H.-J. Walther
F. Winkler

Wasserbehandlung durch Flockungsprozesse

Ergebnisse neuerer Grundlagenuntersuchungen

Akademie-Verlag
Berlin

Wasserbehandlung durch Flockungsprozesse

— Ergebnisse neuerer Grundlagenuntersuchungen —

WASSERBEHANDLUNG DURCH FLOCKUNGSPROZESSE

— Ergebnisse neuerer Grundlagenuntersuchungen —

von

Dr. sc. nat. HANS-JOACHIM WALTHER
Dresden

und

Dr. sc. nat. FRIEDRICH WINKLER
Merseburg

Mit 58 Abbildungen und 47 Tabellen

AKADEMIE-VERLAG · BERLIN
1981

Erschienen im Akademie-Verlag, DDR - 1080 Berlin, Leipziger Straße 3—4
Lektor: Fritz Schulz
© Akademie-Verlag Berlin 1981
Lizenznummer: 202 · 100/462/81
Gesamtherstellung: VEB Druckhaus „Maxim Gorki", 7400 Altenburg
Bestellnummer: 762 363 5 (6392) · LSV 1235
Printed in GDR
DDR 32,— M

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

Zum Geleit

Die ständig steigende Inanspruchnahme des begrenzten Wasserdargebotes und die zunehmende Mehrfachnutzung des Wassers verlangen einerseits neue wirksame Technologien der Wasserbehandlung und andererseits die Weiterentwicklung bekannter Verfahren.

Zur Entfernung kolloidaler, grobdisperser und einer Reihe echt gelöster Wasserinhaltsstoffe hat sich die Flockungsbehandlung bewährt. In der Praxis wird dieses Verfahren häufig noch weitgehend ohne Beachtung der Ergebnisse naturwissenschaftlich orientierter Grundlagenuntersuchungen angewendet. Die Ergebnisse solcher Untersuchungen, wie sie interpretiert werden, erschließen nicht selten neue Einsatzmöglichkeiten der Flockung, zeigen Wege der Prozeßoptimierung, gestatten aber auch, a priori die Grenzen der Leistung eines Flockungsverfahrens zu erkennen.

Das vorliegende Buch vermittelt insbesondere umfangreiche Aussagen und Daten über die Elimination von Humin- und Ligninstoffen, die Behandlung von kommunalem Abwasser unter Einsatz von Polymeren und die Anwendung von Tonmineral-Polymer-Kombinationen. Der überwiegende Teil der dargestellten Forschungsergebnisse basiert auf Untersuchungen, die unter Leitung der Autoren durchgeführt wurden. Zu wünschen ist, daß die auf dem Gebiet der Flockungsbehandlung tätigen und andere interessierte Kollegen Anregungen zur Lösung ihrer speziellen Aufgaben entnehmen können.

J. Kaeding

Vorwort

In den hochindustrialisierten und dichtbesiedelten Ländern nimmt der Wasserbedarf ständig zu. Oft ist in diesen Ländern das natürliche Wasserdargebot außerordentlich begrenzt.

In der DDR erfordert die weitere sozialpolitische und wirtschaftliche Entwicklung, steigende Mengen an Trink- und Betriebswasser bereitzustellen. Bekanntlich ist in der DDR seit langem der Nutzungsgrad des Wassers besonders hoch. Der sich erhöhende Wasserbedarf bzw. Nutzungsgrad bedingt, daß neben der Durchsetzung einer sparsamen Wasserbewirtschaftung in zunehmendem Maße Wasseraufbereitungs- und Abwasserbehandlungsverfahren angewandt werden müssen. Die Intensivierung der Abwasserreinigung dient zugleich dem Umweltschutz.

Ein Wasserbehandlungsverfahren mit großem Einsatzbereich ist die Flokkung, der u. a. im Rahmen der Einführung der Kreislauf- und Mehrfachnutzung des Wassers einschließlich der weitergehenden Abwasserbehandlung große Bedeutung zukommt. Beispielsweise wird eingeschätzt, daß in der DDR im Jahre 2000 bei der weitergehenden Abwasserbehandlung 200 Millionen Kubikmeter Wasser durch Flockung zu reinigen sind. Nach Prognosen sowjetischer Wissenschaftler beträgt im Jahre 2000 auf dem Sektor der Industrieabwasserbehandlung der Anteil der Flockungs- und Fällungsverfahren mehr als 90%.

