

# Über die Koagulationsgeschwindigkeit wässriger Gelatinelösungen.

Von Paul Lampe.

Aus dem physikalischen Institut der Universität Erlangen.

Eingegangen am 27. Juli 1907.

Die Lösungen von kolloidalen Körpern kann man in zwei Gruppen einteilen. Bei den einen tritt ein Gerinnen ein, bei den anderen nicht. Zu den ersteren gehören die Gelatinelösungen. Über den Verlauf des Erstarrungsprozesses liegt schon eine Reihe von Untersuchungen vor. Speziell wurde der Einfluß, den bestimmte Zusätze hervorrufen, untersucht. Die früher verwendeten Methoden zur Bestimmung des Erstarrungsverlaufes sind folgende: es wird z. B. der Zeitpunkt bestimmt, bei dem ein Thermometer oder ein Glasstab von der gerinnenden Substanz festgehalten wird oder Quecksilbertropfen nicht mehr durch die betreffende Substanz durchfallen. Da der Schmelzpunkt bei den Kolloiden nicht wohl definiert ist, so sind diese Messungen ungenau. Einer anderen Methode, die auch nicht genaue Resultate liefern kann (es wird nämlich der Zeitpunkt bestimmt, bei dem kein Ausfließen der koagulierenden Substanz beim Stürzen eines Gefäßes eintritt) bedienen sich Moerner<sup>1)</sup> und nach ihm S. Levites<sup>2)</sup> zu eingehenden Untersuchungen. Auch diese Methode benützt keinen scharf definierten Zustand der Gelatinelösung. Ausführliche Messungen über Erstarrungserscheinungen von Gelatinelösungen sind weiter von P. von Schroeder<sup>3)</sup> angestellt worden. P. von Schroeder

---

<sup>1)</sup> Moerner. Zeitschr. f. physiol. Chemie. 1899.

<sup>2)</sup> S. Levites. Journ. d. russ. phys. chem. Ges. **34**, 110—119. 1902. **35**, 253—263. 1903. **36**, 401—417. 1904. Vergl. Beibl. z. d. Ann. d. Phys. **28**, 1121. 1904

<sup>3)</sup> P. von Schroeder. Zeitschr. f. phys. Chemie **45**, 75. 1903.

hat eine wohl definierte physikalische Eigenschaft wässriger Gelatinelösungen verwendet, nämlich die innere Reibung. Zur Beobachtung des zeitlichen Verlaufs des Koagulationsprozesses bei konstanter Temperatur ist seine Methode nur in sehr beschränktem Maße verwendbar, da von dem Moment des Erstarrens ab seine Methode versagt, während der Koagulationsprozeß mit dem Erstarren keineswegs beendet ist. Weiterhin ist seine Methode nur für sehr verdünnte Lösungen brauchbar.

R. Reiger<sup>1)</sup> hat auf die Verwendbarkeit des Scherungsmoduls zur Bestimmung der Koagulationsgeschwindigkeit hingewiesen. Zur Bestimmung des letzteren eignet sich eine statische Methode von Th. Schwedoff<sup>2)</sup> und eine von R. Reiger angegebene „dynamische“ Methode. Letztere ist vor allem im Anfangsstadium brauchbar.

In der nachfolgenden Arbeit soll der Einfluß der Konzentration der Gelatinelösung und der Einfluß von Zusätzen verschiedener Salze, Säuren, Basen zu derselben auf die Koagulationsgeschwindigkeit bestimmt werden. Da zunächst von einer eingehenden Untersuchung des Anfangsstadiums der Koagulation abgesehen wurde, so wurde zu den im folgenden mitgeteilten Beobachtungen die statische Methode von Schwedoff gewählt<sup>3)</sup>.

Da Vorversuche, die mit Gelatinelösungen von demselben Prozentgehalt an Gelatine bei verschiedenen Temperaturen angestellt wurden, zeigten, daß der Scherungsmodul in hohem Maße von der Temperatur abhängt, so wurden die Versuche in einem Raum von konstanter Temperatur durchgeführt. Die mittlere Temperatur desselben bei den verschiedenen Versuchen gibt die auf S. 56 folgende Tabelle wieder.

Bei der Herstellung der Lösungen wurde Rücksicht darauf genommen, daß sie sämtlich möglichst dieselbe (thermische) Vorgeschichte erhielten, deren Einfluß auf die elastischen Eigenschaften koagulierter wässriger Gelatinelösungen von E. Fraas<sup>4)</sup> und P. von Schroeder<sup>5)</sup> untersucht worden ist.

1) R. Reiger. Sitzungsberichte der phys.-med. Soz. in Erlangen 38, 252. 1906.

2) Th. Schwedoff. Journ. d. Phys., 8, 341. 1889 u. 9, 34. 1890.

3) Vergl. hierzu R. Reiger a. a. O. S. 253.

4) E. Fraas. Wied. Ann. 53, 1074. 1894.

5) P. von Schroeder a. a. O.

Versuchsreihe	mittlere Temperatur
I.	6,0°
II.	6,0°
III.	7,1°
IV.	6,6°
V.	6,8°
VI.	7,0°
VII.	7,2°

Die von mir verwendeten Aufhängungsdrähte besaßen eine Direktionskraft, welche innerhalb der Grenzen  $3,206 \cdot 10^6$ — $1,887 \cdot 10^5$  Erg lag. Zunächst seien im folgenden die zeitlichen Änderungen des Scherungsmoduls mitgeteilt.

