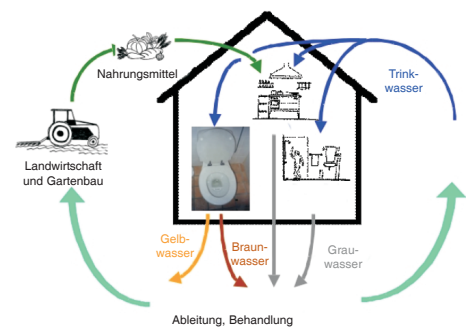


# DWA- Themen

## Neuartige Sanitärsysteme

Dezember 2008



Die Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA) setzt sich intensiv für die Entwicklung einer sicheren und nachhaltigen Wasserwirtschaft ein. Als politisch und wirtschaftlich unabhängige Organisation arbeitet sie fachlich auf den Gebieten Wasserwirtschaft, Abwasser, Abfall und Bodenschutz.

In Europa ist die DWA die mitgliederstärkste Vereinigung auf diesem Gebiet und nimmt durch ihre fachliche Kompetenz bezüglich Regelsetzung, Bildung und Information der Öffentlichkeit eine besondere Stellung ein. Die rund 14 000 Mitglieder repräsentieren die Fachleute und Führungskräfte aus Kommunen, Hochschulen, Ingenieurbüros, Behörden und Unternehmen.

## Impressum

### Herausgeber und Vertrieb:

DWA Deutsche Vereinigung für  
Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.  
Theodor-Heuss-Allee 17  
53773 Hennef, Deutschland  
Tel.: +49 2242 872-333  
Fax: +49 2242 872-100  
E-Mail: [kundenzentrum@dwa.de](mailto:kundenzentrum@dwa.de)  
Internet: [www.dwa.de](http://www.dwa.de)

### Satz:

DWA

### Druck:

Druckhaus Köthen

### ISBN:

978-3-941089-37-2

Gedruckt auf 100 % Recyclingpapier

© DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., Hennef 2008

Alle Rechte, insbesondere die der Übersetzung in andere Sprachen, vorbehalten. Kein Teil dieses Arbeitsblattes darf ohne schriftliche Genehmigung des Herausgebers in irgendeiner Form – durch Fotokopie, Mikrofilm oder irgendein anderes Verfahren – reproduziert oder in eine von Maschinen, insbesondere von Datenverarbeitungsmaschinen, verwendbare Sprache übertragen werden.

## Vorwort

In jedem Wandel liegt eine Chance.

In der deutschen Wasserwirtschaft werden die Auswirkungen und die Konsequenzen von Änderungen der Randbedingungen kontrovers diskutiert. Klimawandel, demografische Entwicklung und Ressourcenverknappung sind hier die wesentlichen Themen. Weitere Herausforderungen ergeben sich aus dem Sanierungsbedarf der Kanalisation und weitergehender Anforderungen wie Hygienisierung und Entfernung von Mikroschadstoffen.

Erste Gedanken das System grundsätzlich anders zu gestalten wurden in den 90er Jahren des letzten Jahrhunderts primär aus universitärer Sicht publiziert und einige Pilotprojekte realisiert. Beim neuen Konzept standen die Stoffströme und deren Nutzung im Vordergrund. Die Konzepte bekamen Namen wie alternative Sanitärkonzepte, ökologische Sanitärkonzepte (ecosan), decentral sanitation and reuse (desar).

Die DWA (damals noch ATV-DVWK) hat zum Thema alternative Sanitärkonzepte im Jahre 2002 einen ersten Arbeitsbericht der Arbeitsgruppe GB-5.1 „Nachhaltige Siedlungswasserwirtschaft“ erarbeitet, in dem Überlegungen zum Thema dargelegt wurden. Im Jahre 2004 wurde ein neuer Fachausschuss KA-1 „Neuartige Sanitärsysteme“ gegründet, mit dem Ziel, Überlegungen und Erfahrungen zu neuartigen Sanitärsystemen systematisch darzustellen und zu bewerten. Das Ergebnis liegt mit diesem Themenband vor, der von einer Vielzahl von sehr engagiert ehrenamtlich arbeitenden Mitgliedern in den sechs Arbeitsgruppen und dem Fachausschuss erarbeitet wurde. Neben der Arbeit in den Arbeitsgruppen und dem Fachausschuss haben wir zwei Workshops in Weimar mit allen Mitgliedern durchgeführt, die zur Information über die Arbeiten und zur Abstimmung dienten.

Obwohl es sich um ein neues und kontrovers diskutiertes Thema handelt, fanden sich neben vielen Universitäten und Hochschulen auch [Ingenieurbüros und] namhafte Betreiber, die es ihren Mitarbeitern ermöglichen, bei dieser DWA-Arbeit mitzuwirken. So war es möglich ein theoretisch fundiertes Buch mit großem Bezug zur Praxis zu erstellen. An dieser Stelle möchte ich allen Beteiligten für ihren großen persönlichen Einsatz danken.

Ziel dieses Fachbuches ist es, die Überlegungen und Erfahrungen zu neuartigen Sanitärsystemen systematisch darzustellen, Hilfestellungen für die Bewertung und Auswahl von Systemen und deren Integration in bestehende Systeme zu geben und Forschungs- und Entwicklungsbedarf aufzuzeigen. Ich hoffe, dass die Lektüre des Themenbandes den Lesern und Anwendern hilft, die sich vor dem Hintergrund des Wandels bietenden Chancen zu nutzen.

Weimar, im Dezember 2008

Jörg Londong (Obmann des DWA-Fachausschusses KA-1 „Neuartige Sanitärsysteme“)

## Verfasser

Der Themenband wurde von dem DWA-Fachausschuss KA-1 „Neuartige Sanitärsysteme“ erarbeitet.

Mitglieder des Fachausschusses und seiner Arbeitsgruppen sind:

DWA-Fachausschuss KA-1 „Neuartige Sanitärsysteme“

CLEMENS, Joachim	PD Dr., Bonn, Universität Bonn, Institut für Pflanzenernährung
DAEBEL, Helge	Dr.-Ing., Zürich, CH, Emerald
HERBST, Heinrich	Dr.-Ing., Aachen, RWTH Aachen, jetzt Grondmij, Köln
HILLENBRAND, Thomas	Dipl.-Ing., Karlsruhe, Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung, Karlsruhe
LONDONG, Jörg	Univ. Prof. Dr.-Ing., Weimar, Bauhaus-Universität Weimar, Professur Siedlungswasserwirtschaft (Obmann des Fachausschusses)
OLDENBURG, Martin	Dr.-Ing., Lübeck, OtterWasser GmbH
OTTERPOHL, Ralf	Univ. Prof. Dr.-Ing., Hamburg, Technische Universität Hamburg-Harburg, Institut für Abwasserwirtschaft und Gewässerschutz
PETER-FRÖHLICH, Anton	Dr.-Ing., Berlin, Berliner Wasserbetriebe, Organisationseinheit Abwasserentsorgung
SCHÄFER, Arno	Dipl.-Ing., Hamburg, HAMBURG WASSER (bis 2007)
STEINMETZ, Heidrun	Univ. Prof. Dr.-Ing., Stuttgart, Universität Stuttgart, Institut für Siedlungswasserbau, Wassergüte und Abfallwirtschaft (Stellv. Obfrau des Fachausschusses)
WERNER, Thomas	Dr.-Ing., Hamburg, HAMBURG WASSER (ab 2007)

DWA-Arbeitsgruppe KA-1.1 „Möglichkeiten der Erfassung, des Transportes und der Behandlung von Schwarz-, Gelb- und Braunwasser“

