

VEB  
Projektierung  
Wasserwirtschaft

Wasseraufbereitung  
Enteisung und Entsäuerung durch Filtration  
Filtration über halbgebrannte Dolomite

WAPRO  
1.54./04

Verbindlich ab 1. 10. 1979

## Inhaltsverzeichnis

1. Allgemeines
2. Bemessung zur Entsäuerung
  - 2.1. Berechnung der Entsäuerungsgeschwindigkeit
  - 2.2. Gültigkeitsbereich
  - 2.3. Hinweise zu den Bemessungsparametern
3. Bemessung zur Enteisung
  - 3.1. Berechnung der Enteisungsgeschwindigkeit
  - 3.2. Gültigkeitsbereich
  - 3.3. Hinweise zu den Bemessungsparametern
  - 3.4. Ermittlung der hydraulisch zulässigen Filtergeschwindigkeit
  - 3.5. Ermittlung der zulässigen Filtergeschwindigkeit
4. Bemessungsablauf bei gleichzeitiger Entsäuerung und Enteisung
  - 4.1. Voraussetzungen
  - 4.2. Bemessungsablauf
5. Bemessungsbeispiel
6. Hinweise zum Betrieb

Verwendete Bezeichnungen: siehe Blatt 01 dieses Werkstandards

Verantwortlich: Betrieb Halle

Bestätigt : 28. 5. 79 Direktor, Halle (Saale)

Fortsetzung Seite 2 bis 12

1. Allgemeines

Halbgebrannte Dolomite sind ein chemisch aktives Filtermaterial mit der für die Entsäuerung wirksamsten Komponente MgO und dem schwach alkalisierenden Bestandteil CaCO<sub>3</sub>..

Das Handelsprodukt Decarbolith der Qualität Sorte II darf nach TGL 4540 einen Rest - MgCO<sub>3</sub> - Gehalt von 12% nicht überschreiten. Auf Grund der chemischen Eigenschaften von Decarbolith erfolgt im Filter parallel die Entsäuerung und Enteisenung. Die Bemessung der Filter muß dementsprechend sowohl nach den Grundsätzen der Entsäuerung als auch der Enteisenung durchgeführt werden.

2. Bemessung zur Entsäuerung

2.1. Berechnung der Entsäuerungsgeschwindigkeit

$$v_C = A_{D,CO_2} \frac{10 \cdot e^{0,05t} \cdot l_{F,n}}{(10 + KH) \cdot CO_{2,0}^{0,5} \cdot (\ln CO_{2,0} - \ln CO_{2,1}) \cdot (Ca-H/Mg-H)^{0,1} \cdot d_w} \quad (1)$$

2.2. Gültigkeitsbereich für Gleichung (1)

- $v_C$  :  $\leq 30$  m/h
- KH im Filterzulauf : 5 bis 100 mg/l
- t : 3 bis 17 °C
- $d_w$  : 1,0 bis 2,3 mm
- U :  $\leq 1,5$

2.3. Hinweise zu den Bemessungsparametern

2.3.1 Aktivitätskonstante  $A_{D,CO_2}$

Aufgrund der höheren Reaktionsgeschwindigkeit der Mg-Komponente des halbgebrannten Dolomites verschiebt sich die Materialzusammensetzung mit der Zeit zugunsten des CaCO<sub>3</sub>. Das Material verliert somit an Aktivität, es altert. Die in Tabelle 1 angegebenen Werte gelten für gealtertes Decarbolith.

Für  $A_{D,CO_2}$  sind bei Einsatz von Decarbolith, Sorte II, in Abhängigkeit vom Eisengehalt im Filterzulauf folgende Werte einzusetzen:

Tabelle 1

Fe <sup>2+</sup> mg/l	0	2	4	6	8	10	12	15
$A_{D,CO_2}$ für Decarbolith Sorte II	120	70	55	47	40	35	30	25

Bei Verwendung eines anderen halbgebrannten Dolomits als Decarbolith, Sorte II, nach TGL 4540 sind nach etwa einjährigem Einsatz dieses Materials im praktischen Betrieb aus den Entsäuerungsleistungen verschiedener Anlagen die Entsäuerungsaktivitätskonstanten wie folgt zu ermitteln:

$$A_{D,CO_2} = \frac{v_C \cdot (10 + KH) \cdot CO_{2,0}^{0,5} \cdot (\ln CO_{2,0} - \ln CO_{2,1}) \cdot (Ca-H/Mg-H)^{0,1} \cdot d_w}{10 \cdot e^{0,05 t} \cdot l_{F,n}} \quad (2)$$

### 2.3.2. Nutzbare Filterbettiefe $l_{F,n}$

Von der Gesamtfilterbettiefe  $l_F$  sind in Abzug zu bringen:

- Verzehr des Materials infolge Masseverlust bei der Reaktion von  $CO_2$  mit dem Filtermaterial:  $0,1 \cdot l_F$
- Inaktive Stüttschicht über den Filterdüsen zur Vermeidung von Verbackungserscheinungen:  $0,2 \text{ m}$ , Quarzkies oder Rohdolomit Körnung  $3,15 - 6,0 \text{ mm}$

$$l_{F,n} = l_F - 0,1 \cdot l_F - 0,2 \quad (3)$$

### 2.3.3. Kohlendioxidkonzentration im Filterzulauf

Es ist das im Filterzulauf vorhandene Kohlendioxid in Ansatz zu bringen. Das bei einer eventl. parallel erfolgenden Enteisung entstehende Kohlendioxid wird in dieser Berechnung nicht durch eine Addition zu  $CO_{2,0}$  berücksichtigt.

