

Grau- und Regenwassernutzung Kassel-Hasenhecke

Hygienische und betriebstechnische Begleituntersuchungen

Bullermann M., Lücke F. K., Mehlhart G., Klaus U. (2001);
Band 7 Schriftenreihe der fbr e.V., Darmstadt

Kurzfassung

1 Einleitung

Im Jahr 1996 wurden in Kassel im Stadtteil Hasenhecke 24 neue Wohneinheiten im sozialen Wohnungsbau von der Wohnstadt, Stadtentwicklungs- und Wohnungsbaugesellschaft Hessen mbH errichtet und mit Mitteln aus der Grundwasserabgabe des Landes Hessen mit einer Anlage zum Grauwasser-Recycling ausgestattet. Acht von diesen Wohnungen sind in einem 4-geschossigen Gebäude und weitere 16 Wohnungen in 3-geschossigen Gebäuden untergebracht. Das Grauwasser aus Badewannen, Duschen und Handwaschbecken wird in einem zweiten Leitungssystem gesammelt und nach einer Aufbereitung zur Spülung der Toiletten verwendet. Die Aufbereitung erfolgt durch Sedimentation, biologische Reinigung mittels Rotationstauchkörper, Nachklärung und UV-Desinfektion.

In einem baugleichen Objekt mit weiteren 24 Wohnungen wurden, zu Vergleichszwecken, drei bereits vorhandene Regenwassernutzungsanlagen bzgl. betriebstechnischer und hygienischer Parameter untersucht.

Von 1996 bis Mitte 2000 wurden intensive betriebstechnische und hygienische Begleituntersuchungen an der Grauwasser-Recycling-Anlage und, in eingeschränktem Umfang, an den Regenwassernutzungsanlagen durchgeführt. Im folgenden sind wesentliche Ergebnisse der Untersuchungen zusammengefasst.

1.1 Untersuchungen an der Grauwasseranlage

Auslegungsmengen für die Grauwasserbehandlung

- Eine Auslegung der Grauwasserbehandlung auf 20 bis 30 Liter Betriebswasserbedarf pro Einwohner und Tag für die Toilettenspülung ist ausreichend. Um Überdimensionierungen zu vermeiden wird empfohlen, die Dimensionierung mit etwa 20 Liter pro Einwohner vorzunehmen. Falls diese Menge im tatsächlichen Betrieb nicht ausreicht, sollten zunächst Einsparpotentiale realisiert werden (Öffentlichkeitsarbeit, Nutzung der Spartasten). Soweit dies nicht ausreicht, ist der Restbedarf durch Nachspeisung mit Trinkwasser zu decken.
- Das Grauwasser aus Badewannen, Duschen und Handwaschbecken (im vorliegenden Fall 33 Liter pro Einwohner und Tag) reicht aus, um den Betriebswasserbedarf für die Toilettenspülung (im vorliegenden Fall 20 Liter pro Einwohner und Tag) abzudecken. Der Grauwasseranfall aus den genannten Quellen würde auch ausreichen, um den Bedarf an Betriebswasser für die Waschmaschinen (laut Literaturangaben 13 Liter pro Einwohner und Tag) zu decken.

Charakterisierung des unbehandelten Grauwassers

- Die Belastung mit sauerstoffzehrenden Stoffen des Grauwassers wurde anhand von drei Parametern erfasst. Demnach lag die Belastung bei etwa 100 mg/l BSB₅, 200 mg/l CSB und 130 mg/l TOC. Ohne (biologische) Behandlung wäre das Grauwasser daher nicht für die Verteilung in mehrere Haushalte geeignet, da dann Geruchsentwicklungen zu erwarten sind. Um eine Fäulnisfähigkeit des Wassers ausschließen zu können, ist eine 95 bis 99 prozentige Reinigung notwendig.
- Die Nährstoffe Phosphor und Stickstoff waren im unbehandelten Grauwasser in ausreichender Menge vorhanden, sodass es zu keiner Beeinträchtigung des biologischen Reinigungsprozesses aufgrund von Nährstoffmangel kam (Phosphor etwa 2,1 mg/l, Gesamtstickstoff etwa 14 mg/l).
- Die Nährstoffkonzentrationen und die Gehalte an sauerstoffnehmenden Stoffen des untersuchten Grauwassers liegen bei etwa 20 Prozent der Konzentrationen im häuslichen Schmutzwasser.
- Die kontinuierlichen Kontrollen des pH-Wertes im Zulauf zeigten über den gesamten Verlauf der Untersuchungen keine wesentlichen Schwankungen die z.B. auf ungewöhnliche Einleitungen hindeuten würden. Auch die kontinuierliche Erfassung von Sauerstoff, Temperatur und Leitfähigkeit deuteten zu keinem Zeitpunkt auf außergewöhnliche Einleitungen, bzw. besondere Betriebszustände hin.

