

Grauwassernutzung im Arabella-Sheraton Hotel Offenbach

Dipl.-Ing. Erwin Nolde
Nolde & Partner innovative Wasserkonzepte
10405 Berlin
mail@nolde-partner.de

Zusammenfassung

Neben den architektonischen Besonderheiten - drei Komplexe unterschiedlicher Stilrichtungen wurden harmonisch miteinander verknüpft - weist das im August 95 fertiggestellte 4-Sterne ARABELLA-SHERATON HOTEL AM BÜSING PALAIS in Offenbach am Main eine weitere Besonderheit auf, die bisher einzigartig für ein derartiges Hotel ist. Eine in der Tiefgarage etwa 2 PKW-Stellplätze beanspruchende (Grauwasser)-Recyclinganlage. Mit dieser Anlage wird der Trinkwasserverbrauch – allein für die Toilettenspülung - jährlich um ca. 5 Mio. Liter reduziert.

Das in den insgesamt 221 Hotelzimmern (400 Betten) aus den Badewannen und Duschen stammende Grauwasser wird über ein separates Leitungsnetz gesammelt, in einer sechsstufigen Tauchkörperanlage gereinigt und mittels UV-Bestrahlung desinfiziert, bevor es seit Februar 1996 in den Hotelzimmern als Toilettenspülwasser - ohne Zusatz von Chemikalien - wiederverwendet wird. Die Wasserqualität ist hervorragend, für die Hotelgäste ist kein Unterschied zu den sonst üblicherweise mit Trinkwasser gespülten Toiletten festzustellen. Durch die weitgehende Automatisierung funktioniert der Anlagenbetrieb reibungslos, einmal jährlich wird die Anlage vom Hersteller gewartet.



Foto 1: Ansicht vom ARABELLA-SHERATON HOTEL AM BÜSING PALAIS in Offenbach mit Blick auf die ehemalige 11 Meter hohe Schwimmhalle, die zur Empfangshalle sowie Bar und Restaurant umgestaltet wurde.

Trinkwasserverbrauch im Hotel

Der Trinkwasserverbrauch in Hotels wird in der Literatur mit 150 bis 1300 Liter pro Gast und Tag angegeben und liegt damit weit über dem im Wasserfach bekannten Durchschnittsverbrauch. Dabei steigt – in grober Annäherung – der Tageswasserverbrauch mit steigendem Komfortgrad des Hotels, wobei sicherlich die in den Komfort-Hotels zur Verfügung stehenden Sport- und Freizeiteinrichtungen (Hallenbad, Sauna, Sportraum) sowie die medizinischen Anwendungen den überwiegenden Anteil am Wasserverbrauch verursachen.

Trinkwassersparende Maßnahmen sind - gerade in Anbetracht der ständig steigenden Kosten für die Trinkwasserver- und Abwasserentsorgung - somit ein geeignetes Mittel das Betriebsergebnis zu verbessern. Der Einsparung durch verbrauchsarme Armaturen sind gerade im Hotel der Luxusklasse Grenzen gesetzt, zumal die Gäste i. d. R. höhere Komfortansprüche haben und das Duschen und Baden in luxuriös ausgestatteten Bädern oft mehr als nur einmal täglich genießen wollen. Die tägliche, gewissenhafte Reinigung und Pflege der Sanitäreinrichtungen ist mit einem weiteren, nicht zu vernachlässigenden (Trink-)Wasserverbrauch verbunden, der bedeutend höher anzusiedeln ist als in Privathaushalten.

Eigene Voruntersuchungen ergaben, dass im ARABELLA-SHERATON HOTEL AM BÜSING PALAIS pro Übernachtung - trotz wassersparender Armaturen - mit einem täglichen Grauwasseranfall aus den Gästezimmern zwischen 70 und 90 Liter pro Person zu rechnen ist. Der Betriebswasserbedarf beträgt - allein zur Toilettenspülung in den Hotelzimmern - trotz 6 Liter-Spülkästen mit Spül-Stopp-Einrichtung zwischen 50 und 70 Liter pro Übernachtung. Sowohl der Grauwasserzulauf als auch der Betriebswasserbedarf haben, wie in Abbildung 1 darstellt, jeweils ein ausgeprägtes Maximum im Zeitraum zwischen 6:00 und 10:00 morgens, wobei der Grauwasserzulauf erheblich höher ist als der Betriebswasserverbrauch.