BISCHOF, Franz	Prof. Dr., Amberg, Fachhochschule Amberg und Hans Huber AG
GRÖNWALL, Peter-Nils	Hamburg, Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt
JOSWIG, Kay	Dipl.-Ing., Berlin, Berliner Wasserbetriebe, Abt. Netz- und Anlagenbau
MAURER, Max	Dr. sc. techn., Dübendorf, CH, Eawag: Das Wasserforschungsinstitut des ETH-Bereichs
PARIS, Stefania	Dr.-Ing., Berching, Hans Huber AG
PETER-FRÖHLICH, Anton	Dr.-Ing., Berlin, Berliner Wasserbetriebe, Organisationseinheit Abwasserentsorgung (Sprecher der Arbeitsgruppe)
RÄTH, Nicola	Dipl.-Ing. (FH), Dipl. Biol., Frankfurt
RÜD, Sören	B. Sc., Eschborn, Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH
TETTENBORN, Felix	Dipl.-Ing., Hamburg, Technische Universität Hamburg-Harburg, Institut für Abwasserwirtschaft und Gewässerschutz
THOMAS, Peter	Dipl.-Ing., Berlin, Gesellschaft für Handwerk Technik + Innovation (HATI) GmbH
WRIEGE-BECHTOLD, Alexander	Dipl.-Ing., Berlin, Technische Universität Berlin, Fachgebiet Siedlungswasserwirtschaft

## DWA-Arbeitsgruppe KA-1.2 „Erfassung, Ableitung, Behandlung und Nutzung von Grau- und Regenwasser“

CHANG, Yue	M. Sc., Darmstadt, Technische Universität Darmstadt, Fachgebiet Abwassertechnik
HERBST, Heinrich	Dr.-Ing., Aachen, RWTH Aachen, jetzt Grondmij, Köln (Sprecher der Arbeitsgruppe)
HOFFMANN, Erhard	Prof. h. c. Dipl.-Ing., Karlsruhe, Institut für Wasser und Gewässerentwicklung, Karlsruhe
KERPEN, Jutta	Prof. Dr.-Ing., Wiesbaden, Fachhochschule Wiesbaden, Studienbereich Umwelttechnik und Dienstleistung
KEYSERS, Christopher	Dipl.-Ing., Aachen, RWTH Aachen, ISA Fachgebiet Abwasserbehandlung und Klärschlammbehandlung
NOLDE, Erwin	Dipl.-Ing., Berlin, Nolde & Partner
PETRAHN, Doris	Dipl.-Ing. (FH), Leipzig, Stadt Leipzig, Tiefbauamt, SG Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung
WALDHOFF, Axel	Dipl.-Ing., Kassel, Universität Kassel, Fachgebiet Siedlungswasserwirtschaft

## DWA-Arbeitsgruppe KA-1.3 „Reststoffe aus neuartigen Sanitärkonzepten“

BAHLO, Klaus	Dr.-Ing., Uelzen, Ingenieurbüro AWA Dr. Bahlo & Ebeling
CLEMENS, Joachim	PD Dr., Bonn, Universität Bonn, Institut für Pflanzenernährung (Sprecher der Arbeitsgruppe)
DENECKE, Martin	PD Dr. rer. nat., Essen, Universität Duisburg-Essen, Siedlungswasserwirtschaft
HAMMER, Martina	M. Sc., Hamburg, Technische Universität Hamburg-Harburg, Institut Abwasserwirtschaft und Gewässerschutz
ROSCHKE, Manfred	Dr., Güterfelde, Landesamt für Verbraucherschutz, Landwirtschaft und Flurneuordnung
MUSKOLUS, Andreas	Dr. rer. agr., Berlin, Humboldt Universität Berlin, Institut für Pflanzenbauwissenschaften
ARNOLD, Ute	Dipl.-Geoökol., Bonn, Universität Bonn, Institut für Pflanzenernährung
VINNERAS, Björn	Dr., Uppsala, S, Swedish University of Agricultural Sciences, Schweden
RIEß, Peter	Dr., Sinzig

# Neuartige Sanitärsysteme

---

## DWA-Arbeitsgruppe KA-1.4 „Systemintegration“

BECKER, Michael	Dipl.-Ing., Essen, Emschergenossenschaft/Lippeverband
DOCKHORN, Thomas	PD Dr.-Ing., Braunschweig, Technische Universität Braunschweig, Institut für Siedlungswasserwirtschaft
FELMEDEN, Jörg	Dipl.-Ing., Kassel, Universität Kassel, FG Siedlungswasserwirtschaft
GEISLER, Silke	Dipl.-Ing., Essen, Emschergenossenschaft/Lippeverband
HILLENBRAND, Thomas	Dipl.-Ing., Karlsruhe, Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung (Sprecher der Arbeitsgruppe)
HOLLÄNDER, Robert	Univ. Prof. Dr.-Ing., Leipzig, Universität Leipzig, Institut für Infrastruktur- und Ressourcenmanagement
KAUFMANN ALVES, Inka	Dipl.-Ing., Kaiserslautern, TU Kaiserslautern, Fachgebiet Siedlungswasserwirtschaft
KIRSCHBAUM, Bernd	Dipl.-Geol., Dessau, Umweltbundesamt
KLAUS, Uwe	Dipl.-Ing., Hannover, Aquaplaner Ing.-Ges. f. Wasserwirtschaft, Umwelt, Abwasser
LAUTENSCHLÄGER, Sabine	Dipl.-Ing., Leipzig, Universität Leipzig, Institut für Infrastruktur- und Ressourcenmanagement
MAURER, Max	Dr. sc. techn., Dübendorf, CH, Eawag: Das Wasserforschungsinstitut des ETH-Bereichs
PETERS, Irene	Univ. Prof. Dr. oec., Hamburg, Technische Universität Hamburg-Harburg, Infrastrukturplanung und Stadttechnik
RÜD, Sören	B. Sc., Eschborn, Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH
STEINMETZ, Heidrun	Univ. Prof. Dr.-Ing., Stuttgart, Universität Stuttgart, Institut für Siedlungswasserbau, Wassergüte und Abfallwirtschaft
WERNER, Christine	Dipl.-Ing., Eschborn, Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH

## DWA-Arbeitsgruppe KA-1.5 „Systeme und Erfahrungen“

CHRIST, Oliver	Dr.-Ing., München, GFM Beratende Ingenieure GmbH
LI, Zhiqiang	Dr.-Ing., Hamburg, HAMBURG WASSER
OLDENBURG, Martin	Dr.-Ing., Lübeck, OtterWasser GmbH
VOLKER, Ulf	Dipl.-Ing. Rakelmann, Hamburg, HAMBURG WASSER
RÜD, Sören	B. Sc., Eschborn, Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH
SCHÄFER, Arno	Dipl.-Ing., Hamburg, HHAMBURG WASSER (Sprecher der Arbeitsgruppe bis 2007)
SCHLÜTER, Thoralf	Dipl.-Ing., Hamburg, GFA Consulting Group GmbH
WERNER, Christine	Dipl.-Ing., Eschborn, Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH
WERNER, Thomas	Dr.-Ing., Hamburg, HAMBURG WASSER (Sprecher der Arbeitsgruppe seit 2007)
ZANG, Volker	Dr.-Ing., Hanau, Roediger Vakuum- und Haustechnik GmbH (bis 2007)

DWA-Arbeitsgruppe KA-1.6 „Regelwerk und rechtliche Fragestellungen“

FRANZISKA Meinzingler	Dipl.-Ing., Hamburg, Technische Universität Hamburg-Harburg, Institut für Abwasserwirtschaft und Gewässerschutz
PETER Nisipeanu	Dr. jur., Essen, Ruhrverband RWG Ruhr -Wasserwirtschafts- Gesellschaft mbH
MARTIN Oldenburg	Dr.-Ing., Lübeck, OtterWasser GmbH (Sprecher der Arbeitsgruppe)
CHRISTIAN Schneider	Dipl.-Ing., Hennef, Gesellschaft zur Förderung der Abwassertechnik e. V. (GFA)

