

VEE
Projektierung
Wasserwirtschaft

Wasseraufbereitung
Enteisung und Entsäuerung durch Filtration
Fe³⁺ - Filtration über Sand

WAPRO
1.54./03

Verbindlich ab 1. 10. 79

Vorbemerkung

Dieser Standard ist ein Auszug aus einer umfassenden Bemessungsrichtlinie für die Fe³⁺ - Filtration. Er ist eine Vereinfachung dieser Bemessungsrichtlinie und gilt nur für die Filter, bei denen eine Eisenkonzentration $\leq 0,1$ mg/l im Filtrat erreicht werden soll.

Für alle anderen Filtrationsfälle ist die Bemessung nach der Studie zum WAPRO 1.54./03 vorzunehmen.

Inhaltsverzeichnis

1. Allgemeines
2. Berechnung der Filterlaufzeit und der Enteisungsgeschwindigkeit
 - 2.1. Berechnung der Filterlaufzeit
 - 2.2. Berechnung der Enteisungsgeschwindigkeit
 - 2.3. Berechnung des Zeitpunktes $t_p, \max. 1$
 - 2.4. Gültigkeitsbereich
 - 2.5. Hinweise zu den Bemessungsparametern
3. Überprüfung des Filterwiderstandes
4. Bemessungsablauf
5. Einsatz von Flockulanten bei der Fe³⁺ - Filtration
 - 5.1. Dosierrhythmus und Dosiermenge
 - 5.2. Bemessung
 - 5.3. Hinweise zur Versuchsdurchführung
6. Bemessungsbeispiel

Verwendete Bezeichnungen: s. Blatt 01 dieses Werkstandards

Fortsetzung Seite 2 bis 9

Verantwortlich: Betrieb Halle

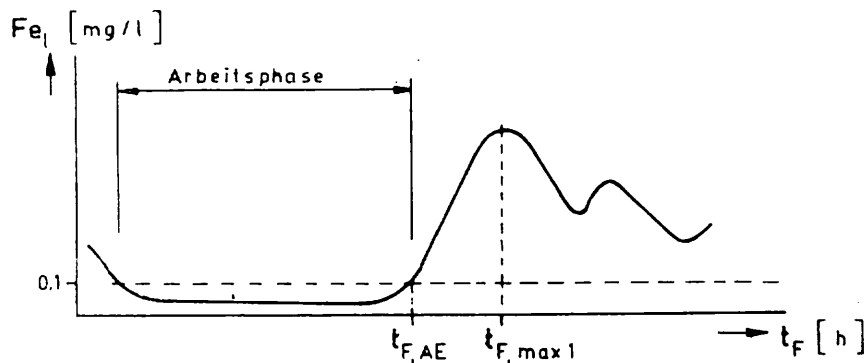
Bestätigt: 28.5.79 Direktor, Halle (Saale)

1. Allgemeines

Die Fe^{3+} -Filtration ist durch die von der Laufzeit abhängige Filtratgüte gekennzeichnet.

Der Filtrationsverlauf wird eingeteilt in die

- Vorfiltrat- und Einlaufphase,
- Arbeitsphase mit Filtrateisenkonzentration $\approx 0,1 \text{ mg/l}$
(Ende der Arbeitsphase $t_{F, AE}$)
- Phase der stetigen Filtratverschlechterung
(Zeitpunkt des ersten Maximums der Filtrateisenkonzentration $t_{F, \max. 1}$)
- Pulsationsphase



Für die Bemessung des Filters sind die Berechnung von $t_{F, AE}$ und $t_{F, \max. 1}$ und die damit korrespondierende Enteisungsgeschwindigkeit entscheidend.

Die Bemessung erfolgt entsprechend den vorliegenden Bemessungsparametern und der Zielstellung der Bemessung nach 2 Varianten:

- 1.1. Die Filtergeschwindigkeit ist gegeben, die korrespondierende Filterlaufzeit ist zu berechnen.
- 1.2. Die Filterlaufzeit ist gegeben, die entsprechende zulässige Filtergeschwindigkeit ist zu berechnen.

2. Berechnung der Filterlaufzeit und der Enteisungsgeschwindigkeit

2.1. Berechnung der Filterlaufzeit

(Bemessung für Variante 1.1.)

$$t_{F, AE} = 12 \lg \left(\frac{7 \cdot 10^4 \cdot l_F^{1,5} \cdot t^{0,75}}{d_w^2 \cdot Fe_o^2 \cdot v_E^3 \cdot pH_A \cdot \Delta pH} \right) \quad (1)$$

2.2. Berechnung der Enteisungsgeschwindigkeit

(Bemessung für Variante 1.2.)