### 2.3.4. Kohlendioxidkonzentration im Filterablauf

Die Bestimmung des freien zugehörigen Kohlendioxids ist nach WAPRO 1.44. vorzunehmen. Restgehalte an überschüssigem Kohlendioxid sind nach Tabelle 2 zulässig:

Tabelle 2

Karbonathärte bezogen auf mg CaO/l	Überschüssiges Kohlendioxid mg/l
< 30	≤ 2,0
30 bis 60	≤ 3,0
> 60	≤ 4,0

## 3. Bemessung zur Enteisung.

### 3.1. Berechnung der Enteisungsgeschwindigkeit

$$v_E = \left[ \frac{A_{D,Fe} \cdot 2 \cdot e^{0,04 t} \cdot \ln(0,22 - pH) \cdot f_T \cdot l_{F,n}}{(10 + KH)^{0,3} \cdot d_w \cdot Fe_0^{0,25} \cdot (\ln Fe_0 - \ln Fe_1)} \right]^{1,5} \quad (4)$$

### 3.2. Gültigkeitsbereich für Gleichung (4)

$v_E$	:	≤ 30 m/h
$A_{D,Fe}$	:	50 bis 130
KH im Filterzulauf	:	5 bis 100 mg/l

$Fe_0$	:	$\leq 20$ mg/l						
$Fe_1$	:	bei KH 5 bis 60 mg/l: 0,1 mg/l (s. Abschnitt 3.3.4.) bei KH >60 mg/l : < $Fe_0$						
$Fe_0^{3+}$ -Anteil	:	$\leq 20$ %						
t	:	3 bis 17 °C						
pH-Wert	:	bei KH 5 bis 20 mg/l: 5,0 bis 7,0 bei KH 20 bis 100 mg/l: 6,0 bis 7,3						
anzustrebende $O_2$ -Konzentration im Filterszulauf	:	<table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"> <thead> <tr> <th><math>Fe_0^{2+}</math> in mg/l</th> <th><math>O_2</math> in mg/l</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>&lt; 5</td> <td><math>\geq 3,5</math></td> </tr> <tr> <td>5 bis 20</td> <td><math>\geq 5</math></td> </tr> </tbody> </table>	$Fe_0^{2+}$ in mg/l	$O_2$ in mg/l	< 5	$\geq 3,5$	5 bis 20	$\geq 5$
$Fe_0^{2+}$ in mg/l	$O_2$ in mg/l							
< 5	$\geq 3,5$							
5 bis 20	$\geq 5$							
$d_w$	:	1,0 bis 2,3 mm						
U	:	$\leq 1,5$						
$t_F$	:	$\leq 48$ h						

3.3. Hinweise zu den Bemessungsparametern

3.3.1. Enteisungsaktivitätskonstante  $A_{D,Fe}$

Für Decarbolith, Sorte II nach TGL 4540 beträgt

$$A_{D,Fe} = 59$$

Bei Verwendung eines anderen halbgebrannten Dolomits als Decarbolith, Sorte II, ist nach etwa einjährigem Einsatz dieses Materials im praktischen Betrieb aus den Enteisungsleistungen verschiedener Anlagen die Enteisungskonstante wie folgt zu ermitteln:

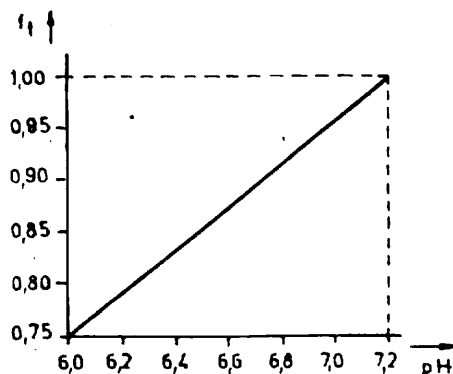
$$A_{D,Fe} = \frac{(10 + KH)^{0,3} \cdot Fe_0^{0,25} \cdot (\ln Fe_0 - \ln Fe_1) \cdot v_F^{0,67} \cdot d_w}{2 \cdot f_t \cdot \ln(0,22 \text{ pH}) \cdot e^{0,04 t} \cdot l_{F,n}} \quad (5)$$

3.3.2. Faktor  $f_t$

Der Faktor  $f_t$  berücksichtigt die mögliche Filtratverschlechterung in einer Laufzeit bis 48 Stunden, die sich in Abhängigkeit der verschiedenen Reaktionsabläufe im Filter einstellen kann.

$f_t$  ist nach Bild 1 zu ermitteln:

Bild 1



### 3.3.3. Nutzbare Filterbettiefe $l_{F,n}$

Hier gelten die gleichen Hinweise wie für die Bemessung zur Entsäuerung:

$$l_{F,n} = l_F - 0,1 \cdot l_F - 0,2$$

### 3.3.4. Eisenkonzentration im Filterablauf

Bei gering gepufferten Wässern ( $KH < 60 \text{ mg/l}$ ) verläuft die Enteisung über die Filterbettiefe nicht exponentiell, d.h. nicht exakt nach Gleichung (4). Diese Gleichung ist aber für solche Wässer nach einem repräsentativen exponentiellen Eisenabbau bis  $Fe_1 = 0,1 \text{ mg/l}$  entwickelt und dafür voll gültig. Für stärker gepufferte Wässer ( $KH > 60 \text{ mg/l}$ ) gilt Gl. (4) auch für höhere Eisenkonzentrationen im Filterablauf.

### 3.4. Ermittlung der hydraulisch zulässigen Filtergeschwindigkeit

Bei der Bemessung von Enteisungsfilttern ist im allgemeinen neben der Enteisungsgeschwindigkeit die hydraulisch zulässige Filtergeschwindigkeit zu berücksichtigen.

Für Decarbolith, Sorte II nach TGL 4540 mit der niedrigen Enteisungsaktivität  $A_{D,Fe} = 59$  und der produzierten Körnung 0,5 bis 3,15 mm kann auf eine Ermittlung der hydraulischen Filtergeschwindigkeit  $v_{hydr.}$  bei den zulässigen Laufzeiten bis 48 Stunden verzichtet werden. Bei der Verwendung dieses Decarboliths ist stets  $v_E$  bzw.  $v_G$  (s. Abschnitt 4) maßgebend.

Hochwertige halbgebrannte Dolomite besitzen Anfangsaktivitäten  $A_{D,Fe}$  von 110 bis 130. Im gealterten Zustand gehen diese Aktivitäten auf  $A_{D,Fe} = 90$  bis 100 zurück. Für diese halbgebrannten Dolomite sind in den Bildern 2.1. und 2.2. Diagramme zur Ermittlung von  $v_{hydr.}$  angegeben. Den Diagrammen liegen zulässige Filterwiderstandshöhen für offene Filter = 2 m und für geschlossene Filter = 5 m sowie Filterlaufzeiten von 24 h und 48 h zugrunde. Es werden 2 verschiedene Körnungen angegeben. Bei der Wahl der Körnung ist die weitestgehende Übereinstimmung zwischen  $v_{Ez}$  und  $v_{hydr.}$  anzustreben.