Projektbetreuer in der DWA-Bundesgeschäftsstelle:

THALER, Sabine	Dipl.-Biol., Hennef Abteilung Abwasser und Gewässerschutz
----------------	--

## Inhalt

<b>Vorwort</b> .....	<b>3</b>
<b>Verfasser</b> .....	<b>4</b>
<b>Bilderverzeichnis</b> .....	<b>14</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b> .....	<b>16</b>
<b>1 Einführung</b> .....	<b>19</b>
1.1 Veranlassung .....	19
1.2 Ein kurzer Blick zurück .....	20
<b>2 Begriffe</b> .....	<b>22</b>
2.1 Einleitung .....	22
2.2 Definition des Begriffes Neuartige Sanitärsysteme (NASS) .....	22
2.3 Begriffsbestimmungen .....	23
2.3.1 Technische Begriffsdefinitionen .....	23
2.3.2 Synonyme für NASS .....	26
<b>3 Inhaltsstoffe des häuslichen Abwassers und seiner Teilströme</b> .....	<b>27</b>
3.1 Einleitung .....	27
3.2 Vorgehensweise zur Erstellung der Kennzahlen .....	27
3.2.1 Datensammlung .....	27
3.2.2 Schwierigkeiten bei der Auswertung .....	28
3.3 Ergebnisse .....	28
3.3.1 Urin .....	29
3.3.2 Fäzes .....	29
3.3.3 Grauwasser .....	30
3.4 Diskussion der Ergebnisse .....	30
3.4.1 Abweichungen über Raum und Zeit .....	31
3.4.2 Abweichungen innerhalb der Datensammlung .....	32
3.4.3 Abweichungen zu anderen Quellen .....	32
3.5 Schlussfolgerungen .....	33
<b>3.A Weitere Ergebnisse zu Konzentrationen und Frachten von Teilströmen</b> .....	<b>33</b>
<b>4 Übersicht zu Neuartigen Sanitärsystemen</b> .....	<b>36</b>
4.1 Erläuterungen zu den Systemdarstellungen .....	36
4.2 Stoffstromsysteme .....	38
4.2.1 1-Stoffstromsystem .....	38
4.2.1.1 Konventionelles Verfahren mit N- und P-Elimination als 'Referenzsystem' .....	38
4.2.1.2 Verfahren mit nachgeschalteter Nährstoff- und Wasser-Rückgewinnung/Wiederverwertung .....	39
4.2.2 Schwarzwasser 2-Stoffstromsystem .....	40
4.2.3 Urintrennung 2-Stoffstromsystem .....	41
4.2.4 Urintrennung 3-Stoffstromsystem .....	42
4.2.5 Fäkalien 2-Stoffstromsystem (Trockentoiletten) .....	43
4.2.6 Urintrennung 3-Stromsystem (Trockentoiletten) .....	44
4.3 Produkte der Stoffstromsysteme und deren Verbleib .....	45



<b>5</b>	<b>Erfassung und Transport von Stoffströmen aus Neuartigen Sanitärsystemen</b> .....	<b>46</b>
5.1	Erfassung.....	46
5.1.1	Allgemeines .....	46
5.1.2	Übersichtsmatrix Erfassung Urin, Fäzes und Fäkalien .....	47
5.1.3	Erfassung Toiletten ohne Trennung.....	48
5.1.3.1	Spültoiletten – konventionell/Wasser sparend .....	48
5.1.3.2	Vakuumtoiletten .....	51
5.1.3.3	Trockentoiletten .....	53
5.1.4	Erfassung Trenntoiletten.....	55
5.1.4.1	Spültrenntoiletten .....	55
5.1.4.2	Spültrenntoiletten – Urinableitung ohne Spülwasser .....	57
5.1.4.3	Spültrenntoiletten mit einer separaten Wasserspülung für Urin.....	59
5.1.4.4	Spültrenntoiletten – Fäzesableitung ohne Spülung.....	60
5.1.4.5	Vakuumtrenntoiletten .....	62
5.1.4.6	Vakuumtrenntoiletten – Urinableitung ohne Wasser.....	63
5.1.4.7	Vakuumtrenntoiletten mit einer separaten Wasserspülung für Urin.....	64
5.1.4.8	Trockentrenntoiletten .....	65
5.1.5	Erfassung Urinale .....	67
5.1.5.1	Urinale – konventionell/Wasser sparend .....	67
5.1.5.2	Vakuum-Urinal .....	69
5.1.5.3	Wasserlose Urinale.....	71
5.1.6	Erfassung von Bioabfällen .....	75
5.1.7	Grauwassererfassung.....	76
5.1.8	Regenwassererfassung .....	76
5.2	Ableitung.....	76
5.2.1	Allgemeines .....	76
5.2.2	Übersichtsmatrix Ableitung von Urin, Fäzes und Fäkalien mit oder ohne Spülwasser .....	79
5.2.3	Beschreibung der Ableitung innerhalb von Gebäuden.....	82
5.2.3.1	Schwerkraftentwässerung innerhalb von Gebäuden .....	82
5.2.3.2	Unterdruckentwässerung (Vakuumentwässerung) innerhalb von Gebäuden .....	85
5.2.3.3	Druckentwässerung innerhalb von Gebäuden.....	86
5.2.3.4	Trockene Sammelsysteme innerhalb von Gebäuden .....	88
5.2.4	Beschreibung Ableitung außerhalb von Gebäuden .....	90
5.2.4.1	Schwerkraftentwässerung außerhalb von Gebäuden.....	90
5.2.4.2	Unterdruckentwässerung (Vakuumentwässerung) außerhalb von Gebäuden.....	91
5.2.4.3	Druckentwässerung außerhalb von Gebäuden.....	93
5.2.4.4	Trockene Sammelsysteme außerhalb von Gebäuden.....	94
5.2.5	Besonderheiten bei der Ableitung von Schwarz-/Braunwasser .....	95
5.2.6	Besonderheiten bei der Ableitung von Fäkalien/Fäzes.....	96
5.2.7	Besonderheiten bei der Ableitung von Urin/Gelbwasser.....	96
5.2.8	Besonderheiten bei der Ableitung des Gemischs von Grau- und Braunwasser.....	99
5.2.9	Besonderheiten bei Ableitung bzw. Transport von Bioabfällen.....	99
5.2.10	Ableitung von Grauwasser und Regenwasser .....	99

