

## GEO 511 - Masterarbeit

Spezialisierung in  
Geographischer  
Informationswissenschaft

**Sven Eggimann**

06-910-327

# Potenzial für eine Nachhaltigkeits-Transition dezentraler Abwassersysteme auf Strukturtypebene in der Schweiz

Abgabedatum:  
31.1.2013

[Verantwortliches Fakultätsmitglied]

**Prof. Dr. Robert Weibel**

Geographic Information Science (GIS)  
Geographisches Institut  
Universität Zürich - Irchel  
Winterthurerstr. 190  
8057 Zurich  
Schweiz



**University of  
Zurich** UZH

[Externe Betreuer]

**Prof. Dr. Bernhard Truffer**

Sozialwissenschaftliche Innovationsforschung

**Prof. Dr. Max Maurer**

Siedlungswasserwirtschaft

Eawag  
Überlandstrasse 133  
8600 Dübendorf  
Schweiz

**eawag**  
aquatic research ○○○

Kontakt: vorname.name@eawag.ch



---

## Danksagung

Ich bin Prof. Dr. Max Maurer, Prof. Dr. Bernhard Truffer und Prof. Dr. Robert Weibel dankbar für die intensive, engagierte Betreuung.

Ebenfalls möchte ich mich herzlich bei allen Beteiligten an der EAWAG und Universität Zürich bedanken, die mir mit Rat und Tat zur Verfügung standen.

Mein Dank gilt insbesondere Josi Siber, Ronald Schmid, Andreas Scheidegger, Urs Egger, Lea Fünfschilling, Andreas Bruderer, Cristina Fritzsche, Andreas Holliger vom AWEL (Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft) und Ralf Züger von der Baudirektion des Kantons Zürich.

Sven Eggimann  
Zürich, im Hochwinter 2013

S.D.G.

## [Kontakt Autor]

Sven Eggimann  
Zurlindenstr. 119  
8003 Zürich  
Confoederatio Helvetica

Email: [sven.eggimann@geo.uzh.ch](mailto:sven.eggimann@geo.uzh.ch)  
[sven.eggimann@gmail.com](mailto:sven.eggimann@gmail.com)  
Tel: +41 (0)78 730 85 84

## [Kontakt Institut]

Geographisches Institut  
Universität Zürich – Irchel  
Winterthurerstrasse 190  
8057 Zürich  
Schweiz

---



---

## Summary

---

The prevailing centralized Swiss sewer system has evolved historically. It has long been proved and tested, but today's challenges in the wastewater sector require innovative solutions if future development is to be sustainable. Alternative decentralized on-site wastewater systems (*OST*) have the potential to be an economically more sustainable solution, as in case of their implementation, the costly large net-based drainage pipes would become obsolete to some extent.

But in Switzerland path-dependencies have resulted in a technological lock-in which makes the implementation of alternative wastewater systems difficult. Despite the potential of *OST* to achieve a transition towards a more sustainable wastewater treatment, their installation is difficult because of the various barriers that present themselves. The implementation of alternative technologies has to be understood as an innovation problem because inflexible socio-technical systems are being replaced by innovations leading to changes in values, networks or infrastructures.

In this study, the *multi-level perspective* is used to analyse a potential sustainability transition, explaining the implementation of such an innovation on three conceptual levels: niche, regime and landscape. Critiques of this perspective, in particular views that lack differentiation because they fail to take into account scales and geographic sensitization, are addressed. This examination allows the analysis of a sustainability transition of *OST* in Switzerland with regard to spatial characteristics.

In the case of Switzerland there is not only a lack of knowledge about the future potential of *OST*: it is also unclear, how the question about today's and tomorrow's potential might be answered with the help of a geographic information system (*GIS*) on a spatially explicit level.

This study's focus on costs allows a simplified consideration in which a potential market can be deduced by comparing the costs of *OST* with the costs of today's centralized wastewater system. The

relationship between the market potential and the urban framework is studied by using a methodology based on urban structure units. The specific problem of the missing attributes for the dataset (*VECTOR25*) used for the calculations is addressed by applying a morphological building classification. The *Urban Water Infrastructure Model* is applied to calculate the replacement value of today's wastewater infrastructure in the settlement region. The infrastructure costs of the *scattered settlement* type is estimated with a *Minimum Spanning Tree* algorithm. The disaggregation of the population is carried out by a *dasymeric mapping* technique called the volumetric method.

The results of this thesis show that despite simplifications, the developed *GIS* methodology can successfully estimate the market potential. In the case of Switzerland interrelations found in classical literature are confirmed, namely the interrelations between population density and infrastructure costs or the different costs for different settlement types. The potential of *OST* can be analyzed at different levels on the basis of the methodology focusing on urban structure units.

The urban structure units with the highest *OST* potential are often located on settlement borders. The settlement type with the highest potential is the *scattered settlement*. With the assumption of annuities of 150 CHF [per person], on the level of Swiss municipalities, the market potential for *OST* varies between 10% and 100% and reflects the urban-rural gradient.

On the level of Cantons, the market potential is highest in the Canton Jura, Uri, Glarus or Appenzell Innerrhoden. The cantons with the lowest potential are Geneva, Zug or Basel City. The geographic places noted to have high potential are good places for potential niche experiments. For the Canton of Zürich, the calculated theoretical market potential lies between 23% and 26%, depending on the method chosen. The extrapolation for Switzerland on the basis of the results for the Can-

---

ton of Zürich shows that the theoretical market for the year 2010 is on average 27%, and 30% for the year 2020. This averaged increase of 3% is only caused by the settlement development.

The concrete calculated numbers in this thesis are based on a static analysis and therefore represent only a first anchor for the market potential of *OST* in Switzerland.

The high unexploited potential market share of *OST* demonstrates, in addition, the considerable power of today's socio-technical wastewater regime, which stands in the way of a Swiss sustainability transition.

---

---

## Zusammenfassung

---

Das in der Schweiz dominierende zentralisierte Abwassersystem ist historisch gewachsen und hat sich bis anhin bewährt. Die heutigen Herausforderungen im Abwassersektor bedürfen aber innovativer Lösungen, damit eine nachhaltige Entwicklung sicher gestellt werden kann. Eine Einführung alternativer dezentraler Abwassersysteme (*dez AbwSys*) hat durch den Umstand, dass für diese Systeme meist kein grosses, kostspieliges netzbasiertes Abwasserleitungssystem mehr benötigt wird, das Potenzial einer ökonomisch nachhaltigeren Lösung. Pfadabhängigkeiten haben aber in der Schweiz zu einer technologischen *lock-in* Situation geführt, die das Durchsetzen alternativer *AbwSys* erschwert. Trotz des Potenzials, dass *dez AbwSys* eine Transition hin zu einer nachhaltigeren Abwasserentsorgung ermöglichen können, wird deren Durchsetzung aufgrund von vielfältigen Barrieren erschwert. Das Durchsetzen alternativer Technologien ist auch als ein Innovationsproblem zu verstehen, da nicht anpassungsfähige sozio-technische Systeme erst durch Innovationen, die erst zur Veränderung von Werten, Netzwerken oder auch Infrastrukturen führen, ersetzt werden.

Für die Analyse einer möglichen Nachhaltigkeits-Transition wird das Mehrebenenmodell verwendet, welches die Durchsetzung von Innovationen anhand dreier konzeptioneller Ebenen erklärt: die Ebene der Nische, die des Regimes und die der Landschaft. In dieser Arbeit werden die an diesem Modell kritisierte fehlende geografische Sensibilisierung und die undifferenzierte Betrachtung verschiedener Skalen aufgegriffen. Dies erlaubt es, eine potentielle Nachhaltigkeits-Transition *dez AbwSys* in der Schweiz hinsichtlich räumlicher Charakteristika zu analysieren.

In der Schweiz fehlt nicht nur das Wissen um das konkrete Potenzial *dez AbwSys*, sondern es ist auch methodisch nicht klar, wie die Fragestellungen nach dem heutigen oder auch zukünftigen Potenzial mittels eines Geografischen Informationssystems

auf einer räumlich hoch aufgelösten Ebene beantwortet werden können. Der Fokus dieser Arbeit auf die Kosten erlaubt eine vereinfachte Betrachtung, bei der resultierend aus dem Vergleich der Kosten von *dez AbwSys* mit den Kosten des bestehenden zentralen *AbwSys* (*zen AbwSys*), ein potentieller Markt hergeleitet werden kann. Der Zusammenhang zwischen dem theoretischen Marktpotenzial und siedlungsstrukturellen Eigenschaften wird durch das Anwenden des Strukturtypenansatzes ermittelt. Dabei wird das spezifische Problem der fehlenden Attribute des für die Berechnung verwendeten Gebäudedatensatzes (*VECTOR25*) mittels einer geometrischen Klassifikation gelöst. Für die Berechnungen der Wiederbeschaffungskosten der heutigen Abwasserinfrastruktur wird im Siedlungsgebiet hauptsächlich das *Urban Water Infrastructure Model* verwendet, und die Infrastrukturkosten des Siedlungstyps «Streusiedlung» werden mittels eines *minimum spanning tree* geschätzt. Die Bevölkerungsdisaggregation wird mithilfe der Volumenmethode des *dasymeric mapping* vorgenommen.

Die Resultate dieser Arbeit zeigen, dass die entwickelte GIS-Methodik trotz aller methodischer Vereinfachungen und der diversen getroffenen simplifizierenden Annahmen das Marktpotenzial erfolgreich schätzen kann. Klassische, in der Literatur diskutierte Zusammenhänge wie der Zusammenhang zwischen der Bevölkerungsdichte und den Infrastrukturaufwendungen, oder die unterschiedlichen Kostenaufwendungen verschiedener Siedlungstypen, werden für die Schweiz bestätigt. Auf Grundlage des Strukturtypenansatzes kann das Potenzial auf verschiedenen Skalen betrachtet werden: Auf der Ebene der Baublocks wird festgestellt, dass neben den Streusiedlungen v.a. Randlagen des Siedlungsgebiets ein hohes Potenzial aufweisen und Orte für mögliche Nischenexperimente darstellen. Auf der Ebene der *ARE*-Gemeindetypen beträgt das Marktpotenzial, unter Annahme von Annuitäten von 150 CHF [pro Person] für *dez*

*AbwSys*, je nach Gemeinde zwischen ca. 10% und 100% und folgt dem Stadt-Land-Gradienten. Auf der Ebene der Kantone weisen die Kantone Jura, Uri, Glarus oder Appenzell Innerrhoden das grösste Potenzial auf, die Kantone Genf, Zug, oder Basel Stadt das geringste. Das für den Kanton Zürich berechnete Marktpotenzial beträgt je nach Methode zwischen 21% und 26%. Auf die Schweiz hochgerechnet, beträgt das theoretische Marktpotenzial im Jahr 2010 durchschnittlich ca. 27%, welches bis ins Jahr 2020 alleine aufgrund siedlungsspezifischer Entwicklungen um durchschnittlich ca. 3% ansteigen wird.

Die in der vorliegenden Arbeit ermittelten konkreten Zahlen basieren auf einer statischen Betrachtung und bilden folglich den ersten konkreten «Anker» für das Marktpotenzial von *dez AbwSys* in der Schweiz. Der hohe unausgeschöpfte potentielle Marktanteil von *dez AbwSys* zeigt die grosse Macht des heute existierenden sozio-technischen Abwasserregimes, welches einer Schweizer Nachhaltigkeits-Transition dezentraler Abwassersysteme im Wege steht.

---



---

# Inhalt

---

I.	Abbildungen.....	XIII
II.	Tabellen.....	XV
III.	Abkürzungen.....	XVI
IV.	Glossar Deutsch Englisch.....	XVII
<b>1.</b>	<b>Einleitung.....</b>	<b>1</b>
1.1	Motivation.....	1
1.2	Allgemeine Fragestellung & Zielsetzung.....	2
<b>2.</b>	<b>Nachhaltigkeits-Transition.....</b>	<b>5</b>
2.1	Was ist eine Nachhaltigkeits-Transition?.....	5
2.2	Gemeinsamer konzeptioneller Rahmen verschiedener Ansätze.....	6
2.2.1	Innovation.....	6
2.2.2	Sozio-technische Einbettung.....	7
2.2.3	Barrieren.....	7
2.3	Mehrebenenmodell (MLP).....	7
2.3.1	Sozio-technische Landschaft.....	9
2.3.2	Sozio-technische Regime.....	9
2.3.3	Nische.....	9
2.4	Geografie einer Nachhaltigkeits-Transition.....	10
2.5	Zwischenfazit.....	11
<b>3.</b>	<b>Nachhaltigkeits-Transition dezentraler Abwassersysteme.....</b>	<b>13</b>
3.1	Unterschiede der zentralen und dezentralen Abwasseraufbereitung.....	13
3.1.1	Zentrale Abwasseraufbereitung.....	13
3.1.2	Dezentrale Abwasseraufbereitung.....	13
3.2	Varianten dezentraler Abwassersysteme.....	14
3.2.1	Eigenschaften neuartiger AbwSys.....	15
3.2.2	Membranbelebungsreaktor (MBR).....	15
3.2.3	Sequentiell betriebener Chargenreaktor (SBR).....	16
3.2.4	Tropfkörperanlage.....	16
3.2.5	Pflanzenkläranlagen.....	16
3.3	Barrieren einer erfolgreichen Diffusion eines Abwassersystems.....	16
3.4	Fokus der Arbeit.....	18
3.5	Zwischenfazit.....	19
<b>4.</b>	<b>Potenzial dezentraler Abwassersysteme in der Schweiz.....</b>	<b>21</b>
4.1	Braucht es eine Nachhaltigkeits-Transition im Schweizer Abwassersektor?.....	21
4.2	Situation von dez AbwSys in der Schweiz.....	21
4.2.1	Markt.....	21
4.2.2	Zukünftige Entwicklung der Kosten.....	22
4.2.3	Rechtliche Rahmenbedingungen.....	22

---

---

4.3	Herleitung und Berechnung des Marktpotenzials .....	23
4.3.1	Potenzial und Wiederbeschaffungskosten .....	23
4.3.2	Der Berechnung des Marktpotenzials zugrunde liegende Annahmen .....	25
4.3.3	WBW von zen AbwSys in der Schweiz .....	25
4.3.4	WBW von dez AbwSys in der Schweiz .....	26
4.3.5	WBW in Abhängigkeit zur Siedlungsstruktur .....	26
4.3.6	WBW in Abhängigkeit zur Bevölkerungsdichte .....	27
4.4	Systemgrenzen .....	28
4.4.1	Kostenarten und Kostenherleitung .....	28
4.4.2	Kostenträger .....	28
4.4.3	Statische Betrachtung .....	29
4.5	Forschungsstand .....	29
4.6	Zwischenfazit .....	31
4.7	Detaillierte Forschungsfragen .....	31
<b>5.</b>	<b>Methodische Schritte zur Berechnung des Potenzials .....</b>	<b>33</b>
5.1	Hintergrund zu den verwendeten Methoden .....	33
5.1.1	Stadtstrukturtypenansatz .....	33
5.1.2	Dasymetric Mapping .....	34
5.1.3	Urban Water Infrastructure Model (UWIM) .....	35
5.2	Daten .....	36
5.2.1	Gebäudedaten .....	36
5.2.2	Kanalisationsdaten .....	37
5.2.3	Bevölkerungsdaten .....	37
5.2.4	Daten-Lösungsansatz für die Schweiz .....	37
5.3	Überblick .....	39
5.4	Schritt I: Der Baublock als Dasymetrische Zone .....	40
5.4.1	Dasymetrische Zonen in der Schweiz .....	40
5.5	Schritt II: Gebäudeklassifikation .....	41
5.5.1	Gebäudetypologie .....	41
5.5.2	Klassifikationsfaktoren .....	41
5.5.3	Gebäude-Klassifikation .....	43
5.5.3.1	Überblick der Klassifikationsmethode .....	43
5.5.3.2	Klassifikation unbewohnter Gebäude .....	44
5.5.3.3	Klassifikation Einfamilienhaus, Reihenhaus, Wohnblock und Hochhaus .....	45
5.6	Schritt III: Siedlungsklassifikation .....	45
5.6.1	Siedlungstypologie .....	46
5.6.2	Varianten der Klassifikation .....	46
5.6.2.1	Variante 1: «Strukturtypenansatz» .....	48
5.6.2.2	Variante 2: «Berücksichtigung unbewohnt» .....	48
5.6.2.3	Variante 2b: «Berücksichtigung unbewohnt korrigiert» .....	48
5.6.2.4	Variante 3 : «Original-Daten» .....	48
5.7	Schritt III: Disaggregation der Bevölkerung .....	48
5.8	Schritt IV: Berechnung WBW .....	49
5.8.1	Berechnung des WBW der Kanalisation innerhalb des Siedlungsgebiet mit UWIM .....	49
5.8.1.1	Formfaktor (f2) .....	49
5.8.1.2	Siedlungsfläche .....	49

---

5.8.1.3	Häuserdichte .....	50
5.8.1.4	Abflusskoeffizient .....	50
5.8.1.5	Implementierung in ArcGIS .....	51
5.8.2	Berechnung des WBW der Kanalisation des zen AbwSys ausserhalb des Siedlungsgebiets.....	51
5.8.3	Wiederbeschaffungskosten ARA .....	52
5.9	Schritt VI: Hochrechnung auf die Schweiz .....	53
5.10	Schritt VII: Szenario .....	54
5.11	Zwischenfazit.....	55
<b>6.</b>	<b>Resultate .....</b>	<b>56</b>
6.1	Gebäudeklassifikation .....	56
6.1.1	Gebäudeklassifikation G1 .....	56
6.1.2	Gebäudeklassifikation G2-G5 .....	56
6.2	Siedlungsklassifikation .....	58
6.3	WBW.....	58
6.3.1	ARA.....	58
6.3.2	Kanalisation & ARA .....	58
6.4	Potenzial für den Kanton Zürich im Jahr 2010 .....	60
6.5	Potenzial für die Schweiz im Jahr 2010 .....	64
6.6	Potenzial für das Jahr 2020 .....	66
<b>7.</b>	<b>Validierung der Resultate.....</b>	<b>67</b>
7.1	Gebäudeklassifikation .....	67
7.1.1	Klassifikation G0 .....	67
7.1.2	Klassifikation G1 - G4 und Siedlungsklassifikation .....	67
7.2	Dasymetric Mapping .....	68
7.3	Validierung WBW.....	68
7.4	UWIM .....	69
7.4.1	WBW ARA.....	69
7.4.2	WBW ARA & Kanalisation .....	69
7.4.3	Minimum Spanning Tree.....	69
7.5	Hochrechnung auf die Schweiz & Szenarios.....	70
7.6	Zwischenfazit.....	70
<b>8.</b>	<b>Diskussion .....</b>	<b>71</b>
8.1	FF1 - Frage nach dem Marktpotenzial .....	71
8.1.1	Beitrag zur Diskussion um das konkrete Potenzial von dez AbwSys .....	71
8.1.2	Erkenntnisse zur Siedlungs- & Infrastrukturentwicklung im Bezug zu dez AbwSys .....	72
8.2	FF2 - Methodische Erkenntnisse und kritische Betrachtung der verwendeten Methodik .....	73
8.2.1	Stadtstrukturtypenansatz .....	73
8.2.2	Gebäudeklassifikation .....	74
8.2.3	Erkenntnisse zur Herleitung der Daten .....	74
8.3	FF3 - Erkenntnisse zur Nachhaltigkeits-Transition dez AbwSys in der Schweiz.....	75
8.3.1	Lage potentieller Nischen und deren Charakteristika .....	75
8.3.2	Nische auf Ebene des Baublocks .....	75
8.3.3	Nische auf Stufe Gemeinde.....	76
8.3.4	Nischen auf Ebene Kanton .....	77
8.3.5	Räumliche Diffusionspfade .....	77

<b>9. Schlussfolgerung und Ausblick.....</b>	<b>79</b>
9.1 Beiträge & Erkenntnisse .....	79
9.2 Forschungsbedarf & Forschungslücken .....	79
9.2.1 Kostenannahmen.....	80
9.2.2 GIS-Methodik.....	81
9.2.3 Weiterer Optimierungsbedarf .....	82
9.2.3.1 Siedlungstypologie.....	82
9.2.3.2 Sozio-technische Einbettung.....	82
9.3 Fazit.....	82
<b>10. Literatur .....</b>	<b>106</b>

---

# I - Abbildungen

Abb. 1.1: Potentielle Einsatzgebiete für dezentrale Abwassersysteme (gelbe Markierung).....	2
Abb. 2.1: Grafische Umsetzung des Mehrebenenmodell nach GEELS.....	8
Abb. 2.2: Grafische Umsetzung der Kritik von COENEN <i>et al.</i> (2011) auf das Modell von GEELS (2002, 1261).....	11
Abb. 3.1: Zentrales und dezentrales <i>AbwSys</i> im Vergleich ( <i>vgl.</i> Systemabgrenzung ECOPLAN (2000, 24).....	14
Abb. 3.2: Beispiel einer Diversions-Toilette.....	15
Abb. 3.3: Schematische Skizze der verschiedenen <i>AbwSys</i> .....	16
Abb. 4.1: Anzahl Kläranlagen im Vergleich.....	21
Abb. 4.2: Abschreibungspfade.....	24
Abb. 4.3: Zersiedelung und Infrastrukturkosten.....	26
Abb. 4.4: Zusammenhang zwischen Bevölkerungsdichte und Kosten.....	27
Abb. 5.1: Überblick über wichtige Eingabeparameter für <i>UWIM</i> .....	35
Abb. 5.2: <i>UWIM</i> .....	36
Abb. 5.3: AV-Daten und VECTOR25 im Vergleich.....	37
Abb. 5.4: Überblick über die wichtigsten Schritte.....	39
Abb. 5.5: Baublock Generierung.....	40
Abb. 5.6: Typische Boxplots.....	43
Abb. 5.7: Lineare Zuordnung der Kongruenz-Werte.....	43
Abb. 5.8: Histogramm Faktor F3.....	45
Abb. 5.9: Pseudo-Code der Klassierung in <i>ArcGIS</i> .....	45
Abb. 5.10: Schematische Abbildung der Baublockzuordnung.....	47
Abb. 5.11: Verknüpfung von <i>ArcGIS</i> mit R.....	51
Abb. 5.12: Möglicher Fehler beim Ziehen der kürzesten Distanz.....	51
Abb. 5.13: Beispiel für einen <i>MST</i> .....	52
Abb. 5.14: ARE Gemeindetypen im Kanton Zürich.....	54
Abb. 6.1: Klassifikationsbeispiel bewohnt / unbewohnt.....	56
Abb. 6.2: Berechnete Verteilung der Gebäudetypen im Kanton Zürich.....	57
Abb. 6.3: Beispiel der Gebäudeklassifikation (G2-G5).....	58
Abb. 6.4: Verteilung der Bevölkerung auf die <i>ARE</i> -Siedlungstypen.....	59
Abb. 6.5: Kosten nach Siedlungstyp.....	59
Abb. 6.6: Zusammenhang Bevölkerungsdichte und Kosten.....	60
Abb. 6.7: Potenzialkurve des Kantons Zürich.....	60
Abb. 6.8: Kostenverhältnis der Baublocks für dezentrale und zentrale Abwassersysteme.....	62
Abb. 6.9: Veränderung des Potenzials mit steigenden Kosten [Pro Person und Jahr in CHF] auf Ebene der Gemeinden.....	63
Abb. 6.10: Hochgerechnetes Potenzial für die Schweiz mithilfe der ARE Gemeindetypen für das Jahr 2010.....	64
Abb. 6.11: Kosten der ARE-Gemeindetypen im Kanton Zürich.....	64
Abb. 6.12: Potenzial der ARE-Gemeindetypen im Kanton Zürich.....	65
Abb. 6.13: Potenzial auf Ebene Kanton.....	65
Abb. 6.14: Potenzialkurven der Szenarien nach JAEGER <i>et al.</i> (2008).....	66

Abb. 6.15: Potenzial im Jahr 2010 im Vergleich zum Potenzial im Jahr 2020.....	66
Abb. 7.1: Probleme der Gebäudeklassifikation (rot eingekreist).....	67
Abb. 7.2: Unterschiede der UWIM -Berechnung .....	69
Abb. 7.3: Strassen- und MST-Längen Vergleich der Zürcher Gemeinden .....	70
Abb. 8.1: Betrachtung von Nischen auf verschiedenen Ebenen.....	76
Abb. C1: AV-Datenverfügbarkeit der Stadt Zürich.....	86
Abb. D1: MAUP bei der Bildung der Baublocks.....	87
Abb. G1: Klassifikation mit alternativen Schwellenwerten für Kernstädte .....	90
Abb. H1: Typische Beispiele von Siedlungstypen .....	91
Abb. I1: Klassifikationsresultate der bewohnten und unbewohnten Gebäude.....	92
Abb. L1: Daten zu Kosten aus einer Erhebung der VSA.....	100
Abb. L2: Daten zu Kosten aus Deutschland .....	100
Abb. M1: Potenzial von dez AbwSys für einzelne ARE-Gemeindetypen.....	101
Abb. N1: ARE Gemeindetypen im Kanton Zürich.....	102
Abb. O1: Teilflächen einer Stichprobe eines Baublocks.....	103

---

## II - Tabellen

Tab. 2.1: Kategorien verschiedener Barrieren nach KEMP <i>et al.</i> (1998).....	8
Tab. 3.1: Faktoren, die die Entscheidung für ein <i>onsite AbwSys</i> beeinflussen (Ho 2005, 16, Eigene Übersetzung).....	16
Tab. 5.1: Gebäudetypologie.....	41
Tab. 5.2: Faktoren zur Gebäudeklassifikation aus der Literatur.....	42
Tab. 5.3: Verwendete Faktoren.....	42
Tab. 5.4 Faktorwerte für Geometriebeispiele.....	42
Tab 5.5: Lower- und Composite Order Concepts.....	44
Tab. 5.6: Siedlungstypologie.....	46
Tab. 5.7: Verwendete Siedlungstypologien im Vergleich.....	46
Tab. 5.8: Verschiedene Kriterien zur Baublock Klassierung.....	46
Tab. 5.9: Fudge Factor verschiedener Gemeindetypen.....	49
Tab. 5.10: Abflussbeiwerte von unterschiedlich befestigten und unbefestigten Teilflächen im Siedlungsgebiet.....	50
Tab. 5.11: Anteil der befestigten Teilfläche an der Gesamfläche exkl. Gebäudeflächen.....	50
Tab. 5.12: Gängige Abflussbeiwerte der Stadtentwässerung.....	50
Tab. 5.12: Potentielle Modellierungsfaktoren für die Szenariobildung.....	54
Tab. 6.1: Klassierungsfehler einzelner Faktoren.....	57
Tab. 6.2: Klassierungsfehler verschiedener Faktorkombinationen innerhalb und ausserhalb des Siedlungsgebiets.....	57
Tab. 6.3: Bevölkerungsdisaggregation der verschiedenen Varianten.....	58
Tab. 9.1: Kostenannahmen und Forschungslücken.....	80
Tab. 9.2: GIS methodische Annahmen und Forschungslücken.....	81
Tab. B1: Verwendete geografische Datensätze.....	85
Tab. C1: Verhältnis der bewohnten und unbewohnten Gebäude des AV-Datensatzes des Kantons Zürich.....	86
Tab. E1: Attribute des Zürcher Zonenplans.....	87
Tab F1: Detaillierte Kosten der Siedlungstypen.....	89
Tab. G1: Alternative Grenzwerte in Städten.....	90
Tab. J1: Detaillierte Kongruenzwerte.....	93
Tab. J2: Gewichtung der Faktoren bei der Gebäudeklassifikation.....	93
Tab. P1: Zuordnung der ARE-Gemeindetypen.....	104

---

## III - Abkürzungen

---

AbwSys	Abwassersystem, Abwasserentsorgungssystem
ARE	Bundesamt für Raumentwicklung
ATKIS	Amtliche Topographisch-Kartographische Informationssystem (in Deutschland)
BFS	Bundesamt für Statistik
CHF	Schweizer Franken
CSB	Chemical Oxygen Demand
ChemRRV	Chemikalien-Risikoreduktions-Verordnung (SR 814.81)
dez	dezentral
dez AbwSys	Dezentrales Abwassersystem
EAWAG	aquatic research (ehemals Eidgenössische Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz)
EW	Einwohnerwert Der EW setzt sich aus der Einwohnerzahl (EZ) und den Einwohnerequivalenzen (EGW) zusammen (VSA 2005): $EW = EZ + EGW$
EWG	Einwohnerequivalent Entspricht der täglichen Fracht eines Abwasserinhaltsstoffs pro Einwohner (VSA 2005, 1)
EZ	Einwohnerzahl
GIS	Geografisches Informationssystem
GSchG	Bundesgesetz über den Schutz der Gewässer (SR 814.20)
GSchV	Gewässerschutzverordnung (SR 814.201)
ha	Hektar
MBR	Membranbelebungsreaktor
MBR	Minimum Bounding Rectangle (Minimal umgebendes Rechteck)
MST	Minimum Spanning Tree
OST	onsite-treatment-technologies
SBR	Sequentiell biologische Reinigung
SWISSTOPO	Bundesamt für Landestopografie
UWIM	Urban Water Infrastructure Model
VSA	Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute
WBW	Wiederbeschaffungswert
zen	zentral

---



---

## IV - Glossar Deutsch Englisch

---

Abflusskoeffizient

Hochwasserganglinie

funktionale Wiederbeschaffungskosten

Nachhaltigkeits-Transition

Membranbelebungsreaktor

Stadtstrukturtypen

runoff-coefficient

storm hydrograph / flood hydrograph

functional replacement costs

sustainability transition

membrane bioreactor

≈ urban structure types

---



# 1 Einleitung

## 1.1 Motivation

Menschliche Exkremamente sind selten Thema geografischer Forschung, trotz deren grossen, globalen Bedeutung für die Gegenwart und Zukunft. Forschung mit einem räumlichen und zeitlichen Fokus der Handhabung von menschlichen Exkrementen ist kaum vorhanden (JEWITT 2011, 762). Dies erstaunt, da der Art und Weise der Abwasserbehandlung eine zentrale Bedeutung zukommt für das Erreichen von Nachhaltigkeitszielen und vielfältige Herausforderungen anstehen (*inter alia* DAIGGER 2007). Ökologische, ökonomische und soziale Auswirkungen fehlender Abwasserentsorgung sind gravierend. Beispiele dafür sind der Gesundheitszustand der Bevölkerung, die ökonomischen Verluste durch Krankheit und Arbeitsausfall oder die ökologischen Auswirkungen auf die Umwelt (*inter alia* CORCORAN *et al.* 2010).

Seit einigen Jahren wird in der Forschung die Frage diskutiert, ob die Abwasserbehandlung zentral (*zen*) oder dezentral (*dez*) organisiert werden soll (LIBRALATO 2012). Das Potenzial *dez* Technologie zur Lösung der Abwasserprobleme wird besonders in Entwicklungsländern hoch eingeschätzt, resp. *dez* Systeme sind in vielen Entwicklungsländern eine ökonomisch bezahlbare, ökologisch nachhaltigere und sozial akzeptablere Technologie (MASSOUD *et al.* 2009, 653). Aber auch in der Schweiz stellt sich die Frage nach dem effizienten Errichten eines nachhaltigen Abwassersystem (*AbwSys*),<sup>1</sup> wobei weniger die Herausforderungen einer fehlenden dafür teilweise ökologisch ungenügenden Abwasserbehandlung im Fokus der Forschung stehen. Hauptsächlich stellt sich aber aktuell die Frage nach der finanziellen Tragbarkeit der heutigen Abwasserentsorgung (vgl. MAURER & HERLYN 2006, 13 *ff.*). Nebst dem Potenzial neuer Innovationen im Abwasserbereich stellt sich die Frage, wie eine Transition hin zu einer nachhaltigeren Abwasserbehandlung in der Schweiz verlaufen kann. Eine

mögliche Erklärung für die eingangs aufgestellte Beobachtung von JEWITT (2011) sieht DAIGGER (2007, 672) in der Tatsache begründet, dass die heutige Generation für das moderne Abwasserentsorgungssystem (*AbwSys*) nicht verantwortlich ist und folglich in der Gesellschaft die Abwasserproblematik als gelöst wahrgenommen wird. Resultat dieser mentalen Einstellung ist ein mangelndes Verständnis zu heutigen Herausforderungen im Abwasserbereich. Aktuelle Probleme wie Mikroverunreinigungen, sinkende öffentliche Haushalte, steigende Abwasserkosten oder auch zunehmende Wasserknappheit führen heute national und international zu einer vermehrten Auseinandersetzung mit der Frage, wie heutige und zukünftige Abwassersysteme aussehen sollen.

Die Frage nach dem heutigen und zukünftigen Potenzial *dez AbwSys* in der Schweiz ist noch ungenügend untersucht, was die Unsicherheiten bei der Planung der *AbwSys* vergrössert. Als wichtige Voraussetzung für gute Investitionsentscheide sind Werkzeuge zur Entscheidungsunterstützung nötig, die bislang aber kaum verfügbar sind (SIEDENTOP 2006, 7).

Aufgrund der Beeinflussung der Kosten durch geografische Begebenheiten ist deren Berücksichtigung von grosser Relevanz, was aber bis anhin meist vernachlässigt wurde. So schätzt zwar ADLER (2007, 53), dass durch fallende Preise bei grösseren Produktionsmengen ein theoretischer Schweizer Marktanteil von 12 bis 24% möglich wäre, eine Lokalisierung dieses Marktpotenzials steht dabei aus. Traditionell wird in ökonomischen und geografischen Konzepten die Entstehung neuer Technologien vernachlässigt und die Frage nach deren Durchsetzung vernachlässigt (BATHELT & GLÜCKLER 2003, 39). Zudem sind die Konzepte, die sich diesen Themen annehmen und sich mit technologischen Innovationen beschäftigen, i.d.R. räumlich blind (TRUFFER & COENEN 2012, 201, 3).

1. *vgl.* Abkürzungsverzeichnis Seite XVI.

Beim Ansatz der vorliegenden Arbeit, das Potenzial räumlich differenziert zu untersuchen, können aufgrund des engen Zusammenhangs der Siedlungsentwicklung mit der Abwasserinfrastruktur die Infrastrukturkosten nicht losgelöst von der räumlichen Verteilung und Dynamik der Siedlungen betrachtet werden. Ein vertieftes Verständnis der Zusammenhänge zwischen der Siedlung- und Bevölkerungsentwicklung mit Infrastrukturaufwendungen, hilft, allfällige Transitionswege zu entdecken. Wie die Potenzialbedingte räumliche Diffusion aussieht und welche Entwicklungspfade sich daraus ableiten lassen, gibt Aufschluss darüber, wie eine allfällige Transition zum neuen Paradigma *dez* Abwassertechnologie in der Schweiz aussehen könnte.

Gerade die Disziplin der Geografie bietet mit ihren Geografischen Informationssystemen (GIS) gute Werkzeuge und Methoden, Entwicklungen im Siedlung- und Abwasserinfrastrukturbereich räumlich zu analysieren und kann dadurch einen Beitrag leisten für eine nachhaltigere Abwasserentsorgung.

## 1.2 Allgemeine Fragestellung & Zielsetzung

In der Schweiz kommt das zentralisierte *AbwSys* in eine kostspielige Phase der Sanierung und Erneuerung (MAURER & HERLYN 2006, 13). Die dadurch nötig werdende umfassende Erneuerungsphase im

Schweizer Siedlungsabwassersystem kann als günstiges Zeitfenster betrachtet werden, um mögliche Ansätze eines Systemwechsels anzudenken (MAURER & HERLYN 2006, 14). Für das Treffen von strategischen Investitionsentscheidungen sind aber Kenntnisse über nachhaltige Lösungsansätze von Nöten, resp. bedarf die Situation in der Schweiz u.a. einer Bewertung hinsichtlich der Frage nach der wirtschaftlichen Effektivität des heutigen *AbwSys* (SCHMIDTKE 2004, 111). Dazu gehört das Wissen um das heutige und zukünftige Marktpotenzial von alternativen, *dez* *AbwSys*. Das räumlich und zeitlich differenzierte Betrachten des Potenzials von *dez* Abwassertechnologien ist in der Schweiz wenig erforscht. Insbesondere fehlen Aussagen über das Potenzial bezüglich einer hohen räumlichen Auflösung. ADLER (2007) macht z.B. Aussagen zum Marktpotenzial für die ganze Schweiz ohne räumlichen Bezug. Oder auch BAUCHROWITZ (2010, 4) zeigt sehr allgemein auf globaler Ebene, welche Länder und Regionen potentiell interessant sein könnten für *dez* *AbwSys* (Abb. 1.1).<sup>2</sup>

Zum Potenzial gibt es sowohl inhaltliche als auch methodische Fragestellungen, da unklar ist, wie die Frage nach dem Marktpotenzial überhaupt untersucht werden kann. In dieser Arbeit werden daher methodische als auch inhaltliche Fragen angegangen: Die drei übergeordneten Forschungsfragen (FF1 - FF3) werden nach Einführung grundlegender Konzepte in *Abschnitt 4.7* spezifiziert werden.

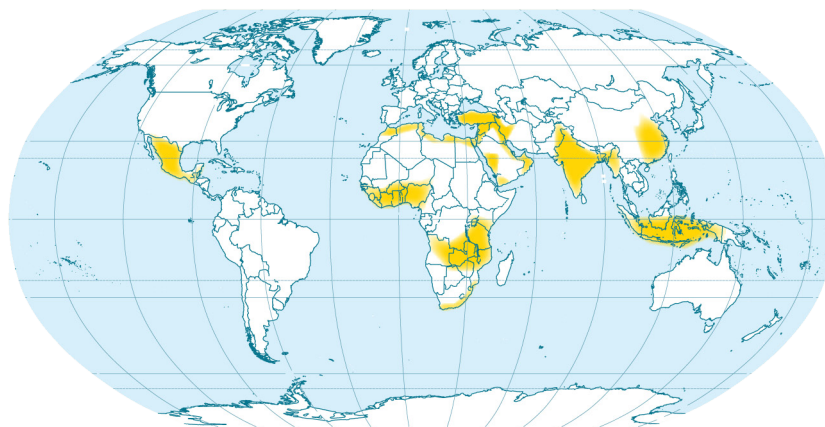


Abb. 1.1: Potentielle Einsatzgebiete für dezentrale Abwassersysteme (gelbe Markierung)

Quelle: BAUCHROWITZ (2010, 4)

2. Eine Schwierigkeit ist das Fehlen von abwasserspezifischen Kosten auf hoher Auflösung, was sich z.B. dadurch zeigt, dass in heutigen Arbeiten für die Schweiz fast ausschliesslich auf den Bericht von MAURER & HERLYN (2006) Bezug genommen wird. Dort werden gesamtschweizerische Kosten mithilfe einer Hochrechnung auf Ebene der Gemeinden vorgenommen. Auch das BUWAL (2003) hat nur Daten auf kantonaler Ebene zusammengetragen, die wiederum auf kommunalen Erhebungen basieren.

**Forschungsfrage 1 (FF1):** *Wie gross ist das heutige und zukünftige Marktpotenzial dezentraler Abwassersysteme, und welchen Rolle spielt die Schweizer Bevölkerungs- und Siedlungsentwicklung?*

Die Lokalisierung des heutigen und zukünftigen Marktpotenzials *dez AbwSys* soll für die Schweiz vorgenommen werden. Der Zusammenhang zwischen der Siedlungsstruktur und dem Kostenaufwand für zentrale Abwasserinfrastrukturanlagen soll auch gerade im Hinblick auf den räumlichen Einflussfaktor untersucht werden (BRAUMANN *et al.* 1988, 77).

**Forschungsfrage 2 (FF2):** *Was ist eine mögliche GIS-Methodik zur Bestimmung des Marktpotenzials?*

Das Marktpotenzial soll auf einer räumlich höher aufgelösten Ebene analysiert werden, als dies bisher

unternommen wurde. Dies stellt methodisch eine Herausforderung dar, da die meisten statistischen Daten auf einer höheren Aggregationsstufe erhoben werden oder nicht vorhanden sind. Ziel ist das Erarbeiten einer GIS-Methodik, die eine solche räumliche Untersuchung auf einer Meso-Ebene für die Schweiz ermöglicht. Weiter muss die Methodik auf andere Räume übertragbar sein mit einer analogen Datenlage.

**Forschungsfrage 3 (FF3):** *Welche räumlichen Diffusionspfade sind bei der Nachhaltigkeits-Transition zu dezentralen Abwassertechnologien denkbar?*

Ziel soll sein, auf Basis der Resultate von *FF1* Rückschlüsse auf mögliche Entwicklungspfade der Diffusion *dez AbwSys* zu ziehen. Diese Frage soll im Hinblick auf hindernde Faktoren einer Nachhaltigkeits-Transition für den Abwassersektor im allgemeinen und speziell für die Schweiz beantwortet werden.



## 2 Nachhaltigkeits-Transition

*In diesem Kapitel wird erläutert, was unter einer Nachhaltigkeits-Transition zu verstehen ist und die Arbeit wird konzeptionell eingebettet. Dabei werden wichtige Begriffe der Transitionsforschung eingeführt, das Mehrebenenmodell in Kürze erläutert und die Kritik der Geographies of Transition an der heutigen Transitionsforschung aufgenommen.*

### 2.1 Was ist eine Nachhaltigkeits-Transition?

Es ist keine neue Erkenntnis, dass viele menschliche Aktivitäten nicht nachhaltig<sup>3</sup> sind und Folgen heutiger Entwicklungstrajektorien zukünftige Probleme bereiten werden (*inter alia* MEADOWS *et al.* 1972). Heute wird daher in vielen wissenschaftlichen Disziplinen versucht, diese Folgen aufzuzeigen, und als Reaktion darauf werden in diversen Bereichen Nachhaltigkeitsziele formuliert. Beispiele dafür finden sich im Landwirtschafts-, Transport-, Wasser- oder Energiesektor. Hinter dem Formulieren solcher Ziele steckt die Erkenntnis, dass für eine nachhaltige Entwicklung die heutigen Systeme zur Erfüllung unserer gesellschaftlichen Bedürfnisse einer Veränderung bedürfen. Das Bewusstsein, dass dies Systeme in der Vergangenheit nicht immer gleich funktioniert haben, hilft darauf hinzuweisen, dass die heutigen Systeme sich ebenfalls verändern werden (DE HAAN & ROTMANS 2011, 90).

Die Art und Weise, wie sich diese Systeme verändern, sieht im Einzelfall unterschiedlich aus. Im Folgenden werden zur Veranschaulichung ein paar häufig zitierte Beispiele solcher Systemwechsel erwähnt:

GEELS (2002, 2005, 2006) erläutert in mehreren Fallstudien solche Systemwechsel. Als ein fundamentaler Wechsel gilt der Wechsel der Fortbewe-

gungsart in der Schifffahrt im 18. Jahrhundert von den Segel- hin zu Dampfschiffen. Ein weiteres Beispiel ist der Wechsel von der Pferdekutsche als dem hauptsächlichsten Fortbewegungsmittel zum Automobil Ende des 19. und anfangs des 20. Jahrhunderts im amerikanischen urbanen Passagiertransport. Ein für diese Arbeit besonders interessanter Wechsel ist jener von der Senkgrube zum leitungs-basierten *AbwSys*. Aus der Fülle weiterer Beispiele sei der Wechsel in der Stromproduktion von den Kohle- zu den Atomkraftwerken, der Wechsel vom Propeller- zum Düsenantrieb im Flugverkehr oder der Wechsel von der Briefpost zum Rohrpostsystem bis hin zum E-Mail erwähnt.<sup>4</sup>

Bei solch fundamentalen Wechseln kann von einer sogenannten *Transition* gesprochen werden. Diese wird nach ROTMANS *et al.* (2001, 16) als gradueller, kontinuierlicher Wandel definiert, bei dem der strukturelle Charakter einer Gesellschaft transformiert wird. Grund für den inkrementellen Charakter der Durchsetzung einer Innovation sind *lock-in*<sup>5</sup> Mechanismen und Pfadabhängigkeiten (GEELS 2012, 473). Bei einer Transition führen also neue Strukturen, Kulturen und Praktiken dazu, dass die Art und Weise, wie ein bestehendes System funktioniert, verändert wird (DE HAAN & ROTMANS 2001, 92).<sup>6</sup> Die unterschiedlichen Charakteristika verschiedener Transitionen ermöglicht es den Autoren, eine Typologie möglicher Transitionspfade aufzuzeigen.

3. Für eine Diskussion um den umfassenden Begriff der Nachhaltigkeit wird auf WÄCHTER (2009) verwiesen.

4. Für weitere Beispiele siehe u.a. GEELS (2012).

5. ARTHUR (1989, 117 & 128) zeigt in seinem dynamischen Ansatz der Betrachtung des technologischen lock-in-Effekts, dass aufstrebende Technologien bei zunehmenden Erträgen durch deren Verbreitung sich graduell "festfahren", resp. die dominierende Wahl verschiedener Akteure sind. Dieser Effekt tritt ein, obwohl technologische Alternativen möglicherweise besser wären. Eine wichtige Rolle spielen bei diesem Effekt historische Ereignisse, die die Durchsetzung beeinflussen kann. Dabei können sogenannte Gründereffekte auftreten.

6. Die Autoren verstehen unter dem Begriff der Strukturen formelle, ökonomische oder gesetzliche Aspekte. Bei dem Begriff der Kulturen stehen kognitive, diskursive, normative oder ideologische Aspekte im Vordergrund. Beispiele für Praktiken sind Routinen, Gewohnheiten etc. denen Akteure folgen, damit ein System aufrecht erhalten wird.

Die vorher erwähnten Beispiele von Transitionen fanden nur teilweise unter dem normativen Anspruch einer nachhaltigeren Entwicklung statt und unterscheiden sich dadurch von sogenannten *Nachhaltigkeits-Transitionen* (eng *Sustainability Transitions*), die MARKARD *et al.* (2012, 956) wie folgt definieren:

«Sustainability transitions are long-term, multi-dimensional, and fundamental transformation processes through which established socio-technical systems shift to more sustainable modes of production and consumption.»

TRUFFER & COENEN (2012, 3 *ff.*) fassen die an der Nachhaltigkeit orientierte Forschung zu technologischen Entstehungs- und Transformationsprozessen und der Forschung zu Innovationen im Nachhaltigkeitskontext unter dem Begriff der Nachhaltigkeits-Transition zusammen. Klassische aktuelle Beispiele, bei denen von Nachhaltigkeits-Transitionen gesprochen werden kann, sind nach oben stehender Definitionen Transitionen hin zu CO<sub>2</sub>-sparsamen, alternativen Transportsystemen (e.g. GEELS 2012) oder alternativen, umweltverträglicheren Energiesystemen. Dabei ist anzumerken, dass obwohl heute in vielen Fällen die ökologische oder soziale Komponente bei Problemen hervorgehoben wird, ebenfalls dringende ökonomische Herausforderungen bestehen (vgl. MARKARD *et al.* 2012).

## 2.2 Gemeinsamer konzeptioneller Rahmen verschiedener Ansätze

Es gibt eine Vielfalt an relevanten konzeptionellen Ansätzen, die Eigenschaften von Transitionen zu erklären versuchen und sich mit Nachhaltigkeits-Transitionen beschäftigen. MARKARD *et al.* (2012, 957 *ff.*) identifizieren deren vier: das *Transition Management*, das *Strategic Niche Management*, die *Multi-level Perspective* (MLP) und das *Technological Innovation System*. Diese Ansätze haben Gemeinsamkeiten: Alle untersuchen Innovationen (Abschnitt 2.2.1), legen den Fokus

nicht allein auf die Technologie (Abschnitt 2.2.2), benutzen Nischenkonzepte (Abschnitt 2.3.3) und berücksichtigen Barrieren der Technologiediffusion (Abschnitt 2.2.3).

Dies ist nicht der Ort einer eingehenden Betrachtung aller einzelnen Ansätze und es wird dementsprechend auf die Literatur verwiesen.<sup>7</sup> Stellvertretend wird die MLP mit ihren zugrunde liegenden Begrifflichkeiten kurz vorgestellt. Zur Erläuterungen spezifischer Barrieren wird insbesondere auf die erwähnten Barrieren von KEMP *et al.* (1998, 117) eingegangen. Grund dafür ist, dass das von den Autoren eingeführte *Strategic Niche Management* für diese Arbeit besonders passend scheint.

### 2.2.1 Innovation

Bei Nachhaltigkeits-Transitionen spielen umweltrelevante Innovationen, die technologischer, organisatorischer oder auch institutioneller Art sein können, eine wichtige Rolle (VAN DEN BERGH *et al.* 2011, 4). VAN DEN BERGH *et al.* (2011) sehen den Hauptunterschied zwischen einer umweltrelevanten- und einer regulären Innovation im Vorhandensein eines dringend einer Lösung bedürftigen Umweltproblems. Typisch für diese Umweltprobleme ist das Vorhandensein von externen Kosten, Kosten also, die nicht von privaten Verursachern der Verschmutzung bezahlt werden.

BUNNELL & COE (2001, 570) teilen die Ansicht, dass das Verständnis von Innovationen über den technologischen Bereich hinaus geht und stimmen COOKE & MORGAN (1998) im Folgenden zu:

«innovation should be seen in the Schumpeterian ... sense as any change (however incremental) to products, processes or organizational forms, and is to be understood in terms of systems. Thus, innovation is enacted through webs of social relations, rather than isolated events associated with heroic scientists or entrepreneurs.»

Für diese Arbeit soll für Innovationen ebenfalls die oben stehende Definition gelten, mit dem Unterschied, dass die Rolle der «scientists» nicht unterschätzt wird, da neue Technologien Teil der Grund-

7. *inter alia* MARKARD *et al.* (2012) oder TRUFFER & COENEN (2012)



lage einer möglichen Transition darstellen, aber korrekterweise kaum den limitierenden Faktor darstellen (DAIGGER 2007, 678). Die vielen Beispiele nicht erfolgreicher, umweltfreundlicher Innovationen zeigen, dass der weit verbreiteten Annahme, dass Innovationen *per se* gut sind und eine einfache und billige Lösung darstellen, Umweltprobleme zu lösen, widersprochen werden muss (VAN DEN BERG *et al.* 2011, 4).

### 2.2.2 Sozio-technische Einbettung

Bei der Transitions-Forschung werden technologische Innovationen nicht losgelöst von ihrem Kontext betrachtet. Dies kommt dadurch zum Ausdruck, dass z.B. die Energieversorgung, die Wasserversorgung oder auch der Transportsektor als sozio-technische Systeme konzeptualisiert werden (MARKARD *et al.* 2012, 956). Bei dieser Betrachtung von Systemen rückt das Erfüllen sozialer Funktionen ins Zentrum des Interesses (GEELS 2004, 898). So sind auch bei der später erläuterten *Multi-level Perspective* (vgl. Abschnitt 2.3) technologische Innovationen in sozio-technische Regimes eingebettet (Markard & Truffer 2008, 604),<sup>8</sup> was hervorstreicht, dass wissenschaftliches Wissen, Ingenieurpraktiken und Technologien sozial eingebettet sind (MARKARD *et al.* 2012, 957). Auch beim *Strategic Niche Management* benutzen KEMP *et al.* (1998, 182), den Begriff des technologischen Regimes im breiteren Sinne einer sozialen Einbettung eines technologischen Paradigmas.

GEELS (2012, 471) fasst zusammen, dass beim sozio-technischen Ansatz Systeme als eine Konfiguration von verschiedenen Elementen konzeptualisiert werden: Diese können technologischer, wissenschaftlicher, politischer, kultureller und infrastruktureller Art sein oder die Märkte und das Konsumverhalten betreffen. Das alleinige Begründen von Transitionen aufgrund verbesserter Ingenieurleistungen greift in diesem Verständnis folglich zu kurz. Technologische Trajektorien werden also nicht nur von Ingenieuren beeinflusst, sondern auch von Verbrauchern, Politikern, Wissenschaftlern, Banken, Lieferanten *etc.* (GEELS 2002, 1260).

### 2.2.3 Barrieren

Stabilisierende oder hindernde Faktoren einer Nachhaltigkeits-Transition können sich aufgrund verschiedener institutioneller, politischer oder ökonomischer Voraussetzungen im Raum differenzieren. D.h., dass sich Elemente sozio-technischer Konfigurationen über den Raum ausbreiten, und indem sie dies tun, schaffen sie Spannungen und Barrieren für die technologische Entwicklung (TRUFFER & COENEN 2012, 10). Im Zusammenhang mit Nachhaltigkeits-Transitionen sind Barrieren Faktoren, die die Entwicklung und den Gebrauch neuer Technologien beeinflussen, resp. diese behindern (KEMP *et al.* 1998, 177). Für das Verstehen der Entwicklung und Diffusion einer Technologie müssen folglich Barrieren für die jeweilige Technologie berücksichtigt werden.

KEMP *et al.* (1998) erstellen eine nicht abschließende Kategorisierung verschiedener Faktoren, die als Barrieren wirken können (Tab. 2.1).

## 2.3 Mehrebenenmodell (MLP)

Beim Mehrebenenmodell (*eng. Multi-level Perspective MLP*) werden technologische Transitionen durch Prozesse auf drei konzeptionellen Ebenen (*eng. levels*) erklärt: der Ebene der Nische, des Regimes und der Landschaft.<sup>8</sup> Diese Ebenen sind hierarchisch ineinander verschachtelt, d.h., dass Regimes in Landschaften und Nischen wiederum in Regimes eingebettet sind (GEELS 2002, 1261).

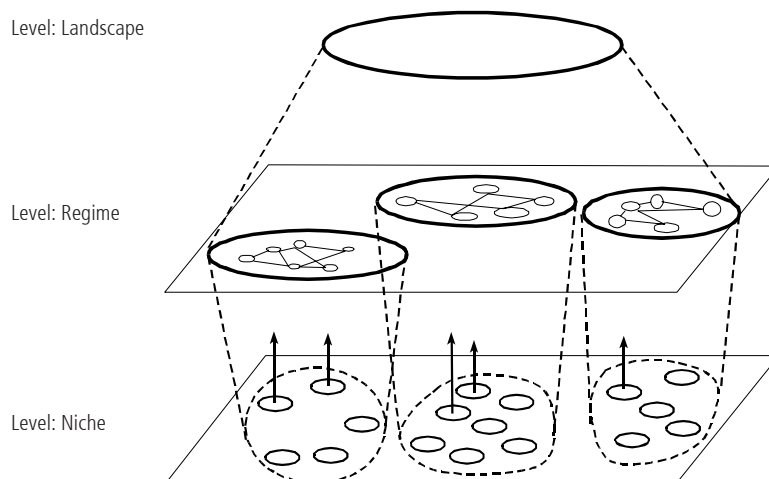
Bei der *MLP* werden Transitionen durch Wechselwirkungen von Prozessen auf verschiedenen Ebenen konzeptualisiert (VAN DEN BERGH *et al.* 2011, 10). Die wichtige Aussage des Mehrebenenmodells ist jene, dass der Erfolg einer neuen Technologie nicht nur durch Prozesse innerhalb der Nische bestimmt wird, sondern auch durch Entwicklungen auf der Ebene des existierenden Regimes und der Landschaft (GEELS 2002, 1261).

GEELS (2002, 1261) visualisiert die verschiedenen Ebenen in Abb. 2.1. Bei dieser häufig zitierten

8. Der Begriff des sozio-technischen Regimes wird von Autoren unterschiedlich verwendet, obwohl Einigung bei deren Charakteristika besteht (MARKARD & TRUFFER 2008, 604). Nach SMITH *et al.* (2010, 441) entspricht dieser Begriff z.B. dem des technologischen Regimes von GEELS (2002).

Kategorien	Erklärung
Technologische Faktoren <i>KEMP et al. (1998, 117)</i>	Eine Schwierigkeit bei der Einführung einer neuen Technologie ist, dass diese oft nicht in das existierende System passt. Eine neue Technologie kann auch zusätzliche Komponenten benötigen, die teuer oder nicht einfach zu bekommen sind. Ebenfalls problematisch ist, dass die neue Technologie nicht von einer breiten Masse getestet wurde und daher mögliche unvorhergesehene Design-Spezifikationen noch nicht vorgenommen wurden.
Regierungspolitik & rechtliche Rahmenbedingungen <i>KEMP et al. (1998, 178)</i>	Die Politik kann ebenfalls hinderlich sein für Innovationen und eine Barriere darstellen. Obwohl Regierungen sich oft dem Umweltschutz verpflichten, fehlt häufig eine klare Botschaft, dass überhaupt neue Technologien benötigt werden. Dies hat u.a. zur Folge, dass Investitionen in alternative Lösungen riskant und mit hohen Risiken verbunden sind.
Kulturelle & psychologische Faktoren <i>KEMP et al. (1998, 178)</i>	Die Unvertrautheit mit alternativen Technologien führt oft zu einer Skepsis im Vorherin, da die neue Technologie immer auf Grundlage der Charakteristika der heutigen dominanten Technologie beurteilt wird. Weiter kann ein System weitere Funktionen wahrnehmen (z.B. Funktion als Statussymbol), als nur die offensichtlichen und dadurch einen Wechsel zu einem anderen System erschweren.
Nachfragefaktoren <i>KEMP et al. (1998, 178)</i>	Diese Faktoren sind ökonomische Barrieren, die mit Risikoaversion, Zahlungswilligkeit und Benutzerpräferenzen zu tun haben. Zu diesen Faktoren zählen die Autoren ebenfalls die durch neue Systeme bedingte nötige Verhaltensveränderungen oder Leistungseinbußen. Der Preis ist dabei ein wichtiger Faktor, d.h. allenfalls höhere Kosten sind generell schwierig durchzusetzen.
Angebotsfaktoren (production factor) <i>KEMP et al. (1998, 178)</i>	<i>KEMP et al. (1998)</i> betonen, dass eine Investition in eine neue Technologie bedeuten kann, dass bereits getätigte Investitionen in existierende Systeme nicht mehr zurückgewonnen werden können ( <i>sunk investments</i> ). Diese können Investitionen in physische Infrastruktur oder auch Ausgaben in die Forschung und Entwicklung sein.
Infrastruktur & Unterhalt <i>KEMP et al. (1998, 180)</i>	Die Einführung alternativer Technologien kann eine Adaption der Infrastruktur bedingen.
Unerwünschte Sozial- & Umwelteffekte neuer Technologien <i>Kemp et al. (1998, 180)</i>	Neue Technologien können einige Probleme lösen, aber auch neue Probleme schaffen und unbeabsichtigte Folgen haben (Boomerang-Effekt). <i>VAN DEN BERGH et al. (2011, 4)</i> erwähnen weiter mögliche <i>rebound</i> -Effekte, die allfällige umweltrelevante Einsparungen wieder kompensieren.

**Tab. 2.1:** Kategorien verschiedener Barrieren nach *KEMP et al. (1998)*.



**Abb. 2.1:** Grafische Umsetzung des Mehrebenenmodell nach *GEELS*.

Quelle: *GEELS (2002, 1261)*

ten grafischen Visualisierung der verschiedenen Ebenen kann leider fälschlicherweise der Eindruck entstehen, dass diese Ebenen geografischer Natur sind, resp. verschiedene geografische Skalen darstellen. GEELS (2007, 401) konkretisiert, dass die verschiedenen Ebenen den Grad der Strukturierung von Aktivitäten lokaler Praktiken darstellen. COENEN *et al.* (2011, 14) betonen explizit, dass die Ebenen dies nicht sind, sondern vielmehr den Reifegrad eines technologischen Systems darstellen.<sup>9</sup>

### 2.3.1 Sozio-technische Landschaft

Die Landschaft repräsentiert Prozesse und Faktoren, die Regimes und Nischen beeinflussen, (MARKARD & TRUFFER 2012, 606), welche v.a. Druck auf vorherrschende Regime und folglich indirekt ebenfalls auf Nischen ausüben. Daraus können günstige Zeitfenster (*eng. windows of opportunities*) in Regimes resultieren, die es Nischen erlauben, sich durchzusetzen und zu einem fundamentalen Wechsel eines sozio-technischen Regimes beizutragen (MARKARD *et al.* 2012, 958). Nach GEELS (2002, 1260) fallen in diese Betrachtungsebene eine Reihe tiefgründiger struktureller Trends, wie beispielsweise der Ölpreis, Kriege, ökonomisches Wachstum, Migration, kulturelle und normative Werte oder auch Umweltprobleme. Die Auflistung zeigt, dass ein Wandel der Landschaft im Vergleich zum Wandel eines Regimes enorm langsam ist und es enorm schwierig ist, die Ebene der Landschaft zu verändern (*ibid.*).

