

Bedienungsanleitung

Potentiostat/Galvanostat POT/GALV PG50A



Fragen und Anregungen richten Sie bitte an:

Jaissle Elektronik GmbH Spitalhaldenweg 4 71336 Waiblingen		Ingenieurbüro Peter Schrems Am Eppertshäuser Pfad 2 64839 Münster	
Telefon:	07151/81112	Telefon:	06071/612 403
Fax:	07151/28204	Fax:	06071/612 404

Einleitung

Der Potentiostat/Galvanostat ist ein schnelles und präzises Regelgerät zur Untersuchung elektrochemischer Prozesse. Die Geräte wurden in der Vergangenheit überwiegend in der Korrosionsforschung eingesetzt. Mittlerweile ergeben sich aber immer neue Anwendungsmöglichkeiten in Bereichen Biochemie und der Biosensorik.

Die Geräte der Firma Jaisle sind grundsätzlich in Analogtechnik aufgebaut, was bedeutet, daß die Geräte praktisch keine Störstrahlung haben und somit dem elektrochemischen Prozeß nicht störend beeinflussen. Außerdem sind die Geräte sehr schnell, da die Regelgeschwindigkeit nur von den Anstiegszeiten der verwendeten Bauelemente abhängt. Laufzeitverzögerungen durch digital berechnete Regel- oder Filterfunktionen gibt es nicht.

Alle Jaisle-Potentiostaten können grundsätzlich eigenständig betrieben werden, d.h. sie sind mit allen Anzeigen- und Bedienelementen für den Stationären Betrieb ausgestattet. Weiterhin sind alle Geräte mit den für eine Computersteuerung notwendigen Ein- und Ausgängen ausgerüstet. Somit sind die Potentiostaten universell einsetzbar.

Da diese Eigenschaften auch auf die älteren Geräte der Firma Jaisle zutreffen, können auch diese Geräte mit einer Computersteuerung nachgerüstet werden.

Wichtiger Hinweis:

Das Regelverhalten der Potentiostaten ist weder gedämpft noch durch irgendwelche Hoch-, Tief- oder Bandpaß-Filter eingeschränkt. Die Geräte arbeiten über die gesamte spezifizierte Bandbreite stabil. Es kommt daher immer wieder vor, daß Kunden bei Ihren Messungen Rauschen oder instabiles Regelverhalten bemerken, was möglicherweise bei Geräten anderer Hersteller nicht auftritt.

Dieses Verhalten ist in praktisch allen Fällen den **Umgebungseinflüssen** zuzuordnen. Hat der verwendete Elektrolyt eine geringe Leitfähigkeit, so wird die Meßanordnung durch den hochohmigen Meßeingang für die Bezugselektrode regelrecht zu einer Antenne. Der Potentiostat versucht diese Störsignale zu regeln, was zu den genannten Instabilitäten führt.

Wir sind der Auffassung, daß vor Schaltungstechnischen Maßnahmen zumindest im Laborbetrieb immer zuerst die Meßanordnung abgeschirmt werden sollte. Idealerweise sollte die Meßzelle in einen Faradaykäfig gestellt werden. Zeigt sich im Laborbetrieb, daß im Feldeinsatz Filter eingesetzt werden müssen, so steht dem nichts im Wege. Wird aber schon im Laborbetrieb mit Filtern gearbeitet, so kann es passieren, daß wichtige Informationen zur Beurteilung des Systems einfach fehlen.

Sollte ein solcher Fall bei Ihnen auftreten, sprechen Sie uns an. Wir unterstützen Sie gerne mit unseren Erfahrungen.

Allgemeine Hinweise

Nach dem Auspacken sollte das Gerät auf mechanische Beschädigung und lose Teile im Inneren überprüft werden. Falls ein Transportschaden vorliegt, ist sofort der Lieferant zu informieren. Das Gerät darf dann nicht in Betrieb gesetzt werden.