### 3.5. Ermittlung der zulässigen Filtergeschwindigkeit

Die zulässige Filtergeschwindigkeit ist abhängig von der

- Enteisungsgeschwindigkeit
- hydraulisch zulässigen Geschwindigkeit.

Bei der Festlegung der zulässigen Filtergeschwindigkeit sind Sicherheitsfaktoren zu berücksichtigen, da im praktischen Betrieb mit Schwankungen bei der Enteisung und Störungen im Betrieb gerechnet werden muß.

Die zulässige Filtergeschwindigkeit ergibt sich

- für geschlossene Filter :  $0,8 v_E \geq v_z \leq v_{hydr.}$
- für offene Filter :  $0,8 v_E \geq v_z \leq 0,9 v_{hydr.}$

#### 4. Bemessungsablauf bei gleichzeitiger Entsäuerung und Enteisung

##### 4.1. Voraussetzungen

Bei der Bemessung ist von folgenden Kriterien auszugehen:

- Eisenkonzentration im Filtrat über die gesamte Filterlaufzeit  $\leq 0,1$  mg/l,
- keine Überschreitung des zulässigen Filterwiderstandes in der vorgesehenen Laufzeit,
- angenähertes Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht im Filtrat.

##### 4.2. Bemessungsablauf

Die Bemessung ist nach folgendem Schema vorzunehmen:

- a) Berechnung von  $v_z$  zur Enteisung
- b) Berechnung der Kohlendioxidkonzentration im Filtrat ( $CO_{2,1}$ ) bei der Filtergeschwindigkeit  $v_z$

$$CO_{2,1} = CO_{2,0} \cdot \frac{A_{D,CO_2} \cdot 10 \cdot e^{0,05 t} \cdot l_{F,n}}{(10 + KH) \cdot CO_{2,0}^{0,5} \cdot (Ca-H/Mg-H)^{0,1} \cdot d_w \cdot v_z} \quad (6)$$

- c) Ermittlung des zugehörigen Kohlendioxids  $C_{zug.}$  nach WAPRO 1.44.
- d) Berechnung des überschüssigen Kohlendioxids
 
$$CO_{2,überschüss.} = CO_{2,1} - CO_{2,zug.}$$
- e) Vergleich, ob  $CO_{2,überschüss.}$  die Grenzen entspr. Tabelle 2 überschreitet. Ist dies der Fall, so folgt:
- f) Berechnung der Entsäuerungsgeschwindigkeit nach Gl. (1) bei Beachtung der von Eisengehalt abhängigen  $A_{D,CO_2}$ -Konstante.
- g) Ermittlung der erforderlichen Filterfläche und Filteranzahl bei einstufiger Filtration.
- h) Ergibt sich für  $CO_{2,überschüss.}$  entsprechend Pkt. d) ein hoher Wert, ist zu überprüfen, ob eine zweistufige Filtration wirtschaftlicher ist.
- i) Bemessung der 1. Filterstufe nach  $v_z$  für die Enteisung
- k) Bemessung der 2. Filterstufe zur Entsäuerung eines eisenfreien Wassers mit
  - $CO_{2,1}$  der ersten Filterstufe als  $CO_{2,0}$  für die zweite Filterstufe
  - entsprechend höherer Aktivitätskonstante  $A_{D,CO_2}$
  - höherer Karbonathärte:  
Aufhärtung KH: 10 mg/l je 10 mg/l abgeb.  $CO_2$
- l) Ermittlung der Filterfläche und Filteranzahl für 1. und 2. Filterstufe - Gegenüberstellung zur einstufigen Filtration.
- m) Nach dem in den Punkten a) bis l) vorgegebenen Bemessungsablauf werden im Falle der zweistufigen Filtration je eine Filtergeschwindigkeit für die erste und zweite Stufe berechnet. In Abhängigkeit von der Aufbereitungskapazität ergeben sich dann für die erste und zweite Filterstufe die erforderlichen Filterflächen und die Filteranzahl.

Weichen die Filtergeschwindigkeiten für die erste und zweite Filterstufe stark voneinander ab, so ist auch die Filteranzahl unterschiedlich. Oft ist es jedoch das Ziel, beide Filterstufen mit gleicher Filteranzahl auszurüsten. In diesem Fall muß dann die Berechnung unter dem Aspekt

$$v_{z,1.\text{Stufe}} = v_{z,2.\text{Stufe}}$$

als Interpolationsrechnung geführt werden.

Das bedeutet Teilentsäuerung und Teilenteisnung in der ersten Stufe,  
Restentsäuerung und Restenteisnung in der zweiten Stufe.

Für die zweite Filterstufe ist der höhere  $A_{D,CO_2}$ -Wert infolge des verminderten Eisengehaltes als Vorteil zu beachten.<sup>2</sup>

### 5. Bemessungsbeispiel

Ausgangsparameter:

Filterzulauf:	Fe <sub>0</sub>	:	5,0 mg/l	
	Fe <sub>0</sub> <sup>2+</sup>	:	4,8 mg/l	(Fe <sup>3+</sup> < 20 %)
	pH-Werte	:	6,3	
	KH	:	30 mg/l	
	GH	:	80 mg/l	
	Ca-H	:	60 mg/l	
	CO <sub>2,0</sub>	:	45 mg/l	
	t	:	10 °C	

gefordertes Filterablauf:

$$Fe_1 : 0,1 \text{ mg/l}$$

Reinwasser im angereicherten Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht.