Keime im unbehandelten Grauwasser

- Die mikrobielle Belastung des Grauwassers liegt für *E. coli* bei etwa 10^4 /ml, für Coliforme und Aeromonaden bei etwa 10^5 /ml und für Fäkalstreptokokken bei etwa 10^3 /ml. Salmonellen und pathogene Legionellen wurden überhaupt nicht nachgewiesen und nur vier von 48 Proben enthielten *Candida Albicans*. *Staphylococcus aureus* war in 21 von 50 Proben zu finden. Eine Verwendung von unbehandeltem Grauwasser kommt aus hygienischer Sicht nur in Frage, wenn das Grauwasser in dem Haushalt verbleibt, in dem es anfällt und nur kurze Zeit gelagert wird. Eine Verteilung von unbehandeltem Grauwasser über mehrere Haushalte wird entsprechend nicht empfohlen.

Reinigungsleistung und betriebstechnische Aspekte der Grauwasserbehandlung

- Die Anlage konnte im Rahmen der vorgesehenen Wartung und Inspektion mit stabilen Ablaufwerten betrieben werden.
Ablaufwerte BSB₅: 1,4 mg/l, Standardabweichung: 1,1 mg/l
Ablaufwerte CSB: 14,9 mg/l, Standardabweichung: 5,5 mg/l
Ablaufwerte TOC: 10,4 mg/l, Standardabweichung: 5,9 mg/l
Diese Werte entsprechen den Anforderungen an gereinigtes Grauwasser nach der „Berliner Liste“, wonach ein BSB₇ von 5 mg/l gefordert wird.
- Bei einer Belastung mit bioschädlichen Substanzen (ein Liter Incidur-Spray) wurde keine Beeinträchtigung der Reinigungsleistung bzw. eine Zunahme von unerwünschten Inhaltsstoffen im gereinigten Betriebswasser festgestellt.
- Zu Versuchszwecken wurde im Winter für drei Wochen ein Anlagenstillstand herbeigeführt. Unmittelbar nach Inbetriebnahme war etwa eine Verdoppelung der sauerstoffzehrenden Stoffe im Ablauf festzustellen. Jedoch auch diese Werte lagen mit z.B. 6 mg/l BSB₅ noch sehr nahe an den Anforderungen der Berliner Liste. Nach einer Woche wurden wieder stabile BSB₅-Werte von etwa 2 mg/l erreicht.
- In zwei Versuchsreihen wurden mögliche Auswirkungen einer mehr als verdoppelten hydraulischen und stofflichen Belastung untersucht. Auch in diesen Fällen wurden die Anforderungen der „Berliner Liste“ (BSB₇ < 5 mg/l) eingehalten bzw. deutlich unterschritten und es kam zu keinen sonstigen Beeinträchtigungen der Grauwasseranlage.
- Die installierte Anlage ist entsprechend geeignet eine höhere Menge an qualitativ einwandfreiem Betriebswasser bereitzustellen, als tatsächlich derzeit benötigt wird. Es wird davon ausgegangen, dass die Anlage, entsprechend der Ausschreibung, aus betriebstechnischer und hygienischer Sicht geeignet ist mindestens 3.000 Liter pro Tag zu verarbeiten.