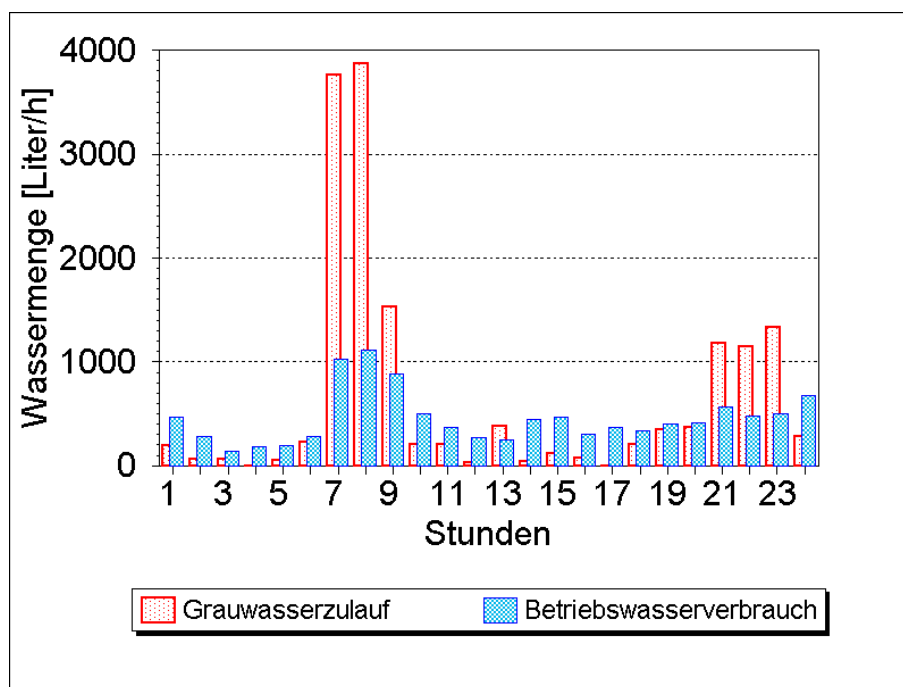


Abb. 1: Typische Verlaufskurve für den Grauwasseranfall und Toilettenspülwasserverbrauch im ARABELLA-SHERATON HOTEL AM BÜSING PALAIS. Bei 217 Übernachtungen betrug der Grauwasserzulauf in 24 Stunden 15,67 m³ und der Betriebswasserverbrauch (in den Hotelzimmern) insgesamt 10,91 m³

Belastung des Grauwassers

Das Grauwasser aus den Badewannen und Duschen wird insbesondere durch diverse unterschiedliche Körperpflegemittel und Sanitärreinigungsmittel verschmutzt. Starke Desinfektions- und Reinigungschemikalien werden, sofern überhaupt, nur selten eingesetzt, obwohl spezielle Tests mit größeren Mengen an Haushaltschemikalien (Sanitärreiniger und Desinfektionsmittel) gezeigt haben, dass die Recyclinganlage dadurch keinen Schaden erleidet. Die gemessenen Belastungen des zulaufenden Grauwassers sind - verglichen mit kommunalem Abwasser - mit bis um 90 mg/l BSB₇ bedeutend niedriger, gleichwohl sind die Anforderungen an ein Betriebswasser zur Nutzung in Gebäuden erheblich höher als die geforderten Ablaufqualitäten von kommunalen Klein- sowie Großkläranlagen.

Qualitätsanforderungen an die Betriebswassernutzung

Bei der Betriebswassernutzung muss ausgeschlossen sein, dass weder die Nutzer noch das Personal einem erhöhten Gesundheitsrisiko ausgesetzt werden und insgesamt kein Komfortverlust zu befürchten ist [1]. Gesetzlich definierte Anforderungen, wie beispielsweise die Trinkwasserverordnung, existieren für die Betriebswassernutzung in Gebäuden bisher nicht. In Konsens, u. a. mit den Berliner Senatsverwaltungen und dem Umweltbundesamt hat die Senatsverwaltung für Bau- und Wohnungswesen auf der Basis von mehrjährigen Untersuchungsergebnisse der TU Berlin, 1995 erstmalig - in Form eines Merkblatts - Anforderungen an die Qualität von Betriebswasser zur Nutzung in Gebäuden definiert [2]. Die Einhaltung der "Berliner Qualitätsziele" - dargestellt in Tabelle 1 - werden vom Berliner Anlagenhersteller, der Firma Lokus GmbH, seit 1995 garantiert und von den Wasserhygienikern als völlig ausreichend eingestuft. Sie orientieren sich an den EU-Hygieneanforderungen für Badegewässer [3], die bislang von kaum einer kommunalen Kläranlage eingehalten werden.