Gewählt:

Decarbolith, Sorte II mit  $A_{D,Fe} = 59$   
Körnung 0,5 bis 3,15 mm  $\Rightarrow d_w = 1,8 \text{ mm}$

$$l_F : 2,5 \text{ m}$$

$$t_F : 48 \text{ h}$$

Bemessung:

a) Berechnung von  $v_z$  zur Enteisnung

$$l_{F,n} = 2,5 \text{ m} - 0,1 \cdot 2,5 \text{ m} - 0,2 \text{ m} = 2,05 \text{ m}$$

$$v_E = \left[ \frac{59 \cdot e^{0,4} \cdot \ln(0,22 \cdot 6,3) \cdot 0,82 \cdot 2,05}{(10+30)^{0,3} \cdot 1,8 \cdot 5,0^{0,25} \cdot (\ln 5 - \ln 0,1)} \right]^{1,5}$$

$$v_E = 5,28 \text{ m/h}$$

Bei Decarbolith, Sorte II braucht  $v_{\text{hydr.}}$  nicht berücksichtigt werden.

$$v_z = 0,8 \cdot v_E = 4,23 \text{ m/h}$$

b) Berechnung von  $\text{CO}_{2,1}$

$$\text{CO}_{2,1} = 45 \cdot e^{-\left( \frac{50 \cdot 10 \cdot e^{0,5} \cdot 2,05}{(10+30) 45^{0,5} (60/20)^{0,1} \cdot 1,8 \cdot 4,23} \right)}$$

$$\text{CO}_{2,1} = 45 \cdot e^{-0,74} = 21,5 \text{ mg/l}$$

c) Nach WAPRO 1,44. wird das zugehörige Kohlendioxid ermittelt (unter Beachtung der Aufhärtung im Filter): Berechnungsverfahren nach Spindler

$$\text{CO}_{2,\text{zug.}} = 3,9 \text{ mg/l}$$

d) Überschüssiges Kohlendioxid

$$\text{CO}_{2,\text{überschüss.}} = 21,5 - 3,90 = 17,6 \text{ mg/l}$$

e)  $\text{CO}_{2,\text{überschüss.}}$  über den Grenzen für das zulässige überschüssige  $\text{CO}_2$  im Reinwasser entsprechend Tabelle 2 (zul. übersch.  $\text{CO}_2 \leq 3,0 \text{ mg/l}$ )

h) Aus dem hohen Wert des noch abzubindenden Kohlendioxids ist bereits ohne Berechnung nach Punkt f ersichtlich, daß eine 2. Filterstufe sinnvoll ist. (Die Punkte f und g entsprechend Bemessungsablauf Abschnitt 4.2. kommen demzufolge nicht zur Anwendung.)

i) Bemessung 1. Filterstufe (Enteisung entsprechend Punkt a)  $v_E = 4,23 \text{ m/h}$

k) Bemessung der 2. Filterstufe

- Filterszulauf  $\hat{=}$  Filterablauf der 1. Filterstufe

- Bei der Ermittlung der Zulaufparameter ist die Aufhärtung infolge der chem. Entsäuerung über Decarbolith in der 1. Stufe zu beachten:

Aufhärtung KH : 10 mg/l je 10 mg/l abgebundene  $\text{CO}_2$

mit 40 % Aufhärtungsanteil für die Mg-Komponente

und 60 % Aufhärtungsanteil für die Ca-Komponente

- Die zugehörige Kohlensäure  $\text{CO}_{2,1}$  ist nach WAPRO 1.44. für den Filterablauf der 2. Stufe zu berechnen.

- Zulaufparameter für das Bemessungsbeispiel

$$\text{Fe} \leq 0,1 \text{ mg/l} \quad \longrightarrow \quad A_{D,\text{CO}_2} = 120$$

$$\text{KH} = 30 + (45 - 21,5) = 53,5 \text{ mg/l}$$

$$\text{Ca-H} = 60 + 0,6 \cdot 23,5 = 74,1$$

$$\text{Mg-H} = 20 + 0,4 \cdot 23,5 = 29,4$$



$$CO_{2,0} = 21,5 \text{ mg/l}$$

$$CO_{2,1} \text{ nach WAPRO 1.44.} = (\text{Berechnungsverfahren nach Spindler}) \\ = 4,3 + \text{zul. Übersch. } CO_2 = 7,3 \text{ mg/l}$$

$$d_w = 1,8 \text{ mm}$$

$$l_n = 2,05 \text{ m}$$

$$v_0 = 120 \frac{10 \cdot e^{0,5} \cdot 2,05}{(10+53,5) \cdot 21,5^{0,5} (\ln 21,5 - \ln 7,3) (74,1/29,4)^{0,1} \cdot 1,8}$$

$$v_0 = 6,48 \text{ m/h}$$

Entsprechend der Aufbereitungskapazität der Anlage und damit der erforderlichen Filterzahl wäre objektbezogen eventl. eine geringe Erhöhung der Filtergeschwindigkeit in der ersten Stufe und eine geringe Senkung der Filtergeschwindigkeit in der zweiten Filterstufe anzusetzen, um in beiden Filterstufen gleich große Filtergeschwindigkeiten zu erreichen.

Die Berechnung hängt davon ab, wie sich die entsprechend Filterkonstruktion ermittelte Filterfläche an die errechnete Filterfläche angleichen läßt.

## 6. Hinweise zum Betrieb

Die Filterdüsen sind zum Schutz vor Verbackung mit Quarzkies oder Rohdolomit zu umschütten. Als Schütthöhe genügen 200 mm über Düsenoberkante. Die Körnung soll 3,15 bis 6,0 mm betragen.

Das Filtermaterial ist auch bei Nachfüllung nur in mit Wasser gefüllte Filter zu schütten. Nach je 0,5 m Schichtaufbau ist eine Luft-Wasser-Spülung erforderlich. In der ersten Woche nach jeder Neu- und Nachfüllung ist täglich einmal zu spülen.

Nach jeder Neu- oder Nachfüllung ist das Reinwasser alkalisch. Bei eisen- und manganfreiem Rohwasser ist es zweckmäßig, das Reinwasser zu verschnitten. Bei eisen- und manganhaltigen Rohwasser ist entweder ein Abschlagen des Reinwassers bei der Inbetriebnahme des ersten Filters erforderlich oder die Filter werden zunächst nur teilweise gefüllt.

Die Entsäuerungsaktivität läßt in den ersten Monaten nach, bis ein Beharrungszustand erreicht ist. Um eine zu weitgehende Entsäuerung am Anfang zu vermeiden, sollte bei Neufüllung die Schichthöhe zunächst nur etwa 60 % von der projektierten Endschichthöhe betragen. Mit Nachlassen der Aktivität muß die Schichthöhe im Laufe der Zeit bis zum Endwert vergrößert werden. Eine regelmäßige pH-Wert-Überwachung des Reinwassers ist demzufolge erforderlich.