Sicherheit

Dieses Gerät ist gemäß **VDE 0411 Teil 1, Sicherheitsbestimmungen für elektrische Meß-, Steuer-, Regel- und Laborgeräte**, gebaut und geprüft und hat das Werk in sicherheitstechnisch einwandfreiem Zustand verlassen. Es entspricht damit auch den Bestimmungen der europäischen Norm EN 61010-1 bzw. der internationalen Norm IEC 1010-1.

Den Bestimmungen der Schutzklasse I entsprechend sind alle Gehäuse- und Chassiteile mit dem Netzschutzleiter verbunden.

Das Auftrennen der Schutzkontaktverbindung innerhalb oder außerhalb des Gerätes sind unzulässig.

Wenn anzunehmen ist, daß ein gefahrloser Betrieb nicht mehr möglich ist, so ist das Gerät außer Betrieb zu setzen und gegen unbeabsichtigten Betrieb zu sichern.

Diese Annahme ist berechtigt,



- wenn das Gerät sichtbare Beschädigungen aufweist,
- wenn das Gerät lose Teile enthält,
- wenn das Gerät nicht mehr arbeitet,
- nach längerer Lagerung unter ungünstigen Bedingungen (z.B. im Freien oder in feuchten Räumen).

Beim Öffnen oder Schließen des Gehäuses muß das Gerät von allen Spannungsquellen getrennt sein.

Wenn eine Messung oder ein Abgleich am geöffneten Gerät unter Spannung unvermeidlich ist, so darf dies nur durch den Hersteller oder durch eine vom Hersteller autorisierte Fachkraft geschehen, die mit den damit verbundenen Gefahren vertraut ist.

Im Gerät sind berührungsgefährliche Teile, die im normalen Betriebszustand durch das Gehäuse abgedeckt sind.

Verwendete Symbole auf dem Gerät:

	Vorsicht Hochspannung
	Achtung – Bedienungsanleitung beachten.

Garantie:

Jedes gerät durchläuft vor dem Verlassen der Produktion einen 48stündigen Dauertest. Dabei wird eine Frühausfall von Bauteilen erkannt. Dennoch ist es möglich, das ein Bauteil erst nach längerem Betrieb ausfällt. Daher wird auf alle Jaissle Produkte eine Funktionsgarantie von 2 Jahren gewährt. Voraussetzung ist, daß im Gerät keine Veränderungen vorgenommen wurden.

Transportschäden sind vom Garantieanspruch ausgeschlossen.

Bei Beanstandungen sollte man am Gehäuse des Gerätes einen Zettel mit dem stichwortartig beschriebenen Fehler anbringen. Wenn auf diesem auch der Name bzw. die Telefonnummer des Absenders steht, dient dies der beschleunigten Abwicklung.

Servicehinweis und Wartung

Unter normalen Betriebsbedingungen sind keinerlei Wartungs-oder Abgleicharbeiten durchzuführen. Es besteht daher keine Notwendigkeit, ein Gerät zu öffnen. Sollten nach einigen Jahren Betrieb Meß- und Anzeigewerte voneinander abweichen, so sollte das Gerät zur Überprüfung zum Hersteller geschickt werden.

Betriebsbedingungen:

Der zulässige Umgebungsbereich während des Betriebes reicht von +10°C bis +40°C. Während der Lagerung oder des Transports darf die Temperatur zwischen –10°C und +70°C betragen. Hat sich während des Transports oder der Lagerung Kondenswasser gebildet, muß das Gerät ca. 2 Stunden aklimatisiert werden, bevor es in Betrieb genommen wird.

Das Gerät ist zum Gebrauch in sauberen, trockenen Räumen bestimmt. Es darf nicht bei besonders großem Staub- bzw. Feuchtigkeitsgehalt der Luft, bei Explosionsgefahr sowie bei aggressiver chemischer Einwirkung betrieben werden.

Die Betriebslage ist stehen, d.h. auf den Gehäusefüßen. Eine ausreichende Luftzirkulation (Konvektionskühlung) ist jedoch zu gewährleisten.