Zur Berechnung von v_E ist Gl. (1) nach v_E umzustellen.Für praktisch häufig auftretende Laufzeiten werden die bereits nach v_E umgestellten Gleichungen angegeben:

- für 12 Stunden Filterlaufzeit

$$v_E = \left(\frac{7 \cdot 10^3 \cdot l_F^{1,5} \cdot t^{0,75}}{d_w^2 \cdot Fe_o^2 \cdot pH_A \cdot \Delta pH} \right)^{0,33} \quad (2a)$$

- für 24 Stunden Filterlaufzeit

$$v_E = \left(\frac{7 \cdot 10^2 \cdot l_F^{1,5} \cdot t^{0,75}}{d_w^2 \cdot Fe_o^2 \cdot pH_A \cdot \Delta pH} \right)^{0,33} \quad (2b)$$

- für 36 Stunden Filterlaufzeit

$$v_E = \left(\frac{7 \cdot 10 \cdot l_F^{1,5} \cdot t^{0,75}}{d_w^2 \cdot Fe_o^2 \cdot pH_A \cdot \Delta pH} \right)^{0,33} \quad (2c)$$

Zulässige Enteisungsgeschwindigkeit:

$$v_{zul} = 0,8 \cdot v_E \quad (3)$$

2.3. Berechnung des Zeitpunktes

 $t_{F, \max.1}$

$$t_{F, \max.1} = \frac{1870 \cdot t^{0,33} \cdot l_F^{0,5}}{v_E^{1,25} \cdot Fe_o^{0,67} \cdot d_w^{0,5} \cdot pH_A \cdot \Delta pH} \quad (4)$$

Mit $t_{F, \max.1}$ ist das Sicherheitskriterium nach Gl. (5) zu prüfen:

$$t_{F,AE} \leq t_{F, \max.1} - 3 \text{ Stunden} \quad (5)$$

Wird das Kriterium nach Gl. (5) nicht erfüllt, so ist $t_{F,AE}$ entsprechend kürzer festzulegen.

2.4. Gültigkeitsbereich

v_E	:	≤ 30 m/h
$t_{P,AE}$:	≤ 36 h
Fe_0	:	≤ 20 mg/l
Fe_0^{3+} -Anteil	:	≥ 60 %
Fe_1	:	$\leq 0,1$ mg/l
t	:	6 bis 18°C
pH_A	:	5,8 bis 7,2
ΔpH	:	$\geq 0,4$ $\geq pH_{Gl.} - pH_A$
d_w	:	1,0 bis 1,7 mm
U	:	$\leq 1,5$
l_p	:	0,5 bis 3 m

2.5. Hinweise zu den Bemessungsparametern

2.5.1. Fe^{3+} -Anteil

Eine Berücksichtigung der Charakteristik der suspendierten Fe^{3+} -Partikel ist nicht erforderlich, da sich in der Praxis bei gleichen Güteparametern des Filterszulaufes gleichartige Verhältnisse ergeben.

2.5.2. pH-Werterhöhung ΔpH

Die Erzielung einer hohen Enteisungsgeschwindigkeit ist mit einer geringen pH-Werterhöhung durch Alkaliendosierung (aber nicht kleiner 0,4 pH-Einheiten) möglich. Bei Fe^{3+} -Filteranlagen ohne vorhergehender Grobaufbereitung soll deshalb vor dem Filter nur eine chemische Teilentsäuerung erfolgen. Die Einstellung des angereicherten Kalk-Kohlensäure-Gleichgewichts entsprechend Werkstandard WAPRO 1.44. ist nach dem Filter vorzunehmen.

Bei einer Aufbereitungstechnologie mit Grobaufbereitung ist das Optimum zwischen dem Aufbereitungseffekt in der Grobaufbereitung und in den Filtern in einem technisch-ökonomischen Variantenvergleich zu ermitteln.

2.5.3. Korndurchmesser d_w

Die Bemessungsgleichungen gelten bis zu einem $d_w \geq 0,7$ mm. Auf Grund filtertechnischer Probleme, wie z.B. Sekundärfilterbildung, Düsendurchtrieb und Rückspülaustrieb, ist Filterwand mit einem $d_w < 1,0$ mm nicht einzusetzen.

