



Abwasser-Reinigung: Die dritte Stufe

Josephine Hendel, Carina Preiß, WS 14/15; Andrea Baer WS 20/21

Gliederung

1	Die Kläranlage.....	2
1.1	Die mechanische Reinigungsstufe im Überblick.....	2
1.2	Die biologische Reinigungsstufe im Überblick.....	3
2	Die chemische Stufe.....	3
2.1	Neutralisation / pH-Wert-Einstellung.....	3
2.2	Desinfektion.....	3
2.3	Phosphat-Fällung	3
2.4	Stickstoff-Elimination	4
2.5	Enteisenung durch Oxidation	5
2.6	Entmanganung durch Oxidation	6
3	Experiment	6

Einstieg 1: *Verseuchtes Wasser tötet Millionen jährlich (05.09.2006)*

„Jedes Jahr sterben 1,6 Millionen Kinder unter fünf Jahren an verseuchtem Wasser... 2,6 Milliarden Menschen hätten noch nicht mal Zugang zur hygienischen Grund-Versorgung, dies fördert den Ausbruch an Krankheiten, wie Cholera, Typhus, ... Verunreinigtes Wasser bewirkt ca. 80% aller Krankheiten in der dritten Welt....“.[3]

Zurückzuführen ist das Problem auf das Fehlen eines grundlegenden Netzes an Abwasser-Reinigung, d. h. eine Versorgung mit sauberem Trink-Wasser ist nicht gewährleistet. Für uns ist es selbstverständlich jeden Tag mit frischem und sauberem Wasser versorgt zu werden...

Einstieg 2: *Einerseits ist Phosphor ein Mangel-element, weshalb er dem Boden in Form von Phosphat-Dünger hinzugefügt wird. Andererseits kommt es in Gewässern immer wieder zu Problemen durch einen zu hohen Phosphorgehalt, was eine Eutrophierung zur Folge haben kann. Deshalb muss Phosphor aus dem Abwasser eliminiert werden.*

1 Die Kläranlage



Abb. 1: Kläranlage Emden [23]

Abwasser (= durch Gebrauch verunreinigtes Wasser) wird in der Kanalisation gesammelt und anschließend über Kanal-Netze zu Kläranlage transportiert. Zur Reinigung der unerwünschten Bestandteile, werden in einer Kläranlage mechanische, biologische und chemische Verfahren eingesetzt.