Anzeige und Bedienelemente



1. Mess-Anschluß Ansteuerspannung zwischen Gegenelektrode und Messelektrode
2. Mess-Ausgang Potential Messelektrode
3. Mess-Ausgang Zellen-Strom
4. Arbeitskontakt Ruhepotential / I-Zelle für externe Ansteuerung
5. Schalter für die Betriebsarten Ruhepotential / I-Zelle für den manuellen Betrieb
6. Anzeigeelement Ansteuerspannung des Potentiostaten bis +/- 15 V zwischen Gegenelektrode und Meßelektrode und Indikator für Freies Korrosionspotential (intern = extern)
7. Eingang für externe Sollspannung (Scanner vom ELCM-Kit) für die Betriebsart Potentiostat.
8. ± Polaritätsschalter für interne Sollspannung in der Betriebsart Potentiostat
9. Potentiometer zum Einstellen der internen Sollspannung 4V-Bereich für Potentiostat
10. Kontrollanzeige Betriebsart Potentiostat
11. Buchsen mit Erdpotential. Verbindung z.B. mit Faradaykäfig.
12. Umschalter für die Betriebsarten Potentiostat / Galvanostat
13. Das Digitalvoltmeter zeigt das Potential Bezugslektrode gegen Meßelektrode. Die Anzeige erfolgt bis 10.000 mV.
14. Kontrollanzeige Betriebsart Galvanostat
15. Potentiometer zum Einstellen des internen Sollwertes für die Betriebsart Galvanostat
16. ± Polaritätsschalter für interne Sollspannung in der Betriebsart Galvanostat

17. Eingang für externe Sollspannung (stromproportional) für die Betriebsart Galvanostat.
18. Kontrollanzeigen
19. Analog Anzeige des in der Zelle fließenden Stromes. ± 0 bis 100 % von 50A.
20. Anschluß der Gegenelektrode
21. Anschluß der Bezugselektrode.
22. Anschluß der Meßelektrode in der Betriebsart Galvanostat.
23. Anschluß der Meßelektrode in der Betriebsart Potentiostat.
24. Schalter Netz Ein/Aus.
25. Kontrollanzeigen der Versorgungsspannung.
26. Sicherungen.

Definition einiger wichtiger Begriffe:

Freies Korrosionspotential: Bezeichnet das Potential, das sich in der Meßzelle zwischen der Meßelektrode und der Bezugselektrode einstellt, wenn der Meß- bzw. der Regelkreis geöffnet ist und kein Strom zwischen Gegenelektrode und Meßelektrode fließen kann. In der Vergangenheit und bei der Gerätebeschriftung vielfach auch **U-RUHE** oder **Ruhepotential** genannt.

Die Aufgaben des Potentiostaten sind:

- Messen des freien Korrosionspotentials einer Mess- (Arbeits) Elektrode gegen das Potential einer Bezugselektrode bei geöffnetem Stromkreis.
- Konstanthalten des Potentials der Meßelektrode gegen die Bezugselektrode bei geschlossenem Stromkreis.
- Verändern des Potentials der Messelektrode entsprechend einer internen oder externen Sollspannung durch Änderung des in der elektrochemischen Zelle fließenden Stromes. Das Sollpotential kann stationär, quasistationär oder dynamisch sein.

Wirkungsweise

Der Potentiostat ist ein Regelgerät, das die Aufgabe hat, die Meßelektrode einer elektrochemischen Zelle auf einem konstanten, mit dem Sollspannungsgeber einstellbaren Potential gegenüber einer Bezugselektrode zu halten. Zu diesem Zweck verstärkt der Potentiostat jede kleine Abweichung des Potentials der Meßelektrode von der Sollspannung und regelt damit den durch die Zelle, zwischen Meßelektrode und Gegenelektrode fließenden Strom.

