

# ZUSAMMENHANG ZWISCHEN DER STRUKTUR UND DEN PHYSIKALISCHEN EIGENSCHAFTEN DES GLASES

## II. MITTEILUNG

Von

I. NÁRAY-SZABÓ

CHEMISCHES ZENTRALFORSCHUNGSINSTITUT DER UNGARISCHEN AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN,  
BUDAPEST

(Vorgelegt von P. Gombás. — Eingegangen: 15. XI. 1957)

In Verfolgung der in der I. Mitteilung erkannten Gesetzmässigkeiten wurden Gleichungen für das Sauerstoffionenvolumen in Gläsern mit vier und mehr Komponenten angegeben, die endlich zu 4 Gleichungen zusammengezogen werden können. Diese gelten 1. für Gläser auf Natronsilikatgrundlage, 2. für Gläser auf Kalisilikatgrundlage, 3. für Gläser auf Natronborosilikatgrundlage und 4. für Gläser auf Kaliborosilikatgrundlage. Mit diesen Gleichungen kann man das Sauerstoffionenvolumen und damit die Dichte von Gläsern, deren Zusammensetzung zwischen gewissen Grenzen bleibt, mit befriedigender Genauigkeit berechnen.

### Das Sauerstoffionenvolumen in Silikatgläsern mit vier oder mehr Komponenten

Wie in der ersten Mitteilung dieser Reihe [1] gezeigt wurde, kann man für das Volumen  $v$ , welches im Glas von einem  $O^{2-}$ -Ion in Anspruch genommen wird, einfache lineare Gleichungen angeben, die aus der Zusammensetzung die Berechnung dieses Volumens mit ziemlicher Genauigkeit gestatten. Für Gläser mit zwei oder drei Komponenten konnte hierfür ein Beweis erbracht werden. Bei der Fortsetzung dieser Arbeit habe ich gefunden, dass solche Gleichungen auch für Gläser mit mehr als drei Komponenten aufgestellt werden können.

Die Grundgleichungen bleiben diejenigen der I. Mitteilung u. zw. für Natronsilikatgläser

$$v = 3,8 R + 14,9$$

und für Kalisilikatgläser

$$v = 12 R - 1,2.$$

(R ist  $O/Si+B+Al+\dots$ )

Bei der Einführung von weiteren Komponenten in das Glas werden diese Grundgleichungen in derselben Weise modifiziert wie bei den Gläsern mit drei Komponenten, d. h. proportional den eingeführten Grammionen. Die Proportionalitätsfaktoren sind für jedes Ion charakteristisch, sie bleiben in Gläsern auf Natronsilikatgrundlage konstant und unabhängig von der Gegenwart anderer Komponenten. Für Kalisilikatgläser gelten wieder andere, von einander unabhängige, konstante Faktoren. Die Prüfung dieser Zusammenhänge an dem vorhandenen experimentellen Material hat erwiesen, dass sie

zwischen gewissen Grenzen gültig sind. Bei Natronborosilikatgläsern muss auch der Natriumgehalt in Betracht gezogen werden, und die additive Konstante wird durch die Anwesenheit gewisser Ionen etwas modifiziert.

Betrachten wir zunächst die Natronsilikatgläser, die zwei Alkaliionen und ein Erdalkaliion enthalten. Tabelle 1 zeigt Natrium—Lithium—Calciumsilikatgläser. Die mit einem Stern versehenen chemischen Symbole bedeuten jeweils die Zahl der Grammionen des betreffenden Elements in 100 g Glas.

Tabelle 1

Na<sub>2</sub>O—Li<sub>2</sub>O—CaO—SiO<sub>2</sub>—Gläser (2)

SiO <sub>2</sub> %	Na <sub>2</sub> O%	Li <sub>2</sub> O%	Li <sub>2</sub> O Mole	CaO%	CaO Mole	Dichte g/cm <sup>3</sup>	Volum von 100 g Glas cm <sup>3</sup>	O <sup>2-</sup> -Grammionen pro 100 g	R	Volumen pro O <sup>2-</sup> -Ion Å <sup>3</sup>		Diff.
										gem.	ber.	
74,89	0	15	0,500	10,02	0,179	2,454	40,75	3,169	2,542	21,32	21,26	—0,06
74,94	2	13	0,433	9,94	0,178	2,456	40,72	3,137	2,513	21,57	21,48	—0,09
74,96	4	11	0,367	10,08	0,180	2,463	40,60	3,106	2,491	21,70	21,70	±0
75,02	6	9	0,300	10,00	0,179	2,466	40,55	3,072	2,462	21,91	21,92	+0,01
75,14	9	6	0,200	9,93	0,177	2,475	40,40	3,022	2,418	22,19	22,25	+0,06
74,96	11	4	0,133	10,02	0,179	2,484	40,26	2,983	2,392	22,40	22,43	+0,03
75,10	13	2	0,067	9,91	0,177	2,484	40,26	2,954	2,363	22,62	22,68	+0,06
75,00	14	1	0,033	10,25	0,183	2,482	40,29	2,938	2,354	22,76	22,77	+0,01
75,08	14,75	0	0	10,22	0,183	2,482	40,29	2,919	2,337	22,91	22,86	—0,05

Die mit der Gleichung

$$v = 3,8 R - 2,4 Li^* - 5 Ca^* + 14,9 \quad (1)$$

berechneten Werte zeigen eine maximale Abweichung von 0,42% gegenüber den gemessenen im Bereich von  $R = 2,337 - 2,542$ .

