

# Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort</b> .....	1
<b>1 Einführung</b> .....	1
<b>2 Neuartige Sanitärsysteme: Begriffe</b> .....	5
2.1 Einleitung .....	5
2.2 Ein kurzer Blick zurück .....	5
2.3 Begriffsbestimmungen .....	7
2.3.1 Technische Begriffsdefinitionen .....	7
2.3.2 Sonstige Begriffe für NASS .....	9
<b>3 Inhaltsstoffe des häuslichen Abwassers und seiner Teilströme</b> .....	11
3.1 Einleitung .....	11
3.2 Vorgehensweise zur Erstellung der Kennzahlen .....	12
3.2.1 Datensammlung .....	12
3.2.2 Schwierigkeiten bei der Auswertung .....	12
3.3 Ergebnisse .....	12
3.4 Diskussion der Ergebnisse .....	14
3.4.1 Abweichungen über Raum und Zeit .....	15
3.4.2 Abweichungen innerhalb der Datensammlung .....	15
3.4.3 Abweichungen zu anderen Quellen .....	15
3.5 Schlussfolgerungen .....	16
<b>3.A Weitere Ergebnisse zu Konzentrationen und Frachten von Teilströmen</b> .....	17
<b>4 Übersicht zu Neuartigen Sanitärsystemen</b> .....	21
4.1 Erläuterungen zu den Systemdarstellungen .....	21
4.2 Stoffstromsysteme .....	22
4.2.1 1-Stoffstromsystem .....	22
4.2.1.1 Konventionelles Verfahren mit N- und P-Elimination als „Referenzsystem“ .....	23
4.2.1.2 Verfahren mit nachgeschalteter Nährstoff- und Wasser-Rückgewinnung/ Wiederverwertung .....	23
4.2.2 2-Stoffstromsystem .....	23
4.2.3 2-Stoffstromsystem (Trenntoilette) .....	24
4.2.4 3-Stoffstromsystem (Trenntoilette) .....	25
4.2.5 2-Stoffstromsystem (Trockentoilette) .....	26
4.2.6 3-Stoffstromsystem (Trockentrenntoilette) .....	27
4.3 Produkte der Stoffstromsysteme und deren Verbleib .....	28
<b>5 Erfassung und Transport von Stoffströmen aus Neuartigen Sanitärsystemen</b> .....	29
5.1 Erfassung .....	29
5.1.1 Allgemeines .....	29
5.1.2 Einführung zur Erfassung von Urin, Fäzes und Fäkalien .....	29
5.1.3 Erfassung - Toiletten ohne Trennung .....	30
5.1.3.1 Spültoiletten - konventionell/Wasser sparend .....	30
5.1.3.2 Vakuumtoiletten .....	32
5.1.3.3 Trockentoiletten .....	34
5.1.4 Erfassung - Trenntoiletten .....	35
5.1.4.1 Spültrenntoiletten .....	35
5.1.4.2 Spültrenntoiletten - Urinableitung ohne Spülwasser .....	36
5.1.4.3 Spültrenntoiletten mit einer separaten Wasserspülung für Urin .....	37
5.1.4.4 Spültrenntoiletten - Fäzesableitung ohne Spülung .....	38
5.1.4.5 Vakuumtrenntoiletten .....	39
5.1.4.6 Vakuumtrenntoiletten - Urinableitung ohne Wasser .....	39
5.1.4.7 Vakuumtrenntoiletten mit einer separaten Wasserspülung für Urin .....	40
5.1.4.8 Trockentrenntoiletten .....	41

---

5.1.5	Erfassung - Urinale . . . . .	42
5.1.5.1	Urinale - konventionell/Wasser sparend . . . . .	42
5.1.5.2	Vakuum-Urinal . . . . .	43
5.1.5.3	Wasserlose Urinale . . . . .	44
5.1.6	Erfassung von Bioabfällen . . . . .	46
5.1.7	Grauwassererfassung . . . . .	47
5.1.8	Regenwassererfassung . . . . .	47
