

Ressourcenbewirtschaftung im Siedlungsraum

- Rahmenbedingungen neuartiger Sanitärsysteme im urbanen
Umfeld

Von der Fakultät Raumplanung
der Technischen Universität Dortmund
zur Erlangung des akademischen Grades
des Doktors der Ingenieurwissenschaften
genehmigte Dissertation

vorgelegt von

Julia Sigglow

Gutachter: Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Tietz, Technische Universität Dortmund
Prof. Dr.-Ing. Manfred Voigt, Hochschule Magdeburg-Stendal

Prüferin: Prof.'in Dr.-Ing. Sabine Baumgart, Technische Universität Dortmund

Wissenschaftliche Aussprache: 24.02.2011

Magdeburger Wasserwirtschaftliche Hefte

Band 11 (2011)

Julia Sigglow

Ressourcenbewirtschaftung im Siedlungsraum

– Rahmenbedingungen neuartiger Sanitärsysteme
im urbanen Umfeld

D 290 (Diss. Technische Universität Dortmund)

Shaker Verlag
Aachen 2011

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Zugl.: Dortmund, Technische Univ., Diss., 2011

Impressum

Schriftenreihe des Instituts für Wasserwirtschaft und Ökotechnologie

Herausgeber der Schriftenreihe: Prof. Dr.-Ing. Bernd Ettmer
Prof. Dr. rer. nat. habil. Volker Lüderitz
Institut für Wasserwirtschaft
und Ökotechnologie
Hochschule Magdeburg-Stendal
Breitscheidstraße 51
39114 Magdeburg

Herausgeber des vorliegenden Bandes:
Prof. Dr.-Ing. Manfred Voigt
FG Stoffstrom- und Ressourcenmanagement
FB Wasser- und Kreislaufwirtschaft
Hochschule Magdeburg-Stendal
Breitscheidstraße 2
39114 Magdeburg

Copyright Shaker Verlag 2011

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-0113-6
ISSN 1861-3802

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen
Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9
Internet: www.shaker.de • E-Mail: info@shaker.de

Inhaltsverzeichnis

Bilderverzeichnis	V
Tabellenverzeichnis	IX
Abkürzungsverzeichnis	XI
0 Vorbemerkungen	5
I Einleitung	7
1 Ziel und Methodik	9
1.1 Zielsetzung der Arbeit	10
1.2 Methodisches Vorgehen und Aufbau der Arbeit	14
2 Stadtentwicklung und Abwasser	20
2.1 Nachhaltige Stadtentwicklung	23
2.2 Probleme der Abwasserentsorgung	32
2.2.1 Abwasserinfrastruktur	32
2.2.2 Stoffströme im urbanen Wasserhaushalt	35
2.2.3 Klärschlamm	43
2.2.4 Siedlungshygiene	52
2.2.5 Stadtentwicklung	52
2.2.6 Kosten	57
2.3 Stoffstromtrennung	60
2.4 Problemzusammenfassung	65
II Abwasserbewirtschaftung	73
3 Technologien dezentraler Entsorgung	75
3.1 Einzugsgebietsbetrachtung	78

3.2	Häusliches Schmutzwasser	79
3.3	Kleinkläranlagen	84
	3.3.1 Vorklärung	87
	3.3.2 Naturnahe Anlagen	88
	3.3.3 Technische Anlagen	94
	3.3.4 Keimreduzierung	101
	3.3.5 Zusammenfassender Vergleich	103
3.4	Neuartige Sanitärsysteme	106
	3.4.1 Grauwasserreinigung	109
	3.4.2 Gelbwassererfassung	111
	3.4.3 Schwarzwassererfassung	112
	3.4.4 Anaerobtechnik	115
3.5	Systemvarianten	117
	3.5.1 Schwarzwasser 2-Stoffstromsystem	119
	3.5.2 Urintrennung 3-Stoffstromsystem	123
3.6	Rechtlicher Rahmen der Abwassertechnik	125
	3.6.1 Dezentrale Abwasserentsorgung	126
	3.6.2 Neuartige Sanitärsysteme	130
4	Potenziale neuartiger Sanitärsysteme	135
4.1	Flexibilität	138
4.2	Kreislaufwirtschaft und Ressourceneinsparung	139
4.3	Energiegewinnung	140
4.4	Schadstoffrückhalt	147
4.5	Wirtschaftlichkeit	149
4.6	Gewässerschutz	152
4.7	Reduzierung der Keimbelastung	153