### 2.3.2 Sozio-technische Regime

Die Transitions-Literatur benutzt das Konzept des sozio-technischen Regimes nicht kohärent, und die Definition ist derjenigen nahe eines sozio-technischen Systems (MARKARD & TRUFFER, 605, 608). Grundsätzlich ist das Regime auf der meso-Skala angeordnet, d.h. das Regime wird sowohl von übergeordneten Prozessen auf Ebene der Landschaft als auch von Prozessen auf Ebene der Nischen beeinflusst.

Eine sehr umfassende Definition eines technologi-

schen Regimes, die sowohl den paradigmatischen Rahmen von Ingenieuren als auch Systemelemente einer Technologie beinhaltet, geben HOOGMA *et al.* (2002, 19; *zitiert in*: MARKARD & Truffer 2008, 605) wieder:

«The definition [...] is: the whole complex of scientific knowledge, engineering practices, production process technologies, product characteristics, skills and procedures, established user needs, institutions and infrastructures.»

GEELS (2002, 1260) benutzt den Begriff des sozio-technischen Regimes für das halb zusammenhängende Regelwerk, welches von verschiedenen Akteuren getragen wird wie z.B. Ingenieuren, Benutzern, Politikern, sozialen Gruppen, Zulieferern, Wissenschaftlern etc. D.h. technologische Trajektorien werden nicht nur von Ingenieuren, sondern von all diesen verschiedenen Akteuren beeinflusst (GEELS (2002, 1260). Bezüglich der Rolle von Regimes im Innovationsprozess stellen MARKARD & TRUFFER (2008, 608) fest, dass Regimes inkrementelle Innovationen generieren, die sie stärken. Im Gegensatz dazu stehen radikale Innovationen in Nischen, die zu einer Destabilisierung und zu grundlegenden Veränderungen von Regimes führen können.

### 2.3.3 Nische

Der aus der Evolutionsbiologie stammende Begriff wird bereits seit langem in der Wirtschaftswissenschaft von der Evolutionsökonomie verwendet und kann nach HOOGMA *et al.* (2002, 4) wie folgt definiert werden:

«A niche can be defined as a discrete application domain (habitat) where actors are prepared to work with specific functionalities, accept such teething problems as higher costs, and are willing to invest in improvements of new technology and the development of new markets.»

9. Für eine gute Übersicht der verschiedenen Ebenen siehe MARKARD & TRUFFER (2008, 608).

Nischen sind also geschützte Räume, in denen Technologien auf ihr Design hin getestet werden und Anpassungen vorgenommen werden können (SCHOT & GEELS 2008, 539). MARKARD & TRUFFER (2008, 605) unterscheiden zwischen Marktnischen und technologischen Nischen: Die Marktnische entstand im Gegensatz zur technologischen Nische durch besondere<sup>10</sup> Selektionskriterien, aufgrund eines spezifischen Kontexts oder aufgrund spezifischer Konsumentenvorlieben, die sich vom regulären Regime unterscheiden (natürliche Anomalien). Die technologische Nische hingegen wurde bewusst durch Akteure spezifischer Institutionen geschaffen.

Historische Beispiele für Marktnischen von Technologien gibt viele: Für Dampfschiffe identifiziert GEELS (2002, 1263 ff.) eine erste solche Nische auf dem Hudson River 1807. Die erste grössere Nische sieht der Autor im späteren transatlantischen Passagiertransport. Ein weiteres Beispiel gibt SCHOT (1998, 193) mit der Beschreibung von Textilfabriken als Marktnische für Gaslampen. Für Nischenbeispiele des kanalisierten *AbwSys* identifiziert GEELS (2005, 376) am Beispiel der Niederlande die Städte Amsterdam und Den Helder Mitte des 18. Jahrhunderts.<sup>11</sup>

In der Transitions-Forschung wird Nischen grosse Aufmerksamkeit geschenkt, da dort radikal unterschiedliche Innovationen generiert werden (GEELS 2002, 1260) und viele wichtige Prozesse stattfinden, die erst eine grossflächige Transition ermöglichen. Da Nischenbildung aber nicht automatisch stattfindet, wenn eine neue Technologie auf den Markt kommt (SCHOT 1998, 194), wird die Frage nach der gezielten Förderung von Nischen aufgeworfen. So hat das *Strategic Niche Management* die Absicht, gezielt zeitlich limitierte technologische Nischen zu schaffen, in denen also nachhaltigere Technologien geschützt werden (KEMP *et al.* 1998, 185). Ein klassisches Beispiel dafür sind staatlich subventionierte Solartechnologien.

## 2.4 Geografie einer Nachhaltigkeits-Transition

Laut TRUFFER & COENEN (2012, 2) fehlt ein Forschungsansatz, bei dem die Zusammenhänge zwischen ökologischer Nachhaltigkeit, technologischer Entwicklung, Innovation, Märkten und Institution in Verknüpfung mit einer räumlichen Dimension einbezogen werden. Zudem stellen die Autoren fest, dass der Frage, in welcher Weise existierende sozio-technische Konfigurationen das Auftreten neuer Nachhaltigkeits-Transformationen hindern oder fördern, wenig Beachtung geschenkt wird. Stabilisierende als auch potentiell hindernde Vorbedingungen einer Nachhaltigkeits-Transition können sehr unregelmässig über den Raum verteilt sein (TRUFFER & COENEN 2012, 9). Daher greift die Betrachtung des räumlichen Kontextes als einer passiven Hintergrundvariable zu kurz (COENEN & TRUFFER 2012, 368).

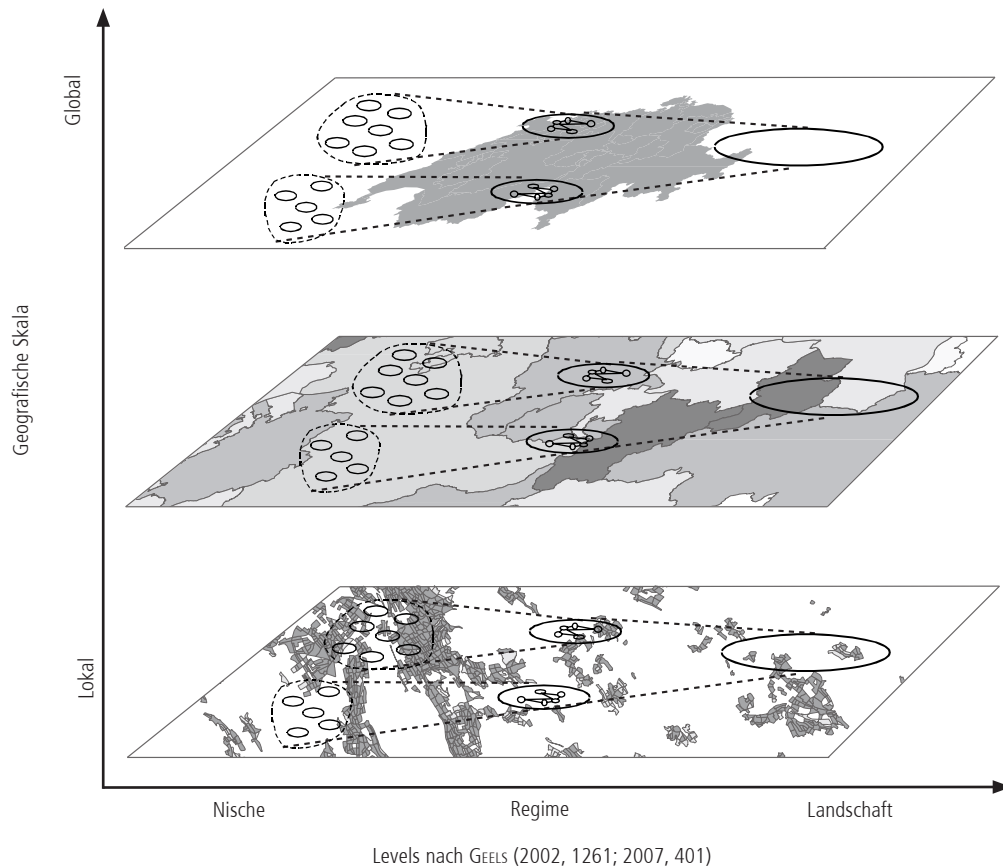
Das Fehlen einer räumlichen Charakterisierung von Transitionsprozessen und die ihr i.d.R. implizit zugrunde liegende Annahme, dass Strukturen sozio-technischer Systeme ungebunden (*footloose*) vom geografischen Ort sind, wird von den beiden Autoren als methodische Schwäche der Nachhaltigkeits-Transition-Forschung bezeichnet. Sie bemängeln am Gros der entsprechenden Literatur die Überbetonung der Ebene des Nationalstaats und kritisieren dessen räumliche Blindheit. So gibt es heute viele Orte, Städte oder auch Regionen, die sich darüber Gedanken machen, wie beispielsweise nachhaltigere Energie- oder *AbwSys* zu erreichen sind (SMITH *et al.* 2010, 443). Schlussendlich werden es v.a. private Akteure sein, die sich für oder gegen ein technologisch innovativeres System entscheiden werden, wodurch eine hochaufgelöste Untersuchung relevant wird, die diesem Umstand gerecht wird.

Die Rolle des geografischen Orts und die verschiedenen räumlichen Skalen in Transformationsprozessen werden i.d.R. nicht explizit angesprochen,<sup>12</sup>

10. D.h. die sich von den Kriterien des normalen Kontext unterscheiden.

11. Grund für die Einführung eines Kanalsystems waren ökonomische, nicht sanitäre Gründe: In den Hafenstädten war frisches Wasser wichtig für den Verkauf von Frischwasser für die Schifffahrt.

12. Für eine Ausnahme siehe BINZ & TRUFFER (2009).



**Abb. 2.2:** Grafische Umsetzung der Kritik von COENEN *et al.* (2011) auf das Modell von GEELS (2002, 1261).

und es wird kaum die Frage gestellt, wo und warum gerade dort eine Transition stattfindet (COENEN & TRUFFER 2012). Der Einbezug der Skala und des Ortes ist von grosser Wichtigkeit, da ein Phänomen auf verschiedenen geografischen Skalen sehr unterschiedlich aussehen kann, obwohl der gleiche Prozess zugrunde liegt (COENEN *et al.* 2011, 14). In diesem Sinne plädieren COENEN und TRUFFER nicht nur für eine sozio-technische, sondern auch für eine sozio-räumliche Einbettung von Transitionen und eine Betrachtung, bei der neue grüne Nischen und schlussendlich Regimes aus einem asymmetrischen Prozess regionaler Entwicklungen entspringen.<sup>13</sup> Abb. 2.2 versucht, die Multi-Skalarität mit den verschiedenen Ebenen der MLP in Verbindung zu bringen und deutet durch die Kartenelemente auf den einzelnen Skalen darauf hin, dass eine Transition nicht losgelöst vom geografischen Kontext analysiert werden kann.

Für die Disziplin Geografie, die eine differenzierte Betrachtung des Raums als eines ihrer Schlüsselkonzepte betrachtet (THRIFT 2003, 85), sollte die oben beschriebene Sichtweise auf Nachhaltigkeits-Transitionen selbstverständlich sein und hat auch eine lange Tradition. Bereits die von Von Thünen und später Christaller entwickelten Modelle betrachten den Raum als die wichtigste Erklärungsvariable, um Standortfragen zu beantworten und räumliche Muster zu erklären. Die bei solchen frühen Ansätzen vorherrschende räumlich deterministische Sicht ist aber überholt, und bei jedem neuen räumlichen Ansatz muss erneut vor einem räumlichen Determinismus gewarnt werden. Genau so wenig wie der in der Nachhaltigkeits-Transitions-Literatur kritisierte technologische Determinismus Innovationsprozesse erklärt, reicht eine alleinige Reduktion der Kausalitäten auf den Raum nicht aus, um die Komplexität einer Transition wiederzugeben.

<sup>13</sup> Die von TRUFFER & COENEN vorgeschlagene Geographies of Transitions befasst sich nicht nur mit der naiven Konzeptualisierung von Raum, sondern setzt ebenfalls einen Fokus auf die Rolle von Macht in Transitionsprozessen und plädiert für eine Skala sensitive Betrachtung.

## 2.5 Zwischenfazit

Über längere Zeitperioden hinweg dominieren spezifische Regime, die aber von Transitionsphasen unterbrochen werden (TRUFFER *et al.* 2010, 260). Bei einer historischen Langzeit-Betrachtung kann festgehalten werden, dass in bestimmten historischen Momenten technologische Paradigmen und Systeme durch radikal neue Innovationen ersetzt werden (KEMP 1994, 1033). Falls eine Transition hin zu nachhaltigeren Systemen geschieht, kann von einer Nachhaltigkeits-Transition gesprochen werden.

Eine Transition geschieht nicht ohne weiteres, da unterschiedliche Barrieren die Durchsetzung einer neuen Technologie erschweren, und ihr Auftauchen auf Kosten einer alten geht (GEELS 2005, 448). KEMP & VAN LENTE (2011, 122) beschreiben

treffend die (relativ späte) Einführung des leitungs-basierten *AbwSys* in den Niederlanden als einen Kampf zwischen Systemen. Dieser entsteht v.a. dadurch, dass alternative Systeme häufig teurer sind, Veränderungen der Benutzerpraktiken erfordern, nicht übereinstimmen mit existierenden Regulationen oder auch notwendige Infrastrukturen fehlen (GEELS 2012, 472).

Eine Möglichkeit der Analyse von Nachhaltigkeits-Transitionen bietet das Mehrebenenmodell. Charakteristisch für die Transitions-Forschung geht der *MLP*-Ansatz von einer sozio-technischen Einbettung aus und untersucht die Mechanismen einer Transition auf verschiedenen konzeptionellen Ebenen. Leider wird sowohl in der Transitions-Forschung als auch beim *MLP*-Ansatz der geographischen Einbettung und einer skalensensitiven Betrachtung zu wenig Wert beigemessen.

---

# 3 Nachhaltigkeits-Transition dezentraler Abwassersysteme

*Dieses Kapitel hat einerseits zum Ziel, die in Kapitel 2 eingeführten Konzepte spezifisch auf Abwassersysteme anzuwenden und andererseits das dafür notwendige Wissen zu Abwassersystemen zu vermitteln.*

## 3.1 Unterschiede der zentralen und dezentralen Abwasseraufbereitung

Die Behandlungsmöglichkeiten von Abwasser reichen von der grossen zentralen *ARA*, bis zur Behandlung von Abwasser auf dem eigenen Grundstück (*onsite-treatment-technologies OST*). Es gibt also verschiedene *AbwSys*, mit denen das Abwasser auf unterschiedliche Art und Weise aufbereitet wird. MAURER *et al.* (2012a, 53) definieren ein *AbwSys* als ein Set von Technologien, die zusammen menschliche Exkrememente vom Ausgangspunkt bis zur schlussendlichen Wiederverwendung oder Entsorgung behandeln. Da die Aufbereitung von Abwasser in mehreren funktionalen Stufen erfolgt und bei jedem Verfahrensschritt verschiedene Aufbereitungsmöglichkeiten existieren, sind viele unterschiedliche Varianten von *AbwSys* denkbar. MAURER *et al.* (2012a, 59) identifizieren als Beispiel dafür 4521 mögliche Systemvarianten, deren Anzahl jedoch auf dem tatsächlichen Markt kleiner ist. Die Unterscheidung zwischen *dez* und *zen AbwSys* stellt eine Möglichkeit dar, die grosse Anzahl dieser Systeme zu kategorisieren.

### 3.1.1 Zentrale Abwasseraufbereitung

Bei der zentralen Abwasseraufbereitung wird klassischerweise das Gemisch des Gelb-, Braun- und Grauwassers sämtlicher Gebäude eines Gebietes mithilfe einer Schwemmkanalisation einer *ARA* zugeführt (Abb. 3.1, I). Durch die zentrale Konzentration der Abwasseraufbereitung nehmen diese *ARAs* grosse Dimensionen an (TRUFFER *et al.* 2004, 3), und je nach Lage der Gebäude und der

vorhandenen Topografie wird dazu ein weitläufiges Kanalisationsnetz benötigt.

### 3.1.2 Dezentrale Abwasseraufbereitung

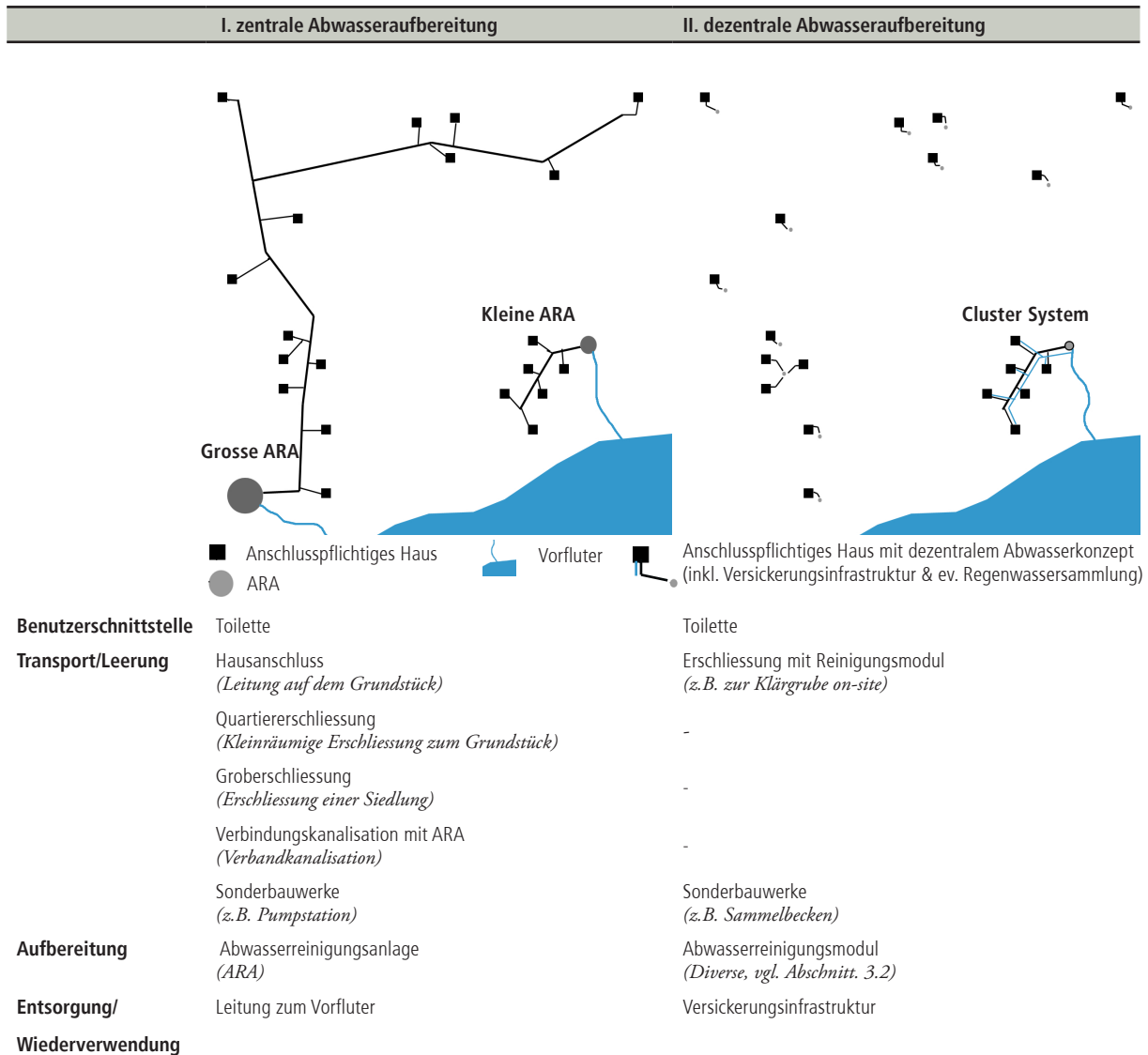
Eine häufig zitierte Definition der bei der *dez* Abwasseraufbereitung eingesetzten *AbwSys* stammt von CRITES & TCHOBANOGLIOUS (1998, 2):

«Decentralized wastewater systems collect, treat and reuse or dispose of wastewater at or near its point of generation.»

Der Zentralisationsgrad eines *AbwSys* zeigt, ob das Abwasser zentral an einer bis wenigen *ARAs* oder dezentral in vielen *ARAs* aufbereitet wird (TRUFFER *et al.* 2004, 3). Der in der oben stehenden Definition benutzte Begriff «near» ist aber unscharf, resp. ist die Distanz zwischen dem Ort, an dem das Abwasser anfällt, und dem Reinigungs- oder Entsorgungsort unklar. Der Zentralisationsgrad wird somit zur Skalenfrage und unterscheidet sich regional.

In dieser Arbeit wird davon ausgegangen, dass *dez AbwSys* für Einzelgebäude, Grundstücke oder auch Häusergruppen installiert werden können und als eigenständiges System montiert oder eine Integration in bereits installierte zentralisierte Systeme möglich ist (COOK *et al.* 2009, 1). In einer schematischen Abbildung der beiden *AbwSys* und dem Vergleich deren wichtigster Systemkomponenten, wird der nicht mehr benötigte Kanalisationsbedarf bei *dez AbwSys* ersichtlich (Abb. 3.1, II). Bei *dez*

<sup>14</sup> Das Sparpotenzial bei semi-dezentralen Konzepten wird in dieser Arbeit vernachlässigt. Auch fehlt in Abb. 3 die Option, dass Abwasser nur dezentral gesammelt und in einer *zen ARA* aufbereitet wird. Auch fehlen weitere Systeme, wie z.B. die Option, dass allein Gelbwasser *dez* gesammelt wird.



Quelle: Abbildungen in Anlehnung an EPA (2003, Fig. 1 – 4). Die Strukturierung der Prozesse eines *AbwSys* basiert auf MAURER *et al.* (2012, 4 Fig.2).

**Abb. 3.1:** Zentrales und dezentrales *AbwSys* im Vergleich (vgl. Systemabgrenzung ECOPLAN (2000, 24).

*OST* Systemen können Leitungsinfrastrukturen durch die *in situ* Abwasserbehandlung der einzelnen Gebäude gespart werden.<sup>14</sup> Es ist anzumerken, dass das Unterscheiden zwischen *dez* und *zen* *AbwSys* unscharf ist, v.a. beim Einbezug semi-zentraler Systeme oder beim Betrachten weiterer Kriterien, wie z.B. der Menge des behandelten Abwassers.<sup>15</sup> Eine dichotome Betrachtung der *AbwSys* macht wenig Sinn und die verschiedenen Systeme werden besser, wie bei PINKHAM *et al.* (2004, 5), als Kontinuum verstanden.

### 3.2 Varianten dezentraler Abwassersysteme

Dies ist nicht der Ort, einen umfassenden Überblick über alternative Konzepte und Technologien zu geben.<sup>16</sup> In dieser Arbeit stehen weder die Raffinessen der unterschiedlichen Technologien im Vordergrund, noch ist von Interesse, wie verschiedene Systeme im Detail funktionieren. Es wird nur eine kurze Charakterisierung unterschiedlicher Technologien vorgenommen.<sup>17</sup> Der rasche technologische Wandel führt ebenfalls dazu, dass

15. Ab welcher Grösse von einer dezentralen Anlage gesprochen wird, ist national unterschiedlich. BINZ (2008, 44) vergleicht diese z.B. zwischen China und der EU.

16. Für eine detailliertere Übersicht sei auf CRITES & TCHOBANOGLOUS (1998) verwiesen.

17. Die in der Schweiz meist verwendeten mechanisch-biologisch dezentralen Anlagentypen sind der *sequencing batch reactor* (SBR), Schilfplanzen-, Tropfkörper- oder Membrananlagen. Daher werden auch nur diese Systeme kurz vorgestellt.



immer wieder neue Systeme auftauchen und alte verschwinden. Die Wahl für ein bestimmtes *dez AbwSys* ist abhängig von der Art des Abwassers, von den Zufuhreigenschaften und weiteren Kriterien, wie dem Platzbedarf oder der Topografie. Bei einer Gegenüberstellung konventioneller und neuartiger *AbwSys* muss festgehalten werden, dass bei einzelnen technischen Komponenten Optimierungsbedarf hinsichtlich verschiedener Eigenschaften besteht, z.B. der Wartungsfreundlichkeit oder der Betriebssicherheit (HERBST 2008, 87).

### 3.2.1 Eigenschaften neuartiger *AbwSys*

Nebst der Eigenschaft, dass *dez AbwSys* sich durch einen hohen Grad der Dezentralisation auszeichnen, kommt dereren separaten Behandlung, der Wiederverwertung und dem Versickern von Regenwasser grosse Bedeutung zu. Auch das Trennen verschiedener Stoffströme ist in vielen Fällen Bestandteil alternativer Abwasserkonzepte. Ein Beispiel dafür ist die Urinseparierung, bei der das Absondern des Gelbwassers in einer Diversions-Toilette vorgenommen wird (Abb. 3.2).

Im Abwasser stammen 80% des Stickstoffs und 50% des Phosphors vom Urin, obwohl dieser weniger als 1% des Abwasservolumens ausmacht. Dies bildet die argumentative Grundlage für diese Separierung (LARSEN & LIENERT 2007, 4). Die global limitierten Phosphorreserven lassen durch das separate Sammeln des Urins der möglichen Wiederverwertung von Urin als Düngerressource grosse Bedeutung zukommen (MITCHELL *et al.* 2010, 89). Zwar demonstrieren ETTER *et al.* (2011) im nepalesischen Kontext, dass aufgrund der heutigen Düngerpreise ein solches Vorgehen (noch) nicht rentiert. Trotzdem zeigen solche Studien in potentiellen Märkten, dass eine Phosphatrückgewinnung über Struvitausfällung eine technisch denkbare Lösung darstellt.

Bezüglich der bei diesem System benötigten Leitungsinfrastruktur muss festgehalten werden, dass das Gelbwasser entweder in einer separaten Leitung zur *ARA* transportiert werden muss oder einer



Abb. 3.2: Beispiel einer Diversions-Toilette

Foto: EAWAG

Abholung *on-site* bedarf. Das vollständige Verzicht auf umfangreichere Leitungsinfrastruktur ist nur möglich, falls die Urinseparierung mit *on-site* Lösungen für das Grau- und Schwarzwasser begleitet werden.<sup>18</sup> Somit ist die Stofftrennung *per se* in dieser Arbeit nicht als eigenes System zu betrachten. Grundsätzlich kann aber bei jedem System in einem ersten Schritt Urin separat gesammelt und verwertet werden.

### 3.2.2 Membranbelebungsreaktor (MBR)

Unter dem Begriff *MBR* werden alle Wasser- und Abwasserbehandlungsprozesse zusammengefasst, die eine permselektive Membran bei der biologischen Reinigung integrieren (JUDD 2011, 1). Bei dieser Technologie passiert ein Teil des Abwassers unter Anwendung von Druck eine Polymer- oder Keramikmembran. Je kleiner die Membranporen sind, desto mehr Energie wird dafür benötigt. Die bei der Membrantechnologie eingesetzten Trennprozesse können je nach Filterungsgrad in Nano-, Ultra- und Mikrofiltration eingeteilt werden, wobei die Zusammensetzung des Permeats durch die Membran-Porengrosse des Filters vorbestimmt wird (JUDD 2011, 55 ff.). Dezentrale Anlagen mit Membrantechnologie können als komplettes System dezentral resp. *on-site* realisiert werden.<sup>19</sup> Es besteht aber ebenfalls die Möglichkeit, bei alternativen Systemen, ein nachgeschaltetes Membranmodul zu installieren.

18. Dies ist ein generelles Problem bei Annahmen zu Kosten dezentraler Systeme, da nicht klar ist, wie stark die bereits gebauten Abwasserleitungen noch benötigt werden.

19. Wobei bei diesen Systemen ebenfalls periodisch Rückstände abgeführt werden müssen.

### 3.2.3 Sequentiell betriebener Chargenreaktor (SBR)

Die sequentielle biologische Reinigung (SBR) unterscheidet sich vom konventionellen Belebtschlammverfahren durch die zeitliche, anstelle der räumlichen Trennung der biologischen Prozesse; d.h. beim SBR-Verfahren finden die Prozessschritte der biologischen Reinigung in einer zeitlichen Abfolge statt und nicht in getrennten Reaktionsräumen. Der Prozessablauf eines SBR gliedert sich in die Füll-, Reaktions-, Sedimentations- und Entleerungsphase (GÖRNER & HÜBNER 2002, 145).

Abb. 3.3 erlaubt einen schematischen Vergleich der MBR und SBR mit der konventionellen biologischen Abwasserbehandlung.

### 3.2.4 Tropfkörperanlage

Bei der Tropfkörperanlage geschieht die biologische Abwasserreinigung in einem Tropfkörper und einem Nachklärbecken, wobei der Einbau einer Einbehälteranlage möglich ist. Der Tropfkörper ist ein mit grobem Füllstoff (z.B. Lavaschlacke) gefüllter Behälter (ARABERN 2012).

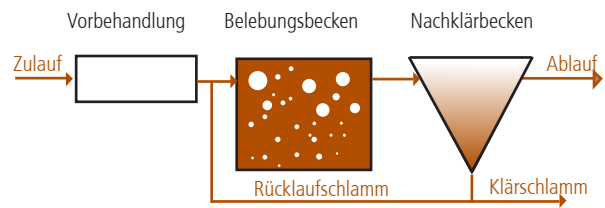
### 3.2.5 Pflanzenkläranlagen

Bei Pflanzenkläranlagen wird das Abwasser mit natürlichen Pflanzen-Filtersystemen geklärt (SVBP 2012). Abwasser fließt nach dem Durchqueren eines Rechens stufenweise in mit Sumpfpflanzen bepflanzte Anlagen und wird durch Mikroorganismen und Kies/Sandfilter gereinigt (WASSER WISSEN 2012).

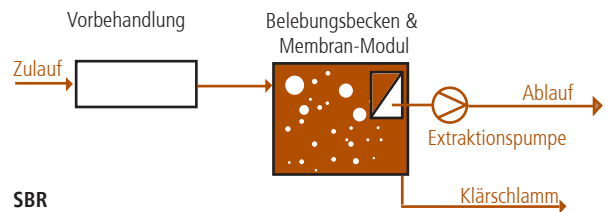
## 3.3 Barrieren einer erfolgreichen Diffusion eines Abwassersystems

Spezifisch für die Einführung von dez AbwSys, gibt Ho (2005, 16) in Tab. 3.1 eine einfache Unterteilung möglicher hindernder Faktoren in ökonomi-

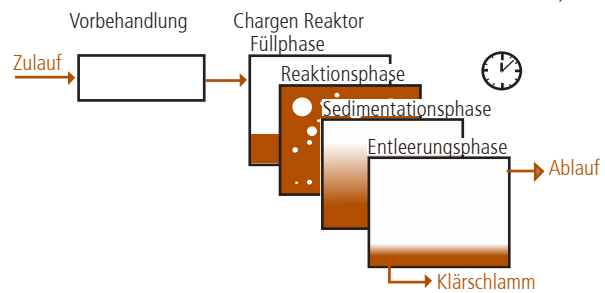
#### Konventionelle biologischen Behandlung



#### MBR



#### SBR



Quelle: In Anlehnung an WASTEWATER ENGINEERING GROUP (2007)

Abb. 3.3: Schematische Skizze der verschiedenen AbwSys

sche Faktoren, umweltrelevante Faktoren und soziale Faktoren wieder. Diese Einteilung mag dazu dienen, einen ersten Überblick zu bekommen, wobei eine erweiterte Unterteilung z.B. nach KEMP *et al.* (1998) in Kapitel 2 ein vertieftes Verständnis ermöglicht. Viele der von KEMP *et al.* (1998) definierten Faktoren, die der Einführung alternativer Technologien hinderlich sind, müssen aber für das für die vorliegenden Arbeit wichtige netzbasierter *AbwSys* konkretisiert werden:

#### ▪ Technologische Faktoren

Das Problem der Beschaffung und Verwendung zusätzlicher Technologien unterscheidet sich je nach *dez AbwSys*. Im Falle des MBR-Verfahrens muss den zusätzlich zu den Tanks benötigten Membranmodulen, die zum Filtern des Abwas-

Ökonomische Faktoren	Umweltrelevante Faktoren	Soziale Faktoren
Bevölkerungsdichte	Schutz der Umweltqualität	Schutz der öffentlichen Gesundheit
Ort	Sparen von Ressourcen (inkl. Energie)	Komfort
Effizienz der Technologie	Wasser Wiederverwendung	Regierungspolitik und Regulationen
Investition	Nährstoff Rezyklierung	Siedlungsplanung
Betrieb und Unterhalt		

sers verwendet werden, besondere Beachtung geschenkt werden. Dabei muss geschaut werden, inwiefern deren Produktion technologische Herausforderungen darstellt. Das von KEMP *et al.* (1988, 177) beschriebene Problem, dass unvorhergesehene Design-Spezifikationen, die durch die Verwendung der Technologie durch die breite Masse nötig werden, ist unterschiedlich zu beurteilen: Einerseits gibt es bereits einige Erfahrungen mit *dez AbwSys*, die diese Unsicherheit reduzieren, andererseits mangelt es an Langzeiterfahrungen und Erfahrungen für Umsetzungen im grösseren Stil. Im Falle von alternativen Konzepten wie der Urinseparierung ist der oben erwähnte Faktor wahrscheinlich ausschlaggebender, da Veränderungen des neuen Systems bereits beim Toilettendesign beginnen.

▪ *Regierungspolitik & rechtliche Rahmenbedingungen*

Bei *AbwSys* kann das fehlende Verständnis heutiger Probleme und die in der Einleitung zitierte Ansicht, dass die heutigen Probleme im Abwasserbereich gelöst seien, Schuld sein für die mangelhaft geführte öffentliche Diskussion und die wenig förderlichen gesetzlichen Rahmenbedingungen. Dies hat zur Folge, dass auch in der Schweiz heutige alternative Ansätze für Investoren risikoreich bleiben. ODERMATT & WÄCHTER (2004, 248) kommen im Hinblick auf eine nachhaltige Entwicklung zum Fazit, dass radikale Veränderungen in der Schweiz gerade wegen institutionell-politischen Strukturen nicht möglich sind.

MARKARD (2011, 109) stellt grundsätzlich fest, dass netzbasierte Infrastruktursektoren durch einen hohen Regulationsgrad charakterisiert sind. Folglich ist die Beachtung rechtlicher Rahmenbedingungen bei *AbwSys* besonders relevant. Grund dafür mag die Angst sein, dass bei einem *dez AbwSys* die Funktionsfähigkeit und das Management der Abwasseraufbereitung nicht mehr gewährleistet sind. MASSOUD *et al.* (2009, 658) halten entgegen, dass auch bei *dez AbwSys* weiterhin ein zentralisiertes Management wichtig sein wird, aber für nicht sensitive Gebiete Bildungsprogramme für die Benutzer ausreichen, um einen sicheren Betrieb zu gewährleisten.

▪ *Kulturelle & Psychologische Faktoren*

KEMP *et al.* (1988 178) verdeutlichen im Falle von Autos, dass diese Technologie mehr ist als nur ein Fortbewegungsmittel, sondern eine Ikone und ein Statussymbol des modernen Lebensstils darstellt. Im Falle des *zen AbwSys* mag eine solche Wahrnehmung übertrieben sein, wobei jedoch festzustellen ist, dass gesellschaftlich das *zen Abw Sys* immer wieder als Errungenschaft der modernen Gesellschaft hervorgehoben wird und dementsprechend an diesem System festgehalten werden will.

Weiter wirken unterschiedliche Funktionsweisen des neuen Systems als Barrieren, die Skepsis im Vorhinein auslösen. Falls beispielsweise Urin getrennt gesammelt wird oder Abwasser direkt auf dem eigenen Grundstück gereinigt werden muss, kann das Skepsis auslösen und zu einer mangelnder Akzeptanz der neuen Technologie führen. MANKARD & TAPSUWAN (2011, 382) machen darauf aufmerksam, dass weiter die Risikowahrnehmung enorm wichtig ist für die Akzeptanz, folglich Gesundheitsbedenken im Falle von *dez AbwSys* kritische Barrieren darstellen.

▪ *Nachfragefaktoren*

Bei *dez AbwSys* gibt es wichtige ökonomische Barrieren: So haben neue *AbwSys* das Problem, dass aufgrund fehlender Massenproduktion noch relativ hohe Stückkosten bestehen (PINKHAM *et al.* 2004, 15). TRUFFER *et al.* (2012, 212) stellen ebenfalls dieses typische Problem fest, erwähnen aber zudem, dass ebenfalls Produktionskosten, Installationskosten, Unterhalts-, Betriebs- und Kontrollkosten erst mit einem grösseren Markt kleiner werden. PINKHAM (2004, 1) hält dem Kritikpunkt wegfallender Skaleneffekte aber entgegen, dass auch Grössennachteile (*diseconomies of scale*) bestehen und zuwenig verstanden werden wie z.B. die höheren Netzlängen bei grösseren *ARAs*. Eine weitere ökonomische Barriere ist, dass sich neue *AbwSys* bedingt behauptet haben, d.h. ein gewisses finanzielles Risiko getragen werden muss, da nicht sicher ist, welche allfälligen zukünftigen Kosten zusätzlich anfallen.

#### ▪ *Angebotsfaktoren*

Speziell für die netzbasierten *AbwSys* ist bei der Einführung neuer alternativer Systeme die lange Lebensdauer und die hohe Kapitalintensivität eine grosse Barriere (MARKARD 2011, 109), da diese bedeuten würde, dass das heutige *AbwSys* obsolet wird. Das Überwinden dieser heutigen technologischen *lock-in* Situation des urbanen Abwassermanagements stellt eine grosse Herausforderung dar (LIENERT & TOVE 2008, vgl. BATHOLT & GLÜCKLER 2003, 237).

#### ▪ *Infrastruktur & Unterhalt*

Falls ein alternatives *AbwSys* auf neue Infrastruktur angewiesen ist (z.B. neue Leitungstypen, Infrastruktur zum Einsammeln von Klärschlamm, Versickerungsinfrastruktur etc.), muss diese zuerst erstellt werden. Eine Innovation, die in bereits eingeschlagene technologische Pfade eingebettet werden kann, ist folglich weniger problematisch. So weist z.B. eine Nachrüstung einer ARA eine hohe Systemkompatibilität auf. Da i.d.R. solche Nachrüstungen bevorzugt werden, stärken diese weiter das Regime der zentralen Abwasserentsorgung.

#### ▪ *Unerwünschte Sozial- &*

##### *Umwelteffekte neuer Technologien*

Im Zusammenhang mit alternativen *AbwSys* werden je nach System unterschiedliche neue Probleme erwähnt (z.B. Geruchsprobleme, Lärm, Platzverbrauch...), die weiterer Forschung bedürfen und potentielle Barrieren darstellen. Auch können weitere Probleme auftreten, die bisher nicht beachtet wurden und haben über ebenfalls eine Barrierenwirkung aus.

### 3.4 Fokus der Arbeit

In der vorliegenden Arbeit werden *AbwSys* als sozio-technische Systeme verstanden. Aufgrund der vielen Möglichkeiten, eine Transition aus einer bestimmten Sichtweise zu untersuchen, werden für diese Arbeit aus verschiedenen Überlegungen drei Schwerpunkte gewählt:

TRUFFER *et al.* (2010, 259) sehen den Grund für das Vorhandensein eines starken sozio-technischen Regimes im urbanen Wassermanagement in dem

Umstand, dass dieses Management lange Zeit als ein nicht kontroverser ökonomischer Sektor betrachtet wurde. Die Arbeit fokussiert daher auf ökonomische Barrieren und trifft die vereinfachte Annahme, dass der Preis der bestimmende Faktor einer Nachhaltigkeits-Transition ist. Folglich wird v.a. ökonomisch argumentiert, was durch die vielfach betonte wichtige Rolle des Preises in der Transitions-Literatur begründet wird. So sehen auch KEMP *et al.* (1988, 179) den Preis als wichtigen Faktor oder VAN DEN BERGH *et al.* (2011, 5) beschreiben treffend das häufige Problem, dass alternative Technologien zwar i.d.R. denselben Service bieten wie die weniger umweltfreundliche existierende Technologie, dafür aber teurer sind. MANKAD & TAPUSWAN (2011, 388) schreiben, dass insgesamt die wichtigsten wirtschaftlichen Treiber für die Akzeptanz die Investitionskosten und die Kosteneffizienz sind.

Bei der Einführung des *zen AbwSys* mag das Abführen menschlicher Exkremente zur Verhinderung von Krankheiten ausschlaggebend gewesen sein, und ökonomische Überlegungen weniger eine Rolle gespielt haben (HO 2005, 17). Dies hat sich heute verändert und so stellen sich z.B. SCHALCHER *et al.* (2011, 14) für die Schweiz die Frage nach der «Tragbarkeit der enormen finanziellen Aufwendungen für die Erneuerung und Erweiterung der technischen Infrastruktur».

Der zweite Fokus wird auf die erwähnte Kritik der Transitions-Forschung gelegt. In dieser Arbeit wird Wert gelegt auf eine geografische Perspektive, bei der das Potenzial auf unterschiedlichen geografischen Skalen betrachtet wird: SCHILLER (2010, 55) schreibt, dass Fragen der Transformation alternativer *AbwSys* v.a. von der aktuellen räumlichen Ausdifferenzierung der Nachfrage getrieben sind. Die dieser Arbeit zugrunde liegende Einschränkung, dass die Nachfrage nach *dez AbwSys* allein von den Kosten abhängt, ermöglicht einen Kostenvergleich mit dem heutigen *zen AbwSys*. Diese Kosten stehen aufgrund der Aufwendungen für die Erschliessungsinfrastruktur in starker Abhängigkeit zur geografischen Lage. Natürlich kann die nicht homogene Verteilung dieser Nachfrage nach alternativen *AbwSys* weitere Ursachen haben. Regional unterschiedliche Gesetzgebungen, Wahrnehmungen

gen oder auch unterschiedliche ökologische Probleme oder Bedürfnisse können eine Rolle spielen.

Drittens fokussiert diese Arbeit auf die Frage, wie überhaupt eine Nachhaltigkeits-Transition eines *dez AbwSys* methodisch beantwortet werden kann, unter Berücksichtigung eines konkreten Raumbezugs. Methodisch ist nicht klar, wie *GIS* in der Schweiz eingesetzt werden können, um das Potenzial von *dez AbwSys* zu eruieren.

### 3.5 Zwischenfazit

Abwasser kann mit unterschiedlichen *AbwSys* behandelt werden, welche sich in *zen* und *dez* System unterteilen lassen. Der in dieser Arbeit entscheidende Unterschied der *dez* und *zen AbwSys* ist das benötigte Leitungsnetzwerk: Alternative *dez AbwSys* wie Pflanzenkläranlagen, der *SBR* oder

der *MBR*, erlauben bis zu einem gewissen Grad den Verzicht auf ein grosses, flächendeckendes Abwasserleitungsnetzwerk.

Für eine erfolgreiche Durchsetzung eines *AbwSys* müssen diverse Barrieren überwunden werden. Bei der Diskussion der verschiedenen Barrieren kann resümiert werden, dass die am häufigsten eingebrachten Einwände gegen eine Einführung eines *dez AbwSys* dessen Funktionalität, Zuverlässigkeit und Kosteneffizienz betreffen (TRUFFER *et al.* 2012, 209).

Diese Arbeit konzentriert sich lediglich auf den Aspekt der Kosten, tut dies aber unter der Einnahme einer geografisch differenzierten Perspektive (*Geographies of Transition*). Schlussendlich wird ein Fokus auf das methodische Vorgehen gelegt, das erst erlaubt, Nachhaltigkeits-Transitionen räumlich explizit und differenziert für *dez AbwSys* zu studieren.



# 4 Potenzial dezentraler Abwassersysteme in der Schweiz

*Dieses Kapitel erläutert die Situation dezentraler Abwassersysteme in der Schweiz und zeigt, wie das Potenzial dieser Systeme mithilfe des Wiederbeschaffungswertes hergeleitet werden kann. Nach Darlegen der Grundlagen der Berechnung des Potenzials wird der Forschungsstand aufgezeigt und eine Konkretisierung der übergeordneten Forschungsfragen vorgenommen.*

## 4.1 Braucht es eine Nachhaltigkeits-Transition im Schweizer Abwassersektor?

HODSON & MARVIN (2010, 477) stellen spezifisch für den urbanisierten Kontext fest, dass der Druck auf das Management kritischer Infrastrukturen durch eine Reihe von neuen ökonomischen, ökologischen und institutionellen Restriktionen zugenommen hat. Auch das in dieser Arbeit im Zentrum stehende *zen AbwSys* in der Schweiz weist nach MAURER & HERLYN (2006, 13 ff.) folgende wichtige Nachhaltigkeitsdefizite auf:

- Die mit einer Schwemmkanalisation verbundenen ökologischen Nachteile erlauben nur ein ungenügendes Niveau im Gewässerschutz.
- Der Bau, Betrieb und Unterhalt des *zen AbwSys* sind kostenintensiv.
- Das bestehende System ermöglicht nur beschränkt ein Stoffstrommanagement (z.B. Recycling von Wertstoffen).
- Die zum Teil sehr kleinräumig organisierte Abwasserentsorgung weist gewichtige Nachteile auf z.B. beim Definieren einer abgestimmten Strategie oder einer kosteneffizienten Betriebsführung.

Trotz technischen Herausforderungen sind viele der heutigen Probleme in Infrastruktursystemen nicht-technischer Natur (MARKARD 2011), wie auch der letzte oben erwähnte Punkt aufzeigt. Die aufgezeigten Herausforderungen legitimieren die intensive Auseinandersetzung mit einer Nachhaltigkeits-Transition in der Schweiz. Es stellt sich die Frage, inwiefern heutige *AbwSys* optimiert werden können, und ob diver-

se zentral organisierte Systeme nicht mindestens teilweise dezentral reorganisiert werden sollten. Dies betrifft nicht nur *AbwSys*, sondern es finden analoge Überlegungen statt bei weiteren netzgebundenen Infrastrukturen, wie bspw. der Energieversorgung.

## 4.2 Situation von dez AbwSys in der Schweiz

### 4.2.1 Markt

Vor der Einführung zentraler Kläranlagen im letzten Jahrhundert war auch in der Schweiz die Abwasserentsorgung hauptsächlich dezentral organisiert. Heute ist aber im urbanen Kontext der industrialisierten Welt das zentralisierte Management von Abwasser zur Norm geworden (LIBRALATO 2012, 16). In der Schweizer Praxis wird ein *dez AbwSys* i.d.R. anhand der Grösse definiert: So werden Kleinkläranlagen häufig mit *dez AbwSys* gleichgesetzt. Die Erhebung der VSA (2005) zeigt, dass die Häufigkeit der bisher in der Schweiz eingesetzten mechanisch-biologischen Kleinkläranlagen kantonal unterschiedlich ist und sich bis zu einem gewissen Grad auch die geografischen Ausgangslagen zu deren Installation widerspiegelt (Abb. 4.1):

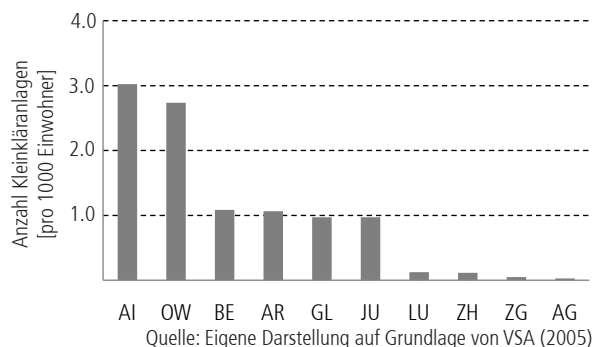


Abb. 4.1: Anzahl Kläranlagen im Vergleich.

In der öffentlichen Abwasserinfrastruktur spielen die schätzungsweise 3400 Kleinkläranlagen mit einer geschätzten Reinigungsleistung von 39'000 *EW* eine untergeordnete Rolle. Unter Annahme einer mittleren *EW*-Reinigung in der Schweiz von 10.4 Millionen *EW*, beträgt das Marktvolumen lediglich 0.4%.<sup>20</sup> In der Schweiz ist die dezentrale Abwassertechnologie folglich zur Nischenlösung verkommen und fällt kaum ins Gewicht (BAUCHROWITZ 2010, 1).<sup>21</sup>

#### 4.2.2 Zukünftige Entwicklung der Kosten

Die zukünftigen Kosten von *dez Abw* sind schwierig abzuschätzen, da es sich erst in Zukunft zeigen wird, wie lange die heutigen Systeme funktionieren und wie sich die weiteren sozio-technischen Eigenschaften verändern werden (z.B. technologische Entwicklungen oder gesellschaftliche Rahmenbedingungen).

Trotzdem lassen sich Tendenzen erkennen: Heute sind z.B. Kosten für die zukunftssträchtigen Membranmodule aufgrund des gesteigerten Wettbewerbs, besseren System-Designs und tieferen Herstellungskosten am Sinken (vgl. FANE & FANE 2005). Auf Basis von Interviews mit chinesischen Membranfiltrationsexperten stellt ADLER (2007, 42) fest, dass mithilfe von Standardisierungsprozessen, Massenproduktion, verbesserten Herstellungsmethoden etc. eine maximale Kostenreduktion von 10% für die Tanks, und 30% für die Membranmodule möglich ist. Weitere 10% Kostensparnisse liessen sich, ab einer Menge von 100'000 Stück, durch die Automatisierung der Produktion und durch einen effizienteren Betrieb realisieren (ADLER 2007, 50). Es ist anzumerken, dass kaum Äusserungen mit konkreten Zahlen zu finden sind, obwohl in der Literatur immer wieder betont wird, dass Skaleneffekte bestehen und dass die Kosten *dez AbwSys* vergleichbar sind.

Für die Schweiz gehen Experten von steigenden Abwasserentsorgung des *zen AbwSys* aus. Die Gründe dafür sind sanierungsbedürftige Kanalisationsnetze und zusätzliche Investitionskosten, verursacht durch Mikroverunreinigungen aus Gewerbe und Industrie (MOSER *et al.* 2009, 9).<sup>22</sup>

HERLYN (2007, 176) macht auf die regionalen Unterschiede des Zustandes der Infrastruktur aufmerksam: so weisen städtische Gebiete eher gereifte Infrastrukturen auf und ländliche Siedlungen profitierten bisher von geringeren Unterhalts- und Sanierungskosten. Somit unterscheiden sich zukünftige Kosten stark regional.

Ein weiterer Umstand ist, dass die in der Vergangenheit getätigten Investitionen im Abwassersektor weitgehend zinsfrei getätigt wurden und davon ausgegangen wird, dass in Zukunft Abwasserbetriebe höhere Zinsleistungen erbringen müssen (MAURER *et al.* 2012b, 119).

#### 4.2.3 Rechtliche Rahmenbedingungen

In der Schweiz obliegen die Behandlung und Beseitigung von Abwasser den Kantonen (VSA 2005, 4). Nach Art. 11 des Gewässerschutzgesetz (GSchG) herrscht innerhalb aller Bauzonen Anschlusspflicht an die Kanalisation. Ausserhalb der Bauzonen gilt diese ebenfalls, wenn mit besonderen Verfahren der Abwasserbeseitigung keine genügende Reinigungsleistung erreicht werden kann. Des Weiteren müssen alle Gebäude angeschlossen werden, falls der Anschluss zweckmässig<sup>23</sup> und zumutbar<sup>24</sup> ist. Aufgrund der im Einzelfall zu bestimmenden konkreten Kosten dieser Definition, ist es immer wieder die Aufgabe von Gerichtsinstanzen, über die Zweckmässigkeit und Zumutbarkeit zu entscheiden. Aufgrund kleinerer Budgets, in Kombination mit einer stärkeren Wahrnehmung dezentraler Alternativen, werden wohl in der Zukunft weitere Fälle vor Gericht ausdiskutiert werden.

20. Schätzungen basierend auf MAURER & HERLYN (2006).

21. In den USA haben im Vergleich dazu z.B. mehr als 60 Millionen Personen *dez AbwSys* installiert (CRITES & TCHOBANOGLOUS 1998, 3). Länder, in denen *dez AbwSys* im grösseren Stil installiert sind, sind z.B. Kanada, Australien oder Schweden.

22. Ein Beispiel dafür sind endokrine Stoffe aus Medikamenten.

23. Als "zweckmässig" schreibt die Gewässerschutzverordnung (GSchV, Art. 12) einen einwandfreien und mit normalem baulichem Aufwand erstellbaren Anschluss vor. Beispiele sind eine nahe Kanalisation oder der Fall, dass die Anschlussarbeiten problemlos durchgeführt werden können (VSA 2005, 5).

24. Als "zumutbar" wird keine wesentliche Überschreitung der Kosten des Anschlusses für vergleichbare Anschlüsse innerhalb der Bauzone definiert. Dieser liegt beispielsweise im Kanton Zürich für Wohnhäuser im Normalfall bei 7'540 CHF pro *EW*, kann aber bis zu 13'900 CHF pro *EW* betragen (AWEL 2011). Feste Werte können nicht bestimmt werden; in diversen Fällen wurde aber die Höhe von 2.5% des Schätzwertes der Gebäude als zumutbar angesehen (VSA 2005, 5).



Entscheide des Bundesgerichts zeigen die Situation in der Schweiz auf (*basierend auf der Zusammenstellung der Entscheide* Vsa 2005, 9):

Demnach beruht die Anschlusspflicht auf dem Lastgleichheitsprinzip, das zum Ziel hat, die finanzielle Belastung Einzelner durch eine möglichst hohe Anzahl von Anschlüssen an die öffentliche Kanalisation tragbar zu halten. Laut Bundesgericht reicht auch das Argument, dass alternative Varianten sogar bessere Lösungen bereitstellen können, nicht aus, um die Zweckmässigkeit eines Anschlusses anzufechten. Folglich gehen in der Schweiz Überlegungen zur Anschlusspflicht über eine rein technische Betrachtung hinaus (Vsa 2005, 4).

Die gesetzlichen Rahmenbedingungen sind aber nicht nur auf den Anschluss beschränkt: Sollte z.B. zukünftig für die Durchsetzung<sup>25</sup> eines *AbwSys* eine Struvit-Ausfällung ausschlaggebend sein, sind die gesetzlichen Rahmenbedingungen für die Weiterverwendung der Rückstände ein wichtiger Faktor (vgl. *ChemRRV*). Ebenso sind Vorschriften zur Versickerung von dezentral behandeltem Abwasser wichtig.

### 4.3 Herleitung und Berechnung des Marktpotenzials

#### 4.3.1 Potenzial und Wiederbeschaffungskosten

Dieser Abschnitt zeigt auf, wie das Marktpotenzial mithilfe des Wiederbeschaffungswertes (*WBW*) definiert wird. Der Abschätzung von Erstellungskosten bereits gebauter Abwasserinfrastruktur liegt in dieser Arbeit folglich der Begriff des *WBW* zugrunde. PETER (2009, 30) definiert diesen im Zusammenhang mit Infrastruktur wie folgt:

«Der *Wiederbeschaffungswert* entspricht den Kosten, die anfallen würden, wenn man die bestehende Umweltinfrastruktur heute neu erstellen müsste.»

Diese Definition wird übernommen, wobei der Begriff „Wiederbeschaffungskosten“ im selben Sinne gebraucht wird. Beim Begriff des *WBW* gilt die Annahme der identischen Reduplikation, die besagt, dass in diesem Fall die Abwasserinfrastruktur identisch wiederbeschafft werden kann (GABLER WIRTSCHAFTSLEXIKON 2012). Diese Annahme trifft für *AbwSys* nur teilweise zu, da sich die Gesetzesbestimmungen und Auflagen bezüglich der Anlagen und des Baus der Abwasserleitungen mit der Zeit verändern. Ebenfalls ist anzumerken, dass eine solche identische Anschaffung bei raschem technologischem Wandel nicht sinnvoll sein kann, sollten neue technologische Alternativen Vorzüge aufweisen. Analog zum Versicherungsjargon erscheint es sinnvoll, von funktionalen Wiederbeschaffungskosten zu sprechen, da mit dem Aufkommen von *dez AbwSys* dieselbe Funktionalität mit gleicher Effizienz mit nicht identischen Mitteln erreicht wird (IRMI ONLINE 2012).

Ein weiterer Begriff ist jener des *Marktpotenzials*: In GABLER WIRTSCHAFTSLEXIKON (2012B) wird Marktpotenzial als die Gesamtheit der möglichen Absatzmengen eines Marktes für ein bestimmtes Produkt definiert, also das Marktpotenzial bildet die Obergrenze des Marktvolumens. Da in der Schweiz ein Anschluss gesetzlich vorgeschrieben ist, wird davon ausgegangen, dass das Marktpotenzial dem Marktvolumen der in der Schweiz vorhandenen *AbwSys* entspricht, und somit der Markt völlig ausgeschöpft ist (*Formel 1*).<sup>26</sup>

$$\text{Marktpotenzial}_{\text{AbwSys}} \approx \text{Marktvolumen}_{\text{AbwSys}}$$

**Formel 1:** Annahme zum Marktpotenzial

Beim Marktpotenzial wird grundsätzlich zwischen dem Marktpotenzial für *dez AbwSys* (*Marktpot<sub>dezAbwSys</sub>*) und dem Marktpotenzial für *zen AbwSys* unterschieden (*Marktpot<sub>zenAbwSys</sub>*). Das Marktpotenzial für *AbwSys* kann wie folgt definiert werden (*Formel 2*):

$$\text{Marktpot}_{\text{AbwSys}} = \text{Marktpot}_{\text{dezAbwSys}} + \text{Marktpot}_{\text{zenAbwSys}}$$

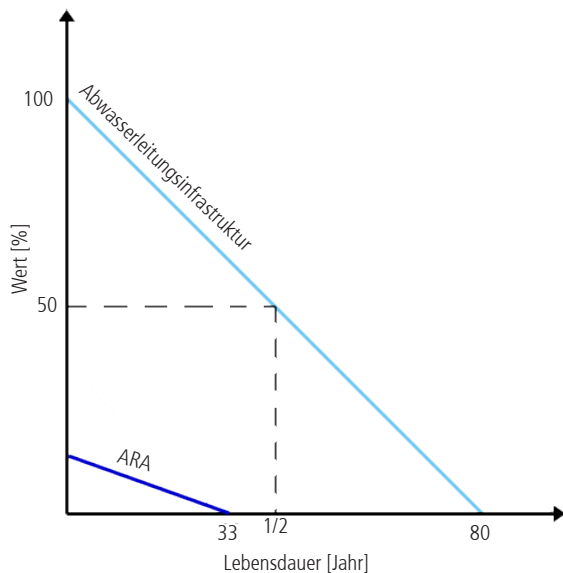
**Formel 2:** Segmentierung des Marktpotenzials

25. Z.B. aufgrund wirtschaftlicher Rendite durch die Problematik des Phosphor Peaks.

26. Diese Annahme scheint bei einem Schweizerischen Anschlussgrad von 97 Prozent als plausibel, wobei auch in der Schweiz regionale Unterschiede vorhanden sind.