Natrium—Kalium—Calciumsilikatgläser enthält die Tabelle 2.

Tabelle 2

Na<sub>2</sub>O—K<sub>2</sub>O—CaO—SiO<sub>2</sub>—Gläser (3)

SiO <sub>2</sub> %	Na <sub>2</sub> O%	K <sub>2</sub> O%	K <sub>2</sub> O Mole	CaO%	CaO Mole	Dichte g/cm <sup>3</sup>	Volum von 100 g Glas cm <sup>3</sup>	O <sup>2-</sup> -Grammionen pro 100 g	R	Volumen pro O <sup>2-</sup> -Ion Å <sup>3</sup>		Diff.
										gem.	ber.	
75,07	12,94	1,94	0,020	9,98	0,178	2,477	40,37	2,906	2,327	23,06	23,03	+0,03
75,02	11,06	4,12	0,044	9,87	0,176	2,473	40,44	2,894	2,319	23,19	23,19	±0
75,04	8,97	6,11	0,065	10,03	0,179	2,467	40,54	2,885	2,312	23,31	23,32	+0,01
74,97	5,98	9,00	0,096	10,00	0,179	2,460	40,65	2,867	2,298	23,52	23,51	—0,01
74,86	4,13	11,17	0,119	10,07	0,180	2,454	40,75	2,858	2,293	23,66	23,67	—0,01
75,15	1,85	13,04	0,138	10,13	0,181	2,442	40,95	2,850	2,280	23,84	23,78	—0,06

Kalium übt auf Natronsilikatglas eine ausdehnende Wirkung aus, entsprechend der Gleichung

$$v = 3,8 R + 4 K^* - 5 Ca^* + 14,9 \tag{2}$$

mit einem maximalen Fehler von 0,25% im Bereich von  $R = 2,280 - 2,327$ . Einfache Natron-Kalisilikatgläser wurden noch nicht untersucht, doch ist der Faktor, welcher aus obenstehenden Gläsern abgeleitet wurde, auch für andere Gläser mit Natronsilikatunterlage gültig.

Bariumhaltige Natron-Kalisilikatgläser sind in Tabelle 3 angeführt.

**Tabelle 3**

Na<sub>2</sub>O—K<sub>2</sub>O—BaO—SiO<sub>2</sub>—Gläser (4)

SiO <sub>2</sub> %	Na <sub>2</sub> O%	K <sub>2</sub> O%	K <sub>2</sub> O Mole	BaO%	BaO Mole	Dichte g/cm <sup>3</sup>	Volum von 100 g Glas cm <sup>3</sup>	O <sup>2-</sup> -Grammionen pro 100 g	R	Volumen pro O <sup>2-</sup> -Ion Å <sup>3</sup>		Diff.
										gem.	ber.	
70	12,5	12,5	0,133	5	0,033	2,528	39,56	2,698	2,316	24,33	24,49	+0,15
70	10	10	0,106	10	0,065	2,545	39,29	2,662	2,285	24,50	24,16	-0,34
70	7,5	7,5	0,080	15	0,098	2,634	37,97	2,629	2,257	23,96	23,82	+0,14
65	12,5	12,5	0,133	10	0,065	2,652	37,71	2,564	2,370	24,40	24,70	+0,30
65	10	10	0,106	15	0,098	2,705	36,97	2,529	2,337	24,26	24,34	+0,08
65	7,5	7,5	0,080	20	0,130	2,752	36,34	2,495	2,306	24,17	23,99	-0,18
60	10	10	0,106	20	0,130	2,834	35,29	2,393	2,398	24,47	24,55	+0,08
60	7,5	7,5	0,080	25	0,163	2,881	34,71	2,360	2,365	24,13	24,20	+0,07
60	5	5	0,053	30	0,196	2,949	33,91	2,336	2,341	24,09	23,87	+0,22
50	10	10	0,106	30	0,196	3,038	32,92	2,127	2,556	25,69	25,11	-0,58
50	7,5	7,5	0,080	35	0,228	3,227	30,99	2,093	2,516	24,58	24,74	+0,16

Die Gleichung

$$v = 3,8 R + 4 K^* - 0,5 Ba^* + 14,65 \tag{3}$$

ergibt einen maximalen Fehler von 1,39% für  $R = 2,257 - 2,516$ . Über  $R = 2,516$  nehmen die Abweichungen von Gl. (3) zu und bei einem BaO-Gehalt von über 40% ist die Gleichung nicht mehr brauchbar.

Magnesium- und calciumhaltige Natrongläser finden wir in Tabelle 4.

Für diese Gläser gilt die Gleichung

$$v = 3,8 R - 5 Mg^* - 5 Ca^* + 14,9 \tag{4}$$

mit einem maximalen Fehler von 0,52% im Bereich von  $R = 2,307 - 2,325$ .

Es wurden auch strontium- und aluminiumhaltige Natrongläser dargestellt, die in Tabelle 5 ersichtlich sind.

