

Software-gestützte Angebotsberechnung in der kommunalen Entsorgungssammellogistik

Von der Fakultät Maschinenbau
der Universität Stuttgart
zur Erlangung der Würde eines
Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)
genehmigte Abhandlung

vorgelegt von
Dipl.-Ing. Torsten Mallée
geboren in Hamburg

Hauptberichter: Prof. Dr.-Ing. K.-H. Wehking

Mitberichter: Prof. Dr.-Ing. U. Clausen

Tag der Einreichung: 23.07.2003

Tag der mündlichen Prüfung: 14.04.2004

Institut für Fördertechnik und Logistik der
Universität Stuttgart

2003

Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand zu wesentlichen Teilen während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter des Institutes für Fördertechnik und Logistik der Universität Stuttgart.

Mein besonderer Dank gilt hier Herrn Prof. Dr.-Ing. K.-H. Wehking, dem Leiter des Institutes, für die wertvollen Ratschläge und die Unterstützung bei der Erstellung dieser Arbeit.

Herrn Prof. Dr.-Ing. U. Clausen vom Fraunhofer Institut für Materialfluss und Logistik in Dortmund danke ich für die Durchsicht der Ausarbeitung und die Übernahme des Mitberichtes.

Bedanken möchte ich mich insbesondere bei Herrn Dipl.-Ing. C. Luckner, der mir über die gesamte Bearbeitungszeit stets als Diskussionspartner zur Verfügung stand und konstruktive Ratschläge zur Gestaltung dieser Arbeit geben konnte. Weiterhin gilt mein Dank mit den Herren Dr.-Ing. J. Heimsoth, Dr.-Ing. R. Schulz, Dipl.-Ing. J. Schwarz, Dipl.-Ing. J. Folz, Dipl.-Ing. B. Lintzen und Frau Dipl.-Ing. D. Veenker auch allen weiteren Kollegen aus der Abteilung "Fördertechnik für die Entsorgung" sowie Herrn Dipl.-Ing. K.-P. Rahn aus der Abteilung "Stabsstelle Neue Konzepte und Ideen", die mich jederzeit, nicht zuletzt aufgrund des ausgezeichneten kollegialen und freundschaftlichen Verhältnisses, wesentlich unterstützt haben.

Als wesentlichen Ansprechpartner aus der Entsorgungswirtschaft möchte ich mich besonders herzlich bei Herrn Dipl.-Ing. M. Koller von der RWE Umwelt AG bedanken, der mir mit seinen umfangreichen Erfahrungen aus der Praxis wertvolle Hinweise zum Gelingen dieser Arbeit gab.

Meiner Familie und meinen Freunden danke ich für die stete Aufmunterung und Rücksichtnahme während der Bearbeitungszeit.

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungen	IX
Definitionen	IX
Zusammenfassung	XI
Abstract	XIII
1 Einleitung	1
1.1 Problemstellung und Stand der Technik	3
1.2 Zielsetzung und Vorgehensweise	5
1.3 Abgrenzung des Untersuchungsbereiches	7
2 Kostenberechnung von Entsorgungssammeldienstleistungen	8
2.1 Auflistung der Einflussparameter	11
2.1.1 Sammlungspersonal	12
2.1.1.1 Netto-Arbeitstage im Jahr	12
2.1.1.2 Arbeitsstunden pro Tag	12
2.1.1.3 Überstunden	12
2.1.1.4 Besatzungsstärke der Fahrzeuge	13
2.1.1.5 Personalreserve	13
2.1.1.6 Lohn- und Zusatzkosten	13
2.1.2 Fuhrparkdaten, -kosten	14
2.1.2.1 Fahrzeugsysteme	14
2.1.2.2 Aufbauart	16
2.1.2.3 Maximale Zuladung	16
2.1.2.4 Ausnutzungsgrad der maximalen Zuladung	17
2.1.2.5 Anteil Reservefahrzeuge	17
2.1.2.6 Investitionskosten für Fuhrpark.....	18
2.1.2.7 Verkaufserlöse für Fuhrpark	18
2.1.2.8 Kraftstoffkosten.....	19
2.1.2.9 Kosten für Öl und Schmierstoffe.....	19
2.1.2.10 Kosten für Reifen.....	19
2.1.2.11 Kommunikationskosten	20
2.1.2.12 Kosten Werkstattarbeiten inkl. Ersatzteile	20
2.1.2.13 Kosten Fahrzeugpflege	20
2.1.2.14 Kosten für Untersuchungen nach StVZO	20
2.1.2.15 Fahrzeugversicherung.....	21
2.1.2.16 Fahrzeugsteuer	21

2.1.2.17	Straßenbenutzungsgebühr	21
2.1.2.18	Abschreibungsdauer der Fahrzeuge	21
2.1.2.19	Kalkulatorischer Zinssatz zur Abschreibung der Fahrzeuge.....	22
2.1.3	Behälterdaten, -kosten	22
2.1.3.1	Behältertechnik.....	22
2.1.3.2	Struktur des Gesamtbehälterbestandes	26
2.1.3.3	Investitionskosten für Behälter.....	26
2.1.3.4	Erlöse durch Behältermiete	27
2.1.3.5	Behälterbesitzverhältnisse.....	27
2.1.3.6	Behälteridentifikation, -verwiegung.....	27
2.1.3.7	Behälterinstandhaltung, -tausch, -ersatz, -neuaufstellung.....	28
2.1.3.8	Abschreibungsdauer der Behälter	29
2.1.3.9	Kalkulatorischer Zins zur Abschreibung der Behälter	30
2.1.4	Randbedingungen und Leistungsdaten der Sammlung	30
2.1.4.1	Arbeitszeitmodell	30
2.1.4.2	Abfuhrhythmus	31
2.1.4.3	Bereitstellungsquote	31
2.1.4.4	Spezifisches Füllgewicht der Behälter	31
2.1.4.5	Durchschnittsgeschwindigkeit Verbindungsfahrten	31
2.1.4.6	Dauer Umschlag/ Entsorgung.....	32
2.1.4.7	Kapazität Ferntransport	32
2.1.4.8	Rüstzeit.....	32
2.1.4.9	Anzahl und Lage der Standorte	32
2.1.4.10	Sammelleistung.....	33
2.1.5	Verwaltungskosten.....	37
2.1.5.1	Kosten Betriebsstellen und Fuhrparkstandorte.....	38
2.1.5.2	Umschlagplätze	38
2.1.6	Übersicht Einflussparameter.....	39
2.2	Aufstellung der exakten Kostenberechnung	40
2.2.1	Sammelpersonal	41
2.2.2	Fuhrpark.....	45
2.2.2.1	Fixkosten des Fuhrparks	45
2.2.2.2	Variable Kosten des Fuhrparks	48
2.2.3	Behälter.....	51
2.2.4	Verwaltung	55
2.2.5	Mengenmäßige Berechnung.....	55
2.2.5.1	Anzahl der Behälter	56
2.2.5.2	Anzahl der Sammelfahrzeuge	58
2.2.5.3	Anzahl der Transportfahrzeuge und Wechsel-/ Umschlagsbehälter... ..	64
2.2.5.4	Anzahl Personal	68

3	Das Berechnungsprogramm SOKRATES	70
3.1	Ziele des Programms.....	71
3.2	Aufbau und Beschreibung des Programms	71
3.2.1	Allgemeine Stammdaten	72
3.2.2	Gebietsspezifische Daten	72
3.2.3	Planungsspezifische Daten.....	74
3.2.4	Ablauf des Programms.....	81
3.2.5	Darstellung Ergebnisse	86
3.3	Praxistest der Berechnungssoftware	89
4	Sensitivitätsanalyse der Berechnungsparameter.....	93
4.1	Vorgehensweise bei der Ermittlung der Daten.....	95
4.1.1	Einwohnerdichte der Modellregionen	95
4.1.2	Flächenmäßige und geographische Siedlungsstrukturverteilung.....	96
4.1.3	Spezifische Einwohnerdichte der Siedlungsstrukturen	99
4.2	Beschreibung der zugrundegelegten Modellregionen.....	101
4.2.1	Städtische Modellregion.....	101
4.2.1.1	Größe und Siedlungsstruktur(en)	101
4.2.1.2	Abfallaufkommen.....	103
4.2.1.3	Behälterstruktur und Abfuhrrythmus	103
4.2.1.4	Berechnungsgrundlage für die städtische Modellregion	104
4.2.2	Ländliche Modellregion	107
4.2.2.1	Größe und Siedlungsstruktur(en)	107
4.2.2.2	Abfallaufkommen.....	109
4.2.2.3	Behälterstruktur und Abfuhrrythmus	109
4.2.2.4	Berechnungsgrundlage für die ländliche Modellregion	110
4.3	Kosten der Sammellogistik in der Ausgangssituation	112
4.3.1	Städtische Modellregion.....	113
4.3.2	Ländliche Modellregion	115
4.4	Vorgehensweise für die Berechnung der Sensitivitäten.....	117
4.5	Sammelpersonal.....	118
4.6	Fahrzeugdaten, -kosten.....	120
4.6.1	Fixkosten.....	121
4.6.2	Variable Kosten.....	123
4.6.3	Sonstige Daten	125
4.7	Behälterdaten, -kosten.....	127

4.8	Verwaltungskosten	127
4.9	Randbedingungen und Leistungsdaten der Sammlung	128
4.10	Zusammenfassung der Ergebnisse	130
5	Pareto-Analyse der Einflussgrößen	131
6	Vereinfachung der Datenerhebung	134
6.1	Beschreibung der bisherigen Vorgehensweise	135
6.2	Reduktion der Einflussparameter	136
6.2.1	Zusammenfassung der Siedlungsstrukturen	137
6.2.2	Zusammenfassung von Gebietskreisen	139
6.2.3	Vereinfachung der Behälterverteilung	141
6.3	Kombination der Maßnahmen und Ergebniszusammenfassung	142
7	Zusammenfassung und Ausblick	144
8	Literatur	148
9	Anhang	A - 1

Abkürzungen

BDE	Bundesverband der deutschen Entsorgungswirtschaft e.V.
BG	Bammens-Groep
BImSchG	Bundes-Immissionsschutzgesetz
DU	Diamond-Umleerverfahren
DIN	Deutsches Institut für Normung e.V.
EDV	Elektronische Datenverarbeitung
EN	Europäische Norm
EW	Einwohner
HU	Hauptuntersuchung (z.B. durch TÜV)
LVP	Leichtverpackungen
MEKAM	Mehrkammer(-Behälter)
MGB	Müllgroßbehälter
MSTS	Multi Service Transport System
PE	Polyethylen
PPK	Papier, Pappe, Karton
StVZO	Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung
TA	Technische Anleitung
TÜV	Technischer Überwachungsverein
UVV	Unfall-Verhütungs-Vorschrift
VKS	Verband Kommunale Abfallwirtschaft und Stadtreinigung e.V.

Definitionen

Schüttzeit:	Haltezeit des Sammelfahrzeuges pro Haltepunkt
Zwischenfahrzeit:	Fahrzeit zwischen zwei Haltepunkten
Entsorgungszeit:	Alle Zeiten, die in Verbindung mit der Entsorgung anfallen. Dies sind z.B. Fahrzeiten vom Revier zur Entsorgungsstelle, Wartezeiten, Umlade- bzw. Umleerzeiten

Betriebsstelle:	Zentrale Einrichtung zur Verwaltung und Organisation der Sammlung inkl. Fuhrparkstandort, Werkstatt, Sozialeinrichtungen, evtl. Tankstelle etc.
Fuhrparkstandort:	Standort für Sammelfahrzeuge mit minimaler oder ohne Personalbesetzung (Disposition) und Sozialeinrichtungen
Umschlagplatz:	Befestigte Fläche zur Zwischenlagerung von Wechselbehältern aus der Sammlung mit Fahrzeugen mit Wechselaufbau oder zum Zweck des losen Umschlages aus den Sammelfahrzeugen
Sammelleistung:	Anzahl der gesammelten Behälter pro Zeiteinheit im Sammelrevier
Verbindungsfahrt:	Fahrt zwischen Knotenpunkten der Sammlung (z.B. Fuhrparkstandort, Sammelrevier, Entsorgungsstelle etc.)
Holsystem:	Im Holsystem werden die Abfälle vom Entsorgungsunternehmen in meist regelmäßigem Turnus beim Abfallerzeuger abgeholt. Im alternativen Bringsystem muss der Abfallerzeuger die Abfälle zu einer zentralen Sammelstelle verbringen.

Zusammenfassung

Der Markt der deutschen Entsorgungswirtschaft befindet sich seit Anfang der 90er Jahre in einer ausgeprägten Umbruchphase. In diesem Zusammenhang findet ein starker Verdrängungswettbewerb statt in dem Marktanteile stark umkämpft sind.

Der dadurch entstehende Kostendruck spiegelt sich vor allem auch in der kommunalen Abfallentsorgung wider, die den umsatzstärksten Teil dieses Marktes darstellt. Insbesondere die Sammellogistik steht hier im Mittelpunkt der Bemühungen Kosteneinsparungen zu erzielen. Die Ermittlung der durch sie entstehenden Kosten zeichnet sich jedoch, bedingt durch die Vielzahl und den z.T. großen Ermittlungsaufwand der zu berücksichtigenden Parameter, durch eine hohe Komplexität aus.

Die vielfältige am Markt angebotene Software für die Entsorgungsbranche bietet Unterstützung im Bereich der Verwaltung und Planung. Es fehlt jedoch ein Werkzeug zur schnellen und gleichzeitig präzisen Kostenberechnung der Sammellogistik. Zudem gibt es bis heute keine grundlegende wissenschaftliche Untersuchung der Wichtigkeit der für die Berechnung benötigten Eingangsparameter.

In dieser Arbeit wurde das Software-Tool SOKRATES (Software-gestütztes Kosten-rechnungs-Angebotstool für die Entsorgungssammellogistik) erstellt, das eine erstmalige Kombination der klassischen Verfahren zur Siedlungsstruktureinteilung, der Tourenplanung und der Kostenberechnung in der kommunalen Sammellogistik darstellt. SOKRATES ermöglicht eine schnelle und genaue Berechnung der Sammellogistikkosten z.B. im Rahmen der Erstellung von Angeboten bei Ausschreibungsteilnahmen und der Überprüfung von Effekten geplanter Optimierungsmaßnahmen.

Mit Hilfe dieser Software konnte im Anschluss anhand hierfür erstellter Modellregionen erstmalig eine umfassende und dynamische Sensitivitätsanalyse der Berechnungsparameter erstellt werden, in der der Einfluss verschiedener Gebietscharakteristika herausgestellt wurde.

Ergebnis der Analyse ist der Nachweis einer starken Abhängigkeit der Sensitivitäten einzelner Parameter von der jeweils zu entsorgenden Region. Diese Unterschiede sind insbesondere bedingt durch das unterschiedliche spezifische Abfallaufkommen, die unterschiedlichen Fahrleistungen sowie die jeweils idealerweise einzusetzende Fahrzeugtechnik und die erforderlichen Personalbesatzungsstärken.

Mit Hilfe der Berechnungssoftware SOKRATES und der Kenntnis über die Einflussgrößen der zu ermittelnden bzw. zu berücksichtigenden Daten kann der Entsorgungswirtschaft, vor allem im Rahmen von Ausschreibungsteilnahmen, ein wirkungsvolles Hilfsmittel zur Unterstützung der Kostenberechnung in der kommunalen Sammellogistik zur Verfügung gestellt werden.

Abstract

Since the beginning of the 90's the market of the german waste management economy is subject to a fundamental change. In this context a strong displacement competition with hard battles for market shares has taken place. The resulting cost pressure is particularly reflected in the municipal waste disposal, which represents the turnover-strongest part of this market.

The costs of the municipal waste disposal can be made up of the following 4 blocks

- administration,
- recycling,
- disposal and
- logistics.

The logistics, consisting of collection, transportation and handling of the wastes, makes up for the largest portion. Not only due to the purely economic importance, but also because it is directly controllable by the waste management enterprises, the logistics play a major role in the municipal waste disposal economy.

Due to the multiplicity of influences, the calculation of these logistics costs is characterized by a high complexity, large expenditure and only limited accuracy. Only with the help of computerized support and new methods a more efficient and more accurate calculation can be ensured here.

So far however a continuous computerized support for the fast calculation of the costs of logistics that can be used for

- working out an offer in the course of bid invitations,
- sensitivity analysis,
- post calculations or
- verifying the effects of planned optimisation steps

does not exist.

With current route planning programs available at the market the necessary collecting logistics can be planned and/or optimized. The cost calculation however is not performed by them. The substantial disadvantage is however the large amount of time required for such a planning. Even if the necessary characteristic data is available, the necessary time for pre-working and the actual calculation can be estimated to last – depending on the size of the disposal area – a couple of months. Keeping the above mentioned objectives in mind, this effort is under no circumstances acceptable.

Therefore the costs are normally calculated on basis of many individual rough spread-sheet analyses under consultation of the empirical values of the respective enterprise. This – essentially manually accomplished – proceeding requires many simplifications of the calculation in the form of averaging and global assumptions. In addition the absence of monitoring mechanisms regarding a complete and stringent analysis of the required parameters represents a further source for potential errors.

A further weakness lies in the fact that the area planning is only roughly performed and can therefore –when applying today's procedures –not exactly prove the feasibility of the calculation result. The result is a partially substantial uncertainty regarding the calculation of the costs, i.e. neither secured data concerning the earnings which can be expected nor the effect of restructuring measures can be given.

A condition for the safe calculation of the logistics costs is furthermore the exact knowledge of the boundary conditions for the collection in the area where the service of waste collection is carried out. Only with that the ideal technology for the collection, its actual efficiency and finally the necessary expenditure respectively the costs of the service can be determined.

In order to achieve an exact and reliable calculation of the logistics costs, field surveys (particularly in so far not known areas) are necessary. Since however the influencing variables of these boundary conditions are not fundamentally examined yet, there exists an uncertainty concerning the effort which has to be made in each case for their determination. The exact knowledge of the influences can lead to an easement just by concentration on the decisive parameters while at the same time enabling a high result security.

Until today however systematic and practical investigations that show the effects of defined variations of the individual influence parameters on the total costs are missing. In addition, there is a lack of a suitable instrument with whose assistance this

analysis can be accomplished. So far only some partial static investigations do exist, i.e. with a change of the parameters effects on the ideal collection-area and route planning remained unconsidered. Besides that they are only based upon one model of a very small region and thereby permit no conclusions on the influence of the structure of different areas.