Das Potenzial eines *dez* oder *zen* *AbwSys* wird schlussendlich als prozentualer Anteil der mit dem jeweiligen *AbwSys* erschlossenen Einwohner ausgedrückt. Aus dem Vergleich der jährlichen durchschnittlichen Infrastrukturaufwendungen, abgeschätzt mit den jeweiligen *WBW*, werden die prozentualen Anteile der Personen abgeleitet, die sich jeweils für eines der beiden Systeme entscheiden.

Die Berechnung des durchschnittlichen jährlichen Kostenaufwandes ist u.a. abhängig von deren Lebensdauer der Infrastruktur (oder deren Systemkomponenten), der Wahl des Abschreibungspfades und der Annahmen von Zinsen. Die in der Literatur häufig getroffenen Annahmen für die durchschnittliche Lebensdauer betragen für Abwasserleitungen 80 Jahre und für *ARAs* 33 Jahre. Die Wahl des Abschreibungspfades fällt analog zu PETER (2009, 30) auf den linearen Abschreibungspfad, da es sich um Infrastrukturen handelt, die über ihre Lebensdauer hinweg genutzt und danach ersetzt werden<sup>27</sup> (Abb. 4.2). Um Opportunitätskosten zu berücksichtigen, werden zukünftige Kosten auf das heutige Datum bezogen, indem auf Empfehlung des UVEK (2005) die Kosten mit einem minimalen Realzins von 2% diskontiert werden. Damit weiter die Kosten der verschiedenen Systeme



Quelle: Basierend auf PETER (2009, 28)

Abb. 4.2: Abschreibungspfade

miteinander einfach verglichen werden können, werden die jährlichen Kosten berechnet: Würden Inflation und Zins ignoriert, liessen sich konstante jährliche Investitionskosten zum Bau der Infrastrukturen nach *Formel 3* berechnen:

$$\text{Kalk. Abschreibungen} = \frac{\text{WBW}}{\text{Lebensdauer der Infrastruktur}}$$

**Formel 3:** Kalkulatorsiche Abschreibungen

Unter Berücksichtigung des Realzinses (oder der Diskontrate) werden Annuitäten nach *Formel 4* berechnet (GABLER WIRTSCHAFTSLEXIKON 2012D):

$$A = PV \cdot \frac{(r-1) \cdot r^n}{r^n - 1}$$

A = Annuität

r = 1 + Zinssatz

PV = Heutiger Wert [CHF]

n = Lebensdauer der Infrastruktur

**Formel 4:** Berechnung der Annuitäten

Zur Beurteilung des Potenzials interessiert also der Kostenunterschied der funktionalen Wiederbeschaffungskosten von *dez* *AbwSys* im Vergleich zu den Wiederbeschaffungskosten konventioneller *AbwSys*. Sind die *WBW* konventioneller *AbwSys* kleiner, wird davon ausgegangen, dass die davon betroffenen Akteure sich für *dez* *Sys* entscheiden. Dieses Vorgehen gleicht jenem zum Abschätzen der Zumutbarkeit eines Anschlusses an eine zentrale *ARA* nach dem Leitfaden des VSA (2005, B05). Dort werden die Investitionskosten der zu erstellenden Infrastruktur (Leitungsbau, Kontrollschächte etc.), mit den sog. zumutbaren Kosten pro *EW* verglichen. Falls die Investitionskosten grösser sind als die zumutbaren Kosten, kommt die Betrachtung alternativer Technologien in Frage.

MAURER & HERLYN (2006, 22) zeigen, dass die Abwasserentsorgungskosten pro Einwohner in Schweizer Gemeinden unterschiedlich ausfallen. Je nach Kosten der *dez* *AbwSys* im Vergleich zu den Kosten der bestehenden *zen* *AbwSys* lässt sich also

27. Die Annahme, dass eine Gesamtinvestition in jährlich gleiche Zahlungen eingeteilt werden kann, ist vereinfacht. So können beispielsweise Reparaturkosten jährlich sehr unterschiedlich ausfallen.

ein potentieller Markt ableiten. Die Frage nach dem Potenzial (*lat. potentia = Stärke, Macht*) von *dez AbwSys* ist also als Frage nach dem Durchsetzungsvermögen auf dem Markt in Relation zum *zen AbwSys* zu verstehen.

#### 4.3.2 Der Berechnung des Marktpotenzials zugrunde liegende Annahmen

In dieser Arbeit wird das theoretische Marktpotenzial berechnet. Damit ist gemeint, dass alle Faktoren, die im Einzelfall das Potenzial verkleinern, ignoriert werden. So müsste eigentlich berücksichtigt werden, dass in vielen konkreten Fällen zum jetzigen Zeitpunkt ein Systemwechsel z.B. aufgrund bereits getätigter Investitionskosten (*sunk costs*) einer *ARA* oder eines Kanalisation-Neubaus ökonomisch nicht sinnvoll ist. Daher wird nur ein «theoretisches» Marktpotenzial ermittelt.

Das Marktpotenzial von *dez AbwSys* wird in dieser Arbeit allein mithilfe der Betrachtung von Kosten hergeleitet (*vgl. Abschnitt 4.3.1*), d.h. es wird von der Annahme ausgegangen, dass Absatzmengen der jeweiligen *AbwSys* allein durch Kosten bestimmt werden. Dabei gelten diverse Annahmen der klassischen Wirtschaftstheorie, wie beispielsweise diejenige der Annahme von rationalen Akteuren oder diejenige der vollständigen Information und Gewinnmaximierung. Es wird also angenommen, dass sich die Akteure in jedem Fall für das preislich günstigere System entscheiden. Diese Reduktion auf ökonomische Aspekte widerspiegelt die Realität nur unvollständig. Bei der Betrachtung des *AbwSys* als sozio-technisches System wird der Entscheid für oder gegen ein System von vielen weiteren Faktoren beeinflusst, die von gesetzlichen Rahmenbedingungen bis zu sozialen Einstellungen reichen.

Trotz der Kritik am neoliberalen Glauben in die Fähigkeit der Marktkräfte, sozio-ökonomische Transformationen zu fördern und der einfachen Betrachtung von Technologiediffusion und -ab-

sorption (ROCK *et al.* 2009, 244), spielt der ökonomische Selektionsdruck (*inter alia* SMITH *et al.* 2005, 1495) bei der Verbreitung von Innovationen, und so auch der *dez AbwSys*, eine wichtige Rolle. Der Fokus auf die Wiederbeschaffungskosten von Abwasserleitungsinfrastrukturen und *ARAs* als dem hauptsächlichsten Kostenverursacher im Abwasserbereich hat aus der vorgehenden Argumentation seine Berechtigung.

#### 4.3.3 WBW von *zen AbwSys* in der Schweiz

Der Gesamtwert der schweizerischen Siedlungsentwässerung wird auf rund 100 Mia. CHF geschätzt (MAURER & HERLYN 2006, 5). MAURER *et al.* (2006, 146) bemerken, dass bei kleineren Ländern typischerweise die Skaleneffekte weniger zum Tragen kommen und dadurch generell höhere pro Kopf-Kosten auftreten. Weiter bestätigen die Autoren die vielfach gewonnene Erkenntnis, dass bei *zen AbwSys* rund 80% des Wertes im Leitungssystem liegen.

Es haben bereits andere Autoren die spezifisch schweizerischen *WBW* der Leitungs- und *ARA*-Infrastruktur berechnet. Damit die Zahlen aus der Literatur mit den in dieser Arbeit berechneten Annuitäten verglichen werden können, müssen diese analog meiner Methodik berechnet werden (*vgl. Abschnitt 4.3.1*).

- Bei MAURER *et al.* (2006, 146) werden die gesamtschweizerischen Kosten mit 4'400\$ pro Kopf beziffert.<sup>28</sup> Die kaufkraft- und teuerungsbereinigten Annuitäten betragen somit 250 CHF [pro Person].<sup>29</sup>
- SCHALCHER *et al.* (2011, 147) tragen die *WBW* für die Schweiz zusammen, wobei die berechneten pro Kopf-Annuitäten der Leitungen 160 CHF und der *ARAs* 55 CHF betragen.<sup>30</sup> Dies ergibt Kosten von ca. 215 CHF [pro Person] und Jahr.

28. Die Gesamtkosten setzten sich zusammen aus 3'650\$ Kanalkosten und 750\$ *ARA*-Kosten. Für Berechnungsdetails siehe *Anhang A*.

29. 186 CHF Kanalkosten, 64 CHF *ARA*-Kosten.

30. Unter Annahme einer Bevölkerung von 7'593'494 im Jahr 2007 ergibt diese einen Betrag von 6374 CHF pro Person für die Leitungen und 1330 CHF pro Person für die *ARAs*.

- MAURER & HERLYN (2006, 6 ff.) schätzen den *WBW* für die *ARAs* auf 25 bis 100 CHF pro Jahr und *EW*, je nach Grösse der *ARA*.<sup>31</sup> Für die gemeindeeigenen Leitungen schätzen die Autoren Kosten von 6'664 CHF [pro Person], was analog zu den vorherigen Berechnungen 172 CHF [pro Jahr und Person] entspricht. Die Annuitäten betragen somit rund 200 - 280 CHF pro Person und Jahr.

Die Spannweite solcher Abschätzungen drückt die Unsicherheit und Probleme eines exakten Beziferns der Kosten aus.

#### 4.3.4 *WBW* von *dez AbwSys* in der Schweiz

Aufgrund der Fülle verschiedener *dez AbwSys* und der im Einzelfall relevanten Kostenfaktoren kann nur eine grobe Schätzung der Kosten vorgenommen werden. Durch die Schwierigkeit des Schätzens sind die ermittelten Kosten lediglich Resultate

einer Schätzvariante. Eine der Schwierigkeiten ist das Definieren der Lebensdauer von *dez AbwSys* zum Berechnen der Annuitäten, da diese vom Anlagentyp, der Bauausführung und der Wartung abhängig ist. Basierend auf einer Internetrecherche wird pauschal eine durchschnittliche Lebensdauer von 20 Jahren angenommen.<sup>32</sup>

Basierend auf einer Erhebung der *Vsa* (2006) und des *BDZ* (2011) lassen sich für unterschiedliche *dez AbwSys* durchschnittliche Investitionskosten für die Schweiz und Deutschland berechnen (*Anhang L*).<sup>33</sup> Die Kosten dieser zwei Studien betragen unter Annahme einer durchschnittlichen Anlagegrösse von 4 *EW* 1750 CHF, resp. 3000 CHF [pro Person]. Grundsätzlich gibt es auch bei *dez AbwSys* Skaleneffekte, d.h. je nach Wahl der Grösse fallen unterschiedliche Kosten an.

Als Schätzung wird ein Durchschnittswert von 2400 CHF verwendet, was jährlichen Kosten (Annuitäten) von ca. 150 CHF<sup>34</sup> entspricht.

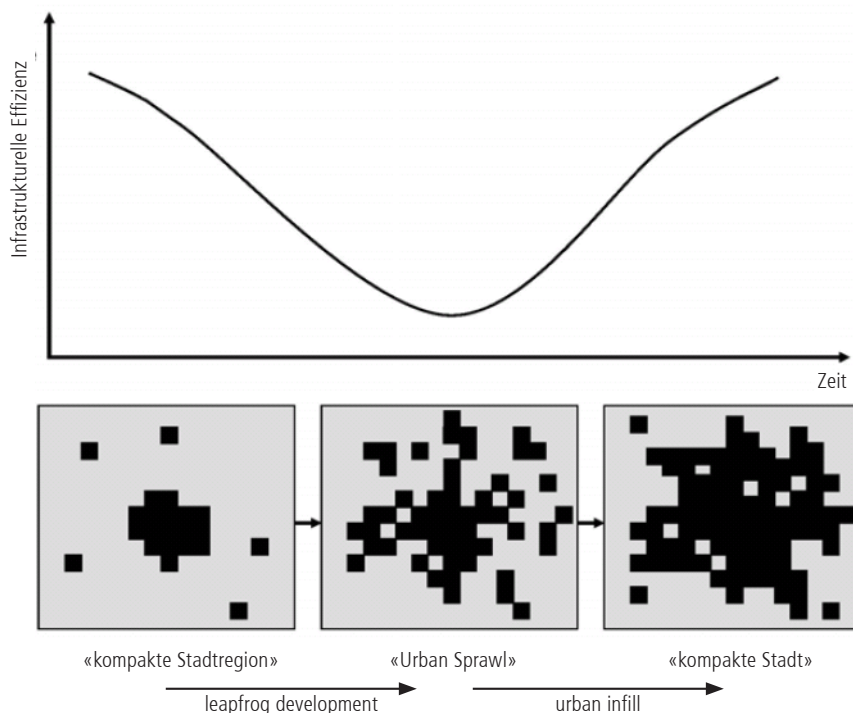


Abb. 4.3: Zersiedelung und Infrastrukturkosten

QUELLE: SCHILLER & SIEDENTOP (2005, 85)

31. Pro Person werden durchschnittlich ca. 1.92 *EW* dimensioniert.  
 32. Die Lebensdauer der unterschiedlichen Komponenten von *dez AbwSys* unterscheiden sich, d.h. für Ausrüstungsteile wird häufig eine Nutzungsdauer von 15 Jahren angenommen, für die Baukörper 30 bis 50 Jahre.  
 33. Weitere Kosten, wie Betriebs-, Überwachungs- oder Wartungskosten, werden nicht berücksichtigt. Die ermittelten Kosten stammen grösstenteils aus Listenpreisen bzw. Herstellerauskünften.  
 34. Unter Annahme eines Diskontsatzes von 2% und einer Abschreibungsdauer von 20 Jahren.

#### 4.3.5 WBW in Abhängigkeit zur Siedlungsstruktur

Dass diverse Infrastrukturkosten in Abhängigkeit zur Siedlungsstruktur stehen, ist keine neue Erkenntnis und wird heute im Rahmen der Zersiedlungsthematik intensiv diskutiert (vgl. *urban sprawl* Debatte). Dabei zeigen nicht alle Infrastrukturtypen eine gleich grosse siedlungsstrukturelle Reagibilität, resp. weist v.a. die technische Infrastruktur aufgrund physischer Verknüpfungen eine hohe Abhängigkeit von der Siedlungsstruktur auf (SCHILLER & SIEDENTOP 2005, 85). Die Infrastrukturkosten sind nach SIEDENTOP & FINA (2008, 2) abhängig von Gebäudetypen, deren räumlicher Verteilung auf regionaler, sub-regionaler Ebene oder auch auf Ebene des Quartiers. So tragen auch raumplanerische Überlegungen einer koordinierten Siedlungs- und Infrastrukturentwicklung diesem Umstand Rechnung. Die von SCHILLER & SIEDENTOP (2005, 85) kritisierte Annahme, dass der heutige Grad der Zersiedelung nur eine Zwischenstufe hin zu einer infrastrukturell effizienteren Siedlungsstruktur darstellt, trifft wohl auch für die Schweiz kaum zu (Abb. 4.3), wobei in der Schweiz aufgrund der heutigen Dynamik der Siedlungsentwicklung noch diverse Änderungen (*urban infill*) zu erwarten sind.

Die Mehrzahl der Autoren gelangen zur Schlussfolgerung des Zusammenhangs der Kosten und der Siedlungsstruktur mithilfe von Modellen. SCHILLER & SIEDENTOP (2005, 85) konstatieren dazu, dass modellbasierte Studien mit Strukturtypen durch die isolierte Betrachtung siedlungsstruktureller Faktoren auf höhere Kostenunterschiede kommen als Untersuchungen, bei denen Siedlungsstrukturtypen im realen Raum untersucht werden. Typisch für diese modellhaften Ansätze ist ebenfalls, dass bewusst alle geografischen Einflüsse ignoriert werden.

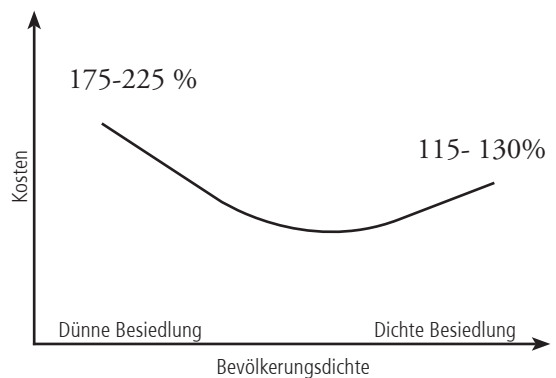
So bemerken HEZEL *et al.* (1984, 14), dass die Abwasserinfrastruktur bei Geschosswohnungsbauten

36%, bei verdichteten Flachbauten 48% und bei Reihenhäusern 55% der Infrastrukturkosten eines Einfamilienhauses ausmachen. ECOPLAN (2000) bestätigt grundsätzlich diese Resultate in derselben Grössenordnung für die Schweiz, wobei die Autoren unterschiedliche regionale Kosten eruieren.<sup>35</sup> Auch unterscheiden sich die Kosten je nach Definition der Gebäudetypen.<sup>36</sup>

Wohl aufgrund der Komplexität der unterschiedlichen Bautypen und deren schwierigen Erfassens wird i.d.R. der Zusammenhang zwischen der Bevölkerungsdichte und den Kosten untersucht.

#### 4.3.6 WBW in Abhängigkeit zur Bevölkerungsdichte

Die Bebauung determiniert zum grossen Teil, wie viele Personen pro Flächeneinheit wohnen, d.h. es muss von einem starken Zusammenhang zwischen der Siedlungsstruktur und der Bevölkerungsdichte ausgegangen werden. Theoretische Beiträge zum Zusammenhang von Kosten und Bevölkerungsdichte werden in der Literatur mehr oder weniger einstimmig bestätigt. SEITZ (2002, 39) stellt spezifisch für die Abwasserentsorgung fest, dass es kaum einen anderen öffentlichen Aufgabenbereich gibt, dem so grosse Bedeutung beigemessen wird.<sup>37</sup> Zusammenhänge zwischen Kostenaufwendungen mit der Bevölkerungsmassierung sind seit langer Zeit von Interesse: So formuliert A. Brecht 1932 das



Quelle: Nach SEITZ (2002, 54)

Abb. 4.4: Zusammenhang zwischen Bevölkerungsdichte und Kosten

35. Es gibt auch kritische Autoren, die diese Zusammenhänge nicht bestätigt sehen. KEMPER (2009) sieht z.B. kaum einen Zusammenhang zwischen der Siedlungsdichte und den Infrastrukturkosten, wobei anzumerken ist, dass der Schwerpunkt nicht auf der Abwasserentsorgung liegt.

36. Das Definieren von bautyp-spezifischen Kosten wird in vielen Fällen von Architekten vorgenommen.

37. SEITZ (2002, 39) bemängelt zudem, dass die ökonomische und juristische Finanzausgleichsliteratur diese Zusammenhänge verkennt.

Brechtsche Gesetz, das besagt, dass die Ausgaben pro Kopf mit zunehmender Dichte progressiv steigen (GABLER WIRTSCHAFTSLEXIKON 2012C). Diese Ansicht ist heute überholt und trifft mindestens für den Fall der Abwasserkosten so nicht zu. Mit zunehmender Dichte ist in der Regel eine Kostenreduktion aufgrund geringerer Leitungsaufwendungen zu beobachten (*stellvertretend* MAURER & HERLYN 2006, SIEDENTOP & SCHILLER 2006).

SEITZ (2002, 20) ist der Ansicht, dass theoretische Überlegungen kaum Anhaltspunkte liefern, um eine Kostenkorrelation mit der Bevölkerungsdichte zu postulieren und dass einzig eine empirische Untersuchung Anhaltspunkte liefern kann. Trotzdem trifft der Autor generelle Aussagen und postuliert einen u-förmigen Verlauf der Investitionsausgaben (Abb. 4.4):

Ein Problem beim Betrachten dieses Zusammenhangs sind Schrumpfungsbedingungen, bei denen eine Entkoppelung der Siedlungs- und der Bevölkerungsdichte stattfindet (SCHILLER & SIEDENTOP 2005, 90).

## 4.4 Systemgrenzen

### 4.4.1 Kostenarten und Kostenherleitung

Im Lebenszyklus eines *AbwSys* fallen unterschiedliche Kostenarten an. Eine gängige Einteilung bei *dez* oder *zen AbwSys* ist die Unterscheidung zwischen Bau-, Unterhalts-, Betriebs- und Kapitalkosten, wobei diese jeweils weiter unterteilt werden können (*vgl.* ECOPLAN 2000, 7).

An dieser Stelle werden allein *ARA* und kanalisationsrelevante Kosten berücksichtigt. Der Fokus liegt auf den Erstellungs- und nicht auf den Betriebs- (z.B. Verwaltungs- oder Energiekosten) oder Unterhaltskosten (z.B. Reparaturkosten). Diese zusätzlichen Kosten werden ignoriert, aufgrund des schwierigen und aufwändigen Erfassens, und da diese Kosten bei *dez AbwSys* weitgehend unbekannt sind (MAURER *et al.* 2006, 152). Ebenfalls

nicht berücksichtigt werden die bei einem Systemwechsel hin zu *dez* Alternativen anfallenden Transformationskosten, wie z.B. die Kosten für Rückbau und Stilllegung (SCHILLER 2005, 160). In diesem Fall wären ebenfalls Kostenremanenzen zu berücksichtigen (*inter alia* SIEDENTOP *et al.* 2006b)

Grundsätzlich wird beim Vergleich der beiden Systeme vereinfacht davon ausgegangen, dass diese ein vollständiges Substitut darstellen und bei Installation eines *dez AbwSys* keine Leitungen des *zen AbwSys* mehr benötigt werden.

In dieser Arbeit werden nicht alle Systemkomponenten des *dez* und *zen AbwSys* miteinander verglichen. Der alleinige Vergleich der Investitionskosten von *dez AbwSys* mit dem *WBW* von Leitungsinfrastrukturen ist aufgrund des Vergleiches eines vollständigen *AbwSys* mit einer einzelnen Systemkomponente problematisch. Daher werden bei der Kostenrechnung zusätzlich zu den Leitungen die anteilmässig gewichtigen Investitionskosten der *ARAs* geschätzt. SEITZ (2002, 40) weist darauf hin, dass je dichter ein Gebiet besiedelt ist, die Ausbeutung von Skalenerträgen bei *ARAs* steigt. So muss auch für die Schweiz berücksichtigt werden, dass die spezifischen Erstellungskosten in Abhängigkeit zur Grösse stehen (MAURER & HERLYN 2006, 38).<sup>38</sup>

### 4.4.2 Kostenträger

I.d.R. werden bei Studien zur Untersuchung von Infrastrukturkosten die Kosten aufgeteilt, z.B. auf öffentliche und private Kostenträger. Eine solch differenzierte Zuordnung der Kosten ist komplex aufgrund der Unterscheidung zwischen öffentlicher und privater Kanalisation und da die öffentliche Hand nach wie vor eine wichtige Rolle beim Schaffen von Rahmenbedingungen oder dem Bereitstellen von Dienstleistungen spielt (MOSER *et al.* 2009, 3).<sup>39</sup> Der einzige in dieser Arbeit vorgenommene Unterschied bezüglich der Kostenträger ist die separate Betrachtung der Industrie: Es wird vereinfacht angenommen, dass die Industrie im Sinne des Verursacherprinzips die Kosten für ihr Abwasser selber trägt. Alle Anschlüsse von In-

38. Grund für die höheren Wiederbeschaffungskosten ist, dass in ländlichen Gemeinden die Skaleneffekte in den kleineren Kläranlagen weniger stark zum Tragen kommen.

39. Da ich das theoretische Potenzial untersuche, spielt es für diese Arbeit auch keine Rolle, wer die Kosten schlussendlich trägt.

dustriegebäuden werden folglich nicht beachtet. Die von der Industrie verursachten Kosten werden prozentual zu deren Einwohnergleichwert (EGW) verkleinert. Durch die limitierte Klassifikationsgenauigkeit entstehen mit dieser Annahme Ungenauigkeiten bei öffentlichen Gebäuden, deren Anschlusskosten von der Gemeinde getragen werden müssen.<sup>40</sup>

#### 4.4.3 Statische Betrachtung

Je kleiner der Zentralitätsgrad durch eine fortschreitende Transition wird, desto weniger Haushalte sind an das *zen AbwSys* angeschlossen, was zur Folge hat, dass die Fixkosten des *zen AbwSys* von weniger Personen getragen werden müssen. Dadurch resultieren höhere Kosten für die verbleibenden Anschlüsse, und die Attraktivität für einen Wechsel hin zu einem *dez AbwSys* steigt. Es ist genau dieser Effekt, dem die heutige Gesetzgebung entgegenhalten will (vgl. Abschnitt 4.2.3). Aufgrund der hohen Komplexität einer dynamischen Kostenbetrachtung wird somit eine statische Betrachtung der Kosten vorgenommen.

### 4.5 Forschungsstand

Die Untersuchung der Siedlungsstruktur mit der Frage nach dem Zusammenhang der Infrastrukturaufwendungen hat bereits eine lange Tradition. I.d.R. wird die Untersuchung der Siedlungs- und Infrastrukturentwicklung in umfassenden Arbeiten untersucht, die eine ganze Palette technischer und sozialer Infrastrukturbereiche einbeziehen und sich nicht auf Abwasserinfrastrukturen beschränken (*inter alia* ECOPLAN 2000 oder SIEDENTOP *et al.* 2006a).

So untersuchen beispielweise HEZEL *et al.* (1984) soziale Kosten mithilfe von vier definierten Siedlungstypen. Die Autoren bilden in einem Modell verschiedene Siedlungen à 5000 Einwohner mit

den verschiedenen Siedlungstypen, und berechnen die resultierenden Infrastrukturkosten. Durch das modellhafte Vorgehen haben diese Autoren nicht das Problem der Mischung von Siedlungstypen oder der Kosteneinflüsse des Raums (vgl. HEZEL *et al.* 1984, 3).

Es gibt genügend Studien, die Infrastrukturkosten aufwendungen losgelöst vom geografischen Raum betrachten. Im Folgenden werden daher wichtige Arbeiten für *AbwSys* vorgestellt, die konkrete räumliche Bezüge aufweisen und die für das Beantworten der Fragestellungen dieser Arbeit relevant sind:<sup>41</sup>

- WANG *et al.* (2008) versuchen mithilfe einer einfachen GIS-Methodik festzustellen, wo im Raum die Installation von *dez AbwSys* ökonomisch sinnvoller ist als ein *zen AbwSys*. Dafür bestimmen die Autoren mittlere Kosten eines *dez AbwSys* und berechnen die äquivalente Länge der ARA-Anschlussleitungen ( $LO$ ), die mit den mittleren Kosten gebaut werden könnte.  $LO$  wird als kritische Distanz definiert, bei der die *zen* Anschlusskosten gleich hoch sind wie die Kosten einer Installation einer *dez* Lösung. Falls ein Gebäude weiter entfernt ist als  $LO$ , lohnt sich der Anschluss an die ARA. Die Arbeit weist einen expliziten Raumbezug auf durch das Eintragen dieser kritischen Distanzen.
- SCHMIDTKE (2004) schätzt die Kosten für verschiedene *dez AbwSys* in Abhängigkeit zur Siedlungsstruktur. Der Autor untersucht im Gegensatz zu anderen Autoren explizit die Kosten für *dez AbwSys*. Der Autor nimmt Schätzungen der Investitionskosten eines Urin-Trennsystems vor für typische Siedlungsstrukturen (Angerdorf, Waldhufendorf, ländliche Streusiedlung, städtische Bebauung) mithilfe von Erschliessungsskizzen für Beispieldörfer. Nach dem Bestimmen dieser

40. Da bei der Klassifikation bewohnter und unbewohnter Gebäude nicht zwischen öffentlichen und privaten Gebäuden unterschieden werden kann, werden i.d.R. auch Schulhäuser, Kirchen, Turnhallen, Verwaltungsgebäude etc. als nicht bewohnt klassiert. Die Anschlusskosten dieser Gebäude werden aufgrund dieser Klassifikationsprobleme ignoriert. Diese Kosten werden aber i.d.R. von den Gemeinden getragen und müssten auf die jeweiligen Bewohner der Gemeinde verteilt werden.

41. Für einen guten Überblick siehe auch SIEDENTOP *et al.* (2006a).

Siedlungsstrukturen im Raum (was aber nicht gemacht wurde) wäre es möglich, die Kosten räumlich differenziert zu betrachten.

- SCHILLER (2010) schätzt mit einer hoch aufgelösten GIS-Analyse die Kostenfolgen einer Transformation von einem bestehenden *zen AbwSys* hin zu einem *dez AbwSys*. Der Autor verwendet ebenfalls die Methodik des Strukturtypenansatzes um den Bezug zwischen AV-Daten und der Einwohnerstatistik herzustellen. Das Vorhandensein konkreter GIS-Daten von Abwasserleitungen ermöglicht es SCHILLER, die Siedlungsstruktur in einzelne Versorgungseinheiten einzuteilen und eine netzbasierte Berechnung vorzunehmen. Leider beschränkt sich SCHILLER auf exemplarische Fallbeispiele, was eine Übertragung der Resultate erschwert. Resultate dieser wichtigen Studie sind aber, dass sich Kostenentlastungen dann realisieren lassen, wenn die Transformation an Netzen erfolgt und zugleich hohe zu tätige Kanalbauinvestitionen nötig sind (SCHILLER 2010, 13).
- SPEIR & STEPHENSON (2002, 57) stellen fest, dass in der Wasser- und Abwasserliteratur häufig der Zusammenhang zwischen Kosten und räumlichen Mustern ignoriert wird und untersuchen diesen in einem Modell für drei räumliche Attribute: die Grundstückgrösse, die Grundstückverteilung und die Distanz zur ARA. SPEIR & STEPHENSON (2002, 64) stellen fest, dass kleinere Grundstücksflächen (d.h. eine hohe Bebauungsdichte), kürzere Distanzen zwischen Zentren und kleinere Gebietsdispersion die Kanalkosten reduzieren.
- Eine für diese Arbeit wichtige Studie ist jene von ECOPLAN (2000). In ihr werden jährliche Infrastrukturkosten (*inkl. Abwasserinfrastrukturkosten*) pro Person für verschiedene Siedlungstypen in verschiedenen Gemeindetypen geschätzt (Stadt, Agglomeration, Regionales Zentrum, Randgemeinde). Zuerst werden die Infrastrukturaufwendungen in einem Men-

genmodell hergeleitet und danach die Kosten anhand eines Normkostenmodells berechnet. Die Studie bestätigt ebenfalls für die Schweiz die vielfach gewonnene Erkenntnis, dass sich die Infrastrukturkosten pro Kopf für verschiedene Siedlungstypen unterscheiden und dass diese abnehmen, je dichter die Besiedlung ist. Die Autoren treffen zur Berechnung der Kosten für verschiedene Gemeindetypen Annahmen zur prozentualen Verteilung der Siedlungstypen innerhalb dieser Gemeinden. Diese pauschalen Annahmen tragen aber dem siedlungsstrukturellen Unterschied verschiedener Gemeinden nicht Rechnung und generalisieren stark.

Für die Situation in der Schweiz ist anzumerken, dass es relativ wenige Arbeiten gibt, die sich das Ziel gesetzt haben, Abwasserinfrastruktur in Kombination mit der Siedlungsstruktur zu untersuchen. Zwar bestätigen ECOPLAN (2000, 40), dass die Abwasserentsorgung stark abhängig ist vom Siedlungs- und Ortstyp, bleiben jedoch bei einer modellhaften Betrachtung. Weiter stellt ebenfalls das BUWAL (2003, 13) fest, dass die Grösse und Struktur<sup>42</sup> des Kanalnetzes erklären, wieso periphere Regionen systematisch höhere Siedlungsentswässerungskosten aufweisen. Trotzdem basiert diese Erkenntnis auf kommunalen Daten und hilft nicht weiter, die Kosten und somit auch das Potenzial für den konkreten Einzelfall zu bestimmen.

Insbesondere ist dem Autor keine Arbeit bekannt, bei der geografische Faktoren im Zusammenhang mit dem Potenzial *dez AbwSys* einbezogen werden (diese werden z.B. auch von ADLER 2007 nicht berücksichtigt).

Bezüglich der in dieser Arbeit verwendeten Methodik des Strukturtypenansatzes kann festgehalten werden, dass dies ein häufig verwendetes Instrument ist, um Fragestellungen dieser Art zu beantworten, bei denen Aussagen mit einer relativ hohen Auflösung für grössere Gebiete getroffen werden sollen. So klassieren z.B. auch BAIER *et al.* (2009) Megastädte in 70 Stadtstrukturtypen und

42. Die Kosten fallen geringer aus, wenn das Netz dicht und kompakt ist.



kommen zum Fazit, dass dies ein gutes Planungsinstrument ist, um dynamische Prozesse im urbanen Raum zu analysieren und Aussagen zu Fragen der Wasserver- und Wasserentsorgung auf höherer räumlicher Ebene zu treffen. Trotzdem wird der Strukturtypenansatz erstaunlich selten angewandt. Die umfangreichste Arbeit, in der der Stadtstrukturtypenansatz in Kombination mit einer geometriebasierten Gebäudeklassifikation angewendet wird, stammt von MEINEL *et al.* (2008), die aber auf Deutschland zugeschnitten ist.

Heute gibt es relativ wenig Forschung zur automatischen Erkennung urbaner Strukturen (STEINIGER *et al.* 2008, 31). Dies erstaunt, da Gebäude in vielen Fragestellungen die wichtigste Infrastruktur darstellen. Weiter ist Literatur zur automatischen Klassifikation von Gebäuden, resp. der Zuweisung von Attributen auf Grundlage von topologischen oder morphologischen Eigenschaften schwierig zu finden. Wichtige Beiträge liefern aber u.a. STEINIGER *et al.* (2008), WERDER *et al.* (2010) oder LÜSCHER *et al.* (2008, 2009).

Zum methodischen Forschungsstand kann die Ansicht von SIEDENTOP *et al.* (2006a, 1) wiedergegeben werden, die Werkzeuge zur Entscheidungsunterstützung als zentrale Voraussetzung sehen für eine kostensparsame Infrastrukturvorsorge, aber gleichzeitig in der Planungspraxis kaum verfügbar sind.

#### 4.6 Zwischenfazit

Dieser Abschnitt führt Gründe für eine Nachhaltigkeits-Transition im Schweizer Abwassersektor an und zeigt die rechtlichen Rahmenbedingungen in der Schweiz auf. Es wird argumentiert, dass das Marktpotenzial grundsätzlich mithilfe des Wiederbeschaffungswertes hergeleitet werden kann. Aufgrund der dieser Arbeit zugrunde liegenden methodischen Annahmen unterliegt das Marktpotenzial aber grossen Vereinfachungen. Die ebenfalls erläuterten Systemgrenzen des Vorgehens verdeutlichen weiter das komplexe Unterfangen einer umfassenden Ermittlung eines realistischen Marktpotenzials.

Ein Vorteil der Verwendung des *WBW* ist, dass Zahlen für *zen* und für *dez AbwSys* vorliegen und somit als Referenzen dienen können, um die eigenen Berechnungen zu vergleichen.

Die Erläuterungen der in der Literatur diskutierten Abhängigkeiten des *WBW* zur Siedlungsstruktur oder Bevölkerungsdichte zeigen, dass keine einfachen Zusammenhänge bestehen, und es schwierig ist, reale Gegebenheiten in die Berechnung einzubeziehen. Die diskutierten Arbeiten zum Forschungsstand zeigen, dass Zusammenhänge zwischen Kosten und Siedlungsstruktur bisher v.a. auf Grundlage von Modellen mit fehlendem geografisch konkretem Bezug erarbeitet wurden. Zusammenfassend kann gesagt werden, dass in der Schweiz für *dez AbwSys* keine vergleichbaren Arbeiten vorliegen, die versuchen, das Potenzial von *dez AbwSys* zu ermitteln. Weiter wird durch die methodische Wahl des Strukturtypenansatzes kein grundsätzliches Neuland betreten, jedoch wird zu sehen sein, wie dieser in der Schweiz anzuwenden ist.

#### 4.7 Detaillierte Forschungsfragen

Aus der Diskussion der vorangegangenen Abschnitte lassen sich die folgenden detaillierten Forschungsfragen ableiten und damit die übergeordneten Fragestellungen *FF1 - FF3* aus *Kapitel 1* konkretisieren:

**UFF1:** *Wie gross ist der mithilfe des Wiederbeschaffungswertes abgeleitete theoretische Marktanteil dezentraler Abwassersysteme für die Schweiz in den Jahren 2010 und 2020?*<sup>43</sup>

Diese Fragestellung soll die Wissenslücke um das Marktpotenzial *dez AbwSys* schliessen.

**UFF2:** *Inwiefern unterscheidet sich das Marktpotenzial in Bezug auf verschiedene Siedlungstypen?*

Da das Potenzial in Abhängigkeit zum *WBW* des *zen AbwSys* steht, wird der *WBW* für verschiedene Siedlungstypen untersucht. Im Ge-

43. Die Wahl fällt auf das Jahr 2010 aufgrund der aktuellen Datenlage. Das Jahr 2020 wird aufgrund der von JAEGER *et al.* (2008) erarbeitete Szenarien gewählt.

gensatz zur Studie von ECOPLAN (2000) werden die Kosten der Siedlungstypen nicht im Vorhinein durch Architekturbüros definiert, sondern indirekt durch die Berechnung mit *UWIM* hergeleitet, was nach dem Wissen des Autors so in der Schweiz noch nicht vorgenommen wurde.

**UFF3:** *Was ist der Zusammenhang zwischen der Bevölkerungsdichte und dem Marktpotenzial?*

Die Bevölkerungsdichte ist v.a. interessant und wichtig, da diese eine viel diskutierte Grösse in der Literatur ist und auch unterschiedliche Erkenntnisse des Zusammenhangs zwischen dieser Dichte und den Kosten gewonnen werden können. Diese Arbeit trägt somit bei, diesen in der Schweiz noch zu wenig betrachteten Zusammenhang zu untersuchen.

**UFF4:** *Welchen Einfluss hat die Bevölkerungs- und Siedlungsentwicklung auf das Marktpotenzial?*

Obwohl grundlegende Mechanismen verstanden werden, ist für die Schweiz dem Autor keine Arbeit bekannt, die die Bevölkerungs- und Siedlungsentwicklung losgelöst vom Modell,<sup>44</sup> mit *dez AbwSys* in Verbindung bringt. Die Quantifizierung des Potenzials für verschiedene räumliche Typen (z.B. *ARE*-Gemeindetypen) wurde ebenfalls noch nicht vorgenommen.

**UFF5:** *Wie lässt sich der Strukturtypenansatz in der Schweiz umsetzen?*

Da kaum Arbeiten mit diesem Ansatz in der Schweiz bekannt sind, gibt es eine Wissenslücke bezüglich der Übertragbarkeit und Anwendung für die Schweiz.

**UFF6:** *Lässt sich in der Schweiz mittels einer morphologischen Hausklassifikation eine siedlungstypologische Zuordnung der Baublocks vornehmen?*

BARR *et al.* (2004, 397) schreiben, dass allgemein behauptet wird, dass die urbane Morpholo-

gie mit der urbanen Funktion zusammenhängt. Die zugrundeliegende Annahme ist folglich, dass mithilfe der Form Aussagen über die Funktion gemacht werden können. Eine solche Gebäudeklassierung auf Grundlage morphologischer Kriterien ist methodisch kein neuer Ansatz, kam aber in der Schweiz nur wenig zum Einsatz. Insbesondere ist dem Autor keine Arbeit bekannt, bei der auf Basis der Gebäudegeometrie Rückschlüsse auf das Kriterium bewohnt/unbewohnt gezogen wurde.

**UFF7:** *Wie gut lassen sich Kanalisationsdaten mithilfe von UWIM und Bevölkerungsdaten mithilfe des Dasymetric Mapping für einzelne Siedlungstypen ableiten?*

Die Kanalisationsdaten werden mithilfe des Modells *UWIM* hergeleitet, die Einwohnerzahl pro Baublock wird mithilfe des *Dasymetric Mapping* ermittelt. Die Frage stellt sich, ob diese Methoden überhaupt geeignet sind.

**UFF8:** *Wo befinden sich potenzielle Nischen für dezentrale Abwassersysteme und wie lassen sich diese charakterisieren?*

Es stellt sich die Frage nach potentiellen Orten, an denen *dez AbwSys* eingeführt werden könnten, resp. wo die Hindernisse einer Einführung am kleinsten wären.

**UFF9:** *Wie sehen mögliche räumliche Diffusionspfade aus?*

Hier stellt sich die Frage, welche konkreten Rückschlüsse auf Grundlage der Resultate der vorherigen Fragestellung für mögliche Diffusionspfade gezogen werden können.

44. Insofern die Kosten ebenfalls anhand des Modells *UWIM* berechnet werden, handelt sich beim Vorgehen ebenfalls um einen Modellansatz. Es werden aber beim Vorgehen z.B. regionale Unterschiede der Bevölkerungsverteilung oder der Siedlungsinfrastruktur berücksichtigt.

# 5 Methodische Schritte zur Berechnung des Potenzials

*In diesem Kapitel wird zunächst der methodische Hintergrund der verwendeten Methoden erläutert und die Datensituation für die Schweiz aufgezeigt. Danach werden die verschiedenen konkreten methodischen Arbeitsschritte zur Berechnung des Potenzials dargelegt.*

## 5.1 Hintergrund zu den verwendeten Methoden

Als eine der grössten Debatten unserer Zeit hat die Nachhaltigkeits-Debatte wichtige Auswirkungen für das Design und den Unterhalt der gebauten Infrastruktur, die als Schnittstelle zwischen dem Menschen und der Umwelt fungiert. Wie können nachhaltigere Muster des heutigen sozio-ökonomischen Verhaltens erreicht werden? Methodisch stellt sich die Frage, welche Arten von Modellen entwickelt werden sollen, um ein besseres strategisches Ausrichten dieser Infrastrukturen zu fördern (BECK 2009, 91). In diesem Sinne wird für die Berechnung der Infrastrukturaufwendungen mithilfe des Stadtstrukturtypenansatzes und dem Modell *UWIM*, ein Ansatz gewählt, mithilfe dessen das Marktpotenzial abgeschätzt werden kann.

### 5.1.1 Stadtstrukturtypenansatz

Besonders mit den in den siebziger Jahren aufkommenden stadtökologischen Fragestellungen (SAUERWEIN 2004, 8) und neuen Möglichkeiten von *GIS* gewann der sogenannte Stadtstrukturtypenansatz an Popularität. Der aus der Stadtforschung kommende Stadtstrukturtypenansatz (oft auch nur kurz Strukturtypenansatz genannt) versucht, kleinräumig Parameter mittels Interpretation aus topografischen Karten zu eruieren (SCHILLER 2010, 75). Das von SCHILLER erwähnte Kriterium topografischer Karten als Datenquelle ist aber nicht zwingend, da auch mithilfe alterna-

tiver Quellen (z.B. Fernerkundungsdaten) derselbe Ansatz realisiert werden kann.

Das zugrunde liegende Konzept sind sogenannte Stadtstrukturtypen<sup>45</sup> (Strukturtypen oder auch Siedlungsstrukturtypen), die von SCHILLER definiert werden als:

«zweckbestimmte, zu Typen zusammengefasste, räumliche Basiseinheiten im urbanen Raum, die sich aufgrund der Ähnlichkeit bestimmter Merkmale ergeben.»

Die Idee dahinter ist eine Komplexitätsreduktion: Anstelle einer Betrachtung von spezifischen Einzelobjekten wird der Fokus auf grössere Systeme einer mittleren Ebene gelegt. Wie die Stadtstrukturtypen gebildet werden, ist je nach Untersuchungszweck unterschiedlich, wobei in der Stadtforschung das morphologische Erscheinungsbild der Stadt massgebend ist.<sup>46</sup> Eigenschaften der Siedlungsstrukturtypen sind nach BLUM & GRUHLER (2010, 82), dass diese

«weitgehend homogen sind hinsichtlich Grösse, Form und Anordnung der Gebäude, in Bezug auf den Erschliessungsaufwand sowie in Bezug auf das Erschliessungsprinzip technischer Infrastrukturen.»

Die räumlichen Basiseinheiten werden entweder durch bereits existierende Einteilungen (z.B. Zonenplan) oder durch weitere Hilfsdaten wie Stra-

45. Stadtstrukturtypen werden in der Literatur unterschiedlich benannt. So sprechen BAIER *et al.* (2009) von *Stadtbausteinen* oder auch *uban units*. Im Englischen ist der Begriff der *urban structure units* gebräuchlich.

46. Die Einteilung der Stadtstrukturtypen muss nicht nur auf morphologischen Kriterien beruhen. Nach HEINEBERG (2006) kann bei der Analyse der Siedlungsstruktur zwischen einer morphologischen, einer morphogenetischen, einer funktionalen und einer sozialräumlichen Strukturierung unterschieden werden.

ssen gebildet. Dabei gilt die Annahme, dass die durch Strassen gebildeten Teilflächen den vorhin zitierten Eigenschaften genügen und gekennzeichnet sind durch eine homogene physiognomische Erscheinungsform (MEINEL *et al.* 2008, 6).

BLUM & GRUHLER (2010, 89) bemerken, dass der Strukturtypenansatz v.a. für grössere Kernstädte geeignet ist, da dieser Ansatz weitgehend gemeinde- und standortspezifische Einflüsse auf die Infrastruktur ignoriert (z.B. topografische Situation). Dem ist entgegenzusetzen, dass diese Faktoren einbezogen werden könnten und dieses Problem eigentlich wenig mit der Methodik *per se* zu tun hat. Somit kann die Methode auch für die restlichen Siedlungsstrukturen gebraucht werden, wobei je nach Untersuchungsthema Überlegungen zur Grösse der Basiseinheiten oder deren Bildung angestellt werden müssen.<sup>47</sup>

Eine häufig verwendete Raumeinteilung ist das Raster. Das Raster-Datenmodell kommt v.a. zum Einsatz bei der Untersuchung von Phänomenen mit kontinuierlichem Charakter (sog. *fields* nach GOODCHILD 1992, 402) oder bei grossen Modellen mit einer grossen räumlichen Ausdehnung. Ein Unterschied des Strukturtypenansatzes zum häufig verwendeten Rasteransatz ist, dass nicht die Rasterzelle die räumliche Grundeinheit bildet und trotzdem grössere Untersuchungsgebiete der Fokus dieses Ansatzes sind. Obwohl ein Rasteransatz einige Vorteile aufweist, gibt es das Problem der Wahl der geeigneten Auflösung oder der Zuordnung von Gebäudedaten auf einzelne Rasterzellen. Der Grund für das Zuordnungsprobleme ist die Eigenschaft der Gebäudedaten, die nach GOODCHILD (1992, 402) diskrete Objekte (*eng. discrete objects*) darstellen. Diese Zuordnung wird besonders problematisch bei einer hohen Auflösung, aufgrund des grösseren Einflusses von Randproblemen. Ein weiterer Nachteil der Rasterzellen ist, dass diese intuitiv weniger verständlich sind und sich das zu untersuchende Phänomen nicht nach der Rasterform richtet. Dieser Nachteil kann mithilfe des Stadtstrukturtypenansatzes bis zu einem gewissen Grad

überwunden werden: Obwohl Stadtstrukturtypen durch die Annahmen der homogenen Bebauung etc. eine intrinsische geografische Bedeutung aufweisen, besteht trotzdem das Problem, dass die Zonen bis zu einem gewissen Grad arbiträr und modifizierbar sind, wodurch dem von OPENSHAW (1984) beschriebenen *modifiable areal unit problem* (MAUP) Rechnung getragen werden muss. Dabei muss bedacht werden, dass das MAUP bei der Betrachtung desselben Phänomens auf verschiedenen Skalen und durch unterschiedliche räumliche Zonendefinitionen auf derselben Skala auftreten kann (OPENSHAW 1984, 8).

### 5.1.2 Dasymetric Mapping

Die Idee der räumlichen Segmentierung beim Stadtstrukturtypenansatz ähnelt den Annahmen zur Erstellung dasymetrischer Karten. Diese etwas in Vergessenheit geratene Methode hat dank GIS und Fernerkundung wieder an Bedeutung gewonnen (MENNIS 2009, 730) und soll kurz erläutert werden:

Eine dasymetrische Karte stellt quantitative Flächendaten mithilfe von Grenzen dar, die so gezogen werden, dass Zonen mit möglichst grosser Homogenität entstehen. Ziel dieser Zonen ist, dass diese den statistischen Oberflächen entsprechen und dadurch sinnvolle räumliche Zonen entstehen (*vgl.* EICHER & BREWER 2001, 125). Zur Berechnung des Potenzials der *dez* Abwassertechnologie scheint es nicht sinnvoll, die historisch gewachsene Gemeindegrenze als Zonengrenze zu definieren, da flächenmässig nur ein kleiner Teil der Gemeinde überhaupt bewohnt ist und innerhalb einer Gemeinde davon ausgegangen werden muss, dass das Potenzial (wie auch die Bevölkerung, Siedlung, Abwasserinfrastruktur etc.) nicht homogen verteilt ist. Dasymetrische Karten unterscheiden sich somit von klassischen Choroplethenkarten, da dort häufig nicht sinnvolle Zonengrenzen gewählt werden, wie beispielsweise administrative Grenzen.<sup>48</sup> Klassischerweise werden beim *dasymetric mapping* Bodenbedeckungsdaten als weitere erklärende Da-

47. Die Bildung räumlicher Basiseinheiten oder die Definition unterschiedlicher Typen kann durchaus einfacher sein in Kernstädten, hat aber wieder nichts mit der Methodik zu tun.

48. Natürlich sind viele Darstellungen mit administrativen Grenzen insofern kartografisch sinnvoll, als die Benutzer und Benutzerinnen die räumliche Struktur sofort wieder erkennen.

ten hinzugezogen um die Repräsentation und Berechnung zu optimieren. Die Qualität steht somit in direkter Abhängigkeit zur Qualität der beigezogenen Hilfsdaten. Im Falle der Betrachtung von Infrastrukturkosten im Zusammenhang mit der Bevölkerungsverteilung wird davon ausgegangen, dass die Gebäudestruktur die zugrunde liegende statistische Oberfläche darstellt und in direkter Abhängigkeit zu den vorhin erwähnten Kategorien (Bevölkerung etc.) steht.

MENNIS (2009, 731) stellt fest, dass der heutige Begriff des *Dasymetric Mapping* typischerweise für den kartografischen Prozess der Transformation von Choroplethen-Daten in untergeordnete Choroplethen-Einheiten, sogenannte dasymetrische Zonen, bezeichnet wird und somit der Begriff aufgeweicht wurde. Heute muss die ursprüngliche Charakteristik des Ableitens von Grenzen auf Basis natürlicher Eigenschaften, d.h. von der Natur gegeben, nicht mehr zwingend vorhanden sein. In dieser Arbeit wird der Begriff ebenfalls nicht in diesem ursprünglichen Sinne verwendet, da die räumlichen Zusatzdaten wie Gebäudegeometrien, Siedlungsgrenzen, Bahnlinien und Strassen menschgemachte Artefakte darstellen.

Zur Verteilung der Bevölkerung wurde die einfachste und wahrscheinlich meist verwendete Methode des *dasymetric mapping*, die *binäre Methode*,<sup>49</sup>

verwendet (MENNIS 2009, 732). Genauer wurde die volumetrische Methode von LWIN & MURAYAMA (2009) verwendet, d.h. dass die Gebäudevolumen als Hilfsdaten verwendet wurden. Dabei wird die Bevölkerung unter Bedingung der häufig zitierten *pycnophylactic* Eigenschaft von TOBLER (1979) zugeteilt. Das *a priori* Wissen der Einwohnerzahl aller Gemeinden ermöglicht die Erfüllung dieser Eigenschaft für jede einzelne Gemeinde.

### 5.1.3 Urban Water Infrastructure Model (UWIM)

UWIM ist ein von MAURER *et al.* (2008) entwickeltes generisches Modell, mithilfe dessen die Mischkanalisation einer Siedlung quantitativ abgeschätzt werden kann. Die Autoren können mithilfe dieses Modells die Totallängen von Abwasserleitungen in Schweizer Gemeinden erfolgreich modellieren. UWIM wurde bisher nur auf Gemeindeebene angewandt, d.h. die Anwendung des Modells auf Baublockebene ist mit Unsicherheiten verbunden. Da UWIM aber auf Gemeindeebene die Infrastruktur prinzipiell abzuschätzen vermag, wird von der Annahme ausgegangen, dass UWIM grundsätzlich auch auf höher aufgelöster Ebene funktioniert. Die für UWIM wichtigsten Eingabeparameter sind in Abb. 5.1 wiedergegeben, wobei in dieser Arbeit nur die blau hinterlegten Faktoren spezifisch angepasst

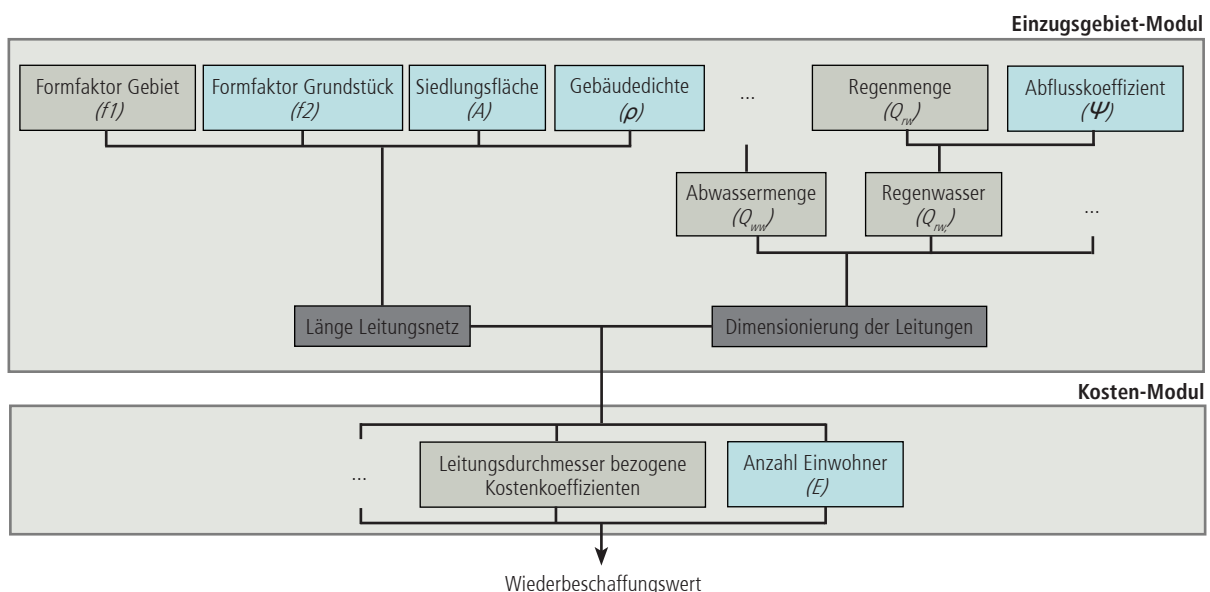
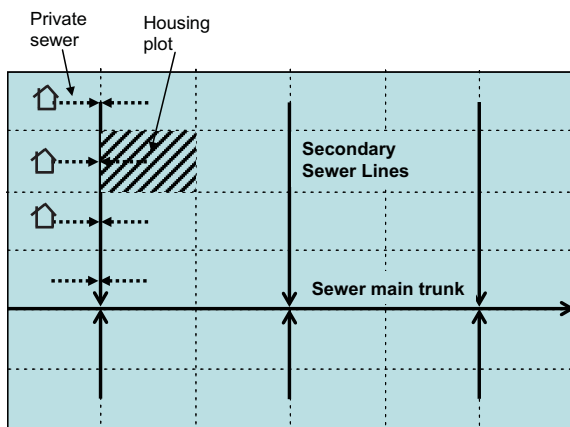


Abb. 5.1: Überblick über wichtige Eingabeparameter für UWIM.

49. Für eine Diskussion der verschiedenen alternativen Methoden sei auf MENNIS (2008) verwiesen.

wurden für die Ebene der Strukturtypen. Für alle grau hinterlegten Faktoren und nicht aufgeführten Faktoren wurden Standardwerte der Autoren verwendet (siehe MAURER *et al.* 2012c). *UWIM* lässt sich in zwei Module aufteilen:

I. Beim *Einzugsgebiet-Modul* wird die Leitungsinfrastruktur und deren Eigenschaften anhand verschiedener Eingabeparameter modelliert. Besonders zentral sind die Leitungslängen und deren Dimensionierung. In *Abb. 5.2* ist vereinfacht ein Einzugsgebiet mit dem modellierten Leitungsdesign (*secondary sewer lines* & *main trunk*) abgebildet. Die räumliche Verteilung der Häuser geschieht in diesem Modell gleichmässig. Mithilfe der Eingabeparameter der Anzahl Gebäude, der Form des Einzugsgebiets und deren Fläche wird die Länge der Leitungen berechnet.



Quelle: Ergänzte Grafik nach MAURER *et al.* (2012c, 4).

Abb. 5.2: *UWIM*

II. Beim *Kosten-Modul* werden die Wiederbeschaffungskosten der Infrastruktur berechnet (ohne Betriebskosten), resp. die im Kostenmodul berechneten Infrastrukturen monetär bewertet. Dafür werden weitere Annahmen getroffen, die direkt einen Einfluss auf die Kosten haben, wie z.B. die durchschnittliche Tiefe der Leitungen.

Im *UWIM* bestimmen viele unterschiedliche Parameter die schlussendlichen Wiederbeschaffungskosten, wobei eine Sensitivitätsanalyse von MAURER *et al.* (2012c) zeigt, dass die Abwasserleitungslängen hauptsächlich durch einen Korrektur-

faktor  $f_2$ , einer Fläche und von der Häuserdichte bestimmt werden. Die für die Kosten massgeblichen Parameter sind die Bebauungstiefe der Leitungen, ein vom Durchmesser abhängiger Tiefenfaktor und der Abflusskoeffizient.

## 5.2 Daten

In dieser Arbeit werden v.a. Gebäude- (*Abschnitt 5.2.1*), Kanalisations- (*Abschnitt 5.2.2*) und Bevölkerungsdaten (*Abschnitt 5.2.3*) benötigt, wobei aufgrund der aktuellen Datensituation in der Schweiz ein pragmatischer Lösungsansatz gewählt wird (*Abschnitt 5.2.4*)<sup>50</sup>

Ein Problem aller Daten, die nicht landesweit erhoben werden, ist der mit dem dezentralen Vorhandensein verbundene Aufwand der Beschaffung auf verschiedenen Ämtern und Stellen. Auch wäre der finanzielle Aufwand in den meisten Fällen unverhältnismässig. Es ist anzumerken, dass Entwicklungen im Bereich der *volunteered geographic information (VGI)* grosses Potenzial haben, die angesprochenen Datenprobleme teilweise zu beseitigen oder mindestens zu relativieren (GOODCHILD 2009, 1041), wobei WERDER *et al.* (2010, 338) dagegen halten, dass aufgrund daraus neu resultierender Datenprobleme diese Daten die systematisch erhobenen amtlichen Daten nicht ersetzen können.

