

**Salzgitter Flachstahl GmbH -  
Erweiterung der Werkskläranlage um eine  
Filtrations- und Adsorptionsstufe**

**Verfahrenstechnische Berechnungen zur Flockungsfiltration**

	Parameter	Bemessung / Bemerkung	Wert	Einheit
Grund- daten	maßgebender Abwasserzufluss	$Q_{\text{Auslegung}}$	Auslegungsgröße	1.430 m³/h
	Jahresabwassermenge	$Q_a$	Betriebsdaten (01/15 - 12/17)	13.000.000 m³/a
	Rohschlammfall	$RohS_{a,vorh.}$	Betriebsdaten (01/15 - 12/17)	2.600 t TR/a
Filtration	maximal zulässige Filtergeschwindigkeit	$v_{\text{Filter,max}}$	gemäß DWA-A 203, Rückhalt von AFS	15,0 m/h
	maximal zulässige Feststoffflächenbelastung	$B_{A,zul,max}$	aus DWA A 203 (2019)	1,00 kg TS/(m²*h)
	erforderliche Filterfläche	$A_{\text{Filter,erf.}}$	$= (Q_{\text{Auslegung}} + Q_{\text{Spül,FF,max}} + Q_{\text{Spül,GAK,max}}) / v_{\text{Filter,max}}$	106 m²
	Filterfläche einer Filterkammer	$A_{\text{Filterkammer}}$	Typ: DS 6000 D-B	6 m²
	erforderliche Anzahl Filterkammern	$n_{\text{Filterkammern,erf.}}$	$= A_{\text{Filter,erf.}} / A_{\text{Filterkammer}}$	17,6 Stück
	gewählte Anzahl Filterkammern	$n_{\text{Filterkammern,gew.}}$		18 Stück
	gesamte Filterfläche	$A_{\text{Filter,ges.}}$	$= A_{\text{Filterkammer}} * n_{\text{Filterkammern,gew.}}$	108 m²
	resultierende maximale Filtergeschwindigkeit	$v_{\text{Filter,res.}}$	$= (Q_{\text{Auslegung}} + Q_{\text{Spül,FF,max}} + Q_{\text{Spül,GAK,max}}) / A_{\text{Filter,ges.}}$	14,69 m/h
	resultierende mittlere Filtergeschwindigkeit	$v_{\text{Filter,mittel}}$	$= (Q_{\text{Auslegung}} + Q_{\text{Spül,FF,red}} + Q_{\text{Spül,GAK,red}}) / A_{\text{Filter,ges.}}$	13,68 m/h
	Filterbetthöhe	$h_{\text{Filterbett}}$	gewählt	2,0 m
	minimale Verweilzeit im Filterbett	$t_{\text{Filter,res.}}$	$= h_{\text{Filterbett}} / v_{\text{Filter,res.}} * 60$	8 min
	Sandbedarf (Körnung 1,0 - 2,0 mm) pro Filtereinheit	$m_{\text{Sand}}$	Angabe Hersteller	23 t/Filtereinheit
	Sandbedarf (Körnung 1,0 - 2,0 mm) gesamt	$M_{\text{Sand,ges.}}$	$= m_{\text{Sand}} * n_{\text{Filterkammer}}$	414 t
	maximale Spülabwassermenge pro Filtereinheit	$q_{\text{Spül,FF,max}}$	Angabe Hersteller	4,7 m³/h/Filtereinheit
	maximale Spülabwassermenge	$Q_{\text{Spül,FF,max}}$	$= q_{\text{Spül,FF,max}} * n_{\text{Filterkammern}}$	85 m³/h
