

Bedienungsanleitung

Potentiostat/Galvanostat PGU BI-1000



Fragen und Anregungen richten Sie bitte an:

Ingenieurbüro Peter Schrems Am Eppertshäuser Pfad 2 64839 Münster			
Telefon:	06071/612 403		
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 der Biochemie und der Sensorik.

Die neuen Geräte der PGU Serie sind, wie die älteren Modelle auch, grundsätzlich in Analogtechnik aufgebaut, was bedeutet, daß die Geräte praktisch keine eigen Störstrahlung haben und somit den elektrochemischen Prozeß nicht störend beeinflussen. Die Geschwindigkeit der Geräte richtet sich nach den verwendeten Bauelementen und dem eingestellten Strombereich. Wird, je nach Gerätetyp, in Bereichen zwischen 2A und 10mA gemessen, dann hat die Elektronik die schnellsten Ansprechzeiten. Die verwendeten hochohmigen Eingangsverstärker haben einen Frequenzbereich bis zu 8MHz, durch die interne Beschaltung (Dämpfung) ist eine obere Grenzfrequenz von ca. max. 1Mhz möglich, in der praktischen Anwendung ist es meist weniger (ca. 100 bis 200 kHz Sinus). Werden größere oder kleinere Strombereiche gewählt, dann reduziert sich die Ansprechzeit deutlich. Im 1mA sind noch ca. 80kHz möglich, im 100pA sind max. 0,1Hz (Periodendauer 10s) oder weniger möglich.

Grundsätzlich kann man sagen, daß Geräte mit kleinen Strombereichen (nA-Bereichen) in ihrem Regelverhalten langsamer sind als Geräte mit größeren Strombereichen. Dies liegt primär an den verwendeten Bauteilen. Ein Operationsverstärker mit einem hochohmigen Eingang ($>10^{13}$) ist nicht so schnell wie ein Verstärker mit einem geringeren Eingangswiderstand. Außerdem werden die Verstärker bei kleinen Strommessbereichen mit hoher Verstärkung betrieben, was sich ebenso reduzierend auf die Regelgeschwindigkeit auswirkt.

Laufzeitverzögerungen durch digital berechnete Regel- oder Filterfunktionen gibt es nicht.

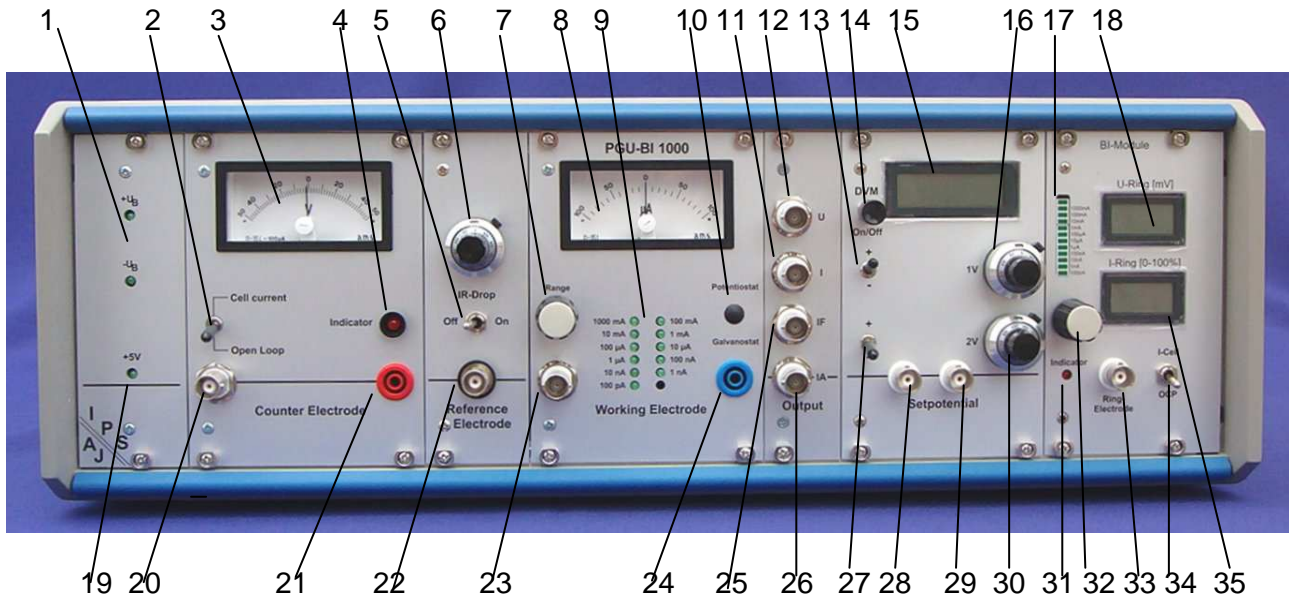
Alle Potentiostaten können grundsätzlich „Stand alone“ betrieben werden, d.h. sie sind mit allen Anzeigen- und Bedienelementen für den Stationären Betrieb ausgestattet. Außerdem sind die Geräte der PGU-Serie mit allen notwendigen Ein- und Ausgängen für den Anschluß eines Computergestützten Meßsystems ausgerüstet. Wahlweise kann auch ein Meßmodul (PGU-Auto) in den Potentiostaten eingesteckt werden. Der Anschluß an einen Computer erfolgt dann über die serielle Schnittstelle.