Die zu erwartende steigende Anwendung der Flockung löste in mehreren Ländern eine verstärkte Forschung auf diesem Gebiet aus, so auch in der DDR und zahlreichen anderen RGW-Ländern. Mehrere dieser Länder bearbeiteten ein gemeinsames Forschungsprogramm.

Die Forschung über die Wasserbehandlung durch Flockung befaßte sich sowohl mit der Technologie dieses Verfahrens als auch mit naturwissenschaftlich orientierten Untersuchungen, die eine wichtige Voraussetzung für die Optimierung von Flockungsprozessen sind.

Im vorliegenden Buch (Kap. 3.—6.) werden insbesondere Ergebnisse hydrochemischer Grundlagenuntersuchungen dargelegt; besondere Berücksichtigung finden die Versuche über die Einsatzmöglichkeiten organischer Polymere (Flockulanten).

Das Kapitel 1. dient dem besseren Verständnis der folgenden Abschnitte und enthält einige grundlegende Ausführungen über das Prinzip der Flockung, die Prozeßkriterien sowie die Struktur und Eigenschaften von organischen polymeren Flockungsmitteln.

Im Kapitel 2. wird kurz auf die Modellierung von Prozessen der Sedimentationsflockung eingegangen. Mit der Planung, Auswertung und Durchführung von Laborflockungsversuchen befaßt sich das Schlußkapitel.

Besonderer Dank gebührt Herren *Prof. Dr. rer. nat. habil. J. Kaeding*, der auch die Anregung zu dieser Publikation gab. Ferner ist für wertvolle Unterstützung zu danken den Herrn *Prof. Dr.-Ing. habil. Dr.-Ing. E. h. K.-F. Busch* und *Prof. Dr. rer. nat. H. Hoppe*.

Die Autoren

Inhalt

Kapitel 1:	Prinzip der Flockung — Kriterien für den Flockungsprozeß — Struktur und Eigenschaften der organischen polymeren Flockungsmittel	15
1.1.	Prinzip der Flockung	15
1.2.	Kriterien für den Flockungsprozeß	19
1.2.1.	Chemische Kriterien	19
1.2.1.1.	Kriterien für die Wassergüte	19
1.2.1.2.	Kriterien, die die optimalen chemischen Bedingungen kennzeichnen	21
1.2.1.3.	Weitere chemische Kriterien	21
1.2.2.	Physikochemische und physikalische Kriterien	21
1.2.2.1.	Leitfähigkeit	21
1.2.2.2.	Polarografisches Sauerstoffmaximum	22
1.2.2.3.	Ladung von kolloidalen Wasserinhaltsstoffen	22
1.2.2.4.	Größe der flockbaren Partikel	23
1.2.2.5.	Änderung der Flockenzahl und -größe in der Phase der Transportvorgänge	23
1.2.2.6.	Oberflächenkonzentration der flockbaren kolloidalen Wasserinhaltsstoffe	23
1.2.2.7.	Filtrierbarkeit des Wassers	23
1.2.2.8.	Energieeintrag	24
1.2.3.	Kriterien zur Charakterisierung der Flocken- bzw. Schlammeigenschaften	29
1.2.3.1.	Absetzgeschwindigkeit der Flocken	29
1.2.3.2.	Größe und Form der Flocken	29
1.2.3.3.	Flockenfestigkeit	29
1.2.3.4.	Feststoff- bzw. Wassergehalt des Schlammes	29
1.2.3.5.	Spezifischer Filterwiderstand und Kompressibilität	29
1.2.3.6.	Schlammdichte	30
1.2.3.7.	Viskosität des Schlammes	30
1.2.4.	Schlammvolumen	30
1.3.	Struktur und Eigenschaften der organischen polymeren Flockungsmittel	31
1.3.1.	Struktur	31

1.3.2. Physikalisch-chemisches Verhalten in wäßrigen Lösungen 33
1.3.3. Eigenschaften und Zusammensetzung von Handelsprodukten 39

Literatur 40

Kapitel 2: Modellgleichungen für Flockungsprozesse 43

2.1. Modellgleichungen, die sich vom Dissoziationsgleichgewicht der durch Flockung eliminierbaren Wasserinhaltsstoffe ableiten 44
2.1.1. Ausflockung von Huminsäure 44
2.1.1.1. Flockung mit Metallsalz 44
2.1.1.2. Flockung mit Calciumionen im alkalischen Bereich 45
2.1.2. Flockung von Protein mit Metallsalz 45