Mikrobiologische Betriebsergebnisse der Grauwasseraufbereitung

- Nach der biologischen Reinigung werden noch in ca. 65 Prozent von insgesamt 145 Proben Überschreitungen von einem oder mehreren der Richtwerte der Berliner Liste festgestellt, allerdings nur um ca. eine Zehnerpotenz. Dies zeigt, dass hygienisch bedenkliche Organismen, die auch nach der biologische Behandlung angetroffen werden, sich in der Aufbereitung nicht vermehren. Die Belastung mit Enterokokken ist bereits durch die biologische Behandlung um ein bis zwei Zehnerpotenzen vermindert. Diese Bakterien werden offenbar durch die biologische Behandlung nahezu völlig inaktiviert.
- Durch die UV-Desinfektion werden *E. coli*-, Coliformen- und Aeromonaden-Zahlen um zwei bis drei Zehnerpotenzen, die *Pseudomonas aeruginosa*-Zahl um etwa eine Zehnerpotenz vermindert. Nach der UV-Desinfektion waren die Richtwerte der „Berliner Liste“ durchweg eingehalten. Das betrifft sowohl die Messungen im Betriebswasserspeicher als auch die Messungen an den Zapfstellen in den Wohnungen. Salmonellen, pathogene Hefen, pathogene Legionellen oder *Staphylococcus aureus* wurden nach der UV-Bestrahlung in keinem Fall angetroffen.
- Im Betriebswasserspeicher und Rohrleitungssystem kam es, wie zu erwarten, zu keiner Vermehrung von *E. coli*, Coliformen und Fäkalstreptokokken. Auch eine Vermehrung von Aeromonaden oder *Pseudomonas aeruginosa* konnte nicht festgestellt werden.
- Eine experimentelle Mehrbelastung der Anlage mit $3 \cdot 10^{11}$ *Pseudomonas aeruginosa* führte nicht zu erhöhten Dichten dieses Bakteriums im Betriebswasser.
- Die hygienische Situation der Luft im Raum der Aufbereitungsanlage lag im ähnlichen Bereich wie die Luft in verschiedenen Räumen der FH Fulda, die zu Vergleichszwecken beprobt wurden und war nicht zu beanstanden.

- Insgesamt kommt es zu keiner Vermehrung hygienisch problematischer Keime im Betriebswasser auf dessen Weg von der Anlage zu den jeweiligen Nutzern. Auch war keine Gefahr durch Aerosole zu erkennen, die von der Grauwasseranlage ausgehen. Eine umfassende Risikobewertung ergab aus der Sicht der Hygiene keine Argumente gegen die Nutzung dieses Wassers zur Toilettenspülung. Bei einer Zusammenführung von Grauwasser aus mehreren Haushalten sollen die Qualitätsziele der Berliner Liste eingehalten werden. Eine alleinige Speicherung und auch eine biologische Behandlung reicht nicht aus, um diese Qualitätsziele sicher zu erreichen. In Kombination mit einer UV-Desinfektion werden die Werte sicher eingehalten.
- Aus mikrobiologischer Sicht ergibt sich kein weiterer Optimierungsbedarf an der untersuchten Anlage.
- Wenn die Routineüberwachungen durch die Hausmeister und die Inspektionen durch Fachleute (z.B. die Herstellerfirma) regelmäßig und sachgerecht durchgeführt und protokolliert werden, erscheint eine routinemäßige mikrobiologische Untersuchung des aufbereiteten Grauwassers entbehrlich.
- Soweit keine Verknüpfungen zwischen Haushalten bestehen, kann auch eine Wiederverwendung ohne Behandlung ausreichend sein. In diesem Fall sollte Grauwasser jedoch nur kurz gelagert werden, da ansonsten mit Geruchsentwicklungen zu rechnen ist.

Mieterbefragung

- Von den angetroffenen Mietern haben etwa 56 Prozent keine Veränderungen durch die Grauwassernutzung für die Toilettenspülung anstelle der Trinkwassernutzung festgestellt. Etwa 44 Prozent haben eine Veränderung (Färbung / Geruch) festgestellt, davon waren zwei Wohnungen (12,5 Prozent) mit dem Betriebswasser unzufrieden.

