

ÜBER DIE NUTZUNG DER INTRINSISCHEN EIGENSCHAFTEN VON BELEBTSCHLAMMFLOCKEN ZUR ABWASSERBEHANDLUNG

Auf dem Gebiet der Behandlung von Abwasser aus Wohngebieten wird am häufigsten das Belebtschlammverfahren angewandt welches dadurch gekennzeichnet ist dass der Prozess in der geläufigen Ausführung 2 unterschiedliche Beckenarten erfordert. Das Belebungsbecken in dem die aktive Biomasse mit Sauerstoff durch Luftertrag versorgt wird und turbulente Bedingungen herrschen und das Nachklärbecken in dem die Trennung von Biomasse und Klarwasser durch Sedimentation also Schwerkrafttrennung unter laminaren Bedingungen erfolgt. Durch den unvermeidbaren Austrag von Biomasse aus der Belebung in die Nachklärung ist eine permanente Rückführung von Biomasse von der Nachklärung zur Belebung erforderlich deren Menge einen wesentlichen Einfluss auf das Volumen des Nachklärbeckens hat. Wohl gibt es Belebungsverfahren die auf eine Schlammrückführung verzichten können indem sie Belebung und Trennung in einem Becken bewerkstelligen durch Nutzung des Raumes sowohl zur Belebung als auch zur Nachklärung durch zeitliche Verschiebung von Belebung und Nachklärung wodurch dann aber ein zweites Becken erforderlich wird um die Kontinuität der Behandlung zu sichern. Alternative Prozesse wie zum Beispiel Verfahren mit sessiler Biomasse halten die aktive Biomasse zwar im Reaktor zurück, benötigen trotzdem eine Nachklärung um ausgetragene überschüssige Biomasse abzutrennen.

Der aktuelle Stand der Abwassertechnik beweist dass es im Laufe der Zeit wohl gelungen ist den immer höheren Anforderungen an die Ablaufqualität gerecht zu werden, allerdings sind die Anlagen dadurch auch komplexer geworden.

Wegen der weltweiten Verbreitung des Belebtschlammverfahrens konzentrieren sich viele Forschungen und Untersuchungen auf die Optimierung des Verfahrens und des Betriebes. Thema derartiger Studien sind oft die Eigenschaften und Fähigkeiten der Belebtschlammflocken in ihrem natürlichen Umfeld also dem Wasser.

- Flockenstruktur (Laubenberger, 1969 / Parker et al, 1997 / Fuchs, 1999)
- Trockendichte/Nassdichte (Dammel und Schroeder, 1991 / Andreakis, 1993 / Dahl, 1993)
- Rheologie (Dick und Ewing, 1967 / Laubenberger, 1969 / Bokil, 1972 / Proft und Lohmann, 1997 / Winkler, 2001 / De Clerq, 2003)
- Sedimentationsverhalten (Kynch, 1952 / Stobbe, 1964 / Dick und Ewing, 1967 / Vesilind, 1968 / Ingerle, 1996)
- Eindickung (Kynch, 1952)
- Koagulation (Parker et al, 1971 / Boller, 1990 / Lawler, 1997)

Die genannten Forschungen und Untersuchungen sind meistens im Hinblick auf eine Schwerkrafttrennung durchgeführt worden. Manche hatten zum Ziel die Geschwindigkeit eines absinkenden Schlammspiegels in einem begrenzten Raum zu berechnen was impliziert dass der absinkende Schlamm Spiegel durchlässig ist. Andere konzentrierten sich auf die Retentionswirkung eines absinkenden Flockenspiegels durch den nicht von selbst sedimentierende Flocken aus dem Klarwasser ausgefiltert werden. Aus der Erkenntnis der

Filterfähigkeit als intrinsische Eigenschaft der Belebtschlämme erfolgten Überlegungen zur Nutzung dieser Fähigkeit in der Trennung von Belebtschlamm und Klarwasser. So entstand die Idee in einem abgesetzten Schlammbett Mikrofloken auszufiltern durch Tiefbettfiltration (Ives, 1980). Ebenso eine Nachkläreinheit an deren Sohle abgesetzter Belebtschlamm benutzt wird um Belebtschlammgemisch zu filtern (Ide / Katakao 1980). Obwohl in verschiedenen Untersuchungen die Porosität einer Flokenmasse behandelt wird ist die eigentliche Wasserdurchlässigkeit einer solchen Flokenmasse hingegen kein Thema.

Festzustellen ist dass zahlreiche Studien übereinstimmend zur Erkenntnis kommen dass Belebtschlammfloken in der Lage sind ein Filter zu bilden. Ob ein solches Flokengebilde fähig ist eigenständig die Schlammseparation in einem Klärwerk zu bewerkstelligen hängt von verschiedenen Faktoren ab wie Durchlässigkeit und Stabilität.

