

# Werkstandard

Februar 1986

VEB Kombinat Wassertechnik und Projektierung Wasserwirtschaft	Wasseraufbereitung Enteisenung und Entsäuerung durch Filtration $Fe^{2+}$ - Filtration über Sand $Fe^{2+/3+}$ - Filtration über Sand	WAPRO 1.54/02
--	---	------------------

Deskriptoren: Wasseraufbereitung Enteisenung, Entsäuerung

Umfang 14 Seiten

Verantwortlich: VEB Projektierung Wasserwirtschaft, BT FZ Dresden

Bestätigt: 10. 2. 1986 VEB Kombinat Wassertechnik und Projektierung Wasserwirtschaft

Verbindlich ab 1. 7. 1986

### Vorbemerkung

Die Enteisenung in Schnellfiltern ist ein komplexer Vorgang. In langjährigen Untersuchungen wurden empirisch Gleichungen abgeleitet, mit denen die hauptsächlichsten Randbedingungen berücksichtigt werden. Weitere Einflüsse, wie biologische Vorgänge und betriebliche Störgrößen sind gesondert zu beachten. Sind bereits Anlagen vorhanden, so sollten bei Vorhaben zur Rekonstruktion und Intensivierung praxisnahe Filterversuche auch zur  $Fe^{2+}$  - Filtration durchgeführt werden. Bestehen dafür keine Voraussetzungen oder sind bei der Projektierung von Neuanlagen qualifizierte Filterversuche nicht möglich, ist nach diesem Standard zu bemessen.

1. Berechnung der Enteisenungsgeschwindigkeit

#### 1.1. Bemessungsgleichung

Die Berechnung mit nachstehender Gleichung darf nur vorgenommen werden, wenn

- der  $Fe^{3+}$ -Anteil im Filterzulauf  $\leq 30\%$  ist,
- das Eisen nicht in schwer oxydierbarer Form vorliegt,
- die Filtration über eingearbeiteten Filtersand erfolgt.

Bemessungsgleichung:

$$v_E = \left[ \frac{(3 \text{ pH} - 18,6) \cdot t^{0,8} \cdot l_F}{Fe_0^{0,1} \cdot (\ln Fe_0 - \ln Fe_1) \cdot d_w} \right]^{1,28} \quad (1)$$

Eine überschlägliche Ermittlung von  $v_E$  ist mit Bild 2 möglich.

#### 1.2. Gültigkeitsbereich der Bemessungsgleichung

- $v_E$  :  $\leq 30$  m/h
- pH im Filterzulauf (vor Reduzierung entsprechend Bild 1 und vor Fehlerabzug nach Abschnitt 1.3.) : (6,5) 6,8 bis 7,3
- KH :  $\geq 120$  mg/l,  
sonst Reduzierung des pH-Wertes
- t : 6 bis 18 °C
- $Fe_0$  : 0,5 bis 12 mg/l  
bei  $Fe_0 < 0,5$  mg/l ist  $Fe_0 = 0,5$  mg/l zu setzen.
- $Fe_1$  :  $\geq 0,05$  mg/l
- $O_2$ -Konzentration im Filterzulauf:

$Fe^{2+}$ (mg/l)	12	6	4
$O_2$ (mg/l)	8	7	5

- $d_w$  : 1,0 bis 2,0 mm
- U :  $\leq 1,5$
- $l_F$  : 0,5 bis 3,0 m

## 1.3. Hinweise zu den Bemessungsparametern

## 1.3.1. pH-Wert

Für die  $Fe^{2+}$ -Filtration ist ein pH-Wert im Filterzulauf nahe 7,3 anzustreben, wenn dadurch die Grundvoraussetzung:  $Fe^{3+}$ -Anteil  $\leq 30\%$  nicht überschritten wird.

Das bedeutet, daß bei Rohwässern mit niedrigem pH-Wert unter dem Aspekt der Enteisung eine effektive mechanische Entsäuerung anzustreben ist. Bei pH-Werten  $< 6,8$  muß in den meisten Fällen mit wesentlicher Mitwirkung von Eisenorganismen gerechnet werden. Hier hat die Gleichung (1) keine Gültigkeit mehr. Kleintechnische Filterversuche sind bei diesen Sonderfällen notwendig.

Für eine überschlägliche Bemessung vor der Durchführung von Versuchen kann der pH-Bereich bis auf  $pH = 6,5$  erweitert werden.

Zur Berücksichtigung von Schwankungen des pH-Wertes im praktischen Betrieb und der Fehlermöglichkeiten bei der pH-Messung ist ein um 0,1-pH-Einheiten niedrigerer Wert einzusetzen.

Durch die Oxydation des  $Fe^{2+}$  erfolgt in Abhängigkeit von der Karbonathärte des Wassers und der  $Fe^{2+}$ -Konzentration eine Reduzierung des pH-Wertes im Filter. Bei Karbonathärten  $< 120$  mg/l ist die pH-Wert-Reduzierung nach Bild 1 zu berücksichtigen.

pH-Wert in Gl. (1) = pH-Wert im Filterzulauf - Fehlerabzug - Reduzierung

## 1.3.2. Temperatur

Entsprechend der Temperaturschwankungen ist zu empfehlen, charakteristische Betriebsfälle mit zugehöriger Kapazitätsbeanspruchung und Temperatur zu berechnen. Der ungünstigste Betriebsfall ist der Bemessung zugrunde zu legen.

## 1.3.3. Filtermaterial

Bezüglich der Körnung des Filtersandes gelten die Ausführungen in Blatt 01 dieses Werkstandards. Gleichung (1) gilt nur für eingearbeiteten Filtersand, d. h. das Filterkorn muß mit einer Eisenoxydhydratschicht umhüllt sein.

Frischer Filtersand ist bei ordnungsgemäßen Betrieb der Filter nach 6 Monaten genügend eingearbeitet.

Wenn erforderlich, kann die Einarbeitungszeit durch eine künstliche Einarbeitung erheblich verkürzt werden. Unter "Hinweise" wird zur künstlichen Einarbeitung eine Anleitung gegeben.

1.4. Ermittlung des  $GH/HCO_3^-$ -Einflusses

Bei natürlich eingearbeitetem Filtersand sind die  $HCO_3^-$ -Konzentration und das Verhältnis von GH zu  $HCO_3^-$  des Bemessungsrohwassers für den Faktor  $f_H$  maßgebend. Die folgenden Werte  $f_H$  bilden in Auswertung von Filterversuchen zur  $Fe^{2+}$ -Filtration eine gesicherte untere Grenze /13/. Eine Nutzung weiterer Reserven, wie der mikrobiologische Enteisungsanteil, ist nur nach Durchführung objektbezogener Versuche möglich.

$HCO_3^-$ (mg/l CaO)	$> 70$	$> 70$	$\leq 70$
GH / $HCO_3^-$ (-)	$< 1,4$	$\geq 1,4$	-
$f_H$ (-)	1,8	1,2	0,8

## Anmerkung:

Aufgrund der insbesondere in den Nordbezirken auftretenden  $NaHCO_3$ -haltigen Wässer wird anstatt der Karbonathärte der umfassendere Wert  $HCO_3^-$  verwendet. Überwiegen bei einem Verhältnis  $GH/HCO_3^- \geq 1,4$  Chloride als Anionen im Rohwasser, so sind zur weiteren Erhöhung von  $f_H$  Versuche notwendig.