Somit sind die Potentiostaten universell einsetzbar.

Wichtiger Hinweis:

Das Regelverhalten der Potentiostaten ist bei neueren Geräten einstellbar. Je nach Art der Messung kann es notwendig sein, den Prozess durch Änderung der Regelgeschwindigkeit zu optimieren. Dazu sind in der EcmWin Software entsprechende Filtereinstellungen offengelegt und können vom Anwender eingestellt werden. Ein Auswahldialog ermöglicht die Voreinstellung der Filter für die jeweiligen Messbereiche, so dass nur zu Beginn die Software parametrisiert werden muss. Die Vorauswahl wird gespeichert und bei den folgenden Messungen automatisch eingestellt.

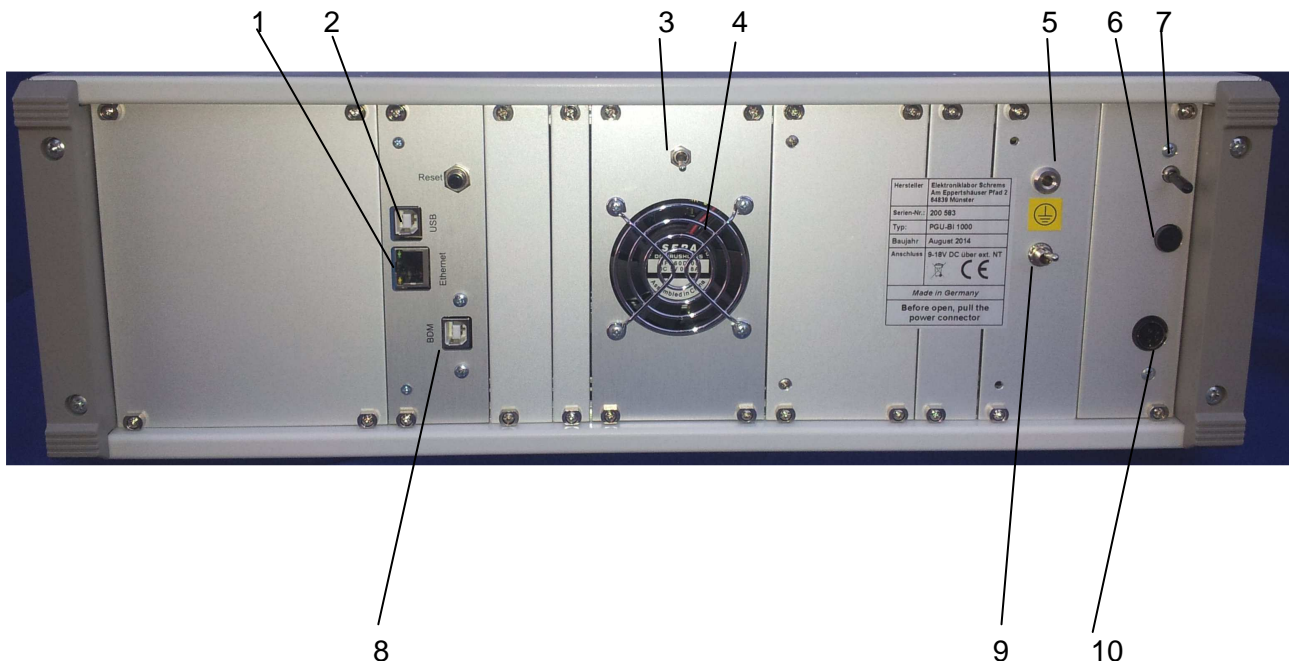
Anzeige und Bedienelemente



1. Kontroll-Leuchten für die Versorgungsspannung der Elektronik. Normalerweise ± 15 V.
2. Umschalter für die Betriebsarten Freies Korrosionspotential (Open Loop) / I-Zelle (Cell current) (bei Computersteuerung automatisch, default auf Open Loop).
3. Anzeigeelement Ansteuerspannung des Potentiostaten je nach Gerätetyp von ± 10 V bis ± 25 V.
4. Indikator bei Freiem Korrosionspotential und Übersteuerungsanzeige.
5. Schalter zum Ein- oder Ausschalten der IR-Kompensation (wird bei neueren Geräten per Software gesteuert).
6. Potentiometer zum Einstellen der IR-Kompensation (auch per Software)
7. Strom-Bereichsschalter 1000 mA bis 100 pA.
8. Analog Anzeige des in der Zelle fließenden Stromes. ± 0 bis 100 % des eingestellten I-Bereiches.
