

Lokaler Kathodischer Korrosionsschutz in einem Großkraftwerk

Kurzfassung des Referates, gehalten von Herrn Ing. Claus Behringer am 3. Mai 1996
auf der Tagung des Fachverbandes Kathodischer Korrosionsschutz e.V. in Köln.

- a Angaben zum Kraftwerk
- b Der lokale kathodische Korrosionsschutz
- c Erste Planung
- d Ausführung

a Angaben zum Kraftwerk

Beim Vergleich eines Kohle- mit einem Kernkraftwerk stellt man große Übereinstimmungen fest. In einem Wasser-Dampf-Kreislauf wird Dampf erzeugt, der über eine Turbine strömt. Diese treibt einen Generator, der den elektrischen Strom erzeugt. Der einzige Unterschied besteht in der Art der Wärme, die zur Dampferzeugung benutzt wird. Während im Kohlekraftwerk Kohle verbrannt wird, erzeugt man in einem Kernkraftwerk die notwendige Wärme durch die Brennstäbe, die wie große Tauchsieder das Wasser erhitzen. Ein Kernkraftwerk ist ein Dampfkraftwerk wie jedes Kohlekraftwerk. Deshalb sind auch viele wichtige Komponenten (z.B. Dampfturbine, Kondensator, Generatoren und Pumpen sehr ähnlich. Dieses Kraftwerk ist mit einem

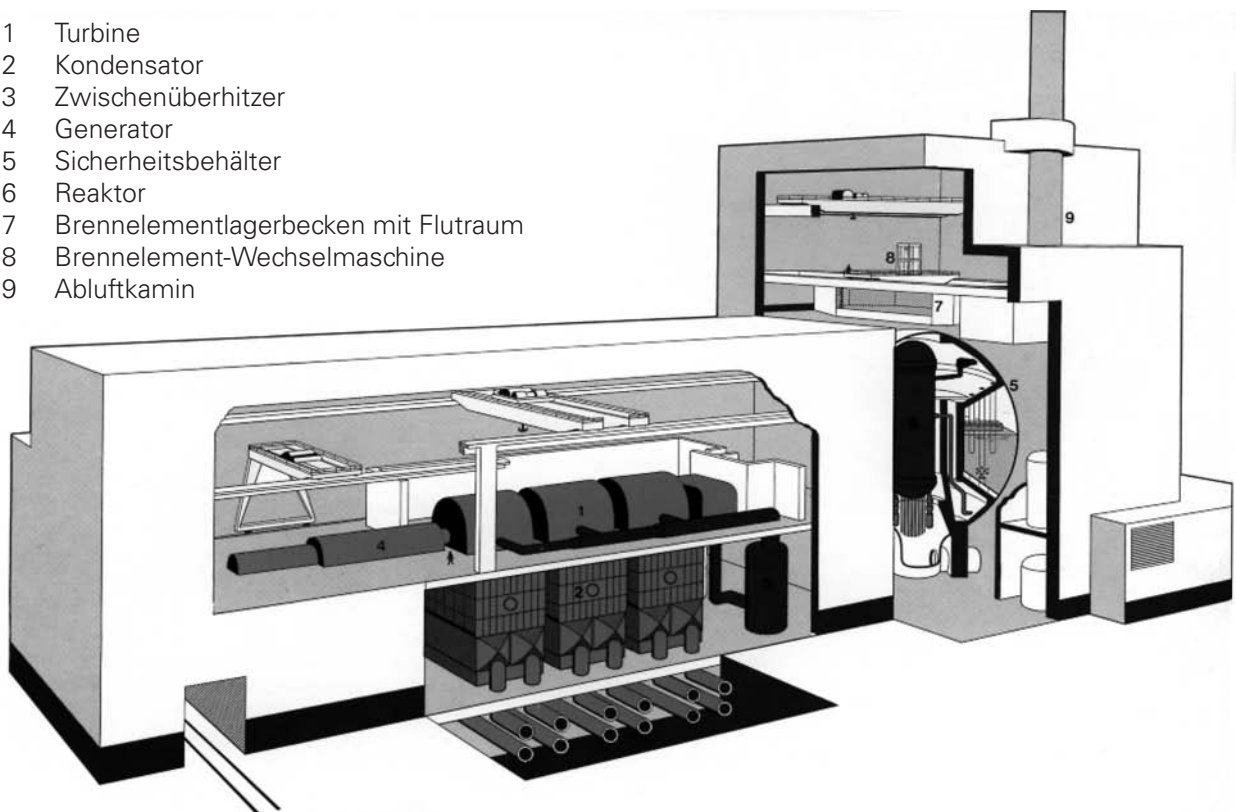
Siedewasserreaktor ausgerüstet. Er heißt so, weil das Wasser im Reaktordruckgefäß siedet. Die zur Verdampfung des Wassers im Reaktordruckgefäß benötigte Wärme entsteht durch kontrollierte Kernspaltung in den 840 Brennstäben des Reaktorkernes, die mit Urandi-oxxydtabletten gefüllt sind.