## 2. Berechnung der hydraulischen Geschwindigkeit

Gleichung:

$$v_{\text{hydr.}} = f_1 \frac{n_{F,z}^{1,2} \cdot d_w^{1,3}}{l_F \cdot Fe_o^{0,8} \cdot (pH-5,6)} \quad (2)$$

## Gültigkeitsbereich

- Es gelten die Randbedingungen für Gleichung (1), außer für  $Fe_1$  und  $t$ .
- $Fe_1$  : 0,1 mg/l  
 $t$  : 6 bis 12 °C
- Der pH-Wert ist nicht zu reduzieren.
- Aus ökonomischen Gründen gilt für offene Filter  $h_{F,z} = 2,00$  m  
für geschl. Filter  $h_{F,z} = 5,00$  m.

- Der Faktor  $f_1$  ist laufzeitabhängig:

$t_F$ (h)	12	16	20	24	36	48	60	72	84	96	108	120
$f_1$ (-)	40	32	28	25	15	12	10	8	7	6	5,5	5

Zur Ermittlung von  $v_{hydr.}$  für eine Laufzeit von 24 Stunden ist in Bild 3 ein Diagramm enthalten.

## 3. Ermittlung der zulässigen Filtrationsgeschwindigkeit

Die zulässige Filtrationsgeschwindigkeit ist abhängig von der

- zulässigen Enteisungsgeschwindigkeit,
- zulässigen hydraulischen Geschwindigkeit.

Für die zulässige Enteisungsgeschwindigkeit ist der Faktor  $f_H$  zu berücksichtigen:

$$v_{E,z} = f_H \cdot v_E \quad (3)$$

Bei der Festlegung der zulässigen hydraulischen Geschwindigkeit sind Sicherheitsfaktoren zu berücksichtigen, da im praktischen Betrieb mit nicht quantifizierbaren Einflußfaktoren gerechnet werden muß:

$$v_{hydr.,z} = \eta \cdot v_{hydr.} \quad (4)$$

Filtertyp	$t_F$ (h)	$\eta$
Geschlossene Filter	$\leq 48$	1,0
	$> 48$	0,9
Offene Filter, 0,8 m Überstau	$\leq 48$	0,9
	$> 48$	0,8
Offene Filter, 0,3 m Überstau	$\leq 48$	0,8
	$> 48$	0,7

Bei nicht qualitätsgerechter Lieferung von Filtersand und Blähton wird vor Inbetriebnahme eine Klassierungspülung bzw. die manuelle Abtragung der jeweils obersten Feinmaterialschicht empfohlen. Dabei kann der hydraulische Sicherheitsfaktor bis zu  $\eta = 1,5$  ansteigen. Der genaue Wert muß versuchstechnisch im Betrieb ermittelt werden.

Die zulässige Filtrationsgeschwindigkeit ergibt sich zu

$$v_z \leq v_{E,z} = f_H \cdot v_E \quad (5)$$

$$\leq v_{hydr.,z} = \eta \cdot v_{hydr.}$$

Das anzustrebende Filteroptimum liegt vor, wenn

$$v_{E,z} = v_{hydr.,z} \quad (6)$$

Filterlaufzeiten größer 24 Stunden sind für Wasseraufbereitungsanlagen mit einer Kapazität von  $> 20\ 000$  m<sup>3</sup>/h nicht wirtschaftlich. In kleineren Aufbereitungsanlagen können Filterlaufzeiten von mehreren Tagen notwendig sein.

Für Laufzeiten größer 48 Stunden, zeitweilige Durchsatzreduzierung und Stillstandszeiten kann davon ausgegangen werden, daß die Filtratgüte nicht nachteilig beeinflusst wird.  $Fe^{2+}$ -Filteranlagen im diskontinuierlichen Filterbetrieb weisen bei funktionierender Be- und Entlüftung hydraulische Reserven auf, die bis zu einer 20-prozentigen Laufzeitverlängerung führen können. Sie werden in der freien Bemessung nicht berücksichtigt. Die Rückspülzyklen sind im praktischen

Betrieb nach Richtlinie WARI 1.03. zu ermitteln. Der Einsatz von Flockulanten führt bei der  $\text{Fe}^{2+}$ -Filtration zu keiner Erhöhung der Filtrationsgeschwindigkeit.

#### 4. Bemessung von Mehrschichtfiltern

Die  $\text{Fe}^{2+}$ -Filtration kann - insbesondere bei hoher Belastung des Rohwassers - mit einer Mehrschichtfiltration realisiert werden.

##### 4.1. Bemessungsgleichungen

Die güteseitige Bemessung von Mehrschichtfiltern zur  $\text{Fe}^{2+}$ -Filtration ist mit der Substitution möglich:

$$\frac{l_F}{d_w} = \sum_{i=1}^n \frac{l_{F,i}}{d_{w,i}} \quad (7)$$

Bei Zweischichtfiltern wird demzufolge

$$\frac{l_F}{d_w} = \frac{l_{F,O}}{d_{w,O}} + \frac{l_{F,U}}{d_{w,U}} \quad (8)$$

Für die hydraulische Filterbemessung des Zweischichtfilters gilt in Näherung:

$$v_{\text{hydr.}} = f_1 \cdot \frac{h_{F,Z}^{1,2} \cdot [d_{w,U} + B (d_{w,O} - d_{w,U})]^{1,3}}{l_F \cdot \text{Fe}_0^{0,8} \cdot (\text{pH} - 5,6)} \quad (9)$$

Dabei sind

$$B = \frac{\text{Fe}_0 - \text{Fe}_{1,0}}{\text{Fe}_0} \quad (10)$$

und

$$l_F = l_{F,O} + l_{F,U} \quad (11)$$

Die Ablaufgüte der Oberschicht wird durch Umstellen der Gl. (1) berechnet:

$$\text{Fe}_{1,0} = \text{Fe}_0 \cdot e^{-\frac{(3 \text{ pH} - 18,6) \cdot t^{0,8} \cdot l_{F,O}}{\text{Fe}_0^{0,1} \cdot v_E^{0,781} \cdot d_{w,O}}} \quad (12)$$

Zur Berechnung des Koeffizienten B ist überschlägig eine Ermittlung von  $\text{Fe}_{1,0}$  nach Bild 4 möglich.

Gültigkeitsbereich

- Es gelten die Randbedingungen für Gl. (1), außer für t und  $d_w$ .

- t = 8 bis 12 °C

-  $d_{w,O}$  = 1,5 bis 3,0 mm

-  $d_{w,U}$  = 0,8 bis 2,0 mm

Für das Schichtenverhältnis gilt:

$$0,5 = \frac{l_{F,O}}{l_{F,U}} \leq 1,0. \quad (13)$$

Zweischichtfilter im diskontinuierlichen Filterbetrieb können bei funktionierender Be- und Entlüftung gegenüber der kontinuierlichen Fahrweise bis zu 30 Prozent längere Laufzeiten erreichen, die in der freien Bemessung nicht berücksichtigt werden. Diese hydraulischen Reserven sind durch den Anwender im praktischen Betrieb zu ermitteln.

