

Brennstoffzelle

Bestimmung von Leckströmen

t [hh:mm:ss]	Delta_t [s]	t [s]	H_2-Stand
14:39:45	00:00:00	0	62
14:42:00	00:02:15	135	60
14:44:45	00:05:00	300	58
14:46:35	00:06:50	410	56
14:49:15	00:09:30	570	54
14:51:30	00:11:45	705	52
14:54:00	00:14:15	855	50

Regressionsgerade (vgl. Sheet Regression_A)		
		Fehler
a0	61,98114711	0,104205506
a1	-0,014073287	0,000203845 ml H2 / sec
Luftdruck [Pa]	101300	15000
Temperatur [K]	293	4
Molvolumen	0,02404885	0,003889346
Gasmenge / s	-5,85196E-07	-8,61656E-08
I_Leck [A]	0,1129428	0,016629965

Kennlinien ohne Volumenstrombeschränkung - Parallelschaltung

Leerlauf	U [V]	0,888
Kurzschluss	U [V]	0,345
	I [A]	4,65
	P [W]	1,60425

Messreihe1 (verworfen)		Messreihe 2		Messreihe 3	
U [V]	I [A]	U [V]	I [A]	U [V]	I [A]
0,589	1,3	0,637	1,42	0,641	1,42
0,626	1,05	0,671	1,12	0,675	1,12
0,7	0,61	0,732	0,63	0,734	0,64
0,755	0,32	0,778	0,33	0,78	0,33
0,778	0,22	0,798	0,23	0,8	0,23
0,794	0,16	0,812	0,16	0,815	0,16
0,82	0,08	0,841	0,08	0,843	0,08
0,839	0,04	0,86	0,04	0,862	0,04
0,855	0,01	0,874	0,01	0,876	0,01
0,861	0	0,88	0,01	0,882	0

Mittelwerte (nur 2. Und 3.)				
Messgeräte:	U-Messung	0,1 % + 1 Digit		
	I-Messung	0,2 % + 1 Digit		
	U [V]	Delta_U [V]	I [A]	Delta_I [A]
	0,639	0,005315955	1,42	0,01284
	0,673	0,005349955	1,12	0,01224
	0,733	0,003571478	0,635	0,020462388
	0,779	0,003617478	0,33	0,01066
	0,799	0,003637478	0,23	0,01046
	0,8135	0,004571216	0,16	0,01032
	0,842	0,003680478	0,08	0,01016
	0,861	0,003699478	0,04	0,01008

Leistung
P [W]
0,90738
0,75376
0,465455
0,25707
0,18377
0,13016
0,06736
0,03444

0,875	0,003713478	0,01	0,01002
0,881	0,003719478	0,005	0,019202388

0,00875
0,004405

Regressionsgerade für Innenwiderstand aus den ersten 5 Messwerten (vgl. Sheet Regression_B):

		Fehler
a0	0,823849041	0,004803165
a1	-0,132863509	0,005483819
R_innen [Ohm]	0,132863509	0,005483819

Bei den hohen Strömen arbeitet hauptsächlich die erste Zelle, da für die zweite nicht genügend H2 übrig ist. Damit wird der Widerstand nicht halbiert wie bei Parallelschaltung von zwei Widerständen zu erwarten wäre.
 ==> $2 \cdot R_{\text{innen}}(\text{parallel}) > R_{\text{innen}}(\text{seriell}) / 2$

Tafelgleichung

U / ln(I) - Diagramm

$U_{\text{korr}} = U + 2 \cdot R_{\text{innen}} \cdot I$ (1 Zelle)

U_korr [V]	ln (I)
1,016332364	0,350656872
0,970614259	0,113328685
0,901736656	-0,45413028
0,866689916	-1,108662625
0,860117214	-1,46967597
0,856016323	-1,832581464
0,863258161	-2,525728644
0,871629081	-3,218875825
0,87765727	-4,605170186
0,882328635	-5,298317367

Regressionsgerade für die drei höchsten Spannungen (vgl. Sheet Regression_C):

X-Variable: Ln I; Y-Variable: U

		Fehler
a0	0,855196413	0,002637801
a1	-0,005031544	0,000591603
alpha=RT/(F*a1)	5,017358967	0,589935244
		0,117578839 %
$I_0 = \exp(a_0 \cdot \alpha \cdot F / (R \cdot T))$	6,54227E+73	

