

## Zusammenfassung der bisherigen Versuche zum Thema Entkalker

Es werden drei handelsübliche Entkalker untersucht: Sidol, AS-Entkalker und AS-Kalkreiniger. Dazu werden folgende Versuche unternommen:

1. Wirkung der Entkalker auf Kalkstein
2. Untersuchung der Wirksamkeit der verschiedenen Entkalker
3. Bestimmung des Feststoffgehalts
4. Bestimmung der Dichte
5. Aufnahme von Titrationskurven verschiedener Entkalker mit Natronlauge

### Ergebnisse:

#### 1. Wirkung der Entkalker auf Kalkstein

Eine kleine Menge eines flüssigen Entkalkers wird auf einen Kalkstein getropft. Es entwickelt sich ein Gas, vermutet wird Kohlenstoffdioxid-Gas  $\text{CO}_2$  (g). Die verschiedenen Entkalker zeigen unterschiedliche Heftigkeit, mit der das Gas entsteht. „Heftigkeit“ fasst Reaktionsgeschwindigkeit und Menge des entstehenden Gases zusammen. Um diese Unterschiede quantitativ zu erfassen, wird Versuch 2 unternommen:

#### 2. Untersuchung der Wirksamkeit der verschiedenen Entkalker

Calciumcarbonat-Granulat der Korngröße ca. 2 mm im Überschuss reagiert mit einem bestimmten Volumen eines Entkalkers. Es werden Zeit-Volumen-Diagramme erstellt. Das entstehende Gas wird in einem Kolbenprober aufgefangen. Die unterschiedlichen Ausgangsvolumina der Entkalker werden danach auf ein einheitliches Volumen von 10 mL umgerechnet, entsprechend die  $\text{CO}_2$ -Volumina.

**Ergebnis:** (siehe Tabelle)

Bekommt Sidol die Wirksamkeit 1, dann ist AS-Entkalker mehr als doppelt so wirksam und AS-Kalkreiniger nur ca. ein Drittel von Sidol.

Entkalker	Sidol	AS-Entkalker	AS-Kalkreiniger
MW $V(\text{CO}_2)$ [mL]* <sup>1</sup>	166,25	359,5	53,75
Molzahl $n(\text{CO}_2)$ [mol]* <sup>2</sup>	$6,91 \cdot 10^{-3}$	$15,0 \cdot 10^{-3}$	$2,24 \cdot 10^{-3}$
Wirksamkeitsvergleich	1	2,16	0,32

Um die Unterschiede erklären zu können, wird der

#### Feststoffgehalt (Versuch 3) und die Dichte (Versuch

4) bestimmt. Hintergrund ist die **Vermutung**, dass die unterschiedliche Wirksamkeit entweder durch unterschiedliche Mengen gleicher oder ähnlicher Entkalker-Substanz verursacht werden oder durch unterschiedliche Zusammensetzung, d.h. in den Entkalkern wirken verschiedene Stoffe.

#### Ergebnis:

Verglichen mit Sidol hat AS-Entkalker ca. 2/3 mehr Trockenmasse und AS-Kalkreiniger nur 2/5 von Sidol. Diese Zahlen passen gut zum Dichte-Vergleich: auf der Basis der besagten Annahme ist AS-Entkalker doppelt so konzentriert wie Sidol und AS-Kalkreiniger nur 2/5 von Sidol.

#### Anmerkung:

\*<sup>1</sup>: Die Mittelwerte (MW) des  $\text{CO}_2$ -Volumens beziehen sich auf 10 mL Entkalker-Flüssigkeit

\*<sup>2</sup>: Die Molzahl  $n(\text{CO}_2)$  bezieht sich auf ebenfalls auf 10 mL Entkalker-Flüssigkeit

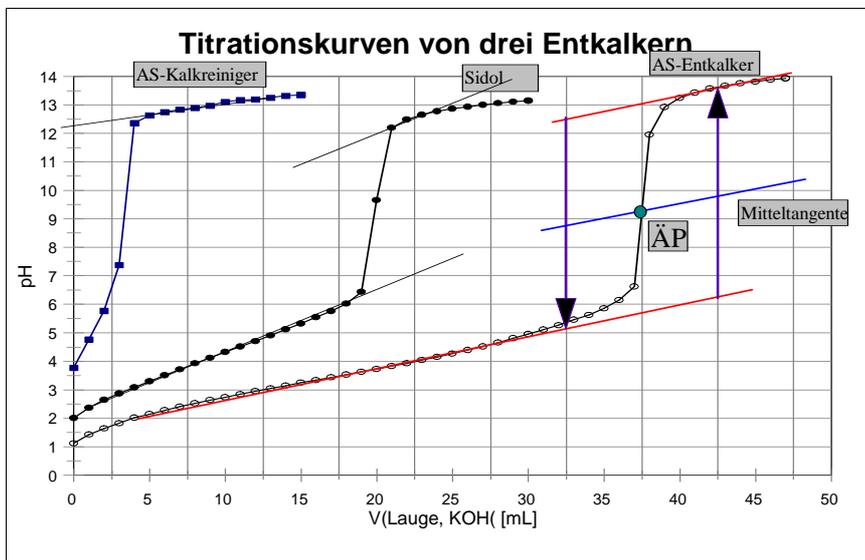
Entkalker	Sidol	AS-Entkalker	AS-Kalkreiniger
Trockenmasse [g/L]	135,4	228,4	56,4
Dichte [g/mL]	1,0408	1,0878	1,0168
Vergleich mit Zucker-Lsg.* <sup>3</sup>	10%	21,52%	4,12/
Verhältnis Trockenmasse	1	1,687	0,41

\*<sup>3</sup>: Der Dichte-Vergleich mit Zuckerlösung basiert auf der Annahme einer ähnlichen Zusammensetzung. Dabei dient Sidol als Ausgangsstoff.

