

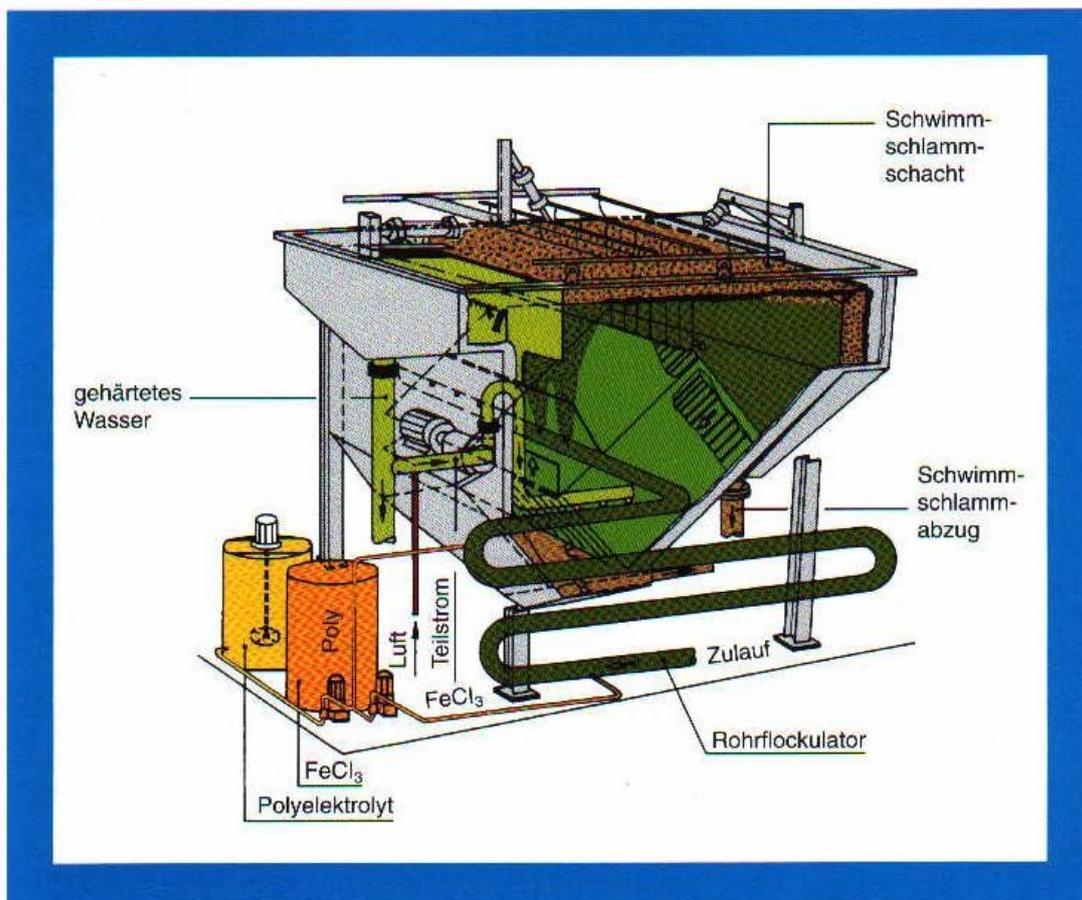
Abwasser

WO BLEIBEN
NUR DIE
MUT-EXPERTEN?



ist unser Element

Gegenstrom- Parallelplatten- abscheider zur Sedimentation und Flotation



Röhrenflockulator

Zur Trennung von Feststoffen aus Flüssigkeiten oder von unlöslichen Flüssigkeiten unterschiedlicher Dichte (Öl/Wasser) werden in zunehmendem Maße Parallelplattenabscheider in der Abwassertechnik zur Trennung eingesetzt.

Der Absetzvorgang und der Wirkungsgrad der Abscheidersysteme werden bei gleichen Prozeßparametern durch die Flächenbeschickung, die Fließgeschwindigkeit, Turbulenz, Beckenabmessungen und -form sowie die Ausbildung der Ein- und Ablaufeinrichtungen bestimmt.

Die Prozeßparameter:

- Feststoffkonzentration
- Flockengröße und Größenspektrum
- Oberflächenspannung
- Temperatur
- Dichte der Stoffe
- pH-Wert
- Art und Menge der Flockungsmittel
- Recyclingwassermenge (Luftmenge) können, bezogen auf einen vorgegebenen Feststoff und eine ebenfalls vorgegebene Flüssigkeit, optimiert werden.