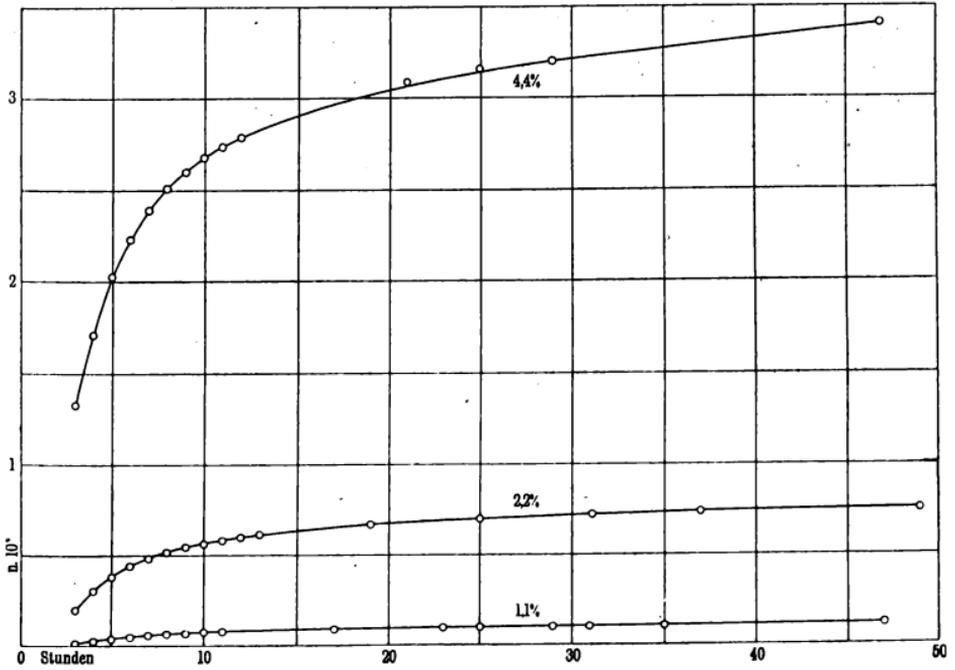
### **Beobachtungen des Einflusses der Konzentration und Beimengungen auf die zeitliche Änderung des Scherungsmoduls.**

#### **1. Einfluß der Konzentration.**

Um den Einfluß der Konzentration auf die zeitliche Änderung des Scherungsmoduls zu bestimmen, wurden 1%, 2% und 4% Gelatinelösungen untersucht. Am Ende des Versuches wurde eine genaue Bestimmung der Konzentration durch Analyse vorgenommen. Dazu wurden kleine, dünne Scheibchen aus der koagulierten Lösung herausgeschnitten, auf ein Uhr-glas gebracht und möglichst rasch gewogen. Hierauf wurden die Scheibchen im Exsikkator getrocknet, bis sich das Gewicht nicht änderte. Die Abhängigkeit des Scherungsmoduls von der Zeit geben die folgenden Tabellen, in denen die 1. Kolumne die nach dem Gießen der Lösung verstrichene Zeit  $t$  in Stunden und die 2. Kolumne den Scherungsmodul  $n$  in  $\text{kg}/\text{mm}^2$  gibt.

**I. Versuchsreihe.**

Figur 1.



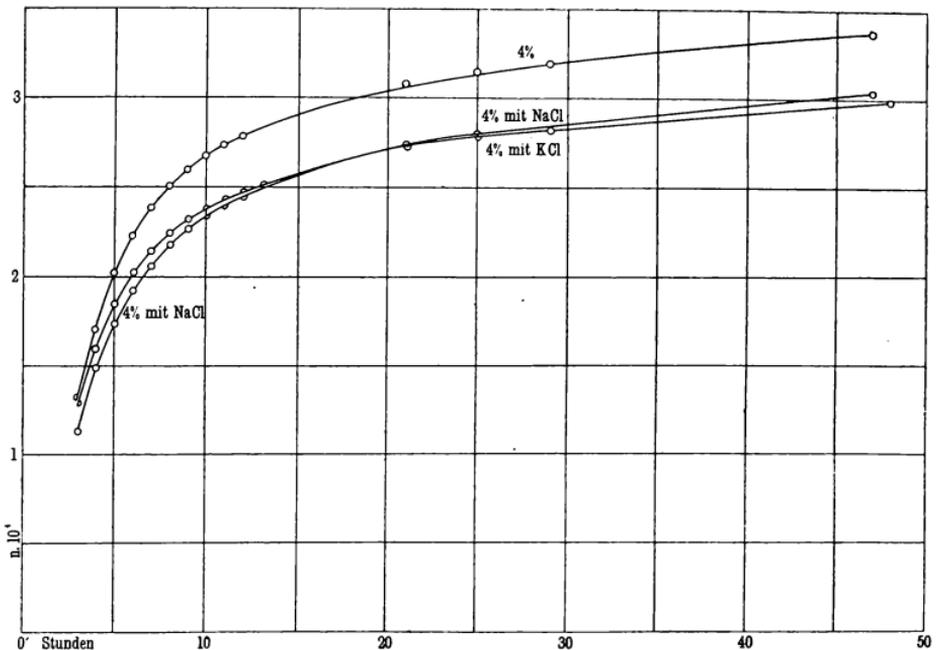
Konzentration 1,128		Konzentration 2,189		Konzentration 4,434	
t	n · 10 <sup>5</sup>	t	n · 10 <sup>4</sup>	t	n · 10 <sup>4</sup>
1h	0,007	1h	0,010	1h	0,161
2h	0,046	2h 2'	0,073	2h 2'	0,760
3h	0,145	3h	0,199	3h	1,325
4h	0,283	4h	0,303	4h	1,707
5h	0,402	5h	0,382	4h 58'	2,022
6h	0,491	6h	0,440	6h	2,229
7h 1'	0,575	7h	0,483	7h	2,386
8h	0,636	8h	0,517	8h	2,505
9h	0,685	9h	0,542	9h	2,599
10h	0,728	10h	0,561	10h 1'	2,675
11h	0,767	11h 2'	0,579	11h 1'	2,733
17h 2'	0,911	12h	0,596	12h 1'	2,780
23h 1'	0,982	13h 1'	0,610	20h	3,070
25h 1'	0,994	19h	0,663	25h	3,148
29h 1'	1,022	25h 3'	0,693	28h	3,181
31h	1,035	31h 10'	0,713	45h 54'	3,376
35h	1,062	37h	0,728	70h 38'	3,537
47h	1,130	49h	0,753		
59h	1,225	73h	0,792		
61h 1'	1,226				