- Das Flokengebilde muss unverschieblich im Raum fixiert sein.
- Die inneren Kohäsionskräfte der Flokenmasse müssen ausreichend sein um den Durchströmungskräften zu widerstehen.
- Die Durchlässigkeit muss hoch genug sein um das erforderliche Filtervolumen auf ein wirtschaftlich vertretbares Maß zu begrenzen.
- Die Durchlässigkeit wird durch die Verlegung progressiv reduziert wodurch die Flokenmasse mit der Zeit für eine Filterung unbrauchbar wird.
- Die Autolyse der Flokenmasse durch Substratmangel und Sauerstoffmangel muss vermieden werden.

In der Abhandlung „Neuartige Anwendung des Belebungsverfahrens zur biologischen Reinigung von Abwässern“ beschreibt Welter, 2012/2016 ein Verfahren das die Schwerkraftsedimentation durch eine Filtration ersetzt die den obengenannten Faktoren Rechnung trägt. Dieses Verfahren vereinigt Belebungs sowie Schlammseparation in nur einem Becken das einem Emscherbecken mit 60° geneigter Sohle ähnelt und dessen Innenraum durch leichte Längswände in 3 Kammern aufgeteilt ist, bezeichnet als Belüftungsraum, Reaktionsraum und Trennraum. Belüftungsraum und Reaktionsraum zusammen bilden die Belebungszone. Die Beschickung des Reaktors mit Abwasser erfolgt an der Sohle, der Klarwasserablauf befindet sich am Kopf des Beckens. Im Belüftungsraum, in dem mittels feinblasiger Begasung der Luftsauerstoff sich im Wasser löst, nutzt der Reaktor die in dem Belüftungsstrom enthaltene pneumatische Energie zur Umwälzung des Belebtschlammes sodass keine Rührwerke gebraucht werden. Im Reaktionsraum, der das größte Volumen darstellt, nimmt die Biomasse den gelösten Sauerstoff auf zur Veratmung des zugeführten Substrats. Die Trennung von gemischtem Belebtschlamm kurz Belebtschlammgemisch genannt und Klarwasser wird im Trennraum erreicht durch ein kompaktes Flokengebilde in dem die Floken ein porenreiches Netz bilden das durch vom Zulauf verdrängtes Belebtschlammgemisch durchströmt und gefiltert wird sodass die aktive Biomasse im Belebungsraum vollständig zurückgehalten wird und deshalb ein Rücklaufschlammsystem nicht erforderlich ist. Im folgenden Abschnitt wird Entstehen und Wirken dieses Flokengebildes behandelt.

Da der Trennraum an seiner Unterkante mit dem Reaktionsraum kommuniziert werden Belebtschlammfloken durch Diffusion in dem Punkt eingetragen der zugleich Tiefpunkt eines kommunizierenden Gefäßes ist das aus Trennraum und Reaktionsraum besteht. Bedingt durch die Strömungsverhältnisse in der unteren Zone des Trennraumes bilden die Belebtschlammfloken hier einen Flokenschwarm der sich sehr schnell verdichtet währenddem die obere Zone Klarwasser enthält. Demnach hat das kommunizierende

Gefäß einen 3-phasigen Inhalt bestehend aus Belebtschlammgemisch im Reaktionsraum sowie Flockenschwarm und Klarwasser im Trennraum. Die Existenz und Verdichtung des Flockenschwarmes in diesen Raumverhältnissen ist bedingt durch das hydrostatische Spannungsfeld das vom Belebtschlammgemisch durch dessen Dichte generiert wird und dem Gravitationsfeld derart entgegenwirkt dass es dieses ausgleicht und der dichte Flockenschwarm sich einem stabilen Zustand befindet der sich deutlich von einem Schwebestand unterscheidet und seinen Ausdruck in der Gleichgewichtsgleichung der 3 Komponenten findet. (*) In diesem Zustand können Druckkräfte, Reibungskräfte und Kohäsionskräfte zwischen den Flocken des Schwarmes wirken ohne ihre dendritische Struktur zu zerstören und ihm dadurch eine hohe Porosität und eine messbare mechanische Festigkeit geben weshalb er in der Folge als Filterkörper bezeichnet wird. Die Flocken reagieren also wie Granulate was die Hypothese der Granulatanalogie und damit die Anwendung des Gesetzes von DARCY über die Durchströmung poröser Körper nahelegt. Für die Granulatanalogie spricht auch der Koaleszenzvorgang der durch orthokinetische Flockung in der Belüftung zu einer Schlammgranulierung führt die eine wesentliche Verbesserung des Schlammindex zur Folge hat (20 – 50 ml/g)

