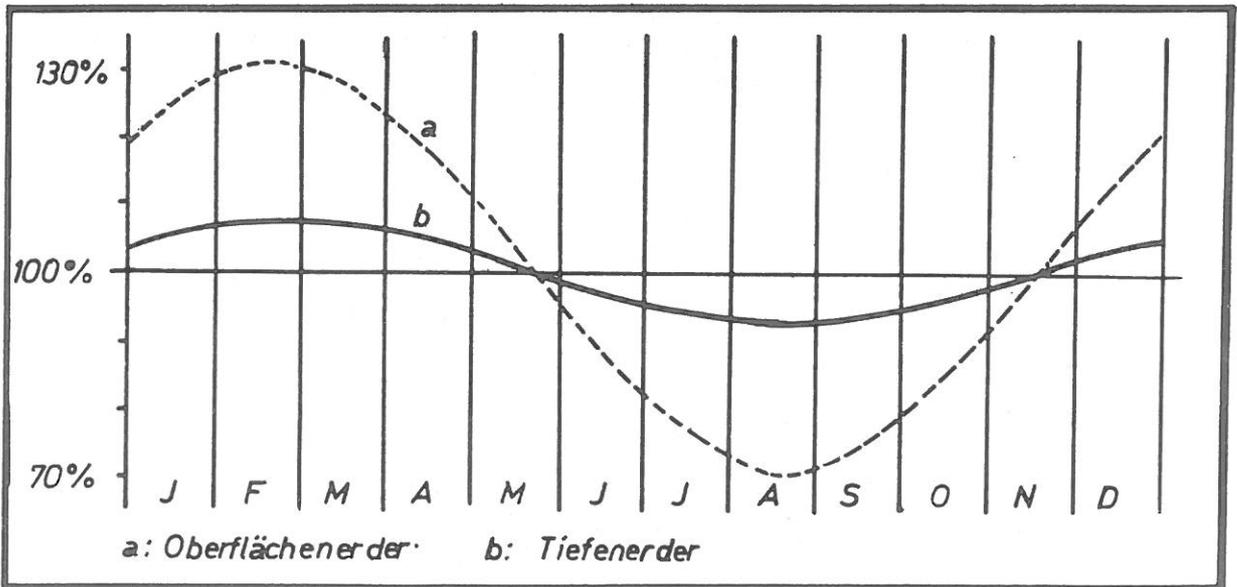


Bild 3: Bezogener Widerstand des Erdreichs in Abhängigkeit der Jahreszeit.

Bodentemperatur in °C	Spez. Erdwiderstand ρ in Ω_m
20	75
10	99
0 Wasser	138
0 Eis	300
-5	790
-10	3300

Tabelle 3: Einfluß der Temperatur auf den spezifischen Erdwiderstand bei sandigem Lehm.

Bodenfeuchte in %	Spez. Erdwiderstand ρ in Ω_m
0	10^7
2,5	2500
5	1650
10	530
15	190
20	120
30	64

Tabelle 4: Spezifischer Widerstand des Erdreichs in Ohmmeter in Abhängigkeit von Feuchtigkeitsgrad in Prozenten.

Wenn man eine im Zeitablauf konstante Erdung erzielen will, ist es von Vorteil, Tiefenerder zu verwenden.

3.3. Korrosion

Im Erdreich befindliches Metall ist der natürlichen Korrosion, je nach Beschaffenheit des Bodens, mehr oder minder stark ausgesetzt.

Ursachen der Korrosion

Über die Ursachen der natürlichen Korrosion im Erdboden wurden viele Untersuchungen angestellt.

Wie auch bei anderen Korrosionsarten hat bei der Korrosion im Erdboden das Vorhandensein von Wasser und Sauerstoff entscheidende Bedeutung, da beide Stoffe die Korrosion beschleunigen. In den meisten Fällen, in denen sowohl Wasser als auch Sauerstoff vorhanden sind, hängt die Korrosion von den physikalischen und chemischen Eigenschaften des Bodens ab.

Die physikalische Beschaffenheit des Bodens ist im wesentlichen wegen der Möglichkeit des Wasserabzugs und des Sauerstoffzutritts von Bedeutung; bei der chemischen Zusammensetzung kommt es auf die korrosionsbegünstigenden Bestandteile des Bodens an.

Eine detaillierte Schilderung der Vorgänge /6/ würde den Rahmen dieser Schrift überschreiten, darum sind im folgenden die Ergebnisse vieler Untersuchungen über Korrosion im Erdboden nur kurz zusammengefaßt.

Wirkung der Korrosion

Über die Korrosionswirkung verschiedener Bodenarten liegen folgende Daten vor:

Sandböden sind wenig aggressiv, da sie keine korrosionsbegünstigenden Bestandteile enthalten. In der Nähe eines nur wenig schwankenden Grundwasserspiegels kann jedoch erhebliche Korrosion auftreten.

Mergelböden sind wegen ihres Kalkgehaltes nicht aggressiv.

Tonböden sind unterschiedlich aggressiv.

In völlig wassergesättigtem Ton wird Metall nicht angegriffen. Liegt das Metall über einer Tonschicht in luft- und wasser-durchlässigem Boden, führt dies zur Korrosion, da Ton Wasser nicht durchläßt und der schwankende Wasserspiegel korrosiv wirkt.

Lehmböden sind je nach Ton- und Sandgehalt unterschiedlich korrosiv.

Sumpf-, Moor- und Humusböden sind aggressiv.

Anmerkung

Folgende geologische Formationen sind korrosionsverdächtig:

- Gipskeuper, Posidonienschiefer, Jurensismergel wegen ihres Sulfidgehaltes,
- Steinsalzlager und ihre Umgebung, sowie
- Boden in Flußauen und Talsenken.

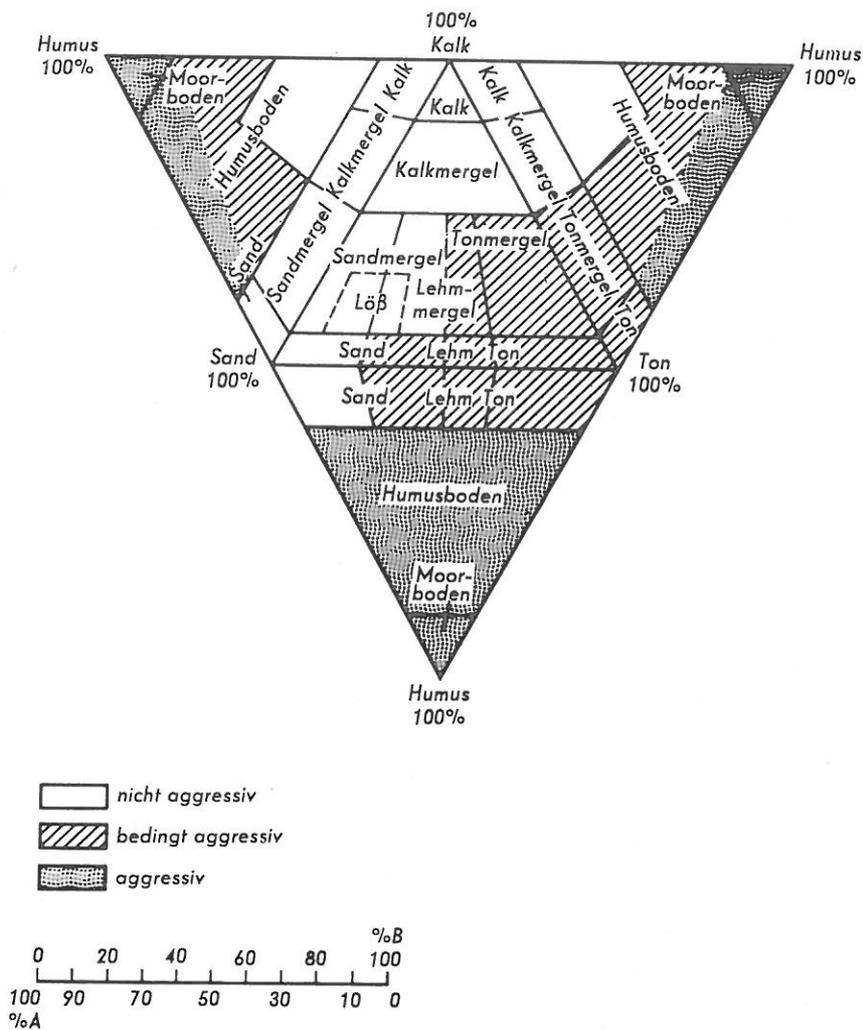


Bild 4: Beurteilung der Böden nach ihrer Aggressivität.