Da die oben formulierte Vermutung mit diesen beiden Versuchsergebnissen weder verifiziert noch falsifiziert werden kann, also damit keine befriedigende Antwort auf die Fragestellung gegeben werden kann, wird

**Versuch 4:** Aufnahme von Titrationskurven durchgeführt. Das Ergebnis ist in Abb. 1 enthalten.

**Ergebnis:** AS-Entkalker zeigt den höchsten Verbrauch an Lauge, danach Sidol und zuletzt AS-Kalkreiniger. Die Kurvenverläufe mit jeweils nur einem Wendepunkt lassen darauf schließen, dass jeder Entkalker nur eine wirksame Substanz enthält, nicht jedoch mehrere. Grobgesagt enthält AS-Entkalker doppelt so viel wirksame Substanz (Säure) wie Sidol und AS-Kalkreiniger nur ca. 1/10 der von AS-Entkalker.



Aus der Abbildung werden mit Hilfe des Tangentenverfahrens die **Äquivalenzpunkte** ermittelt, bei denen die jeweilige Säure-Konzentration der Laugen-Konzentration in der titrierten Lösung entspricht. Alle Äquivalenzpunkte liegen im alkalischen (basischen) pH-Bereich, also handelt es sich bei den titrieren Säuren um schwache Säuren. Aus den ÄP werden die verbrauchten Mengen Lauge graphisch ermittelt (s. Tabelle).

Entkalker	Sidol	AS-Entkalker	AS-Kalkreiniger
ÄP (pH-Wert)	9,3	9,3	10
V(NaOH) [mL]	20,5	37,5	3,5
c(S) [mol/L]	2,05	3,75	0,35
Verhältnis	1	1,83	0,17

### Auswertung:

Am ÄP ist die Stoffmenge Säure gleich der Stoffmenge Lauge:

$$n(S) = n(L)$$

Da die Konzentration  $c = n/V$  ist, also der Quotient aus Stoffmenge und Volumen, kann dieser Term umgeformt werden zu  $n = c \cdot V$ . D.h.  $n(S)$  bzw.  $n(L)$  werden substituiert durch  $c(S) \cdot V(S)$  bzw.  $c(L) \cdot V(L)$ :

$$c(S) \cdot V(S) = c(L) \cdot V(L)$$

Da  $c(S)$  die gesuchte Größe ist und  $V(S) = 10 \text{ mL}$  oder  $0,01 \text{ L}$ ,  $c(L) = 1 \text{ mol/L}$  und  $V(L)$  das verbrauchte Volumen Lauge bei der Titration, kann  $c(S)$  durch entsprechende Umformung bestimmt werden.

Da  $c \cdot V = n$  und  $n = m/M$  ist, kann durch Gleichsetzung  $c \cdot V = m/M$  entwickelt werden. Die entsprechende Umformung zu  $c \cdot V \cdot M = m$  ergibt die Masse (Stoffportion) der Substanz, die als Säure wirkt. Für  $M$  kann die **Molare Masse** der gängigen Säuren verwendet werden, die in Entkalkern wirksam sind, also Citronensäure, Amidosulfonsäure und Malonsäure. Die entsprechenden Formeln lauten: für Citronensäure:  $C_6H_8O_7$ , für Amidosulfonsäure:  $H_3SO_3N$  und für Malonsäure:  $C_3H_4O_4$ . Während die Citronensäure eine Tricarbonsäure ist, also eine organische Säure mit drei Säure (Carboxyl)-Gruppen, ist die Amidosulfonsäure eine anorganische Säure mit einer Säuregruppe und Malonsäure besitzt als organische Säure zwei Säuregruppen. Das bedeutet: ein Mol einer Tricarbonsäure verbraucht dreimal so viel Lauge wie eine Säure mit einer Säuregruppe.

### Arbeitsaufträge:

1. Stelle die Strukturformeln für Citronensäure, Amidosulfonsäure und Malonsäure zusammen.
2. Berechne die Molare Masse  $M$  [g/mol] dieser drei Säuren.
3. Berechne die Stoffportion  $m$  aus  $m = c \cdot V \cdot M$  und Beachtung der Säurewertigkeit für diese drei Säuren.
4. Vergleiche die berechneten Stoffportionen  $m$  mit der Trockenmasse und formuliere eine Hypothese.
5. Entwickle eine Möglichkeit der Verifizierung oder Falsifizierung der Hypothese.
6. Welche weiteren organischen Säuren werden in Entkalkern verwendet?