

Auswahl und Bewertung von Techniken zum nachhaltigen Umgang mit Wasser in Neubaugebieten

Arbeitsstudie in Zusammenarbeit mit dem Bundesministerium
für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen

Dr.-Ing. Eberhard Böhm
Dr.-Ing. Harald Hiessl
Dipl.-Ing (FH) Thomas Hillenbrand

Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung (ISI)

Karlsruhe, Dezember 1999

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Beschreibung einzelner Techniken zur Verminderung des Trinkwasserverbrauchs und zur Rückhaltung von Regenwasser	6
2.1	Möglichkeiten der Regenwassernutzung im Haushalt und verwandten Bereichen	6
2.1.1	Technische Beschreibung der Anlagen	7
2.1.2	Dimensionierung des Speicherbehälters.....	10
2.2	Anlagen zur Grauwasseraufbereitung und -nutzung	11
2.3	Verringerung des Trinkwasserverbrauchs durch sparsame Sanitärtechnik	14
2.3.1	Wassersparende Armaturen und Durchflussbegrenzer.....	15
2.3.2	Toiletten und Urinale mit reduzierten Spülmengen	15
2.4	Regenwasserversickerung.....	16
2.4.1	Prinzipielle Ausführungsmöglichkeiten für Versickerungsanlagen (Versickerungsmethoden)	18
2.4.2	Anforderungen an Versickerungsanlagen	19
2.4.3	Ökonomische Aspekte.....	20
2.5	Dachbegrünungen.....	21
3.	Effekte und Kosten unterschiedlicher Techniken zum nachhaltigen Umgang mit Wasser im Baugebiet Calw.....	23
3.1	Allgemeine Informationen zum Baugebiet.....	23
3.2	Einspar- und Abflussminderungspotentiale der unterschiedlichen Techniken	24
3.2.1	Wassersparende Armaturen / Sanitärmöbel	25
3.2.2	Nutzung von aufbereitetem Duschwasser zur Toiletten- /Urinalspülung	29
3.2.3	Nutzung von Regenwasser zur Toiletten-/Urinalspülung und Gartenbewässerung.....	31

3.2.4	Versickerung.....	39
3.3	Abschätzung der Wirtschaftlichkeit der betrachteten Trinkwasser-Einspartechniken und Regenwasser- Rückhaltetechniken	40
3.3.1	Wassersparende Armaturen und Sanitärmöbel.....	40
3.3.2	Wirtschaftlichkeitsrechnungen zur Grauwasseraufbereitung und Regenwassernutzung	42
3.3.2.1	Methodik und Randbedingungen.....	42
3.3.2.2	Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsberechnungen.....	45
3.3.3	Dachbegrünungen.....	51
4.	Diskussion und Übertragbarkeit der Ergebnisse	52
4.1	Einfluss des Trinkwasserverbrauchs / der substituierbaren Trinkwassermenge.....	52
4.1.1	Höherer Wasserverbrauch für die Toilettenspülung.....	54
4.1.2	Geringerer / höherer Wasserverbrauch für die Gartenbewässerung.....	56
4.1.3	Nutzung von aufbereitetem Grauwasser zum Wäschewaschen.....	59
4.1.4	Reduzierter Wasserverbrauch durch Verringerung der Personenzahl während der Nutzungszeit.....	61
4.2	Auswirkungen der ökonomischen Randbedingungen	62
4.3	Sonstige Randbedingungen	66
4.4	Zusammenfassende Bewertung des Einflusses unterschiedlicher Randbedingungen auf die Einsatzchancen der betrachteten Techniken.....	68
5.	Umsetzung im Neubaugebiet Stutensee-Steinweg und geplantes Untersuchungsprogramm	73
	Literatur	76

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1:	Übersicht über am Markt angebotene Anlagen zur Aufbereitung von Grauwasser.....	13
Tabelle 2-2:	Haupttypen von Versickerungsanlagen	19
Tabelle 3-1:	Wasserverbrauch Armaturen / Sanitärarmaturen.....	26
Tabelle 3-2:	Annahmen über die tägliche Nutzungshäufigkeit und Dauer wasserverbrauchender Nutzungen für Körperpflege und Toilette typischer Bewohner eines 4- Personen-Haushalts	27
Tabelle 3-3:	Täglicher Pro-Kopf-Wasserverbrauch für Körperpflege und Toilette eines 4-Personen-Haushalts für die Ausstattungsvarianten I und II.....	27
Tabelle 3-4:	Täglicher Pro-Kopf-Wasserverbrauch für Körperpflege und Toilette eines 4-Personen-Haushalts für die Ausstattungsvariante III.....	28
Tabelle 3-5:	Jährlicher Wasserverbrauch für Toilette und Bad (bezogen auf 340 d/a) bei unterschiedlichen Haushaltsgrößen unter Einsatz der konventionellen Spartechnologie (Ausstattungsvariante II)	29
Tabelle 3-6:	Jährlicher Wasserverbrauch für Toilette und Bad (bezogen auf 340 d/a) bei unterschiedlichen Haushaltsgrößen unter Einsatz der modernen Spartechnologie (Ausstattungsvariante III).....	29
Tabelle 3-7:	Verhältnis von Grauwasser aus dem Bereich der Körperreinigung zum Wasserbedarf für die Toilettenspülung (= Überschussfaktor) in Abhängigkeit von der Ausstattungsvariante und der Haushaltsgröße	30
Tabelle 3-8:	Wasserbedarf für die Toiletten- bzw. Urinalspülung und Gartenbewässerung in Abhängigkeit von der Ausstattungsvariante und der Haushaltsgröße	31
Tabelle 3-9:	Ergebnisse der Simulationsrechnung einer Regenwassernutzung zur Substitution von Trinkwasser für Toilettenspülung und Gartenbewässerung (40 l/d) für verschieden große Haushalte (Annahmen: Ausstattungsvariante II, Dachfläche 90 m ² , Abflussbeiwert $\phi = 0,77$; Simulationsjahre 1976, 1983, 1984, 1989).....	35

Tabelle 3-10:	Durch Regenwassernutzung für Toilette und Gartenbewässerung (40 l/d) im Mittel über die 4 Simulationsjahre (1976, 1983, 1984, 1989) einsparbare Trinkwassermenge in Abhängigkeit von der Haushaltsgröße, dem verfügbaren Volumen der Zisterne und der Ausstattungsvariante der Armaturen im Toilettenbereich (siehe Tab. 3-2 und 3-4 bis 3-6).....	36
Tabelle 3-11:	Beispiel für die Berechnung der Wirtschaftlichkeit der Grauwassernutzungsanlage (hier: Gebühren nach Frischwassermaßstab, hohe Wasser- und Abwasserpreise, Zinssatz 6 %).....	46
Tabelle 3-12:	Aufschlüsselung der Investitionskosten einer für private Haushalte typischen Regenwassernutzungsanlage.....	49
Tabelle 3-13:	Beispiel für die Berechnung der Wirtschaftlichkeit der Regenwassernutzungsanlage (hier: Gebühren nach Frischwassermaßstab, Abwassergebühr nur für die Trinkwassermenge, hohe Wasser- und Abwasserpreise, Zinssatz 6 %).....	49
Tabelle 4-1:	Trinkwassereinsparung durch die Nutzung von Regenwasser bei unterschiedlichen Pauschal-Verbräuchen für die Gartenbewässerung (4-Personen-Haushalt, Ausstattungsvariante II)	57
Tabelle 4-2:	Einfluss ökonomischer Randbedingungen auf die betrachteten Techniken.....	70
Tabelle 4-3:	Einfluss wasserwirtschaftlicher Randbedingungen auf die betrachteten Techniken.....	71
Tabelle 4-4:	Einfluss sonstiger Randbedingungen auf die betrachteten Techniken	72

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1:	Entwicklung des spezifischen privaten Wasserverbrauchs pro Einwohner und Tag in Deutschland	2
Abbildung 2-1:	Schema einer Anlage zur Regenwassernutzung	8
Abbildung 2-2:	Erdfilter und Fallrohrfilter zum Abtrennen grober Verunreinigungen.....	8
Abbildung 2-3:	Trinkwassernachspeisung und Elemente des separaten Netzes für Regenwasser	9
Abbildung 2-4:	Funktionsprinzip einer Duschwasserrecyclinganlage	12
Abbildung 2-5:	Waterdim-Funktion, Eco-Strahl und Durchflussbegrenzung	15
Abbildung 2-6:	Beispiel für den Aufbau einer Gründacheindeckung	22
Abbildung 3-1:	Durchschnittlicher täglicher Pro-Kopf-Trinkwasserverbrauch der Wohnbevölkerung in Deutschland im Jahr 1998.....	24
Abbildung 3-2a:	Tagesniederschläge für Calw (1976)	32
Abbildung 3-2b:	Tagesniederschläge für Calw (1983)	33
Abbildung 3-2c:	Tagesniederschläge für Calw (1984)	33
Abbildung 3-2 d:	Tagesniederschläge für Calw (1989)	34
Abbildung 3-3 a/b:	Simulierte Ganglinien der Tageswerte von Niederschlag, Grauwasserverbrauch, Trinkwassernachspeisung und Speicherinhalt des Regenwasserspeichers für das Jahr 1976 und 1983.....	37
Abbildung 3-3 c/d:	Simulierte Ganglinien der Tageswerte von Niederschlag, Grauwasserverbrauch, Trinkwassernachspeisung und Speicherinhalt des Regenwasserspeichers für das Jahr 1984 und 1989.....	38
Abbildung 3-4:	Relative Summenhäufigkeit der Schmutzwassergebühren für die Jahre 1996 und 1997 bei Kommunen, die den Frischwassermaßstab verwenden	44

VII

Abbildung 3-5:	Relative Summenhäufigkeit der Schmutzwassergebühren für die Jahre 1996 und 1997 bei Kommunen, die den gesplitteten Gebührenmaßstab verwenden.....	44
Abbildung 3-6:	Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsberechnungen für die Anlage zur Grauwasseraufbereitung	47
Abbildung 3-7:	Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsberechnungen für die Regenwassernutzung.....	50
Abbildung 4-1:	Durchschnittlicher täglicher Pro-Kopf-Trinkwasser-verbrauch im Haushalt in der Schweiz in 1996/97	53
Abbildung 4-2:	Wirtschaftlichkeitsberechnung für die Regenwassernutzung bei unterschiedlichem Wasserverbrauch für die Toilettenspülung.....	55
Abbildung 4-3:	Wirtschaftlichkeitsberechnung für die Grauwasseraufbereitung bei unterschiedlichem Wasserverbrauch für die Toilettenspülung	56
Abbildung 4-4:	Wirtschaftlichkeitsberechnung für die Regenwassernutzung bei einem niedrigen und dem Standardverbrauch für die Gartenbewässerung.....	58
Abbildung 4-5:	Wirtschaftlichkeitsberechnung für die Regenwassernutzung bei einem hohen und dem Standardverbrauch für die Gartenbewässerung.....	59
Abbildung 4-6:	Wirtschaftlichkeitsberechnung für die Grauwasseraufbereitung bei Nutzung für die Waschmaschine	60
Abbildung 4-7:	Wirtschaftlichkeitsberechnung für die Regenwassernutzung bei Verringerung der Personenzahl nach 20 Jahren.....	62
Abbildung 4-8:	Wirtschaftlichkeitsberechnung für die Regenwassernutzung mit einer Förderung in Höhe von einem Drittel des Investitionsvolumens.....	64
Abbildung 4-9:	Wirtschaftlichkeitsberechnung für die Grauwasseraufbereitung mit einer Förderung in Höhe von einem Drittel des Investitionsvolumens.....	65
Abbildung 4-10:	Alternativrechnung für die Regenwassernutzung mit einer Nutzungsdauer der unbeweglichen Teile von 80 Jahren	67

1 Einleitung

In der Bundesrepublik Deutschland liegt das Wasserdargebot insgesamt erheblich über der für die Wasserversorgung benötigten Menge. Dennoch gibt es auch in Deutschland Wassermangelgebiete aufgrund der ungleichmäßigen regionalen Verteilung und der mangelnden Qualität vieler Wasservorkommen. Vor allem in Ballungsgebieten übersteigt der Wasserbedarf das Dargebot. Mit Fernversorgungsleitungen und Talsperren wird in verschiedenen Bundesländern für den Ausgleich zwischen Wassermangelgebieten und Wasserüberschussgebieten gesorgt. Fernwasserversorgungen und Talsperren stellen aber meist starke Eingriffe in Natur und Landschaft dar und sind mit erheblichen Ressourcenverbräuchen beim Bau und Betrieb verbunden. Sie sind deshalb nur zu rechtfertigen, wenn im Liefergebiet alle Maßnahmen zur Nutzung der verbrauchsnahe Ressourcen und zur sparsamen Verwendung durchgeführt werden (Umweltbundesamt, 1996). Außerdem kann verbrauchsnahe Wassergewinnung dazu beitragen, das Interesse der Verbraucher an Gewässerschutzmaßnahmen zu stärken bzw. zu wecken.

Im Hinblick auf eine nachhaltige und umweltschonende Nutzung darf bei einer möglichst verbrauchsnahe Wassergewinnung die Grundwasserentnahme die natürliche Neubildungsrate nicht übersteigen (BMU, 1997). Neben den natürlichen Faktoren (Niederschlagsmenge, Art der Grundwasserdeckschichten, Ausbildung der Grundwasserleiter) wird die Grundwasserneubildung auch von anthropogenen Einflüssen bestimmt, die sich zunehmend nachteilig entwickelt haben. Wesentliche Faktoren sind die Versiegelung von Flächen und die Ableitung von Niederschlagswasser in die Kanalisation, wodurch weniger Wasser für die direkte Versickerung zur Verfügung steht. Zudem werden über die direkte Ableitung von Niederschlagswasser, beziehungsweise bei Mischkanalisationen durch das mit Abwasser vermischte Wasser, erhebliche Schadstoffmengen in die Oberflächengewässer eingetragen, so dass dieser Anteil an der Gesamtschadstoffbelastung insbesondere bei den Schwermetallen inzwischen erheblich ist (BMU, 1998). Durch Vermeidung und Rückbau versiegelter Flächen sowie durch Förderung der dezentralen Regenwasserversickerung sollte dem entgegengewirkt werden, wo dies technisch machbar und ökologisch sinnvoll ist (Umweltbundesamt, 1996; BMU, 1997). Neben positiven Auswirkungen auf lokale Wasservorkommen können hierdurch auch die Kanalsysteme entlastet und die direkt in die Oberflächengewässer abgegebenen Wassermengen verringert werden. Dies trägt zusätzlich dazu bei, das Auftreten von Extremhochwässern abzumildern. In diesem Zusammenhang sind auch Möglichkeiten zum lokalen Wasserrückhalt und zur Abflussverzögerung zu sehen wie Dachbegrünung, Zisternen und landschaftsgestalterische Elemente.

Eine Verringerung des Wasserverbrauchs ist in den letzten 10 bis 20 Jahren insbesondere in der Wirtschaft, in geringerem Umfang aber auch in privaten Haushalten zu verzeichnen und es wird allgemein von einer Fortsetzung dieses Trends ausge-

gangen (Bächle et al., 1998). Abbildung 1-1 zeigt die Entwicklung des spezifischen privaten Wasserverbrauchs pro Einwohner und Tag in Deutschland. In Industrie und Gewerbe ergaben sich erhebliche Einsparerfolge durch die Einführung wassersparender Prozesse und Techniken sowie durch die Mehrfachverwendung von Wasser. Für den Haushaltsbereich stehen unterschiedliche Technologien zur Senkung des Trinkwasserverbrauchs zur Verfügung (vgl. Kapitel 2), die jedoch wegen der relativ langen Lebensdauer von Sanitäreinrichtungen bislang nur in beschränktem Umfang eingesetzt werden. Da hierbei auch der Informationsstand der Haushalte und deren Akzeptanz eine wesentliche Rolle spielen, sieht das Bundesumweltministerium (1998) in einer besseren Information über wassersparende Technologien und den rationellen Umgang mit Wasser im Haushalt eine wichtige künftige Aufgabe. Auch die Bundesländer und zahlreiche Kommunen messen diesem Thema verstärkte Bedeutung bei und unterstützen durch Förderprogramme und Informationskampagnen die zunehmende Anwendung von Techniken zur Senkung des Trinkwasserverbrauchs.

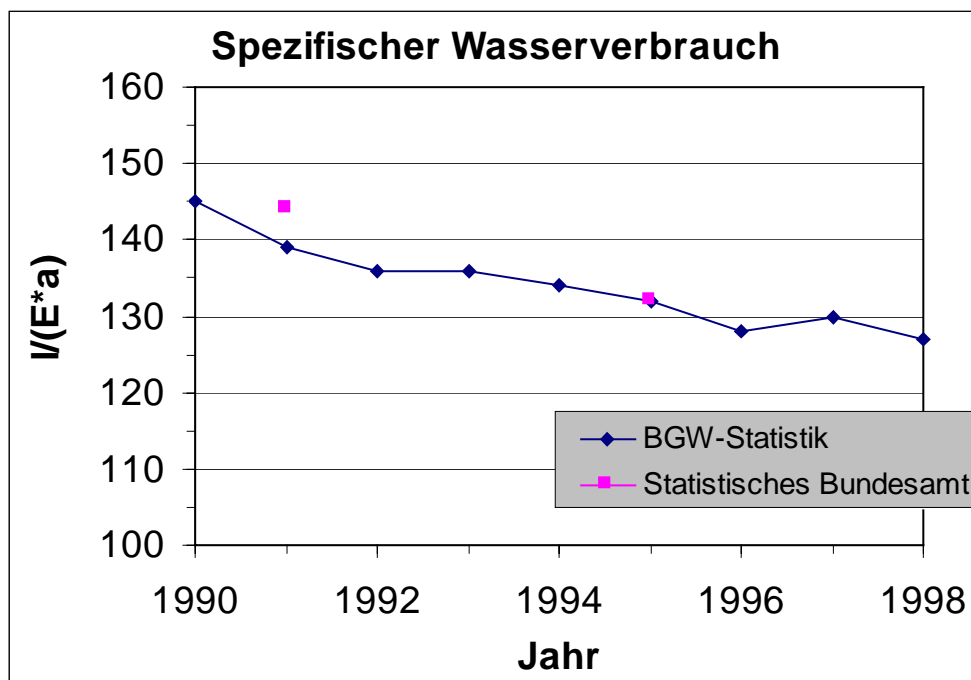


Abbildung 1-1: Entwicklung des spezifischen privaten Wasserverbrauchs pro Einwohner und Tag in Deutschland (nach StaBu, 1998 und BGW, 1999)

Die Aussagen und Einschätzungen zur Wirtschaftlichkeit des Einsatzes dieser Techniken in privaten Haushalten, öffentlichen Einrichtungen und Verwaltungsgebäuden sind sehr unterschiedlich, da sie von verschiedenen Randbedingungen abhängen, die sich lokal sehr stark unterscheiden können. Zu nennen sind hierbei

die Höhe der Trinkwassergebühren und der Gebühren für die Abwasserentsorgung, unterschiedliche Modalitäten zur Berechnung der Abwassergebühren, die Möglichkeit der Nutzung von Förderprogrammen, bestehende oder abzusehende Engpässe bei der Wasserversorgung nach Menge oder Qualität bzw. vorhandene Überkapazitäten bei der Wasserversorgung, mögliche Engpässe in der Kanalisation und in Kläranlagen. Ferner ist zu berücksichtigen, dass bei den Trinkwasser- und Abwassergebühren der größte Anteil durch die Fixkosten für die erforderliche Infrastruktur verursacht wird, die bei einer spürbaren Mengenreduktion dann auf die verringerten Volumina umgelegt werden müssen.

Andererseits besteht vor allem auf dem Gebiet der Abwasserentsorgung ein erheblicher Handlungs- und Sanierungsbedarf: 25 - 35 % aller Abwasserkanäle sind in ihrer Kapazität überlastet (Pecher, 1999a). Nach Erhebungen der ATV (1998) weisen in den alten Bundesländern etwa 20 % aller öffentlichen Abwasserkanäle Schäden auf, während in den neuen Bundesländern der Schadensanteil bei 40 - 60 % liegt. Für die verbesserte Regenwasserbehandlung allein im Bereich Mischkanalisation wurde von Dohmann et al. (1997) der Bedarf an Speichervolumen für 2010 auf ca. 18 Mio. m³ geschätzt. Davon waren 1995 nach StaBu-Angaben (1998) etwa 10,5 Mio. m³ vorhanden. Inzwischen dürften weitere 2 Mio. m³ realisiert sein, so dass der Fehlbedarf bei gut 5 Mio. m³ Rückhaltevolumen liegen dürfte. Zudem bewirkt eine geringere Verdünnung des Abwassers eine höhere Effektivität der Abwasserreinigung und freiwerdende hydraulische Kapazitäten von Kläranlagen. Alle für diese Aufgaben künftig erforderlichen Investitionen werden wesentlich davon beeinflusst, in welchem Umfang und Zeitrahmen die oben genannten Maßnahmen zur Regenwasserrückhaltung und -nutzung sowie andere Maßnahmen zur Wassereinsparung in privaten Haushalten und öffentlichen Einrichtungen bzw. ihrem direkten Umfeld künftig genutzt werden. Durch die sich abzeichnende stärkere organisatorische und unternehmerische Verknüpfung von Wasserver- und Abwasserentsorgung und die Notwendigkeit, ein weiteres Ansteigen der Gebühren zu vermeiden, ist schließlich davon auszugehen, dass beide Felder zunehmend gesamthaft gesehen und geplant werden. Damit wird stärker berücksichtigt werden, inwieweit Vor- oder Nachteile in einem der beiden Felder das andere beeinflussen.

Vor dem geschilderten Hintergrund ergab sich für das Neubaugebiet "Galgenwasen" der Kreisstadt Calw (Nordschwarzwald) die Fragestellung, in welchem Umfang, in welcher Kombination und mit welcher Wirkung unterschiedliche Möglichkeiten der Trinkwassereinsparung und Wasserrückhaltung eingesetzt und erprobt werden können. Die konkreten Randbedingungen für das Neubaugebiet stellten sich Anfang 1999 wie folgt dar:

- In einem ersten Bauabschnitt sollten 40 der 120 geplanten Reihenhäuser realisiert werden. Zielsetzung für diesen ersten Abschnitt war es, besonders energieeffiziente, mit intelligenter Haustechnik (INSTA-BUS-System) ausgestattete

Häuser auf bereits vorliegenden Erfahrungen zu verwirklichen und zusätzlich ohne Komfortverzicht den Trinkwasserverbrauch der Häuser zu halbieren.

- In den 40 Häusern sollte eine möglichst große Anzahl unterschiedlicher Wasserspar- und Rückhaltetechniken installiert und mit Hilfe eines anschließenden Messprogramms (Nutzung des INSTA-BUS) auf ihre Eignung und Auswirkungen vergleichend bewertet werden.
- Für das Vorhaben sollten möglichst unterschiedliche Hersteller der entsprechenden Techniken zur inhaltlichen Mitarbeit und zur Mitfinanzierung des Begleitvorhabens gewonnen werden.
- Die Stadt Calw war interessiert, verwertbare Aussagen hinsichtlich der Ausgestaltung der beiden nächsten Bauabschnitte sowie für geplante weitere Neubaugebiete zu gewinnen. Von besonderer Bedeutung ist, dass die das Baugebiet entwässernde Kanalisation ohnehin nahe der Kapazitätsgrenze ist und möglicherweise für die beiden nächsten Bauabschnitte kostspielige Ausbaumaßnahmen vermieden werden können. Für die Gemeinde insgesamt und für die Planung neuer Baugebiete ist von Interesse, dass in absehbarer Zeit auch eine Erweiterung der Kläranlage ansteht.
- Bedingt durch die regelmäßigen Überschwemmungen der Nagold in der Stadtmitte und in den flussabwärts liegenden Gemeinden sind der Hochwasserschutz und unterschiedliche Möglichkeiten der Regenwasserrückhaltung und -verzögerung für die Stadt Calw in Verbindung mit der Ausweisung neuer Baugebiete von großem Interesse.
- Die Stadt Calw verfügt über ein mehr als ausreichendes Trinkwasserangebot. Obwohl eine Halbierung des Trinkwasserverbrauchs für die Calwer Wasserversorgung mit entsprechenden Ertragseinbußen verbunden wäre, war für Calw unter den anderen genannten Aspekten eine Realisierung der Maßnahmen im ersten Bauabschnitt interessant. Es war daher geplant, durch Vergünstigungen beim Grundstückskauf den Bauherren ggf. einen Teil der Zusatzkosten für die zu installierenden Techniken zu erstatten.
- Das planende Architekturbüro, der Bauträger und die Hersteller der entsprechenden Techniken waren daran interessiert, unter einheitlichen Praxisbedingungen Aussagen zum Substitutions- bzw. Sparpotential, den wirtschaftlichen Auswirkungen und der Akzeptanz durch die Nutzer zu gewinnen.

In einer Voruntersuchung sollten unterschiedliche technische Optionen, die in Kapitel 2 näher beschrieben sind, auf ihre Einsetzbarkeit, ihre Effekte und Kosten unter den gegebenen Randbedingungen für den ersten Bauabschnitt des Neubaugebietes beurteilt und die geeignetsten Lösungen bzw. Lösungskombinationen für

die Realisierung in Zusammenarbeit mit den Herstellern ausgewählt werden. Zudem sollte festgelegt werden, welche Parameter im Dauerbetrieb der Anlagen zu erfassen sind, um eine vergleichende Aussage zu den Auswirkungen der Techniken zu ermöglichen.

Im Laufe der Voruntersuchungen ergaben sich aufgrund veränderter politischer Entscheidungen für das Bauvorhaben in Calw ein Wechsel des Bauträgers und des Architekten für den ersten Bauabschnitt, wodurch jetzt in Calw Haustypen realisiert werden sollen, die sich weniger für die geplante vergleichende Untersuchung eignen (z. B. keine Dachbegrünung, Verzicht auf das INSTA-BUS-System, wesentlich höhere Baukosten). Daher wurde vom Architekten, der auch wesentlich an der Suche nach interessierten Herstellern für die Mitwirkung an der Realisierung beteiligt war, vorgeschlagen, die ausgewählten Techniken in einem anderen, bereits geplanten Bauvorhaben in Stutensee bei Karlsruhe zu realisieren. Daraufhin wurde geprüft, welche Techniken in welchem Umfang in dem anderen Baugebiet erprobt werden sollten. Diese Veränderungen haben den Ablauf der Voruntersuchung erheblich verzögert. In einem abschließenden Schritt der Voruntersuchung war jedoch ohnehin vorgesehen, die Verallgemeinerbarkeit der Ergebnisse unter unterschiedlichen Randbedingungen und die Verwertbarkeit der Aussagen für Verwaltungsgebäude zu untersuchen. Daher wurden die Randbedingungen von Calw für den nachfolgenden Basisvergleich der Technikoptionen beibehalten.

2 Beschreibung einzelner Techniken zur Verminderung des Trinkwasserverbrauchs und zur Rückhaltung von Regenwasser

2.1 Möglichkeiten der Regenwassernutzung im Haushalt und verwandten Bereichen

Traditionell wird in niederschlagsarmen Regionen Regenwasser in Zisternen gesammelt, um in regenarmen Perioden für den Haushalt und die Bewässerung zur Verfügung zu stehen. In der wasserreichen Bundesrepublik hat die Verwendung von Regenwasser für die Wasserversorgung von Haushalten jedoch heute nur eine sehr geringe Bedeutung. Andererseits fordern umweltbewusste Menschen und Organisationen seit Jahren einen sparsameren Umgang mit den vorhandenen Trinkwasserressourcen und empfehlen auch hierzulande die Nutzung von Regenwasser nicht nur in Betrieben und Gärten, sondern auch im Haushalt. In einigen Bundesländern und Kommunen wurde in den letzten Jahren der Bau von Anlagen zur Regenwassernutzung finanziell gefördert, um vor allem für die Toilettenspülung das hohen Qualitätsanforderungen entsprechende Trinkwasser zu substituieren.

Demgegenüber haben Hygieniker und Wasserversorger immer wieder vor den Gefahren und Nachteilen der Verwendung von Regenwasser in Haushalten und öffentlichen Einrichtungen gewarnt. Bei diesen Warnungen steht die Infektionsgefahr durch pathogene Keime im Vordergrund, die über Verschmutzungen der Auffangflächen in das Regenwasser gelangen können und durch die unterschiedlichen Nutzungen auf den Menschen übertragen werden könnten. Zudem wird auf die Gefahr von Fehlanschlüssen und Verwechslungen in Zusammenhang mit dem erforderlichen zweiten Leitungsnetz für die Nutzung des Regenwassers hingewiesen. Andererseits ist es einleuchtend, dass an Wasser zum Trinken, Kochen, Geschirrspülen und auch zur Körperpflege die hohen Qualitätsanforderungen der Trinkwasserverordnung gestellt werden müssen, dass aber bei der Autowäsche und Raumreinigung, bei der Gartenbewässerung und der Toilettenspülung Abstriche an diesen hohen Anforderungen möglich sind, zumal bei diesen Einsatzfeldern andere Infektionswege mit teilweise wesentlich höheren Risiken bestehen.

Zahlreiche hygienische Untersuchungen und die Erfahrungen beim Betrieb von Anlagen zur Regenwassernutzung zeigen, dass sich potentielle Krankheitserreger im gesammelten Regenwasser nicht vermehren, sondern unter den gegebenen Bedingungen (niedrige Temperatur, Mangel an Licht und Nährstoffen) abnehmen (Schüle, 1998). Das gespeicherte Regenwasser erfüllt in aller Regel die Qualitätsanforderungen der EG-Richtlinie für Badegewässer. Diese Anforderungen wurden beispielsweise in Berlin als Überwachungswerte für die Regenwassernutzung vereinbart und in den überprüften Pilotprojekten unterschritten (Nolde, 1995). Die

Nutzung von Regenwasser als Betriebswasser zur Toilettenspülung und zur Gartenbewässerung ist bei sachgerechtem Betrieb und entsprechender Wartung der Anlagen nicht mit einem hygienischen Risiko verbunden (Dott, 1995). Die Verwendung von Regenwasser für das Wäschewaschen und die Raumreinigung wird auf Grund nicht ausreichender Datenbasis jedoch heute noch nicht uneingeschränkt empfohlen (Hentschel, 1999) beziehungsweise trotz positiver Gerichtsurteile weiterhin kontrovers diskutiert (NN, 1999). Diese Verwendungen wurden daher bei den Überlegungen zu den Spareffekten und Kosten der Regenwassernutzung in Kapitel 3 ausgespart.

2.1.1 Technische Beschreibung der Anlagen

Um die hygienischen und chemischen Qualitätsanforderungen für die Nutzung als Betriebswasser problemlos erfüllen zu können, wird das Regenwasser in der Regel ausschließlich von Dachflächen gesammelt und in den Speicherbehälter abgeleitet (Abbildung 2-1). Obwohl üblicherweise glatte Dacheindeckungen verwendet werden (vorzugsweise Ziegel, Betonsteine, Schiefer, Kunststoffe), gehen durch Benetzung, Verdunstung, Muldenverluste etc. je nach Dachmaterial, Dachneigung und den klimatischen Verhältnissen zwischen 10 und 25 % des auftreffenden Regens verloren (Schmidt, 1986). Durch einen geeigneten, wartungsarmen Filter (Beispiele in Abbildung 2-2) können Laub und grobe Verunreinigungen zurückgehalten werden. Insbesondere bei Starkregen fließt ein größerer Anteil des gesammelten Regenwassers nicht in den Speichertank (Filterabschlag zur Filterreinigung). Dieser Verlust, der im Mittel 10 % betragen kann, muss bei der Abschätzung der verfügbaren Brauchwassermenge berücksichtigt werden. Das Filter muss gut zugänglich sein, um eine einfache Inspektion zu ermöglichen.

Als Regenwasserspeicher werden Kunststofftanks, Betonspeicher oder Stahlspeicher mit Beschichtung verwendet. Großbehälter werden in Ortbeton oder Segmentbauweise erstellt. Abbildung 2-1 zeigt einen unterirdisch verlegten Außenspeicher. Das gesammelte Regenwasser kann dort kühl und dunkel gespeichert werden. Steht genug Kellerraum zur Verfügung, wird häufiger auch ein Innenspeicher gewählt bei dem ebenfalls der Einfall von Tageslicht zu vermeiden ist. Feststoffe, die das Filtersystem passieren, setzen sich am Speicherboden ab, aufschwimmende Teilchen werden über einen Überlauf in die Kanalisation oder eine Versickerungseinrichtung abgeschwemmt. Die Lage des Absaugrohrs für das Betriebswasser ist so zu wählen, dass weder das Sediment noch die Schwimmschicht abgesaugt wird.