Beim Nachfüllen von Anlagen mit mehreren Filtern wird der pH-Wert des Mischwassers kaum über pH= 9,0 ansteigen. Dem Nachfüllen und Spülen dolomitischer Filter kann die sofortige Wiederaufnahme des Betriebes folgen.

Im Betrieb unterliegt das dolomitische Filtermaterial ständigen Masseverlust. Nach dem Verbrauch von 10 % der projektierten Schichthöhe muß Filtermaterial nachgefüllt werden.

Die Filterspülung muß mit Luft und Wasser nach dem üblichen Spülprogramm erfolgen. Um Verbackungen des Filtermaterials weitgehend zu unterbinden, sind auch bei eisen- und manganfreien Rohwässern die Filter in Abständen von vier Tagen zu spülen.

Der Spülturnus in Abstand von 4 Tagen ist auch dann einzuhalten, wenn  $h_{p,z}$  noch nicht erreicht ist, damit Verbackungen vermieden werden.

**Hinweise**

Ersatz für Werkstandard WAB 0028, Ausgabe 7.73

**Änderungen gegenüber WAB 0028:**

Neue Erkenntnisse eingearbeitet, einheitliche Symbole im Standard zur Enteisung und Entsäuerung.

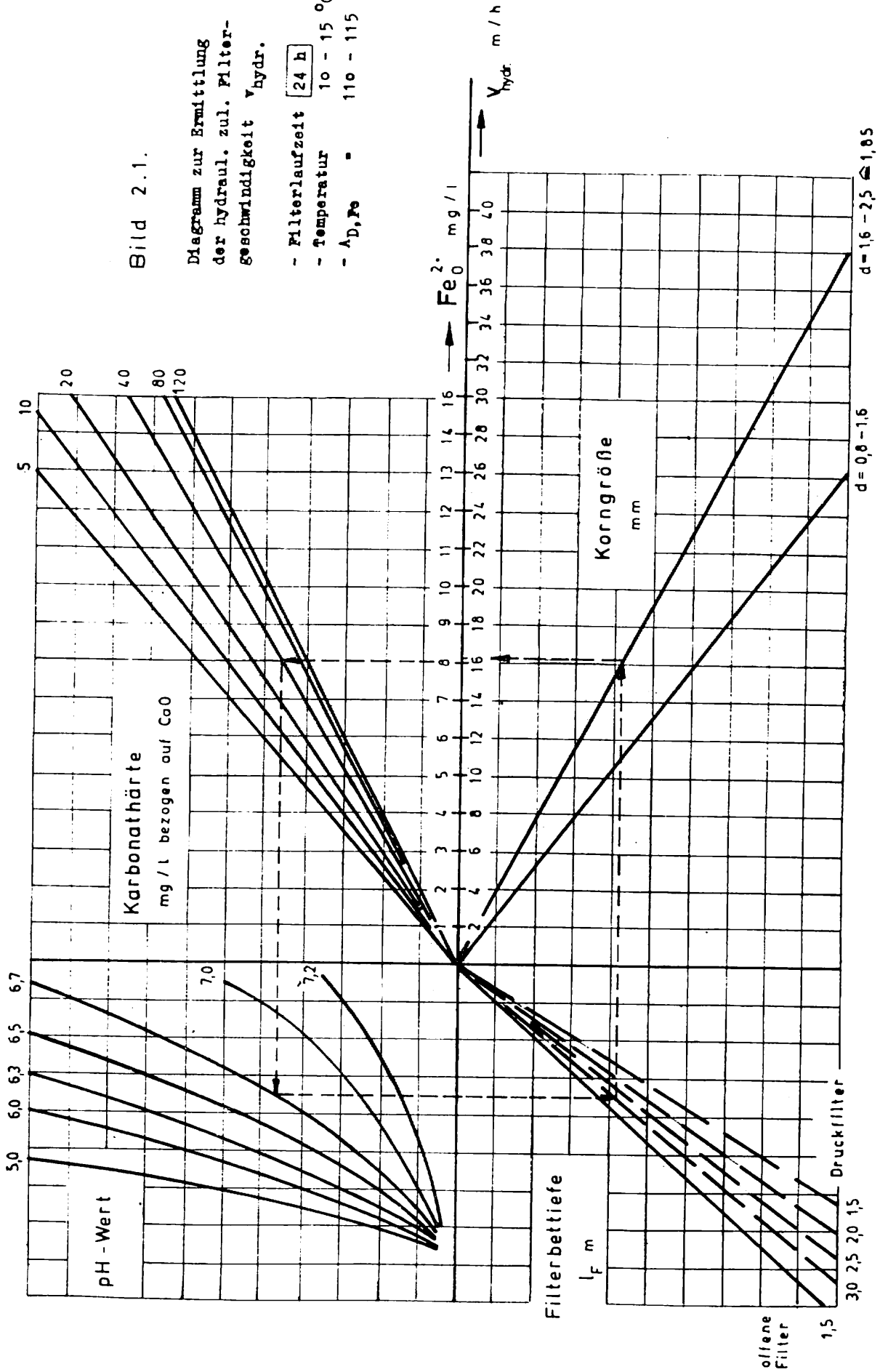
WAPRO 1.54./01.            Enteisung und Entsäuerung durch  
                                 Filtration  
                                 Grundlagen  
                                 und die in diesem Blatt gegebenen Hinweise

TGL 4540                    Dolomitisches Filtermaterial zur Wasseraufbereitung

Bild 2.1.

Diagramm zur Ermittlung  
der hydraul. zul. Filter-  
geschwindigkeit  $v_{hydr}$ .

