

Grauwasserrecycling wirtschaftlich schon rentabel?

Recyclinganlagen für Grauwasser: Qualitätsanforderungen, Verfahrensübersicht und Wirtschaftlichkeit

Prof. Dr.-Ing. Jutta Kerpen, Institut für Umwelt- und Verfahrenstechnik
 Dipl.-Ing. Dominik Zapf

Angesichts der hohen Kosten der konventionellen Abwasserentsorgung mit ihrem großen Verbrauch an Energie und natürlichen Ressourcen wurden in den letzten Jahren zunehmend neue, nachhaltige Wege der dezentralen Abwasserentsorgung entwickelt. Zu den alternativen Sanitärkonzepten zählt neben der separaten Behandlung der Abwasserteilströme Braun- und Gelbwasser das Grauwasserrecycling. Letzteres ist eng mit den alternativen Sanitärkonzepten verbunden, aber kann bereits heute nach dem Stand der Technik und mit wenig Aufwand einen Beitrag zur Abwasserproblematik und zur Schonung der lebenswichtigen Ressource Wasser beisteuern. Untersuchungen vom September 2005 im Rahmen der Diplomarbeit des Mitautors haben gezeigt, dass Grauwasserrecyclinganlagen bei einer geringen Anzahl von Personen wirtschaftlich noch nicht rentabel sind, für größere Einheiten wie z.B. Hotels und Sportanlagen jedoch zu einer erheblichen Kostenersparnis beitragen können.

Dezentrale Verfahren zur Behandlung der verschiedenen Abwasserteilströme werden in den kommenden Jahren vor dem Hintergrund der Bewältigung der Abwasserproblematik verstärkt zum Einsatz kommen. Besonders interessant sind die dezentralen Konzepte zur Behandlung der Abwasserteilströme für:

- Ländliche Gemeinden
- Siedlungen, Neubaugebiete
- Schwimm- und Sportanlagen
- Hotelkomplexe
- Passagier-, Handels- und Marine-Schiffe
- Industrie- und Gewerbebetriebe

Häusliches Schmutzwasser setzt sich aus den Abwasserteilströmen Schwarz-, Gelb-, Braun- und Grauwasser zusammen:

- Schwarzwasser: Sanitärwasser der Toiletten und Urinale (Fäkalien mit Spülwasser)

- Gelbwasser: Urin aus Separationstoiletten und Urinalen (mit und ohne Spülwasser)
- Braunwasser: Schwarzwasser ohne Urin bzw. Gelbwasser
- Grauwasser: häusliches Abwasser aus Küche, Bad, Dusche, Handwaschbecken, Waschmaschine. Zur häuslichen Aufbereitung von

Grauwasser wird das Abwasser der Küche wegen seines hohen Verschmutzungsgrades durch Fette und Speisereste meistens nicht verwendet. Der Verfahrensaufwand für eine häusliche Aufbereitung wäre hier viel zu groß. Zum Grauwasserrecycling wird daher nur das leicht belastete Abwasser aus Bade- und Duschwannen, Handwaschbecken und eventuell das der Waschmaschinen genutzt und zu Betriebswasser aufbereitet. Betriebswasser ist hygienisch unbedenkliches Wasser, das für den Einsatz in Gewerbe und Haushalt keine Trinkwasserqualität haben muss.

Qualitätsanforderungen an aufbereitetes Grauwasser

Gesammeltes Grauwasser aus einem Speicherbehälter ohne jegliche Reinigung weiter zu verwenden, ist nicht empfehlenswert. Das Grauwasser enthält pathogene Keime und Inhaltsstoffe, die je nach Auf-