Regenwassernutzungsanlagen werden grundsätzlich um eine Vorrichtung zur Nachspeisung von Trinkwasser ergänzt, um auch bei länger andauerndem Trockenwetter die Versorgung der angeschlossenen Verbraucher sicherzustellen. Es wird dann Trinkwasser aus dem öffentlichen Netz bedarfsgerecht nachgespeist. Dabei muss eine völlige Trennung der Leitungsnetze für Trink- und Regenwasser sichergestellt

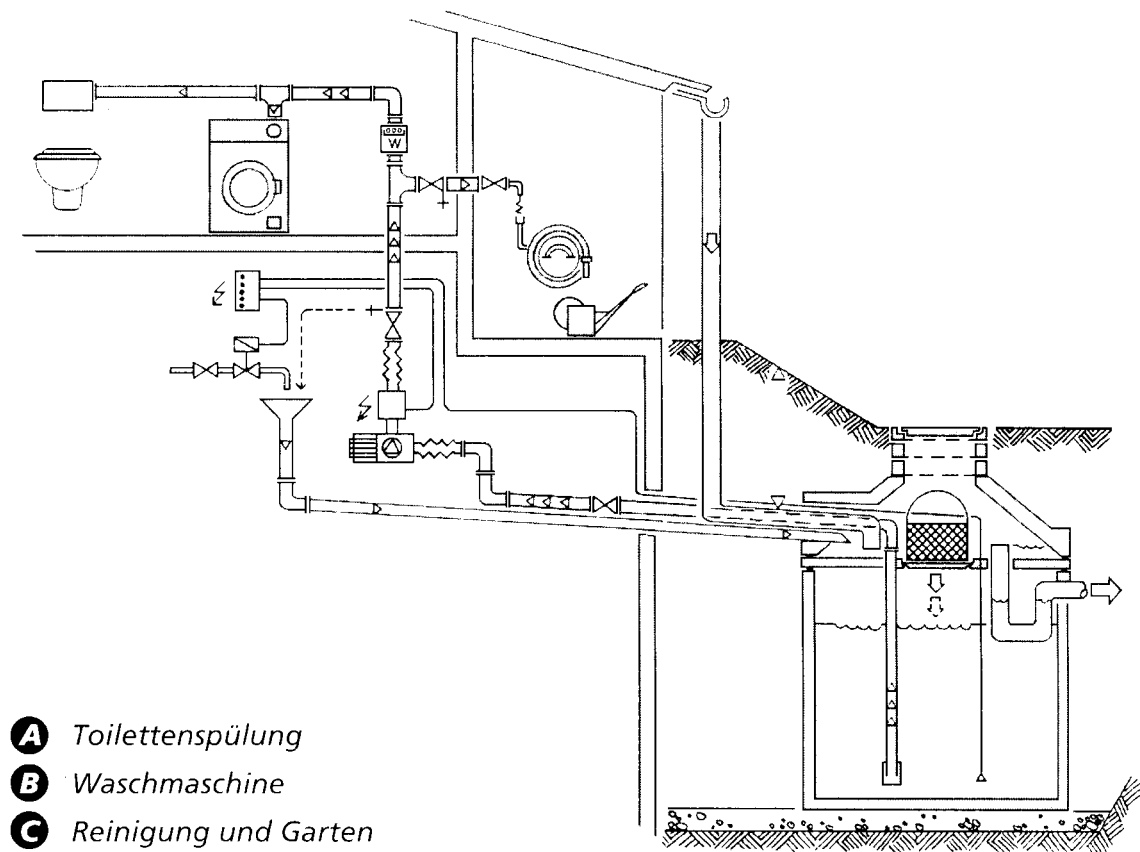


Abbildung 2-1: Schema einer Anlage zur Regenwassernutzung (König, 1999)

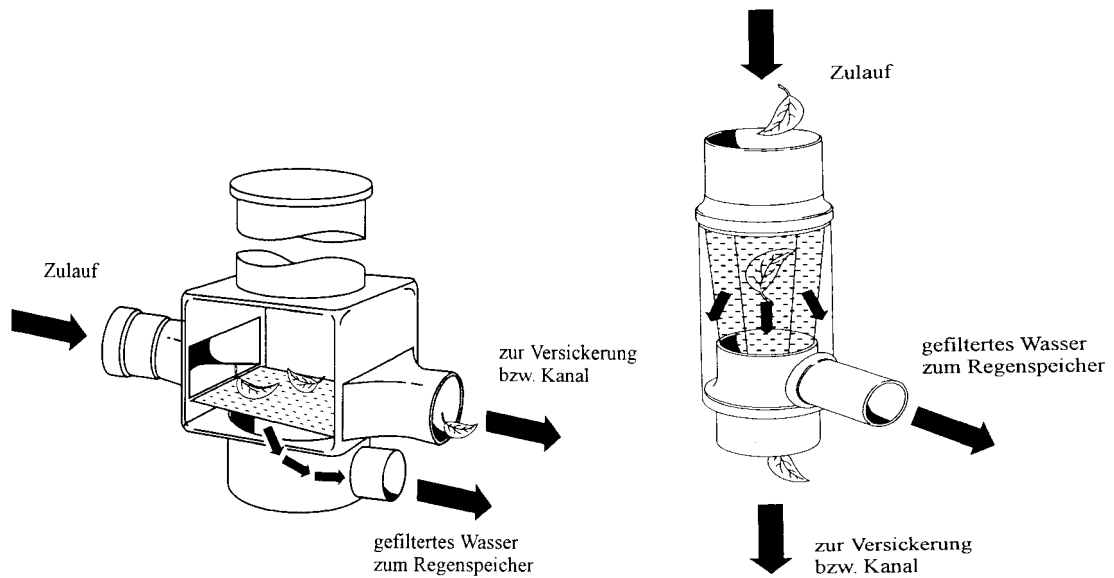


Abbildung 2-2: Erdfilter und Fallrohrfilter zum Abtrennen grober Verunreinigungen (ZVSHK, 1998)

werden, damit aus hygienischen Gründen kein Regenwasser in das Trinkwassernetz eindringen kann. Diese Trennung wird durch einen freien Auslauf gemäß DIN 1988-4 (Abbildung 2-3) oder einen Rohrunterbrecher der Klasse A 1 gewährleistet.

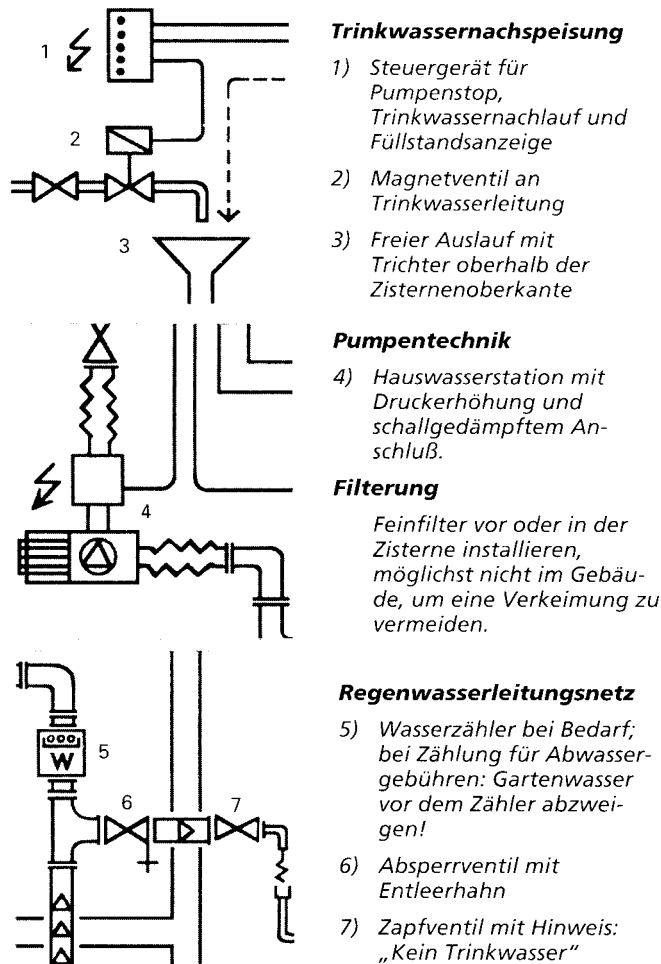


Abbildung 2-3: Trinkwassernachspeisung und Elemente des separaten Netzes für Regenwasser (König, 1999)

Anstelle der Trinkwassernachspeisung in die Speicherzisterne, kommt zur Nachspeisung auch ein separater Vorlagebehälter für Trinkwasser zum Einsatz, wodurch sich Vorteile für die Pumpentechnik ergeben (König, 1998). Neben dem Speicher ist die Pumpe zur Förderung des Regenwassers zum Verbraucher das zweite zentrale Aggregat. Sie muss jederzeit Regenwasser mit dem erforderlichen Druck und in der benötigten Menge störungsfrei, geräuscharm und mit möglichst geringem Energieaufwand fördern. Diese Anforderungen, die in früheren Jahren einige Probleme verursachten, werden inzwischen von mehrstufigen Kreiselpumpen mit Schaltautomaten erfüllt (Christen, 1999). Für die Regenwassernutzung werden heute sogenannte Kompaktstationen angeboten (ÖKO-Test, 1999), die trotz einfacher Montage die erforderlichen Sicherheiten bieten, jedoch preislich höher liegen. Ein weite-

rer Sicherheitsaspekt ist, dass ein Rückstau vom Abwasserkanal in die Zisterne ausgeschlossen werden muss. Schließlich sind die Entnahmestellen für Regenwasser (Gartenbewässerung) durch den Hinweis "kein Trinkwasser" zu kennzeichnen. Auch in Eigenarbeit installierte Anlagen sollten generell von einem Fachmann abgenommen und regelmäßig gewartet und die Zisterne alle 5 – 10 Jahre gereinigt werden.

2.1.2 Dimensionierung des Speicherbehälters

Wie bereits eingangs erläutert, trägt die Nutzung von Regenwasser zu einem gewissen Grad zur Rückhaltung und damit zur Entlastung der Entwässerungssysteme bei. Daher kann die Dimensionierung des Speichervolumens auch unter dem Aspekt der Regenabflussreduzierung gesehen werden (Schüle, 1998) und das Volumen sich am Regenwasserertrag orientieren. Der Regenwasserertrag lässt sich in einem ersten Schritt wie folgt abschätzen (in Klammern Werte für das Neubaugebiet Calw):

$$R_E = A \cdot \Psi \cdot H_n \cdot \eta$$

A = horizontale Projektion der Dachfläche (= 90 m²)

Ψ = Abflussbeiwert (berücksichtigt Verdunstung und sonstige Verluste) (= 0.85)

H_n = mittlere jährliche Niederschlagsmenge (= 850 mm = 850 l/m²/a)

η = Filterwirkungsgrad (berücksichtigten Filterabschlag zur Filterreinigung) (= 0.9)

$$R_E = 90 \cdot 0.85 \cdot 850 \cdot 0.9 = 58\,223 \text{ l/Jahr}$$

Diesem Ertrag ist bei der Festlegung einer sinnvollen Speichergröße der Regenwasserbedarf gegenüberzustellen, d.h. die Regenwassermenge, die sich auf Grund des intendierten Verwendungszwecks (hier: Gartenbewässerung und Toiletten-/Urinalspülung) ergibt.

Um dem ausgeprägt stochastischen Charakter des Niederschlages Rechnung zu tragen, kann diese statische Abschätzung nur als erste grobe Bemessung angesehen werden. Das für die Regenwassernutzungsanlage erforderliche Speichervolumen sollte nach Möglichkeit mit einem dynamischen Bemessungsverfahren aufgrund der Speichergleichung erfolgen, welches die Füllungs- und Entleerungsvorgänge beim Speicherbetrieb simuliert. Dies setzt allerdings voraus, dass entsprechende Zeitreihen des Niederschlages, z.B. als Tagessummen, verfügbar sind. Einen Überblick über die dynamischen und statischen Bemessungsverfahren gibt bspw. Schmidt (1986).

Die Bemessung des Speichers für den konkreten Fall der Häuser im Baugebiet Calw erfolgt mit Hilfe eines numerischen Simulationsverfahrens und wird im Kapitel 3.2.3. beschrieben.

2.2 Anlagen zur Grauwasseraufbereitung und -nutzung

Grauwasser ist ein Teil des häuslichen Schmutzwassers, das frei von Fäkalien, Urin und hochbelastetem Küchenabwasser ist. Es ist der Abfluss von Waschtisch-, Bade- und Duschwasser. Daher enthält dieses Schmutzwasser einerseits grobdisperse Verunreinigungen wie Haare, Textilflusen, Fasern etc., andererseits gelöste organische Stoffe und Pflegemittel. Die Nährstoffkonzentrationen sind relativ gering, so dass eine Reinigung dieses Abwassers auf die Qualität von Badewasser nach der EU-Richtlinie mit einem nicht sehr großen technischen und zeitlichen Aufwand möglich ist.

Es liegt daher nahe, das gereinigte Wasser, entsprechend der etablierten Mehrfachnutzung von Wasser in der Industrie, für die Toilettenspülung ein zweites Mal zu nutzen. Durch die weitgehend identischen Tagesgänge von Grauwasseranfall und Wasserbedarf für die Toilettenspülung, können Grauwasseranlagen vergleichsweise kompakt ausgeführt werden (Nolde, 1999). Seit dem ersten versuchsweisen Einsatz Mitte der 80er Jahre wurden mehrstufige Reinigungsanlagen schrittweise entwickelt und optimiert, so dass heute erste Anlagen mit Erfolg sowohl in Haushalten als auch im Hotelbetrieb eingesetzt werden. Die unterschiedlichen Hersteller garantieren anspruchsvolle Qualitätsanforderungen, so dass bei sachgemäßer Bedienung und Wartung der Anlagen ein hygienisches Risiko für die Nutzer ausgeschlossen werden kann.

In Abbildung 2-4 ist das Schema der Duschwasserrecyclinganlage der Firma hansgrohe (1998) wiedergegeben, die an der Konzeptentwicklung für Calw beteiligt war und einige dieser Anlagen im Dauerbetrieb unter verschiedenen Randbedingungen testen will. Der Anlage ist ein Filter (1) vorgeschaltet, in dem Haare und Textilflusen aufgefangen werden. Der Filter wird über eine Strahlpumpe regelmäßig gereinigt, die Rückstände werden in die Kanalisation gespült. In der belüfteten Haupt- und Nachklärkammer werden die organischen Belastungen des Schmutzwassers biologisch abgebaut. Der anfallende Schlamm wird regelmäßig am Boden der Klärkammer abgesaugt (3) und in die Kanalisation abgeleitet. Auf dem Weg zum Betriebswasserspeicher wird das gereinigte Wasser mit Hilfe einer UV-Lampe entkeimt (4). Sollte der Vorrat im Betriebswasserspeicher auf ein bestimmtes Niveau absinken, wird wie bei Regenwasseranlagen Trinkwasser im freien Zulauf (5) nachgespeist.

Wie bei der Regenwassernutzung ist für das aufbereitete Duschwasser im Haus ein separates Leitungsnetz zur Versorgung mit Betriebswasser zu installieren. Die Anlage wird üblicherweise im Keller aufgestellt, die Stellfläche beträgt 1,2 x 0,5 m, die Höhe 1,7 m. Das Nutzvolumen des Wasserspeichers beträgt 100 l, der gesamte Behälterinhalt etwa 400 l. Das Intervall für den Batchbetrieb liegt bei 4 Stunden, das Intervall für den Schlammabzug bei 7 Tagen. Den Berechnungen in Kapitel 3 werden die Daten dieser Anlage zu Grunde gelegt.

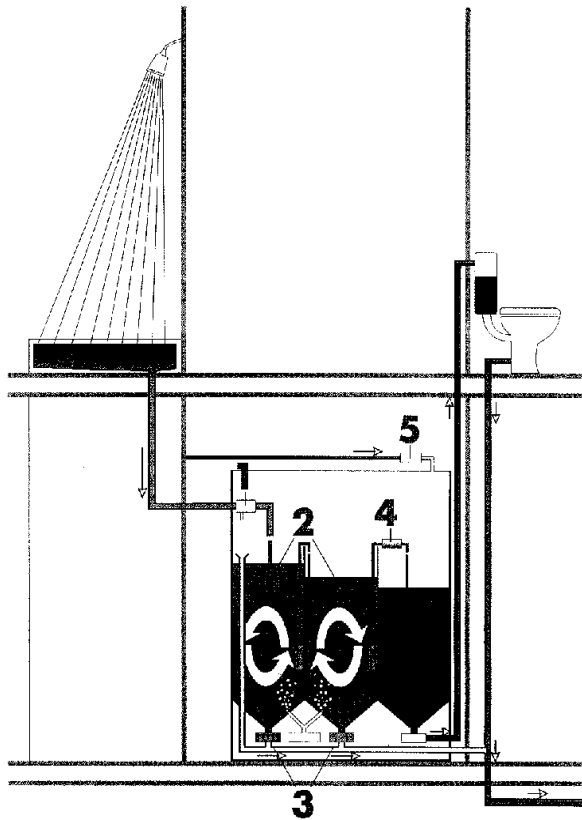


Abbildung 2-4: Funktionsprinzip einer Duschwasserrecyclinganlage (hansgrohe, 1998); 1: Filter, 2: Biologische Reinigungsstufe, 3: Schlammabzug, 4: Entkeimung, 5: Trinkwassernachspeisung

Zum Vergleich sind in Tabelle 2-1 andere auf dem Markt angebotene Anlagen zur Grauwasseraufbereitung zusammengestellt (s. auch Angaben bei Paulus, 1999). Bezüglich der eingesetzten Verfahren ist grundsätzlich zu unterscheiden zwischen Anlagen mit und ohne biologische Behandlungsstufe sowie mit einer zusätzlichen Desinfektion des behandelten Grauwassers mit Hilfe einer UV-Lampe. Hieraus erklären sich auch die stark unterschiedlichen Preise der Anlagen.

Tabelle 2-1: Übersicht über am Markt angebotene Anlagen zur Aufbereitung von Grauwasser

Firma	Verfahren	Größe	Kosten/ Aufwand	Referenzen
Lokus	<ul style="list-style-type: none"> Absetzbecken biologische Stufe (Rotations-Tauchtropfkörper mit Nachklärbecken) UV-Lampe 	individuelle Lösungen (modularer Aufbau); i.d.R. erst ab 60 bis 80 Personen (mehrgeschossiger Wohnungsbau, Hotels, etc.)	<ul style="list-style-type: none"> Investitionssumme je nach Anlagengröße (z.B. eine Anlage für 60 Personen ca. 70 TDM) UV-Strahler: Standzeit ca. 1 Jahr Jahreswartung kann vom Hersteller durchgeführt werden 	Hotel Arabella (Offenbach), Hannover-Hägewiesen, Kassel-Hasenhecke
hansgrohe	<ul style="list-style-type: none"> Filtereinheit biologische Stufe (Tauchkörper mit Nachklärbecken) UV-Lampe 	bis zu 2 Familien	<ul style="list-style-type: none"> unter 10 TDM Stromkosten ca. 50 DM pro Jahr jährliche Sichtkontrolle 	mehrere Anlagen in Einfamilienhäuser
AQUA PLUVIA GmbH	<ul style="list-style-type: none"> Vorreinigungsstufe mit Separator Flotation zur Abtrennung von Schwebstoffen (mit Druckluft) biologische Stufe (bei kleineren Anlagen mit Trägersystem) UV-Lampe 	Basisversion für Privathaushalte (zwischen 20 bis 1.000 l/h; durch Batterielösung auch Leistungen über 1.000 l/h möglich); 2. System für Hotels, Ferienanlagen, etc. (4.000 – 20.000 l/d)	<ul style="list-style-type: none"> 8.700 DM für Basisversion; 2. System je nach Auslegung bis 50 TDM monatliche Reinigung des Grobfilters; ½-jährliche Reinigung des Reaktorturmes 	Hotels, Ferienanlagen, Schwimmbäder
Hans Zucker GmbH&Co KG	<ul style="list-style-type: none"> Absetzbecken biologische Stufe (belüftetes Festbett oder Tauchscheiben) UV-Lampe 	Baukastensystem <ul style="list-style-type: none"> kleinste Einheit: Aufbereitungskapazität 0,5 bis 1,2 m³/d Grauwasser (ca. 10 - 25 Pers.) ansonsten bis 10 m³/d (> 10 m³/d auf Anfrage) 	<ul style="list-style-type: none"> ca. 8 bis 28 TDM; Betriebskosten zwischen ca. 1,4 bis 4 DM/m³ 	seit 1998 in Niesky bei Görlitz (Ost-Sachsen)
M. Radtke / Ges. für Biotechnologie, Umweltgestaltung u. -technik mbH	<ul style="list-style-type: none"> (Haarsieb im Ausfluss Dusche/Badewanne) Bioreaktor 	für eine Familie (0,5 m ³ Tank) bzw. Mehrfamilienhäuser (1 bis 1,5 m ³ -Tank)	<ul style="list-style-type: none"> 5 TDM bei 0,5 m³ Fassungsvermögen bzw. 14 TDM bei 1,5 m³ Fassungsvermögen (jeweils incl. Druckerhöhungsanlage) 	
System Hildebrand / Baumarkt Zellmann & Brodhag	System „senkrecht montierter kommunizierender Röhren“ mit Sedimentationsteil	Einfamilienhäuser (ggf. durch eine Batterie gleichartiger Anlagen auch für Mehrfamilienhäuser)	<ul style="list-style-type: none"> ca. 3.000 DM; Stromkosten: 2 bis 58 DM pro Jahr Wartung bauartbedingt nicht erforderlich; Empfehlung: jährlicher Check 	5 Anlagen
Wasser-Spar-Technik (WST)	<ul style="list-style-type: none"> Filtereinheit Kunststofftank (in zwei Standardgrößen) 	ausgelegt für ein Badezimmer (1 Familie)	<ul style="list-style-type: none"> 3.500 bis 4.000 DM Stromkosten: 2,5 bis 3,2 DM/a Wartungsaufwand: 10 - 15 min/Monat (mechanische Reinigung des Filters) 	

2.3 Verringerung des Trinkwasserverbrauchs durch sparsame Sanitärtechnik

Die Höhe des Trinkwasserverbrauchs in Haushalten und verwandten Einrichtungen wird ganz wesentlich vom Verbraucherverhalten und von den dafür maßgeblichen Randbedingungen bestimmt. Darüber hinaus wurden in den vergangenen 15 Jahren zahlreiche wassersparende Einrichtungen und Geräte für die einzelnen Verbrauchergruppen und Anwendungsbereiche entwickelt und erfolgreich eingesetzt bzw. es wurden vorhandene Techniken entsprechend verbessert. Diese Entwicklungen bieten einerseits die technischen Voraussetzungen zu einer deutlichen Reduzierung des Trinkwasserverbrauchs, andererseits wirken sie sich auch auf das Verbraucherverhalten aus, indem sie einen bewussteren und sparsameren Umgang mit Trinkwasser fördern. Wassersparende Geräte und Einrichtungen sind vor allem:

- Wasserspararmaturen für Waschtisch und Küche,
- wassersparende Duschen,
- Verringerung der Spülmengen von Toiletten,
- verstärkte Verwendung von Urinalen in Haushalten und Verringerung der Spülmengen der Urinale,
- wassersparende Haushaltsgeräte (insbesondere Waschmaschinen und Geschirrspülmaschinen),
- berührungslose Sanitärarmaturen,
- kostengünstige Wohnungswasserzähler für Mehrfamilienhäuser.

Nachstehend werden nur die in den ersten vier Punkten angesprochenen Techniken kurz erläutert. Die neue Gerätegeneration an Wasch- und Spülmaschinen hat neben dem Energieverbrauch auch den Wasserverbrauch bereits stark reduziert. Größere zusätzliche Einsparungen sind durch eine verbesserte Technik nicht mehr zu erwarten (abgesehen von einer Wiederverwendung des Waschwassers), jedoch durch den breiten Einsatz im Rahmen von Neuanschaffungen. Armaturen mit Näherungselektronik dürften aufgrund der relativ hohen Kosten in privaten Haushalten auch künftig von untergeordneter Bedeutung sein, sie wurden daher für das Bauvorhaben in Calw nicht berücksichtigt. Für öffentliche Gebäude mit hoher Nutzerfrequenz sind hiervon jedoch deutliche Trinkwassereinsparungen zu erwarten, die die Mehrkosten rechtfertigen. Sie werden in Kapitel 4 behandelt. Zusätzliche Wohnungswasserzähler sind für das Bauvorhaben Calw ebenfalls ohne Bedeutung.

2.3.1 Wassersparende Armaturen und Durchflussbegrenzer

Der Standarddurchfluss der heute überwiegend benutzten Duscharmaturen und -köpfe liegt bei etwa 20 l/Min, der von Waschtischen bei ca. 14 l/Min (bei maximaler Öffnung der Armatur). Durch den Einbau von Wasserspartechniken können demgegenüber heute etwa 50 % Wasser und Energie eingespart werden. Vorhandene Armaturen können zu relativ geringen Kosten mit Durchflussbegrenzern nachgerüstet oder es können Duschköpfe ausgewechselt werden (Cichorowski/Schreiber, 1998), wodurch der Durchfluss bereits erheblich reduziert werden kann. Moderne Waschbecken und Spültischarmaturen sind üblicherweise bereits entsprechend ausgerüstet, der Durchfluss gegenüber früher ist etwa halbiert. Die neueste Generation kommt mit einem Verbrauch von ca. 6 l/Min aus. Die Armaturen sind teilweise mit einer sogenannten Ecostop-Taste ausgerüstet, die üblicherweise nur den Minimalverbrauch zulässt. Wird ein höherer Verbrauch gewünscht, muss die Taste gedrückt werden. Bei Duscharmaturen bzw. Duschköpfen kommen verschiedene technische Lösungen zum Einsatz. Bei der sogenannten Waterdim-Funktion kann der Durchfluss stufenlos auf bis zu 50 % reduziert werden. Beim Eco-Strahl wird der Normalstrahl durch einen Verstellmechanismus am Brausenkopf reduziert. Die neueste Generation von Duschköpfen erlaubt eine Reduktion des Wasserverbrauchs auf 9 l/Min bei gleichem subjektivem Komfort. Abbildung 2-5 zeigt Beispiele für die genannten Spartechniken.

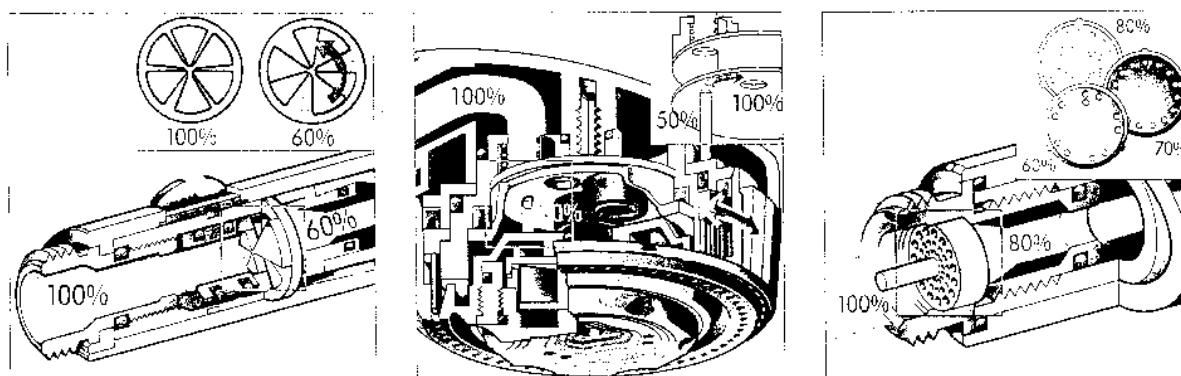


Abbildung 2-5: Waterdim-Funktion, Eco-Strahl und Durchflussbegrenzung

2.3.2 Toiletten und Urinale mit reduzierten Spülmengen

Die heute weit verbreiteten WC-Spülkästen haben ein Fassungsvermögen zwischen 9 und 14 Litern, teilweise sind noch Hochspülkästen mit deutlich höheren Verbräuchen je Spülung, teilweise Druckspülungen mit geringeren Verbräuchen in Betrieb. Inzwischen haben sich die 6-Liter Kästen jedoch bewährt. Zusätzlich verfügen die

Spülkästen heute entweder über eine Spül/Stop-Taste oder zwei verschiedene Tasten. Beim Gebrauch der einen Taste fließen 6 Liter, bei der anderen nur etwa 4 Liter Wasser durch die Leitungen. Allerdings muss bei Anwendung dieser Technik auch das WC-Becken für die 6-Liter Technik konstruiert sein, so dass Verschmutzungen mit erheblich weniger Wasser genauso sorgfältig fortgespült werden können (Mönninghoff, 1988). Neuerdings angebotene WC-Becken sind so konstruiert und mit einer neuartigen Keramikglasur versehen, dass für eine Vollspülung eine Wassermenge von 5 Litern, für eine reduzierte Spülung eine Menge von 3 Litern ausreicht.

In vergleichbarem Maß konnte auch die Spülwassermenge von Urinalen verringert werden. Während früher die benötigte Wassermenge für eine Spülung bei 4 - 5 Litern lag, konnte der Verbrauch schrittweise auf heute übliche 2 Liter/Spülung gesenkt werden. Die neueste Generation liegt bei 1,5 l/Spülung. In der Schweiz werden seit einigen Jahren wasserfreie Urinale hergestellt (Lange/Otterpohl, 1997), die sich in Autobahn-Raststätten, öffentlichen Einrichtungen und sogar Schulen im Dauerbetrieb bewährt haben. Die Oberfläche des Beckens ist so beschaffen, dass der Urin rückstandslos abperlt. Im Siphon, der als Geruchsverschluss dient, verhindert ein biologisch abbaubares Öl Geruchsprobleme.

Im Gegensatz zur Anwendung in öffentlichen Gebäuden ist die Anwendung von Urinalen in Wohngebäuden noch weitgehend unüblich. Erst in jüngster Zeit werden zunehmend auch in Wohngebäuden Urinale eingebaut. Gründe hierfür sind neben der Möglichkeit Wasser einzusparen vor allem auch der erhöhte Komfort und die verbesserte Hygiene.

2.4 Regenwasserversickerung

Die Versickerung von Niederschlagswasser ist zweifellos eine geeignete Maßnahme, um die wasserwirtschaftlichen Folgen der Entwässerung bebauter und befestigter Flächen ("versiegelte" Flächen) zumindest teilweise zu verringern. Regenwasser, das versickert wird, bleibt dem natürlichen lokalen Wasserkreislauf erhalten. Gleichzeitig bedeutet versickertes Regenwasser eine Minderbelastung der Kanalnetze, Kläranlagen und Vorfluter, wobei allerdings durch das Umlenken der Wasserströme gleichzeitig auch die Verteilung der Schadstofffrachten verändert wird. Trotz dieser offensichtlichen wasserwirtschaftlichen Vorteile der Regenwasserversickerung gibt es derzeit noch eine kontrovers geführte Diskussion um die Einsatzmöglichkeiten des Versickerungsprinzips in Siedlungsgebieten mit verdichteten städtebaulichen Strukturen und/oder schluffig-tonigen Untergrundverhältnissen, obwohl auch bei engerer Bebauung und weniger durchlässigem Untergrund eine Regenwasserversickerung technisch möglich ist. Wichtig ist jedoch, dass die Versickerung dabei nicht als isolierte Maßnahme, sondern als Teil

eines Regenwasserentsorgungssystems aufgefasst wird, bei dem die Komponenten (dezentrale) Versickerung, (dezentrale) Speicherung und (gedrosselte) Ableitung für die jeweiligen örtlichen Voraussetzungen und Anforderungen (vgl. Abschnitt 2.4.2) optimal aufeinander abgestimmt werden. In diesem Sinne ist die Versickerung eine wesentliche Komponente eines ortsspezifisch ausgelegten Konzeptes der naturnahen Regenwasserbewirtschaftung in einem urbanen Entwässerungssystem, mit dem erreicht wird, dass ein möglichst großer Anteil des Niederschlagswassers in dem Gebiet zurückgehalten und versickert bzw. dem lokalen Wasserkreislauf zugeführt werden kann und so wenig wie nötig in die Kanalisation eingeleitet werden muss. Jedes ortsspezifische Konzept ist damit eine anspruchsvolle Planungsaufgabe, die sich an die unterschiedlichen Gegebenheiten flexibel anpassen muss (Sieker, 1998). Dabei ist grundsätzlich zu beachten, dass mit der Regenwasserversickerung eine Abflusskonzentration verbunden ist (Größenordnung ca. 1:5 bis 1:50), durch die auch eine Konzentration der (Schad-) Stoffeinträge in den Boden stattfindet. Relevante Schadstoffmengen werden dabei durch die Materialbeschaffenheit und die Nutzung der abflussliefernden Flächen sowie durch atmosphärische Stoffeinträge verursacht. Die Frachten der nicht bzw. schwer abbaubaren Schadstoffe (insbesondere Schwermetalle) sowie die Bodeneigenschaften sind bei der Dimensionierung und Ausgestaltung von Versickerungsanlagen zu berücksichtigen (z.B. Ableiten des first-flush, Berücksichtigung des Bodenbelastungspotentials, ggf. gezielte Veränderung der Bodenmatrix), um die Belastung der Böden zu verringern und auch langfristig Einträge von Schadstoffen in das Grundwasser zu vermeiden (Boller, 1998; Stotz/Krauth, 1998; Förster, 1998).