So far the main focus of this thesis derived from the demand of research regarding the need to develop a new method for the quick and accurate calculation of the logistics costs in the municipal waste disposal. Therefore a self-developed calculation software is being introduced. Only with the aid of this software a fundamental analysis of the influencing variables regarding its importance for the cost calculation can be accomplished. The focus here is exemplary set on the parameters needed while working out an offer in the course of bid invitations.

Against this background in chapter 2 of this thesis the numerous influence parameters according the classifications

- collection personnel
- vehicle park data and cost
- container data and costs
- boundary conditions and performance data of the collection

were first individually defined and afterwards merged in a calculation of the logistics costs.

In Chapter 3 the calculating software SOKRATES was introduced. This software provides a unique combination of the following procedures

- classification of the collection areas depending on settlement structures in order to identify characteristic data that influence the collection's efficiency,
- classical route planning supported by suitable heuristics,
- the calculation of cost for the municipal collection-logistics.

It thus offers a tool for a fast and exact calculation of cost while at the same time generating realisable route plans. This software supports the user via input masks and

and menus that permit the input and variation of the data necessary for the cost calculation and thus secures at the same time a complete and a stringent planning basis. On basis of the entered data the software performs an automatic calculation of the arising logistics costs in the considered waste collection area. In order to achieve realistic and practical results a complete self optimizing area and route planning on basis of suitable heuristics is worked out.

After the computation detailed results are displayed by the software. These are, apart from the information about the total costs,

- number and types of the vehicles and the personnel corresponding to each day,
- working times,
- driving distances,
- loads and
- costs for the single emptying of a container

Furthermore the route planning performed parallel to the calculation is displayed in the form of route lists, which can also be shown on a survey map of the region.

Road-exact planning that is provided by the usual route planning software solutions available at the market is very time-consuming both concerning the necessary data acquisition and the actual computation. In order to avoid this disadvantage, route planning and cost calculation by SOKRATES are performed area-exactly. The areas in this context represent individual small communities or districts. Within the boundaries of these areas the conditions for the collection can be regarded to the greatest possible extent as constant.

The driving distances between the areas are determined over an area-individual mathematical relationship between air-line distance and actual road distance.

The general computation accuracy of SOKRATES can be specified with approx.. 1 per cent. This fluctuation arises due to the use of heuristic procedures for the route optimization, which in most cases can only approach the optimal solution. Keeping in mind today's state-of-the-art an accurate solution for the problem of route planning can not possibly be accomplished within acceptable computing time. To secure the transferability of the results on practical experience the data of a collection area of a large North-Rhine/Westphalian waste management enterprise was recorded. Afterwards the computation results were compared with the actual conditions. The soft-

ware of SOKRATES showed an inaccuracy of 7%. Since there was no current and accurate data for the collecting performance available, it could be shown by an alternative calculation that the result stood in the range of tolerance of the accurate solution.

With the help of SOKRATES in chapter 4 it was for the first time possible to run a dynamic and complete sensitivity analysis, i.e. considering optimal route planning in each case, for the influencing parameters of the costs for the logistics. In order to be able to consider the influence of different region types on the sensitivities, two model regions with in each case 150,000 inhabitants were provided. One of it represents district urban characteristics and the other very rural characteristics

For the representation of the geographical and structural characteristics of these two model regions, they were detailed after particular area circles provided with their coordinates and diameters. These circles were differentiated after the following 8 different settlement structure types:

- Type A: City areas
- Type B: Other town or centre areas
- Type C: Multi-family houses areas
- Type D: One-, two -, multi-family houses areas
- Type E: Low-density areas
- Type F: Scattered and rural areas
- Type G: Trading industry areas
- Type H: Production industry areas

That way the urban model region could close to reality be built up by altogether 370 small single areas and the rural model region – due to its large number of very small residential estates – through in sum 1063 individual areas.

A substantial result of this analysis is that depending on the type of region the examined parameters show very different impacts on the total costs. For this the following major reasons can be identified:

- great differences in the distances covered due to the substantial differences concerning the population density

- the pro capita quantity of waste in urban regions, that is clearly higher compared with rural regions
- the variability of the ideally used vehicle technology in the regions combined with their optimal number of personnel.

On the basis of the results of the sensitivity-analysis in chapter 5 a Pareto-analysis of all influencing parameters was performed. With this a region-dependent priority sequence for the determination of the cost-affecting parameters could be provided in particular for working out an offer in the course of bid invitations. Another information derived from this analysis was the capability to determine which parameters are sufficient for a certain degree of computation accuracy.

In order to provide measurements enabling a more systematic data acquisition while at the same time reducing the therefore needed amount of time chapter 6 was used to examine possibilities to reduce the data variety without affecting the accuracy of the computation results in too large a degree. It was therefore examined to what an extent

- a reduction of the detail accuracy in the surveying and mapping of the large number of individual areas of the different settlement structures,
- a combination of the so far 8 different settlement structure into only 4 different types and
- a simplification of the accuracy of number of containers associated with the individual areas

is possible.

By these three simplifications it could be shown that in the future the expenditure for the field survey and with that the acquisition of data can be substantially reduced up to 40%-50% without a need to abandon an exact determination of the costs.

The SOKRATES software thereby supplies – particularly if including the knowledge from the analyses of the influence parameters – a substantial contribution to a more effective calculation of the logistics costs in the future. Particularly in the context of working out an offer in the course of bid invitations.

1 Einleitung

Die kommunale Abfallwirtschaft in Deutschland unterliegt seit Beginn der 90'er Jahre einem beschleunigtem Wandlungsprozess. Die Ursachen hierfür sind vielfältig. Zum einen bewirkten neue gesetzliche Rahmenbedingungen wie z.B. die im Juli 1991 verabschiedete Verpackungsverordnung und das Wachsen der Märkte für Sekundärrohstoffe eine horizontale Ausdehnung der Entsorgungslogistik. Das bedeutet, dass eine getrennte Sammlung des Hausmülls nach verschiedenen Stoffströmen notwendig und wirtschaftlich wurde. Zum anderen bewirkte unter anderem die im November 1991 verabschiedete TA Siedlungsabfall eine vertikale Ausdehnung der Entsorgungslogistik. Dieses äußert sich in steigenden Transportentfernungen, die wirtschaftlich zum Teil nur noch über mehrstufige Logistikketten d.h. durch Zwischenumschläge und Folgetransporte, zu bewältigen sind.

Die wohl entscheidendste Ursache für den Wandel in der Entsorgungswirtschaft bildet aber der Konzentrationsprozess, der die ursprünglich durch eine Vielzahl kleiner Betriebe geprägte Branche erfasste. Dieses wurde im wesentlichen durch das Eindringen großer Energieversorgungsunternehmen und großer international tätiger Entsorgungsunternehmen auf den deutschen Markt verursacht. So wurden im Rahmen dieser Entwicklung in den Jahren 1992 bis 2000 insgesamt 564 Firmenzusammenschlüsse in der Entsorgungsbranche angezeigt, **Bundeskartellamt 2000**. Auf der anderen Seite steht eine durch Übernahmen seitens der privaten Entsorgungswirtschaft sinkende Anzahl von Betrieben der öffentlichen Hand, die ihrerseits durch Umwandlungen von Regiebetrieben zu Eigenbetrieben oder schließlich zu Gesellschaften mit beschränkter Haftung (GmbH) versuchen flexibler auf dem Markt agieren zu können.

Die beschriebene Verdichtung und Wandlung des Marktes wurde durch ein im Laufe der neunziger Jahre rapide sinkendes Umsatzwachstum der Entsorgungsbranche, das in den Jahren 1997 bis 1999 bis hin zu einer zwischenzeitlichen Rezession führte, noch beschleunigt, **DB Research 2000**.

Diese - noch nicht abgeschlossene - Entwicklung der Branche führte zu einer scharfen Konkurrenzsituation, **Kemper 2003**. In deren Mittelpunkt steht vor allem die kommunale Abfallentsorgung, die alleine etwa 40%-60%¹ des Gesamtumsatzes der deutschen Entsorgungswirtschaft erbringt. Auf Basis eines Gesamtumsatzes von etwa 39 Mrd. €, **BDE 2000-1**, bedeutet dieses ein Marktvolumen zwischen 15,6 - 23,4 Mrd. €.

Die Kosten der kommunalen Abfallentsorgung setzen sich aus den 4 Blöcken

- Verwaltung,
- Verwertung,
- Beseitigung und
- Logistik,

zusammen. Die Logistik, also das Sammeln, Transportieren und Umschlagen der Abfälle (im Folgenden unter dem Begriff Sammellogistik zusammengefasst), bestreitet hierbei den größten Anteil. In der Literatur sind für hierfür Werte zwischen 30%-40% nach **Bilitewski 2000** und 57% nach **Hofmann 2000** angegeben. Nicht nur aufgrund der aus diesem Anteil resultierenden wirtschaftlichen Bedeutung, sondern auch weil sie von den Entsorgungsunternehmen direkt steuerbar ist, spielt die Logistik in der kommunalen Entsorgungswirtschaft daher eine zentrale Rolle.

Die Berechnung dieser Sammellogistikkosten ist aufgrund der Vielzahl der zu berücksichtigenden Einflüsse durch eine hohe Komplexität, großen Aufwand und nur bedingte Genauigkeit gekennzeichnet. Nur mit Hilfe EDV-technischer Unterstützung und neuer Methoden kann hier zukünftig eine effizientere und exaktere Kalkulation gewährleistet werden.

¹ Erkenntnis auf Basis interner Recherchen des Institutes für Fördertechnik und Logistik der Universität Stuttgart bei den Verbänden BDE und VKS

1.1 Problemstellung und Stand der Technik

Bisher fehlt ein durchgängiges EDV-gestütztes Hilfsmittel zur schnellen Berechnung der Kosten für die Sammellogistik, das sich gleichermaßen für die

- Erstellung von Angeboten im Rahmen von Ausschreibungsteilnahmen,
- Sensitivitätsanalysen,
- Nachkalkulationen oder
- Überprüfung von Effekten geplanter Optimierungsmaßnahmen

einsetzen lässt.

Mit am Markt erhältlichen Tourenplanungsprogrammen lässt sich zwar die erforderliche Sammellogistik abbilden bzw. optimieren, die Kostenberechnung wird jedoch von ihnen nicht durchgeführt bzw. es werden nur Statistiken über die Kosten ausgegeben und daher nicht die detaillierte Kostenberechnung wie in dieser Arbeit. Der wesentliche Nachteil ist aber der große Zeitbedarf für eine solche Planung. Selbst wenn die erforderlichen Kenndaten vorliegen, ist für die notwendigen Vorarbeiten und die eigentliche Berechnung, je nach Größe des Entsorgungsgebietes, etwa ein Personalmonat zu veranschlagen, **Medwedeff 2000**. Erfahrungen aus durchgeführten Projekten des Institutes für Fördertechnik und Logistik zeigen, dass die tatsächliche Dauer, abhängig von der Güte der zu Beginn vorliegenden Daten, zum Teil sogar erheblich höher liegt. Dieser Aufwand ist im Rahmen der o.g. Zielsetzungen keinesfalls akzeptabel.

Die Kosten werden daher i.d.R. auf Basis vieler einzelner überschlägiger Tabellenkalkulationen unter Hinzuziehung der Erfahrungswerte des jeweiligen Unternehmens berechnet. Diese im wesentlichen manuell durchgeführte Vorgehensweise erfordert viele Vereinfachungen der Berechnung in Form von Mittelungen und Pauschalisierungen. Zusätzlich birgt vor allem auch das Fehlen von Überwachungsmechanismen hinsichtlich einer vollständigen und stringenten Berücksichtigung der erforderlichen Parameter, wie z.B. der Sammelleistungen und deren Zuordnung auf die Sammelgebiete und die eingesetzte Fahrzeugtechnik, viele Fehlerquellen. Ein weiterer Schwachpunkt ist, dass die im Zuge heutiger Verfahren lediglich überschlägig durch-

geführte Sammel-Gebietsplanung die Umsetzbarkeit des Berechnungsergebnisses nicht genau nachweisen kann.

Das Resultat ist eine z.T. erhebliche Unsicherheit bei der Berechnung der Kosten, d.h. es können weder gesicherte Angaben über die zu erwartende Ertragslage noch über die Auswirkung von Umstrukturierungsmaßnahmen gemacht werden.

Voraussetzung für die sichere Berechnung der Sammellogistikkosten sind zudem genaue Kenntnisse über die Randbedingungen für die Sammlung im zu entsorgenden Gebiet. Nur hiermit kann die dort idealerweise einzusetzende Technik für die Sammlung, deren tatsächliche Leistungsfähigkeit und schließlich der notwendige Aufwand bzw. die entstehenden Kosten für die Dienstleistungserbringung ermittelt werden. Um zu einer genauen beziehungsweise verlässlichen Kalkulation der Sammellogistikkosten zu kommen, sind daher Vor-Ort-Analysen (vor allem in bisher nicht bekannten Gebieten) des zu entsorgenden Gebiet unerlässlich. Da aber die Einflussgrößen dieser Randbedingungen, wie z.B. Behälterfüllgewichte, Sammelleistung etc., bisher nicht grundlegend untersucht wurden, besteht letztlich eine Unsicherheit über den jeweils zu treibenden Aufwand für deren Ermittlung. Die genaue Kenntnis der Einflüsse könnte hier zukünftig eine Erleichterung durch Konzentration auf die entscheidenden Parameter bei gleichzeitig hoher Ergebnissicherheit ermöglichen.

Bis heute fehlen aber systematische und praxisnahe Untersuchungen aus denen ersichtlich ist welche Auswirkung eine definierte Variation der einzelnen Einflussparameter auf die Gesamtkosten aufweist. Gleichermäßen fehlt ein geeignetes Instrumentarium (vgl. 1. Absatz) mit dessen Hilfe diese Analyse durchgeführt werden kann. Erste Teiluntersuchungen zu dieser Problemstellung sind in **Kirchhoff 1997** zu finden. Hierbei handelt es sich jedoch um statische Analysen, d.h. bei einer Änderung der Parameter bleiben Auswirkungen auf die Gebiets- und Tourenplanung unberücksichtigt. Zudem beruhen sie auf nur einem Modell einer lediglich sehr kleinen Region und lassen damit keine Rückschlüsse auf den Einfluss der Struktur verschiedener Entsorgungsgebiete zu.

Der aus dem bisher geschilderten Forschungsbedarf abgeleitete Schwerpunkt der vorliegenden Arbeit liegt daher in der Erarbeitung einer neuen Methode zur schnellen und exakten Berechnung der Sammellogistikkosten in der kommunalen Entsorgung. Hierfür wird eine eigens erstellte Berechnungssoftware vorgestellt. Erst mit diesem

Hilfsmittel kann im Folgenden eine grundlegende Analyse der in der Kostenberechnung zu berücksichtigenden Einflussgrößen hinsichtlich ihrer Wichtigkeit durchgeführt werden. Der Fokus soll hierbei exemplarisch auf den, für die Berechnung eines Angebotes im Rahmen einer Ausschreibungsteilnahme relevanten Parametern liegen.

1.2 Zielsetzung und Vorgehensweise

Untersuchungsgegenstand dieser Arbeit ist die Ermittlung und Darstellung der Kostensituation im Bereich der kommunalen Sammlung von Abfällen im Holsystem. Die Sammlung von Abfällen im Bringsystem, die sich hinsichtlich ihrer Logistik wesentlich vom Holsystem unterscheidet, findet bei der getrennten Wertstoffsammlung oder bei der Kleinstmengensonderabfallsammlung mit dem sogenannten Schadstoffmobil Anwendung, **Wehking 1991**. Dieses Sammelverfahren wird im Folgenden nicht näher betrachtet. Das aus der geschilderten Problemstellung abgeleitete Ziel ist die Vereinfachung der Berechnung der in diesem Zusammenhang entstehenden Kosten für die Sammellogistik.

In Kapitel 2 dieser Arbeit sollen zunächst alle Parameter, die einen Einfluss auf die Gesamtkosten für die Sammellogistik haben, definiert werden. Im Anschluss werden diese Parameter zu einer exakten Berechnung der Kostenarten und schließlich der Gesamtkosten zusammengeführt.

Für die Kostenkalkulation wird in Kapitel 3 eine Software vorgestellt, die die Dateneingabe unterstützt, die Berechnung automatisiert und insbesondere unter Berücksichtigung der Einflussgrößen der Parameter (vgl. Kap. 4) beschleunigt.

Diese Software stellt eine erstmalige Kombination der Verfahren

- der Einteilung von Sammelgebieten nach Siedlungsstrukturen (vgl. **Gallenkemper 1977** und **Schneider 1996**) zur Ermittlung charakteristischer leistungsbeeinflussender Daten für die Sammlung,
- der klassischen Tourenplanung mit Hilfe dafür geeigneter Heuristiken und
- der Kostenberechnung für die kommunale Sammellogistik darstellen

und somit eine Lösung zur schnellen und exakten Kostenberechnung bei gleichzeitiger Erstellung umsetzungsfähiger Tourenpläne bieten.

Zusätzlich wird, durch die Überwachungsmechanismen zur vollständigen Eingabe aller Planungsdaten sowie das Wegfallen manueller und damit häufig fehlerbehafteter Berechnungen, eine hohe Ergebnissicherheit gewährleistet.

Eine deutliche zeitliche Verkürzung der Gesamtberechnungen kann insbesondere dann erreicht werden, wenn verschiedene Szenarien bzw. Varianten berechnet werden sollen, da nach der einmaligen Dateneingabe lediglich eine neue automatisierte Berechnung angestoßen werden muss.

Erst diese Software ermöglicht die in Kapitel 4 beschriebene Erstellung einer Sensitivitätsanalyse zur Ermittlung des Einflusses verschiedenster im Rahmen von Ausschreibungsteilnahmen zu ermittelnder Parameter. Um diese durchzuführen, werden zwei detaillierte Modellregionen, davon eine mit ländlichen und eine mit städtischen Charakteristika, entworfen. Grund für den Entwurf dieser verschiedenen Modellregionen ist, dass die Strukturcharakteristik eines Entsorgungsgebietes einen wesentlichen Einfluss auf das Kostengerüst der Sammellogistik hat. Die gleichen Einflussparameter weisen je nach Region sehr unterschiedliche Auswirkungen auf die Gesamtkosten auf.

Die durchgeführte Sensitivitätsanalyse (Kap. 4) gibt Aufschluss darüber welche Auswirkungen die zahlreichen Berechnungsparameter auf die Gesamtkosten aufweisen. In Kapitel 5 dieser Arbeit wird daraufhin eine Pareto-Analyse der Einflussparameter erstellt, die zeigt welche Parameter die entscheidende Bedeutung für die Höhe der Gesamtkosten haben.