Spezielle Eigenschaften von Geräten mit Strömen größer 10 A

Unserer Standard-Potentiostat IMP83 PC-10 mit einem maximalen Strom von 10 A ist noch mit einem Strombereichs-Schalter ausgerüstet. Die Strommessung erfolgt nach dem Prinzip Strom-Spannungswandler, was bedeutet, das der Innenwiderstand des Strom-Meßkreises bei ca. 10^{-4} liegt. Bei Geräten mit Strömen oberhalb von 10A ist dieses Verfahren nicht mehr möglich. Die handelsüblichen Schalter sind nicht für größere Ströme ausgelegt. Verwendet man statt dessen Relais, so haben diese einen Übergangswiderstand in der Größenordnung von ca. 0,1 Ohm, der außerdem nicht über die gesamte Lebensdauer stabil bleibt. Ein solcher Übergangswiderstand von ca. 0,1 Ohm würde bei einem Strom von z.B. 50 A eine Verlustleistung von ca. 250W verursachen. Das bedeutet, das der PG50A einen einzigen Meßbereich von 50A hat, was wiederum bedeutet, daß sich ein Meßfehler im unteren Strombereich (kleiner 1A) stark auswirkt.

Eine kurze Rechnung soll dies verdeutlichen. Hat das Gerät z.B. einen Fehler von 0,5% vom Meßbereichsendwert, so sind dies 250mA bei einem Endwert von 50A. Das heißt, daß Ströme von kleiner 500 mA mindestens mit einem Fehler von 50% behaftet sind. Je nach Umgebung und externer Einstreuung kann dies bereits der Bereich des Grundrauschens sein.

Wird nun z.B. die Messung automatisiert und mit einer 16 Bit Karte gemessen, so hat die Meßkarte eine Schrittweite von ca. $330\mu\text{V}$ bei einem Bereich von $\pm 10\text{V}$. Der Potentiostat liefert ein Meßsignal von 5V bei 50A Ausgangsstrom. Das bedeutet theoretisch, daß das Meßsystem in 3,3 mA Schritten messen kann. Allerdings ist dies ein rein theoretischer Wert. Praktisch dürfte es so sein, daß die Messung ab ca. 200mA auf 10 bis 20mA genau aufgelöst werden kann. Der Bereich um $\pm 200\text{mA}$ kann bestenfalls nach vorheriger Kalibrierung genauer bestimmt werden.

Inbetriebnahme

Wenn Sie das erste Mal mit einem Potentiostaten arbeiten, sollten Sie das Gerät zunächst manuell bedienen um sich mit den Gegebenheiten einer elektrochemischen Zelle vertraut zu machen. Die manuelle Betriebsart ist auch sinnvoll, wenn Sie neue Materialien untersuchen wollen und nicht genau wissen, wie das System einzustellen ist. Erst wenn Ihnen die Arbeitsweise klar ist und Sie die Eckdaten für Ihre Messung einschätzen können, sollten Sie den Computer bzw. die Software einsetzen.

Vor der Inbetriebnahme des Potentiostaten beachten Sie bitte folgenden Punkte:

Mit dem Druckschalter Netz **[24]** wird das Geräte eingeschaltet. Ist keine Meßzelle angeschlossen, so zeigt das Gerät möglicherweise utopische Werte.

Potentiostatische Messung

Der Kippschalter I-Zelle/U-Ruhe **[5]** muß in Stellung Ruhe-Potential, der Kippschalter Potentiostat / Galvanostat **[12]** in Stellung Potentiostat und das Potentiometer **[9]** auf Null sein.

Nun kann die Meßzelle ohne Gefahr an den Potentiostaten angeschlossen werden. Es fließt kein Strom durch die Zelle.

Zu beachten ist, daß für die Betriebsart Potentiostat die Mess-Elektrode an die schwarze Buchse **[23]** angeschlossen werden muß. Auch hier gilt das o.g. für den Meßbereichsschalter. Alle Verbindungen, über die der maximale Strom fließen kann, sind intern fest verdrahtet und werden nicht geschaltet. In der Betriebsart Galvanostat ist dann für den Anschluß der Mess-Elektrode der gelbe Anschluß **[22]** zu verwenden.

Ist die Meßzelle angeschlossen, so zeigt das Digitalvoltmeter **[13]** das freie Korrosionspotential zwischen der Meßelektrode und der Bezugselektrode (anzeigen in mV). Das Voltmeter **[6]** zeigt Vollausschlag, da das freie Korrosionspotential den Verstärker im Potentiostaten durchsteuert.