<b>6</b>	<b>Behandlung von Teilströmen aus Neuartigen Sanitärsystemen .....</b>	<b>100</b>
6.1	Einführung.....	100
6.2	Übersicht zur Behandlung von Gelb-, Schwarz- und Braunwasser unter Berücksichtigung der unverdünnten Stoffströme .....	100
6.2.1	Übersichtsmatrizen zur Behandlung von Gelb-, Schwarz- und Braunwasser.....	100
6.2.2	Erläuterungen zu der Kurzbeschreibung (Schemata).....	106
6.3	Behandlung von Schwarz- und Braunwasser .....	106
6.3.1	Trenn- und Aufkonzentrierungsverfahren .....	106
6.3.1.1	Allgemeines .....	106
6.3.1.2	Sedimentation .....	107
6.3.1.3	Zentrifugation – Hydrozyklon .....	108
6.3.1.4	Flotation .....	110
6.3.1.5	Filtration – Grobfilter .....	111
6.3.1.6	Siebung – Siebschnecke .....	113
6.3.1.7	Siebung – Bogensieb.....	115
6.3.2	Behandlungsverfahren für die feststoffreiche Phase des Schwarz- und Braunwassers .....	117
6.3.2.1	Allgemeines .....	117
6.3.2.2	Kompostierung.....	117
6.3.2.3	Anaerobe Behandlung – Biogasanlage.....	121
6.3.2.4	Trocknung (für Fäzes).....	123
6.3.2.5	Kalkung (für Fäzes).....	124
6.3.3	Behandlungsverfahren für die feststoffarme Phase des Schwarz- und Braunwassers.....	125
6.3.3.1	Allgemeines .....	125
6.3.3.2	Membran-Filtration.....	126
6.3.3.3	Fällung .....	128
6.3.3	Aerob – Pflanzenkläranlage.....	129
6.4	Behandlung von Gelbwasser .....	130
6.4.1	Chemische Eigenschaften von Urin und Gelbwasser .....	130
6.4.1.1	Einführung.....	130
6.4.1.2	Hydrolyse .....	131
6.4.1.3	Salzgehalt, Ionenstärke.....	131
6.4.1.4	Ausfällungen .....	132
6.4.1.5	Ammoniakausgasung – Arbeitssicherheit .....	132
6.4.2	Übersicht zu Behandlungsverfahren für Gelbwasser.....	134
6.4.3	Lagerung.....	134
6.4.4	Ansäuerung.....	136
6.4.5	Hygienisierung .....	137
6.4.6	Eindampfung.....	138
6.4.7	Ausfrieren.....	139
6.4.8	Nanofiltration.....	140
6.4.9	Umkehrosiose.....	141
6.4.10	Elektrodialyse.....	142
6.4.11	Struvit Ausfällung .....	144
6.4.12	Ca-/Fe-/Al-Fällung.....	146
6.4.13	Ammoniak-Strippung.....	147

6.4.14	Ionentauscher .....	149
6.4.15	Aktivkohle.....	150
6.4.16	Nitrifikation .....	151
6.4.17	Anammox (Anaerobe Ammonium-Oxidation) .....	152
6.4.18	Biologische Nährstoffelimination.....	153
6.4.19	Ozonierung, AOP-Verfahren.....	154
6.4.20	IBDU-Ausfällung .....	156
6.5	Behandlung des Gemisches aus Grau- und Braunwasser .....	156
6.6	Behandlung von Bioabfällen .....	156
6.7	Behandlung von Grau- und Regenwasser.....	156
6.7.1	Eigenschaften von Grau- und Regenwasser .....	156
6.7.1.1	Grauwasseranfall .....	156
6.7.1.2	Regenwasseranfall .....	157
6.7.1.3	Grauwasserbeschaffenheit .....	158
6.7.1.4	Regenwasserbeschaffenheit.....	162
6.7.2	Behandlungsverfahren für Grauwasser und Regenwasser .....	164
6.7.2.1	Einführung.....	164
6.7.2.2	Übersichtsmatrizen zur Behandlung von Grauwasser .....	166
6.7.2.3	Bepflanzte Bodenfilter.....	168
6.7.2.4	Belebungsverfahren.....	170
6.7.2.5	Festbettverfahren.....	172
6.7.2.6	Membranverfahren.....	174
6.7.2.7	Umkehrosmose.....	178
6.7.3	Vor- und Nachteile der verschiedenen Aufbereitungsverfahren in Abhängigkeit der jeweiligen Nutzung.....	179
<b>6.A</b>	<b>Qualitätsanforderungen an Brauch- und Pflegewasser .....</b>	<b>182</b>
6.A.1	Allgemeine rechtliche Anforderungen für die Toilettenspülung.....	182
6.A.2	Allgemeine rechtliche Anforderungen für die Bewässerung .....	184
6.A.3	Allgemeine rechtliche Anforderungen für eine Teilnutzung in Wasch- und Spülmaschinen .....	187
6.A.4	Allgemeine rechtliche Anforderungen an die Einleitung/Versickerung von Grau- und Regenwasser .....	189
<b>7</b>	<b>Stoffliche Nutzung von Produkten aus Neuartigen Sanitärsystemen in der Landwirtschaft.....</b>	<b>191</b>
7.1	Düngemittel.....	191
7.1.1	Einführung.....	191
7.1.2	Gesetzliche Definition .....	192
7.1.3	Schlussfolgerung .....	194
7.2	NASS-Produkte und deren Inhaltsstoffe .....	195
7.3	Einordnung der Produkte aus Neuartigen Sanitärsystemen als Düngemittel .....	196
7.4	Fallbeispiel Urin .....	197
7.4.1	Ertragswirkung.....	197
7.4.2	Hygiene.....	199
7.4.3	Schadstoffe .....	201
7.4.4	Modell Stofffracht.....	202
7.4.5	Empfehlungen zur Urinverwertung .....	207
7.5	Bewertung und Ausblick .....	208

<b>7.A</b>	<b>Anhang</b> .....	<b>208</b>
7.A.1	Pharmakakonzentrationen im Urin.....	208
7.A.2	Antrag zur Ergänzung von Düngemitteltypen .....	210
<b>8</b>	<b>Ansätze zur Bewertung Neuartiger Sanitärsysteme</b> .....	<b>212</b>
8.1	Beschreibung und Relevanz der Bewertungskriterien .....	212
8.1.1	Zielsetzung „Umwelt- und Ressourcenschutz“.....	216
8.1.2	Zielsetzung „Umwelthygiene und hygienische Sicherheit“.....	219
8.1.3	Ökonomische Ziele .....	222
8.1.4	Soziale Ziele .....	225
8.1.5	Technische Ziele.....	226
8.2	Beschreibung und Bewertung von Beispielprojekten .....	229
8.2.1	1-Stoffstromsystem .....	230
8.2.1.1	Das herkömmliche, konventionelle 1-Stoffstromsystem als 'Referenzsystem'.....	230
8.2.1.2	Stoffstromsystem im Projekt Knittlingen („DEUS 21“-Konzept).....	231
8.2.2	Schwarzwasser 2-Stoffstromsystem .....	231
8.2.2.1	Lübeck-Flintenbreite.....	231
8.2.2.2	Kaiserslautern/Oberhausen (Projekt ‚KOMPLETT‘).....	232
8.2.3	Urintrennung 2-Stoffstromsystem .....	233
8.2.3.1	Linz – Österreich.....	233
8.2.3.2	Lambertsmühle .....	233
8.2.4	Urintrennung 3-Stoffstromsystem .....	233
8.2.4.1	Berlin – Stahnsdorf .....	233
8.2.4.2	Berching – Hans Huber AG.....	234
8.2.5	Fäkalien 2-Stoffstromsystem (Trockentoiletten).....	234
8.2.5.1	Öko-Siedlung Allermöhe, Hamburg .....	234
8.2.5.2	Asahiyama Zoo, Asahikawa City, Japan.....	235
8.2.6	Urintrennung 3-Stoffstromsystem (Trockentoiletten) .....	235
8.2.6.1	Gemeinschaftswohnprojekt Gebers, Orhem, Schweden .....	235
8.2.6.2	Eco-town, Dongsheng, Innere Mongolei, China.....	235
8.3	Übergreifende Zusammenfassung der Bewertung .....	236
8.3.1	Bewertung der betrachteten Systeme.....	236
8.3.2	Übergreifende Bewertung der Kriterien hinsichtlich der Zielsetzungen von Sanitärsystemen.....	239
8.3.2.1	Systemübergreifende Bewertung hinsichtlich Umwelt- und Ressourcenschutz.....	241
8.3.2.2	Systemübergreifende Bewertung hinsichtlich Hygiene und Gesundheit.....	242
8.3.2.3	Systemübergreifende Bewertung hinsichtlich der ökonomischen Ziele .....	243
8.3.2.4	Systemübergreifende Bewertung hinsichtlich der sozialen Ziele .....	244
8.3.2.5	Systemübergreifende Bewertung hinsichtlich der technischen Ziele .....	245
<b>8.A</b>	<b>Bewertungsbeispiel</b> .....	<b>247</b>
<b>9</b>	<b>Systemintegration: Rahmenbedingungen und Fallbeispiele</b> .....	<b>258</b>
9.1	Rahmenbedingungen und deren Veränderung im Überblick .....	258
9.1.1	Klimawandel.....	258
9.1.2	Verknappung wesentlicher natürlicher Ressourcen .....	259
9.1.3	Demografischer Wandel und Siedlungsentwicklung in Deutschland .....	260
9.1.4	Technischer Fortschritt.....	263