## 4.2. Bemessungsablauf

Die Bemessung ist nach folgendem Schema vorzunehmen:

- Aufstellung der Ausgangsparameter und Festlegung der Filterlaufzeit
- Einhaltung des geforderten Schichtenverhältnisses nach Gl. (13)
- Berechnung von  $v_E$  nach Gl. (1) unter Verwendung der Substitution (8)
- Ermittlung von  $Fe_{1,0}$  nach Gl. (12) bzw. Bild 4
- Berechnung von  $v_{hydr.}$  nach Gl. (9) über die Zwischenstufen  $B$  nach Gl. (10) und  $l_F$  nach Gl. (11)
- Berechnung von  $v_{E,z}$  und  $v_{hydr.,z}$  nach Gl. (3) bzw. (4)
- Ermittlung von  $v_z$  nach Gl. (5) und Prüfung des technologischen Filteroptimums entsprechend Gl. (6). Bestehen zwischen  $v_{E,z}$  und  $v_{hydr.,z}$  größere Abweichungen, ist entweder die Filterlaufzeit neu festzulegen oder Körnung und Schichtenverhältnis des Mehrschichtfilters zu verändern.

## 5. Bemessungsbeispiele

## 5.1. Beispiel Einschichtfilter

Filterzulauf :  $Fe_0$  : 6,0 mg/l  
 $Fe^{2+}$  : 5,5 mg/l ( $Fe^{3+} < 30\%$ )  
 pH-Wert: 7,2  
 $HCO_3^-$  = 70 mg/l  
 GH = 128 mg/l

Filterablauf :  $Fe_1$  : 0,1 mg/l  
 Gewählt :  $l_F$  : 2,50 m (geschlossener Filter)  
 $d_w$  : 1,0 mm

Filterlaufzeit: 24 h

Berechnung:

pH-Wert-Reduzierung nach Bild 1 (Beispiel):  $\sim 0,1$   
 pH-Wert: 7,2 - 0,1 (Reduzierung) - 0,1 (Fehler) = 7,0  
 nach Gl. (1) folgt:

$$v_E = \left[ \frac{(3 \cdot 7,0 - 18,6) \cdot 10^{0,8} \cdot 2,50}{6^{0,1} \cdot (\ln 6 - \ln 0,1) \cdot 1,0} \right]^{1,28} = 13,7 \text{ m/h}$$

nach Gl. (3) folgt:

$$v_{E,z} = 0,8 \cdot 13,7 \text{ m/h} = 10,96 \text{ m/h}$$

nach Gl. (2) folgt:

$$v_{hydr.} = 25 \cdot \frac{5^{1,2} \cdot 1,0^{1,3}}{2,50 \cdot 6^{0,8} \cdot (7,2 - 5,6)} = 10,3 \text{ m/h}$$

$v_{hydr.,z}$  bei geschl. Filtern =  $v_{hydr.}$  nach Gl. (3)

$$v_{E,z} > v_{hydr.,z}$$

$$v_z = 10,3 \text{ m/h}$$

Mit  $v_{E,z} = 10,96 \text{ m/h}$  und  $v_{hydr.,z} = 10,3 \text{ m/h}$  wird eine ausreichende Übereinstimmung (Filteroptimum) erreicht.

## 5.2. Beispiel Mehrschichtfilter

- a) Filterzulauf:  $Fe_0$  : 10,0 mg/l  
 $Fe_0^{2+}$  : 8,5 mg/l ( $Fe^{3+} < 30\%$ )  
 pH-Wert: 7,2  
 $t$  : 9,5 °C  
 GH : 180 mg/l  
 $HCO_3^-$  : 154 mg/l
- Filterablauf:  $Fe_1$  : 0,1 mg/l
- Filteraufbau:  $l_{F,0}$  : 1,0 m } (geschlossener Filter)  
 $l_{F,U}$  : 1,0 m }  
 $d_{w,0}$  : 2,1 mm  
 $d_{w,U}$  : 1,1 mm
- Filterlaufzeit:  $t_p$  : 36 h

b) Einhaltung des Schichtenverhältnisses mit  $0,5 \leq 1,0 \leq 1,0$

c) Die Substitution ergibt:  $\frac{1,0}{2,1} + \frac{1,0}{1,1} = 1,39$

Fehlerkorrektur des pH-Wertes:  $7,2 - 0,1 = 7,1$

Damit errechnet sich  $v_E$  zu:

$$v_E = \left[ \frac{(3 \cdot 7,1 - 18,6) \cdot 9,5^{0,8} \cdot 1,39}{10^{0,1} \cdot (\ln 10 - \ln 0,1)} \right]^{1,28} = 5,74 \text{ m/h}$$

d) Berechnung von  $Fe_{1,0}$

$$Fe_{1,0} = 10 \cdot e^{-\frac{(3 \cdot 7,1 - 18,6) \cdot 9,5^{0,8} \cdot 1,0}{10^{0,1} \cdot 5,74^{0,781} \cdot 2,1}} = 2,05 \text{ mg/l}$$

( $Fe_{1,0}$  aus Bild 4: 2,25 mg/l)

e) Filterkoeffizient:  $B = \frac{10 - 2,05}{10} = 0,795$

Filterbettiefe:  $l_p = 1,0 + 1,0 = 2,0 \text{ m}$

Damit ergibt sich  $v_{hydr.}$  zu:

$$v_{hydr.} = 15 \cdot \frac{5^{1,2} \cdot [1,1 + 0,795 \cdot (2,1 - 1,1)]^{1,3}}{2,0 \cdot 10^{0,8} \cdot (7,1 - 8,8)} = 12,5 \text{ m/h}$$

f) Berechnung  $v_{E,z}$  und  $v_{hydr.,z}$

$$v_{E,z} = 1,8 \cdot 5,74 = 10,3 \text{ m/h}$$

$$v_{hydr.,z} = 1,0 \cdot 12,5 = 12,5 \text{ m/h}$$

g) Ermittlung  $v_z$ :

$$v_z = 10,3 \text{ m/h} \leq 12,5 \text{ m/h}$$

Bei Festlegung einer 48stündigen Filterlaufzeit läßt sich die hydraulische Reserve nutzen:

$$v_{hydr.} = \frac{12}{15} \cdot 12,5 = 10,0 \text{ m/h}$$

In diesem Fall verringert sich  $v_z$  nur von 10,3 auf 10,0 m/h.

## 6. Bemessung der $Fe^{2+}/3+$ - Filtration über Sand

### 6.1. Vorbemerkungen

Die Bemessungshinweise gelten für die Bemessung von Sandfiltern für Wasser mit einem

$$\begin{aligned} Fe^{3+}\text{-Anteil} &> 30 \% \text{ und einen} \\ pH\text{-Wert} &> 7,3 \end{aligned}$$

im Filterzulauf, wenn diese Bedingungen ohne Alkaliengabe vorhanden sind.

Die Verhältnisse der  $Fe^{2+}/3+$ -Filtration sind vorrangig nach einer hocheffektiven mechanischen Entsäuerung und einer Verweilzeit von mindestens 10 min bei Wässern mit einer Karbonathärte  $> 80$  mg/l zu erwarten.

Zur Bemessung der  $Fe^{2+}/3+$ -Filter ist ein kleintechnischer Versuch erforderlich, da

- der Effekt der mechanischen Entsäuerung ohne Versuch nicht exakt vorausgesagt werden kann,
- theoretisch nicht exakt voraussagbar ist, wie das  $Fe^{3+}$  nach der Oxydation mit  $O_2$  vorliegt: ob vorwiegend geflockt und somit gut filtrierbar oder vorwiegend kolloidal,
- die vorliegenden Versuchsergebnisse nicht ausreichen, um eine freie Bemessung vorzunehmen.

### 6.2. Kleintechnischer Versuch

Im kleintechnischen Versuch sind die gleichen Verhältnisse wie in der zu bemessenden Anlage einzustellen (s. a. Hinweise).