### 5.2.1 Gebäudedaten

Falls *GIS*-Datensätze mit Gebäudeobjekten (digital) grossflächig erhoben werden, sind diese selten ausgiebig attribuiert (LÜSCHER *et al.* 2008, 449) und nebst hohen Beschaffungskosten erweist sich deren Zugang als restriktiv aufgrund des Datenschutzes (MEINEL *et al.* 2009, 469). Einen Lösungsansatz für diese Probleme bietet die Extraktion von Gebäudegeometrien aus Satellitenbildern (BRENNER 2005) oder analogen Karten (MEINEL *et al.* 2008). Diese Möglichkeit wird in dieser Arbeit nicht verfolgt, sondern auf bereits vorhandene digitale Daten zurückgegriffen. Die wichtigsten in der Schweiz flächenmässig erhobenen Gebäudedaten

50. Alle verwendeten Daten sind in *Anhang B* aufgelistet.

sind die kantonalen Daten der Amtlichen Vermessung (AV-Daten), die digitalisierte Landeskarte von *Swisstopo* (inkl. 3D Gebäudemodellen),<sup>51</sup> kantonale Gebäudedatenbanken und das nationale Gebäude- und Wohnungsregister.<sup>52</sup> Der Detaillierungsgrad der Attribute dieser Datensätze ist kantonal unterschiedlich: So lassen bei den wichtigen AV-Daten die Erhebungs-Richtlinien des Bundes Objektdefinitionen mit oder ohne Gebäudeunterteilungen zu.

### 5.2.2 Kanalisationsdaten

National sind sehr wenige Daten zur Abwasserinfrastruktur bekannt (HERLYN 2007). Grundsätzlich gelten die vorher angesprochenen Datenprobleme ebenfalls für die Kanalisationsdaten (*inter alia* GHOSH *et al.* 2006, 2), wobei speziell die Datenbeschaffung schwierig sein dürfte. In vielen Fällen erschwert die unsichere räumliche Lage der Leitungen eine Erhebung. Auch lässt sich aufgrund des Umstands, dass die Kanalisation sich dem Auge entzieht und unter dem Boden befindet, eine einfache alternative Erhebung, wie beispielsweise eine Extraktion aus Luftbildern, nicht realisieren. Aufgrund dessen wird häufig auf konkrete Leitungsinfrastrukturdaten verzichtet und diese modellhaft hergeleitet.

### 5.2.3 Bevölkerungsdaten

Das *BFS (2013c)* stellt gratis schweizweit Bevölkerungsdaten auf Gemeindeebene zur Verfügung. Seit der Abschaffung der Volkszählung als Vollerhebung in der Schweiz werden Bevölkerungsdaten auf Haushaltsstufe mithilfe von Einwohnerregistern der Gemeinden und Kantone berechnet,<sup>53</sup> die wiederum nicht einfach zugänglich sind. Für die Verwendung höher aufgelöster Daten als die Gemeindeebene existieren folglich wieder die in den vorherigen Abschnitten erwähnten Probleme.

### 5.2.4 Daten-Lösungsansatz für die Schweiz

Kriterien bezüglich Kosten, Beschaffung und Vollständigkeit schränken die Datenauswahl ein. Für viele benötigte Daten (Gebäude, Strassen, Siedlungsgebiet) erfüllt der Datensatz *Swissbuildings 3D* der *Swisstopo* diese Kriterien am besten. Dieser Datensatz ergänzt den *VECTOR25* Datensatz um die Gebäudehöhe. Ein Nachteil sind jedoch die kaum vorhandenen Gebäudeattribute und die grossen Aktualisierungszyklen der Daten.<sup>54</sup> Aufgrund der massgebenden Kriterien fiel die Wahl schliesslich trotzdem auf diesen Datensatz.



Abb. 5.3: AV-Daten und VECTOR25 im Vergleich

Datenquelle: Bundesamt für Landestopografie swisstopo

51. Datensatz: swissBUILDINGS3D 1.0.

52. Über einen interessanten Datensatz (Geopoast) verfügt weiter die Schweizerische Post, bei dem alle Postadressen georeferenziert vorhanden sind. Ein solcher Datensatz würde z.B. die Unterscheidung zwischen bewohnten und unbewohnten Häusern vereinfachen.

53. STATPOP

54. Die Aktualisierungszyklen sind auf folgendem Link ersichtlich: [http://www.swisstopo.admin.ch/internet/swisstopo/de/home/products/landscape/VECTOR25\\_production.html?mapnr=\(Zugriff.01.01.2013\)](http://www.swisstopo.admin.ch/internet/swisstopo/de/home/products/landscape/VECTOR25_production.html?mapnr=(Zugriff.01.01.2013)).

E wird versucht, die angesprochenen Attributprobleme mittels einer geometrischen Klassifikation der Gebäudeform zu lösen. Für die Entwicklung einer Klassifikation werden aber Kontrolldaten benötigt: Da der Kanton Zürich bei den *AV*-Daten auf freiwilliger Basis Gebäudeattribute erhoben hat, kann mithilfe dieses Datensatzes eine Methodik erarbeitet werden, die eine Beschränkung auf die *Swissbuildings3D* Daten ermöglicht. Mithilfe der Unterscheidung in verschiedene Gebäudetypen im *AV*-Datensatz kann ermittelt werden, welche Gebäude bewohnt oder unbewohnt sind und dadurch die Güte einer auf rein geometrischen Kriterien basierenden Gebäudeklassifikation abgeschätzt werden. Zwischen dem *AV*-Datensatz und dem *Swissbuildings3D* Datensatz bestehen sowohl geometrische als auch attributive Unterschiede. Diese sind die Folge eines unterschiedlichen Ge-

neralisierungsgrads. Um einen Kontrolldatensatz zu generieren, müssen die Attribute der *AV-Daten* auf die *Swissbuilding3D* übertragen werden. Beim Übertragen der Attribute der *AV*-Daten auf den *Swissbuildings 3D* Datensatz entstehen Zuordnungsprobleme (*Abb. 5.3*). Den *Swissbuildings3D* Geometrien wurde jeweils das Attribut des geographisch nächst liegenden Zentroids von Geometrien des *AV*-Datensatzes zugeordnet.

Der aktuelle Stand der Gebäude wurde mithilfe der vom Kanton Zürich lückenhaft zur Verfügung gestellten *AV*-Daten konstruiert, indem die *AV*-Gebäude, die nicht im *Swissbuildings3D* vorhanden sind, diesem hinzugefügt wurden (*vgl. Anhang B*). Als Lösung für das Problem der fehlenden Bevölkerungsdaten wurde der Ansatz des *dasymetric mapping* verwendet (*vgl. Abschnitt 5.1.2*).

---

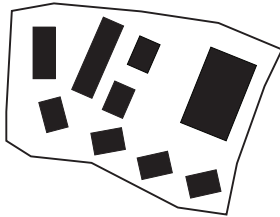


### 5.3 Überblick

Das konkrete Vorgehen lässt sich in verschiedene Schritte gliedern (vgl. Abb. 5.4). In Schritt I werden die räumlichen Basiseinheiten gebildet, die auf Grundlage einer morphologischen Gebäudeklassifikation (Schritt II) einem Siedlungstyp in Schritt III zugeordnet werden. Im darauffolgenden Schritt IV wird die Bevölkerung auf die in Schritt I gebil-

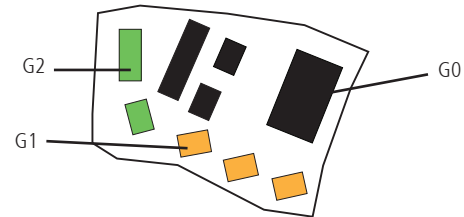
deten Basiseinheiten disaggregiert, die als einer von mehreren Eingabeparameter für die *UWIM*-Berechnung benötigt wird (Schritt V). Schlussendlich wird in Schritt VI das berechnete Potenzial auf die Schweiz hochgerechnet und in Schritt VII mittels Szenarioberechnungen für die Zukunft abgeschätzt.

I



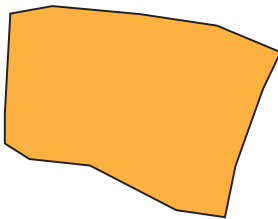
Abschnitt 5.4: Bildung dasymetrischer Zonen als räumliche Grundeinheit (Blocks)

II



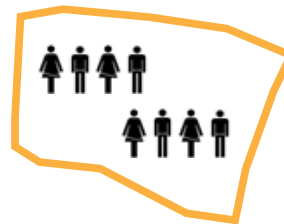
Abschnitt 5.5: Geometrische Gebäudeklassifikation

III



Abschnitt 5.6: Zuordnung der dasymetrischen Zonen zu einem Siedlungstyp mithilfe der klassierten Gebäude

IV



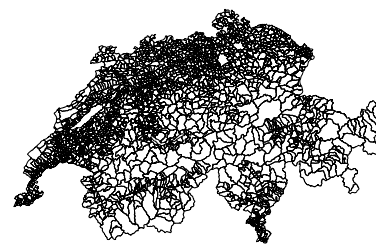
Abschnitt 5.7: Disaggregation der Bevölkerung

V



Abschnitt 5.8: Berechnung der Kosten der Leitungs- und ARA Infrastruktur

VI



Abschnitt 5.9: Hochrechnung auf die Schweiz

VII



Abschnitt 5.10: Szenario

Abb. 5.4: Überblick über die wichtigsten Schritte

## 5.4 Schritt I: Der Baublock als dasymetrische Zone

Die dasymetrischen Zonen werden, wie in *Abb. 5.5* dargestellt, gebildet mithilfe der Strassen-, Eisenbahn- und der Siedlungsgebietsgeometrie des *VECTOR25* Datensatzes. Strassen- und Siedlungsdaten sind dank der *VECTOR25*-Daten für die ganze Schweiz vorhanden. Bei dieser räumlichen Einteilung wird folglich auf keine administrative Einteilung zurückgegriffen (wie dem Zonenplan o.ä.).

Damit die spätere Berechnung mit *UWIM* möglich ist, werden die gebildeten dasymetrischen Zonen mittels des Verhältnisses der Zonenfläche zum Zonenumfang um *Sliver* Polygone bereinigt und auf eine Minimalgrösse von 0.9 Hektar iterativ mithilfe des Kriteriums der längsten gemeinsamen Polygongrenze aggregiert.<sup>55</sup> Grund für die Aggregation auf eine Minimalgrösse von 0.9 ha ist, weil *UWIM* für kleine Fläche nicht gerechnet werden kann und methodisch eine sinnvolle Minimalgrösse der Stadtstrukturtypen definiert werden muss. So legt z.B. SAUERWEIN (2004) diese in seiner Arbeit auf einen ha fest. Die bereinigten, bei diesem räumlichen Verschneiden entstandenen statistischen Bezugsflächen, werden als «Baublock» definiert.<sup>56</sup>

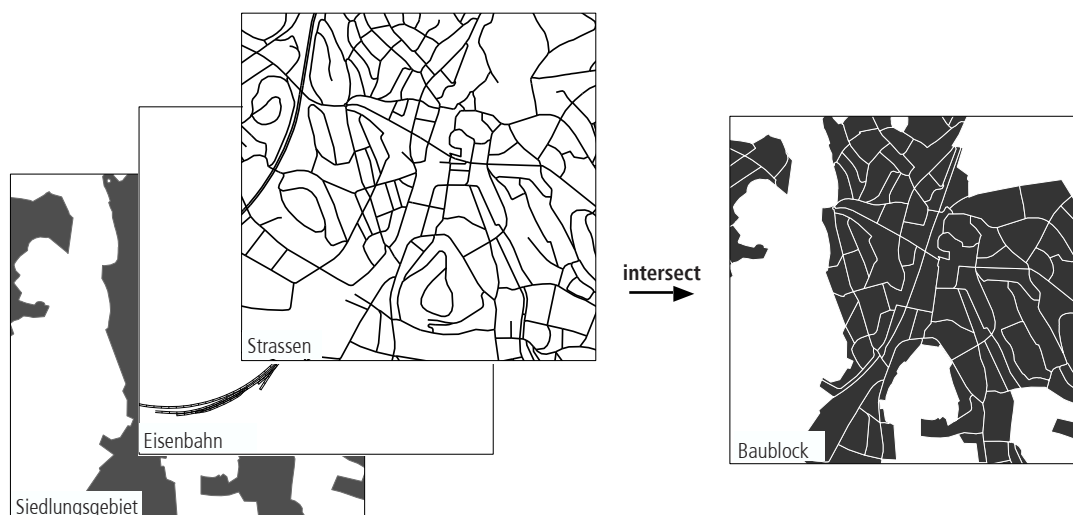


Abb. 5.5: Baublock Generierung

### 5.4.4.1 Dasymetrische Zonen in der Schweiz

Im Falle von Deutschland verwenden MEINEL *et al.* (2008) eine bereits amtlich (*ATKIS*) definierte Aufteilung in kleinräumige Zonen der bebauten Gebiete. Für die Schweiz fehlt eine solche Einteilung, wobei kantonal Anläufe unternommen wurden, neue statistische Zonen zu bilden.<sup>57</sup> URAL *et al.* (2001) benutzen als dasymetrische Zone den Zonenplan, der auch in der Schweiz mit relativ geringem Aufwand erhältlich ist, jedoch aus mehreren Gründen als nicht genügend beurteilt wird (*vgl. Anhang E*). STEINIGER *et al.* (2008, 58) bilden mittels eines Strassennetzes Zonen, was in einer hochaufgelösten räumlichen Aufteilung resultiert. In dieser Arbeit werden die dasymetrischen Zonen in Anlehnung an die Arbeit von STEINIGER *et al.* (2008) gebildet.

Die in meinem Fall verwendeten Hilfsdaten werden bereits von anderen Autoren verwendet (*vgl. Diskussion in MENNIS 2009, 732*), wobei festgestellt werden kann, dass in der Schweiz die Methode des *dasymetric mapping* selten angewendet wird und kaum Beispiele vorhanden sind.

55. Bei dieser Aggregation ist ebenfalls das Phänomen des *MAUP* zu beobachten, da es verschiedene Möglichkeiten der Fusion der Polygone gibt (*vgl. Anhang D*).

56. Es wird in der Literatur leider kein einheitlicher Begriff für diese räumlichen Basiseinheiten benutzt.

57. Ein Beispiel für den Kanton Zürich sind die Siedlungen.

## 5.5 Schritt II: Gebäudeklassifikation

Im diesem Schritt wird die Gebäudetypisierung vorgestellt (*Abschnitt 5.5.1*), die verwendeten Faktoren erläutert (*Abschnitt 5.5.2*) und die Klassifikation, mithilfe deren die Gebäudezuordnung vorgenommen wird, vorgestellt (*Abschnitt 5.5.3*).

### 5.5.1 Gebäudetypologie

Gebäude werden je nach Untersuchungszweck in unterschiedliche Typen eingeteilt. So stehen z.B. bei der Berechnung des Potenzials von Solarzellen auf Dächern (WIGINTON *et al.* 2010, 345) andere Gebäudecharakteristika im Fokus des Interesses als bei der Untersuchung des gebäudeabhängigen Energieverbrauchs (CARRERA *et al.* 2011).

In dieser Arbeit werden die Gebäude in fünf Kategorien eingeteilt, wobei eine solche Einteilung nicht den Anspruch erhebt, die ganze Vielfalt der Siedlungsinfrastruktur differenziert wiederzugeben. Anhand dieser Klassifikation lässt sich jedoch die Siedlung in groben Zügen charakterisieren. Die Wahl fiel auf diese 5 Typen, da einerseits diese auch in der Studie von ECOPLAN (2000) verwendet wurden, was somit einen Vergleich der berechne-

ten Kosten für die Schweiz ermöglicht, und andererseits auch ähnlich sind wie Typologien weiterer Arbeiten im Ausland (z.B. SEITZ 2002) (*vgl. Abschnitt 5.6.1*).

Die Beschreibung der Siedlungstypen zeigt die Schwierigkeit einer scharfen Abgrenzung auf, wobei bei anderen Arbeiten dieser Problematik zu wenig Aufmerksamkeit geschenkt wird und häufig Angaben zur Parametrisierung fehlen. Viele Arbeiten gehen von der Annahme aus, dass die Siedlungsstruktur je einem dieser Typen zufällt (wie z.B. bei ECOPLAN 2000). Da in der vorliegenden Arbeit, im Gegensatz zu reinen Modellansätzen, mit konkreten Daten eines Untersuchungsgebiets gearbeitet wird, braucht es Kriterien, die eine Differenzierung der verschiedenen Gebäude erlauben (*Tab. 5.1*).

### 5.5.2 Klassifikationsfaktoren

Aus der Literatur lassen sich die Faktoren mit der grössten Erklärungskraft zusammentragen (*vgl. Tab. 5.2*), wobei auch hier je nach Zweck unterschiedliche Indikatoren verwendet werden. MEINEL *et al.* (2008) ermitteln für jedes Gebäude 43 Kennwerte, wobei sich zeigt, dass eine Kombina-

Abkürzung	Gebäudetyp	Beschreibung
G0	Nicht bewohntes Gebäude	In diesen Gebäudetyp fallen beispielsweise Kirchen, Schulhäuser, Fabriken oder Treibhäuser.
G1	Freistehendes Einfamilienhaus	Ausserhalb des Siedlungsgebietes werden alle bewohnten Gebäude zu diesem Gebäudetyp gezählt. Innerhalb des Siedlungsgebietes werden klassische Einfamilienhäuser dazu gezählt, wobei nicht immer einfach auszumachen ist, ob stets nur eine Familie in einem Gebäude wohnt. Als Einfamilienhaus werden die eher kleinen, tiefen, von der Form her einfachen Gebäude gezählt.
G2	Reihenhaus	Als Reihenhaus wird ein in einer Reihe (oder leicht versetzt) angeordnetes Gebäude definiert. Doppelhäuser werden nicht dazu gezählt. Reihenhäuser bestehen typischerweise aus zwei Stockwerken und sind von der Fläche her mittelgrosse, längliche Gebäude. Ähnlich wie beim Hochhaus reicht der geometrische Grundriss beim Reihenhaus zur Identifikation nicht aus und die Höhe als zentrales Unterscheidungskriterium muss hinzugezogen werden.
G3	Wohnblock	Als Wohnblock wird die mehrgeschossige Bebauung in dicht besiedelten Gebieten definiert. Wohnblöcke weisen i.d.R. grosse, relativ komplexe Gebäudegrundrisse auf und sind, im Unterschied zu den vorherigen Gebäudetypen, höher.
G4	Hochhaus	Bei MEINEL <i>et al.</i> (2009, 472) wird ein Gebäude ab 11,4 Stockwerken als Hochhaus definiert, bei ECOPLAN (2000) ab 15 Stockwerken. Die Definition, ab wann ein Gebäude als Hochhaus gilt, wird unterschiedlich gehandhabt. Da bei meinen Daten nur die Gebäudehöhe und nicht die Stockwerkanzahl gegeben ist, wird auf Grundlage der VEREINIGUNG KANTONALER FEUERVERSICHERUNGEN (2003) ein bewohntes Gebäude ab 27 m als Hochhaus betrachtet. In der Baugesetzgebung gilt ein Gebäude als ein Hochhaus, wenn die Traufhöhe mehr als 25 m beträgt. An dieser Stelle wird angenommen, dass zur Traufhöhe pauschal noch 2 m Dachhöhe dazukommen.

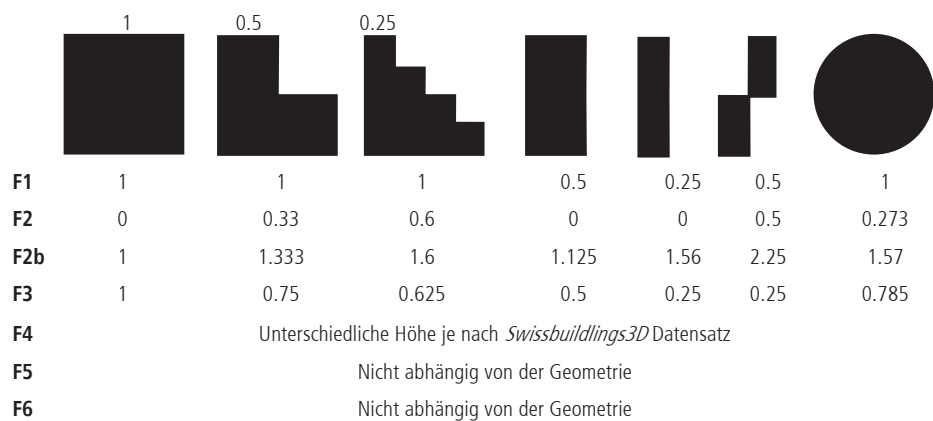
Tab. 5.1: Gebäudetypologie

Studie	Morphologische Kriterien										Topologische Kriterien													
	Grundrissfläche (inkl. Länge & Breite)	Gebäudehöhe	Formfaktor F2 „Komplexität“	Formfaktor F1 (Max. Breite / Max. Länge)	Anzahl Gebäudeecken	Fläche / Umfang	Gebäudeachse (Länge)	Gebäudeachse (Richtung)	Innenkreisfläche / Gebäudefläche	Kompaktheit	Gravelius Index	Schumms längste Achse / Flächen-Verhältnis	Anzahl Innenhöfe (Löcher im Polygon)	Grösster Innenkreisdurchmesser	Anzahl Knoten im Polygon (Gebäudeecken)	Längste Hausgebäudefinie	Anzahl Nachbarn (direkt anschliessend)	Kürzeste Distanz zu Nachbargebäude	Summe aller Gebäudeflächen im Buffer zur	Summe der Distanzen <sup>2</sup> aller Gebäude im Buffer	Gebäudefläche im Buffer zur Convex-Hull Fläche	Anzahl Nachbarn im Buffer	Distanz zur Baublockgrenze	Ausrichtung der Gebäudeachse zur Strasse
LÜSCHER <i>et al.</i> (2008)	x							x																
WERDER <i>et al.</i> (2010)	x		x	x					x							x	x							
NEIDHART & SESTER (2011)	x	x																						
COLANINNO <i>et al.</i> (2011)	x		x		x	x		x		x	x			x				x	x					
STEINIGER <i>et al.</i> (2008)	x			x	x						x	x		x				x	x	x				
MEINEL <i>et al.</i> (2008)	x		x	x								x	x		x								x	
RUAS <i>et al.</i> (2011)	x		x	x																				x

Tab. 5.2: Faktoren zur Gebäudeklassifikation aus der Literatur

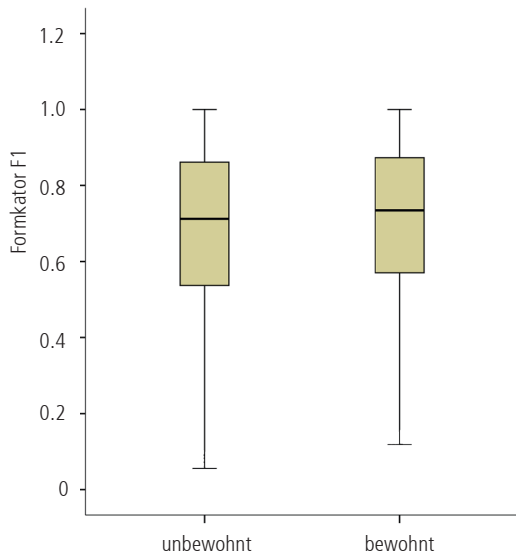
Faktoren	Herleitung	Beschreibung
F1 - Streckung	MBR-Breite / MBR-Länge	Je kleiner F1, desto gestreckter ist ein Gebäude. Falls der Wert nahe bei 1 liegt, weist das Gebäude eine quadratische Form auf.
F2 - Komplexität	(FlächeMBR-Grundrissfläche)/Grundrissfläche	F2 gibt die Abweichungen des Gebäudegrundrisses zum Rechteck an. Je komplexer der Gebäudegrundriss, desto grösser ist F2.
F2b - Kompaktheit	Umfang <sup>2</sup> / (Grundrissfläche * 16)	F2b nimmt zu mit zunehmender Abweichung vom Quadrat.
F3 - Fläche	Grundrissfläche	Je grösser F3, desto grösser ist die Grundrissfläche.
F4 - Gebäudehöhe	Gebäudehöhe aus SwissBuildings3D	Je grösser F4, desto höher ist die Gebäudehöhe.
F5 - Nachbarsdistanz	Distanz zum nächsten Nachbargebäude	Je grösser F5, desto weiter entfernt ist das Nachbargebäude. (Suchradius von 200 Metern).
F6 - Anzahl Nachbarn	Anzahl Nachbarn im 100m-Buffer (inkl. Gebäudeeigenes Polygon)	Je grösser F6, desto mehr Nachbargebäude sind vorhanden.
F7 - Anzahl Ecken	Anzahl Knoten im Polygon	Je grösser F7, desto komplexer ist die Form.

Tab. 5.3: Verwendete Faktoren



Tab. 5.4: Faktorwerte für Geometriebeispiele

tion von vier bis sechs Indikatoren ausreicht, um Gebäude zu klassifizieren. Bei der Auswahl der Faktoren wird auf eine vorgeschaltete Faktoranalyse oder Korrelationsmatrizen verzichtet und auf die Literatur verwiesen (MEINEL *et al.* 2008). Es wurde also hauptsächlich versucht, aus Erkenntnissen der Literatur möglichst voneinander unabhängige Faktoren zu wählen, welche in *Tab. 5.3* aufgelistet sind. In *Tab. 5.4* wird an Beispielgeometrien ersichtlich, welche Werte die verschiedenen Faktoren annehmen können. Anhand von Stichproben der unterschiedlichen Gebäudetypen werden die verschiedenen Faktoren ebenfalls verglichen. Sie unterscheiden sich i.d.R. für die verschiedenen Gebäudetypen nicht signifikant und weisen eine hohe Streuung auf (*Abb. 5.6*).



**Abb. 5.6:** Typische Boxplots

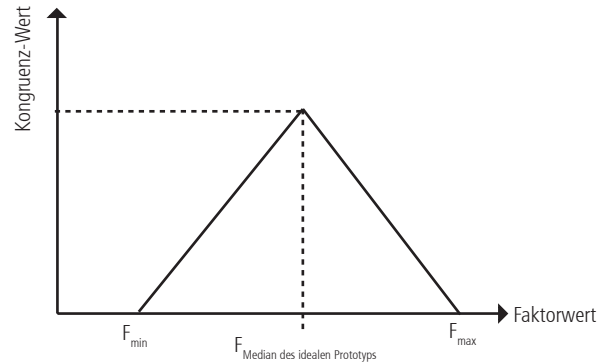
Trotzdem lassen sich für einzelne Gebäudetypen bezüglich der verschiedenen Faktoren typische Eigenschaften feststellen. Das Reihenhaus wird beispielsweise v.a. durch die Faktoren *F1* und *F3* bestimmt, da die längliche Form und die Grösse die typischen Charakteristika eines Reihenhaus ausmachen.

### 5.5.3 Gebäude-Klassifikation

#### 5.5.3.1 Überblick der Klassifikationsmethode

Aufgrund der definitorischen Unschärfe der Gebäudetypologie lässt sich keine eindeutige Klassifikation aller real existierenden Gebäude vor-

nehmen. Es bieten sich daher Methoden an, die auf dem Konzept der *Fuzzy-Logik* (*dt. unscharf*) basieren, d.h. von einer Unschärfe in den zu untersuchenden Konzepten ausgehen. Mithilfe von Zugehörigkeitsfunktionen (*eng. fuzzy membership functions*) lassen sich, im Gegensatz zur Booleschen Logik, nicht nur Klassen der totalen Zugehörigkeit (Wert 1) oder totalen Exklusion (Wert 0) bilden, sondern es können ebenfalls Zwischenstufen (z.B. Wert 0.5) definiert werden (*Abb. 5.7*).



**Abb. 5.7:** Lineare Zuordnung der Kongruenz-Werte

Analog zur Arbeit von LÜSCHER *et al.* (2008, 453) werden Kongruenz-Werte verwendet, um den Grad der Zugehörigkeit zu einem idealen Prototypen auszudrücken. Die Autoren unterscheiden zwischen *lower order* und *composite order concepts*, wobei die *composite order concepts* durch die Beziehungen zu den *lower order concepts* definiert werden (*Formel 5*). Die Idee dahinter ist, dass mithilfe eindeutiger Kriterien zuerst die Kongruenzwerte für die *lowerorder concepts* bestimmt werden und dank der definierten Beziehungen dadurch die weitere Zuordnung erleichtert wird.

#### Composite Order Concepts

$$\text{con}(C_i, R_j) = \frac{(\sum w_i \text{con}(C_i, R_j))}{\sum w_i}$$

- $C_i$  = Gebäudetypologie
- $R_j$  = Einzelgebäude
- $w_i$  = Gewichtungsfaktor

#### Kongruenz-Werte-Intervall

- $\text{con}(C_i, R_j) = 1$  Vollständige Übereinstimmung  $C_i$  mit  $R_j$
- $\text{con}(C_i, R_j) = 0$  Keine Übereinstimmung von  $C_i$  mit  $R_j$

**Formel 5:** Lower order und composite order concepts

Ein Beispiel für eine solche Beziehung ist das bewohnt-unbewohnt Kriterium eines Gebäudes. Unabhängig vom Kongruenz-Wert für die Gebäude-

Gebäudetyp	Lower Order Concept (regelbasiert)	Composite Order Concept
G1 - Einfamilienhaus	Das bewohnte Gebäude ist kleiner als 450 m <sup>2</sup> und nicht höher als 17 m. Auch ist die längste Seite nicht grösser als 50 m.	Eher kleine, tiefe, von der Form her unkomplizierte Gebäudegrundrisse.
G2 - Reihenhaus	Das bewohnte Gebäude ist nicht höher als 17 m und die längste Gebäudegrundrissbreite ist grösser als 26 m. Weiter ist die Grundrissfläche >300 m <sup>2</sup> und <2000 m <sup>2</sup> .	Mittelgrosse, längliche Gebäudegrundrisse.
G3 - Wohnblock	Das bewohnte Gebäude ist grösser als 2000 m <sup>2</sup> und höher als 8 m.	Eher grosse, komplizierte Gebäudegrundrisse. Eher hohes Gebäude.
G4 - Hochhaus	Das bewohnte Gebäude ist höher als 27m.	-

Tab. 5.5: Lower- und Composite Order Concepts

typen *G1-G5*, schliesst ein unbewohntes Gebäude eine Zuordnung zu einem dieser Gebäudetypen aus.<sup>58</sup> In *Tab. 5.5* werden die verwendeten *lower* und *composite order concepts* dargestellt.

Mithilfe von Luftbildern werden typische Reihenhäuser, Einfamilienhäuser und Wohnblocks identifiziert und als ideale Prototypen definiert.<sup>59</sup> Die durchschnittlichen Faktorenausprägungen, die die Grundlage bilden durch Berechnung der Kongruenzwerte dieser Prototypen, werden für jeden Typ berechnet.<sup>60</sup>

Das Vorgehen der Gebäudeklassifikation vollzieht sich in zwei Schritten: In einem ersten Klassifikationsverfahren werden die bewohnten Gebäude mit dem Berechnen von Verteilungswahrscheinlichkeiten identifiziert (*Abschnitt 5.5.3.2*) und erst in einem zweiten Schritt die Gebäudetypen 1 bis 4 mittels Kongruenz-Werten berechnet (*Abschnitt 5.5.3.3*).

### 5.5.3.2 Klassifikation unbewohnter Gebäude

Das Ermitteln der Zugehörigkeit durch eine regelbasierte Klassifikation wäre die einfachste Methode, die aber nur ungenügend funktioniert. Grund dafür sind fehlende Faktoren, bei denen sich die zwei Gebäudetypen *bewohnt* und *unbewohnt* deutlich unterscheiden. Dies zeigt, dass die grundlegende Annahme, dass sich die Attribute aus der

Geometrie herleiten lassen, nur bedingt erfüllt ist. Ob ein Gebäudeobjekt bewohnt oder unbewohnt ist, wird folglich mithilfe von Wahrscheinlichkeiten bestimmt. Das konkrete Vorgehen besteht aus mehreren Schritten:

I. Die *AV*-Daten des Kantons Zürichs ermöglichen es, die Verteilung und Eigenschaften der unbewohnten und bewohnten *VECTOR25* Gebäude zu untersuchen (*vgl. Anhang C*), resp. lassen sich die Ausprägungen der Faktoren für die bewohnten und unbewohnten Gebäude jeweils bestimmen. Für eine differenzierte Betrachtung der Häufigkeiten werden die Faktorwerte in Klassen oder Werte-Bandbreiten<sup>61</sup> eingeteilt, damit der Anteil der bewohnten und unbewohnten Gebäude innerhalb dieser Klassen einzeln ermittelt werden kann.<sup>62</sup> Für jeden Faktor werden Histogramme mit den jeweiligen Zugehörigkeitswahrscheinlichkeiten innerhalb der Klassen berechnet (*Abb. 5.8*) und eine Klassifikation vorgenommen (*Abb. 5.9*).

II. Die am besten klassierenden einzelnen Faktoren und Faktorkombinationen (jeweils mit linearer Gewichtung) werden mittels Vergleichen des Klassierungsfehlers bestimmt, welcher angibt, wie viel Prozent der Gebäude des Referenzdatensatzes falsch klassiert wurden (*vgl. Tab. 6.1 & Tab. 6.2 in Kapitel 6*).<sup>63</sup>

58. Das Kriterium, ob ein Gebäude bewohnt ist oder nicht, ist eindeutig und somit eigentlich ein lower-order concept. Bei der morphologischen Gebäudeklassifikation sind aber keine eindeutigen Kriterien vorhanden. Die Unterscheidung zwischen bewohnte und unbewohnte Gebäude kann insofern nur bedingt als lower order concept verstanden werden, da die Einteilung nicht eindeutig bestimmt wird.

59. Ein Problem dieser Herangehensweise ist, dass das Ergebnis abhängig ist von der Güte des Referenzdatensatzes, mit dem der ideale Prototyp hergeleitet wurde. Weiter ist die Gewichtung der unterschiedlichen Faktoren nicht trivial (MEINEL *et al.* 2008, 20).

60. Für die detaillierten Werte der Faktoren siehe *Anhang F*.

61. Je mehr Klassen gebildet werden, desto genauer lassen sich die Zugehörigkeiten vergleichen. Um den Aufwand in Grenzen zu halten, wurden 15 Klassen gebildet, die nach Ansicht des Autors genügt, die verschiedenen Kriterien sinnvoll einzuteilen.

62. Aus dem alleinigen Betrachten der Häufigkeit eines Faktors eines Gebäudetyps können noch keine Wahrscheinlichkeiten abgeleitet werden. Es könnten ja gerade die Gebäudetypen besonders eindeutig und einfach zum Zuordnen sein, obwohl sie nur selten vorkommen.

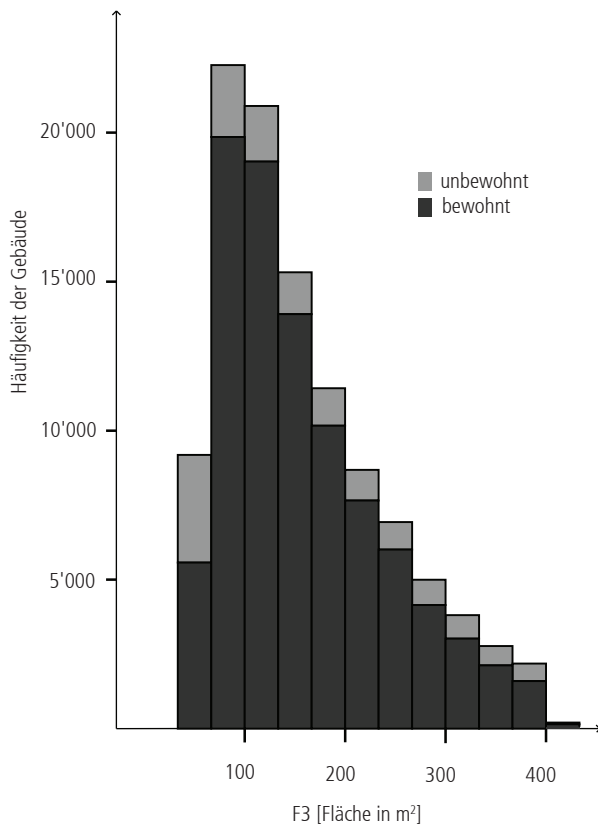


Abb. 5.8: Histogramm Faktor F3

III. Nachdem die Wahrscheinlichkeiten für die Klassen bewohnt und unbewohnt der verschiedenen Faktoren für jedes Gebäudepolygon berechnet wurden, werden die Gebäude nach aufsteigender Wahrscheinlichkeit sortiert. Mithilfe der aus dem AV-Datensatz bekannten Anzahl unbewohnter (resp. bewohnter) Gebäude wird ein Grenzwert bestimmt.<sup>64</sup> Dieser bildet die Grenze, ab wann ein Polygon noch als bewohnt oder unbewohnt klassiert wird: Alle Gebäude, die über dem Grenzwert liegen, werden als bewohnt klassiert.

Analog wie bei der naiven Bayes-Klassifikation (MURTY & DEVI 2011) gehe ich von der Annahme der Unabhängigkeit der einzelnen Attribute aus,

```
def klassierung(fieldAusserhalbBewohnt_5):
    # Variablen
    klassenbreite = 7.10699466
    startFirstBin = 0.98419799937
    fieldName = fieldAusserhalbBewohnt_5
    wahrscheinlichkeit_faktor1 = 26.77
    wahrscheinlichkeit_faktor2 = 30.01
    ...
    bin_0 = min
    bin_1 = min + 1*klassenbreite
    bin_2 = min + 2*klassenbreite
    ...

    # Klassifikation
    if (fieldName < bin_0):
        return wahrscheinlichkeit_faktor1

    if (fieldName >= bin_0 and fieldName < bin_1):
        return wahrscheinlichkeit_faktor2
    ...

    else:
        return 0
```

Abb. 5.9: Pseudo-Code der Klassierung in ArcGIS

welche aber für die verschiedenen Faktoren nur bedingt erfüllt ist. Dies scheint aber wenig problematisch, da in der Praxis auch der Bayes-Klassifikator mit raffinierteren Algorithmen mithalten kann (RISH 2001, 41) und als einer der effizientesten Algorithmen gilt, mit dem überwacht maschinelles Lernen möglich ist (FRIEDMAN *et al.* 1997, 131).

### 5.5.3.3 Klassifikation Einfamilienhaus, Reihenhäuser, Wohnblock und Hochhaus

Nach der Klassifikation bewohnter und unbewohnter Gebäude, werden mit Kongruenzwerten die restlichen Gebäudetypen zugeordnet (vgl. Abschnitt 5.5.3). Die detaillierten Kongruenzwerte der einzelnen Faktoren sind in *Anhang J* wiedergegeben.

63. Aufgrund der verschiedenen Eigenschaften ausserhalb und innerhalb des Siedlungsgebiets werden die Gebäudepolygone separat betrachtet. Ebenfalls werden für die Kernstädte Zürich und Winterthur separate Werte berechnet (*Anhang C*).

64. Bei Verwendung von wenigen Faktoren ist die Bestimmung eines Grenzwerts kaum möglich, da zu viele Gebäudepolygone identische Werte annehmen und somit zuwenig verschiedene Wahrscheinlichkeitswerte vorhanden sind.

### 5.6 Schritt III: Siedlungsklassifikation

Der Siedlungstyp beschreibt die Bauweise oder die vorherrschenden Gebäudetypen (ECOPLAN 2000, 15) und wird in dieser Arbeit aus dem dominierenden Gebäudetyp hergeleitet. Als Modellierungseinheit gilt der Baublock.

#### 5.6.1 Siedlungstypologie

Die Siedlungstypologie wird von ECOPLAN (2000) übernommen und erweitert zur Verbesserung der Vergleichbarkeit der Resultate. Für diese Arbeit werden die in Tab. 5.6 beschriebenen Siedlungstypen definiert. Der Vergleich mit Typologien anderer Autoren zeigt, dass verschiedene Einteilungen denkbar sind, aber auch häufig Überschneidungen bestehen (Tab. 5.7).<sup>65</sup>

Je nach Untersuchungszweck werden auch unterschiedliche Typologien gewählt: COLANINNO *et al.* (2011) teilen beispielsweise Barcelona bei der Untersuchung der morphologischen Struktur in „Altstadt“, „Stadterweiterungsgebiet“, „Stadt der 70er“, „fragmentierte Stadt“ oder „Vorstadt“ ein. Ein weiteres Beispiel ist die morphologische Einteilung verschiedener Siedlungstypen für die kartografische Visualisierung, bei der STEINIGER *et al.* (2008) ländliche, urbane, suburbane und innenstädtische Zonen unterscheiden.

Grundsätzlich ist anzumerken, dass es viele Zwischenformen gibt und es schwierig ist, eine eindeutige Typologie zu bilden, bzw. jede Typologie aus ihrer spezifischen Anwendung heraus begründet sein muss.

Abkürzung	Siedlungstyp	Anmerkung
S0	Industrie oder unbewohntes Gebiet	Grundsätzlich sind nicht nur Industriegebäude nicht bewohnt, sondern z.B. auch Gewerbe- oder öffentliche Gebäude. Typischerweise unterscheiden sich z.B. Schulhauszonen von Industriezonen, wobei diese Unterscheidung aufgrund der Daten und angewandten Methoden nicht befriedigend unterschieden werden kann. Daher werden diese Zonen zusammengefasst zur Zone S0. Dies erlaubt keine Differenzierung zwischen den Kosten öffentlicher Gebäude.
S1	Streusiedlung	Dieser Siedlungstyp ist charakterisiert durch frei stehende Einzelhäuser ausserhalb des Siedlungsgebiets und umfasst immer nur ein Gebäude.
S2	Einfamilienhaussiedlung	Die Schwierigkeit der Einfamilienhaussiedlung ist die Heterogenität der Bebauung: Es gibt viele Baublocks, die stark durchmischt sind mit Einfamilienhäusern und Wohnblocks.
S3	Reihenhaussiedlung	-
S4	Wohnblocksiedlung	-
S5	Hochhaussiedlung	-

Tab. 5.6: Siedlungstypologie

Autor	S0a	S0b	S1	S2	S3	S4	S5
ECOPLAN 2000			X	X	X	X	X
WERDER et al. 2010	X		X	X			
NEIDHART & SESTER 2004			X	X	X		X
MEINEL et al. 2008	X	X	X	X	X	X	X
BFS(2009) (Eidgenössisches Gebäude- und Wohnungsregister)			X	X			
SIEDENTOP et al. 2006b			X	X	X		
RIAS et al. 2011	X		X	X		X	
LÜSCHER et al. 2008					X		
RUAS et al. 2011	X		X	X			

Anmerkung: S1 & S2 wurde klassiert, auch falls nicht zwischen innerhalb und ausserhalb des Siedlungsgebiets unterschieden wurde.

Tab. 5.7: Verwendete Siedlungstypologien im Vergleich

Studie	Kriterien					
	Baublockfläche	Baublock Kompaktheit	Anzahl Gebäudetypen innerhalb des Blocks	Summe der Gebäudetypfläche / Baublockfläche	Dominierender Gebäudetyp nach Anzahl	Dominierender Gebäudetyp nach Fläche
MEINEL et al. 2008	X		X	X	X	X
WERDER et al. 2010	X	X	X	X		
RUAS et al. 2011	X		X	X		

Tab. 5.8: Verschiedene Kriterien zur Baublock Klassierung

65. Siehe auch JENSEN & KARAKOYUN (2005, 39).



### 5.6.2 Varianten der Klassifikation

Die Baublocks werden einem Siedlungstypen auf Grundlage der Gebäudezusammensetzung innerhalb des Baublocks zugeordnet. Mögliche Kriterien, die für eine Blockklassifikation verwendet werden können, sind in Tab. 5.8 aus der Literatur wiedergegeben. In der vorliegenden Arbeit werden zwei Kriterien verwendet, anhand deren aus den Gebäudetypen ein Siedlungstyp hergeleitet wird: Dies ist einerseits die Anzahl der verschiedenen Gebäudetypen im Baublock und andererseits der Anteil der verschiedenen Grundrissflächen. Diese beiden Faktoren wurden in einem Homogenitätskriterium ( $H_{krit}$ ) für jeden Gebäudetyp zusammengefasst (Formel 6):

$$H_{krit} = \left( \frac{\sum \text{Gebäudetyp}}{\sum \text{Gebäude}} + \frac{\sum \text{Grundrissfläche Gebäudetyp}}{\sum \text{Grundrissfläche}} \right)$$

Formel 6: Homogenitätskriterium

Für den Siedlungstyp Hochhaus ist dieses Homogenitätskriterium schlecht geeignet, da der Siedlungstyp „Hochhaussiedlung“ nur durch wenige Hochhäuser mit einer relativ kleinen Grundfläche charakterisiert sein kann. Daher wird der Siedlungstyp S5 mithilfe der Volumen klassiert, d.h. es werden all jene Baublocks zu einer Hochhaussiedlung gezählt, bei denen das Volumen der Hochhäuser grösser ist als alle anderen Volumintypen. Nachdem der Siedlungstyp S5 bestimmt worden ist, werden die verbleibenden Siedlungstypen jeweils demjenigen Siedlungstyp zugeordnet, der den höchsten Homogenitätsgrad aufweist.

Trotz der Reduktion auf zwei Kriterien gibt es noch viele Entscheidungen, die Einfluss auf die Baublock-Zuordnung haben, da die Gebäude innerhalb des Baublocks unterschiedlich berücksichtigt oder klassiert werden können. In der vor-

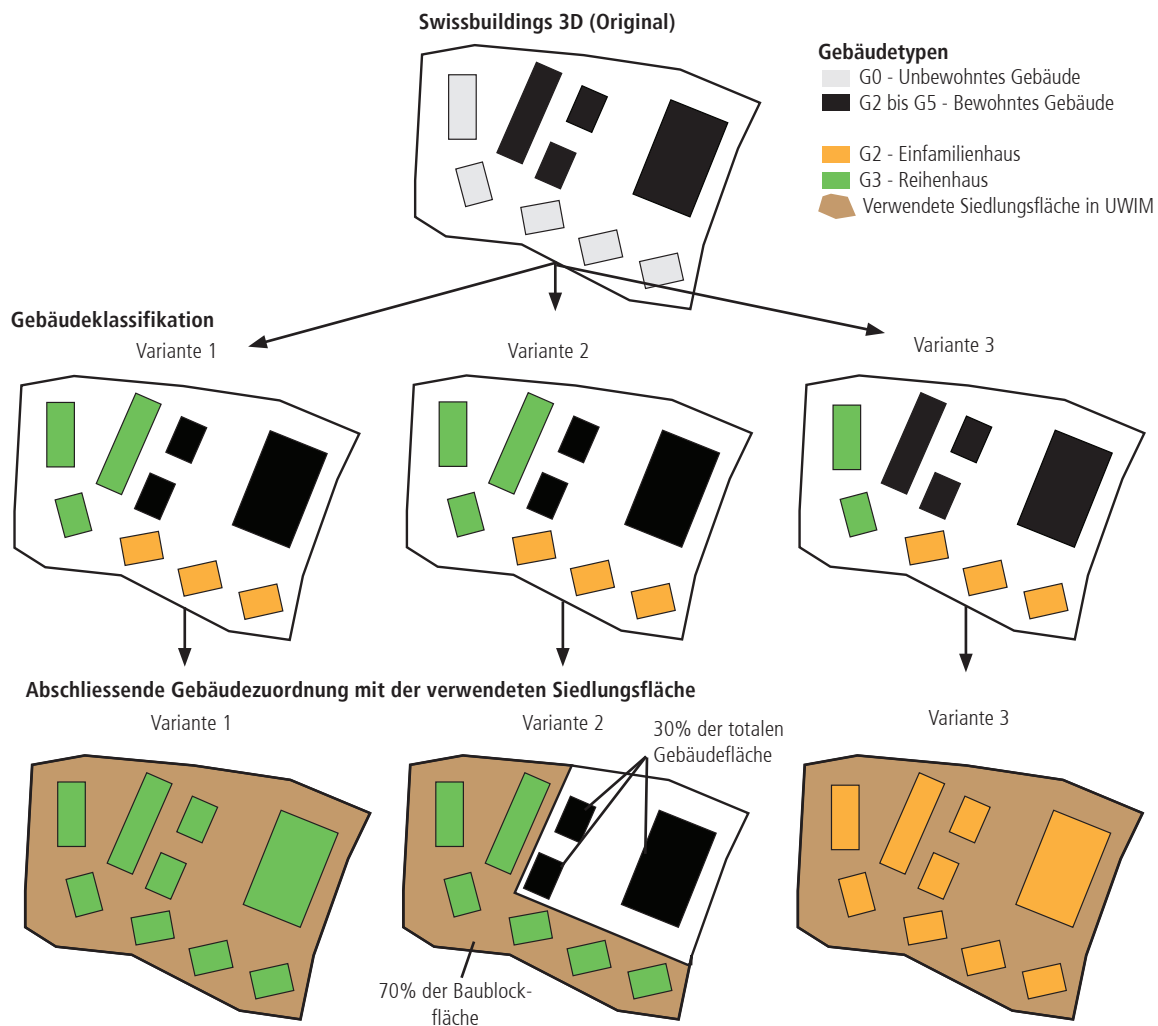


Abb. 5.10: Schematische Abbildung der Baublockzuordnung.

liegenden Arbeit wurden für die Berechnung des Potenzials mehrere Varianten gewählt. In Abb. 5.10 sind die verschiedenen Varianten grafisch umgesetzt.

#### 5.6.2.1 Variante 1: «Strukturtypenansatz»

In dieser Variante werden alle Gebäude innerhalb der Baublocks einbezogen und im Sinne des Strukturtypenansatzes generalisiert, d.h. es werden alle Gebäude dem gleichen, dominierenden Gebäudetyp zugeordnet.<sup>66</sup>

#### 5.6.2.2 Variante 2: «Berücksichtigung unbewohnt»

Der Unterschied zur Baublockklassifikation in Variante 1 ist derjenige, dass jeweils nur die bewohnten Gebäude einbezogen werden. Die als unbewohnt klassierten Gebäude innerhalb der Baublocks werden also nicht berücksichtigt und nicht wie beim Strukturtypenansatzes generalisiert.

Dies hat zur Folge, dass bei der Disaggregation der Bevölkerung nur die bewohnten Gebäudevolumen einbezogen werden. Zudem wird bei der Anwendung von *UWIM* die Siedlungsfläche prozentual verkleinert. Grund dafür ist, dass innerhalb der Baublocks nur die unbewohnten Gebäude keiner Erschliessung mehr bedürfen. Die Mindestgrösse von 0.9 ha muss beibehalten werden, damit mit *UWIM* gerechnet werden kann.

#### 5.6.2.3 Variante 2b: «Berücksichtigung unbewohnt korrigiert»

In Variante 2 weisen alle Baublocks eine Mindestgrösse von 0.9 ha auf, auch wenn die Fläche des Baublocks infolge der abzuziehenden Fläche wegen der als unbewohnt klassierten Gebäude kleiner wäre. D.h. aufgrund der Mindestgrösse für die *UWIM*-Berechnung resultieren in Variante 2

Baublocks mit unverhältnismässig grossen Flächen, was zu überhöhten Kosten einzelner Baublocks führt. Daher werden in dieser Variante alle Baublocks mit einer grösseren Abweichung von der Siedlungsfläche von 5000m<sup>2</sup> nicht berücksichtigt.

#### 5.6.2.4 Variante 3: «Original-Daten»

Um zu sehen, wie sich die Klassifikation der bewohnten und unbewohnten Gebäude auswirkt, werden richtig attribuierte *AV*-Daten verwendet, sofern diese vorhanden sind. Falls keine *AV*-Daten vorhanden sind, werden klassierte *VECTOR25* Daten verwendet. Ansonsten deckt sich das Vorgehen mit dem in Variante 1.

## 5.7 Schritt III: Disaggregation der Bevölkerung

Da die Bevölkerung nur auf Stufe Gemeinde einfach zugänglich ist, muss die Anzahl Personen für jeden Baublock bestimmt werden.<sup>67</sup> *STEINNOCHER et al.* (2005) nehmen eine räumliche Disaggregation sozio-ökonomischer Daten auf Grundlage der Bebauungsdichte vor, wobei die Autoren von einer linearen Abhängigkeit der Bebauungsdichte zur Bevölkerungsdichte ausgehen. Die Bebauungsdichte schätzen die Autoren dabei mithilfe des Versiegelungsgrads auf Grundlage von Satellitenbildern. In dieser Arbeit ist die Datengrundlage aber besser, d.h. es können präzisere Verfahren verwendet werden. Um die Bevölkerung auf die neuen geografischen Einheiten zu disaggregieren, wurde in dieser Arbeit die volumetrische Methode von *LWIN & MURAYAMA* (2009) verwendet (*Formel 7*).

*URAL et al.* (2001, 852) erweitern die volumetrische Methode mit Gewichtungsfaktoren für verschiedene Gebäudetypen, wodurch die Bevölkerungsumverteilung um 37% verbessert wird. Diese

66. Es werden nur die Baublocks als unbewohnt definiert (S0), bei denen kein einziges Gebäude als bewohnt klassiert wurde.

67. Ein in der Schweiz vorhandener Datensatz weist die Bevölkerung der Volkszählung 2000 aggregiert auf 1 ha Rasterzellen auf. Aufgrund der relativ kleinen Rasterzellen gibt es bei der Zuordnung der Gebäude zu den Rasterzellen massive Schwierigkeiten, da nicht mit Sicherheit bestimmt werden kann, welche Gebäude in welche Zelle fallen. Weiter wird dieser Datensatz nicht verwendet, damit die Methodik auch in Gebieten verwendet werden kann, für die eine solche Grundlage fehlt.

**Flächen-Methode**

$$BP_i = \left( \frac{CP}{\sum_{k=1}^n BA_k} \right) BA_i$$

**Volumetrische Methode**

$$BP_i = \left( \frac{CP_i}{\sum_{k=1}^n BA_k \cdot BH_k} \right) BA_i \cdot BH_i$$

$BP_i$  = Anzahl Personen in Gebäude  $i$

$CP_i$  = Anzahl Personen in Gemeinde  $i$

$BA_i$  = Grundrissfläche Gebäude  $i$

$BH_i$  = Gebäudehöhe Gebäude  $i$

$i, k$  = Summen-Indizes

$n$  = Anzahl Gebäude innerhalb des CP-Polygons

**Formel 7:** Methoden zur Disaggregation der Bevölkerung

Gewichtungsfaktoren ermittelten die Autoren mit Stichproben für jeden Gebäudetyp. Aufgrund fehlender Stichproben der einzelnen Siedlungstypen, können Gewichtungsfaktoren nicht ohne grösseren Aufwand ermittelt werden. Die hier vorgenommene Gebäudeklassifikation spricht aber *per se* für einen erweiterten Ansatz, bei dem das Wissen um den Gebäudetyp für die bessere Disaggregation einbezogen wird.

Ein generelles Problem bei der Verteilung der Bevölkerung mithilfe der Siedlungsstruktur ist, dass aufgrund der Geometrie nicht auf den Leerstand eines potentiell bewohnbaren Gebäudes geschlossen werden kann. Daher müssen Annahmen zum Leerstand getroffen werden.<sup>68</sup> Um das Modell möglichst einfach zu halten, wurde aber auf die Festlegung differenzierter Leerstandsquoten verzichtet, da im Falle von Zürich diese auch weniger ins Gewicht fallen als sie dies z.B. in Studien ostdeutscher Bundesländer tun.

Die volumetrische Methode kann nur gewählt werden, wenn Gebäudehöhen (resp. Volumen) vorhanden sind. Sollte dies nicht der Fall sein, kann dieselbe Methode auf Grundlage der Gebäudeflächen verwendet werden (*Flächen-Methode*), womit auch der Anwendung von Gewichtungsfaktoren grössere Bedeutung zukäme.

## 5.8 Schritt IV: Berechnung WBW

Bei der Berechnung des *WBW* des *zen AbwSys* unterscheidet sich das Vorgehen grundlegend innerhalb (*Abschnitt 5.8.1*) und ausserhalb (*Abschnitt 5.8.2*) des Siedlungsgebiets und wird getrennt behandelt.

### 5.8.1 Berechnung des *WBW* der Kanalisation innerhalb des Siedlungsgebiet mit *UWIM*

Die Kosten der vorhandenen Abwasserleitungsinfrastruktur werden mit dem von MAURER *et al.* (2008) erstellten Modell *Urban Water Infrastructure Model UWIM* auf Siedlungsstrukturebene abgeschätzt. *UWIM* kann aufgrund des benötigten Eingabeparameters der Siedlungsfläche den *WBW* ausschliesslich innerhalb des Siedlungsgebietes berechnen. Bei der Anwendung von *UWIM* innerhalb des Siedlungsgebietes werden die vier wichtigsten Modellparameter<sup>69</sup> des Einzugsgebiets-Modul für die jeweiligen Baublocks berechnet und bei der Berechnung der Durchschnittswerte innerhalb der Baublocks berücksichtigt.

Die getroffenen Annahmen zu den vier wichtigsten Modellfaktoren werden im Folgenden erläutert.

#### 5.8.1.1 Formfaktor ( $f_2$ )

Dieser Modellfaktor berücksichtigt die geometrische Form des Untersuchungsgebietes. BLUMENSAAT *et al.* (2012, 1443) haben bei ihrer Anwendung von *UWIM* für jedes ihrer Untersuchungsgebiete  $f_2$  mit *ArcGIS* berechnet. In meinem Fall wird  $f_2$  als Korrekturfaktor (*engl. fudge factor*) eingesetzt, der dadurch seinen ursprünglichen geometrischen Bezug verliert und zum Kalibrieren von *UWIM* verwendet wird. HERLYN *et al.* (2010) haben eine Gemeindetypisierung vorgenommen und  $f_2$  für fünf verschiedene abwasserspezifische Gemeindetypen berechnet (*Tab. 5.9*), welche für meine Arbeit übernommen werden. Mit der Anwendung eines gemeindespezifischen Faktors  $f_2$  werden die gemeindespezifischen Unterschiede berücksichtigt.

68. Z.B. auf Grundlage des Bundeamtes für Statistik: <http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/themen/09/01/key.html> (Zugriff.: 17.09.2012).

69. Je nach gewählter Variante der Klassierung der Baublocks werden bei der Siedlungsfläche Abzüge vorgenommen, da nicht davon ausgegangen wird, dass jedes Gebäude einen Anschluss benötigt. Als Siedlungsfläche wird jeweils die Fläche des Baublocks verwendet.

Gemeindetyp	f2
Städte (A)	0.4814
urban kompakt (B1)	1.2586
urban zersiedelt (B2)	siehe B1
ländlich kompakt (C1)	1.1881
ländlich zersiedelt (C2)	0.9091

Tab. 5.9: Fudge Factor verschiedener Gemeindetypen

### 5.8.1.2 Siedlungsfläche

Die Siedlungsfläche wird in dieser Arbeit als die Fläche des Baublocks definiert.<sup>69</sup> Diese Fläche leitet sich bei der verwendeten Methodik von der Siedlungsfläche des VECTOR25-Datensatzes ab. Bei diesem Datensatz wurde das Siedlungsgebiet manuell entlang der Siedlungsgrenzen erfasst und entspricht keinen administrativen Grenzen. Trotz dieser Ungenauigkeit ist dies der beste Datensatz, der für die Abgrenzung der Siedlungen schweizweit zur Verfügung steht (SCHWICK *et al.* 2010, 32).

### 5.8.1.3 Häuserdichte

Als Eingabeparameter wird die Anzahl der bewohnten Gebäude im Baublock bestimmt. Es gilt die Annahme, dass für jedes bewohnte Gebäude ein Anschluss an das *AbwSys* benötigt wird. Je weniger Hausanschlüsse pro Fläche vorhanden sind, desto weniger Leitungsinfrastruktur wird benötigt. Dabei müsste den datentypischen Aspekten Rechnung getragen werden, dass sich die Anzahl Häuser in den verschiedenen Datensätzen unterscheiden, was aber im Rahmen dieser Arbeit nicht weiter unternommen wurde. Dieser Fehler wird aber relativiert durch die methodische Unsicherheit der Bestimmung der anschlussbedürftigen Häuser, resp. die Klassifikation der nicht bewohnten Gebäude. Zum Abschätzen dieser Unsicherheit wird auf HERLYN *et al.* (2010) verwiesen.