Um den Zeitaufwand für die Erstellung einer Kalkulation der Sammellogistik weiter zu verkürzen, werden in Kapitel 6 Möglichkeiten untersucht, die die Datenaufnahme im Sammelgebiet beschleunigen. Dieses betrifft jene Parameter, die durch die speziellen Eigenheiten des Entsorgungsgebietes bestimmt werden, da sie nur durch vor-Ort-Untersuchungen ermittelt werden können. Bisher ist unklar bis zu welchem Genauigkeitsgrad die Ermittlung sinnvoll ist. Diese Parameter werden in ihrer Detailgenauigkeit schrittweise reduziert werden. Dabei wird ein ständiger Abgleich zwischen dem Grad der Vereinfachung und der verbleibenden Genauigkeit des Berechnungsergebnisses durchgeführt werden.

Abschließend wird in Kapitel 7 zusammenfassend auf die Leistungsfähigkeit aber auch die Grenzen des entwickelten Verfahrens bzw. der erstellten Software eingegangen werden.

1.3 Abgrenzung des Untersuchungsbereiches

In der kommunalen Sammlung im Holsystem werden, je nach Umfang und Gestaltung des Entsorgungsauftrages, bis zu fünf verschiedene Fraktionen abgefahren.

Dieses sind

- Restabfall
- Biomüll
- Papier, Pappe, Kartonage (im Folgenden PPK)
- Leichtverpackungen (im Folgenden LVP)
- Sperrmüll

Die Abfuhr von Sperrmüll unterscheidet sich grundlegend von der Sammlung der anderen Fraktionen. Während die vier erstgenannten Fraktionen von den Haushalten i.d.R. mit Hilfe von Gebinden gesammelt werden, die anschließend vom Entsorgungspersonal in das Sammelfahrzeug umgeleert werden, wird der Sperrmüll systemlos gesammelt, d.h. er wird lose an der Straße bereitgestellt und ohne Gebinde umgeschlagen.

Eine weitere Eigenschaft der Sperrmüllsammlung ist die Unterschiedlichkeit der praktizierten Organisationsformen. Sperrmüll wird entweder als sog. "flächendeckende Abfuhr", d.h. eine Abfuhr im gleichbleibenden Turnus, oder in Form des sog. "Sperrmüll-auf-Abruf" abgefahren. Die letztere Organisationsform hat den Vorteil, dass die Sammellogistikkosten gegenüber der flächendeckenden Abfuhr deutlich geringer sind. Nachteilhaft ist jedoch, dass damit die Kosten für Verwaltungs- und Dispositionsaufwand im starken Maße steigen.

Der Fokus der vorliegenden Arbeit liegt auf der Berechnung der Sammellogistik. Hierzu gehört auch eine Betrachtung der Knotenpunkte im logistischen System (z.B. Fuhrparkstandorte etc.) und die Berücksichtigung der in diesem Zusammenhang entstehenden Kosten, nicht jedoch eine Optimierung der verwaltungsinternen Abläufe. Da, je nach Organisationsform der Sperrmüllabfuhr, der Anteil der Kosten für ver-

waltungsinterne Abläufe u.U. einen Großteil der Gesamtkosten ausmacht, kann durch die im Zentrum dieser Arbeit stehende Betrachtung der Sammellogistikkosten für diesen Bereich keine direkte Aussage über die sich ergebenden Einsparpotentiale gemacht werden. Die hierfür parallel notwendige detaillierte Untersuchung der waltungsinternen Abläufe würde den Rahmen dieser Arbeit sprengen. Aus diesem Grund wird die Sperrmüllsammlung bei allen weiteren Betrachtungen ausgeklammert.

Zur Eingrenzung des Aufwandes werden die Untersuchungen der Kosteneinflüsse am Beispiel der Sammlung von Restabfall durchgeführt. Die wesentlichen Unterschiede zu den anderen genannten Fraktionen bestehen z.B. in der Behälterdichte, den Behältergewichten etc. Diese Einflüsse werden in der Sensitivitätsanalyse untersucht, so dass Rückschlüsse auf die nicht näher betrachteten Fraktionen möglich sind.

2 Kostenberechnung von Entsorgungssammeldienstleistungen

Innerhalb der Entsorgungslogistik wird die Förder-, Lager- und Handhabungstechnik für folgende Teilprozesse eingesetzt:

- Sammeln,
- Transportieren,
- Umschlagen und
- Lagern.

Zusammen mit dem Prozessschritt "Behandeln" ergeben sich die sogenannten STULB-Prozesse, **Wehking 1996**.

In der kommunalen Abfallwirtschaft erfolgt dabei die Organisation und Kostenrechnung für die Prozesse Sammeln, Transportieren und Umschlagen getrennt von der für die Lagerung und Behandlung. Die Kosten für die beiden letztgenannten Prozesse sind zum einen fast ausschließlich abhängig von der Art des Abfalls und sind zum anderen, da die Deponien bzw. Behandlungsanlagen häufig (mit Ausnahme der wenigen großen privaten Entsorgungsunternehmen) in der Hand kommunaler Körper-

schaften sind, nur im geringen Maße vom Entsorgungsdienstleister beeinflussbar. Sie sollen daher in dieser Arbeit nicht näher betrachtet werden.

Um im Rahmen der zu untersuchenden drei Teilprozesse Sammeln, Transportieren und Umschlagen (STU-Prozesse) einen ganzheitlichen Ansatz zur Betrachtung der Kosten für Entsorgungssammeldienstleistungen zu erreichen, müssen die entstehenden Teil-Kosten im betreffenden logistischen Gesamtsystem betrachtet werden. Dieses bedeutet, dass es nicht ausreicht die Kosten allein für die Durchführung der Prozesse zu berücksichtigen. Von besonderer Bedeutung ist es die Kosten für die Organisation und Bereitstellung der notwendigen Infrastruktur (z.B. Betriebsstellen) mit in die Betrachtung einzubeziehen.

Die Notwendigkeit dieses Vorgehens soll anhand des Teilprozesses "Transport" exemplarisch dargestellt werden.

Die Kosten für den Transport werden wesentlich durch die jeweiligen Transportentfernungen beeinflusst. Die Wege, die dabei zurückzulegen sind, sind die zwischen dem Betriebshof bzw. Fuhrparkstandort, dem Revier und der Entsorgungsanlage bzw. dem Umschlagplatz.

Je größer also die Anzahl von Betriebshöfen und Umschlagplätzen gewählt wird, desto geringer sind die für Entsorgung eines Gebietes entstehenden reinen Transportkosten, die Teil der Sammellogistikkosten sind. Hingegen zieht ein solches Vorgehen selbstverständlich deutlich höhere Kosten für diese Infrastruktur mit sich. Andererseits können die Einsparpotentiale z.B. durch Auflösung einer Betriebsstelle durch erhöhte Kosten für die Sammellogistik aufgezehrt werden.

Das zu betrachtende logistische Gesamtsystem soll daher wie folgt definiert werden: "Ein logistisches Gesamtsystem zur Betrachtung der Kosten für Entsorgungssammeldienstleistungen besteht aus allen für die Erbringung einer Sammeldienstleistung notwendigen Komponenten. Diese Komponenten sind im Einzelnen das Sammel- und Dispositionspersonal, die Sammelfahrzeuge, die Behältertechnik, der bzw. die Fuhrparkstandort(e) und alle Einrichtungen zum Betrieb und Wartung der Fahrzeuge sowie der notwendigen Sozialeinrichtungen für das Personal. Die Systemgrenzen sind somit - als Ausgangspunkt der Prozesskette - der Behälterstandplatz und die Entsorgungsanlage als Ort des letzten Umschlags am Ende der Prozesskette."

Die von diesen einzelnen Komponenten verursachten Kosten können in den Kostenarten Personalkosten für die Sammlung, Kosten für den Fuhrpark, Kosten für Verwaltung bzw. Organisation und Behälterkosten zusammengefasst werden. Es ist jedoch zu beachten, dass diese Kostenarten wesentlich von den Randbedingungen und Leistungsdaten der Sammlung beeinflusst werden. Es ergibt sich somit die in Bild 1 dargestellte Kostenstruktur des logistischen Gesamtsystems für die Erbringung von Entsorgungssammeldienstleistungen.

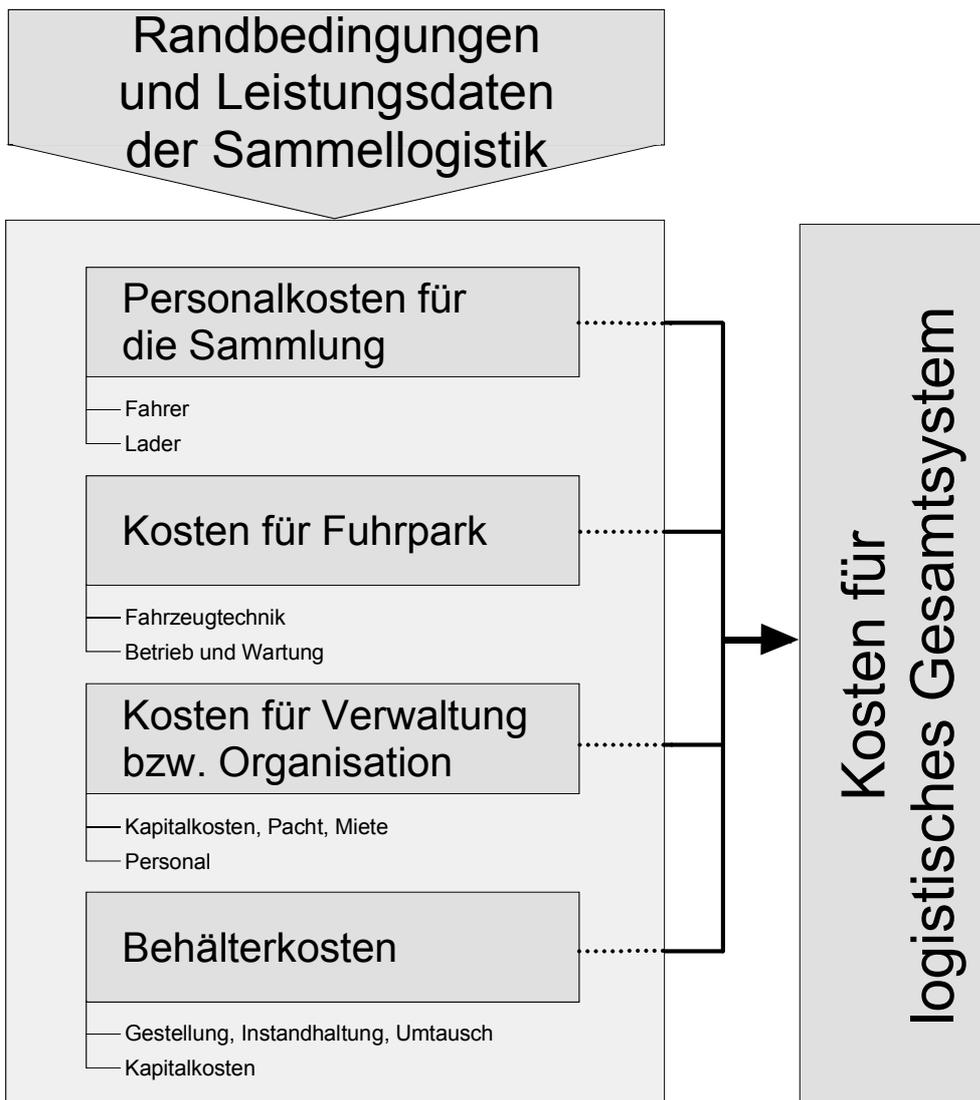


Bild 1: Gesamtstruktur der Kostenarten des logistischen Gesamtsystems

2.1 Auflistung der Einflussparameter

Im Folgenden sollen die einzelnen Parameter definiert werden. Für die Strukturierung der in die Berechnung des logistischen Gesamtsystem eingehenden Einflussparameter wird aufgrund der dargestellten Zusammenhänge (vgl. Bild 1) eine Aufteilung nach den 4 Kostenarten

- Personalkosten der Sammlung,
- Kosten für Fuhrpark,
- Kosten für Verwaltung,
- Behälterkosten

und den, diese Kosten hinsichtlich ihres Mengengerüsts beeinflussenden,

- Randbedingungen und Leistungsdaten der Sammlung und

vorgenommen.

Die in den folgenden Abschnitten erläuterten und für die vorliegende Arbeit zugrundegelegten Parameter erheben hinsichtlich ihrer Detaillierung keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Dieses gilt insbesondere für den Parameter der Sammelleistung (vgl. Kapitel 2.1.4.10), der zusätzlich zu den geschilderten wesentlichen Hintergründe noch von einer großen Vielzahl weiterer Randbedingungen, wie z.B. dem nur qualitativ beschreibbaren Grad der Personalmotivation oder den Witterungsbedingungen, beeinflusst wird. Ziel der folgenden Aufzählung ist es einen sinnvollen Kompromiss zwischen Detaillierungsgrad und Übersichtlichkeit der Parameter darzustellen.

Alle für die Berechnungen der Kosten sowie der Sensitivitäten (vgl. Kapitel 4) tatsächlich zugrundegelegten Ausgangswerte der Parameter sind für die beiden Modellregionen im Anhang C (Ausgangswerte für die städtische Modellregion) und Anhang D (Ausgangswerte für die ländliche Modellregion) dargestellt.

2.1.1 Sammlungspersonal

In diesem Kapitel werden alle Parameter definiert, die einen direkten Einfluss auf die entstehenden Personalkosten haben. Hierzu gehören die Arbeitszeiten, die Lohnkosten und der Personaleinsatz.

2.1.1.1 Netto-Arbeitstage im Jahr

Von 365 Tagen im Jahr entfallen durchschnittlich etwa 104 Tage auf Wochenenden. Die durchschnittlich etwa 10 Feiertage pro Jahr in Deutschland werden durch ein Nachholen der Sammlung (i.d.R. am darauffolgenden Samstag) wieder ausgeglichen.

Von den verbleibenden 271 Bruttoarbeitstagen pro Jahr müssen noch der bezahlte Urlaub, Krankheitstage und Tage für evtl. Aus- und Weiterbildungsmaßnahmen oder die Wahrnehmung von Aufgaben der Personalvertretung abgezogen werden, um die Nettoarbeitstage eines Arbeitnehmers zu berechnen.

Für die sich ergebende Differenz zu den Bruttoeinsatztagen muss eine Personalreserve vorgehalten werden, vgl. Kapitel 2.1.1.5.

2.1.1.2 Arbeitsstunden pro Tag

Die regulären Arbeitsstunden, die das Sammelpersonal am Tag leisten darf, sind über §3 des Arbeitszeitgesetzes und über die Tarifvereinbarungen geregelt. In der Praxis der Entsorgungsbranche kommen eine Vielzahl von Tarifvereinbarungen zur Anwendung auf die hier nicht im Einzelnen eingegangen werden soll.

Grundlage der vorliegenden Arbeit bilden die Tarifverträge der privaten Entsorgungswirtschaft nach BDE (West), **BDE 2002-2**.

2.1.1.3 Überstunden

Zusätzlich zu den regulären Arbeitsstunden werden Überstunden abgeleistet. Laut Arbeitszeitgesetz darf sich die tägliche Arbeitszeit dadurch auf bis zu 10h erhöhen. Überstunden entstehen in der Praxis aufgrund der Unwägbarkeiten bei der Durchführung der Sammlung (z.B. Verkehrstau, Fahrzeugdefekt, Übermengen infolge von Feiertagen, extreme Wetterlagen etc.).

2.1.1.4 Besatzungsstärke der Fahrzeuge

Je nach Fahrzeugtechnik, Sammelfraktion, Service etc. kann die Anzahl des idealerweise eingesetzten Sammelpersonals variieren. Zusätzlich zum Fahrer werden hier in der Praxis bis zu 6 Lader eingesetzt, **VKS 1995**.

Die Zahl der eingesetzten Lader ist von den folgenden vier wesentlichen Faktoren abhängig:

- Fahrzeugtechnik
- Behältertechnik
- Einwohner- bzw. Behälterdichte
- Servicegrad der Sammlung

Unter der Berücksichtigung der hier genannten vier Randparameter sind schließlich die entstehenden Personalkosten zu beachten, um die Entscheidung über den Personaleinsatz nach dem Ziel größter Wirtschaftlichkeit auszurichten.

2.1.1.5 Personalreserve

Wie im Kapitel 2.1.1.1 erläutert, besteht eine Differenz zwischen den 261 Bruttoarbeitstagen pro Jahr und den von einem Arbeitnehmer tatsächlich abgeleiteten Arbeitstagen. Diese Differenz muss, da die Erbringung einer Sammeldienstleistung einen konstanten Personaleinsatz erfordert, durch eine Personalreserve ausgeglichen werden.

In Praxis kommt es i.d.R. zu unterschiedlichen Anzahlen von Krankheitstagen von Fahrern und Ladern. Aus diesem Grund ist hier eine nach den Aufgabenbereichen getrennte Berücksichtigung der Personalreserve vorzusehen.

2.1.1.6 Lohn- und Zusatzkosten

Die Personalkosten setzen sich aus dem Grundlohn, dem Urlaubsgeld, etwaigen Sonderzahlungen und den gesetzlichen Abgaben (Krankenversicherung, Rentenversicherung etc.) zusammen.

Neben diesen Personalkosten fallen Zusatzkosten für z.B. die Arbeitskleidung, Haftpflicht- und Unfallversicherung oder Fort- und Weiterbildungsmaßnahmen an.

2.1.2 Fuhrparkdaten, -kosten

Im folgenden Abschnitt werden alle im Zusammenhang mit der Gestaltung und Organisation des Fuhrparks stehenden Parameter definiert.

2.1.2.1 Fahrzeugsysteme

Das Bild 2 zeigt eine Zusammenstellung der zur Sammlung von Abfällen eingesetzten Fahrzeuge.