Dies gilt besonders für die mechanische Entsäuerung und die Verweilzeit zwischen Kaskadeab- und Filterzulauf.

Nach der entsprechenden Verweilzeit ist zu prüfen, ob der pH-Wert 7,3 und der  $Fe^{3+}$ -Anteil 30 % überschritten werden. Ist dies der Fall, wird ein kleintechnischer Filter nachgeschaltet.

Für die Sandauswahl und die im Versuch einzustellende Filtergeschwindigkeit gelten folgende Richtwerte:

$Fe_0$ im Filterzulauf mg/l	Kornklasse nach TGL 37 523 d in mm	Filtergeschwindigkeit im Filterversuch m/h
$\leq 3$	0,8 bis 1,25	20
3 bis 6	1,0 bis 1,6	15
6 bis 10	1,4 bis 2,0	10

Der Einfluß des Einarbeitungsgrades des Filtersandes ist bei der  $Fe^{2+}/3+$ -Filtration gering. Es kann uneingearbeiteter Sand zur Anwendung kommen.  $d_w$  ist aus der Sieblinie des tatsächlich zu verwendenden Filtersandes zu errechnen.

### 6.3. Ermittlung der zulässigen Enteisungsgeschwindigkeit

Das Ergebnis des kleintechnischen Versuches ist Grundlage für die Filterbemessung.

Mit der Gleichung

$$f_v = v_v \left[ \frac{(3 \text{ pH} - 18,6) \cdot t^{0,8} \cdot l_p}{d_w \cdot Fe_0^{0,1} \cdot (\ln Fe_0 - \ln Fe_1)} \right]^{1,28} \quad (14)$$

wird auf der Basis der im Versuch eingesetzten und ermittelten Parameter die Konstante " $f_v$ " berechnet.

Zur Umrechnung auf andere  $d_w$ ,  $l$ ,  $Fe_1$  und  $t$ , als im Versuch vorhanden, gilt Gleichung (15), in die die Konstante " $f_v$ " mit eingeht:

$$v_E = f_v \cdot \left[ \frac{(3 \text{ pH} - 18,6) \cdot t^{0,8} \cdot l_F}{d_w \cdot Fe_0^{0,1} \cdot (\ln Fe_0 - \ln Fe_1)} \right]^{1,28} \quad (15)$$

Gültigkeitsbereich:

$v_E$	: $\leq 30$ m/h
pH im Filterablauf des Versuchsfilters	: 7,3 bis 7,6
t im Filterzulauf	: 6 bis 12 °C
$Fe_0$	: 0,5 bis 12 mg/l
$Fe_1$	: $\geq 0,05$ mg/l
$d_w$	: 1,0 bis 2,5 mm
U	: $\leq 1,5$
$l_F$	: 1,0 bis 2,5 m

Bei der Durchführung des kleintechnischen Versuches können Analysenungenauigkeiten auftreten, im praktischen Betrieb sind Störeinflüsse zu erwarten. Es wird deshalb ein Sicherheitsfaktor 0,8 festgelegt.

#### 6.4. Ermittlung des Filterwiderstandes

Nach der Ermittlung der zulässigen Enteisungsgeschwindigkeit ist zu prüfen, welcher Filterwiderstand mit den gewählten Parametern erreicht wird.

Kamen im Versuch bereits die gewählten Parameter zur Anwendung und wurde die erforderliche Filtratgüte erreicht, sind die im Versuch gemessenen Filterwiderstandswerte heranzuziehen.

Ist dies nicht der Fall, kann der Filterwiderstand nach Bild 5 ermittelt werden. Wird der zulässige Widerstand überschritten, ist die nächstgrößere Kornklasse zu wählen, mit dieser nach Gleichung (15) die Enteisungsgeschwindigkeit zu berechnen und erneut der Filterwiderstand zu prüfen.

Wird der zulässige Widerstand weit unterschritten, ist die nächstfeinere Kornklasse zu wählen und mit dieser die Rechnung zu wiederholen.

#### 6.5. Bemessungsbeispiel

Rohwasser: Fe	: 6,0 mg/l
pH-Wert	: 7,2
KH	: 75 mg/l
t	: 10 °C

Nach einer mehrstufigen Rohrgitterkaskade und einer Verweilzeit von 15 min im Zwischenbehälter sind folgende Parameter im Filterzulauf vorhanden:

$Fe_0$	: 6,0 mg/l	
$Fe^{2+}$	: 3,3 mg/l	$Fe^{3+}$ -Anteil: 46 %
pH-Wert	: 7,4	(pH-Wert-Reduzierung nicht erforderlich)
t	: 10 °C	

Kleintechnischer Filterversuch mit:	$v_V = 15$ m/h
	$d_w = 1,3$ mm
	$l_F = 1,50$ m

Versuchsergebnis:  $Fe_1$  im Mittel : 0,3 mg/l



Berechnung:

$$f_V = 15 \cdot \left[ \frac{(3 \cdot 7,4 - 18,6) \cdot 10^{0,8} \cdot 1,5}{1,3 \cdot 6^{0,1} (\ln 6 - \ln 0,3)} \right]^{-1,28} = 1,17$$

Umrechnung für - geschlossener Filter mit  $l_F = 2,50 \text{ m}$   
 $Fe_1 = 0,1 \text{ mg/l}$

$$v_E = 1,17 \left[ \frac{(3 \cdot 7,4 - 18,6) \cdot 10^{0,8} \cdot 2,5}{1,3 \cdot 6^{0,1} (\ln 6 - \ln 0,1)} \right]^{1,28} = 19,26 \text{ m/h}$$

Nach Bild 6 wird nach 24 h ein Filterwiderstand von 4,8 m erreicht. Der zulässige Filterwiderstand wird nicht überschritten.

$$v_Z = 0,8 \cdot 19,3 = \underline{15,4 \text{ m/h}}$$

Hinweise

Ersatz für WAPRO 1.54./02 Ausg. 05.79

Änderungen gegenüber Ausg. 05.79:

Erweiterung um die Abschnitte 4.1. Bemessungsgleichungen,

4.2. Bemessungsablauf, die Abschnitte 5.1. Bemessung von Einschichtfilter und

5.2. Mehrschichtfilter.

Redaktionell durchgesehen.

In diesem Standard wurde auf folgende Standards Bezug genommen: TGL 37 523, WAPRO 1.54./01, WAPRO 1,54/03 und WAPRO 1,54./04, Studie zu WAPRO 1.54./03

Kurzzeichen, Literatur und EDV-Programme: siehe WAPRO 1.54./01

Hinweise zu den kleintechnischen Versuchen zur  $Fe^{2+/3+}$ -Filtration:

Versuchsanlage nach einheitlichen unifizierten Versuchssystem  
 VEB Prowa, BT Forschungszentrum Dresden