1.2 Untersuchungen an den Regenwassernutzungsanlagen

Rahmenbedingungen

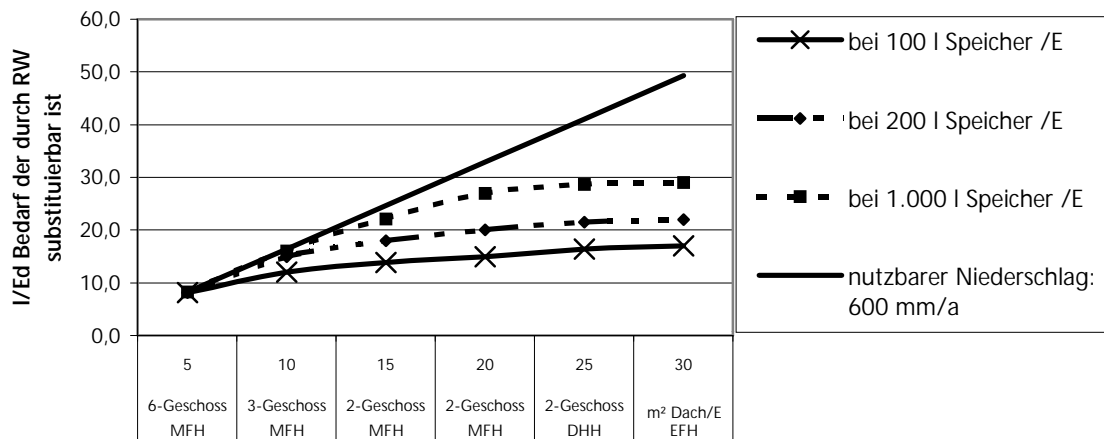
- Die drei untersuchten Gebäude, die hinsichtlich aller baulichen Gesichtspunkte gleich zu den Gebäuden der Grauwassernutzung sind, verfügen über drei separate Regenwassernutzungsanlagen.
- Die spezifische Dachfläche pro Einwohner liegt bei den untersuchten Gebäuden zwischen 11 und 13 Quadratmeter pro Einwohner, Einfamilienhäuser erreichen häufig Werte von etwa 30 Quadratmeter pro Einwohner.
- Das spezifische Speichervolumen beträgt 172 bis 313 Liter je Einwohner, übliche Bemessungswerte liegen häufig zwischen 800 und 1000 Liter je Einwohner.
- Die Niederschlagshöhe betrug im Untersuchungszeitraum von etwa 3,5 Jahren durchschnittlich 689 Millimeter pro Jahr.

Wasserverbrauch / Ersatz von Trinkwasser durch Regenwasser

- Die Toilettenspülung erfolgt mit 6-Liter-Spülkästen und Stop-Taste.
- Der Wasserverbrauch für die Toilettenspülung lag in den Gebäuden mit Regenwassernutzung für ca. 75 Prozent der Einwohner zwischen 21 und 26 Liter pro Einwohner und Tag. Bei der verbleibenden Anwohnergruppe wurde ein ungewöhnlich hoher Verbrauch für die Toilettenspülung von etwa 46 Liter pro Einwohner und Tag festgestellt.

Trinkwassereinsparung

- Insgesamt wurden für die Toilettenspülung etwa 16 bis 23 Liter pro Einwohner und Tag an Regenwasser bereitgestellt und damit an Trinkwasser eingespart. Die festgestellten Ergebnisse korrelieren gut mit entsprechenden Simulationsberechnungen. Aus der folgenden Abbildung kann abgelesen werden, welche Menge an Regenwasser in Abhängigkeit von der spezifischen Dachfläche und der Speichergröße als Ersatz für Trinkwasser zur Verfügung gestellt werden kann. Als Berechnungsgrundlage wurde hier ein nutzbarer Niederschlag von 600 Millimeter pro Jahr und ein Betriebswasserbedarf von 30 Liter je Einwohner angesetzt. Es zeigt sich, dass im vorliegenden Fall mit deutlich vergrößertem Speichervolumen noch eine geringfügig höhere Menge Trinkwasser eingespart werden könnte. Bei geringerer einwohnerspezifischer Dachfläche ist die Trinkwassermenge, die eingespart werden kann, deutlich durch das Regenwasserdargebot begrenzt.