Spezifischer Bodenwiderstand in $\Omega \cdot \text{cm}$	zu erwartender Korrosionsangriff
< 10^3	sehr stark aggressiv
$1.10^3 - 3.10^3$	stark aggressiv
$3.10^3 - 5.10^3$	aggressiv
$5.10^3 - 1.10^4$	mäßig aggressiv
$1.10^4 - 2.10^4$	schwach aggressiv
> 2.10^4	praktisch nicht aggressiv

Tabelle 5: Korrosionsangriff des Bodens in Abhängigkeit vom spezifischen Bodenwiderstand in $\Omega \cdot \text{cm}$.

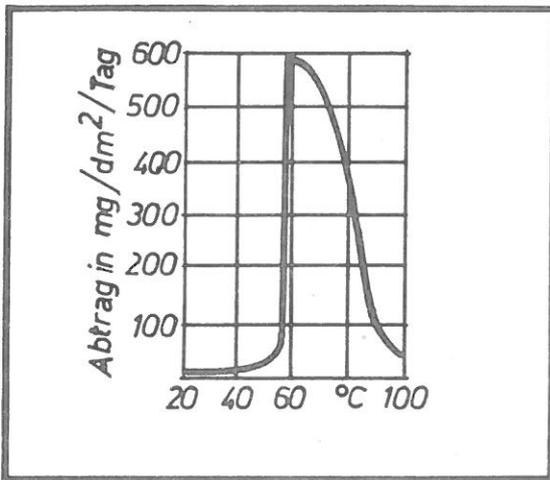


Bild 5: Einfluß der Temperatur auf die Korrosionsrate von Zink in destilliertem Wasser /6/.

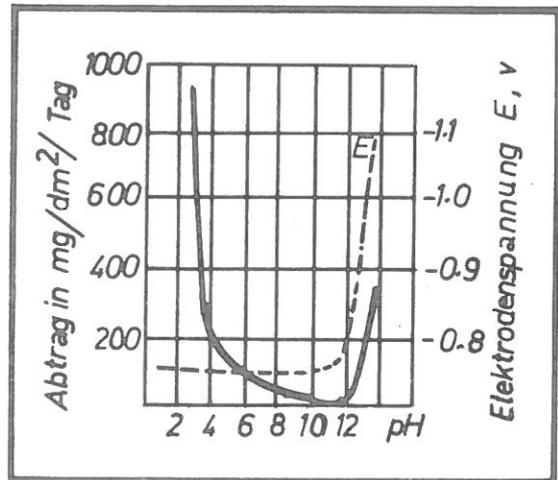


Bild 6: Einfluß des pH Wertes auf die Korrosionsrate und die Elektrodenspannung bei Zink /6/.

National Bureau of Standards, USA, 1957						
Maximale Eindringtiefe für die gesamte Prüfzeit in mm						
durchschnittliche Korrosionsrate in $\text{mg}/\text{dm}^2/\text{Tag}$						
Boden	Siemens Martin Stahl	Schweiß-Stahl	Bessemer-Stahl	Kupfer	Blei	Zink
	Prüfzeit 12 Jahre	Prüfzeit 12 Jahre	Prüfzeit 12 Jahre	Prüfzeit 8 Jahre	Prüfzeit 12 Jahre	Prüfzeit 11 Jahre
	$\text{mg}/\text{dm}^2/\text{T}$	$\text{mg}/\text{dm}^2/\text{T}$	$\text{mg}/\text{dm}^2/\text{T}$	$\text{mg}/\text{dm}^2/\text{T}$	$\text{mg}/\text{dm}^2/\text{T}$	$\text{mg}/\text{dm}^2/\text{T}$
Durchschnitt verschiedener Bodenarten	4,5 1,77 (44 Bodenarten)	4,7 1,49 (44 Bodenarten)	4,5 1,54 (44 Bodenarten)	0,7 0,15 (20 Bodenarten)	0,52 0,8 (21 Bodenarten)	3,0 1,3 (12 Bodenarten)
Marschboden im Gezeitenbereich Elizabeth, N-Y.	10,8 2,28	11,6 2,03	10,5 2,54	5,3 0,15	0,2 0,33	1,9 0,9
Montezuma-Ton, San Diego, Cal.	13,7 3,68	13,4 3,35	14,3 3,47	0,7 0,15	0,6 0,25 (9,6 Jahre)	- -
Merrimae Lehm, sandig, steinig Norwood, Mass.	0,9 0,71	1,0 0,58	1,0 0,53	0,2 0,15 (13,2 Jahre)	0,13 0,48	- -

Tabelle 6: Korrosion von Stahl, Kupfer, Blei und Zink im Boden /6/. Korrosionsrate in $\text{mg}, \text{per } \text{dm}^2/\text{Tag}$.

Des weiteren beeinflussen sich verschiedenartige Metalle im Boden gegenseitig.

Diese lokale Elementbildung führt zu der Zerstörung des minder edlen Metalls.

Korrosion kann aber auch durch vagabundierende Gleichströme im Erdboden entstehen.

Das Nichtbeachten von Umweltschutzvorschriften kann zu erhöhter Korrosion führen, wenn z.B. durch Ableiten chemisch nicht reiner Abwässer oder durch Tränken mit Chemikalien die elektrische Leitfähigkeit des Bodens und seine Korrosionstätigkeit erhöht wird.

Alle diese Erscheinungen führen im Laufe der Zeit zur Zerstörung der Erderwerkstoffe.

Diese Zerstörung kann kurzfristig eintreten und daher besteht die Forderung sich in Abständen von einigen Jahren vom Zustand des Erders durch Ausgraben oder Nachmessen zu überzeugen /7/.

3.4. Erder-Werkstoffe

Als Werkstoffe für Erder im Erdreich sind feuerverzinkter Stahl, Kupfer oder Kupfer mit Bleimantel zu verwenden /6/.

Verzinkter Stahl hat sich sehr gut bewährt und wird vermehrt eingesetzt.

Kupfer ist ein sehr widerstandsfähiges aber teures Material und hat den Nachteil, durch Elementbildung die anderen erdverlegten metallischen Teile einer Erdungsanlage zu zerstören.

(Kupfer erzeugt eine Spannung von 0,5 V gegen Blei, 0,8 V gegen Stahl und 1,1 V gegen Zink).

	1	2	3	4	5
1	Werkstoff	Erderform	Mindestquerschnitt mm ²	Minstdicke mm	Sonstige Mindestabmessungen bzw. einzuhalten. Bedingungen
2	Stahl bei Verlegung im Erdreich, feuerverzinkt mit einer Mindestzinkauflage von 70 µm	Band	100	3	
3		Rundstahl	78 (entspricht 10 mm φ)		Bei zusammengesetzten Tiefenerdern: Minstdurchmesser des Stabes: 20 mm
4		Rohr			Minstdurchmesser: 25 mm Mindestwandstärke: 2 mm
5		Profilstäbe	100	3	
6		Stahl mit Kupferauflage	Rundstahl	für Stahlseele: 50 für Kupferauflage 20 % des Stahlquerschnitts, mindestens jedoch 35	
7	Kupfer	Band	50	2	
8		Seil	35		Minstdrahtdurchmesser: 1,8 mm Bei Bleiummantelung Minstdicke des Mantels: 1 mm
9		Rundkupfer	35		
10		Rohr			Minstdurchmesser: 20 mm Mindestwandstärke: 2 mm

Tabelle 7: Mindestabmessungen und einzuhaltende Bedingungen für Erder /8/.

4. Vergleich zwischen Tiefenerdern und Oberflächenerdern

In der Praxis kommt es oft vor, daß besser leitende Erdschichten in größeren Tiefen liegen.

Die Anwendung von Tiefenerdern bietet sich in einem solchen Falle als beste Lösung der Erdungsprobleme an.

Der folgende Vergleich soll die Vorteile des Tiefenerders herausstellen.