Wird der Filterkörper entgegen dem Gravitationsfeld durch vom Zulauf verdrängtes Belebtschlammgemisch durchströmt dann entsteht ein gegen das Gravitationsfeld gerichtetes dynamisches Spannungsfeld das eine Intensität hat die dem Filterwiderstand gleich ist. Dieses Spannungsfeld ändert den Gleichgewichtszustand und hebt den Filterkörper an wodurch dieser sich durch Zufluss von Flocken vergrößert was zu einem neuen Gleichgewichtszustand führt in dem der Schwerpunkt des Filterkörpers sich auf einem höheren Niveau einstellt. Die Höhenlage seines Schwerpunktes im Raum ist demnach abhängig von der Durchströmung also dem Zulauf.

Wird die Belüftung abgeschaltet endet mit ihm die Umwälzung und es stellen sich Sedimentationsbedingungen ein, die Flocken im Reaktionsraum sinken ab sodass das vom Belebtschlammgemisch generierte Spannungsfeld abfällt wodurch der Filterkörper nicht mehr getragen wird und in den Reaktionsraum absinkt. Wird die Belüftung wieder eingeschaltet beginnt die Umwälzung von Belebtschlammgemisch wodurch das tragende Spannungsfeld sich wieder einstellt und der Filterkörper sich sofort aufbaut.

Um den Stickstoffabbau zu gewährleisten arbeitet der Reaktor mit Zyklen von jeweils 3 Stunden. Pro Zyklus erfolgt die Nitrifikation mit einer Belüftungszeit von 100 Minuten und die Denitrifikation durch 80 Minuten Anoxie in der die Belüftung nur 4 mal stoßweise (1 Minute) eingeschaltet wird zur Durchmischung. Bedingt durch diesen intermittierenden Betrieb in dem das tragende Spannungsfeld während den Belüftungspausen abfällt wird der Filterkörper bei jedem Zyklus selbsttätig ausgetauscht resp. regeneriert.

Der Prozess erlaubt den Einsatz einer Phosphatfällung die dann so abläuft wie beim klassischen Belebtschlammverfahren.

Der hier vorgestellte Prozess ist als besonders ressourcenschonend und nachhaltig zu bezeichnen aus folgenden Gründen.

- Niedriger Materialverbrauch da Belebung und Schlammseparation in 1 Becken erfolgen und als maschinelle Ausrüstung nur das Gebläse benötigt wird.
- Geringer Energieverbrauch da der Betrieb des Prozesses außer dem Gebläse keine anderen Maschinen erforderlich macht, ein Umstand der sich günstig auf eine Stromversorgung durch erneuerbare Energiequellen auswirkt.

- Starke Retentionswirkung des Flockenkörpers in dessen Raum alle Flocken sowie Mikrofloken intensiv zurückgehalten werden.
- Voraussichtlich minimale Emissionen von CH₄ und N₂O wegen niedriger Schlammbelastung, sicherem Ausschluss von faulenden Ablagerungen und optimaler Verfügbarkeit von O₂ und Substrat für die Biomasse also optimaler Wachstumsbedingungen.

Die durch den beschriebenen Prozess erreichbaren Ablaufwerte sind durch die Praxis belegt und unterschreiten die Anforderungen. In der Broschüre „Neuartiger Reaktor zur biologischen Reinigung von kommunalen Abwässern“ sind weitere Angaben zu finden.

Mersch, September 2022

A.Welter

Dipl. Ing U.Lg

(*) Für das Schweben eines Körpers der von einem Medium umspült ist wendet sich das Archimedesprinzip an, ein Sonderfall des Gleichgewichtsprinzips. Der Schwebezustand ist unabhängig von der Position des Körpers im Medium. Seine Position im Raum ist also unbestimmt (indifferentes Gleichgewicht).

Im kommunizierenden Gefäß sind die Komponenten nicht umspült sondern füllen den Raum aus sodass das Archimedesprinzip nicht anwendbar ist, das Gleichgewichtsprinzip aber weiterhin für die Komponenten gilt. Durch die Gleichgewichtsgleichung liegt im vorliegenden Fall die Position des Flockenschwarmes präzise fest. Jegliche Verschiebung des Flockenschwarmes hat zur Folge dass das hydrostatische Spannungsfeld ihn in seine ursprüngliche Position zurückführt. Seine Position im Raum ist also bestimmt (stabiles Gleichgewicht = Zustand minimaler potenzieller Energie).