Das Freie Korrosionspotential sollte ruhig auf einem Wert stehen oder langsam driftend einem Endwert zustreben. Springt das Potential, so ist ein Fehler im Aufbau der Meßzelle. Möglicherweise ist eine Luftblase im Stromschlüssel oder in der Bezugselektrode.

- Sind alle elektrischen Verbindungen in Ordnung ?
- Wird die Meßelektrode und der Stromschlüssel ausreichend von dem Elektrolyten umspült ?

Prüfen Sie diese Punkte und stellen Sie sicher, daß das angezeigte Freie Korrosionspotential stabil ist. Nur dann hat es Sinn, den Vorgang überhaupt fortzusetzen.

Hat sich ein stabiles Potential eingestellt so können Sie nun mit dem Kippschalter **[8]** die Polarität einschalten, die das Ruhepotential hat. In den meisten Fällen wird sich ein Potential zwischen ± 1000 mV eingestellt haben. Nun drehen Sie das Potentiometer **[9]** nach rechts. Beobachten Sie das Voltmeter **[6]**. Zu Beginn zeigt der Zeiger auf den Endwert einer Seite. Kippt der Zeiger mit dem hochdrehen des Potentiometer **[9]** zur anderen Seite, so ist die interne Sollspannung im Bereich des Freien Korrosionspotentials. Nun justieren Sie das Potentiometer, bis der Zeiger des Instruments **[6]** um den Nullpunkt pendelt.

Anmerkung:

Durch die hohe Verstärkung des internen Differenzverstärkers wird es nicht immer gelingen, das Instrument auf Null abzugleichen. Dies ist aber auch nicht nötig. Bereits ein kurzer Ausschlag in Richtung Null bedeutet, daß das Ruhepotential auf Bruchteile eines mV genau eingestellt wurde.

Jetzt können Sie auf I-Zelle [5] schalten und mit dem Potentiometer [9] kathodisch oder anodisch polarisieren. Die Polarität bezieht sich dabei auf die Meßelektrode. Achten Sie auf die Anzeige des Instrumentes [19] (Strom).

Das Voltmeter [6] übernimmt jetzt die Funktion als Aussteuerungsmesser. Es zeigt die Spannung zwischen Gegenelektrode und Meßelektrode. Bei Vollausschlag ist die maximale Ausgangsspannung des Potentiostaten erreicht. In diesem Fall ist eine sichere Potentialregelung nicht mehr gewährleistet.

Zur Registrierung der Messung können Sie an die Buchsen U-Ausgang [2] und I-Ausgang [3] einen Kennlinien-Schreiber anschließen. An den Buchsen U-SOLLSP. [7] können beliebige Sollspannungen wie z.B. Sinus, Dreieck, Rechteck der internen Sollspannung überlagert werden. Wollen die Ansteuerung und die Registrierung komfortabel gestalten so können Sie dies natürlich auch mit einem unserer ELCM-Kit's in Verbindung mit unserer Software *EcmWin*.

Achtung:

Die Mess-Elektrode liegt virtuelle an Erde, sie darf deshalb nicht geerdet werden. Die Abschirmung des Kabels zur Bezugslektrode darf ebenfalls nicht geerdet werden. Durch eine spezielle Schaltung wird die Kabelkapazität kompensiert.

Galvanostatische Messung

Der PG50A kann als Potentiostat oder Galvanostat eingesetzt werden. Soll das Gerät als Galvanostat arbeiten, so schalten Sie den Potentiostat zunächst auf Ruhepotential und prüfen Sie, daß das Potentiometer [15] auf Null ist. Dann schalten Sie den Kippschalter GALV./POT. [12] in Stellung GALV. Jetzt leuchtet die LED-Lampe [14].

Falls Sie vorher potentiostatisch gemessen haben, dann vergessen Sie bitte nicht den Anschluß der Meßelektrode auf die Buchse [22] umzuklemmen.