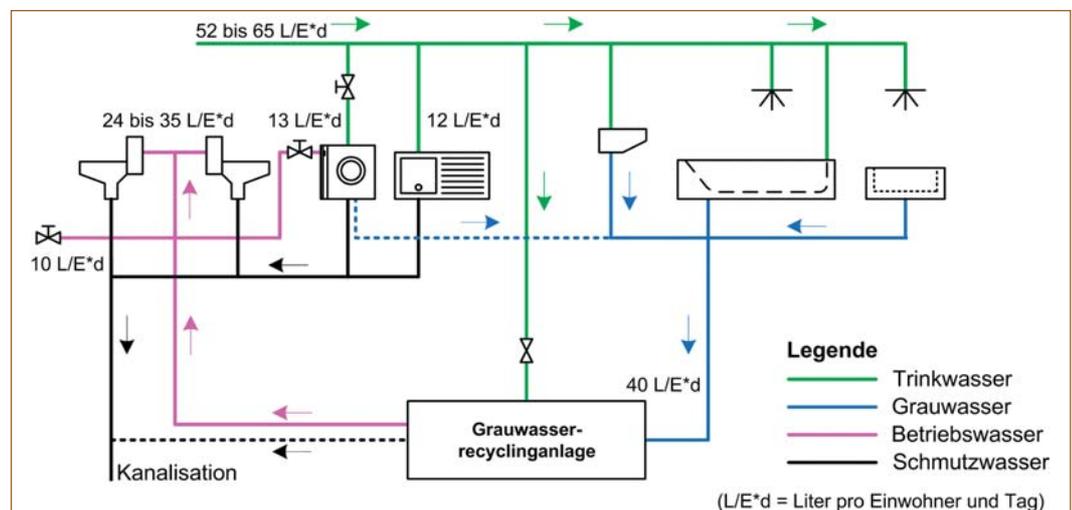


Abb.1 Wasser- und Abwasserströme in einem Wohnhaus

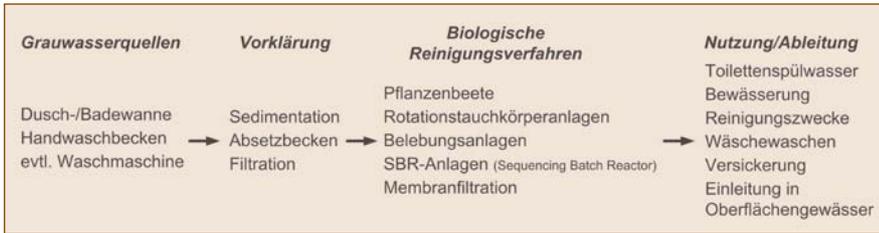


Abb.2 Verfahren zum Grauwasserrecycling

Qualitätsziele	Beurteilungskriterien/Begründung
hygienisch/mikrobiologisch einwandfrei ^{A)}	Gesamtcoliforme Bakt.: 0/0,01 ml (< 100/ml) P. aeruginosa: 0/1,0 ml (< 1/ml) Fäkalcoliforme Bakt.: 0/0,1 ml (< 10/ml)
niedriger BSB ^{B)}	BSB ₇ unter 5 mg/l, um sicherzustellen, dass das Grauwasser weitgehend gereinigt ist
farblos und klar ^{B)}	UV-Transmission _{254 nm} in 1 cm Küvette: mind. 60%
möglichst sauerstoffreich ^{B)}	> 50 % Sättigung, damit das Betriebswasser lagerfähig ist
nahezu schwebstofffrei, nahezu geruchlos, nicht fäulnisfähig in 5 Tagen ^{B)}	damit Armaturen einwandfrei funktionieren und kein Komfortverlust für die Nutzer eintritt

A) EU-Richtlinie 76/160/ EWG über die Qualität der Badegewässer, 1975

B) Senatsverwaltung für Bau- und Wohnungswesen "Betriebswassernutzung in Gebäuden", Berlin 1995

Abb.3 Anforderungen an die Qualität von Betriebswasser zur Nutzung in Gebäuden [SenBauWohn, 1995]

enthaltzeit zu anaeroben Prozessen mit starken Geruchsbelastungen im Speicherbehälter führen [1]. Eine biologische Behandlung von Grauwasser ist für eine Wiederverwendung als Betriebswasser unumgänglich. In Deutschland bestehen keine gesetzlichen Qualitätsanforderungen an Betriebswasser aus Grauwasserrecyclinganlagen. Lediglich die Erstellung und die In- bzw. Außerbetriebnahme von Betriebswassernutzungsanlagen müssen nach der Trinkwasserverordnung bei den örtlichen Gesundheitsämtern angezeigt werden. Des Weiteren schreibt die Trinkwasserverordnung eine strikte Trennung des Betriebswassernetzes vom Trinkwassernetz vor [2].