Tab. 1: Anforderungen an die Qualität von Betriebswasser zur Nutzung in Gebäuden [2]

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

* Der BSB₇ (biochemischer Sauerstoffbedarf), gemessen über einen Zeitraum von 7 Tagen, ist ein geeigneter Wirkungsparameter, dessen Zahlenwert Auskunft über die Menge der vorhandenen, biologisch abbaubaren Verschmutzung des Wassers gibt. Aus messtechnischen Gründen kann ggf. auch der gesamt organisch gebundene Kohlenstoff (TOC) oder der chemische Sauerstoffbedarf (CSB) als geeigneter Parameter herangezogen werden.

Anlagenbeschreibung

Das in den 212 Gästezimmern anfallende Grauwasser wird im Hotel über zwei DN 150 starken Sammelleitungen in die insgesamt etwa 6,8 m³ fassenden Sedimentations- und Vorhaltebecken geleitet. Gereinigt wird das aus den Duschen und Badewannen stammende Abwasser mittels einer 6-stufigen biologischen Reinigung, die als Tauchkörperanlage realisiert wurde. Bevor das hier sehr weitgehend gereinigte Abwasser einer UV-Desinfektion unterworfen wird, erfolgt über die mit Plattenabscheider ausgestattete Nachklärstufe die effiziente Abtrennung des (mengenmäßig gering) anfallenden Schlammes. Lediglich ausreichend desinfiziertes Betriebswasser - oder im Falle einer Betriebsstörung Trinkwasser - kann in das ebenfalls etwa 6,8 m³ fassende Betriebswasserbecken gelangen, aus dem alle Toiletten-spülkästen der Hotelzimmer gespeist werden.

Zur Grünflächenbewässerung wurde ein Regenwasserspeicher installiert, der während den warmen Sommermonaten schnell trocken fällt. In dieser Zeit kann überschüssiges Betriebswasser aus der Grauwasseranlage anstelle von Trinkwasser nachgespeist werden.

Insbesondere die in der Anlage anfallenden, absetzbaren Stoffe werden über die Abwasserhebeanlage in die Kanalisation gepumpt. Die vergleichsweise komfortable Anlagensteuerung sorgt über motorbetriebene Absperrschieber dafür, dass das ggf. nicht benötigte Grauwasser direkt in die Kanalisation abfließen kann, die Anlage stets - für die Biologie - optimal beschickt und dass bei Betriebsstörungen statt Betriebswasser rechtzeitig auf Trinkwasser-nachspeisung umgeschaltet wird. Ferner sorgt die Steuerung dafür, dass für die Grauwasserrecyclinganlage insgesamt wenig elektrische Energie benötigt wird und regelmäßig wiederkehrende Wartungsarbeiten (z.B. Schlammabzug) weitgehend automatisch ablaufen.