Vergleich zwischen Tiefenerdern und Oberflächenerdern

	Tiefenerdung durch vertikal eingebrachte, zusammenfügbare Erderstäbe	Oberflächenerder (minder tief eingegrabene Platten, im Graben horizontal verlegte Erder)
1. Erreichbare Erdschichten	Die Möglichkeit, die am besten leitenden Schichten des Erdreiches zu erreichen, ist durch das Zusammenfügen Kopf an Kopf der Stäbe gegeben.	Die Platten oder Bänder werden im allgemeinen in einer Tiefe von 1 m in den Boden eingegraben oder in einem Graben verlegt, also in den oberen Schichten des Erdreiches, welche von den jahreszeitlichen Schwankungen stark beeinflusst werden.
2. Elektrische Werte	Die Ohm-Werte sind niedrig und konstant.	Die Ohm-Werte sind stark unterschiedlich.
3. Arbeitsaufwand	Erdarbeiten, Ausheben von Gräben etc., sind überflüssig. Der Tiefenerder öffnet sich seinen Weg durch das Erdreich selbst.	Umfangreiche Grabarbeiten, oft unter Einsatz von schwerem Gerät, sind notwendig.
4. Raumbedarf	Einbringen des Tiefenerderstabes auf geringstem Raum ist möglich.	Schwierigkeiten beim Einbringen der Erdung treten oft auf (im speziellen bei Plattenerdern), da die Erder nicht immer dort eingebracht werden können, wo sie notwendig sind.
5. Verlegearbeiten	Tiefenerder können mit Hilfe eines Aufbruchhammers jeglichen Typs, welcher auf einem Rammgerüst montiert ist, schnell und sicher eingebracht werden.	Relativ hoher Aufwand im Vergleich mit den erzielten Ergebnissen (Grabarbeiten, ausbaggern).
6. Aufwand und Kosten	Einsparungen an Lohnkosten und beim Einkaufspreis.	Großer Aufwand und entsprechende Kosten.
7. Korrosion	Keine elektrochemische Korrosion an Kabeln und Wasserleitungsrohren durch größeren mittleren Abstand zu den Erdern.	Korrosionsgefahr an Kabeln und Wasserleitungsrohren durch örtliche Nähe.

Die mit der Technik der Tiefenerder gesammelten Erfahrungen erlauben die Aussage, daß gute und wirtschaftliche Ergebnisse in den meisten Fällen erreicht werden.

5. Berechnung von Erdern und Erdungsanlagen

5.1. Meßverfahren für örtlich spezifischen Erdwiderstand

Für die Berechnung von Erdern sind Formeln vorhanden, die bei Kenntnis des spezifischen Erdwiderstandes gute Übereinstimmung der errechneten und der in der Praxis sich einstellenden Werte ergeben.

Gute Kenntnis des spezifischen Erdwiderstandes in Funktion der Tiefe unterhalb der Erdoberfläche kann dazu beitragen, sich von vornherein für die erdungstechnisch und kostenmäßig richtige Anlage zu entscheiden. Zu diesem Zweck und zum Zwecke der Bestimmung der geometrischen Größe der Erdungsanlage ist es notwendig, den spezifischen Widerstand des betreffenden Erdreichs zu messen.

Dies ist um so mehr erforderlich, als das Erdreich nicht immer homogen geschichtet ist und die Verhältnisse am Ort vom Grundwasserstand und den Niederschlägen abhängig sind (siehe auch Kap.3).

Das Messen des spezifischen Erdwiderstandes ist vor jeder Berechnung von Erdern und Erdungsanlagen zu empfehlen.

Allerdings kann eine Einzelmessung nicht ohne weiteres den Gesamtwiderstand einer Erdungsanlage schlüssig darstellen /9/. Heutzutage werden meistens Vierklemmen-Meßbrücken verwendet. Der spezifische Widerstand des Erdbodens wird nach folgender Formel berechnet

$$\rho = 2 \cdot \pi \cdot a \cdot R$$

wobei

ρ = mittlerer spezifischer Erdwiderstand in Ω m

R = Meßwert in Ohm und

a = Sondenabstand in m ist.

Durch Vergrößern des Sondenabstandes und erneute Messungen kann man den Verlauf des spezifischen Erdwiderstandes als Funktion der Tiefe erhalten.

Sollte in größeren Tiefen besser leitendes Erdreich vorhanden sein, sind Tiefenerder besonders zu empfehlen.

5.2. Allgemeine Formel für das Berechnen von Tiefenerdern

Die Formel für das Berechnen von Tiefenerdern ist:

$$R = \frac{\rho}{2l} \cdot \ln \frac{4l}{d}$$



wobei

R = Erderwiderstand in Ω

ρ = spezifischer Widerstand des Erdreiches in Ωm ,

l = Länge des Erdungsstabes in m und

d = Durchmesser des Erdungsstabes, in m ist.

Bei einem homogenen Boden mit einem spezifischen Widerstand von $100 \Omega\text{m}$ gelten für den rechnerisch ermittelten Erderwiderstand von Tiefenerderstäben $\varnothing 20$ und $\varnothing 25$ mm die in Tabelle 8 enthaltenen und auf Bild 7 dargestellten Zusammenhänge.

Tiefe in m	Erderwiderstand in Ω	
	Stab $\varnothing 20$ mm	Stab $\varnothing 25$ mm
1	84,36	80,71
2	47,64	45,85
3	33,94	32,70
4	26,60	25,71
5	21,99	21,24
6	18,81	18,17
7	16,47	15,93
8	14,68	14,22
9	13,26	12,79
10	12,61	11,71
20	6,60	6,36
30	4,61	4,48
40	3,57	3,41
50	2,92	2,81
80	1,92	1,79
100	1,59	1,45

Tabelle 8: Widerstandswerte von Tiefenerdern $\varnothing 20$ und $\varnothing 25$ mm bei $\rho = 100 \Omega\text{m}$

Graphisch dargestellt, erhalten wir eine Hyperbel, welche sich asymptotisch dem Nullpunkt nähert.