3. Überprüfung des Filterwiderstandes

Für die Berechnung des Filterwiderstandes zur beliebigen Laufzeit t_F gilt:

$$h_F = 0,11 \cdot \frac{v_{E,s} \cdot l_F}{d_w^2 \cdot t^{0,25}} + 0,52 t_F \cdot \frac{v_{E,s}^{1,1} \cdot Pe_0^{0,5} \cdot l_F^{0,16}}{10^2 \cdot d_w^{2,5} \cdot t^{0,17} (pH_A \cdot \Delta pH)^{0,17}} \quad (6)$$

Wird in Gl. (6) für $t_F = t_{F,AE}$ gesetzt, so ist der Filterwiderstand zum Filterlaufzeitende zu berechnen. Dieser darf den für die jeweilige Filterart (offener oder geschlossener Filter) zulässigen Filterwiderstand nicht überschreiten.

Neben h_F für die Laufzeit $t_{F,AE}$ nach Gl. (6) ist $h_{F,AE}$ nach Gl. (7) zu berechnen:

$$h_{F,AE} = 0,115 \frac{v_E^{0,75} \cdot t^{0,33} \cdot l_F \cdot Pe_0^{0,17}}{d_w^3 \cdot (pH_A \cdot \Delta pH)^{0,33}} \quad (7)$$

$h_{F,AE}$ stellt eine Sicherheitsbedingung dar, es muß Gl. (8) erfüllt sein:

$$h_{F,AE} \geq h_F \text{ zur Laufzeit } t_{F,AE} \quad (8)$$

Wird die Sicherheitsbedingung nach Gl. (8) nicht erfüllt, besteht die Möglichkeit, eine h_F - Verringerung zu erzielen, indem

- die Filterlaufzeit zu verkürzen oder
- die Filtergeschwindigkeit zu vermindern ist.

4. Bemessungsablauf

Entsprechend den zwei möglichen Varianten der Bemessung (s. Abschnitt 1, Varianten 1.1. und 1.2.) ist der Bemessungsablauf zunächst unterschiedlich:

Variante 1.1.:

- a) Vorgabe der Filtergeschwindigkeit.
(abhängig von Kapazität der Aufbereitungsanlage und Filterfläche)
- b) Da diese Filtergeschwindigkeit v_s ist, in die Berechnung aber v_E eingeht, Division $\frac{v_s}{0,8} = v_E$
- c) Berechnung von $t_{F,AE}$ nach Gl. (1)
- ab d) Bemessung für beide Varianten gleich (s. Variante 1.2.).

Variante 1.2.1

- a) Vorgabe der Filterlaufzeit
- b) Umstellung der Gl. (1) nach v_E
- c) Berechnung von v_E
- d) Berechnung von $t_{P,max. 1}$ nach Gl. (4) und Überprüfung ob Gl. (5) erfüllt wird
- e) Berechnung von $v_{E,z}$ nach Gl. (3)
- f) Berechnung der Filterwiderstandshöhe h_P nach Gl. (6) mit $v_{E,z}$ und $t_{P,AE}$
- g) Überprüfung, ob $h_P \approx h_{P,z}$
($h_{P,z}$ für offene Filter 2 m, für geschlossene Filter 5 m);
ansonsten anderes d_w einsetzen.
- h) Berechnung von $h_{P,AE}$ nach Gl. (7) mit v_E
- i) Überprüfung der Sicherheitsbedingung nach Gl. (8)

5. Einsatz von Flockulanten bei der Fe^{3+} -Filtration

Die Dosierung von Flockulanten in den Filterzulauf bewirkt bei der Fe^{3+} -Filtration eine Filterkonditionierung. Neben dem Vorteil der Filtergeschwindigkeitserhöhung bzw. der Laufzeitverlängerung treten als Nachteile der höhere Filterwiderstand und die zusätzlichen Chemikalienkosten.

Die Zweckmäßigkeit des Einsatzes von Flockulanten ist vorrangig bei abnahmebedingter zeitlich begrenzter Maximalauslastung, bei Rekonstruktionsmaßnahmen sowie bei Mehrschichtfiltern zu prüfen.

5.1. Dosierrhythmus und Dosiermenge

Günstigster Dosierrhythmus: Kontinuierliche Zugabe über die gesamte Filterlaufzeit.

Dosiermengen: bezogen auf die wirksame Substanz
Polyacrylamid (PAA) des Produktes Stipix AD.

Eisengehalt	5 - 10 mg/l:	PAA-Dosis	0,5 mg/l
Eisengehalt	< 5 mg/l:	PAA-Dosis	0,3 mg/l

Bei Eisengehalten < 3 mg/l ist eine Senkung auf 0,2 mg/l PAA möglich, wenn eine exakte Einstellung der Dosiermenge und ein konstanter Eisengehalt gewährleistet sind.