9. Die Anzeige des eingestellten Strombereiches erfolgt an den Leuchtdioden. Der gewählte Bereich wird auch angezeigt, wenn das Gerät vom Computer gesteuert wird.
10. Umschalter für die Betriebsarten Potentiostat / Galvanostat (nur noch per Software)
11. Meßausgang für den Strom in der Elektrochemischen Zelle. Der Ausgang liefert einen dem eingestellten Strombereich proportionalen Spannungswert (max. ± 10 V entspricht Vollausschlag des Zeigerinstrumentes bzw. Endwert des eingestellten Bereiches).
12. Meßausgang Potential Meßelektrode (Working-Electrode) gegen Bezugelektrode (Reference-Electrode).
13. \pm Polaritätsschalter für interne Sollspannung zum Polarisieren der ersten Elektrode, max. 2V.
14. Ein / Aus Schalter für Digitalvoltmeter (DVM) Sollspannung.
15. Das Digitalvoltmeter zeigt das Potential Bezugelektrode gegen Arbeitselektrode.
16. Potentiometer zum Einstellen des internen Sollwertes für die erste Elektrode, max. 2V.
17. Anzeige des eingestellten Strombereiches des BI-Moduls.
18. Anzeige des Potentials der zweiten Elektrode.
19. Kontrollanzeige der 5V Versorgungs-Spannung. Diese dient zum Schalten der Meßbereiche und der Betriebsarten. Fehlt die Spannung, dann ist das Gerät nicht funktionstüchtig.
20. BNC-Buchse zum Anschluß der Gegenelektrode (Counter Electrode).
21. Bananenbuchse zum Anschluß der Gegenelektrode (Counter Electrode). Ist intern parallel zur BNC-Buchse geschaltet. Dient bei Geräten mit Strombereichen oberhalb von 1A als primärer Anschluß. Eine BNC-Buchse kann max. 1A Strom übertragen.

