



Orientierungsuntersuchung dreier Substrate für Retentionsbodenfilter

Auftraggeber:
Forschungsgemeinschaft
Landschaftsbau und Wasserwirtschaft FLW AG
Rhenusplatz 2
59439 Holzwickede

Oktober 2005

**Fachbereich Bauingenieurwesen
Prof. Dr.-Ing. M. Uhl
Corrensstraße 25
48149 Münster**

LWW
Labor für
Wasserbau und
Wasserwirtschaft

4 Auswertung und Zusammenfassung

4.1 Auswertung

Substratuntersuchungen

Die Kornverteilung des Substrates „Sand 0/2“ entspricht den Anforderungen nach MUNLV [2003] und DWA-M 178 [2005]. Lediglich der Grenzwert für den Feinkiesanteil (1 %) wird mit 1,6 % geringfügig überschritten. Das Substrat „Hygroret fein“ ist etwas zu grobsandig, so dass die Grobsandobergrenze von 25 % mit 30,8 % leicht überschritten wird. Die Untergrenze von 60 % für den Mittelsand wird mit 52,6 % unterschritten. Die Grenzwerte für die Ton und Schlufffraktion (2,2 %) und für die Feinkiesfraktion (1,6 %) überschreiten die Grenzwerte von 1,0 % geringfügig. Diese Überschreitung ist aus technischer Sicht unerheblich und führt zu keiner nennenswerten Minderleistung der Filter. Während der Durchführung der Säulenversuche hat sich gezeigt, dass ein größerer Anteil der Feinstkornfraktion ausgespült wird. Das Substrat „Hygroret grob“ entspricht in keiner Fraktion den Anforderungen nach MUNLV [2003] oder DWA-M 178 [2005].

Die drei Substrate weisen kantige bis gerundete Kornformen auf und haben eine gemäß DWA-M 178 [2005] ausreichende Wasserdurchlässigkeit von $> 10^{-4}$ m/s.

Der Carbonatgehalt des Substrates „Sand 0/2“ liegt mit 12 % niedriger als die Carbonatgehalte der Substratgemische „Hygroret grob“ (20,7 %) und „Hygroret fein“ (27,6 %). MUNLV [2003] fordert einen Carbonatgehalt von 10 – 15 % und in DWA-M 178 [2005] wird für technisch aufbereitete Substratmischungen ein Carbonatgehalt von ca. 30 % empfohlen. Das Substrat „Hygroret fein“ entspricht der Empfehlung aus DWA-M 178 [2005]. Alle Substrate erfüllen bzw. übertreffen die Anforderungen nach MUNLV [2003].

Säulenversuche

CSB

Im Zulauf lagen die Konzentrationen von CSB_{hom} im Bereich von 86-120 mg/l mit einem Median von 100 mg/l. Beim CSB_{filtr} waren Konzentrationen im Bereich von 36 – 66 mg/l mit einem Median von 53 mg/l festzustellen. Diese Konzentrationen liegen im Bereich von Mischwasserentlastungen. Die Bestimmungsgrenze für CSB beträgt 15mg/l.

Das Substrat „Sand 0/2“ lieferte im Ablauf Konzentrationen von CSB_{hom} im Bereich ≤ 15 -36 mg/l mit einem Median von 20 mg/l. Beim Substrat „Hygroret grob“ waren im Ablauf Konzentrationen zwischen ≤ 15 - 36 mg/l mit einem Median von 18 mg/l festzustellen. Im Ablauf des Substrates „Hygroret fein“ wurden für CSB_{hom} Konzentrationen im Bereich ≤ 15 - 18 mg/l bei einem Median von 16 mg/l ermittelt.

Die Wirkungsgrade für CSB_{hom} schwankten substratabhängig in einem Bereich zwischen 70 – 85 % (Sand 0/2), 75 – 85 % (Hygroret grob) und 81 – 86 % (Hygroret fein). Bei allen drei Substraten zeigten die Wirkungsgrade nur eine schwache Abhängigkeit von der Zulauffracht. Bei den drei mehrtägigen Beschickungen konnten bei allen Substraten nur geringe Minde-

rungen der Wirkungsgrade festgestellt werden. Das Substrat „Sand 0/2“ wies etwas höhere Abminderungen als das Substrat „Hygroret fein“ auf.