Für Betriebswasser bzw. Wasser, das für seinen Einsatz keine Trinkwasserqualität besitzen muss, haben sich die Anforderungen der Berliner Senatsverwaltung und die Grenzwerte der EU-Richtlinie für Badegewässer bewährt, Abb.3. Die Grenzwerte der Badegewässerrichtlinie wurden so ausgelegt, dass es bei einem Ganzkörperkontakt

über einen längeren Zeitraum oder einer oralen Aufnahme kleiner Wassermengen zu keiner Erkrankung kommen kann [3]. Untersuchungen haben gezeigt, dass biologisch aufbereitetes Grauwasser problemlos als Toilettenspülwasser, Waschmaschinenwasser, für Reinigungszwecke und zur Bewässerung eingesetzt werden kann oder zur Grundwasserneubildung versickert [1].

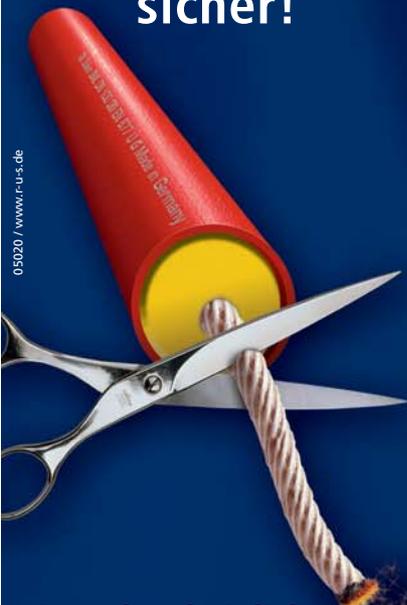
Grauwassermenge

Die Sanitärinstallation und die Nutzergewohnheiten spielen beim Wasserverbrauch bzw. beim Grauwasseranfall eine große Rolle und variieren daher von Haushalt zu Haushalt erheblich. Der durchschnittliche Grauwasseranfall aus Dusch-/Badewanne und Handwaschbecken beträgt in Neubauten oder sanitärtechnisch sanierten Gebäuden etwa 40 L/E*d und deckt ohne Trinkwassernachspeisung den Bedarf an Toilettenspülwasser (25 bis 35 L/E*d) ab, Abb.1 [1]. In manchen Gewerbebetrieben, z.B. Hotels, Sportanlagen, Badeanstalten etc., kann eine noch größere Menge an Betriebswasser aus Grauwasser

Düker

@NORM

sicher!



05020 / www.f-u-s.de

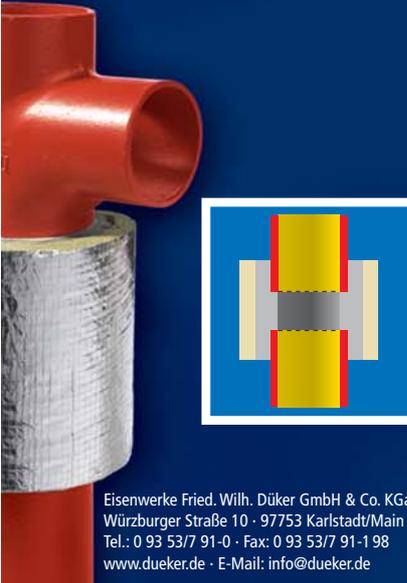
Die wahrscheinlich beste Brandschutzlösung der Welt ...

... packt das Problem an der Wurzel: Die Wärmeübertragung gusseiserner Abflussrohre wird nicht „eingepackt“, sondern von vornherein verhindert – und die Montage ist einfach wie noch nie.

Fordern Sie gleich weitere heiße Informationen an!