### 5.8.1.4 Abflusskoeffizient

Für hydrologische Modellierungen wird bevorzugt der *rational method* Ansatz gewählt. Der bei diesem Ansatz verwendete Abflusskoeffizient wird von BEVEN (2012, 393) als der Anteil des Regenvolumens in einem Niederschlagsereignis definiert, der in der Hochwasserganglinie ersichtlich wird. Der Ab-

flusskoeffizient ist also der Anteil des totalen Niederschlags eines Ereignisses, der zum Abfluss wird (BEVEN 2012, 28). Die Abflussmenge ist dabei abhängig von der Nutzung des Bodens, vom Bodentyp und von der Neigung, die in dieser Arbeit der Einfachheit halber ignoriert wurden. Für den Abflusskoeffizienten werden Abflussbeiwerte verwendet (VSA 2013).

Auf Stufe Gemeinde wird bei *UWIM* standardmäßig ein Abflusskoeffizient von 0.18 vorgeschlagen, was bei einer höher aufgelösten räumlichen Modellierung ungenügend erscheint. Eine geografische Differenzierung des Abflusskoeffizienten wird mithilfe des mittleren Abflussbeiwertes ( $\Psi_{average}$ ) in den Baublocks vorgenommen. Dieser wird mit Teilflächen der Bodennutzungstypen ( $A_1, A_2, \dots$ ) und den jeweiligen Abflussbeiwerten ( $\Psi_1, \Psi_2, \dots$ ) wie folgt berechnet (Formel 8):

$$\Psi_{Baublock\ i} = \frac{A_1 \cdot \Psi_1 + A_2 \cdot \Psi_2 + \dots + A_i \cdot \Psi_i}{A_1 + A_2 + \dots + A_i}$$

Formel 8: Vorgehen der Berechnung von  $\Psi$  für die Baublocks (vgl. IMHOFF & IMHOFF 2007, 65).

In Tab. 5.10 sind typische vorgeschlagene Werte aus der Literatur angegeben.

Befestigte Teilflächen	$\Psi$	Unbefestigte Teilflächen	$\Psi$
Eternit, Blech, Glas	0.95	Gärten, Wiesen	0
Ziegel	0.9	Parkanlagen	0
Asphalt, Beton	0.8	Wald	0

Quelle: GUJER (2007, 218)

Tab. 5.10: Abflussbeiwerte von unterschiedlich befestigten und unbefestigten Teilflächen im Siedlungsgebiet

Da die Gesamtgebäudefläche für jeden Baublock bekannt ist, kann der Befestigungsgrad relativ einfach abgeschätzt werden. Zusätzlich zu den verbauten Grundrissflächen wird je nach Siedlungstyp ein Prozentsatz der restlichen befestigten Fläche auf Grundlage von berechneten Werten in Siedlungstypen-Stichproben abgeschätzt (Tab. 5.11) (vgl. Anhang O). Die unter diesen Annahmen durchschnittlichen Abflusskoeffizienten für jeden Siedlungstyp sind in der zweiten Spalte in Tab. 5.11 angegeben. IMHOFF & IMHOFF (2007, 65) schlagen dichteabhängige Abflussbeiwerte vor (Tab. 5.12), welche zeigen, dass die berechneten Werte vergleichbar sind.

Siedlungstyp	Flächenanteil	$\varnothing \psi$
S2 - Einfamilienhaus-Quartier	18.4 %	0.33
S3 - Reihenfamilienhaus-Quartier	19.2 %	0.35
S4 - Wohnblock-Quartier	29.1 %	0.48
S5 - Hochhaus-Quartier	36.3 %	0.5

Tab 5.11: Anteil der befestigten Teilfläche an der Gesamtfläche exkl. Gebäudeflächen

Beschreibung	Abflussbeiwert
geschlossene Bebauung	0.5-0.7
offene Bebauung	0.3 – 0.5
gartenreiche Aussenviertel	0.2 – 0.3
unbebautes Gelände	0.1-0.2
Parkanlagen	0.0 – 0.1

Tab. 5.12: Gängige Abflussbeiwerte der Stadtentwässerung

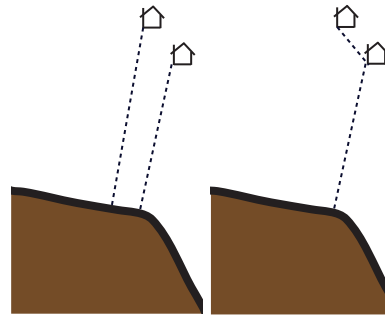


Abb. 5.12: Möglicher Fehler beim Ziehen der kürzesten Distanz

### 5.8.2 Berechnung des WBW der Kanalisation des zentralen AbwSys ausserhalb des Siedlungsgebiets

In meiner Arbeit soll der in beinahe allen Studien ignorierte Siedlungstyp „Streusiedlung (S1)“ detaillierter in die Analyse einbezogen werden. Ein Grund für die fehlende Berücksichtigung dieses Siedlungstyps ist wahrscheinlich der Zusammenhang der Infrastrukturaufwendung und der räumlichen Lage, was in fallspezifischen Kosten resultiert und Methoden bedingt, die die spezifische geografische Situation berücksichtigen. Für das Schätzen und Simulieren der Länge der Kanalisation einer Streusiedlung sind mehrere Methoden denkbar.

Die einfachste Methode zum Abschätzen der Leitungslängen ist das Ziehen einer direkten Linie zum nächsten Siedlungsgebiet realisierbar (z.B. mit *near*-Analyse in *ArcGIS*). Obwohl dies als erste Annäherung Resultate liefern kann, ergibt sich mit diesem Ansatz das Problem der „doppelten Leitungen“ (Abb. 5.12): beim Leitungsbau fließen Über-

#### 5.8.1.5 Implementierung in ArcGIS

Zur Automatisierung der Berechnung der Leitungsinfrastruktur wurde das im Statistik-System *R* geschriebene Modell *UWIM* mittels der Programmiersprache *Python* in das Programm *ArcGIS* eingebunden. Zur möglichst einfachen Handhabung wurde ein sogenanntes *ArcTool* erstellt, das eine einfach zu bedienende Benutzeroberfläche gewährleistet.<sup>70</sup> Die Funktionsweise des *Python*-Skripts ist in Abb. 5.11 ersichtlich. Für das Lesen und Schreiben der *.dbf*-Dateien wurde das *Python* Modul *dbfpy* verwendet.<sup>71</sup>

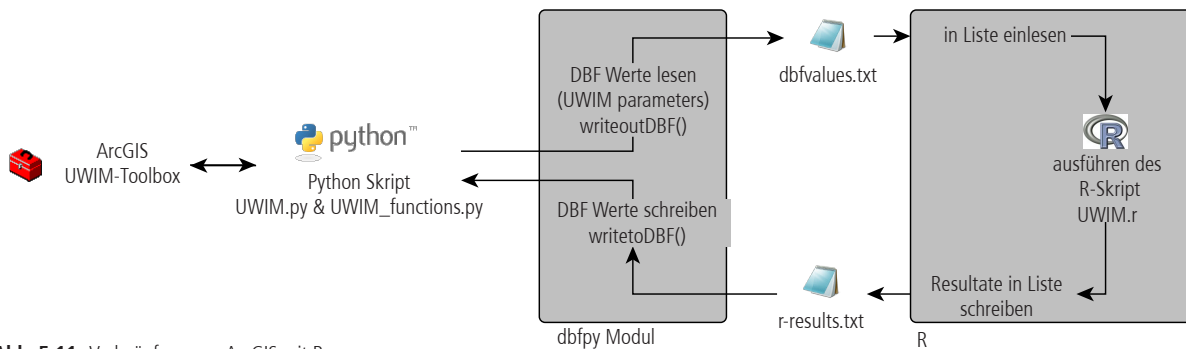


Abb. 5.11: Verknüpfung von ArcGIS mit R

70. Es mussten ebenfalls Änderungen in der von MAURER *et al.* (2010) zur Verfügung gestellten R-Datei vorgenommen werden. Sowohl das Python Skript und das modifizierte *UWIM*-Skript als auch das *ArcTool* befinden sich auf der dieser Arbeit beiliegenden CD. Der Skript-Code ist im Anhang K beschrieben.

71. Link: <http://dbfpy.sourceforge.net/> (Zugriff: 18.10.2012)

legungen zur Minimierung der Leitungslängen ein, d.h. solche doppelte Leitungen werden i.d.R. vermieden. Auf Grundlage der Überlegungen zur Minimierung der Distanzen, wird die Kanalisation mithilfe eines *Minimum Spanning Tree (MST)* modelliert. Andere Autoren haben sich für alternative Methoden entschieden, die Lage von Abwassernetzwerken zu simulieren. GHOSH *et al.* (2006) modellieren Abwassernetzwerke mittels Fraktal-Geometrien; MÖDERL *et al.* (2008) benutzen den Galton-Watson-Prozess (auch *simple branching algorithm*) zum Erstellen ihres Netzwerks. In der Regel werden weitere Hilfsdaten wie digitale Höhenmodelle verwendet, die eine realistischere Simulation des Verlaufs der Leitungen ermöglichen (bsp. BLUMENSAAT *et al.* 2012).

Zur Erstellung des *MST* wurde auf einen bereits geschriebenen *Python*-Code zurückgegriffen,<sup>72</sup> der einen *MST* für eine Menge von Punkten mithilfe des Algorithmus von PRIM (1957) berechnet. Mit dem *MST* wird die kürzeste Distanz einer Kanalisation eruiert, die alle bewohnten Gebäude ausserhalb des Siedlungsgebiets mit einer *ARA* erschliesst. Dafür sind zwei Schritte notwendig:

I. In einem ersten Schritt wird der *MST* mithilfe der *ARA*-, der Baublock- und aller Standorte der bewohnten Gebäude ausserhalb des Siedlungsgebiets berechnet (Abb. 5.13). Die Gebäude- und Baublock-Polygone wurden mittels der Standard-

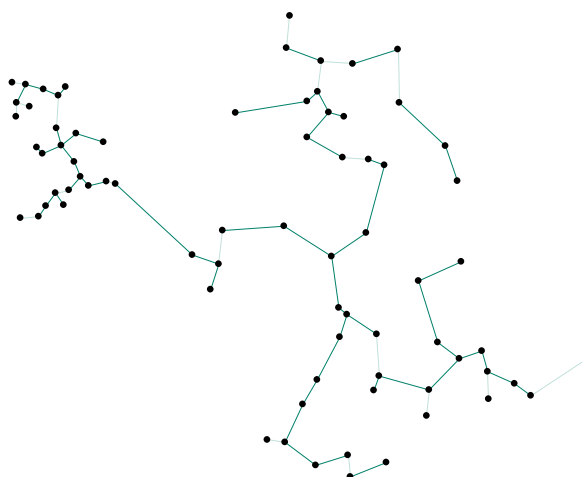


Abb. 5.13: Beispiel für einen *MST*

funktion in *ArcGIS* (*feature to point*) in Punkte konvertiert, wobei jeweils diese Punkte den Schwerpunkt (Zentroid) darstellen. Die *MST* werden jeweils für jedes Einzugsgebiet einzeln berechnet, d.h. es gibt keine Kanalisationen zwischen verschiedenen Einzugsgebieten.

II. In einem zweiten Schritt wird der *MST* räumlich um alle Distanzen innerhalb des Siedlungsgebiets bereinigt (in *ArcGIS*: *erase*). Dadurch bleiben alle Kanalisationslängen ausserhalb des Siedlungsgebiets übrig, resp. alle Leitungslängen, die Siedlungsgebiete miteinander verbinden oder Anschlüsse an Einzelhäuser darstellen. Schliesslich werden die Gesamtlängen pro Einwohner der verschiedenen Gemeinden berechnet und mittels einer Annahme eines Meterpreises die Gesamtkosten pro Person kalkuliert. Diese Annahme wird für Zubringerleitungen bei 300 CHF pro Meter angesetzt (vgl. ECOPLAN 2009). Die pro Kopf-Leitungslängen werden berechnet, indem die Totallänge ausserhalb des Siedlungsgebiets durch die Anzahl der Personen ausserhalb des Siedlungsgebiets dividiert wird.

Dass sich die Anschlusskosten je nach Position im Leitungsnetz ändern, kann mit dieser Methode nicht berücksichtigt werden. Da der *MST* aber nicht die tatsächliche Lage wiedergibt, ist in vielen Fällen auch nicht klar, wie die Leitungen tatsächlich verlaufen würden. Je nach Methode befindet sich ein Haus z.B. am Ende oder in der Mitte einer Leitung.

### 5.8.3 Wiederbeschaffungskosten *ARA*

Der *WBW* der *ARAs* wird mithilfe der von MAURER & HERLYN (2006, 37 ff.) ermittelten Zusammenhänge zwischen Einwohnern (*EZ*), Einwohnerwerten (*EW*) und den tatsächlichen Kosten in vier Schritten angenähert:

- I. In einem ersten Schritt wird die Bevölkerung der Gemeinden auf die Einzugsgebiete der *ARAs* mit der volumetrischen Methode disaggregiert.

72. <http://arcscripsts.esri.com/details.asp?dbid=15121>. (Zugriff: 04.07.2012) Der Code wurde von Dan Patterson geschrieben und basiert auf dem Prim-Code von William A. Huber. Zur effizienten Berechnung der *MST* pro Gemeinde wurde der Code erweitert (siehe die der Arbeit beigelegte CD).

II. In einem zweiten Schritt wird die *EW*-Dimensionierung der Anlagen ( $DIM_{EW}$ ) mit der Anzahl natürlicher Einwohner (*EZ*) aus Schritt I geschätzt. Der Zusammenhang ist wie folgt gegeben (*Formel 9*):

$$DIM_{EW} = 1.927 \cdot EZ$$

**Formel 9:** Zusammenhang *EW* & *EZ* (MAURER & HERLYN 2006)

III. In einem dritten Schritt werden die Wiederbeschaffungskosten pro *EW* mithilfe des von MAURER & HERLYN festgestellten Zusammenhangs zwischen Kosten pro *EW* ( $Kosten_{EW}$ ) und Grösse der *ARA* ( $Dim_{EW}$ ) berechnet (*Formel 10*):

$$Kosten_{EW} = 10989 \cdot DIM_{EW}^{-0.2754}$$

**Formel 10:** Zusammenhang *EW* & Kosten (MAURER & HERLYN 2006)

IV. In einem vierten Schritt werden die Kosten der Industrie und des Gewerbes berücksichtigt. Da die vorliegende Arbeit die Industrie ignoriert, muss berücksichtigt werden, dass in dieser Abschätzung ebenfalls die verursachten Einwohnergleichwerte (*EGW*) der Industrie mit eingerechnet sind. Nach MAURER & HERLYN (2006, 30) entspricht der durchschnittliche Belastungsanteil des Gewerbes und der Industrie 36% der natürlichen Einwohner. Im Sinne des Verursacherprinzips werden folglich pauschal 36% der *WBW* aus Schritt III abgezogen.

## 5.9 Schritt VI: Hochrechnung auf die Schweiz

Um das Potenzial auf die ganze Schweiz hochzurechnen, wird in einem ersten Schritt für jeden einzelnen *ARE*-Gemeindetyp (Bfs 2013a) im Kanton Zürich das Potenzial berechnet (vgl. Abb. 5.14). Mit dem Potenzial jedes *ARE*-Gemeindetyps kann in einem zweiten Schritt das Potenzial anhand der schweizweiten Einwohnerzahlen der einzelnen Gemeindetypen hochgerechnet werden.<sup>73</sup>

## Schritt VII: Szenario

Die Anzahl der Einflussfaktoren auf *AbwSys*, die sich in Zukunft verändern können, ist enorm gross und vielfältig. Eine im Hinblick auf meine Arbeit mögliche Einteilung ist in Tab. 5.12 wiedergegeben, wobei aufgrund der Fragestellung die siedlungsspezifischen Faktoren im Vordergrund stehen.

Faktoren	Beispiele
Bevölkerungsspezifisch	Einwohnerzahl
	Demographische Zusammensetzung
	...
Siedlungsspezifisch	Geographie der Siedlungserweiterungen
	Siedlungsstruktur
	Siedlungsflächenverbrauch pro Kopf
	Leerstandsquoten
...	
<i>AbwSys</i> -spezifisch	Betriebskosten (Lohnkosten, Energiekosten...)
	Technologiekosten (z.B. Membrankosten)
	Technologischer Fortschritt
	Anreizmodelle
...	
Weitere Faktoren	Einstellung der Bevölkerung
	Gesetzliche Rahmenbedingungen
	Wirtschaftliche Entwicklung
...	

**Tab. 5.12:** Potentielle Modellierungsfaktoren für die Szenariobildung

Nebst der Schwierigkeit einer zuverlässigen Prognose der Entwicklung dieser Faktoren ist ein weiteres Problem bei der Modellierung auf Strukturtypebene der hohe Auflösungsgrad, was Szenarien mit einer hohen räumlichen Auflösung bedingt.<sup>74</sup> Diese sind aber kaum vorhanden. Insbesondere die wichtigen Kennzahlen zur aktuellen und zukünftigen Entwicklung der Siedlungstypen sind ungenügend untersucht.

Eine Ausnahme ist das von JAEGER *et al.* (2008) entwickelte *Urban Cell Distribution Tool*, mithilfe dessen der zukünftige Siedlungsflächenverbrauch hochaufgelöst (15m x 15m) modelliert

<sup>73</sup> Da im Kanton Zürich nicht alle *ARE*-Gemeindetypen vertreten sind, mussten die Kosten für den Gemeindetyp 5 und 9 abgeschätzt werden (vgl. Anhang N).

werden kann. Die Autoren bilden anhand dieses Werkzeugs mit Szenarien zur Entwicklung der Bevölkerung und Siedlungsfläche die Siedlungsentwicklung im Raum ab. Die modellierten Einflussfaktoren sind:

- Anzahl zusätzliche Einwohner, basierend auf dem Maximal- und Minimalszenario des *BFS*
- Zusätzliche Siedlungsfläche (je *ARE*-Raumtyp)

- Tabuzonen der Bebauung
- Räumliche Streuung der hinzukommenden Siedlungsfläche

Aufgrund des Umfangs dieser Arbeit werden keine eigenen Szenarien erarbeitet, sondern auf jene von *JAEGER et al. (2008)* zurückgegriffen. Zur Abschätzung des zukünftigen Potenzials wird ein pragmatischer Ansatz gewählt, bei dem die Annahme gilt, dass sich innerhalb der *ARE*-Gemeindetypen die

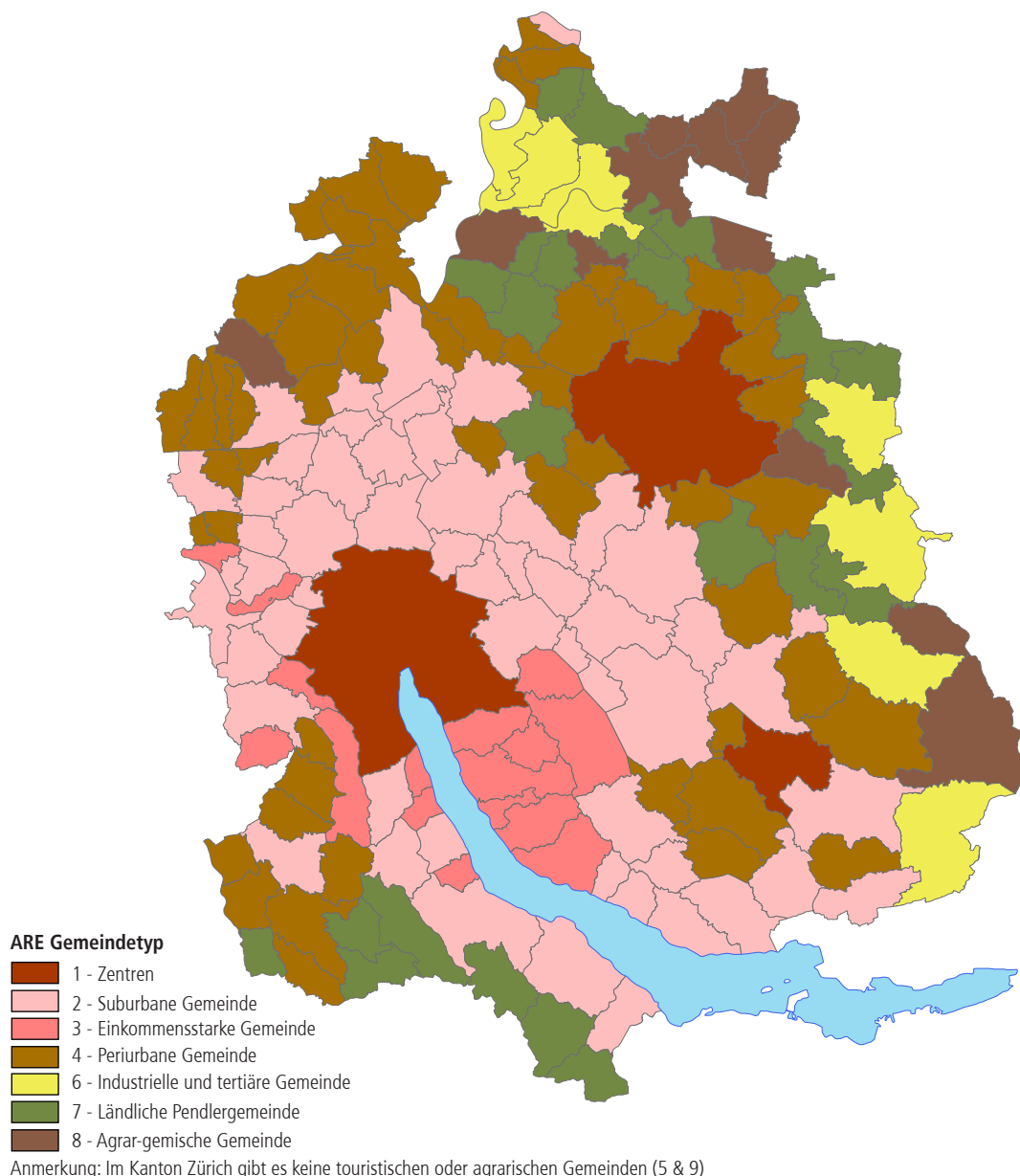


Abb. 5.14: ARE Gemeindetypen im Kanton Zürich

Datenquelle: Bundesamt für Landestopografie swisstopo

74. Eine Prognose der Bevölkerungsentwicklung für die Schweiz oder für eine einzelne Gemeinde genügt für die Fragestellungen dieser Arbeit nicht, da je nachdem wie und wo sich die Bevölkerungs- und Siedlungsentwicklung innerhalb einer Gemeinde verändert, das Potenzial sehr unterschiedlich ausfallen kann.



proportionale Zusammensetzung der Siedlungstypen nicht verändert und folglich das Potenzial ebenfalls prozentual gleich bleibt.<sup>75</sup> Diese Annahme muss getroffen werden, da mit dem alleinigen Wissen um die Zunahme der Siedlungsfläche und der Bevölkerung nicht auf die Verteilung der Siedlungstypen geschlossen werden kann.<sup>76</sup> Mit diesem Ansatz wird der Siedlungsentwicklung insofern Rechnung getragen, als sich innerhalb der verschiedenen Gemeindetypen die Verteilung der Bevölkerung in den Siedlungstypen unterscheidet.

Die von JAEGER *et al.* (2008, 96) verwendete Bevölkerungsentwicklung muss in einem ersten Schritt auf die 9 ARE-Gemeindetypen übertragen werden, da die Typologie der Autoren teilweise von der ARE-Typologie abweicht (*vgl. Anhang P*). In einem zweiten Schritt wird die absolute Veränderung der Bevölkerung der verschiedenen ARE-Typen berechnet, wodurch sich mithilfe der gemeindespezifischen Potenzialkurven das totale zukünftige Potenzial berechnen lässt. Dieses wird schliesslich auf die ganze Schweiz hochgerechnet.

## 5.10 Zwischenfazit

Die verschiedenen Schritte zeigen, dass je nach Ausgangslage erheblicher Aufwand betrieben werden muss, damit die Siedlungsinfrastruktur mit dem Potenzial von *dez Abw.Sys* in Beziehung gesetzt werden kann. Das Fehlen von gebäudespezifischen Attributen bedingt die besonders aufwändige Gebäudeklassifikation, welche hinfällig wird, falls zusätzliche, alternative Daten vorhanden sind.

Innerhalb der einzelnen Schritte zeigt sich, dass fast immer mehrere methodische Optionen möglich sind oder methodische Optimierungen möglich wären.

Die verschiedenen methodischen Schritte wurden nicht alle gleich vertieft: Schritt I bis V wurden methodisch differenzierter ausgebaut als Schritt VI und VII. Insbesondere die Gebäudeklassifikation (Schritt II), die Siedlungsklassifikation (Schritt IV) und die Berechnung mit *UWIM* (Schritt V) wurden ausführlicher behandelt, da dort besonders viele unterschiedliche Vorgehensmöglichkeiten bestehen.

75. Diese Annahme ist vereinfacht. Trotzdem ist davon auszugehen, dass i.d.R. eine angepasste Siedlungsentwicklung stattfindet und nicht in einer einfamilienhaus-geprägten Gemeinde Hochhausquartiere entstehen.

76. Auch wenn z.B. 30% mehr Siedlungsfläche in einer dünn besiedelten Gemeinde hinzukommen würde, könnte es ja sein, dass diese Zonen nur aus Hochhäusern bestehen. Oder die 30% Siedlungsfläche könnte nur mit Einfamilienhäusern bebaut werden und innerhalb der bereits existierenden Siedlungsfläche nachverdichtet werden.

# 6 Resultate

Dieses Kapitel konzentriert sich auf die Wiedergabe der berechneten Resultate und folgt dabei im wesentlichen den Schritten der in Kapitel 5 eingeführten Methodik zur Ermittlung des Potenzials von dez AbwSys.

## 6.1 Gebäudeklassifikation

### 6.1.1 Gebäudeklassifikation G1

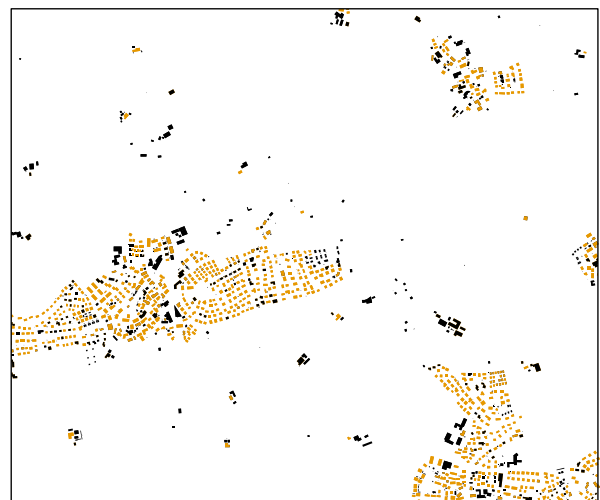
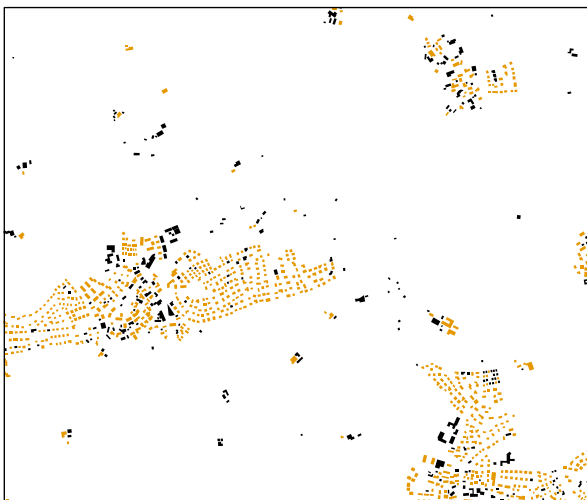
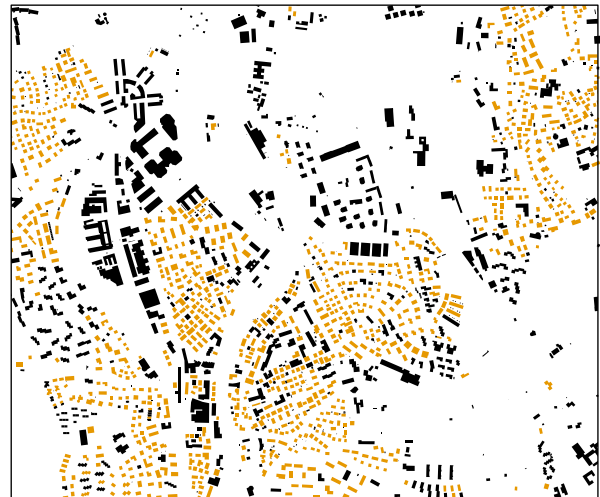
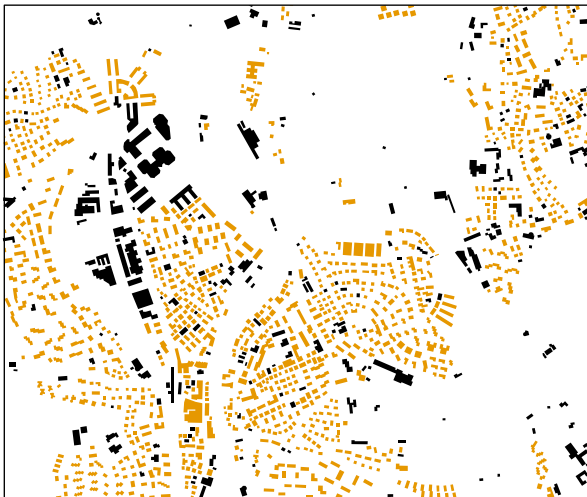
Beispiele der Klassifikation sind in *Abb. 6.1* ersichtlich (siehe *Anhang I* für weitere Beispiele).

Der am besten klassifizierende einzelne Faktor ist laut *Tab. 6.1* *F4*. Beim Vergleich der Klassifizierungsfehler verschiedener Faktorkombinationen (*Tab. 6.2*) zeigt sich, dass die lineare Gewichtung von *F2*, *F3* und *F4* die Gebäude ausserhalb des Siedlungsgebiets am besten klassiert. Innerhalb des

Siedlungsgebiets ist dies die Kombination *F3*, *F4*, *F6*, *F7*, wobei die Unterschiede zwischen den einzelnen Kombinationen minim ausfallen.

### 6.1.2 Gebäudeklassifikation G2-G5

Die prozentuale Verteilung der Gebäudetypen der Klassifikation zeigt, dass relativ wenige Reihenhäuser (*G2*) und Hochhäuser (*G4*) klassiert wurden (vgl. *Abb. 6.2*). In *Abb. 6.3* sind Beispiele der Klassifikation der Gebäude aufgezeigt.



Korrekte Zuweisung bewohnt/unbewohnt  
(VECTOR25 Datensatz)

■ Bewohnt

■ Unbewohnt

Klassifikation mit den Faktoren *F3*, *F4*, *F6*, *F7*  
(VECTOR25 ergänzt mit AV)

**Abb. 6.1:** Klassifikationsbeispiel bewohnt / unbewohnt

Datenquelle: Bundesamt für Landestopografie swisstopo

	Klassierungsfehler innerhalb des Siedlungsgebiets		Klassierungsfehler ausserhalb des Siedlungsgebiets	
	Bewohnt	Unbewohnt	Bewohnt	Unbewohnt
<b>F1</b>	22.7	73.1	69.6	26.5
<b>F2</b>	21.5	69.5	-	-
<b>F2b</b>	29.4	66.4	70.3	26.8
<b>F3</b>	18.2	59.2	61.3	23.3
<b>F4</b>	17.9	57.7	57.5	21.8
<b>F5</b>	25.6	82.6	67.5	25.7
<b>F6</b>	22.4	72.1	69.8	26.6
<b>F7</b>			-	

Bei fehlenden Werten ist die Klassenanzahl zu klein für eine alleinige Klassierung oder die Werte innerhalb der Klassen sind ungünstig verteilt.

Tab. 6.1: Klassierungsfehler einzelner Faktoren

Faktoren	Grenzwert Siedlungsgebiet	Klassierungsfehler Innerhalb unbewohnt	Klassierungsfehler Innerhalb bewohnt	Grenzwert Ausserhalb	Klassierungsfehler Ausserhalb unbewohnt	Klassierungsfehler Ausserhalb bewohnt
Alle 8 Faktoren	<=69.798134	50.1%	15.5%	29.430279	20.2%	53.0%
F2, F3, F4, F6, F7	<=74.966922	49.0%	15.2%	30.388609	19.2%	50.3%
F3, F4, F5, F7	<= 63.01311	48.5%	15.1%	30.388609	19.2%	50.3%
F3, F4, F6, F7*	<= 74.993274	48.0%	14.9%	30.554792	19.5%	51.2%
F3, F4, F6	<=77.387263	48.1 %	14.9%	34.694529	19.1%	50.2%
F3, F4, F7	<=72.872214	48.2%	15.0%	30.455252	19.2%	50.4%
F2, F3, F4	<=74.288164	48.8%	15.2%	32.521592	19.1%	50.1%
F3, F4	<=74.236700	48.3%	15.0%	34.694529	19.2%	50.3%

\* Für die Städte Zürich und Winterthur werden eigene Zugehörigkeitswahrscheinlichkeiten berechnet (Siehe Anhang C)

Tab. 6.2: Klassierungsfehler verschiedener Faktorkombinationen innerhalb und ausserhalb des Siedlungsgebiets

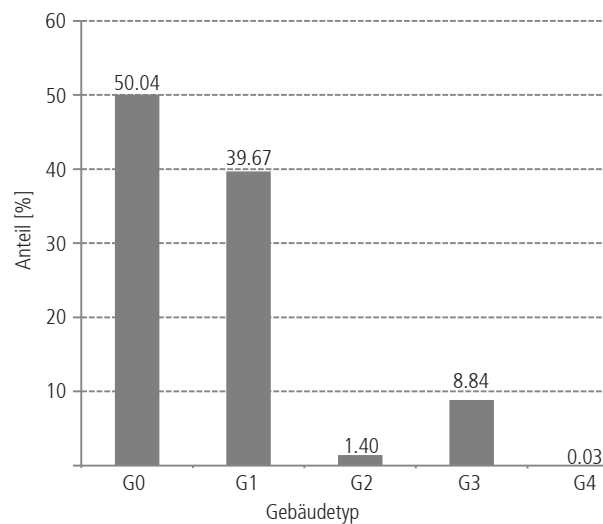


Abb. 6.2: Berechnete Verteilung der Gebäudetypen im Kanton Zürich



Abb. 6.3: Beispiel der Gebäudeklassifikation (G2-G5)

Datenquelle: Bundesamt für Landestopografie swisstopo

## 6.2 Siedlungsklassifikation

Durch die verschiedenen Varianten der Siedlungsklassifikation werden die einzelnen Baublocks unterschiedlichen Siedlungstypen zugeordnet. Je nach Variante unterscheiden sich die prozentualen Anteile der einzelnen Gebäudetypen innerhalb der Baublocks, was zur Folge hat, dass sich die Bevölkerungsanteile der verschiedenen Siedlungstypen ebenfalls ändern (Tab. 6.3).

Siedlungstyp	Bevölkerungsanteil [%]		
	V1	V2	V3
S1	3.9	3.9	4.3
S2	67.0	66.2	56.0
S3	2.0	2.2	4.7
S4	26.8	27.6	34.8
S5	0.2	0.1	0.2
S2-S5	96.1	96.1	95.7
Alle Typen	100	100	100

Tab. 6.3: Bevölkerungsdisaggregation der verschiedenen Varianten

Die Verteilung der Siedlungstypen ist geografisch unterschiedlich. In Abb. 6.4 ist die unterschiedliche Verteilung der Bevölkerung auf die Siedlungstypen je nach ARE-Gemeindetyp aufgezeigt. Im Gegensatz zu ECOPLAN (2000, Tabelle A1-2) basiert diese Verteilung nicht auf Annahmen aus der Literatur, sondern sie ist Resultat der Gebäudeklassierung.

## 6.3 WBW

Die berechneten WBW der verschiedenen Varianten sind detailliert im Anhang F für verschiedene Aggregationsarten angegeben.

### 6.3.1 ARA

Die durchschnittlichen WBW der ARA für verschiedene Siedlungstypen unterscheiden sich aufgrund deren räumlicher Verteilung. So ist der Siedlungstyp Streusiedlung häufiger in kleinen Gemeinden vertreten, in denen auch höhere pro Kopf ARA-Kosten getragen werden müssen. Die durchschnittlichen Kosten auf Stufe der Siedlungsstrukturtypen betragen je nach Variante zwischen 19 CHF bis 28 CHF.

### 6.3.2 Kanalisation & ARA

Die mit UWIM berechneten Kosten pro Person und Jahr unterscheiden sich je nach Siedlungstyp, wobei die Streuung der Kosten bei den Streusiedlungen (S1) am grössten ist (Abb. 6.5). Im Vergleich zu den Kosten der Streusiedlung betragen z.B. die WBW des Hochhaus-Typs nur 24% der Kosten der Streusiedlung.

Grund dafür sind die unterschiedlichen geografischen Ausgangslagen, die stark in die Kosten ein-

fließen. In dieser Arbeit wird die durchschnittliche Summe der Kosten der *ARA* & Abwasserleitungen im Kanton Zürich auf etwas weniger als 130 CHF geschätzt.

Abb. 6.6 gibt die Kosten im Vergleich zur Bevölkerungsdichte wieder. Es wird ersichtlich, dass unter Annahme von Kosten von 150 CHF für *dez Abw- Sys* die Grenze zur Kostenvorteilhaftigkeit bei ca. 6000 Personen pro km<sup>2</sup> liegt.

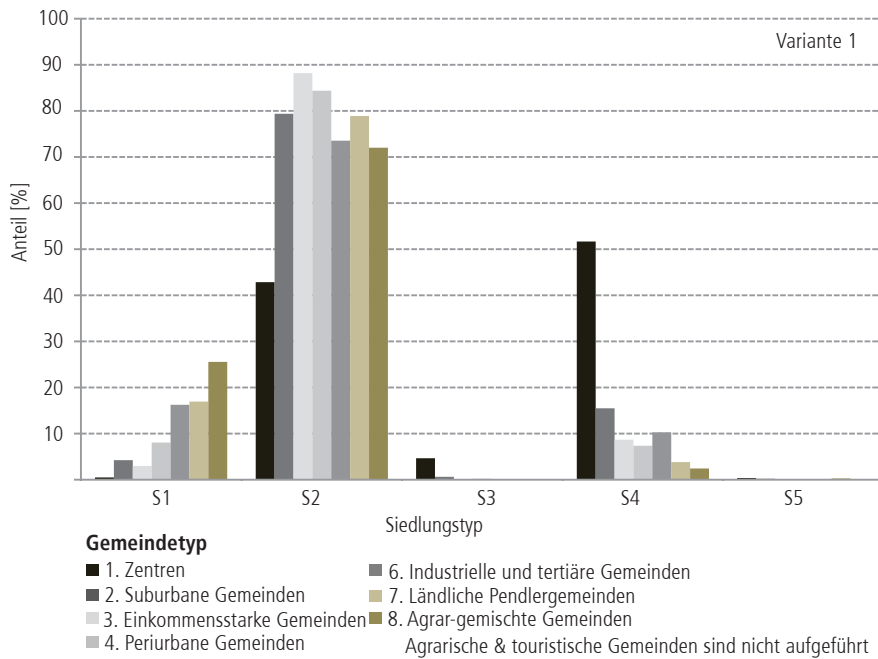


Abb. 6.4: Verteilung der Bevölkerung auf die *ARE*-Siedlungstypen

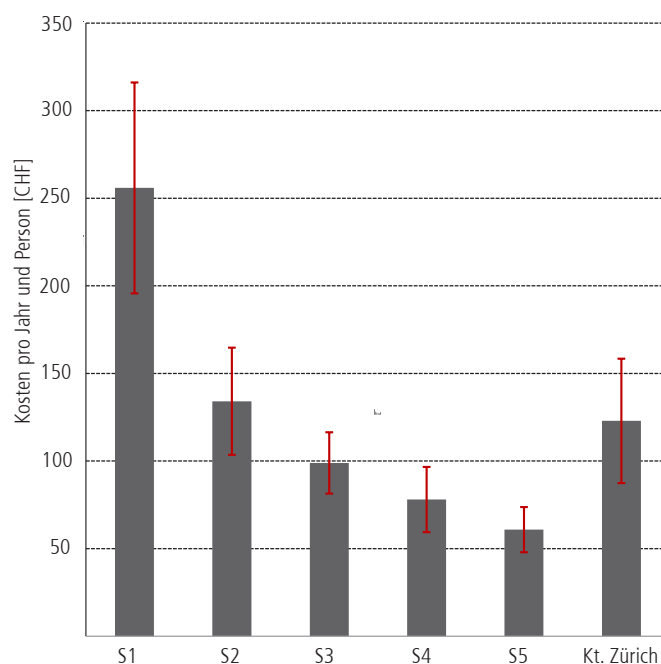


Abb. 6.5: Kosten nach Siedlungstyp

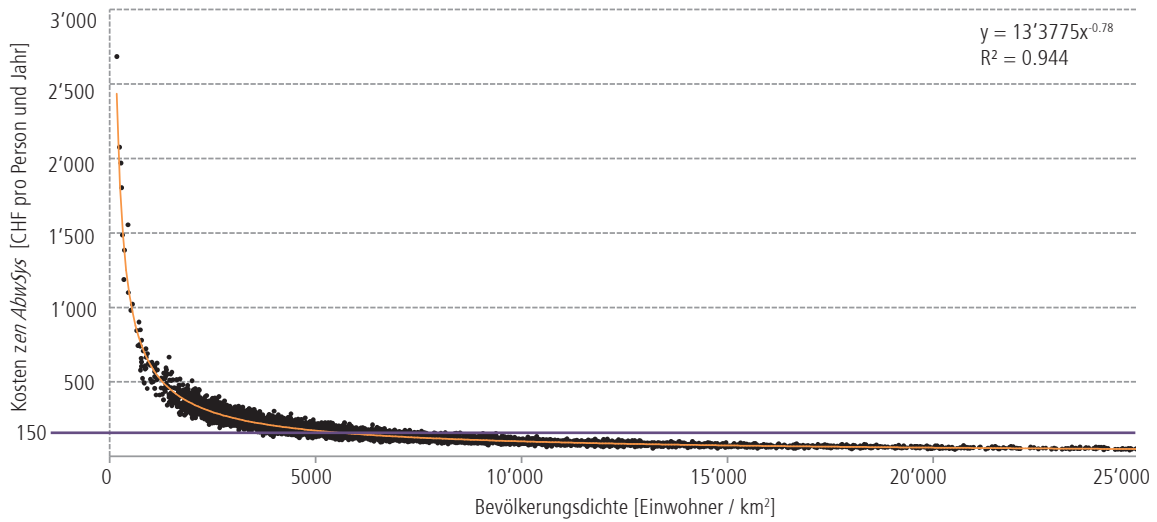


Abb. 6.6: Zusammenhang Bevölkerungsdichte und Kosten

### 6.4 Potenzial für den Kanton Zürich im Jahr 2010

In Abb. 6.7 kann der prozentuale Anteil der Bevölkerung des Kantons Zürich für das Jahr 2010 abgelesen werden, für den das *dez AbwSys* eine günstigere Option darstellt als das *zen AbwSys*. Bei der Schätzung der heutigen jährlichen Kosten von 150 CHF [pro person] für dezentrale *AbwSys*, beträgt

das Potenzial ca. 21 bis ca. 26.4%. Abb. 6.8 gibt das Potenzial auf Ebene der Siedlungsstrukturtypen wieder unter Annahme unterschiedlicher Kosten für ein *dez AbwSys*. In Abb. 6.9 ist die räumliche Verteilung des Potenzials auf Stufe Gemeinde abgebildet.

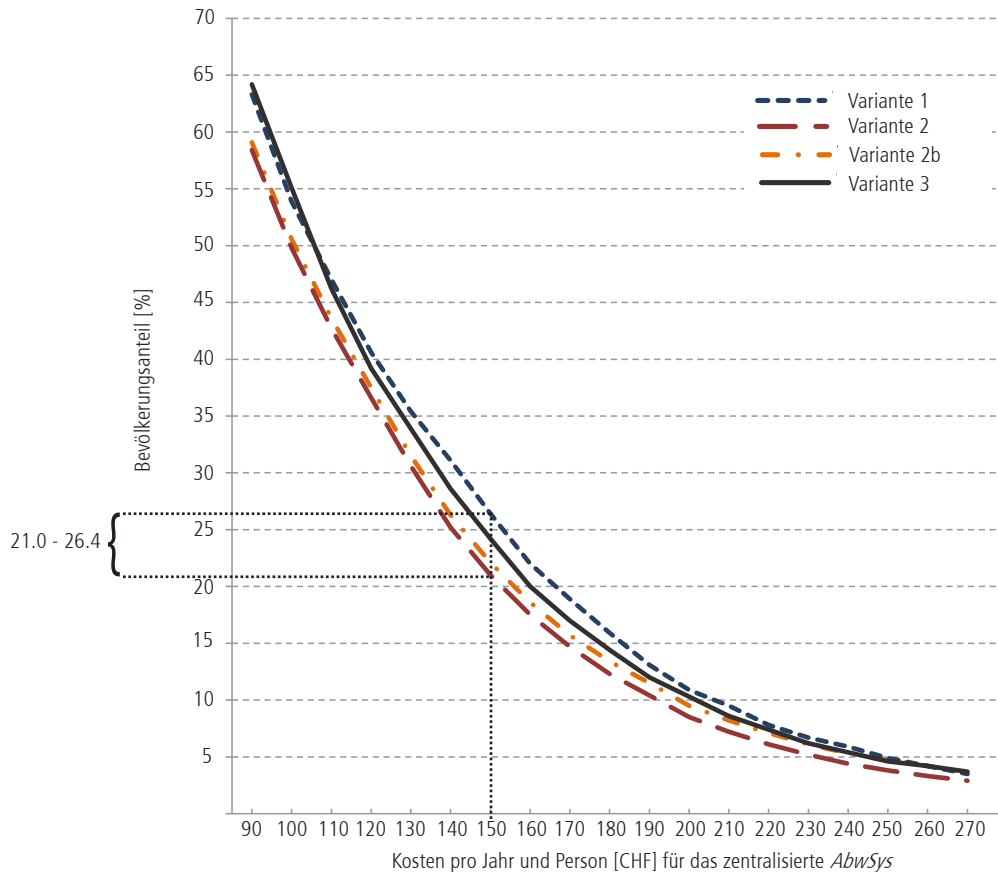
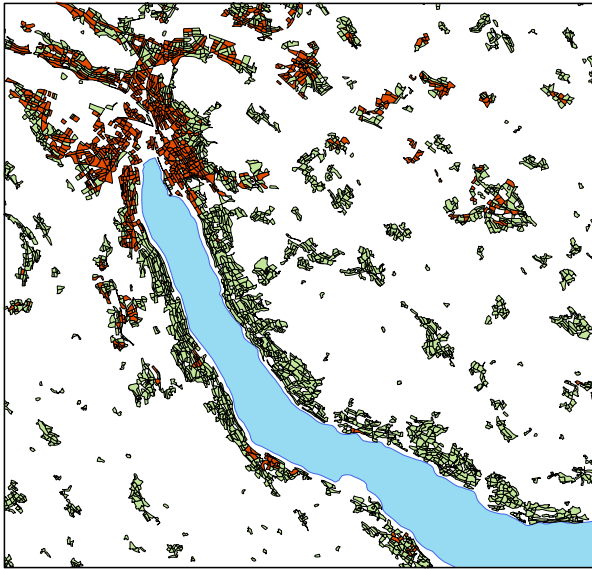
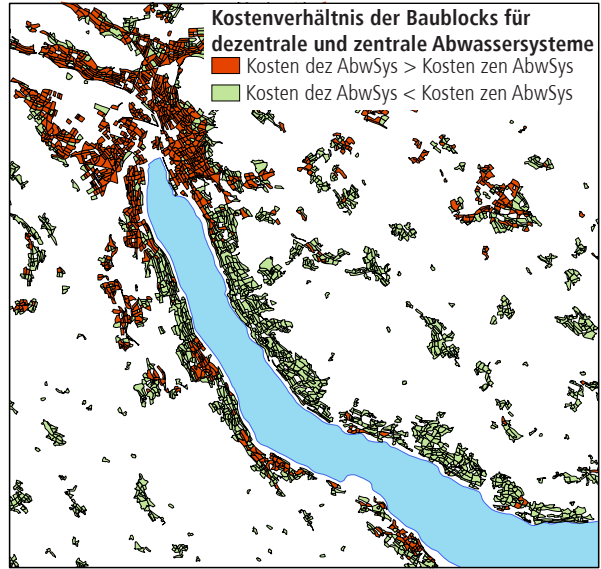


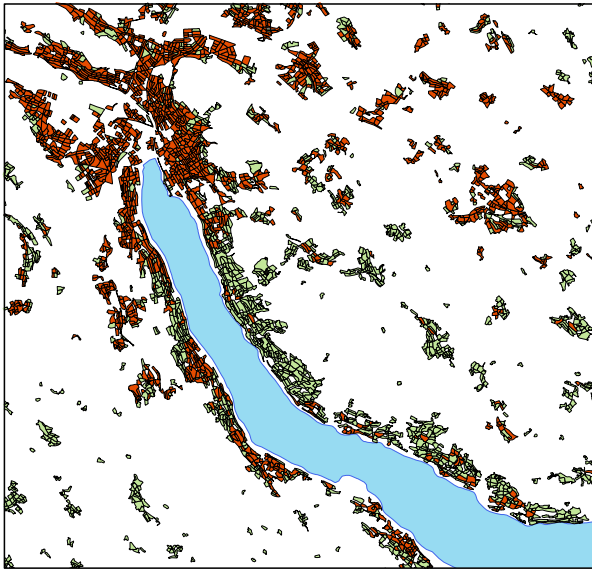
Abb. 6.7: Potenzialkurve des Kantons Zürich



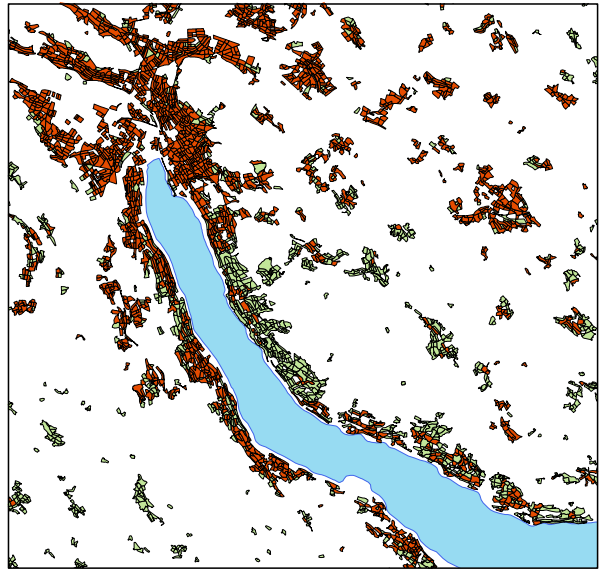
90 CHF



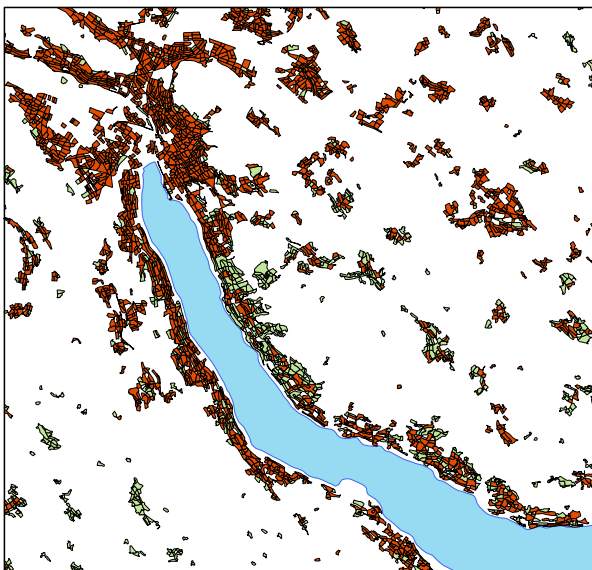
110 CHF



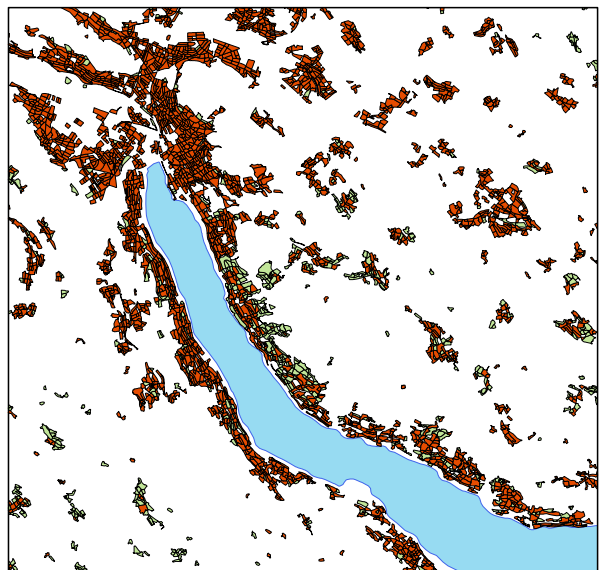
130 CHF



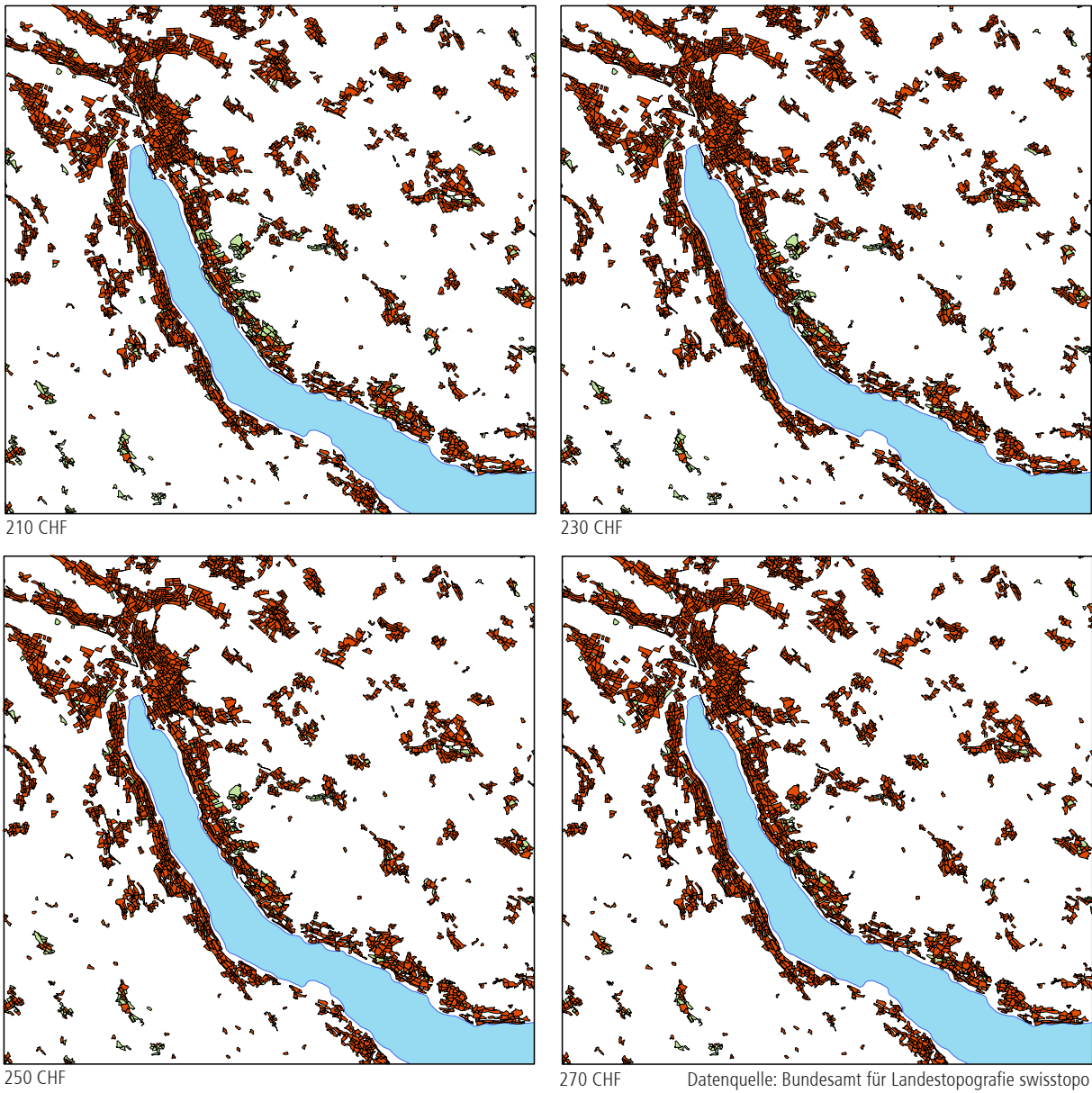
150 CHF



170 CHF

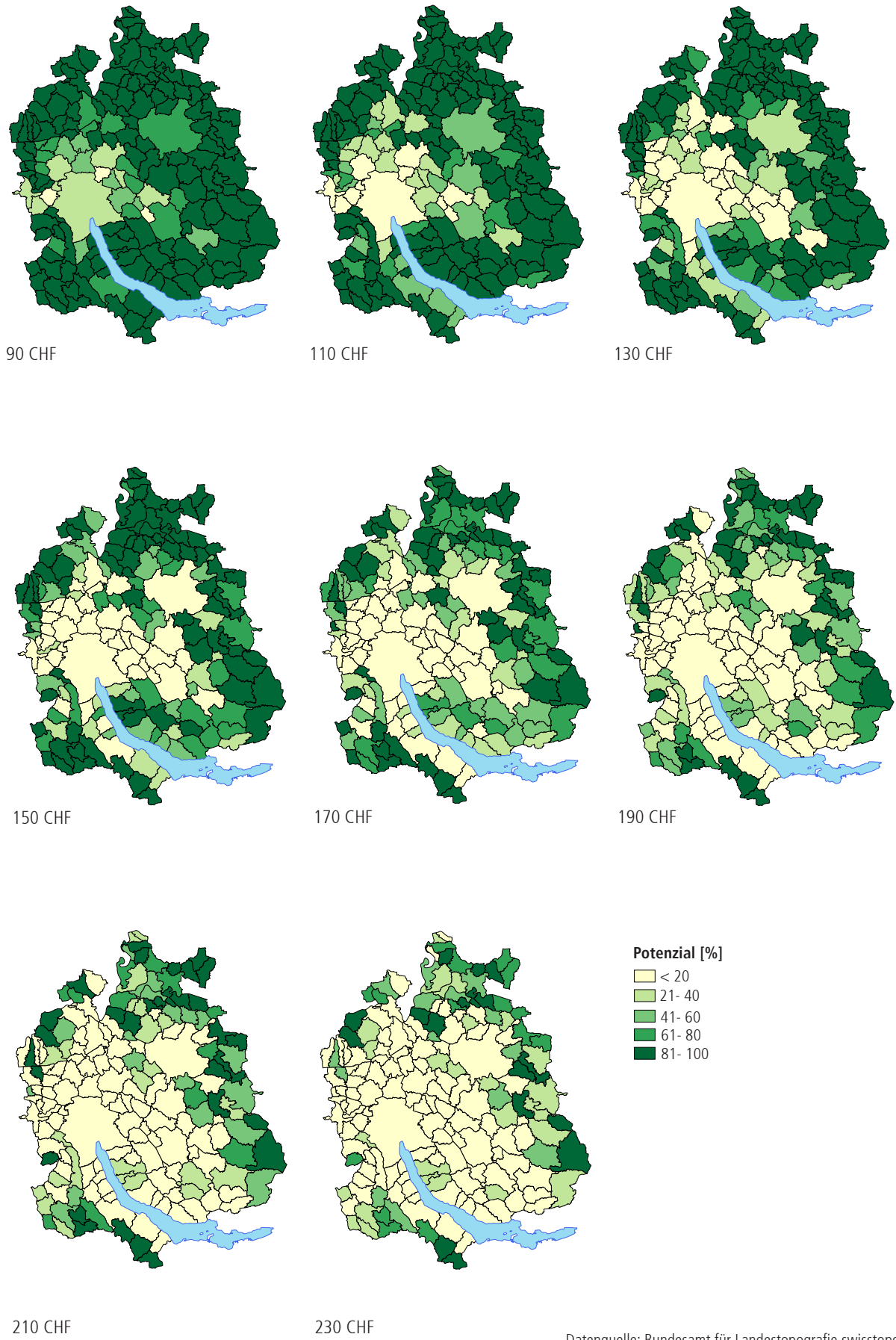


190 CHF



**Abb. 6.8:** Kostenverhältnis der Baublocks für dezentrale und zentrale Abwassersysteme





Datenquelle: Bundesamt für Landestopografie swisstopo

Abb. 6.9: Veränderung des Potenzials mit steigenden Kosten [pro Person und Jahr in CHF] auf Ebene der Gemeinden

### 6.5 Potenzial für die Schweiz im Jahr 2010

Abb. 6.10 zeigt die hochgerechnete Potenzialkurve für die Schweiz. Die Grundlage für die Hochrechnung bildet die Berechnung der Kosten für die verschiedenen ARE-Gemeindetypen im Kanton Zürich (Abb. 6.11). Zur Ermittlung der Potenzialkurven für die verschiedenen ARE-Gemeindetypen werden nur jeweils die Kosten eines Baublocks eines Gemeindetyps betrachtet (sofern dieser im Kanton Zürich vorhanden ist) und das Potenzial mit dem gleichen Vorgehen bestimmt wie für den Kanton Zürich (Abb. 6.12). Die Kurven zeigen, dass sich die durchschnittlichen pro Kopf Kosten deutlich unterscheiden. Auch beim Berechnen des Potenzials für die einzelnen Gemeindetypen wird deutlich, dass

sich dieses je nach Gemeindetyp unterscheidet. In Abb. 6.13 ist das Potenzial für die Schweiz räumlich auf Ebene der Kantone abgebildet. Kantone mit besonders hohem Potenzial sind demnach die Kantone Jura, Uri, Glarus oder Appenzell Innerrhoden. Die Kantone mit dem geringsten Potenzial sind die Kantone Genf, Zug und Basel Stadt.