22. BNC-Buchse zum Anschluß der Referenz-Elektrode.
23. BNC-Buchse zum Anschluß der Arbeitselektrode (Working Electrode).
24. Bananenbuchse zum Anschluß der Arbeitselektrode (Working Electrode). Ist intern parallel zur BNC-Buchse geschaltet. Dient bei Geräten mit Strombereichen oberhalb von 1A als primärer Anschluß. Eine BNC-Buchse kann max. 1A Strom übertragen.
25. Meßausgang für den Strom in der Elektrochemischen Zelle. Der Ausgang liefert einen dem eingestellten Strombereich proportionalen Spannungswert (max. $\pm 10V$ entspricht Vollausschlag des Zeigerinstruments bzw. Endwert des eingestellten Bereiches). Allerdings ist das Signal gefiltert. Die obere Grenzfrequenz beträgt 40Hz.
26. Meßausgang für den Strom in der Elektrochemischen Zelle. Der Ausgang liefert einen dem eingestellten Strombereich proportionalen Spannungswert, allerdings mit einer Verstärkung von 10. Der Ausgang kann erst verwendet werden, wenn das Signal unter 10% des Enwertes sinkt. (max. $\pm 10V$ entspricht 10% vom Vollausschlag des Zeigerinstruments bzw. vom Endwert des eingestellten Bereiches).
27. \pm Polaritätsschalter für interne Sollspannung für die zweite Elektrode, max. 2V.
28. Eingang für externe Sollspannung.
29. Zweiter Eingang für externe Sollspannung. Beide Eingänge arbeiten addierend zueinander und auch zur internen Sollspannung. Soll die externe Spannung die bestimmende Größe bei einer Messung sein, dann sind die internen Potentiometer auf Null zu stellen.
30. Potentiometer zum Einstellen des internen Sollwertes 2V.
31. Anzeige Indikator zweite Elektrode (Übersteuerung).
32. Messbereichsschalter zweite Elektrode.
33. BNC-Anschluss für die zweite Elektrode.
34. Schalter OCP/IZelle für die zweite Elektrode (bei Computersteuerung automatisch, default unten).
35. LCD Anzeige für den Strom in der zweiten Elektrode. Anzeige von 0 bis 100% entsprechend dem eingestellten Strombereich.

Auf der Rückseite ist der Potentiostat bestückt wie folgt:



1. Anschlußstecker Interface RJ45 Ethernet 100MB, default Adresse 192.168.2.99
2. USB-Stecker für zukünftige Anwendungen
3. Schalter Lüfter ein/aus, bei Messung kleinster Ströme kann es hilfreich sein, den Lüfter auszuschalten.
4. Lüfter zum Kühlen der Endstufe
5. Erdungsbuchse zum Anschluss eines Faradaykäfigs.

6. Sicherung für Betriebsspannung 12V, 6A Träge.
7. Einschalter, nach oben ist ein.
8. BDM Programmierbuchse, das Interface meldet sich wie ein USB-Stick.
9. Umschalter float/ground. Nach oben bedeutet, der Ground der sekundärspannung liegt auf dem Gehäuse/Schutzleiter. Das Gehäuse liegt immer auch Schutzleiter, Schutzklasse 1.
10. Anschlussstecker Stromversorgung.

Stromversorgung

Der Potentiostat wird über ein Weitbereichsnetzteil versorgt. Das Netzteil wird an kann an 115V und 230V Netzen arbeiten. Die Speisespannung für den Potentiostaten beträgt 12V.

Die in dem Halter eingesetzte Sicherung hat einen Wert von 6A träge. Dies ist die Primärabsicherung des eingebauten Netzteils. Obwohl die Stromaufnahme des Gerätes normalerweise weit darunter liegt ist doch der Einschaltstrom so hoch, daß dieser Wert benötigt wird.

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 oder zwei Mess- (Arbeits) Elektrode gegen das Potential einer Bezugselektrode bei geöffnetem Stromkreis.
- Konstanthalten des Potentials der Meßelektrode(n) gegen die Bezugselektrode bei geschlossenem Stromkreis.
- Verändern des Potentials der Messelektrode(n) 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.

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:

Der **PGU-BI 1000** arbeitet nur noch im Netzbetrieb.

Mit dem Kippschalter **[31]** wird das Geräte eingeschaltet. Ist keine Meßzelle angeschlossen, so zeigt das Gerät möglicherweise ein unsinniges Potential an. Die Stromanzeige steht auf Null. Stellen Sie den Kippschalter **[2]** auf Ruhepotential (Open Loop), bevor Sie die Meßzelle anschließen. Damit ist sichergestellt, daß kein Strom die Zelle belastet.

Potentiostatische Messung

Den Kippschalter Open Loop/Cell current **[2]** auf Open Loop schalten.

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

Ist die Meßzelle angeschlossen, so zeigt das Digitalvoltmeter **[15]** das freie Korrosionspotential zwischen der Meßelektrode und der Bezugelektrode (Anzeige ohne Komma in mV). Es fließt kein Strom in der Zelle.

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

- 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, die Messung fortzusetzen.**

Hat sich ein stabiles Potential eingestellt so können Sie nun mit dem Kippschalter **[13]** die Polarität die das Ruhepotential der Elektrode hat, wählen. In den meisten Fällen wird das Ruhepotential zwischen ± 1000 mV sein. Nun drehen Sie das Sollwert-Potentiometer (**[16]**) nach rechts. Sie können den Wert an der Teilung des Potentiometers ablesen. Jedes Potentiometer kann ± 2 V einstellen, d.h. steht der Wert in dem kleinen Quadrat auf 1 und der äußere Ring auf Null dann entspricht das 200 mV.