## 2. Einfluß von verschiedenen Beimengungen.

In den folgenden Untersuchungen wurden zunächst die Zusätze so gewählt, daß sich  $\frac{1}{10}$  Grammmolekül in einem Liter der Gelatinelösung (4%) befand<sup>1)</sup>. Je 3 Lösungen wurden gleichzeitig hergestellt, um dieselbe thermische Vorgeschichte zu erzielen. Ein Versuch mit einer 4prozentigen Gelatinelösung wurde stets gleichzeitig mit durchgeführt. Den Einfluß der einzelnen Salze, Basen und Säuren geben die folgenden Tabellen. Die Anordnung der Tabellen ist in der Weise getroffen, daß stets die Versuche der Reihe nach aufgeführt sind, wie sie zeitlich aufeinander folgten.

### II. Versuchsreihe.

Figur 2.

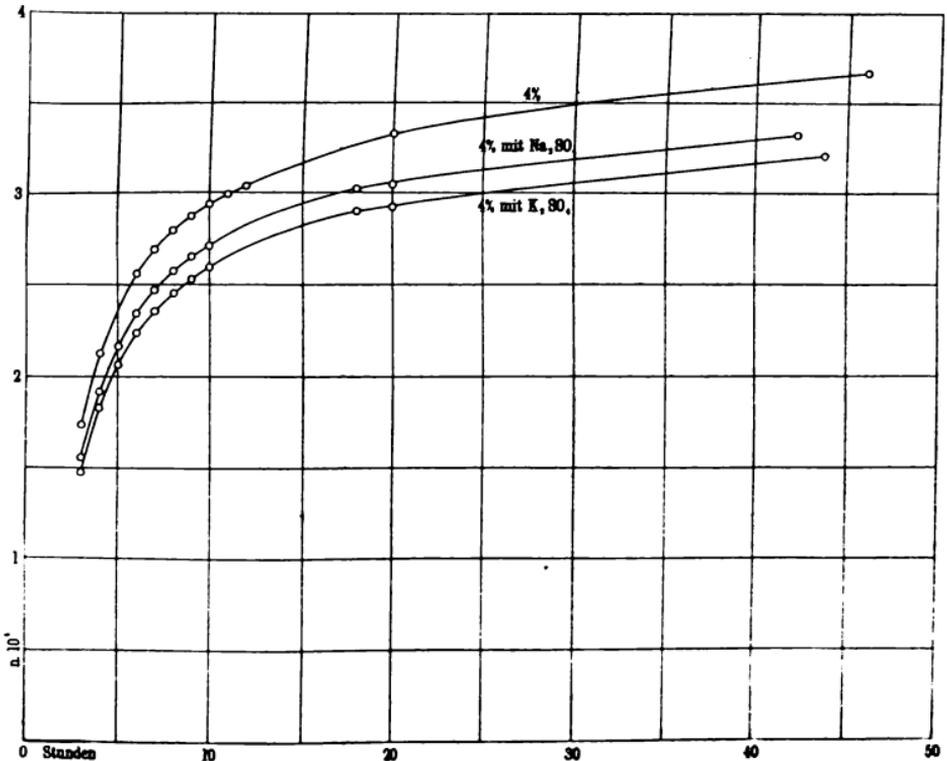


<sup>1)</sup> Versuche über den Einfluß der Konzentration der Zusätze sollen später mitgeteilt werden.

4% Gelatine		KCl		NaCl	
t	n. 10 <sup>4</sup>	t	n. 10 <sup>4</sup>	t	n. 10 <sup>4</sup>
1h	0,161	1h	0,234	1h 2'	0,167
2h 2'	0,760	2h	0,796	2h 2'	0,652
3h	1,325	3h 3'	1,292	3h 2'	1,133
4h	1,707	4h 1'	1,626	4h 2'	1,490
4h 58'	2,022	5h 4'	1,847	5h 2'	1,739
6h	2,229	6h 8'	2,029	6h 2'	1,922
7h	2,386	7h 3'	2,142	7h 2'	2,060
8h	2,505	8h 3'	2,243	8h 2'	2,180
9h	2,599	9h 4'	2,321	9h 2'	2,268
10h 1'	2,675	10h 4'	2,380	10h 2'	2,343
11h 1'	2,733	11h 6'	2,434	11h 2'	2,401
12h 1'	2,780	12h 4'	2,470	12h 2'	2,448
25h	3,148	13h 7'	2,512	21h 2'	2,740
28h	3,181	21h 6'	2,726	25h	2,799
45h 54'	3,376	25h 5'	2,783	47h 2'	3,034
70h 38'	3,537	29h 5'	2,821		
		48h	2,986		
		71h 41'	3,133		