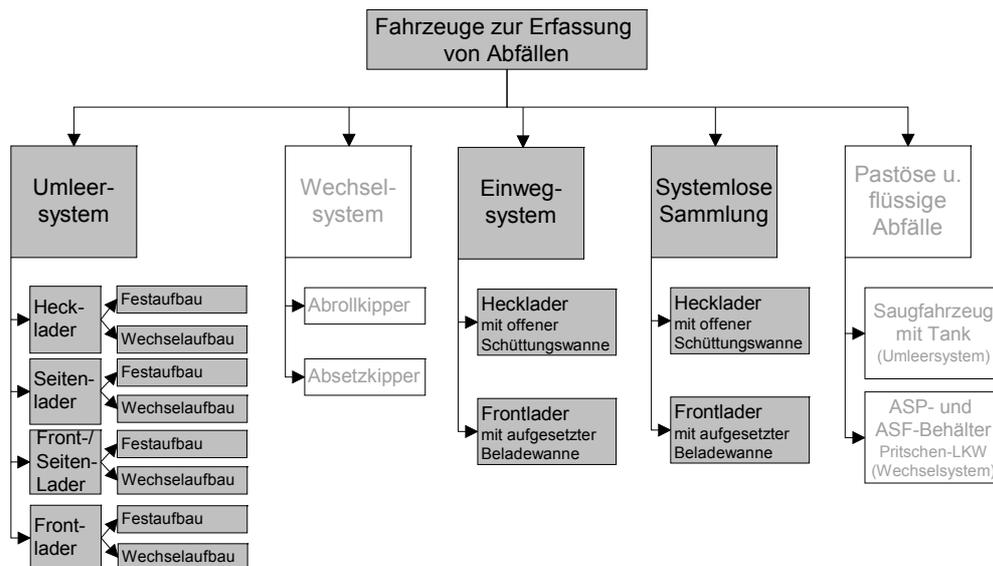


Bild 2: Fahrzeuge zur Erfassung von Abfällen, **Wehking 2003**

Die in der kommunalen Sammellogistik im Holsystem eingesetzten Fahrzeuge sind grau hinterlegt dargestellt. Wie bereits in Kapitel 1.2 erläutert, wird die Sperrmüll-Sammlung nicht näher betrachtet.

Die für die Sammlung im Umleer- und Einwegsystem verwendeten Sammelfahrzeuge können nach drei verschiedenen Grundtypen unterschieden werden (Bild 3). Das wesentliche Unterscheidungsmerkmal ist dabei der Anbringungsort der Schüttung.



Bild 3: Hecklader

Frontlader

Seitenlader

Abweichend von dieser traditionellen Einteilung wird seit Ende der 80'er Jahre zusätzlich eine Variante der Frontladertechnik, der sogenannte "Front-/ Seitenlader", auf dem Markt angeboten. Bild 4) zeigt ein solches Fahrzeug am Beispiel des Packer I der Firma Faun.



Bild 4: Front-/Seitenlader am Beispiel eines Packer I, **Edelhoff 2000**

Detaillierte Beschreibungen dieser verschiedenen Fahrzeugtypen sind in **Tabasaran 1994**, **Bilitewski 1994** und **Schweitzer 1995** zu finden.

Für den Fall, dass Fahrzeuge mit Wechselaufbau eingesetzt werden, ist der Einsatz von Transportsystemen erforderlich, die den Sekundär- bzw. Ferntransport des Abfalls oder der Wechsel-Container übernehmen. Hierbei handelt es sich i.A. um Abgleitkipper (Bild 5) oder Abrollkipper (Bild 6), die bis zu zwei Container transportieren können.

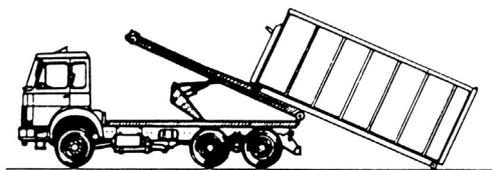


Bild 5: Abgleitkipper, **Tabasaran 1994**



Bild 6: Abrollkipper (links) bzw. Abrollkipper mit Anhänger (rechts), **Tabasaran 1994**

Das zum MST-System gehörige Transportfahrzeug "Transportlift" mit Anhänger kann als 40 t Gliederzug mit 5 Achsen bis zu drei Container transportieren (Bild 7). Jedoch

sind die in diesem System verwendeten Container mit einem Volumen von 20 m³ kleiner als die konventionellen Wechselbehälter.

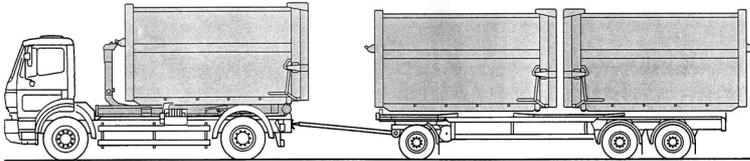


Bild 7: MSTS-Transportlift mit Anhänger, **Faun 2000**

2.1.2.2 Aufbauart

Je nach Art des Aufbaus verfügen die eingesetzten Fahrzeuge über einen Festaufbau (vgl. Bild 3) oder einen Wechselaufbau (vgl. Bild 4).

Bei Sammelfahrzeugen mit festem Aufbau sind Sammlung und Transport nicht oder nur über einen losen Umschlag der gesammelten Abfälle trennbar, d.h. diese Fahrzeuge müssen neben der Hauptaufgabe der Sammlung in der Regel auch für den Transport der Abfälle eingesetzt werden. Der reine Transport der Abfälle mit einem Sammelfahrzeug ist jedoch teurer als mit einem Transportsystem. Dieses ist im wesentlichen durch die höheren Kapitalbindungskosten eines Sammelfahrzeuges und die größeren Personalkosten, da i.d.R. die gesamte Sammelmannschaft für die Transportzeit gebunden ist, begründet.

Fahrzeuge mit Wechselaufbau erlauben eine höheren produktiven Zeitanteil, d.h. die effektive Sammelzeit ist bei ihnen länger. Die zu bewältigenden primären Transportwege sind kürzer, da der Sekundär- bzw. Ferntransport von speziellen Transportfahrzeugen übernommen wird. Jedoch erfordert der Einsatz von Fahrzeugen mit Wechselaufbau die Errichtung bzw. den Unterhalt von Umschlagsplätzen in der Umgebung der Sammelreviere.

2.1.2.3 Maximale Zuladung

Für die Abfallsammlung werden Fahrzeuge mit 2 oder 3 Achsen eingesetzt. Die zulässigen Gesamtgewichte sind nach StVZO geregelt und betragen 18 t für 2-achs-Fahrzeuge und 25 t für 3-achs-Fahrzeuge. Ist bei einem 3-achs-Fahrzeug die Antriebsachse mit einer Doppelbereifung ausgestattet und das Fahrzeug mit einer Luftfederung oder einer als gleichwertig anerkannten Federung ausgestattet, so ist ein Gesamtgewicht von bis zu 26 t zugelassen **Braun/ Kolb 1995**.

2.1.2.4 Ausnutzungsgrad der maximalen Zuladung

Während bei der Sammlung von Biomüll und Restabfall eine vollkommene Ausnutzung der möglichen Nutzlast der Fahrzeuge möglich ist, kann dieses bei der Sammlung der Fraktionen PPK und LVP i.d.R. nicht erreicht werden. Hierfür gibt es folgende Ursachen:

- Die Fraktionen LVP und - je nach Zusammensetzung - auch PPK weisen ein relativ geringes spezifisches Gewicht auf, so dass das Aufbauvolumen die Sammelmenge begrenzt, bevor das zulässige Gesamtgewicht erreicht ist.
- Da LVP i.d.R. einer Nachsortierung zugeführt wird, ist zudem eine höhere Verdichtung nicht wünschenswert, da dadurch die Vereinzelnung der Verpackungen erschwert wird.
- PPK weist eine relativ schlechte Kompressibilität (insbesondere beim Drehtrommelprinzip) auf, die sich mit steigendem Anteil sperriger Kartonagen zunehmend verschlechtert.

Bei der Berechnung der täglich notwendigen Entsorgungsfahrten ist somit, je nach gesammelter Fraktion, nicht die maximal zulässige Nutzlast ausschlaggebend sondern die tatsächlich zu erreichende Zuladung.

2.1.2.5 Anteil Reservefahrzeuge

Um die Erbringung der Sammeldienstleistung gewährleisten zu können, müssen Ersatzfahrzeuge vorgehalten werden. Diese kommen zum Einsatz, wenn ein Einsatzfahrzeug wegen eines Defektes ausfällt, Wartungen oder z.B. einer Hauptuntersuchung (HU) unterzogen werden muss.

Der Anteil der vorzuhaltenden Reservefahrzeuge am Gesamtbestand der Fahrzeuge ist dabei abhängig

- vom eingesetzten Fahrzeugtyp (Heck-, Seiten-, Front-/Seiten- oder Frontlader). Je aufwendiger die Technik -und hier insbesondere die Schüttungstechnik- ist, desto höher ist i.d.R. die Ausfallwahrscheinlichkeit.
- von der durchschnittlichen täglichen Einsatzdauer, den Fahrleistungen und der zu erbringenden Sammelleistung.

Ersatzfahrzeuge verursachen zum einen Kapitalkosten (in Form von Abschreibungskosten) zum anderen Fixkosten (z.B. durch Fahrzeugsteuer und Versicherungskosten). Daher ist darauf zu achten, ihre Anzahl möglichst gering zu halten.

2.1.2.6 Investitionskosten für Fuhrpark

Im Folgenden werden die bei der Zusammenstellung der Investitionskosten für die Sammelfahrzeuge berücksichtigten Einzelpositionen dargestellt. Im Einzelfall können durch Sonderausstattungen zusätzliche Kosten auftreten, die in diesem Fall einer der genannten Positionen hinzuaddiert werden müssen.

- Kosten Fahrgestell
- Kosten Aufbau
- Kosten Schüttung
- Ggf. Kosten Wechselbehälter, die Anzahl der je Sammelfahrzeug mit Wechselaufbau vorzuhaltenden Wechselbehälter ist abhängig von der Transportlogistik (vgl. Berechnungen in Kapitel 2.2).
- Kosten System Behälter-Identifikation, sollte eine Behälteridentifikation vorgesehen sein, so erfordert die dafür notwendige Technik am Fahrzeug zusätzliche Investitionen (vgl. Kap. 2.1.3.6)
- Kosten System Behälter-Verwiegung, bei einer Erweiterung der Möglichkeiten einer Behälteridentifikation durch eine Behälterverwiegung (vgl. Kap. 2.1.3.6) fallen für die Ausrüstung des Fahrzeuges (und der Behälter) zusätzliche Kosten an.

Bei der Berechnung der Investitionskosten für Transportfahrzeuge werden folgende Kosten aufgenommen:

- Kosten Fahrgestell
- Kosten Aufbau
- Kosten Anhänger, um Fahrzeuge für den Sekundär- bzw. Ferntransport von Wechselbehältern optimal zu nutzen, werden diese, wenn möglich, i.d.R. mit einem Anhänger ausgestattet.

2.1.2.7 Verkäuferlöse für Fuhrpark

Die im Fuhrpark befindlichen Fahrzeuge können, abhängig von der geplanten Nutzungsdauer, nach der Ausmusterung auf dem Sekundärmarkt veräußert werden. Mit

dem Restwert erzielte Erlöse müssen bei der Berechnung der Kapitalkosten für den Fuhrpark berücksichtigt werden, **Warnecke 1993**.

2.1.2.8 Kraftstoffkosten

Sammelfahrzeuge für die Entsorgung werden meist mit Diesel betrieben. In einigen wenigen Sammelgebieten laufen jedoch bereits Versuche mit alternativen Kraftstoffen wie Biodiesel oder Erdgas.

Die Gesamtkosten für den Kraftstoff sind vom spezifischen Verbrauch der jeweiligen Fahrzeuge abhängig. Da das Fahrzeug während der Sammlung zur Umleerung der Behälter häufig stillsteht und in diesem Fall zusätzlich der Nebenantrieb für die Hydraulik zur Verdichtung und zum Betrieb der Schüttung läuft, ist der spezifische Verbrauch hier deutlich höher als auf Verbindungs- oder Transportfahrten. Daraus folgt, dass der spezifische Kraftstoffverbrauch eines Sammelfahrzeuges umso höher ist, je größer der Anteil der Sammelzeit an der Arbeitszeit ist, d.h. je kürzer die Entfernungen zwischen Sammelrevier und Fuhrparkstandort bzw. Entsorgungs- oder Umladestelle sind.

Unter vergleichbaren Einsatzbedingungen steigt der Durchschnittsverbrauch aufgrund der wachsenden Leistung der Nebenantriebe von Heckladern über Frontlader zu Seiten- und Front-/Seitenladern an. Transportfahrzeuge weisen im Vergleich zu den Sammelfahrzeugen einen relativ niedrigen spezifischen Kraftstoffverbrauch auf.

2.1.2.9 Kosten für Öl und Schmierstoffe

Die Kosten für Öle und Schmierstoffe werden in der Praxis als prozentualer Anteil an den Kraftstoffkosten berücksichtigt, da sie mit ausreichender Näherung als wegstreckenabhängig betrachtet werden können.

2.1.2.10 Kosten für Reifen

Die Kosten für die Bereifung der Sammelfahrzeuge und Transportfahrssysteme richten sich nach den einzelnen Parametern

- Einzelpreis der Reifen,
- Verschleißintervalle und
- Anzahl der Reifen des jeweiligen Fahrzeugtyps.

Der Reifenpreis hängt wesentlich davon ab, ob neuwertige oder runderneuerte Reifen zum Einsatz kommen. Derzeit gibt es in der Entsorgungsbranche keine übergrei-

fende Entscheidungsgrundlage bezüglich der wirtschaftlich besseren Alternative, so dass die Wahl der Reifen auf Grundlage individueller Erfahrungswerte erfolgt.

2.1.2.11 Kommunikationskosten

Um die Kontaktaufnahme zwischen Disponenten und Fahrern zu ermöglichen, sind die Fahrzeuge teilweise mit Mobiltelefon oder Geräten für Bündel- oder Betriebsfunk ausgestattet. Die in diesem Zusammenhang entstehenden Kommunikationskosten müssen in die Berechnung der Gesamtkosten aufgenommen werden.

2.1.2.12 Kosten Werkstattarbeiten inkl. Ersatzteile

Die Reparaturkosten für die einzelnen Fahrzeuge sind stark abhängig vom jeweiligen Fahrzeugsystem, dessen durchschnittlicher täglicher Einsatzdauer, Sammelleistung und Alter. In pauschalen Rechnungen wird für diese Kosten i.d.R. ein prozentualer Anteil an den Investitionskosten für die Fahrzeuge angenommen. Da sich dieses Vorgehen in der Praxis als zu ungenau herausstellt, sollen individuelle vom Anschaffungspreis unabhängige Werte für jeden Fahrzeugtyp angesetzt werden.

2.1.2.13 Kosten Fahrzeugpflege

Unter der Fahrzeugpflege werden alle Tätigkeiten zur Reinigung und das Abschmieren der Fahrzeuge verstanden. Die damit verbundenen Kosten resultieren im wesentlichen aus Personalkosten. Da die Kosten aber von der Anzahl der zu pflegenden Fahrzeuge und nur im vernachlässigbaren Bereich von der Personalkalkulation abhängig sind, werden sie an dieser Stelle in die Kalkulation der Kosten für den Betrieb und Unterhalt des Fuhrparks aufgenommen.

2.1.2.14 Kosten für Untersuchungen nach StVZO

Infolge der nach §29 und §47a StVZO für LKW vorgeschriebenen

- halbjährlich durchzuführenden Sicherheitsprüfung, bei der alle besonders verschleiß- und reparaturanfälligen Teile und Baugruppen mittels Sicht-, Wirkungs- und Funktionsprüfungen geprüft werden, und der
- jährlich durchzuführenden Haupt- und Abgasuntersuchung, bei der alle sicherheitsrelevanten Systeme und Bauteile sowie die Abgaswerte überprüft werden,

entstehen pro Fahrzeug jährliche Fixkosten.

2.1.2.15 Fahrzeugversicherung

Aufgrund der hohen Investitionskosten in die eingesetzten Fahrzeuge und der daraus folgenden hohen Kosten im Schadensfall wird neben der Haftpflichtversicherung i.d.R. auch eine Vollkaskoversicherung abgeschlossen.

Dabei werden in der Praxis verschiedene Strategien gefahren, die sich qualitativ wie folgt zusammenfassen lassen:

- 1) Es wird eine hohe Selbstbeteiligung gewählt, um die Versicherungsprämie niedrig zu halten.
- 2) Es wird eine hohe Versicherungsprämie in Kauf genommen, um im Schadensfall nur eine niedrige Selbstbeteiligung bezahlen zu müssen.

2.1.2.16 Fahrzeugsteuer

Die Sammelfahrzeuge unterliegen einer vom verkehrsrechtlich zulässigen Gesamtgewicht und von Schadstoff- und Geräuschemissionen abhängigen Fahrzeugsteuer.

Die in den Berechnungen verwendeten Steuersätze werden in Kapitel 4.6 anhand der in den Modellregionen eingesetzten Fahrzeuge festgelegt.

2.1.2.17 Straßenbenutzungsgebühr

Für Fahrzeuge mit zulässigem Gesamtgewicht über 12 t werden auf Autobahnen Benutzungsgebühren berechnet. Diese betragen derzeit für LKW mit max. 3 Achsen, je nach Emissionsklasse, 750 €, 960 € oder 1550 € pro Jahr.

Zusätzlich müssen ab Ende August 2003 kilometerabhängige Gebühren entrichtet werden. Die Höhe der Maut richtet sich nach den Emissionsklassen und der Achsenzahl der Lastkraftwagen. Im Schnitt wird diese Gebühr 15 Cent pro gefahrenem Autobahn-Kilometer betragen.

Diese Kosten sollen in der Berechnung separat als durchschnittliche jährliche Kosten berücksichtigt werden.

2.1.2.18 Abschreibungsdauer der Fahrzeuge

Die Beschaffung von Fahrzeugen erfordert Investitionen. Diese Investitionen werden in einer Rechnung zur Erfassung des Wertverzehr infolge des Verschleißes in der Gewinn- und Verlustrechnung als Aufwand (Aufwendungen) und in der Kostenrechnung als Kosten angesetzt werden. Durch die Abschreibung werden die Anschaf-

fungskosten abnutzbarer Anlagegegenstände auf Zeiteinheiten verteilt. Die Abschreibung erfolgt dabei branchenüblich linear.

Die Abschreibungsdauer ist - je nach Investitionsgut - individuell einstellbar und nach **Tabasaran 1994** für Sammelfahrzeuge zwischen 5 und 8 Jahren anzusetzen.

Die Abschreibungsdauer eines Anhängers für ein Transportsystem ist in der Praxis deutlich länger als die für das Zugfahrzeug bzw. Sammelfahrzeuge, so dass hier eine separate Rechnung erfolgen muss. Sie beträgt i.d.R. etwa 15 Jahre.

2.1.2.19 Kalkulatorischer Zinssatz zur Abschreibung der Fahrzeuge

In der Kostenrechnung von Investitionen werden nur kalkulatorische Zinsen und nicht die tatsächlichen Zinszahlungen verrechnet, **Warnecke 1993**. Durch sie wird der rein rechnerische Verlust durch die Bindung des Kapitals für die Investitionen berechnet der dadurch entsteht, dass das Eigenkapital für alternative Kapitalanlagen verloren geht. Der kalkulatorischer Zinssatz entspricht üblicherweise dem Zinssatz für langfristiges Fremdkapital.

