

W. A. R. — Bibliothek

Inv.-Nr. D 12066

03.4 HAH

Hermann H. Hahn

Technische Hochschule Darmstadt  
Institut für Wasserversorgung,  
Abwasserbeseitigung und Raumplanung  
- Bibliothek -  
6100 Darmstadt, Petersenstraße 13

# Wassertechnologie

Fällung · Flockung · Separation

Mit 168 Abbildungen

Springer-Verlag  
Berlin Heidelberg New York  
London Paris Tokyo

# Inhaltsverzeichnis

## Einleitung

<b>1</b>	<b>Gewässerschutz, Wassernutzung und Wasserreinigung</b>	
1.1	Historische Entwicklung .....	3
1.2	Chemische Verfahren in der Wassertechnologie allgemein .....	7
1.3	Fällung, Flockung, Separation in der Abwasserreinigung .....	11

## Grundlagen

<b>2</b>	<b>Chemische Grundlagen der Fällung und Flockung</b>	
2.1	Das Nebeneinander von Fällung und Flockung in der praktischen Anwendung .....	19
2.2	Fällung .....	21
2.2.1	Thermodynamische und kinetische Aspekte .....	21
2.2.2	Illustrationsbeispiele .....	24
2.2.3	Hinweise für die verfahrenstechnische Umsetzung .....	29
2.3	Flockung .....	32
2.3.1	Die Stabilität von Suspensa .....	32
2.3.2	Die Entstabilisierung von Suspensionen .....	36
<b>3</b>	<b>Physikalische Grundlagen der Fällung und Flockung</b>	
3.1	Begriffsbestimmung .....	46
3.2	Der geschwindigkeitsbestimmende Schritt .....	46
3.2.1	Kinetische Formulierungen der Koagulation mittels Brownscher Diffusion .....	46
3.2.2	Kinetische Formulierung der Koagulation infolge von Geschwindigkeitsgradienten .....	49
3.2.3	Vergleich zwischen experimentellen Beobachtungen und der von der Theorie vorhergesagten Ergebnisse .....	51
3.3	Die Messung des Flockungsvorganges .....	52
3.3.1	Direkte Beobachtung (Messung) von Partikelgröße und Konzentration .....	54
3.3.2	Indirekte Messung von Partikelgröße und Konzentration .....	55
3.4	Möglichkeiten der Anwendung der kinetischen Modelle auf reale Systeme .....	62

3.4.1	Der mittlere Geschwindigkeitsgradient .....	62
3.4.2	Die Wirksamkeit verschieden geformter Rührersysteme .....	63
3.4.3	Einfluß der Reaktionszeit .....	65
3.5	Grenzen der Anwendbarkeit des physikalischen Modells zur Beschreibung der Kinetik des Flockungsvorganges .....	68
3.5.1	Die Phänomene nichthomogener Energiedissipation und nichtuniformer Aufenthaltsverteilung in tatsächlichen Reaktoren	69
3.5.2	Das Phänomen der Heterodispersität von Suspensionen und dessen Einfluß auf die Aggregation .....	71
3.5.3	Von der Kugelgestalt abweichende Aggregatform und Aggregatporosität .....	75
3.6	In der Wassertechnologie beobachtete Abweichungen vom vorhergesagten Reaktionsverlauf .....	77
3.6.1	Tatsächliche Aggregation in Reaktoren mit nichtuniformer Energiedissipation und nichtuniformer Aufenthaltszeitverteilung	77
3.6.2	Tatsächliche Aggregation heterodisperser Suspensionen .....	79
3.6.3	Tatsächlicher Einfluß der Inhomogenität in Flockengröße und Flockenstruktur auf den Aggregationsprozeß .....	80
3.7	Schlußbemerkungen .....	81