5.2	Ableitung . . . . .	47
5.2.1	Allgemeines . . . . .	47
5.2.2	Übersichtsmatrix zur Ableitung von Urin, Fäzes und Fäkalien mit oder ohne Spülwasser . . . . .	49
5.2.3	Beschreibung der Ableitung innerhalb von Gebäuden . . . . .	51
5.2.3.1	Schwerkraftentwässerung innerhalb von Gebäuden . . . . .	51
5.2.3.2	Unterdruckentwässerung (Vakuumentwässerung) innerhalb von Gebäuden . . . . .	53
5.2.3.3	Druckentwässerung innerhalb von Gebäuden . . . . .	54
5.2.3.4	Trockene Sammelsysteme innerhalb von Gebäuden . . . . .	56
5.2.4	Beschreibung Ableitung außerhalb von Gebäuden . . . . .	56
5.2.4.1	Schwerkraftentwässerung außerhalb von Gebäuden . . . . .	56
5.2.4.2	Unterdruckentwässerung (Vakuumentwässerung) außerhalb von Gebäuden . . . . .	58
5.2.4.3	Druckentwässerung außerhalb von Gebäuden . . . . .	59
5.2.4.4	Trockene Sammelsysteme außerhalb von Gebäuden . . . . .	60
5.2.5	Besonderheiten bei der Ableitung von Schwarz-/Braunwasser . . . . .	60
5.2.6	Besonderheiten bei der Ableitung von Fäkalien/Fäzes . . . . .	61
5.2.7	Besonderheiten bei der Ableitung von Urin/Gelbwasser . . . . .	61
5.2.8	Besonderheiten bei der Ableitung des Gemisches von Grau- und Braunwasser . . . . .	63
5.2.9	Besonderheiten bei Ableitung bzw. Transport von Bioabfällen . . . . .	63
5.2.10	Ableitung von Grauwasser und Regenwasser . . . . .	63
<b>6</b>	<b>Behandlung von Teilströmen aus Neuartigen Sanitärsystemen . . . . .</b>	<b>65</b>
6.1	Einführung . . . . .	65
6.2	Übersicht zur Behandlung von Gelb-, Schwarz- und Braunwasser unter Berücksichtigung der unverdünnten Stoffströme . . . . .	65
6.2.1	Übersichtsmatrizen zur Behandlung von Gelb-, Schwarz- und Braunwasser . . . . .	65
6.2.2	Erläuterungen zu der Kurzbeschreibung (Schemata) . . . . .	70
6.3	Behandlung von Schwarz- und Braunwasser . . . . .	70
6.3.1	Trenn- und Aufkonzentrierungsverfahren . . . . .	70
6.3.1.1	Allgemeines . . . . .	70
6.3.1.2	Sedimentation . . . . .	70
6.3.1.3	Zentrifugation – Hydrozyklon . . . . .	71
6.3.1.4	Flotation . . . . .	73
6.3.1.5	Filtration - Grobfilter . . . . .	74
6.3.1.6	Siebung - Siebschnecke . . . . .	75
6.3.1.7	Siebung – Bogensieb . . . . .	76
6.3.2	Behandlungsverfahren für die feststoffreiche Phase des Schwarz- und Braunwassers . . . . .	77
6.3.2.1	Allgemeines . . . . .	77
6.3.2.2	Kompostierung . . . . .	78
6.3.2.3	Anaerobe Behandlung – Biogasanlage . . . . .	80
6.3.2.4	Trocknung (für Fäzes) . . . . .	82
6.3.2.5	Kalkung (für Fäzes) . . . . .	83
6.3.3	Behandlungsverfahren für die feststoffarme Phase des Schwarz- und Braunwassers . . . . .	83
6.3.3.1	Allgemeines . . . . .	83
6.3.3.2	Membran-Filtration . . . . .	84
6.3.3.3	Fällung . . . . .	85
6.3.3.4	Aerob - Pflanzenkläranlage . . . . .	86
6.4	Behandlung von Gelbwasser . . . . .	86
6.4.1	Chemische Eigenschaften von Urin und Gelbwasser . . . . .	86