2.1.3 Behälterdaten, -kosten

In diesem Kapitel werden, nach einer Definition der eingesetzten Behältertechnik alle im Zusammenhang mit ihrem Einsatz stehenden Kosten und Randbedingungen definiert.

2.1.3.1 Behältertechnik

In der kommunalen Entsorgungswirtschaft werden folgende vier verschiedene Grundtypen von Behältnissen eingesetzt:

1) Säcke

Säcke werden i.d.R. komplett mit Inhalt und ohne den Einsatz einer Schüttungstechnik vom Ladepersonal in die Ladewanne des Fahrzeuges befördert. Eine weitere Möglichkeit ist die Sammlung mit Frontlader, die eine Sammelwanne besitzen.

Säcke werden i.d.R. aus PE gefertigt (seltener aus Papier) und kommen in einem sehr breiten Größenspektrum zwischen 17l und 140l zum Einsatz. In Deutschland weisen die Größen mit 50l und 70l Volumen (Bild 8) den größten Verbreitungsgrad auf **Bilitewski 1994**. Kunststoffsäcke für die Abfallsammlung sind in **DIN-EN 13592** genormt.



Bild 8: Sack mit 70l Volumen, **DIN-EN 13592**

2) Mülleimer bzw. -tonnen

Aufgrund der hohen körperlichen Belastung der Lader durch das notwendige Anheben und Einhängen der Behälter in die Schüttung verlieren diese Behältertypen in Deutschland zunehmend an Bedeutung.

Mülleimer werden in den Größen 25l, 35l und 50l, Mülltonnen in den Größen 60l, 70l, 90l und 110l angeboten. Mülleimer sind entweder aus PE oder Stahlblech, Mülltonnen ausschließlich aus PE gefertigt. Bild 9 zeigt anhand einer 50l-Mülltonne die typische Bauart.

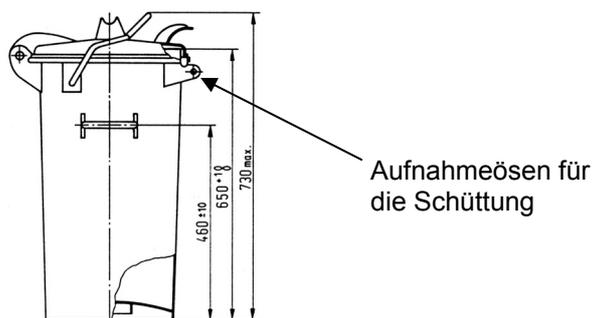


Bild 9: Mülleimer mit 50l Volumen (ME 50) nach **DIN 6628**

3) Müllgroßbehälter (MGB)

Müllgroßbehälter sind die in Deutschland verbreitetste Behältertechnik. Sie sind in den

- Größen von 80l bis 1700l nach **DIN-EN 840** und in den
- Größen von 2500l bis 5000l nach **DIN 30737** und **DIN 30738**

genormt und werden mit der Abkürzung MGB für Müllgroßbehälter bezeichnet.

Die Tab: A 17 und Tab: A 18 im Anhang F zeigen eine Auflistung der in der **DIN-EN 840** bzw. **DIN 30737** und **DIN 30738** genormten Behältergrößen (die Material-

art zeigt den bzw. die i.d.R. verwendeten Werkstoff(e) an und ist nicht Bestandteil der Norm) zu finden.

Der Zahlenwert nach der Bezeichnung MGB gibt das Volumen an. So hat ein MGB 120 ein Nettovolumen (inklusive Deckel) von 120 Litern.

Als Beispiele für die Bauarten der MGB's sind in Bild 10 und Bild 11 verschiedene Behälter mit typischen Charakteristika dargestellt.

Neben den in der **DIN-EN 840** genormten Behältern gibt es im Behälterspektrum bis 1700l Volumen noch zahlreiche an die Norm angelehnte Behälter mit anderen Volumina. Besonders der MGB 60, also ein Behälter mit 60l Volumen, ist stark verbreitet. Als weitere nicht-genormte und selten eingesetzte Größen sollen an dieser Stelle Behälter mit 360l und 750l Volumen erwähnt werden.

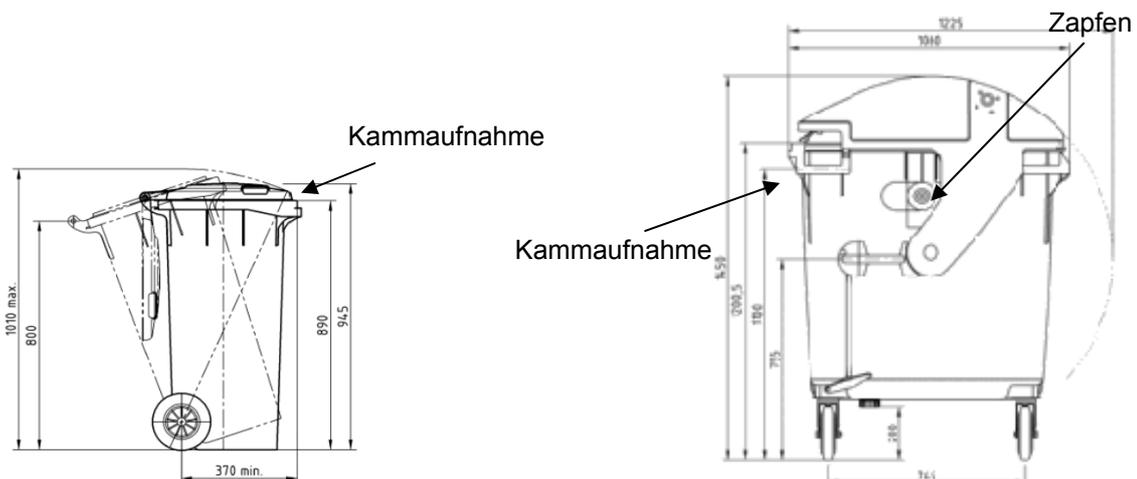


Bild 10: MGB 120 mit zwei Rädern
nach **DIN-EN 840**

Bild 11: MGB 1100 mit 4 Rädern
nach **DIN-EN 840**

In Anlehnung an die MGB wurden sogenannte Mehrkammer-Behälter (MEKAM) entwickelt, die jedoch keiner Norm unterliegen. Es handelt sich hierbei um einen geteilten Behälter zur Aufnahme zweier verschiedener Stoffgruppen, wie z.B. Biomüll und Restabfall. Aufgrund der Konstruktion des Behälters ist es möglich ihn über einen Lifter in ein entsprechend der Behälterteilung vertikal oder horizontal geteilten Sammelfahrzeug-Aufbau zu entleeren. Erhältlich sind MEKAM-Behälter u.a. in den Größen 120l, 140l, 210l, 240l und 260l.



Bild 12: 120l Mehrkammer-Behälter (Mekam, Fa. Otto), **Haase 2003**

Die logistischen Vorteile, die eine kombinierte Sammlung verschiedener Fraktionen verspricht, beinhalten aber auch Nachteile, wie z.B. eine teilweise schlechte Behälter- und Zuladungsausnutzung infolge eines festen Teilungsverhältnisses oder die fehlende Möglichkeit der gleichzeitigen Leerung zweier Behälter.

In den letzten Jahren wurden MEKAM-Behälter zunehmend wieder durch konventionelle Behältertechnik abgelöst. Sie verlieren somit an Bedeutung.

4) **Diamond-Umleer-Behälter**

Die Technik der DU-Behälter wurde in Zusammenhang mit dem 1988 von der Firma Edelhoff entwickelten Multi-Service-Transport-System-Fahrzeug (MSTS) entwickelt. Sie sind in der **DIN 30760** genormt und somit auch begrifflich klar von den MGB's abgegrenzt.

Der wesentliche Unterschied zu den MGB's besteht in der Aufnahmetechnik des Behälters an der Schüttung des Sammelfahrzeuges. Statt mit Hilfe eines Kamms wird der Behälter mit einem trapezförmigen, sogenannten "Diamond" aufgenommen, der in eine dafür vorgesehene Schürze am Behälter fährt.

Durch dieses Verfahren, bei dem sich der Behälter auf dem Diamond selbst zentriert, ist eine größere Toleranz bei der Ausrichtung des Behälters zur Schüttung möglich. Dieses ist besonders bei der Sammlung mit Seitenladern mit Lifterarm von Vorteil. Nachteilig ist, dass die Schüttung für die Aufnahme des Behälters aufgrund der Schürzengestaltung tiefer herunterfahren werden muss. Im Falle eines Behälterstandortes unterhalb des Straßenniveaus, kann es (selten) vorkommen, dass ein Behälter manuell auf die Schüttung gehoben werden muss.

Die Größenabstufungen der DU-Behälter orientieren sich an denen der MGB's. In der **DIN 30760** sind die in Tab: A 19 des Anhang F aufgeführten Behältergrößen genormt (die Materialart zeigt den i.d.R. verwendeten Werkstoff an und ist nicht Bestandteil der Norm).

Als Beispiel für die konstruktive Gestaltung der DU-Behälter ist in Bild 13 ein DU 120 dargestellt.

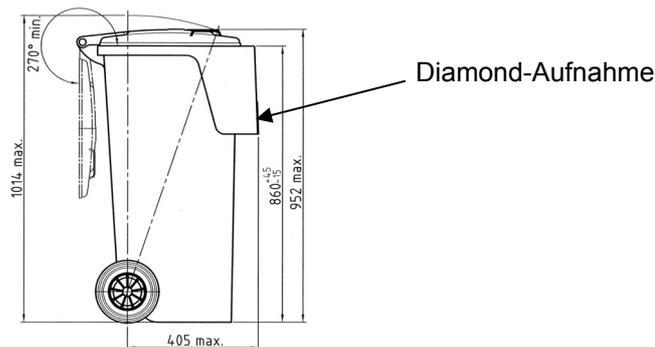


Bild 13: DU 120 mit Diamond-Aufnahme-Schürze, **DIN 30760**

2.1.3.2 Struktur des Gesamtbehälterbestandes

Der Anteil der jeweiligen Behältergrößen und -typen am Gesamtbehälterbestand ist im wesentlichen abhängig von

- dem von der Gebietskörperschaft zugelassenen bzw. vom Entsorgungsunternehmen zur Verfügung gestellten Behälterspektrum,
- dem Gebührenmodell,
- der Verteilung der Siedlungsstrukturen im Sammelgebiet,
- der Verteilung der Abfuhrhythmen und
- der mit den Behälter zu sammelnden Fraktion.

Die als Ausgangsbasis für die Berechnungen gewählte Behälterstruktur wird in Kapitel 4.2 für die Modellregionen festgelegt.

2.1.3.3 Investitionskosten für Behälter

Abhängig von den von der jeweiligen Gebietskörperschaft vorgegebenen Besitzverhältnissen (vgl. Kap. 2.1.3.4) kann es Aufgabe des Entsorgungsunternehmens sein, die Sammelbehälter bereitzustellen. Um die dadurch entstehenden Kapitalkosten zu berücksichtigen, müssen die Investitionskosten für alle Behälter abhängig von der Behältertechnik, Größe und jeweiligen Anzahl erfasst werden.

2.1.3.4 Erlöse durch Behältermiete

Sofern er nicht selbst Besitzer der Behälter ist, wird dem Haushalt vom Eigentümer, also dem Entsorgungsunternehmen oder der Kommune, für die Überlassung der Behälter i.d.R. eine sogenannte Behältermiete in Rechnung gestellt. Diese Miete wird auf die berechneten Entsorgungsgebühren aufgeschlagen und orientiert sich in der Höhe i.d.R. an den entstehenden Kapitalkosten des Behälters.

2.1.3.5 Behälterbesitzverhältnisse

Grundsätzlich lassen sich hier drei Möglichkeiten unterscheiden. Die Behälter können im Besitz der Abfallverursacher sein oder sie werden von der Gebietskörperschaft oder vom entsorgenden Unternehmen gestellt. Im letzteren Fall entstehen für das Entsorgungsunternehmen zum einen Kosten für die Gestellung bei Erstausrüstung sowie den Unterhalt und zum anderen Kapitalbindungskosten (vgl. Kapitel 2.1.3.3).

2.1.3.6 Behälteridentifikation, -verwiegung

Die Identifikation von Sammelbehältern in der kommunalen Abfuhr wird mit Hilfe von Transpondern durchgeführt. Diese werden, wie in Bild 14 am Beispiel eines MGB's bzw. DU-Behälters dargestellt, so an den Behältern befestigt, dass sie beim Schüttvorgang durch eine an der Behälteraufnahme angebrachte Antenne ausgelesen und ggf. beschrieben werden können.

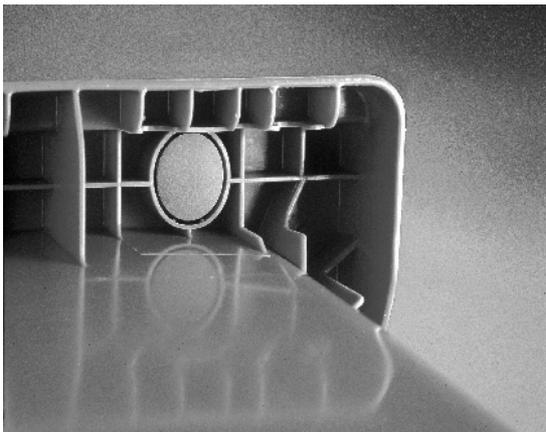


Bild 14: Transponder in der Kammaufnahme eines MGB, Quelle: Fa. Envicomp

Die Ausstattung der Sammelbehälter verfolgt im wesentlichen das Ziel den Haushalten mit Hilfe einer Ermittlung der tatsächlich durchgeführten Anzahl von Entleerungen eine verursachungsgerechte Müllgebühr in Rechnung stellen zu können. In Kombi-

nation mit einem Wiegesystem in der Schüttung kann der Gebühreneinzug in einem weiteren Schritt auch mit der tatsächlich entsorgten Abfallmenge verknüpft werden. Die durch die Ausstattung der Behälter mit Transpondern verursachten Kosten variieren je nach gewähltem System und Hersteller und gehen in die Berechnung der Behälterinvestitionskosten ein.

2.1.3.7 Behälterinstandhaltung, -tausch, -ersatz, -neuaufstellung

Die zur Sammlung eingesetzte Behältertechnik unterliegt während der Nutzungsdauer einem unvermeidlichen Verschleiß. Dieser äußert sich oft in z.B. einem leichten Verbiegen der Rippen in der Schüttungsaufnahme bei MGB's und DU-Behältern, das jedoch das Aufnehmen und Umleeren der Behälter nicht behindert.

Es kann jedoch auch zu Schäden kommen, die die bestimmungsgemäße Funktionsfähigkeit beeinträchtigen. Dieses sind z.B. Ausbrechen der Deckelscharniere, Brüche im Behälterkorpus, abgelöste Räder o.ä.. Werden die Behälter im Rahmen des Dienstleistungsvertrages vom Entsorgungsunternehmen gestellt, so ist i.d.R. auch die Instandhaltung Teil des Auftrages.

Sollte ein funktionsbeeinträchtigender Schaden vorliegen, gibt es für das Entsorgungsunternehmen drei prinzipielle Vorgehensweisen:

- 1) Bei zeitunaufwendigen Reparaturen eine Instandsetzung des Behälters vor Ort (durch das Sammelpersonal während der Sammlung (selten) oder durch speziell dafür abgestelltes Personal außerhalb der Tour (auch Subunternehmer)). Als Beispiel sei hier das Einschrauben eines neuen Zapfens für die Zapfenaufnahme genannt.
- 2) Bei aufwendigeren Reparaturen bzw. bei Fehlen der notwendigen Ersatzteile eine Instandsetzung des Behälters am Standort des Entsorgers.
- 3) Bei irreparablen Schäden muss der Behälter gegen einen neuen ausgetauscht werden.

Weitere Gründe für die Gestellung eines neuen Behälters sind der vom anschlusspflichtigen Haushalt gewünschte Tausch gegen eine andere Behältergröße, der Zugang eines neuen Anschlusspflichtigen oder der Ersatz bei Diebstahl. In diesen und den unter Punkt 2 und 3 genannten Fällen müssen die sich ergebenden Transportkosten berücksichtigt werden.

In den Berechnungen der vorliegenden Arbeit werden folgende unterschiedliche Parameter berücksichtigt.

- Anteil neuaufzustellender bzw. zu ersetzender und auszutauschender Behälter in Bezug auf den Gesamtbehälterbestand
- Anteil Reparatur am Standort (Betriebsstelle)
- Anteil Reparatur vor Ort
- Kosten für die Neuaufrstellung und Austausch der Behälter
- Kosten für Reparatur eines Behälters am Standort (Betriebsstelle)
- Kosten für Vor-Ort-Reparatur eines Behälters

Die tatsächlich entstehenden Kosten werden dabei wesentlich von der vertraglich vereinbarten Reaktionsdauer, d.h. die Zeit zwischen der Meldung eines Behälter-schadens bis zur erfolgten Reparatur bzw. zum erfolgten Austausch, beeinflusst. Weiterhin ist zu beachten, dass wenn ein Behälter neu gestellt werden muss (infolge von Verlust, Neubestellung, Tausch), zu einem großen Anteil Behälter aus dem Behälterpool aus zurückgenommenen Behälter zum Einsatz kommen. In diesem Fall muss also nicht eigens ein neuer Behälter gekauft werden.

In der Praxis werden die oben beschriebenen Leistungen häufig an einen Subunternehmer vergeben.

2.1.3.8 Abschreibungsdauer der Behälter

Die Abschreibungsdauer richtet sich im Allgemeinen nach der Nutzungsdauer eines Investitionsgutes. Nach **Tabasaran 1994** ist für Sammel-Behälter i.d.R. eine Abschreibungsdauer von 8-10 Jahren anzusetzen.

In der Praxis wird die Abschreibungsdauer für Abfallsammelbehälter jedoch häufig nach strategischen Gesichtspunkten gewählt, d.h. es ist das Ziel die Investitionen in die zu stellenden Behälter bis Ablauf der Dauer des Entsorgungsauftrages abgeschrieben zu haben. Dieses ist jedoch aufgrund immer kürzer werdender Vertragslaufzeiten nur noch selten möglich.