Kennlinien ohne Volumenstrombeschränkung - Reihenschaltung

Leerlauf	U [V]	1,836
Kurzschluss	U [V]	0,316
	I [A]	4,83
	P [W]	1,52628

Messreihe 1		Messreihe 2		Messreihe 3	
U [V]	I [A]	U [V]	I [A]	U [V]	I [A]
0,897	2,02	0,877	1,99	0,865	1,95
0,991	1,69	0,979	1,67	0,965	1,64
1,219	1,07	1,183	1,04	1,176	1,03
1,405	0,6	1,379	0,59	1,371	0,59
1,478	0,42	1,451	0,42	1,446	0,41
1,528	0,31	1,51	0,31	1,499	0,31
1,621	0,16	1,6	0,15	1,593	0,15

1,679	0,08	1,662	0,08	1,656	0,08
1,736	0,03	1,72	0,03	1,715	0,03
1,771	0,01	1,756	0,01	1,753	0,01

Mittelwerte

Messgeräte:	U-Messung	0,1 % + 1 Digit	I-Messung	0,2 % + 1 Digit
	U [V]	Delta_U [V]	I [A]	Delta_I [A]
	0,879666667	0,01416568	1,986666667	0,040663656
	0,978333333	0,011868072	1,666666667	0,032459581
	1,192666667	0,019727653	1,046666667	0,027913995
	1,385	0,015895056	0,593333333	0,015574529
	1,458333333	0,015541228	0,416666667	0,015221195
	1,512333333	0,01363883	0,31	0,010620004
	1,604666667	0,01367913	0,153333333	0,014694529
	1,665666667	0,011732735	0,08	0,010160001
	1,723666667	0,011060605	0,03	0,01006
	1,76	0,010089175	0,01	0,01002

Leistung		Wirkungsgrad	
P [W]	Delta_P [W]	etha_tech	Delta_etha
1,747604444	0,02814838	0,296810606	0,009559358
1,630555556	0,019783871	0,330101981	0,008008874
1,248324444	0,020655618	0,402420746	0,013312717
0,821766667	0,009434315	0,467316434	0,010726384
0,607638889	0,006479831	0,492060023	0,010487612
0,468823333	0,004230518	0,510280303	0,009203826
0,246048889	0,002107076	0,541434732	0,009231021
0,133253333	0,000946158	0,5620169	0,007917545
0,05171	0,000349977	0,58158683	0,007463974
0,0176	0,000142825	0,593846154	0,006808429

Regressionsgerade für Innenwiderstand aus den ersten 5 Messwerten (vgl. Sheet Regression_B):

		Fehler
a0	1,601227057	0,015739275
a1	-0,3699011	0,012182489
R_innen [Ohm]	0,3699011	0,012182489

Tafelgleichung

U / ln(I) - Diagramm

U_korr = (U + R_innen * I)/2 (1 Zelle)

U_korr [V]	ln (I)
0,807268426	0,686458192
0,797417584	0,510825624
0,789914909	0,045610511
0,802237326	-0,521998924
0,806229396	-0,875468737
0,813501337	-1,171182982
0,830692418	-1,875141078
0,847629377	-2,525728644
0,86738185	-3,506557897
0,881849506	-4,605170186

Regressionsgerade für die sieben höchsten Spannungen (vgl. Sheet Regression_C):
X-Variable: Ln I; Y-Variable: U

		Fehler
a0	0,791010266	0,002540894
a1	-0,020717737	0,000993247
alpha=RT/(F*a1)	1,218524089	0,058418319
		0,047941866 %
I0 = exp(a0 * alpha * F / (R*T))	3,81515E+16	

Kennlinien mit Volumenstrombeschränkung - Reihenschaltung

Messreihe1					
I_Elektrolys [A]		1	Gesamtwirkungsgrad =		
U_Elektrolys [V]		2	U_Zelle*I_Zelle/(U_EI*I_EI)		
U_Leerlauf	1,83				
I_Kurzschluss	0,46				
U_Kurzschluss	0,03				
U [V]	I [A]	I_korr [A]	P [W]	etha_gesamt	
0,2	0,45	0,5629428	0,09	0,045	
0,27	0,46	0,5729428	0,1242	0,0621	
0,515	0,45	0,5629428	0,23175	0,115875	
1,023	0,44	0,5529428	0,45012	0,22506	
1,385	0,4	0,5129428	0,554	0,277	
1,492	0,31	0,4229428	0,46252	0,23126	
1,596	0,15	0,2629428	0,2394	0,1197	
1,665	0,08	0,1929428	0,1332	0,0666	
1,728	0,03	0,1429428	0,05184	0,02592	
1,762	0,01	0,1229428	0,01762	0,00881	