- Filterlaufzeit 24 h
- Temperatur 10 - 15 °C
- $A_{D,Fe}$  = 110 - 115



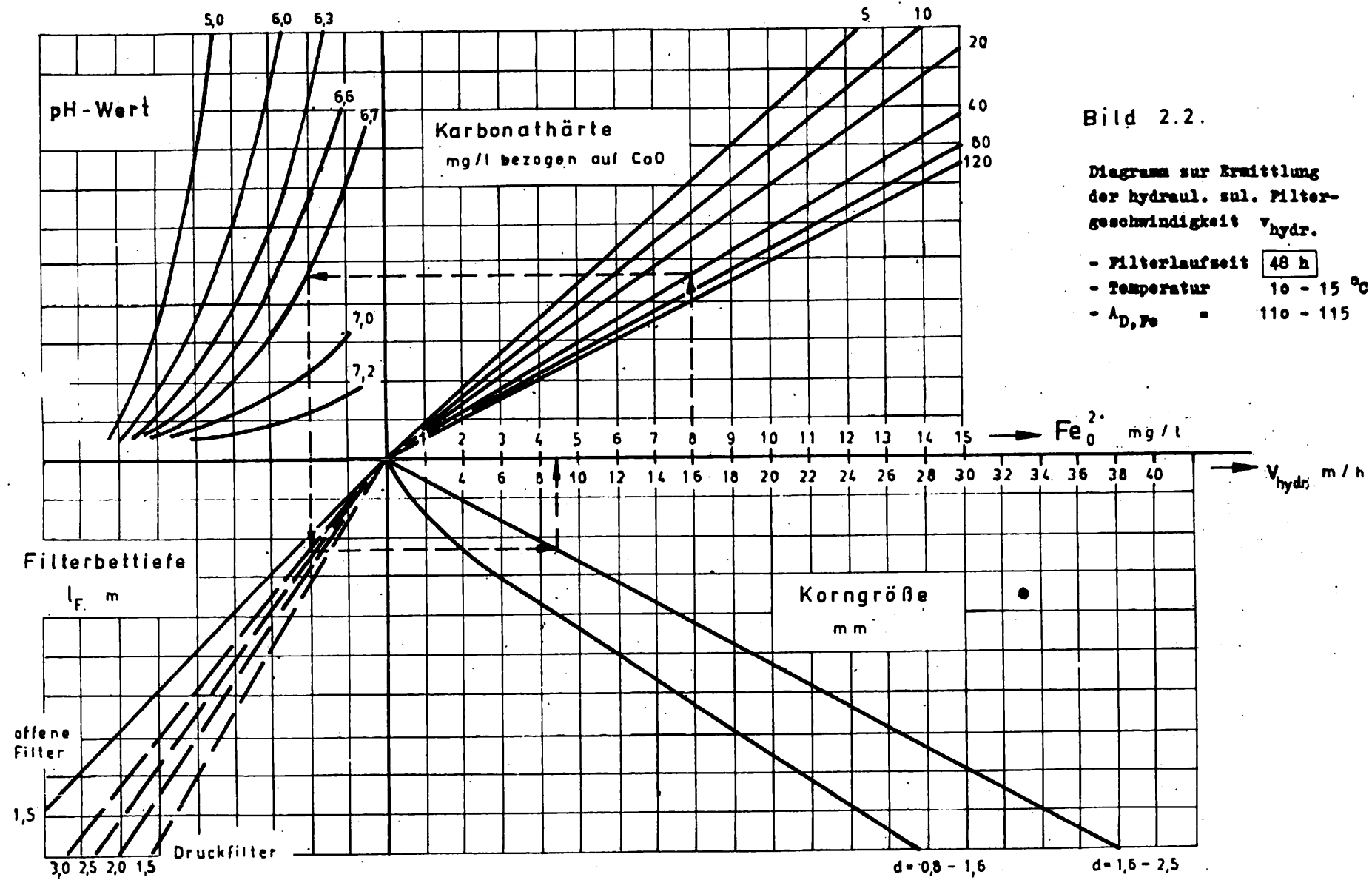


Bild 2.2.

Diagramm zur Ermittlung der hydraul. sul. Filtergeschwindigkeit  $v_{hydr}$ .

- Filterlaufzeit 48 h
- Temperatur 10 - 15 °C
- $A_{D,Fe}$  = 110 - 115

## 1. Allgemeines

Halbgebrannte Dolomite sind ein chemisch aktives Filtermaterial mit der für die Entsäuerung wirksamsten Komponente MgO und dem schwach alkalisierenden Bestandteil  $\text{CaCO}_3$ .

Das Handelsprodukt Decarbolith der Qualität Sorte II darf nach TGL 4540 einen Rest -  $\text{MgCO}_3$  - Gehalt von 12 % nicht überschreiten. Auf Grund der chemischen Eigenschaften von Decarbolith erfolgt im Filter parallel die Entsäuerung und Enteisung. Die Bemessung der Filter muß dementsprechend sowohl nach den Grundsätzen der Entsäuerung als auch der Enteisung durchgeführt werden.

## 2. Bemessung zur Entsäuerung

## 2.1. Berechnung der Entsäuerungsgeschwindigkeit

$$v_C = A_{D,CO_2} \frac{10 \cdot e^{0,05t} \cdot l_{F,n}}{(10 + KH) \cdot CO_{2,0}^{0,5} \cdot (\ln CO_{2,0} - \ln CO_{2,1}) \cdot (Ca-H/Mg-H)^{0,1} \cdot d_w} \quad (1) \quad *1)$$

## 2.2. Gültigkeitsbereich für Gleichung (1)

$v_C$	:	$\leq 30$ m/h
KH im Filterzulauf:		5 bis 100 mg/l
t	:	3 bis 17 °C
$d_w$	:	1,0 bis 2,3 mm
U	:	$\leq 1,5$

## 2.3. Hinweise zu den Bemessungsparametern

2.3.1. Aktivitätskonstante  $A_{D,CO_2}$ 

Auf Grund der höheren Reaktionsgeschwindigkeit der Mg-Komponente des halbgebrannten Dolomites verschiebt sich die Materialzusammensetzung mit der Zeit zugunsten des  $\text{CaCO}_3$ . Das Material verliert somit an Aktivität, es altert. Die in Tabelle 1 angegebenen Werte gelten für gealtertes Decarbolith. Für  $A_{D,CO_2}$  sind bei Einsatz von Decarbolith, Sorte II, in Abhängigkeit vom Eisengehalt im Filterzulauf<sup>2</sup> folgende Werte einzusetzen:

Tabelle 1

$\text{Fe}^{2+}$ mg/l	0	2	4	6	8	10	12	15
$A_{D,CO_2}$ für Decarbolith Sorte II	120	70	55	47	40	35	30	25

\*1) Bei Vorhandensein von  $\text{Fe}^{2+}$  ist der Wert ( $\text{Fe}^{2+} \cdot 1,57$ ) zu  $\text{CO}_{2,0}$  und  $\text{CO}_{2,1}$  zu addieren und damit  $v_C$  zu berechnen.