Im Falle einer erneuten Ausschreibung desselben Sammelgebietes kann auf diese Weise bei der Angebotsstellung mit einem vorhandenen Behälterbestand und damit einem niedrigeren Angebotspreis gerechnet werden. Sollte die Teilnahme erfolglos bleiben, werden Verluste vermieden.

Wie auch bei den Fahrzeugen wird hier die lineare Abschreibungsmethode gewählt.

2.1.3.9 Kalkulatorischer Zins zur Abschreibung der Behälter

Für die Berechnung der Kapitalkosten für die Behälter wird - analog zu den Fahrzeugkapitalkosten (vgl. Kapitel 2.1.2.19) - ein kalkulatorischer Zinssatz auf Basis des für langfristiges Fremdkapital üblichen Zinssatzes festgelegt, **Warnecke 1993**.

2.1.4 Randbedingungen und Leistungsdaten der Sammlung

2.1.4.1 Arbeitszeitmodell

Das Einschicht-Modell, d.h. die 5-Tage-Woche zzgl. der an Samstagen nachgeholtten Feiertage, beherrscht nach wie vor die kommunale Abfallwirtschaft. In den letzten Jahren wurden jedoch zunehmend alternative Arbeitszeitmodelle eingeführt. Wesentliches Ziel alternativer Arbeitszeitmodelle ist es die tägliche Einsatzzeit der Betriebsmittel im Sinne einer besseren Auslastung zu erhöhen.

Hier sind insbesondere die 4 in 5-Tage-Woche und das Zwei-Schicht-Modell zu erwähnen. Die Charakteristika dieser beiden Arbeitszeitmodelle sollen im Folgenden beschrieben werden.

1) 4 in 5-Tage-Woche

Bei der 4 in 5-Tage-Woche wird die wöchentliche Arbeitszeit der Arbeitnehmer im Einschicht-Modell statt auf fünf nunmehr auf vier Tage verteilt. Die Sammlung wird durch ein rollierendes Schichtsystem nach wie vor an 5 Tagen durchgeführt. Bei einer Wochenarbeitszeit der Arbeitnehmer von beispielsweise 40 Stunden bedeutet dieses eine tägliche Arbeitszeit von 10 Stunden und eine Einsatzzeit der Fahrzeuge von 50 Stunden und damit eine Steigerung um 25% gegenüber dem Einschichtmodell.

2) Zwei-Schicht-Modell

Bei diesem Arbeitszeitmodell wird der Arbeitstag analog zur Vorgehensweise in der Produktion in der Industrie in zwei Schichten aufgeteilt. Infolge der seit August 2002 geltenden 32. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (BlmschV) ist die Sammlung in Wohngebieten aufgrund der damit verbundenen Lärmentwicklung nur noch zwischen 7⁰⁰ und 20⁰⁰ Uhr möglich. Diese Einschränkung ermöglicht in der kommunalen Sammlung i.A. keine wirtschaftliche Umsetzung dieses Arbeitszeit-Modells. Es wird aus diesem Grund im Folgenden nicht mehr betrachtet.

2.1.4.2 Abfuhrhythmus

Der Abfuhrhythmus beschreibt, wie oft die einzelnen Sammelbehälter pro Zeiteinheit durch das Entsorgungsunternehmen geleert werden. Je nach Anforderung des jeweiligen Gebührenzahlers und Vorgaben der Gebietskörperschaft kann dieser Rhythmus zwischen mehrmals täglicher Leerung und 4-wöchentlicher Leerung schwanken.

2.1.4.3 Bereitstellungsquote

Die Bereitstellungsquote beschreibt den Anteil der zu leerenden Behälter im Verhältnis zur Gesamtzahl der auf der Tour vorhandenen Behälter. Ursachen dafür, dass dieses Verhältnis i.d.R. nicht gleich 1 ist, können folgende sein:

- Der Behälter ist leer, da die zugehörigen Anwohner längere Zeit abwesend sind.
- Der Behälter ist nur teilweise gefüllt und wurde absichtlich nicht bereitgestellt (falls eine leerungsabhängige Gebührenerhebung besteht, können dadurch auch Gebühren gespart werden)
- Es wurde vergessen den Behälter für die Sammlung bereitzustellen (entfällt bei Vollservice, vgl. Kap. 2.1.4.10)

Generell kann festgestellt werden, dass die Bereitstellungsquote mit kürzer werdenden Leerungsintervallen bzw. kleiner werdendem Leerungsrhythmus sinkt.

2.1.4.4 Spezifisches Füllgewicht der Behälter

Das spezifische Füllgewicht der Behälter gibt im Zusammenhang mit dem Behältervolumen das absolute Gewicht des enthaltenen Abfalls wieder.

2.1.4.5 Durchschnittsgeschwindigkeit Verbindungsfahrten

Als Verbindungsfahrten werden alle Fahrten des Sammelfahrzeuges zwischen

- Fuhrparkstandort und Sammelrevier
- zwei geographisch getrennten Sammelrevieren
- Sammelrevier und Entsorgungsstelle bzw. Umladeplatz
- Entsorgungsstelle bzw. Umladeplatz und Fuhrparkstandort

definiert.

Die bei diesen Fahrten anzusetzende Durchschnittsgeschwindigkeit ist stark abhängig von den zu durchfahrenden Siedlungsstrukturen und damit den Straßen- und Verkehrsverhältnissen sowie den Witterungsverhältnissen.

2.1.4.6 Dauer Umschlag/ Entsorgung

Die Entsorgungsdauer wird als die Zeitspanne zwischen der Einfahrt auf das Gelände der Beseitigungs- oder Verwertungsanlage bzw. des Umschlagplatzes und der Ausfahrt definiert. Sie ist damit die Summe von der Fahrzeit auf dem Gelände, der Wiegezeit des Fahrzeuges, der Wartezeit bis zur Entleerung und der Dauer der Entleerung.

2.1.4.7 Kapazität Ferntransport

Für die Berechnung der bei Einsatz von Sammelfahrzeugen mit Wechselaufbau oder Durchführung eines losen Zwischenumschlages notwendigen Fahrzeuge für den Sekundärtransport der Wechselbehälter ist es notwendig, die Kapazität, also die pro Fahrt durch die Transportsysteme zu transportierenden Wechselbehälter, zu kennen. Ein Transportfahrzeug kann in der Regel nur einen Wechselbehälter transportieren. Unter Zuhilfenahme eines Anhängers können zwei oder -systemabhängig- bis zu drei Wechselbehälter auf einmal transportiert werden.

2.1.4.8 Rüstzeit

Die sog. Rüstzeit ist fester Bestandteil des täglichen Arbeitsablaufes eines Fahrers. In der Rüstzeit, die zu Beginn jeder Schicht stattfindet, legt der Fahrer eine neue Tachoscheibe in den Fahrtenschreiber und überprüft sicherheitsrelevante Funktionen des Fahrzeuges, wie z.B. Lichtanlage und Bremsen. Diese Überprüfung ist zur Wahrung des Versicherungsschutzes vorgeschrieben.

2.1.4.9 Anzahl und Lage der Standorte

Die logistische Infrastruktur, die durch Anzahl, geographische Lage und Ausstattung (Sozialeinrichtungen, Tankstelle, Werkstatt etc.) der Standorte vorgegeben wird, hat einen großen Einfluss auf die Sammellogistikkosten, da sie die Fahrwege bzw. Entfernungen wesentlich beeinflusst.

Die zurückzulegenden Entfernungen haben einen großen Einfluss auf die Berechnung der Fahrzeugkosten. Zusätzlich bestimmen die Entfernungen und damit die Fahrzeiten den Anteil der produktiven Arbeitszeit, also den verbleibenden Anteil, der

für die eigentliche Sammlung zur Verfügung steht. Folgende Entfernungen sind für die Sammelfahrzeuge zu berücksichtigen:

- Fuhrparkstandort - Revier
- Revier - Entsorgungsstelle
- Entsorgungsstelle - Fuhrparkstandort

Zusätzlich muss, wenn ein Zwischenumschlag der Abfälle durchgeführt wird, der Aufwand für den Sekundärtransport berücksichtigt werden. Dieser entspricht der Entfernung, die das Transportsystem mit den Wechselbehältern zurücklegt also der Strecke vom Wechselplatz zur Entsorgung.

Es wird für die Berechnungen davon ausgegangen, dass der Transport über die Straße erfolgt. Nicht zuletzt auch aus dem Grund, dass dieser Verkehrsträger in diesem Zusammenhang mit Abstand die größte Verbreitung aufweist. Sollte ein alternativer Verkehrsträger (Wasser, Schiene) gewählt werden, so wird dieses in aller Regel durch einen Dritten übernommen, der pro Transport fixe Kosten in Rechnung stellt. Dieses bedeutet, dass eine genaue Berechnung der Zusammensetzung und Summe der Kosten entfallen würde.

2.1.4.10 Sammelleistung

Die Sammelleistung wird definiert als Anzahl der umgeleerten Behälter bzw. Säcke pro Sammelzeiteinheit. Da sie von einer großen Vielzahl von Randparametern beeinflusst wird, weist sie einen umfassenden Hintergrund auf. Als Obergruppen dieser Einflussfaktoren sollen hier

- örtliche Gegebenheiten des Sammelgebietes, d.h. nicht nur die Siedlungsstrukturen sondern auch z.B. topographische Charakteristika,
- die Organisation, die Technik und der Ablauf der Sammlung und
- die eingesetzte Fahrzeugtechnik,
- das Personal bzw. der Personaleinsatz,
- das Behältersystem bzw. die Behältertechnik

genannt werden.

Die Punkte Fahrzeugtechnik, Personaleinsatz und Behältertechnik wurden bereits in den Kapiteln 2.1.1-2.1.3 eingehend erläutert. Im Folgenden sollen speziell die durch die örtlichen Gegebenheiten sowie die Organisation der Sammlung verursachten Auswirkungen auf die Sammelleistung dargestellt werden.

Siedlungsstrukturen

Die Siedlungsstruktur wird als das quantitative und qualitative Verteilungsmuster bzw. Gefüge von Wohnungen, Arbeitsstätten und Infrastruktur innerhalb eines bestimmten Gebietes definiert, **Eberle 2000**. Innerhalb derselben Siedlungsstrukturen herrschen dabei weitestgehend gleiche Bedingungen für die Durchführung der Sammlung.

In der Literatur gibt es verschiedene Klassifizierungen von Siedlungsstrukturen. Während **Gallenkemper 1977** insgesamt 5 unterschiedliche Siedlungsstrukturen unterscheidet, wird von **Schneider 1996** eine Unterteilung in 8 verschiedene Gebiete vorgenommen. Da letztere Einteilung die Grundlage für Forschungsprojekte am Institut für Fördertechnik und Logistik und für die vorliegende Arbeit bildet, soll diese in Bild 15 vorgestellt werden.



Bild 15: Einteilung der Siedlungsstrukturen, **Schneider 1996**

Die Art und Verteilung der Siedlungsstrukturen bzw. Gebietsstrukturen, die während einer Sammlung durchfahren werden, hat eine große Auswirkung auf die erreichbare Sammelleistung. Im Zusammenspiel mit der jeweils einzusetzenden Fahrzeugtechnik ergibt sich durch die Siedlungsstrukturen ein Einfluss von etwa 5-25% auf die Sammelleistung, **Gallenkemper 1985**. Die Unterscheidung der Siedlungsstrukturen findet im wesentlichen durch die folgenden Merkmale statt:

- Art der Bebauung
- Einwohnerdichte
- Verhältnis zwischen Gewerbeansiedlungen und Privathaushalten
- Verkehrsverhältnisse

Diese Charakteristika der verschiedenen Siedlungsstrukturen haben unterschiedliche Werte für

- die Schüttzeit, definiert als Halte- bzw. Standzeit des Sammelfahrzeuges pro Behälter,
- die Fahrtzeit zwischen zwei Haltepunkten (Zwischenfahrzeit),
- die Bereitstellungsquote, vgl. Kap.2.1.4.3,
- die Behälterdichte, vgl. nächsten Unterpunkt,
- das spez. Füllgewicht der Behälter, vgl. Kap. 2.1.4.4, und
- die Durchschnittsgeschwindigkeit auf Verbindungsfahrten, vgl. Kap. 2.1.4.5

zur Folge, die maßgebend für die zu erreichende Anzahl der täglich umgeleerten Behälter bzw. gesammelten Säcke ist.

Behälterdichte

Die Behälterdichte, definiert als Anzahl der zu leerenden Behälter pro Wegstreckeneinheit der Sammlung, ist vom Abstand der Haltepunkte und der Anzahl der Behälter am Haltepunkt selber abhängig. Sowohl der Abstand der Haltepunkte als auch die Anzahl der Behälter pro Haltepunkt werden dabei im wesentlichen von den gleichen Randparametern bestimmt wie auch das spezifische Füllgewicht (Kapitel 2.1.4.4). Die dort aufgeführte Größe des zu sammelnden Behälters spielt in diesem Zusammenhang keine Rolle.

Servicegrad der Behälterleerung

Beim Servicegrad wird unterschieden, wer die Behälter an den Fahrbahnrand transportiert. Entweder muss der Anschlusspflichtige die Behälter am Tag der Abfuhr selbst am Straßenrand bereitstellen (Benutzertransport, vgl. Bild 16), oder diese Tätigkeit wird vom Entsorger als Dienstleistung übernommen (Vollservice, vgl. Bild 17). Die Sammlung von großen MGB's (>660l) erfolgt grundsätzlich im Vollservice da vorausgesetzt wird, dass sie für den Transport durch den Benutzer zu schwer sind.

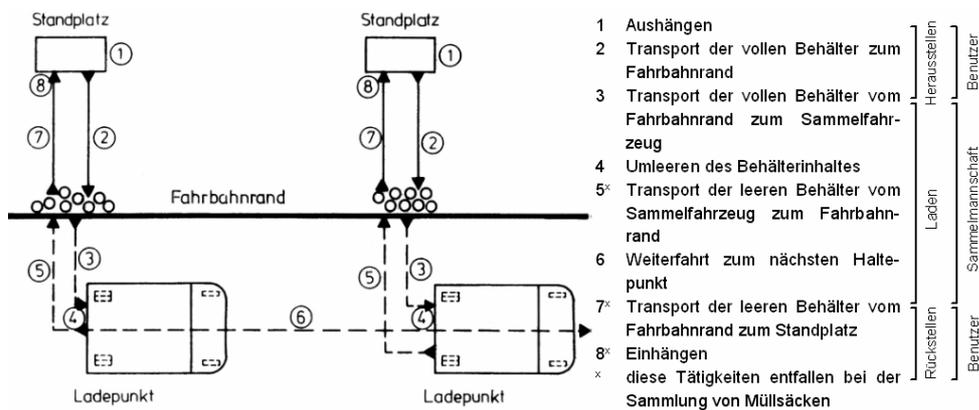


Bild 16: Benutzertransport, Gallenkemper 1977

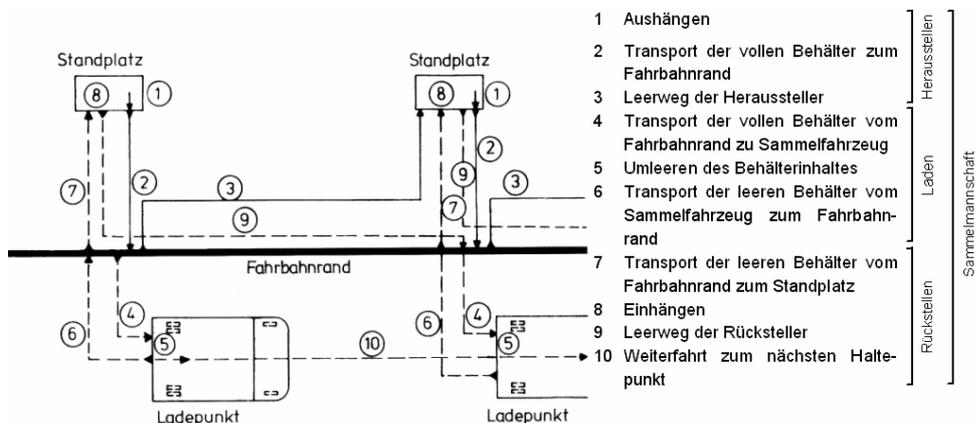


Bild 17: Vollservice, Gallenkemper 1977

Standplatzverordnung

Die Standplatzverordnung wird von der Gebietskörperschaft erlassen und hat insbesondere bei der Sammlung im Vollservice (vgl. vorigen Unterpunkt) wesentlichen Einfluss auf die Sammelleistung.

In der Standplatzverordnung wird die Art und Lage des Behälterstandortes vorgeschrieben. Dieses beinhaltet insbesondere die zulässige Entfernung des Behälters vom Straßenrand, die Beschaffenheit des Weges vom Straßenrand zum Behälter

(Anzahl Treppenstufen, Höhenunterschied etc.) und die Art der Unterbringung (Müllbox etc.).

Als Folge dessen sind beim Vollservice die Zeiten für das Herausstellen (wichtig bei der Sammlung ohne Raussteller) und das Zurückstellen ganz wesentlich von der Standplatzverordnung abhängig.

Zusammengefasst lässt sich die Sammelleistung vor allem aufgrund der dargestellten nur qualitativ beschreibbaren Einflüsse und Abhängigkeiten nicht vollständig anhand von Formeln berechnen. In zahlreichen Untersuchungen konnten so lediglich quantitativ messbare Einflüsse auf ihre Auswirkungen hin untersucht und in empirisch ermittelte Beziehungen zur Sammelleistung gebracht werden. Umfangreiche Untersuchungen zum Einfluss z.B. der Behälterdichte, der Füllgewichte, der Mannschaftsstärke etc. finden sich z.B. in **Pöpel 1968**, und **Gallenkemper 1977**.

Die in unbekanntem Gebieten erreichbare Sammelleistung wird deshalb aufgrund von Erfahrungswerten abgeschätzt. Je genauer die Randbedingungen der Sammlung bekannt sind, desto präziser kann die Sammelleistung abgeschätzt werden. Genau die Ermittlung dieser Randbedingungen ist jedoch, speziell in unbekanntem Sammelgebieten, mit erheblichem Aufwand verbunden.

2.1.5 Verwaltungskosten

Hier sollen die Kosten, die im Zusammenhang mit der Infrastruktur der Verwaltung entstehen, definiert werden. Mit Hilfe dieser Kosten soll berücksichtigt werden, dass kürzere Wege für die Logistik höhere Kosten für die Infrastruktur mit sich ziehen, da hierfür eine größere Anzahl von Fuhrparkstandorten und Senken notwendig ist. Es soll also eine ganzheitliche Abbildung von Änderungen in der Verwaltungsinfrastruktur (z.B. durch Errichtung oder Auflösung eines Fuhrparkstandortes oder Umschlagplatzes) ermöglicht werden.