NH₄-N

Die Filter wurden im Zulauf mit Konzentrationen von NH₄-N im Bereich von 7,9-15 mg/l bei einem Median von 9,5 mg/l beschickt. Diese Konzentrationen liegen im für Mischwasser sehr hohen Bereich. Im Ablauf waren deutliche Unterschiede zwischen den einzelnen Substraten zu erkennen. Das Substrat „Sand 0/2“ lieferte im Ablauf die höchsten Konzentrationen im Bereich von 1,8 – 13 mg/l mit einem Median von 5,6 mg/l. Beim Substrat „Hygroret grob“ wurden im Ablauf Konzentrationen von NH₄-N zwischen 0,01 – 10,0 mg/l mit einem Median von 0,31 mg/l gemessen. Die geringsten Konzentrationen von NH₄-N im Ablauf wurden beim Substrat „Hygroret fein“ mit 0,03 mg/l (Median) und einem Wertebereich zwischen 0,01 – 0,06 mg/l (Min – Max) gemessen. Zu einer Erhöhung der Ablaufkonzentration kam es grundsätzlich bei länger andauernden Beschickungen, die auch mit einer größeren Zulauffracht verbunden waren.

Die Wirkungsgrade waren beim Substrat „Sand 0/2 mit 26 – 82 % am geringsten und wiesen die größten Schwankungen auf. Der Median betrug 62,7 %. Beim Substrat „Hygroret grob“ lagen die Wirkungsgrade zwischen 63 – 100 % mit einem Median von 96,7 %. Das Substrat „Hygroret fein“ wies einen durchgängig sehr hohen Wirkungsgrad im Bereich von 99,4 – 99,9 % (Min – Max) auf.

Die Wirkungsgrade nehmen grundsätzlich mit zunehmender Zulauffracht ab, da die Sorptionsplätze eines Substrates zunehmend belegt werden. Die Abhängigkeit ist deutlich von der Adsorptionskapazität des Substrates abhängig. Bei den drei mehrtägigen Beschickungen ist die freie Adsorptionskapazität des Substrates „Sand 0/2“ nach ca. 24 Stunden bzw. nach einer Zulauffracht von ca. 15 g/m² erschöpft. Das Substrat „Hygroret grob“ weist ebenfalls einen Rückgang der freien Adsorptionskapazität auf, der sich in steigenden Ablaufkonzentrationen und sinkenden Wirkungsgraden bemerkbar macht. Allerdings erreicht dieses Substrat bei Zulauffrachten von 26 – 28 g/m² noch Wirkungsgrade zwischen 76 – 85 %. Lediglich das Substrat „Hygroret fein“ hat selbst bei einer sehr hohen Zulauffracht von 36,8 g/m² noch einen Wirkungsgrad von 99,6 % und zeigt keine Leistungseinbußen im untersuchten Bereich.

AFS

Die Konzentrationen von AFS in Zulauf lagen zwischen 9 mg/l und 37 mg/l mit einem Median von 17 mg/l. Die Konzentrationen im Ablauf bewegten sich im Bereich ≤ 5 -18 mg/l, wobei die Mediane mit 5 mg/l im Bereich der Bestimmungsgrenze lagen. Die Bestimmungsgrenze für AFS liegt bei 5 mg/l. Die Abläufe aller Substrate sind im Wesentlichen als feststofffrei zu betrachten. Bei mehrtägigen Beschickungen war ein geringfügiges Ansteigen der Konzentrationen von AFS im Ablauf zu beobachten, welches bei den Substraten „Hygroret grob“ und „Hygroret fein“ zu einer Trübung des Ablaufwassers führte. Besonders zu Beginn der Beschickungsreihe kam es besonders beim Substrat „Hygroret grob“ zum Ausspülen von Feinstpartikeln aus dem Filter, die zu einer erheblichen Trübung des Ablaufwassers führten. Eine Untersuchung der abfiltrierbaren Stoffe am 30. und 31.8 ergab, dass der organische

Anteil (Glühverlust) unter 5 mg/l lag und dass der mineralische Anteil (Glührückstand) mit zunehmender Beschickungsdauer geringfügig anstieg.