Technische Daten:

Sicherheitsbehälter:	30 m Ø, 1500 t,
Reaktordruckbehälter:	790 t,
(in Einzelteilen per Schiff angeliefert, auf der Baustelle verschweißt.)	
Sicherheitsbehälter:	Wanddicke 25 – 70 mm
Reaktordruckbehälter:	Wanddicke 17 cm am Boden 24 cm
max. Brennstoffinnentemperatur bei Vollast:	ca. 1900° C
Gesamter Kühlwasserbedarf:	225 000 m ³ /h
Leistung:	1300 MW

Baubeginn 1972, in Betrieb seit 1983, LKS seit 1992

- 1 Turbine
- 2 Kondensator
- 3 Zwischenüberhitzer
- 4 Generator
- 5 Sicherheitsbehälter
- 6 Reaktor
- 7 Brennelementlagerbecken mit Flutraum
- 8 Brennelement-Wechselmaschine
- 9 Abluftkamin



b Der Lokale Kathodische Korrosionsschutz
 Zum Schutz der erdverlegten Installationen auf dem Kraftwerksgelände wurde der „Lokale Kathodischer Korrosionsschutz“ (LKS) gem. TRbF 522 angewendet. Ein kathodischer Korrosionsschutz nach TRbF 521 war hier nicht möglich, weil zwischen den zu schützenden Anlagen und anderen Bauteilen metallleitende Verbindungen nicht aufgehoben werden konnten.

Für die kathodische Polarisation von Stahl im Beton hängt der Schutzstrombedarf von der Anzahl der pro Quadratmeter Betonoberfläche eingebrachten Armierungsstähle und der Art des Betons ab. Erfahrungsgemäß sind einige 10 mA/m² Betonoberfläche erforderlich, um die gewünschte Potentialänderung zu erreichen. Die angestrebte Potentialänderung wird sich – je nach Art und Zustand des Betons – erst in einigen Monaten einstellen, wobei sich die Schutzstromdichte deutlich verringert. Wegen der großen flächenmäßigen Ausdehnung der Stahlbetonflächen und des Kupfer-Erdungnetzes in Kraftwerken sind häufig große Ströme erforderlich, die über die Anodenanlagen in den Erdboden eingespeist werden müssen. Da die Anodenspannung möglichst 50 V nicht übersteigen sollte, müssen die Anodenanlagen niederohmige Ausbreitungswiderstände haben. Die zu schützenden Anlagenteile müssen ausnahmslos im anodischen Spannungstrichter liegen. Der ist in aller Regel klein, sodaß die Anoden dem Schutzobjekt gezielt zugeordnet werden müssen. Durch Element- und Ausgleichsströme treten Ohmsche Spannungsabfälle im Erdboden auf, die eine IR- freie Potentialmessung unmöglich machen.

Beim Lokalen Kathodischen Korrosionsschutz ist das besonders ausgeprägt, weil Schutzobjekt und Stahl

im Beton sehr unterschiedlich polarisiert werden. Ausschaltpotentiale geben somit keine sichere Information über den Polarisationszustand.