Bei der Hochrechnung auf die ganze Schweiz verändert sich das Potenzial im Gegensatz zur alleinigen Betrachtung des Kantons Zürich nach oben. Für das Beispiel von Kosten von 150 CHF verschiebt sich das Potenzial um durchschnittlich ca. 3.3% nach oben von 23.7% auf ca. 27% (vgl. auch Abb. 6.10).

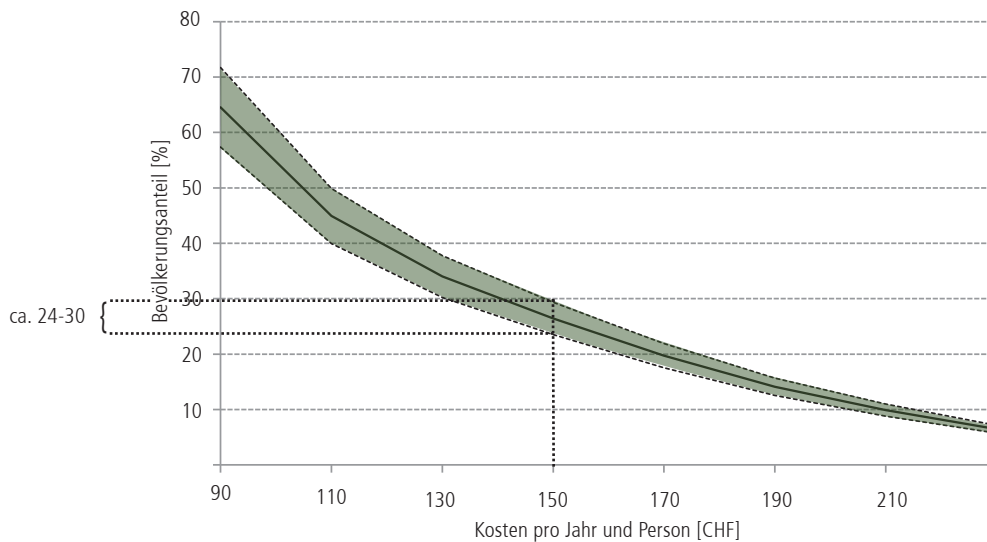


Abb. 6.10: Hochgerechnetes Potenzial für die Schweiz mithilfe der ARE Gemeindetypen für das Jahr 2010

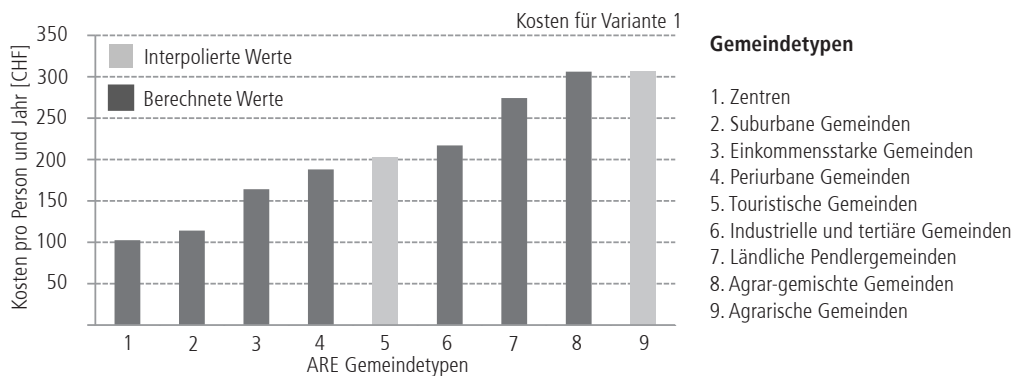


Abb. 6.11: Kosten der ARE-Gemeindetypen im Kanton Zürich

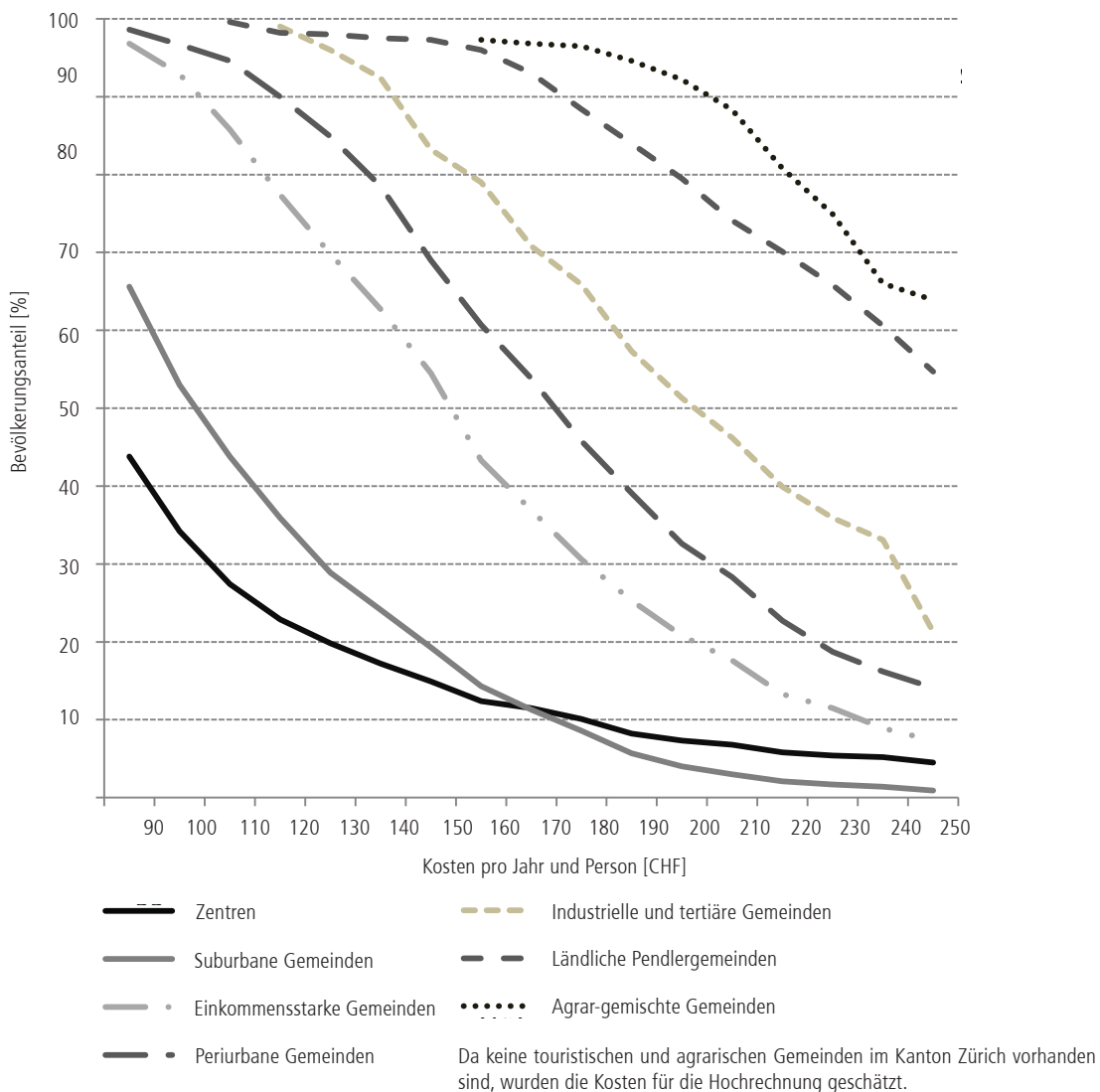


Abb. 6.12: Potenzial der ARE-Gemeindetypen im Kanton Zürich

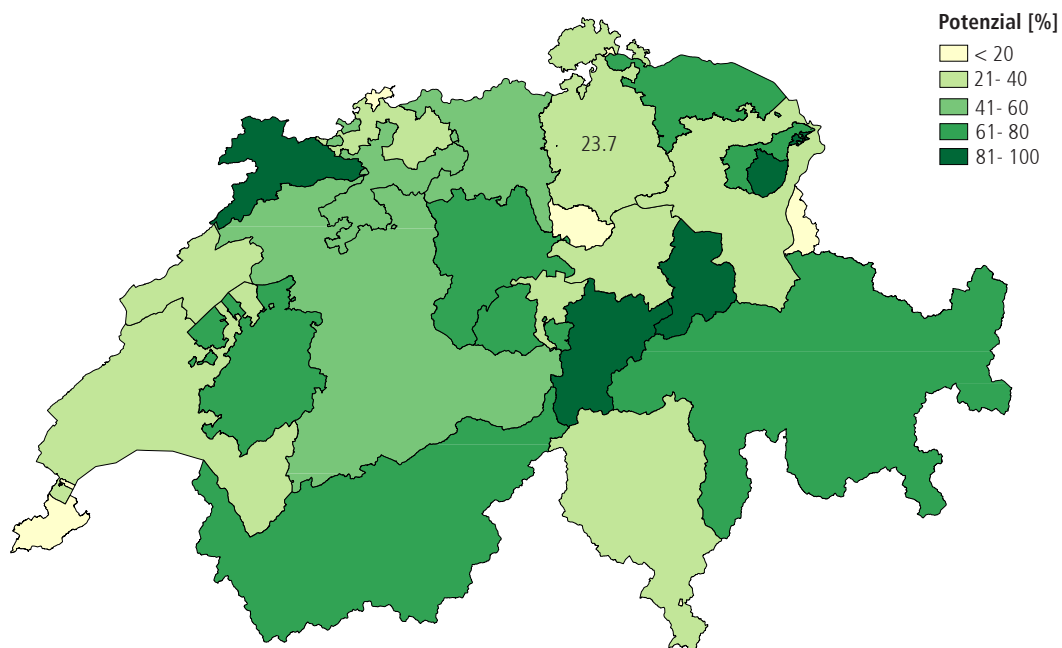


Abb. 6.13: Potenzial auf Ebene Kanton

Datenquelle: Bundesamt für Landestopografie swisstopo

### 6.6 Potenzial für das Jahr 2020

Die Potenzialkurven der unterschiedlichen Szenarien nach JAEGER *et al.* (2008) in (Abb. 6.14) geben das Spektrum des zukünftigen Potenzials wieder. Auch lassen sich daraus unterschiedliche Prognosen für verschiedene Kostenannahmen ablesen. Die roten und grünen Streubereiche zeigen jeweils die methodische Unsicherheit.

Der Vergleich eines mittleren Szenarios<sup>77</sup> für das Jahr 2020 (Abb. 6.15) mit dem Potenzial aus dem

Jahr 2010 zeigt, dass unter Annahme gleich bleibender Kosten von 150 CHF das Potenzial um ca. 3% auf 30% steigt.

Falls von einer Kostensenkung von 10% ausgegangen wird, steigt das Potenzial um ca. 9% auf 36%.

Falls von einer Kostensenkung von 20% ausgegangen wird, steigt das Potenzial um ca. 18% auf 45%.

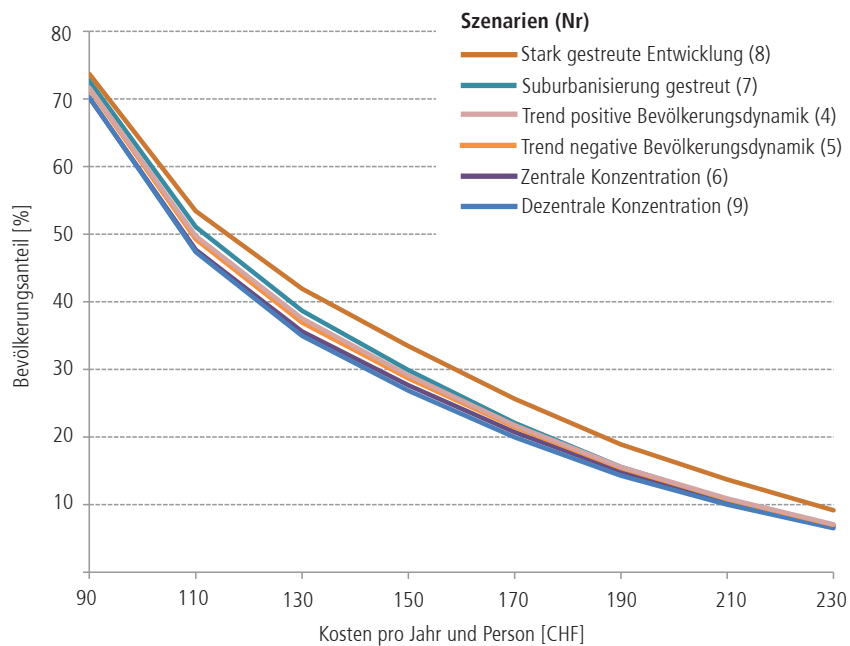


Abb. 6.14: Potenzialkurven der Szenarien nach JAEGER *et al.* (2008)

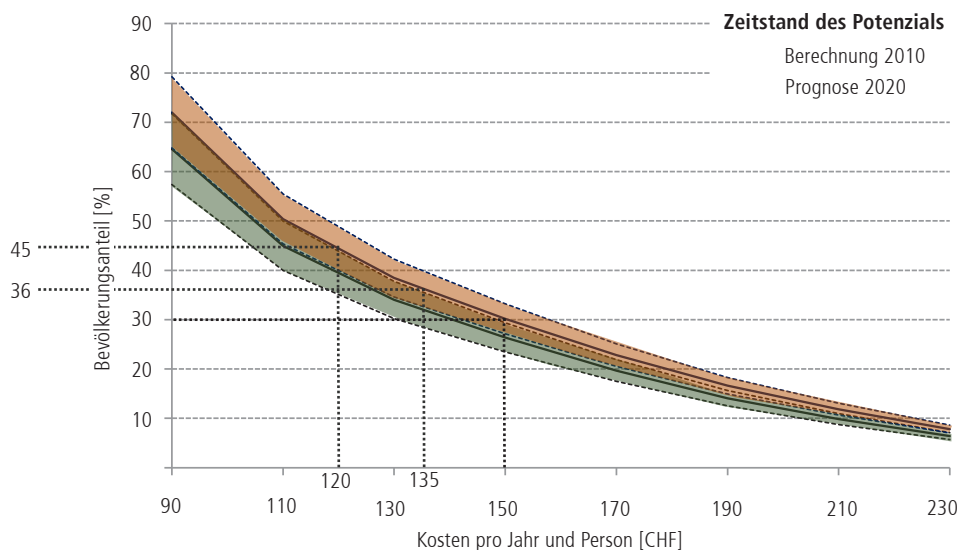


Abb. 6.15: Potenzial im Jahr 2010 im Vergleich zum Potenzial im Jahr 2020.

77. Potenzialkurven der Szenarien nach JAEGER *et al.* (2008).

# 7 Validierung der Resultate

Um die berechneten Resultate besser einzuschätzen, bedürfen diese einer Validierung. In diesem Kapitel wird aufzuzeigt, welche Aussagekraft die jeweiligen Resultate haben und wie diese in Bezug zu Resultaten aus der Literatur zu beurteilen sind.

## 7.1 Gebäudeklassifikation

### 7.1.1 Klassifikation G0

Eine Überprüfung der Klassifikationsgüte der bewohnten und unbewohnten Gebäude ist mit dem Kontroll-Datensatz möglich (Anhang C): Aufgrund der Verteilung der bewohnten und unbewohnten Gebäude liegt die Wahrscheinlichkeit einer Falschklassifikation bei einer zufälligen Zuweisung eines unbewohnten Gebäudes innerhalb des Siedlungsgebiets bei 23.7% (bewohnte Gebäude) und ausserhalb des Siedlungsgebiets bei 27.6%. Somit gilt:

- Der am besten klassierende einzelne Faktor  $F_4$  verbessert die Klassifikation der unbewohnten Gebäude ausserhalb des Siedlungsgebiets und der bewohnten Gebäude innerhalb des Siedlungsgebiets um 5.8%.
- Die am besten klassierende Faktorenkombination verbessert die Klassifikation der bewohnten Gebäude im Siedlungsgebiet um 8.8%. Ausserhalb des Siedlungsgebiets wird die Klassifikation der unbewohnten Gebäude um 8.5% verbessert.

Die Bestimmung der bewohnten Gebäude ausserhalb und der unbewohnten innerhalb des Siedlungsgebiets ist mit der grössten Wahrscheinlichkeit für Fehler verbunden.

### 7.1.2 Klassifikation G1 - G4 und Siedlungsklassifikation

Die Validierung der Gebäudetypen  $G1 - G4$  und der Siedlungstypen gestaltet sich aufgrund der fehlenden *ground truth* und der konzeptionellen Unschärfe schwieriger (z.B. dass Doppelhäuser zu den Einfamilienhäusern gezählt werden). Autoren ähnlicher Arbeiten haben dasselbe Problem und können ihre Resultate nur stichprobenmässig mit

einem visuellen Vergleich von Luftbildern validieren (*inter alia* LÜSCHER *et al.* 2008, 459; MEINEL *et al.* 2008, 37). Die Güte der Klassifikation der Siedlungstypen  $S1-S4$  wird ebenfalls nur mit einem visuellen Vergleich vorgenommen, der zeigt, dass für viele Fälle die Klassifikation zu stimmen scheint und relativ gut funktioniert. Trotzdem gibt es einige Probleme (*vgl. Abb. 7.1*):



Datenquelle: Bundesamt für Landestopografie swisstopo

Abb. 7.1: Probleme der Gebäudeklassifikation (rot eingekreist)

- Einzelne Gebäude innerhalb eines Gebäudeverbandes werden offensichtlich fälschlicherweise einem anderen Gebäudetyp zugeordnet.
- Reihenhäuser mit einer komplexeren Form werden teilweise als Wohnblock klassiert. Hier ist das Problem von Doppelhäusern zu erwähnen.
- Obwohl der Übergang vom Einzelhaus zum Reihnhaus geometrisch fließend ist und keine scharfe Grenze besteht, werden zuwenig Reihenhäuser klassiert. Dies zeigt z.B. auch der Vergleich mit der Verteilung bei ECOPLAN (2000).

## 7.2 Dasymetric Mapping

Eine Validierung der Bevölkerungsverteilung ist schwierig, da mit dem *dasymetric mapping* typischerweise Daten disaggregiert werden, die in der höheren Auflösung nicht vorhanden sind. In diesem Fall ist nicht die Bevölkerung jedes Hauses von Relevanz, sondern die Anzahl Personen in jedem Baublock. Da die Einwohnerzahl mit dem Strukturtypenansatz generalisiert wird, stimmen diese nur bedingt mit der Realität überein, da auch den nicht bewohnten Gebäuden innerhalb eines als bewohnt klassierten Baublocks Einwohner zugewiesen werden. Dank der *pynophylactic* Eigenschaft ist aber gewährleistet, dass die Einwohnerzahl für jede gesamte Gemeinde der Realität entspricht.

Die Verteilung der Bevölkerung auf die Siedlungstypen im Vergleich zu ECOPLAN (2006, *Tabelle A1-2*) unterscheidet sich v.a. bei den Varianten 1 & 2 der Siedlungstypzuordnung. Im Vergleich zu ECOPLAN (2000) wird die Bevölkerung der Reihen- und Hochhäuser unterschätzt.

## 7.3 Validierung WBW

Eine Validierung der WBW der ARA und der Kanalisation ist durch das Abgleichen der erhaltenen Kosten mit Werten aus der Literatur möglich. Eine Validierung mit realen Kanalisationsdaten ist aufgrund der Datensituation schwierig und wird nicht vorgenommen.

## 7.4 UWIM

Das der Berechnung zugrunde liegende Modell UWIM funktioniert grundsätzlich auf Ebene der Strukturtypen. Jedoch resultiert durch die feinere räumliche Einteilung der Strukturtypen eine durchschnittliche Überschätzung der Kosten von 13% pro Person. Die prozentuale Abweichung bei der Anwendung von UWIM auf Grundlage der Baublock-Geometrie ist abhängig vom Gemeindetyp: In städtischen Gemeinden werden die Kosten unterschätzt, in ländlichen jedoch überschätzt (*Abb. 7.2*). Die Unterschätzung in Städten ist für das Endresultat weniger problematisch als die Überschätzung im ländlichen Raum, da innerhalb der Städte das Potenzial sowieso klein ist aufgrund bereits tiefer Kosten.

Die Anwendung von UWIM unterscheidet sich weiter für verschiedene Datengrundlagen, falls sich z.B. die Anzahl der Häuser unterscheidet oder die Siedlungsflächen anders definiert werden. Es könnte ein zusätzlicher Fokus auf die Auswirkungen der wichtigsten Eingabeparameter unternommen werden. Die Vermutung liegt nahe, dass die Abweichungen das Resultat nicht massgeblich verändern.

### 7.4.1 WBWARA

In der ECOPLAN (2000) Studie wird mithilfe einer Stichprobe von bekannten ARAs der WBW für verschiedene Gemeindetypen auf 600 bis 1800 CHF pro EW geschätzt. MAURER & HERLYN (2006, 6 & 38) schätzen den durchschnittlichen schweizweiten WBW für ARAs auf 600 bis 900 CHF pro EW oder 1'380 CHF pro EZ (*inkl.* Industrie). Bei einem Pauschalabzug von 36% für die Industrie ergeben sich folglich Annuitäten von ca. 37 CHF pro Person.

Die in dieser Arbeit berechneten durchschnittlichen Annuitäten für den Kanton Zürich von 19 CHF bis 28 CHF liegen deutlich tiefer und sind im schweizerischen Vergleich relativ tief. Auch hier lässt sich dieser Unterschied wahrscheinlich durch die nicht schweizweit repräsentative Situation im Kanton Zürich erklären. Ob die geschätzten WBW der ARAs im Kanton Zürich schlussendlich sind, müsste eingehender überprüft werden, wobei aufgrund der hohen Skalenerträge für ARAs im Kanton Zürich von realistischen Werten auszugehen ist.

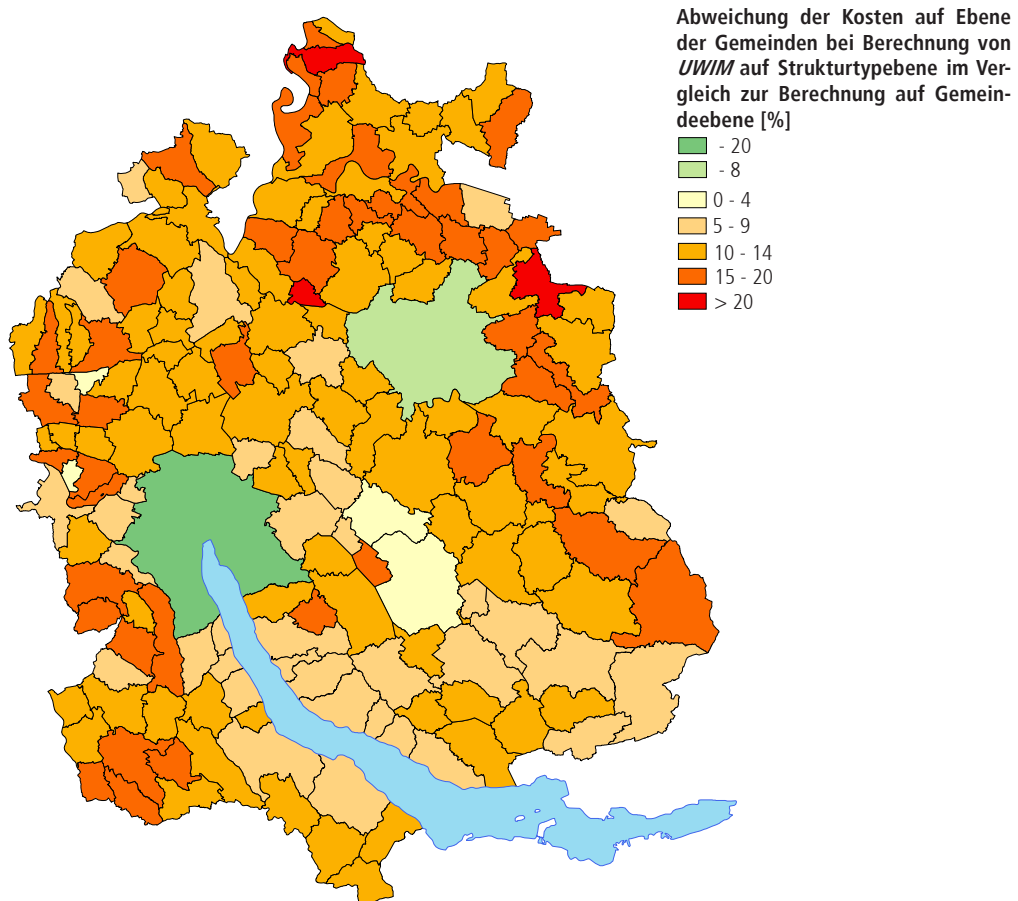


Abb. 7.2: Unterschiede der *UWIM*-Berechnung

Datenquelle: Bundesamt für Landestopografie swisstopo

#### 7.4.2 *WBW ARA & Kanalisation*

Unter den in dieser Arbeit definierten Annahmen erscheint es plausibel, von gesamtschweizerischen Kosten für *ARAs* und Leitungen zwischen ca. 200 CHF und 280 CHF [pro Kopf] auszugehen (vgl. Abschnitt 4.3.1).

Die berechneten Annuitäten liegen mit 130 CHF deutlich unter dem geschätzten schweizerischen Kostenschnitt. Dies erstaunt wiederum nicht, da Zürich kein durchschnittlicher Kanton ist. Für den Kanton Zürich sind die Kosten aufgrund von Skaleneffekten und der im schweizerischen Vergleich dichten Besiedlung tiefer anzusetzen. *UWIM* liefert somit grundsätzlich plausible Resultate, auch für die Stadtstrukturtyp-Ebene, wobei Unsicherheiten geklärt werden müssen, die bedingt durch die Anwendung von *UWIM* resultieren.

#### 7.4.3 *Minimum Spanning Tree*

Die Validierung der *MST*-Resultate gestaltet sich schwierig, da keine genügenden Leitungsdaten vorhanden sind und diese schwerlich einzelnen Baublocks zuzuordnen sind. Daher wird ein alternativer Ansatz der Validierung gewählt: Da in vielen Fällen die Abwasserleitungen entlang oder unterhalb von Strassen gebaut werden, wird von der Annahme ausgegangen, dass als grobe Annäherung die Strassenlängen<sup>78</sup> der Gemeinden den berechneten *MST*-Längen entsprechen. SIEDENTOP *et al.* (2006a, 47) gehen bei ihren Siedlungstypen ebenfalls von der Annahme aus, dass der Grossteil der Leitungen im Strassenraum erstellt wird, wobei beim Siedlungstyp Streusiedlung diese Annahme wahrscheinlich weniger stark zutrifft. Abb. 7.3 zeigt, dass für die meisten Fälle grundsätzlich ein Zusammenhang zwischen den *MST*-Längen und den Strassenlängen existiert.

78. Die VECTOR25-Strassenlänge wurden mit der durchschnittlichen Längen der Strassenklassen 1 & 2 des VECTOR25-Datensatzes in den jeweiligen Gemeinden ermittelt.

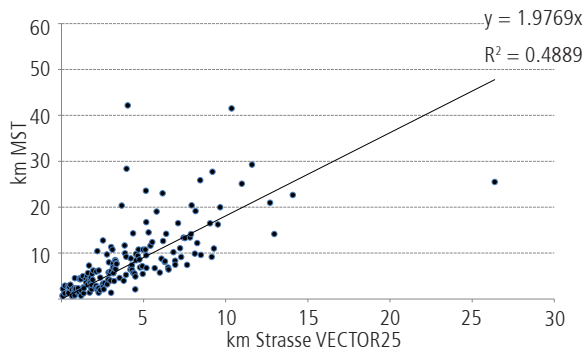


Abb. 7.3: Strassen- und *MST*-Längen Vergleich der Zürcher Gemeinden

Unter Annahme, dass ein Zusammenhang zwischen Strassenlängen und Kanalisationslängen besteht, bestätigt dieses Ergebnis das *MST*-Vorgehen als valable Abschätzung der Kanalisationslängen.

Bei der hauptsächlichlichen Reduktion der Betrachtung der Kosten auf die Erschliessungsinfrastruktur muss kritisch bemerkt werden, dass der Verlauf einer Abwasserleitung nicht allein durch die Geografie determiniert wird, sondern sich auch administrative oder politische Prozesse in Leitungsverläufen abbilden.

## 7.5 Hochrechnung auf die Schweiz & Szenarios

Der Grund dafür, weshalb das Potenzial bei der Hochrechnung auf die Schweiz rund 3% ansteigt, ist die im Vergleich zum Kanton Zürich unterschiedliche Bevölkerungsverteilung auf die *ARE*-Gemeindetypen. Schweizweit wohnen verhältnismässig mehr Personen in *ARE*-Gemeinden mit einem höheren Potenzial als im Kanton Zürich. Da aber der Kanton Zürich nur wenige bevölkerungsschwache Gemeinden aufweist, müssen das für diese Gemeindetypen berechnete Potenzial und die entsprechende Hochrechnung mit Vorsicht genossen werden. Insbesondere die Resultate für die *ARE*-Gemeindetypen 5, 6 und 7 sind als Annäherung zu verstehen. Für eine aussagekräftigere

Hochrechnung müsste das Potenzial für Gemeindetypen auch ausserhalb des Kantons Zürich berechnet werden.

Der schweizweite Bevölkerungsanteil, der in diesen Gemeindetypen wohnt, ist jedoch relativ klein. Insofern scheint ein Anstieg von rund 3% plausibel. Der Anstieg des Potenzials bei der Anwendung der Szenarien resultiert ebenfalls aufgrund der von JAEGER *et al.* (2008) unterschiedlich definierten Bevölkerungszusammensetzung der verschiedenen *ARE*-Gemeindetypen. Methodisch gibt es bei diesem Vorgehen die gleichen Einwände wie bei der Hochrechnung auf die Schweiz.

Die inhaltliche Validierung des heutigen und zukünftigen Potenzials von *dez AbwSys* ist schwierig, da kaum Abschätzungen aus der Literatur des heutigen und zukünftigen Potenzials von *dez AbwSys* in der Schweiz vorhanden sind (vgl. Kapitel 7).

## 7.6 Zwischenfazit

Die Validierung verschiedener Resultate dieser Arbeit gestaltet sich schwierig, aufgrund fehlender Referenzdaten z.B. für die Gebäudeklassifikation oder die Bevölkerungsverteilung. Bei der Anwendung des Modells *UWIM* für die Baublocks konnten Unter- bzw. Überschätzungen festgestellt werden, die einige Probleme bereiten. Das Vorgehen der Abschätzung der Leitungslängen mit einem *MST* kann als plausibles Vorgehen beurteilt werden. Ebenso scheinen die berechneten *WBW* für die *ARA* & Kanalisation plausibel, unter Berücksichtigung, dass der Kanton Zürich im Vergleich zum Schweizer Durchschnitt tiefere Kosten aufweist. Das Hochrechnen auf die Schweiz und das darauf basierende Anwenden der Szenarien von JAEGER *et al.* (2008) muss kritischer beurteilt werden, da allein Daten des Kantons Zürichs verwendet wurden.



# 8 Diskussion

*Diese Arbeit liefert Erkenntnisse über das Marktpotenzial von dez AbwSys in der Schweiz auf einer hohen räumlichen Auflösung. Die Erkenntnisse dieser Arbeit werden anhand der drei übergeordneten Fragestellungen aus Abschnitt 1.2 gegliedert und in den einzelnen Abschnitten die untergeordneten Fragestellungen aus Abschnitt 4.7 beantwortet.*

## 8.1 FF1 - Frage nach dem Marktpotenzial

Die übergeordnete Frage nach dem heutigen und zukünftigen Marktpotenzial von *dez AbwSys* wird mithilfe des *WBW* beantwortet, der in Abhängigkeit zur Schweizer Bevölkerungs- und Siedlungsentwicklung steht.

### 8.1.1 Beitrag zur Diskussion um das konkrete Potenzial von *dez AbwSys*

**UFF1:** Wie gross ist der mithilfe des *WBW* abgeleitete theoretische Marktanteil von *dez AbwSys* für die Schweiz in den Jahren 2010 und 2020?

Die wichtigsten gewonnenen Erkenntnisse und Resultate um **UFF1**, lassen sich in den folgenden vier Punkten zusammenfassen:

- Im Jahr 2010 ist unter Annahme von Annuitäten von 150 CHF [pro Person] für *dez AbwSys* schweizweit von einem durchschnittlichen potentiellen Marktanteil von ca. 27% auszugehen. Dabei muss eine methodische Unsicherheit von  $\pm 3\%$  berücksichtigt werden.<sup>79</sup>
- Unter Annahme eines mittleren Szenarios der von JAEGER *et al.* (2008) erstellten Szenarien erhöht sich das Marktpotenzial für das Jahr 2020 um ca. 3% auf 30%.
- Für Kostensenkungen von 10% steigt das Potenzial um 9%, bei 20% Kostensenkungen ist von einem Anstieg von 18% auszugehen.<sup>80</sup>

- Das Potenzial verändert sich stark in Abhängigkeit zu den schwierig zu ermittelnden Kostenannahmen von *dez AbwSys*. So liegt das Potenzial bei 200 CHF [pro Person] im Bereich von 10% - 15% oder bei 110 CHF [pro Person] im Bereich von 50%.

Die Diskussion um das Marktpotenzial von *dez AbwSys* wurde in der Schweiz bisher nicht so konkret geführt, wie dies die vorliegende Arbeit erlaubt. Aufgrund des Pioniercharakters lassen sich die gewonnenen Resultate kaum mit alternativen Arbeiten vergleichen. Das von ADLER (2007) geschätzte Marktpotenzial weist ebenfalls eine beträchtliche Spannweite des Potenzials von 12% bis 24% auf, es liegt aber deutlich unter jenem dieser Arbeit,<sup>81</sup> was in Anbetracht der methodischen Unterschiede aber kaum erstaunt.

In diesem Sinne bildet die vorliegende Arbeit einen ersten Anker für weitere Abschätzungen des theoretischen Marktpotenzials in der Schweiz. Die Resultate von zukünftigen, weiterführenden Arbeiten werden zeigen, wie die ermittelten Resultate dieser Arbeit im Vergleich dazu stehen.

Zusammengefasst zeigen die berechneten Zahlen zum Marktpotenzial auf, dass trotz aller methodischen Unsicherheiten *dez AbwSys* in der Schweiz eine in Betracht zu ziehende Alternative zum *zen AbwSys* sind: Die theoretischen berechneten Marktanteile sind beträchtlich, und es wird deutlich, dass *dez AbwSys* potentiell mehr als nur eine Nischentechnologie für das häusliche Abwas-

<sup>79</sup> Dieses Potenzial verändert sich unter Annahme von jährlichen pro Kopf-Kosten von 170 CHF auf 20.5% ( $\pm 2.5\%$  Unsicherheit durch verschiedene *G/S* Methoden).

<sup>80</sup> Ebenfalls unter Annahme von pro Kopf-Annuitäten von 150 CHF.

<sup>81</sup> Das von ADLER (2007) berechnete Marktpotenzial liegt insofern deutlich tiefer, da die Autorin bereits von 20% günstigeren Kosten aufgrund von Skaleneffekten ausgeht.

ser sein könnten. Die Resultate bezeugen einen beachtlichen, nicht ausgeschöpften Marktanteil von *dez AbwSys* und verdeutlichen dadurch den starken Einfluss hinderlicher Faktoren und die Macht des heutigen zentralisierten Abwasserregimes.

### 8.1.2 Erkenntnisse zur Siedlungs- & Infrastrukturentwicklung im Bezug zu *dez AbwSys*

**UFF2:** Inwiefern unterscheidet sich das Marktpotenzial in Bezug auf verschiedene Siedlungstypen?

**UFF3:** Was ist der Zusammenhang zwischen der Bevölkerungsdichte und dem Marktpotenzial?

**UFF4:** Welchen Einfluss hat die Bevölkerungs- und Siedlungsentwicklung auf das Marktpotenzial?

Für die Beantwortung der untergeordneten Fragestellung **UFF2** kann festgehalten werden, dass die Resultate siedlungsspezifisch unterschiedliche Kosten aufzeigen: Die *WBW* unterscheiden sich für die verschiedenen Siedlungstypen klar, wobei die Feststellung von SCHILLER & SIEDENTOP (2005, 85) bestätigt wird, dass im Vergleich zu modellbasierten Studien die Kostenunterschiede weniger deutlich ausfallen (z.B. bei ECOPLAN 2000). Die Resultate bestätigen auch für die Schweiz, dass der Gebäudetyp von Relevanz ist für die Ermittlung der Kosten des Erschliessungsaufwandes: So beträgt der *WBW* eines Hochhauses z.B. nur 24% von jenem der Streusiedlung. Zum modellbasierten Vorgehen muss kritisch an bemerkt werden, dass die in dieser Arbeit gewonnen Resultate zeigen, dass die vielfach pauschal getroffenen Annahmen zu Siedlungstypen zu kurz greifen: So streuen die Kosten innerhalb einzelner Siedlungstypen stark, was allenfalls erklärt, wieso sich die Kosten für die verschiedenen Siedlungstypen weniger deutlich unterscheiden als bei anderen Arbeiten. Insofern stellt diese Arbeit eine Optimierung alternativer Modellabschätzungen dar, da dem Umstand Rechnung getragen wird, dass die Kosten sich aufgrund verschiedener Faktoren lokal unterscheiden können.

Dass die Kosten der Siedlungstypen in engem Verhältnis zur Bevölkerungsdichte oder Siedlungsdichte stehen, wurde anhand der Literatur aufge-

zeigt. HEZEL *et al.* (1984, 6) schreiben in ihrem Fazit zur Untersuchung des Zusammenhangs zwischen den Kosten verschiedener Siedlungstypen, dass in ihrer Arbeit viel mehr der Zusammenhang zwischen der Siedlungsdichte und den Kosten angesprochen wird und weniger derjenige zwischen Siedlungstypen und den Kosten. Solches kann ebenfalls für diese Arbeit festgestellt werden, da die Kosten deutlich besser anhand der Siedlungsdichte als der Siedlungstypen erklärt werden können. Es konnte ein konkreter Grenzwert von 6000 Personen pro km<sup>2</sup> ermittelt werden, bei dem bei Annuitäten von 150 CHF [pro Person] in Baublocks der Übergang zur Kostenvorteilhaftigkeit liegt.

Nicht bestätigt wird also die Aussage von HERLYN (2007, 172), dass die Kosten der öffentlichen Kanalisation von der Siedlungsdichte fast unabhängig sind und sich kaum unterscheiden zwischen Landgemeinden und Städten.<sup>82</sup> KEMPER (2009, 17) bemerkt noch allgemeiner, dass kaum empirische Studien in der Schweiz existieren, die eine Abhängigkeit des Erstellungsaufwandes von dem Verdichtungsgrad der Siedlungsweise bestätigen. HERLYN und KEMPER muss klar widersprochen werden, denn die Resultate der vorliegenden Arbeit zeigen deutlich (*vgl. Abb. 29*), dass sich die Höhe des *WBW* sehr gut mit der Siedlungsdichte abschätzen lässt.

Trotz des ermittelten grossen Zusammenhangs zwischen den Kosten und der Siedlungsdichte, muss kritisch bemerkt werden, dass ab einer gewissen Dichte weitere Faktoren hinzukommen, die in dieser Arbeit nicht berücksichtigt werden: Bei höheren Siedlungsdichten ist z.B. denkbar, dass das Platzproblem oder Versickerungsschwierigkeiten höhere Kosten für die Installation *dez AbwSys* zur Folge haben. Der in *Abschnitt 4.5* besprochene u-förmige Verlauf der Kostenkurve bestätigt sich in dieser Arbeit nicht. Es ist allenfalls zu prüfen, ob unter Einbezug weiterer Faktoren die tiefen Kosten spezifisch für die Abwasserensorgung bei der hohen Siedlungsdichte plausibel sind.

Für die Beantwortung von **UFF3** kann zusammenfassend ein deutlicher Zusammenhang postuliert

82. Erstaunlicherweise kommt die Autorin zu dieser Aussage, obwohl unterschiedliche Leitungslängen pro Kopf festgestellt wurden.

werden. Die thematische Einbettung in die Transitions-Forschung soll aber verhindern, dass triviale Aussagen und Antworten resultieren. Ein Beispiel dafür könnte die Aussage sein, dass bei geringerer Bevölkerungsdichte das Potenzial gross ist und folglich die Transition auch dort beginnen wird. Die simple kausale Reduktion einer Transition im Hinblick auf die Bevölkerungsdichte ist nicht zulässig, kann aber erste Hinweise geben (vgl. UFF9).

Die Frage nach dem Einfluss der Siedlungs- und Bevölkerungsentwicklung (UFF4) kann aus den Zusammenhängen der berechneten *WBW* mit den verschiedenen Siedlungstypen und der Bevölkerungsdichte hergeleitet werden: Falls in einem Untersuchungsgebiet eine Verschiebung der Siedlungstypen hin zu den Streu- und Einfamilienhaus-siedlungen stattfindet (*G0*  $\rightarrow$  *G1*), geht dies mit einer resultierenden Abnahme der Siedlungsdichte Hand in Hand, und folglich steigt das Marktpotenzial *dez AbwSys*. Dies gilt auch, falls sich ein solches Muster nur für die neu dazukommende Bevölkerung zeigt. Spezifisch für die Schweiz wurden die Einflüsse mit den Szenarien von JAEGER *et al.* (2008) quantifiziert. Der Anstieg um 3% für das Jahr 2020 ist allein auf unterschiedliche siedlungs- und bevölkerungsstrukturelle Eigenschaften der *ARE*-Gemeindetypen zurückzuführen. Die verschiedenen Szenarien zeigen aber auch, dass bei einem Extremszenario deutlich höhere Werte ausfallen können.

Es wird weiter aufgezeigt, dass sich das Potenzial verschiedener *ARE*-Gemeindetypen mit unterschiedlicher Bevölkerungs- und Siedlungstypenzusammensetzung um etwas mehr als 10% bis fast 100% Prozent unterscheidet und einem Stadt-Land-Gradienten folgt.<sup>83</sup> Die Resultate bestätigen die Aussage des BUWAL (2003, 13), dass die Grösse und Struktur des Kanalnetzes erklärt, wieso in peripheren Regionen systematisch höhere Siedlungs-entwässerungskosten auftreten. Die vorliegende Arbeit konkretisiert und macht deutlich, dass diese Struktur und Grösse mit der Siedlungsstruktur stark zusammenhängen und die Siedlungsdichte ein potentieller, relativ einfach messbarer Indikator für die Kosten sein könnte.

## 8.2 FF2 - Methodische Erkenntnisse und kritische Betrachtung der verwendeten Methodik

Die in dieser Arbeit entwickelte *GIS*-Methodik zur Bestimmung des Marktpotenzials besteht aus verschiedenen Prozessschritten und basiert auf dem Strukturtypenansatz.

### 8.2.1 Stadtstrukturtypenansatz

**UFF5:** *Wie lässt sich der Strukturtypenansatz in der Schweiz umsetzen?*

Auf Grundlage der vorliegenden Arbeit können folgende Erkenntnisse bezüglich der Anwendung des Strukturtypenansatzes festgehalten werden:

- Das Problem fehlender flächendeckender dasymetrischer Zonen in der Schweiz kann im Siedlungsgebiet erfolgreich durch das Bilden von räumlichen Basiseinheiten (Baublocks) mit der Strassen- und Siedlungsgebietsgeometrie des *VECTOR25*-Datensatzes gelöst werden. Es zeigt sich, dass bereits alternative räumliche Einheiten, wie z.B. der Zonenplan, weniger gut geeignet sind, um gebäudespezifische Siedlungstypen zu bilden.
- Innerhalb der ermittelten dasymetrischen Zonen ist der Grad der Heterogenität der klassierten Gebäudetypen relativ hoch. Die Zonen lassen sich aber mit dem Strukturtypenansatz sinnvoll generalisieren.
- Gebäude ausserhalb des Siedlungsgebiets lassen sich nicht in Siedlungstypen mit einer Fläche einordnen und müssen speziell behandelt werden. Somit eignet sich der Strukturtypenansatz v.a. für das Siedlungsgebiet.
- Die räumliche Zuordnung ist modifizierbar, resp. muss das *MAUP* berücksichtigt werden. Insbesondere, falls grössere Zonen als ca. 1 Hektar gebildet werden, muss dem

83. Bei der Annahme von Annuitäten 150 CHF [pro Person].

Zusammenführen der vielen kleinen Verschnittspolygone zum Baublock grössere Beachtung geschenkt werden.

- Die Anwendung von *UWIM* auf Strukturtypenebene bedingt eine differenziertere Berechnung der nötigen Eingabeparameter, welche aber erfolgreich möglich ist. Trotzdem bedarf *UWIM* einer weiteren Untersuchung hinsichtlich der Über- bzw. Unterschätzung der Kosten.

Das methodische Fazit zum Strukturtypansatz ist, dass sich die Schweizer Gebäudeinfrastruktur relativ einfach in sinnvolle Zonen einteilen und generalisieren lässt und es erstaunt, dass dieser Ansatz nicht häufiger zur Anwendung gelangt.

### 8.2.2 Gebäudeklassifikation

**UFF6:** *Lässt sich in der Schweiz mittels einer morphologischen Hausklassifikation eine siedlungstypologische Zuordnung der Baublocks vornehmen?*

Die verwendete geometrische Hausklassifikation zur Bestimmung der Siedlungstypen ist aufgrund folgender Erkenntnisse kritischer zu beurteilen:

- Die Grundannahme, dass sich mithilfe der Geometrie die Nutzung eines Gebäudes ableiten lässt, stimmt in vielen Fällen nicht und erschwert die geometrische Gebäudeklassifikation. Der Zusammenhang zwischen Geometrie und Form ist folglich nur bedingt gegeben.
- Die Unterscheidung zwischen bewohnten und unbewohnten Gebäuden wird mithilfe der wichtigsten morphologischen Faktoren um ca. 6% innerhalb des Siedlungsgebiets (resp. 9% ausserhalb des Siedlungsgebiets) gegenüber einer zufälligen Verteilung verbessert. Hier stellt sich die Frage, ob diese Präzision genügt und sich der Klassifikationsaufwand lohnt, was je nach Fragestellung unterschiedlich beantwortet werden muss.
- Der Klassifikationsaufwand ist relativ gross und rechenintensiv, was als genereller

Nachteil des gewählten Datenmodells zu beurteilen ist.

Jedoch funktioniert, abgesehen von der Unterscheidung zwischen bewohnten und unbewohnten Gebäuden, die eigentliche Gebäudeklassifikation sehr gut, und es lässt sich mithilfe der wichtigsten morphologischen Kriterien relativ einfach eine Gebäudezuordnung vornehmen. Der Ansatz der Kongruenzwerte erlaubt ein methodisch einfaches und effizientes Vorgehen. Das Ableiten der Siedlungstypen auf Grundlage der klassierten Gebäude ist ebenfalls möglich, wobei berücksichtigt werden muss, dass es mehrere Möglichkeiten der Zuordnung gibt.

MEINEL *et al.* (2008 18 ff.) argumentieren, dass eine regelbasierte Klassifikation im Vergleich zu *Fuzzy*-Methoden der einfachere Weg sei, Gebäude zu klassieren. Als gewichtiges Problem sehen sie, dass die Resultate von der Güte des Referenzdatensatzes sowie von der Wahl der Gewichtung stark abhängig sind. Die Autoren kommen in ihrem Methodenvergleich zum Fazit, dass mittels regelbasierter Klassifikation in kurzer Zeit ein akzeptables Ergebnis vorliegt und somit eine regelbasierte Klassifikation vorzuziehen ist. Dies kann in dieser Arbeit nur bedingt empfohlen werden, da eine höhere Klassifikationsgüte auch die Aussagekraft zum Potenzial *dez AbwSys* verbessert.

Als Fazit für **UFF6** kann festgehalten werden, dass eine geometrische Gebäudeklassifikation für die Anwendung des Strukturtypenansatzes genügend gute Daten liefert, aber allenfalls alternative, nicht von der Geometrie abhängige Wege zu prüfen sind.

### 8.2.3 Erkenntnisse zur Herleitung der Daten

**UFF7:** *Wie gut lassen sich Kanalisationsdaten mithilfe von *UWIM* und Bevölkerungsdaten mithilfe des *Dasy-metric Mapping* für einzelne Siedlungstypen ableiten?*

Die Anwendung des Strukturtypenansatzes bedingt, dass Kanalisations- und Bevölkerungsdaten für einzelne Baublocks hergeleitet werden müssen.<sup>84</sup> Die Anwendung von *UWIM* für die Abschätzung und monetäre Bewertung der Abwasserleitungsinfrastruktur liefert insgesamt plausible

84. Für die Herleitung weiterer Faktoren wie z.B. der Abflusskoeffizienten siehe *Anhang O*.

Resultate, wobei aber berücksichtigt werden muss, dass die Berechnungen für die Skala der Siedlungsstrukturtypen von der Berechnung auf Gemeindeebene abweichen. Für eine befriedigende Beantwortung dieser Fragestellung wären weiterführende Arbeiten nötig.

Bei der Disaggregation der Bevölkerung mittels *dasymmetric mapping* kann festgestellt werden, dass die volumetrische Methode insgesamt plausible Werte liefert, aber durch gebäudespezifische Gewichtungsfaktoren optimiert werden könnte.

Abschliessend kann zur GIS-Methodik erwähnt werden, dass eine grosse Stärke dieser Methode darin liegt, dass diese nicht spezifisch für ein Fallbeispiel funktioniert, sondern mit relativ einfachem Aufwand auch auf weitere Gebieten angewendet werden kann.

### 8.3 FF3 - Erkenntnisse zur Nachhaltigkeits-Transition *dez AbwSys* in der Schweiz

#### 8.3.1 Lage potentieller Nischen und deren Charakteristika

**UFF8:** Wo befinden sich potenzielle Nischen für dezentrale Abwassersysteme und wie lassen sich diese charakterisieren?

KEMP *et al.* (1998, 187) bemerken, dass nach der Wahl einer zu unterstützenden Technologie für ein Nischenexperiment ein Rahmen oder ein Ort gewählt werden muss, an dem die Vorteile der Technologie besonders zum Zuge kommen und die Nachteile weniger folgenschwer sind. BINZ (2008, 100) identifiziert am Beispiel von China für *dez AbwSys* verschiedene Beispiele solcher technologischer Nischen: Dies können Autowaschanlagen, Prestigebauten mit Geschossflächen von mehr als 200'000 m<sup>2</sup> oder semi-dezentrale Abwasserrecyclingsysteme in wasserarmen Städten sein. Dass für abwasserspezifische Sonderfälle und spezielle Situationen (z.B. Spitäler, Industrie...) technologische Lösung gewählt werden, die von der Norm abweichen, ist wenig erstaunlich. Da *dez AbwSys* aber das Potenzial zugeschrieben wird, in vielen Fällen auch für das häusliche Abwasser eine in Betracht zu zie-

hende Alternative zu sein, erscheint die in der vorliegenden Arbeit vorgenommene Betrachtung abgesehen von Extremfällen vielversprechend.

Die technologischen Nischen werden im Hinblick auf deren ökonomischen Vorteilen identifiziert, resp. alle weiteren Faktoren ignoriert. Daher werden z.B. ökologisch besonders sensible Gebiete in der Schweiz nicht als potentielle Nischen ausgewiesen.

Ganz im Sinne einer geografischen Betrachtung von Nachhaltigkeits-Transitionen, werden Nischen auf verschiedenen räumlichen Ebenen identifiziert (*vgl. Abb. 8.1*), was eine differenzierte Beantwortung von **UFF8** erlaubt.

#### 8.3.2 Nische auf Ebene des Baublocks

Der Strukturtypenansatz erlaubt es, Nischen für *dez AbwSys* auf Ebene der Baublocks zu identifizieren. Aufgrund methodischer Einschränkungen kann das geschätzte Potenzial einzelner Baublocks grosse Fehler aufweisen. Grund dafür können ebenfalls nicht berücksichtigte lokale Faktoren sein. Die Baublocks sind mehr als Mittel zur Approximation des Potenzials für grössere Einheiten zu verstehen. Trotzdem lässt sich etwas zu möglichen Nischen auf Ebene der Baublocks aussagen:

- Nischen liegen vermehrt in Randlagen des Siedlungsgebiets.
- Das Potenzial der Baublocks ist in ländlichen Gebieten generell höher.
- Das Potenzial ist räumlich autokorreliert.

Dass Nischen v.a. in Randlagen liegen, hängt in vielen Fällen damit zusammen, dass Randlagen noch Baulücken aufweisen. Falls das Bebauungspotenzial dieser Baublocks ausgeschöpft wird, sollte dementsprechend das Potenzial kleiner werden. Dieser Umstand bietet aber auch Chancen, da in diesen Baublocks die Infrastruktur erst erstellt werden muss und z.B. geringere *sunk costs* vorhanden sind. Ähnlich kann das relativ höhere Potenzial in ländlichen Gebieten mit der kleineren Siedlungsdichte begründet werden. Ebenso ist die räumliche Autokorrelation durch die autokorrelierte

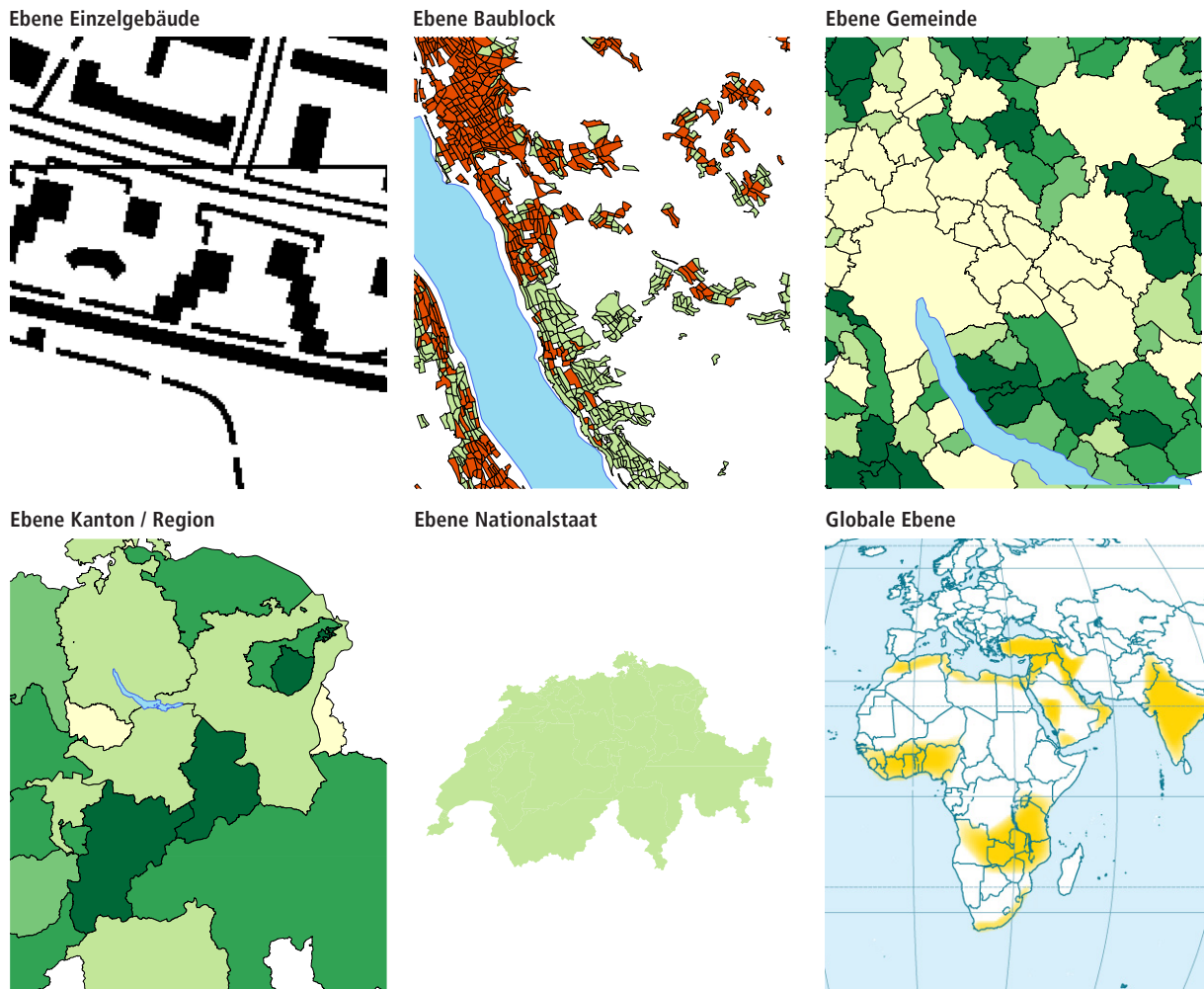


Abb. 8.1: Betrachtung von Nischen auf verschiedenen Ebenen

Quelle globale Ebene: BAUCHROWITZ (2010, 4)  
Datenquelle: Bundesamt für Landestopografie swisstopo

Bebauung zu erklären. Die Begründung dafür ist, dass in dieser Arbeit ein starker Zusammenhang zwischen Infrastrukturaufwendungen und der Siedlungsstruktur aufzeigt wird, welche aber nicht zufällig über den Raum verteilt ist. Dies ist auch ersichtlich in den Baublocks, welche i.d.R. eindeutig von einem Gebäudetyp dominiert werden.