Die vorgegebene Trennaufgabe eines Fest-/Flüssiggemisches ist also immer ganzheitlich zu betrachten, d. h. Optimierung der Prozeßparameter, bezogen auf ein optimiertes Abscheidersystem.

Der Flockungsprozeß ist im wesentlichen abhängig von der Form des Reaktors. Durch eine Reihe von Untersuchungen wurde ermittelt, daß die Flockenbildung in Röhren für eine schnelle Agglomeration von Mikrofloccen besonders geeignet ist. Maßgebend für die Turbulenz ist der Energieeintrag.

Im durchflossenen Rohr ist der Geschwindigkeitsgradient G unabhängig von der Rohrlänge, also dem Reaktorvolumen. Eine Abhängigkeit besteht von der Fließgeschwindigkeit und dem sich aus dieser mit dem Widerstandsbeiwert f ableitenden Druckabfall je Längeneinheit.

Für die Auslegung von Röhren zur Flockung muß man von dem Volumenstrom (Q) des Wassers ausgehen.

Aus Gleichung

$$G = \sqrt{\frac{f \times v^3}{2d\nu}} \quad \text{nach Blasius} \quad f = 0,3164 \operatorname{Re}^{-1/4} \quad \operatorname{Re} = v \times d / \nu$$

bei 20° C ergibt sich der Zusammenhang für

$$Q = v \times \pi \times d^2 / 4 \quad (d \text{ in mm und } v \text{ in m}^3/\text{h})$$

$$\lg(d) = +1,872 - 4/27 \lg G + 11/27 \lg Q$$

$$\lg(d) = +1,5985 + 11/27 \lg(Q) \quad (\text{für } G = 70 \text{ s}^{-1})$$

$$\lg(d) = +1,538 + 11/27 \lg(Q) \quad (\text{für } G = 180 \text{ s}^{-1})$$

Die Flockung in einem Rohrreaktor hat nach experimenteller Ermittlung von Herrn Dr. Sapulak für die Sedimentation zwischen G -Werten von 70 - 80 s^{-1} ein Optimum.

Die Anzahl der Flocken nimmt nicht in dem Maße ab, wie die Flockengröße zunimmt. Vielmehr sind neben einigen wenigen großen Flocken eine Vielzahl kleiner zu beobachten. Die Auszählung der Flocken, insbesondere der kleineren, zeigt jedoch, daß ab etwa 20 m von einem stationären Zustand im Rohr gesprochen werden kann. Dann halten sich Flockenwachstum und Flockenabrieb etwa die Waage.

Ein unterer Wert für den Wasserdurchfluß bei gegebenen Rohrdurchmessern kann aus den Belangen der Flockenbildung nicht abgeleitet werden. Um Ablagerungen im Rohr zu vermeiden, soll eine Mindestgeschwindigkeit des Wassers aufrecht erhalten werden.

In Abb. 1 ist die entsprechende Abhängigkeit Q von d für 0,1 m/s und 0,2 m/s eingezeichnet. Für die Flocken reichen diese Geschwindigkeiten aus.

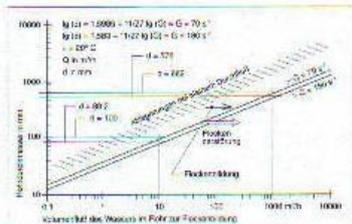


Abb. 1: Zusammenhang zwischen Rohrdurchmesser und Volumenstrom zur Bestimmung eines geeigneten Rohrflockers.

Zur Praktikabilität der Auslegung der Rohrflockung wird der Wert $G = 70^{-1}$ bzw. $G = 180 \text{ s}^{-1}$ als Orientierungswert vorgegeben. Zur Bestimmung des Rohrdurchmessers bei bekanntem Durchsatz dienen die Gleichungen, die in Abb. 1 graphisch dargestellt sind. Für größere Durchmesser könnte ein größerer Wert als 70^{-1} für G berücksichtigt werden. Die Rohrstrecke sollte zum Schluß mit einer Rohrerweiterung von 4 - 7 Öffnungswinkeln in ein Rohr größeren Durchmessers übergehen, so daß am Ende $G = 70^{-1}$ eingehalten wird.