2.2. Modellgleichung, die sich auf das elektrokinetische Potential von Wasserinhaltsstoffen bezieht 46

2.3. Modellgleichungen, die auf der kinetischen Betrachtung des Flokkungsprozesses basieren 46

2.4. Empirisch ermittelte Gleichungen 57

Literatur 60

Kapitel 3: Elimination von Huminsäure und Ligninsulfosäure durch Flockung 62

3.1. Allgemeines über die Belastung von Wässern durch organische farbgebende Substanzen 62

3.2. Kurze Charakterisierung von Humin- und Ligninsulfosäure 64

3.3. Reaktionsmechanismen der Ausflockung 67
3.3.1. Flockung der Huminsäure mit Metallsalzen 67
3.3.2. Flockung der Huminsäure mit Kalkhydrat 71
3.3.3. Flockung der Huminsäure mit kationischen Polymeren 71
3.3.4. Flockung der Ligninsulfosäure 72

3.4. Huminsäureelimination 72
3.4.1. Einfluß der Flockungsmittelart und -konzentration, des Huminsäuregehaltes des Rohwassers und der Huminstoffart 72
3.4.1.1. Flockung mit Metallsalzen und Kalkhydrat 72
3.4.1.2. Flockung mit kationischen Polymeren 80
3.4.1.3. Kombinierte Flockung mit Metallsalz und Polymer 81
3.4.2. Einfluß des pH-Wertes 84
3.4.2.1. Flockung mit Metallsalzen 84
3.4.2.2. Flockung mit kationischen Polymeren 91
3.4.3. Wirkung von Erdalkali-, Alkali-, Sulfat- und Chloridionen 92
3.4.4. Huminsäureelimination in Gegenwart von anorganischem Trübstoff 93
3.4.4.1. Flockung mit Metallsalzen 94

此为试读,需要完整PDF请访问: www.ertongbook.com

3.4.4.2. Flockung mit kationischen Polymeren 99
3.4.4.3. Kombinierte Behandlung mit Metallsalz und Polymer 100
3.4.5. Abhängigkeit des Flockungsvorganges vom Energieeintrag 102

3.5. Ligninsulfosäureelimination 105
3.5.1. Einfluß der Flockungsmittelart und -dosis, der Konzentration und Art der Ligninsulfosäure 105
3.5.1.1. Flockung mit Metallsalz und Kalkhydrat 105
3.5.1.2. Kombinierte Flockung mit Metallsalz und Polymer 109
3.5.2. Einfluß des pH-Wertes auf die Flockung mit Metallsalzen 109
3.5.3. Wirkung von Erdalkali-, Alkali-, Sulfat- und Chloridionen 110
3.5.4. Ligninsulfosäureelimination in Gegenwart von anorganischem Trübstoff 110
3.5.4.1. Flockung mit Metallsalzen 110
3.5.4.2. Kombinierte Behandlung mit Metallsalz und Polymer 111
3.5.5. Abhängigkeit des Flockungsvorganges vom Energieeintrag 113

Literatur 114

Kapitel 4: Flockungsbehandlung von kommunalem Abwasser unter Einsatz von organischen Polymeren 118

4.1. Art und Höhe der Belastung von kommunalem Abwasser — Bedeutung der Flockung von kommunalem Abwasser — Primär- und Sekundärfällung — Leistung der Behandlung mit Metallsalz oder Kalkhydrat 118

4.2. Wirkung anionischer und nichtionischer Polymere 123

4.3. Einfluß anionischer und nichtionischer Polymere auf die Flockung mit Metallsalz und Kalkhydrat 123

4.4. Flockung mit kationischen Polymeren 125
4.4.1. Allgemeines 125
4.4.2. Notwendige Flockungsmitteldosen 127
4.4.3. Reinigungsleistung 128
4.4.4. Einfluß des Energieeintrages 135
4.4.5. Eigenschaften und Volumen des Flockenschlammes 136
4.4.5.1. Absetzgeschwindigkeit der Flocken 136
4.4.5.2. Schlammvolumen und -feststoffgehalt 138
4.4.5.3. Spezifischer Filterwiderstand 141

4.5. Flockung mit Kombinationen von Metallsalz und kationischem Polymer 141
4.5.1. Allgemeines 141
4.5.2. Reinigungsleistung und Flockenabsetzgeschwindigkeit, Einfluß des Energieeintrages 142