Hotline:

0 93 53/7 91-2 80



Eisenwerke Fried. Wilh. Düker GmbH & Co. KGaA
 Würzburger Straße 10 · 97753 Karlstadt/Main
 Tel.: 0 93 53/7 91-0 · Fax: 0 93 53/7 91-1 98
 www.dueker.de · E-Mail: info@dueker.de

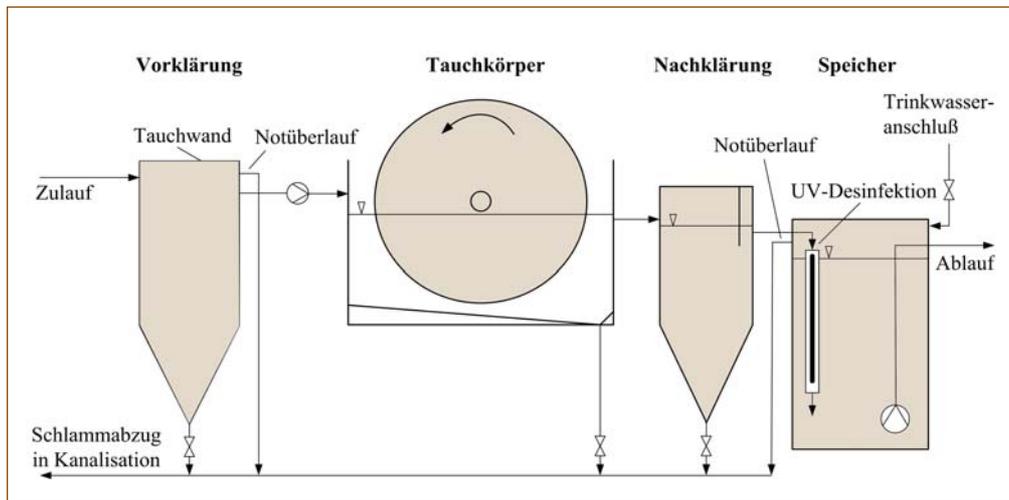


Abb.4 Verfahrensskizze

gewonnen werden. Grauwasser wird im Vergleich zu Regenwasser witterungsunabhängig und in täglich nahezu gleicher Menge erzeugt.

Grauwasser-Recyclinganlagen

In Deutschland existieren zahlreiche Anbieter von Grauwasser-Recyclinganlagen. Die Aufbereitung erfolgt mittels naturnaher oder technischer Verfahren, die bereits erfolgreich in der Abwasserentsorgung, Abb.2 eingesetzt werden:

- Pflanzenbeete
- Belebungsanlagen
- SBR-Anlagen (Sequencing Batch Reactor)
- Rotationstauchtropfkörper-Anlagen
- Membranfiltration

Die Grauwasseraufbereitung beginnt mit der Erfassung des Grauwassers über ein getrenntes Rohrleitungssystem. Die erste Reinigungsstufe, die Vorklärung, trennt das Grauwasser von ungelösten Stoffen (z.B. Haaren, Textilflusen), bevor es der biologischen Reinigung zugeführt wird. Hier bauen Mikroorganismen unter Sauerstoffzufuhr die gelösten Stoffe (z.B. Kohlenstoff, Phosphat, Stickstoff) im Grauwasser ab. Kohlenstoff wird zu Kohlendioxid oxidiert. Nach der biologischen Reinigung wird das Grauwasser mittels einer UV-Lampe desinfiziert und zur weiteren Verwendung

in den Betriebswasserspeicher eingeleitet. Belebungs- und insbesondere SBR-Anlagen werden bereits in ländlichen Regionen als Kleinkläranlagen zur dezentralen Behandlung des kompletten Abwassers erfolgreich eingesetzt. Diese Verfahren sind zum Grauwasserrecycling ebenso gut geeignet wie der Betrieb von Pflanzenbeeten. Diese haben sich bereits in vielen Referenzprojekten erfolgreich bewährt und stellen den kostengünstigsten Betrieb zur Grauwasseraufbereitung dar. Zahlreiche Referenzprojekte der Rotationstauchtropfkörper-Anlagen haben den Einsatz