Tabelle 4

Na<sub>2</sub>O—MgO—CaO—SiO<sub>2</sub>—Gläser (5)

SiO <sub>2</sub> %	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	Na <sub>2</sub> O %	MgO %	MgO Mole	CaO %	CaO Mole	O <sup>2-</sup> - Gramm- ionen pro 100 g Glas	Dichte g/cm <sup>3</sup>	Volum von 100 g Glas	R	Volumen pro O <sup>2-</sup> -Ion, Å <sup>3</sup>		Diff.
											gem.	ber.	
74,76	1,01	14,84	1,64	0,041	7,52	0,134	2,932	2,467	40,58	2,320	22,97	22,85	—0,12
74,74	1,08	14,98	2,58	0,064	6,43	0,115	2,942	2,454	40,70	2,323	22,96	22,84	—0,12
75,58	0,94	14,48	3,66	0,091	5,48	0,098	2,966	2,450	40,82	2,325	22,84	22,80	—0,04
76,32	0,94	14,58	4,10	0,102	3,82	0,068	2,972	2,436	41,05	2,307	22,92	22,82	—0,10
76,00	0,98	14,98	4,85	0,120	3,14	0,056	2,977	2,426	41,22	2,317	22,91	22,83	—0,08

Tabelle 5

Na<sub>2</sub>O—SrO—Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>—SiO<sub>2</sub>—Gläser (6)

SiO <sub>2</sub> %	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	Na <sub>2</sub> O%	SrO%	SrO Mole	Dichte g/cm <sup>3</sup>	Volumen von 100 g Glas cm <sup>3</sup>	O <sup>2-</sup> - Gramm- ionen pro 100 g	R	Volumen pro O <sup>2-</sup> -Ion, Å <sup>3</sup>		Diff.
									gem.	ber.	
74,7	2,0	17,1	6,0	0,058	2,480	40,32	2,880	2,245	23,24	23,26	+0,02
70,5	2,0	17,3	10,1	0,097	2,557	39,11	2,782	2,293	23,34	23,33	—0,01
66,6	2,1	17,3	13,6	0,131	2,636	37,94	2,689	2,338	23,42	23,40	—0,02
74,8	4,0	17,2	4,0	0,039	2,452	40,78	2,923	2,209	23,16	23,17	+0,01
70,6	4,0	17,2	8,0	0,077	2,536	39,43	2,821	2,251	23,19	23,22	+0,03
66,8	4,0	17,2	11,7	0,113	2,606	38,37	2,731	2,295	23,33	23,29	—0,04
76,1	2,0	15,8	6,1	0,059	2,467	40,54	2,906	2,225	23,15	23,18	+0,03
72,2	2,1	15,5	10,1	0,097	2,546	39,28	2,812	2,262	23,19	23,21	+0,02
68,0	2,0	15,7	14,0	0,135	2,625	38,10	2,712	2,314	23,32	23,30	—0,02
74,3	4,1	15,5	6,1	0,059	2,478	40,36	2,901	2,204	23,09	23,10	+0,01
70,1	4,1	15,5	10,1	0,097	2,554	39,15	2,799	2,246	23,22	23,15	+0,07
66,1	4,1	15,5	14,0	0,135	2,633	37,98	2,705	2,292	23,32	23,21	—0,11
77,7	2,1	13,9	6,1	0,059	2,449	40,98	2,942	2,204	23,11	23,10	—0,01
73,5	2,0	14,1	10,0	0,097	2,526	39,59	2,830	2,241	23,22	23,15	—0,07
69,6	2,0	14,1	13,9	0,134	2,609	38,33	2,737	2,285	23,24	23,19	—0,05
75,4	4,0	14,2	6,1	0,059	2,464	40,58	2,915	2,187	23,11	23,04	—0,07
71,5	4,1	14,2	10,0	0,097	2,538	39,40	2,826	2,225	23,14	23,07	—0,07
67,9	4,1	14,2	13,9	0,134	2,616	38,23	2,743	2,267	23,13	23,12	—0,01

Hier ist die Gleichung

$$v = 3,8 R - 3 Sr^* + 14,9 \quad (5)$$

gültig, wo Aluminium natürlich zu den gerüstbildenden Ionen zu rechnen ist. Der maximale Fehler beträgt 0,47% im Bereich von  $R = 2,187 - 2,338$ .

Eisenhaltige Gläser enthalten immer Ferro- und Ferriion nebeneinander ; solche Gläser sind in Tabelle 6 ersichtlich.

Tabelle 6  
 $\text{Na}_2\text{O}-\text{FeO}-\text{Fe}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ -Gläser (7)

SiO <sub>2</sub> %	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	Na <sub>2</sub> O %	FeO %	FeO Mole	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Mole	Dichte g/cm <sup>3</sup>	Volumen von 100 g Glas cm <sup>3</sup>	O <sup>2-</sup> - Gramm- ionen pro 100 g	R	Volumen pro O <sup>2-</sup> -Ion, Å-		Diff.
											gem.	ber.	
72,18	0,41	24,00	0,63	0,009	2,21	0,014	2,481	40,31	2,852	2,375	23,46	23,56	+0,10
71,33	0,58	21,42	0,84	0,012	4,84	0,030	2,515	39,76	2,839	2,391	23,25	23,38	+0,13
69,02	0,70	22,42	1,05	0,015	6,52	0,041	2,540	39,37	2,827	2,463	23,12	23,24	+0,12
70,00	0,80	17,48	1,05	0,015	9,95	0,062	2,546	39,28	2,836	2,434	22,99	22,89	-0,10
69,25	1,01	17,25	1,89	0,026	10,16	0,064	2,565	38,99	2,830	2,456	22,86	23,08	+0,22
66,63	0,66	15,40	1,78	0,025	15,42	0,096	2,580	38,76	2,798	2,524	22,99	23,01	+0,02
65,64	0,42	14,46	4,20	0,058	15,03	0,094	2,599	38,48	2,768	2,535	23,07	22,96	-0,11
63,72	0,97	13,72	3,88	0,054	17,19	0,108	2,620	38,17	2,747	2,592	23,06	22,94	-0,12
63,69	0,86	11,57	3,36	0,047	20,50	0,128	2,633	37,98	2,763	2,607	22,81	22,80	-0,01
62,97	0,52	10,67	3,99	0,056	21,90	0,134	2,644	37,82	2,741	2,617	22,90	22,82	-0,08