5.2. Bemessung

Zur Bemessung der Fe^{3+} -Filtration mit Flockulanzugabe ist die Durchführung von kleintechnischen Versuchen erforderlich. Für die Vorbereitung der Versuche, d.h. die Auswahl der Sandkörnung, der Filtergeschwindigkeit und der Filterlaufzeit, und für eine erste Einschätzung der Zweckmäßigkeit des Flockulanteneinsatzes werden Orientierungswerte angegeben.

Die Orientierungswerte sind durch Multiplikation der für die Fe^{3+} -Filtration ohne Flockulanzugabe berechneten Filtergeschwindigkeit, Filterlaufzeit oder des Filterwiderstandes mit folgenden Faktoren zu bestimmen:

- Erhöhung der Filtergeschwindigkeit	etwa 1,8 · $v_{E,z}$
- oder Verlängerung der Filterlaufzeit	etwa 1,7 · $t_{P,AE}$
- Erhöhung des Filterwiderstandes	etwa 1,75 · h_P

Diese Werte gelten nur für eine Orientierung vor dem Versuch, sie ersetzen in keinem Fall eine exakte Bemessung auf der Basis kleintechnischer Versuche.

5.3. Hinweise zur Versuchsdurchführung

Bei der Versuchsdurchführung sind neben den allgemeinen Grundregeln folgende Kriterien zu beachten:

- Die Probennahme muß im Abstand von maximal zwei Stunden erfolgen, da die Filterdurchbrüche kurz und heftig sind. Die Filterwiderstandsentwicklung ist zu verfolgen, da auch sie Aufschlüsse über einen eventuell existierenden Filterdurchbruch gibt.
- Generell sind keine plötzlichen Veränderungen der Versuchsparameter vorzunehmen. Korrekturen der Filtergeschwindigkeit oder der PAA-Dosierung müssen vorsichtig und allmählich erfolgen, da sonst Filterdurchbrüche die Folge sein können.
- Der Filterzulauf soll in den Parametern pH_A , ΔpH und Fe_0 mit den im praktischen Betrieb vorhandenen Werten übereinstimmen.
- Bei der PAA-Dosierung ist auf ein exaktes Ansetzen der Lösung (Empfehlung: 0,05 bis 0,1 %-ig, bezogen auf PAA) und eine genaue Dosierung zu achten. Die Lösung darf nicht älter als 1 Tag sein. Bezüglich der Alterung des Produktes PAA sind die Angaben des Herstellers einzuhalten.
- Der Mehrschichtfiltereinsatz ist in das Versuchsprogramm einzubeziehen.

6. Bemessungsbeispiel

Ausgangsparameter:

Filterzulauf:	Fe_0	:	3,0 mg/l	(Ablauf Grobaufbereitung)
	Fe_0^{3+}	:	2,7 mg/l	($\text{Fe}^{3+} = 90\% > 60\%$)
	pH_A	:	6,7	
	ΔpH	:	0,6	
	t	:	10 °C	
Filterablauf:	Fe_1	:	$\leq 0,1$ mg/l	
Gewählt	l_P	:	1,50 m	(offener Einschichtfilter)
	d_w	:	1,0 mm	

- Berechnung für Fall 1.1.: (Filtergeschwindigkeit wird vorgegeben)

- a) Erforderliche Filtergeschwindigkeit: $v_{E,z} = 6$ m/h
 Unter Einbeziehung des Sicherheitsfaktors 0,8 in die Laufzeitberechnung eingehende Geschwindigkeit:

$$b) v_E = \frac{v_{E,z}}{0,8} = \frac{6}{0,8} = 7,5 \text{ m/h}$$

$$c) t_{P,AE} = 12 \lg \left(\frac{7 \cdot 10^4 \cdot 1,5^{1,5} \cdot 10^{0,75}}{1,0^2 \cdot 3^2 \cdot 7,5^3 \cdot 6,7 \cdot 0,6} \right) = 20,1 \text{ h}$$

d) nach Gl. (4)

$$t_{P, \max.1} = \frac{1870 \cdot 10^{0,33} \cdot 1,5^{0,5}}{7,5^{1,25} \cdot 3^{0,67} \cdot 1,0^{0,5} \cdot 6,7 \cdot 0,6} = 47 \text{ h}$$

Die Bedingung nach Gl. (5) : $20,1 < 47-3$ ist erfüllt

$$e) v_{E,z} = 6 \text{ m/h}$$

f) Berechnung des Filterwiderstandes nach Gl. (6)

$$h_P = 0,11 \cdot \frac{6,0 \cdot 1,5}{1,0^2 \cdot 10^{0,25}} + 0,52 \cdot 20,1 \frac{6^{1,1} \cdot 3^{0,5} \cdot 1,5^{0,16}}{10^2 \cdot 1,0^{2,5} \cdot 10^{0,17} (6,7 \cdot 0,6)^{0,17}}$$

$$= 1,30 \text{ m}$$

g) Eine Optimierung, d.h. die Ausschöpfung des technisch zulässigen Filterwiderstandes von 2 m für offene Filter, würde den Einsatz feineren Filtersandes erfordern.