6.4.1.1	Einführung . . . . .	86
6.4.1.2	Hydrolyse . . . . .	87
6.4.1.3	Salzgehalt, Ionenstärke . . . . .	87
6.4.1.4	Ausfällungen . . . . .	87
6.4.1.5	Ammoniakausgasung – Arbeitssicherheit . . . . .	88
6.4.1.6	Literatur . . . . .	89

6.4.2	Übersicht zu Behandlungsverfahren für Gelbwasser . . . . .	89
6.4.3	Lagerung . . . . .	90
6.4.4	Ansäuerung . . . . .	91
6.4.5	Hygienisierung . . . . .	92
6.4.6	Eindampfung . . . . .	92
6.4.7	Ausfrieren . . . . .	94
6.4.8	Nanofiltration . . . . .	94
6.4.9	Umkehrosmose . . . . .	95
6.4.10	Elektrodialyse . . . . .	96
6.4.11	Struvit Ausfällung . . . . .	97
6.4.12	Ca-/Fe-/Al-Fällung . . . . .	98
6.4.13	Ammoniak-Strippung . . . . .	99
6.4.14	Ionentauscher . . . . .	100
6.4.15	Aktivkohle . . . . .	101
6.4.16	Nitrifikation . . . . .	102
6.4.17	Anammox (Anaerobe Ammonium-Oxidation) . . . . .	103
6.4.18	Biologische Nährstoffelimination . . . . .	104
6.4.19	Ozonierung, AOP-Verfahren . . . . .	105
6.4.20	IBDU Ausfällung . . . . .	106
6.5	Behandlung des Gemisches aus Grau- und Brauwasser . . . . .	106
6.6	Behandlung von Bioabfällen . . . . .	106
6.7	Behandlung von Grau- und Regenwasser . . . . .	106
6.7.1	Eigenschaften von Grau- und Regenwasser . . . . .	106
6.7.1.1	Grauwasseranfall . . . . .	106
6.7.1.2	Regenwasseranfall . . . . .	107
6.7.1.3	Grauwasserbeschaffenheit . . . . .	107
6.7.1.4	Regenwasserbeschaffenheit . . . . .	109
6.7.2	Behandlungsverfahren für Grauwasser und Regenwasser . . . . .	111
6.7.2.1	Einführung . . . . .	111
6.7.2.2	Übersichtsmatrizen zur Behandlung von Grauwasser . . . . .	111
6.7.2.3	Bepflanzte Bodenfilter . . . . .	114
6.7.2.4	Belebungsverfahren . . . . .	115
6.7.2.5	Festbettverfahren . . . . .	117
6.7.2.6	Membranverfahren . . . . .	119
6.7.2.7	Umkehrosmose . . . . .	121
6.7.3	Vor- und Nachteile der verschiedenen Aufbereitungsverfahren in Abhängigkeit der jeweiligen Nutzung . . . . .	122
<b>6.A</b>	<b>Qualitätsanforderungen an Brauch- und Pflegewasser . . . . .</b>	124
6.A.1	Allgemeine rechtliche Anforderungen für die Toilettenspülung . . . . .	124
6.A.2	Allgemeine rechtliche Anforderungen für die Bewässerung . . . . .	126
6.A.3	Allgemeine rechtliche Anforderungen für eine Teilnutzung in Wasch- und Spülmaschinen . . . . .	127
6.A.4	Allgemeine rechtliche Anforderungen an die Einleitung/Versickerung von Grau- und Regenwasser . . . . .	129
<b>7</b>	<b>Stoffliche Nutzung von Produkten aus neuartigen Sanitärsystemen in der Landwirtschaft . . . . .</b>	131
7.1	Düngemittel . . . . .	131
7.1.1	Einführung . . . . .	131
7.1.2	Gesetzliche Definition . . . . .	131
7.1.3	Schlussfolgerung . . . . .	134
7.2	NASS-Produkte und deren Inhaltsstoffe . . . . .	134
7.3	Einordnung der Produkte aus neuartigen Sanitärsystemen als Düngemittel . . . . .	135