dieses Verfahrens besonders bei hoher Nutzerzahl technisch sowie wirtschaftlich bestätigt, Abb.4. Die Rotationstauchkörper-Anlage des 4-Sterne-Hotels Arabella Sheraton mit 400 Betten in Offenbach/Main hat sich bereits nach sechs Jahren amortisiert. Die Anlage bereitet täglich 15.000 Liter Abwasser aus Bad und Dusche zu Toilettenspülwasser auf. Membrantechnologie als leistungsstarke Alternative zu herkömmlichen Aufbereitungsverfahren wird erfolgreich in der Trink- und Abwasseraufbereitung eingesetzt. Vor allem sehr gute Ablaufwerte und geringer Platzbedarf der Anlagen zeichnen dieses Verfahren aus. Der höhere Energieverbrauch ist ein Nachteil dieser Technologie. Hersteller von Grauwasser-Recyclinganlagen garantieren eine Wasserqualität des Betriebswassers nach der EU-Badegewässer-Richtlinie und sichern eine schnelle und einfache Montage, Installation und Inbetriebnahme zu [4]. Des Weiteren wurden die Anlagen für den Keller oder für den Einbau in vorhandene Mehrkammergruben konzipiert.

folgreich in der Trink- und Abwasseraufbereitung eingesetzt. Vor allem sehr gute Ablaufwerte und geringer Platzbedarf der Anlagen zeichnen dieses Verfahren aus. Der höhere Energieverbrauch ist ein Nachteil dieser Technologie. Hersteller von Grauwasser-Recyclinganlagen garantieren eine Wasserqualität des Betriebswassers nach der EU-Badegewässer-Richtlinie und sichern eine schnelle und einfache Montage, Installation und Inbetriebnahme zu [4]. Des Weiteren wurden die Anlagen für den Keller oder für den Einbau in vorhandene Mehrkammergruben konzipiert.

Ort	Gebühren [€ pro m ³]		
	Trinkwasser	Abwasser	zusammen
Lorch	4,04	4,15	8,19
Grävenwiesbach	3,37	4,15	7,52
Waldkappel	3,10	4,20	7,30
Hessen Ø	1,85	2,87	4,72
Wiesbaden	2,51	2,15	4,66
Deutschland Ø*	1,81	2,5	4,31
Frankfurt	2,01	2,15	4,16
Heuchelheim	1,75	1,02	2,77
Rodgau	1,42	1,29	2,71
Einhausen	0,85	1,80	2,65

* BGW 2005

Abb.5 Übersicht Abwasser- und Trinkwassergebühren in Hessen [IHK Arbeitsgemeinschaft Hessen, 2005]

Wirtschaftlichkeit

Die Investition in eine Grauwasser-Recyclinganlage soll sich durch Einsparung an Trink- und Abwassergebühren nach wenigen Jahren amortisieren. Untersucht wurden Anlagen dreier verschiedener Hersteller, die für ein Einfamilienhaus oder ein Hotel für 50 Gäste ausgelegt sind. Die Investitions- und Betriebskosten stehen dem Gewinn aus der Ersparnis der Trink- und Abwassergebühr gegenüber. Die Wirtschaftlichkeit der Anlagen hängt von folgenden Faktoren ab:

- Trink- und Abwassergebühren (schwanken in Deutschland stark)
- Grauwassermenge (Duschgewohnheiten variieren stark)
- Investitionskosten (für Anlagen und das separate Rohrleitungsnetz)
- Betriebskosten (Wartungs-, Energie- u. Verschleißkosten)
- Förderungsmittel (Wasserspar-Maßnahmen werden nicht überall gefördert)

Trink- und Abwassergebühren unterliegen in Deutschland hohen Schwankungen und beeinflussen somit die Amortisationsdauer einer Grauwasser-Recyclinganlage erheblich. Allein innerhalb Hessens unterscheiden sich die Gebühren beträchtlich, Abb.5.

Für die Wirtschaftlichkeitsberechnung wurde eine durchschnittliche Gebühr von 4,50 € pro m³ für Trink- und Abwasser angenommen [5]. In einem 5-Personen-Haushalt können bei einem durchschnittlichen Grauwasseranfall von 40 L/E*d etwa 329 € jährlich eingespart werden. In Abb.6 ist Hersteller 3 der einzige, der eine Aufbereitung des Grauwassers mit dem Waschmaschinenabwasser gewährleistet (Ø 53 L/E*d), wobei bis zu 435 € eingespart werden können. In allen drei Anlagen kann ebenfalls das Niederschlagswasser aufgefangen und als Betriebswasser mit verwendet werden. Eine Mitbenutzung des Niederschlag- oder Waschmaschinenabwassers ist nur dann sinnvoll, wenn der Betreiber einen hohen Bedarf an Betriebswasser hat. Die Installationskosten für das separate Rohrleitungsnetz sind abhängig vom Grundriss des Gebäudes und können stark variieren.