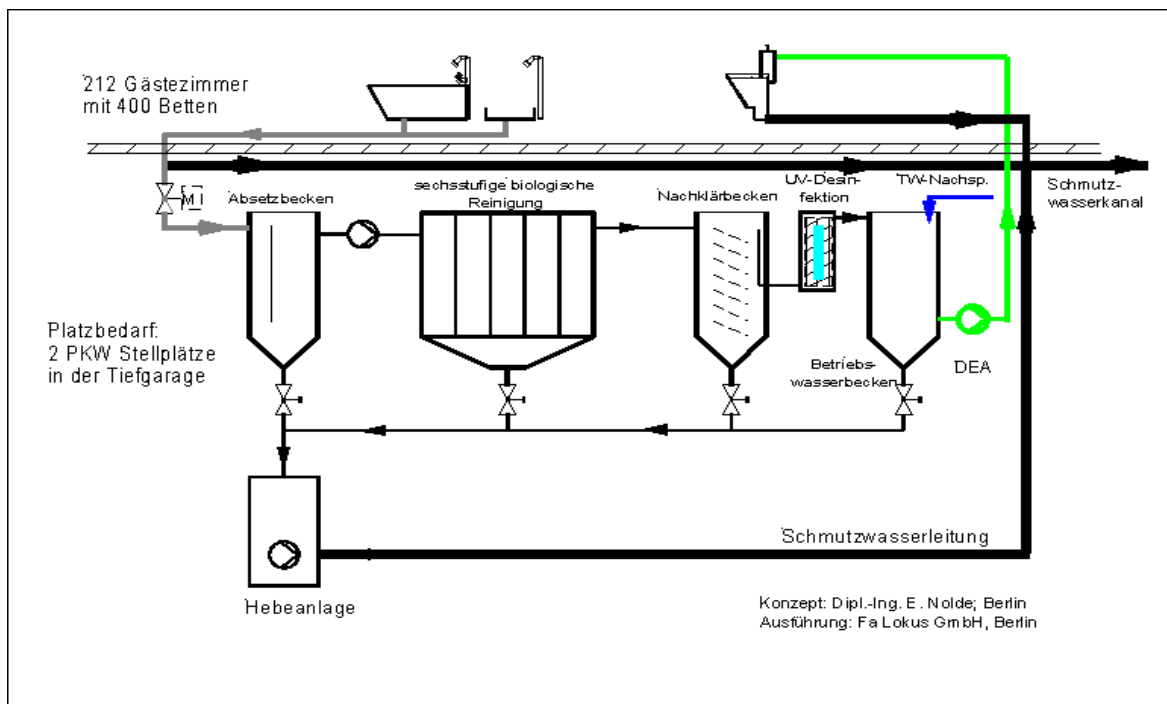


Abb. 2: Fließschema der Grauwasserrecycling Anlage im ARABELLA-SHERATON HOTEL AM BÜSING PALAIS in Offenbach am Main

Vor der Inbetriebnahme wurde das zweite Leitungsnetz überprüft, um Querverbindungen zum Trinkwassernetz auszuschließen. Zu diesem Zweck wurde das Betriebswasser kurzzeitig mit einem Lebensmittelfarbstoff (E132) blau eingefärbt.



Foto 2: Blick in den (nur zwei PKW-Parkplatz großen) Betriebsraum: Rechts die Absatz- und Vorhaltebecken, dahinter die drei ersten Tauchkörperstufen mit der Hebeanlage und dem Nachklärbecken. Beim Einbau der Anlage war bereits die Parkplatzeinteilung vorgenommen worden (weißer Strich in Raummitte)



Foto 3: Blick auf die Anlagenkomponenten Nachklärbecken (rechter Bildrand in der Mitte), dahinter drei von insgesamt sechs Tauchkörperstufen sowie der Schaltschrank, die Betriebswasserspeicher und davor die Druckerhöhungsanlage mit den Ventilen und Wassermengenzählern (von rechts nach links)



Foto 4: Blick auf die UV-Desinfektionsanlage und den vorgeschalteten rückspülbaren Feinfilter

Betriebsergebnisse

Sämtliches Toilettenspülwasser lässt sich durch aufbereitetes Dusch- und Badewasser substituieren. Da i. d. R. mehr Betriebswasser zur Verfügung steht, als hier insgesamt zur Toilettenspülung in den Hotelzimmern benötigt wird, kann überschüssiges Wasser auch zur Grünflächenbewässerung und zum Wiederauffüllen des regelmäßig zu reinigenden Fettabscheiders genutzt werden.

Die Betriebsergebnisse, der seit Februar 1996 betriebenen Anlage zeigen, dass die o. g. Anforderungen an das bereitgestellte Betriebswasser - ohne Zusatz von Chemikalien - sicher eingehalten werden. Alle Wasseruntersuchungen belegen, dass die in Tabelle 1 aufgeführten Hygieneparameter meist um zwei bis drei Zehnerpotenzen unterschritten werden und die organische Restbelastung des gereinigten Grauwassers sich nur geringfügig von der des örtlichen Trinkwassers unterscheidet. Das Betriebswasser ist absolut klar nahezu schwebstoffarm und geruchlos.