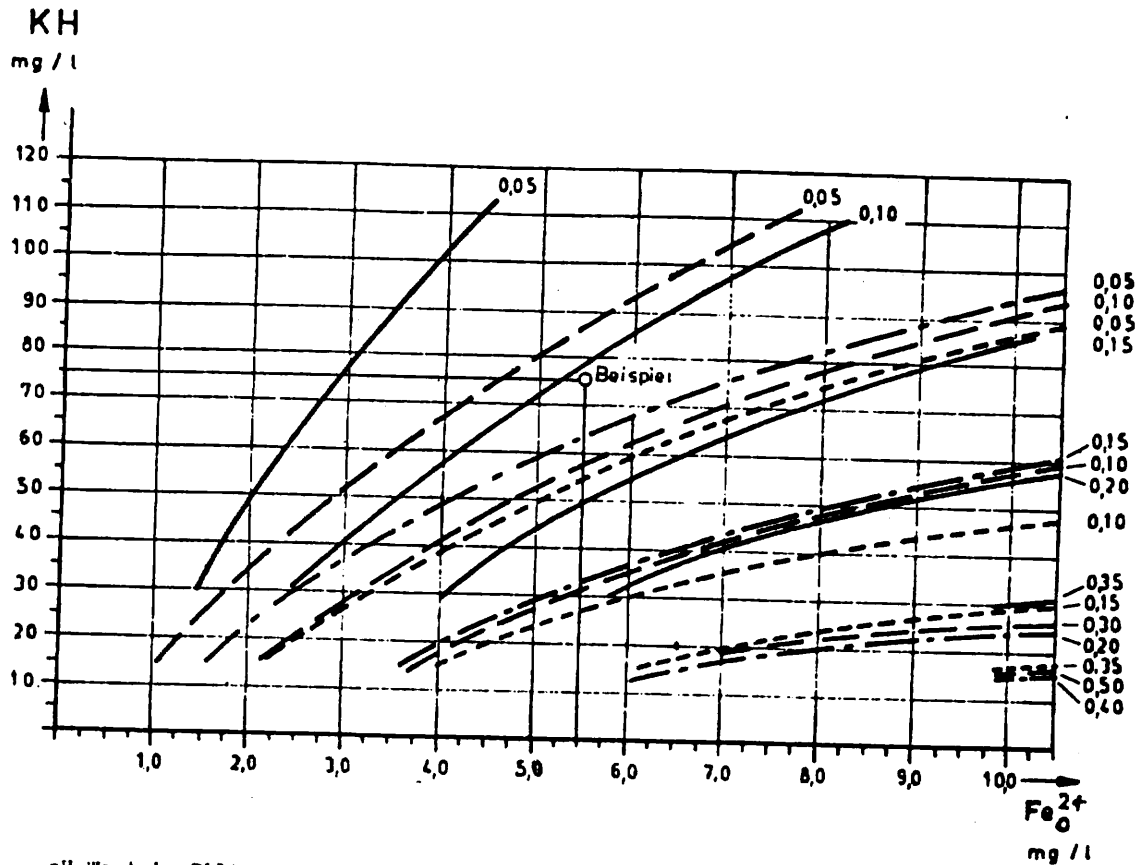
Hinweise zur künstlichen Einarbeitung von Filtersand zur  $Fe^{2+}$ -Filtration:

Nach Versuchsergebnissen des VEB WAB Dresden ist die künstliche Einarbeitung von Filtersand zur  $Fe^{2+}$ -Filtration nach folgendem Verfahren möglich:

- a. Filter leerlaufen lassen,
- b. Filter unter Zugabe von  $FeCl_3$  - oder  $FeSO_4$  - Lösung füllen,
- c. 5 Min. Einwirkzeit,
- d. Filter leerlaufen lassen und Lösung auffangen,
- e. Filter unter Zugabe von  $KMnO_4$  auffüllen,
- f. 10 Min. Einwirkzeit,
- g. Luftspülung,
- h. Filter leerlaufen lassen,
- i. Spülen

Die Chemikalien, bezogen auf  $1 \text{ m}^3$  Filtermaterial, wurden bei den Versuchen in folgenden Konzentrationen eingesetzt:  $1,4 \text{ kg } FeCl_3$  oder  $FeSO_4$   
 $0,6 \text{ kg } KMnO_4$

Die Lösungen sind dabei in maximaler Konzentration anzusetzen und von unten in den Filter zuzugeben.



pH-Wert im Filterzulauf :

—————	7,3
-----	7,0
- · - · -	6,6
.....	6,3

**Bild 1**

pH-Wert - Reduzierung für Ermittlung von  $v_E$

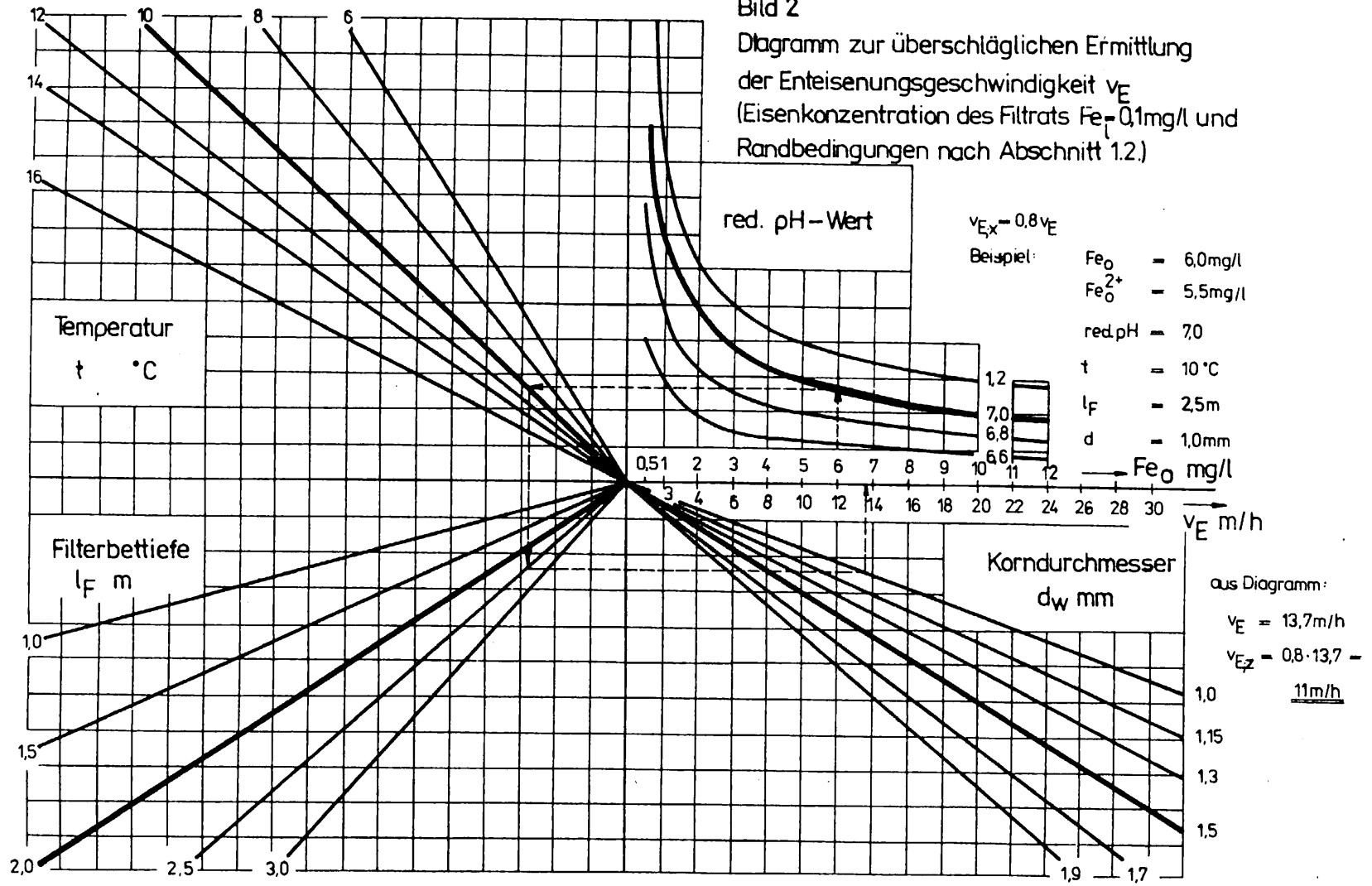
Beispiel : Filterzulauf : KH = 75 mg/l ; Fe<sup>2+</sup> = 5,5 mg/l  
pH im Filterzulauf = 7,2

Korrektur : für pH : 7,3 pH-Reduz. ~ 0,11  
pH : 7,0 pH-Reduz. ~ 0,07

⇒ Korrektur für pH : 7,2 - 0,1 ⇒ pH für Rechnung : 7,1

Bild 2

Diagramm zur überschläglichen Ermittlung der Enteisungsgeschwindigkeit  $v_E$  (Eisenkonzentration des Filtrats  $Fe = 0,1 \text{ mg/l}$  und Randbedingungen nach Abschnitt 1.2.)