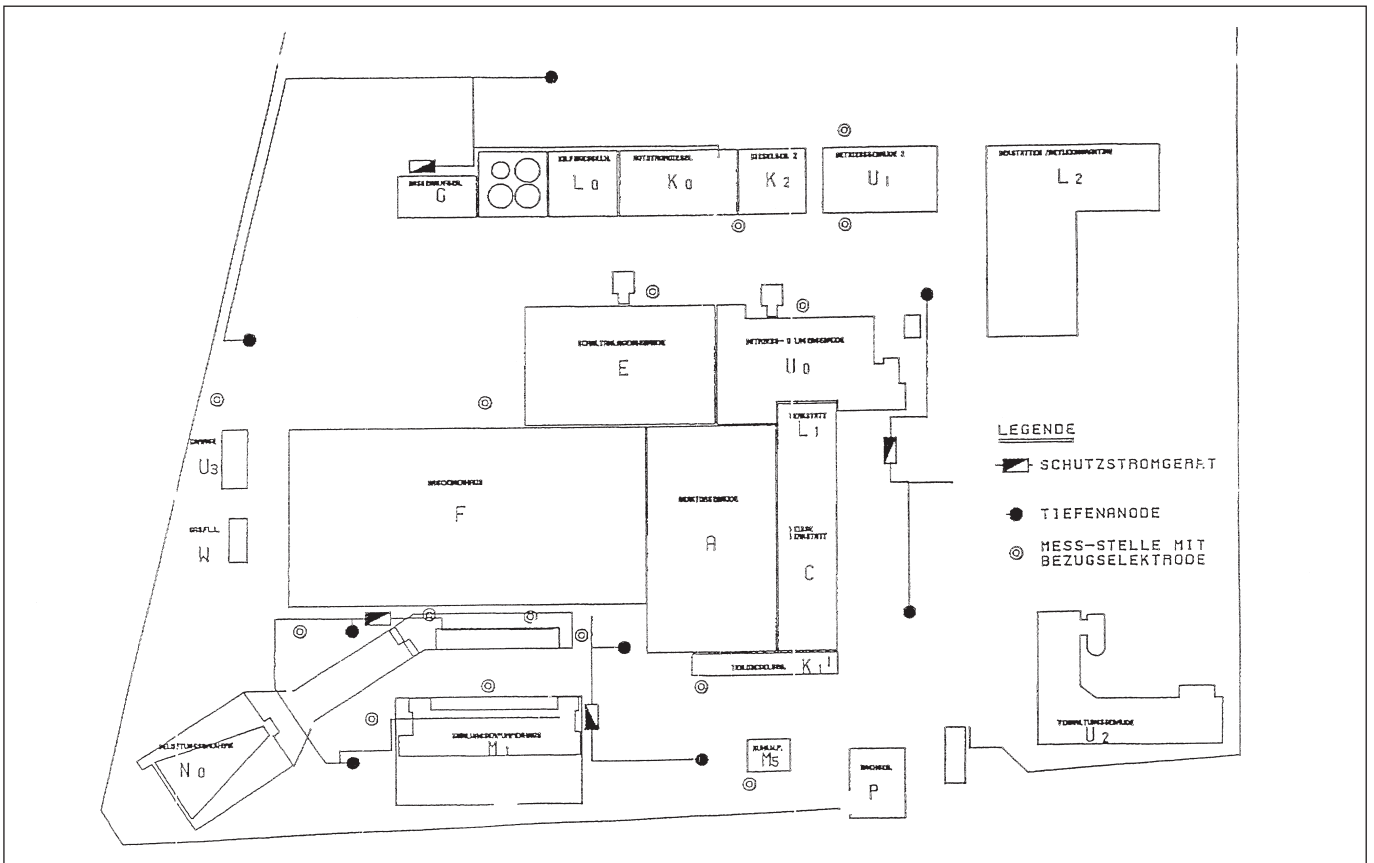
Zur Kontrolle des Lokalen Kathodischen Korrosionsschutzes werden die Einschaltpotentiale gemessen, wobei die Bezugs-elektrode möglichst nahe am Schutzobjekt aufgestellt werden sollte. Die Potentiale sollen = oder negativer –1200 mV gegen Cu/CuSO₄ sein. Das ist meist in der Nähe von Stahlbetonbauwerken nicht erreichbar. Bei Potentialwerten negativer –0,8 V ist jedoch die Elementwirkung praktisch ausgeschaltet. Zudem ist die Korrosionsgeschwindigkeit deutlich verringert.