## Chemikalienzugabe

✓ 4	<b>Auswahl der Chemikalien</b>	
4.1	Einsatzort und Chemikalienauswahl .....	85
4.2	Vergleich der Flockungschemikalien .....	87
4.3	Die einzelnen Chemikalien im praktischen Einsatz .....	91
4.3.1	Calcium .....	91
4.3.2	Dreiwertiges Eisen (und oxidiertes zweiwertiges Eisen) und dreiwertiges Aluminium .....	94
4.3.3	Polyaluminium .....	97
4.3.4	Organische Polymere als Flockungsmittel .....	98
4.4	Weitere Entwicklungen .....	101
✓ 5	<b>Einmischung der Chemikalien</b>	
5.1	Die Aufgabenstellung .....	104
5.2	Hinweise auf nicht optimale Einmischung .....	107
5.2.1	Bildung der flockungsaktiven Verbindung .....	107
5.2.2	Transport der Chemikalien in die Nähe des Reaktionspartners .	111
5.2.3	Direkte Anlagerung des Fällungs- und Flockungsmittels an der Suspensaoberfläche .....	116
5.3	Konsequenzen für Entwurf und Betrieb .....	118
✓ 6	<b>Reaktortyp und Reaktorform</b>	
6.1	Prozeßablauf und Reaktorentwurf .....	121
6.2	Idealisierte Reaktortypen .....	123

6.3	Reale Reaktoren – Durchströmungsmuster .....	129
6.4	Reale Reaktoren – Energiedissipationsmuster .....	134
6.5	Empfehlungen für den schrittweisen Entwurf unter Berücksichtigung von betrieblichen Korrekturen .....	140
6.5.1	Einflußgrößen .....	140
6.5.2	Entwurf und Betrieb .....	141

## Flüssig/fest-Trennung

### 7 Verfahren zur Abtrennung von Feststoffen

7.1	Einleitung .....	147
7.2	Abtrennbarkeit .....	149
7.3	Verfügbare Verfahren der Abtrennung .....	156
7.3.1	Siebung .....	156
7.3.2	Filtration .....	157
7.3.3	Sedimentation .....	158
7.3.4	Flotation .....	159
7.3.5	Einsatzbereich der einzelnen Verfahren .....	160

### 8 Flüssig/fest-Trennung durch Filtration

8.1	Vorbemerkungen .....	163
8.2	Grundlagen der Beschreibung des Filtrationsprozesses .....	163
8.2.1	Massenbilanz .....	164
8.2.2	Kinetische Gleichung .....	164
8.2.3	Darstellung der Filterkonstante .....	165
8.2.4	Beschreibung des Druckverlustes .....	167
8.3	Verschiedene technische Varianten des Filtrationsprozesses ....	169
8.3.1	Einflußgrößen .....	169
8.3.2	Filterverfahren .....	171
8.4	Gesichtspunkte der Bemessung und des Entwurfs von Filtern ..	173
8.5	Leistungsfähigkeit des Filters .....	178

### 9 Flüssig/fest-Trennung durch Sedimentation

9.1	Vorbemerkungen .....	183
9.2	Grundlagen der Beschreibung des Sedimentationsverfahrens ...	185
9.2.1	Sedimentationsbewegung eines Körpers in einem ruhenden Medium (die Stokessche Beziehung) .....	185
9.2.2	Die Abscheidung eines sedimentierenden Körpers in einem Sedimentationsbecken (der Oberflächensatz) .....	187
9.2.3	Gesichtspunkte der Durchströmung des Sedimentationsreaktors (Hydraulik des Sedimentationsbeckens) .....	189
9.2.4	Der Sedimentationsprozeß in realen Absetzanlagen .....	191
9.3	Verfahrensausbildungen – Varianten des Sedimentationsreaktors	195
9.3.1	Rechteckbecken (ohne Einbauten) .....	197