Tab. 2: Typische Betriebswasserqualität, gemessen hinter der Druckerhöhungsanlage

BSB ₇ :	< 3 mg/l	<i>E. coli</i> :	< 0,03 / ml
TOC:	1,5 –2,0 mg/l	Gesamtcoliforme Bakterien:	< 0,1 /ml
O ₂ -Sättigung:	> 70%,	<i>P. aeruginosa</i> :	< 0,1/ml

Die Betriebserfahrungen zeigen, dass die Anlage sehr gut mit Belastungsschwankungen, die aus der unterschiedlichen Bettenbelegungszahl resultieren, klarkommt. Hervorzuheben ist der vergleichsweise niedrige Energieverbrauch. Von der Sammlung des Grauwassers bis zur Verteilung des Betriebswassers sind etwa 1,0 bis 1,5 kWh pro Kubikmeter abgegebenes Betriebswasser notwendig, der Wert schwankt mit der Anlagenauslastung, wobei die niedrigsten Verbrauchswerte unter Vollast erzielt werden.

Kosten

Die reinen Investitionskosten für die Grauwasser-Recyclinganlage beliefen sich auf ca. 72.000 € (netto) zzgl. zweites Leitungsnetz, Herrichtung des Betriebsraumes und Baunebenkosten. Die tatsächlich eingesparten Wasserkosten sind in erster Linie von den örtlichen Trink- und Abwasserpreisen sowie von Belegungszahlen des Hotels abhängig. Bei einer mittleren Hotelauslastung von 70% ergibt sich ein jährliches Einsparpotential von ca. 5.000 Kubikmeter (durchschnittl. 13.500 Liter pro Tag). Bei Trink- und Abwasserkosten von 5 €/m³ werden insgesamt 25.000 €/a eingespart, wobei davon die Betriebskosten (Energie, Personalkosten, Wartung und Instandsetzung) abzuziehen sind. Diese sind nahezu nur geringfügig vom Betriebswasserverbrauch abhängig und betragen insgesamt ca. 3.900 €/a.

Zu den ständig wiederkehrenden Wartungsaufgaben zählt hier das Reinigen (Entkalken) der UV-Desinfektionsanlage. Diese Tätigkeit dauert ca. 20 Minuten, die Häufigkeit ist von der örtlichen Trinkwasserhärte abhängig. Hier sind 2 bis 3-monatige Reinigungsintervalle notwendig, an anderen Standorten mit sehr niedrigen Kalkgehalten sind die Reinigungsintervalle deutlich länger bzw. überflüssig. Bei Dauerbetrieb der Desinfektionseinrichtung sind die Strahler in einem etwa einjährigen Turnus auszutauschen. Der für den Betreiber verbleibende Betreuungsaufwand, der sich im wesentlichen auf die optische Kontrolle sowie das Notieren der Zählerstände bezieht, ist mit etwa einer halben Wochenstunde gering und wird vorbildlich durch den Haustechniker vor Ort erledigt. Für den Anlagencheck und zur Instandhaltung der Anlage werden vom Hersteller jährlich insgesamt ca. 1.200 € in Rechnung gestellt, darin enthalten ist die Anfahrt als auch den Austausch des UV-Strahlers. Für kleine Reparaturen sind in den ersten 6 Betriebsjahren jährlich deutlich weniger als 2% der Investitionssumme angefallen. Durch den Erfahrungs- und Erkenntnisfortschritt während der letzten 6 Jahre wird dieser Betrag zukünftig noch etwas niedriger anzusiedeln sein. Technische Innovationen im Bereich der einzelnen Komponenten und eine völlig neue elektronische Anlagensteuerung haben den Anlagenpreis nicht erhöht, da auf der anderen Seite Einsparungen durch einen modularisierten Aufbau erzielt werden konnten.

Die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung in der folgenden Grafik zeigt, dass sich Wasserrecyclinganlagen dort am besten amortisieren, wo es einen hohen Betriebswasserbedarf gibt. Bei Tagesdurchsätzen ab 10.000 Liter spielen die Kapitalbeschaffungskosten eine eher untergeordnete Rolle. Für die reine Anlagentechnik ist die Wirtschaftlichkeit bei einem Tagesdurchsatz von 20.000 Litern bereits nach 2,5 Jahren gegeben. Dieses ist in der Praxis allerdings nicht der Fall, weil je nach den örtlichen Voraussetzungen weitere Investitionen für ein zweites Leitungsnetz sowie für den Betriebsraum zu tätigen sind. Dadurch wird die Amortisationszeit auf etwa 5 Jahre hinausgeschoben. Diese Berechnung basiert auf konstant bleibenden Preisen, für Trink- und Abwasser wurde ein Preis von 5 €/m³ angenommen.