Eine Verbesserung der Beurteilung der Schutzwirkung des Lokalen Kathodischen Korrosionsschutzes wird durch Meßproben erzielt, die in der Nähe der Schutzobjekte eingebaut werden. Die in der Meßprobe eingebaute Stahlplatte ist als Fehlstelle der Rohrumhüllung anzusehen. Die Polarisation der Stahlplatte ist als U_{aus}-Messung nachzuweisen. (TRbF 522–5.56)

Die Bedeutung dieser Messung muß allerdings eingeschränkt werden, da nicht sicher gestellt ist, daß alle Fehlstellen in der Rohrumhüllung < als die Stahlfläche der Meßprobe sind. Und nur dann wäre die oben genannte U_{aus}-Messung verbindlich.

c Erste Planung

Ein beim Auftraggeber vorliegendes Konzept sah vor, den Lokalen Kathodischen Korrosionsschutz durch acht Tiefenanoden (= oder tiefer 60 m) zu erreichen. Der Schutzstrom sollte durch vier Schutzstromgeräte aufgebracht werden.



Dieses Konzept enthielt zwei entscheidende Fehler:

1. Der Bodenwiderstand wurde deutlich zu niedrig angesetzt.
2. Gemäß Auflage der Wasserbehörde waren Bohrungen tiefer als 32 m nicht zulässig.

Die ausreichende Wirkung der acht Tiefenanoden – bezogen auf die Installation im gesamten Kraftwerks-gelände – war jedoch von vornherein zu bezweifeln, weil durch die große Tiefe der anodische Spannungstrichter sehr groß geworden wäre. Oben liegende Installationen wären vermutlich vom Schutzstrom nicht erreicht worden, allenfalls die unteren. An vielen Stellen liegen aber die Leitungen mehrfach übereinander, die oberen hätten möglicherweise im „Stromschatten“ der unteren gelegen.

Nach Weisung des Auftraggebers wurden vor dem Gebäude „F“ 2 Anoden auf 30 m Tiefe niedergebracht. Zwar konnten über diese Anoden bei 50 V treibender Spannung zwischen 20 und 30 A in den Boden eingeleitet werden, die Potentialabsenkung an der Oberfläche war jedoch sehr gering und unbefriedigend. In einer Entfernung von 10 – 20 m war keine Potentialabsenkung mehr nachzuweisen. Das vorliegende Konzept wurde damit hinfällig.

d Die Ausführung

Im Verlauf der Arbeiten wurde eine Anzahl von Einzelanoden verschiedener Größe eingebaut. Die Einbautiefe wurde jeweils der untersten Rohrleitung angepaßt, und zwar so, daß der Anodenkörper in dieser Tiefe lag. Bei der Menge erdverlegter Rohrleitungen von ganz unterschiedlichem Durchmesser mußten oft Bohrungen auf-

gegeben werden, weil Berührungen oder zu starke Näherungen mit Rohrleitungen bestanden.

Lang ausgedehnte Rohrleitungen und solche in unmittelbarer Nähe von Stahlbetonbauwerken wurden mit Kabelanoden geschützt, zum Teil mehrfach parallel.