Bei Verwendung eines anderen halbgebrannten Dolomits als Decarbolith, Sorte II, nach TGL 4540 sind nach etwa einjährigem Einsatz dieses Materials im praktischen Betrieb aus den Entsäuerungsleistungen verschiedener Anlagen die Entsäuerungsaktivitätskonstanten wie folgt zu ermitteln:

$$A_{D,CO_2} = \frac{v_C \cdot (10 + KH) \cdot CO_{2,0}^{0,5} \cdot (\ln CO_{2,0} - \ln CO_{2,1}) (Ca-H/Mg-H)^{0,1} \cdot d_w}{10 \cdot e^{0,05 t} \cdot l_{F,n}} \quad (2) \quad *2)$$

### 2.3.2. Nutzbare Filterbettiefe $l_{F,n}$

Von der Gesamtfilterbettiefe  $l_F$  sind in Abzug zu bringen:

- Verzehr des Materials infolge Masseverlust bei der Reaktion von  $CO_2$  mit dem Filtermaterial:  
 $0,1 \cdot l_F$

- Inaktive Stüttschicht über den Filterdüsen zur Vermeidung von Verbackungserscheinungen:  
 $0,2$  m, Quarzkies oder Rohdolomit Körnung  $3,15 - 6,0$  mm

$$l_{F,n} = l_F - 0,1 \cdot l_F - 0,2 \quad (3)$$

### 2.3.3. Kohlendioxidkonzentration im Filterzulauf

Es ist das im Filterzulauf vorhandene Kohlendioxid in Ansatz zu bringen. Das bei der Enteisung entstehende Kohlendioxid wird in der Berechnung durch die Addition zu  $CO_{2,0}$  berücksichtigt. (Die Konzentration an  $Fe^{2+}$  ist mit 1,57 zu multiplizieren und zu  $CO_2$  zu addieren.)

### 2.3.4. Kohlendioxidkonzentration im Filterablauf

Die Bestimmung des freien zugehörigen Kohlendioxids ist nach WAPRO 1.44. vorzunehmen. Restgehalte an überschüssigem Kohlendioxid sind nach Tabelle 2 zulässig:

Tabelle 2

Karbonathärte bezogen auf mg CaO/l	Überschüssiges Kohlendioxid mg/l
< 30	≤ 2,0
30 bis 60	≤ 3,0
> 60	≤ 4,0

## 3. Bemessung zur Enteisung

### 3.1. Berechnung der Enteisungsgeschwindigkeit

$$v_E = \left[ \frac{A_{D,Fe} \cdot 2 \cdot e^{0,04 t} \cdot \ln(0,22 - pH) \cdot l_F \cdot l_{F,n}}{(10 + KH)^{0,3} \cdot d_w \cdot Fe_0^{0,25} \cdot (\ln Fe_0 - \ln Fe_1)} \right]^{1,5} \quad (4)$$

### 3.2. Gültigkeitsbereich für Gleichung (4)

$v_E$  : ≤ 30 m/h

$A_{D,Fe}$  : 50 bis 130

KH im Filterzulauf : 5 bis 100 mg/l

\*2) Siehe \*1) auf Seite 2

4. Bemessungsablauf bei gleichzeitiger Entsäuerung und Enteisung

4.1. Voraussetzungen

Bei der Bemessung ist von folgenden Kriterien auszugehen:

- Eisenkonzentration im Filtrat über die gesamte Filterlaufzeit  $\leq 0,1 \text{ mg/l}$
- keine Überschreitung des zulässigen Filterwiderstandes in der vorgesehenen Laufzeit
- angenähertes Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht im Filtrat.

4.2. Bemessungsablauf

Die Bemessung ist nach folgendem Schema vorzunehmen:

- a) Berechnung von  $v_z$  zur Enteisung
- b) Berechnung der Kohlendioxidkonzentration im Filtrat ( $\text{CO}_{2,1}$ ) bei der Filtergeschwindigkeit  $v_z$

$$\text{CO}_{2,1} = \text{CO}_{2,0} \cdot e^{-\frac{A_{D,\text{CO}_2} \cdot 10 \cdot e^{0,05 t} \cdot l_{F,n}}{(10 + \text{KH}) \cdot \text{CO}_{2,0}^{0,5} \cdot (\text{Ca-H/Mg-H})^{0,1} \cdot d_w \cdot v_z}} \quad (6) \quad * 3)$$

- c) Ermittlung des zugehörigen Kohlendioxids  $C_{\text{zug}}$  nach WAPRO 1.44.

- d) Berechnung des überschüssigen Kohlendioxids

$$\text{CO}_{2, \text{überschüss.}} = \text{CO}_{2,1} - \text{CO}_{2, \text{zug.}}$$

- e) Vergleich, ob  $\text{CO}_{2, \text{überschüss.}}$  die Grenzen entsprechend Tabelle 2 überschreitet.

Ist dies der Fall, so folgt:

- f) Berechnung der Entsäuerungsgeschwindigkeit nach Gl. (1) bei Beachtung der vom Eisengehalt abhängigen  $A_{D,\text{CO}_2}$  - Konstante.

- g) Ermittlung der erforderlichen Filterfläche und Filteranzahl bei einstufiger Filtration.

- h) Ergibt sich für  $\text{CO}_{2, \text{überschüss.}}$  entsprechend Pkt. d) ein hoher Wert, ist zu überprüfen, ob eine zweistufige Filtration wirtschaftlicher ist.

- i) Bemessung der 1. Filterstufe nach  $v_z$  für die Enteisung

- k) Bemessung der 2. Filterstufe zur Entsäuerung eines eisenfreien Wassers mit
  - $\text{CO}_{2,1}$  der ersten Filterstufe als  $\text{CO}_{2,0}$  für die zweite Filterstufe

- entsprechend höherer Aktivitätskonstante  $A_{D,\text{CO}_2}$

- höherer Karbonathärte:

Aufhärtung KH: 10 mg/l je 10 mg/l abgeb.  $\text{CO}_2$

- l) Ermittlung der Filterfläche und Filteranzahl für 1. und 2. Filterstufe - Gegenüberstellung zur einstufigen Filtration.