III Siedlungsstruktur 155

5	Stadtstruktur	157
5.1	Komponenten des Stadtgefüges	158
	5.1.1 Dichte	162
	5.1.2 Funktionsmischung	166
5.2	Modellvorstellungen zur Siedlungsstruktur	167
5.3	Siedlungsstrukturanalyse	184
	5.3.1 Klassifizierung von Wohnsiedlungstypen	187
	5.3.2 Freiraum	205
	5.3.3 Erschließungsaufwand	208

6	Pilotprojekte	211
6.1	Freiburg-Vauban	212
6.2	Lübeck - Flintenbreite	213
6.3	Knittlingen - Am Römerweg	219
6.4	Hamburg - Jenfeld	224
6.5	Fazit aus Pilotprojekten	226
7	Siedlungscluster	233
7.1	Einflussfaktoren Funktionsgröße	236
7.1.1	Standortunabhängige Faktoren	236
7.1.2	Standortabhängige Faktoren	237
7.2	Einflussfaktoren Einwohner	239
7.2.1	Ortsunabhängige Faktoren	239
7.2.2	Ortsabhängige Faktoren	240
7.3	Clusterbildung	241
7.4	Verfahren einer Clusterbildung	244
7.5	Stoffstrombewirtschaftung	247
7.5.1	Stoffströme	247
7.5.2	Konzeptionelle Grundlagen	250
7.5.3	Siedlungstypenspezifische Orientierungswerte	257
7.6	Fazit Siedlungscluster	267
IV	Wege zu einer Abwasserbewirtschaftung	271
8	Übertragbarkeit Siedlungsbestand	273
8.1	Umbaupotenziale bestehender Systeme	273
8.2	Flächenbedarf	275
8.3	Hindernisse Clusterbildung	277
8.4	Organisation und Betrieb	279
8.5	Akzeptanz	282
8.6	Kosten	283
9	Hindernisse einer Transformation	288
9.1	Senkung des Trinkwasserverbrauchs	291
9.2	Übergangphasen	293
9.3	Akzeptanz des Düngers	294
9.4	Organisationsstrukturen	295
9.5	Genehmigungsverfahren	298
9.6	Bestandsschutz	299
9.7	Informationsbedarf	300

10	Abwasserbewirtschaftung	302
10.1	Siedlungsstruktur	303
10.2	Gestaltungskriterien	305
10.3	Umsetzungsstrategien	307
10.4	Rolle der Stadtplanung	312
10.4.1	Strategische Planung	314
10.4.2	Planungsinstrumente	317
10.4.3	Ergänzung des Instrumentariums	323
10.5	Akteure einer Transformation	324
10.6	Stoffstrommanagement Reststoffe	334
10.7	Freiraum- und Gewässerentwicklung	336
V	Ausblick	339
11	Die ressourceneffiziente Stadt	341
11.1	Leitbild	342
11.2	Fazit	344
11.3	Forschungsbedarf	345
11.3.1	Umbaustrategien	346
11.3.2	Berücksichtigung von Systemzusammenhängen	348
11.3.3	Kommunikation der Akteure	349
11.3.4	Rechtlicher Regelungsbedarf	350
11.4	Schritte einer Transformation	355
12	Zusammenfassung	357
	Literaturverzeichnis	359
A	Wohnbevölkerung	III
B	Siedlungstypen	V
C	Erschließungsaufwand	XVIII
D	Stoffströme	XX