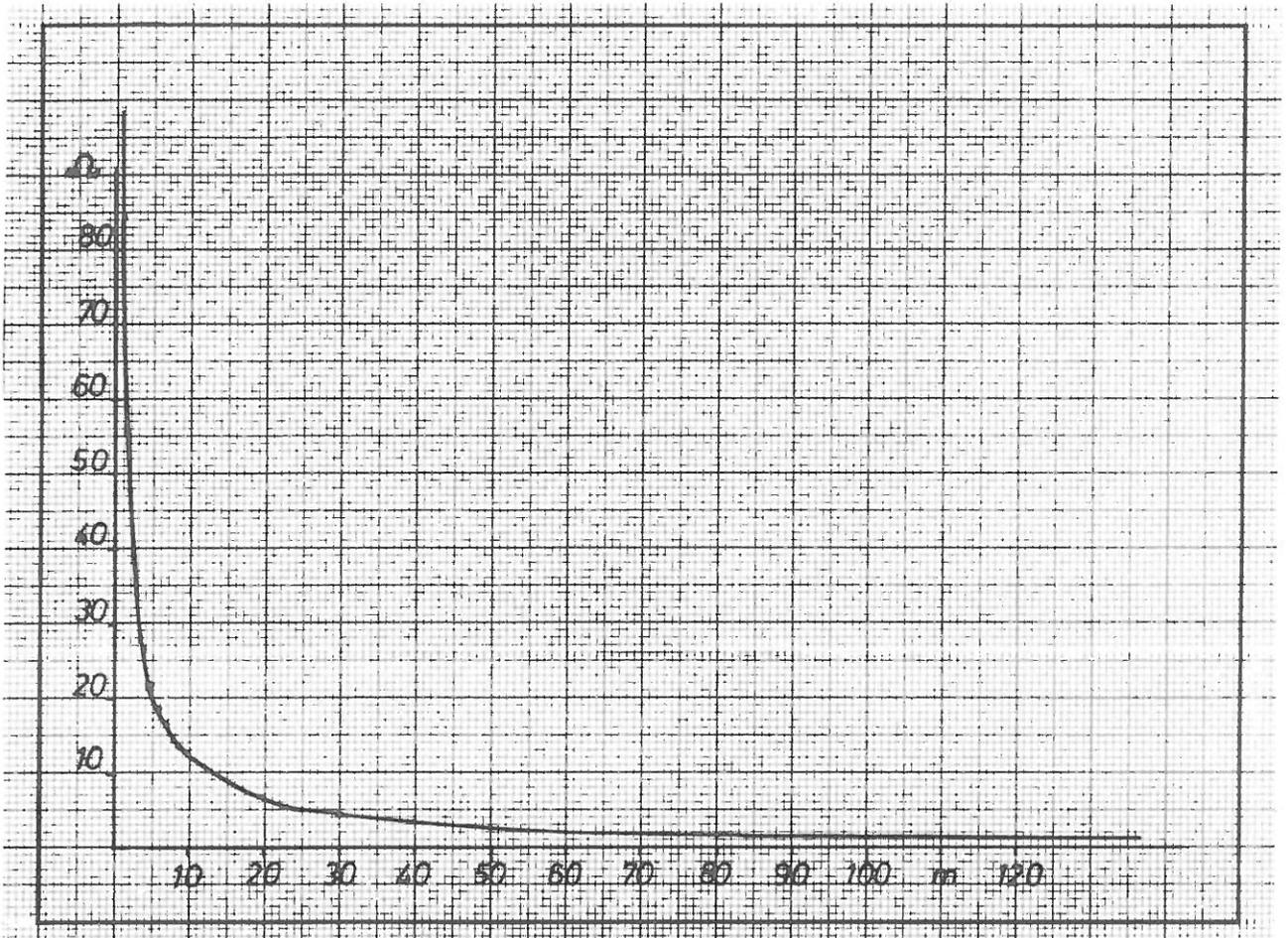


Bild 7: Graphische Darstellung der Tabelle 8.

Auf einfachere Weise und mit guter Genauigkeit kann der Erderwiderstand auch nach der Formel berechnet werden

$$R = \rho / l$$

wobei

ρ = spezifischer Widerstand des Erdreiches in Ωm

l = Einschlagtiefe des Erders in m ist.

5.3. Berechnung der Tiefe und Anzahl von Tiefenerdern

Die Berechnung einer Erdungsanlage mit Tiefenerderstäben kann auf einfache Weise mit einem Berechnungsdiagramm ausgeführt werden /10/.

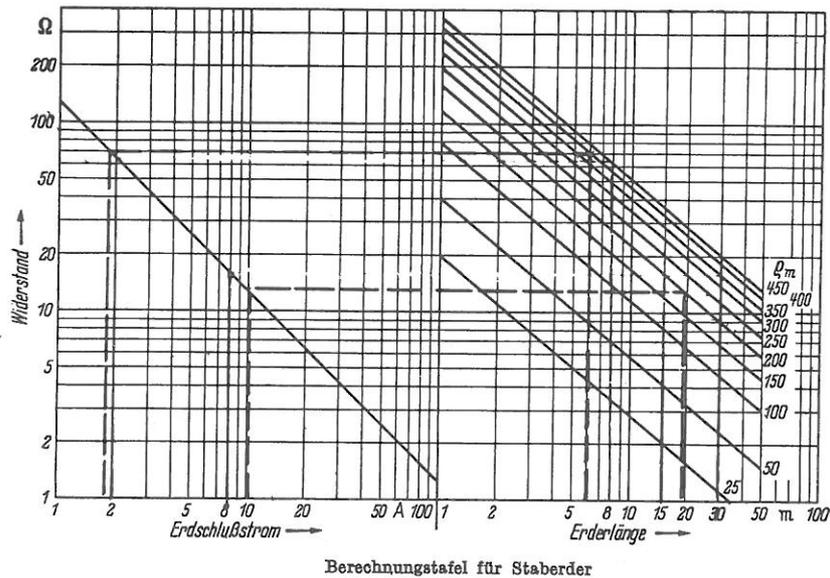


Bild 8: Berechnungsdiagramm für Staberder.

In diesem doppelt logarithmischen Diagramm ist im linken Teil auf der Abszisse der Wert des Erdschlußstromes von 1-100 A, auf der Ordinate der Widerstand in Ω , bezogen auf die zulässige Erderspannung von 125 V aufgetragen /11/.

Die eingetragene Gerade gibt den zulässigen Widerstand in Abhängigkeit vom Erderstrom an.

Der rechte Teil des Diagrammes enthält die dazugehörigen Erderlängen von 1-50 m.

Die eingetragenen Geraden geben die Erderlängen als Funktion des Erderwiderstandes und des mittleren spezifischen Erdwiderstandes an. Jede Gerade entspricht einem mittleren spezifischen Erdwiderstand. Liegen die Daten des spezifischen Erdwiderstandes aus mehreren Messungen vor, kann an Hand des Berechnungsdiagramms die notwendige Länge eines Erders oder die Anzahl und Länge mehrerer Erder herausgelesen werden.

Beispiel I:

Wird ein Erdschlußstrom von 10 A gefordert und liegt ein spezifischer Erdwiderstand von 200 Ωm vor, dann

- ist der zulässige Erderwiderstand lt. Diagramm etwa 14 Ω und
- der Erder muß etwa 20 m lang sein.

Dies ist aus dem Diagramm abzulesen, wenn man von der linken Seite der Ordinate, von dem Punkt 10 A ausgehend, senkrecht nach oben fährt, bis zum Schnittpunkt mit der Geraden, dann nach rechts, bis zum Schnittpunkt mit der Geraden $\rho = 200 \Omega\text{m}$ und dann senkrecht nach unten.

Lassen die Bodenverhältnisse es nicht zu, längere Erder als 6 m einzubringen, sind entsprechend mehr Erder zu verwenden.

Beispiel II:

Bei 6 m sei ein spezifischer Erdwiderstand von $\rho = 400 \Omega\text{m}$ gemessen worden.

Es ist nun zu klären, welchen Strom ein Erder von 6 m Länge unter diesen Bedingungen aufnehmen kann.

Ausgehend von 6 m Erderlänge auf der rechten Skalenseite des Diagramms, senkrecht nach oben bis zum Schnittpunkt mit der Geraden $\rho = 400 \Omega\text{m}$, dann nach links, bis zum Schnittpunkt mit der Geraden des zulässigen Widerstandes und von hier senkrecht nach unten bis zum Schnitt mit der Abszisse.

Wir erhalten einen Wert von etwa 1,8 A. Da die Erdungsanlage aber 10 A aufnehmen soll, sind mindestens fünf Erder einzubringen, ggf. sechs, wenn die Erdungsverhältnisse in den oberen Schichten des Bodens nicht gut sind.

Tiefenerder sollen möglichst lotrecht in die Erde eingetrieben werden.

Die Vorschrift, welche besagt, daß beim Einbringen mehrerer Tiefenerder ein gegenseitiger Mindestabstand von der doppelten wirksamen Länge eines einzelnen Erders anzustreben ist, um einen geforderten Ausbreitungswiderstand zu erreichen, ist einzuhalten /12/.

Dies ist der Fall, wenn parallel geschaltete Erder nicht mit ihrer ganzen Länge wirksam sind, weil ausgetrocknete oder gefrorene Bodenschichten vorliegen.

Beim Auslegen einer Erdungsanlage mit mehreren Tiefenerdern ist zu berücksichtigen, daß auch verbindende Erdungsbänder zur Erdung beitragen, wenn sie frostfrei und in gut leitendem Boden liegen.

6. Beschreibung des Tiefenerders System Langer

6.1. Allgemeine Angaben

a) Tiefenerderstäbe \varnothing 20 und \varnothing 25 mm

Die Stäbe sind aus Rundstahl St 50 gefertigt und können leicht durch die Kugelpressverbindung miteinander verbunden werden.

b) Tiefenerderspitze

Die Spitze wird am unteren Ende des ersten Stabes angebracht. Durch ihre Form und ihre mechanische Festigkeit gewährleistet sie das Eindringen der Stäbe auch in kompakte Böden, außer Fels.

c) Anschlußrundstück und Anschlußschelle

Die elektrische Verbindung vom Erdungsstab zur Erdungsleitung wird mit Hilfe eines Anschlußrundstückes oder einer Anschlußschelle hergestellt.