Im Gegensatz zur Flockung vor einer Sedimentationsstufe muß die Flockenstruktur vor einer Flotation voluminös und die Flocke kleiner und weniger dicht sein, d. h. vor Zugabe von Polyelektrolyt und der Luftblasen sollte der G -Wert in Abhängigkeit von der Art des Wassers um 180^{-1} liegen.

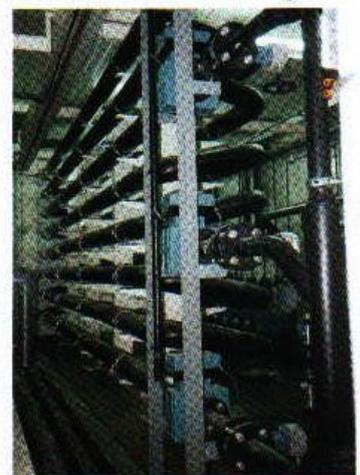


Abb. 2: Röhrenflockulator

Schlammbelastung

Die Grenze der Belastbarkeit von Lamellenabscheidern, bezogen auf das Einlaufschlammvolumen, wurde für den Gegenstrom-Wellplattenabscheider durch Versuche festgestellt. Mit steigendem Schlammvolumen geht von einem Grenzwert an der Durchsatz in m^3/h bzw. die Fließgeschwindigkeit zurück. Die Tabelle 1 zeigt die Untersuchungsergebnisse für einen Gegenstrom-Abscheider mit 40 mm Plattenabstand und 1,25 m Plattenlänge (L_0), Breite 0,95 mm, A_{eff} bei 55° entspr. 13 m^2 .

Schlammvolumen im Zulauf in ml/l als $\text{Fe}(\text{OH})_3$ (nach 30 Minuten)	Feststoffmenge im Zulauf Fe mg/l	Grenzdurchsatz für TPI-Paket für 1 x 1,25 m, mit 13 $\text{m}^2 A_{\text{eff}}$ $\text{m}^3 \times \text{h}^{-1}$
400	400	6
240	300	8
170	240	10
140	200	12

Tabelle 1: Schlammbelastbarkeit der Gegenstrom-Lamellenabscheider Nennleistung $10 \text{ m}^3 \times \text{h}^{-1}$

Das Schlammvolumen pro Paket wird auf max. 200 ml/l bei einem Nenndurchsatz für ein 1 m langes Paket begrenzt (Plattenabstand 40 - 45 mm).

Flotation

In der Abwasserflotation sind im Gegensatz zu der traditionellen Erzflotation die Haftvorgänge der Luftblasen nicht so gut bekannt. In der Hauptsache erfolgt die Blasenlagerung in der Abwasserflotation durch einfaches Einfangen von Luftbläschen im Gefüge größerer Flockenverbände.

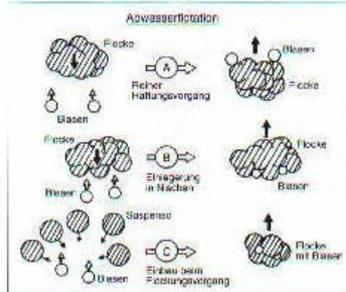


Abb. 3: Vermutliche Wirkungsmechanismen bei der Anlagerung von Gasblasen an Feststoffe unterschiedlicher Struktur: Einzelpartikel, Flocken [6].

Bei einem Druck von 5 - 6 bar sind, nach dem Entspannen 50 % aller Luftblasen kleiner 50 µm.

Um Feststoffe aufschwimmen zu lassen, ist die Anlagerung mindestens so vieler Blasen notwendig, daß die Blasen-Feststoff-Flocke eine geringere Dichte als die umgebende Flüssigkeit hat. Diese Luftmenge ist praktisch nicht zu errechnen, sondern nur in Versuchen zu ermitteln und stark abhängig von den Betriebsparametern der Flotationsanlage.

Für die Abwasserflotation hat sich das Teilstrom-Klarwasser-Rücklaufverfahren durchgesetzt. Es hat gegenüber dem Vollstrom- bzw. Teilstromverfahren folgende Vorteile:

- geringe Verstopfungsgefahren für Pumpen, Ventile usw.,
- geringe Gefahr der Flockenzerstörung,
- Anpassungsfähigkeit an wachsende Belastungen.

Das Maßblatt (Abb. 4) zeigt eine Flotationsanlage.