### III. Versuchsreihe.

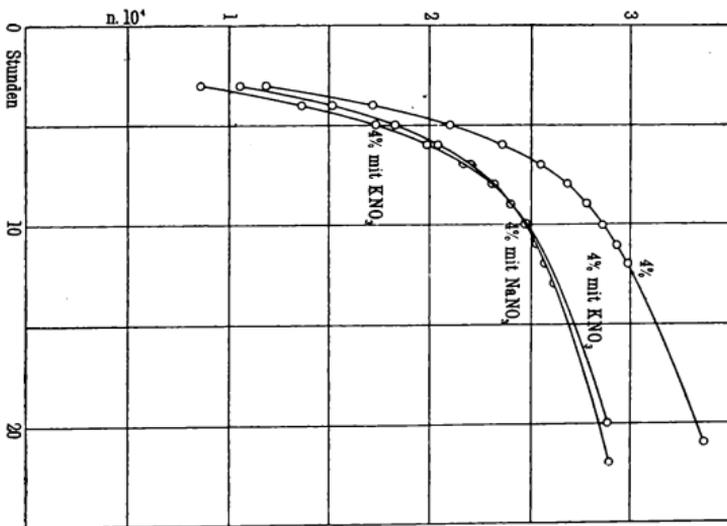
Figur 3.



4% Gelatine		Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>		K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	
t	n. 10 <sup>4</sup>	t	n. 10 <sup>4</sup>	t	n. 10 <sup>4</sup>
1h 1'	0,381	1h	0,361	1h	0,303
2h 1'	0,959	2h	1,031	2h	0,970
3h 1'	1,742	3h	1,561	3h	1,478
4h 1'	2,129	4h	1,921	4h	1,832
6h 3'	2,562	5h 1'	2,168	5h	2,068
7h 1'	2,692	6h	2,340	6h	2,238
8h 1'	2,795	7h	2,471	7h	2,359
9h 1'	2,874	8h	2,576	8h	2,457
10h 2'	2,941	9h	2,654	9h	2,533
11h 1'	2,992	10h	2,711	10h	2,599
12h 1'	3,039	18h	3,027	18h	2,901
20h 3'	3,330	20h 2'	3,048	20h 2'	2,938
45h 54'	3,665	42h 11'	3,318	43h 47'	3,204

### IV. Versuchsreihe.

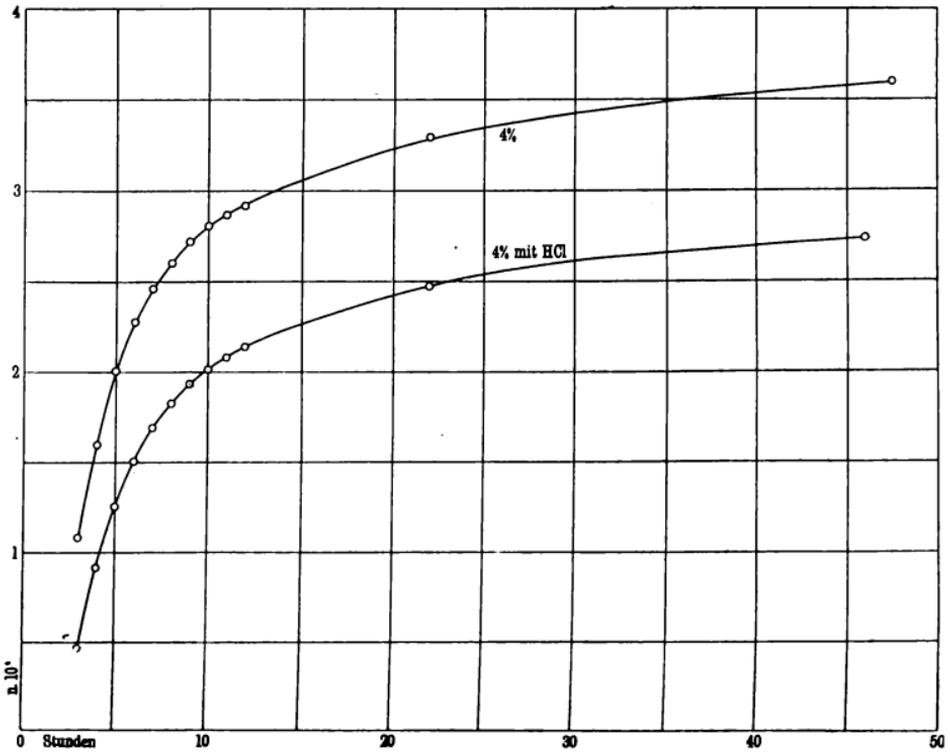
Figur 4.



4% Gelatine		KNO <sub>3</sub>		NaNO <sub>3</sub>	
t	n. 10 <sup>4</sup>	t	n. 10 <sup>4</sup>	t	n. 10 <sup>4</sup>
1h 4'	0,079	1h	0,040	1h	0,088
2h	0,455	2h	0,256	2h 2'	0,460
3h 1'	1,187	3h	0,856	3h	1,057
4h 1'	1,720	4h	1,364	4h	1,519
5h 2'	2,104	5h	1,733	5h 1'	1,832
6h 1'	2,359	6h	1,989	6h 1'	2,044
7h 2'	2,548	7h 2'	2,172	7h 1'	2,206
8h 2'	2,687	8h 1'	2,301	8h 1'	2,316
9h 3'	2,783	9h 1'	2,387	9h 1'	2,403
10h 6'	2,859	10h	2,475	10h 1'	2,473
11h 6'	2,932	20h 15'	2,882	11h	2,526
12h 2'	2,987			12h	2,567
21h 2'	3,367			22h	2,893

V. Versuchsreihe.

Figur 5.