Die Gleichung

$$v = 3,8 R - 4 \text{ Fe}^{\text{II}*} - 6,5 \text{ Fe}^{\text{III}*} + 14,8 \quad (6)$$

ergibt bei diesen Gläsern  $v$  mit einem maximalen Fehler von 0,96% im Bereich von  $R = 2,363 - 2,625$ . Man sieht, dass Ferrieisen eine stärkere zusammenziehende Wirkung besitzt als Ferroeisen.

Natrongläser, die auch Kalium und Blei enthalten, finden sich in Tabelle 7.

Die Gleichung

$$v = 3,8 R + 4 \text{ K}^* + 0,5 \text{ Pb}^* + 14,9 \quad (7)$$

gibt eine maximale Abweichung gegen die gemessenen Werte von 0,64% im Bereich von  $R = 2,268 - 2,400$ ; darüber hinaus werden die Abweichungen höher.

Kaligläser mit zwei anderen Kationen wurden ebenfalls berechnet. Tabelle 8 enthält solche mit Lithium- und Calciumgehalt.

Tabelle 7

Na<sub>2</sub>O—K<sub>2</sub>O—PbO—SiO<sub>2</sub>—Gläser (8, 9)

SiO <sub>2</sub> %	Na <sub>2</sub> O%	K <sub>2</sub> O%	K <sub>2</sub> O Mole	PbO%	PbO Mole	Dichte g/cm <sup>3</sup>	Volumen von 100 g Glas cm <sup>3</sup>	O <sup>2-</sup> - Gramm- ionen pro 100 g	R	Volumen pro O <sup>2-</sup> -Ion, Å <sup>3</sup>		Diff.
										gem.	ber.	
70	10	10	0,106	10	0,045	2,570	38,92	2,648	2,268	24,45	24,49	+0,04
65	10	10	0,106	15	0,067	2,714	36,85	2,498	2,309	24,48	24,56	+0,08
60	10	10	0,106	20	0,090	2,845	35,15	2,353	2,358	24,78	24,77	-0,01
50	10	10	0,106	30	0,134	3,123*	32,02	2,065	2,482	25,73	25,26	-0,47
40	10	10	0,106	40	0,179	3,427	29,18	1,777	2,668	27,25	25,98	-1,27
30	10	10	0,106	50	0,224	3,742	26,74	1,489	2,979	29,79	27,19	-2,80
69,2	7,14	10,82	0,116	12,86	0,058	2,623	38,13	2,603	2,251	24,30	24,42	+0,12
61,3	6,33	9,61	0,102	22,77	0,102	2,884	34,64	2,350	2,300	24,48	24,51	+0,03
55,0	5,77	8,62	0,092	30,65	0,137	3,126	32,00	2,150	2,350	24,66	24,65	-0,01
49,9	5,15	7,84	0,083	37,10	0,166	3,339	29,95	1,994	2,400	24,92	24,76	-0,16
42,1	4,35	6,61	0,070	46,9	0,210	3,676	27,20	1,750	2,500	25,80	25,07	-0,73
36,4	3,76	5,71	0,060	53,1	0,242	3,952	25,30	1,572	2,598	26,70	25,38	-1,32

\* Diese Dichte ist offenbar zu klein (vgl. das folgende Glas mit 55,0% SiO<sub>2</sub> etc, welches bei bedeutend weniger Alkaligehalt und fast gleichem PbO-Gehalt eine etwas höhere Dichte hat).

Tabelle 8

K<sub>2</sub>O—Li<sub>2</sub>O—CaO—SiO<sub>2</sub>—Gläser (10)

SiO <sub>2</sub> %	K <sub>2</sub> O%	Li <sub>2</sub> O%	Li <sub>2</sub> O Mole	CaO %	CaO Mole	Dichte g/cm <sup>3</sup>	Volumen von 100 g Glas cm <sup>3</sup>	O <sup>2-</sup> - Gramm- ionen pro 100 g	R	Volumen pro O <sup>2-</sup> -Ion, Å <sup>3</sup>		Diff.
										gem.	ber.	
75,04	3	12	0,401	10,02	0,179	2,449	40,83	3,110	2,490	21,79	21,81	+0,02
75,09	6	9	0,301	9,95	0,177	2,444	40,93	3,040	2,434	22,34	22,38	+0,04
75,18	9	6	0,201	9,90	0,177	2,442	40,95	2,976	2,379	22,84	22,92	+0,08
75,06	11	4	0,134	9,91	0,177	2,441	40,97	2,926	2,343	23,24	23,29	+0,05
75,02	13,5	1,5	0,050	9,99	0,178	2,438	41,02	2,868	2,298	23,74	23,74	±0
75,04	14	1	0,033	9,93	0,177	2,437	41,03	2,857	2,287	23,84	23,82	-0,02
75,04	14,5	0,5	0,017	10,07	0,180	2,436	41,05	2,849	2,281	23,91	23,91	±0
74,92	14,95	0	0	10,04	0,179	2,436	41,05	2,832	2,272	24,06	24,01	-0,05