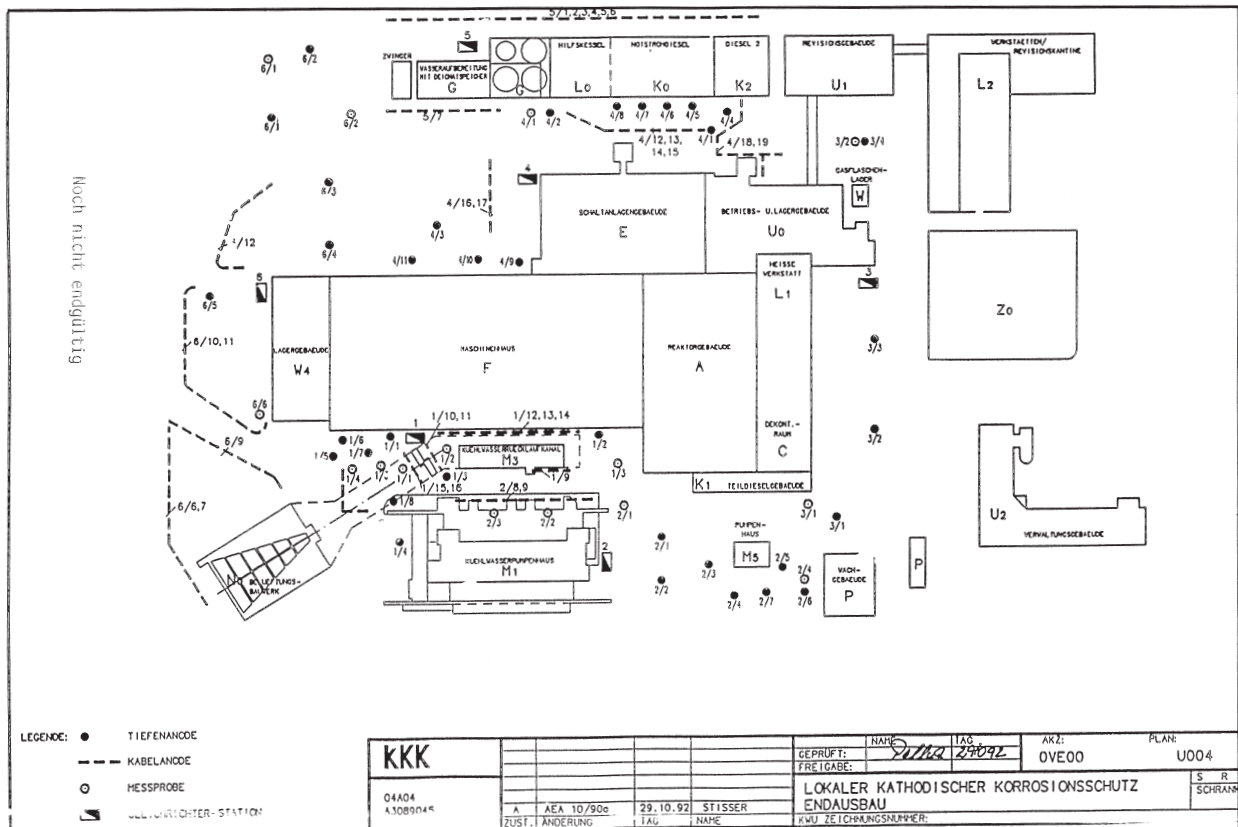
Anstatt der ursprünglich vorgesehenen 4 Schutzstromgeräte wurden sechs Stationen- verteilt im Werks-gelände – errichtet. Durch die sechs Stationen ergibt sich eine gewisse Einteilung, die aber technisch ohne Bedeutung ist. Die einzelnen Schutzbereiche - wenn man das überhaupt so nennen kann - überschneiden und ergänzen sich. Zur besseren Übersicht wurden den „Schutzbereichen“ die Potentialmeßpunkte zugeordnet. Wegen der erwähnten Überschneidung sollten immer alle sechs Stationen ein- oder abgeschaltet sein.

Insgesamt wurden eingebaut:
 ca. 1300 m Kabelanoden AFLX- 1500
 28 Stück Einzelanoden
 und 2 Stück Tiefenanoden aus der Versuchseinspeisung mit je 4 x 16 kg FeSi-Cr 5

Alle sechs Schutzstromgeräte – Hersteller Quante AG, Wuppertal – sind baugleich. Leistung 3000 W bei 50 V und 60 A, stufenlos einstellbar.

Alle Verkabelungen erfolgten in Kunststoff-Erdkabel NYY-O und Querschnitten von 2 x 2,5 mm² für die Meß-proben, 1 x 10 mm² für die Einzelanoden und in 1 x 16 mm² für die zwei Tiefenanoden. Die Kabelanoden wurden mit NYY-O 1 x 10 mm² angeschlossen.

Für die Kathodenanschlüsse wurde NYY-O 1 x 25



mm². für die nicht strombelasteten Meßanschlüsse 1 x 10 mm² verwendet.

Für die Herstellung der Kathoden- und Meßanschlüsse wurde das Bolzenschweißverfahren (Spitzenzündung) angewendet. Die Verkabelung erfolgte bauseitig.

Um die Polarisierung zu beschleunigen wurden die Schutzstromgeräte vom Auftraggeber sehr hoch eingestellt, weil die Abnahme durch den TÜV kurzfristig angesetzt war, sie erfolgte dann auch planmäßig, ohne Beanstandungen.

Durch die hohe Einstellung kam es bei den Kabelanoden bis zur fünffachen der zulässigen Belastung. Der Lieferant gibt als max. zulässige Belastung 50 mA/m für eine Lebensdauer von 15 Jahren an. Durch die hohen Belastungen fielen nach 1 ½ Jahren mehrere Kabelanoden aus und mußten ersetzt werden. In die Anschlüsse der Kabelanoden wurden dabei DC-Wandler eingesetzt, danach betrug die Belastung max 30 mA/m. Seither sind keine Ausfälle mehr eingetreten.