Folgende Grundsätze für die Planung von Versickerungsanlagen zur Regenwasserbewirtschaftung in Baugebieten sollten dabei beachtet werden:

- Der Anteil der versiegelten Flächen ist auf das notwendige Maß zu reduzieren.
- Für die Entwässerung der dann noch versiegelten Flächen ist eine Versickerung bzw. ein kombiniertes System vorzusehen. Bei hoher Versickerungsfähigkeit überwiegen die Komponenten Versickerung und Speicherung, bei geringer Versickerungsfähigkeit die Komponenten Speicherung und Ableitung. Die Ableitung sollte möglichst mit einer Speicherung verknüpft werden.
- Für die Versickerung sollte möglichst die Reinigungswirkung der oberen bewachsenen und belebten Bodenzone genutzt werden. Eine direkte unterirdische Versickerung (Schachtversickerung bzw. Rohrversickerung) ist nach Möglichkeit zu vermeiden.
- Die Maßnahmen sollten nach Möglichkeit dezentral konzipiert werden.
- Ein naturnahes Regenwasserbewirtschaftungskonzept muss denselben Entwässerungskomfort wie konventionelle Misch- oder Trennsysteme sicherstellen.

- Eine Gefährdung des Grundwassers durch die Versickerung muss ausgeschlossen, eine Anreicherung von Schadstoffen in der betroffenen Bodenzone möglichst vermieden werden.

2.4.1 Prinzipielle Ausführungsmöglichkeiten für Versickerungsanlagen (Versickerungsmethoden)

Die Vielzahl möglicher technischer Ausführungen von Versickerungsanlagen kann gemäß den folgenden Prinzipbeschreibungen (nach Geiger/Dreiseitl, 1995) in sechs gebräuchliche Haupttypen differenziert werden:

- **Flächenversickerung:** Flächenförmige Versickerung über eine durchlässige Oberfläche. Infiltration über feinkörnige Deckschichten. Auch Versickerung im Seitenraum undurchlässiger Flächen.
- **Muldenversickerung:** Flächenförmige Versickerung über eine belebte Bodenschicht. Infiltration über feinkörnige Deckschichten (zusätzliche Filterwirkung).
- **Beckenversickerung:** Flächenförmige Versickerung über die belebte Bodenschicht in einem humusierten Becken. Infiltration entweder über feinkörnige Deckschicht (zusätzliche Filterwirkung) oder direkt in die sickerfähige Schicht.
- **Rigolen- und Rohrversickerung:** Oberflächennahe Versickerung durch einen gut durchlässigen, künstlich eingebrachten, überdeckten Kieskörper mit großer aktiver Versickerungsfläche und hohem Retentionsvermögen. Infiltration über feinkörnige Deckschichten (zusätzliche Filterwirkung) [Rigolenversickerung]. Linienförmige Versickerung mittels perforiertem Versickerungsrohr mit großem Durchmesser im überdeckten Graben. Rohre und Kiesummantelung dienen als Retentionsraum [Rohrversickerung].
- **Mulden-Rigolenversickerung:** Retention durch Mulden und stark verzögerte Ableitung oder Versickerung durch darunter angeordnete Rigolen.
- **Schachtversickerung:** Konzentrierte, punktförmige Versickerung mittels Versickerungsschacht und künstlich eingebrachter Filterschichten. Infiltration direkt in die sickerfähige Schicht unter Ausschluss einer Passage durch feinkörnige Deckschichten.

Ein grobe Charakterisierung der Haupttypen gibt die Tabelle 2-2. Detaillierte Angaben zu Reinigungsleistung, Wartung, Dimensionierung, Anwendungsbereich, Vor- und Nachteilen, Kombinations- und Variationsmöglichkeiten, Kosten sowie allgemeine Hinweise finden sich bei Geiger/Dreiseitl (1995). Weitere Bemessungsgrundlagen und -verfahren sind in entsprechenden ATV-Arbeitsunterlagen (1990, 1995) wiedergegeben.

Um den örtlichen Randbedingungen gerecht zu werden, ist es in der Regel erforderlich, die o.g. prinzipiellen Ausführungen von Versickerungsanlagen anzupassen und die drei Hauptkomponenten eines Versickerungskonzeptes (Versickerung, Speicherung und Ableitung) auf die Gegebenheiten abzustimmen.

Tabelle 2-2: Haupttypen von Versickerungsanlagen

	Oberflächenspeicherung			unterirdische Speicherung		
	Flächen- versik- kerung	Mulden- versik- kerung	Becken- versik- kerung	Rigolen- und Rohrver- sickerung	Mulden- Rigolen- Versik- kerung	Schacht- versik- kerung
Flächenbedarf	groß	mittel	groß	gering	mittel	gering
Reinigungs-wir- kung	groß	groß	groß	gering	mittel	gering
Speicherwirkung	gering	groß	groß	mittel	groß	mittel
erforderliche Durchlässigkeit des Bodens	groß	mittel	mittel	mittel	gering	mittel
erforderliche Relation Versickerungs- rate (V) zu Niederschlags- zufluss (N)	$V > N$	$V < N$	$V < N$	$V < N$	$V < N$	$V < N$
Herstellungsaufwand	einfach	einfach	einfach	aufwendig	aufwendig	aufwendig
Wartungsaufwand	gering	gering	mittel	mittel	gering	mittel
Kosten	gering	mittel	mittel	hoch	hoch	hoch

2.4.2 Anforderungen an Versickerungsanlagen

Technische Anforderungen

Eine wichtige Voraussetzung für eine Versickerung von Niederschlägen ist die ausreichende Durchlässigkeit des Bodens. Die Durchlässigkeit hängt im Wesentlichen von der Korngröße und der Korngrößenverteilung der Böden / Lockergesteine ab. Kennzahl ist der „Durchlässigkeitsbeiwert“ K_f . Die Schwankungsbreite der Durchlässigkeit bei den verschiedenen Bodenarten ist groß (Grobkies: sehr stark durchläs-

sig, $K_f \geq 10^{-2}$ m/s; schluffiger Ton: sehr schwach durchlässig $K_f \leq 10^{-10}$ m/s). Zur Versickerung eignen sich vor allem Böden im Bereich $5 \cdot 10^{-3}$ bis $5 \cdot 10^{-6}$ m/s (große K_f -Werte: hohe Versickerungsleistung, geringe Reinigungswirkung; kleine K_f -Werte: geringe Versickerungsleistung, hohe Reinigungswirkung). Je geringer jedoch die Durchlässigkeit des Untergrundes ist, desto größer ist der Flächenbedarf bzw. das benötigte Speichervolumen.

Regenwasser nimmt sowohl direkt aus der Luft sowie auf Oberflächen deponierte Schadstoffe auf und löst auch Stoffe aus den Materialien der Oberflächen selbst. Um eine Belastung des Grundwassers zu vermeiden, sollte daher das Regenwasser nur dann versickert werden, wenn es eine geringe Schadstofffracht aufweist. Die ATV-Arbeitsgruppe 1.4.1 (ATV, 1995) gibt Empfehlungen zur Versickerung des Niederschlagsabflusses unterschiedlicher versiegelter Flächen (Dachflächen, Wege, Parkplätze, Hofflächen) und je nach Nutzung zu gegebenenfalls erforderlichen Vorbehandlungsmaßnahmen. Die Versickerung von Niederschlagsabfluss ist in Wasserschutzgebieten nur unter besonderen Anforderungen (DVGW-Richtlinien W101, W102, W103) möglich, bzw. ist in den Schutzzonen I und II generell unzulässig.

Rechtliche und planerische Anforderungen

Das Wasserhaushaltsgesetz (WHG) sowie auch die Landeswassergesetze machen die Versickerung von Niederschlagswasser in eigens dafür erstellten Anlagen grundsätzlich von einer wasserrechtlichen Erlaubnis abhängig (WHG §2 Abs.1). Diese Erlaubnis kann erteilt werden, wenn eine schädliche Verunreinigung des Grundwassers nicht zu besorgen ist (WHG §34 Abs.1). Solange keine technischen Anlagen eingesetzt werden, wird die flächenhafte Versickerung als natürlicher Vorgang betrachtet und ist von der Erlaubnispflicht ausgenommen. Nach §18 WHG sind die Länder verpflichtet, diejenigen Körperschaften des öffentlichen Rechts zu bestimmen, die für die Abwasserbeseitigung – und damit prinzipiell auch für das von bebauten und befestigten Flächen abfließende Niederschlagswasser - zuständig sind. Einzelne Länder haben in ihren Landeswassergesetzen das Niederschlagswasser von der Beseitigungspflicht ausgenommen (Hessen, Mecklenburg-Vorpommern, Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen, Saarland, Sachsen) oder sogar eine Pflicht zur Versickerung des Regenwassers aufgenommen (Nordrhein-Westfalen), falls es ohne Beeinträchtigung des Wohls der Allgemeinheit versickert werden kann. Über die Landeswassergesetze hinaus können auch Ortssatzungen Bestimmungen zur Versickerung von Niederschlagswasser enthalten.

2.4.3 Ökonomische Aspekte

Die Kosten für Versickerungsanlagen hängen stark von den regionalen und örtlichen Bedingungen ab. Prinzipiell aber kann zunächst davon ausgegangen werden, dass die Versickerung von Regenwasser in Neubaugebieten mit relativ geringem

Aufwand umsetzbar und damit wesentlich kostengünstiger ist als bei bestehender Bebauung und einem bereits vorhandenen Entwässerungssystem.

Dabei sind dezentrale, also grundstücksbezogene Einzelanlagen u.a. wegen der eingesparten Regenwasserkanäle tendenziell kostengünstiger als Versickerungsanlagen, die als grundstücksübergreifende Verbundmaßnahmen (zentrale oder semi-dezentrale Versickerung) ausgeführt werden. Darüber hinaus haben neben dem regionalen Niederschlagsregime auch die hydrogeologischen Bedingungen des Baugrundes, die Art und der Umfang der zu entwässernden versiegelten Flächen sowie auch die Dichte der Verkehrswege im Baugebiet einen Einfluss auf die Baukosten der Versickerungsanlage. Insofern lassen sich keine allgemeingültigen Aussagen hinsichtlich der Kosten von Versickerungsmaßnahmen machen. Geiger und Dreiseitl (1995) geben jedoch relativ grobe Anhaltspunkte für die unter bestimmten Randbedingungen entstehenden Kosten für verschiedene Typen von Versickerungsanlagen an.

2.5 Dachbegrünungen

Auf Grund zunehmender baulicher Verdichtungen in Baugebieten und die damit verbundene Verringerung von Freiflächen, haben Dachbegrünungen in den letzten Jahren zunehmend an Bedeutung gewonnen. Dachbegrünungen haben eine Reihe unterschiedlicher Funktionen und Wirkungen (FLL, 1995), von denen die folgenden besonders hervorzuheben sind:

- Schaffung zusätzlicher Grün- und Ausgleichsflächen ohne zusätzlichen Grundstücksbedarf,
- teilweiser Ausgleich des Eingriffs durch Baumaßnahmen,
- Verbesserung des Stadt- und Landschaftsbildes sowie der Qualität des Wohn- und Arbeitsumfeldes,
- Verzögerung des Abflusses und Rückhaltung von Niederschlägen sowie Wiederbringen eines Teils des Wassers in den natürlichen Kreislauf durch Evaporation und Transpiration,
- Verbesserung des Kleinklimas (Temperaturausgleich, Erhöhung der Luftfeuchtigkeit und Staubbindung),
- Verringerung der chemischen und physikalischen Beanspruchung (Temperatur-extreme, UV-Strahlen, Hagel, Wind) der Dachabdichtung,
- Verbesserung des winterlichen und insbesondere des sommerlichen Wärmeschutzes.

Für die Entlastung von Kanalsystemen ist einerseits die verzögerte Ableitung, andererseits die tatsächliche Rückhaltung durch Speicherung und spätere Verdunstung von Bedeutung. Bei kurzzeitigem Starkregen (Gewitterregen) können die Abflussspitzen erheblich reduziert werden (BGL, 1998). Je nach Dachneigung, Bauart und

Aufbaudicke des Systems kann ein erheblicher Teil des Regenwassers zurückgehalten werden. Bei extensiven Dachbegrünungen können bei üblichen Aufbaudicken Retentionsleistungen von 50 % erzielt werden (FLL, 1998).

Extensivbegrünungen, wie sie für das Bauvorhaben Calw Galgenwasen vorgesehen waren, sind Vegetationsformen, die sich weitgehend selbst erhalten und weiterentwickeln. Hierbei werden Pflanzen mit besonderer Anpassungs- und Regenerationsfähigkeit verwendet. Die überwiegend geschlossenen flächigen Vegetationsbestände werden aus Moosen, Kräutern und Gräsern gebildet. Abgesehen von der Zusatzbewässerung und einer entwicklungsbezogenen Nährstoffversorgung im Rahmen der Fertigstellungs- und Entwicklungspflege beschränkt sich die Unterhaltungspflege auf 1 - 2 Kontrollgänge im Jahr (FLL, 1995).

Abbildung 2-6 zeigt ein Beispiel für den Aufbau einer Gründachdeckung mit einer separaten Dränschicht. Insgesamt beträgt die Aufbauhöhe etwa 10 cm. Über dem Dachaufbau liegt eine wurzelfeste Abdichtung, die aus einer Wurzelschutzfolie und einer Schutzlage aus verrottungsfesten Fasermatten besteht. Darüber wird eine Dränschicht mit einem Trockengewicht von 2 kg/m^2 installiert, die zusammen mit der Schutzschicht etwa 3 cm dick ist. Die Dränschicht hat die Aufgabe, das in ihren Mulden gespeicherte Wasser über Kapillarleitungen an die Pflanzen weiterzugeben. Die Dränschicht wird zusätzlich mit einem passenden Systemfilter abgedeckt. Die sich anschließende Vegetationsschicht ist etwa 7 cm dick und hat bei einem Volumen von ca. 80 l/m^2 ein Trockengewicht von etwa 80 kg/m^2 . Insgesamt ergibt sich ein Systemgewicht von ca. 95 kg/m^2 inkl. Pflanzen. Das Wasserspeichervolumen beträgt 23 l/m^2 . Dachbegrünungen können bei Dachneigungen bis zu 45° eingesetzt werden.

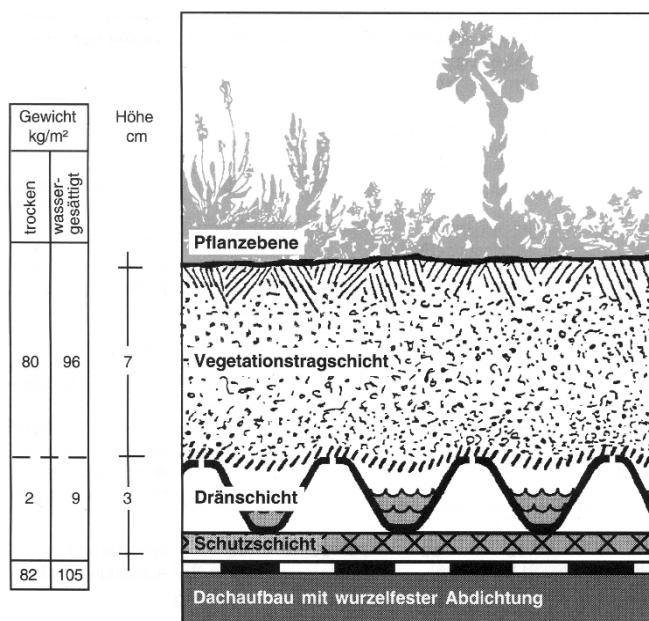


Abbildung 2-6: Beispiel für den Aufbau einer Gründacheindeckung (Firmenprospekt ZinCo)

3. Effekte und Kosten unterschiedlicher Techniken zum nachhaltigen Umgang mit Wasser im Baugebiet Calw

3.1 Allgemeine Informationen zum Baugebiet

Ausgangssituation:

- Klimatische Verhältnisse: Die Stadt Calw liegt im nördlichen Schwarzwald am Ende des steil eingeschnittenen Nagoldtals auf einer Höhe von 500 m üNN. Im langjährigen Mittel fallen ca. 850 mm Jahresniederschlag, wobei in einzelnen Jahren der Jahresniederschlag von 600 bis 1000 mm schwanken kann.
- Kanalisation: Betreiber Stadt Calw; Anteile: Mischwasser ca. 90 %, Trennsystem ca. 10%; keine gesplitteten Abwassergebühren.
- Kläranlage: Calw-Hirsau; Betreiber Stadt Calw, Größe 53.000 EW, Auslastung ca. 60%. Erweiterungsbedarf (3. Reinigungsstufe muss nachgerüstet werden).
- Baugebiet Calw Galgenwasen II: 1. Bauabschnitt – Calw Galgenwasen II(1): 2,5 ha (40 Einfamilienhäuser mit 110 bis 140 m² Wohnfläche, ursprünglicher Baubeginn Herbst 1999). 2. Bauabschnitt – Calw Galgenwasen II(2): 4,0 ha (80 Einfamilienhäuser, Baubeginn 2000). Die nachfolgenden Aussagen beziehen sich ausschließlich auf den 1. Bauabschnitt.

Zielsetzungen für das Baugebiet Calw Galgenwasen II (1):

Die Zielsetzung, im Baugebiet Calw nachhaltig mit Wasser umzugehen, wurde durch zwei Ziele konkretisiert. Zum einen sollte der Trinkwasserverbrauch um ca. 50% reduziert werden und zum anderen sollte die Kanalisation möglichst weitgehend von Regenwasser entlastet werden. Um diese Ziele zu erreichen, sind für einen nachhaltigen Umgang mit Wasser im Baugebiet in Calw einzeln oder in Kombination folgende Ansätze verfügbar, die in Kapitel 2 erläutert sind:

- Maßnahmen zur Verminderung des Trinkwasserverbrauchs:
 - wassersparende Armaturen in Kombination mit geeigneten Sanitärmöbeln (Handwaschbecken, Duschen, Toilettenspülung, Urinale),
 - Nutzung von aufbereitetem Duschwasser („Grauwasser“) für Toiletten- / Urinalspülung,
 - Nutzung von Regenwasser für Toiletten-/Urinalspülung und zur Gartenbewässerung.
- Maßnahmen zur weitergehenden Entlastung der Kanalisation:
 - Vermeidung von Flächenversiegelung,
 - Dachbegrünung,
 - Versickerung von Regenwasser.

Für das Baugebiet Calw-Galgenwasen II (1) wurde die Umsetzung einzelhausbezogener Maßnahmen in zwei Varianten rechnerisch verglichen und die Trinkwassereinsparpotentiale ermittelt:

Haustyp A: Wassersparende Armaturen und Sanitärmöbel + Nutzung von Duschwasser + Dachbegrünung.

Haustyp B: Wassersparende Armaturen und Sanitärmöbel + Nutzung von Regenwasser.

Zusätzlich wurde geprüft, inwieweit unter den im Untersuchungsgebiet vorherrschenden Bedingungen eine Versickerung von unbelastetem Niederschlagswasser möglich ist, um die an der Kapazitätsgrenze befindliche Kanalisation zur Entwässerung des Baugebietes (Mischkanalisation) zu entlasten.

3.2 Einspar- und Abflussminderungspotentiale der unterschiedlichen Techniken

Vergleichsmaßstab für die Einsparpotentiale ist der durchschnittliche tägliche Pro-Kopf-Wasserverbrauch in Deutschland von 127 l/Kopf/d (Globus, 1999 bzw. BGW, 1999). Der Durchschnittsverbrauch setzt sich wie folgt zusammen:

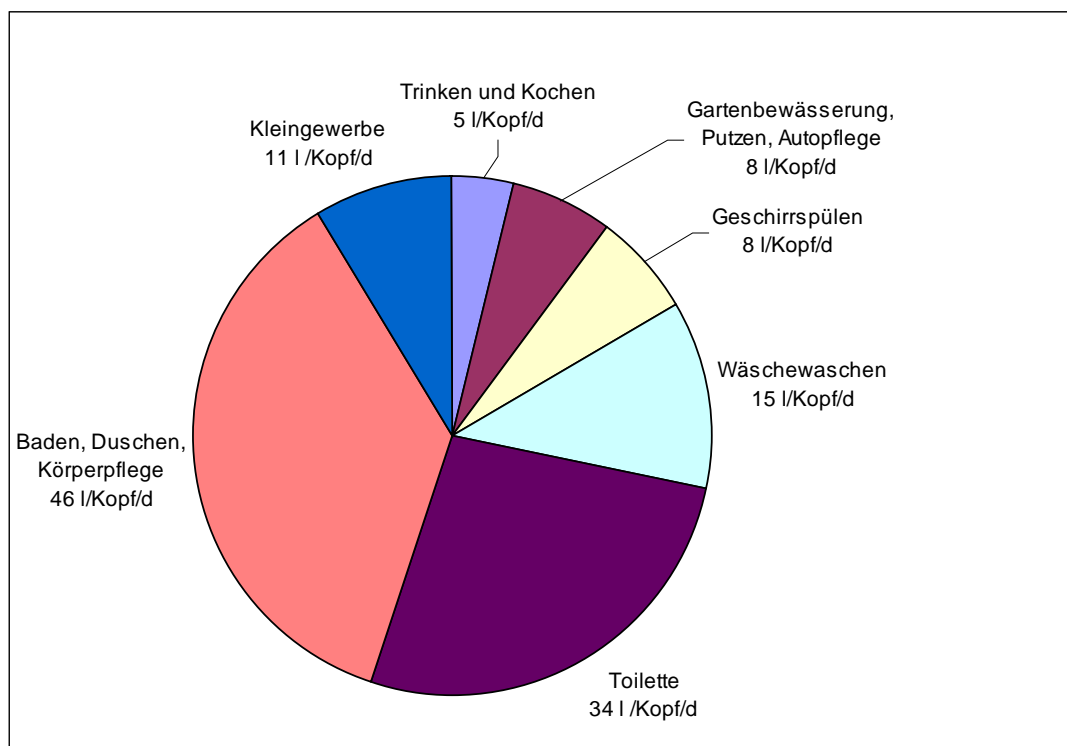


Abbildung 3-1: Durchschnittlicher täglicher Pro-Kopf-Trinkwasserverbrauch der Wohnbevölkerung in Deutschland im Jahr 1998

3.2.1 Wassersparende Armaturen / Sanitärmöbel

Nachstehend werden, ausgehend von dem in Abb. 3-1 dargestellten Durchschnittsverbrauch in Deutschland, für die einzelnen Verbrauchsarten die Trinkwasser-Einsparpotentiale der in Kapitel 2 erläuterten Techniken für die Situation des Baugebiets Calw-Galgenwasen abgeschätzt. Hierzu dienen Modellrechnungen mit vereinfachenden Annahmen zur exemplarischen Zusammensetzung von 3-, 4- und 5-Personen-Haushalten (erwartete Größen für das Baugebiet) sowie deren typischem Nutzungsverhalten. Dabei wird vereinfachend eine relativ häufige Familienkonstellation als exemplarisch unterstellt, und es werden die breiten Spannen bei Umfang und Art der Berufstätigkeit, Alter der Kinder, Anwesenheit im Hause, zeitweise Anwesenheit weiterer Personen, Wasch- und Duschgewohnheiten etc. mit ihren Auswirkungen auf den Trinkwasserverbrauch durch die Modellrechnung "gemittelt". Für vergleichende Modellrechnungen werden ferner typische Ausstattungen der Haushalte bezüglich der Sanitärausstattung betrachtet:

Ausstattungsvariante I:

Veraltete Technologie, mit der allerdings ein Großteil des Altbaubestandes heute noch ausgerüstet ist: WC mit Spülkasten von einem Fassungsvermögen von 9 - 14 Litern, teilweise mit Stopptaste; z. T. noch Hochspülkasten, zu einem größeren Teil auch Druckspüler mit einem geringeren Verbrauch je Spülung; Armaturen ohne Durchflussbegrenzer; kein Urinal.

Ausstattungsvariante II:

Konventionelle Spartechnik, mit der seit gut 10 Jahren alle Neubauten ausgestattet wurden und die in der Regel auch bei der Sanierung von Altbauten eingesetzt wurden: WC mit Spülkasten von einem Fassungsvermögen von 6 Litern, grundsätzlich mit Stop-Taste / Spartaste; Armaturen mit Durchflussbegrenzer / wassersparende Armaturen; in der Regel kein Urinal.

Um die Trinkwasser-Einsparpotentiale modernster Sanitärtechnik zusätzlich abschätzen zu können, wurde ergänzend noch eine weitere Ausstattungsvariante betrachtet:

Ausstattungsvariante III:

Moderne Spartechnik, die erst am Beginn der Markteinführung steht: WC mit 5-l-Spülkasten und Spartaste; besonders wassersparende Armaturen und Duschköpfe; Regelausstattung Urinal mit geringem Wasserverbrauch.

In Tabelle 3-1 sind diesen drei Ausstattungsvarianten (Technologie-Generationen) durchschnittliche Wasserverbräuche in der Minute bzw. pro Spülgang zugeordnet (vgl. Abschnitt 2.3). Hierzu wurden zusätzlich noch folgende Annahmen getroffen:

- Der Wasserverbrauch durch Nutzung der Badewanne (Vollbad mit etwa 130 Litern) wird nicht gesondert berücksichtigt sondern es wird unterstellt, dass dieser Verbrauch im Rahmen der Genauigkeit der Modellrechnung im Verbrauch für die Dusche und den Waschtisch enthalten ist. (In beiden Fällen wurde für die veraltete Technologie die maximale Durchflussmenge verwendet, in Wirklichkeit dürften die Verbräuche niedriger liegen auf Grund geringerer Duschfrequenz dieser Nutzer und dadurch, dass insbesondere beim Waschtisch nicht regelmäßig die maximale Einstellung genutzt wird. Bei den Spartechnologien ist dieser Effekt sicherlich geringer, jedoch kann bei moderner Sanitärausstattung davon ausgegangen werden, dass zu Gunsten der Dusche die Nutzung der Badewanne eine geringere Bedeutung hat.)
- Die mittlere Verbrauchsmenge von 8 l / Spülgang für die reduzierte Spülung bei der veralteten Technologie berücksichtigt, dass ein Teil der Spülkästen mit den großen Volumina mit einer Stopptaste o. ä. nachgerüstet wurde.
- Die Spülwassermenge bei der Toilettenspülung nach konventioneller Spartechnologie ist größer als 6 l, da nicht alle WC-Becken für die 6-l-Spülkästen geeignet sind und damit häufiger nachgespült werden muss.

Tabelle 3-1: Wasserverbrauch Armaturen / Sanitärmöbel

	Veraltete Technologie	Konventionelle Spartechnologie	Moderne Spartechnologie
Dusche in l/Min	20	12	9
Waschtisch in l/Min	14	7	6
WC-Vollspülung in l/Spülgang	10	7	5
WC red. Spülung in l/Spülgang	8	4	3
Urinal in l/Spülgang	4	2	1,5

Den Modellrechnungen zu den Trinkwasserverbräuchen bzw. Einsparpotentialen der unterschiedlichen Technologie-Generationen bzw. Haushaltsgrößen werden personenbezogene Wasserverbräuche zu Grunde gelegt, in die Annahmen hinsichtlich der täglichen Nutzungshäufigkeit bzw. der Dauer der Nutzung bestimmter wasserbrauchender Funktionen eingehen. Diese exemplarischen Annahmen zum Bereich Körperpflege und Toilette sind in Tabelle 3-2 für einen 4-Personen-Haushalt wiedergegeben. Da nachfolgend tägliche Pro-Kopf-Verbräuche abgeschätzt werden, wurde in Tabelle 3-2 eine tägliche Duschkdauer von 2 Minuten unterstellt.

In Realität entspricht das einer Dushdauer von 4 Minuten jeden zweiten oder von 6 Minuten jeden dritten Tag.

Tabelle 3-2: Annahmen über die tägliche Nutzungshäufigkeit und Dauer wasserbrauchender Nutzungen für Körperpflege und Toilette typischer Bewohner eines 4-Personen-Haushalts

	Erwachsener (berufstätig)	Erwachsener (ganztägig zu Hause)	Kind (weiblich)	Kind (männlich)
Duschen	2 Min	2 Min	2 Min	2 Min
Waschtisch	1 Min	1,5 Min	1,5 Min	1,5 Min
Zahl der WC- Vollspülungen	1	1	1	1
Zahl der reduzierten WC- bzw. Urinalspülungen	2	5	5	5

Mit den in Tabelle 3-1 und 3-2 wiedergegebenen Annahmen ergibt die Modellrechnung für die Ausstattungsvarianten I und II die in Tabelle 3-3 wiedergegebenen personenbezogenen Wasserverbräuche für Körperpflege und Toilette.

Tabelle 3-3: Täglicher Pro-Kopf-Wasserverbrauch für Körperpflege und Toilette eines 4-Personen-Haushalts für die Ausstattungsvarianten I und II

[l / Kopf /d]	Erwachsener (berufstätig)		Erwachsener (ganztägig zu Hause)		Kind (weiblich)		Kind (männlich)		Durchschnitt- licher Verbrauch einer Person	
	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
Variante										
Dusche	40	24	40	24	40	24	40	24	40	24
Waschtisch	14	7	21	10,5	21	10,5	21	10,5	19,25	9,63
WC (Vollspülung)	10	7	10	7	10	7	10	7	10	7
WC (red. Spülung)	16	8	40	20	40	20	40	20	34	17
Summe	80	46	111	61,5	111	61,5	111	61,5	103,25	57,63

Zur Plausibilitätskontrolle der oben getroffenen Annahmen und der daraus resultierenden Verbräuche dient ein Vergleich mit dem in der offiziellen Verbrauchsabschätzung (Abb. 3-1) ausgewiesenen täglichen Pro-Kopf-Wasserverbrauch für Dusche und Körperpflege von 46 l/Kopf/d sowie für Toiletten von 34 l/Kopf/d. Unter der Annahme, dass im bundesweiten Durchschnitt die Hälfte der Bevölkerung noch die veraltete Technologie (Altbestand der Gebäude mit Ausstattungsvariante I) und die andere Hälfte die konventionelle Spartechnik (neuere bzw. renovierte Gebäude mit Ausstattungsvariante II) nutzen, ergeben sich aus den obigen Abschätzungen für die beiden Bereiche Gesamtdurchschnittsverbräuche von:

Dusche/Körperpflege: $59,25 \text{ l/Kopf/d} \cdot 0,5 + 33,63 \text{ l/Kopf/d} \cdot 0,5 = 46,4 \text{ l/Kopf/d}$

Toilette: $44 \text{ l/Kopf/d} \cdot 0,5 + 24 \text{ l/Kopf/d} \cdot 0,5 = 34 \text{ l/Kopf/d}$

Durch Vergleich der errechneten Werte mit den statistischen Verbräuchen wird deutlich, dass die vorstehend getroffenen Annahmen zur Nutzungshäufigkeit und Dauer der Nutzung bestimmter wasserverbrauchender Funktionen geeignet sind, um die Trinkwasser-Verbräuche und -Einsparpotentiale durch unterschiedliche Techniken und für verschiedene Haushaltsgrößen durch Modellrechnungen abzuschätzen.

Für die Ausstattungsvariante III wurden mit Hilfe der in Tabelle 3-1 und 3-2 angegebenen Annahmen die personenbezogenen Wasserverbräuche für Körperpflege und Toilette bei Einsatz modernster Sanitär-Spartechnik errechnet (Tabelle 3-4).

Tabelle 3-4: Täglicher Pro-Kopf-Wasserverbrauch für Körperpflege und Toilette eines 4-Personen-Haushalts für die Ausstattungsvariante III

[l / Kopf /d]	Erwachsener (berufstätig)	Erwachsener (ganztägig zu Hause)	Kind (weiblich)	Kind (männlich)	Durchschnitt licher Verbrauch einer Person
Dusche	18	18	18	18	18
Waschtisch	6	9	9	9	8,25
WC (Vollspülung)	5	5	5	5	5
WC (red. Spülung)	0	15	15	0	7,5
Urinal	3	0	0	7,5	2,63
Summe	32	47	47	39,5	41,38

Ausgehend von den Abschätzungen der täglichen Pro-Kopf-Verbräuche werden für drei verschiedene Haushaltgrößen (3-, 4-, 5-köpfige Familie) die jährlichen Was-

serverbräuche bei Einsatz konventioneller Spartechnologie (Ausstattungsvariante II, Tabelle 3-5) und bei Nutzung der modernsten Spartechnologien (Ausstattungsvariante III, Tabelle 3-6) und die damit verbundenen Einsparpotentiale ermittelt. Hierbei wurde unterstellt, dass die Bewohner im Durchschnitt an 340 Tagen im Jahr zu Hause sind.

Tabelle 3-5: Jährlicher Wasserverbrauch für Toilette und Bad (bezogen auf 340 d/a) bei unterschiedlichen Haushaltsgrößen unter Einsatz der konventionellen Spartechnologie (Ausstattungsvariante II)

Haushaltsgröße	Tageswasserverbrauch [l/d]	Jahreswasserverbrauch [m ³ /a]	Einsparung gegenüber dem statistischen Durchschnittsverbrauch [%]
3 Personen	169,0	57,5	29,6
4 Personen	230,5	78,4	28,0
5 Personen	292,0	99,3	27,0

Tabelle 3-6: Jährlicher Wasserverbrauch für Toilette und Bad (bezogen auf 340 d/a) bei unterschiedlichen Haushaltsgrößen unter Einsatz der modernen Spartechnologie (Ausstattungsvariante III)

Haushaltsgröße	Tageswasserverbrauch [l/d]	Jahreswasserverbrauch [m ³ /a]	Einsparung gegenüber dem statistischen Durchschnittsverbrauch [%]
3 Personen	126,0	42,8	47,5
4 Personen	165,5	56,3	48,3
5 Personen	205,0	69,7	48,8

3.2.2 Nutzung von aufbereitetem Duschwasser zur Toiletten-/Urinalspülung

Referenzverbrauch für die Beurteilung der Substitution von Trinkwasser für die Toiletten-/Urinalspülung durch aufbereitetes Duschwasser in Calw ist der Wasserverbrauch für Toiletten-/Urinalspülung in Höhe von 24 l/Kopf/d. Dies entspricht dem durchschnittlichen Wasserverbrauch bei der Ausstattungsvariante II (Tab. 3-3), die heute generell in Neubauten eingesetzt wird. Diesem Verbrauch steht aus dem Bereich Dusche/Körperpflege bei Ausstattungsvariante II ein Angebot an Grauwasser für die Aufbereitung von 33,6 l/Kopf/d gegenüber.