	Spülabwassermenge mit Waschwasserreduzierung	$Q_{\text{Spül,FF,red.}}$	$= 0,3 * Q_{\text{Spül,FF,max}}$ (iterativ über $B_{A,mittel}$ )	25 m³/h
Druckluftbedarf	$q_{L,max}$	Angabe Hersteller (bei 4 bar Überdruck)	190 NI/min/Filtereinheit	
maximaler Druckluftbedarf	$Q_{L,max}$	$= q_{L,max} * n_{\text{Filterkammern}} * 60 / 1.000$	205 Nm³/h	
Druckluftbedarf mit Waschwasserreduzierung	$Q_{L,red.}$	$= 0,3 * Q_{L,max}$ (iterativ über $B_{A,mittel}$ )	62 Nm³/h	
Zulaufpumpwerk	erforderliche Förderhöhe	$\Delta h_{\text{PW,erf.}}$	s. hydraulische Vorbemessung	9,4 m
	Wirkungsgrad Pumpwerk	$\eta_{\text{PW}}$	Kreiselpumpe	60 %
	erforderliche Pumpwerksleistung	$P_{\text{PW,erf.}}$	$= 2,7 / \eta_{\text{PW}} * \Delta h_{\text{PW,erf.}} * (Q_{\text{Aust.}} + Q_{\text{Sp.,FF,max}} + Q_{\text{Sp.,GAK,max}}) / 1.000$	67 kW
	gewählte Pumpwerksleistung	$P_{\text{PW,gew.}}$		80 kW
	Anzahl Pumpen	$n_{\text{Pumpen}}$	2 + 1 System	2 Stück
	Leistung je Pumpen	$P_{\text{Pumpe}}$	$= P_{\text{PW,gew.}} / n_{\text{Pumpen}}$	40 kW
	Fördermenge je Pumpe	$Q_{\text{Pumpe}}$	$= (Q_{\text{Auslegung}} + Q_{\text{Spül,FF,max}} + Q_{\text{Spül,GAK,max}}) / n_{\text{Pumpen}}$	793 m³/h
	Schaltzahl pro Stunde	$i$		10 h⁻¹
	erforderlicher Pumpensumpf	$V_{\text{Sumpf,erf.}}$	$= 0,9 * Q_{\text{Auslegung}} / (i * 3,6)$	35,8 m³
	gewählte Länge Pumpensumpf	$L_{\text{Sumpf}}$	gewählt	5,0 m
	gewählte Breite Pumpensumpf	$B_{\text{Sumpf}}$	gewählt	5,1 m
maximale Wasserspiegeldifferenz	$h_{\text{Wsp,Sumpf}}$	gewählt	1,45 m	
Volumen Pumpensumpf	$V_{\text{Sumpf,gew.}}$	$= L_{\text{Sumpf}} * B_{\text{Sumpf}} * h_{\text{Wsp,Sumpf}}$	37,0 m³	
Fällmittel (FM)-Dosierstation	<b>Fällmittelbedarf im Jahresmittel</b>			
	Phosphorkonzentration Ablauf Mittelwert	$C_{\text{Pges,mittel}}$	Betriebsdaten (01/15 - 12/17)	0,44 mg P/l
	Phosphor Zielkonzentration	$C_{\text{Pges,Ziel}}$	Maximal mögliche Ablaufkonzentration	0,14 mg P/l
	zu fällende P-Fracht (pro Jahr)	$B_{a,Pges,Fäll}$	$= (C_{\text{Pges,mittel}} - C_{\text{Pges,Ziel}}) * 0,9 * Q_a / 1.000$	3.510 kg P/a
	Fällmittelart		Eisen-III-Clorid - 40%ige Lösung	
	Eisenbedarf (pro Jahr; $\beta = 3,0$ )	$B_{a,Fe,erf.}$	$= 3,0 * 55,8 / 31,0 * B_{a,Pges,Fäll}$	18.954 kg Fe/a
	Wirksubstanz Eisen-III-chlorid	$w_{\text{FeCl}_3,L}$	Lösung	0,135 kg Fe/kg