Bei der Betrachtung der Kosten für die Infrastruktur besteht das Problem, dass die Einrichtungen auch zur Durchführung von Verwaltungsaufgaben anderer vom Entsorgungsunternehmen durchgeführter Dienstleistungen (z.B. Straßenreinigung, Containerdienste oder Industrieentsorgungen) genutzt werden. Des Weiteren ist die Festlegung der anzurechnenden Kosten, speziell bei der Erstellung von Angeboten im Rahmen von Ausschreibungsteilnahmen im hohen Maße individuell. Dieses liegt zum einen daran, dass gerade mit niedrig angesetzten Verwaltungskosten versucht wird

den Angebotspreis gering zu halten. Zum anderen sind die Verwaltungskosten auch stark abhängig vom Entsorgungsunternehmen. Gehört die Verwaltungseinheit zu einem überregionalen Unternehmen, ist die Kostenstruktur durch evtl. zu entrichtende Verwaltungskostenumlagen eine Andere, als wenn es sich um ein regionales, auf das betrachtete Entsorgungsgebiet begrenztes, Unternehmen handelt.

Diese Problematik soll bei Anwendung des in Kapitel 3 zu erstellenden Ausschreibungsmoduls durch den Anwender auf gleiche Weise gelöst werden wie bei bisherigen Ausschreibungsteilnahmen. Also auf der Basis von vom Einzelfall abhängigen strategischen Überlegungen.

Für die Auswertungen in der vorliegenden Arbeit und damit die in Kapitel 4.2 zu erstellenden Modellregionen sollen die Kosten für die Verwaltung als Fixkosten anteilig ermittelt werden. Das heißt, das für den Betrieb und Unterhalt der im Folgenden beschriebenen Betriebsstellen, Fuhrparkstandorte, Umschlagplätze und Tankstellen jeweils ein realitätsnaher jährlicher Fixkostensatz angesetzt wird. Dieses soll näherungsweise durch den Anteil der betrachteten Dienstleistungen an der Gesamtwertschöpfung geschehen.

2.1.5.1 Kosten Betriebsstellen und Fuhrparkstandorte

Der Unterhalt von Betriebsstellen bzw. Fuhrparkstandorten bedingt Pacht-, Miet- oder Kapitalkosten und Unterhaltskosten. Die anfallenden Personalkosten sind vom Umfang der dort erledigten Verwaltungsaufgaben abhängig. Im Sinne einer transparenten Kalkulation soll in dieser Arbeit auf eine Abschätzung der sehr individuell angesetzten Personalkosten verzichtet werden. Lediglich die Kosten für die Disposition, die direkt abhängig von der Anzahl der eingesetzten Fahrzeuge ist, sollen gesondert berücksichtigt werden.

2.1.5.2 Umschlagplätze

Umschlagplätze werden idealerweise in zentraler Lage zu den Sammelrevieren eingerichtet, um so den Vorteil eines kurzen Primärtransportes des Abfalls optimal zu nutzen. Für den Umschlagplatz muss, wenn sie nicht im Eigentum des Entsorgungsunternehmens sind, eine Pacht bzw. Miete gezahlt werden. Häufig werden Umschlagplätze vor allem in ländlichen Regionen, zu sehr günstigen Konditionen von den Kommunen zur Verfügung gestellt.

2.1.6 Übersicht Einflussparameter

In Anlehnung an die in Kapitel 2 dargestellte Gesamtstruktur der Kostenarten des logistischen Gesamtsystems werden die einzelnen in den vorangegangenen Kapiteln erläuterten an dieser Stelle nochmals zusammengefasst (Bild 18).

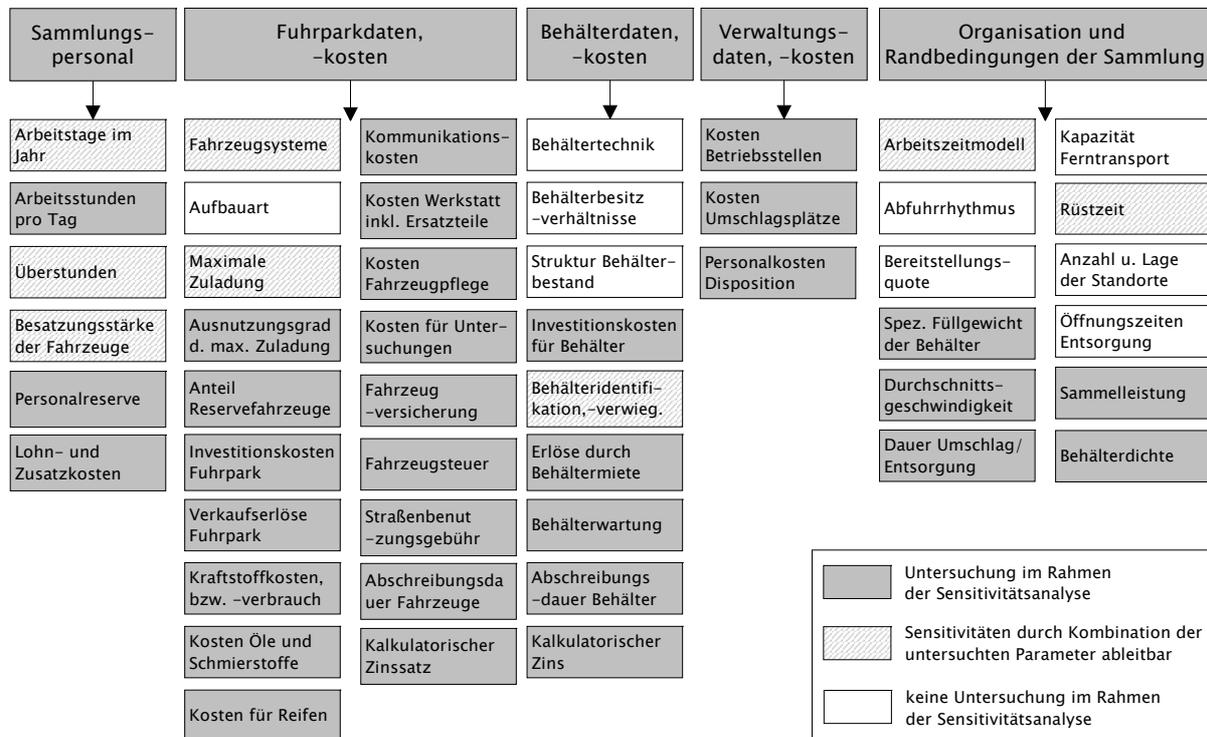


Bild 18: Übersicht der Einflussparameter auf die Gesamtkosten

Die in der Übersicht grau hinterlegten Parameter werden im Zuge der Sensitivitätsanalyse (Kapitel 4) direkt auf ihren Einfluss auf die Gesamtkosten der Sammellogistik untersucht. Die schraffiert dargestellten Parameter werden nicht direkt variiert. Die von ihnen ausgehenden Einflüsse lassen sich jedoch durch die Kombination der Sensitivitäten der direkt untersuchten Parameter ableiten.

Die Parameter, die nicht näher untersucht werden (weiß hinterlegt), sind im Folgenden aufgeführt:

- Aufbauart: Die Entscheidung über die Wahl der wirtschaftlich günstigeren Aufbauart (Fest- oder Wechselaufbau) der Sammelfahrzeuge ist wesentlich abhängig von den jeweiligen Kosten des Direkttransportes im Vergleich zu denen des Sekundärtransportes. Detaillierte Untersuchungen zu dieser Problemstellung sind in

Habeck-Tropfke 1985 zu finden. Die beiden in Kapitel 4 zu untersuchenden Modellregionen sind jeweils typische Vertreter für den Einsatz der einen oder anderen Technik. Eine Variation innerhalb der Modellregionen ist insofern nicht sinnvoll.

- Behältertechnik und -besitzverhältnisse sowie die Struktur des Behälterbestandes und Abfuhrhythmus: Die drei Einflussfaktoren sind im Rahmen der in dieser Arbeit schwerpunktmäßig zu untersuchenden Ausschreibungsteilnahmen fest von den Kommunen vorgegeben und werden daher nicht variiert.
- Bereitstellungsquote: Die Bereitstellungsquote wird wesentlich von den fix vorgegebenen Einflüssen Gebührenmodell, Abfuhrhythmus und Struktur des Behälterbestandes beeinflusst (vgl. hierzu **Doedens 1995**). Sie ist insofern nicht variabel.
- Kapazität des Ferntransportes: Eine Variation der Transportkapazität der Fahrzeuge für den Sekundärtransport ist mit einem Systemwechsel der Sammelfahrzeuge (vgl. Kapitel 2.1.2.1) und damit der Änderung einer Vielzahl anderer Einflüsse (z.B. Fahrzeugkosten, zulässigen Zuladungen etc.) verbunden. Diese Vielzahl von Änderungen lässt sich im Sinne einer Sensitivitätsanalyse, in der Einflüsse abgegrenzt voneinander untersucht werden, nicht berücksichtigen.
- Anzahl und Lage der Standorte: Die Änderung der Anzahl und Lage der Standorte lässt keine übertragbaren Rückschlüsse auf die Realität zu, da eine Variation in der Praxis vielen individuell verschiedenen Restriktionen unterliegt (Verfügbarkeit und Lage von Grundstücken bzw. Gebäuden).
- Öffnungszeiten der Entsorgung: Für die im Rahmen der vorliegenden Arbeit untersuchten Arbeitszeiten bzw. deren Variationsbereiche kann davon ausgegangen werden, dass die Öffnungszeiten der Entsorgungsanlagen keine begrenzende Rolle spielen.

2.2 Aufstellung der exakten Kostenberechnung

Die im vorangegangenen Abschnitt aufgelisteten und beschriebenen Einflussparameter werden in diesem Kapitel in einer Kalkulation zur Berechnung der Kosten des logistischen Gesamtsystems zusammengeführt. Ziel ist die rechnerische Grundlage für die in Kapitel 3 vorgestellte Software SOKRATES zu legen. Anhand dieser Software

kann eine einfache Entscheidung für die günstigste Variante der Sammellogistik mit Hilfe der Methode der Kostenvergleichsrechnung getroffen werden.

Unter der Berücksichtigung der vier kostenverursachenden Blöcke Sammelpersonal, Fuhrpark, Behälter und Verwaltung gilt:

$$K_{\text{LogGs}} = K_{\text{Pers}} + K_{\text{Fu}} + K_{\text{B}} + K_{\text{Ver}}$$

Formel 2.1

Es sind: K_{LogGs}	= Kosten des logistischen Gesamtsystems pro Jahr
K_{Pers}	= Personalkosten für das Sammelpersonal pro Jahr
K_{Fu}	= Gesamtkosten für Betrieb und Wartung des Fuhrparks pro Jahr
K_{Ver}	= Verwaltungskosten pro Jahr
K_{B}	= Gesamtkosten für Gestellung und Unterhalt der Sammelbehälter pro Jahr

Zunächst soll der Aufbau der Berechnungen des Sammelpersonals, der Fahrzeuge, der Behälter, der Verwaltung vorgestellt werden, bevor im Kapitel 2.2.5 unter Berücksichtigung der Randbedingungen und Leistungsdaten der Sammlung Aussagen bezüglich der einzusetzenden Mengen getroffen werden.

2.2.1 Sammelpersonal

Die Kosten für das Sammelpersonal setzen sich aus den einzelnen Kostenanteilen für Fahrer und Lader zusammen.

$$K_{\text{Pers}} = K_{\text{Pers}_{\text{Fa}}} + K_{\text{Pers}_{\text{La}}}$$

Formel 2.2

Es sind: $K_{\text{Pers}_{\text{Fa}}}$	= Personalkosten für die Fahrer pro Jahr
$K_{\text{Pers}_{\text{La}}}$	= Personalkosten für das Ladepersonal pro Jahr

Die Berechnung der Personalkosten für die Fahrer $K_{\text{Pers}_{\text{Fa}}}$ berücksichtigt dabei sowohl die Fahrer der Sammel- als auch der Transportfahrzeuge. Die täglichen Kosten

entstehen für die vom Arbeitszeitmodell abhängige reguläre Arbeitszeit als auch für evtl. Überstunden und müssen zur Berechnung der jährlichen Kosten mit der Anzahl der Bruttoeinsatztage im Jahr multipliziert werden. Infolge der Berechnung auf Grundlage der *Brutto*-Einsatztage ist somit die Personalreserve bereits berücksichtigt. Im Falle verschiedener Vergütungsgruppen der Fahrer wären die Kosten getrennt zu addieren.

$$K_{\text{Pers_Fa}} = (L_{\text{Fa_h}} \cdot AZ_{\text{Fa_d_reg}} + L_{\text{Fa_Üh}} \cdot AZ_{\text{Fa_d_Üh}}) \cdot Et_{\text{a_Bru}} \cdot (f_{\text{Sam_d}} + f_{\text{Trans_d}})$$

Formel 2.3

Es sind: $AZ_{\text{Fa_d_reg}}$	= reguläre Arbeitszeit der Fahrer pro Tag
$AZ_{\text{Fa_d_Üh}}$	= nach Überstundentarif zu bezahlende Arbeitsstunden der Fahrer pro Tag
$Et_{\text{a_Bru}}$	= Brutto-Einsatztage eines Mitarbeiters im Jahr bzw. Anzahl der Tage an denen die Sammlung durchgeführt wird
$f_{\text{Sam_d}}$	= Anzahl der täglich eingesetzten Sammelfahrzeuge
$f_{\text{Trans_d}}$	= Anzahl der täglich eingesetzten Transportfahrzeuge
$L_{\text{Fa_h}}$	= Lohnkosten eines Fahrers pro Arbeitsstunde
$L_{\text{Fa_Üh}}$	= Lohnkosten eines Fahrers pro Überstunde

Die Lohnkosten eines Fahrers $L_{\text{Fa_h}}$ sind die anfallenden Kosten für den Mitarbeiter je tatsächlich abgeleiteter Arbeitsstunde. Dieses bedeutet, dass Zeiten in denen der Fahrer infolge von Urlaub, Krankheit etc. ausfällt, berücksichtigt werden müssen.

Der Stundenlohn eines Fahrers $L_{\text{Fa_h}}$ berechnet sich daher wie folgt:

$$L_{\text{Fa_h}} = \frac{L_{\text{Fa_a}}}{Et_{\text{a_Net_Fa}} \cdot AZ_{\text{Fa_d_reg}}}$$

Formel 2.4

Es sind: $Et_{a_Net_Fa}$ = Netto-Arbeitstage der Fahrer pro Jahr, d.h. unter Berücksichtigung des Urlaubes, Krankheitstagen etc.
 L_{Fa_a} = Lohnkosten eines Fahrers pro Jahr inkl. aller Neben- und Zusatzkosten sowie Zuschläge für Samstagsarbeit

Arbeitsstunden, die nach Überstundentarif bezahlt werden müssen, werden mit dem tariflichen Stundenlohn d.h. ohne Berücksichtigung der Ausfallzeiten zuzüglich des Überstunden-Zuschlages entgolten. Es gilt folglich:

$$L_{Fa_Üh} = L_{Fa_h} \cdot (1 + \ddot{U}z)$$

Formel 2.5

Es ist: $\ddot{U}z$ = Überstundenzuschlag

Bei der Berechnung der Personalkosten für die Lader muss die jeweilige Besatzungsstärke auf den Fahrzeugen berücksichtigt werden. Diese ist abhängig von dem jeweiligen Sammelfahrzeug(-typ).

$$K_{Pers_La} = \sum_{s=1}^{u_{Ss}} f_{sam_d_Ss(s)} \cdot \sum_{i=1}^{Bs_{Ss(u)_Fz(i)}} (L_{La_h} \cdot Az_{La_d_reg} + L_{La_Üh} \cdot Az_{La_d_Üh}) \cdot Et_{a_Bru}$$

Formel 2.6

Es sind: $Az_{La_d_reg}$ = reguläre Arbeitszeit der Lader pro Tag
 $Az_{La_d_Üh}$ = nach Überstundentarif zu bezahlende Arbeitsstunden der Lader pro Tag
 Bs_{Ss_Fz} = fraktionsspezifische Lader-Besatzungsstärke eines Fahrzeuges eines bestimmten Sammel-Fahrzeugsystems
 $f_{sam_d_Ss}$ = Anzahl der fraktionsspezifisch eingesetzten Sammelfahrzeuge eines Fahrzeugsystems pro Tag
 L_{La_h} = Lohnkosten eines Laders pro Arbeitsstunde
 $L_{La_Üh}$ = Lohnkosten eines Laders pro Überstunde
 u_{Ss} = Anzahl der eingesetzten unterschiedlichen Sammelfahrzeug-Fahrzeugsysteme

Die Berechnung des Stunden- bzw. Überstundenlohns eines Laders erfolgt analog zur Berechnung bei den Fahrern. Für den Stundenlohn L_{La_h} gilt also:

$$L_{La_h} = \frac{L_{La_a}}{Et_{a_Net_La} \cdot AZ_{La_d_reg}}$$

Formel 2.7

Es sind: $Et_{a_Net_La}$ = Netto-Arbeitstage der Lader pro Jahr, d.h. unter Berücksichtigung des Urlaubes, Krankheitstagen etc.

L_{La_a} = Lohnkosten eines Laders pro Jahr inkl. aller Neben- und Zusatzkosten sowie Zuschläge für Samstagsarbeit

Analog zur Berechnung des Überstundenlohns für Fahrer gilt für $L_{La_Üh}$:

$$L_{La_Üh} = L_{La_h} \cdot (1 + \ddot{U}z)$$

Formel 2.8

Der jeweilige Quotient zwischen Brutto- und Netto-Einsatztagen im Jahr bei Fahrern und Ladern entspricht der mindestens vorzuhaltenden Personalreserve da an allen Tagen an denen die Sammlung durchgeführt wird, eine komplette Besetzung gewährleistet sein muss. Demzufolge gilt:

$$R_{La} = \frac{Et_{a_Bru}}{Et_{a_Net_La}}$$

Formel 2.9

Es ist R_{La} = Personalreserve Lader

Für die Personalreserve der Fahrer gilt analog:

$$R_{Fa_Fr} = \frac{Et_{a_Bru}}{Et_{a_Net_Fa}}$$

Formel 2.10

Es ist R_{Fa} = Personalreserve Fahrer

2.2.2 Fuhrpark

Die Kosten für den Betrieb und Wartung des Fuhrparks aus Sammel- und Transportfahrzeugen setzen sich aus fixen und variablen Kostenanteilen zusammen.

$$K_{Fu} = K_{Fu_Fix} + K_{Fu_Var}$$

Formel 2.11

Es sind: K_{Fu_Fix} = Fixkosten des Fuhrparks pro Jahr

K_{Fu_Var} = Variable Kosten des Fuhrparks pro Jahr

Die fixen Kosten des Fuhrparks resultieren aus der Betrieb und der Wartung für alle im Fuhrpark befindlichen Fahrzeuge. Die variablen Kosten fallen lediglich für die tatsächlich eingesetzte Anzahl von Fahrzeuge an, d.h. der als Reserve vorgehaltene Anteil des Fuhrparks verursacht keine variablen Kosten.