Das Anschlußrundstück wird an das obere Ende des letzten eingetriebenen Erderstabes wie ein weiterer Stab angeschlossen, die Anschlußschelle wird an das obere Ende des letzten Stabes angeschraubt.

Alle Teile des Tiefenerdersystems sind, entsprechend den Richtlinien für Oberflächenschutz, verzinkt /13/.

Bild 9: Tiefenerder System Langer

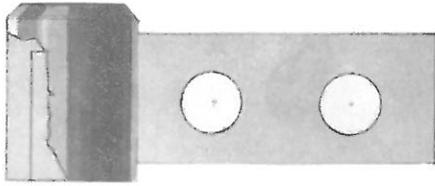


Bild 10: Anschlußschelle

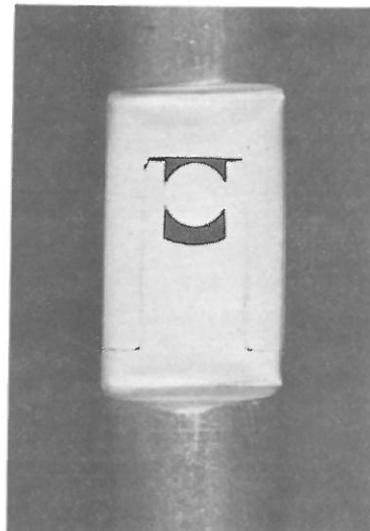
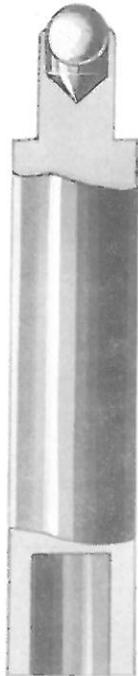
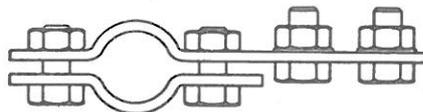
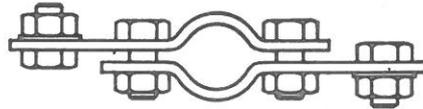
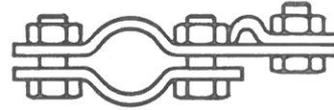


Bild 11: Schliffbild

6.2. Die Kugelpressverbindung und ihre Vorteile

Die Kugelpressverbindung der Tiefenerder System Langer ist folgendermaßen aufgebaut:

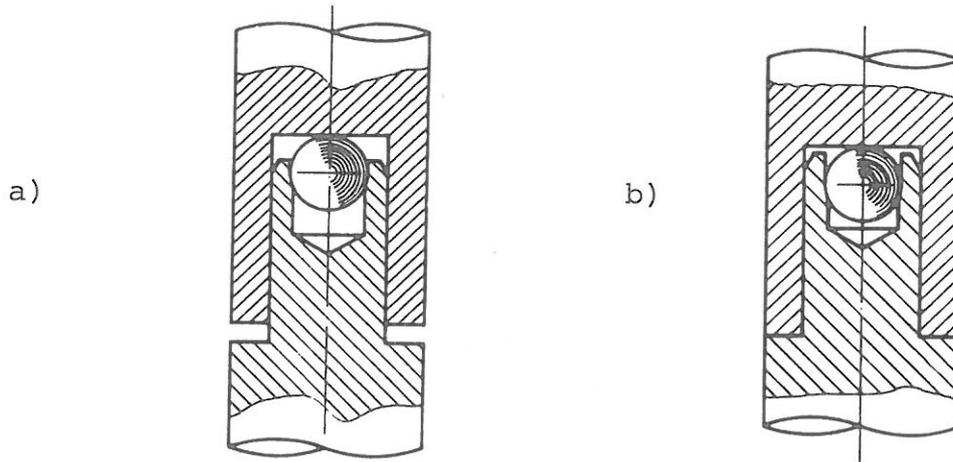


Bild 12: Schnitt durch eine Kugelpressverbindung

a) vor dem Verbinden

b) nach erfolgter Verbindung

Die Erder haben an einem Ende einen Hohlzapfen, am anderen Ende eine dem Zapfen entsprechende Bohrung. In der Bohrung des Zapfens befindet sich eine Stahlkugel, deren Durchmesser etwas größer ist als der Durchmesser der Bohrung.

Beim Einbringen des Erders wird die Kugel in die Bohrung des Zapfens gedrückt und erzeugt damit eine starke Flächenpressung zwischen den gepaarten Elementen. Dadurch entsteht eine kraftschlüssige Verbindung zwischen den Erderstäben.

Vorteile:

- a) Sehr gute mechanische Verbindung der Stäbe untereinander. *)
- b) Das Eindringen des Stabes in den Boden wird durch überstehende Verbindungsteile nicht behindert. Die Stäbe können sowohl in kompakte als auch in steinige Böden eingetrieben werden.
- c) Weil das Erdreich durch das Einbringen der Stäbe nicht gestört wird, ist es unnötig, ein Setzen des Bodens abzuwarten, um den endgültigen Wert des Erderwiderstandes zu erhalten.
- d) Für die Herstellung der Verbindung zwischen den Stäben ist kein zusätzliches Teil notwendig.

*) Zugversuche an der Kugelpressverbindung ergaben mögliche Zugbelastungen bis zu 1800 kp.

- e) Die elektrische Leitfähigkeit der Erdung wird durch die mechanische Verbindung nicht beeinträchtigt und ist zeitlich konstant.
- f) Der Einsatz des gleichen Materials (Stahl) für Stab und Verbindungssystem verhindert das Auftreten von Kontaktpotential, welches eine Ursache für auftretende Korrosion ist.

7. Einbringen der Tiefenerderstäbe

7.1. Einbringen von Hand

Für das Einbringen der Tiefenerderstäbe von Hand ist ein Hammer und ein Schlagkopf notwendig. Der Schlagkopf schützt während des Einbringens den oberen Teil des Tiefenerderstabes vor Beschädigungen und verteilt die Wucht des Schlages besser. Zum Einbringen von Hand empfehlen wir einen Plastik-Schonhammer. Die Schlagenergie wird so auf den Schlagkopf besser übertragen. Dies ist die einfachste und wirtschaftlichste Methode für das Einbringen einer kleinen Anzahl von Tiefenerdern in leichte Bodenarten.

7.2. Maschinelles Einbringen

In kompakteren Böden, oder dort, wo eine größere Anzahl von Tiefenerdern eingebracht werden muß, empfehlen wir einen Aufbruchhammer (Benzinmotor, elektrisch oder pneumatisch) in Verbindung mit einem Rammgerüst zu verwenden.

Wir liefern Rammgerüste für Stäbe von 1,5 m beziehungsweise 2,0 m Länge, und für die gebräuchlichsten Motortypen das notwendige Zubehör.

7.3. Rammgerüst für maschinelles Einbringen

- unsere Rammgerüste sind zusammenlegbar und können leicht transportiert werden.
- Die soliden und standfesten Stützen, mit doppelten Gelenken versehen und in der Höhe verstellbar, sind auf einer Führungsschiene angebracht.
- Die Rammgerüste können in unwegsamem Gelände oder auch dort verwendet werden, wo Stäbe schräg eingebracht werden müssen. Schräges Aufstellen des Gerüsts ist auch dann interessant, wenn auf kleinem Raum mit dem Gerät gearbeitet werden muß, (z.B. in Transformatorenhäuschen) oder wenn man im Bergland

zur Erdung die dünnen Erdschichten ausnützen muß, welche die Felsen bedecken.

- Die Winde des Rammgerüsts erlaubt es, nach dem Einbringen eines Stabes den Hammer hochzufahren und den nächsten Stab aufzusetzen.

Ein Schlagkopf, speziell für maschinelles Einbringen entwickelt, wird in die Werkzeughalterung des Hammers eingesteckt.

Dieser Schlagkopf schützt das obere Ende des Stabes gegen Beschädigungen während des Einbringens.