4.5.2.1. Kombinationen mit großem Me/Polymer-Masseverhältnis 142
4.5.2.2. Kombinationen mit kleinem Me/Polymer-Masseverhältnis 144
4.5.3. Schlammvolumen und -feststoffgehalt, spezifischer Filterwiderstand des Schlammes 147

4.6. Flockung mit Kombinationen von Schichtsilicat und organischem Polymer (Abwasserbehandlung mit speziellen Adsorbenzien) 150

Literatur 152

Kapitel 5: Tonmineralien in der Wasserbehandlung 155

5.1. Einleitung 155

5.2. Struktur und Eigenschaften von Tonmineralien 156
5.2.1. Strukturen 158
5.2.2. Quellvermögen und Ionenaustausch 158
5.2.3. Adsorptionseigenschaften 159

5.3. Flockungsuntersuchungen an Kaolin-Modellsuspensionen 160
5.3.1. Einfluß von Flockulantenkonzentration und Elektrolytgehalt . . . 161
5.3.2. Einfluß der Molmasse des Flockulanten 165
5.3.3. Theoretische Betrachtung der Ergebnisse 165

5.4. Einsatz von quellfähigen Dreischichtmineralien in der Wasserbehandlung 171
5.4.1. Anwendung aktivierter Betonite 172
5.4.2. Anwendung des Tons von Friedland 178
5.4.2.1. Vorbemerkungen 178
5.4.2.2. Behandlung von Oberflächen-, kommunalen und industriellen Abwässern 181
5.4.2.3. Behandlung eines Abwassers der Harz- und Lackproduktion 192
5.4.2.4. Einsatz von Tonmineralien in einer Entcarbonisierungsanlage zur Kesselspeisewasseraufbereitung 193
5.4.2.5. Einsatz von Tonmineralien bei der Sanierung von eutrophierten Seen 195
5.4.3. Versuche zur Aktivierung von Friedländer Tonmehl 197

Literatur 200

Kapitel 6: Flockungsfiltration und Filterkonditionierung 204

6.1. Prinzip der Flockungsfiltration 204

6.2. Theorie der Flockungsfiltration 205
6.2.1. Wirkende Mechanismen 205
6.2.2. Gütekriterien 208
6.2.3. Einflußgrößen 209
6.2.4. Modellgleichungen 211

6.3. Filterkonditionierung 214
6.4. Anwendung von Flockungsfiltration und Filterkonditionierung . . . 214

Literatur 216

Kapitel 7: Durchführung von Flockungsversuchen 217

7.1. Einleitung 217

7.2. Versuchsplanung und -auswertung 218

7.3. Arbeitsvorschriften für das Reihenrührwerk 224

Literatur 225

Anhang 226

Auszüge aus dem Werkstandard WAPRO 1.49/01 „Arbeitsvorschriften für Reihenrührwerke, Übersicht und Methodik"
Auszüge aus dem Werkstandard WAPRO 1.49/02 bis 05 „Arbeitsvorschriften für Reihenrührwerke"

Register 244

Kapitel 1:

Prinzip der Flockung — Kriterien für den Flockungsprozeß — Struktur und Eigenschaften der organischen polymeren Flockungsmittel

1.1. Prinzip der Flockung

Dieser Wasserbehandlungsprozeß ist dadurch gekennzeichnet, daß in seinem Verlauf aus dem zugesetzten Flockungsmittel und Verschmutzungsstoffen des Wassers Partikel entstehen, die eine mehr oder weniger stark ausgeprägte Flockenform aufweisen und sich auf Grund ihres guten Absetzvermögens verhältnismäßig schnell als Schlamm abtrennen lassen (*Sedimentationsflockung*). Beim Verfahren der *Flockungsfiltration* erfolgt die Abtrennung der Flocken durch Filtration des Wassers über gekörntes Material, das als Raumfilter wirken soll; die Bildung von Flocken mit möglichst hoher Absetzgeschwindigkeit ist nicht erforderlich.

Die Wasserinhaltsstoffe, die durch Flockungsbehandlung reduziert werden, sind in erster Linie *kolloidale* organische und anorganische Verbindungen, ferner *grobdisperse*, aber wegen ihrer Kleinheit nur sehr langsam sedimentierende Teilchen anorganischer oder organischer Natur. Darüber hinaus kann bei der Flockung auch eine Elimination *echt gelöster Substanzen* eintreten. Durch Flockung lassen sich aus Wasser bzw. Abwasser beispielsweise mehr oder weniger gut entfernen: silicatische Trübstoffe, Eiweißstoffe, Kohlenhydrate, Fette, Huminstoffe(-säuren), Ligninsulfosäuren, Mineralöle, Tenside.