	Dichte Eisen-III-chlorid	$\delta_{\text{FeCl}_3,L}$		1,420 kg/m³
	Fällmittelbedarf (pro Jahr)	$B_{a,FeCl_3}$	$= B_{a,Fe,erf.} / w_{\text{FeCl}_3,L}$	140.400 kg/a
		$Q_{a,FeCl_3}$	$= B_{a,FeCl_3} / \delta_{\text{FeCl}_3,L}$	98,9 m³/a
	zusätzlicher Schlammfall	$i_{\text{TS/Fe}}$	aus DWA A 131	2,50 kg TS/kg Fe
		$\ddot{U}S_{a,P}$	$= i_{\text{TS/Fe}} * B_{a,Fe,erf.}$	47.385 kg TS/a
<b>Fällmittelbedarf im Tagesmaximum</b>				
Maximale Phosphorkonzentration (99%-Perzentil)	$C_{\text{Pges,max}}$	Betriebsdaten (01/15 - 12/17)	0,82 mg P/l	
maximale tägliche P-Ablauffracht	$B_{d,Pges,max}$	$= C_{\text{Pges,max}} * Q_d / 1000$	31,2 kg P/d	
zugehörige Wassermenge	$Q_{d,max}$	$= (Q_{\text{Auslegung}} + Q_{\text{Spül,FF,max}} + Q_{\text{Spül,GAK,max}}) * 24 \text{ h}$	38.078 m³/d	

**Salzgitter Flachstahl GmbH -  
Erweiterung der Werkskläranlage um eine  
Filtrations- und Adsorptionsstufe**

**Verfahrenstechnische Berechnungen zur Flockungsfiltration**

	Parameter	Bemessung / Bemerkung	Wert	Einheit
<b>Fällmittel (FM)-Dosierstation</b>	maximal zu fällende P-Fracht	$B_{d,Pges,Fäll,max}$	$= B_{d,Pges,max} - C_{Pges,Ziel} * Q_d / 1.000$	25,9 kg P/d
	maximaler Eisenbedarf ( $\beta = 3,0$ )	$B_{d,Fe,max}$	$= 3,0 * 55,8/31,0 * B_{d,Pges,Fäll,max}$	139,8 kg/d
	maximaler Fällmittelbedarf	$B_{d,FeCl3,max}$	$= B_{d,Fe,max} / w_{FeCl3,L}$	1.036 kg/d
		$Q_{d,FeCl3,max}$	$= B_{d,FeCl3,max} / \delta_{FeCl3,L}$	0,73 m³/d
	Mittelwert Chloridkonzentration Nachklärung	$C_{Cl,MW,NK}$	Betriebsdaten (01/15 - 12/17)	264,0 mg/l
	maximale zusätzliche Chloridkonzentration	$C_{Cl,max}$	$= \beta * B_{d,Pges,Fäll,max} * (3 * M_{Cl} / M_p) * 1000 / Q_{d,max}$	7,0 mg/l
	Lagerbehälter	$V_{L,FM,erf.}$	$= Q_{Tankzug,20m3} + Q_{d,FeCl3,max} * 7 d$	25 m³
		$V_{L,FM,gew.}$		25 m³
		$t_{L,FM,aM}$	$= V_{L,FM,gew.} / (Q_{a,FeCl3} / 365 d/a)$	92 d
	erforderliche Förderleistung Dosierpumpe	$Q_{Pumpe,erf.}$	$= Q_{d,FeCl3,max} * (f_p / 24) * 1000$	45,6 l/h
	mit Stoßfaktor	$f_p$	DWA-A 202	1,5 [-]
	gewählte Förderleistung Dosierpumpe	$Q_{Pumpe,gew.}$	1 + 1 System	50 l/h
zusätzlicher Schlammanfall	$i_{TS/Fe}$	aus DWA A 131	2,50 kg TS/kg Fe	
	$\ddot{U}_{Sd,P,max}$	$= i_{TS/Fe} * B_{d,Fe,max}$	350 kg TS/d	
<b>zusätzlicher Schlammanfall</b>	<b>Schlammanfall im Jahresmittel</b>			