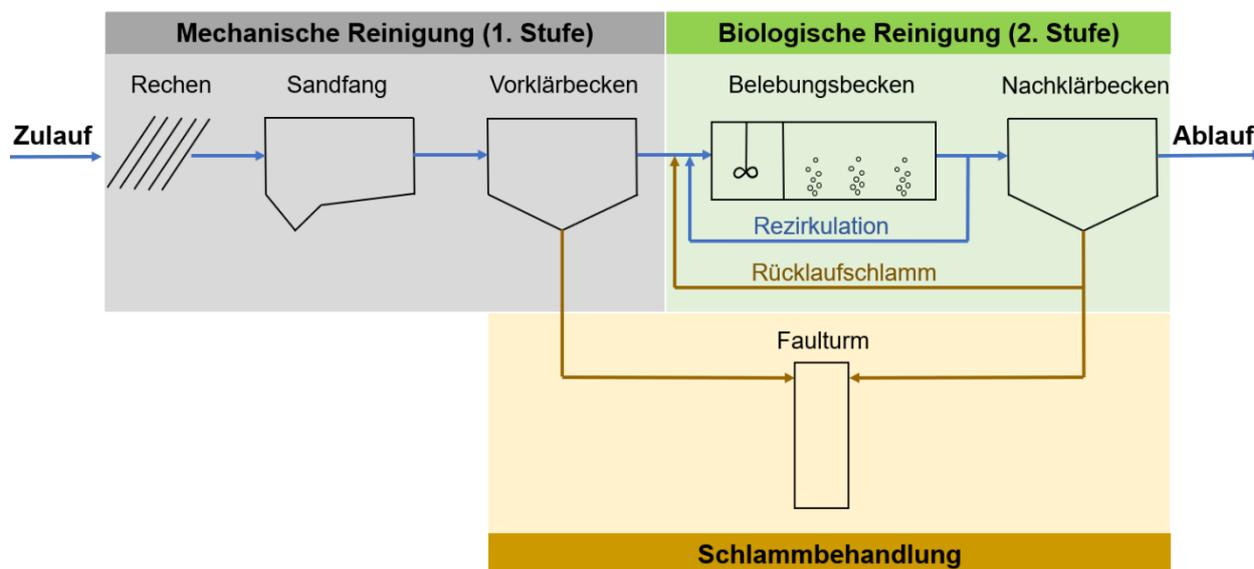


Abb. 2: Schema einer Kläranlage

An welcher Stelle des Klärprozesses die **chemische Reinigung (3. Stufe)** durchgeführt wird, ist von Klärwerk zu Klärwerk unterschiedlich. Sie kann in der mechanischen Reinigungsstufe, in der biologischen Reinigungsstufe oder auch danach stattfinden.

1.1 Die mechanische Reinigungsstufe im Überblick

- Rechen: grobes Material (Holz, Dosen, Papier) wird entfernt.
- Sandfang: grobe absetzbare Verunreinigungen (Sand, Steine, Glassplitter) setzen sich ab.
- Vorklärbecken: ungelöste Stoffe (Fäkalstoffe, Papier) setzen sich als Schlamm ab.

Der so entstandene sog. Primärschlamm gelangt dann in den Voreindicker, wo er als eingedickter Schlamm in den Faulturm gelangt. Im Faulturm können ca. 30 % der festen, ungelösten Stoffe entfernt werden.

1.2 Die biologische Reinigungsstufe im Überblick

- Belebtschlamm-Verfahren: Schaffung günstiger Lebensbedingungen mittels Sauerstoffzufuhr für Bakterien; diese wandeln organisch, gelöste Stoffe in anorganische Stoffe um, wobei sie sich unter Schlammflockung vermehren; dieser wird ins Nachklärbecken eingeleitet.
- Nachklärbecken: Schlammflocken setzen sich ab, ein Teil wird in den Faulturm geleitet, aber auch Rücklauf ins Belebungsbecken, damit ausreichende Menge an Bakterien zum Abbau vorhanden ist. Das Abwasser ist jetzt zu etwa 90% von biologisch abbaubaren Stoffen gereinigt.

2 Die chemische Stufe

2.1 Neutralisation / pH-Wert-Einstellung

- Einstellung des gewünschten pH-Wertes durch Zugabe von Säure oder Base.
- Säure: Salzsäure HCl(aq) .
- Base: Kalkmilch Ca(OH)_2 .

2.2 Desinfektion

- Abtötung von Krankheitserregern durch Zugabe von Chlor, dabei entstehen Nebenprodukte: Chloramine und Kohlenwasserstoffe.
- Besser ist die Zugabe von Chlordioxid ClO_2 , somit kann vermieden werden, dass halogenierte Kohlenwasserstoffe (toxisch) entstehen.
- Auch die Bestrahlung mit UV hat eine keimtötende Wirkung.

2.3 Phosphat-Fällung

Die im Abwasser enthaltenen Phosphate stammen z. B. aus:

- Lebensmittelzusätzen,
- Waschmitteln,



Abb. 3: Waschmittel [7]

- Dünger,



Abb. 4: Pflanzen-Dünger [8]

- Fäkalien.

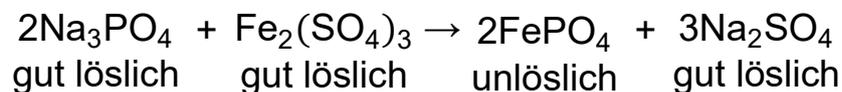
Es ist wichtig, die Phosphate zu entfernen, um der **Eutrophierung** vorzubeugen.

Die Phosphatfällung kann stattfinden als:

- Vorfällung (vor der biologischen Reinigungsstufe),
- Simultanfällung (während der biologischen Reinigungsstufe),
- Nachfällung (nach der biologischen Reinigungsstufe).