Chlorid

Die mittlere Konzentration von Chlorid im Zulauf lag bei 58 mg/l (24 Beschickungen) bzw. 59,9 mg/l (Zulaufbeprobungen) und die mittleren Konzentrationen im Ablauf der drei Säulen lagen zwischen 58 – 59,4 mg/l. Bei allen Substraten kam es erwartungsgemäß zu keinem Rückhalt von Chlorid. Durch Chlorid bedingte Störeinflüsse waren in der Versuchsphase nicht zu beobachten.

Sauerstoffkonzentration

Die Konzentration des Sauerstoffes im Zulauf schwankte zwischen 4,5 – 6,7 mg/l bei einem Median von 5,6 mg/l. Die drei Abläufe der Säulen lieferten unabhängig vom Substrat hohe Sauerstoffkonzentrationen mit Medianen zwischen 8,2 – 8,5 mg/l. Bei den eintägigen Ereignissen lag im Ablauf aller Säulen annähernd eine Sauerstoffsättigung vor. Erst bei längerer Einstauzeit sank die Sauerstoffkonzentration ab. Die geringsten Ablaufkonzentrationen wurden am 3.8.2005 mit Werten zwischen 1,6 – 2,7 mg/l gemessen. Genauere Aussagen über den Konzentrationsverlauf des Sauerstoffs sind nur über kontinuierliche Messungen und nicht mit Mischproben möglich.

Säurekapazität und pH-Wert

Die Säurekapazität lag im Zulauf bei 4,80 mmol/l und im Ablauf substratabhängig bei 4,2 mmol/l (Sand 0/2), 4,5 mmol/l (Hygroret grob) und 4,6 mmol/l (Hygroret fein). Aufgrund der hohen Pufferkapazität des Zulaufes ist nur von einem geringen Verbrauch des Carbonatdargebots auszugehen. Die Ablaufwerte zeigten eine stabile Pufferung des durchsickernden Wassers an. Dies wird durch die geringen Schwankungen der pH-Werte im Ablauf zwischen 6,9 und 7,7 unabhängig vom Substrat bestätigt. Der pH-Wert im Zulauf lag bei einem Median von 7,4, während die pH-Werte im Ablauf der drei Substrate Mediane zwischen 7,1 -7,2 aufwiesen.

Elektrische Leitfähigkeit

Die elektrische Leitfähigkeit schwankt im Zulauf zwischen 714 – 849 $\mu\text{S}/\text{cm}$ mit einem Median von 782 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Die Ablaufwerte lagen beim Substrat „Sand 0/2“ zwischen 725 – 930 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Median: 766 $\mu\text{S}/\text{cm}$), beim Substrat „Hygroret grob“ zwischen 739 – 990 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Median: 820 $\mu\text{S}/\text{cm}$) und beim Substrat „Hygroret grob“ zwischen 726 – 1067 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Median: 819 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Auffällig sind die erhöhten elektrischen Leitfähigkeiten nach der dreiwöchigen Trockenphase zwischen den Beschickungen vom 01.08. und 29.08.2005. Diese sind wahrscheinlich auf Nitrat-Ionen zurückzuführen, die durch Nitrifikation von adsorbiertem Ammonium in der Trockenphase entstanden sind.

Redoxpotenzial

Der Median der Zulaufwerte des Redoxpotenzials lag bei 320 mV. Die Ablaufwerte der drei Säulen lagen zwischen 379 – 388 mV. Die Differenzen können als unbedeutend eingestuft

werden. Während der Beschickungen kam es nicht zu reduzierenden Verhältnissen im Ablauf der Säulen, so dass keine Hemmung von Abbauprozessen oder eine potenzielle Mobilisierung von sorbierten Schwermetallen hätte stattfinden können.

Zusammenfassung und Bewertung

Ziel der durchgeführten Untersuchungen war die Ermittlung der Reinigungsleistung der Substrate der Bezeichnung HYGRORET bei einer verringerten Filterhöhe. Bei den Untersuchungen wurde ein Referenzsand mit einer Sieblinie gemäß Handbuch Retentionsbodenfilter NRW (MUNLV [2003]) (Schichtstärke 75 cm) mit den Substraten „Hygroret grob“ und „Hygroret fein“ (Schichtstärke 60 cm) verglichen. Bei den durchgeführten Untersuchungen handelt es sich um eine Kurzzeitstudie im Labormaßstab, aus der nicht unmittelbar auf das Langzeitverhalten der Substrate in großtechnischen Anlagen geschlussfolgert werden kann. Erste Aussagen sind jedoch möglich.