Das Wasser wird über eine Pumpe dem Röhrenflockulator zugeleitet. Im Einlauf des Flockulators werden Eisen- oder Aluminiumsalze zudosiert. Der Röhrenflockulator hat die durch Vorversuche gefundene optimale Länge von ca. 15 - 20 m.

Die Rohrstärke ist in Abhängigkeit vom Durchsatz dimensioniert. Nach Abschluß

der Koagulation und der Bildung von Mikrofloccen wird durch Zugabe von luftgesättigtem Recyclingwasser das Wasser mit Sauerstoff gesättigt. Die Polyelektrolyte werden zusammen mit dem Recyclingwasser in der letzten Rohrstrecke zugegeben. Um die freiwerdende Energie aufzufangen, wird der Durchmesser des Röhrenflockulators in diesem Bereich vergrößert.

Die Zugabe des Recyclingwassers geschieht über eine Rohrstrecke von ca. 3 m, um einen besseren Eintrag zu gewährleisten. Bei der Bildung der Makroflocke nach Zugabe des Polyelektrolyts wird die Luft in der Flocke mit eingeschlossen, und das Luft-Wasser-Feststoffgemisch wird gleichmäßig verteilt über den Querschnitt - unten in die Flotationsanlage aufgegeben.

In der Flotationsanlage steigt die Feststoff-Blasen-Flocke mit hoher Aufstiegs geschwindigkeit nach oben. In dem Bereich vor dem Wellplattenabscheider herrschen keine laminaren Bedingungen, so daß nicht agglomerierte kleine Luftblasen und Mikrofloccen erst im Wellplattenabscheider flocken und nach oben steigen. Infolge des geringen Plattenabstandes sammeln sich die luftbeladenen Konglomerate in den Wellenbergen der Plattenunterseiten, wo sie zu größeren Einheiten zusammenwachsen. Diese verlassen das Plattenpaket sehr schnell im Gegenstrom.

In der Praxis ist festzustellen, daß ca. 95 % sämtlicher Konglomerate direkt an der Oberfläche flotieren und nur ca. 5 % im Wellplattenabscheider agglomerieren (flocken) und dann als große Flocke nach oben steigen. Das Wasser wird über Steig-

rohre aus der Kammer unterhalb des Wellplattenabscheiders in eine Überlauf rinne abgezogen. Der anfallende Sink schlamm wird über Konen von Zeit zu Zeit manuell abgezogen. Eine Automatisierung über Pneumatikventile und Schlamm spiegelmeßgeräte ist möglich.

Die Optimierung der Schlammräumung ist einer der wichtigsten Punkte. Der anfallende Flotatschlamm wird über einen Spezialschwimmschlammräumer von der Oberfläche entfernt.

Vorteile der Kompaktflotation:

1. Bezogen auf konventionelle Flotationsanlagen ergibt diese Optimierung 50 % Energieeinsparung.
2. Aufgrund des Einsatzes des Plattenabscheiderpaketes ergibt sich für eine Durchsatzmenge von 30 m³/h eine Größe der Behälteroberfläche von 3 m². Gegenüber konventionellen Anlagen, die mit einer Oberflächenbeschickung bei gleichem Abwasser von 4 m³/m²/h ausgelegt werden, ergibt sich damit eine Verminderung um 60 %.
3. Wenn man berücksichtigt, daß die Flockung in einem Röhrenflockulator energie- und platzsparend ist, kann man davon ausgehen, daß nur ein Drittel des Platzbedarfs einer konventionellen Flotationsanlage erforderlich ist.
4. Durch die eindeutigen hydraulischen Verhältnisse werden 10 - 15 % höhere Abscheidergebnisse, z. B. des CSB, erzielt.
5. Durch die kompakte Bauweise sind die Investitionskosten für Anlage und Gebäude geringer.