(MFH: Mehrfamilienhaus; DHH: Doppelhaushälfte; EFH: Einfamilienhaus)
 (Betriebswasserbedarf = 30 L/EW; $N_N = 600 \text{ mm/a}$)

Betriebliche Aspekte

- An den untersuchten Anlagen in Kassel haben sich die bereits an anderen Stellen festgestellten Risiken von Wasserstandsmessungen mit Schwimmern bestätigt. Durch eine Fehlfunktion von diesen Schwimmern wurde eine erhebliche Mengen an Trinkwasser ungenutzt per Überlauf in den Kanal abgeleitet. Im Anschluss wurden vom Eigentümer bewegungslose Wasserstandsmessungen, entsprechend dem derzeitigen Stand der Technik, eingesetzt.

Untersuchungen auf Wasserinhaltsstoffe und hygienische Untersuchungen

- Aus den Regenwasserspeichern wurden insgesamt 111 Proben entnommen und auf pH-Wert, Leitfähigkeit, TOC, CSB und BSB_5 untersucht. Dabei lag der pH-Wert mit 6,1 bis 6,4 erwartungsgemäß im leicht sauren Bereich. Die Leitfähigkeit war mit 150 bis 250 $\mu\text{S/cm}$ etwas über den üblichen Werten, die TOC-, CSB- und BSB_5 -Werte waren äußerst niedrig (TOC: 5,2 bis 5,6 mg/l, CSB: 3,4 bis 3,6 mg/l, BSB_5 : 1,0 bis 1,2 mg/l) und zeigen eine ausgesprochen geringe Fäulnisfähigkeit des Wassers an.
- Insgesamt wurden weiterhin 72 Proben auf hygienische Parameter untersucht. Die hygienischen Untersuchungen an den Regenwassernutzungsanlagen führten zu keinen Beanstandungen oder Einschränkungen bzgl. einer Verwendung des Betriebswassers für die Toilettenspülung.

1.3 Vergleich zwischen Betriebswassernutzung mit Grauwasser bzw. Regenwasser

Bei einem Vergleich der Betriebsergebnisse zwischen Grauwasser- und Regenwassernutzung ist zu berücksichtigen, dass bei der Regenwassernutzung der Trinkwasserbedarf reduziert wird, bei der Grauwassernutzung wird zusätzlich auch die Abwassermenge reduziert.

Potential zur Schonung der Wasserressourcen der Grauwasser- und Regenwassernutzung

- Bei der Grauwasseranlage können 98 Prozent des für die Toilettenspülung benötigten Wassers durch aufbereitetes Grauwasser bereitgestellt werden kann. Dieser Wert ist unabhängig von der Gebäudehöhe oder dem Verhältnis von Dachfläche zu Bewohnern gleichbleibend.
- Bei Regenwassernutzungsanlagen hängt die mögliche Substitution von Trinkwasser von der verfügbaren Dachfläche pro Einwohner, der Speichergröße und dem verfügbaren Niederschlag ab. Im vorliegenden Fall konnten zwischen 64 und 77 Prozent des Wasserbedarfes für die Toilettenspülung durch Regenwasser gedeckt werden.

Stromverbrauch der Grauwasser- und Regenwassernutzung

- Der Stromverbrauch der Grauwasseraufbereitung mittels Rotationstauchkörper läge bei einer vollen Auslastung der installierten Kapazität der Anlage bei etwa 1,7 kWh pro Kubikmeter aufbereitetem Betriebswasser. Bei der derzeitigen Auslastung ergibt sich ein Verbrauch von 2,9 kWh pro Kubikmeter.

- Je nach eingesetzter Aufbereitungstechnik zur Grauwasserreinigung ist von folgenden Stromverbräuchen auszugehen (bezogen auf eine Druckerhöhung mit 0,5 kWh/m³)
 - reine Speicherung (Einfamilienhaushalte) 100 Prozent
 - vertikal durchströmte Bodenfilter (Pflanzenkläranlagen) + UV 200 Prozent
 - Rotationstauchkörper + UV (Versuchsanlage Kassel) 300 bis 500 Prozent
 - Membranverfahren (Mikrofiltration) 300 bis 500 Prozent
 - belüftete biologische Verfahren + UV 500 bis 1.000 Prozent
- Der Stromverbrauch der Regenwassernutzungsanlagen entsteht durch die Druckerhöhungsanlagen und beträgt bei den untersuchten Anlagen 1,1 bis 1,2 kWh pro Kubikmeter. Der übliche Bereich für Regenwassernutzungsanlagen liegt bei 0,5 bis 1,5 kWh pro Kubikmeter.