- m) Nach dem in den Punkten a) bis l) vorgegebenen Bemessungsablauf werden im Falle der zweistufigen Filtration je eine Filtergeschwindigkeit für die erste und zweite Stufe berechnet. In Abhängigkeit von der Aufbereitungskapazität ergeben sich dann für die erste und zweite Filterstufe die erforderlichen Filterflächen und die Filteranzahl.

\* 3) Siehe \* 1) auf Seite 2

Weichen die Filtergeschwindigkeiten für die erste und zweite Filterstufe stark voneinander ab, so ist auch die Filteranzahl unterschiedlich. Oft ist es jedoch das Ziel, beide Filterstufen mit gleicher Filteranzahl auszurüsten. In diesem Fall muß dann die Berechnung unter dem Aspekt

$$v_{z, 1. \text{ Stufe}} = v_{z, 2. \text{ Stufe}}$$

als Interpolationsrechnung geführt werden.

Das bedeutet Teilentsäuerung und Teilenteisenung in der ersten Stufe,

Restentsäuerung und Restenteisenung in der zweiten Stufe.

Für die zweite Filterstufe ist der höhere  $A_{D, CO_2}$ -Wert infolge des verminderten Eisengehaltes als Vorteil zu beachten.

### 5. Bemessungsbeispiel

Ausgangsparameter:

Filterzulauf: $Fe_0$	:	5,0 mg/l	
$Fe_0^{2+}$	:	4,8 mg/l	( $Fe^{3+} = 20\%$ )
pH-Wert	:	6,3	
KH	:	30 mg/l	
GH	:	80 mg/l	
Ca-H	:	60 mg/l	
$CO_{2,0}$	:	45 mg/l	4)
t	:	10 °C	

geforderter Filterablauf:

$$Fe_1 : 0,1 \text{ mg/l}$$

Reinwasser im angenäherten Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht.

Gewählt:

Decarbolith, Sorte II mit  $A_{D, Fe} = 59$

Körnung 0,5 bis 3,15 mm  $\Rightarrow d_w = 1,8$  mm

$$l_F : 2,5 \text{ m}$$

$$t_F : 48 \text{ h}$$

Bemessung:

a) Berechnung von  $v_z$  zur Enteisung

$$l_{F,n} = 2,5 \text{ m} - 0,1 \cdot 2,5 \text{ m} - 0,2 \text{ m} = 2,05 \text{ m}$$

$$v_E = \left[ \frac{59 \cdot 2 \cdot e^{0,4} \cdot \ln(0,22 \cdot 6,3) \cdot 0,82 \cdot 2,05}{(10 + 30)^{0,3} \cdot 1,8 \cdot 5,0^{0,25} \cdot (\ln 5 - \ln 0,1)} \right]^{1,5}$$

$$v_E = 5,28 \text{ m/h}$$

4) Der angegebene Wert  $CO_{2,0}$  beinhaltet bereits die Addition vom  $Fe^{2+}$ -Einfluß

$$CO_{2,0} = 37,5 \text{ mg/l} + (4,8 \cdot 1,57) \text{ mg/l} = 45 \text{ mg/l}$$



Bei Decarbolith, Sorte II braucht  $v_{\text{hydr.}}$  nicht berücksichtigt werden.

$$v_z = 0,8 \cdot v_E = 4,23 \text{ m/h}$$

b) Berechnung von  $\text{CO}_{2,1}$

$$\text{CO}_{2,1} = 45 \cdot e - \left( \frac{50 \cdot 10 \cdot e^{0,5} \cdot 2,05}{(10 + 30) 45^{0,5} (60/20)^{0,1} \cdot 1,8 \cdot 4,23} \right)$$

$$\text{CO}_{2,1} = 45 \cdot e^{-0,74} = 21,5 \text{ mg/l} \quad 5)$$

c) Nach WAPRO 1.44. wird das zugehörige Kohlendioxid ermittelt (unter Beachtung der Aufhärtung im Filter): Berechnungsverfahren nach Spindler

$$\text{CO}_{2,\text{zug.}} = 3,9 \text{ mg/l}$$

d) Überschüssiges Kohlendioxid

$$\text{CO}_{2,\text{überschüss.}} = 21,5 - 3,90 = 17,6 \text{ mg/l}$$

e)  $\text{CO}_{2,\text{überschüss.}}$  über den Grenzen für das zulässige überschüssige  $\text{CO}_2$  im Reinwasser entsprechend Tabelle 2 (zul. übersch.  $\text{CO}_2 \leq 3,0 \text{ mg/l}$ )

f) Aus dem hohen Wert des noch abzubindenden Kohlendioxids ist bereits ohne Berechnung nach Punkt d) ersichtlich, daß eine 2. Filterstufe sinnvoll ist. (Die Punkte f und g entsprechend Bemessungsablauf Abschnitt 4.2. kommen demzufolge nicht zur Anwendung.)

g) Bemessung 1. Filterstufe (Enteisenung entsprechend Punkt a)  $v_z = 4,23 \text{ m/h}$

h) Bemessung der 2. Filterstufe

- Filterzulauf  $\hat{=}$  Filterablauf der 1. Filterstufe

- Bei der Ermittlung der Zulaufparameter ist die Aufhärtung infolge der chemischen Entsäuerung über Decarbolith in der 1. Stufe zu beachten:

Aufhärtung KH: 10 mg/l je 10 mg/l abgebundene  $\text{CO}_2$

mit 40 % Aufhärtungsanteil für die Mg-Komponente  
und 60 % Aufhärtungsanteil für die Ca-Komponente

- Die zugehörige Kohlensäure  $\text{CO}_{2,1}$  ist nach WAPRO 1.44. für den Filterablauf der 2. Stufe zu berechnen.

- Zulaufparameter für das Bemessungsbeispiel

$$\text{Fe} \leq 0,1 \text{ mg/l} \quad \longrightarrow \quad A_{D,\text{CO}_2} = 120$$

$$\text{KH} = 30 + (45 - 21,5) = 53,5 \text{ mg/l}$$

$$\text{Ca-H} = 60 + 0,6 \cdot 23,5 = 74,1$$

$$\text{Mg-H} = 20 + 0,4 \cdot 23,5 = 29,4$$

5) Hier ist  $\text{Fe}_1 \leq 0,1 \text{ mg/l}$

Auf Grund des geringen Einflusses bleibt ( $\text{Fe}_1 \cdot 1,57$ ) in diesem Falle unberücksichtigt.