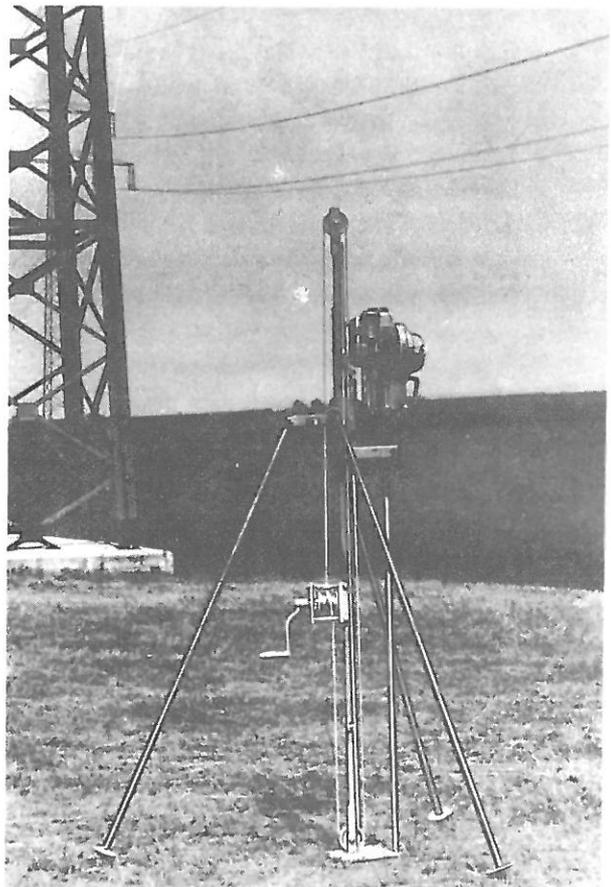


Bild 13: Rammgerüst

8. Prüfberichte

- 8.1. Studiengemeinschaft für Starkstromanlagen e.V.
7302 Nellingen.
- 8.2. ASEA Schweden.
- 8.3. Laboratoire central des industries electriques
Fontenay aux Roses - Frankreich.



STUDIENGESELLSCHAFT FÜR HOCHSPANNUNGSANLAGEN E.V.

NELLINGEN/ESSLINGEN (NECKAR) UND BERLIN-STEGLITZ

Prüfbericht

Prüfung von Verbindungsstellen an Erderstäben		Nr.	4200/101
		Datum	19.2.1963
		Bearbeiter	Heimisch
Versuchsfeld: Prüffeld Nehren	Blätter: 2	Text: 2	Tafeln: - Bilder: - Osz: -

Auftraggeber: Firma Langer, Glinke u. Co., Lauffen (Neckar)
Hersteller: Firma Langer, Glinke u. Co., Lauffen (Neckar)
Gerät: Teile von Erderstäben

Prüfung: Die Verbindungsstellen von zwei Probestücken von Erderstäben wurden fünfmal 1 s mit einem Strom von 12,4 kA_{eff} belastet um festzustellen, wie sich der Übergangswiderstand verändert und welche Endtemperatur die Verbindungsstelle nach der Prüfung annimmt.

Ergebnis: Bei dem Verbindungsstück von 20 mm Durchmesser betrug die mittlere Endtemperatur ca. 105°C, bei dem von 25 mm Durchmesser ca. 66° C. Der Widerstand verringerte sich von 250 µΩ bei 20 mm Durchmesser auf 104 µΩ bzw. auf 91,5 µΩ bei 25 mm Durchmesser.

(Forts. siehe Anlage)

Nellingen, den 27.2.1963
 He/Vo
 STUDIENGESELLSCHAFT
 FÜR HOCHSPANNUNGSANLAGEN E. V.
i.H. Hoff

1. Zweck der Untersuchung

Zwei Probestücke von Erderstäben der Firma Langer, Glinke u. Co., Lauffen/Neckar, die mit der von dieser Firma entwickelten Verbindung zusammengesetzt wurden, sollten mit hohem Strom belastet werden, um das Verhalten des Übergangswiderstandes zu untersuchen.

2. Aufbau und Durchführung der Versuche

Als Prüftransformator stand ein Transformator 300 kVA, 20 kV/60 V zur Verfügung. Zur Strombegrenzung wurde eine Drosselspule mit dem Prüfling in Reihe geschaltet.

Die Meßgrößen wurden oszillografisch aufgezeichnet, und zwar der Strom über Stromwandler 10000 A/2,5 A, die Spannung über Spannungswandler 500 V/100 V, der Spannungsabfall an der Verbindungsstelle unmittelbar und die Temperatur mit einem Thermoelement. Die Temperatur wurde zugleich mit einem elektronischen Thermometer, Fabrikat Ultrakust, gemessen.

Jede Verbindungsstelle wurde fünfmal je 1 s mit 12,4 kA belastet und die Endtemperatur festgestellt. Die Messung des Übergangswiderstandes erfolgte vor und nach der Belastung mit einem Kompensator.

3. Ergebnis der Versuche

Durchmesser des Erderstabs	20 mm	25 mm
Übergangswiderstand vor der Belastung	250 x 10 ⁻⁶ Ω	250 x 10 ⁻⁶ Ω
Mittlerer Kurzschlußstrom kA	12,4	12,4
Anzahl der Kurzschlüsse	5	5
Mittlere Temperatur der Verbindungsstelle nach Abschaltung des Kurzschlusses	105°C	66°C
Übergangswiderstand nach der Belastung	104 x 10 ⁻⁶ Ω	91,5 x 10 ⁻⁶ Ω



Forfattare - Author
G Nilsson

Godkännare - Approved by
E Danielsson

Uppdragsgivare - Requested by
Vattenfall, L Svensson

Titel - Title
Kortslutningsprov på jordningsspett

Rapport
Report
Från - From
LAYZ

Datum - Date
1975-08-06

R LAY Z-2099
Reg. 1

Utredning, teoretisk undersökning - Analysis, theoretical investigation

Provnig, experim. undersökning - Test, experimental investigation

Delrapport

Slutrapport

Ordernr - Ref. No.
EA 22921-D, ETI

Dokumentations ordernr
L 5973.2009-1

PII/Akl
741 098

Antal textblad - No. of pages of text

Antal bilagsblad - No. of supplement pages
18

Sammanfattning - Summary

Jordningsspett av sex olika fabrikat har provats vad gäller strömtålighet under 1 s. De provade fabrikaten är Dehn, Trimat, Langer, Aarding, Blackburn och Copperweld.

Prov utfördes även på jordningslina av fabrikat Copperweld.

ALLMÄNNA SVENSKA ELEKTRISKA AKTIEBOLAGET
Sektorn för kraftöverföringsprodukter
Högeffektlaboratoriet

L. R. Bergström
L. R. Bergström

This document may not be copied, reproduced, or otherwise disseminated without the written permission of ASEA. If you are a third party not bound by the terms of the license, you must not be used for any unauthorized purpose. Confidentiality will be protected. ASEA

Distribution

(NO) Vattenfall ETI(3) LAY(3)