Innerhalb von 3 Monaten sind 20 m Wassersäule auf die Filter aufgebracht worden, so dass im Vergleich zu der in MUNLV [2003] vorgeschriebenen Maximalbelastung von 30 – 40 m Wassersäule eine Zulaufbelastung von ca. einem halben Jahr aufgebracht wurde. Da die Beschickungen in relativ kurzer Folge mit kurzen Beschickungspausen durchgeführt wurden, kann von einer gut etablierten Filterbiozönose ausgegangen werden. Die längste Beschickungspause betrug 3 Wochen. Zustände mit extremem Trockenstress sind nicht untersucht worden. Die Untersuchung umfasste mehrere zwei- und dreitägige Beschickungen, die hohe hydraulische und stoffliche Belastungen herbeiführten.

Das Substrat „Sand 0/2“ wurde als Referenzsubstrat den Anforderungen nach MUNLV [2003] gemäß erstellt. Das Substrat „Hygroret grob“ entspricht nicht den Anforderungen nach MUNLV [2003] oder DWA-M 178 [2005]. Das Substrat „Hygroret fein“ entspricht in fast allen Punkten den Anforderungen nach MUNLV [2003] und DWA-M 178 [2005]. Das Substrat „Hygroret fein“ mit der Kornverteilung in der vorliegenden Form entspricht den Anforderungen nach DWA-M 178 [2005] für Retentionsbodenfilter im Trennsystem. Bezogen auf die Anforderungen an die Korngrößenverteilung für Retentionsbodenfilter in Mischsystemen nach MUNLV [2003] oder DWA-M 178 [2005] weist „Hygroret fein“ noch leichte Abweichungen auf. Die Anteile an Feinstkorn (2,2 %) und Überkorn (1,6%) überschreiten die Grenzwerte (jeweils 1%) geringfügig. Der Anteil an Grobsand (30,8%) überschreitet den Grenzwert (25 %). Mit leichten Umstellungen der Substratzusammensetzung kann „Hygroret fein“ auch für Retentionsbodenfilter im Mischsystem eingesetzt werden.

Der höhere Carbonatgehalt der Substrate „Hygroret fein“ und „Hygroret grob“ erhöht die Pufferkapazität des Filters, so dass von einer langfristigen Pufferleistung auszugehen ist. Die Einhaltung der LAGA Z0-Werte (LAGA [1997]) ist im Rahmen dieser Untersuchung nicht geprüft worden.

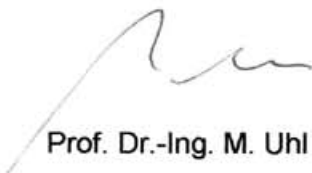
Hinsichtlich der Reinigungsleistung ergibt sich folgende Bewertung:

Beim Parameter CSB weisen die Substrate „Hygroret grob“ und „Hygroret fein“ hinsichtlich der Konzentrationen im Ablauf und der Wirkungsgrade trotz 20% geringerer Einbauhöhe keine signifikant unterschiedlichen Werte im Vergleich zum Referenzsubstrat „Sand 0/2“ auf. Die etwas geringere Spannbreite der Konzentrationen im Ablauf und der Wirkungsgrade lassen auf eine höhere Prozessstabilität beider „Hygroret“-Substrate schließen.

Beim Parameter $\text{NH}_4\text{-N}$ kann angesichts niedrigerer Konzentrationen im Ablauf dem Substrat „Hygroret grob“ eine deutlich höhere und dem Substrat „Hygroret fein“ eine erheblich höhere Leistungsfähigkeit zuerkannt werden. Das Substrat „Hygroret fein“ zeichnete sich bei $\text{NH}_4\text{-N}$ durch einen außerordentlich hohen Wirkungsgrad von über 99 % unabhängig von der Beschickungsfracht und –dauer aus.

Das Filtersubstrat „Hygroret fein“ zeigt im Säulenversuch eine sehr gute Reinigungsleistung, deren weitere Untersuchung auch in großmaßstäblichen Anlagen unter realen Belastungsbedingungen zu empfehlen ist.

Münster, 21.10.2005



Prof. Dr.-Ing. M. Uhl



Dipl.-Ing. M. Henrichs