Ein $d_w < 1,0 \text{ mm}$ ist jedoch nicht zulässig.

h) Überprüfung der Sicherheitsbedingung nach Gl. (7)

$$h_{P,AE} = 0,115 \frac{7,5^{0,75} \cdot 10^{0,33} \cdot 1,5 \cdot 3^{0,17}}{1,0^3 \cdot (6,7 \cdot 0,6)^{0,33}} = 1,27 \text{ m} \quad h_P = 1,30 \text{ m}$$

1) Der aus der Sicherheitsbedingung zulässige Filterwiderstand h_{AE} liegt unter dem auftretenden Filterwiderstand. Da die Abweichung aber sehr gering ist, gilt als mögliche Filterlaufzeit

$$t_{P,AE} = 20 \text{ h}$$

- Berechnung für $F = 1 \cdot 1 \cdot 1,2$: (Filterlaufzeit wird vorgegeben)

a) Erforderliche Filterlaufzeit: 24 h

b) Anwendung der Gl. (2b)

$$c) v_E = \left(\frac{7 \cdot 10^2 \cdot 1,5^{1,5} \cdot 10^{0,75}}{1,0^2 \cdot 3^2 \cdot 6,7 \cdot 0,6} \right)^{0,33} = 5,74 \text{ m/h}$$

d) nach Gl. (4):

$$t_{P, \max.1} = \frac{1870 \cdot 10^{0,33} \cdot 1,5^{0,5}}{5,74^{1,25} \cdot 3^{0,67} \cdot 1,0^{0,5} \cdot 6,7 \cdot 0,6} = 65,7 \text{ h}$$

Bedingung nach Gl. (5) $24 < 65,7 - 3 \text{ h}$ erfüllt.

$$e) v_{E,z} = 0,8 \cdot v_E = 4,59 \text{ m/h}$$

f) Berechnung des Filterwiderstandes nach Gl. (7)

$$h_P = 0,11 \cdot \frac{4,59 \cdot 1,5}{1,0^2 \cdot 10^{0,25}} + 0,52 \cdot 24 \frac{4,59^{1,1} \cdot 3^{0,5} \cdot 1,5^{0,16}}{10^2 \cdot 1,0^{2,5} \cdot 10^{0,17} (6,7 \cdot 0,6)^{0,17}}$$

$$= 1,08 \text{ m}$$

g) $h_P = 1,08 \text{ m} < h_{P,z} = 2 \text{ m}$, keine Überschreitung von $h_{P,z}$

$$h) h_{P,AE} = 0,115 \cdot \frac{5,74^{0,75} \cdot 10^{0,33} \cdot 1,5 \cdot 3^{0,17}}{1,0^3 \cdot (6,7 \cdot 0,6)^{0,33}} = 1,04 \text{ m} < h_P = 1,08 \text{ m}$$

1) Da die Bedingung $h_{P,AE} \geq h_P$ zur Laufzeit $t_{P,AE}$ nicht erfüllt wird, besteht die Möglichkeit

- die Filterlaufzeit zu verkürzen oder
- die Filtergeschwindigkeit zu vermindern.

Für den Beispielsfall (geringe Differenz) wird ohne Nachrechnung $v_{E,z} = 4,5 \text{ m/h}$ festgelegt.

Das Bemessungsbeispiel zeigt, daß eine Verkürzung der Laufzeit von 24 h auf 20 h eine Filtergeschwindigkeitserhöhung von 4,5 m/h auf 6 m/h ermöglicht.

Hinweise

Ersatz für Werkstandard WAB 0024. Ausgabe 7.74

Änderungen gegenüber WAB 0024:

Standard gekürzt, er gilt nur für die Filtration mit Arbeitsphase.
Für die anderen Fälle ist die Studie zum WAPRO 1.54/o3 anzuwenden.
Einheitliche Symbole im Standard zur Enteisung und Entsäuerung.

WAPRO 1.54./o1 Enteisung und Entsäuerung durch Filtration
Grundlagen

und die in diesem Blatt gegebenen Hinweise.

Studie zum WAPRO 1.54./o3