Enbart blad 1 - Page 1 only

1975 10 17 2000 5198

Provföremål	Jordningsspett av sex olika fabrikat samt jordningslina. Fabrikat och typbeteckningar har upptagits i tabell nr 1.
Provets avsikt	Med provet avsågs att undersöka de olika fabrikatens strömtålighet i skarvar hos linanslutningar samt i spett.
Provets utförande	Jordningsspetten monterades med en skarvhylsa och med till spetten hörande jordlineanslutning. Till jordlineanslutningen anslöts lina med största möjliga area. Temperaturen uppmättes med termoelement. Placeringen framgår av bifogade skissblad. Strömmen ökades i steg tills någon skada uppstod. I de fall, där jordlineanslutningen brändes av, gjordes en kraftigare anslutning och provet fortsattes. Efter det att skarvhylsan bränts av fortsattes proven på enbart spettet. Strömmens varaktighet under proven var 1 s. Skadorna fotograferades.
Resultat	Resultat uppmätta från oscillogrammen redovisas i bifogade tabeller nr 2-4. Strömmens effektiva medelvärde har beräknats enligt Simpsons formel. <u>Fabrikat Dehn:</u> Vid 17,1 kA under 0,82 s brändes spettet av i skarven mellan två delar. Vid 24,4 kA under 0,37 s brändes jordlineanslutningen av. Vid 29,2 kA under 1,02 s var spettets färg efter provet vitröd. Temperaturen uppmättes till 750°C. <u>Fabrikat Trinnat:</u> Vid 15,4 kA under 0,9 s brändes skarvhylsan av. Vid 25,2 kA under 1,02 s brändes jordlinan av samtidigt med att strömmen bröts. Smält aluminium har pressats ur termoelementets borrhål. Vid 28,0 kA under 1,04 s var spettet vitrött efter provet. Termoelementet har pressats loss och smält aluminium har sprutat ca 3 m från spettet. <u>Fabrikat Langer:</u> Vid 19,3 kA under 1,02 s smälte zinken i skarven. Vid 21,5 kA under 0,74 s brändes spettet av i skarven. Vid 24,6 kA under 0,73 s brändes linfästet av. Vid prov med 29,9 kA under 1,02 s var spettet vitrött och krökt efter provet. <u>Fabrikat Aarding:</u> Vid 16,8 kA under 1,02 s bildades en vulst av kopparbeläggningen ca 25 mm från skarvhylsan. Vid 20,0 kA under 1,02 s har den vid föregående prov bildade vulsten brustit och en ny har bildats ca 20 mm från skarvhylsan. Kopparbeläggningen har brustit och förskjutits 5 mm ca 100 mm från inmatningen. Vid 23 kA under 0,69 s brändes spettet av ca 100 mm från inmatningen. <u>Fabrikat Blackburn:</u> Vid 19,1 kA under 0,58 s trycktes spettet mot stötarvet och brändes av. Vid 22,8 kA under 0,36 s brändes jordlinan av. Vid 22,1 kA under 0,74 s brändes spettet av vid skarvhylsan. <u>Fabrikat Copperweld:</u> Vid 22,3 kA under 0,47 s brändes spettet av vid skarvhylsan. Pga tidsbrist var troligen skarven ej tillräckligt avkyld före provet. Prov utfördes på ett nytt spett med 21,0 kA under 1,03 s. Spettet böjdes på båda sidor om skarvhylsan och gick nästan av. <u>Prov på jordningslina av fabrikat Copperweld:</u> Vid 23,8 kA under 1,01 s blev linan vitröd men ej skadad i övrigt. Vid 26,2 kA brändes linan av efter 0,86 s.

LABORATOIRE CENTRAL DES INDUSTRIES ELECTRIQUES

FONDÉ PAR DÉCRET DU 24 FÉVRIER 1952, MODIFIÉ LE 7 JUIN 1949
ÉTABLISSEMENT NON ASSUJETI À L'INSCRIPTION AU REGISTRE DU COMMERCE

LABORATOIRES D'ESSAIS

33, Avenue du GÉNÉRAL LECLERC - 92 - FONTENAY-aux-ROSES (Hauts-de-Seine) FRANCE - 642 28-80 & 644 12-04

CERTIFICAT

N° 189 727

DÉLIVRÉ A : SOCIÉTÉ INDUSTRIELLE DES PRODUITS
MECANIQUES ANCR'EST
SAINTE-AVOID -

LABORATOIRE CENTRAL DES INDUSTRIES ELECTRIQUES

FONDÉ PAR DÉCRET DU 24 FÉVRIER 1952, MODIFIÉ LE 7 JUIN 1949
ÉTABLISSEMENT NON ASSUJETI À L'INSCRIPTION AU REGISTRE DU COMMERCE
33, Avenue du GÉNÉRAL LECLERC - 92260 FONTENAY-aux-ROSES (Hauts-de-Seine) FRANCE - 642 28-80 & 644 12-04

CERTIFICAT N° 189 727

FEUILLET 1

DÉLIVRÉ A : SOCIÉTÉ INDUSTRIELLE DES PRODUITS MECANIQUES
ANCR'EST
SAINTE-AVOID

OBJET : ESSAIS DE TIGES EN ACIER GALVANISÉ POUR PRISES DE TERRE.

I - Matériel essayé -

Les échantillons présentés aux essais comprenaient :

- 1 tige en acier galvanisé \varnothing 20 mm, longueur 1,50 m
- 1 tige en acier galvanisé \varnothing 25 mm, longueur 1,50 m
- 1 tige en acier galvanisé \varnothing 20 mm, longueur 3 m réalisée par l'accouplement de deux tiges du premier type
- 1 tige en acier galvanisé \varnothing 25 mm, longueur 3 m réalisée par l'accouplement de deux tiges du deuxième type.

Les accouplements entre tiges se font par un système de billes incorporées décrit dans la notice du constructeur "Tiges de prises de terre profondes" (Référence 126-7102 2 M-2-2889 : une bille en acier logée dans l'embout d'une tige, écarte les bords de cet embout à l'intérieur de l'embout de l'autre tige lors de l'enfoncement de la tige, ce qui procure à la fois la jonction mécanique et la continuité électrique.

II - Programme des essais -

Les essais demandés étaient les suivants :

- 1 - Essais électriques.
 - 1.1 - Mesure de la résistance en courant continu des deux tiges de diamètre 20 et 25 mm.
 - 1.2 - Première mesure de la résistance des tiges. accouplées à l'endroit des jonctions.

Pour éviter tout usage abusif qui pourrait en être fait, les certificats du laboratoire ne pourront être utilisés dans un but de publicité commerciale qu'avec l'accord écrit du laboratoire.
Des duplicata du certificat original peuvent être délivrés sur demande.

R. P. 0288

Cette mesure devait être effectuée sur une longueur totale identique à celle utilisée pour la mesure "1-1" de façon à obtenir par différence, l'augmentation de résistance due à la jonction.

1.3 - Essai de surintensité sur les deux tiges accouplées -

Les deux tiges devaient être parcourues par un courant alternatif de fréquence 50 Hz et de valeur efficace 12.500 ampères pendant 1 seconde. Un thermocouple devait être placé sur les jonctions pour évaluer l'élévation de température des jonctions.

1.4 - Deuxième mesure de la résistance des tiges accouplées -

Cet essai devait être effectué dans les mêmes conditions que l'essai 1-2 pour caractériser une éventuelle modification de la jonction.

2 - Essais mécaniques -

2.1 - Essai de traction sur les quatre tiges, avec détermination de la limite conventionnelle d'élasticité à 0,2 %.

2.2 - Essai de dureté Brinell sur un échantillon.

III - Modalités d'exécution et résultats des essais -

1 - Essais électriques -

1.1 - Mesures de résistances -

Ces mesures ont été effectuées à la température ambiante de 20°C, sous un courant continu de 50 ampères, et sur une longueur de 100 millimètres.

Les résultats sont donnés dans le paragraphe 1-3 pour permettre la comparaison avec ceux obtenus après l'essai de surintensité.

1.2 - Essai de surintensité -

Ces essais ont été effectués sur les deux tiges comprenant une jonction - dans les conditions suivantes :

- valeur efficace du courant en régime établi : 13 000 A
- valeur de crête du courant à l'enclenchement : 28 000 A
- durée de l'essai : 1 seconde.

Les échauffements obtenus sur les jonctions sont les suivants :

- tige de ϕ 20 : 136°C
- tige de ϕ 25 : 56°C

1.3 - Mesures de résistances -

Les mesures sur les jonctions ont été faites dans les conditions décrites au paragraphe 1.1.

Les résultats de l'ensemble des mesures de résistance sont les suivants :

Tige	Etat	Valeur de la résistance sur longueur 100 mm		Augmentation de résistance due à la jonction
		Partie sans jonction	Partie avec jonction	
ϕ 20	Avant surcharge	58 $\mu\Omega$	68 $\mu\Omega$	10 $\mu\Omega$
	Après surcharge	60 à 62 $\mu\Omega$	68 à 73 $\mu\Omega$	6 à 13 $\mu\Omega$
ϕ 25	Avant surcharge	39 $\mu\Omega$	45 à 47 $\mu\Omega$	6 à 8 $\mu\Omega$
	Après surcharge	38 $\mu\Omega$	43 à 44 $\mu\Omega$	5 à 6 $\mu\Omega$
Précision de l'étalonnage \pm 5 $\mu\Omega$				

L'examen du tableau ci-dessus fait apparaître les points suivants :

- l'augmentation de résistance due à la jonction est de l'ordre de 10 $\mu\Omega$ pour la tige de 20 et de 6 $\mu\Omega$ pour la tige de 25 mm
- l'essai de surcharge n'a apporté aucune variation appréciable à la précision des mesures près.