Betriebsmittel und Wartungsaufwand der Grauwasser- und Regenwassernutzung

- Der Betriebsmittelaufwand für die Grauwasserbehandlungsanlage liegt derzeit bei etwa 890,- DM pro Jahr, bei einer Behandlungsleistung von etwa 1.300 Liter pro Tag. Bei einer vollen Auslastung der Anlage mit 3.000 Liter pro Tag ergibt sich eine nicht lineare Steigerung auf etwa 1.150 DM pro Jahr. Der Wartungsaufwand wird mit etwa 3.350,- DM pro Jahr abgeschätzt, dieser Aufwand bleibt bei einer vollen Auslastung der Anlage gleich.
- Der Betriebsmittelaufwand der Regenwassernutzung liegt bei etwa 1.400,- DM pro Jahr (inkl. Trinkwassernachspeisung), der Aufwand steigt proportional zum Gesamtdurchsatz. Der Wartungsaufwand liegt bei etwa 780,- DM pro Jahr.

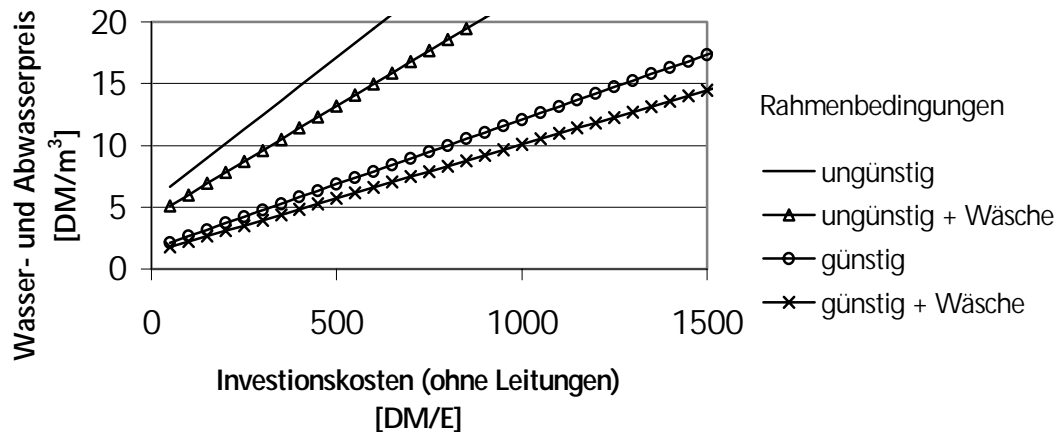
Vergleich der Investitionskosten zwischen Grauwasser- und Regenwassernutzung

- Die Investitionskosten für verschiedene Größenordnungen von Grauwasserbehandlungsanlagen wurden in einer umfassenden Marktübersicht ermittelt und in der folgenden Abbildung zusammenfassend dargestellt. Die große Streuung der erfassten Preise erklärt sich zum einen aus grundsätzlich unterschiedlichen Behandlungstechniken und zum anderen aus einer noch ausstehenden Konsolidierung der Anbieter bzw. eines nur gering entwickelten Marktes. Es ist weiterhin zu berücksichtigen, dass es sich bei einigen Anlagen um abgerechnete Erstleistungspreise und zum anderen um Richtpreisangebote für bisher nicht realisierte Anlagenkonzepte handelt. Grundsätzlich ist aus der Abbildung jedoch zu ersehen, dass mit zunehmender Auslegungsgröße deutlich günstigere Investitionskosten pro EinwohnerIn erzielt werden können.
- Im vorliegenden Fall in Kassel wurden, bezogen auf die mögliche Anschlussleistung von 150 Einwohnern, 1.184 DM pro angeschlossenen Einwohner für die Grauwasseranlage investiert. Im Rahmen der Ausschreibung für die Grauwasseranlage in Kassel wurde das günstigste Angebot berücksichtigt.