### 8.3.3 Nische auf Stufe Gemeinde

Es erstaunt nicht, dass die mit dem höchsten Potenzial identifizierten *ARE*-Gemeindetypen ländlich geprägt sind, da diese eine disperse Siedlungsstruktur aufweisen. So schreibt z.B. auch Ho (2005, 16), dass in entlegenen ländlichen Gemeinden ein sicherer Markt für *onsite* Technologien besteht, und gerade dort auch ökonomische Barrieren besonders wichtig sind. Erstaunen mag hingegen, dass auch in einkommensstarken Gemeinden, wie z.B. am rechten Zürichseeufer, das Potenzial relativ

hoch ist. Grund dafür ist wahrscheinlich die relativ kostenintensive Siedlungsinfrastruktur (v.a. Einfamilienhäuser). Bei Berücksichtigung der finanziellen Lage dieser Gemeinden kann festgehalten werden, dass einerseits vermehrt finanzielle Ressourcen vorhanden sind, Nischenexperimente zu wagen, aber andererseits der ökonomische Druck dafür wahrscheinlich kleiner ist.

Im Falle des Kantons Zürichs können anhand der Gemeindeverteilung potentielle Regionen identifiziert werden, bei denen eine Einführung von *dez AbwSys* zuerst erfolgen könnte. Diese sind einerseits das Zürcher Weinland oder der östliche Teil des Zürcher Oberlandes und der Region Winterthur. Im Falle sinkender Kosten ist es denkbar, dass das *dez AbwSys* aus solchen Nischen ausbricht und das heutige Regime des *zen AbwSys* zuerst in ländlichen Gebieten zusammenzubrechen beginnt.

### 8.3.4 Nischen auf Ebene Kanton

Ein identisches Muster wie bei den Gemeinden ist auch bei den Kantonen ersichtlich: Urbane, relativ dicht bebaute Kantone wie Genf, Zug, Basel-Stadt oder auch Zürich stellen keine besonders geeignete technologischen Nischen dar. Auf kantonaler Ebene sind vielmehr ländlich geprägte, relativ dünn besiedelte Kantone mit anspruchsvoller Topografie potenzielle Nischen wie z.B. die Kantone Jura, Uri, Glarus oder Appenzell Innerrhoden. Der Vergleich mit den bereits heute installierten *dez AbwSys* in Abb. 4.1 bestätigt dies teilweise.

Die aufgezeigten Nischen mit unterschiedlicher Auflösung zeigen, dass die alleinige Betrachtung des Potenzials auf der Ebene des Nationalstaats zu kurz greift. Insofern muss die zu Beginn dieser Arbeit von BAUCHROWITZ (2010) erstellte Abbildung (siehe Abb. 1.1) kritisch hinterfragt werden: Auch innerhalb eines Nationalstaates können differenzierte Aussagen zum Potenzial getroffen werden. Der hohe potenzielle Marktanteil für den Fall des Kantons Zürich zeigt, dass nicht nur Gebiete mit ungenügender Siedlungswasserinfrastruktur, schnellem Städtewachstum und Wassermangel in Betracht zu ziehende Orte sind (*ibid.*).

### 8.3.5 Räumliche Diffusionspfade

**UFF9:** Wie sehen mögliche räumliche Diffusionspfade aus?

MAURER *et al.* (2006, 153) finden es wichtig, dass Transitionsszenarien entwickelt werden, die aufzeigen, wie aus der *lock-in* Situation des heutigen

*zen AbwSys* herauszukommen ist. Aufgrund des beschränkten Umfangs dieser Masterarbeit, können keine ausführlichen Diffusionspfade erarbeitet werden, und somit kann die anfangs gestellte Frage so nicht differenziert beantwortet werden. Beispielweise ist die erwähnte sanierungsbedürftige Infrastruktur sicher ein wichtiger Faktor, da dort die getätigten Investitionskosten (*sunk costs*) einen weniger grossen Barriereneffekt ausüben. Sowohl dieser Effekt als auch die vielen weiteren Barrieren können jedoch nicht berücksichtigt werden.

Der hohe räumliche Auflösungsgrad dieser Arbeit ermöglicht eine differenzierte Aussage zur räumlichen Verteilung des Potenzials für ein konkretes Gebiet und kann mit der vorgestellten Methodik auf verschiedenen räumlichen Ebenen analysiert werden. Die vorliegende Arbeit gibt einige generelle Anhaltspunkte:

Ho (2005) schreibt, dass für urbane Regionen eine Transformation des *AbwSys* Jahrzehnte dauern wird, da dort viele Investitionen nötig sind und ökonomische Faktoren eine weniger grosse Rolle spielen. Die berechneten *WBW* lassen ebenfalls vermuten, dass eine Transition von ländlichen Gemeinden ausgehen wird.<sup>85</sup> Die hohe Autokorrelation der Kosten auf Ebene der Baublocks lässt weiter Hoffnung zu, da eine höhere Chance besteht, dass gemeinsam Lösungen auf lokaler Ebene gefunden werden. Das Identifizieren von mehreren Kantonen mit hohem Potenzial zeigt mögliche Akteurskonstellationen auf, die bei der Nachhaltigkeits-Transition eine wichtige Rolle spielen können.

85. Der von HERLYN (2007, 176) erwähnte Wandel von der Bauphase zur Unterhaltsphase spielt sicherlich eine wichtige Rolle, wobei aber die Altersverteilung der Gemeindekanalisation zeigt, dass er in ländlichen Gemeinden noch weniger stark ausgeprägt ist und somit dem oben erwähnten Effekt entgegenwirkt.





# 9 Schlussfolgerung und Ausblick

In Abschnitt 1.1 werden die wichtigsten Beiträge und Erkenntnisse in Kürze aufgezeigt. Abschnitt 11.2 macht auf Forschungslücken aufmerksam und gibt Beispiele möglicher zukünftiger Forschungsfragen. Abschliessend folgt in Abschnitt 11.3 ein Fazit dieser Arbeit.

## 11.1 Beiträge & Erkenntnisse

- Der wichtigste Beitrag dieser Arbeit liegt in der räumlich expliziten, konkreten Abschätzung des Marktpotenzials *dez AbwSys*. Das Wissen um dieses Potenzial und das methodische Wissen für dessen Herleitung fehlt nicht nur in der Schweiz, sondern dem Autor ist auch für das Ausland keine Arbeit bekannt, in der mit einer detaillierten Art und Weise eine solche Abschätzung vorgenommen wurde.
- Einzigartig ist das Abschätzen des Potenzials *dez AbwSys* auf Strukturtypebene: Bisherige Abschätzungen sind einerseits sehr vage was das explizite quantitative Abschätzen des Potenzial betrifft und beziehen sich nur auf die räumliche Ebene des Nationalstaates. Mit den vorgestellten methodischen Schritten ist eine differenzierte Beantwortung des Potenzials auch für ein grösseres Gebiet möglich, bei der die Siedlungsstruktur mit einbezogen wird.
- Dass in dieser Arbeit eine Methodik erarbeitet wurde, die eine relativ einfache Übertragbarkeit auf andere Untersuchungsgebiete erlaubt, ist als besondere Errungenschaft hervorzuheben. Im Gegensatz zu den meisten Abschätzungen der Infrastruktur erlaubt es die erarbeitete Methode, sich von Fallbeispielen im lokalen Kontext zu lösen.
- Diese Arbeit bestätigt bereits bekannte Zusammenhänge der Infrastrukturkosten und

Siedlungsstruktur spezifisch für die Schweiz, die aber bisher wenig untersucht wurden und auch umstritten sind: Es wird klar ein Zusammenhang zwischen dem Potenzial (resp. den Kosten) und der Bevölkerungsdichte gefunden, welcher sich stark unterscheidet zwischen ländlichen und städtischen Gebieten.

- Aussagen zu siedlungstyp-spezifischen Infrastrukturaufwendungen werden in einem *bottom-up* Verfahren durch das Anwenden von *UWIM* hergeleitet.<sup>86</sup>
- Speziell in dieser Arbeit ist das Herleiten des Attributes bewohnt/unbewohnt mittels einer morphologischen Gebäudeklassifikation. Für die Schweiz wurde keine Arbeit gefunden, bei der eine solche Klassifikation vorgenommen wurde.<sup>87</sup>
- Dem Autor ist keine Arbeit bekannt, in der eine Prognose des Marktpotenzials für *dez AbwSys* auf Basis siedlungsstruktureller Veränderungen so vorgenommen wurde.

## 11.2 Forschungsbedarf & Forschungslücken

Die Vielfalt der in dieser Arbeit angesprochenen Themenfelder wirft ebenfalls neue Fragen in diversen Bereichen auf, denen sich zukünftige Arbeiten widmen können. Die wichtigsten angetroffenen Wissenslücken lassen sich thematisch in unterschiedliche Kategorien einteilen (*siehe folgende Abschnitte*).

<sup>86</sup>. In existierenden Untersuchungen werden unterschiedliche Kostenaufwendungen fast ausschliesslich indirekt hergeleitet, d.h. es werden im Vorhinein für verschiedene Siedlungstypen Kosten definiert.

<sup>87</sup>. In dieser Arbeit wurde die Gebäudehöhe für die Klassifikation verwendet, was bisher nur relativ selten vorgenommen wurde.

### 11.2.1 Kostenannahmen

Die verwendete Methodik zur Ermittlung des Marktpotenzials kann optimiert werden unter Einbezug von bislang nicht berücksichtigten Kostenannahmen.

Grundsätzlich gibt es viele Fragen bei der heutigen und zukünftigen Kostenabschätzung von *dez* und *zen AbwSys*, und es stellt sich die Frage des Einflusses methodischer Annahmen auf die Kosten: Dies sind z.B. Annahmen zur Berechnung des *WBW* mit *UWIM* und zur Berechnung der Leitungskosten

ausserhalb des Siedlungsgebiets. *Tab. 9.1* listet verschiedene getroffene Annahmen auf, die direkt oder indirekt die Berechnung der Kosten betreffen und Beispiele möglicher ungeklärter Fragen ergeben. Besonders herausfordernde und interessante Fragestellungen ergeben sich bei einer dynamischen Betrachtung der Kosten: Wie verändert sich das Marktpotenzial, falls sich im Zuge einer beginnenden Transformation immer mehr Gebäude vom *zen AbwSys* abkoppeln? Wie stark wird allenfalls die Infrastruktur des *zen AbwSys* noch benötigt, und wie wirkt sich dies auf die Kosten aus?

Getroffene Annahmen und Vereinfachung	Forschungsfragen (Forschungslücke)
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Die Kosten dezentraler <i>AbwSys</i> sind unabhängig vom Raum.</li> <li>▪ Alle installierten dezentralen <i>AbwSys</i> kosten gleich viel pro Person.</li> <li>▪ Die zukünftigen Kosten <i>dez AbwSys</i> verändern sich nicht.</li> <li>▪ Die durchschnittliche Lebensdauer von <i>dez AbwSys</i> beträgt 20 Jahre.</li> <li>▪ Die Abwasserleitungskosten ausserhalb des Siedlungsgebiets sind überall gleich hoch (homogene Kostenverteilung im Raum).</li> <li>▪ Die Kosten von <i>zen AbwSys</i> ausserhalb des Siedlungsgebiets sind unabhängig von der Position im Leitungsnetz.</li> <li>▪ Eine Abkoppelung vom jetzigen System ist überall möglich.</li> <li>▪ Mit <i>UWIM</i> lassen sich realistische <i>WBW</i> der Abwasserinfrastruktur im Siedlungsgebiet berechnen (exkl. <i>ARAs</i>)</li> <li>▪ <i>UWIM</i> liefert realistische <i>WBW</i> auf Ebene des Strukturtypenansatzes.</li> <li>▪ Allfällige Transformationskosten oder externe Kosten werden ignoriert.</li> <li>▪ Die Betriebs- und Unterhaltskosten werden ignoriert.</li> <li>▪ Es wird eine statische Betrachtung der Kosten vorgenommen.</li> <li>▪ Es gibt keine Kostenremanenzen und keine Schrumpfungsprozesse.</li> <li>▪ Alle bewohnbaren Gebäude sind bewohnt.</li> <li>▪ Der Diskontsatz beträgt 2%.</li> <li>▪ Öffentliche Gebäude müssen nicht entwässert werden.</li> <li>▪ Es wird keine differenzierte Kostenaufteilung vorgenommen, ausser, dass die Kosten der Industrie und der öffentlichen Gebäude nicht betrachtet werden.</li> <li>▪ Das <i>zen AbwSys</i> wird auf Leitungen und <i>ARAs</i> reduziert.</li> <li>▪ Semi-dezentrale Anlagen und -Optionen werden ignoriert.</li> <li>▪ <i>Dez AbwSys</i> sind vollständige Substitute für <i>zen AbwSys</i>.</li> <li>▪ Das benötigte Gebäudevolumen pro Person ist überall gleich.</li> <li>▪ Die Abwasserkosten sind für alle Person gleich, resp. werden ignoriert.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Sind die Kosten dezentraler <i>AbwSys</i> abhängig von der Position im Raum? Wo ist mit welchen Kosten zu rechnen?</li> <li>▪ Wie unterscheiden sich die Kosten je nach <i>AbwSys</i>?</li> <li>▪ Was sind mögliche zukünftige Kosten <i>dez AbwSys</i>?</li> <li>▪ Wie hoch ist die Lebensdauer verschiedener <i>dez</i> Anlagen?</li> <li>▪ Wie unterscheiden sich die Leitungskosten je nach geografischen Begebenheiten (z.B. Berücksichtigung von topografischen Hindernissen)?</li> <li>▪ Wie lassen sich die Kosten in Abhängigkeit zur Position im Leitungsnetz berechnen?</li> <li>▪ Was ist die Abhängigkeit zwischen der Position im Leitungsnetz und der Möglichkeit zur Abkoppelung vom <i>zen AbwSys</i>? Wie sehen mögliche Abkoppelungsfolgen aus?</li> <li>▪ Wie lassen sich für <i>UWIM</i> die Eingabeparameter für eine höhere räumliche Betrachtung optimieren (z.B. Einbezug des Bodentyps oder der Neigung)? Wie lassen sich die Über- resp. Unterschätzungen korrigieren?</li> <li>▪ Wie lassen sich die unterschiedlichen Kosten von <i>UWIM</i> durch die unterschiedliche räumliche Auflösung erklären? Wie lassen sich die Über- resp. Unterschätzungen korrigieren?</li> <li>▪ Wie hoch sind die Transformationskosten eines Systemwechsels? Wie lassen sich externe Kosten einbeziehen?</li> <li>▪ Wie verändert sich das Potenzial unter Einbezug der Betriebs- und Unterhaltskosten, und wie hoch sind diese (für <i>dez</i> als auch <i>zen AbwSys</i>)?</li> <li>▪ Wie verändern sich die Kosten in den verschiedenen Phasen einer Transition?</li> <li>▪ Wie verändern sich die Kosten mit Einbezug von Schrumpfungsbedingungen in der Schweiz?</li> <li>▪ Wie verändern sich die Kosten unter Einbezug von Leerstandsquoten?</li> <li>▪ Von welchen Zinsentwicklungen ist auszugehen?</li> <li>▪ Wie hoch sind die Kosten des <i>zen AbwSys</i> für alle öffentliche Gebäude?</li> <li>▪ Wie ist eine differenzierte Betrachtung der Kostenträger möglich?</li> <li>▪ Wie lassen sich z.B. Sonderbauwerke oder die Verbandskanalisation einbeziehen und berechnen?</li> <li>▪ Wie lassen sich die Kosten semi-dezentraler <i>AbwSys</i> berechnen?</li> <li>▪ Wo und wie stark muss trotz des Vorhandenseins eines <i>dez AbwSys</i> auf das heutige <i>zen AbwSys</i> zurückgegriffen werden?</li> <li>▪ Wie verändert sich das Potenzial bei Einbezug weiterer siedlungspezifischer Parameter?</li> <li>▪ Wie verändern sich das Potenzial und die Kosten bei Einbezug der Abwasserkosten und personengruppen-spezifischer Eigenschaften (z.B. Alter)?</li> </ul>

Tab. 9.1: Kostenannahmen und Forschungslücken

Es ist nicht davon auszugehen, dass das heutige *zen AbwSys* nicht mehr benötigt wird, insbesondere zu Beginn einer Nachhaltigkeits-Transition. Zur besseren Abschätzung des Potenzials müsste diese Dynamik bekannt sein. Dafür fehlt aber ein fundiertes Wissen darüber, wie viele Abwasserleitungen in jedem Fall noch benötigt würden und wie diese geografisch verteilt sind.

Eng damit verknüpft ist eine Betrachtung der Kostenaspekte, die mit der konkreten Position eines Gebäudes oder Baublocks im Leitungsnetz zusammenhängen (vgl. SCHILLER 2004). Für eine solche Betrachtung ist die Klärung methodischer Fragen nötig.

### 11.2.2 GIS-Methodik

Eine vertiefte Auseinandersetzung mit den Kostenannahmen im vorherigen Abschnitt würde ein differenzierteres Bild einer Transformation ermöglichen. Für die Untersuchung vieler der dort erwähnten Fragen müsste aber eine höher aufgelöste Betrachtung vorgenommen werden, bei der die tatsächlichen Leitungsnetze bekannt sind. Die

Frage nach einer alternativen Modellierung der Abwasserleitungsnetze steht dabei im Zentrum des Interesses. Die Entwicklung besserer Modellierungsmethoden könnte auch von grossem Interesse für ähnliche Fragestellungen weiterer netzbasierter Infrastrukturen (Strassennetze, Stromnetze...) sein.

Nebst der Frage der angesprochenen alternativen Netzwerkmodellierungen zeigt Tab. 9.2 auf, in welchen Bereichen methodisch eine Optimierung des Verfahrens vorgenommen werden könnte. Die Anwendung des Strukturtypenansatzes, des *dasy-metric mapping*, der geometrischen Hausklassifikation und der Prognose kann verbessert werden. Erkenntnisse in diesen Bereichen sind nicht nur interessant im Zusammenhang mit *AbwSys*, sondern können einer Reihe von Untersuchungen dienen, die Phänomene auf einer höher aufgelösten Ebene von Siedlungseinheiten betrachten:

Die morphologische Gebäudeklassifikation kann beispielsweise dazu dienen, diverse (ökologische als auch nicht ökologische) Fragestellungen zu klären, die mit dem Gebäudetyp zusammenhängen (siehe z.B. die Methode zur Abschätzung des Ener-

Getroffene Annahmen und Vereinfachung	Forschungsfragen (Forschungslücke)
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Es ist potentiell überall möglich, ein <i>dez AbwSys</i> zu installieren.</li> <li>▪ Die Kanalisationslängen ausserhalb des Siedlungsgebiets lassen sich mit einem einfachen <i>MST</i> abbilden.</li> <li>▪ Die Anzahl Personen pro m<sup>3</sup> Gebäude ist für alle Gebäudetypen identisch.</li> <li>▪ Die mithilfe von Strassen und des Siedlungsgebiets erstellten Baublocks teilen die Siedlungsstruktur in homogene räumliche Zonen ein.</li> <li>▪ Mithilfe der geometrischen Form kann auf die Nutzung eines Gebäudes geschlossen werden.</li> <li>▪ Die Verbandskanalisation wird nicht in die Berechnung einbezogen.</li> <li>▪ Die Abwasserinfrastruktur wird mit <i>UWIM</i> modelliert.</li> <li>▪ Die Baublocktypologie entspricht der Gebäudetypologie.</li> <li>▪ Die Bevölkerungsszenarien von JAEGER <i>et al.</i> (2008) bilden die Basis für die Prognose</li> <li>▪ Die amtlichen Daten (z.B. VECTOR25) sind hinsichtlich verschiedener Datenkriterien die optimale Datenwahl.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Ist die Nutzung von <i>dez AbwSys</i> überall im Raum möglich, und wie lässt sich dies ermitteln?</li> <li>▪ Wie kann die Modellierung der Leitungen effizient optimiert werden? (z.B. Einbezug eines Höhenmodells, Restriktionen für den <i>MST</i>-Algorithmus etc.)</li> <li>▪ Wie lässt sich die Disaggregation der Bevölkerung optimieren? Wie verändert sich das Resultat unter Einbezug gebäudespezifischer Dichten?</li> <li>▪ Wie können die dasymetrischen Zonen hinsichtlich der Abwasserinfrastruktur optimiert werden? Welche räumlichen Basiseinheiten repräsentieren die statistische Oberfläche für <i>AbwSys</i> relevanten Faktoren am besten?</li> <li>▪ Wie lässt sich die geometrische Klassifikation optimieren? Gibt es alternative, einfache Methoden, um zusätzliche Attribute der VECTOR25 Gebäudepolygone zu eruieren?</li> <li>▪ Wie lässt sich die Kanalisationsinfrastruktur innerhalb des Siedlungsgebiets differenzierter berechnen (z.B. Einbezug der Verbandskanalisation)? Welche Alternativen gibt es zu <i>UWIM</i>?</li> <li>▪ Können weitere Eigenschaften in <i>UWIM</i> einbezogen werden (z.B. konkrete Lage der Gebäude innerhalb eines Baublocks)? Wie lässt sich <i>UWIM</i> besser validieren?</li> <li>▪ Wie kann eine differenzierte Siedlungstypologie für die Untersuchung von <i>dez AbwSys</i> definiert und bestimmt werden?</li> <li>▪ Wie lässt sich die konkrete Bevölkerungs- und Siedlungsentwicklung prognostizieren?</li> <li>▪ Lässt sich mithilfe von <i>VGIS</i> alternative Datenquellen und zusätzliche Informationen erschliessen?</li> </ul>

Tab. 9.2: GIS methodische Annahmen und Forschungslücken

gieverbrauchs von FABBRI *et al.* 2012 oder GEISS *et al.* 2011). Im Zusammenhang mit dieser Arbeit, kann die Gebäudeklassifikation weiter auch dazu dienen, eine differenzierte Bevölkerungsdisaggregation vor zu nehmen, falls gebäudespezifische Gewichtungsfaktoren angewendet werden. Der Strukturtypenansatz in Kombination mit dem *dasy-metric mapping* kann in der Stadtplanung in vielen Forschungsfeldern angewendet werden: So benötigt das Ermitteln der Anzahl der betroffenen Personen einer Katastrophe (z.B. MAANTAY & MAROKO 2009) oder die Planung öffentlicher Dienstleistungen (z.B. LANGFORD *et al.* 2008) als auch die Diskussion um Umweltgerechtigkeit (z.B. HIGGS & LANGFORD 2009) eine räumlich hochaufgelöste Bevölkerungsverteilung.

Ein generelles Problem stellt die Heterogenität des Raumes dar, der mehr Beachtung geschenkt werden müsste: Diese Heterogenität kam insbesondere bei der Anwendung der geometrischen Hausklassifikation zum Vorschein, da sich die Gebäudegeometrie stark zwischen der Stadt und dem Land unterscheidet. Weiterführende Klassifikationsmethoden wie z.B. die von LÜSCHER *et al.* (2009) verwendeten Bayesschen Netze könnten verwendet werden.

Eine GIS-Analyse wird immer nur so gut sein, wie die der Analyse zugrunde liegenden Daten. Daher ergeben sich viele Fragestellungen aus dem Verwenden und der Verfügbarkeit von Daten und Datensätzen (vgl. Tab. 9.2). Hier stellt sich die Frage, wie die im Zuge des *Web 2.0* und *VGIS* von normalen Bürger erhobenen Daten genutzt und in die Analyse einbezogen werden können (GOODCHILD 2007). Relevante Informationen können beispielsweise differenzierte Gebäudeattribute sein, mithilfe deren sich abwasserspezifische Informationen (z.B. die Abwassermenge) oder Bevölkerungsdaten herleiten lassen.<sup>88</sup>

Weiter wird die Prognose der verschiedenen Parameter auf Strukturtypenebene in der vorliegenden Arbeit nur knapp behandelt. Ein Grund dafür ist, dass räumlich hoch aufgelöste Bevölkerungs- und Siedlungsprognosen aufwändig zu erstellen sind und grossen Unsicherheiten unterliegen. Gerade auch weiterführende Prognosen, welche eine differenzierte Bevölkerungs- und Siedlungsprognose v.a. auch auf höher aufgelöster Ebene als der *ARE*-Gemeindetypen berücksichtigen, könnten von grossem Interesse sein.

### 11.2.3 Weiterer Optimierungsbedarf

#### 11.2.3.1 Siedlungstypologie

Eine angetroffene Schwierigkeit ist die Siedlungstypologie. Die in dieser Arbeit verwendete Siedlungstypologie wurde von ECOPLAN (2000) übernommen und ist nicht spezifisch auf die Kostenbetrachtung von *AbwSys* abgestimmt. Es stellt sich die Frage, ob nicht die Typologie spezifisch für *dez AbwSys* optimiert werden könnte. Dabei müssten ebenfalls, klar operationalisierbare Kriterien zur Abgrenzung der verschiedenen Typen gefunden werden.

#### 11.2.3.2 Sozio-technische Einbettung

Nebst methodischem Optimierungsbedarf ist zur Beantwortung der übergeordneten Fragestellungen weitere Forschung in diversen Themenfeldern nötig: Die Transformation des *AbwSys* hängt nicht nur von den Leitungskosten ab, sondern der sozio-technischen Einbettung ist ebenfalls Rechnung zu tragen. So gibt es z.B. viele ungeklärte organisatorische Fragen darüber, wie eine solche Transformation ablaufen könnte. Weiter stellt sich die Frage, wie die gesetzlichen Rahmenbedingungen verändert werden können oder die verschiedenen Akteure von neuen *AbwSys* überzeugt werden könnten.

<sup>88</sup> Das *OpenStreetMap* Projekt (<http://www.openstreetmap.ch/>, Zugriff:01.01.2013) verfügt beispielsweise über vielversprechende Daten. WERDER *et al.* (2010, 330) begründen ihre morphologische Gebäudeklassifikation für Attributierung von *OpenStreetMap* Daten damit, dass die bei diesem Projekt von Benutzern und Benutzerinnen verliehen Attribute weniger zuverlässig sind als die verliehen Geometrien. Auf Basis dieser Arbeit muss aber auch diese These kritisch beurteilt werden, da z.B. für das Attribut "bewohnt/unbewohnt" nur bedingt ein Zusammenhang zwischen der Morphologie und diesem Attribut besteht. In Anbetracht der Schwierigkeiten der morphologischen Klassifikation ist nicht die Frage, ob nicht die von Benutzer und Benutzerinnen verliehenen zuverlässiger sind.

### 11.3 Fazit

So wie die Öffentlichkeit häufig das kanalbasierte *AbwSys* in ländlichen Gebieten subventionierte, um anfängliche finanzielle Barrieren zu überwinden (GEELS 2005, 390), dürfte auch die anfängliche Subventionierung und Stützung des *dez AbwSys* eine wichtige Rolle für eine erfolgreiche Nachhaltigkeits-Transition spielen. Hier spielt das Finden von geografischen Gebieten im Sinne des Strategischen Nischenmanagements eine wichtige Rolle.

Für die Schweiz bemerken TRUFFER *et al.* (2010, 269) dass die Basis einer Sektorreform auf nationalstaatlicher Ebene das Verfolgen ähnlicher Strategien von mehreren Kantonen voraussetzt, resp. ein *bottom-up* Lernprozess die Pfadabhängigkeiten existierender sozio-technischer Regimes überwinden könnte und dadurch der *top-down* Ansatz der sechziger- und Neunzigerjahre Jahre ersetzt würde, bei dem die *zen AbwSys* durch nationale Gesetze vorgeschrieben wurden. Auch wenn die Schweiz nicht die dringlichste Region für die Installation von *dez AbwSys* sein mag, und auch die Dimension der ökonomischen oder ökologischen Treiber nicht zu vergleichen ist mit jenen in Entwicklungsländern, kann dahingehend argumentiert werden, dass der Schweiz eine Vorreiterrolle zukommt, punkto Nachhaltigkeit und Vorbildlichkeit einen globalen Beitrag zu leisten. TRUFFER *et al.* (2012, 221) gehen davon aus, dass die Entwicklung des *dez AbwSys* als ein ausgereiftes alternatives System

ein ähnlich entschiedenes Vorgehen bedingt, wie dasjenige für den Aufbau des *zen AbwSys*. Dafür bräuchte es eine breite politische Diskussion über zukünftige Herausforderungen der Siedlungswasserwirtschaft, den Einbezug von Ingenieuren und Sozialwissenschaftlern, der Industrie und von politischen Entscheidungsträgern (*ibid.*).

LIBRALATO (2012, 67) plädiert für die Koexistenz verschiedener Zentralisations- resp. Dezentralisationsgrade und meint, dass eine solche Koexistenz insbesondere dann realistisch ist, wenn eine Block-Betrachtung der Siedlungsstruktur vorgenommen wird. Dass auch in der Schweiz verschiedene Zentralisationsgrade möglich sind, zeigt diese Arbeit und sie zeigt auch, dass potentielle Nischen vorhanden wären. Methodisch verdeutlicht die vorliegende Arbeit, dass sich für eine solche Betrachtung der Strukturtypenansatz gut eignet. Die aufgezeigten Arbeitsschritte können einen erforderlichen strategischen Planungsprozess insofern unterstützen, als Unsicherheiten bezüglich des Marktpotenzials für die Anwendung von *dez AbwSys* offengelegt werden. Obwohl das Aufzeigen des theoretischen Marktpotenzials das Marktpotenzial in der Realität nur ungenügend abbildet, besteht die Hoffnung, dass die Konfrontation mit den Resultaten dieser Arbeit den lange fälligen öffentlichen Diskurs einer Transition hin zu nachhaltigeren *AbwSys* im grösseren Rahmen zu animieren vermag, und so verschiedene Akteure eine Transition hin zu nachhaltigeren Abwassersystemen forcieren.



# Anhang

## Anhang A - Kostenberechnungen

Kosten werden beim internationalen und intertemporalen Vergleich in eine Form gebracht, die eine Gegenüberstellung erlauben. Beim Vergleich verschiedener Währungen wird der nominale dem realen Wechselkurs angepasst, indem alle angegebenen Kosten mit dem *PPP* Umwandlungsfaktor der *WELTBANK* (2012) kaufkraftbereinigt werden. Beim Vergleich getätigter Kosten zu verschiedenen Zeitpunkten wird die Teuerung mithilfe von Daten des *BFS* (2013b) bereinigt. Alle Kosten beziehen sich auf das Jahr 2009. Grund dafür ist, dass sich die Werte von *UWIM* auf dieses Jahr beziehen.

Rechnungsbeispiel von *WBW* Kosten (pro Person) in Dollar aus dem Jahr 2002:

I. Die Dollars werden in *PPP CHF* mit einem *PPP*-Faktor von beispielsweise 1.91 umgewandelt:

$$\begin{aligned} 3'650\$ * 1.91 &= 6'972 \text{ CHF (PPP 2002)} \\ 750\$ * 1.91 &= 1'432 \text{ CHF (PPP 2002)} \end{aligned}$$

II. Die Annuitäten werden nach *Abschnitt 4.3.1* berechnet:

$$\begin{aligned} 6'972 \text{ CHF} &= 175 \text{ CHF} \\ 1'432 &= 60 \text{ CHF} \end{aligned}$$

III. Die um die Kaufkraft bereinigten CHF werden mit dem Teuerungsrechner inflationsbereinigt:

$$\begin{aligned} 175 \text{ CHF} &= 186 \text{ CHF (PPP 2009)} \\ 60 \text{ CHF} &= 64 \text{ CHF (PPP 2009)} \end{aligned}$$

## Anhang B - Verwendete Datensätze

Die in dieser Arbeit verwendeten Datensätze sind in *Tab. B1* aufgelistet.

## Anhang C - Datenverfügbarkeit

Die Baudirektion des Kantons Zürich hat freundlicherweise die *AV*-Daten des Kantons Zürich zur Verfügung gestellt, wobei diese, wahrscheinlich aufgrund von Nachführungen, nicht flächendeckend geliefert wurden. In *Abb. C1* wird für den Ausschnitt der Stadt Zürich exemplarisch ersichtlich, wo welche Daten vorhanden sind.

Die Gebäudeattribute der *AV*- Daten bezüglich bewohnt und unbewohnt können dafür verwendet werden, die Grenzwerte einer Klassifikation zu ermitteln und die Klassifikation zu validieren.

Datensatz	Datenherr	Stand <sup>(1)</sup>	Beschreibung
SwissBuildings3D	Swisstopo	2007	Gebäudehöhe
Gebäude VECTOR25	Swisstopo	2000 & 2006	Gebäudegeometrie der digitalisierter LK 25'000
Siedlungsfläche VECTOR25	Swisstopo	2000 & 2006	Siedlungsfläche der digitalisierten LK 25'000
Strassen VECTOR25	Swisstopo	2000 & 2006	Strassengeometrie der digitalisierter LK 25'000
Eisenbahn VECTOR25	Swisstopo	2000 & 2006	Eisenbahngeometrie der digitalisierter LK 25'000
Siedlungsgebiet VECTOR25	Swisstopo	2000 & 2006	Siedlungsgebiet der digitalisierter LK 25'000
AV-Daten	Kanton Zürich	i.d.r. 2012	Daten der Amtlichen Vermessung
Gemeindegeometrien	Swisstopo	2012	Geometrie der Schweizer Gemeinden
ARA Standorte	Eawag	2011	Standorte der Schweizer ARAs
ARA Einzugsgebiete	Eawag	2011	Ungefähre Einzugsgebiete der ARAs

(1) Die Datenstände beziehen sich jeweils für den Stand der Daten im Kanton Zürich und nicht für den gesamten Datensatz

**Tab. B1:** Verwendete geografische Datensätze

In *Tab. C1* sind die Verhältnisse der bewohnten und unbewohnten Gebäude angegeben.

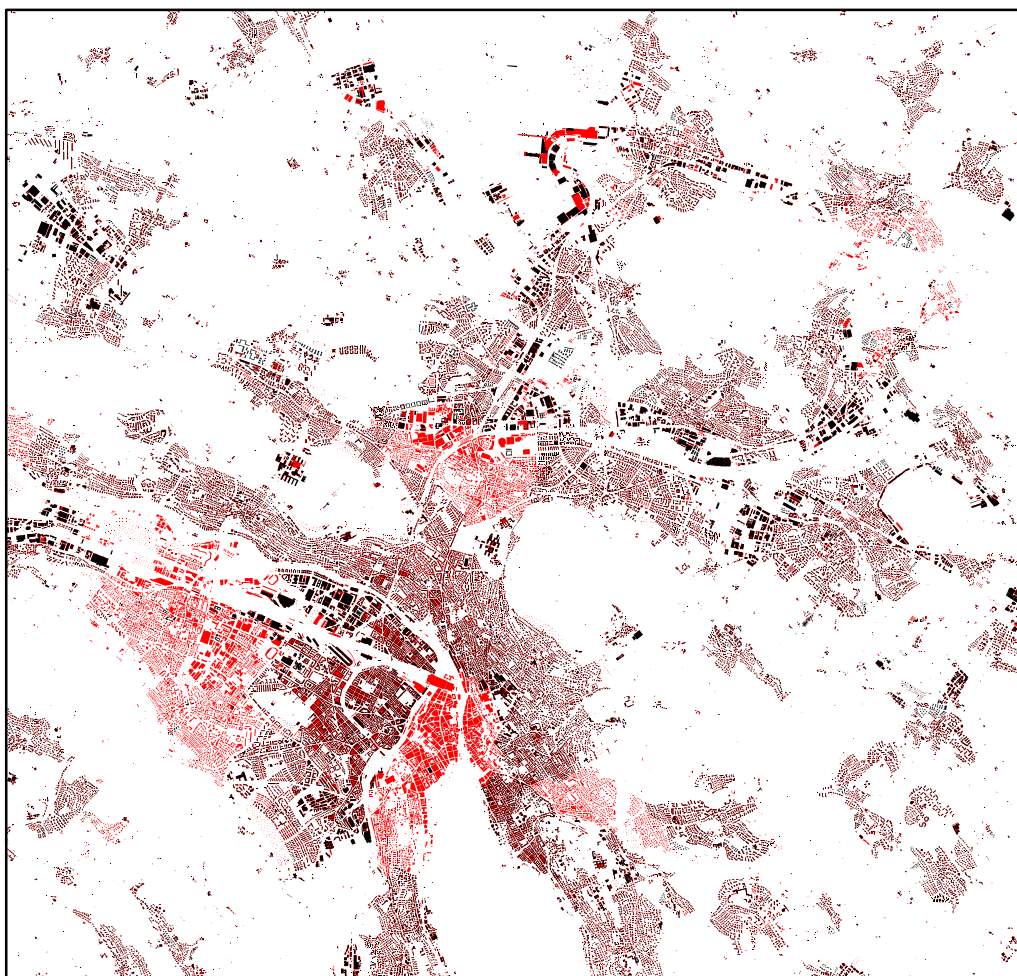
	Bewohnte Gebäude	Unbewohnte Gebäude
Ausserhalb des Siedlungsgebiets	5603 (27.6%)	14719 (72.4%)
Innerhalb des Siedlungsgebiets	98410 (76.3%)	30543 (23.7%)

**Tab. C1:** Verhältnis der bewohnten und unbewohnten Gebäude des AV-Datensatzes des Kantons Zürich

Die ermittelten Schwellenwerte für die Klassifikation beruhen auf diesem Verhältnis der bewohnten und unbewohnten Gebäude, d.h. bei der Projektion der Klassifikation auf weitere Gebiete wird angenommen, dass sich dieses Verhältnis nicht grundlegend verändert.

## Anhang D - MAUP bei der Bildung der Baublocks

Zur Berechnung der Infrastrukturaufwendungen mit *UWIM* mussten kleine Polygonflächen aggregiert werden. Je nachdem wie diese Aggregation vorgenommen wird, ergeben sich unterschiedliche Baublocks (siehe *Abb. D1*). Mit der iterativen Aggregation über mehrere Stufen (in *Abb. D1* von links nach rechts) werden die jeweils kleinsten rot markierten Polygone mit den umliegenden Polygonen aggregiert.



### Datenverfügbarkeit

- VECTOR25 (aufgrund fehlender AV-Daten)
- AV-Daten

**Abb. C1:** AV-Datenverfügbarkeit der Stadt Zürich

Datenquelle: Bundesamt für Landestopografie swisstopo





Abb. D1: MAUP bei der Bildung der Baublocks

Datenquelle: Bundesamt für Landestopografie swisstopo

## Anhang E - Zonenplan

Obwohl Zonenpläne die Nutzung des Bodens wiedergeben, ermöglichen die im Zonenplan definierten Zonen es nicht, befriedigende Rückschlüsse auf die Gebäudetypen zu ziehen (vgl. Tab. E1). Die wichtigsten Probleme sind:

- Je nach Gemeinde und Kanton werden unterschiedliche Zonen ausgeschieden, die eine allgemeine Betrachtung erschweren.
- Die ausgeschiedenen Zonen sind teilweise nicht aussagekräftig, resp. die Zuordnung unklar.
- Die definierten Zonen sind teilweise enorm gross und von der Gebäudestruktur her sehr heterogen.

AZC-Value	Beschreibung	Siedlungstyp Zuordnung
IH...	Industriezonen mit Zulassung von Dienstleistungsbetrieben	S0
I...	Industriezonen	S0
OE	Öffentliche Bauten und Anlagen	S0
Z7H, Z6N, Z6H, Z5N, Z5H, Z4N, Z4H, Z4	Zentrumszonen > 3 Geschosse	Unklar
K1	Kernzone mit 1 Geschoss	S2
K2	Kernzone mit 2 Geschossen	S2 oder S3
Restliche Z	Zentrumszonen < 4 Geschosse	S3 oder S4
K3, K4, K5	Kernzonen > 2 Geschosse	S3 oder S4
W2..., Q2...	Verschiedene Zonen mit 2 Geschossen	S2 oder S3
W1..., Q1...	Verschiedene Zonen mit 1 Geschoss	S2
W3..., Q3...	Verschiedene Zonen mit 3 Geschossen	Unklar
W4..., Q4..., W5..., Q5...	Verschiedene Zonen mit mind. 4 Geschossen	Unklar
RSG, RNB	Verschiedene Reservezonen	Reservegebiet
ZPEN	Zonierung noch pendent	unklar
WG3..., WG4...,	Wohn und Gewerbezone mit mehr als 3 Geschossen	unklar
WG2...	Wohn und Gewerbezone mit 2 Geschossen	unklar
WG3	Wohn und Gewerbezone mit 3 Geschossen	unklar
E	Kommunale Erholungszone	S0
F...	Diverse Freihaltezonen	Freihaltezonen
Keine	Unbestimmt	unklar
VF	Flughafen	S0
VN, VPG, VB	Verkehrsfläche, nicht eingezonte Verkehrsflächen und Bahnareale	-
G	Gewässer	-
L	Landwirtschaftsfläche	-
WW1	Wald	-

Anmerkung: Drei Punkte bedeuten alle analogen Attribute, die mit den gleichen Buchstaben beginnen.

S0 = Industrie                      S2 = Einfamilienhaussiedlung                      S4 = Wohnblocksiedlung

S1 = Streusiedlung                      S3 = Reihenfamilienhaussiedlung                      S5 = Hochhaussiedlung.

Tab. E1: Attribute des Zürcher Zonenplans

Quelle: [http://www.gis.zh.ch/dokus/geolion/gds\\_66.pdf](http://www.gis.zh.ch/dokus/geolion/gds_66.pdf) (Zugriff, 16.08.2012)

## Anhang F - Detaillierte Resultate Siedlungskosten

Variante	Siedlungstyp	Personen (2010)	Ø WBW Baublock pro Person und Jahr in CHF*		Ø WBW Personen pro Person und Jahr in CHF*	
			Kanalisation	inkl. ARA	Kanalisation	inkl. ARA
V1_kein_Zins	S1 <sup>(1)</sup>	53'262	167.0	208.0	99.4	140.0
	S2	917'584	73.2	95.0	53.0	72.9
	S3	27'343	59.9	63.9	40.7	53.1
	S4	367'401	41.3	56.1	29.5	43.0
	S5	3'183	29.9	44.2	22.8	34.2
	S2 - S5 <sup>(2)</sup>	1'315'511	67.3	87.7	46.2	64.1
	Alle Typen	1'368'773	69.5	92.3	48.3	67.1
V1_Zinsen	S1	53'262	336	392.8	200.0	255.9
	S2	917'584	147.4	177.3	106.8	134.1
	S3	27'343	102.0	120.4	81.9	98.9
	S4	367'401	83.2	104.7	59.4	78.0
	S5	3'183	60.3	79.9	43.4	60.8
	S2-S5	1'315'511	135.4	163.6	92.9	117.5
	Alle Typen	1'368'773	139.9	168.8	100.1	127.9
V2_kein_Zins <sup>(3)</sup>	S1	52'503	169.5	211.0	100.8	142.0
	S2	887'684	70.0	92.0	51.3	68.7
	S3	29'649	53.1	67.0	39.5	52.0
	... S4	370'214	45.6	61.8	29.0	42.5
	...S5	1'173	30.0	23.3	23.3	35.7
	...S2 - S5	1'288'720	65.8	85.6	42.8	60.7
	Alle Typen	1'341'223	69.9	90.5	45.1	63.9
V2_2%_Zins	S1	52'503	-	-	202.9	237.6
	S2	887'684	-	-	98.2	125.5
	S3	29'649	-	-	79.4	96.8
	... S4	370'214	-	-	58.3	77.0
	...S5	1'173	-	-	46.8	64.0
	...S2 - S5	1'288'720	-	-	86.2	110.9
	Alle Typen	1'341'223	-	-	90.8	115.8
V2b_mitZins	S1	52'503	-	-	202.3	237.6
	...S2	902'348	-	-	102.5	129.9
	S3	30'590	-	-	84.1	101.5
	... S4	381'630	-	-	61.9	80.8
	.. S5	1'785	-	-	53.8	71.4
	.. S2 - S5	1'316'353	-	-	90.2	114.9
	Alle Typen	1'368'856	-	-	94.5	119.6
V2b_kein_Zins	S1**	52'503	169.5***	211.0***	100.8	142.0
	S2	902'348	93.4	115.4	50.9	70.8
	S3	30'590	68.5	82.9	41.8	54.5
	... S4	381'630	58.0	74.6	30.8	44.4
	.. S5	1'785	35.9	50.2	26.7	39.5
	.. S2 - S5	1'316'353	85.8	106.5	44.8	62.8
	Alle Typen	1'368'856	89.0	110.5	46.9	65.8

V3	S1	58'462	235.9***	261.5***	151.5	177.2
	...S2	766'555	73.7	95	51.3	80.0
	...S3	64'950	57.7	74.4	42.0	57.6
	...S4	476'733	46.2	63.5	33.7	49.0
	S5	2'104	30.5	43.3	28.5	41.3
	S2-S4	1'310'333	65.8	85.9	44.4	62.2
	Alle Typen	1'368'795	-	-	48.9	72.1
V3_mit_Zinsen	S1	58'462			304.9	340.0
	...S2	766'555			103.3	130.4
	...S3	64'950			84.6	106.0
	...S4	476'733			67.9	88.9
	S5	2'104			57.3	75.0
	S2-S4	1'310'333			89.4	114.0
	Alle Typen	1'368'795			98.4	123.4

(1) Die Leitungskosten von S1 basieren auf der Annahme von Kosten von 300 Franken pro m<sup>2</sup> Leitung.

(2) Innerhalb des Siedlungsgebiets

(3) Die geringere Anzahl Personen resultiert aus dem Ignorieren der fehlerhaften UWIM Berechnungen.

#### Anmerkungen

- Bei allen Berechnungen wurde die Industrie (resp. alle unbewohnten Gebäude) ignoriert.
- Die Wiederbeschaffungswerte für die ARAs wurden auf Stufe Gemeinde aggregiert und basieren auf der Grundlage der ermittelten Wiederbeschaffungswerte der Einzugsgebiete. Dadurch wird der Umstand korrigiert, dass eine Gemeinde aus mehreren Einzugsgebieten bestehen kann.
- Die Berechnung der durchschnittlichen Kosten für den Siedlungstyp S1 beruht auf der Aggregation der Kosten pro Gemeinde.
- Aufgrund mangelnder Relevanz der Werte für die Baublocks wurden diese teilweise nicht berechnet.

**Tab F1:** Detaillierte Kosten der Siedlungstypen

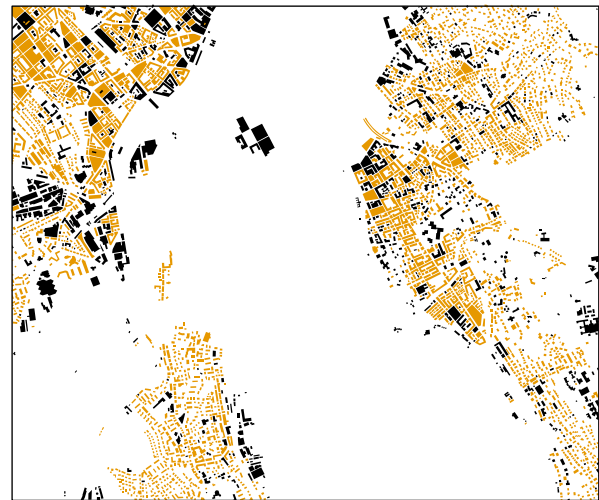
### Anhang G - Hochrechnung ARE-Gemeindetypen

Die Berücksichtigung räumlicher Unterschiede in der Ausprägung der Gebäude wurde in einem ersten Schritt mithilfe der Differenzierung zwischen Siedlungsgebiet und Nicht-Siedlungsgebiet vorgenommen. Diese Differenzierung reicht aber für die Klassifikation der Städte Zürich und Winterthur nicht aus. Daher werden sowohl für die Gemeinden Zürich und Winterthur als auch für Kernstädte alternative Grenzwerte verwendet (Tab. G1), was die Klassifikation verbessert (vgl. Abb. G1).

	Faktoren	Grenzwert
Winterthur & Zürich	F3,F4,F6,F7	$\leq 76.290133$
Kernstädte	F3,F4,F6,F7	$\leq 62.0$

Tab. G1: Alternative Grenzwerte in Städten

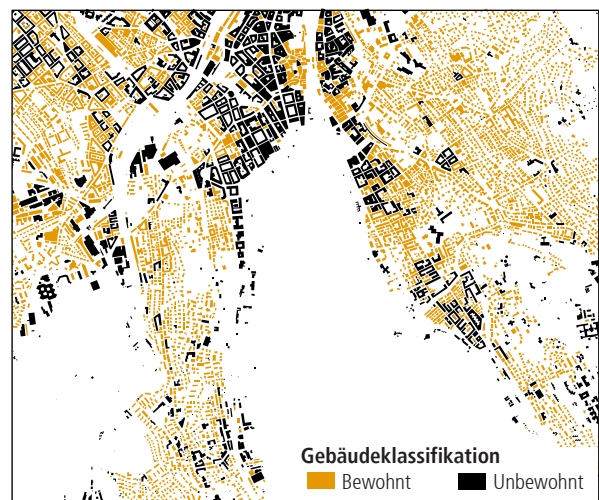
Die Kernstädte wurden mittels einer groben visuellen Auswahl der Städte-Zentren definiert.



Stadt Zürich Original



Klassierung auf Grundlage der Stichprobe des ganzen Kantons



Klassifikation auf Grundlage der Stichprobe der Stadt Zürich & Kernstadt

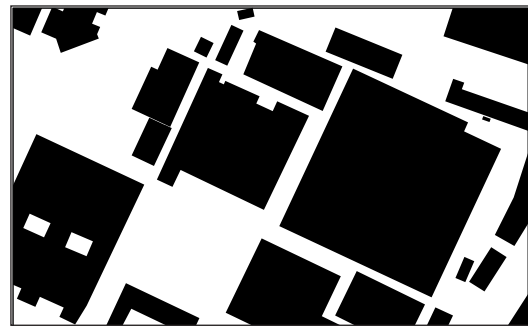
Datenquelle: Bundesamt für Landestopografie swisstopo

Abb. G1: Klassifikation mit alternativen Schwellenwerten für Kernstädte

Anhang H - Beispiele von Siedlungstypen



G0 - Unbewohntes Gebäude



Quelle: Bundesamt für Landestopografie swisstopo



G1 - Einfamilienhaus



Quelle: Bundesamt für Landestopografie swisstopo



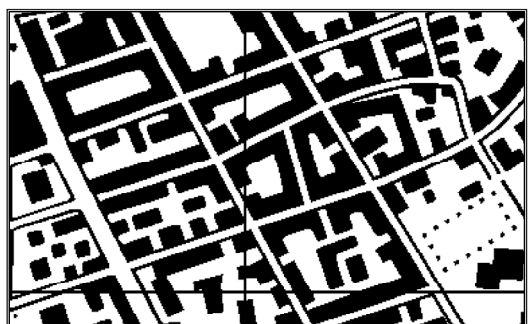
G2 - Reihenhäus.



Quelle: Bundesamt für Landestopografie swisstopo



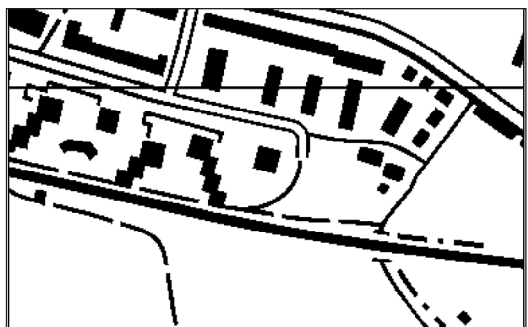
G3 - Wohnblock



Quelle: Bundesamt für Landestopografie swisstopo



G4 - Hochhaus



Quelle: Bundesamt für Landestopografie swisstopo

Abb. H1: Typische Beispiele von Siedlungstypen

## Anhang I - Klassifikationsbeispiele

Weitere Klassifikationsbeispiele für die Unterscheidung in bewohnte und unbewohnte Gebäude sind in (Abb. 11) dargestellt.

Korrekte Zuweisung bewohnt/unbewohnt  
(VECTOR25 Datensatz)

Klassifikation mit den Faktoren F3, F4, F6, F7  
(VECTOR25 ergänzt mit AV)

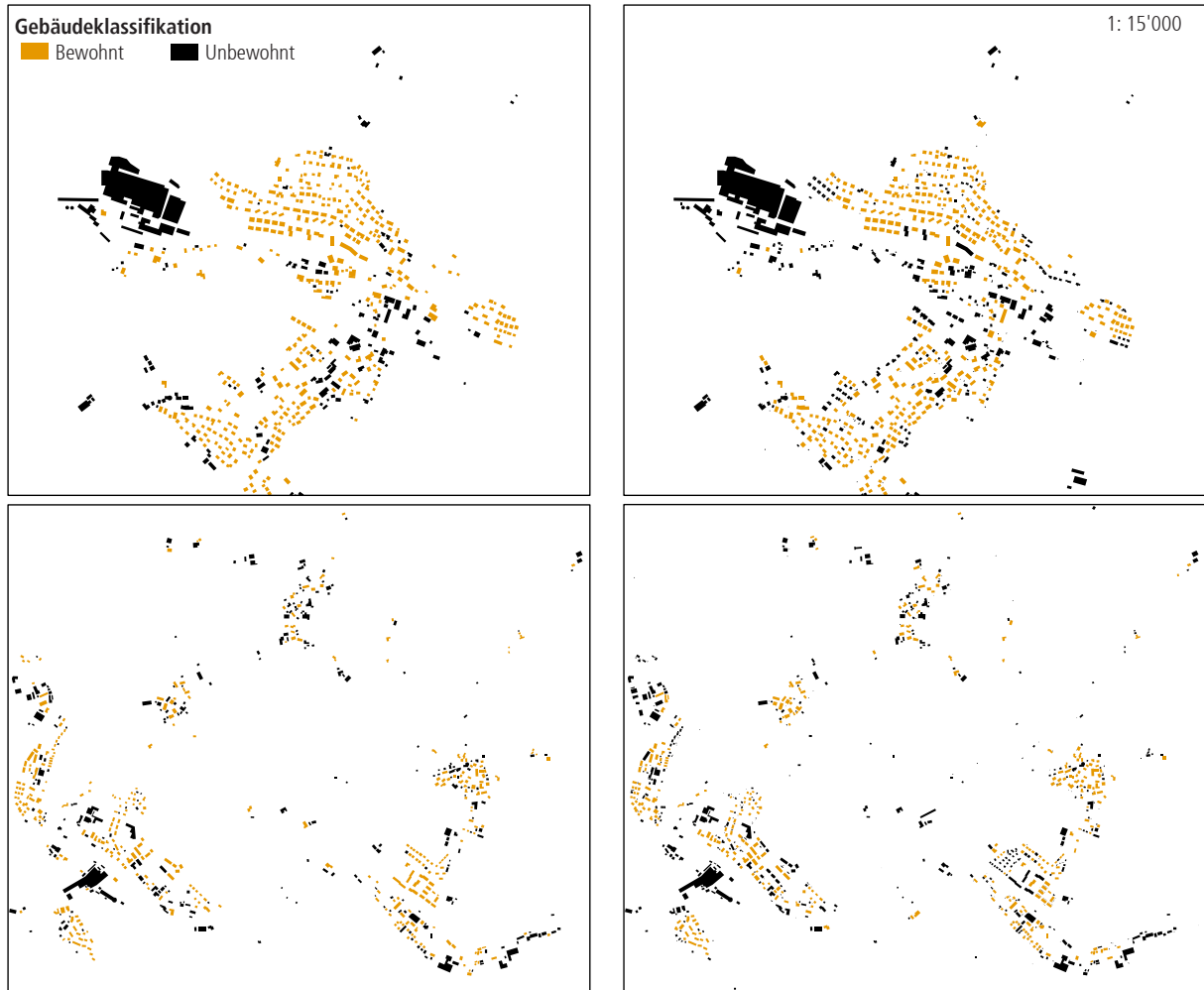
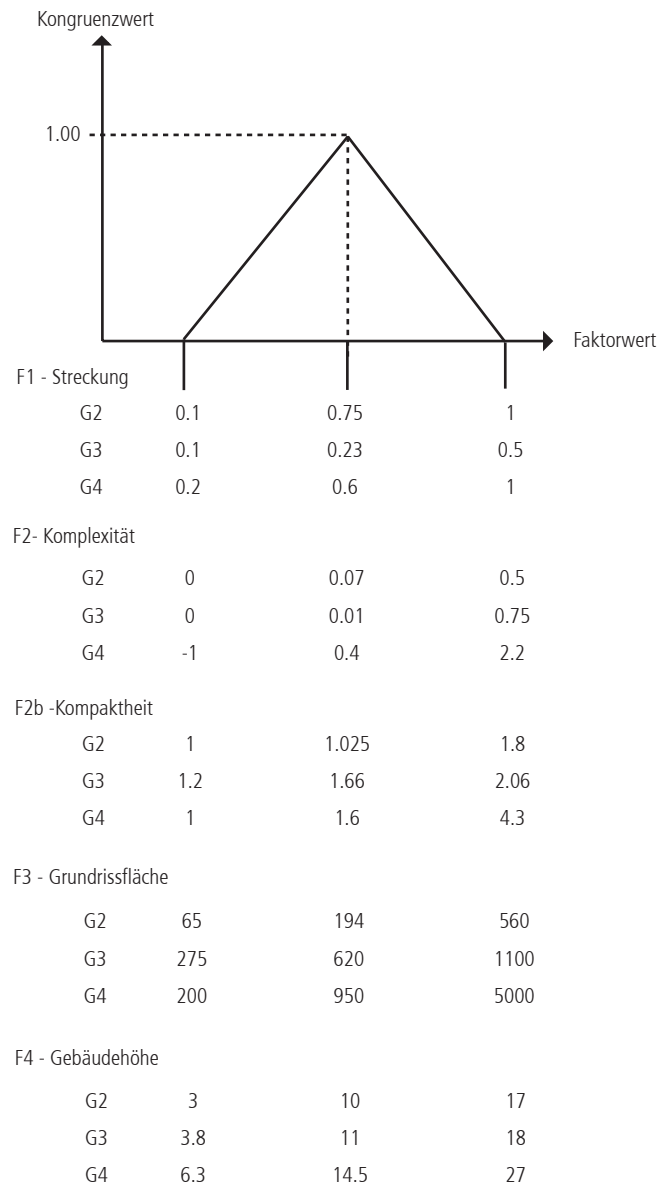


Abb. 11: Klassifikationsresultate der bewohnten und unbewohnten Gebäude

Datenquelle: Bundesamt für Landestopografie swisstopo

### Anhang J - Kongruenzwerte einzelner Faktoren

Die Faktoren 5 bis 7 wurden aufgrund der fehlenden unterschiedlichen Ausprägung bei den verschiedenen Gebäudetypen ignoriert. Bei der Klassifikation wurden nicht alle Faktoren gleich gewichtet (Tab. J1), und es wurde pro Siedlungstyp je ein Ausschlusskriterium gebildet. Die Kongruenzwerte sind in Tab. J2 wiedergegeben. Für das konkrete Vorgehen der Berechnung der Kongruenzwerte siehe MEINEL *et al.* (2008, 20).



Tab. J1: Detaillierte Kongruenzwerte

	G1 - Einfamilienhaus	G2 - Reihenhäuser	G3 - Wohnblock
Kongruenzwerte mit doppelter Gewichtung	F2 F2b F3	F1	F4 F3
Ausschlussregeln anhand der Fläche	>450m <sup>2</sup>	>2000m <sup>2</sup>	<200m <sup>2</sup>

Tab. J2: Gewichtung der Faktoren bei der Gebäudeklassifikation.