Ist der Wert eingestellt, dann können Sie den Kippschalter Open Loop/Cell current **[2]** auf Cell current schalten. Nun ist der Regelkreis geschlossen und Sie können durch drehen des Potentiometers **[16]** in positive oder negative Richtung polarisieren (das Potenzial verändern).

Die Polarität bezieht sich dabei auf die Meßelektrode. Achten Sie auf die Anzeige des Strom-Instrumentes [8] und stellen Sie ggf. den I-Bereichsschalter [7] so, daß der Zeiger im oberen Bereich der Skala ist.

Die Indikator-LED hat die Funktion als Übersteuerungsanzeige. Leuchten die LED so ist die maximale Ausgangsspannung des Potentiostaten erreicht. In diesem Fall ist eine sichere Potenzialregelung nicht mehr gewährleistet. Außerdem wird die Aussteuerspannung auch noch an dem Instrument [3] angezeigt.

Zur Registrierung der Messung können Sie an die Buchsen U [12] und I [11] einen Kennlinien-Schreiber anschließen. An den Buchsen Sollpotential [28,29] können beliebige Sollspannungen wie z.B. Sinus, Dreieck, Rechteck der internen Sollspannung überlagert werden. Wollen Sie 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 Bezugselektrode darf ebenfalls nicht geerdet werden. Durch eine spezielle Schaltung wird die Kabelkapazität kompensiert.

Galvanostatische Messung

Der **PGU-BI 1000** kann mit der ersten Elektrode als Potentiostat oder Galvanostat eingesetzt werden, die zweite Elektrode arbeitet nur als Potentiostat und auch nur, wenn die erste Elektrode auch auf Potentiostat und auf Cell current ist. Soll das Gerät als Galvanostat arbeiten, so schalten Sie den Potentiostat zunächst auf Ruhepotential und prüfen Sie, daß die Potentiometer [16,30] auf Null sind. Alle weiteren Einstellungen/Messungen erfolgen per Software.

An den Buchsen Sollspannung [28,29] kann der Strom durch eine angelegte Sollspannung ± 0 bis 1000mV zusätzlich dynamisch gesteuert werden. Die internen Sollspannungsgeber [16,30] müssen dann auf 0 gestellt werden oder es wird ein Strom überlagert.

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

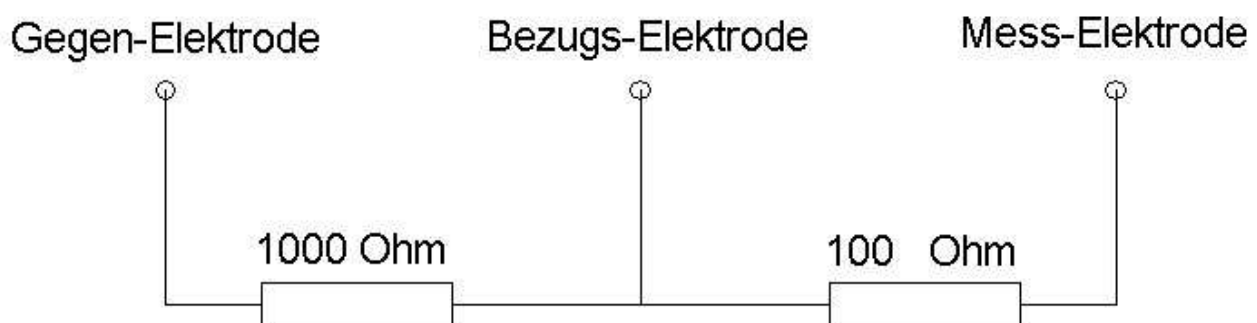


Abbildung 3

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

Nach dem Einschalten des Potentiostaten zeigt das DVM **[15]** 0 mV, wenn der Kippschalter **[2]** in Stellung Cell current geschaltet ist. Stellen Sie den I-Bereich **[7]** auf 10 mA und die Sollspannung **[16]** auf 1000 mV (Kontrolle am DVM [6]). Das μ A Meter **[8]** zeigt Vollausschlag und das Voltmeter **[3]** zeigt 11 V an. Das bedeutet, daß an dem 100 Ohm Widerstand der Ersatzzelle 1000 mV anliegen, der Strom ist:

$$\frac{1000 \text{ mV}}{100 \text{ Ohm}} = 10 \text{ mA}$$

die Ausgangsspannung ist dann:

$$U = 1100 \text{ Ohm} \times 10 \text{ mA} = 11 \text{ V}$$

Oder

$$V = 1 + \frac{R_1}{R_2} = 1 + \frac{1000}{100} = 11 \text{ V}$$

An den BNC-Buchsen Ausgang mißt man:

Am U-Ausgang **[12]** = 1000 mV

Am I-Ausgang **[11]** = 10.000 mV

Die eingebauten Instrumente zeigen:

- das Mikroamperemeter **[8]** Vollausschlag
- das DVM **[15]** 1000 mV
- das Voltmeter **[3]** 11 V.

IR-Kompensation

In der Zelle muß die Bezugs-Elektrode die das Potential gegen die Meßelektrode mißt in einem gewissen Abstand von der Meßelektrode angeordnet werden, da sonst keine Regelung möglich ist. Der Abstand sollte möglichst klein sein, darf aber nicht Null werden. Bei zu kleinem Abstand besteht auch die Gefahr der lokalen Abschirmung des elektrischen Feldes zwischen der Gegenelektrode und der Meßelektrode. Je nach Größe des Stromes der durch die Zelle fließt, erhält man eine Potentialverfälschung durch den Widerstand R_{Ω} , welcher im Regelkreis zwischen Bezugs-Elektrode und Meßelektrode liegt

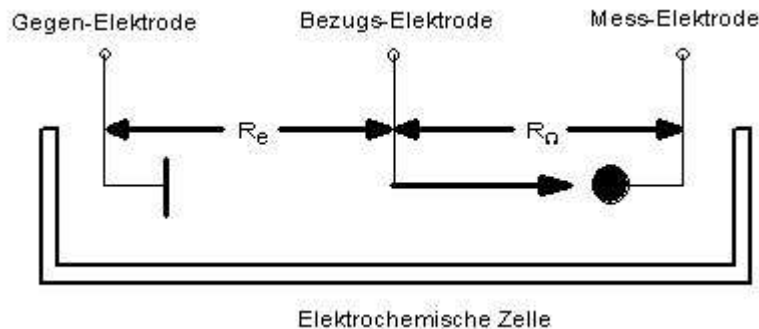


Abb. Elektrochemische Zelle

Der Elektrolytwiderstand wird mit R_e bezeichnet

Mit der IR-Kompensation kann durch die Mitkopplung im Regelkreis der Widerstand R_{Ω} fast vollständig eliminiert werden. An einer Ersatz Zelle zeigt ein einfacher Versuch, wie der Widerstand R_{Ω} kompensiert wird.

Schließen Sie eine Ersatzzelle mit folgenden Widerstandswerte an den Potentiostaten an:

$$R_e = 1000 \text{ Ohm}, \quad R_{\Omega} = 50 \text{ Ohm}, \quad R_d = 50 \text{ Ohm}$$

Schalten Sie den Potentiostaten in die Betriebsart Potentiostat **[10]** und auf I-Zelle **[2]**. Stellen Sie mit dem Potentiometer **[16]** eine Sollspannung von 500 mV ein (Kontrolle am DVM **[15]**).

Durch die Ersatzzelle fließt jetzt ein Strom von 5 mA. Bei diesem Beispiel verursacht der Widerstand R_{Ω} einen Fehler von 250 mV. Schalten Sie nun die IR-Kompensation **[5]** ein und drehen Sie das Potentiometer IR-KOMP **[6]** hoch bis am R_d Widerstand (Fühlerleitung gegen Erde) 500 mV eingestellt sind.

Ergebnis:

Durch die Ersatz-Zelle fließt nun ein Strom von 10 mA. Das eingebaute DVM zeigt 1000 mV, R_{Ω} ist kompensiert.