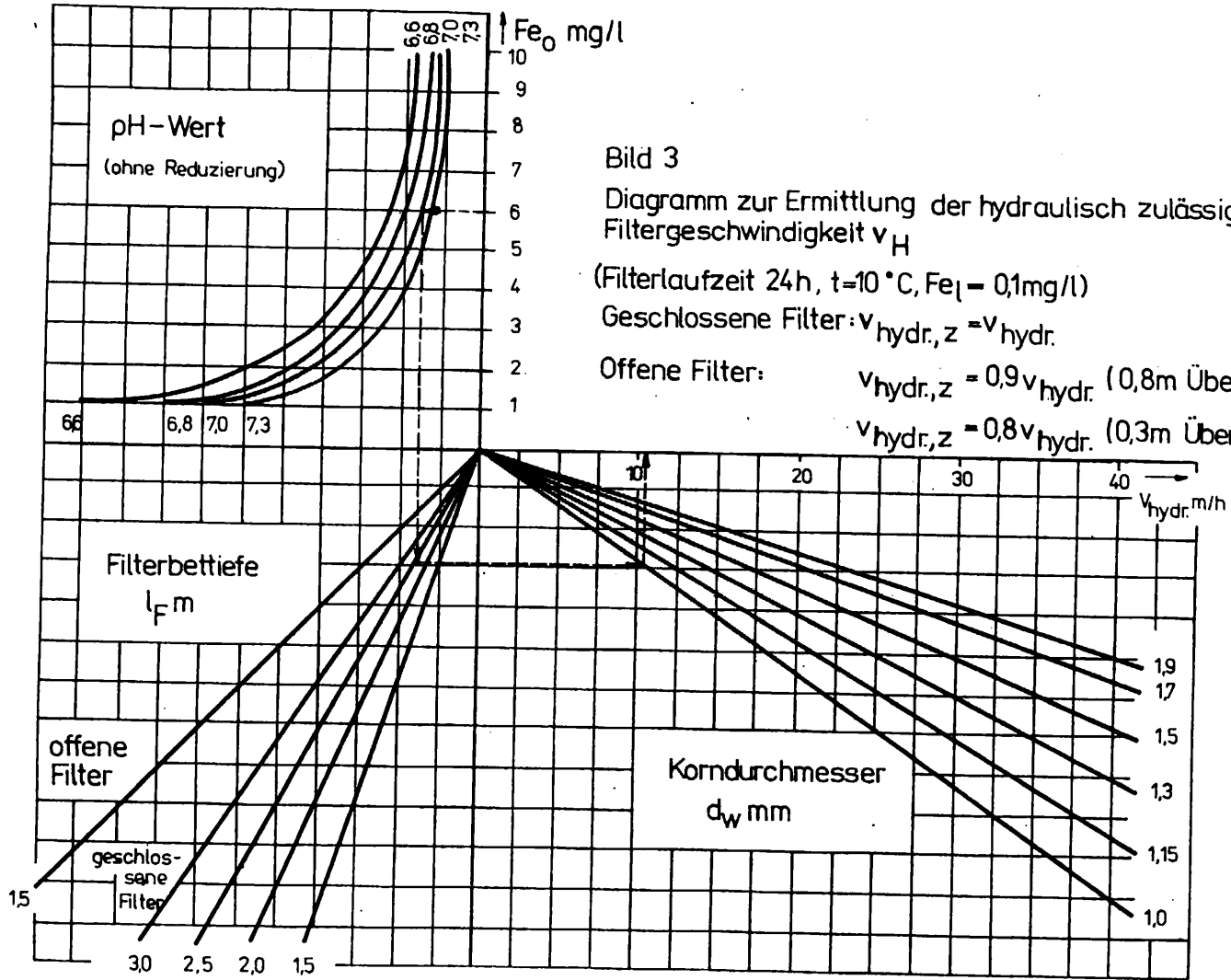


Bild 3

Diagramm zur Ermittlung der hydraulisch zulässigen Filtergeschwindigkeit  $v_H$

(Filterlaufzeit 24h,  $t=10^\circ C$ ,  $Fe_l = 0,1mg/l$ )

Geschlossene Filter:  $v_{hydr.,z} = v_{hydr.}$

Offene Filter:  $v_{hydr.,z} = 0,9 v_{hydr.}$  (0,8m Überstau)

$v_{hydr.,z} = 0,8 v_{hydr.}$  (0,3m Überstau)

Beispiel:

Fe = 6,0mg/l

pH = 7,2

t = 10 °C

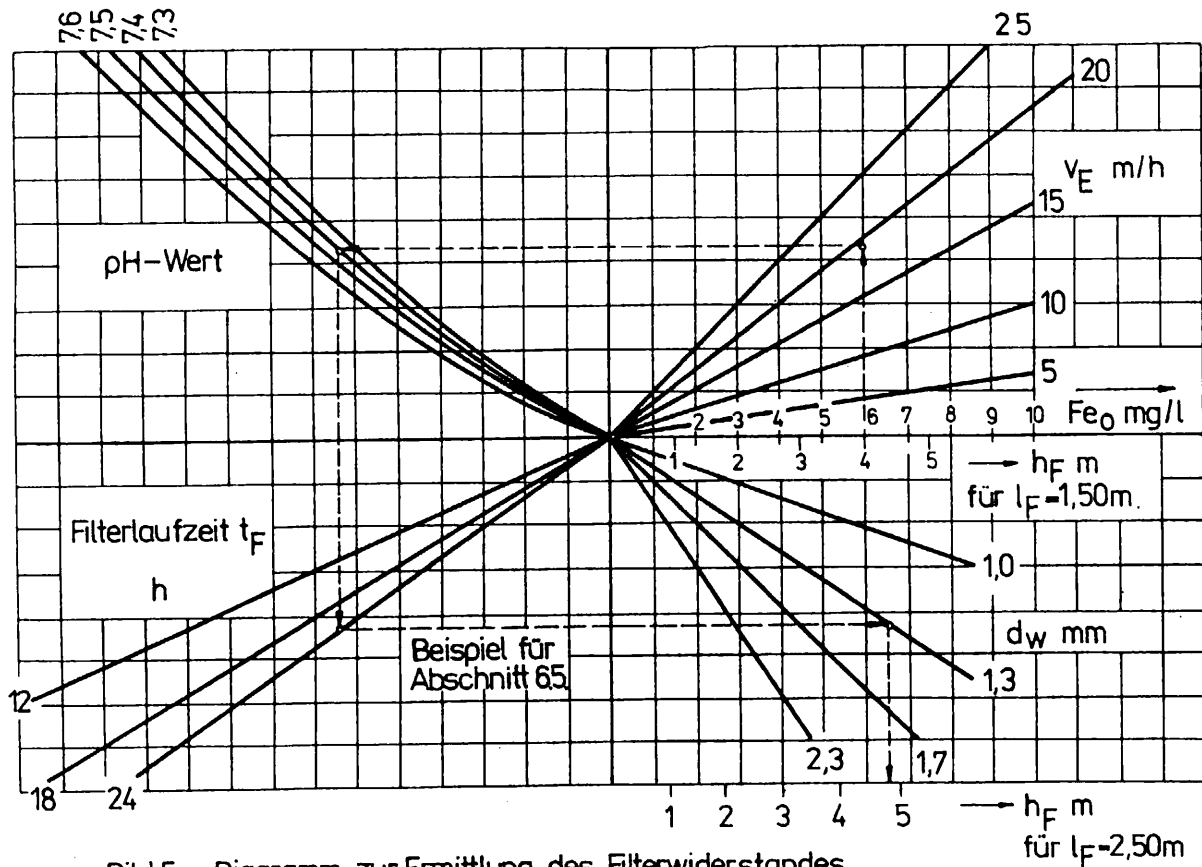
$l_F$  = 2,5m

(Geschlossene Filter)

$d_w$  = 1,0mm

aus Diagramm:

$v_{hydr.}$  = 10,3m/h



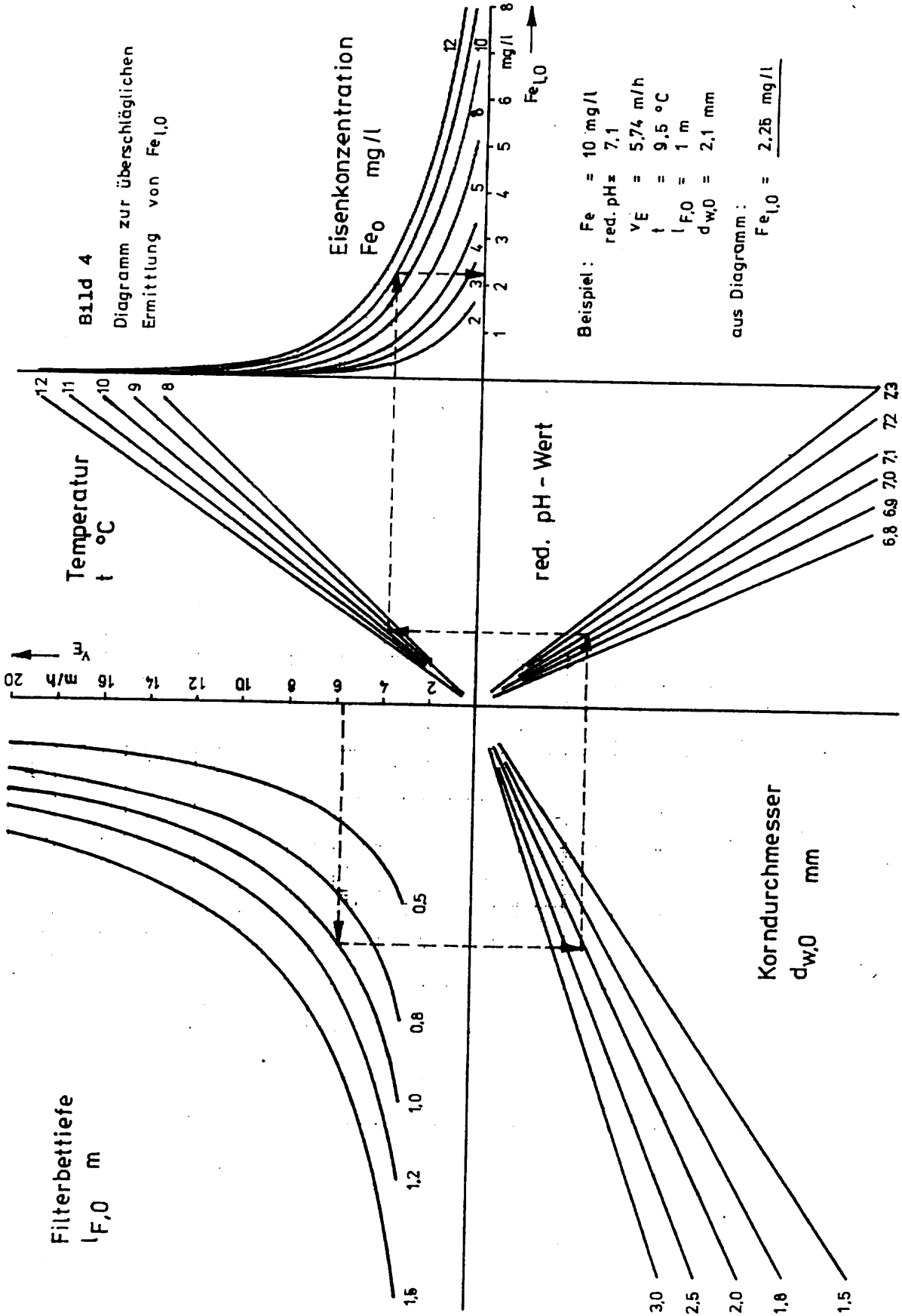
Beispiel:

Fe <sub>0</sub>	=	6mg/l
Fe <sup>2+</sup>	=	3,3mg/l
pH-Wert	=	7,4
t	=	10°C
v <sub>E</sub>	=	19,3m/h
t <sub>F</sub>	=	24h
l <sub>F</sub>	=	2,5m
d <sub>w</sub>	=	1,3mm

Aus Diagramm:

h <sub>F</sub>	=	4,8m
----------------	---	------

Bild 5 Diagramm zur Ermittlung des Filterwiderstandes bei der Fe<sup>2+/3+</sup>-Filtration (t=10°C Fe<sub>1</sub>~0,1mg/l)



W e r k s t a n d a r d i s s i e r u n g  
Änderungsmitteilung Nr. 4/87

WAPRO 1.54/02 Wasseraufbereitung;  
Ausg. 2.86 Enteisung und  
Entsäuerung durch Filtration;  
Fe<sup>2+</sup>-Filtration über Sand, Fe<sup>2+/3+</sup>-Filtration  
über Sand

Es sind folgende Änderungen durchzuführen:

1. Seite 2, Gleichung (2) korrigieren:

$$v_{\text{hydr.}} = f_1 \cdot \frac{h_{F,z}^{0,8} \cdot d_w^{1,3}}{l_F^{0,4} \cdot Fe_o^{0,8} \cdot (\text{pH}-5,6)} \quad (2)$$

2. Seite 3, 5. Anstrich

Tabelle entfällt, statt dessen neu:

- Der Faktor  $f_1$  ist laufzeitabhängig

$$f_1 = 370 \cdot t_F^{-0,92} \quad (2a)$$

3. Seite 4, Gleichung (9) korrigieren:

$$v_{\text{hydr.}} = f_1 \cdot \frac{h_{F,z}^{0,8} \cdot [d_{w,u} + \beta (d_{w,o} - d_{w,u})]^{1,3}}{l_F^{0,4} \cdot Fe_o^{0,8} \cdot (\text{pH}-5,6)} \quad (9)$$