Messreihe 2					
I_Elektrolys [A]		3			
U_Elektrolys [V]		2			
U_Leerlauf	1,82				
I_Kurzschluss	1,44				
U_Kurzschluss	0,093				
U [V]	I [A]	I_korr [A]	P [W]	etha_gesamt	
0,635	1,44	1,5529428	0,9144	0,1524	
0,838	1,43	1,5429428	1,19834	0,199723333	
1,217	1,06	1,1729428	1,29002	0,215003333	
1,401	0,6	0,7129428	0,8406	0,1401	
1,471	0,42	0,5329428	0,61782	0,10297	
1,522	0,31	0,4229428	0,47182	0,078636667	
1,612	0,15	0,2629428	0,2418	0,0403	
1,675	0,08	0,1929428	0,134	0,022333333	
1,733	0,03	0,1429428	0,05199	0,008665	
1,766	0,01	0,1229428	0,01766	0,002943333	

Regression zur Bestimmung der Leckströme

Regression Statistics	
Multiple R	-0,999475908
R Square	0,99895209
Adjusted R Square	0,998742508
Standard Error	0,153209599
Observations	7

	df	SS	MS	F	Significance of F
Regression	1	111,8826341	111,8826341	4766,402715	#WERT!
Residual	5	0,117365905	0,023473181		
Total	6	112			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 68%	Upper 68%
Intercept	61,98114711	0,104205506	594,7972375	2,54945E-13	61,86613879	62,09615542
Area 1	-0,014073287	0,000203845	-69,03913901	1,999999988	-0,014298265	-0,01384831

Regression für Bestimmung der Innenwiderstände (Parallelschaltung, nur 5 Werte):

Regression Statistics	
Multiple R	-0,997454429
R Square	0,994915337
Adjusted R Square	0,993220449
Standard Error	0,005607939
Observations	5

	df	SS	MS	F	Significance of F
Regression	1	0,018460853	0,018460853	587,0096139	#WERT!
Residual	3	9,43469E-05	3,1449E-05		
Total	4	0,0185552			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 68%	Upper 68%
Intercept	0,823849041	0,004803165	171,5221217	4,36976E-07	0,818138417	0,829559665
Area 1	-0,132863509	0,005483819	-24,22828128	1,999845885	-0,139383382	-0,126343635

Regression für Bestimmung der Innenwiderstände (Reihenschaltung, nur 5 Werte):

Regression Statistics	
Multiple R	-0,998376943
R Square	0,996756521
Adjusted R Square	0,995675361
Standard Error	0,016457496
Observations	5

	df	SS	MS	F	Significance of F
Regression	1	0,249704697	0,249704697	921,932695	#WERT!
Residual	3	0,000812547	0,000270849		
Total	4	0,250517244			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 68%	Upper 68%
Intercept	1,601227057	0,015739275	101,7344895	2,0937E-06	1,58251417	1,619939943
Area 1	-0,3699011	0,012182489	-30,3633446	1,999921525	-0,384385219	-0,355416982

Regression für Tafelgleichung (Reihenschaltung) für EINE Zelle

Regression Statistics	
Multiple R	-0,994303
R Square	0,988638455
Adjusted R Square	0,986366146
Standard Error	0,003624683
Observations	7

	df	SS	MS	F	Significance of F
Regression	1	0,005716238	0,005716238	435,0810074	#WERT!
Residual	5	6,56917E-05	1,31383E-05		
Total	6	0,00578193			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 68%	Upper 68%
Intercept	0,791010266	0,002540894	311,3118392	6,49049E-12	0,788205963	0,79381457
Area 1	-0,020717737	0,000993247	-20,85859553	1,999995309	-0,021813953	-0,019621522

Regression für Tafelgleichung (Parallelschaltung) für EINE Zelle

Regression Statistics	
Multiple R	-0,993158464
R Square	0,986363735
Adjusted R Square	0,97272747
Standard Error	0,000885848
Observations	3

	df	SS	MS	F	Significance of F
Regression	1	5,67623E-05	5,67623E-05	72,33386342	#WERT!
Residual	1	7,84727E-07	7,84727E-07		
Total	2	5,75471E-05			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 68%	Upper 68%
Intercept	0,855196413	0,002637801	324,2081196	0,001963608	0,850398271	0,859994554
Area 1	-0,005031544	0,000591603	-8,504931712	1,925489095	-0,006107666	-0,003955422