Aus der Grundgleichung (4) der I. Mitteilung erhalten wir unter Berücksichtigung der zusammenziehenden Wirkung des Li und Ca die Gleichung

$$v = 12 R - 12 \text{ Li}^* - 12 \text{ Ca}^* - 1,1 \quad (8)$$

und diese gibt eine maximale Abweichung von 0,42% zwischen den berechneten und gefundenen  $v$ -Werten im Bereich von  $R = 2,272 - 2,490$ .

Durch die Einführung von Rubidium werden die Kaligläser ausgedehnt, da das Rubidiumion grösser als das Kaliumion ist. Wir ersehen dies aus der Tabelle 9.

**Tabelle 9**  
K<sub>2</sub>O—Rb<sub>2</sub>O—CaO—SiO<sub>2</sub>—Gläser (11)

SiO <sub>2</sub> %	K <sub>2</sub> O%	Rb <sub>2</sub> O%	Rb <sub>2</sub> O Mole	CaO%	CaO Mole	Dichte g/cm <sup>3</sup>	Volumen von 100 g Glas cm <sup>3</sup>	O <sup>2-</sup> -Grammionen pro 100 g Glas	R	Volumen pro O <sup>2-</sup> -Ion Å <sup>3</sup>		Diff.
										gem.	ber.	
74,78	13	2	0,011	10,09	0,180	2,448	40,85	2,817	2,264	24,03	24,05	+0,02
74,87	10	5	0,027	10,14	0,181	2,470	40,49	2,806	2,252	23,96	23,96	±0
75,09	7	8	0,043	10,00	1,178	2,490	40,16	2,793	2,236	23,90	23,86	-0,04
75,13	4	11	0,059	10,08	0,180	2,508	39,87	2,781	2,225	23,73	23,78	-0,05
74,89	0	15	0,080	10,01	0,178	2,539	39,39	2,750	2,207	23,73	23,66	-0,07

Die Gleichung

$$v = 12 R + 4 Rb^* - 12 Ca^* - 1,2 \quad (9)$$

stimmt sehr gut für die gemessenen Volumina; der maximale Fehler beträgt 0,29% im Bereich von  $R = 2,207 - 2,264$ .

Wie wir aus diesen Gleichungen sehen, bleiben die Faktoren der gerüstmodifizierenden Kationen bei vierkomponentigen Gläsern dieselben, wie die in der I. Mitteilung bereits gefundenen. In der folgenden Tabelle 10 sind fünfkomponentige Borosilikatgläser angeführt, die nebeneinander Natrium und Kalium enthalten. Dieser Fall ist etwas komplizierter; doch konnten auch hier Gleichungen aufgestellt werden, die  $v$  mit befriedigender Genauigkeit ergeben.

Alle Gläser der Tabelle 10 enthalten Natrium und Kalium nebeneinander. Obzwar die Molenzahl des Natriums in fast allen Fällen grösser als die des Kaliums ist, muss man das Volumen  $v$  dieser Gläser auf Grundlage der Kaliumsilikatgläser berechnen. Bei  $R > 2,00$  gilt die Gleichung

$$v = 12 R - 3 Na^* - 12 Ca^* - 1,2 \quad (10a)$$

und zwischen  $R = 1,887 - 2,00$

$$v = 12,35 R - 2,5 Na^* - 12 Ca^* - 1,2. \quad (10b)$$

Diese Gleichungen ergeben einen maximalen Fehler von 1,28% bei (10a)

Tabelle 10  
 $\text{Na}_2\text{O}-\text{K}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{SiO}_2-\text{B}_2\text{O}_3-\text{Gläser (12)}$

SiO <sub>2</sub> %	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	Na <sub>2</sub> O%	Na <sub>2</sub> O Mole	K <sub>2</sub> O%	K <sub>2</sub> O Mole	CaO%	CaO Mole	Dichte g/cm <sup>3</sup>	Volumen von 100 g Glas, cm <sup>3</sup>	O <sup>2-</sup> -Gramm-ionen pro 100 g	Volumen pro O <sup>2-</sup> -Ion		Diff.
												gem.	ber.	
75,38	0,52	0,66	6,84	0,110	8,02	0,085	8,52	0,152	2,465	40,57	2,890	23,30	23,33	+0,03
73,38	0,72	2,05	6,14	0,099	9,38	0,100	8,40	0,150	2,484	40,26	2,905	23,01	23,29	+0,28
69,96	0,99	5,44	7,54	0,122	8,22	0,087	8,64	0,154	2,517	39,73	2,943	22,45	22,63	+0,18
68,20	0,74	7,90	7,00	0,113	7,56	0,080	8,70	0,155	2,519	39,70	3,002	21,97	22,16	+0,19
66,50	0,74	9,58	7,04	0,114	7,40	0,079	8,72	0,155	2,526	39,59	3,014	21,80	21,82	+0,02
64,58	1,00	10,78	7,50	0,121	7,42	0,079	8,60	0,153	2,525	39,60	3,031	21,69	21,70	+0,01
64,42	0,70	13,65	6,26	0,101	8,06	0,086	8,90	0,159	2,529	39,54	3,075	21,34	21,35	+0,01
56,76	1,00	19,43	7,38	0,119	7,14	0,076	8,54	0,152	2,523	39,64	3,159	20,83	20,56	-0,27
53,26	1,28	22,54	6,74	0,109	6,98	0,074	9,10	0,162	2,522	39,65	3,194	20,61	20,90	+0,29
49,50	0,88	25,70	7,00	0,113	7,50	0,080	9,08	0,162	2,513	39,79	3,215	20,54	20,63	+0,09
45,66	1,74	29,57	6,36	0,103	8,06	0,086	8,62	0,154	2,487	40,21	3,308	20,18	20,21	+0,03
41,98	1,80	33,79	6,52	0,105	7,38	0,078	8,56	0,153	2,472	40,45	3,345	20,07	19,76	-0,31