Wenn Sie nun auf I-Zelle [5] schalten, darf in der Zelle kein Strom fließen. Erst wenn Sie das Potentiometer I-Bereich [15] hochdrehen, fließt in der Zelle ein Strom. Die Polarität des Zellenstromes wird mit dem Kippschalter [16] eingestellt. Die Größe des Stromes ist proportional zu dem maximalen Strom von 50 A. Sie können 50A fließen lassen, sofern die Widerstandsverhältnisse der Meßzelle dies zulassen.

An den beiden Buchsen I-Eingang [17] kann der Strom durch eine externe Sollspannung von ± 0 bis 1000 mV dynamisch gesteuert werden. Das Potentiometer I-Bereich muß dann auf 0 gestellt werden.

Mit einer Ohmschen Ersatzzelle kann eine Prüfung des Potentiostaten einfach durchgeführt werden. Schließen Sie zwei Widerstände wie nachfolgend abgebildet an den Potentiostaten an.

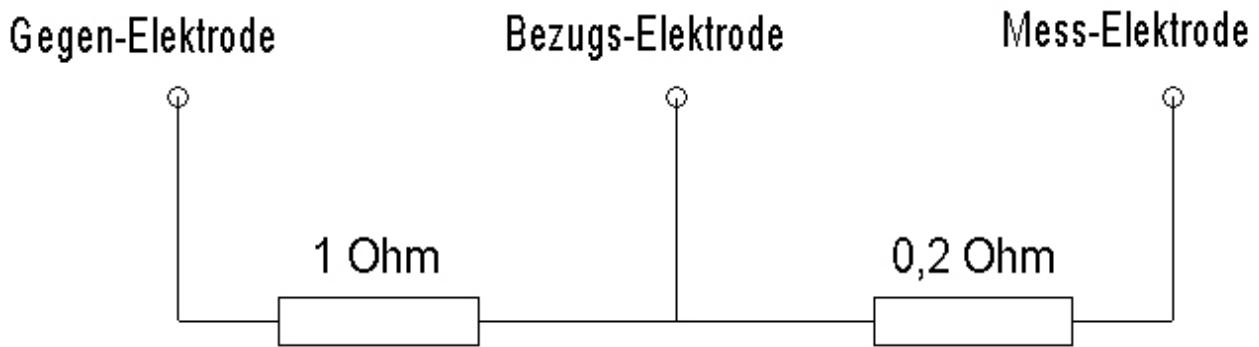


Abbildung 3

Entfernen Sie alle externen Signalleitungen, die eine Sollspannung in den Potentiostaten einspeisen könnten.

Nach dem Einschalten des Potentiostaten zeigt das DVM **[13]** 0 mV, wenn der Kippschalter I-Zelle/U-Ruhe **[5]** in Stellung I-Zelle geschaltet ist. Stellen Sie das Potentiometer U-Bereich **[9]** auf 1000 mV (Kontrolle am DVM **[13]**). Das A Meter **[19]** zeigt einen Ausschlag von ca. 20% und das Voltmeter **[6]** zeigt ca. 12 V an. Das bedeutet, daß an dem 0,2 Ohm Widerstand der Ersatzzelle 2000 mV anliegen, der Strom ist:

$$\frac{2000 \text{ mV}}{0,2 \text{ Ohm}} = 10 \text{ A}$$

die Ausgangsspannung ist dann:

$$U = 1,2 \text{ Ohm} \times 10 \text{ A} = 12 \text{ V}$$

An den BNC-Buchsen Ausgang mißt man:

Am U-Ausgang **[2]** = 1000mV

Am I-Ausgang **[3]** = 1000mV

Die eingebauten Instrumente zeigen:

- das Amperemeter **[19]** 20% Ausschlag
- das DVM **[13]** 1000mV
- das Voltmeter **[6]** 12V.

Computer-Unterstützung

Wenn Sie den Potentiostaten mit dem Computer steuern und die Meßwerte aufzeichnen wollen, so müssen Sie zuerst das Meßsystem an den Potentiostaten anschließen.

Bei diesem Gerät ist zu beachten, daß die Betriebsarten Potentiostat und Galvanostat nur manuell durch den Bediener eingestellt werden können. Außerdem ist die Anschlußleitung für die Meßelektrode je nach Betriebsart umzustecken.