7.4	Fallbeispiel Urin . . . . .	136
7.4.1	Ertragswirkung . . . . .	136
7.4.2	Hygiene . . . . .	138
7.4.3	Schadstoffe . . . . .	139
7.4.4	Modell Stofffracht . . . . .	140
7.4.5	Empfehlung zur Urinverwertung . . . . .	145
7.5	Bewertung und Ausblick . . . . .	146
<b>7.A</b>	<b>Pharmakakonzentrationen im Urin . . . . .</b>	147
<b>8</b>	<b>Ansätze zur Bewertung neuartiger Sanitärsysteme . . . . .</b>	149
8.1	Grundsätze der Bewertung und Entscheidungsunterstützung . . . . .	149

---

8.1.1	Allgemeine Hinweise	149
8.1.2	Relevante Bewertungskriterien	149
8.1.3	Weitergehende Aspekte	151
8.2	Beschreibung und Relevanz der Bewertungskriterien	152
8.2.1	Zielsetzung „Umwelt- und Ressourcenschutz“	153
8.2.2	Zielsetzung „Umwelthygiene und hygienische Sicherheit“	156
8.2.3	Ökonomische Ziele	158
8.2.4	Soziale Ziele	160
8.2.5	Technische Ziele	161
8.3	Bewertung von NASS durch Betrachtung deutschlandweiter Projekte	163
8.4	Übergreifende Zusammenfassung der Bewertung	168
8.4.1	Bewertung der betrachteten Systeme	168
8.4.2	Übergreifende Bewertung der Kriterien hinsichtlich der Zielsetzungen von Sanitärsystemen	170
8.4.2.1	Systemübergreifende Bewertung hinsichtlich Umwelt- und Ressourcenschutz	172
8.4.2.2	Systemübergreifende Bewertung hinsichtlich Hygiene und Gesundheit	172
8.4.2.3	Systemübergreifende Bewertung hinsichtlich der ökonomischen Ziele	173
8.4.2.4	Systemübergreifende Bewertung hinsichtlich der sozialen Ziele	175
8.4.2.5	Systemübergreifende Bewertung hinsichtlich der technischen Ziele	175
8.5	Beschreibung und Bewertung von Beispielprojekten	176
8.5.1	1-Stoffstromsystem	177
8.5.1.1	Das herkömmliche, konventionelle 1-Stoffstromsystem als „Referenzsystem“	177
8.5.1.2	Stoffstromsystem im Projekt Knittlingen („DEUS 21“-Konzept)	177
8.5.2	2-Stoffstromsystem	178
8.5.2.1	Lübeck-Flintenbreite	178
8.5.2.2	Kaiserslautern/Oberhausen (Projekt „KOMPLETT“)	178
8.5.3	2-Stoffstromsystem (Trenntoilette)	178
8.5.3.1	Linz – Österreich	178
8.5.3.2	Lambertsmühle	179
8.5.4	3-Stoffstromsystem (Trenntoilette)	179
8.5.4.1	Berlin-Stahnsdorf	179
8.5.4.2	Berching – Hans Huber AG	179
8.5.5	2-Stoffstromsystem (Trockentoilette)	179
8.5.5.1	Öko-Siedlung Allermöhe, Hamburg	179
8.5.5.2	Asahiyama Zoo, Asahikawa City, Japan	180
8.5.6	3-Stoffstromsystem (Trockentrenntoilette)	180
8.5.6.1	Gemeinschaftswohnprojekt Gebers, Orhem, Schweden	180
8.5.6.2	Eco-town, Dongsheng, Innere Mongolei, China	180
8.A	<b>Bewertungsbeispiel</b>	182
9	<b>Systemintegration: Rahmenbedingungen und Fallbeispiele</b>	187
9.1	Rahmenbedingungen und deren Veränderung im Überblick	187
9.1.1	Klimawandel	187
9.1.2	Verknappung wesentlicher natürlicher Ressourcen	187
9.1.3	Demografischer Wandel und Siedlungsentwicklung in Deutschland	188
9.1.4	Technischer Fortschritt	191
9.1.5	Wandel der Marktstrukturen	191