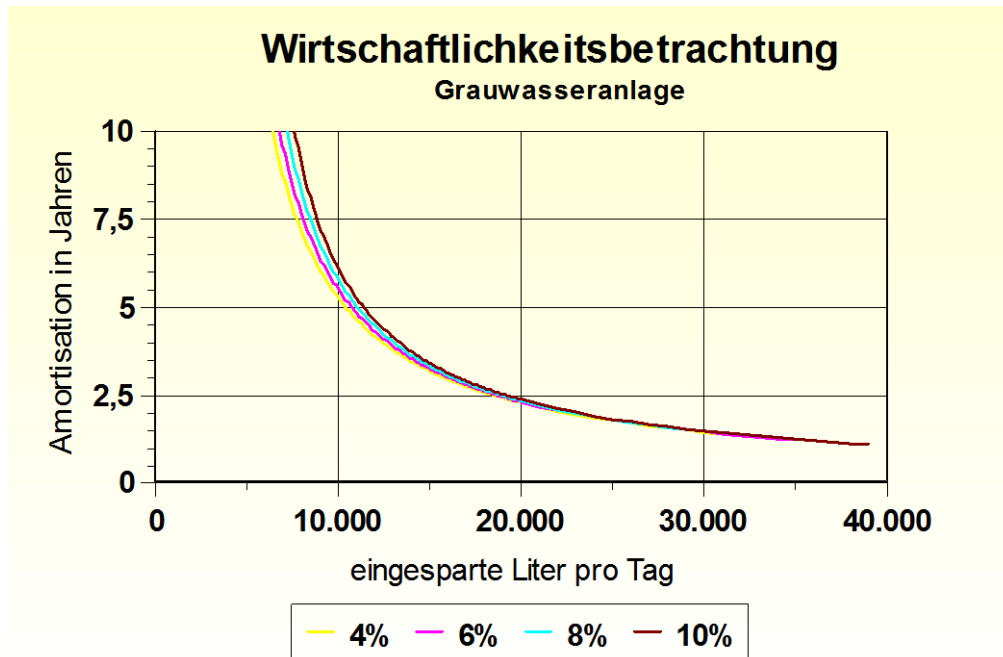


Abb. 3: Wirtschaftlichkeitsbetrachtung bei unterschiedlichen Kapitalkosten und Wasserdurchsätzen:
Basisdaten: Investitionen 72.000 €, Wartung 0,5 h/Woche (30 €/h)
 + 1.200 €/a für die Herstellerwartung, 2% Instandhaltung, 1,35 kWh/m³ je 0,15 €/kWh,
 Trink,- und Abwasserpreis 5 €/m³, alle Angaben ohne Preiserhöhungen

Ausblick

- Die Wasserrecyclinganlage im 4-Sterne ARABELLA-SHERATON HOTEL AM BÜSING PALAIS in Offenbach war die erste Anlage, die in Europa realisiert wurde. Das Konzept (biologische Abwasserreinigung und nachgeschaltete UV-Desinfektion) hat sich bestens bewährt und wird seitdem auch bei wesentlich kleineren Anlagen erfolgreich eingesetzt.
- Das hier vorgestellte Verfahren kommt ohne jeglichen Zusatz von Chemikalien aus. Auf das Zudosieren oder die Erzeugung von chlorhaltigen Desinfektionsmittel sollte aus Umweltgründen verzichtet werden.
- Die Betriebswasserqualität sollte nicht geringer als hier angegeben sein, da sonst ein entsprechender Komfortverlust – ggf. sogar hygienische Risiken erwachsen können. Die hohe Wasserqualität hat zudem den Vorteil, dass die Anlage insgesamt wenig Wartung erfordert.
- Mit handelsüblichen Kleinkläranlagen – so wie sie in der kommunalen Abwasserreinigung eingesetzt werden – sind o.g. Qualitätsanforderungen ohne wesentliche Änderungen i.d.R. nicht einzuhalten. Eine Ausnahme bilden hier die Bewachsenen Bodenfilter, die allerdings eine entsprechend große Freifläche benötigen.
- Sofern das Wasserkonzept frühzeitig in die Gesamtplanung einbezogen wird, können Investitionskosten oftmals reduziert und die Erträge erhöht werden. Ein hoher Betriebswasserbedarf bei einem gleichzeitig geringen Trinkwasserbedarf erhöht die Rentabilität enorm. In ariden Gebieten sollten in jedem Fall auch an die Bewässerung der Freiflächen gedacht werden.