Der Meßausgang U-Ausg. [2] ist an die Anschlußbox Analog In Nr. 1, der Meßausgang I-Ausg. [3] ist an die Anschlußbox Analog In Nr. 2, der Meßausgang M-GEL.-MEL. [1] ist an die Anschlußbox Analog In Nr. 3 anzuschließen. Außerdem ist der Ausgang Scanner 1 der Anschlußbox an einen Eingang U-Eing. [7] anzuschließen. Von dort ist eine Verbindung an den I-Eing. [17] herzustellen. Abschließend ist noch eine Verbindung von der Rückseite Anschlußbox Digital Out Nr.1 an die Buchse AK [4] des Potentiostaten herzustellen.

Nun können Sie Betriebsart Ruhepotential/I-Zelle über den Computer schalten. Der Schaltkontakt ist potentialfrei (Relais).

Weitere Hinweise können Sie auch im Kapitel Installation der Systembeschreibung zu unserer Software **EcmWin** entnehmen (sofern Sie ein ELCM-Kit erworben haben).

Elektrische Daten PG50A

Elektrischer Anschluß:	
Versorgungsspannung:	3 Phasen 400V oder 1 Phasig 230V
Frequenz:	50 Hz
Leistungsaufnahme:	ca. 1000 VA
Schutzart	Klasse 1, (IEC1010-1 / VDE0411)
Aufbau:	
• Instrument zur Potentialmessung	Digital, 4 ½stellig, ± 19999 mV
• Instrument Ausgangsspannung Gegen-Elektrode Mess-Elektrode	Analoganzeige der Aussteuer-Spannung und als Indikator für Freies Korrosionspotential = Interne Sollspannung
• Instrument zur Strommessung	Analog, 0 - ± 100%, proportional 50A
• Sollspannung Potentiostat	2 Eingänge für extern, 1 Sollspannungsgeber intern
• Sollspannung Galvanostat	2 Eingänge für extern, 1 Sollwertgeber intern
• I-Bereich	1 Bereich 50A
• Betriebsart Potentiostat/Galvanostat	Manuell
• U-Ruhe/I-Zelle	Manuell und automatisch durch externes Relais
• empfohlener Frequenzbereich	0 bis 100 Hz (je nach eingestelltem Strombereich)
• IR-Kompensation	Nein
Maße: (BxHxT)	

Aussteuerbereich	Intern
• U-Soll für Potential	± 4000 mV
• U-Soll für I-Konstant	±1000 mV
	Sollspannung fremd
• U-Eingang	±5V, 2 BNC Eingangsbuchsen addierend
• I-Eingang	±1V für Vollaussteuerung, 2 BNC Eingangsbuchsen addierend
	Ausgänge
• U-Ausgang	±10V
• I-Ausgang	±50A max. als proportionales Spannungssignal ±5V
Ein-/Ausgangswiderstände	
Innenwiderstand der Strommessung	Ca. 0,02 Ω
Eingangswiderstand Bezugelektrode	Ca. 10 ¹¹ Ω
Eingangswiderstand Sollspannung fremd	10 KΩ (U- und I-Eingang)
Anstiegsgeschwindigkeit	1000V/sec. = 1 ms/V
Strommessung	Analog
• I-Bereiche	50A
• Genauigkeit	0,25 %
• I-Ausgang	5000mV
Spannungsmessung	Analog
• U-Ausgang	±10V, 0,1%
• Digitalvoltmeter	4½stellig, bis ±19999 mV, 0,25%
U-Gegen Elektrode-Mess-Elektrode	± 17 V bis ± 10V bei maximalen Strom
Nullpunktstabilität:	
• Bei Netzschwankung um 10%	Ca. 1 mV
Brumm-Rauschen	Ca. 1 mV (50 Hz)
Drift	Ca. 5 mV/Tag; ca. 20 µV/°C
Phasenverschiebung	k.A.
Log. Ausgang	Nein
Automatische I-Bereichsumschaltung	Nein