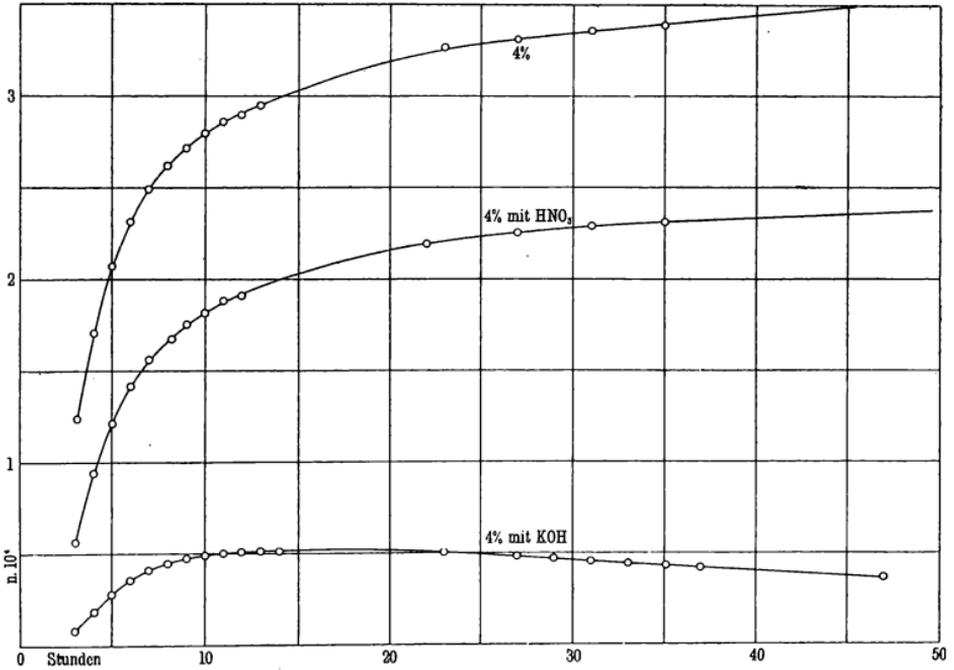


4 ‰ Gelatine		4 ‰ Gelatine		HCl <sup>1)</sup>		HCl	
t	n · 10 <sup>4</sup>	t	n · 10 <sup>4</sup>	t	n · 10 <sup>4</sup>	t	n · 10 <sup>4</sup>
1h	0,076	8h 1'	2,603	1h 3'	0,015	8h	1,830
1h 35'	0,208	9h 1'	2,721	2h 5'	0,130	9h	1,940
2h 37'	0,824	10h 1'	2,807	3h 1'	0,468	10h	2,020
3h	1,084	11h	2,868	4h 1'	0,916	11h 1'	2,083
4h 1'	1,600	12h 1'	2,915	5h 1'	1,257	12h	2,142
5h	2,011	22h 2'	3,296	6h 1'	1,510	22h	2,473
6h 2'	2,280	47h 32'	3,599	7h 1'	1,694	46h 53'	2,735
7h 1'	2,464						

<sup>1)</sup> Die Lösung war nicht genau  $\frac{1}{10}$  norm., sondern 0,1022 norm.

VI. Versuchsreihe.

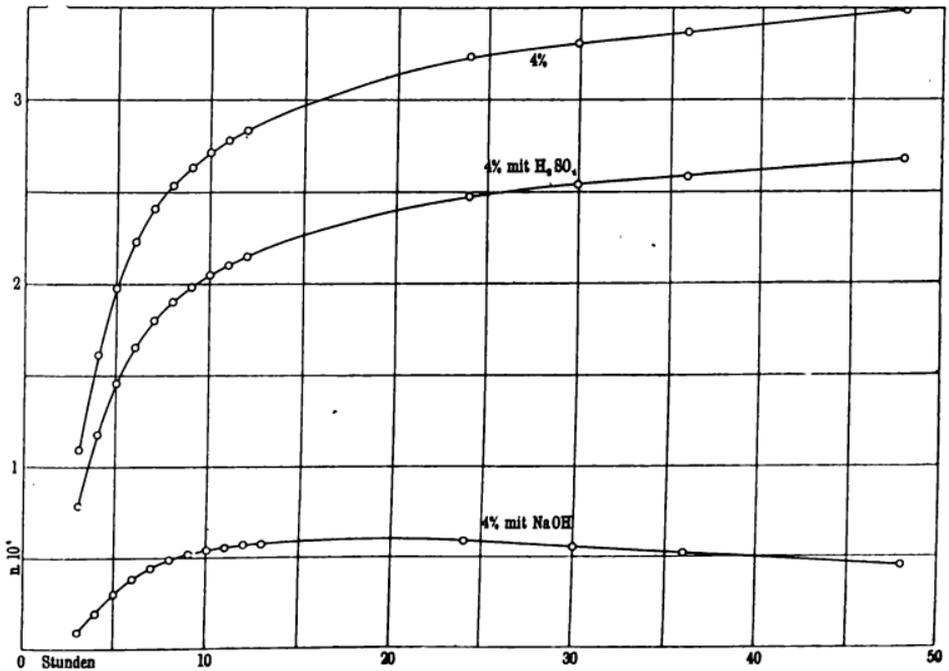
Figur 6.