9.1.5	Wandel der Marktstrukturen.....	263
9.1.6	Zukünftige umweltpolitische Anforderungen .....	265
9.2	Wechselwirkungen mit der bestehenden Infrastruktur .....	266
9.2.1	Wasserversorgung .....	266
9.2.2	Abwasserentsorgung .....	266
9.2.3	Energie .....	269
9.2.4	Abfallentsorgung .....	269
9.3	Analyse der gesetzlichen Rahmenbedingungen .....	270
9.3.1	Einführung.....	270
9.3.2	Anwendbarkeit von Abwasserrecht/Abfallrecht.....	270
9.3.2.1	Einstufung eines Materials als Abfall, Produkt oder Nebenerzeugnis.....	271
9.3.2.2	Einstufung eines Materials als Produkt Düngemittel.....	272
9.3.2.3	Vorrang der Verwertung vor der Beseitigung.....	273
9.3.2.4	Beseitigung durch öffentliche Aufgabenträger .....	273
9.3.3	Auswirkungen des neuen Umweltgesetzbuches auf NASS.....	273
9.3.4	Rechtliche Rahmenbedingungen für Brauch- und Pflegewasser.....	274
9.3.5	Möglichkeiten der Stadtplanung zur Implementierung von NASS .....	274
9.3.5.1	Die Rolle des Städtebaurechts in der stadttechnischen Erschließung.....	275
9.3.5.2	Instrumente des Städtebaurechts .....	275
9.3.5.3	Ergänzende Normen auf Landes- und Kommunalebene.....	276
9.3.5.4	Planungspraxis – Status Quo und Möglichkeiten.....	278
9.3.5.5	Möglichkeiten weitergehender gesetzlicher Förderung von NASS .....	278
9.4	Fallbeispiele für NASS .....	278
9.4.1	Fallbeispiel 1 – Schrumpfende Mittelstadt .....	279
9.4.2	Fallbeispiel 2 – Wachsende Großstadt .....	280
9.4.3	Fallbeispiel 3 – Ländliche Kommune .....	280
9.4.4	Fallbeispiel 4 – Neubaugebiet 1.....	281
9.4.5	Fallbeispiel 5 – Neubaugebiet 2.....	281
9.4.6	Fallbeispiel 6 – Berg- und Ausflugsregion mit starken Belastungsvariationen.....	282
9.4.7	Fallbeispiel 7 – Entkernung großer Wohnblöcke .....	282
<b>10</b>	<b>Konsequenzen und Empfehlungen .....</b>	<b>283</b>
10.1	Berücksichtigung von NASS bei der Erarbeitung/Fortschreibung des technischen Regelwerks der DWA.....	283
10.1.1	Einleitung .....	283
10.1.2	Technische Regeln der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA) .....	283
10.1.3	Analyse des technischen Regelwerks .....	286
10.1.4	Einbeziehung von NASS in das technische Regelwerk der DWA .....	286
10.2	Forschungs- und Entwicklungsbedarf .....	290
10.3	Aus- und Weiterbildungsbedarf.....	292
10.4	Hemmnisse und Chancen für die Implementierung von NASS .....	292
<b>11</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>295</b>
<b>Literatur</b>	<b>.....</b>	<b>310</b>
	Weitere verwendete Literatur (Kennzahlen Abschnitt 3).....	322
	Weiterführende Literatur (Abschnitt 7) .....	326

## Bilderverzeichnis

Bild 3.1:	Einwohnerspezifische Frachten in den verschiedenen Teilströmen $[g/(E \cdot d)]$ .....	30
Bild 4.1:	Systemdarstellung für 1-Stoffstromsysteme .....	39
Bild 4.2:	Systemdarstellung für Schwarzwasser 2-Stoffstromsysteme .....	40
Bild 4.3:	Systemdarstellung für Urintrennung 2-Stoffstromsysteme.....	41
Bild 4.4:	Systemdarstellung für Urintrennung 3-Stoffstromsysteme.....	42
Bild 4.5:	Systemdarstellung für Fäkalien 2-Stoffstromsysteme .....	43
Bild 4.6:	Systemdarstellung für Urintrennung 3-Stoffstromsysteme (Trockentoiletten).....	44
Bild 5.1.1:	Konventionelle Sitztoilette mit externen Vorrichtungen für trockene und nasse Analhygiene .....	47
Bild 5.1.2:	Konventionelle Sitztoilette – Flachspüler .....	49
Bild 5.1.3:	Wassersparende Sitztoilette mit senkrechtem Anschluss Zeichnung angelehnt an Modell Gustavsberg Miniflush .....	49
Bild 5.1.4:	Hocktoilette .....	50
Bild 5.1.5:	Vakuumsitztoilette, Modell Roediger .....	51
Bild 5.1.6:	Vakuumsitztoilette, Modell EVAC 900 squatting toilet .....	52
Bild 5.1.7:	Komposttoilette mit mechanischer Zugabe von Hilfsstoffen und integriertem Container, Modell Biolan Naturum .....	53
Bild 5.1.8:	Toilette mit getrenntem Container, Modell Biolan Naturum .....	54
Bild 5.1.9:	Japanische Komposttoilette mit mechanischer Umwälzung des Komposts, Modell Biolux.....	54
Bild 5.1.10:	Schwedische urinseparierende Spültoilette von Wost-Man Ecology Modell WM-DS .....	56
Bild 5.1.11:	Deutsche urinseparierende Trenntoilette mit mechanischer Öffnung für die Urinableitung von Roediger Modell Roediger NoMix .....	57
Bild 5.1.12:	Funktionsweise der Roediger NoMix-Toilette .....	58
Bild 5.1.13:	Chinesische Schwerkrafttrenntoiletten mit separater Wasserspülung für Urin als Sitztoilette und Hocktoilette ausgeführt .....	59
Bild 5.1.14:	Schwedische Urin separierende Spültoilette von BB Innovation & Co. AB, Modell Dubletten .....	60
Bild 5.1.15:	Schwedische Trenntoilette ES-Classic von Wost Man Ecology AB mit Fallrohr zum Fäzes-Sammelbehälter .....	61
Bild 5.1.16:	Schwedische Vakuumsitztoilette Clearvac duo von Wost-Man Ecology .....	62
Bild 5.1.17:	Als Vakuumsitztoilette umgebauter Prototyp des Roediger NoMix WC .....	63
Bild 5.1.18:	Chinesische Vakuumsitztoilette mit getrennter Spülung für Urin und Fäzes von EnviroSystems .....	65
Bild 5.1.19:	Indische Hock-Trockentrenntoilette mit Becken für Analwäsche von Shital Ceramics ....	66
Bild 5.1.20:	Wassergespültes Herrenurinal von Duravit, Modell Duraplus.....	68
Bild 5.1.21:	Frauenurinal von GBH aus Malaysia .....	68
Bild 5.1.22:	Vakuumsitztoilette von VacuSaTec, Modell VU 1000 E GA .....	70
Bild 5.1.23:	Funktionsprinzip des Geruchsverschlusses für wasserlose Urinale mit Sperrflüssigkeit.....	71
Bild 5.1.24:	Mechanischer Geruchsverschluss für wasserlose Urinale mit Membran.....	72
Bild 5.1.25:	Geruchsverschluss mit hydrostatischem Auftriebskörper für wasserlose Urinale.....	72
Bild 5.1.26:	Wasserloses Urinal Centaurus mit Membranverschluss von Keramag .....	73
Bild 5.1.27:	Wasserloses Urinal mit Auftriebskörper von Urimat, Modell Urimat .....	73