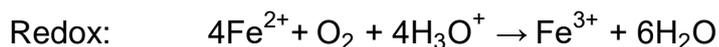
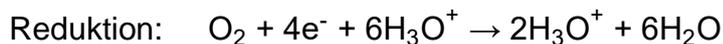
Die Ausfällung der Phosphat-Ionen (PO_4^{3-}) gelingt durch Zugabe von Lösungen von

- Aluminium(III)-Salzen, z. B. $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$,
- Calcium(II)-Salzen, z. B. $\text{Ca}(\text{OH})_2$,
- Eisen(II)-Salzen, z. B. FeSO_4 oder
- Eisen(III)-Salzen, z. B. FeCl_3 , $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$:



Aber:

- Die gelösten Stoffe liegen in Ionen-Form vor: $\text{PO}_4^{3-} + \text{Fe}^{3+} \rightarrow \text{FePO}_4 \downarrow$
- In der Praxis wird anstatt Eisen(III)-Salzen oft Eisen(II)-sulfat (Grünsalz) eingesetzt, da es billiger ist und durch die Sauerstoff-Zugabe die Umwandlung (Oxidation) zu Eisen(III)-kationen problemlos erfolgen kann:



2.4 Stickstoff-Elimination

Denitrifikation. Die Denitrifikation erfolgt durch anaerobe Mikroorganismen. Diese reduzieren Nitrat zu elementarem Stickstoff.



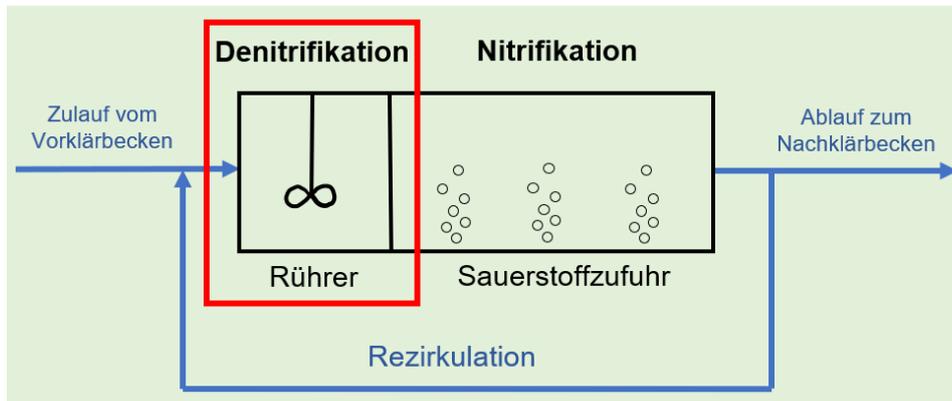
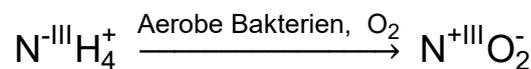


Abb. 5: Stickstoff-Elimination im Belebungsbecken, anaerobe Bedingungen

Nitrifikation. Bei der Nitrifikation handelt es sich um eine Umwandlung von Ammonium zu Nitrat. Dies geschieht durch aerobe Bakterien und unter Sauerstoffzufuhr.

1. Schritt erfolgt von aeroben Bakterien: Oxidation von Ammonium zu Nitrit:



2. Schritt: Oxidation von Nitrit zu Nitrat: Hierzu genügt lediglich Sauerstoff-Zufuhr

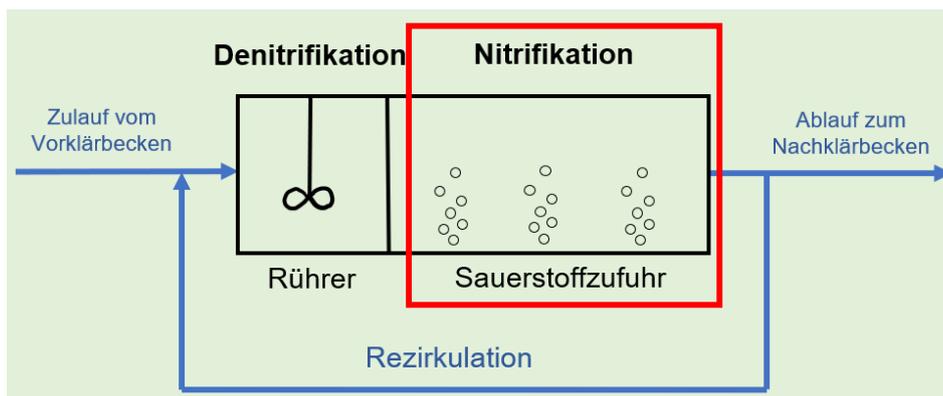
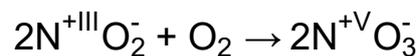
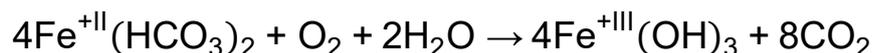


Abb. 6: Stickstoff-Elimination im Belebungsbecken, aerobe Bedingungen

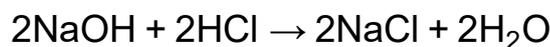
Das Nitrat-haltige Abwasser wird schließlich wieder zurückgeführt in den anaeroben Teil des Belebungsbeckens, wo Nitrat zu Stickstoff reduziert wird (siehe Denitrifikation). Es findet also eine Rezirkulation des Abwassers statt.