Nach dem Einbau der neuen Anoden ergaben sich andere Einstellungen der Schutzstromgeräte.

Station	10 – 92	12 – 92	6 – 93	5 – 94	12 – 95
1	44 A/55 V	30 A/32 V	37 A/54 V	28 A/38 V	30 A/53 V
2	16 A/47 V	16 A/46 V	16 A/50 V	17 A/38 V	26 A/56 V
3	30 A/53 V	30 A/48 V	30 A/50 V	12 A/23 V	9 A/21 V
4	21 A/15 V	21 A/15 V	42 A/24 V	30 A/37 V	38 A/41 V
5	4 A/ 7 V	4 A/ 7 V	8 A/ 9 V	10 A/14 V	4 A/24 V
6	20 A/20 V	20 A/20 V	27 A/25 V	17 A/16 V	15 A/39 V

Der Gesamtschutzstrom verringerte sich von 135 A im Oktober 1992 auf 122 A im Dezember 1995.

Vom Gesamtschutzstrom kommen nur etwa 10 % den zu schützenden erdverlegten Installationen zu gute, der übrige Strom fließt gegen Erde bzw. die Stahlbetonflächen.

Insgesamt wurden 185 Potentialmeßstellen errichtet, vermaßt und durch Kunststoffschilder mit Maßangaben bezeichnet. Zur Messung selbst wurden nicht strombelastete Meßanschlüsse verwendet.

Die Meßergebnisse zeigten bei der Abnahme Ende 1992, daß an allen Meßstellen Schutzpotentiale = oder negativer –1200 mV gegen Cu(Cu/SO₄) erreicht wurden. Die eingebauten Meßproben waren voll polarisiert, = oder negativer –850 mV, bezogen auf die Cu/CuSO₄-Elektrode.

Anoden- nummer	Länge in m	max. zul. Belastung in mA	Istzustand	Istzustand
			07.06.1993 mA	24.02.1994 mA
Station I				
88	9	450	900	0
66	42	2100	1590	1800
55	42	2100	1880	3070
44	42	2100	850	30
33	10	500	420	435

E 13001 F

Pressepost

Impressum: Die Mitteilungen des Fachverbandes Kathodischer Korrosionsschutz e.V. werden vom Fachverband Kathodischer Korrosionsschutz e.V., Sitz Esslingen a. N., Postfach 60 50, 73717 Esslingen, Telefon (07 11) 91 99 01-0, Telefax (07 11) 91 99 01-11 herausgegeben und erscheinen vierteljährlich. Der Bezugspreis ist durch den Mitgliedsbeitrag abgegolten. Für den Inhalt verantwortlich: Hans J. Spieth, Postfach 60 50, 73734 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.

22	10	500	440	630
11	8,5	425	2340	1020
Station II				
88	42	2100	940	1800
89	42	2100	930	2660
Station IV				
11	29	1450	4750	4960
22	29	1450	6470	260
44	32	1600	3900	700
55	32	1600	4100	1200
66	43	2150	5430	0
77	43	2150	5000	6400
Station V				
77	29	1450	1610	1690
66	35	1750	1000	1060
55	38	1900	840	855
44	33	1650	1220	770
33	40	2000	1300	1390
22	26	1300	920	1600
11	30	1500	1500	1420
Station VI				
33	26	1300	4420	2630
44	46	2300	2360	2700
88	23	1150	2000	1740
77	25	1250	2310	2540
66	33	1650	2370	1980
55	30	1500	2930	1470
99	42	2100	8170	6070

Bei den Potentialen gab es sehr große Unterschiede. Von –1200 mV bis zu –8600 mV gegen Cu/CuSO₄ Ende 1992 bis zu –25000 mV Mitte 1994. Nach Einbau der neuen Anoden mit den DC-Wandleranschlüssen Mitte 1995 haben sich die Potentiale stabilisiert, bis zu –15000 mV.

Die sehr negativen Potentiale sind eine Eigenart der LKS-Anlagen. Sie sind bedingt durch die Nähe von Elektrodenstandort und Anoden.

Zu Guter Letzt

Wer nicht mit der Zeit geht, wird mit der Zeit gehen müssen.