Bild 5.2.1:	System IV mit getrennten Fallleitungen für Schwarzwasser sowie Schmutzwasser aus anderen Entwässerungsgegenständen (Grauwasser).....	82
Bild 5.2.2:	Unterdruckentwässerung innerhalb von Gebäuden.....	86
Bild 5.2.3:	Druckrohrleitungssystem im Gebäude.....	87
Bild 5.2.4:	Schwerkraftentwässerung im Gebäude mit Abwasserhebeanlage.....	88
Bild 5.2.5:	Kompostkammer innerhalb von Gebäuden mit Ableitung über Falleitung.....	89
Bild 5.2.6:	Schwerkraftentwässerung außerhalb von Gebäuden.....	90
Bild 5.2.7:	Unterdruckentwässerung außerhalb von Gebäuden.....	92
Bild 5.2.8:	Druckentwässerung außerhalb von Gebäuden.....	94
Bild 5.2.9:	Transportierfähiges Sammelsystem für feste Phase der Fäkalien mit Ableitung des Urins.....	94
Bild 6.1:	Schematische Darstellung der Strömungsverhältnisse in einem Hydrozyklon.....	108
Bild 6.2:	Filtersackanlage in Betrieb.....	112
Bild 6.3:	Entnahme des befüllten Filtersackes.....	112
Bild 6.4:	Siebschnecke.....	114
Bild 6.5:	Schematische Darstellung der Funktionsweise eines Bogensiebs.....	115
Bild 6.6:	Fließbild der Anaerobanlage bei der Hans Huber AG.....	122
Bild 6.7:	Inkrustiertes Ventil im Urinablauf einer Schwerkrafttrenntoilette im Wohngebäude.....	132
Bild 6.8:	Linke Figur: Anteil Ammoniak im hydrolysierten Gelbwasser. Rechte Figur: Gleichgewichtskonzentration von Ammoniak in der Gasphase für 6 verschiedene Konzentrationen ( $\text{NH}_3+\text{NH}_4^+$ ) im Gelbwasser.....	133
Bild 6.9:	Scheinbares Löslichkeitsprodukt. Die Berechnungen wurden mit PhreeQC V. 2.8.0.0 durchgeführt.....	145
Bild 6.10:	Schematische Darstellung bepflanztter Bodenfilter.....	169
Bild 6.11:	Schematische Darstellung Belebungsverfahren.....	170
Bild 6.12:	System des Belebungsverfahrens (SBR) der Firma Pontos® GmbH zur Grauwasseraufbereitung.....	171
Bild 6.13:	Schematische Darstellung Rotationstauchkörper.....	173
Bild 6.14:	Membranbelebungsanlagen zur Grauwasseraufbereitung der Fa. Hans Huber AG und der Fa. GEP Umwelttechnik.....	176
Bild 6.15:	Aufbereitungsanlage Umkehrosiose der Fa. KIT WASSERTECHNIK.....	178
Bild 7.1:	Korn- bzw. Samenerträge von Winterroggen und Winterraps im Freiland nach Düngung mit Urin relativ zur Düngung mit Kalkammonsalpeter, Mittelwerte aus Applikationsmengen von 50, 100 und 150 kg ha <sup>-1</sup> Gesamt-N.....	198
Bild 7.2:	Roggenertrag nach Düngung mit Urin, Mineraldünger und Mineraldünger + Wasser; N-Gabe: 180 kg N/ha als Urin bzw. Kalkammonsalpeter, Wassermenge analog zu Urin-volumen.....	198
Bild 7.3:	Kumulierte NH <sub>3</sub> -Emissionen nach oberflächennaher bandförmiger Ausbringung von 60 kg NH <sub>4</sub> -N in Form von Urin, Urin-Gülle-Gemisch und Gülle.....	199
Bild 7.4:	Gemessene Pharmazeutikakonzentrationen im deutschen Urin.....	201
Bild 7.5:	Antibiotikamengen pro Hektar und Jahr unter optimaler Düngergabe von Schweine- und Rindergülle als auch menschlichem Urin.....	204
Bild 7.6:	Hormonmengen pro Hektar und Jahr unter optimaler Düngergabe von Schweine- und Rindergülle als auch menschlichem Urin.....	204
Bild 7.7:	Schwermetallmenge pro Hektar und Jahr unter optimaler Düngergabe von Schweine- und Rindergülle als auch menschlichem Urin.....	206
Bild 7.8:	Auslastung der jährlichen Schwermetallfrachten nach BSchVo in % unter optimaler Düngergabe von Schweine- und Rindergülle als auch menschlichem Urin.....	206

Bild 9.1:	Entwicklung der Phosphatdüngerpreise in den USA im Zeitraum von 1996 bis Anfang 2008 .....	260
Bild 9.2:	Kleinräumige Bevölkerungsentwicklung bis 2020 .....	261
Bild 9.3:	Auswirkungen der weitreichenden Integration Neuartiger Sanitärsysteme auf verschiedene Entlastungskenngrößen in Mischsystemen .....	268
Bild 10.1:	Bearbeitung von Arbeits- und Merkblättern innerhalb des DWA-Regelwerks .....	285