Abb. 4: Flotationsanlage

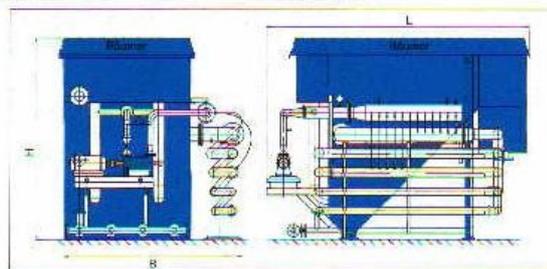


Tabelle 2: Modelltypen der Entspannungsflotationsanlagen

Modell Nr.	Leistung m ³ /h	Abmessungen			Leergewicht kg	Gesamtgewicht kg
		L	B	H		
CPF-TPF 1/2	5 - 25	3600	2500	3400	2800	8000
CPF-TPF 1/1	25 - 35	4200	2500	3000	3800	9000
CPF-TPF 2/1	40 - 80	4200	3500	3800	3900	16800
CPF-TPF 3/1	70 - 120	4200	4500	3800	4500	21200
CPF-TPF 4/1	100 - 140	4200	5500	3800	7600	33000

d) Abtrennleistung:

Es werden alle Feststoffteilchen abgetrennt, die innerhalb der Verweilzeit t die Sinkhöhe h zurückgelegt haben, d.h. die Teilchen mit einer Sinkgeschwindigkeit.

$$t = \frac{h}{v} = \frac{88 \text{ mm}}{5,3 \text{ min}} = 16,6 \text{ mm/min}$$

Dies entspricht der Abscheideleistung eines idealen Absetzbeckens mit einer Oberfläche von 500 m². Bei einer Beckentiefe von 3 m ergäbe dies ein Beckenvolumen von 750 m³ plus Schlammkonus. (Infolge der unvermeidlichen Verluste wird diese Abscheidewirkung in einem herkömmlichen Becken nicht erreicht, so daß der Vergleich zum konventionellen Absetzbecken für den WPA sogar noch günstiger ausfällt).

Es wurde ein Neigungswinkel von 60° gewählt. Damit ist gewährleistet, daß der Schlamm aufgrund des Fließverhaltens abfließt. Mit kleineren Durchsätzen erniedrigen sich die Grenzsinkgeschwindigkeiten direkt proportional. Die Abscheideleistung nimmt entsprechend zu.

e) Dimensionslose Kennzahlen

FP = Fläche zwischen den Platten
bU = benetzter Umfang

$$R = \frac{FP}{bU} = \frac{44 \text{ mm} \times 127 \text{ mm}}{342 \text{ mm}}$$

hydraulischer Radius R = 16,3 mm

Anhand der Reynoldszahl läßt sich abschätzen, ob eine Strömung laminar oder turbulent ist

$$Re = \frac{v \times R \times 4}{\gamma} = \frac{5700 \text{ m}^3/\text{h} \times 0,0163 \text{ m} \times 4}{500 \text{ m}^2 \times 3600 \text{ s/h} \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}} = 204,4$$

Da Re < 2320, ist die Strömung bei Wasser mit 20° C und einem Durchsatz von 500 m³/h laminar.

Die Froud'schen Zahl ist ein Kriterium für die Stabilität einer Strömung:

$$Fr = \frac{v^2}{R \times g} = \frac{((3,17 \times 10^{-3})^2 \text{ m}^2/\text{s}^2)}{0,0163 \text{ m} \times 9,81 \text{ m/s}^2} = 6,3 \times 10^{-5}$$

Nach dieser Formel ergibt sich eine stabile Strömung.

Von der MUT werden standardmäßige Wellplattenabscheider in Stahlbauweise bzw. glasfaserverstärktem Polyester in den Durchmessern 2500 mm, 3000 mm, 3500 mm und 4000 mm als transportable Einheiten angeboten.

Abb. 7: Krählwerk für Wellplattenabscheider und asymmetrischer Einlauf mit Betonbrücke (DIN 19552)

Die Abmessungen und Leistungen entnehmen Sie bitte dem nebenstehendem Maßblatt.

Für große Wassermengen werden die MUT-Wellplattenabscheider in Betonbauwerken mit Krählwerken nach DIN eingesetzt.

Die Bauwerksabmessungen und -leistungen können Sie aus dem beiliegenden Maßblatt entnehmen.