Tabelle 11

 Industrielle und experimentelle Gläser (14)  
 (Zusammensetzung in Gewichtsprozenten)

No.	SiO <sub>2</sub>	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	MgO	CaO	BaO	ZnO	PbO	Andere Oxyde	Dichte g/cm <sup>3</sup>	R	Volumen pro O <sup>2-</sup> -Ion, Å <sup>3</sup>		Diff.
														gem.	ber.	
1.	96,3	2,9	0,4	—	—	—	—	—	—	—	—	2,18	1,973	22,76	22,75	—0,01
2.	80,5	12,9	2,2	3,8	0,4	—	—	—	—	—	—	2,23	1,920	21,52	21,74	+0,22
3.	71,0	14,0	5,0	10,0	—	—	—	—	—	—	—	2,370	1,974	21,33	21,51	+0,18
4.	72,86	10,43	6,24	10,17	0,10	—	—	—	—	—	—	2,370	1,972	21,72	21,95	+0,23
5.	68,2	10,0	—	10,0	9,5	—	—	—	2,5	—	—	2,47	2,100	22,49	22,59	+0,10
6.	70,6	—	—	17,0	—	—	—	—	12,0	—	—	2,572	2,358	23,28	23,18	—0,10
7.	69,0	2,5	—	4,0	16,0	—	8,0	—	—	—	—	2,49	2,280	23,97	24,06	—0,09
8.	64,6	2,7	—	5,0	15,0	—	—	10,2	2,0	—	—	2,580	2,254	24,75	24,55	—0,20
9.	47,73	3,90	0,65	1,14	7,16	—	0,15	29,88	8,61	—	—	3,21	2,369	23,79	23,86	+0,07
10.	73,8	—	3,5	10,5	—	—	7,0	—	5,0	—	—	2,479	2,247	22,96	22,88	—0,08
11.	70,2	12,0	4,5	10,3	—	3,0	—	—	—	—	—	2,378	2,017	21,62	21,74	+0,12
12.	67,9	—	1,0	16,8	—	—	—	—	5,8	8,1	—	2,629	2,320	23,66	23,60	—0,06
13.	66,58	0,91	3,84	14,8	—	—	7,18	—	6,24	—	—	2,585	2,324	22,83	22,54	—0,29
14.	64,4	12,0	4,5	8,0	—	11,0	—	—	—	—	—	2,424	2,125	21,42	21,28	—0,14
15.	58,7	—	—	—	33,0	—	8,0	—	—	—	—	2,518	2,506	27,26	27,15	+0,11
16.	55,0	—	17,0	14,0	14,0	—	—	—	—	—	—	2,480	2,184	24,73	24,59	—0,14
17.	54,8	—	—	—	28,0	—	—	—	17,0	—	—	2,668	2,555	26,69	26,74	+0,05
18.	73,0	14,0	1,7	4,4	—	—	—	—	—	5,7	—	2,35	1,926	22,25	22,15	—0,10
19.	74,6	18,0	1,0	4,2	1,7	—	0,3	—	—	—	—	2,27	1,898	21,67	21,72	+0,05
20.	77,3	12,8	1,7	1,4	6,6	—	—	—	—	—	As <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 0,2	2,28	1,935	22,28	22,47	+0,19
21.	58,5	3,0	22,5	—	0,8	8,9	6,3	—	—	—	—	2,50	2,051	21,56	21,31	—0,25
22.	51,3	1,0	25,3	—	—	4,2	8,3	5,3	—	—	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 4,6	2,62	2,049	21,43	21,55	+0,12
23.	67,5	22,0	2,0	6,5	2,0	—	—	—	—	—	—	2,25	1,884	21,84	21,99	+0,15
24.	65,1	1,8	5,1	12,0	3,3	—	7,8	4,9	—	—	—	2,57	2,264	23,17	23,27	+0,10
25.	70,5	—	1,0	16,0	1,0	3,9	5,4	2,0	—	—	Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 0,7	2,52	2,380	23,06	23,05	—0,01
26.	55,6	—	—	4,0	8,0	—	—	—	—	32,4	—	3,06	2,318	25,27	25,08	—0,19
27.	62,69	—	0,60	6,7	8,26	—	—	—	—	21,75	—	2,84	2,283	24,36	24,51	+0,15
28.	57,4	—	1,3	3,9	7,6	—	—	—	—	29,3	—	3,06	2,267	24,38	24,57	+0,19
29.	53,9	—	1,2	5,3	7,5	—	—	3,6	—	28,5	—	3,10	2,330	24,93	25,03 <sup>1</sup>	+0,10
30.	70,7	—	1,9	15,7	—	3,9	7,6	—	—	—	—	2,491	2,385	23,05	22,99	—0,06
31.	73,0	14,0	2,3	7,5	—	—	3,0	—	—	—	—	2,29	1,970	22,19	21,85	—0,34
32.	65,1	16,3	2,4	4,9	2,3	—	—	—	4,6	—	Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 3,8 As <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 0,7	2,40	1,930	21,98	22,19	+0,21
33.	67,9	18,9	2,4	6,8	4,0	—	—	—	—	—	—	2,24	1,918	22,48	22,27	—0,19
34.	68,3	—	3,7	10,0	7,9	—	6,6	3,5	—	—	—	2,520	2,288	23,79	23,86	+0,07
35.	70,3	—	—	16,9	1,2	3,6	5,2	2,0	—	—	—	2,52	2,410	23,38	23,24	—0,14
36.	73,6	—	—	17,2	—	3,7	5,4	—	—	—	—	2,47	2,381	23,07	23,00	—0,07
37.	69,9	—	2,9	16,1	0,4	2,9	7,7	—	—	—	—	2,502	2,364	23,00	23,05	+0,05
38.	81,1	12,2	2,0	4,4	—	—	—	—	—	0,3	—	2,24	1,929	22,08	22,15	+0,07
39.	70,0	—	2,0	16,2	0,8	3,5	5,5	2,0	—	—	—	2,51	2,372	23,15	23,24	+0,09
40.	68,8	1,7	3,5	9,5	7,2	0,2	3,2	4,1	—	—	Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 1,1	2,57	2,209	23,15	23,15	±0
41.	55,6	—	1,1	5,2	8,3	—	—	—	—	28,9	—	3,04	2,307	25,00	24,98	—0,02
42.	70,2	—	3,3	12,1	8,1	—	6,3	—	—	—	—	2,47	2,292	23,78	23,94	+0,16
43.	65,2	—	2,5	6,2	14,7	—	6,5	5,0	—	—	—	2,54	2,336	24,67	24,74	+0,07
44.	56,2	—	1,7	4,1	7,9	—	0,2	—	—	29,7	—	3,052	2,278	24,63	24,63	±0
45.	63,1	—	0,3	7,6	5,6	—	1,0	—	—	20,2	Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 1,0	2,85	2,294	24,04	23,98 <sup>2</sup>	—0,06
46.	55,6	—	—	4,1	8,0	—	—	—	—	32,4	—	3,06	2,320	25,27	25,08	—0,19