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.1:	Technische Begriffsdefinitionen – Stoffströme .....	23
Tabelle 2.2:	Technische Begriffsdefinitionen – Sanitärtechnik .....	24
Tabelle 2.3:	Technische Begriffsdefinitionen – Sonstige Begrifflichkeiten .....	25
Tabelle 2.4:	Verwendete Namen und Synonyme für Neuartige Sanitärsysteme (kein Anspruch auf Vollständigkeit) .....	26
Tabelle 3.1:	Einwohnerspezifische Frachten für Urin .....	29
Tabelle 3.2:	Einwohnerspezifische Frachten für Fäzes .....	29
Tabelle 3.3:	Einwohnerspezifische Frachten für Grauwasser gesamt .....	30
Tabelle 3.4:	Vergleich der vorgeschlagenen Kennzahlen mit anderen Quellen .....	32
Tabelle 3.A1:	Konzentrationsangaben für Urin .....	33
Tabelle 3.A2:	Einwohnerspezifische Frachten für Fäkalien .....	34
Tabelle 3.A3:	Konzentrationsangaben für Grauwasser .....	34
Tabelle 3.A4:	Einwohnerspezifische Frachten für Grauwasser .....	34
Tabelle 3.A5:	Konzentrationsangaben für Grauwasser .....	35
Tabelle 3.A6:	Einwohnerspezifische Frachten für Grauwasser aus der Küche .....	35
Tabelle 3.A7:	Konzentrationsangaben für Grauwasser aus der Küche .....	35
Tabelle 3.A8:	Schwermetallbelastungen der Teilströme .....	36
Tabelle 4.1:	Unterteilung von Abwasserinfrastruktursystemen in Systemgruppen .....	37
Tabelle 4.2:	Möglichkeiten des Verbleibs der Produkte aus den Systemdarstellungen .....	45
Tabelle 5.1.1:	Übersichtsmatrix zur Erfassung von Urin, Fäzes und Fäkalien .....	48
Tabelle 5.2.1:	Regelwerkübersicht Ableitung innerhalb von Gebäuden .....	77
Tabelle 5.2.2:	Regelwerkübersicht Ableitung außerhalb von Gebäuden .....	78
Tabelle 5.2.3:	Übersichtsmatrix zur Ableitung von Urin, Fäzes und Fäkalien mit/ohne Spülwasser ....	79
Tabelle 5.2.4:	Anschlusswerte (DU) nach DIN EN 12056 (Auswahl) .....	83
Tabelle 5.2.5:	Effektive Anschlusswerte (DU) und Nennweiten für Anschlussleitungen .....	84
Tabelle 5.2.6:	Ableitungssysteme für unterschiedliche Grauwasserteilströme und Versorgungssysteme für Brauchwasser .....	99
Tabelle 6.1:	Gelbwasser/Urin-Behandlungsmatrix .....	103
Tabelle 6.2:	Übersichtsmatrix zu Trenn- und Aufkonzentrierungsverfahren für Schwarz- und Braunwasser .....	104
Tabelle 6.3:	Übersichtsmatrix für Behandlungsverfahren der feststoffreichen Phase des Schwarz- und Braunwassers .....	105
Tabelle 6.4:	Übersichtsmatrix für Behandlungsverfahren der feststoffarmen Phase des Schwarz- und Braunwassers .....	105
Tabelle 6.5:	Übersicht der druckbetriebenen flüssig/flüssig-trennenden Membranverfahren .....	126
Tabelle 6.6:	Internationale und nationale Gegenüberstellung anfallender Grauwassermengen im häuslichen Bereich nach KEYSERS 2007 .....	157



Tabelle 6.7:	Chemisch-physikalische Beschaffenheit des Grauwassers.....	158
Tabelle 6.8:	Konzentrationen von Nährstoffen im Grauwasser .....	159
Tabelle 6.9:	Mikrobiologische Beschaffenheit von Grauwasser .....	160
Tabelle 6.10:	Schwermetallkonzentration von Grauwasser.....	161
Tabelle 6.11:	Chemisch-physikalische Beschaffenheit von schwach belastetem Regenwasser .....	163
Tabelle 6.12:	Übersicht an Schwermetallkonzentrationen von schwach belastetem Regenwasser ...	164
Tabelle 6.13:	Übersichtsmatrix über die Verfahren und erreichbaren Behandlungsziele zur Aufbereitung von schwach belastetem Grauwasser.....	166
Tabelle 6.14:	Übersichtsmatrix über die Verfahren und erreichbaren Behandlungsziele zur Aufbereitung von stark belastetem Grauwasser .....	167
Tabelle 6.15:	Erzielte Betriebswasserqualität Ablauf Bodenfilters und ein Vergleich mit Grenzwerten von Qualitätsanforderungen .....	169
Tabelle 6.16:	Erzielte Betriebswasserqualität mit einem Aqua-Cycle und ein Vergleich mit Grenzwerten von Qualitätsanforderungen .....	172
Tabelle 6.17:	Erzielte Betriebswasserqualität des Rotationstauchkörpers im Arabella-Sheraton Hotel und ein Vergleich mit Grenzwerten von Qualitätsanforderungen .....	174
Tabelle 6.18:	Beispiele für Anlagenhersteller und Leistungsdaten von Grauwasseraufbereitungsanlagen mit Membrantechnik.....	175
Tabelle 6.19:	Erzielte Betriebswasserqualität mit einem Membranbioreaktor Gegenüberstellung mit Grenzwerten von Qualitätsanforderungen .....	177
Tabelle 6.20:	Verfahren zur Aufbereitung und Qualitätsanforderung an aufbereitetes Grauwasser zur Versickerung: Vor- und Nachteile.....	180
Tabelle 6.21:	Verfahren zur Aufbereitung und Qualitätsanforderung an aufbereitetes Grauwasser zur Bewässerung: Vor- und Nachteile .....	181
Tabelle 6.22:	Verfahren zur Aufbereitung und Qualitätsanforderung an aufbereitetes Grauwasser zur Toilettenspülung: Vor- und Nachteile .....	181
Tabelle 6.23:	Verfahren zur Aufbereitung und Qualitätsanforderung an aufbereitetes Grauwasser zur Nutzung in Waschmaschinen (privater Bereich): Vor- und Nachteile .....	182
Tabelle 6.A1:	Qualitätsanforderungen für Toilettenspülung.....	183
Tabelle 6.A2:	Qualitätsanforderungen für eine uneingeschränkte Verwendung als Bewässerungswasser .....	185
Tabelle 6.A3:	Qualitätsanforderungen für eine eingeschränkte Verwendung als Bewässerungswasser .....	186
Tabelle 6.A4:	Gegenüberstellung verschiedener Qualitätsanforderungen für Trinkwasser und Badegewässer .....	188
Tabelle 6.A5:	Hygienebezogene Qualitätsanforderungen für Badegewässer gemäß Badegewässerrichtlinie.....	189
Tabelle 6.A6:	Auszug aus der Abwasserverordnung Anhang 1 zur Einleitung von Abwasser in Gewässer .....	189
Tabelle 6.A7:	Mikrobiologische Qualitätsanforderungen an Oberflächengewässer zur Trinkwassergewinnung gemäß EG Richtlinie RL 75/440/EWG .....	190
Tabelle 7.1:	Nährstoffanfall in Deutschland in Urin und eingesetzter Mineraldünger im Jahr 2006 .....	191
Tabelle 7.2:	NASS-Produkte, Konzentration von Nährstoffen sowie Realisation/Erfahrung zu den Produkten.....	195
Tabelle 7.3:	Erwartete Nährstoff-Ausnutzung bei Düngern aus NASS im Vergleich zu Mineraldüngern.....	197
Tabelle 7.4:	Mittelwerte der Schwermetallkonzentrationen in Urin (mg/L) nach Abschnitt 3.....	202
Tabelle 7.5:	Mittlere Nährstoffgehalte in Schweine- und Rindergülle sowie Urin .....	203