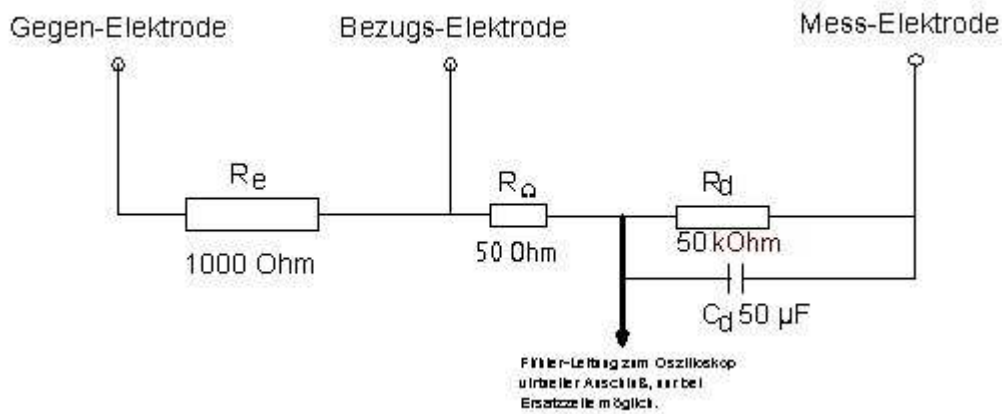


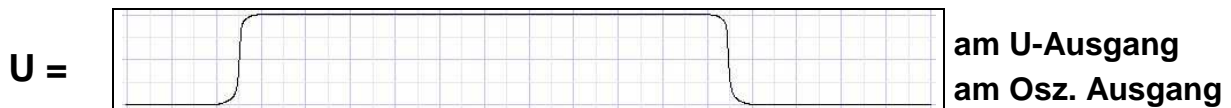
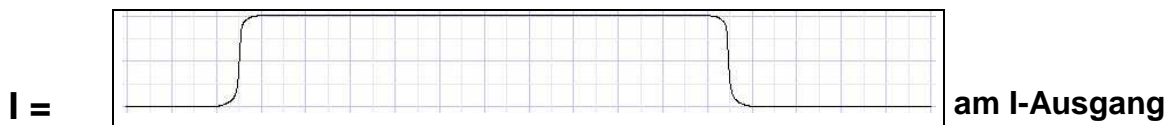
Abb. Ersatz Zelle mit Fühlerleitung

Eine Ersatzzelle mit den Werten

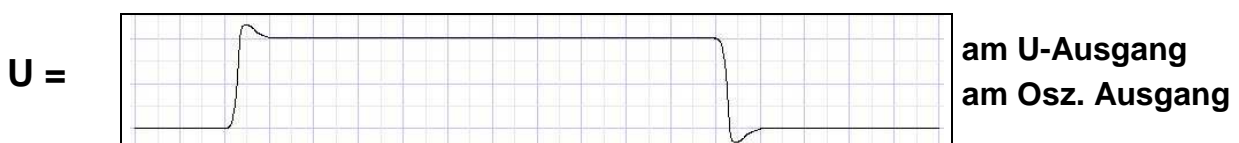
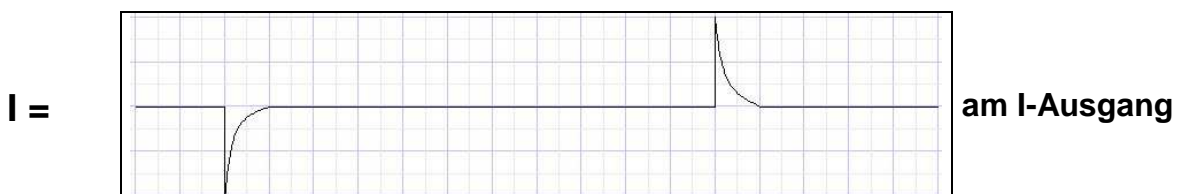
$$R_e = 1000 \text{ Ohm}, R_{\Omega} = 50 \text{ Ohm}, R_d = 50 \text{ K Ohm} \text{ und } C_d = \text{ca. } 50 \mu\text{F}$$

kann einer Elektrochemischen Meßzelle entsprechen.