Bilderverzeichnis

1.1	Aufbau der Arbeit	19
2.1	Nachhaltige Stadtentwicklung, verändert nach KÜHN 1997 [253]	30
2.2	Teilsystem der Abwasserentsorgung, verändert nach WELKER 2004 [435]	36
2.3	Infrastruktur unter Schrumpfungsbedingungen, Quelle: nach GENSENHOFF 2007, 59 [172]	60
3.1	Einwohnerspezifische Frachten in den verschiedenen Teilströmen $g/(E \cdot d)$, Datenquelle: DWA 2008, 30 [131]	84
3.2	Schematische Darstellung eines vertikal durchströmten Bodenfilters	90
3.3	Betriebsweise eines Membranmoduls	98
3.4	Schwarzwasser 2-Stoffstromsystem, Quelle: vereinfacht nach DWA 2008, 40 [131]	120
3.5	Urintrennung 3-Stoffstromsystem, Quelle: vereinfacht nach DWA 2008, 42 [131]	124
4.1	Nutzungsvarianten und Aufbereitungsschritte von Biogas, Quelle: KTBL 2009, 113 [249]	143
5.1	Flächenanteile besiedelter Fläche, Quelle: BORCHARD 1974, 36 [75]	159
5.2	Typologie der Strukturmodelle, Quelle: ALBERS 1974, 15 [8]	170
5.3	Siedlungstyp 1: Freistehende Einfamilienhäuser, Quelle: Zeichnung nach RANFT 1991 [323], Luftbild Google Earth TM -Kartenservice	191
5.4	Siedlungstyp 2: Einfamilien- und Doppelhäusersiedlung, Quelle: Zeichnung nach RANFT 1991 [323], Luftbild Google Earth TM -Kartenservice	192
5.5	Siedlungstyp 3: Dorfkern, Quelle: Zeichnung Matil, Luftbild Google Earth TM -Kartenservice	193
5.6	Siedlungstyp 4: Reihenhäuser, Quelle: Zeichnung nach RANFT 1991 [323], Luftbild Google Earth TM -Kartenservice	194
5.7	Siedlungstyp 5: Siedlung kleiner Mehrfamilienhäuser, Quelle: Zeichnung nach RANFT 1991 [323], Luftbild Google Earth TM -Kartenservice	195
5.8	Siedlungstyp 6: Niedrige Zeilenbebauung, Quelle: Zeichnung nach RANFT 1991 [323], Luftbild Google Earth TM -Kartenservice	196

5.9	Siedlungstyp 7: Hohe Zeilenbebauung, Quelle: Zeichnung nach RANFT 1991 [323], Luftbild Google Earth TM -Kartenservice	197
5.10	Siedlungstyp 8: Freistehende Hochhausbebauung, Quelle: Zeichnung nach RANFT 1991 [323], Luftbild Google Earth TM -Kartenservice .	198
5.11	Siedlungstyp 9: Aneinandergebaute Hochhäuser, Quelle: Zeichnung nach RANFT 1991 [323], Luftbild Google Earth TM -Kartenservice .	199
5.12	Siedlungstyp 10: Niedrige Blockrandbebauung, Quelle: Zeichnung nach RANFT 1991 [323], Luftbild Google Earth TM -Kartenservice .	200
5.13	Siedlungstyp 11: Hohe Blockrandbebauung, Quelle: Zeichnung nach RANFT 1991 [323], Luftbild Google Earth TM -Kartenservice	201
5.14	Siedlungstyp 12: Hohe Blockrandbebauung, Quelle: Zeichnung nach RANFT 1991 [323], Luftbild Google Earth TM -Kartenservice	202
5.15	Bodeninanspruchnahme der Siedlungstypen je Einwohner, Quelle: eigene Berechnungen nach RANFT 1991 [323] und STATISTISCHES BUNDESAMT 2008 [402]	203
5.16	Zusammenhang zwischen Geschossflächenzahl und Länge der inneren Erschließung, Quelle: eigene Berechnungen nach RANFT 1991 [323], FGSV 2007 [149], STATISTISCHES BUNDESAMT 2008 [402] .	209
6.1	Geplante städtebauliche Struktur Lübeck - Flintenbreite, Quelle: Zeichnung MATIL nach HANSESTADT LÜBECK 2002 [195]	214
6.2	Funktionsschema Abwasserbewirtschaftung Lübeck - Flintenbreite, Quelle: Zeichnung MATIL	215
6.3	Schilfpflanzen des Bodenfilters, Quelle: eigene Aufnahme	217
6.4	Geplante städtebauliche Struktur Knittlingen - Am Römerweg, Quelle: Zeichnung MATIL nach STADT KNITTLINGEN 2010 [394] .	220
6.5	Funktionsschema Abwasserbewirtschaftung Knittlingen - Am Römerweg, Quelle: Zeichnung MATIL/SIGGLOW	221
6.6	Wasserhaus Knittlingen, Quelle: TRÖSCH 2006, 3 [420]	223
6.7	Städtebauliche Struktur Hamburg - Jenfeld, Quelle: Zeichnung MATIL nach WEST8 [438]	224
6.8	Funktionsschema Abwasserbewirtschaftung Hamburg - Jenfeld, Quelle: Zeichnung MATIL (nach SCHONLAU ET AL. 2008, 1097 [363])	225
7.1	Schema zur Ermittlung des Einzugsbereichs für technische Anlagen zur Stoffstrombewirtschaftung	235
7.2	Begriffsabgrenzung	242
7.3	Vorgehensweise zur Ermittlung von Siedlungsclustern zur Stoffstrombewirtschaftung im Siedlungsbestand	245
7.4	Tägliches Schwarzwasseraufkommen pro ha und Tag differenziert nach Siedlungstypen	248
7.5	Tägliches Grauwasseraufkommen pro ha und Tag differenziert nach Siedlungstypen	249
7.6	Größen der Siedlungscluster zur Stoffstrombewirtschaftung	269