	mittlere AFS-Konzentration	$C_{AFS,mittel}$	Betriebsdaten (01/15 - 12/17)	24,7 mg/l
	AFS-Zielkonzentration	$C_{AFS,Ziel}$	aus DWA-A 203	5 mg/l
	Schlammanfall aus AFS	$\ddot{U}_{S_{a,AFS}}$	$= (C_{AFS,mittel} - C_{AFS,Ziel}) * 0,9 * Q_a / 1.000$	229.905 kg TS/a
	zusätzlicher Schlammanfall gesamt	$\ddot{U}_{S_{a,zus.}}$	$= (\ddot{U}_{S_{a,P}} + \ddot{U}_{S_{a,AFS}}) / 1.000$	277 t TS/a
	resultierende mittlere Feststoffflächenbelastung	$B_{A,mittel}$	$= (\ddot{U}_{S_{a,zus.}} / 8.760) / A_{Filter,ges.}$	0,29 kg TS/(m²h)
	Anteil an Gesamtschlammmenge		$= (RohS_{a,vorh.} + \ddot{U}_{S_{a,zus.}}) / RohS_{a,vorh.} - 1$	10,7 %
	<b>Schlammanfall im Tagesmaximum</b>			
	maximale AFS-Konzentration (99%-Perzentil)	$C_{AFS,max}$	Betriebsdaten (01/15 - 12/17)	66,4 mg/l
	Maximaler täglicher Schlammanfall aus AFS	$\ddot{U}_{S_{d,AFS,max}}$	$= (C_{AFS,max} - C_{AFS,Ziel}) * Q_d / 1.000$	2.338 kg TS/d
	Maximaler täglicher Schlammanfall gesamt	$\ddot{U}_{S_{d,zus.,max}}$	$= (\ddot{U}_{S_{d,P,max}} + \ddot{U}_{S_{d,AFS,max}})$	2.688 kg TS/d
	resultierende maximale Feststoffflächenbelastung	$B_{A,max}$	$= (\ddot{U}_{S_{d,zus.,max}} / 24) / A_{Filter,ges.}$	1,04 kg TS/(m²h)
	<b>Auslastung gemäß Nordic Water</b>			
	Max. spez. Bioflocken-Feststoffflächenbelastung	$B_{A,max,Bio}$	Vorgabe Nordic Water	1,5 kg/m²h
	Max. spez. Fällschlamm-Feststoffflächenbelastung	$B_{a,max,P-Fäll}$	Vorgabe Nordic Water	0,58 kg/m²h
	<u>Szenario: AFS-Ablaufkonzentration = 66,4 mg/l (99 %-Perzentil), P<sub>ges</sub>-Ablaufkonzentration = 0,82 mg/l (99 %-Perzentil)</u>			
	AFS-Konzentration im Ablauf Nachklärung	$C_{AFS,SZ1}$	maximale AFS-Konzentration (99%-Perzentil)	66,4 mg/l
	Spezif. Feststoffflächenbelastung Bio-TS	$B_{A,Bio,SZ1}$	$= V_{FF,max} * C_{AFS,SZ1} / 1000$ Abweichend zu DWA-A 203: Zielkonzentration von 5 mg/l nicht berücksichtigt --> Rechnerische Reserve	0,98 kg/m²h
Spezif. Auslastung der Filter mit Bio-TS	$CPU_{Bio}$	$= B_{A,Bio,SZ1} / B_{A,max,Bio}$	65,0 %	
Spezif. Feststoffflächenbelastung Fällschlamm	$B_{A,Fäll,SZ1}$	$= (\ddot{U}_{S_{d,P,max}} / 24) / A_{Filter,ges.}$	0,13 kg/m²h	
Spezif. Auslastung der Filter mit Fällschlamm	$CPU_{P-Fäll}$	$= B_{A,Fäll,SZ1} / B_{A,max,P-Fäll}$	23,3 %	
Gesamtauslastung Flockungsfiltration	$CPU_{FF}$	$= CPU_{Bio} + CPU_{FF}$	88,3 %	