<sup>1</sup> Als Kaliglas berechnet.<sup>2</sup> Faktor für Mn\* : 6.

und 1,55% bei (10b). Bei Borosilikatgläsern übt übrigens die Wärmebehandlung einen viel grösseren Einfluss auf die Dichte aus, als bei einfachen Silikatgläsern.

### Industrielle und experimentelle Gläser

Auf Grund der bisher entwickelten Gleichungen kann man nun die Dichten der in der Praxis vorkommenden Gläser berechnen. Hier genügt auch die Kenntnis des Volumens  $v$  des betreffenden Glases, da aus diesem und aus der Zusammensetzung des Glases die Dichte in einfacher Weise folgt.

Ich habe die Dichte einer Anzahl von solchen Gläsern unter Beibehaltung der schon bestimmten Faktoren berechnet. Man kann so zu Gleichungen kommen, die einen breiten Gültigkeitsbereich haben :

1. Für einfache Silikatgläser (wo bis 6%  $B_2O_3$ ,  $Al_2O_3$ ,  $P_2O_5$  oder kleinere Mengen  $As_2O_3$  bzw.  $Sb_2O_3$  zugegen sein können), wenn Na-Ionen vorherrschen, also in höchster Grammionenzahl vorhanden sind

$$v = 3,8R - 2,4Li^* + 4K^* - 5Mg^* - 5Ca^* - 3Sr^* - 0,5Ba^* - 2Zn^* + \\ + 0,5Pb^* - 4Fe^{II*} - 6,5Fe^{III*} - 9Bi^* - 11Ti^* - 10Zr^* + 14,9. \quad (11)$$

2. Für einfache Silikatgläser, wenn K-Ionen vorherrschen

$$v = 12R - 12Li^* - 2Na^* + 4Rb^* - 13Mg^* - 12Ca^* - \\ - 9Ba^* - 9Pb^* - 1,2. \quad (12)$$

3. Für Borosilikatgläser auf Na-Grundlage, wenn Na *stark* vorherrscht, also wenigstens zweimal so viele Na-Ionen als K-Ionen vorhanden sind

$$v = 3,8 R - 2Na^* + 4K^* - 5Mg^* - 5Ca^* - 0,5Ba^* - 2Zn^* + 14,65. \quad (13)$$

4. Für Borosilikatgläser, wo die Zahl der K-Ionen mehr als die Hälfte der Zahl der Na-Ionen ausmacht, gelten die Gleichungen (10a) und (10b).