8.1 Betriebsformen für Kleinkläranlagen	281
10.1 Entwicklung von Technologie und deren Verbreitung, nach GRANT 2006, 419 [180]	303
10.2 Auswirkungen von strategischen und operativen Tätigkeiten auf den Cashflow, Quelle: ANSOFF/MCDONNEL 1990 in LOMBRI- SER/ABPLANALP 2005, 33 [275]).	310
10.3 Management eines Systemwechsels	315
10.4 Managementkreis, Quelle: verändert nach PIPPKE ET AL. 2007, 21 [320]).	316
10.5 Instrumente der baulichen Umsetzung, Quelle: eigene Darstellung .	317
10.6 Akteure einer Systemtransformation, Quelle: eigene Darstellung .	332

Tabellenverzeichnis

1.1	Zuordnung der Arbeitshypothesen zu Teilen der Arbeit	14
2.1	Derzeitige Nutzung und Potenziale der Phosphorrückgewinnung . .	43
2.2	Gehalte an Nährstoffen und organischer Substanz in Klärschlämmen und Böden	45
2.3	Bestehende Modellprojekte neuartiger Sanitärkonzepte in Deutschland	63
2.4	Nachteile der konventionellen zentralen Abwasserentsorgung (Schwemmkanalisation mit zentraler Kläranlage)	66
3.1	Begriffsdefinition der verwendeten Maßstäbe	77
3.2	Einwohnerspezifische Kennzahlen für die Frachten ausgewählter Teilströme (Medianwerte)	83
3.3	Übersicht über dezentrale Verfahren der Abwasserbehandlung . . .	85
3.4	Flächenbedarf von Kleinkläranlagen	87
3.5	Zusammensetzung von Fäkalschlamm	97
3.6	Mindestanforderungen und Vergleich mit Membranbelebung	99
3.7	Vergleich von Desinfektionsverfahren	103
3.8	Vergleich von Kleinkläranlagen	105
3.9	Abwasserteilströme und Behandlungsoptionen	110
3.10	Skalen einzelner Systemkomponenten	118
4.1	Abschätzung der Emissionen, Primärenergieverbrauch und Material- intensität des Vakuum-Biogas-Systems im Vergleich zu Schwemm- kanalisation und zentraler Kläranlage	141
4.2	Zusammensetzung des Biogases aus Schwarzwasser und Bioabfall .	144
5.1	Landwirtschaftsfläche in % des Stadtgebiets in den Städten Nordrhein-Westfalens 2004	161
5.2	Maße der Einwohnerdichte	162
5.3	Gliederung in Nachbarschaftsstufen	177
5.4	Leitbilder/Visionen als Reaktion auf bestimmte Befürchtun- gen/Prognosen	182
5.5	Siedlungstypen	188
5.6	Orientierungswerte für unterschiedliche Freiraumtypen	206