Die Berechnungen zur Wirtschaftlichkeit von Grauwasser-Recyclinganlagen für ein Einfamilienhaus und ein Hotel für 50 Gäste haben ergeben, dass sich bei den jetzigen Investitionskosten sowie Trink- und Abwassergebühren in Deutschland bei einer Abschreibungszeit von 10 Jahren eine Investition noch nicht rentiert. Die Betriebskosten der Grauwasser-Recyclinganlage 1 setzten sich wegen ihres geringen Energieverbrauchs und wartungsfreien Betriebs erheblich von den anderen beiden Herstellern ab. Die hohen Betriebskosten der Anlagen der Hersteller 2 und 3 erschweren einen wirt-

Alles für die Entwässerung



Wasser leiten - Wasser nutzen

- Rückstauverschlüsse und Reinigungsrohre innerhalb und außerhalb von Gebäuden
- Abläufe aus Kunststoff, Gusseisen, Edelstahl innerhalb und außerhalb von Gebäuden
- Hebeanlagen / Pumpen, Pumpstationen, Warn- und Schaltgeräte
- Abscheideranlagen
- Schachtsysteme aus Kunststoff
- Regenwassernutzanlagen
- Anlagenbau und Projektierung

 **KESSEL**

Alles für die Entwässerung

www.kessel.de

Hersteller		1		2	3*	
Aufbereitungsverfahren		Beleuchtungsanlage mit UV-Desinfektion		Membranfiltration		
EW		4 bis 5	Hotel für 50 Gäste	4 bis 5	4 bis 5	Hotel für 50 Gäste
Invest.-Kosten	Anlage [€]	4390,-	18500,-	4600,-	3500,-	25000,-
	Rohrleitung [€]	700,-	6000,-	700,-	700,-	6000,-
	Invest.-Kosten zusammen [€]	5090,-	24500,-	5300,-	4200,-	31000,-
Abschreibung 10 Jahre [€/Jahr]		509,-	2450,-	530,-	420,-	3100,-
Betriebskosten [€/Jahr]		59,-	279,-	422,-	495,-	856,-
Jährliche Gesamtkosten der ersten 10 Jahre [€/Jahr]		568,-	2539,-	952,-	915,-	3956,-
Kostensparnis (Gewinn) [€/Jahr]	4 EW	263,-	-	263,-	348,-	-
	5 EW	329,-	-	329,-	435,-	-
	Hotel für 50 Gäste	-	3656,-	-	-	3656,-
Amortisationsdauer [Jahr]		u. A.	26	u. A.	u. A.	u. A.

u. A. = unrentable Amortisationsdauer

* Anlagenkosten beziehen sich nur auf Membranmodul, Belüftung und Steuerung (ohne Kammer oder Speicher)

Abb.6 Amortisationsdauer von Grauwasser-Recyclinganlagen

schaftlichen Betrieb besonders für ein Einfamilienhaus. Die beträchtlichen Wartungskosten und der höhere Energiebedarf der Membranfiltrationsanlagen sind für die erheblichen Betriebskosten verantwortlich.

Grauwasser-Recyclinganlagen lassen sich ab einer angeschlossenen Nutzerzahl von 150 bis 200 Bewohnern wirtschaftlich betreiben. Mit zunehmender Anlagengröße und steigendem Anschlussgrad sinken die Investitions- und Betriebskosten pro Nutzer. Grauwassermengen deutlich über 40 L/E*d oder Trink- und Abwassergebühren über 4,50 €/m³ würden die Amortisationsdauer erheblich verkürzen. Wassersparmaßnahmen, wie z.B. Regenwassernutzung oder auch Grauwasserrecycling werden von vielen Kommunen und Bundesländern gefördert und verkürzen die Amortisationsdauer ebenfalls.