2.5 Enteisung durch Oxidation

Die im Wasser gelösten Eisen(II)-Kationen werden durch Sauerstoff oxidiert.



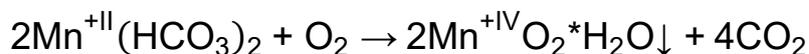
Damit eine Oxidation stattfinden kann, muss Natronlauge hinzugegeben werden, damit der pH-Wert des Wassers auf 6 steigt.



2.6 Entmanganung durch Oxidation

Im Wasser gelöstes Mangan liegt meistens in Form von Manganhydrogencarbonat $Mn(HCO_3)_2$ vor.

Die Oxidation vom Mangan(II) mit Sauerstoff zu Mangan(IV) erfolgt vereinfacht so:



3 Experiment

Ziel: Modell-Versuch: Phosphat-Fällung durch Eisen(III)-Kationen

Material:

- Standzylinder, 500 mL
- Dunkler Hintergrund

Chemikalien:

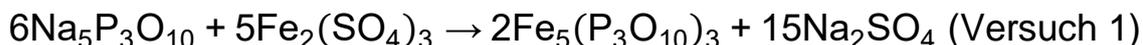
- Phosphat-Lösung:
 - Triphosphat-Lösung
 $\rho = 1.000 \text{ mg/L}$ (Versuch 1)
 - Trinatriumphosphat-Lösung
 $\rho(P) = 500 \text{ mg/L}$ (Versuch 2)
- Eisen(III)-Lösung
 - Eisen(III)-sulfat-Lösung
 $w = 1\%$ (Versuch 1)
 - Eisen(III)-chlorid-Lösung
 $w = 1\%$ (Versuch 2)

Durchführung: Zu 350 mL Phosphat-Lösung werden 150 mL Eisen(III)-Lösung zugegeben.

Beobachtung: Es entsteht ein weiß-gelber Niederschlag, der langsam zu Boden sinkt. Später bilden sich Flocken.

ACHTUNG: 1.000 mg/L (bzw. 500 mg/L) ist um den Faktor 100 - 1.000x (bzw. 50 – 500x) höher als in Abwasser (1 - 10 mg/L).

Interpretation:



Zusammenfassung: Für Verunreinigungen, die weder mechanisch noch biologisch entfernt werden können oder solche, die nur teilweise eliminiert werden (wie Phosphorverbindungen), ist die chemische Reinigungsstufe von großer Bedeutung. Welche Verfahren hier zum Einsatz kommen, ist abhängig den jeweiligen örtlichen Gegebenheiten und der Zusammensetzung bzw. Verunreinigung des Abwassers.

Abschluss 1: Laut UN (United Nations) gehören sauberes Trinkwasser und sanitäre Versorgung zu den Menschen-Rechten und sollten daher der gesamten Welt-Bevölkerung zugänglich gemacht werden. Gewässer-Schutz beginnt aber nicht erst bei der Klär-Anlage, sondern ist Aufgabe jedes Einzelnen von uns:

Jedermann(...gilt auch für jede Frau...) ist verpflichtet, ...die ... erforderliche Sorgfalt anzuwenden, um eine Verunreinigung des Wassers ... zu verhüten, um eine ... sparsame Verwendung des Wassers zu erzielen, um die Leistungsfähigkeit des Wasserhaushaltes zu erhalten... (§1a Wasserhaushaltsgesetz).