- Unter Berücksichtigung günstiger und ungünstiger Rahmenbedingungen bezüglich Wasserverbrauch, Kapital- und Betriebskosten sowie Investitionen für ein doppeltes Leitungsnetz (Details siehe Kapitel 10.2, Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.) kann abgeschätzt werden, welche Investitionen für eine Grauwasseranlage bei welchem Wasserpreis wirtschaftlich sind. In der folgenden Abbildung sind diese Überlegungen zusammengefasst.

- Die Abbildung zeigt, dass bei einem Preis von z.B. 12,50 DM pro Kubikmeter für Wasser und Abwasser unter ungünstigen Rahmenbedingungen für die Grauwasseranlage etwa 320 DM pro EinwohnerIn investiert werden dürfen. Bereits durch den Anschluss der Waschmaschine (ohne Klarspülgang) an die Grauwassernutzung erhöht sich die sinnvolle Investitionshöhe auch unter ungünstigen Bedingungen auf etwa 480 DM. Unter günstigen Rahmenbedingungen sind Investitionen von bis zu 1.050 DM bzw. bei Anschluss der Waschmaschine von bis zu 1.275 DM wirtschaftlich sinnvoll. In Verbindung mit der vorangegangenen Abbildung zeigt sich, dass vor allem Anlagen für größere Einheiten bereits heute (auch unter durchschnittlichen Rahmenbedingungen) wirtschaftlich errichtet werden können. Kleinere Anlagen sind dagegen derzeit nur bei günstigen Rahmenbedingungen betriebswirtschaftlich rentabel.



- Für Regenwassernutzungsanlagen liegen die spezifischen Investitionskosten für Einfamilienhäuser bei etwa 2.500 DM je EinwohnerIn, bei semizentralen Anlagen für 20 bis 30 Einwohner ist mit Investitionskosten von 1.100 bis 1.500 DM je EinwohnerIn zu rechnen. Im vorliegenden Fall in Kassel Hasenhecke wurden Investitionskosten von etwa 1.330 DM pro EinwohnerIn ermittelt.
Im Vergleich zu Grauwasseranlagen ist jedoch zu berücksichtigen, dass der Wartungsaufwand wesentlich geringer ist und zudem erheblich längere Abschreibungszeiten anzusetzen sind. Von daher sind die spezifischen wirtschaftlichen Investitionskosten nicht unmittelbar zu vergleichen.
Aufgrund des Aufwandes für Anlagentechnik und Wartung, der zu hohen Fixkosten führt, liegt der Anwendungsbereich der Grauwassernutzung derzeit vor allem bei semizentralen und zentralen Anlagen, während sich die Regenwassernutzung eher für dezentrale Einsatzbereiche anbietet.
Gleichwohl sind unter spezifischen Randbedingungen sowohl größere Regenwassernutzungsanlagen sowie kleine Grauwassernutzungsanlagen erfolgreich realisiert worden.

1.4 Ausblick / Empfehlungen

- Wasserwirtschaftlich gesehen bieten Grauwasseranlagen bereits ab zwei Geschossen spätestens ab drei Geschossen Vorteile gegenüber Regenwassernutzungsanlagen, da ein deutlich höherer Anteil des Wasserbedarfes für die Toilettenspülung durch Betriebswasser gedeckt werden kann.
- Die Grauwassernutzung ist noch am Beginn einer Markteinführung. Bisher existieren, abgesehen von einigen Anlagen in Privathäusern, daher nur wenige größere Anlagen. Dies wird sich durch die heutigen Angebote jedoch in Kürze ändern und damit werden Vorteile für die Entwicklung der Grauwassernutzung entstehen.
- Bereits derzeit sind Grauwasseranlagen ab Größenordnungen von etwa 200 angeschlossenen Anwohnern wirtschaftlich einsetzbar.
- Für die nähere Zukunft ist zu erwarten, dass aufgrund der technologischen Entwicklung auch kleinere Anlagen zur Nutzung von Grauwasser wirtschaftlich betrieben werden können.
- Vor diesem Hintergrund kann bereits heute z.B. den Wohnungsbauunternehmen empfohlen werden, die für eine Grauwassernutzung benötigten Betriebswasserleitungen und die separaten Fallleitungen bei jedem Neubau und jeder Generalsanierung zu installieren, bei denen etwa 100 Anwohner zusammengeführt werden können.