Als *Flockungsmittel* kommen in erster Linie in Frage:

- *Der Hydrolyse unterliegende Metallsalze* (im folgenden kurz als *Metallsalze* bezeichnet), insbesondere Aluminium- und Eisensalze, von denen am meisten das Aluminiumsulfat sowie das Eisen(III)-chlorid und Eisen(II)-sulfat eingesetzt werden. In welchem Ausmaß die Flockung durch Metallsalze mit der Ausfällung von Aluminium- oder Eisenhydroxid bzw. Oxidhydrat verbunden ist, hängt von der Art des Entstabilisierungsprozesses ab. Bei ungenügender Pufferkapazität des Rohwassers verursachen die Metallsalze eine pH-Wert-Abnahme.
- Synthetische, modifizierte natürliche und unveränderte natürliche *organische Polymere*. Diese Polymere werden entsprechend der Art des zu behandelnden Wassers und dem zu erzielenden Flockungseffekt allein oder in Kombination mit Metallsalzen eingesetzt.

— Das anorganische anionische Polymer *„aktivierte Kieselsäure"*, die stets in Kombination mit Metallsalzen benutzt wird.
— *Kalkhydrat* (*Calciumhydroxid*)
Diese Substanz kann wie die Metallsalze allein oder in Kombination mit Polymeren angewandt werden und bewirkt eine erhebliche Zunahme des pH-Wertes.

Bei geeigneten Wässern lassen sich auch Bentonite, bestimmte Tone oder Abprodukte (z. B. Asche) in Kombination mit organischen synthetischen Polymeren als Flockungsmittel benutzen (Flockung mit *speziellen Adsorbenzien*).

Im allgemeinen wird die Flockungsbehandlung so durchgeführt, daß zunächst eine kurzzeitige intensive Vermischung des zugegebenen Flockungsmittels mit dem Rohwasser stattfindet und danach längere Zeit eine weniger intensive Rührenergiezufuhr erfolgt. Demgemäß unterscheidet man im Fall der „klassischen Flockung" zwischen der Misch- oder Schnellrührphase und der Langsam- oder Kontaktrührphase. Die klassische Anlage besteht aus Misch-, Flockungs- und Absetzbecken.

Die Bildung absetzfähiger Flocken wird durch den *Entstabilisierungsprozeß* und die sogenannten *Transportvorgänge* herbeigeführt.

Der chemisch-physikalische *Entstabilisierungsprozeß* bewirkt die Beseitigung der durch eine negative elektrostatische Aufladung bedingten Stabilität der Kolloide. Die Entstabilisierung kann durch verschiedene Mechanismen erfolgen:

— *spezifische Koagulation:* Beseitigung der elektrostatischen Abstoßungskräfte der Kolloidteilchen durch Adsorption oder chemische Bindung von positiv geladenen Gegenionen bzw. Gegenkolloiden, die sich aus dem Flockungsmittel bilden und das NERNST-Potential der kolloidalen Wasserinhaltsstoffe abbauen.
Bei der Flockung mit Aluminium- oder Eisensalzen bestehen die Gegenionen aus Isopolykationen (vgl. 3.3.1.).
— *unspezifische Koagulation:* Verminderung der elektrostatischen Abstoßungskräfte der Kolloidpartikel auf Grund der Kompression ihrer elektrischen Doppelschicht durch das Flockungsmittel. Die unspezifische Koagulation spielt im Vergleich zur spezifischen Koagulation nur eine untergeordnete Rolle.
— *Einschlußflockung:* Abbau der Wirkung der Abstoßungskräfte durch vorwiegend mechanischen Einschluß der Kolloide in nach Metallsalzzusatz ausfallendes Aluminium- oder Eisenhydroxid.
— *Flockulation:* Überwindung der Abstoßungskräfte durch Anlagerung von brückenbildenden Polymerflockungsmitteln.

In Abb. 1 sind die typischen Merkmale der Entstabilisierung durch spezifische Koagulation, Einschlußflockung und Flockulation dargestellt.

此为试读,需要完整PDF请访问: www.ertongbook.com