Das täglich anfallende Abwasser aus dem Bereich der Körperreinigung (Dusch-/Badewasser, Waschtisch) ebenso wie die für Toilettenspülzwecke (inkl. Urinalspülzwecke) benötigte Wassermenge hängt neben der eingesetzten Sanitärtechnik auch von der Haushaltsgröße ab. Das bedeutet, dass für unterschiedliche Sanitärtechnik und Haushaltsgrößen der Bedarf für die Toilettenspülung mit dem Abwasseranfall aus Dusche/Körperpflege verglichen werden muss, um das Potential des Duschwasserrecyclings abzuschätzen.

Tabelle 3-7: Verhältnis von Grauwasser aus dem Bereich der Körperreinigung zum Wasserbedarf für die Toilettenspülung (= Überschussfaktor) in Abhängigkeit von der Ausstattungsvariante und der Haushaltsgröße

Abwassermenge aus Waschtisch, Dusche und Bad in l/d) : (Spülbedarf für Toilette bzw. Urinal in l/d) = Überschussfaktor	Ausstattungsvariante I	Ausstattungsvariante II	Ausstattungsvariante III
3 Personen	$176 : 126 = 1,4$	$100 : 69 = 1,4$	$78 : 48 = 1,6$
4 Personen	$237 : 176 = 1,4$	$134,5 : 96 = 1,4$	$105 : 60,5 = 1,7$
5 Personen	$298 : 226 = 1,3$	$169 : 123 = 1,4$	$132 : 73 = 1,8$

Wie Tabelle 3-7 verdeutlicht, ist der Überschussfaktor, d. h. das Verhältnis der Abwassermenge aus Waschtisch, Dusche und Bad zum Spülbedarf für Toilette bzw. Urinal, bei allen Ausstattungsvarianten und Haushaltsgrößen deutlich größer als 1. Damit steht prinzipiell immer mehr Grauwasser zur Verfügung als Spülwasser für die Toilette benötigt wird. Die Tages- und Wochengänge von Grauwasseranfall und Wasserbedarf für die Toilettenspülung verlaufen ähnlich. Unter Berücksichtigung des Reinigungsintervalls von vier Stunden und des Speichervolumens von 100 l gereinigtem Wasser in der Duschwasserrecyclinganlage wird davon ausgegangen, dass der gesamte Spülwasserbedarf ohne Nachspeisung von Trinkwasser mit Hilfe der Duschwasseraufbereitungsanlage gedeckt werden kann. Damit kann durch den Einsatz der Duschwasseraufbereitungsanlage der Trinkwasserbezug um die für die Toilettenspülung benötigte Wassermenge reduziert werden. Je nach Fall (Ausstattungsvariante bzw. Haushaltsgröße) beträgt damit die durch eine Duschwasseraufbereitung einsparbare Trinkwassermenge zwischen 48 l/d (3-Personen-Haushalt und Ausstattungsvariante III) und 226 l/d (5-Personen-Haushalt und Ausstattungsvariante I). Auf ein Jahr umgerechnet können damit durch die Duschwasseraufbereitung zwischen 16 und 77 m³ Trinkwasser je Haushalt eingespart werden.

Tabelle 3-7 verdeutlicht, dass für alle Haushaltsgrößen der Überschussfaktor mit zunehmender Effizienz der eingesetzten wassersparenden Sanitärtechniken zunimmt. Dies bedeutet, dass ohne die Erfordernis Trinkwasser nachzuspeisen mit zunehmender Wasserspar-Effizienz der Armaturen und Sanitärmöbel weitere Nutzungen für das aufbereitete Grauwasser (z.B. Gartenbewässerung, Wäschewaschen) ins Auge gefasst werden können. Damit ließe sich der Trinkwasserbezug um die für diese Nutzungen benötigten Wassermengen weiter senken.

3.2.3 Nutzung von Regenwasser zur Toiletten-/Urinalspülung und Gartenbewässerung

Referenzverbrauch für die Beurteilung der Substitution von Trinkwasser für die Toiletten-/Urinalspülung durch Regenwasser ist ebenfalls der durchschnittliche Wasserverbrauch für Toiletten-/Urinalspülung in Höhe von 24 l/Kopf/d (Ausstattungsvariante II, Tabelle 3-3). Hinzu kommt noch die für Gartenbewässerung benötigte Wassermenge. Nach Abbildung 3-1 liegt der Wasserverbrauch für Gartenbewässerung, Putzen, Autowäsche bei 8 l/Kopf/d, wobei die einzelnen Anteile nicht näher aufgeschlüsselt sind. In Reihenhäusern, die alle über eine Gartenfläche verfügen, liegt der Verbrauch für diesen Verwendungszweck naturgemäß über dem durchschnittlichen pro-Kopf-Verbrauch. In der Modellrechnung wird unabhängig von der Haushaltsgröße davon ausgegangen, dass allein für die Gartenbewässerung je Haushalt im Jahresdurchschnitt täglich eine Wassermenge in Höhe von 40 Litern verbraucht wird. Bei einer zu bewässernden Gartenfläche von 100 m² liegt dieser Verbrauch auch im Bereich, der für Außenanlagen öffentlicher Gebäude angegeben wird (Fachkommission, 1988). Mit dieser Annahme ergeben sich die in Tab. 3-8 zusammengestellten täglichen Wasserbedarfe in Abhängigkeit von der Ausstattungsvariante der Häuser bzw. der Haushaltsgröße.

Tabelle 3-8: Wasserbedarf für die Toiletten- bzw. Urinalspülung und Gartenbewässerung in Abhängigkeit von der Ausstattungsvariante und der Haushaltsgröße

Spülbedarf für Toilette bzw. Urinal + Gartenbewässerung in l/d	Ausstattungsvariante I	Ausstattungsvariante II	Ausstattungsvariante III
3 Personen	126 + 40 = 166	69 + 40 = 109	48 + 40 = 84
4 Personen	176 + 40 = 216	96 + 40 = 136	60,5 + 40 = 100,5
5 Personen	226 + 40 = 266	123 + 40 = 163	73 + 40 = 113

Das Wasserdargebot im Falle der Nutzung von Regenwasser für die Toiletten- bzw. Urinalspülung hängt nicht wie bei der Nutzung von aufbereitetem Duschwasser vom Verbraucherverhalten sondern vom lokalen Niederschlagsregime ab.

Das Niederschlagsdargebot ist sowohl innerhalb eines Jahres wie auch von Jahr zu Jahr stochastischen Schwankungen unterworfen. Wie weiter oben bereits angedeutet hat Calw im langjährigen Mittel ein jährliches Niederschlagsdargebot von ca. 850 mm, wobei die Mengen von 600 mm in niederschlagsarmen Jahren bis 1000 mm in niederschlagsreichen Jahren schwanken können. Größere Trockenperioden mit einer Dauer von mehr als einer Woche sind selten, kommen aber im Sommer wie auch im Winter vor. Niederschlagsereignisse von längerer Dauer treten vor allem im Winter auf, während im Sommer kurze aber intensive Regenereignisse überwiegen. Um diese Schwankungen auszugleichen werden entsprechende Regenwasserspeicher (Zisternen) eingesetzt.

Zur Prüfung der beiden ausgewählten Speichergrößen wurde eine Simulationsrechnung durchgeführt. An einer benachbarten Niederschlagsstation des DWD standen gemessene Tagessummenwerte der Niederschläge der letzten 30 Jahre zur Verfügung. Für die Simulationsrechnung wurden insgesamt vier verschiedene Jahre ausgewählt. Zwei Jahre mit einem im Vergleich zum langjährigen Mittel überdurchschnittlichen Jahresniederschlag (1983 mit 914 mm, 1984 mit 934 mm) und zwei Jahre mit einer unterdurchschnittlichen Jahresniederschlagshöhe (1976 mit 684 mm, 1989 mit 618 mm). Die Ganglinien der Tageswerte der Niederschläge sind in Abbildung 3-2a bis d dargestellt.

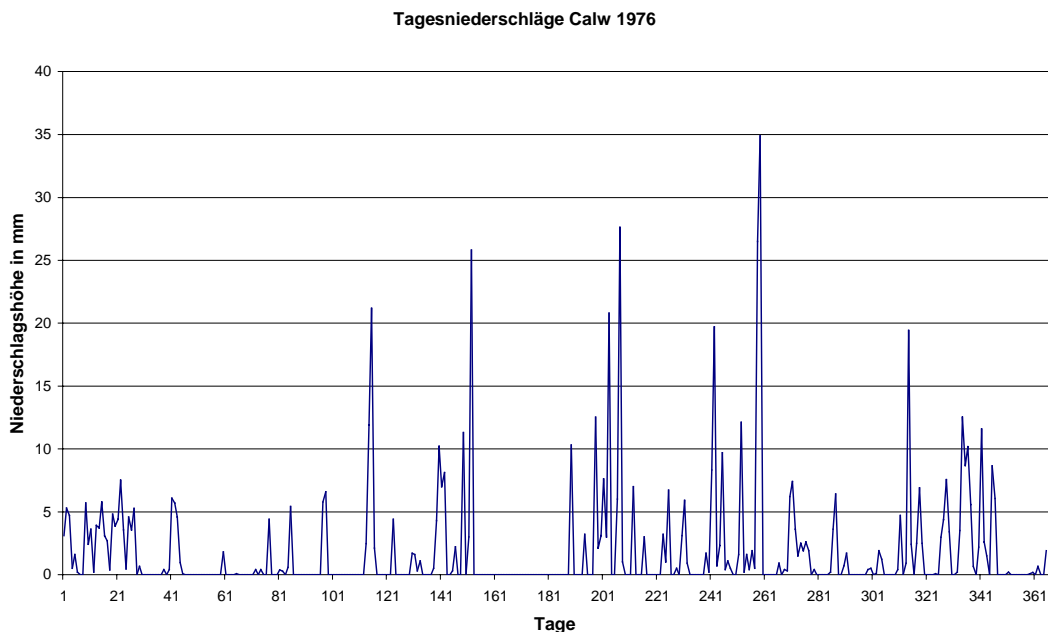


Abbildung 3-2a: Tagesniederschläge für Calw (1976)

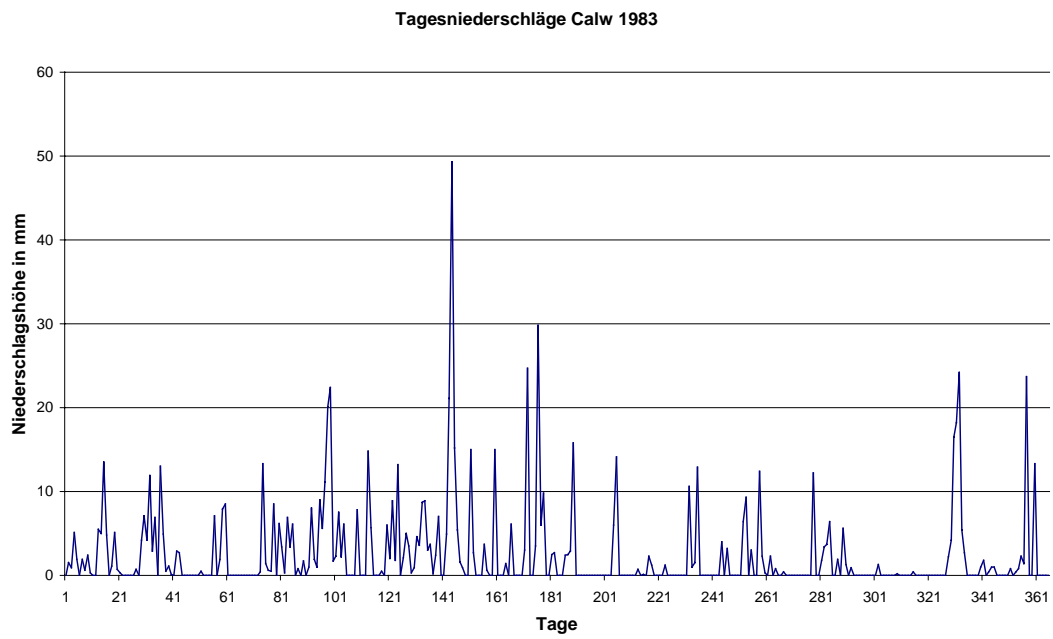


Abbildung 3-2b: Tagesniederschläge für Calw (1983)

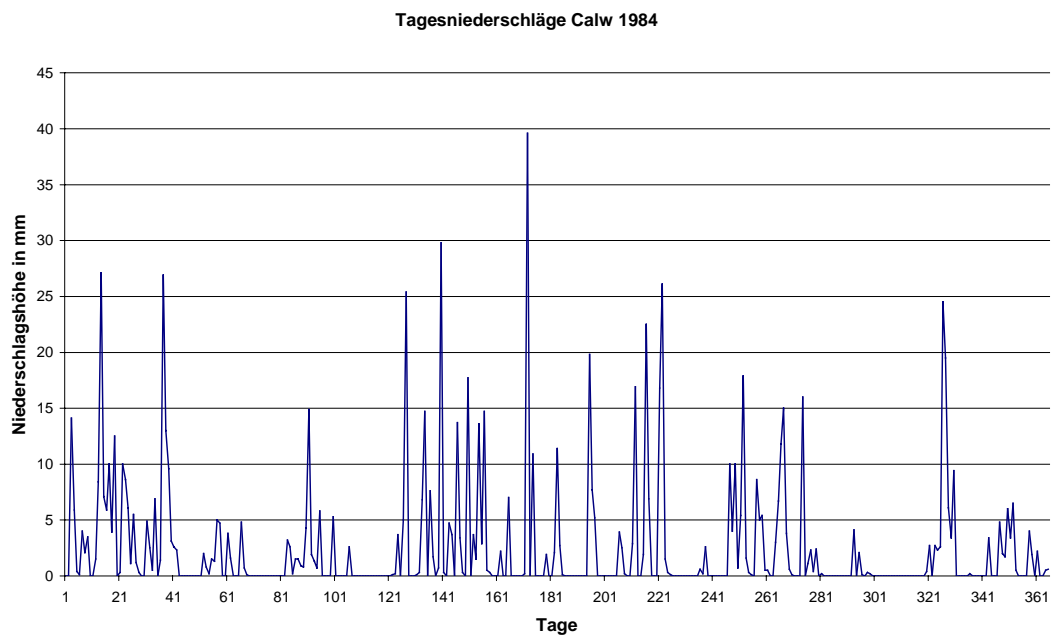


Abbildung 3-2c: Tagesniederschläge für Calw (1984)

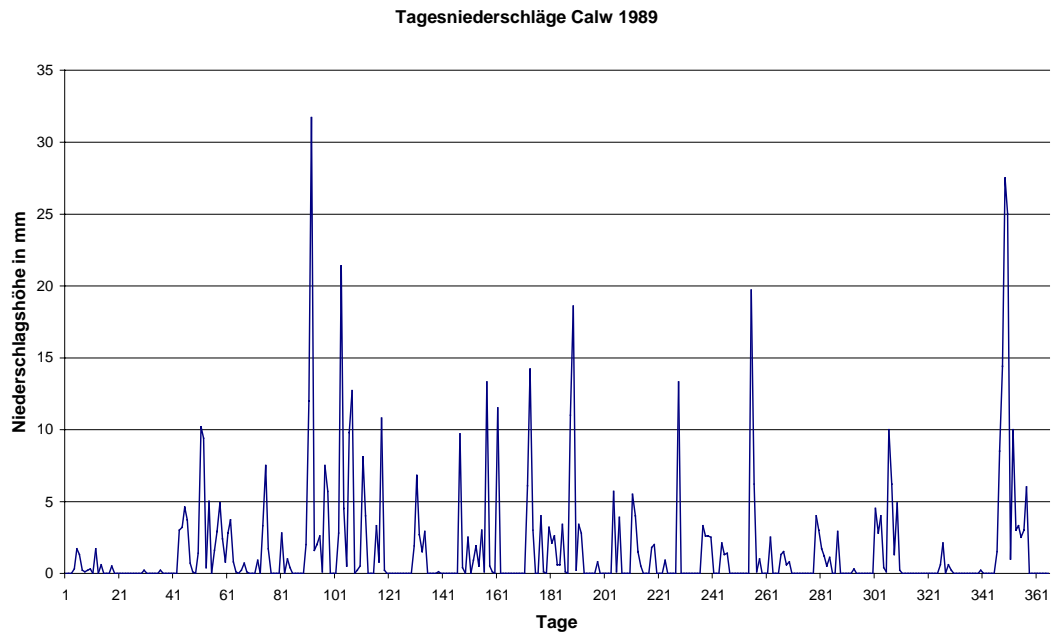


Abbildung 3-2 d: Tagesniederschläge für Calw (1989)

Die kommerziell verfügbaren Zisternen werden in den Größen 2,0 m³, 3,5 m³ oder 5,5 m³ angeboten. Diese Speichergrößen werden auch der nachfolgenden Simulation zugrunde gelegt. Darüber hinaus werden die Simulationsrechnungen nur für die Ausstattungsvariante II (konventionelle Spartechnologie) durchgeführt. Die Ergebnisse der Simulationsrechnung samt den zu Grunde liegenden Annahmen sind in der nachfolgenden Tabelle 3-9 zusammengefasst.

Die Ergebnisse in Tabelle 3-9 zeigen, daß selbst in den der Simulation zu Grunde gelegten Jahren mit für Calw relativ extremen Niederschlagsverhältnissen bei den eingesetzten konventionellen Spararmaturen (Ausstattungsvariante II) das als „Deckungspotential (netto)“ bezeichnete Verhältnis von nutzbaren Jahresgesamtniederschlag zum jährlichen Gesamtverbrauch für Toilettenspülung und Gartenbewässerung relativ hoch ist. Bei den für das Baugebiet in Calw getroffenen Annahmen einer wirksamen Dachfläche von 90 m² und einem Gesamtabflussbeiwert von $\phi = 0,77$ (einschließlich der verworfenen Niederschläge zu Beginn eines Ereignisses) übertrifft bspw. die für die Nutzung verfügbare Niederschlagsmenge den Bedarf eines 3-Personen-Haushalts noch um das 1,2 bis 1,8-fache.

Die in Tabelle 3-9 dargestellten Simulationsrechnungen wurden für die Zisternenvolumina von 2,0, 3,5 und 5,5 m³ durchgeführt. Zur Beurteilung des mit einer gegebenen Zisternengröße nutzbare Niederschlagsanteils NA wurde als Kennzahl der „genutzte Niederschlagsanteil“ wie folgt definiert:

$$NA = \frac{\text{jährl. Gesamtverbrauch [m}^3\text{]} - \text{notw. Trinkwassernachspeisung [m}^3\text{]}}{\text{nutzbaren Gesamtniederschlag auf die Dachfläche [m}^2\text{]}} \cdot 100\%$$

Dabei zeigt sich, dass der über die 4 Simulationsjahre (1976, 1983, 1984 und 1989) gemittelte genutzte Niederschlagsanteil NA bei einem 3-Personen Haushalt nahezu unabhängig vom Zisternenvolumen bei ca. 50 % liegt. In Tabelle 3-9 sind zusätzlich noch die Schwankungsbreiten für den mittleren NA angegeben. Demgegenüber steigt bei einem 4-Personen- und erst recht bei einem 5-Personen-Haushalt der nutzbare Niederschlagsanteil mit zunehmendem Zisternenvolumen deutlicher an und erreicht bei einem 5-Personen-Haushalt und einer 5,5 m³ Speichervolumen umfassenden Zisterne im Mittel ca. 63 % des nutzbaren Niederschlages.

Entsprechend dem nutzbaren Niederschlagsanteil nimmt mit zunehmendem Wasserverbrauch vom 3- bis zum 5-Personen-Haushalt auch die durch die Regenwassernutzungsanlage einsparbare Trinkwassermenge für Toilettenspülung und Gartenbewässerung von ca. 32 auf ca. 47 m³/a zu.

Tabelle 3-9: Ergebnisse der Simulationsrechnung einer Regenwassernutzung zur Substitution von Trinkwasser für Toilettenspülung und Gartenbewässerung (40 l/d) für verschieden große Haushalte (Annahmen: Ausstattungsvariante II, Dachfläche 90 m², Abflussbeiwert $\phi = 0,77$; Simulationsjahre 1976, 1983, 1984, 1989)

Haushaltsgröße (Wasserverbrauch [l/d])	Verbrauch [m ³ /a]	Deckungspotential (netto)	Speichervolumen [m ³]	mittlerer genutzter Niederschlagsanteil [%], (Schwankungsbreite)	mittlere eingesparte Trinkwassermenge [m ³ /a]
3 Personen (109 l/d)	29,9	1,2 bis 1,8	2,0	47 (40 bis 55)	32
			3,5	50 (43 bis 59)	35
			5,5	53 (44 bis 64)	37
4 Personen (136 l/d)	34,2	0,9 bis 1,4	2,0	53 (46 bis 62)	37
			3,5	58 (50 bis 67)	40
			5,5	62 (55 bis 73)	43
5 Personen (163 l/d)	38,4	0,77 bis 1,2	2,0	58 (52 bis 65)	41
			3,5	63 (56 bis 70)	44
			5,5	68 (61 bis 75)	47

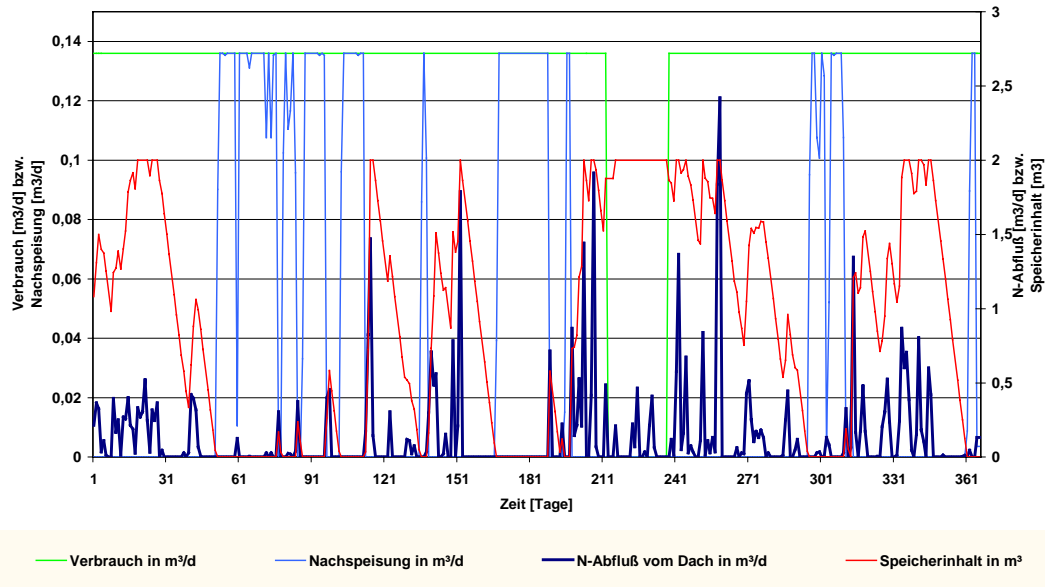
Die Simulationsergebnisse zeigen – wie erwartet - auch, dass die durch eine Regenwassernutzungsanlage einsparbare Trinkwassermenge umso größer ist, je weniger effizient die eingesetzten Armaturen und die Sanitärmöbeltechnik im Toilettenbereich ist (Tabelle 3-10).

Tabelle 3-10: Durch Regenwassernutzung für Toilette und Gartenbewässerung (40 l/d) im Mittel über die 4 Simulationsjahre (1976, 1983, 1984, 1989) einsparbare Trinkwassermenge in Abhängigkeit von der Haushaltsgröße, dem verfügbaren Volumen der Zisterne und der Ausstattungsvariante der Armaturen im Toilettenbereich (siehe Tab. 3-2 und 3-4 bis 3-6)

Haushaltsgröße (Wasserverbrauch [l/d])	Speicher- volumen [m ³]	mittlere eingesparte Trinkwassermenge [m ³ /a]	
		Ausstattungs- variante II	Ausstattungs- variante III
3 Personen (109 l/d)	2,0	32	28
	3,5	35	29
	5,5	36	30
4 Personen (136 l/d)	2,0	37	30
	3,5	40	33
	5,5	43	34
5 Personen (163 l/d)	2,0	41	33
	3,5	44	35
	5,5	47	38

In Abbildung 3-3 a/b und 3-3 c/d sind beispielhaft für den Fall eines 4-Personenhaushaltes mit Ausstattungsvariante II und einem Regenwasserspeicher von 2 m³ Volumen typische Zeitverläufe der Ganglinien der der Simulation zugrunde gelegten Niederschläge, des Wasserbedarfs, der benötigten Trinkwassernachspeisung und der Speicherfüllung für die Jahre 1976/1983 bzw. 1984/1989 dargestellt. Die Abbildungen verdeutlichen die sehr unterschiedlichen Nachspeisungsbedarfe und Speicherfüllungsverläufe, die sich aus den sehr unterschiedlichen Niederschlagsverläufen dieser Jahre ergeben.

Jahresganglinien 1976 (Variante 40 Liter pro Tag Gartenbewässerung)



Jahresganglinien 1983 (Variante 40 Liter pro Tag Gartenbewässerung)

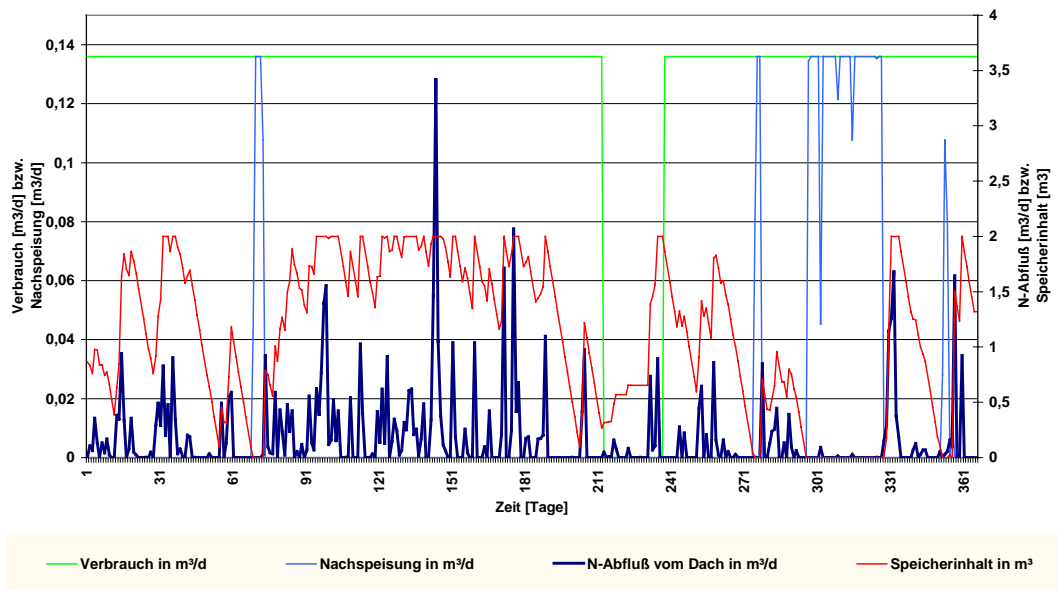
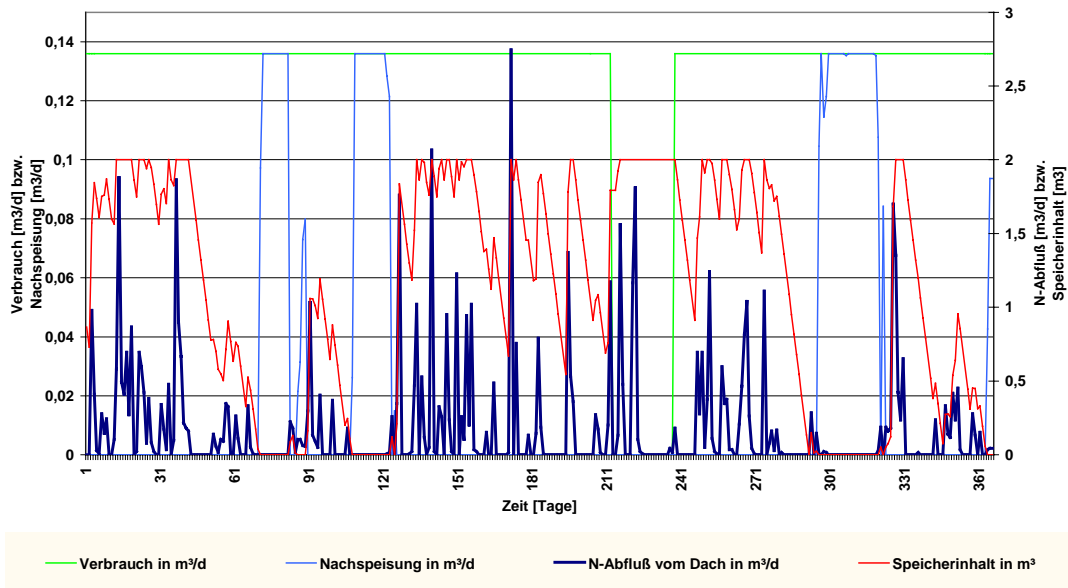


Abbildung 3-3 a/b: Simulierte Ganglinien der Tageswerte von Niederschlag, Grauwasserverbrauch, Trinkwassernachspeisung und Speicherinhalt des Regenwasserspeichers für das Jahr 1976 und 1983 (4-Personenhaushalt, Ausstattungsvariante II, Speichervolumen 2 m³, 40 l/d Wasserbedarf für Gartenbewässerung)

Jahresganglinien 1984 (Variante 40 Liter pro Tag Gartenbewässerung)



Jahresganglinien 1989 (Variante 40 Liter pro Tag Gartenbewässerung)

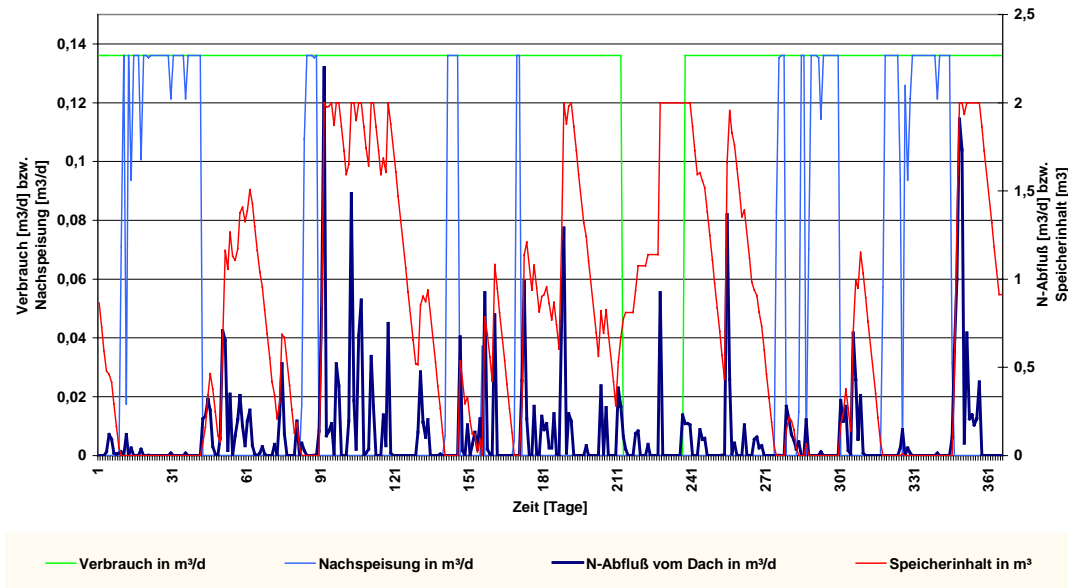


Abbildung 3-3 c/d: Simulierte Ganglinien der Tageswerte von Niederschlag, Grauwasserverbrauch, Trinkwassernachspeisung und Speicherinhalt des Regenwasserspeichers für das Jahr 1984 und 1989 (4-Personenhaushalt, Ausstattungsvariante II, Speichervolumen 2 m³, 40 l/d Wasserbedarf für Gartenbewässerung)

3.2.4 Versickerung

Die Überlegung, eine systematische Regenwasserbewirtschaftung mit Hilfe von Regenwasserversickerung und anderen Maßnahmen (z.B. Regenwassernutzung, Dachbegrünung) zur Entlastung der sich ihrer Kapazitätsgrenze nähernden bestehenden Kanalisation in Betracht zu ziehen, konnte erst kurz vor Abschluss des Bebauungsplanverfahrens ins Spiel gebracht werden. Da zu diesem Zeitpunkt die Flächenfestsetzung bereits erfolgt war, standen grundsätzlich nur noch sehr wenige Flächen entlang der öffentlichen Wege für Niederschlagsversickerungsmaßnahmen zur Verfügung. Die prinzipiell zur Verfügung stehenden Versickerungsverfahren waren dadurch sehr eingeschränkt. Die weiteren Überlegungen bauten auf dem Einsatz des neuentwickelten BIRCO-Versickerungsrinnensystems (einem Rigolensystem) auf.