## Anhang K - Skript Code

File: UWIM.py

```

=====
# This Python Script (plus the Skript UWIM_functions.py)
# integrates UWIM into the ArcGIS environment. The script
# reads out the most important UWIM variables from a shapefile,
# executes the UWIM r-script and create a new shapfile with the
# calculates UWIM values.
#
# Sources for functions dealing with the dbf files
# http://dbfpy.sourceforge.net/ (Accessed August 2012)
# Author: Eggimann Sven
# Daten: 01.08.2012
# Version: 1.0
# Contact: sven.eggimann@gmail.com
=====

# What you need to do before starting this script:
# 1. Set path where you saved the UWIM-Folder on line 23
# 2. If you have not installed the r-program in the standards folder, check line 57
# -----
import sys
sys.path.append("H:\\UWIM") #Remember to set "\\ " instead of "/"

try:
    from UWIM_functions import *

    #Load DBF-Modules
    loadDBFModule()

    import dbfpy
    from dbfpy import dbf
    from dbf import*

    import subprocess
    import os
    import os.path
    import io
    import arcpy
    from arcpy import env
    arcpy.AddMessage("Tool Parameters are beeing set. Please wait.....")

except ImportError:
    arcpy.AddMessage("-----")
    arcpy.AddMessage("Error: There is something wrong with the path definition.")
    arcpy.AddMessage("-----")
    arcpy.AddMessage("Solution: Check path definitions of dbfpy module")
    arcpy.AddMessage("System Paths:")
    arcpy.AddMessage(sys.path)
    sys.exit()

=====
# Change the variables in this section
# 1.If the program "R" is not installed install it and change the source 4 lines down (modify: "C:/Program Files")
# -----
try:
    #Directory where the Program R is installed
    filePath = findInSubdirectory("Rterm.exe", "C:/Program Files/")

    arcpy.AddMessage("Tool Parameters are set.")

except:
    arcpy.AddMessage("-----")
    arcpy.AddMessage("Error: The program Rterm.exe could not be executed")
    arcpy.AddMessage("-----")
    arcpy.AddMessage("Solution: Enter the location of the file Rterm.exe on line 61")
    sys.exit()

=====
# ARC-GIS Parameters
=====

```



```

#Set Path to Shp File
originalShp = arcpy.GetParameterAsText(0)

# Sets path to the .dbf file of the selected shape file
ordnerZuDBF = os.path.dirname(originalShp)
DBFName = os.path.basename(originalShp)
datei, endung = os.path.splitext(DBFName)
pathOriginalDBF = ordnerZuDBF + "\\\" + datei + ".dbf"

# Set path to outputDBF.txt file (scratch)
pathOutputDBF = arcpy.GetParameterAsText(1)+ "/outputDBF.txt"

#Path to Working Directory of Program R scratch)
pfadInputFile = arcpy.GetParameterAsText(1)+ "/outputR.txt"

#Set Path to R script
rFile = arcpy.GetParameterAsText(2)

# Field Names for UWIM Input
flaeche = str(arcpy.GetParameterAsText(3))
anzLeute = str(arcpy.GetParameterAsText(4))
anzHauser = str(arcpy.GetParameterAsText(5))
fudgeFactor = str(arcpy.GetParameterAsText(6))
runoff = str(arcpy.GetParameterAsText(7))

# Field Name for Unique Block ID
IDName = str(arcpy.GetParameterAsText(8))

#=====
# 1. Write out original .dbf values
#=====
try:
    #Open existing DBF-File
    db = dbf.Dbf(pathOriginalDBF)

    #Enter Field Values as Parameters
    writeoutDBF(db, pathOutputDBF, flaeche, anzLeute, anzHauser, fudgeFactor, runoff)

    arcpy.AddMessage("DBF-File has been read to .txt File")

except:
    #Remove sctrach data
    os.remove(arcpy.GetParameterAsText(1)+ "/outputDBF.txt")
    os.remove(arcpy.GetParameterAsText(1)+ "/outputR.txt")

    arcpy.AddMessage("-----")
    arcpy.AddMessage("Error: DBF File could not be read")
    arcpy.AddMessage("-----")
    arcpy.AddMessage("Solution: 1. Check all field properties")
    sys.exit()

#=====
# 2. Exectue R-Script
#=====
arcpy.AddMessage("R-script is beeing executed")
#Command to open R and execute R-script
command = "%s --vanilla -f %s" % (filePath, rFile)
#This opens the R without opening window if Shell = True
myProcess = subprocess.Popen(command, shell = False)

#close myProcess
myProcess.wait()

arcpy.AddMessage("R-script is finished")

#=====
# 3. Read .txt file containing r-script results and write them to .dbf file
#=====
try:
    #Execute Function to copy the unique ID
    #*****

```

```

copyValues(IDName, arcpy.GetParameterAsText(1), pathOriginalDBF)
arcpy.AddMessage("The unique block ID is copied.")

#If more Fields want to be copied
#copyValues(IDName, arcpy.GetParameterAsText(1), pathOriginalDBF)
#arcpy.AddMessage("The unique block ID is copied.")

# Read out values from result .txt and save in list
#*****
txtFileList = readResults(pfadInputFile)

# Write to DBF-File
#*****
writetoDBF(arcpy.GetParameterAsText(1), txtFileList)
arcpy.AddMessage("The DBF is beeing replaced")

```

```

except ValueError:
    #Remove scratch data
    os.remove(arcpy.GetParameterAsText(1)+ "/outputDBF.txt")
    os.remove(arcpy.GetParameterAsText(1)+ "/outputR.txt")
    arcpy.AddMessage("-----")
    arcpy.AddMessage(" Error: DBF Values could not be copied")
    arcpy.AddMessage("-----")
    arcpy.AddMessage(" Solution: Check ID-Field properties (not FID)")
    sys.exit()

```

```

except:
    #Remove scratch data
    os.remove(arcpy.GetParameterAsText(1)+ "/outputDBF.txt")
    os.remove(arcpy.GetParameterAsText(1)+ "/outputR.txt")

    arcpy.AddMessage("-----")
    arcpy.AddMessage("Error: DBF File could not be read")
    arcpy.AddMessage("-----")
    arcpy.AddMessage(" Solution: Check all field properties")
    sys.exit()

```

## File: UWIM\_helper.py

```

#=====
# 4. Delete original file and replace and clean up scratch documents
#=====
cleanGarbage(pathOriginalDBF, arcpy.GetParameterAsText(1))#=====
# In this file, all functions for the script UWIM.py are defined. This
# file is imported when executing the main file (UWIM.py) for executing
# UWIM in ArcGIS.
#
# Sources:
# The modules used for importing and exporting data into dbf-files
# are taken from the following homepage: http://dbfpy.sourceforge.net/
# This code was created by Jeff Kunce and then modified by Hans Fiby.
# dbfpy module code has been placed in public domain.
#
# Author UWIM_helper.py: Eggimann Sven
# Date: 4.07.2012
# Version: 1.0
# Contact: sven.eggimann@gmail.ch
#=====
import os

#-----
# This Function sets the path to dbfpy directory. (If installed not by attached UWIM-program file,
# check location)
#-----
def loadDBFModule():
    import sys
    install_directory = sys.prefix
    moduleFolder = "Lib\site-packages\dbfpy\\"
    sys.path.append("%(paths)s" % dict(path=install_directory) + "\\ " + "%(pathToDBFPY)s" % dict(pathToDBFPY=moduleFolder))
    return sys

#-----

```

```

# This Functions sets path to R program in order to execute UWIM in an R-shell.
#
# Input variable(s):
# filename:      Name of file in order to execute R-Shell
# subdirectory:  Directory where dbfpy is installed automatically
# Sourcecode:    Http://code.activestate.com/recipes/577027-find-file-in-subdirectory/
#-----
def findInSubdirectory(filename, subdirectory=""):

    if subdirectory:
        path = subdirectory
    else:
        path = os.getcwd()
    for root, dirs, names in os.walk(path):
        if filename in names:
            return os.path.join(root, filename).replace("\\", "/")
    raise 'File not found'

#-----
# writeoutDBF writes data from a .dbf file into a .txt file.
#
# Input variable(s):
# db:            Shapefile
# outfile:       Output .txt file
# area:          Field name where area values are stored.
# nrPeople:      Field name where the number of people values are stored.
# nrHouses:      Field name where the number of houses values are stored.
# f2:            Field name where shape-factor f2 values are stored.
# runoff:        Field name where runoff values are stored.
#-----
def writeoutDBF(db, outfile, area, nrPeople, nrHouses, f2, runoff):

    #Set Path to Output-File
    myDocument = open(outfile, 'w')

    #Creates empty list called "liste"
    liste = []

    for dbfrecord in db:

        #Define Table values of original DBF Files as string
        value1 = str(dbfrecord["%(feld)s" % dict(feld=area)])
        value2 = str(dbfrecord["%(feld)s" % dict(feld=nrPeople)])
        value3 = str(dbfrecord["%(feld)s" % dict(feld=nrHouses)])
        value4 = str(dbfrecord["%(feld)s" % dict(feld=f2)])
        value5 = str(dbfrecord["%(feld)s" % dict(feld=runoff)])
        #value6 = str(dbfrecord["%(feld)s" % dict(feld=???)]) if more values needed

        #Structure of entries in .txt file. Export lines into a list.
        z = [value1, value2, value3, value4, value5]

        #Deletes brackets
        withoutBrackets = ' '.join(z)

        #Appends the list values of the dbf-file
        liste.append(withoutBrackets)

    db.close()

    #Iterates through the list and writes DBF-values to file
    for item in liste:
        myDocument.write(item)
        myDocument.write("\n")

    #Close the function
    myDocument.close()
    return

#-----
# This function reads results from a.txt and stores the values in a list.
#
# Input variable(s):
# resultateR:    .txt file with stored values in it

```

```

#-----
def readResults(resultateR):

    #Set Path to existing .txt-File with R results
    inputfile = open(resultateR, 'r')

    #Read in single result lines from txtfile into List
    lineArray = inputfile.readlines()

    #Create empty list to fill in whole txt File with results
    txtFileList = []

    #Iterate through list with line-results by position
    position = 0
    while position < len(lineArray):
        #Get line at position
        entry = lineArray[position]
        #Append line at position to empty List
        txtFileList.append(entry)
        #For the loop
        position += 1

    #Close result .txt file
    inputfile.close()

    return txtFileList

#-----
# This function creates a new .dbf file and copies an ID from an existing .dbf file into the
# new .dbf file.
#
# Input variable(s):
# garbagelocation:    folder path of new created .dbf
# pathOriginalDBF:    original .dbf file
#-----
def copyValues(IDName, garbagelocation, pathOriginalDBF):

    import dbfpy
    from dbfpy import dbf
    from dbf import *

    # Create new file and copy DBF Values
    #*****
    # A new, empty DBF-File is created to finally replace the original DBF-File. New has to be set to true, as dbfpy cannot overwrite files.
    dbfFile = dbf.Dbf(garbagelocation + "/VECTOR.dbf", new=True)

    #Opens original DBF File to copy values
    db = dbf.Dbf(pathOriginalDBF)

    #Creates new Fields to newly created DBF-File.
    dbfFile.addField(
        (IDName, "C", 20),
        ("totLength", "F", 10),
        ("totCost", "F", 10),
        ("costPer", "F", 10),
        ("nrPeople", "F", 10),
    )

    #Iterates throw original DBF to copy OBJECTID values
    for dbfrecord in db:
        #Define table values of DBF File
        value1 = dbfrecord[IDName] #Value1 = original values form DBF file

        #Copy Values
        rec = dbfFile.newRecord()
        rec[IDName] = value1 #Copies original values into newly created field "OBJECTID"
        rec.store()

    #Close original file and newly created file
    db.close()
    dbfFile.close()

    return

```

```

#-----
# writetoDBF writes results stored in a list to a .dbf-file
#
# Input variable(s):
# pfaVector:      path to newly created .dbf file
# txtFileList:   list with stored r-script results
#-----
def writetoDBF(pfaVector, txtFileList):

    import dbfpy
    from dbfpy import dbf
    from dbf import*

    #Temporary DBF-File which replaced at the end original file
    changeRecord = dbf.Dbf(pfaVector+ "/VECTOR.dbf")

    position = 0
    while position < len(changeRecord): #Length of temporary DBF-File with already copied values in it

        #Get line from result .txt file
        entry = txtFileList[position]
        #Split the single list entry
        line = entry.split()

        #Define the values and convert to float
        wert1 = float(line[0]) #wert1 is the first number in the line
        wert2 = float(line[1])
        wert3 = float(line[2])

        #Change Record of Temporary DBF-File.
        rec = changeRecord[position] #Line-Number (position) in DBF-File
        rec["totLength"] = wert1
        rec["totCost"] = wert2
        rec["costPer"] = wert3
        rec["nrPeople"] = wert2/wert3 #If more results should be written to DBF
        rec.store()

        #For the loop
        position += 1

    #Close the Temporary DBF-File
    changeRecord.close()

    return

#-----
# cleanGarbage deletes scratch data and replaced the original .dbf file with
# the newly created .dbf file.
#
# Input variable(s):
# origFile:      Original .dbf File
# pathorigFile:  Path to newly created .dbf File
#-----
def cleanGarbage(origFile, pathorigFile):
    import os

    temporaryDBF = pathorigFile+ "/VECTOR.dbf" #@Put in path of temporary PDF

    #Remove File
    os.remove(origFile)

    #Rename Temporary Vector
    os.rename(temporaryDBF,origFile)

    #Clear up all created files
    os.remove(pathorigFile + "/outputDBF.txt")
    os.remove(pathorigFile + "/outputR.txt")

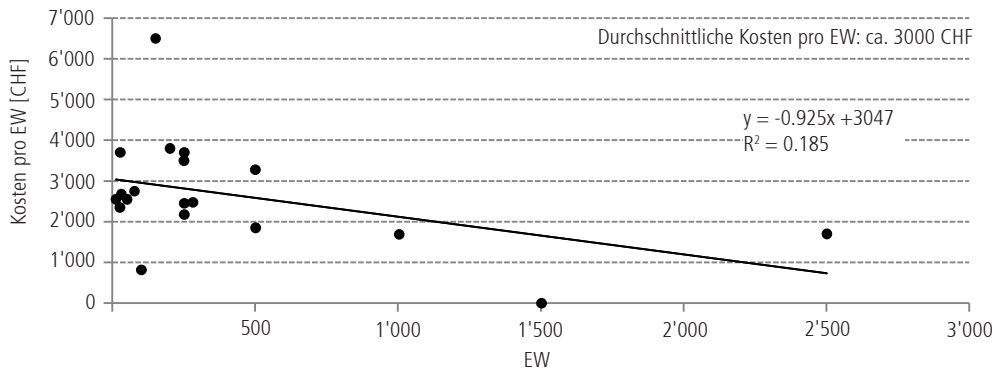
    return
#-----

```

### Anhang L - Kosten dez Abwassertechnologien

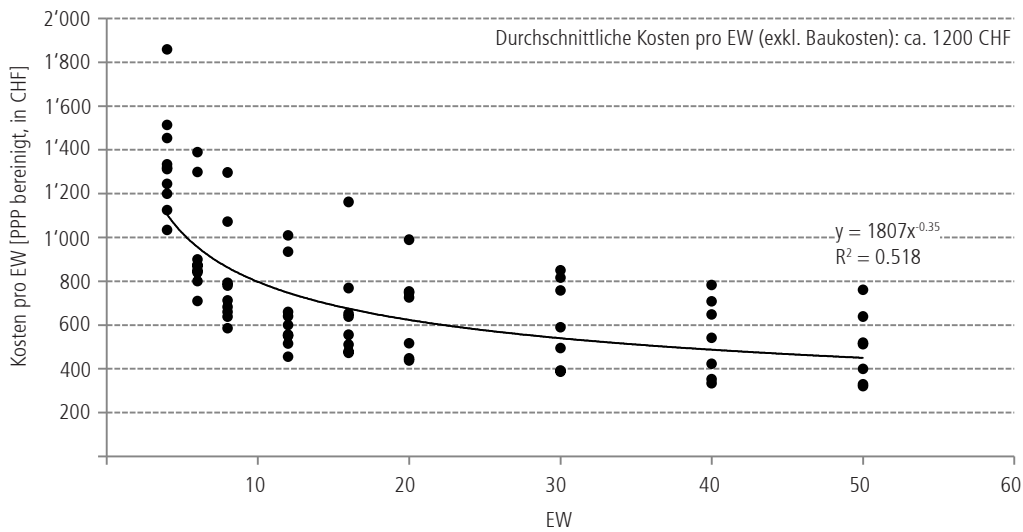
In *Abb. L1* sind die durchschnittlichen Kosten pro *EW* von Daten aus der Schweiz dargestellt. *Abb. L2* zeigt um die Kaufkraft bereinigte Kosten für verschiedene Belebtschlammverfahren aus Deutschland. Da bei *dez* Anlagen von natürlich angeschlossenen Einwohnern der Einwohnergleichwert gleich Null ist, entsprechen die *EW* den *EZ*.

Die Kosten der VSA(2006) beinhalten im Gegensatz zu den Kosten von BDZ(2001) die Baukosten der Anlagen (schätzungsweise 550 CHF pro *EW*). Daher werden bei den Kosten aus Deutschland pauschal 550 CHF [pro Kopf] Baukosten dazugezählt.



**Abb. L1:** Daten zu Kosten aus einer Erhebung der VSA

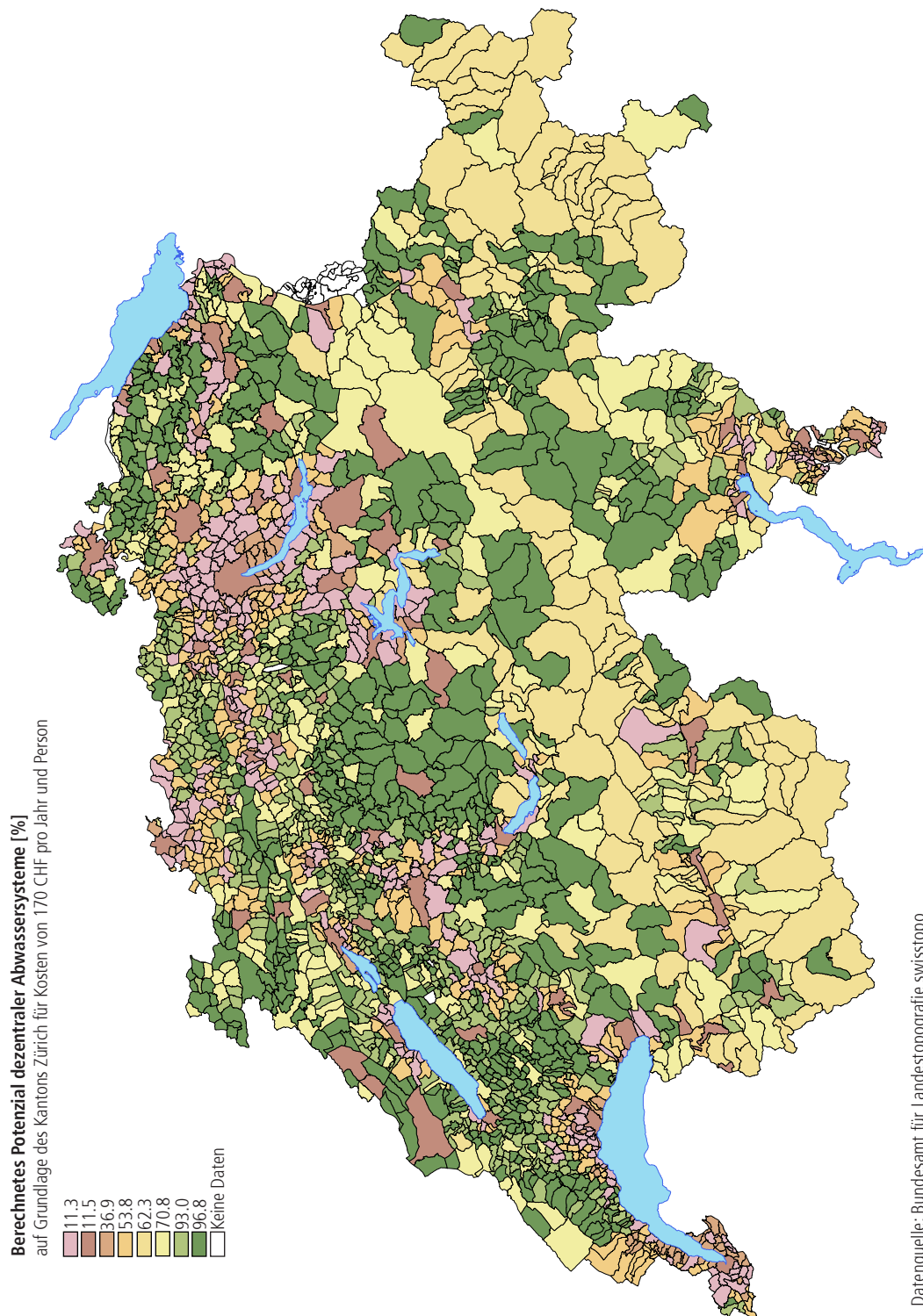
Quelle: Eigene Darstellung auf Grundlage von VSA (2006)



**Abb. L2:** Daten zu Kosten aus Deutschland

Quelle: Eigene Darstellung auf Grundlage von Bdz (2011)

## Anhang M - Hochrechnung ARE-Gemeindetypen

Abb M1: Potenzial von *dezAbwSys* für einzelne ARE-Gemeindetypen

## Anhang N - ARE Gemeindetypen in Zürich

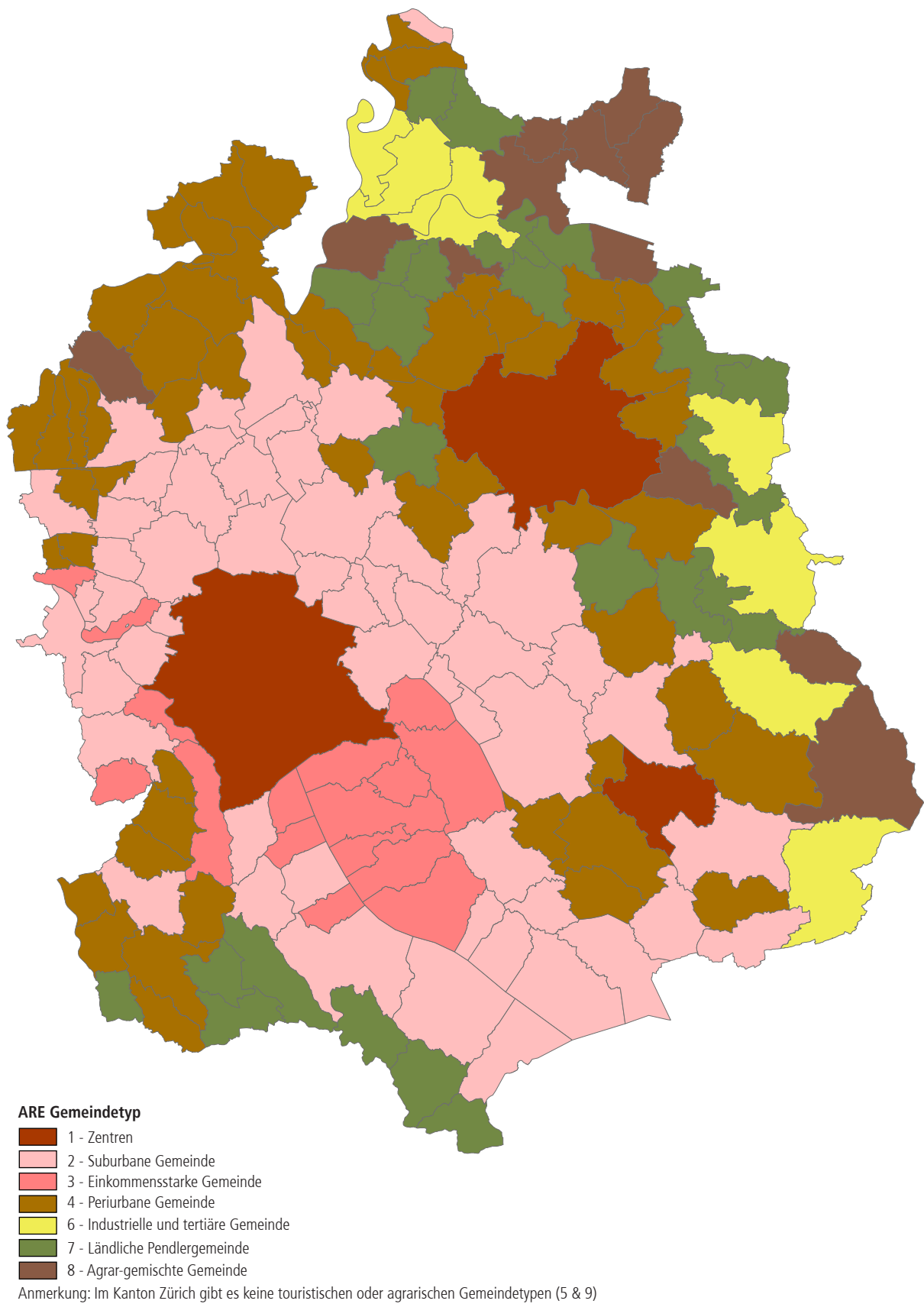


Abb. N1: ARE Gemeindetypen im Kanton Zürich

Datenquelle: Bundesamt für Landestopografie swisstopo



### Anhang O - Berechnung des Abflusskoeffizienten

Die nur aus den AV-Daten ersichtlichen befestigten Teilflächen werden mit Stichproben für die verschiedenen Siedlungstypen geschätzt (vgl. Abb. O1). Im Sinne des Strukturtypenansatzes werden die aus den Stichproben ermittelten Teilflächen auf alle entsprechenden Siedlungstypen übertragen.

Der Abflusskoeffizient wird schlussendlich aus den Gebäudeflächen des *Swissbuilding3D* Datensatzes und aus dem siedlungstypenspezifisch geschätzten Anteil der teilversiegelten Flächen berechnet.

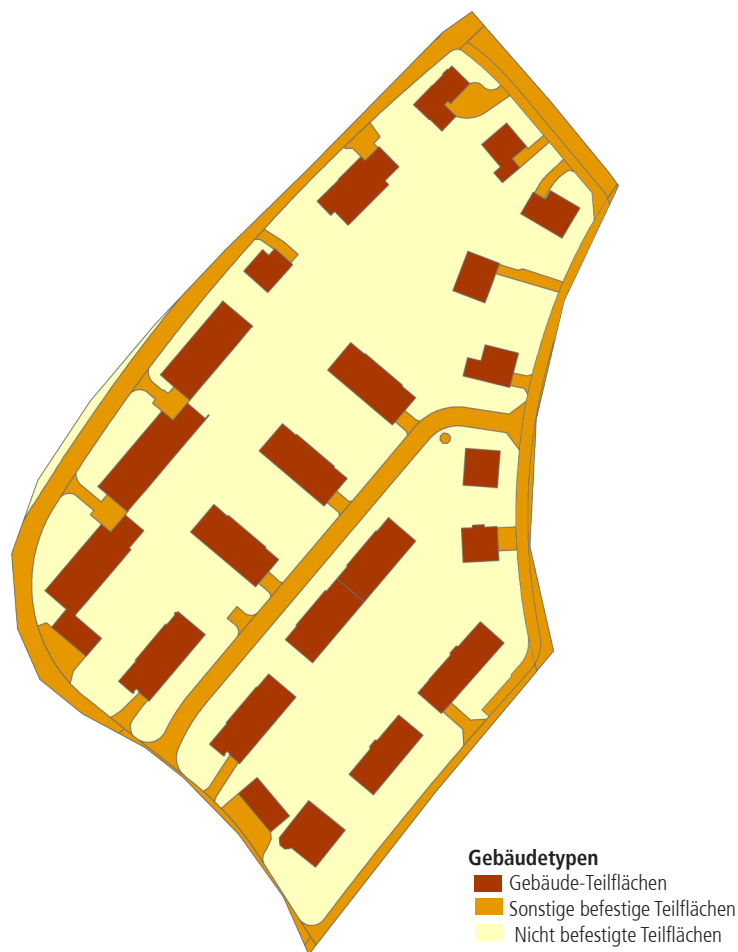


Abb. O1: Teilflächen einer Stichprobe eines Baublocks

Datenquelle: Bundesamt für Landestopografie swisstopo

## Anhang P - Anpassung der Gemeindeaggregation von JAEGER *et al.* (2008)<sup>i</sup>

Nr.	ARE Gemeindetyp	JAEGER <i>et al.</i> (2008, 96)
1	Zentren	Grosszentren Mittelzentren Kleinzentren
2	Suburbane Gemeinden	Nebenzentren der Grosszentren Suburbane Gemeinden der Grosszentren
3	Einkommensstarke Gemeinde	Keine entsprechende Zuordnung möglich*
4	Periurbane Gemeinden (PERI)	Periurbane Gemeinden der Grosszentren
5	Touristische Gemeinde	Touristische Gemeinden
6	Industrielle und tertiäre Gemeinde	Industrielle und tertiäre Gemeinden
7	Ländliche Pendlergemeinde.	Nicht-städtische Wegpendlergemeinden
8	Agrar-gemischte Gemeinde	Semiagrarische Gemeinden
9	Agrarische Gemeinde	Agrarische Gemeinden

\* Annahme von konstanter Bevölkerung für die Szenarien

**Tab. P1:** Zuordnung der ARE-Gemeindetypen



# Literatur

- ADLER C. (2007): Market Potenzial of a membrane based wastewater treatment plant for decentralized application in China. Master Thesis. Eawag.
- ARABERN (2012): Lexikon A-Z. Link: <http://www.arabern.ch/lexikon/> (Zugriff: 18.11.2012).
- ARTHUR W. B. (1989): Competing Technologies, Increasing Returns, and Lock-In by Historical Events. *The Economic Journal*, 99, 394, 116–131.
- AWEL (2011): Richtlinien betreffend die Anschlusspflicht von Liegenschaften an die private und öffentliche Kanalisation. Link: [http://www.awel.zh.ch/internet/baudirektion/awel/de/wasserwirtschaft/abwasserentsorgung/bewilligungen/ausserhalb\\_bauzone.html](http://www.awel.zh.ch/internet/baudirektion/awel/de/wasserwirtschaft/abwasserentsorgung/bewilligungen/ausserhalb_bauzone.html) (Zugriff: 03.08.2012).
- BAIER K., REAL A., STROHSCHÖN R., AZZAM R. (2009): Ansätze eines alternativen Wassermanagementkonzepts für mega urbane Räume am Beispiel der südchinesischen Megastadt Guangzhou. In: *uwf Umweltwirtschaftsforum*, 17, 3, 281–289.
- BARR S. L., BARNSEY M. J., STEEL A. (2004): On the separability of urban land-use categories in fine spatial scale land-cover data using structural pattern recognition. *Environment and Planning*, B31, 397–418.
- BATHELT H. & GLÜCKLER J. (2003): *Wirtschaftsgeographie. Ökonomische Beziehungen in räumlicher Perspektive*. 2. korrigierte Auflage, Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart.
- BAUCHROWITZ M. (2010): Dezentrale Abwasserreinigung – Modell der Zukunft? In: *Eawag News*, 68d, 17–21.
- BDZ (2011): *Investitions- und Betriebskosten von Kleinkläranlagen*. Informationsbrochüre. Bildungs- und Demonstrationszentrum für dezentrale Abwasserbehandlung e.V., Leipzig.
- BECK M.B. (2009): *Grand Challenges of the Future for Environmental Modeling*. White Paper, Report of the NSF Project.
- BEVEN K. (2012): *Rainfall-Runoff Modelling: The Primer*. Second Edition, Wiley & Sons.
- BINZ C. (2008): Leapfrogging in der Siedlungswasserwirtschaft. Die Entwicklungsperspektiven von dezentralen Membrankläranlagen im chinesischen Abwassersektor. Diplomarbeit, Universität Bern.
- BINZ C., TRUFFER B. (2009): Leapfrogging in Infrastructure – Identifying Transition Trajectories towards Decentralized Urban Water Management Systems in China. DRUID conference, Copenhagen.
- BLUM A., GRUHLER. (HRSG.) (2010): *Typologien der gebauten Umwelt. Modellierung und Analyse der Siedlungsentwicklung mit dem Strukturtypenansatz*. Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung, Shaker Verlag.
- BLUMENSAAT K., WOLFRAM M., KREBS P. (2012): Sewer model development under minimum data requirements. *Environ Earth Sci*, 65, 1427–1437.
- BRAUMANN C., FRÖSCHL A., STADLER C. (1988): Siedlungsstruktur und Infrastrukturaufwand. Auswirkungen unterschiedlicher Siedlungsstrukturen auf den Aufwand für die kommunale Infrastruktur, gezeigt an ausgewählten Salzburger Gemeinden. Schriftenreihe des Salzburger Instituts fuer Raumforschung 9.
- BRENNER C. (2005): Building Reconstruction from Images and Laser Scanning. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 6, 187–198.
- BUNDESAMT FÜR STATISTIK (2009): *Eidgenössisches Gebäude- und Wohnungsregister. Merkmalskatalog*. Neuchâtel.
- BUNDESAMT FÜR STATISTIK (2013a): *Gemeindetypologie. Analyseregion: Gemeindetypologie nach Zentren-Peripherien-Modell*. Link: [http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/regionen/11/GEO/raeumliche\\_typologien/01.html](http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/regionen/11/GEO/raeumliche_typologien/01.html) (Zugriff: 05.01.2013).
- BUNDESAMT FÜR STATISTIK (2013b): *Landesindex der Konsumentenpreise*. Link: [http://www.portal-stat.admin.ch/lik\\_rechner/d/lik\\_rechner.htm](http://www.portal-stat.admin.ch/lik_rechner/d/lik_rechner.htm) (Zugriff: 05.01.2013).
- BUNDESAMT FÜR STATISTIK (2013c): *Bevölkerungsstand und -struktur – Indikatoren*. Link: [http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/themen/01/02/blank/key/raeumliche\\_verteilung/kantone\\_\\_gemeinden.html](http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/themen/01/02/blank/key/raeumliche_verteilung/kantone__gemeinden.html) (Zugriff: 05.01.2013).
- BUWAL (2003): *Kosten der Abwasserentsorgung*. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Mitteilungen zum Gewässerschutz, Bern, Schweiz.
- BUNNELL T.G., COE N.M. (2001): Spaces and scales of innovation. *Progress in Human Geography*, 25, 4, 569–589.
- CARRERA D.G., RENN O., WASSERMANN S., WEIMER-JEHL W. ET AL. (2011): „Energie nachhaltig konsumieren – nachhaltige Energie konsumieren. Wärmeenergie im Spannungsfeld von sozialen Bestimmungsfaktoren, ökonomischen Bedingungen und ökologischem Bewusstsein“. Abschlussbericht, Stuttgart.
- COLANINNO N., CLADERA R. J., PFEFFER K. (2011): An automatic classification of urban texture: form and compactness of morphological homogeneous structures in Barcelona. 51st European Congress of the Regional Science Association International, 1–20.
- COENEN L., BENNEWORTH P., TRUFFER B. (2011): Towards a spatial perspective on sustainability transitions. DIME Final Conference, 6-8 April 2011, Maastricht.
- COENEN L., TRUFFER B. (2012): Editorial: Places and Spaces of Sustainability Transitions: Geographical Contributions to an Emerging Research and Policy Field. *European Planning Studies*, 20, 3, 367–374.
- COOKE P. & MORGAN (1998): *The associational economy: firms, regions and innovation*. Oxford, Oxford University Press.
- CORCORAN E., NELLEMAN C., BAKER E. ET AL. (HRSG) (2010): Sick Water? The central role of waste-water management in sustainable development. A Rapid Response Assessment. UNEP, UN-HABITAT, GRID-Arendal.
- CRITES R. & TCHOBANOGLOUS G. (1998): *Small and Decentralized Wastewater Management Systems*. McGraw-Hill Companies, Boston.
- DAIGGER G.T. (2007): *Wastewater Management in the 21st Century*. Environmental Engineering Lecture ASCE, 133, 671–678.
- DE HAAN J., ROTMANS J. (2011): Patterns in transitions: Understanding complex chains of change. *Technological Forecasting and Social Change*, 78, 1, 90–102.

- ECOPLAN (2000): Siedlungsentwicklung und Infrastrukturkosten. Schlussbericht zuhanden des Bundesamtes für Raumentwicklung, des Staatssekretariats für Wirtschaft und des Amtes für Gemeinden und Raumordnung des Kantons Bern (AGR).
- EICHER C. L., BREWER C. A. (2001): Dasymetric Mapping and Areal Interpolation: Implementation and Evaluation. *Cartography and Geographic Information Science*, 28, 2, 125–138.
- ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA) (2003): Draft Handbook for Management of Onsite and Clustered (Decentralized) Wastewater Treatment Systems.
- ETTER B., TILLEY E., KHADKA R., UDERT K.M. (2011): Low-cost struvite production using source-separated urine in Nepal. *Water Research* 45, 852–862.
- FABBRI K., ZUPPIROLI M., AMBROGIO K. (2012): Heritage buildings and energy performance: Mapping with GIS tools. *Energy and Buildings*, 48, 137–145.
- FANE A.G., FANE S.A. (2005): The role of membrane technology in sustainable centralized wastewater systems. *Water Science & Technology*, 51, 317–325.
- FRIEDMAN N., GEIGER D., GOLDSCHMIDT M. (1997): Bayesian network classifiers. *Machine Learning*, 29, 131–163.
- GABLER WIRTSCHAFTSLEXIKON (2012a): Springer Gabler Verlag (Hrsg.), Stichwort: Wiederbeschaffungskosten. Link: <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/56404/wiederbeschaffungskosten-v4.html> (Zugriff: 04.08.2012).
- GABLER WIRTSCHAFTSLEXIKON (2012b): Springer Gabler Verlag (Hrsg.), Stichwort: Marktpotenzial. Link: <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/380/marktpotenzial-v5.html> (Zugriff: 04.08.2012).
- GABLER WIRTSCHAFTSLEXIKON (2012c): Springer Gabler Verlag (Hrsg.), Stichwort: Brechtsche Gesetz. Link: <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Definition/brechtsches-gesetz.html> (Zugriff: 04.08.2012).
- GABLER WIRTSCHAFTSLEXIKON (2012d): Springer Gabler Verlag (Hrsg.), Stichwort: Annuitäten. Link: <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Definition/annuitaet.html> (Zugriff: 04.08.2012).
- GEELS F.W. (2002): Technological transitions as evolutionary reconfiguration processes: a multi-level perspective and a case-study. *Research Policy*, 31 (8/9), 1257–127.
- GEELS F.W. (2004): From sectoral systems of innovation to socio-technical systems. Insights about dynamics and change from sociology and institutional theory. *Research Policy*, 33, 897–920.
- GEELS F.W. (2005): The dynamics of transitions in socio-technical systems: a multi-level analysis of the transition pathway from horse-drawn carriages to automobiles (1860–1930). *Technology Analysis & Strategic Management*, 17 (4), 445–476.
- GEELS F.W. (2006): The hygienic transition from cesspools to sewer systems (1840–1930): The dynamics of regime transformation. *Research Policy*, 35, 1069–1082.
- GEELS F.W., SCHOT J. (2007): Typology of sociotechnical transition pathways. *Research Policy*, 36, 399–417.
- GEELS F.W. (2012): A socio-technical analysis of low-carbon transitions: introducing the multi-level perspective into transport studies. *Journal of Transport Geography*, 24, 471–482.
- GEISS C., TAUBENBÖCK H., WURM M., ET AL. (2011): Remote Sensing-Based Characterization of Settlement Structures for Assessing Local Potential of District Heat. *Remote Sensing*, 3, 1447–1471.
- GHOSH I., HELLWEGER F. L., FRITCH T. G. (2006): Fractal Generation of Artificial Sewer Networks for Hydrologic Simulations. Proceedings of the 2006 ESRI International user conference, San Diego, California, Aug. 7–11.
- GOODCHILD M.F. (1992): Geographical Data Modeling. *Computers & Geosciences*, 18, 4, 401–408.
- GOODCHILD M. F. (2007): Citizens as Voluntary Sensors: Spatial Data Infrastructure in the World of Web 2.0. In: *International Journal of Spatial Data Infrastructures Research*, 2, 24–32.
- GOODCHILD M. F. (2009): Geographic information systems and science: today and tomorrow. *Procedia Earth and Planetary Science*, 1, 1037–1043.
- GÖRNER K., HÖBNER K. (2002): *Gewässerschutz und Abwasserbehandlung*. Springer-Verlag.
- GUJER W. (2007): *Siedlungswasserwirtschaft*. 3. Aufl., Springer Verlag.
- HEINEBERG, H. (2006): *Stadtgeographie*. 3. Aufl., Paderborn, Schöningh.
- HERLYN A. (2007): Status quo der Schweizer Abwasserentsorgung. GWA, 3, 171–176.
- HERLYN A., SCHEIDEGGER A., BLÜML M. (2010): Verifizierung von UWIM an realen Kanalisationen von ganzen Gemeinden. Interner Bericht. EAWAG.
- HERBST B. (2008): Bewertung zentraler und dezentraler Abwasserinfrastruktursystem. Dissertation, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen.
- HEZEL D., HÖFLER H., KANDEL L., LINHARDT A. (1984): Siedlungsformen und soziale Kosten. Vergleichende Analyse der sozialen Kosten unterschiedlicher Siedlungsformen. Beiträge zur kommunalen und regionalen Planung, 7, Frankfurt/Bern/Nancy/New York.
- HIGGS G., LANGFORD M. (2009): GIScience, environmental justice, & estimating populations at risk: The case of landfills in Wales. *Applied Geography*, 29, 63–76.
- HO G. (2005): Technology for sustainability: the role of onsite, small and community scale technology. *Water Science & Technology*, 51, 10, 15–20.
- HODSON M., MARVIN S. (2010): Can cities shape socio-technical transitions and how would we know if they were? *Research Policy*, 39, 4, 477–478.
- HOOGMA R., KEMP R., SCHOT J., TRUFFER B. (2002): *Experimenting for Sustainable Transport. The approach of Strategic Niche Management*. Spon Press, London/New York.
- IMHOFF K., IMHOFF K. R. (2007): *Taschenbuch der Stadtentwässerung*. 30. Aufl., Oldenbourg Industrieverlag, München.
- IRMI ONLINE (2012): Glossary of Insurance & Risk Management Terms. Link: <http://www.irmi.com/online/insurance-glossary/terms/functional-replacement-cost.aspx> (Zugriff: 30.07.2012)
- JAEGER J., SCHWICK C., BERTILLER R., KIENAST F. (2008): *Landschaftszersiedelung Schweiz - Quantitative Analyse 1935 bis 2002 und Folgerungen für die Raumplanung*. Wissenschaftlicher Abschlussbericht. Schweizerischer Nationalfonds, Nationales Forschungsprogramm NFP 54 „Nachhaltige Siedlungs- und Infrastrukturentwicklung“, Zürich.
- JENSEN T., KARAKOYUN E. (2005): Einfluss von Siedlungsstruktur und Siedlungsentwicklung auf Infrastrukturkosten. Diplomarbeit, Universität Dortmund.

- JEWITT S. (2011): Poo gurus? Researching the threats and opportunities presented by human waste. *Applied Geography*, 31, 761–769.
- JUDD S. (2011): *The MBR Book. Principles and Applications of Membrane Bioreactors for Water and Wastewater Treatment*. 2nd Edition, Elsevier, Oxford.
- KEMP R. (1994): Technology and the transition to environmental sustainability. The problem of technological regime shifts. *Futures*, 26, 10, 1023–1046.
- KEMP R., SHOT J., HOOGMA R. (1998): Regime shifts to sustainability through processes of niche formation: The approach of strategic niche management. *Technology Analysis & Strategic Management*, 10, 2.
- KEMP R. & VAN LENTE H. (2011): The dual challenge of sustainability transitions. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 1, 121–124.
- KEMPER R. (2009): Einflussfaktoren der Infrastrukturfolgekosten in Bündner Gemeinden. Schlussbericht im Auftrag des Amts für Raumentwicklung Graubünden. IRAP (Hrsg.), Rapperswil.
- LANGFORD M., HIGGS G., RADCLIFFE J., WHITE S. (2008): Urban population distribution models and service accessibility estimation. *Computers, Environment and Urban Systems*, 32, 66–80.
- LARSEN T. A., LIENERT J. (2007): NoMix – Neue Wege in der Siedlungswasserwirtschaft. Abschlussbericht des transdisziplinären Projektes Novaquatis. Eawag.
- LIBRALATO G., GHIRARDINI A.V., AVEZZÙ F. (2012): To centralise or to decentralise: An overview of the most recent trends in wastewater treatment management. *Journal of Environmental Management*, 94, 1, 61–68.
- LIENERT J., TOVE A.L. (2007): Soft Paths in Wastewater Management – The Pros and Cons of Urine Source Separation. *GAIA*, 16, 4, 280–288.
- LÖSCHER P., WEIBEL R., MACKANESS W.A. (2008): Where is the Terraced House? On the Use of Ontologies for Recognition of Urban Concepts in Cartographic Databases. In: Ruas A., *Headway in spatial data handling*. Berlin.
- LÖSCHER P., WEIBEL R., BURGHARD D. (2009): Integrating ontological modelling and Bayesian inference for pattern classification in topographic vector data. *Computers, Environment and Urban Systems*, 33, 363–374.
- LWIN K., MURAYAMA Y. (2009): A GIS Approach to Estimation of Building Population for Micro-spatial Analysis. *Transactions in GIS*, 13, 4, 401–414.
- MARKARD J., TRUFFER B. (2008): Technological innovation systems and the multi-level perspective: Towards an integrated framework. *Research Policy*, 37, 596–615.
- MANKAD A., TAPSUWAN S. (2011): Review of socio-economic drivers of community acceptance and adoption of decentralised water systems. *Journal of Environmental Management*, 92, 380–391.
- MARKARD J. (2011): Infrastructure Sector Characteristics and Implications for Innovation and Sectoral Change. *Journal of Infrastructure Systems (ASCE)*, 17, 3, 107–117.
- MARKARD J., RAVEN R., TRUFFER B. (2012): Sustainability transitions: An emerging field of research and its prospects. *Research Policy*, 41, 955–967.
- MASSOUD M. A., TARHINI A., NASR J.A. (2009): Decentralized approaches to wastewater treatment and management: Applicability in developing countries. *Journal of Environmental Management*, 90, 652–659.
- MAANTAY J., MAROKO A. (2009): Mapping urban risk: Flood hazards, race, & environmental justice in New York. *Applied Geography*, 29, 111–124.
- MAURER M., ROTHENBERGER D., LARSEN T. A. (2006): Decentralised wastewater treatment technologies: At what cost are they competitive? *Water Science and Technology: Water Supply*, 5, 6, 145–15.
- MAURER M., HERLYN A. (2006): Zustand, Kosten und Investitionsbedarf der schweizerischen Abwasserentsorgung. Schlussbericht. Eawag, Dübendorf.
- MAURER M., WOLFRAM M., HERLYN A. (2010): Factors affecting economies of scale in combined sewer systems. *Water Science & Technology*, 62, 1, 36–41.
- MAURER M., BURARDI A., TILLEY E., ZURBRÜGG C., TRUFFER B. (2012a): A compatibility-based procedure designed to generate Potenzial sanitation system alternatives. *Journal of Environmental Management*, 104, 51–61.
- MAURER M., CHAWLA F., VON HORN J., STAUFER P. (2012b): Abwasserentsorgung 2025 in der Schweiz. Schriftenreihe der Eawag Nr.21.
- MAURER M., SCHEIDEGGER A., HERLYN A. (2012c): Quantifying costs and lengths of urban drainage systems with a simple static sewer infrastructure model. *Research Article. Urban Water Journal*, 1–13.
- MEADOWS D.H., MEADOWS D.L., RANDERS J. BEHRENS III W.W. (1972): *The Limit to Growth: A Report for the Club of Rome's Project on the Predicament of Mankind*. New York, Universe Books.
- MEINEL G., HECHT R., HEROLD H., SCHILLER G. (2008): Automatische Ableitung von stadtstrukturellen Grundlagendaten und Integration in einem Geographischen Informationssystem. Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (Hrsg.), Bonn.
- MEINEL G., HECHT R., HEROLD H. (2009): Analyzing building stock using topographic maps and GIS. *Building Research & Information*, 37, 5–6, 468–482.
- MENNIS J. (2009): Dasymeric Mapping for Estimating Population in Small Areas. *Dasymeric Mapping for Estimating Population in Small Areas*, 3, 2, 727–245.
- MÖDERL M., BUTLER D., RAUCH W. (2008): A stochastic approach for automatic generation of urban drainage systems. 11th International Conference on Urban Drainage, Edinburgh, Scotland, 2008.
- MOSER D., PFAMMATTER R., RIBI, F., ZYSSET A. (2009): Überblick finanzielle Kenngrößen der Schweizer Wasserwirtschaft. Expertenbericht. Ernst Basler & Partner AG.
- MITCHELL C.A., FAM D.M. & CORDELL D.J. (2010): Effectively managing the transition towards restorative futures in the sewage industry: a phosphorus case study. In: *Water Sustainability and International Innovation: The Baltimore Charter - A Transformation in Managing Water*, Water Environment Research Foundation, Vermont, USA, 84–97.
- MURTY M.N., DEVI V. S. (2011): *Pattern Recognition. An Algorithmic Approach*. Springer, Universities Press.
- NEIDHART H. & SESTER M. (2004): Identifying Building Types and Building Clusters Using 3DLaser Scanning and GIS-Data. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 35, ISPRS, 442–447.
- ODERMATT A., WACHTER D. (2004): *Schweiz. Eine moderne Geographie*. 4. Auflage, NZZ Verlag, Zürich.

- OPENSHAW S. (1984): The Modifiable Areal Unit Problem. Norwich, UK: Geo Books. Headley Brothers Ltd. Kent.
- PETER M. (2009): Wiederbeschaffungswert der Umweltinfrastruktur. Umfassender Überblick für die Schweiz. Umwelt-Wissen Nr. 0920, Bundesamt für Umwelt, Bern.
- PINKHAM R.D., HURLEY E., WATKINS K., LOVINS A.B., MAGLIARO J., ETNIER C., NELSON V. (2004): Valuing Decentralized Wastewater Technologies: a Catalog of Benefits Costs, and Economic Analysis Techniques. Rocky Mountain Institute, Snowmass, CO, 81654, USA.
- PRIM R. C. (1957): Shortest connection networks and some generalizations. In: Bell System Technical Journal, 36, 1389–1401.
- RISH I. (2001): An empirical study of the naive Bayes classifier. In Proceedings of IJCAI-01 workshop on Empirical Methods in AI, Sicily, Italy, 41–46.
- ROCK M., MURPHY J. T., RASIAH R., VAN SETERS P., MANAGI S. (2009): A hard slog, not a leap frog: Globalization and sustainability transitions in developing Asia. Technological Forecasting & Social Change, 76, 241–254.
- ROTMANS J., KEMP R., ASSELT M.V. (2001): More evolution than revolution: Transition management in public policy. Foresight 3, 1, 15–31.
- RUAS A., PERRET J., CURIE F. (2011): Conception of a GIS-Platform to simulate urban densification based on the analysis of topographic data. In: Ruas A. (eds): Advances in Cartography and GIScience. Volume 2, Springer Berlin Heidelberg, 6, 413–430.
- SAUERWEIN M. (2004): Urbane Bodenlandschaften - Eigenschaften, Funktionen und Stoffhaushalt der siedlungsbeeinflussten Pedosphäre im Geoökosystem. Habilitationsschrift, Martin-Lutzer-Universität Halle-Wittenberg.
- SCHALCHER H. R., BOESCH H.J., BERTSCHY K. ET AL. (2011): Was kostet das Bauwerk Schweiz in Zukunft und wer bezahlt dafür? Fokusstudie des Nationalen Forschungsprogramms 54 «Nachhaltige Siedlungs- und Infrastrukturentwicklung», vdf Hochschulverlag, Bern.
- SCHILLER G., SIEDENTOP S. (2005): Infrastrukturfolgekosten der Siedlungsentwicklung unter Schrumpfungbedingungen. DISP, 160, 83–93.
- SCHILLER G. (2010): Kostenbewertung der Anpassung zentraler Abwasserentsorgungssysteme bei Bevölkerungsrückgang. Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung (Hrsg.), Rhombos Verlag, Berlin.
- SCHOT J., GEELS F.W. (2008): Strategic niche management and sustainable innovation journeys: theory, findings, research agenda, and policy. Technology Analysis & Strategic Management, 20, 5, 537–554.
- SCHMIDTKE J. (2004): Marktpotenzial der Trenntechnologie in den neuen Bundesländern. Diplomarbeit am Institut für Siedlungs- und Industriewasserwirtschaft. Technische Universität Dresden.
- SCHWICK C., JAEGER J., BERTILLER R., KIENAST F. (2010): Zersiedelung der Schweiz - unaufhaltsam? Quantitative Analyse 1935 bis 2002 und Folgerungen für die Raumplanung. Bristol-Schriftenreihe 26.
- SEITZ H. (2002): Der Einfluss der Bevölkerungsdichte auf die Kosten der öffentlichen Leistungserstellung. Schriften zum Öffentlichen Recht, Band 899, Duncker & Humboldt, Berlin.
- SIEDENTOP S., KOZIOL M., GUTSCHE J.-M. (2006a): Siedlungsentwicklung und Infrastrukturfolgekosten – Bilanzierung und Strategieentwicklung. Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (Hrsg.), Bonn.
- SIEDENTOP S., SCHILLER G., GUTSCHE J.-M., KOZIOL M., WALTHER J. (2006b): Infrastrukturkostenrechnung in der Regionalplanung. Ein Leitfaden zur Abschätzung der Folgekosten alternativer Bevölkerungs- und Siedlungsszenarien für soziale und technische Infrastrukturen, Reihe „Werkstatt-Praxis“, Heft 43.
- SIEDENTOP S., FINA S. (2008): Urban Sprawl Beyond Growth. 44th ISOCARP Congress.
- SMITH A., STIRLING A., BERKHOUT F. (2005): The governance of sustainable socio-technical transitions. Research Policy, 24, 1491–1510.
- SMITH A., VOSS J. P., GRIN J. (2010): Innovation studies and sustainability transitions: The allure of the multi-level perspective and its challenges. Research Policy, 39, 435–448.
- SPEIR C., STEPHENSON K. (2002): Does Sprawl Cost Us All? Isolating the Effects of Housing Patterns on Public Water and Sewer Costs. Journal of the American Planning Association, 68, 1, 56–70.
- STEINIGER S., LANGE T., BURGHART D., WEIBEL R. (2008): An approach for the classification of urban building structures based on discriminant analysis techniques. Transactions in GIS, 12, 1, 31–59.
- STEINNOCHER K., PETRINI F., TÖTZER T., WEICHELBAUM J. (2005): Räumliche Disaggregation von sozio-ökonomischen Daten. In: Angewandte Geographische Informationsverarbeitung XVII- Beiträge zum AGIT-Symposium, Salzburg 2005, 702–707.
- SVBP (2012): Was sind Pflanzenkläranlagen. Link: <http://www.svbp.org> (Zugriff: 18.11.2012).
- THRIFT N. (2003): Space: The Fundamental Stuff of Geography. In: Clifford N.J., Holloway S.L., Rice S.P., Valentine G. (Hrsg.): Key Concepts in Geography. Second Edition, Sage, London, UK, 85–96.
- TÖBLER W. (1979): Smooth pycnophylactic interpolation for geographic regions. Journal of the American Statistical Association, 74, 519–30.
- TRUFFER B., BAUKNECHT D., JÄGER T. (2004): Die Wandlungsdimension als zentrale Beschreibungsfaktoren künftiger Entwicklungspotenziale von Versorgungssektoren. IMW-Projekt AS 200.
- TRUFFER B., STÖRMER E., MAURER M., RUEF A. (2010): Local strategic planning processes and sustainability transitions in infrastructure sectors. Environmental Policy and Governance, 20, 258–269.
- TRUFFER B., COENEN L. (2012): Environmental Innovation and Sustainability Transitions in Regional Studies. Regional Studies, 46, 1, 1–21.
- TRUFFER B., BINZ C., GEBAUER H., STÖRMER E. (2012): Market success of on-site treatment: a systemic innovation problem. In Larsen, T.A. Udert, K.M., Lienert, J. (eds.) Wastewater Treatment: Source Separation and Decentralisation. IWA Publishing 2012, 209–223.
- URAL S., HUSSAIN E., SHAN J. (2001): Building population mapping with aerial imagery and GIS data. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 13, 841–852.
- UVEK (2005): Diskontsatz in Kosten-Nutzen-Analysen im Verkehr. Forschungsauftrag VSS 2003/201 auf Antrag des Schweizerischen Verbandes der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS).
- VAN DEN BERGH J. C.J.M., TRUFFER B., KALLIS G. (2011): Environmental innovation and societal transitions: Introduction and overview. Environmental Innovation and Societal Transitions, 1, 1–23.
- VEREINIGUNG KANTONALER FEUERVERSICHERUNGEN (2003): Brandschutznorm – VKF, Bern (Stand 20.10.2008).

- 
- VSA (2005): Abwasser im ländlichen Raum. Leitfaden für Planung, Evaluation, Betrieb und Unterhalt von Abwassersystemen bei Einzelliegenschaften und Kleinsiedlungen.
- VSA (2006): VSA-Erhebung Kleinkläranlagen. Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute. Kommission Abwasserentsorgung im Ländlichen Raum (KALR), Wolhusen.
- VSA (2013): Glossar - Abflussbeiwert. Link: <http://www.vsa.ch/glossar/de/terms/main/1/> (Zugriff: 01.01.2013).
- WACHTER D. (2009): Nachhaltige Entwicklung. Das Konzept und seine Umsetzung in der Schweiz. Kompaktwissen, Rüegger Verlag.
- WANG X. C., CHEN R., ZHANG Q. H., LI K. (2008): Optimized plan of centralized and decentralized wastewater reuse systems for housing development in the urban area of Xi'an, China. *Water Science & Technology*, 58, 5, 969–975.
- WASSER WISSEN (2012): Pflanzenkläranlage. Link: <http://www.wasserwissen.de/abwasserlexikon> (Zugriff: 18.11.2012)
- WASTEWATER ENGINEERING GROUP (2007): MBR - Membrane BioReactors for Wastewater Treatment. Link: [http://wastewaterengineering.com/mbr\\_membrane\\_bioreactors.htm](http://wastewaterengineering.com/mbr_membrane_bioreactors.htm) (Zugriff: 26.06.2012)
- WELTBANK (2012): PPP conversion factor, GDP. Link: <http://data.worldbank.org/indicator/PA.NUS.PPP/countries?display=default> (Zugriff: 04.08.2012)
- WERDER S., KIELER B., SESTER M. (2010): Semi-Automatic Interpretation of Buildings and Settlement Areas in User-Generated Spatial Data. *GIS '10*, 03.NOV.2010, San Jose CA, USA, 330–339.
- WIGINTON L.K., NGUYEN H.T., PEARCE J.M. (2010): Quantifying rooftop solar photovoltaic Potenzial for regional renewableenergy policy. *Computers, Environment and Urban Systems*, 34, 345–357.
-



---

## Persönliche Erklärung

---

Ich erkläre hiermit, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig verfasst und die den verwendeten Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

.....

---

## Inhalt der beiliegenden CD

---

- » **01 - Digitale Version der Arbeit** (.pdf)
  - » **02 - UWIM-Skripte (Python & R)** (.r, .py)
  - » **03 - Python dbfyp Modul** (.win32)
  - » **04 - ArcTool UWIM** (.tbx)
  - » **05 - Test-Shapefile** (.shp)
  - » **06 - Spanning-Tree ArcTool & Scripts**(.zip)
  - » **07 - Original-UWIM** (.zip)
  - » **08 - Kartenmaterial** (.pdf)
-