9.1.6	Zukünftige umweltpolitische Anforderungen	192
9.2	Wechselwirkungen mit der bestehenden Infrastruktur	193
9.2.1	Wasserversorgung	193
9.2.2	Abwasserentsorgung	193
9.2.3	Energie	196
9.2.4	Abfallentsorgung	196
9.3	Analyse der gesetzlichen Rahmenbedingungen	196
9.3.1	Einführung	196
9.3.2	Anwendbarkeit von Abwasserrecht/Abfallrecht	196
9.3.2.1	Einstufung eines Materials als Abfall, Produkt oder Nebenerzeugnis	197
9.3.2.2	Einstufung eines Materials als Produkt Düngemittel	197
9.3.2.3	Vorrang der Verwertung vor der Beseitigung	198
9.3.2.4	Beseitigung durch öffentliche Aufgabenträger	198
9.3.3	Rechtliche Rahmenbedingungen für Brauch- und Pflegewasser	198

---

9.3.4	Möglichkeiten der Stadtplanung zur Implementierung von NASS . . . . .	198
9.3.4.1	Die Rolle des Städtebaurechts in der stadttechnischen Erschließung . . . . .	199
9.3.4.2	Instrumente des Städtebaurechts . . . . .	199
9.3.4.3	Ergänzende Normen auf Landes- und Kommunalebene . . . . .	200
9.3.4.4	Planungspraxis – Status Quo und Möglichkeiten . . . . .	201
9.3.4.5	Möglichkeiten weitergehender gesetzlicher Förderung von NASS . . . . .	201
9.4	Fallbeispiele für NASS . . . . .	201
9.4.1	Fallbeispiel 1 – Schrumpfende Mittelstadt . . . . .	202
9.4.2	Fallbeispiel 2 – Wachsende Großstadt . . . . .	202
9.4.3	Fallbeispiel 3 – Ländliche Kommune . . . . .	203
9.4.4	Fallbeispiel 4 – Neubaugebiet 1 . . . . .	203
9.4.5	Fallbeispiel 5 – Neubaugebiet 2 . . . . .	203
9.4.6	Fallbeispiel 6 – Berg- und Ausflugsregion mit starken Belastungsvariationen . . . . .	204
9.4.7	Fallbeispiel 7 – Entkernung großer Wohnblöcke . . . . .	204
<b>10</b>	<b>Konsequenzen und Empfehlungen . . . . .</b>	<b>205</b>
10.1	Berücksichtigung von NASS bei der Erarbeitung/Fortschreibung des technischen Regelwerks der DWA . . . . .	205
10.1.1	Einleitung . . . . .	205
10.1.2	Technisches Regelwerk der DWA . . . . .	205
10.1.3	Analyse des technischen Regelwerks . . . . .	207
10.1.4	Einbeziehung von NASS in das technische Regelwerk der DWA . . . . .	207
10.2	Forschungs- und Entwicklungsbedarf . . . . .	209
10.3	Aus- und Weiterbildungsbedarf . . . . .	210
10.4	Hemmisse und Chancen für die Implementierung von NASS . . . . .	211
<b>11</b>	<b>Zusammenfassung . . . . .</b>	<b>213</b>
11.1	Einleitung . . . . .	213
11.2	Bemessungswerte . . . . .	213
11.3	Übersicht über Neuartige Sanitärsysteme . . . . .	214
11.4	Erfassung und Ableitung von Teilströmen . . . . .	214
11.5	Behandlung von Teilströmen . . . . .	216
11.6	Stoffliche Nutzung von Produkten aus Neuartigen Sanitärsystemen in der Landwirtschaft . . . . .	221
11.7	Systemübergreifende Bewertung . . . . .	222
11.8	Anwendungsbeispiele . . . . .	222
11.9	Implementierung . . . . .	222
	<b>Literaturverzeichnis . . . . .</b>	<b>225</b>
	<b>Stichwortverzeichnis . . . . .</b>	<b>247</b>