9.3.2	Rundbecken (ohne oder mit Einbauten) .....	198
9.3.3	Rechteckbecken mit lamellen- oder rohrartigen Einbauten .....	199
9.4	Gesichtspunkte der Bemessung und des Entwurfs rechteckiger und runder Becken ohne Einbauten .....	200
9.5	Orientierende Angaben zur Leistungsfähigkeit der Sedimentation in Verbindung mit der Dosierung von Fällungs-/Flockungskemikalien .....	204
<b>10</b>	<b>Flüssig/fest-Trennung durch Flotation</b>	
10.1	Vorbemerkungen .....	210
10.2	Grundlagen der Beschreibung des Flotationsprozesses .....	215
10.2.1	Teilprozesse .....	215
10.2.2	Reaktionsschritt 1: Generierung von Gasblasen .....	216
10.2.3	Reaktionsschritt 2: Anlagerung der Gasblasen .....	218
10.2.4	Reaktionsschritt 3: Aufwärtsbewegung .....	222
10.3	Verschiedene technische Varianten des Flotationsprozesses (Entspannungsflotation) .....	225
10.4	Gesichtspunkte der Bemessung und des Entwurfs von Flotationsanlagen .....	228
10.4.1	Bemessungs- und Entwurfsgößen .....	229
10.4.2	Einbeziehung von Laborerfahrungen und Erkenntnissen aus halbtechnischen sowie großtechnischen Vorversuchen .....	230
10.5	Orientierende Angaben zur Leistungsfähigkeit des Flotationsprozesses in der Abtrennung von Fällungs- und Flockungsprodukten .....	235
<b>11</b>	<b>Menge und Eigenschaften der abgetrennten Feststoffe</b>	
11.1	Vorbemerkungen .....	239
11.2	Menge der abgeschiedenen Feststoffe .....	241
11.2.1	Der Feststoffstrom bei der Abwasserreinigung durch Fällung/Flockung .....	241
11.2.2	Feststoff- und Wassergehalte verschiedener Fällungs- und Flockungsschlämme .....	243
11.2.3	Im Kläranlagenbetrieb beobachtete Schlammengen .....	246
11.2.4	Steuerung der Eigenschaften der Fällungs- und Flockungsschlämme .....	248
11.3	Eigenschaften des Feststoff-Wasser-Gemisches .....	249
11.3.1	Praktisch verwendbare Parameter zur Beschreibung der Behandelbarkeit .....	249
11.3.2	Abtrennbarkeit .....	251
11.3.3	Schlammeindickung .....	251
11.3.4	Schlammmentwässerung .....	256
11.3.5	Hinweise auf Schlammbehandelbarkeit aus mikroskopischen Untersuchungen .....	261

## Abschließende Bemerkungen

<b>12</b>	<b>Aufwand, Wirksamkeit und Erfolg</b>	
12.1	Ort- und Zeitspezifität von Leistungs- und Kostenangaben ....	265 ✓
12.2	Leistungsfähigkeit der durch Chemikaliendosierung unterstützten mechanisch-biologischen Reinigung häuslicher Abwässer .....	266
12.2.1	Leistungsfähigkeit des Verfahrens im Hinblick auf Klarwasserqualität .....	267
12.2.2	Mittlere Prozeßleistungsfähigkeit .....	268
12.2.3	Streubreite der Prozeßleistungsfähigkeit .....	269
12.3	Die Kosten der durch Chemikaliendosierung intensivierten Abwasserreinigung .....	275
12.3.1	Kosten für Chemikalien, Chemikalienlagerung und Chemikaliendosierung .....	276 ✓
12.3.2	Kosten der Flüssig/fest-Trennung nach Chemikaliendosierung, dargestellt am Beispiel des Flotationsverfahrens .....	277
12.3.3	Kosten für Behandlung und Beseitigung des zusätzlichen Schlammes aus der Chemikaliendosierung .....	278
12.3.4	Vergleich der einzelnen Kostenfaktoren .....	280 ✓
<b>Literatur</b> .....		<b>283</b>
<b>Sachverzeichnis</b> .....		<b>291</b>