- Die vorgestellte Anlagentechnik wird heute durch ihren zunehmend modularen Aufbau auf die jeweils individuellen Bedürfnisse angepasst angeboten. Weitere Innovationen, die in den letzten 6 Jahren hinzugekommen sind, tragen insbesondere zur Senkung der Betriebskosten bei und lassen eine erhöhte Lebensdauer der Anlage erwarten.

Fazit

Weltweit ist mit einer steigenden Verkappung der zur Verfügung stehenden – insbesondere der hochwertigen - Wasserressourcen zu rechnen, was sich bereits jetzt auf die Trink- und Abwasserpreise auswirkt. Nicht für jeden Verwendungszweck ist Trinkwasserqualität erforderlich. Bei Hotelneubauten und bei grundlegenden Sanierungen sollten aus Sicht des Autors heute nicht mehr auf ein zweites Leitungsnetz für die Betriebswassernutzung aus aufbereitetem Grauwasser verzichtet werden, zumal die hier vorgestellte Technologie als ausgereift bezeichnet werden kann [4]. Für Ferienhäuser und kleine -siedlungen steht neuerdings auch eine kleinere Wasserrecyclinganlage mit einem typischen Tagesdurchsatz um 500 Liter zur Verfügung. Diese Anlage funktioniert ebenfalls nach dem bewährten Prinzip „Biologische Reinigung und anschließende UV-Desinfektion“, sie benötigt etwa einen Quadratmeter Aufstellungsfläche, ist modulweise erweiterbar und kostet ca. 4.000 €.

Im Vergleich zu Meerwasserentsalzungsanlagen, die insbesondere in ariden Gebieten bereits vielfach zum Einsatz kommen, schneiden die hier vorgestellten Recyclinganlagen deutlich besser ab. Meerwasserentsalzungsanlagen erfordern einen höheren Investitionsbedarf und verursachen deutlich höhere Betriebskosten.

Ein weiteres Argument für Grauwasserrecyclinganlagen ist, das hiermit bereits der mengenmäßig größte Anteil des anfallenden Abwassers auf hohem Niveau geklärt wird, während Entsalzungsanlagen nichts zur Abwasserreinigung beitragen. Der gesamte Energiebedarf für diese dezentrale Aufbereitungstechnik ist mit 1,5 kWh –bezogen auf einen Kubikmeter gereinigtes und unter Druck verteiltes Betriebswasser - meist niedriger als vielerorts allein zum Transport des „Trinkwassers“ bis zum Hotel benötigt wird.

Literatur

[1] Nolde, E.:

Betriebswassernutzung im Haushalt durch Aufbereitung von Grauwasser.
WWt 1/95, (1995) S. 17 - 25.

[2] Senatsverwaltung für Bauen Wohnen und Verkehr Berlin (Hrsg.):

Merkblatt "Betriebswassernutzung in Gebäuden" (1995)

[3] EU-Richtlinie: Richtlinie des Rates vom 8.Dezember 1975 über die Qualität der Badegewässer (76/160/EWG)

[4] Nolde, E.: Greywater reuse systems for toilet flushing in multi-story buildings – over ten years experience in Berlin. Urban Water 1, Volume 1, Number 4, page 275 – 284, Elsevier Science, (1999).

Ferner:

- Schriftenreihe fbr 5 – Grauwasserrecycling. Fachtagung der fbr 1999.
- Schriftenreihe fbr 7 – Grau- und Regenwassernutzung in Kassel-Hasenhecke
- Schriftenreihe fbr 8 – Regenwassernutzung und –bewirtschaftung im internationalen Kontext – Internationale Regenwassertage 2001 in Mannheim. Mit einem Beitrag zu dem fbr Hinweisblatt H 201 (Grauwasser-Recycling-Anlagen für mehrere Haushalte und für den öffentlichen Bereich sowie und andere Artikel zum Thema Grauwasser.

Nähere Hinweise zu der o.g. Schriftenreihe unter www.fbr.de