Zur Überprüfung der Möglichkeit, im Untersuchungsgebiet Calw-Galgenwasen Regenwasser zu versickern, wurde in Zusammenarbeit mit dem Tiefbauamt der Stadt Calw und der Fa. BIRCO ein Versickerungsversuch durchgeführt.

Es wurde ein Schurf angelegt (Fläche: 80 x 80 cm, Tiefe: 1m), in dem lehmig-mergeliges Material aus dem Unteren Muschelkalk angetroffen wurde. Bei dem Versickerungsversuch wurde in dem Schurf ein Wasserspiegel von 50 cm über Basis des Schurfs eingestellt und die zufließende Wassermenge so eingestellt, dass ein konstanter Wasserspiegel eingehalten wurde. Die Zuflussmenge betrug 15 ml/s. Die Berechnung der Durchlässigkeit (K_f -Wert) erfolgte nach der Methode des US Bureau of Reclamation (1974) nach folgender, für den ungesättigten Bereich modifizierten Formel:

$$K_f = 0,265 \cdot \frac{Q}{h^2} \cdot \left(\ln \left(\frac{h}{r} + \sqrt{\left(\frac{h}{r} \right)^2 + 1} \right) - 1 \right)$$

Dabei sind:

- Q: Zuflussmenge [m^3/s]
- h: Aufspiegelung des Wassers [m]
- r: Ersatzradius des Schurf

Daraus ergibt sich ein K_f -Wert von $7 \cdot 10^{-7}$ m/s.

Nach dem ATV-Arbeitsblatt A 138 wird als kleinster Wert für Versickerungsanlagen ein K_f -Wert von $5 \cdot 10^{-6}$ m/s gefordert.

Insbesondere ein Rigolensystem (wie das hier ins Auge gefasste BIRCO-Versickerungsrinnensystem) würde bei dem angetroffenen Boden unwirtschaftliche Dimensionen annehmen müssen, um, wie in ATV A-138 gefordert, den gesamten 5-jähri-

gen Bemessungsniederschlag (Niederschlagsdauer 10 Minuten) aufnehmen zu können.

Da zum einen, wie bereits erwähnt, im Untersuchungsgebiet für Versickerungszwecke nur noch die Flächen der öffentlichen Verkehrswege und ihrer Randstreifen zur Verfügung standen und zum anderen das Baugebiet sich durch seine Hanglage auszeichnet, wäre es ideal gewesen, das BIRCO-Versickerungssystem in den Straßen quer zur Fahrtrichtung einzubauen, da die Straßenführung im Baugebiet nicht parallel zu den Höhenlinien des Geländes möglich war, und die Straßen daher z.T. ein starkes Gefälle aufweisen. Durch den Quereinbau hätte zumindest die Versickerung eines substantiellen Anteils der Regenabflüsse von den öffentlichen Flächen sichergestellt werden können. Von Seiten des Tiefbauamtes der Stadt Calw gab es aber gegen den Einbau der Versickerungsrinnen in den Straßen Bedenken, dass sich infolge eines vermuteten unterschiedlichen Setzungsverhaltens von Straßenkörper und Versickerungsrinnen - auch bei der im Baugebiet zu erwartenden geringen Verkehrsbelastung - Probleme ergeben könnten. Damit verblieb nur die Möglichkeit, die Versickerungsrinnen entlang der Straßen einzubauen. Auf Grund des Straßengefälles hätte dies aber bedeutet, dass die Rinnen abschnittsweise mit Abstürzen auszuführen wären, was relative hohe zusätzlich Baukosten bedeutet hätte.

Aus diesen Gründen wurde darauf verzichtet, die Regenabflüsse von den öffentlichen Verkehrsflächen im Baugebiet zu versickern. Lediglich in einem kurzen Straßenabschnitt (Zufahrt zu einer Garagenreihe) und den daran anschließenden Fußwegen sollten zu Versuchszwecken die Versickerungsrinnen parallel zu den Wegen eingebaut werden, um Erfahrungen für den in Zukunft zu erschließenden nächsten Bauabschnitt zu sammeln.

3.3 Abschätzung der Wirtschaftlichkeit der betrachteten Trinkwasser-Einspartechniken und Regenwasser-Rückhaltetechniken

3.3.1 Wassersparende Armaturen und Sanitärmöbel

Wassersparende Armaturen (z. B. Einhebelmischer, Thermostat-Mischventile, wassersparende Duschköpfe, berührungslose Armaturen, Selbstschlussarmaturen) werden seit vielen Jahren von sehr vielen Herstellern angeboten, so dass sie je nach Eignung und Nutzungsprofil heute in Deutschland in privaten Haushalten sowie in öffentlichen Einrichtungen und im Dienstleistungsbereich in allen Neubauten und bei der Altbauanierung eingesetzt werden. Entsprechendes gilt für Armaturenzubehör wie Luftpudler und Durchflussregler. Ihre wassersparenden Wirkungen und ihre Wirtschaftlichkeit sind hinreichend untersucht und dokumentiert (z. B.

Möhle/Masannek, 1990; Feurich, 1997), was sich auch in Informationsmaterialien für die privaten Haushalte (z. B. Reichmann, 1995; Koenigs, 1998) und für öffentliche Gebäude (Fachkommission, 1998) widerspiegelt.

Ein wesentlicher Aspekt der Wirtschaftlichkeit ist, dass bei Waschtischen und Duschen mit diesen Armaturen nicht nur der Wasser- sondern auch der Energieverbrauch erheblich reduziert wird, weshalb sich teilweise Amortisationszeiten von deutlich unter einem Jahr ergeben (Möhle, 1998; Feurich, 1997). Aus diesem Grund wurden für das Neubaugebiet Calw keine Rechnungen zur Wirtschaftlichkeit wassersparender Armaturen durchgeführt. Dies gilt auch für die besonders wassersparenden Armaturen, die in Kapitel 3.2.1 für die Ausstattungsvariante III gewählt wurden. Nach Angaben des Herstellers liegen die Kosten hierfür nicht höher als bei den herkömmlichen Armaturen dieses Herstellers.

Wie die wassersparenden Armaturen und das entsprechende Zubehör haben sich in Neubauten und bei der vollständigen Sanierung der Sanitäreinrichtungen für die Toiletten die 6-Liter Spülkästen mit Stop-Taste/Spartaste durchgesetzt. Während bei den Armaturen Nachrüstungen unproblematisch und die Installationskosten relativ niedrig sind, müssen bei der Nachrüstung von Stopptasten für die Toiletten-spülung häufiger die Spülkästen, teilweise auch die WC-Schüsseln ausgetauscht werden. Dies zeigt ein Modellprojekt in Frankfurt-Zeilsheim, in dem etwa 4000 Wohnungen dieses Stadtteils mit wassersparenden Armaturen, dem erforderlichen Zubehör und Wohnungs-Wasserzählern ausgestattet wurden (Cichorowski/Schreiber, 1998). Da in diesem Modellprojekt die Wirtschaftlichkeit der Nachrüstungsmaßnahmen nachgewiesen werden konnte (Wassereinsparung 10 - 30 %), plant die Stadt Frankfurt ein Nachfolgeprojekt, in dem sieben weitere Stadtteile mit wassersparenden Armaturen nachgerüstet werden sollen (Fay, 1999). In dem Folgeprojekt werden die Kosten für die neuen Armaturen von den Haushalten übernommen, die Installationskosten werden von der Stadt Frankfurt getragen (bei 75 % Förderung durch das Land Hessen). In öffentlichen Einrichtungen, Verwaltungsgebäuden, Hotels etc. ist wegen der höheren Nutzungsfrequenz die Amortisationszeit von Nachrüstungen deutlich niedriger als in privaten Haushalten, wie das Beispiel des Sheraton-Hotels in Frankfurt verdeutlicht (Holle, 1994).

Die Ausstattung der geplanten Reihenhäuser mit Urinalen erfordert zusätzliche Kosten für das Urinal und die Installation zusätzlicher Leitungen in Höhe von 500 DM je Stück. Die damit verbundene Wassereinsparung ergibt sich aus dem Vergleich mit der reduzierten WC-Spülung (vgl. Tabelle 3-1). Für den unterstellten Verbrauch eines 4-Personen-Haushaltes (Tabelle 3-3) errechnet sich daraus eine Wassereinsparung von $4,76 \text{ m}^3$ /Jahr, womit sich bei den mittleren Wasser-/Abwasserpreisen eine jährliche Einsparung von 35,70 DM ergibt. Ohne Berücksichtigung der Zinsen für die erforderliche Investition rechnet sich das Urinal damit erst nach 14 Jahren. Hauptargumente für eine Urinal in Wohngebäuden dürften jedoch der höhere Komfort und hygienische Aspekte sein.

3.3.2 Wirtschaftlichkeitsrechnungen zur Grauwasseraufbereitung und Regenwassernutzung

3.3.2.1 Methodik und Randbedingungen

Ziel der folgenden Betrachtungen ist es, den durch den reduzierten Wasserverbrauch zu erzielenden Einsparungen die Kosten der ausgewählten Techniken gegenüber zu stellen. Es wird dabei von einem Anwendungsfall im Bereich des privaten Hausbaus ausgegangen, d.h. es sollte ein möglichst einfaches und übersichtliches Verfahren zur Wirtschaftlichkeitsberechnung ausgewählt werden, das in etwa den Überlegungen eines privaten Bauherrn bei Planung und Bau bzw. Renovierung eines eigengenutzten Gebäudes entspricht. Aus den unterschiedlichen Methoden zur Wirtschaftlichkeitsberechnung wurde deshalb die Gewinnvergleichsrechnung als statisches Verfahren ausgewählt. Sowohl der Wertverlust als auch die Zinsbelastung werden mit berücksichtigt. Die Höhe der Zinsbelastung hängt ab von der durchschnittlichen Kapitalbindung, die durch den Restwertverlauf der Investition bestimmt wird. Da davon ausgegangen werden kann, dass im vorliegenden Fall der Restwert im Zeitverlauf kontinuierlich abnimmt, ist auf die gesamte Investitionsdauer gesehen durchschnittlich die Hälfte der Anschaffungskosten gebunden und damit zu verzinsen. Grundsätzlicher Nachteil dieses statischen Verfahrens ist allerdings, dass die zeitliche Verteilung der Kosten und Erlöse über den Betrachtungszeitraum hinweg nicht berücksichtigt wird (Wöhe, 1986).

Folgende Randbedingungen sind bei den nachfolgenden Berechnungen mit eingeflossen:

- Als Kapitalzins wurde unterschieden zwischen einem realen (inflationsbereinigten) Zinssatz von 4 % (Einsatz von Eigenkapital) und 6 % (Einsatz von Fremdkapital).
- Investitionsdauer bzw. Lebensdauer der Anlage:
Für die festinstallierten, nicht beweglichen Teile der Regenwasser- und Grauwasseranlage (Leitungen, Behälter, etc.) wurde von einer mittleren Lebensdauer der Anlage von 50 Jahren ausgegangen. Für die Pumpen und die Steuerung wurde dagegen eine Lebensdauer von 15 Jahren angenommen.
- Bei der Berechnung der Kostenersparnis, die sich durch die Wassereinsparung ergibt, sind die unterschiedlichen Abrechnungsmodalitäten für die Berechnung der Abwassermenge in Verbindung mit einer Regenwassernutzungsanlage zu berücksichtigen. In der einfachsten und derzeit noch am häufigsten eingesetzten Variante wird die Abwassergebühr nach dem Frischwassermaßstab erhoben und der Trinkwasserverbrauch dient somit als Grundlage der Gebührenrechnung. Damit ergeben sich bei der Regenwassernutzung Kosteneinsparungen nicht nur bei den Gebühren für das Trinkwasser, sondern auch beim Abwasser, obwohl die tatsächlich eingeleitete Abwassermenge unverändert bleibt (die Reduktion der zu

behandelten Regenwassermenge wird dabei jedoch nicht gesondert honoriert). Inzwischen ebenfalls weit verbreitet ist die sogenannte gesplittete Abwassergebühr, bei der zusätzlich zur dann etwas niedrigeren Abwassergebühr eine Gebühr auf die versiegelte Fläche erhoben wird. Nach Untersuchungen der Abwassertechnischen Vereinigung (ATV) ist diese gesplittete Abwassergebühr inzwischen in mehr als 20 % der Kommunen eingeführt, bezogen auf die Einwohner liegt der Anteil bei knapp 40 % (Bäumer/Lohaus, 1997). Wird in diesen Kommunen das Regenwasser von Haushalten genutzt, wird i.d.R. die versiegelte Fläche, die an die Anlage angeschlossen ist, bei der Berechnung der Niederschlagswassergebühr herausgenommen, obwohl auch von diesen Flächen immer noch – je nach Regenmenge und dem freien Speichervolumen der Zisterne – gewisse Regenwassermengen über die Kanalisation abgeleitet werden müssen. Insbesondere bei einer gesplitteten Abwassergebühr wird i.d.R. die Abwassermenge, die durch die Regenwassernutzung entsteht, mit berücksichtigt. Diese Menge wird dann entweder pauschal abgeschätzt oder es sind entsprechende Wasserzähler zur Messung des Verbrauchs der über Regenwasser versorgten Verbraucher mit einzubauen (abzüglich der Trinkwassernachspeisung in die Regenwasserzisterne).

- Bei den Wasser- und Abwasserpreisen wurden die vorliegenden Übersichten über die Preissituation in Deutschland ausgewertet (s. für den Abwasserpreis Abbildung 3-4 und 3-5). In den Berechnungen verwendet wurden zum einen die für Deutschland gültigen Durchschnittspreise von 3,25 DM/m³ für Wasser und 4,25 DM/m³ für Abwasser sowie optional Preise, die im oberen Drittel des Preisspektrums liegen (5 DM/m³ bzw. 8 DM/m³).
- Es wurde davon ausgegangen, dass bei Armaturen und Sanitärmöbeln die in Kapitel 3.2 beschriebene Standard-Wasserspartechnik eingesetzt wird (s. Variante II in Kapitel 3.2).
- Bei den Einsparungen durch den reduzierten Wasserverbrauch werden in Kap. 3.3.2 nur die direkt bei dem Nutzer der Anlagen anfallenden Einsparungen bei den Wasser- und Abwassergebühren berücksichtigt. Indirekte Einsparungen durch die Regenwassernutzungsanlage - wie z.B. verringerte Kosten für das Kanalnetz, für die Regenwasserbehandlung oder bei der Kläranlage durch die Verringerung der hydraulischen Belastung - sind je nach den lokalen Randbedingungen sehr unterschiedlich und insgesamt schwierig zu quantifizieren. Eine Weitergabe dieser Einsparungen vom Kanalnetz- oder Kläranlagenbetreiber an den Anlagenutzer ist außerdem nicht üblich. Allerdings können diese Einsparungen – neben ökologischen Aspekten – Motivation für eine finanzielle Förderung von Regenwassernutzungsanlagen bspw. durch die Kommune sein. Auf diesen Punkt wird in Kap. 4 näher eingegangen.

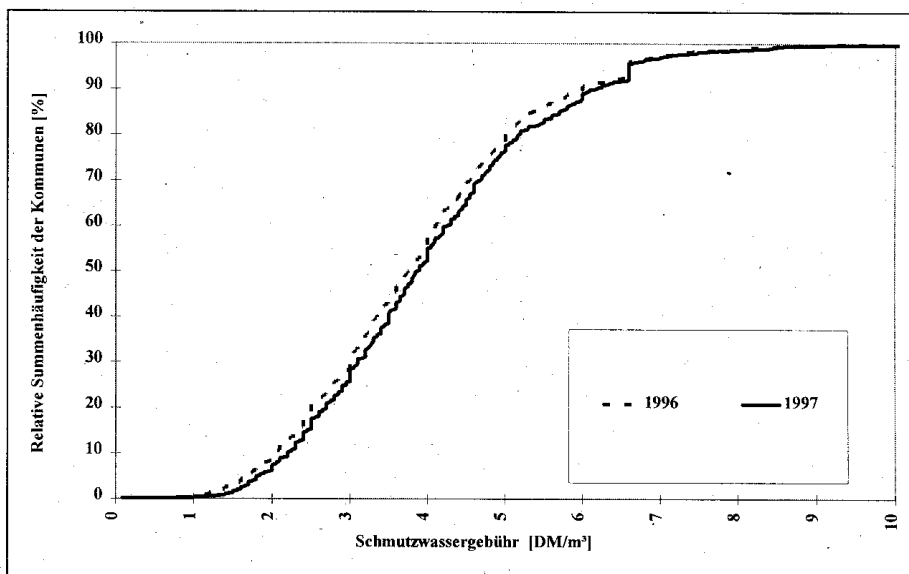


Abbildung 3-4: Relative Summenhäufigkeit der Schmutzwassergebühren für die Jahre 1996 und 1997 bei Kommunen, die den Frischwassermaßstab verwenden (Bäumer/Lohaus, 1997)

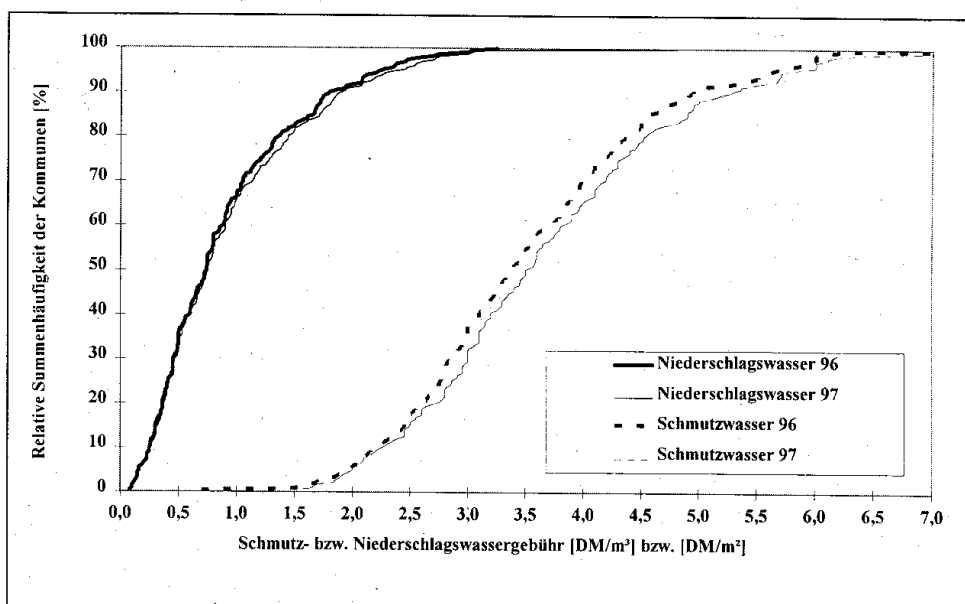


Abbildung 3-5: Relative Summenhäufigkeit der Schmutzwassergebühren für die Jahre 1996 und 1997 bei Kommunen, die den gesplitteten Gebührenmaßstab verwenden (Bäumer/Lohaus, 1997)

3.3.2.2 Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsberechnungen

Grauwasseraufbereitung und -nutzung

Nach Angaben des Herstellers liegen die Kosten einer Duschwasserrecyclinganlage bei ca. 6.000 DM. Darin sind ca. 750 DM für Anlagenteile mit einer Lebensdauer von 15 Jahren enthalten. Zusätzliche Kosten von etwa 1.000 DM fallen bei der Installation (Leitungen, Anschlüsse) an. Bei den Betriebskosten ist zum einen der Energieverbrauch der Anlage zu berücksichtigen. Die maximale Anschlussleistung der Anlage mit Pumpen, Belüfter und UV-Lampe liegt bei 1 kW. Nach den bisherigen Betriebserfahrungen liegt der Stromverbrauch zwischen 0,4 und 0,6 kWh pro Tag. Ausgehend von 0,5 kWh pro Tag und Stromkosten von 0,25 DM/kWh ergeben sich Energiekosten von 46 DM pro Jahr. Zusätzliche Kosten entstehen durch den Wartungsaufwand, bei dem nach den bislang vorliegenden Erfahrungen von einer jährlichen Sichtkontrolle auszugehen ist. Hierfür werden 100 DM pro Jahr angesetzt.

Die jährlichen Einsparungen ergeben sich aus den in Kapitel 3.2 berechneten Wassereinsparungen (Variante II) und den entsprechend den oben unterschiedenen Optionen einzusetzenden Wasser- und Abwasserpreisen. Bei den Berechnungen wurden folgende Optionen unterschieden:

- Gebühren nach Frischwassermaßstab,
- gesplittete Abwassergebühr,
- Haushaltsgröße zwischen 3 und 5 Personen,
- durchschnittliche und hohe Wasser- und Abwasserpreise sowie
- Zinssatz von real 4 % und 6 %.

In Tabelle 3-11 ist beispielhaft die Berechnung für eine Option wiedergegeben. Die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsberechnungen sind in Abbildung 3-6 dargestellt. Diese Ergebnisse zeigen, dass unter den genannten Randbedingungen für eine Anlage zum Duschwasserrecycling in einem Einfamilienhaus mit den angenommenen Wasserverbräuchen keine Erlöse zu erzielen sind. Andere Einflussgrößen, mit denen gegebenenfalls eine Wirtschaftlichkeit erreicht werden kann, werden in Kapitel 4 diskutiert. Dort wird auch erläutert, dass für Entscheidungen, wie z. B. die zur Installation von neuen, umweltfreundlichen Techniken in privaten Haushalten, nicht unbedingt betriebswirtschaftliche Überlegungen die ausschlaggebende Rolle spielen.

Tabelle 3-11: Beispiel für die Berechnung der Wirtschaftlichkeit der Grauwassernutzungsanlage (hier: Gebühren nach Frischwassermaßstab, hohe Wasser- und Abwasserpreise, Zinssatz 6 %)

		Haushaltsgröße (Personenzahl)		
		3	4	5
Investitionen (Lebensdauer 50 Jahre)	DM	6250		
Investitionen (Lebensdauer 15 Jahre)	DM	750		
Wertverlust	DM/a	175		
Zinsbelastung	DM/a	210		
Energiekosten pro Jahr	DM/a	46		
Wartungskosten pro Jahr	DM/a	100		
Summe Betriebskosten	DM/a	146		
Betriebs- und Kapitalkosten	DM/a	531		
Wasser- /Abwasserpreis	DM/m ³	5,00 / 8,00		
Trinkwassereinsparung	m ³ /a	23,5	32,6	41,8
Einsparungen Wasser- und Abwassergebühr	DM/a	305	425	544
Gesamtergebnis	DM/a	-226	-106	+13

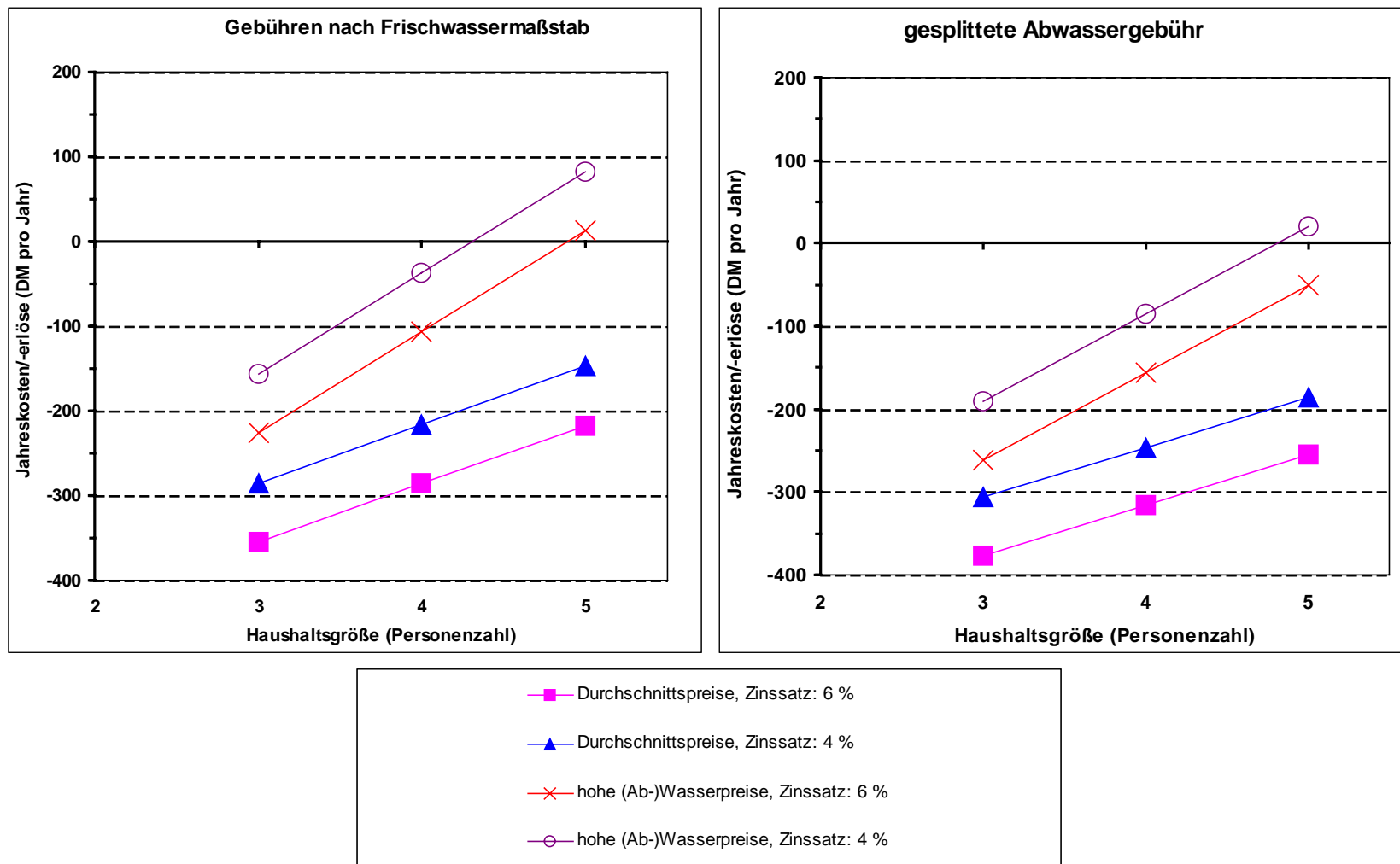


Abbildung 3-6: Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsberechnungen für die Anlage zur Grauwasseraufbereitung

Anlagen zur Regenwassernutzung

Die Kosten einer typischen Regenwassernutzungsanlage für ein Einfamilienhaus sind in Tabelle 3-12 aufgeschlüsselt. Grundlage der Kostenaufschlüsselung ist die Preisermittlung im Rahmen des Projektes in Calw. Danach ergeben sich Kosten von 5.500 DM für eine Anlage mit einem 2.000 l Tank bzw. Kosten von 6.100 DM bei einem Tank mit 3.500 l Inhalt. Der größere Tank wurde bei einer Haushaltsgröße von 5 Personen vorgesehen. Der Energieaufwand der Anlage (Pumpenleistung 0,75 kW) liegt bei etwa der Hälfte des Aufwandes der Grauwasseranlage (0,25 kWh pro Tag), die Energiekosten liegen damit bei 23 DM pro Jahr. Die Betriebserfahrungen mit Regenwassernutzungsanlagen zeigen, dass der Wartungsaufwand dieser Anlagen sehr gering ist und sich i.d.R. auf ein Reinigen bzw. Abspülen des Filters reduziert. Es wurde trotzdem davon ausgegangen, dass alle 2 Jahre eine kurze Überprüfung der Anlagen durch fachkundiges Personal notwendig ist. Die dafür vorzusehenden Kosten von etwa 100 DM ergeben somit zusätzliche Wartungskosten von 50 DM pro Jahr.

Die Wassereinsparungen durch die Regenwassernutzung ergeben sich aus den Berechnungen in Kapitel 3.2 (Variante II). Bei den Berechnungen wurden folgende Optionen unterschieden:

- Gebühren nach Frischwassermaßstab (Erhebung der Abwassergebühr nur für die Trinkwassermenge),
- gesplittete Abwassergebühr (Erhebung der Abwassergebühr für die tatsächliche Abwassermenge),
- gesplittete Abwassergebühr (Erhebung der Abwassergebühr nur für die Trinkwassermenge),
- Haushaltsgröße zwischen 3 und 5 Personen,
- durchschnittliche und hohe Wasser- und Abwasserpreise sowie
- Zinssatz von 4 % und 6 %.

Die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsberechnungen sind für eine Option beispielhaft in Tabelle 3-13 im Detail aufgeführt. Die Gesamtergebnisse, die in Abbildung 3-7 dargestellt sind, zeigen, dass unter den oben genannten Randbedingungen eine Regenwassernutzungsanlage für ein Einfamilienhaus nur bei hohen Wasser-/Abwasserpreisen wirtschaftlich ist. Wenn bei einem gesplitteten Gebührenmaßstab sowohl die Niederschlagswassergebühr erlassen und die Abwassergebühr nur für die Trinkwassermenge erhoben wird, kann allerdings die Wirtschaftlichkeit bereits bei mittleren Preisen erreicht werden. Grundsätzlich verbessert ein höherer Wasserverbrauch für die Toilettenspülung (höhere Personenzahl im Haushalt) die Wirtschaftlichkeit. Der Einfluss verschiedener anderer wichtiger Parameter auf die Wirtschaftlichkeit der Regenwassernutzung wird in Kapitel 4 analysiert.