4% Gelatine		KOH		HNO <sub>3</sub>	
t	n · 10 <sup>4</sup>	t	n · 10 <sup>5</sup>	t	n · 10 <sup>4</sup>
1h	0,072	1h	0,080	1h	0,026
2h	0,478	2h 2'	0,340	2h 11'	0,223
3h 6'	1,240	3h	0,820	3h	0,566
4h	1,710	4h 3'	1,862	4h	0,945
5h	2,073	5h	2,807	5h	1,219
6h	2,317	6h	3,565	6h	1,419
7h	2,496	7h	4,115	7h	1,562
8h	2,621	8h	4,502	8h 12'	1,677
9h	2,718	9h	4,753	8h 58'	1,759
10h	2,800	10h	4,937	10h	1,818
11h 1'	2,862	11h	5,054	11h	1,886
12h 1'	2,899	12h	5,123	12h	1,912
13h	2,951	13h	5,159	22h	2,195
23h	3,270	14h	5,164	23h 1'	2,208
27h 1'	3,312	23h	5,082	27h	2,255
31h	3,360	26h 57'	4,846	31h	2,281
35h	3,390	30h 58'	4,591	35h	2,314
47h	3,539	35h 5'	4,321	59h	2,411
		47h	3,687		
		95h	1,814		

VII. Versuchsreihe.

Figur 7.



4% Gelatine		NaOH		$H_2SO_4$	
t	n · 10 <sup>4</sup>	t	n · 10 <sup>4</sup>	t	n · 10 <sup>4</sup>
1h	0,066	1h	0 007	1h	0,057
2h	0,418	2h	0,037	2h 8'	0,424
3h	1,099	3h	0,093	3h	0,790
4h	1,617	4h	0,196	4h	1,181
5h	1,980	5h	0,302	5h 1'	1,460
6h	2,233	6h	0,388	6h	1,658
7h	2,412	7h	0,447	7h	1,803
8h	2,538	8h	0,492	8h 1'	1,907
9h	2,635	9h	0,523	9h	1,988
10h	2,716	10h	0,544	10h	2,052
11h	2,781	11h	0,558	11h	2,104
12h	2,837	12h	0,572	12h	2,152
24h	3,236	13h	0,576	24h	2,474
30h	3,304	24h	0,591	30h	2,541
36h	3,370	30h	0,558	36h	2,584
48h	3,490	36h	0,523	48h	2,677
2,5 Tage	3,568	48h	0,454	2,5 Tage	2,700
3,0 Tage	3,627	2,5 Tage	0,391	3,0 Tage	2,778
		3,0 Tage	0,335		

## Verlauf des Koagulationsprozesses.

Welche Vorstellung man sich auch von dem Koagulationsprozeß machen mag, so haben wir es jedenfalls hier mit einem Vorgang zu tun, bei dem eine Umwandlung der gegebenen Lösung in einen anderen Zustand stattfindet<sup>1)</sup>. Nach R. Reiger<sup>2)</sup> ist der Untersuchung des hier stattfindenden Reaktionsverlaufes die zeitliche Änderung des Scherungsmoduls zugrunde gelegt. In welcher Weise jedoch der Scherungsmodul von der bei dem Prozeß umgewandelten Menge abhängt, ist nicht bekannt. Zunächst kann man wohl die Annahme machen, daß die umgesetzte Menge proportional dem Scherungsmodul d. h. proportional  $n$  ist. A. Leick<sup>3)</sup> findet bei Untersuchungen über die Elastizität koagulierter wässriger Gelatinelösungen für die Konzentrationen zwischen 10<sup>0</sup>/<sub>0</sub> und 40<sup>0</sup>/<sub>0</sub>, daß  $E/c^2$  angenähert eine Konstante ist, speziell für seine niedrigeren Konzentrationen, wobei  $E$  den Modul der Dehnung und  $c$  die Konzentration bedeutet. Für die Werte der Scherungsmoduln nach ca. 47 Stunden ist bei der 2<sup>0</sup>/<sub>0</sub> und 4<sup>0</sup>/<sub>0</sub> Gelatinelösung die von Leick gegebene Beziehung gültig. Dagegen finde ich bei der Konzentration 1<sup>0</sup>/<sub>0</sub> eine Abweichung. Ebenfalls ergibt die Rechnung, daß auch für noch niedrigere Konzentrationen, die von C. Rohloff und Shinjo<sup>4)</sup> untersucht worden sind, die Formel  $E/c^2$  nicht gültig ist. Welche Beziehungen für diese niedrigeren Konzentrationen gelten, müssen erst weitere Untersuchungen zeigen. Jedenfalls gilt für ca. 4<sup>0</sup>/<sub>0</sub> Gelatinelösungen noch die Leick'sche Beziehung, und wir können deshalb noch die Annahme, daß die umgesetzte Menge proportional der Wurzel aus dem Scherungsmodul, d. h. proportional  $\sqrt{n}$  ist, den Berechnungen zugrunde legen. Die geringe Größe des Geschwindigkeitskoeffizienten einerseits und die Unkenntnis des Zeitpunktes des Beginnes der Koagulation andererseits bedingen für eine Berechnung weitere Schwierigkeiten. Der erste Umstand macht sich darin geltend, daß auch nach sehr langer Zeit der beobachtete Wert des Sche-

1) Vergl. W. Pfeffer. Beibl. z. Wied. Ann. 2, 185. 1878; ferner G. Quincke. Autorreferat in d. Fortschr. d. Phys. im Jahre 1903, Bd. 59, I, 210.

2) R. Reiger a. a. O. S. 256.

3) A. Leick. Ann. d. Phys. 14, 139. 1904.

4) C. Rohloff und Shinjo. Phys. Zeitschr. 8, 442. 1907.

rungsmoduls von dem theoretisch für  $t = \infty$  berechneten Endwert erheblich abweicht. Überdies treten dann Fäulniserscheinungen auf, wenn man die Beobachtungen auf sehr lange Zeit ausdehnt<sup>1)</sup>.