Abschluss 2: Durch die drei Reinigungsstufen können jedoch Mikroverunreinigungen (z.B. Arzneimittelrückstände oder Mikroplastik) nicht entfernt werden. Deshalb werden

immer mehr Kläranlagen mit einer vierten Reinigungsstufe ausgerüstet, bei der Verfahren wie Aktivkohleadsorption und Ozonierung zum Einsatz kommen. [27]

Zudem müssen größere Kläranlagen in den nächsten Jahren umrüsten, um die knappe Ressource Phosphor aus Klärschlamm zurückzugewinnen. [28]

Quellen:

3. http://www.20min.ch/news/kreuz_und_quer/story/25674893, 22.10.2014.
4. http://www.johanneshimmelreich.online.de/wwwroot_tipbt/index.php?mode=show-article&articleid=56, 12.02.2016, Klärwerk der Stadt Bayreuth (Quelle verschollen, 20.07.2020).
5. Baumann P., "Nachfällung mit Kalkhydrat" oder "Biologische Phosphorentfernung" - ein Vergleich, Kommissionsverlag R. Oldenbourg, München 1994, S. 28ff.
6. <http://www.wwa-fs.bayern.de/>, 04.11.2014 (Quelle verschollen, 20.07.2020).
7. <http://www.discounto.de/Angebot/Weisser-Riese-oder-Spee-Waschmittel-Pulver-oder-Gel-34379/>, 22.10.2014 (Bild nicht mehr verfügbar 25.08.2021).
8. http://www.pflanzen-versand.com/duenger.82.0.html?gclid=CO2f4_ue4cECFT-PJtAodoS4AHg, 04.11.2014.
9. <http://www.abwasser.de/abwasser.pdf>, 04.10.2021.
10. <http://www.umweltlexikon-online.de/fp/archiv/RUBwasser/Klaeranlagen.php>, 22.10.2014 (Quelle verschollen, 20.07.2020).
11. <http://www.umweltjournal.de/fp/archiv/home/index.php>, 22.10.2014 (Quelle verschollen, 20.07.2020).
12. <http://www.umweltjournal.de/FrontPublisher/search2.cgi>, Stichwort Abwasser, 22.10.2014 (Quelle verschollen, 20.07.2020).
13. <http://www.wwa-n.bayern.de/abwasserreinigung.htm>, Stichwort Abwasser, 04.11.2014.
14. <http://www.icbm.de/>, 04.11.2014.
15. <http://www.wwa-m.bayern.de/abwasser/index.htm>, 04.11.2014.
16. <http://de.wikipedia.org/wiki/Kl%C3%A4ranlage>, 22.10.2014.
17. <http://www.klaerwerk-online.de/index.php>, 22.10.2014.
18. <http://www.bew.de>, 22.10.2014.
19. http://de.wikipedia.org/wiki/Enteisenung_und_Entmanganung, 22.10.2014.
20. http://www.uni-weimar.de/Bauing/wbbau/studium/zusatz/Master_Abschlussarbeiten/obenauer/masterarbeit_obenauer_web.pdf, 22.10.2014 (Quelle verschollen, 20.07.2020).
21. http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/whg_2009/gesamt.pdf, 22.10.2014 (Quelle verschollen, 20.07.2020).
22. http://www.kreis-tir.de/fileadmin/user_upload/Umwelt/Wasserrecht/Wassergefaehr-dende_Stoffe/Welche_Pflichten_gelten_fuer_den_Betreiber/13102006_94630_Wasserhaushaltsgesetz.pdf, 22.10.2014 (Quelle verschollen, 20.07.2020).

23. Kläranlage: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Flug_Leer_nach_Emden_2010_11.JPG?uselang=de; Urheber: Bin im Garten; Lizenz: „Namensnennung – Weitergabe unter gleichen Bedingungen 3.0 nicht portiert“; 20.07.2020.
24. Görner, K.; Hübner, K.: Gewässerschutz und Abwasserbehandlung, Springer, Berlin Heidelberg 2002.
25. Barjenbruch, M.; Exner, E.: Leitfaden zur Verminderung des Phosphoreintrags aus Kläranlagen, Thüringer Druckhaus Gast & Frisch 2009.
26. <http://www.wasser-wissen.de/abwasserlexikon.htm>, 12.01.2021.
27. <https://www.umweltbundesamt.de/themen/wasser/abwasser>, 06.01.2021.
28. <https://www.bundesregierung.de/breg-de/aktuelles/phosphor-aus-abwasser-gewinnen-459418>, 06.01.2021.
29. <https://analyticalscience.wiley.com/do/10.1002/gitfach.12070>, 24.09.2021.