6.1	Flächenbedarf der Stoffstrombewirtschaftung in Pilotprojekten . . .	228
7.1	Orientierungswerte des Flächenbedarfs der Anlagentechnik einer Stoffstrombewirtschaftung	256
8.1	Kosten und wirtschaftlicher Nutzen neuartiger Sanitärsysteme . . .	285
10.1	Teilnehmer eines „Runden Tisches“ zum Thema Integration neuartiger Sanitärsysteme in den Siedlungsbestand	330
A.1	Statistische Werte zur individuellen Wohnflächeninanspruchnahme	III
A.2	Einwohnerdichte der Siedlungstypen	IV
B.1	Kennwerte Siedlungstyp 1 - Freistehende Einfamilienhäuser	VI
B.2	Kennwerte Siedlungstyp 2 - Doppelhäuser	VII
B.3	Kennwerte Siedlungstyp 3 - Städtischer Dorfkern	VIII
B.4	Kennwerte Siedlungstyp 4 - Reihenhäuser	IX
B.5	Kennwerte Siedlungstyp 5 - Freistehende Mehrfamilienhäuser . . .	X
B.6	Kennwerte Siedlungstyp 6 - Niedrige Zeilenbebauung	XI
B.7	Kennwerte Siedlungstyp 7 - Hohe Zeilenbebauung	XII
B.8	Kennwerte Siedlungstyp 8 - Freistehende Hochhausbebauung . . .	XIII
B.9	Kennwerte Siedlungstyp 9 - Aneinandergebaute Hochhäuser	XIV
B.10	Kennwerte Siedlungstyp 10 - Niedrige Blockrandbebauung (ohne Überbauung der Innenhöfe)	XV
B.11	Kennwerte Siedlungstyp 11 - Hohe Blockrandbebauung (ohne Überbauung der Innenhöfe)	XVI
B.12	Kennwerte Siedlungstyp 12 - Hohe Blockrandbebauung (mit Überbauung der Innenhöfe)	XVII
C.1	Länge öffentlicher Abwasserleitungen der inneren Erschließung . . .	XVIII
C.2	Flächengröße der Siedlungstypen und längste Distanz eines kreisförmigen Einzugsgebiets zwischen 500 und 2.000 Einwohnern	XIX
D.1	Orientierungswerte und Wertespanne des Schwarzwasseraufkommens in m^3 pro ha und Tag differenziert nach Siedlungstypen . . .	XX
D.2	Orientierungswerte und Wertespanne des Grauwasseraufkommens in m^3 pro ha und Tag differenziert nach Siedlungstypen	XXI

Abkürzungsverzeichnis

AFS	Abfiltrierbare Stoffe
AKWA	Alternativen Kommunaler Wasserver- und Abwasserentsorgung
AOX	Absorbierbare organisch gebundene Halogene
BauGB	Baugesetzbuch
BHKW	Blockheizkraftwerk
BNatSchG	Bundesnaturschutzgesetz
BSB5	Biochemischer Sauerstoffbedarf in fünf Tagen
C	Kohlenstoff
CSB	Chemischer Sauerstoffbedarf
DEHP	Di-(2-ethylhexyl)phthalat
DEUS	DEzentrale Urbane Infrastruktur-Systeme
DWA	Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall
DWA-A	DWA-Arbeitsblatt
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
EFH	Einfamilienhaus
EGW	Einwohnergleichwert
EOX	Extrahierbares organisch gebundenes Halogen
EW	Einwohnerwert
E	Einwohner
FNP	Flächennutzungsplan
GFZ	Geschossflächenzahl
GRZ	Grundflächenzahl
K	Kalium
kt	Kilotonne
KWh	Kilowattstunde
LAS	Lineare Alkylbenzolsulfonate
LAWA	Länderarbeitsgemeinschaft Wasser
MBA	Mechanisch-biologische Abfallbehandlungsanlage
Mg	Megagramm (in der Abfallwirtschaft gebräuchlich für Tonne)
MKW	Mineralölkohlenwasserstoffe
N	Stickstoff
NASS	Neuartige Sanitärsysteme

O	Sauerstoff
P	Phosphor
PAK	Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe
PCB	Polychlorierte Biphenyle
PCDD	Polychlorierte Dibenzo-p-dioxine
PCDF	Polychlorierte Dibenzofurane
PKA	Pflanzenkläranlage
SBR	Sequencing-Batch-Reactor
ST	Siedlungstyp
TA	Technische Anleitung
TM	Trockenmasse
TS	Trockensubstanz
TR	Trockenrückstand
VBP	Vorhabenbezogener Bebauungsplan
VEP	Vorhaben- und Erschließungsplan
WE	Wohneinheit