Unter den oben erwähnten Annahmen wurde untersucht, ob eine unimolekulare, bimolekulare etc. Reaktion dem Koagulationsprozeß zu Grunde liegt, d. h. ob die Gleichungen  $\frac{dx}{dt} = k(a-x)$  oder  $\frac{dx}{dt} = k(a-x)^2$  erfüllt sind. Im folgenden sind als Beispiel einige Werte des aus den Formeln

$$a = \frac{x_2^2 - x_1 x_3}{2x_2 - (x_1 + x_3)} \quad (\text{unimolekulare Reaktion})$$

und

$$a = \frac{x_2(x_1 + x_3) - 2x_1 x_3}{2x_2 - (x_1 + x_3)} \quad (\text{bimolekulare Reaktion})$$

berechneten Endwertes  $a$  gegeben, wobei  $t_2 - t_1 = t_3 - t_2 = \tau$  und die  $x_1, x_2, x_3$  die zu den Zeiten  $t_1, t_2, t_3$  umgesetzten Mengen sind, resp. die diesen proportionalen  $\frac{\delta}{\omega}$  oder  $\sqrt{\frac{\delta}{\omega}}$  je nach der Annahme, die wir zu Grunde legen.

$$\text{I. } x = \frac{\delta}{\omega}.$$

a) Beobachtete Werte.

$x_1$	$x_3$	$x_5$	$x_7$	$x_9$	$x_{11}$	beobachteter Endwert [nach 6 Tagen]	$\tau$
1.511	3.532	4.205	4.566	4.794	4.965	6.304	4 <sup>h</sup>

b) Berechnete Endwerte  $a$ .

Endwert berechnet aus	$a$	
	unimolekulare Reaktion	bimolekulare Reaktion
$x_1 \ x_3 \ x_5$	4.54	5.55
$x_3 \ x_5 \ x_7$	4.99	5.76
$x_5 \ x_7 \ x_9$	5.19	5.80
$x_7 \ x_9 \ x_{11}$	5.43	6.05

<sup>1)</sup> Vergleiche hierzu wie zu dem folgenden R. Reiger a. a. O. S 258. Sitzungsberichte der med.-phys. Soz. 39 (1907).

$$\text{II. } x = \sqrt{\frac{\delta}{\omega}}$$

a) Beobachtete Werte.

Diese Werte sind dieselben wie unter I, so daß also

$x_1$	$x_3$	$x_5$	$x_7$	$x_9$	$x_{11}$	beobachteter Endwert	$\tau$
1,229	1,879	2,051	2,137	2,190	2,228	2,510	4 <sup>h</sup>

b) Berechnete Endwerte a

Endwert berechnet aus	a unimolekulare Reaktion	a bimolekulare Reaktion
$x_1 \ x_3 \ x_5$	2,115	2,349
$x_3 \ x_5 \ x_7$	2,198	2,366
$x_5 \ x_7 \ x_9$	2,303	2,497
$x_7 \ x_9 \ x_{11}$	2,336	2,447 <sup>1)</sup>

Aus diesen Tabellen ergibt sich, daß weder die Formel einer unimolekularen noch einer bimolekularen Reaktion den Vorgang wiederzugeben vermag. Der Wert a wächst mit der Zeit, der aus den Anfangswerten berechnete Wert ist kleiner als die später beobachteten Werte.

Dies tritt noch deutlicher hervor, wenn man eine direkte Berechnung des Geschwindigkeitskoeffizienten k ausführt. Es

Beobachtete Werte	k m	Beobachtete Werte	k m
nach 3 Stunden: 1,0999	0,180	nach 2 Tagen: 3,490	0,0048
„ 6 „ 2,233		„ 5 „ 3,761	
„ 9 „ 2,635		„ 8 „ 3,887	
nach 6 Stunden: 2,233	0,070	nach 5 Tagen: 3,761	0,00223
„ 12 „ 2,837		„ 8 „ 3,887	
„ 18 „ 3,086		„ 11 „ 3,975	
nach 18 Stunden: 3,086	0,037		
„ 27 „ 3,278			
„ 36 „ 3,370			

1) Aus dieser Zahl kann nichts geschlossen werden, da die Differenzen zu klein sind und infolgedessen die Versuchsfehler zu sehr in Betracht kommen.

seien z. B. für einen Versuch (siehe die vorstehende Tabelle) die Änderung des Geschwindigkeitskoeffizienten unter der Annahme einer unimolekularen Reaktion und, daß die umgesetzte Menge proportional der Wurzel aus dem Scherungsmodul ist, mitgeteilt, wobei  $m$  den Modul der Briggischen Logarithmen bedeutet und die Einheit der Zeit die Stunde ist.

Diese Abnahme des Geschwindigkeitskoeffizienten mit der Zeit läßt vermuten, daß wir es eventuell mit einer verzögerten Reaktion zu tun haben. Legen wir diese Annahme zugrunde, so läßt sich der Einfluß verschiedener Zusätze auf den Geschwindigkeitskoeffizienten bestimmen. Dabei soll von vornherein auf die Behandlung des Reaktionsverlaufs bei den Zusätzen von NaOH und KOH verzichtet werden, da hier die Versuche zeigen, daß außer der Koagulation noch eine Zersetzung stattfindet, infolge der die Koagulation im Laufe der Zeit vollständig vernichtet wird.