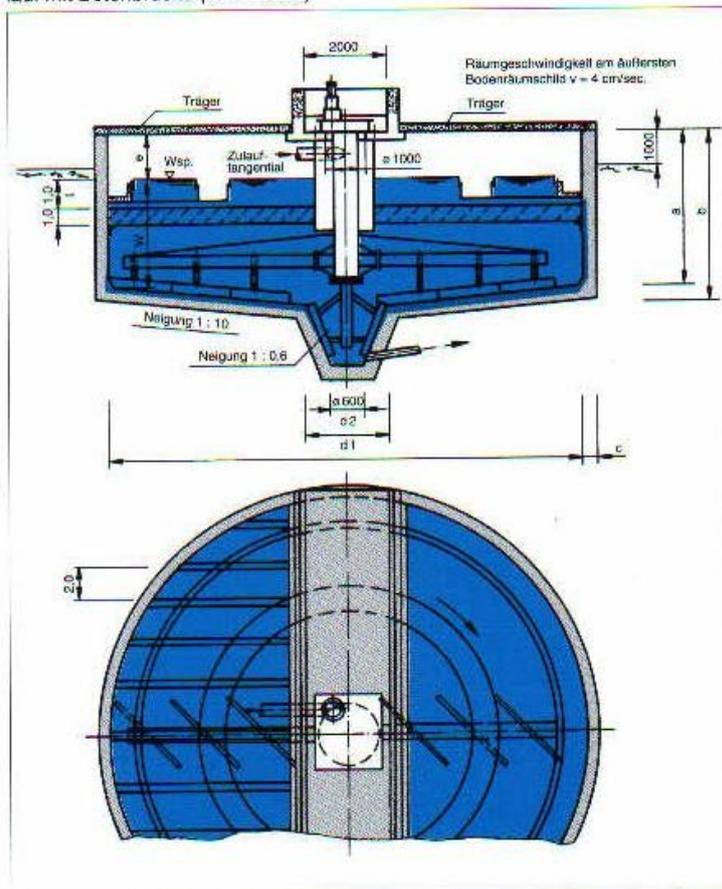


Tabelle 4: Abmessungen und Leistungen der Rundklärbehälter als Gegenstromwellplattenabscheider

	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
d1 (m)	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
Inhalt (m ³)	959	563	775	1019	1400	1738	2118	2583	2991	3489	4312
d2 (m)	2,4			2,8					3,2		
a (m)	5,4	5,0	5,8	5,3	6,0	6,2	6,4	6,4	6,6	6,6	7,1
b ^h (m)	5,7	6,1	6,1	6,1	6,3	6,5	6,7	6,7	6,9	6,9	7,5
c ^h (m)	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4
e (m)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,2	1,2	1,2	1,4	1,4	1,5
w ^h (m)	4,4	4,8	4,8	4,8	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,6
t (m)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,2
A ^h (m ²)	750	1050	1450	1930	2400	3000	3600	4250	5000	5850	6700
V ^h (m ³ /h)	750	1050	1450	1900	2400	3000	3600	4250	5000	5850	6700

^h statisch nachweisen

^h Wassertiefe

^h kontaktive Oberfläche der projizierten Plattenfläche bei 60°

^h max. Durchsatz bei 1 m³/m²h Absetzgeschwindigkeit

Unser Arbeitsprogramm umfaßt: Komponenten und komplette Einrich- tungen zur Behandlung von Wasser und Prozeßflüssigkeiten

- Kontinuierliches Sandfilter „System-Kontirad“ zur Feststoffelimination
- Druckentspannungs- und Elektro-Druck-Entspannungs-Flotationsanlagen
- Ionenaustauscher zur Entfernung von Schwermetallen
- Verdampferanlagen zur Rückgewinnung von Wertstoffen
- Lamellenklärer zur Sedimentation von Schlamm, als System-typen Kreuzstrom- und Gegenstromlamellenabscheider
- Koaleszenzabscheider zur Leichtflüssigkeitsabscheidung

Wir sind im Bereich der industriellen und der kommunalen Abwasserbehandlung tätig:

- Metall- und Oberflächenbehandlung
- Chemische Industrie
- Nahrungsmittelindustrie
- Wellpappen- und Papierindustrie
- Textilindustrie
- Automobilindustrie
- Deponietechnik
- Kraftwerkstechnik
- Entsorgungsanlagen

**Wir planen, konstruieren, errich-
ten und warten Ihre Abwasser-
und Recycling-Anlagen.**



MUT
Dr. Zeising & Partner
Ingenieurgesellschaft mbH
Fachbetrieb nach § 19 I WHG



D-45525 Hattingen · Bredenscheider Str. 89
Telefon (0 23 24) 50 04-24 · Fax (0 23 24) 50 04-50

Schulze-Delitzsch-Str. 16 · 99096 Erfurt
Telefon (03 61) 3 01 95-0 · Fax (03 61) 3 01 95-20