Tabelle 3-12: Aufschlüsselung der Investitionskosten einer für private Haushalte typischen Regenwassernutzungsanlage

Pos.	Anlagenteil	Kosten	
		DM	DM
1	Haustank 2.000 Liter bzw. 3.500 Liter	DM 1.400	DM 2.000
2	Schachtverlängerung	DM	150
3	Automatic-Filter	DM	450
4	Ansaug Set	DM	230
5	Universal-Center inkl. Kreisel-Pumpe	DM	2.100
6	Mauerdurchführung	DM	100
7	Mäuse-/Rattenstop	DM	25
8	Beschriftungsset	DM	45
9	Rohre Zu- und Ablauf, Installation	DM	1.000
	Summe	DM 5.500	DM 6.100

Tabelle 3-13: Beispiel für die Berechnung der Wirtschaftlichkeit der Regenwassernutzungsanlage (hier: Gebühren nach Frischwassermaßstab, Abwassergebühr nur für die Trinkwassermenge, hohe Wasser- und Abwasserpreise, Zinssatz 6 %)

		Haushaltsgröße (Personenzahl)		
		3	4	5
Speichervolumen des Regenwassertanks	l	2000	2000	3500
Investitionen (Lebensdauer 50 Jahre)	DM	4750	4750	5350
Investitionen (Lebensdauer 15 Jahre)	DM	750		
Wertverlust	DM/a	145	145	157
Zinsbelastung	DM/a	165	165	183
Energiekosten pro Jahr	DM/a	23		
Wartungskosten pro Jahr	DM/a	50		
Summe Betriebskosten	DM/a	73		
Betriebs- und Kapitalkosten	DM/a	383	383	413
Wasser- /Abwasserpreis	DM/m ³	5,00 / 8,00		
Trinkwassereinsparung	m ³ /a	33	38	45
Einsparungen Wasser- und Abwassergebühr	DM/a	421	488	586
Einsparungen Niederschlagswassergebühr	DM/a	entfällt		
Gesamtergebnis	DM/a	38	105	173

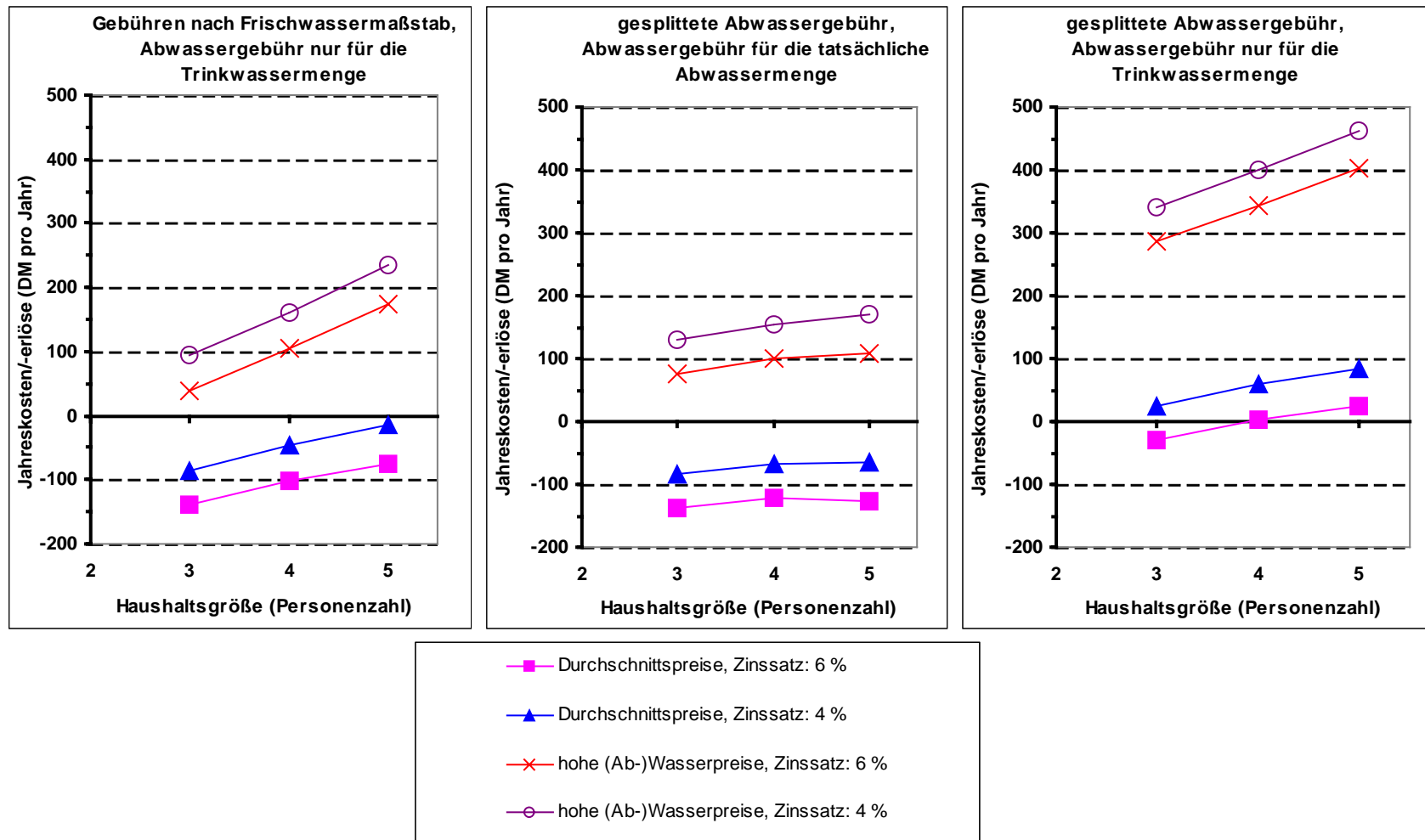


Abbildung 3-7: Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsberechnungen für die Regenwassernutzung

3.3.3 Dachbegrünungen

Die Vorteile von Dachbegrünungen, die in Kapitel 2.5 erläutert sind, lassen sich monetär nicht oder nur schwierig beziffern. Hierzu gehören die Verbesserung der chemischen und physikalischen Beanspruchung der Dachabdichtung, der sommerliche Wärmeschutz sowie die Verbesserung des Stadt- und Landschaftsbildes. Mögliche Kostenvorteile für die Kanalisation, die Regenwasserbehandlung oder die Abwasserreinigung hängen von den spezifischen Randbedingungen der jeweiligen Kommune ab, sie sind schwierig zu quantifizieren. Für das Neubaugebiet in Calw hätten sich nur bei einer gleichzeitigen Versickerung eines großen Teils des außerhalb der Dachflächen niedergehenden Niederschlags Kostenvorteile für die Entsorgungsseite ergeben. Wie in Kapitel 3.2.4 erläutert, konnten jedoch die Versickerungsmaßnahmen aus organisatorischen und geographischen Gründen nicht realisiert werden. Unabhängig von wirtschaftlichen Überlegungen sollten in Calw jedoch alle Häuser, die mit einer Duschwasserrecyclinganlage geplant waren, aus ökologischen und architektonischen Gründen auch mit einer Dachbegrünung gebaut werden.

Die Mehrkosten der Dachbegrünung liegen im Vergleich zu konventionellen Dach-eindeckungen von ca. 100 m² Fläche mit mittlerer bis leichter Neigung bei 15 bis 20 DM/m², einschließlich der Kosten, die sich durch die erhöhten statischen Lasten ergeben. Bei Flachdächern und mehrgeschossigen Bauten können auf Grund der statischen Anforderungen die Mehrkosten deutlich höher liegen. Für den Bauherrn eines Einfamilienhauses lassen sich im Fall einer gesplitteten Abwassergebühr Kostenentlastungen von jährlich im Mittel 1,50 DM/m² gegenrechnen (Bäumer/Lohaus, 1997), d. h. der Mehraufwand amortisiert sich frühestens nach 10 - 15 Jahren, wenn als Kostenentlastung nur die Abwasserseite berücksichtigt wird. Bei größeren Siedlungen, Verwaltungs- und Gewerbegebäuden können sich zusätzlich erhebliche Kostenvorteile ergeben, wenn die begrünten Dachflächen als Ausgleichsflächen angerechnet werden können und sich der Grundstückbedarf damit verringert.

4. Diskussion und Übertragbarkeit der Ergebnisse

Die in Kapitel 3.2 dargestellten Modellrechnungen zu den Trinkwassereinsparpotentials von Duschwasserrecycling- und Regenwassernutzungsanlagen sind ein Hilfsmittel, um die Bedeutung unterschiedlicher Einflussparameter und Randbedingungen auf den betriebswirtschaftlichen Nutzen dieser Techniken besser fassen und darstellen zu können. Die darauf aufbauenden Wirtschaftlichkeitsrechnungen in Kapitel 3.3 berücksichtigen ausschließlich die beim Nutzer der unterschiedlichen Techniken (hier Erwerber eines Reihenhauses) hierdurch entstehenden Kosten sowie Einsparungen bei den Wasser- und Abwassergebühren durch die Einsparung von Trinkwasser. Indirekte Einsparungen durch möglicherweise vermiedene oder reduzierte Kosten für die Trinkwassergewinnung und -verteilung, für das Kanalnetz, für die Regenwasserbehandlung oder in den Kläranlagen sind in diesen Überlegungen nicht berücksichtigt. Diese Wirkungen sind sehr von den lokalen Randbedingungen abhängig, die beispielsweise die jährlichen Niederschlagsmengen, die Grundwassersituation, die Topografie, die Hochwassergefährdung, die Auslastung der bestehenden Ver- und Entsorgungsinfrastruktur, die Bebauungsdichte, aber auch die organisatorischen Randbedingungen, die kommunalen Vorgaben oder die umweltpolitischen Zielsetzungen einer Gemeinde betreffen können. Auf Grund dieser vielfältigen und fallspezifisch sehr unterschiedlichen Randbedingungen sind diese Einsparungen sehr schwierig zu quantifizieren. Zudem wird immer wieder darauf hingewiesen, dass diesen Einsparungen auch zusätzliche Aufwendungen gegenüberstehen können, wenn durch einen stark absinkenden Wasserverbrauch oder durch das Fernhalten von Regenwasser von der Kanalisation, die vorhandene Infrastruktur überdimensioniert ist. In Trinkwasserleitungen können durch zu lange Aufenthaltszeiten nachträgliche Verkeimungen auftreten, die ein künstliches Nachspülen oder sogar bauliche Maßnahmen erfordern (Rudolph / Antoni, 1998), in Abwasserleitungen könnten durch nicht fortgespülte Ablagerungen Geruchsprobleme und Schädigungen des Betons entstehen (Pecher, 1999b). Diese zusätzlichen Fragestellungen hätten den Rahmen und die Zielsetzung dieser Studie bei weitem überstiegen. In der abschließenden Bewertung der untersuchten Techniken (Tabellen 4-2 bis 4-4) wird ein Teil dieser Aspekte jedoch qualitativ einbezogen.

4.1 Einfluss des Trinkwasserverbrauchs / der substituierbaren Trinkwassermenge

Basis für die Modellrechnungen sind vereinfachende Annahmen - für das Baugebiet und den Wohnbereich allgemein - zu typischen Haushaltsgrößen und -zusammensetzungen, zu den Sanitäreinrichtungen und den typischen spezifischen Verbräuchen dieser Einrichtungen. Hierzu wurde auf unterschiedlichste Literatur-

quellen sowie auf Herstellerangaben zurückgegriffen. Auch zum Nutzerverhalten mussten Annahmen getroffen werden, um die Effekte der unterschiedlichen Techniken abschätzen und darstellen zu können. Ausgangsbasis hierfür sind die offiziellen Angaben zur Aufteilung des Pro-Kopf-Trinkwasserverbrauchs in Deutschland im Jahr 1998 (vgl. Abbildung 3-1). Diese Angaben beruhen auf Schätzungen von Experten und einzelnen Messergebnissen, nicht jedoch auf breiter angelegten, vergleichbaren Messprogrammen. Die aktuellste Datenbasis hierzu bietet eine Untersuchung in der Schweiz (BUWAL, 1999), deren Ergebnis in Abbildung 4-1 dargestellt ist. Sie kommt zu einer ähnlichen Aussage wie Abbildung 3-1 zu den Verbrauchsanteilen für die unterschiedlichen Verwendungsbereiche für Trinkwasser.

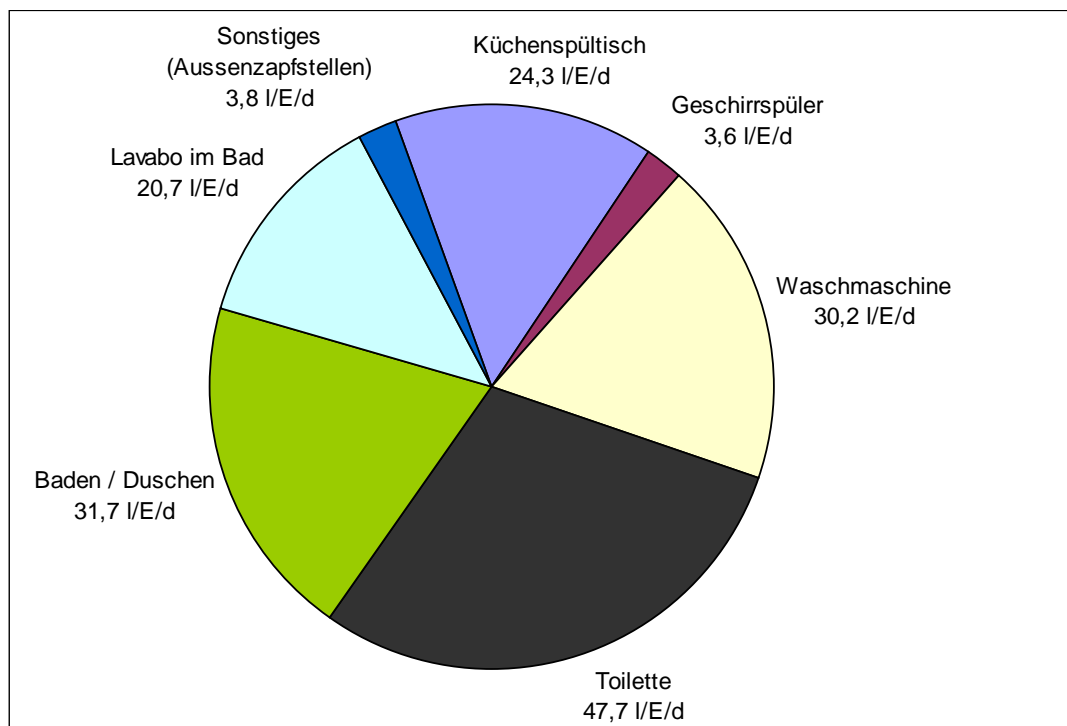


Abbildung 4-1: Durchschnittlicher täglicher Pro-Kopf-Trinkwasserverbrauch im Haushalt in der Schweiz in 1996/97 (nach BUWAL, 1999)

Die "offizielle" Angabe zur Verbrauchsaufteilung in Deutschland (Globus, 1999) wurde daher als sinnvollste Grundlage für die Modellrechnung angesehen, wengleich das individuelle Nutzungsverhalten von den unterstellten Mittelwerten für die einzelnen Verbrauchsbereiche erheblich abweichen kann und zudem die angegebenen Anteile der unterschiedlichen Bereiche durchaus um einige Prozentpunkte abweichen könnten. Auch innerhalb der einzelnen Verbrauchsbereiche sind die sich aus den Modellrechnungen ergebenden Anteile auf Grund der großen Bandbreiten beim Nutzerverhalten mit größeren Unsicherheiten verbunden. Beim Wasserverbrauch für Dusche und Waschtisch ist dies für die Rechenergebnisse von geringer Bedeutung, da dieser Verbrauchsbereich als Summe

in die Abschätzung der Verbrauchsreduzierung und des Substitutionspotentials durch aufbereitetes Grauwasser eingeht. (Daher war es auch zulässig, den Verbrauch für die Badewanne nicht gesondert zu betrachten.) Beim Verbrauch für die Toilettenspülung spielen die einzelnen Anteile hingegen eine Rolle, wenn man die Effekte der Sparspülung und der Verwendung von Urinalen abschätzen will.

Nachstehend werden daher für einige wichtige Beispiele Alternativrechnungen zum Wasserverbrauch bzw. zu den Einsparmöglichkeiten von Trinkwasser durchgeführt, um den Einfluss dieser Bandbreiten auf die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsrechnungen zu verdeutlichen. Als Grundlage des Vergleichs mit den Wirtschaftlichkeitsrechnungen in Kapitel 3.3.2 wird jeweils exemplarisch die Variante der Berechnungen der Abwassergebühren nach der bezogenen Trinkwassermenge („Gebühren nach Frischwassermaßstab“) herangezogen, da diese auch am häufigsten anzutreffen ist.

Die Wirtschaftlichkeitsberechnungen in Kapitel 3.3.2 zeigen eine starke Abhängigkeit der Ergebnisse von der Haushaltsgröße auf Grund der unterschiedlichen substituierbaren Trinkwassermengen. Das bedeutet andererseits, dass durch die Verwendung erprobter und zuverlässiger wassersparender Armaturen und Sanitärarmaturen (Variante II als Standardausstattung für das Baugebiet Calw) der Nutzen der Regenwasserverwendung beziehungsweise des Duschwasserrecyclings wesentlich eingeschränkt ist. Der Vergleich der Modellrechnungen zum jährlichen Wasserverbrauch für die Toilettenspülung und Gartenbewässerung (Tab. 3-10: Regenwassernutzung) beziehungsweise nur für die Toilettenspülung (Tab. 3-7: Duschwasserrecycling) macht darüber hinaus deutlich, dass moderne wassersparende Sanitärarmaturen (Ausstattungsvariante III) den Nutzen der Verwendung von Regen- oder Betriebswasser noch zusätzlich spürbar weiter einschränken.

4.1.1 Höherer Wasserverbrauch für die Toilettenspülung

In der Modellrechnung wurde für einen 4-Personen-Haushalt von einem täglichen Pro-Kopf-Wasserverbrauch für die Toilettenspülung von durchschnittlich 24 Litern bei Ausstattungsvariante II bzw. von 12,5 Litern bei Ausstattungsvariante III ausgegangen. Schon der Wert von 24 l/Kopf/d liegt weit unter dem Wert, der in einer Schweizer Untersuchung (BUWAL, 1999) auf Grund von Messungen in 1996/1997 in elf Wohnungen mit unterschiedlicher Haushaltsgröße und Ausstattung jeweils über mehrere Monate ermittelt wurde. In keinem der untersuchten Objekte wurde ein Wasserverbrauch für die Toiletten von 26,9 l/Kopf/d unterschritten, in drei Fällen lag der Verbrauch bei über 70 l/Kopf/d. Der Mittelwert aller Objekte betrug 47,7 l/Kopf/d (bei einem allerdings wesentlich höheren Gesamtwasserverbrauch von 162 l/Kopf/d verglichen mit den 127 l/Kopf/d in Deutschland im Jahr 1998). Als Tendenz wurden in der Schweizer Studie größere mittlere Pro-Kopf-Verbräuche bei kleineren Haushalten ermittelt. Der Anteil der Toilettenspülung am

Gesamtverbrauch liegt in beiden Fällen bei etwa 30 %. Die Autoren der Schweizer Studie gehen in ihrem Fazit davon aus, dass durch konsequenten Einsatz von 6-Liter-Spülkästen mit Spül/Stopf-Tasten (entsprechend Ausstattungsvariante II der Modellrechnung) der spezifische Wasserverbrauch um 14 l/Kopf/d auf 33,7 l/Kopf/d gesenkt werden kann. Um die Sensitivität der Wirtschaftlichkeitsrechnungen zu überprüfen, wurde daher sowohl für die Regenwassernutzung als auch für das Duschwasserrecycling eine Alternative mit einem Wasserverbrauch für die Toiletten von 30 l/Kopf/d durchgerechnet (Abbildung 4-2 und 4-3). Der Vergleich mit den Rechenergebnissen für den Verbrauch von 24 l/Kopf/d zeigt eine bessere Wirtschaftlichkeit für beide Techniken, die mit wachsender Haushaltsgröße noch deutlicher ausfällt. Insbesondere bei der Anlage für die Aufbereitung von Grauwasser ergibt sich im Rahmen der getroffenen Annahmen eine spürbare Verbesserung der Wirtschaftlichkeit (Erlöse bei den hohen (Ab-) Wasserpreisen ab einer Haushaltsgröße von vier Personen).

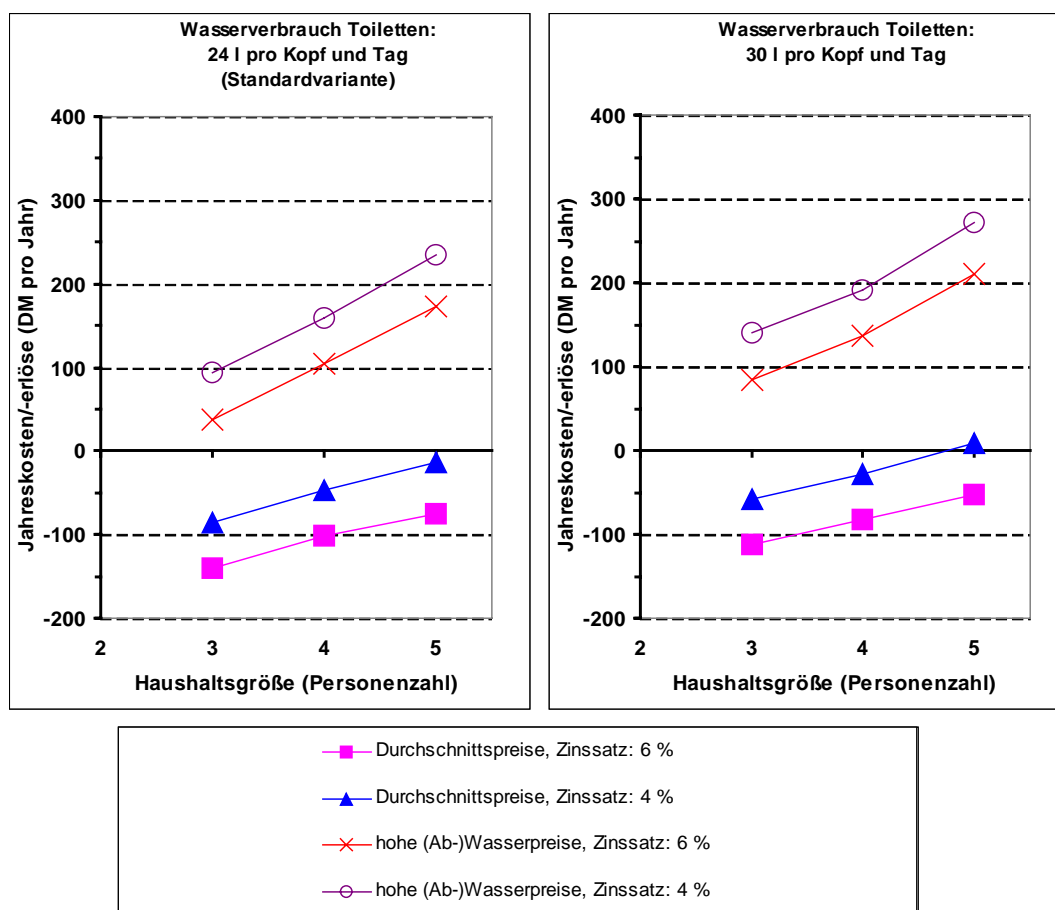


Abbildung 4-2: Wirtschaftlichkeitsberechnung für die Regenwassernutzung bei unterschiedlichem Wasserverbrauch für die Toilettenspülung

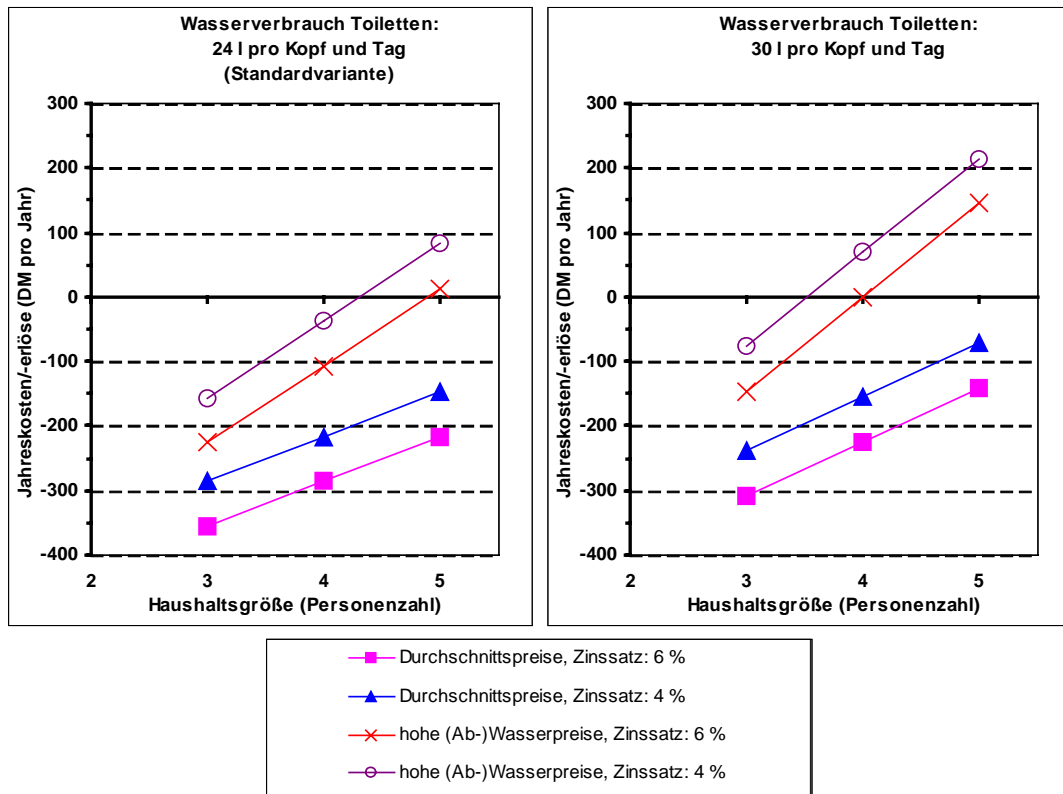


Abbildung 4-3: Wirtschaftlichkeitsberechnung für die Grauwasseraufbereitung bei unterschiedlichem Wasserverbrauch für die Toilettenspülung

4.1.2 Geringerer / höherer Wasserverbrauch für die Gartenbewässerung

Bei der Abschätzung der durch eine Regenwassernutzungsanlage einsparbaren Trinkwassermenge wurde neben dem durch Regenwasser substituierbaren Wasserverbrauch für Spülzwecke in der Toilette noch ein zusätzlicher Verbrauch von pauschal 40 l/d pro Haus für die Gartenbewässerung angesetzt. Um den Einfluss unterschiedlicher Gartenbewässerungsgewohnheiten auf den durch eine Regenwassernutzungsanlage einsparbaren Trinkwasseranteil überschlägig abzuschätzen, wurden die Vergleichsrechnungen für den Fall eines 4-Personen-Haushaltes und die Ausstattungsvariante II noch mit 20 l/d bzw. 60 l/d Pauschalverbrauch durchgeführt. Diese Verbräuche decken etwa die Werte ab, die für Außenanlagen öffentlicher Gebäude angegeben werden (Fachkommission, 1988). Im Falle des hohen Verbrauchs von 60 l/d für die Gartenbewässerung wurde neben dem Zisternenvolumen von 2 m³ noch die beiden größeren Volumina von 3,5 bzw. 5,5 m³ angesetzt, da in diesen Fällen die Anschaffung einer größeren Zisterne in Betracht gezogen werden sollte. Die in Tabelle 4-1 dargestellten Berechnungen der jeweiligen Wassermengen zeigen, dass sich bei dem hohen Wasserverbrauch für

den Garten durch eine große Zisterne die Trinkwassereinsparung bei gleichzeitiger Verringerung der benötigten Nachspeisemengen deutlich erhöhen lässt.

Tabelle 4-1: Trinkwassereinsparung durch die Nutzung von Regenwasser bei unterschiedlichen Pauschal-Verbräuchen für die Gartenbewässerung (4-Personen-Haushalt, Ausstattungsvariante II)

	Pauschalverbrauch [l/d]				
	20	40	60		
	Speichervolumen [m ³]				
	2		2	3,5	5,5
Verbrauch [l/d]	116	136	156	156	156
Verbrauch [m ³ /a]	39	46	53	53	53
Durchschnittliches Deckungspotential (netto)	1,38	1,18	1,03	1,03	1,03
Durchschnittliche Nachspeisung [m ³ /a]	6	9	13	10	7
Durchschnittliche Trinkwassereinsparung [m ³ /a]	33	37	40	43	46

Wie sich diese verringerten beziehungsweise erhöhten Trinkwassereinsparungen in den Wirtschaftlichkeitsrechnungen niederschlagen, zeigen die Abbildungen 4-4 und 4-5. Bei einem Verbrauch von täglich nur 20 l/Haushalt für den Garten ist die Wirtschaftlichkeit für alle Haushaltsgrößen nur noch bei den hohen Wasserpreisen gegeben. Bei einem Verbrauch von täglich 60 l/Haushalt für den Garten ergeben sich bei den hohen (Ab-)Wasserpreisen wesentlich höhere Erlöse, bei den niedrigen Gebühren rechnet sich die Anlage trotz des höheren Verbrauchs betriebswirtschaftlich nicht (Abbildung 4-5). Hierbei wurden die Zisternengrößen im Vergleich zur Standardvariante erhöht: von 2.000 auf 3.500 l für den 3- und 4-Personen-Haushalt, von 3.500 auf 5.500 l für den 5-Personen-Haushalt.

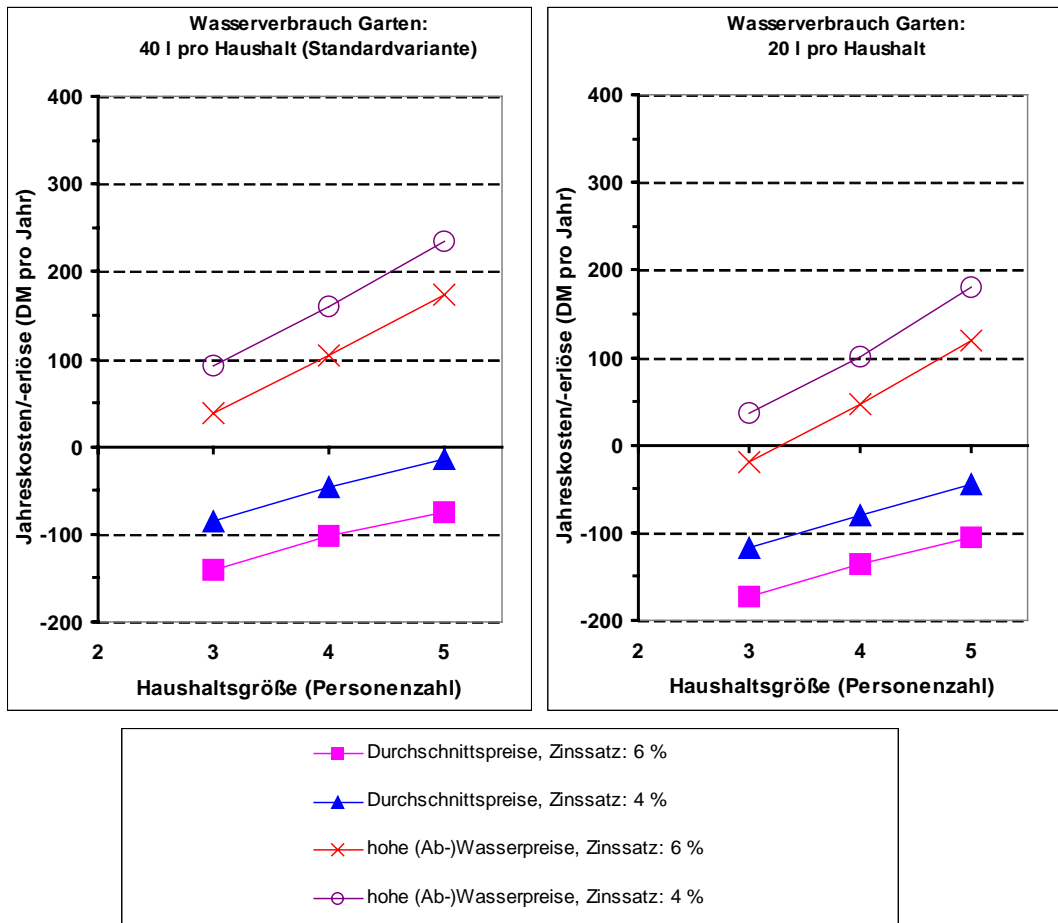


Abbildung 4-4: Wirtschaftlichkeitsberechnung für die Regenwassernutzung bei einem niedrigen und dem Standardverbrauch für die Gartenbewässerung

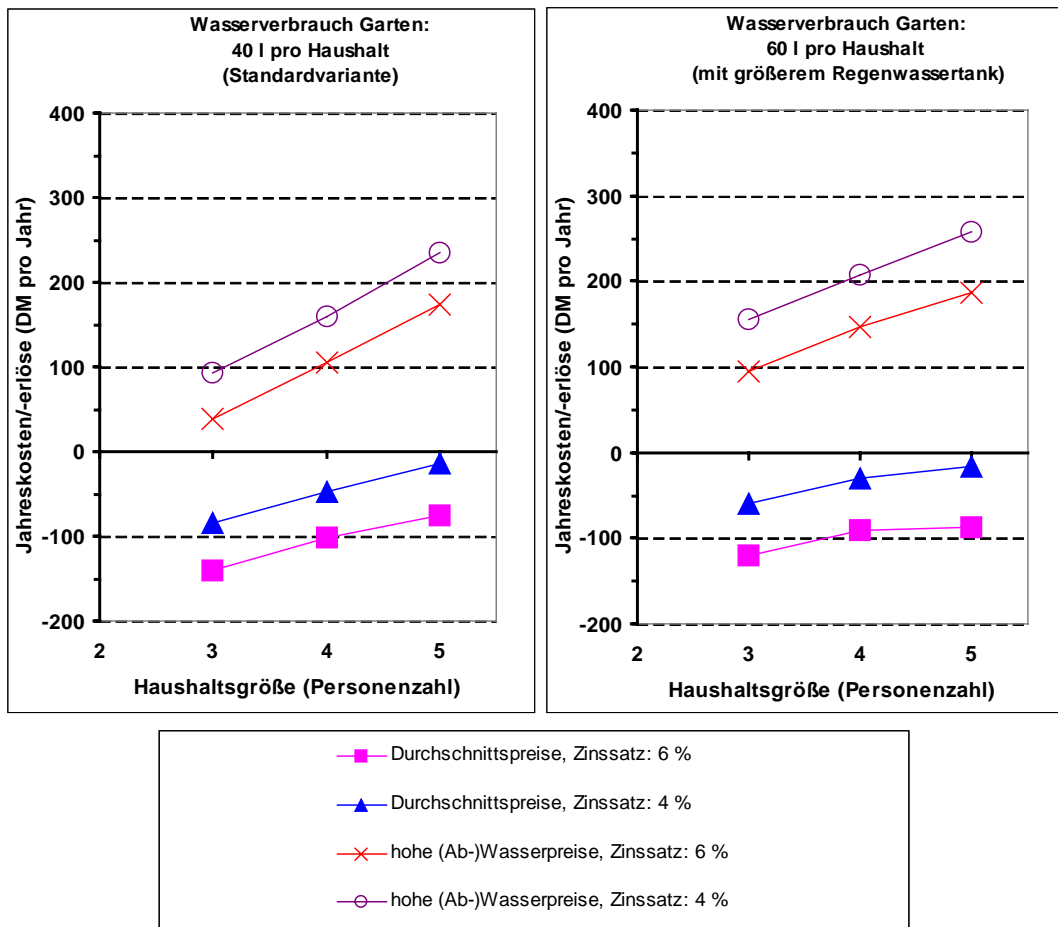


Abbildung 4-5: Wirtschaftlichkeitsberechnung für die Regenwassernutzung bei einem hohen und dem Standardverbrauch für die Gartenbewässerung

4.1.3 Nutzung von aufbereitetem Grauwasser zum Wäschewaschen

Die Regenwassernutzungsanlage schneidet bei den Wirtschaftlichkeitsrechnungen gegenüber der Duschwasserrecyclinganlage grundsätzlich besser ab, da sowohl die Investitionen als auch die Betriebskosten niedriger liegen (vgl. die Tabellen 3-11 und 3-13 sowie die Abbildungen 3-6 und 3-7). Aber auch das höhere Einsparpotential durch die Gartenbewässerung mit gespeichertem Regenwasser schlägt in der Wirtschaftlichkeitsrechnung positiv zu Buche. Grundsätzlich könnte für die Gartenbewässerung auch aufbereitetes Grauwasser eingesetzt werden, da die Überschussfaktoren in Tabelle 3-7 zeigen, dass rechnerisch bei allen Ausstattungsvarianten zumindest bei den 4- und 5-Personen-Haushalten genügend Grauwasser zur Verfügung steht, um den Bewässerungsbedarf von 40 l/Haushalt/d zu decken. Dabei ist

zusätzlich zu berücksichtigen, dass in Zeiten größeren Wasserbedarfs für den Garten in der Regel auch der Bedarf an Duschwasser größer sein dürfte.