4. Seite 5, Abschnitt 5.1, ab 7. Zeile

Gewählt:

$$l_F : 2,50 \text{ m (geschlossene Filter)}$$

$$d_W : 1,2 \text{ mm}$$

$$\text{Filterlaufzeit: } 24 \text{ h}$$

Berechnung:

pH-Wert-Reduzierung nach Bild 1 (Beispiel):  $\sim 0,1$

$$\text{pH-Wert: } 7,2 - 0,1 \text{ (Reduzierung)} - 0,1 \text{ (Fehler)} = 7,0$$

nach Gl. (1) folgt:

$$v_E = \left[ \frac{(3 \cdot 7,0 - 18,6) \cdot 10^{0,8} \cdot 2,5}{6^{0,1} \cdot (\ln 6 - \ln 0,1) \cdot 1,2} \right]^{1,28} = 10,85 \text{ m/h}$$

Nach Gl. (3) folgt:

$$v_{E,z} = 0,8 \cdot 10,85 \text{ m/h} = 8,68 \text{ m/h}$$

Nach Gl. (2) folgt:

$$v_{\text{hydr.}} = 19,9 \cdot \frac{5^{0,8} \cdot 1,2^{1,3}}{2,5^{0,4} \cdot 6^{0,8} (7,2-5,6)} = 9,44 \text{ m/h}$$

$v_{\text{hydr.,z}}$  bei geschlossenen Filtern =  $v_{\text{hydr.}}$  nach Gl. (3)

$$v_{E,z} < v_{\text{hydr.,z}}$$

$$\underline{v_z = 8,68 \text{ m/h}}$$

Mit  $v_{\text{hydr.,z}} = 9,44 \text{ m/h}$  liegt eine Filterlaufzeitreserve von etwa 3 h vor.

5. Seite 6, Abschnitt 5.2.,

e) 4. Zeile:

$$v_{\text{hydr.}} = 13,7 \cdot \frac{5^{0,8} \cdot [1,1 + 0,795 (2,1 - 1,1)]^{1,3}}{2,0^{0,4} \cdot 10^{0,8} (7,1 - 5,6)} = 9,12 \text{ m/h}$$



f) Berechnung  $v_{E,z}$  und  $v_{hydr.,z}$ :

$$v_{E,z} = 1,8 \cdot 5,74 = 10,3 \text{ m /h}$$

$$v_{hydr.,z} = 1,0 \cdot 9,12 = 9,12 \text{ m /h}$$

g) Ermittlung von  $v_z$ :


$$v_z = 9,12 \text{ m/h} \leq 10,3 \text{ m/h}$$

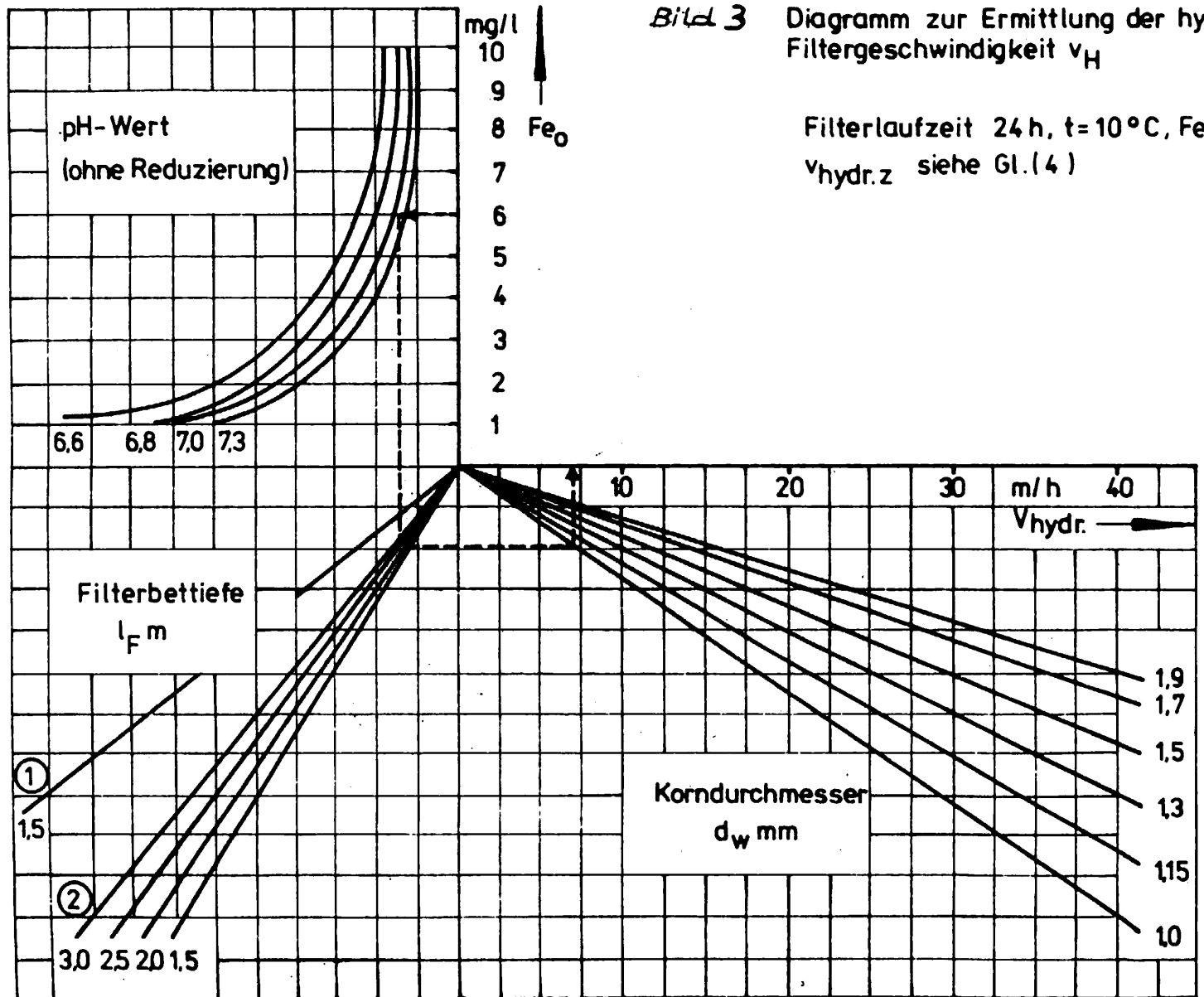
Bei Festlegung einer nur 32-stündigen Filterlaufzeit läßt sich  $v_z$  auf 10,3 m/h erhöhen.

6. Seite 12, Bild 3

Diese Seite ist durch die beigelegte Neuausgabe zu ersetzen.

Die Ausgabe ändert sich in 2.86 -/-.

  
Pohl  
Leiter der Zentralstelle  
für Standardisierung



**Bild 3** Diagramm zur Ermittlung der hydraulisch zulässigen Filtergeschwindigkeit  $v_H$

Filterlaufzeit 24 h,  $t = 10^\circ C$ ,  $Fe_1 = 0,1 \text{ mg/l}$ ,  
 $v_{hydr.z}$  siehe Gl.(4)

Beispiel:

$Fe_0 = 6,0 \text{ mg/l}$   
 $pH = 7,2$   
 $t = 10^\circ C$   
 $l_F = 2,5 \text{ m}$   
 (Geschlossene Filter)  
 $d_w = 1,0 \text{ mm}$   
 aus Diagramm:  
 $v_{hydr.} = 7,4 \text{ m/h}$

① offene Filter    ② geschlossene Filter