Ausblick

Aus ökologischer Sicht trägt Grauwasserrecycling zur Nachhaltigkeit der Ressource Wasser bei. Aufbereitetes Grauwasser kann Trinkwasser in vielerlei Hinsicht ersetzen und überall dort eingesetzt werden, wo aus hygienischen Gründen kein Trinkwasser erforderlich ist. In Deutschland, das keinesfalls unter einer Wasserknappheit leidet,

ist diese Umwelt- und Zukunftstechnologie für eine geringe Nutzerzahl (Einfamilienhäuser) ohne entsprechende Förderung noch zu teuer. Der Einsatz von Grauwasser-Recyclinganlagen wird sich nur dann langfristig etablieren können, wenn die Ersparnisse durch entfallende

■ Ausschreibung
■ Vergabe
■ Abrechnung

Kostenlose Testversion

Tel. 08031-40688-0
 Fax 08031-40688-11



e-mail: info@orca-software.com
www.orca-software.com

Trink- und Abwassergebühren höher sind als die Investitions- und Betriebskosten. Trink- und Abwasserpreise sind in Deutschland zurzeit als stabil anzusehen, werden aber in den nächsten Jahren oder Jahrzehnten voraussichtlich eher steigen als sinken [5]. Aus diesem Grund wäre es ratsam, bei einem Neubau oder einer Grundsanierung in die Installation für ein separates Rohrleitungsnetz zur Grau- oder Regenwassernutzung zu investieren.

Der in- und ausländische Markt für dezentrale Wassertechnologien stellt eine große Chance für deutsche mittelständische Unternehmen dar [6]. In Südeuropa hat die diesjährige extreme Trockenperiode eine Wasserknappheit hervorgerufen, wie sie seit Jahrzehnten nicht aufgetreten ist. Hier könnte das Grauwasserrecycling in Ein- und Mehrfamilienhäusern, Sportanlagen, Campingplätzen und besonders in großen Hotelkomplexen zum Einsatz kommen. Dort könnte es als Toiletten-spülwasser, zur Bewässerung der Grünanlagen, Golfplätze, in der Landwirtschaft und zur Versickerung (Grundwasserneubildung) eingesetzt werden.

Autoren

Prof. Dr.-Ing. Jutta Kerpen, Dekan

Dipl.-Ing. Dominik Zapf*

Institut für Umwelt- und Verfahrenstechnik

Fachhochschule Wiesbaden

*Diplomarbeit von Dipl.-Ing. Dominik Zapf, September 2005: „Grauwasser-Recycling im Rahmen alternativer Sanitärkonzepte - Marktanalyse und Wirtschaftlichkeit von Grauwasser-Recyclinganlagen in Deutschland“

Weitere Informationen unter:

www.iuvt.fh-wiesbaden.de

Literatur

- [1] fbr Hinweisblatt H 201, 2005 Grauwasser-Recycling - Planungsgrundlagen und Betriebsweise unter <http://www.fbr.de>
- [2] Trinkwasserverordnung (TrinkwV) 01
- [3] Nolde, E., 1999 Qualitätsanforderungen und hygienische Aspekte beim Grauwasser-Recycling in Schriftenreihe fbr 5 Grauwasser- Recycling
- [4] fbr Marktübersicht Regenwassernutzung und Regenwasserversickerung Ausgabe 2005/2006
- [5] BGW (Bundesverband der deutschen Gas- und Wasserwirtschaft) und ATVDVWK, 2003 unter <http://www.bgw.de>
- [6] Nolde, E., fbr Wasserspiegel 2/2004

Die Welt ist keine Scheibe - Ihre Anzeigen auch nicht [...]



innovatools

Werkzeuge für den Erfolg

Fach.**Journal**

Fachzeitschrift für Erneuerbare Energien & Technische Gebäudeausrüstung

[Hier mehr erfahren](#)



innovapress

*Innovationen publik machen
schnell, gezielt und weltweit*

Filmproduktion | Film & Platzierung | Interaktive Anzeige | Flankierende PR | Microsites/Landingpages | SEO/SEM | Flashbühne