Tabelle 7.6:	Berechnete Konzentrationen von Pharmazeutika, die bereits in Urin gefunden wurden. ....	205
Tabelle 7.7:	Empfehlungen zur Verwertung von Urin .....	207
Tabelle 7.A1:	Gemessene Pharmakakonzentrationen in deutschem Urin als auch aus dem näheren europäischen Ausland .....	208
Tabelle 8.1:	Kriterienliste zur Bewertung von Sanitärsystemen, geordnet nach übergreifenden Zielsetzungen .....	213
Tabelle 8.2:	Befragungsergebnisse zur Bedeutung der Kriterien heute und in 20 Jahren .....	215
Tabelle 8.3:	Befragungsergebnisse zum Einfluss der Kriterien heute und in 20 Jahren .....	240
Tabelle 8.A1:	Bewertungsbeispiel, Teil 1 .....	247
Tabelle 8.A2:	Bewertungsbeispiel, Teil 2 .....	248
Tabelle 8.A3:	Bewertungsbeispiel, Teil 3 .....	249
Tabelle 8.A4:	Bewertungsbeispiel, Teil 4 .....	250
Tabelle 8.A5:	Bewertungsbeispiel, Teil 5 .....	251
Tabelle 8.A6:	Bewertungsbeispiel, Teil 6 .....	252
Tabelle 8.A7:	Fußnoten-System Nr. 1: Schmutzwasser 1-Stoffstromsystem .....	253
Tabelle 8.A8:	Fußnoten-System Nr. 2: Schwarzwasser 2-Stoffstromsystem.....	253
Tabelle 8.A9:	Fußnoten-System Nr. 3: Urintrennung 2-Stoffstromsystem .....	254
Tabelle 8.A10:	Fußnoten-System Nr. 4: Urintrennung 3-Stoffstromsystem .....	255
Tabelle 8.A11:	Fußnoten-System Nr. 5: Fäkalien 2-Stoffstromsystem (Trockentoiletten) .....	256
Tabelle 8.A12:	Fußnoten-System Nr. 6: Urintrennung 3-Stoffstromsystem (Trockentoiletten) .....	257
Tabelle 9.1:	Instrumente des Städtebaurechts .....	275
Tabelle 10.1:	Als „strategisch bedeutsam“ für NASS erachtete Arbeits- und Merkblätter des DWA-Regelwerks.....	286
Tabelle 10.2:	Eignung der einzelnen Regelwerkskomponente zur Berücksichtigung von NASS.....	287
Tabelle 10.3:	Aktualitätsprüfung der als „strategisch bedeutsam“ für NASS erachteten Arbeits- und Merkblätter des DWA-Regelwerks.....	288
Tabelle 10.4:	Als „technisch bedeutsam“ für NASS erachtete Arbeits- und Merkblätter des DWA-Regelwerks.....	289
Tabelle 11.1:	Vom FA KA-1 vorgeschlagene Kennzahlen.....	296
Tabelle 11.2:	Übersichtsmatrix zur Gelb-, Braun- und Schwarzwasserableitung .....	298
Tabelle 11.3:	Übersichtsmatrix zur Grauwasserableitung .....	299
Tabelle 11.4:	Behandlung von Urin/Gelbwasser .....	300
Tabelle 11.5:	Behandlung von Schwarz- und Braunwasser .....	302
Tabelle 11.6:	Behandlung von schwach belastetem Grauwasser .....	303
Tabelle 11.7:	Behandlung von stark belastetem Grauwasser .....	305
Tabelle 11.8:	Erwartete Nährstoff-Ausnutzung bei Düngern aus NASS im Vergleich zu Mineraldüngern .....	307

## 1 Einführung

### 1.1 Veranlassung

Demografische Entwicklung, Klimawandel, steigende Rohstoffpreise (z. B. Benzin), Wassermangel und Hunger in vielen Teilen der Welt sind aktuelle Themen, die auch die Siedlungswasserwirtschaftler in Deutschland beschäftigen. Die Diskussion dieser Themen wird mit der Frage verbunden, ob unsere Lösung der Siedlungsentwässerung mit zentralen Entwässerungssystemen auf Grundlage der Schwemmkanalisation und gemeinsamer zentraler Behandlung des häuslichen Schmutzwassers, des gewerblich-industriellen Abwassers und des Niederschlagswassers vor Einleitung in Gewässer ausreichend zufriedenstellende Antworten geben kann. Dies wird zunehmend bezweifelt, weil in Deutschland zwar die ursprünglichen Anliegen Hygiene und Wasserabfluss weitgehend gelöst sind, allerdings mit einem wenig flexiblen System mit hoher Kapitalbindung. Ferner werden diese Systeme mit Fragestellungen (Arzneimittelrückstände, Mikroverunreinigung etc.) konfrontiert, deren Lösung heute noch nicht in Sicht ist.

Aber gerade die menschliche Anpassungsfähigkeit hat das Überleben und die stete Weiterentwicklung der Menschen erst möglich gemacht. Wir leben in einer sich ständig verändernden Welt. Die Veränderungen und ihr Ausmaß lassen sich nur unzureichend vorhersehen, ihre Tendenzen wie beim Klimawandel und der demografischen Entwicklung schon.

Gerade die Ingenieurinnen und Ingenieure sind gefragt Lösungen für die Anpassung bereitzustellen. Hier setzen die neuen Überlegungen derjenigen an, die sich mit dem Paradigmenwechsel hin zu Ressourcen orientierten Systemen in der Siedlungswasserwirtschaft befassen.

Erste Gedanken hierzu wurden in den 90er Jahren des letzten Jahrhunderts primär aus universitärer Sicht publiziert und einige Pilotprojekte realisiert. Die DWA (damals noch ATV-DVWK) hat zum Thema alternative Sanitärkonzepte im Jahre 2002 einen Arbeitsbericht der Arbeitsgruppe GB-5.1 „Nachhaltige Siedlungswasserwirtschaft“ erarbeitet, in dem erste Überlegungen zum Thema dargelegt wurden. Das Thema wurde in der Vereinigung kontrovers und bisweilen auch emotional diskutiert. Um die Diskussionen auf eine solide Basis zu stellen wurde 2004 beschlossen, einen neuen Fachausschuss KA-1 „Neuartige Sanitärsysteme“ als gemeinsamen Ausschuss der Hauptausschüsse „Abwasserbehandlung“ (KA) und „Entwässerungssysteme“ (ES) zu gründen. Der Aufruf zur Mitarbeit in diesem Fachausschuss traf auf großes Interesse, so dass die Arbeit mit sechs Arbeitsgruppen und insgesamt mehr als 60 aktiven ehrenamtlichen Mitgliedern 2005 zügig und engagiert aufgenommen werden konnte.

Im Rahmen der Erarbeitung dieses Berichtes wurden neben den Mitgliedern des Fachausschusses auch die Mitglieder der Hauptausschüsse ES und KA der DWA in eine Befragung zur Bedeutung von 35 Bewertungskriterien für Sanitärsysteme einbezogen. Hierbei wurde nach der aktuellen und der zukünftigen (in 20 Jahren) Bedeutung gefragt. Übereinstimmend kommen die Fachleute der befragten Gremien zu der Einschätzung, dass die Einführung neuartiger Sanitärkonzepte wesentlich an die Akzeptanz der Nutzer gebunden ist. Kriterien wie Endnutzerkomfort, Prozessstabilität, Kosten, Trinkwasserbelastung und Hygiene stehen heute wie zukünftig oben auf der Prioritätenliste. Ressourcen orientierte Aspekte werden demgegenüber heute als noch nicht so relevant (Rang 30) wie zukünftig (Rang 3) eingestuft. Dass der Umgang mit Spurenschadstoffen, die Nahrungsmittelbelastung und das Umweltbewusstsein in der Prognose eine zunehmende Bedeutung erlangen werden, ist eine Motivation dafür, sich mit den hier vorgestellten neuen Sanitärsystemen (NASS) konstruktiv auseinanderzusetzen.

Die Ergebnisse der vierjährigen Arbeit liegen nun mit diesem Themenband vor. Ziel dieses Fachbuches ist es, die Überlegungen und Erfahrungen zu neuartigen Sanitärsystemen systematisch darzustellen, Hilfestellungen für die Bewertung und Auswahl von Systemen und deren Integration in bestehende Systeme zu geben und Forschungs- und Entwicklungsbedarf aufzuzeigen. Der Fokus dieser Veröffentlichung liegt auf der Anwendung der Systeme in Europa, legt aber zudem die Grundlagen für eine Übertragung auf andere Teile der Welt.

Den Mitgliedern des Fachausschusses und der Arbeitsgruppen ist es ein wichtiges Anliegen, dass das Wissen zu diesem aktuellen Thema schnell und umfänglich in die Siedlungswasserwirtschaft in Deutschland Einzug hält. Die an der Erarbeitung beteiligten Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen der Universitäten und Hochschulen werden daher die Inhalte des Fachbuches gemeinsam mit der DWA in der Ausbildung einsetzen.