2 - Essais mécaniques -

Ces essais ont été effectués par le Laboratoire National d'Essais, et nous remercions ci-dessous le certificat émis par cet organisme, portant le N° 411 043 DMS, du 9 janvier 1975.

ESSAIS DE TRACTION ET DE DURETE SUR DEUX TIGES ET SUR DEUX ASSEMBLAGES DE DEUX TIGES DE PRISES DE TERRE

Pièces présentées -

Une tige d'acier galvanisé de 20,5 mm de diamètre et de 1380 mm de longueur.

Un assemblage de deux tiges de même diamètre que la précédente et réunies par un raccord à bille. La longueur hors tout de ces deux tiges assemblées était de 2800 mm.

Une tige en acier galvanisé de 25,1 mm de diamètre et un assemblage de deux tiges de 25,1 mm identique au précédent.

- Traction -

Conditions d'essai -

Les assemblages ont été essayés après découpe des extrémités des tiges à 700 mm environ du raccord. Les allongements sur les tiges sans raccord ont été mesurés à l'aide d'un extensomètre de 1000 mm de base. L'essai a été effectué sur une machine "Amstler" de précision 0,5 %.

Résultats -

1°) Essai des assemblages -

Diamètre des tiges (mm)	Charges maximales provoquant la séparation des tiges (da N)
20,5	1355 (1420 kgf)
25,1	3375 (3440 kgf)

2°) Essai des tiges sans raccord -

Diamètre des tiges (mm)	20,5	25,1
Section (mm ²)	330	495
Limite apparente d'élasticité : da N/mm ²	36,1	33,4
(kgf/mm ²)	(36,7)	(34,0)
Résistance à la traction : daN/mm ²	55,9	57,7
(kgf/mm ²)	(57,0)	(58,8)
Allongement : %	29	28

- Dureté -

L'essai a été effectué à l'aide d'une bille de 5 mm de diamètre sous une charge de 735 daN (750 kgf) maintenue 15 secondes

Tiges	Diamètres des empreintes (mm)	Dureté "Brinell"
20,5	2,27 - 2,29 - 2,25 2,25 - 2,27	175 - 172 - 179 - 179 175
25,1	2,17 - 2,18 - 2,23 2,14 - 2,19	193 - 191 - 182 - 198 189

Fontenay-aux-Roses, le 20 JAN. 1975
Le Chef de Service, Pour le Directeur Général et par Délégation,

J. Pierre
E. PIERRE
189 727
Signé: J. CUILHE

9. Literaturverzeichnis

- /1/ VDE 0100 Bestimmungen für das Errichten von Starkstromanlagen mit Nennspannungen bis 1000 V,
VDE Verlag, Berlin, Mai 1973, siehe § 3, e) 12.
- /2/ VDE 0100 Bestimmungen für das Errichten von Starkstromanlagen mit Nennspannungen bis 1000 V,
VDE Verlag, Berlin, Mai 1973.
- VDE 0101 Bestimmungen für das Errichten von Starkstromanlagen mit Nennspannungen über 1 kV,
VDE Verlag, Berlin, April 1971.
- VDE 0211 Bestimmungen für den Bau von Starkstrom-Freileitungen mit Nennspannungen bis 1000 V,
VDE Verlag, Berlin, Februar 1970.
- VDE 0210 Bestimmungen für den Bau von Starkstrom-Freileitungen mit Nennspannungen über 1 kV,
VDE Verlag, Berlin, Mai 1969.
- VDE 0141
DIN 57141 VDE-Bestimmungen für Erdungen in Wechselstromanlagen für Nennspannungen über 1 kV,
VDE Verlag, Berlin, Juli 1976.
- /3/ VDE 0141
DIN 57141 VDE-Bestimmungen für Erdungen in Wechselstromanlagen für Nennspannungen über 1 kV,
VDE Verlag, Berlin, Juli 1976.
- /4/ Koch, W. :Erdungen in Wechselstromanlagen über 1 kV,
Springer Verlag, Berlin, 1961.
- /5/ VDE 0100 Bestimmungen für das Errichten von Starkstromanlagen mit Nennspannungen bis 1000 V,
VDE Verlag, Berlin, Mai 1973, siehe § 20, b).
- /6/ Schikorr,
G. :Häufige Korrosionsschäden an Metallen und ihre Vermeidung, Wittwer Verlag, Stuttgart, 1960.
- Steinrath:Untersuchungsmethoden zur Beurteilung der Aggressivität von Böden.
- Evans,
U.R. :The Corrosion and Oxidation of metals,
Ed. Arnold, London, 1960.
- Bakalov
Turkovs-
kaia :Corrosion and Protection of metals,
Pergamon Press, London, 1965.

- / 7/ VDE 0141
DIN 57141 VDE Bestimmungen für Erdungen in Wechselstrom-
anlagen für Nennspannungen über 1 kV,
VDE Verlag, Berlin, Juli 1976, siehe 7.1.2.
- / 8/ VDE 0141
DIN 57141 VDE Bestimmungen für Erdungen in Wechselstrom-
anlagen für Nennspannungen über 1 kV,
VDE Verlag, Berlin, Juli 1976, siehe 4, Tabelle 4.
- / 9/ VDE 0100 Bestimmungen für das Errichten von Starkstrom-
anlagen mit Nennspannungen bis 1000 V,
VDE Verlag, Berlin, Mai 1973, siehe § 20 b) 3.
- /10/ Koch, W. Erdungen in Wechselstromanlagen über 1 kV,
Springer Verlag, Berlin, 1961.
- /11/ VDE 0141
DIN 57141 VDE Bestimmungen für Erdungen in Wechselstrom-
anlagen für Nennspannungen über 1 kV,
VDE Verlag, Berlin, Juli 1976, siehe 4, Tabelle 5.
- /12/ VDE 0141
DIN 57141 VDE Bestimmungen für Erdungen in Wechselstrom-
anlagen für Nennspannungen über 1 kV,
VDE Verlag, Berlin, Juli 1976, siehe 5.1.2.
- /13/ VDE 0141
DIN 57141 VDE Bestimmungen für Erdungen in Wechselstrom-
anlagen für Nennspannungen über 1 kV,
VDE Verlag, Berlin, Juli 1976, siehe 4.2.2.

10. Tabellen- und Abbildungsverzeichnis	Seite
Tabelle 1: Spezifischer Widerstand verschiedener Materialien in Ω m (Größenordnung).	7
Tabelle 2: Mittelwerte der spezifischen Erdwiderstände.	8
Tabelle 3: Einfluß der Temperatur auf den spezifischen Erdwiderstand bei sandigem Lehm.	10
Tabelle 4: Spezifischer Widerstand des Erdreichs in Ohmmeter, in Abhängigkeit von dem Feuchtigkeitsgrad in Prozenten.	10
Tabelle 5: Korrosionsangriff des Bodens in Abhängigkeit vom spezifischen Bodenwiderstand in Ω ·cm.	13
Tabelle 6: Korrosion von Stahl, Kupfer, Blei und Zink im Boden.	13
Tabelle 7: Mindestabmessungen und einzuhaltende Bedingungen für Erder.	15
Tabelle 8: Widerstandswerte von Tiefenerdern \varnothing 20 und \varnothing 25 mm, bei $\rho = 100 \Omega$ m.	18
Bild 1: Spezifischer Widerstand des Erdreichs in Abhängigkeit von der Temperatur (qualitativ)	9
Bild 2: Spezifischer Widerstand des Erdreichs in Abhängigkeit der Bodenfeuchte (qualitativ)	9
Bild 3: Bezogener Widerstand des Erdreichs in Abhängigkeit von der Jahreszeit.	10
Bild 4: Beurteilung der Böden nach ihrer Aggressivität.	12
Bild 5: Einfluß der Temperatur auf die Korrosionsrate von Zink in destilliertem Wasser.	13
Bild 6: Einfluß des pH-Wertes auf die Korrosionsrate und die Elektrodenspannung bei Zink.	13
Bild 7: Graphische Darstellung der Tabelle 8.	19
Bild 8: Berechnungsdiagramm für Staberder.	20
Bild 9: Tiefenerder System Langer.	23
Bild 10: Anschlußschelle.	23
Bild 11: Schliffbild.	23
Bild 12: Schnitt durch eine Kugelpressverbindung.	24
Bild 13: Rammgerüst.	26