Die folgenden Tabellen geben die berechneten Werte für die verschiedenen Versuchsreihen unter der Annahme einer uni-

Versuchsreihe	Prozentgehalt an Gelatine	Zusatz	Berechnete Werte von $k$ m			
			x prop. a)	x prop. b)	x prop. a)	x prop. $\sqrt{b}$
I	1,128	—	0,084	0,071	0,133	0,082
I	2,189	—	0,124	0,068	0,158	0,075
I	4,434	—	0,129	0,067	0,153	0,072
II	4	—	0,129	0,067	0,153	0,072
II	4	NaCl	0,116	0,064	0,140	0,072
II	4	KCl	0,124	0,065	0,145	0,070
III	4	—	0,140	0,063	0,157	0,066
III	4	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0,132	0,062	0,150	0,067
III	4	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0,137	0,063	0,155	0,068
IV	4	—	0,147	0,062	0,175	0,068
IV	4	KNO <sub>3</sub>	0,151	0,069	0,186	0,075
IV	4	NaNO <sub>3</sub>	0,146	0,065	0,174	0,071
V	4	—	0,144	0,063	0,178	0,069
V	4	HCl	0,128	0,075	0,177	0,083
VI	4	—	0,143	0,075	0,170	0,080
VI	4	HNO <sub>3</sub>	0,133	0,072	0,171	0,079
VII	4	—	0,150	0,069	0,180	0,070
VII	1	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0,140	0,069	0,171	0,075

molekularen Reaktion, wobei unter a) die Werte berechnet sind aus den nach 3, 6, 9 Stunden und unter b) aus den nach 6, 12, 18 Stunden beobachteten Werten. Dabei ist „m“ der Modul der Briggischen Logarithmen.

Vergleichen wir die in der Tabelle gefundenen Werte für  $k$  m, so zeigt sich, daß die Werte, die jeweils denselben Zeitintervallen und daher demselben Koagulationszustand entsprechen, für alle Zusätze und Konzentrationen konstant sind, speziell für die Annahme, daß die umgesetzte Menge proportional  $\sqrt{n}$  ist<sup>1)</sup>. Allgemein zeigen die Versuchsreihen I, II, III etwas niedrigere Werte als die Versuchsreihen IV, V, VI, VII. Dies dürfte darauf zurückzuführen sein, daß zu den letzteren Versuchsreihen eine andere Gelatinesendung von den deutschen Gelatinewerken in Höchst am Main benützt wurde und diese eine etwas andere Zusammensetzung hatte.

Wir kommen somit zu dem einfachen Resultat:

Konzentration und Zusätze beeinflussen den Scherungsmodul, dagegen ist der Geschwindigkeitskoeffizient des Koagulationsprozesses innerhalb weiter Grenzen von der Konzentration und von Zusätzen von Säuren und Salzen unabhängig.

Der Versuch, welcher, wie bereits erwähnt, mit Gelatine-lösungen von demselben Prozentgehalt bei verschiedenen Temperaturen angestellt worden ist, zeigt ebenfalls eine Unabhängigkeit des Geschwindigkeitskoeffizienten von der Temperatur, dagegen eine Abhängigkeit des Scherungsmoduls von derselben. Doch soll auf diese Versuche zunächst nicht näher eingegangen werden, da sie nur Vorversuche sind und es mir mit meinen bis jetzt verwendeten Hilfsmitteln nicht gelungen ist, die höhere Temperatur mehrere Tage lang konstant zu halten.

S. Levites<sup>2)</sup> findet bei seinen Untersuchungen eine Abhängigkeit der Koagulation von Konzentration und Zusätzen. Wie bereits erwähnt, legt er seinen Messungen denjenigen Zeitpunkt zugrunde, bei dem kein Ausfließen der koagulierenden

---

<sup>1)</sup> Eine Ausnahme zeigt nur die 1. Reihe. Dies rührt wohl daher, daß der Endwert nicht mehr der Beziehung  $\frac{E}{c^2} = \text{const.}$  genügt, und daß man daher diese Annahme über die umgesetzte Menge nicht machen darf.

<sup>2)</sup> S. Levites, a. a. O.

Substanz beim Stürzen eines Gefäßes eintritt, und nennt die Koagulation einer Gelatinelösung mit Zusatz beschleunigt resp. verzögert, je nachdem die koagulierende Substanz den eben erwähnten Zeitpunkt früher oder später erreicht als eine reine Gelatinelösung von derselben Konzentration. Dieser Zeitpunkt hängt aber wesentlich von den elastischen Eigenschaften der Gelatinelösung [Scherungsmodul und speziell Elastizitätsgrenze] ab und muß daher wie diese eine Abhängigkeit von Zusätzen wie auch von Konzentration und Temperatur zeigen. Ebenso führt P. von Schroeder keine Bestimmung des Geschwindigkeitskoeffizienten durch <sup>1)</sup>, sondern er bestimmt das Erstarrungsvermögen, für welches er als Maß  $\Delta R/\Delta t$  einführt, wobei  $\Delta R$  die Differenz der Reibungskoeffizienten zu verschiedenen Zeiten und  $\Delta t$  die betreffende Zeitdifferenz ist. Da aber der Reibungskoeffizient der Gelatinelösungen eine Funktion von Konzentration, Temperatur und Zusätzen ist, so ist  $\Delta R/\Delta t$  wiederum ein Ausdruck, der von diesen drei Größen abhängt; v. Schroeder muß also eine Abhängigkeit der Koagulation von diesen drei Größen finden.

Mit weiteren Versuchen über die Frage der Koagulationsgeschwindigkeit bin ich beschäftigt.

Erlangen, Physikalisches Institut, Juli 1907.

---

<sup>1)</sup> Wenigstens nicht für den Prozeß der eigentlichen Koagulation. Seine Bestimmung des Geschwindigkeitskoeffizienten beziehen sich auf den von ihm als „Verseifung“ bezeichneten Prozeß, der speziell unter Einwirkung von langem Kochen eintritt. S. a. a. O.

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Sitzungsberichte der Physikalisch-Medizinischen Sozietät zu Erlangen](#)

Jahr/Year: 1907

Band/Volume: [39](#)

Autor(en)/Author(s): Lampe Paul

Artikel/Article: [Über die Koagulationsgeschwindigkeit wässriger Gelatinelösungen. 54-69](#)