<b>pFM-Dosierung</b>	<b>pFM-Bedarf im Jahresmittel</b>			
	Dosierkonzentration	$C_{pFM,mittel}$	Empfehlung der Firma NALCO, Versuche	3,75 ppm
	Jährliche Dosiermenge unverdünnte Handelsware	$B_{a,pFM}$	$= (C_{pFM} * 10^6) * Q_a$	48,75 t/a
	Dichte unverdünnte Handelsware	$\rho_{pFM}$	abhängig vom gewählten Produkt	1,5 t/m³
	Benötigtes Jahresvolumen unverdünnte Handelsware	$V_{a,pFM}$	$= B_{a,pFM} / \rho_{pFM}$	32,5 m³ / a
	Volumen eines IBC	$V_{IBC}$	Standardgröße	1,0 m³ / IBC
	Wechsel eines IBC mit 1 m³	$d_{IBC}$	$= V_{IBC} / (B_{a,pFM} / 365 [d/a])$	11,2 d
	<b>pFM-Bedarf in der Tagesspitze</b>			
	Dosierkonzentration	$C_{pFM,max}$	Empfehlung der Firma NALCO, Versuche	5,0 ppm
	Maximaler täglicher Zufluss	$Q_{d,max,zu}$	Betriebsdaten (99%-Perzentil)	59.870 m³/d
	Max. tägliche Dosiermenge unverdünnte Handelsware	$B_{d,max,pFM}$	$= (C_{pFM} * 10^6) * Q_{d,max}$	0,30 t
	Benötigtes Tagesvolumen (Spitze)	$V_{a,max,pFM}$	$= V_{a,pFM} / \rho_{pFM}$	0,2 m³/d

Salzgitter Flachstahl GmbH -  
**Erweiterung der Werkskläranlage um eine  
Filtrations- und Adsorptionsstufe**

Verfahrenstechnische Berechnungen zur GAK-Adsorption

	Parameter	Bemessung / Bemerkung	Wert	Einheit
Grund- daten	maßgebender Abwasserzufluss	$Q_{\text{Auslegung}}$	Auslegungsgröße	1.430 m <sup>3</sup> /h
	Jahresabwassermenge	$Q_a$	Betriebsdaten (01/15 - 12/17)	13.000.000 m <sup>3</sup> /a
GAK-Adsorption (kontinuierlicher Filter)	Vorgabe Leerbettkontaktzeit	EBCT	u.a. BAFU 2012, Benstöm 2016b, DWA-M 285-2	20 min
	Filterbetthöhe	$h_{\text{Filterbett}}$	gewählt	2,5 m
	Resultierende Filtergeschwindigkeit	$v_{\text{Filter, res.}}$	= $h_{\text{Filterbett}} / \text{EBCT}$	7,5 m/h
	erforderliche Filterfläche	$A_{\text{Filter, erf.}}$	= $(Q_{\text{Auslegung}} + Q_{\text{Spül, GAK, max}}) / v_{\text{Filter, max}}$	200 m <sup>2</sup>
	Filterfläche einer Filterkammer	$A_{\text{Filterkammer}}$	Typ: DS 6000 D-B	6 m <sup>2</sup>
	erforderliche Anzahl Filterkammern	$n_{\text{Filterkammern, erf.}}$	= $A_{\text{Filter, erf.}} / A_{\text{Filterkammer}}$	33,4 Stück
	gewählte Anzahl Filterkammern	$n_{\text{Filterkammern, gew.}}$		36 Stück
	gesamte Filterfläche	$A_{\text{Filter, ges.}}$	= $A_{\text{Filterkammer}} * n_{\text{Filterkammern, gew.}}$	216 m <sup>2</sup>