Eine weitere, im Hinblick auf den Abgleich zwischen dem Grauwasseranfall und den Verwendungsmöglichkeiten günstigere Alternative ist die Nutzung von aufbereitetem Grauwasser zum Wäschewaschen, wofür gemäß Abbildung 3-1 in der Bundesrepublik durchschnittlich 15 l/Kopf/Tag benötigt werden. Addiert man diesen Verbrauch zum Wasserbedarf für die Toilettenspülung, ergibt sich, dass der Gesamtbedarf über der Wassermenge liegt, die bei Ausstattungsvariante II aus dem Bereich der Körperreinigung anfällt (vgl. hierzu die Mengenangaben in Tab. 3-7). Der Überschussfaktor liegt unter 1, d. h. es muss Trinkwasser nachgespeist (oder der Waschmaschine für den abschließenden Spülgang zugegeben) werden, auch wenn das Volumen der Behandlungsanlage ausreicht, um alles anfallende und gereinigte Grauwasser aufzunehmen. Obwohl der Wasserverbrauch bei den heutigen Waschmaschinen bei 50 bis 80 Litern je Waschgang liegt, empfiehlt es sich, das Volumen der Klärkammern um wenigstens 100 Liter zu erhöhen, um das Einsparpotential maximal nutzen zu können. Die Kosten für die Aufbereitungsanlage dürften sich dadurch nur unwesentlich erhöhen, eine ausreichende Stellfläche im Keller ist hierfür allerdings Voraussetzung.

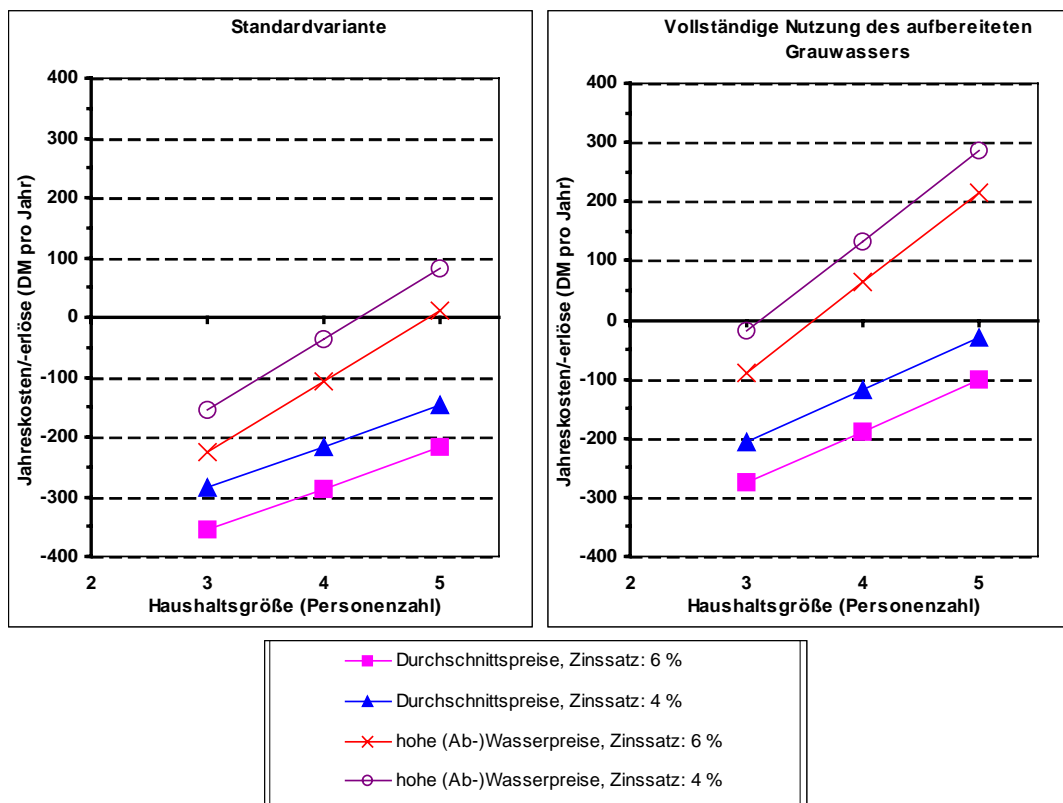


Abbildung 4-6: Wirtschaftlichkeitsberechnung für die Grauwasseraufbereitung bei Nutzung für die Waschmaschine

Abbildung 4-6 zeigt den Vergleich der Wirtschaftlichkeitsrechnungen bei einer Nutzung von aufbereitetem Grauwasser nur zur Toilettenspülung (Standardvariante) sowie für die Toilettenspülung und das Wäschewaschen ("vollständige Nutzung"). Dabei wurde angenommen, dass die gesamte Grauwassermenge für die Substitution von Trinkwasser genutzt werden kann. Zudem wurden für die Aufbereitungsanlage vereinfachend keine höheren Investitionen und Betriebskosten unterstellt. Erwartungsgemäß zeigt die Vergleichsrechnung, dass die Wirtschaftlichkeit der Duschwasserrecyclinganlage durch den Anschluss der Waschmaschine wesentlich verbessert werden kann und bei den hohen (Ab-) Wasserpreisen dann i.d.R. Erlöse errechnet werden.

4.1.4 Reduzierter Wasserverbrauch durch Verringerung der Personenzahl während der Nutzungszeit

Die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsrechnungen in den Abbildungen 3-6 und 3-7 zeigen für alle untersuchten Optionen die günstigsten Ergebnisse für den größten Haushalt mit 5 Personen. Es ist aber in der Regel nicht davon auszugehen, dass die Reihenhäuser, die Basis der Untersuchung waren, über die gesamte Lebensdauer der nicht beweglichen Teile von 50 Jahren, von dieser Personenzahl bewohnt werden. Dadurch verringert sich der Wasserverbrauch und damit auch der wirtschaftliche Vorteil durch die Einsparung von Trinkwasser. Daher wurde in einer weiteren Alternativrechnung der Wasserverbrauch bzw. das Einsparpotential des 4- und 5-Personen-Haushalts nach 20 Jahren durch die Daten eines 3-Personen-Haushalts ersetzt, bei Beibehaltung aller sonstigen Randbedingungen. Hierzu wurde für die Modellrechnung ein mittlerer Wasserverbrauch / Einsparungen über 50 Jahre aus den Werten der unterschiedlichen Haushaltsgrößen verwendet. Abbildung 4-7 zeigt als Ergebnis der Berechnungen, dass sich die Wirtschaftlichkeit der Regenwassernutzung mit zunehmender Haushaltsgröße unter diesen Annahmen nicht mehr wesentlich verbessert. Für die Duschwasserrecyclinganlage ergibt sich für diese Bedingungen naturgemäß noch eine weitere Verschlechterung der Wirtschaftlichkeit.

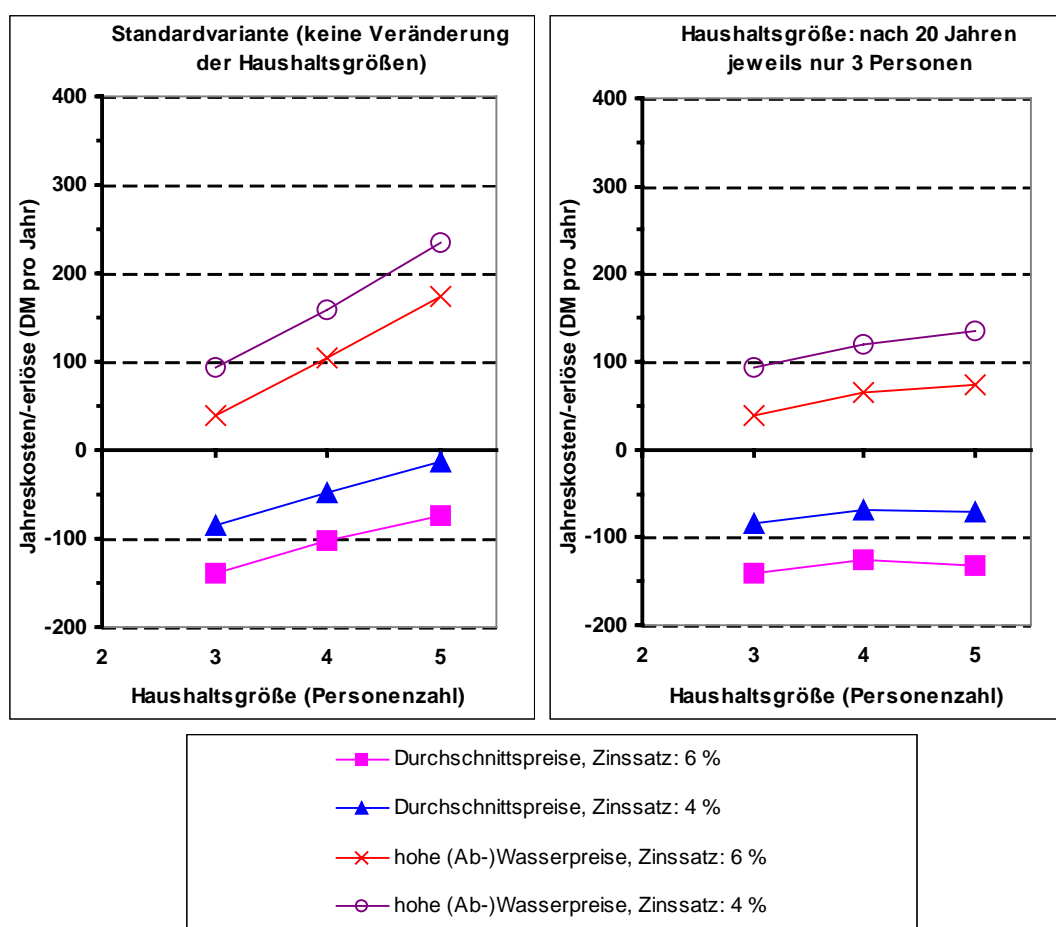


Abbildung 4-7: Wirtschaftlichkeitsberechnung für die Regenwassernutzung bei Verringerung der Personenzahl nach 20 Jahren

4.2 Auswirkungen der ökonomischen Randbedingungen

Gebührenhöhe, Gebührenmaßstab, Zinshöhe

In den Abbildungen 3-6 und 3-7 sind für die Grauwasseraufbereitungs- und die Regenwassernutzungsanlage die Auswirkungen unterschiedlicher Annahmen zu den ökonomischen Randbedingungen dargestellt. Für den Wasser- bzw. Abwasserpreis wurden, wie in Kapitel 3.3.2 erläutert, zum einen die Durchschnittspreise für Deutschland in den Jahren 1996/1996 von 3,25 DM/m³ bzw. 4,25 DM/m³ verwendet, zum anderen Preise von 5,00 DM/m³ bzw. 8,00 DM/m³, die im oberen Drittel des Preisspektrums liegen. Die obere Preisvariante ist darin begründet, dass Experten davon ausgehen, dass die Wasser- und Abwasserpreise künftig zwar nicht mehr so stark wie in den vergangenen Jahren, jedoch in der Regel weiter steigen werden (Delphi-Studie, 1999). Von besonderer Bedeutung ist hierbei, dass bei einer

weiteren Abnahme der Verbrauchsmengen, die hohen Fixkostenanteile der Ver- und Entsorger auf die Preise je m³ umgelegt werden müssen (Stratenhoff, 1998).

Nur auf Grund der angenommenen Preissteigerungen errechnen sich für die Regenwassernutzungsanlage Erlöse für alle drei Haushaltsgrößen, während dies für das Recycling von Grauwasser nur für den 5-Personen-Haushalt der Fall ist. Bei einer gesplitteten Abwassergebühr ist die Anlage zur Aufbereitung von Grauwasser unter den getroffenen Annahmen in keinem Fall wirtschaftlich (Abb. 3-6). Für die Regenwassernutzung ergeben die Modellrechnungen mit einer gesplitteten Abwassergebühr, der die tatsächlich anfallende Abwassermenge zu Grunde liegt, geringere Erlöse im Vergleich zum obigen Fall. Diese Erlöse steigen zudem mit wachsender Haushaltsgröße nicht mehr stark an. Wird die Abwassergebühr für einen Haushalt mit Regenwasseranlage jedoch nur auf Basis der bezogenen Trinkwassermenge berechnet, ergeben sich für alle Haushaltsgrößen besonders hohe jährliche Erlöse (3. Variante in Abb. 3-7).

Die Höhe des realen, d. h. inflationsbereinigten Zinssatzes wurde als weiterer Parameter der statischen Wirtschaftlichkeitsrechnung variiert. Die Annahmen von 6 bzw. 4 Prozent real sollen den Unterschied zwischen dem Einsatz von Fremdkapital und von Eigenkapital wiedergeben. Der letzte Fall dürfte allenfalls bei Nachrüstungen, nicht jedoch im Rahmen des Ersterwerbs eines Wohnhauses gegeben sein. Wie die Abbildungen 3-6 und 3-7 verdeutlichen, wirkt sich die Veränderung der Zinshöhe in der angenommenen Spanne insbesondere bei der Regenwassernutzung weniger stark auf das Ergebnis aus als die angenommenen Variationen bei den Wasser- und Abwassergebühren.

Förderung von Wasserspartechniken

Der Einsatz von Wassereinspartechniken wurden in den letzten Jahren auf kommunaler Ebene z.T. finanziell gefördert. Insbesondere für die Regenwassernutzung wurden von einzelnen Kommunen direkte Investitionszuschüsse gewährt. Die Höhe dieser Zuschüsse wurde i.d.R. als prozentualer Anteil der Gesamtkosten festgelegt oder es wurde über pauschale Festbeträge gefördert. Statistische Auswertungen für Deutschland über die Zahl der Kommunen mit entsprechenden Förderungen und über die Förderhöhen liegen nicht vor. Allerdings wurden in Hessen Auswertungen zur Verwendung der in diesem Bundesland erhobenen Grundwasserabgabe durchgeführt, in deren Rahmen auch die durchschnittliche Förderung von Regenwasseranlagen ermittelt wurde. In dem für den zweiten Grundwasserabgabenbericht ausgewerteten Zeitraum von 1992 bis 1996 wurden im privaten Bereich insgesamt 6305 Regenwassernutzungsanlagen für die Zwecke Gartenbewässerung, Toiletten-spülung und Wäschewaschen mit einem Investitionsvolumen von ca. 40,0 Mio. DM mit ca. 14,3 Mio. DM gefördert (Hessisches Umweltministerium, 1997). Dies ergibt

einen Förderanteil von 35,8 % bzw. eine durchschnittliche Förderung von 2.270 DM pro Anlage.

Um den Einfluss auf die Wirtschaftlichkeitsberechnungen deutlich zu machen, wurde bei Beibehaltung der sonstigen Randbedingungen von einer finanziellen Förderung der Regenwassernutzung sowie von Anlagen zur Grauwasseraufbereitung in Höhe von einem Drittel des Investitionsvolumens ausgegangen. Die Ergebnisse der Berechnungen sind in den Abbildungen 4-8 und 4-9 dargestellt. Der Vergleich mit Abbildung 3-7 zeigt, dass die Jahreskosten/-erlöse für die Regenwassernutzung noch unter den Werten liegen, die sich bei einer gesplitteten Abwassergebühr ergeben, wenn diese nur auf Grund der benötigten Trinkwassermenge erhoben wird.

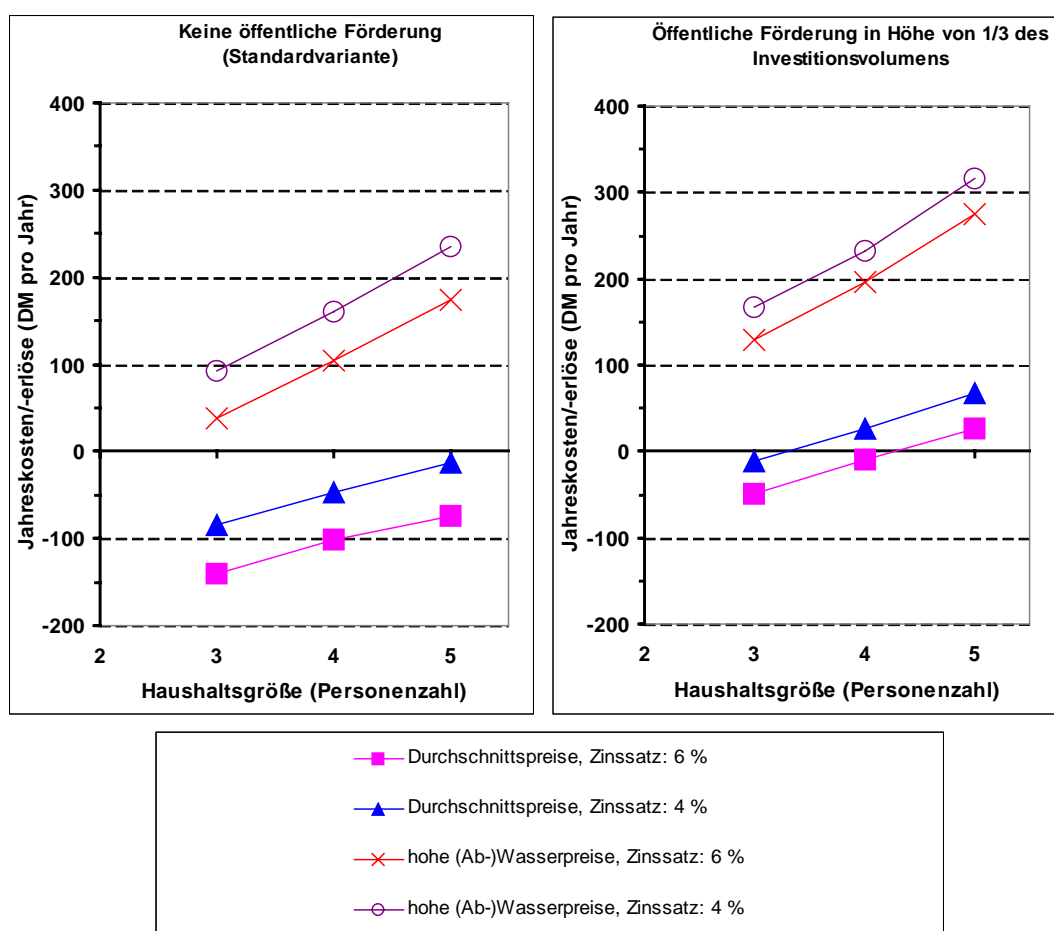


Abbildung 4-8: Wirtschaftlichkeitsberechnung für die Regenwassernutzung mit einer Förderung in Höhe von einem Drittel des Investitionsvolumens

Das bedeutet, dass bezogen auf die gesamte Nutzungsdauer, bei diesem Gebührenmaßstab (und den angenommenen Zinshöhen) die indirekte Förderung höher ist als bei einer Bezuschussung der Anlagen mit einem Drittel des Investitionsvolumens.

Allerdings dürfte für den Bauherrn der direkte Investitionszuschuss dennoch einen höheren Anreiz für die Installation einer Regenwassernutzungsanlage bieten. Für Anlagen zur Aufbereitung von Grauwasser ergeben die Modellrechnungen ab einer Haushaltsgröße von vier Personen und für die hohen (Ab-)Wasserpreise positive Ergebnisse. Die Erlöse liegen jedoch unter den Werten, die sich für die vollständige Nutzung des aufbereiteten Grauwassers zum Wäschewaschen ergeben (Abbildung 4-6).

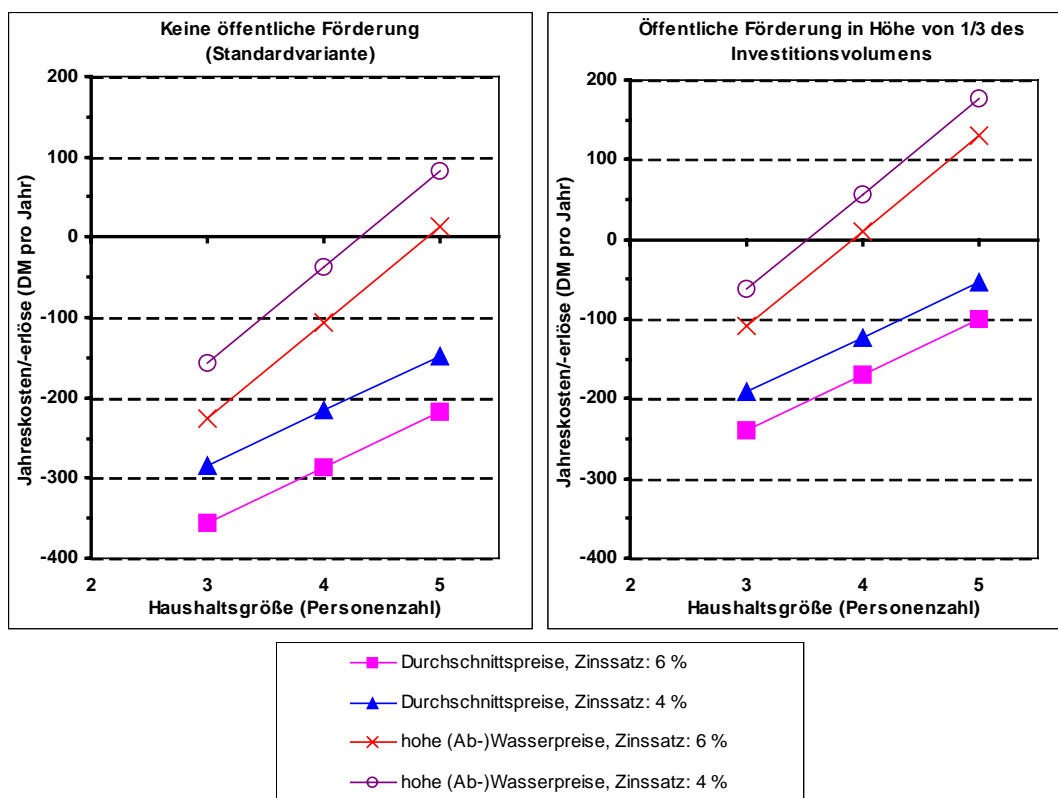


Abbildung 4-9: Wirtschaftlichkeitsberechnung für die Grauwasseraufbereitung mit einer Förderung in Höhe von einem Drittel des Investitionsvolumens

Als Ergebnis der Wirtschaftlichkeitsrechnungen ist festzuhalten, dass sich eine Regenwassernutzungsanlage bei Einfamilienhäusern der untersuchten Haushaltsgrößen dann betriebswirtschaftlich rechnet, wenn zumindest eine der maßgeblichen ökonomischen Randbedingungen (Höhe der Gebühren, Gebührenmaßstab, öffentlicher Zuschuss) die Einsparung von Trinkwasser begünstigt. Für Anlagen zum Recycling von Duschwasser ist ein eindeutig positives Ergebnis nur dann zu erreichen, wenn zusätzlich das verfügbare Grauwasser möglichst vollständig genutzt wird (Nutzung für die Gartenbewässerung oder die Waschmaschine - Abb. 4-6) oder wenn ein relativ hoher Investitionszuschuss gezahlt wird (Abb. 4-9). Dies könnte dann besonders sinnvoll sein, wenn sich diese Zuschüsse beispielsweise für eine Kommune durch indirekte Einsparungen bei der Trinkwasserversorgung oder der Abwasserentsorgung rechnen. Ein anderes Motiv kann die politische Zielsetzung

sein, mit Trinkwasser sparsam umzugehen (Bewusstseinsbildung), die aber auf Grund des Wasserdargebots in Deutschland derzeit nur in bestimmten Ballungsgebieten und Regionen eine entsprechende Priorität hat. Aus Sicht des Bauherrn wie aus Sicht der Kommune haben unter Wirtschaftlichkeitsgesichtspunkten jedoch wassersparende Armaturen und Sanitärmöbel eindeutige Priorität, da sie sich auch unter weniger günstigen ökonomischen Randbedingungen betriebswirtschaftlich rechnen.

Allerdings werden beim Bau von Eigenheimen viele Einzelentscheidungen nicht unter rein betriebswirtschaftlichen Gesichtspunkten getroffen. In vielen Fällen spielen subjektive Gründe eine Rolle, wozu zweifellos auch ökologische Motive gehören können. Dass diese vielfach entscheidend für den Bau einer Regenwasseranlage sind zeigt das Beispiel von Hamburg (Hartung, 1995). In einem Förderprogramm wurden zwischen 1992 und 1994 etwa 1100 Anlagen bezuschusst. Eine Umfrage unter den Anlagenbetreibern ergab, dass wirtschaftliche Vorteile beim Bau der Anlagen nur eine untergeordnete Rolle spielten. Die Förderung wurde Anfang 1995 eingestellt. Dennoch wurden in der Folgezeit viele weitere Anlagen installiert, obwohl die Umweltbehörde darauf aufmerksam machte, dass die Anlagen in Einfamilienhäusern nicht rentabel sind (Hartung, 1995). Damit erklärt sich auch die Einschätzung von Experten, dass im Jahre 2010 jeder siebte Neubau in Deutschland (wie auch im übrigen Europa und den USA) mit einer Betriebswasseranlage ausgestattet sein wird, ganz überwiegend Anlagen, die Regenwasser nutzen (Delphi-Studie, 1999).

4.3 Sonstige Randbedingungen

Bei den vorstehend genannten Wirtschaftlichkeitsrechnungen muss man im Auge behalten, dass hierfür speziell die Randbedingungen des Neubaugebietes in Calw berücksichtigt wurden. Das bedeutet beispielsweise, dass für die unterirdische Verlegung der Außenzisterne keine zusätzlichen Kosten für Erdarbeiten berücksichtigt werden mussten (vgl. Tabelle 3-13), da sie im Rahmen der gesamten Erdarbeiten für das Baugelände geleistet werden sollten. Für den Stellraum der Anlage zur Grauwasseraufbereitung wurden keine zusätzlichen Kosten angesetzt, da die Reihenhäuser von Beginn an mit einem relativ großzügigen Kellerraum geplant waren. Zudem konnten die Investitionen für die Duschwasserrecyclinganlage (Tabelle 3-11) wegen des großen Interesses des Herstellers an dem Bauvorhaben relativ günstig angesetzt werden. Wie bereits in Tabelle 2-1 gezeigt wurde, gibt es jedoch eine Reihe weiterer Hersteller von Anlagen zur Aufbereitung von Grauwasser, die zum Teil wesentlich niedrigere Investitionskosten angeben. Zudem kann davon ausgegangen werden, dass mit zunehmenden Betriebserfahrungen mit diesen Anlagen und bei wachsenden Stückzahlen Kostensenkungen wahrscheinlich sind. Diese Entwicklung hat sich in den letzten Jahren auch bei den Regenwasseranlagen gezeigt. Kostensenkungen in Form von Eigenleistungen, die bei der

Regenwassernutzung häufiger angeführt werden, sind allerdings bei Anlagen zur Aufbereitung von Grauwasser in der Regel nicht möglich.

Eine wesentliche Randbedingung in Calw war die Vorgabe, dass aus eigentumsrechtlichen Gründen jedes Reihenhaus mit einem eigenen Regenwasserspeicher ausgerüstet werden sollte. Gerade bei einer gemeinsamen Planung einer Reihenhaussiedlung hätte es sich jedoch angeboten, für eine größere Zahl von Häusern eine zentrale Zisterne zu wählen, die zu niedrigeren spezifischen Kosten zu realisieren gewesen wäre und mit einem größeren Reservevolumen hätte versehen werden können (Ausgleich von Nutzerschwankungen). Dann hätte sich auch eine Ausführung der Zisterne in Beton angeboten, wofür man eine längere Nutzungsdauer hätte ansetzen können. Abbildung 4-10 zeigt beispielhaft eine Alternativrechnung für eine Regenwasseranlage mit einer Nutzungsdauer der unbeweglichen Teile von 80 Jahren. Die Rechnung zeigt, dass sich die Wirtschaftlichkeit im Vergleich zu 50 Jahren Nutzungsdauer aber nicht sehr gravierend verbessert. Die Verringerung der Nutzungsdauer auf wesentlich unter 50 Jahren hätte sich allerdings deutlicher negativ ausgewirkt.

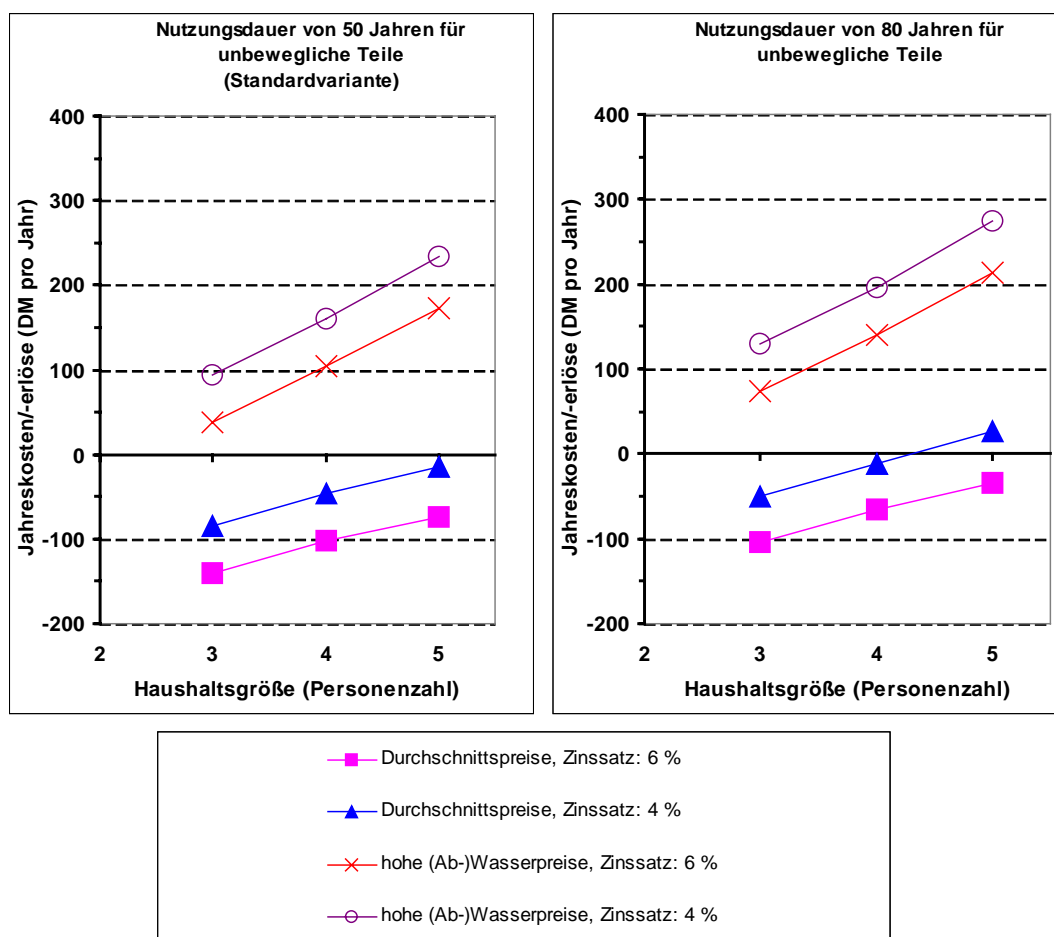


Abbildung 4-10: Alternativrechnung für die Regenwassernutzung mit einer Nutzungsdauer der unbeweglichen Teile von 80 Jahren

4.4 Zusammenfassende Bewertung des Einflusses unterschiedlicher Randbedingungen auf die Einsatzchancen der betrachteten Techniken

In den Tabellen 4-2, 4-3 und 4-4 sind die betrachteten Trinkwasser-Einspartechniken und Regenwasser-Rückhaltetechniken in ihrer Abhängigkeit von unterschiedlichen Randbedingungen in einem zusammenfassenden Überblick dargestellt. Die prinzipielle Sichtweise ist dabei, inwieweit die unterschiedlichen Randbedingungen bzw. deren Veränderungen die Einsatzbedingungen und Einsatzchancen von Einspar- und Rückhaltetechniken beeinflussen. Dies gilt nicht nur für die ökonomischen Randbedingungen, die in Kapitel 4.2 ausführlicher behandelt sind, sondern auch für wasserwirtschaftliche Randbedingungen und sonstige Randbedingungen wie beispielsweise Bauordnungen oder Umweltschutzziele einer Kommune. Damit lautet die Frage nicht, inwieweit die betrachteten Techniken beispielsweise die Auslastung von Trinkwassernetz / Kanalisation, den Vorfluterzustand oder die Grundwassersituation günstig beeinflussen können, sondern inwieweit Probleme in diesen Bereichen Auslöser dafür sein können, Anreize zu schaffen (z. B. wirtschaftlicher, informatorischer Art), die den verstärkten Einsatz dieser Techniken fördern können. Wie bereits in der Einleitung von Kapitel 4 erläutert, hängt das Auftreten entsprechender Probleme sehr stark von der fallspezifischen Situation einer Kommune oder einer Region ab, weshalb der Einfluss dieser Randbedingungen nur qualitativ und nicht quantitativ bewertet werden konnte.