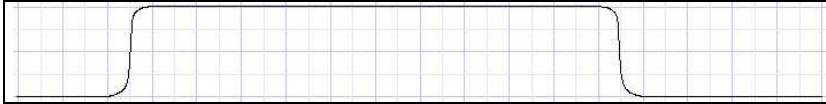
Legen Sie am U-Eingang ein Rechtecksignal mit einer Amplitude zwischen 100 und 500 mV mit einer Frequenz zwischen 100 und 500 Hz an. Am Oszilloskop sieht man ohne IR-Kompensation folgendes Bild:



Nach Einschalten der IR-Kompensation und aufdrehen am Potentiometer wird



U =



An der Fühler-Leitung.
Damit ist R_{Ω} eliminiert.

Beim weiteren aufdrehen des Potentiometers IR-Kompensation **[6]** neigt das Gerät zum schwingen (Überkompensation).

Dieser Punkt wird bei der echten elektrochemischen Zelle, bei der keine Fühler-Leitung angeschlossen werden kann, als Indikator benutzt. Tritt das Überschwingen auf, ist das Potentiometer IR-Kompensation etwas zurückzudrehen. Nun ist R_{Ω} praktisch eliminiert.

Zwischenzeitlich die die manuelle Form der IR-Kompensation überholt. Ist der Widerstand bekannt, dann kann in der Software dieser Wert eingetragen und die IR-Kompensation eingeschaltet werden. Die Software EcmWin regelt dies dann vollautomatisch. Der Anwender bekommt das richtige Potenzial angezeigt. Bei Geräten mit eingebauten Instrumenten kann das Instrument ein anderes Potenzial anzeigen als die Software. Das Instrument zeigt das Sollpotenzial + das IR-Potenzial an.

Computer-Unterstützung

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

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

Elektrische Daten

Aufbau:	
• Instrumente zur Potentialmessung	Digital, 3 ½ stellig, ± 1999 mV
• Instrument U-Ausgang Gegen-Elektrode Mess-Elektrode	Indikator LED und Analoganzeige der Aussteuer-Spannung
• Instrumente zur Strommessung	analog, 0 - ± 100%, proportional zum eingestellten I-Bereich
• Sollspannung Potentiostat	2 Eingänge für extern, 2 Sollspannungsgeber intern, je 1 Eingang/Geber für die ersten und je einer für die zweite Elektrode.
• Sollspannung Galvanostat	Die gleichen Elemente wie für die erste Elektrode Potentiostat
• I-Bereich	manuell, 11 Bereiche erste Elektrode, 11 Bereiche 2. Elektrode.
• Betriebsart Potentiostat/Galvanostat	Automatisch
• U-Ruhe/I-Zelle	Manuell und automatisch
• empfohlener Frequenzbereich	0 bis 10 kHz (je nach eingestelltem Strombereich)
• IR-Kompensation	Ja, nur per Software
Maße: (BxHxT)	

Aussteuerbereich	Intern
• U-Soll für Potential	± 2000 mV links und ± 2000 mV rechts
• U-Soll für I-Konstant	± 1000 mV
	Sollspannung fremd
• U-Eingang	± 10 V
• I-Eingang	Gleiche Eingangs-Buchse max ± 1 V für Vollaussteuerung
	Ausgänge
• U-Ausgang	± 10 V
• I-Ausgang	± 100mA max. als proportionales Spannungssignal
Ein-/Ausgangswiderstände	
Innenwiderstand der Strommessung	Ca. 10 ⁻⁴ Ω
Eingangswiderstand Bezugs-elektrode	Ca. 10 ¹⁴ Ω
Eingangswiderstand Sollspannung fremd	10 KΩ (U- / I-Eingang)
Anstiegsgeschwindigkeit	1.000V/sec.
Strommessung	Analog
• I-Bereiche	1000mA bis 100pA
• Genauigkeit	0,25 % (die beiden unteren Bereiche 0,5%)
• I-Ausgang	11 Bereiche, 10000mV
Spannungsmessung	Analog
• U-Ausgang	± 10V, 0,25%
• Digitalvoltmeter	3 ½ stellig, bis ± 1999 mV, 0,25%
U-Gegen Elektrode-Mess-Elektrode	± 11 V
Nullpunktstabilität:	
• Bei Netzschwankung um 10%	Ca. 100 µV
Brumm-Rauschen	Ca. 200 µV (50 Hz)
Drift	Ca. 500 µV/Tag Ca. 100 µV/°C
Phasenverschiebung	
Log. Ausgang	Nein
Automatische I-Bereichsumschaltung	Ja