	Richtwert maximale Filtergeschwindigkeit	$v_{\text{Filter, max, erf.}}$	DWA-M 285-2, Angabe Nordic Water	7,00 m/h
	effektive maximale Filtergeschwindigkeit	$v_{\text{Filter, max}}$	= $(Q_{\text{Auslegung}} + Q_{\text{Spül, GAK, max}}) / A_{\text{Filter, ges.}}$	6,95 m/h
	mittlere Filtergeschwindigkeit	$v_{\text{Filter, mittel}}$	= $(Q_{\text{Auslegung}} + Q_{\text{Spül, GAK, red}}) / A_{\text{Filter, ges.}}$	6,72 m/h
	resultierendes Filtervolumen	$V_{\text{Filter, ges.}}$	= $A_{\text{Filter, ges.}} * h_{\text{Filterbett}}$	540 m <sup>3</sup>
	resultierende effektive Leerbettkontaktzeit	EBCT <sub>eff.</sub>	= $h_{\text{Filterbett}} / v_{\text{Filter, max}}$	21,6 min
	maximale Spülabwassermenge pro Kammer	$q_{\text{Spül, GAK, max}}$	Angabe Hersteller	2,0 m <sup>3</sup> /h/Filterkammer
	maximale Spülabwassermenge	$Q_{\text{Spül, GAK, max}}$	= $q_{\text{Spül, GAK, max}} * n_{\text{Filterkammern}}$	72 m <sup>3</sup> /h
	Spülabwassermenge mit Waschwasserreduzierung	$Q_{\text{Spül, GAK, red.}}$	= $0,3 * Q_{\text{Spül, GAK, max}}$	22 m <sup>3</sup> /h
	Druckluftbedarf	$q_{\text{L, max}}$	Angabe Hersteller (bei 4 bar Überdruck)	45 NI/min/Filterkammer
maximaler Druckluftbedarf	$Q_{\text{L, max}}$	= $q_{\text{L, max}} * n_{\text{Filterkammern}} * 60 / 1.000$	98 Nm <sup>3</sup> /h	
Druckluftbedarf mit Waschwasserreduzierung	$Q_{\text{L, red.}}$	= $0,3 * Q_{\text{L, max}}$	29 Nm <sup>3</sup> /h	
Laufzeit	GAK-Konzentration in Laborversuchen	$C_{\text{GAK}}$	Laborbericht Ostfalia Hochschule (2019)	20 mg/l
	Schüttdichte GAK nach Klassierung und Rückspülung	$\rho_{\text{GAK}}$	Hydraffin AR 8 x 30	450 kg/m <sup>3</sup>
	resultierendes Bettvolumen in Laborversuchen	$BV_{\text{LV}}$	= $(\rho_{\text{GAK}} * 1000) / C_{\text{GAK}}$	22.500 m <sup>3</sup> Abw. / m <sup>3</sup> GAK
	Laufzeiterhöhung durch Parallelschaltung (3-Filterstraße $\Delta BV$ )	$\Delta BV$	Bornemann et al. (2015)	50 %
	Zielgröße Bettvolumen	$BV_{\text{Ziel}}$	= $BV_{\text{LV}} * (1 + \Delta BV)$	33.750 m <sup>3</sup> Abw. / m <sup>3</sup> GAK
	Effektiver Jahresdurchsatz 4. Reinigungsstufe	$BV_{\text{a, eff}}$	= $(0,9 * B_a) / v_{\text{Filter, ges.}}$	21.667 m <sup>3</sup> Abw. / (m <sup>3</sup> GAK * a)
	Standzeit GAK-Material	$t_{\text{GAK}}$	= $BV_{\text{Ziel}} / BV_{\text{a, eff}}$	1,6 a