Wichtige Randbedingungen für die in Kapitel 3 erläuterten Modellrechnungen ergeben sich daraus, dass es sich bei dem Fallbeispiel der Siedlung in Calw um Neubauten und um Einfamilienhäuser handelt. Für die Nachrüstung von Altbauten sind von den behandelten Wasserspartechniken üblicherweise nur die wassersparenden Armaturen wirtschaftlich, der Austausch vorhandener gegen wassersparende Sanitärmöbel rechnet sich betriebswirtschaftlich nur im Rahmen ohnehin geplanter Umbau- oder Sanierungsmaßnahmen (vgl. Kapitel 3.3.1). Dies gilt nicht nur für Einfamilienhäuser, sondern auch für Mehrfamilienhäuser, Verwaltungsgebäude und in der Regel auch für gewerbliche Einrichtungen. Für den nachträglichen Einbau von Regenwassernutzungs- und Duschwasserrecyclinganlagen sind die Voraussetzungen, wie Kapitel 4.1 und 4.2 deutlich macht, noch sehr viel ungünstiger. Nur im Rahmen einer kompletten Sanierung und wenn die räumlichen Voraussetzungen gegeben sind (z. B. vorhandener Kellerraum) kommen diese Techniken für eine Nachrüstung bestehender Gebäude in Frage.

Für die Wirtschaftlichkeit wassersparender Armaturen und Sanitärmöbel spielt die Objektgröße keine Rolle, wenn man davon absieht, dass für große Stückzahlen in der Regel günstigere Konditionen zu erzielen sind. Bei mehrgeschossiger Bauweise steht wegen der beschränkten Dachfläche üblicherweise zu wenig Regenwasser zur Verfügung, um auch bei Verwendung wassersparender Sanitäreinrichtungen alle

Haushalte mit ausreichend Toilettenspülwasser zu versorgen. In einem Modellvorhaben wird daher auch das Regenwasser gesammelt (und nach einer entsprechenden Aufbereitung genutzt), das auf Parkplätze, Gehwege und die Wohnstraße fällt (Reichmann, 1998). Beschränkt man sich hingegen nur auf das Dachablaufwasser, bietet sich der Anschluss von nur einem Teil der Wohnungen an, der mit geringeren Investitions- und Betriebskosten zu realisieren ist (Nolde, 1995). Bedingung hierfür ist, dass vom Hauseigentümer die abrechnungstechnischen und bei Eigentumswohnungen auch die rechtlichen Voraussetzungen hierfür geklärt werden können. Dies gilt entsprechend auch für Anlagen zur Grauwasseraufbereitung, die im Vergleich zu Regenwassernutzungsanlagen ein höheres Trinkwassereinsparpotential in mehrgeschossigen Wohngebäuden aufweisen. Etwas günstigere Bedingungen können sich hierfür bei mehrgeschossigen Häusern durch die Kostendegression bei größeren Aufbereitungsanlagen und durch den besseren Ausgleich zwischen Grauwasseranfall und Spülwasserbedarf bei einer großen Zahl von Wohnungen ergeben. Entscheidend dafür, dass diese Anlagen wirtschaftlich werden können, ist jedoch auch bei größeren Wohngebäuden, dass das anfallende und aufbereitete Grauwasser möglichst vollständig genutzt werden kann, wofür in diesen Fällen üblicherweise die Verwendung zum Wäschewaschen in Frage kommt.

Je nach Art der Gebäude und den hierfür charakteristischen Nutzungen können sich für alle behandelten wassersparenden Techniken besondere Voraussetzungen ergeben, die ihren betriebswirtschaftlichen Nutzen ganz erheblich erhöhen können. Beispiele hierfür sind berührungslose Armaturen in Verwaltungsgebäuden und öffentlichen Einrichtungen, Selbstschlussarmaturen in öffentlichen Bädern und sonstigen Sportstätten oder wassersparende Urinale in öffentlichen Einrichtungen, Gaststätten, Verwaltungsgebäuden etc. (Fachkommission, 1988). Die Regenwassernutzung in öffentlichen Einrichtungen und insbesondere im gewerblichen Bereich wird schon seit mehreren Jahren in einer größeren Zahl von Beispielen erfolgreich betrieben wie z. B. in zehn öffentlichen Einrichtungen in Hamburg (Hartung, 1995), dem Frankfurter Flughafen und dem Hessischen Rundfunk (Schmidkowski, 1995), bei der UFA in Berlin (fbr, 1998), in der Stadtgärtnerei Weil und einer Fahrzeugwaschanlage in Überlingen (König, 1998). Typische Randbedingungen hierfür sind große verfügbare Dachflächen und ein regelmäßiger Wasserverbrauch möglichst über das ganze Jahr, die insbesondere im gewerblichen Bereich eine große Zahl wirtschaftlicher Potentiale erwarten lassen (z. B. Einkaufszentren, Sportstätten, Fuhrparks). Auch für Anlagen zur Betriebswassernutzung werden Beispiele aus Hotels (Arabella, Offenbach), Verwaltungsgebäuden (Cichorowski, 1999) und öffentlichen Einrichtungen (TU Darmstadt: Laun et al., 1999) geschildert (vgl. hierzu auch Tabelle 2-1), die betriebswirtschaftlich interessant sind und eine stärkere Nutzung von aufbereitetem Grauwasser ermöglichen sollten. Da in allen diesen Fällen der betriebswirtschaftliche Nutzen der primäre Gesichtspunkt für die Entscheidung zum Einsatz dieser Techniken sein dürfte, sind in jedem einzelnen Falle die spezifischen Randbedingungen genauer zu überprüfen.

Tabelle 4-2: Einfluss ökonomischer Randbedingungen auf die betrachteten Techniken

	Ökonomische Randbedingungen			
Techniken	Wasser- /Abwassergebühren	gesplittete Gebühren	Zuschüsse	Zinshöhe
wassersparende Armaturen und Sanitärmöbel	mit steigenden Gebühren werden auch umfangreichere Nachrüstungen (z. B. WCs) wirtschaftlich	geringer Einfluss auf Grund der durchschnittlich etwas geringeren Gebühren pro m ³ Abwasser	sehr starker Einfluss, da mit geringem Aufwand hohe Trinkwassereinspareffekte	geringer Einfluss, da Investitionsvolumen niedrig
Regenwassernutzung	starker Einfluss (ohne Zuschüsse wird Wirtschaftlichkeit erst bei höheren Gebühren erreicht – Abb. 3-7)	mittlerer bis starker Einfluss je nach Berechnungsmodus (Abb. 3-7)	starker Einfluss bei entsprechenden Zuschüssen	starker Einfluss bei größeren Spannen
Duschwasserrecycling	starker Einfluss (ohne Zuschüsse wird Wirtschaftlichkeit erst bei sehr hohen Gebühren erreicht – Abb. 3-6)	geringer Einfluss auf Grund der durchschnittlich etwas geringeren Gebühren pro m ³ Abwasser	bislang nicht praktiziert	starker Einfluss bei größeren Spannen
Dachbegrünung	nur bei gesplittetem Gebührenmaßstab	je nach Berechnungsmodus mittlerer bis geringer Einfluss	bislang nicht praktiziert (sinnvoll bei Engpässen in der Kanalisation)	geringer Einfluss, da Zusatzinvestitionen relativ niedrig
Regenwasserversickerung	nur bei gesplittetem Gebührenmaßstab	mittlerer Einfluss (abhängig vom Berechnungsmodus)	bislang nur in Ausnahmefällen (sinnvoll zur Kanalentlastung und bei Grundwassermangel)	geringer Einfluss, da Zusatzinvestitionen bei ausreichenden Flächen relativ niedrig
Online-Verbrauchsmessung	Erleichterung der differenzierten Abrechnung	Erleichterung der gesplitteten Abrechnung	nicht praktiziert	kein Einfluss

Tabelle 4-3: Einfluss wasserwirtschaftlicher Randbedingungen auf die betrachteten Techniken

	Wasserwirtschaftliche Randbedingungen					
Techniken	Auslastung Trinkwassernetz	Auslastung Kanalisation/ Kläranlage	Vorfluterzustand	Hochwasser- gefährdung	Grundwasser- situation	Versickerungs- fähigkeit des Bodens
wassersparende Arma- turen und Sanitärmöbel	starker Einfluss bei Engpässen	geringer bis mittlerer Einfluss (bei Engpässen finanzielle Anreize sinnvoll)	kein Einfluss	kein Einfluss	starker Einfluss bei Engpässen in der lokalen Deckung	kein Einfluss
Regenwassernutzung	mittlerer, bei anstehender Kapazitätserweiterung ggf. großer Einfluss	mittlerer Einfluss (Engpässe können Einsatz großer Speichervolumina fördern)	wegen geringerer Regenentlastung Einsatz vorteilhaft	geringer Einfluss	ggf. mittlerer Einfluss	kein Einfluss
Duschwasserrecycling	mittlerer, bei anstehender Kapazitätserweiterung ggf. großer Einfluss	mittlerer Einfluss (Engpässe könnten breiten Einsatz fördern)	kein Einfluss	kein Einfluss	ggf. mittlerer Einfluss	kein Einfluss
Dachbegrünung	kein Einfluss	mittlerer Einfluss	wegen geringerer Regenentlastung Einsatz vorteilhaft	geringer Einfluss	kein Einfluss	kein Einfluss
Regenwasserversickerung	kein Einfluss	starker Einfluss	deutliche Verringerung der Regenentlastung	mittlerer bis starker Einfluss	starker Einfluss	starker Einfluss
Online- Verbrauchsmessung	Lastmanagement bei hoher Auslastung	ggf. über Trinkwassereinsparung geringer Einfluss	kein Einfluss	kein Einfluss	ggf. über Trinkwassereinsparung geringer Einfluss	kein Einfluss

Tabelle 4-4: Einfluss sonstiger Randbedingungen auf die betrachteten Techniken

	Sonstige Randbedingungen			
Techniken	Objektgröße	Objektart	Bauordnung/ Flächennutzungsplan	Umweltschutzziele der Kommune
wassersparende Armaturen und Sanitärmöbel	kein Einfluss	starker Einfluss bei aufwendigeren Techniken (z. B. berührungslose Armaturen)	kein Einfluss (abgesehen von Mindestanforderungen)	ggf. starker Einfluss
Regenwassernutzung	starker Einfluss der Dachflächengröße in Relation zum Verbrauch	starker Einfluss bei bestimmten Objekten (Gärtnereien, Flughafen, Museen etc.)	geringer Einfluss (wenn nicht durch Bebauungsplan vorgeschrieben)	starker Einfluss bei Zielsetzung des Wassersparens
Duschwasserrecycling	in Mehrfamilienhäusern höheres Potential als Regenwassernutzung	starker Einfluss bei bestimmten Objekten (Bäder, Sportstätten, Hotels)	kein Einfluss	nur bei Zielsetzung des Wassersparens
Dachbegrünung	geringer Einfluss	großer Einfluss bei Wohnsiedlungen und flachen Gewerbegebäuden	ggf. als Ausgleichsflächen	mittlerer Einfluss
Regenwasserversickerung	geringer Einfluss (bei großer versiegelter Fläche großer Einfluss)	mittlerer bis starker Einfluss (Freiflächenanteil)	starker Einfluss	starker bis sehr starker Einfluss
Online-Verbrauchsmessung	je mehr Verbrauchsstellen desto größere Vorteile (verbesserte Abrechnungsbasis)	je nach Objekt wertvolle Informationen für den Nutzer oder Vereinfachung der Abrechnung	kein Einfluss	starker Einfluss, da sparsamer Umgang gefördert wird (Sensibilisierung der Verbraucher)

5. Umsetzung im Neubaugebiet Stutensee-Steinweg und geplantes Untersuchungsprogramm

Das geplante Wohngebiet Stutensee-Steinweg wird in drei Bauabschnitten realisiert. Die beiden ersten Bauabschnitte mit zusammen 64 Reihenhäusern sind bereits fertiggestellt und bezogen. Der Bau des bereits vollständig verkauften dritten Bauabschnitts mit 30 Reihenhäusern läuft gerade an (Dezember 1999).

Alle Häuser im Wohngebiet am Steinweg sind energiesparend gebaut und mit moderner Haustechnik ausgestattet. Das verantwortliche Architekturbüro Heinz Maier, Stutensee-Blankenloch, hat bereits langjährige und umfangreiche Erfahrungen in der Realisation ökologischer, besonders energieeffizienter und mit intelligenter Haustechnik ausgestatteter Häuser zu günstigen Kosten. So liegen auch die Baukosten der Neubausiedlung "Am Steinweg" bei etwa 2.000 DM/m² Wohnfläche. Unter Einsatz umweltverträglicher und recyclingfähiger Baustoffe werden in Stutensee Niedrig- und Passivhäuser realisiert deren Energiebedarf 30 bis 50% unter der Wärmeschutzverordnung (WSchV) liegt. Die Energieversorgung der Siedlung "Am Steinweg" mit Strom und Nahwärme erfolgt mit einem BHKW. Das gesamte Energiemanagement der Siedlung wie auch das Gebäudemanagement der einzelnen Häuser wird durch die standardmäßige Ausstattung mit einem INSTA-BUS-System und die informationstechnische Vernetzung der Häuser und des BHKW über ISDN ermöglicht.

Neben den bereits in den beiden ersten Bauabschnitten realisierten energiesparenden Bauweisen sollen im 3. Bauabschnitt zusätzlich Maßnahmen zum sparsamen und effizienten Umgang mit Wasser realisiert und hinsichtlich der damit erreichbaren mengenmäßigen Einsparungen, der damit verbundenen Kosten bzw. Erträgen sowie der Akzeptanz durch die Bewohner über einen längeren Zeitraum untersucht werden. Die Häuser werden mit der in Kapitel 3.2.1 beschriebenen konventionellen Spartechnik (Ausstattungsvariante II) und teilweise mit moderner Spartechnik (Ausstattungsvariante III in Kapitel 3.2.1) ausgerüstet. Darüber hinaus werden ausgewählte Häuser mit Regenwassernutzungsanlagen bzw. mit Anlagen zur Grauwasseraufbereitung ausgestattet. Während die Häuser mit Regenwassernutzung eine Dacheindeckung mit hohem Abflussbeiwert erhalten, werden die Häuser mit Grauwasseraufbereitungsanlagen wie auch alle anderen Häuser mit einer extensiven Dachbegrünung ausgestattet.

Mit Hilfe eines geeigneten Untersuchungs-/Messprogramms sollen die Wasserverbräuche der einzelnen Verbrauchsstellen und der gesamten Haushalte erfasst werden. Ferner sollen diese Verbräuche mit denen in den bereits bezogenen Häusern des ersten und zweiten Bauabschnitts verglichen werden. Damit werden

nach Abschluss des geplanten Untersuchungsprogramms folgende Ergebnisse vorliegen:

- eine Wasserbilanz für das gesamte Baugebiet;
- eine detaillierte Erfassung der einzelnen Verbrauchsbereiche in den Haushalten (Dusche/Badewanne, Waschtisch, Toilette/Urinale, Waschmaschine, Küche, Gartenbewässerung);
- eine Verifizierung der in Kapitel 3 angenommenen Verbrauchsanteile auf Basis der 30 Häuser des dritten Bauabschnittes über 2 Jahre in Abhängigkeit von den eingesetzten Techniken. Dies ermöglicht sowohl hinsichtlich der Zahl von Haushalten und als auch hinsichtlich des Untersuchungszeitraums eine wesentlich bessere Fundierung der Verbrauchszahlen als beispielsweise in einer der wenigen, auf aktuellen Messungen beruhenden Schweizer Untersuchung (BUWAL, 1999);
- Kostenrechnungen für die unterschiedlichen Techniken auf Grund von tatsächlichen Verbrauchs- und Betriebsdaten;
- eine im Vergleich zu herkömmlichen Wohngebieten wesentlich verbesserte Regenwasserrückhaltung und Verzögerung des Regenwasserabflusses durch die Dachbegrünungen sowie eine Quantifizierung dieses Effekts;
- Erkenntnisse über die Akzeptanz der eingesetzten Techniken, ihrer Tauglichkeit im Alltagsbetrieb sowie ihrer Optimierungs- und Kostensenkungsmöglichkeiten.

Ein vorteilhafter Effekt des Vorhabens ist, dass die bereits an einen Investor verkauften Häuser des dritten Bauabschnittes durch den Bauträger auf dem freien Markt vermietet werden. Damit kann für die Untersuchung davon ausgegangen werden, dass ein für die breite Bevölkerung repräsentatives und nicht, wie in vielen ökologischen Mustersiedlungen, besonders ökologisch und im Hinblick auf Wassersparen besonders motiviertes Bewohner-/Eigentümerspektrum an dem Messprogramm beteiligt wird. Die Übertragbarkeit der Ergebnisse wird hierdurch erhöht.

Zur Klärung dieser Fragen ist das folgende Untersuchungs-/Messprogramm geplant:

- (1) Messung und zentrale Zusammenführung aller für die Bilanz wichtiger Einzelmessstellen unter Nutzung des vorhandenen INSTA-BUS.
- (2) Erfassung des zeitlichen Verlaufs des Verbrauchs an bestimmte Messstellen. (Hierdurch wird bspw. ein Vergleich des Betriebswasseranfalls und -verbrauchs möglich).
- (3) Erfassung der Betriebs- und Wartungskosten.
- (4) Erfassung der Niederschlagsmengen in der Siedlung.
- (5) Bewohnerbefragungen zur Akzeptanz.

Um möglichst umfassende Vergleichsmöglichkeiten zu erhalten, werden die 30 Häuser des dritten Bauabschnittes mit unterschiedlichen zu untersuchenden Techniken ausgestattet. Im einzelnen sollen für die Untersuchung die folgenden Ausstattungen eingesetzt werden:

- 4 Häuser erhalten konventionelle Spararmaturen und Sanitärausstattungen (ohne Urinale) sowie eine Anlage zur Regenwassernutzung. Im Gegensatz zu allen anderen Häusern erhalten diese 4 Häuser eine herkömmliche Eindeckung des Daches mit guten Ablaufeigenschaften für das Regenwasser.
- 4 identische Häuser erhalten konventionelle Spararmaturen und Sanitärausstattungen (ohne Urinale) sowie eine Duschwasserrecyclinganlage.
- 7 weitere Häuser erhalten Spararmaturen der neuesten Generation und eine Sanitärausstattung mit Urinalen. Die Toilettenspülung erfolgt, wie heute noch durchweg üblich, mit Trinkwasser.
- 15 weitere Häuser erhalten konventionelle Spararmaturen und Sanitärausstattungen, teilweise auch Urinale. Die Toilettenspülung erfolgt mit Trinkwasser.
- Parkhaus mit extensiver Dachbegrünung mit Messung der Regenwasserablaufmengen.

Neben dem Messprogramm werden die Bewohner der Häuser im 3. Bauabschnitt in regelmäßigen Abständen über ihre Erfahrungen mit den Techniken befragt werden.

Das Messprogramm soll nach Bezug der ersten Häuser im Sommer 2000 starten und möglichst über 2 Sommerperioden (2000 und 2001) geführt werden, um eine gewisse Variabilität des Niederschlagsdargebots und Wasserbedarfs (z.B. für die Gartenbewässerung) zu bekommen. Im Frühjahr 2001 soll ein erstes Zwischenfazit gezogen werden. Bei Bedarf kann das Messprogramm auch über diesen Zeitraum hinaus fortgeführt werden.

Als ein zentrales Ergebnis werden durch das Untersuchungsprogramm eine belastbare quantitative Wasserbilanz sowohl für die 30 Häuser als auch für das Wohngebiet vorliegen. Die im Wohngebiet vorliegende Möglichkeit, die durch den Einsatz der wassersparenden Technologien in den Häusern des dritten Bauabschnittes erreichbaren Wasserverbräuche mit denen der wasser- und sanitärtechnisch konventionell ausgerüsteten Häuser des ersten und zweiten Bauabschnittes zu vergleichen, wird die statistische Belastbarkeit der Aussagen weiter erhöhen. Weitere wichtige Ergebnisse neben den Wasserbilanzen werden Kostenrechnungen und Nutzererfahrungen mit den eingesetzten wassersparenden Techniken sein.

Literatur

- ATV, Abwassertechnische Vereinigung: Bau und Bemessung von Anlagen zur dezentralen Versickerung von nicht schädlich verunreinigtem Niederschlagswasser. Arbeitsblatt A 138, Januar 1990
- ATV, Abwassertechnische Vereinigung: Hinweise zur Versickerung von Niederschlagsabflüssen. ATV-Arbeitsgruppe 1.4.1. Korrespondenz Abwasser (42) 1995, Nr. 5, S. 797-806
- ATV, Abwassertechnische Vereinigung: Der Zustand der Kanalisation in der Bundesrepublik Deutschland. Hennef, 1998
- Bächle, A.; Fischer, G.; Möhle, K.-A.; Masannek, R.; Reimers, W.; Prognose zur Trinkwasserbedarfsentwicklung im Versorgungsgebiet der MVV Mannheim. gwf Wasser Abwasser (139), 1998, Nr. 2, S. 70-78
- Bäumer, K. A.; Lohaus, J.: Stand und Finanzierung der Abwasserentsorgung. ATV-Schriftenreihe 08, GFA, Hennef 1997
- BGL, Bundesverband Garten-, Landschafts- und Sportplatzbau: Regenwassermanagement natürlich mit Dachbegrünung. Bad Honnef, 1998
- BGW, Bundesverband der deutschen Gas- und Wasserwirtschaft: 110. Wasserstatistik Bundesrepublik Deutschland, Berichtsjahr 1998. Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas- und Wasser mbH, Bonn, 1999
- BMU: Schritte zur einer nachhaltigen, umweltgerechten Entwicklung – Berichte der Arbeitskreise anlässlich der Zwischenbilanzveranstaltung am 13. Juni 1997. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Bonn, 1997
- BMU: Umweltpolitik – Wasserwirtschaft in Deutschland. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Bonn, 1998
- Boller, M: Regenwasser auf neuen Wegen. EAWAG news 44 D, Zürich, Januar 1998, S. 6-11
- Bureau of Reclamation: Earth Manual. A guide to the use of soils and foundations and as construction materials for hydraulic structures. Water resources technical publication. Second Edition. US Departement of Interior, Bureau of Reclamation, Washington D.C. 1974

- BUWAL, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (Hrsg.): Der Wasserverbrauch im Schweizer Haus - Messbericht über den Wasserkonsum und Abschätzung des Sparpotentials. Umwelt-Materialien Nr. 114, Bern, 1999
- Christen, S.: Die Druckerhöhungsanlage – ein entscheidender Baustein bei der Regenwassernutzung. fbr wasserspiegel, 1999, Nr. 1, S. 11-13
- Cichorowski, G.; Schreiber, K.: Trinkwasser-Einsparung in privaten Haushalten. Modellprojekt Frankfurt-Zeilsheim. gwf Wasser Abwasser (139), 1998, Nr. 11, S. 714-718
- Cichorowski, G.: Rationelle Energie- und Wasserverwendung in Frankfurter Hochhäusern. Wasser Abwasser Praxis, 1999, Nr. 5, S. 42-44
- Delphi-Studie: Wassertechnologie im Jahr 2010. Broschüre zur Delphi-Studie des Fraunhofer-Instituts für Produktionstechnik und Automatisierung. Hessisches Umweltministerium (Hrsg.), Wiesbaden, 1999
- Dohmann, M.; Feyen, H.; Dix, J.; Ewringmann, D.; Scholl, R.: Die Entwicklung der Marktnachfrage nach Abwasserentsorgungsdienstleistungen in Deutschland. Taschenbuch der Entsorgungswirtschaft, Merz Verlag, Bonn, 1997
- Dott, W.: Hygienische Anforderungen an die Regenwassernutzung im Haushalt. Dokumentation des Fachgesprächs "Regenwassernutzung im Haushalt" am 14.2.1995 im Umweltbundesamt. UBA-Texte 59/95, Berlin, 1995
- DVGW, Deutscher Verein des Gas- und Wasserfachs: Richtlinien für Trinkwasserschutzgebiete; II. Teil: Schutzgebiete für Trinkwassertalsperren; W102, Bonn, 1975
- DVGW, Deutscher Verein des Gas- und Wasserfachs: Richtlinien für Trinkwasserschutzgebiete; III. Teil: Schutzgebiete für Seen; W103, Bonn, 1975
- DVGW, Deutscher Verein des Gas- und Wasserfachs: Richtlinien für Trinkwasserschutzgebiete; I. Teil: Schutzgebiete für Grundwasser; W101, Bonn, 1995
- Fachkommission Gebäude- und Betriebstechnik: Trinkwassereinsparung in öffentlichen Gebäuden. HIS Hochschul-Informationssystem GmbH, Hannover, 1988
- Fay, P.: Frankfurt fördert Technik zur Trinkwassereinsparung im Haushalt. EUWID Wasser und Abwasser (2), 1999, Nr. 9, S. 9

- fbr, Fachvereinigung Betriebs- und Regenwassernutzung: Regenwassernutzung als dezentrale Strategie zur Vermeidung von Nähr- und Schadstoffeinträgen in die Oberflächengewässer. fbr wasserspiegel, 1998, Nr. 4, S. 18-19
- Feurich, H.: Wasser- und Energieeinsparung in der Sanitärtechnik - Aspekte der Hygiene, Funktion und Nutzung, der Baukosten und der Wirtschaftlichkeit. IKZ-Haustechnik, 1997, Nr. 12, S. 32-42
- FLL, Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau: Richtlinien für die Planung, Ausführung und Pflege von Dachbegrünungen. Bonn, Ausgabe 1995
- FLL, Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau: Bewertung von Dachbegrünungen. Bonn, Ausgabe 1998
- Förster, J.: Wasser aus Dachabflüssen: saubere Ressource oder belastetes Abwasser? 27. Abwassertechnisches Seminar: Dezentrale Abwasserbehandlung für ländliche und urbane Gebiete. Berichte aus Wassergüte- und Abfallwirtschaft. TU München, 1998
- Geiger, W.; Dreiseitl, H.: Neue Wege für das Regenwasser. Handbuch zum Rückhalt und zur Versickerung von Regenwasser in Baugebieten. Verlag Oldenbourg, München, Wien, 1995
- Globus: Entwicklung des Wasserverbrauchs. fbr wasserspiegel, 1999, Nr. 3, S. 22
- hansgrohe: Investieren Sie in die Zukunft mit der Duschwasser-Recycling-Anlage. Firmenprospekt hansgrohe Sanitärtechnik, Schiltach, 1998
- Hartung, H.: Regenwassernutzung im Haushalt am Beispiel von Hamburg. Dokumentation des Fachgesprächs "Regenwassernutzung im Haushalt" am 14.2.1995 im Umweltbundesamt. UBA-Texte 59/95, Berlin, 1995
- Hentschel, W.: Neue Entwicklungen in der Regenwassernutzung. gwf Wasser Abwasser (140), 1999, Nr. 13, S. 72-75
- Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie, Jugend, Familie und Gesundheit: 2. Bericht an den Hessischen Landtag nach § 11 H GruwAG über den Vollzug des Hessischen Gesetzes über die Abgabe für Grundwasserentnahmen. Wiesbaden, Juni 1997
- Holle, P.: Ein lohnender Kampf gegen Schluckspechte und andere undichte Stellen. Frankfurter Rundschau, 22.02.1994

- König, K.W.: Regenwassernutzung: Ökologie und Ökonomie, Stand der Technik. Wasserwirtschaft (88) 1998, Nr. 2, S. 56-59
- König, K.W.: Zum Umgang mit der Regenwassernutzung: Ein Leitfaden für Kommunen in Deutschland. Mall-Beton-Verlag, Donaueschingen, 1999
- Koenigs, T. (Hrsg.): Das Wasserspar-Buch - Wasser sparen und schützen in Haus und Garten. Falken Verlag, Niedernhausen/Ts., 1998
- Lange, J.; Otterpohl, R.: Abwasser: Handbuch zu einer zukunftsfähigen Wasserwirtschaft. Mall-Beton-Verlag, Donaueschingen, 1997
- Laun, U., Gramel, S., Sonnenburg, A., Urban, W.: Kosten-Nutzen-Untersuchung der Brauchwasseranlage an der TU Darmstadt. fbr wasserspiegel, 1999, Nr. 3, S. 12-13
- Möhle, K.-A.: Möglichkeiten der Wassereinsparung und rationellen Wasserverwendung. Umweltplanung, Arbeits- und Umweltschutz - Schriftenreihe der Hessischen Landesanstalt für Umwelt, Heft Nr. 85, Wiesbaden, 1988
- Möhle, K.-A.; Masannek, R.: Wasserbedarf, Wasserverwendung und Wassersparmöglichkeiten in öffentlichen Einrichtungen und im Dienstleistungsbereich. Wasser und Boden (42), 1990, Nr. 4, S. 209-216
- Mönninghoff, H. (Hrsg.): Ökotechnik, Wasserversorgung im Haus. Ökobuch Verlag, Staufen bei Freiburg, 1988
- NN: Regenwassernutzung in der Waschmaschine. EUWID Wasser und Abwasser (2), 1999, Nr. 20, S. 6
- Nolde, E.: Regenwassernutzung im Haushalt am Beispiel von Berlin. Dokumentation des Fachgesprächs "Regenwassernutzung im Haushalt" am 14.2.1995 im Umweltbundesamt. UBA-Texte 59/95, Berlin, 1995
- Nolde, E.: Grauwasser-Recycling. fbr wasserspiegel, 1999, Nr. 1, S. 15-17
- Öko-Test: Aus einem Guss: Regenwasser-Kompaktstationen. ÖKO-HAUS, 1999, Nr. 2, S. 39-45
- Paulus, J.: Von der Dusche ins Klo - Grauwasser nutzen. ÖKO-HAUS, 1999, Nr. 4, S. 70 - 73

- Pecher, R.: Wassersparen führt mittelfristig zu mehr Kosten. Wasser Abwasser Praxis, 1999b, Nr. 5, S. 3
- Reichmann, B.: Ökologisches Planen und Bauen in Berlin - Baustein Wasser. Dokumentation des Fachgesprächs "Regenwassernutzung im Haushalt" am 14.2.1995 im Umweltbundesamt. UBA-Texte 59/95, Berlin, 1995
- Reichmann, B.: Stadtprojekt Regenwasser: sammeln, reinigen, wiederverwenden. Wasserwirtschaft Wassertechnik Abwassertechnik, 1998, Nr. 8, S. 15-18
- Rudolph, K.-U.; Antoni, M.: Regenwassernutzung im Haushalt. gwf Wasser Abwasser (139), 1998, Nr. 11, S. 719-725
- Schmidkowsky, J.: Der richtige Mix – Die Rolle von Regen- und Brauchwasser in großstädtischen Wassersparprogrammen am Beispiel Frankfurt am Main. Dokumentation des Fachgesprächs "Regenwassernutzung im Haushalt" am 14.2.1995 im Umweltbundesamt. UBA-Texte 59/95, Berlin, 1995
- Schmidt, H.: Untersuchungen zur Regenwassernutzung in Wohnbauten. Dissertation im Fachbereich Architektur der TU Braunschweig, Juni 1986
- Schüle, E.: Wassergütewirtschaftliche Aspekte von Regenwassernutzungsmaßnahmen. Seminar "Regenwassernutzung als Beitrag zu Trinkwassereinsparung und modifizierten Entwässerungssystemen". Technische Akademie Esslingen, 19.2.1998
- Sieker, F. (Hrsg.): Naturnahe Regenwasserbewirtschaftung. Analytica-Verlag, Berlin, 1998
- StaBu, Statistisches Bundesamt: Fachserie 19, Reihe 2.1, Öffentliche Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung 1995, Metzler-Poeschel, Stuttgart, 1998
- StaBu, Statistisches Bundesamt: Fachserie 19, Reihe 2.2, Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung im Bergbau und Verarbeitenden Gewerbe und bei Wärmekraftwerken für die öffentliche Versorgung 1995, Metzler-Poeschel, Stuttgart, 1998
- Stotz, G.; Krauth, K.: Bemessung der Versickerungsfläche nach dem Bodenbelastungspotential. Korrespondenz Abwasser (45), 1998, Nr. 9, S. 1689-1699
- Stratenhoff, C.: Auswirkungen von Wassersparmaßnahmen und Regenwassernutzung auf die kommunale Wasserversorgung. gwf Wasser Abwasser (139), 1998, Nr. 5, S. 293 - 298

Umweltbundesamt: Umweltqualitäts- und Umwelthandlungsziele im Gewässerschutz – Sachstandsbericht und Ausblick. UBA-Texte 63/96, Berlin, 1996

Wöhe, G.: Einführung in die allgemeine Betriebswirtschaftslehre. 16. überarbeitete Auflage, Vahlen, München, 1986

ZVSHK, Zentralverband Sanitär, Heizung, Klima (Hrsg.): Merkblatt Regenwassernutzungsanlagen - Planung, Bau, Betrieb und Wartung. St. Augustin, 1998