5. Für die additive Konstante bei Natronsilikatgläsern gelten folgende Regeln :

Ist mehr als 6,0% ZnO zugegen, so wird die additive Konstante 14,5 (statt 14,9). Wenn weniger ZnO vorhanden ist, dagegen 2,0% oder mehr  $Al_2O_3$ , so wird die additive Konstante 15,1.

In allen Gleichungen werden B, Al, P, As und Sb zu den gerüstbildenden Ionen gerechnet.

Alkalifreie Gläser sowie Bleiborosilikatgläser und silikatfreie Gläser werden in einer folgenden Mitteilung behandelt.

Die Tabelle 11 enthält eine Anzahl von Gläsern, die die hier behandelten Bedingungen erfüllen. Es gibt noch gewisse Grenzen für Schwermetalloxyde,

so kann  $v$  von Gläsern mit mehr als 40% PbO oder BaO oder B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> mit den angegebenen Gleichungen nicht erfasst werden.

Es ist gelungen, das Sauerstoffionenvolumen von Gläsern mit bis zu 9 Komponenten mit befriedigender Genauigkeit, d. h. mit einem Fehler von unter 1,5% zu berechnen. Natürlich sind die Analysen und Dichtebestimmungen oft nicht sehr genau, somit kann man bessere Übereinstimmung nur dann erwarten, wenn Analyse und Dichtebestimmung exakt sind. Die Differenz zwischen gemessenen und berechneten  $v$ -Werten gestaltet sich folgendermassen :

Zahl der Gläser	Differenz
14	0 — 0,3 %
11	0,31 — 0,50 %
16	0,51 — 1,0 %
5	1,01 — 1,53 %

Ausser den hier angeführten Gläsern wurde noch eine Anzahl weiterer berechnet und ergab ebenfalls befriedigende Ergebnisse.

Somit ist die Möglichkeit der Vorausberechnung der Dichte von Gläsern aus der Zusammensetzung auf weiten Gebieten u. zw. bei der grossen Mehrheit der praktisch gebrauchten Gläser gesichert.

Die theoretische Deutung der entwickelten Gleichungen erfolgt in einer weiteren Mitteilung.

*Nachtrag bei der Korrektur.* Eine neue Arbeit von DIETZEL u. SHEYBANY (Verres et réfract. 2, 63, 1948) gibt die Dichten von Li<sub>2</sub>O—SiO<sub>2</sub>-Gläsern; sie können durch die Gleichung  $v = 26,1 - 1,95R$  wiedergegeben werden, wobei die maximale Differenz 0,7% beträgt (7 Gläser). — Die Dichten von 78 verschiedenen Na<sub>2</sub>O—K<sub>2</sub>O—SiO<sub>2</sub>-Gläsern nach YOUNG, GLAZE, FAICK und FINN (J. Res. Nat. Bureau of Standards 22, 453, 1939) wurden nach der Gleichung  $v = 3,8R + 4K^* + 14,9$  berechnet, wobei die maximale Abweichung 1,5% betrug.

#### LITERATUR

1. I. NÁRAY-SZABÓ, Acta Phys., **8**, 37, 1957.
2. S. C. WATERTON and W. E. S. TURNER, J. Soc. Glass Tech., **18**, 268, 1934.
3. S. C. WATERTON and W. E. S. TURNER, J. Soc. Glass Tech., **18**, 268, 1934.
4. C. J. PEDDLE, J. Soc. Glass Tech., **5**, 228, 1921.
5. S. ENGLISH and W. E. S. TURNER, J. Soc. Glass Tech., **6**, 228, 1922.
6. Owens-Illinois Glass Company, J. Am. Ceram. Soc., **31**, 1, 1948.
7. S. ENGLISH, H. W. HOWES, W. E. S. TURNER and F. WINKS, J. Soc. Glass Tech., **12**, 31, 1928.
8. C. J. PEDDLE, J. Soc. Glass Tech., **4**, 320, 1920.
9. C. J. PEDDLE, J. Soc. Glass Tech., **4**, 330, 1920.
10. S. C. WATERTON and W. E. S. TURNER, J. Soc. Glass Tech., **18**, 268, 1934.
11. S. C. WATERTON and W. E. S. TURNER, J. Soc. Glass Tech., **18**, 268, 1934.
12. W. E. S. TURNER and F. WINKS, J. Soc. Glass Tech., **9**, 389, 1925.
13. Die Daten der Gläser No. 1—17. sind in G. W. MOREY, Properties of Glass, II<sup>nd</sup> Ed., New York, 1954., S. 16—17. u. 80—84. zu finden. Die Gläser No. 18—46 stammen aus der Industrie.

СООТНОШЕНИЕ МЕЖДУ СТРУКТУРОЙ И ФИЗИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ  
СТЕКЛА

II сообщение

И. НАРАИ—САБО

## Резюме

На основе закономерностей выясненных в первом сообщении, выводятся линейные уравнения для объема иона  $O^-$  — в четыре — и более компонентных силикатных стеклах. Эти уравнения в конечном счете могут быть сведены на четыре общие уравнения для стекол со следующими основами: 1) кремнистый натрий, 2) кремнистый калий, 3) боркремнистый натрий, 4) боркремнистый калий. С помощью этих уравнений объем иона  $O^-$  в стеклах и таким образом их плотность может быть определена с достаточной точностью на основании состава.