2.2.2.1 Fixkosten des Fuhrparks

Die Berechnung der Fixkosten für den Fuhrpark, also der Summe der Kosten der einzelnen Fahrzeuge, erfolgt wie in Formel 2.12 dargestellt.

$$K_{Fu_Fix} = K_{Fu_Kap} + K_{Fu_Ve} + K_{Fu_St} + K_{Fu_Un}$$

Formel 2.12

Es sind: K_{Fu_Kap} = Kapitalkosten des Fuhrparks pro Jahr

K_{Fu_Ve} = Versicherungskosten des Fuhrparks pro Jahr

K_{Fu_St} = Kosten für Fahrzeugsteuern des Fuhrparks pro Jahr

K_{Fu_Un} = Kosten für Untersuchungen des Fuhrparks nach StVZO pro Jahr

Die Berechnung der einzelnen Kostenanteile wird im Folgenden erläutert.

Kapitalkosten: Die Kapitalkosten für den Fuhrpark K_{Fu_Kap} berechnen sich bei linearer Abschreibung wie in Formel 2.13 dargestellt, **Warnecke 1993**. Die kalkulatorischen Abschreibungen drücken dabei die verschleißbedingte Wertminderung bezüg-

lich der langfristig nutzbaren Produktionsfaktoren aus, **Kilger 1987**. Die Berücksichtigung der Verkaufserlöse für Anhänger und Wechselbehälter erfolgt aus Gründen der Vollständigkeit und wird in der Praxis nur selten durchgeführt, da der Restwert i.d.R. gleich null zu setzen ist.

$$\begin{aligned}
 K_{Fu_Kap} = & \sum_{i=1}^f \left(\frac{(K_{Fz(i)_Inv} - V_{Fz(i)_E})}{t_{Fz(i)_A}} + 0,5 \cdot (K_{Fz(i)_Inv} - V_{Fz(i)_E}) \cdot Z_k \right) \\
 & + \sum_{j=1}^a \left(\frac{(K_{Anh(j)_Inv} - V_{Anh(j)_E})}{t_{Anh(j)_A}} + 0,5 \cdot (K_{Anh(j)_Inv} - V_{Anh(j)_E}) \cdot Z_k \right) \\
 & + \sum_{k=1}^w \left(\frac{(K_{W(k)_Inv} - V_{W(k)_E})}{t_{W(k)_A}} + 0,5 \cdot (K_{W(k)_Inv} - V_{W(k)_E}) \cdot Z_k \right)
 \end{aligned}$$

Formel 2.13

Es sind: a	= Anzahl der Anhänger
f	= Anzahl der Fahrzeuge im Fuhrpark
K_{Fz_Inv}	= Investitionskosten - Fahrzeuge
K_{Anh_Inv}	= Investitionskosten - Anhänger
K_{W_Inv}	= Investitionskosten - Wechselbehälter
t_{Anh_A}	= Abschreibungsdauer eines Anhängers
t_{Fz_A}	= Abschreibungsdauer eines Fahrzeuges
t_{W_A}	= Abschreibungsdauer eines Wechselbehälters
V_{Anh_E}	= Verkaufserlös des Anhängers nach Ende der Abschreibungsdauer
V_{Fz_E}	= Verkaufserlös des Fahrzeuges nach Ende der Abschreibungsdauer
V_{W_E}	= Verkaufserlös des Wechselbehälters nach Ende der Abschreibungsdauer
w	= Anzahl der Wechselbehälter
Z_k	= kalkulatorischer Zinssatz

Die Investitionskosten für die Fahrzeuge setzen sich dabei, wie in Formel 2.14 dargestellt, aus einzelnen Beträgen für die verschiedenen Fahrzeugkomponenten zusammen. Bei der Betrachtung von Transportfahrzeugen sind die Kosten für die

Schüttung und die Systeme zur Behälteridentifikation bzw. Behälteridentifikation mit paralleler Behälterverwiegung gleich null zu setzen.

$$K_{Fz_Inv} = \sum_{i=1}^f (K_{Fz(i)_Fg_Inv} + K_{Fz(i)_Auf_Inv} + K_{Fz(i)_S_Inv} + K_{Fz(i)_I_Inv} + K_{Fz(i)_V_Inv})$$

Formel 2.14

Es sind: $K_{Fz_Auf_Inv}$ = Investitionskosten für Fahrzeugaufbau
 $K_{Fz_Fg_Inv}$ = Investitionskosten für Fahrzeuggestell bzw. -chassis
 $K_{Fz_I_Inv}$ = Investitionskosten für System zur Behälteridentifikation
 $K_{Fz_S_Inv}$ = Investitionskosten für Schüttung
 $K_{Fz_V_Inv}$ = Investitionskosten für System zur Behälteridentifikation und -verwiegung

Versicherungskosten: Die Versicherungskosten des Fuhrparks entsprechen der Summe der einzelnen Versicherungskosten der Fahrzeuge.

$$K_{Fu_Ve} = \sum_{i=1}^f K_{Fz(i)_Ve}$$

Formel 2.15

Es ist: K_{Fz_Ve} = Versicherungsprämie eines Fahrzeuges pro Jahr

Fahrzeugsteuer: Die Kosten für die Fahrzeugsteuer des Fuhrparks entsprechen der Summe der einzelnen Steuersätze der Fahrzeuge. Die Höhe der Steuer richtet sich nach dem zulässigen Gesamtgewicht und der Achszahl der Fahrzeuge, **Hill oJ**.

$$K_{Fu_St} = \sum_{i=1}^f K_{Fz(i)_St}$$

Formel 2.16

Es ist: K_{Fz_St} = Steuersatz eines Fahrzeuges pro Jahr

Untersuchungen nach StVZO: Die Kosten für die vorgeschriebenen Untersuchungen der Fuhrpark-Fahrzeuge nach StVZO entsprechen der Summe der einzelnen Untersuchungskosten der Fahrzeuge.

$$K_{Fu_Un} = \sum_{i=1}^f K_{Fz(i)_Un}$$

Formel 2.17

Es ist: K_{Fz_Un} = Kosten für Untersuchungen eines Fahrzeuges nach StVZO pro Jahr

2.2.2.2 Variable Kosten des Fuhrparks

Im Folgenden wird die Berechnung der variablen Kosten des Fuhrparks erläutert.

$$K_{Fu_Var} = K_{Fu_We} + K_{Fu_Kr} + K_{Fu_Sch} + K_{Fu_Re} + K_{Fu_Kom} + K_{Fu_Pf} + K_{Fu_Sb}$$

Formel 2.18

Es sind: K_{Fu_Pf} = Kosten für Fahrzeugpflege des Fuhrparks pro Jahr
 K_{Fu_Kom} = Kommunikationskosten durch Betrieb des Fuhrparks pro Jahr
 K_{Fu_Kr} = Kraftstoffkosten des Fuhrparks pro Jahr
 K_{Fu_Re} = Kosten für Reifen des Fuhrparks pro Jahr
 K_{Fu_Sb} = Kosten für Straßenbenutzung des Fuhrparks pro Jahr
 K_{Fu_Sch} = Kosten für Schmiermittel, Öl etc. des Fuhrparks pro Jahr
 K_{Fu_We} = Werkstattkosten inkl. Ersatzteile des Fuhrparks pro Jahr

Die Berechnung der einzelnen Kostenarten wird im Folgenden erläutert. Dabei ist, wie oben erwähnt zu beachten, dass die variablen Kosten nur durch den tatsächlich eingesetzten Anteil der Fahrzeuge entstehen. Dieser ist wie folgt definiert:

$$f_d = \sum_{i=1}^{ASs} f_{Ss} - f_{Ss} \cdot R_{Ss} = \sum_{i=1}^{ASs} f_{Ss} \cdot (1 - R_{Ss})$$

Formel 2.19

Es sind: f_d = Anzahl der täglich durchschnittlich eingesetzten Fahrzeuge
 ASs = Anzahl der verschiedenen Fahrzeugsysteme im Fuhrpark
 R_{Ss} = Reserveanteil eines bestimmten Fahrzeugsystems

Werkstattkosten: Die Werkstattkosten inkl. Ersatzteile für den Fuhrpark K_{Fu_We} berechnen sich aus der Summe der Werkstattkosten der einzelnen Fahrzeuge, Anhänger und Wechselbehälter. Als Werkstattkosten werden hier wie auch in **Kilger 1993** sowohl Reparatur- als auch Instandhaltungskosten verstanden. Der grundsätzliche Unterschied zwischen Reparatur- und Instandhaltungskosten liegt nach **Jacob 1996** in der Vorhersehbarkeit der Instandhaltungskosten, die als vorbeugende Maßnahmen zur Vermeidung ungeplanter Ausfälle dienen. Die Werkstattkosten für Anhänger und Wechselbehälter werden in der Praxis anteilig auf die Werkstattkosten der zugeordneten Fahrzeuge aufgeschlagen und nicht gesondert berücksichtigt.

$$K_{Fu_We} = \sum_{i=1}^{f_d} K_{Fz(i)_We}$$

Formel 2.20

Es ist: K_{Fz_We} = Werkstattkosten eines Fahrzeuges pro Jahr

Kraftstoffkosten: Die Kraftstoffkosten für den Fuhrpark K_{Fu_Kr} berechnen sich aus der Summe der Kraftstoffkosten der einzelnen Fahrzeuge. Dabei wird eine praxisnahe Berechnungsmethode, nämlich die unter Zuhilfenahme eines bekannten spezifischen Kraftstoffverbrauches, gewählt. Umfangreiche Untersuchungen zur Ermittlung der Kraftstoffkosten unter verschiedensten Randbedingungen sind u.a. in **Neesen 1940** oder **Saal 1950** zu finden.

$$K_{Fu_Kr} = \sum_{i=1}^{f_d} K_{Fz(i)_Kr} = \sum_{i=1}^{f_d} Ver_{Fz(i)_spez} \cdot La_{Fz(i)} \cdot P_{Kraftstoff}$$

Formel 2.21

Es sind: K_{Fz_Kr} = Kraftstoffkosten eines Fahrzeuges pro Jahr
 La_{Fz} = Laufleistung eines Fahrzeuges pro Jahr
 $P_{Kraftstoff}$ = Literpreis des Kraftstoffes
 Ver_{Fz_spez} = Spezifischer Kraftstoffverbrauch eines Fahrzeuges

Öl, Schmiermittel etc.: Die Kosten für Öl und Schmiermittel etc. können, wie bereits in Kapitel 2.1.2.9 erläutert, in ausreichender Näherung als anteiliger Wert der Kraftstoffkosten ermittelt werden (**Wehner 1964, Queißner 1978**). Es ergibt sich folglich

$$K_{Fu_Sch} = \sum_{i=1}^{f_d} K_{Fz(i)_Sch} = \sum_{i=1}^{f_d} An_{Fz(i)_Sch_Kr} \cdot K_{Fz(i)_Kr}$$

Formel 2.22

Es sind: K_{Fz_Sch} = Kosten für Öl, Schmiermittel etc. eines Fahrzeuges pro Jahr
 $An_{Fz_Sch_Kr}$ = Anteil der Kosten für Öl, Schmiermittel etc. eines Fahrzeuges an Kraftstoffkosten

Reifenkosten: Die Kosten für Reifen sind abhängig von der jeweils erreichbaren Laufleistung der Reifen und der Anzahl der Reifen des jeweiligen Fahrzeuges bzw. Anhängers. Ansätze zur Berechnung des Reifenverschleißes selber sind u.a. in **Moyer 1945, Schöpke 1970** und **Roberts 1968** zu finden. Aufgrund der hohen Komplexität der dort vorgeschlagenen Berechnungswege lässt sich der tatsächliche Verschleiß in der Praxis jedoch nur empirisch ermitteln, **Havlicek 1973**. Die Gesamtkosten für die Reifen des Fuhrparks berechnen sich wie in Formel 2.23 dargestellt.

$$K_{Fu_Re} = \sum_{i=1}^{f_d} K_{Fz(i)_Re} + \sum_{j=1}^a K_{Anh(j)_Re}$$

$$= \sum_{i=1}^{f_d} P_{Reifen} \cdot Anz_{Re_Fz(i)} \cdot \frac{La_{Fz(i)}}{La_{Fz(i)_Re}} + \sum_{j=1}^a P_{Reifen} \cdot Anz_{Re_Anh(j)} \cdot \frac{La_{Anh(j)}}{La_{Anh(j)_Re}}$$

Formel 2.23

Es sind: K_{Fz_Re} = Reifenkosten eines Fahrzeuges pro Jahr
 K_{Anh_Re} = Reifenkosten eines Anhängers pro Jahr
 P_{Reifen} = Kosten eines Reifens
 Anz_{Re_Anh} = Anzahl der Reifen eines Anhängers
 Anz_{Re_Fz} = Anzahl der Reifen eines Fahrzeuges
 La_{Anh} = Laufleistung eines Anhängers pro Jahr
 La_{Anh_Re} = Verschleiß-Laufleistung eines Anhängerreifens
 La_{Fz_Re} = Verschleiß-Laufleistung eines Fahrzeugreifens

Kommunikationskosten: Die Kommunikationskosten werden pro Fahrzeug als Pauschale angesetzt und verrechnet. Somit sind die Gesamtkommunikationskosten gleich der Summe der einzelnen Kommunikationskosten der Fahrzeuge.

$$K_{Fu_Kom} = \sum_{i=1}^{f_d} K_{Fz(i)_Kom}$$

Formel 2.24

Es ist: K_{Fz_Kom} = Kommunikationskosten eines Fahrzeuges pro Jahr

Fahrzeugpflegekosten: Die Fahrzeugpflegekosten werden, wie die Kommunikationskosten, pro Fahrzeug als Pauschale angesetzt und verrechnet. Somit sind die Gesamtpflegekosten gleich der Summe der einzelnen Fahrzeugpflegekosten der Fahrzeuge.

$$K_{Fu_Pf} = \sum_{i=1}^{f_d} K_{Fz(i)_Pf}$$

Formel 2.25

Es ist: K_{Fz_Pf} = Kosten für Fahrzeugpflege eines Fahrzeuges pro Jahr

Straßenbenutzungskosten: Auch die Straßenbenutzungskosten bzw. -gebühren (vgl. Kapitel 2.1.2.17) werden pauschal angesetzt und gleich der Summe der Einzelkosten gesetzt.

$$K_{Fu_Sb} = \sum_{i=1}^{f_d} K_{Fz(i)_Sb}$$

Formel 2.26

Es ist: K_{Fz_Sb} = Kosten für Straßenbenutzung eines Fahrzeuges pro Jahr

2.2.3 Behälter

Die für die Bereitstellung des zu sammelnden Abfalls verwendeten Behälter können, wie in Kapitel 2.1.3.4 beschrieben, im Besitz des entsorgenden Unternehmens, der

Gebietskörperschaft oder der Bürger selbst sein. In letzterem Fall entstehen für das Entsorgungsunternehmen keine Kosten. Sind die Behälter im Besitz der Gebietskörperschaft und hat diese einen Dritten mit der Entsorgung beauftragt, so werden pauschale Kosten verrechnet.

Im Folgenden soll die Berechnung der Kosten, die im Rahmen der Gestellung und des Unterhalts der Behälter entstehen, berechnet werden wenn die Behälter im Besitz des Entsorgungsunternehmens sind.

Die Gesamtkosten setzen sich aus Kapitalkosten und Aufwendungen für den Unterhalt zusammen. Die Erlöse aus der Vermietung der Behälter an die Haushalte müssen hierbei abgezogen werden (Formel 2.27).

$$K_B = K_{B_Kap} + K_{B_U} - V_{B_M}$$

Formel 2.27

Es sind: K_{B_Kap} = Kapitalkosten durch Gestellung der Sammelbehälter pro Jahr
 K_{B_U} = Kosten für den Unterhalt der Sammelbehälter pro Jahr
 V_{B_M} = Erlöse durch Vermietung der Sammelbehälter pro Jahr

Kapitalkosten: Die Kapitalkosten K_{B_Kap} berechnen sich bei linearer Abschreibung wie im Folgenden dargestellt, **Warnecke 1993**. Die Verkaufserlöse sind dann zu beachten, wenn die Behälter nach Ende der Laufzeit eines Entsorgungsauftrages an einen folgenden Auftragnehmer veräußert werden sollen. Im Allgemeinen ist man jedoch bestrebt, die Behälterinvestitionen in der Vertragslaufzeit komplett abzuschreiben (vgl. Kapitel 2.1.3.8).

$$K_{B_Kap} = \sum_{t=1}^g \left(\sum_{n=1}^{b_{Bt}(t)} \left(\frac{(K_{B(t)_Inv} - V_{B(t)_V})}{t_{B_A}} + 0,5 \cdot (K_{B(t)_Inv} - V_{B(t)_V}) \cdot Z_k \right) \right)$$

Formel 2.28

Es sind: b_{Bt}	= Anzahl der Behälter einer Größe und eines Typs
g	= Anzahl der eingesetzten verschiedenen Behältergrößen bzw. -typen
K_{B_Inv}	= Anschaffungskosten eines Behälters
t_{B_A}	= Abschreibungsdauer der Behälter
V_{B_V}	= Verkaufserlöse der Behälter einer Größe und eines Typs nach Ende der Abschreibungsdauer

Die Anschaffungskosten eines Behälters werden nach dem Behälter selbst sowie dem Preis des optional vorhandenen Ident-Systems inkl. Montage differenziert.

$$K_{B_Inv} = K_{B_Inv_B} + K_{B_Inv_I}$$

Formel 2.29

Es sind: $K_{B_Inv_B}$	= Anschaffungskosten eines Behälters ohne Ident-System
$K_{B_Inv_I}$	= Anschaffungskosten des Ident-Systems inkl. Montage

Unterhaltskosten: Die Kosten für den Unterhalt der Behälter K_{B_U} setzen sich aus den einzelnen Kosten für Behälterinstandhaltung, -tausch, -ersatz und -neuaufstellung zusammen. Der Ersatz bzw. die Neuaufstellung eines Behälters beinhaltet in ausreichender Näherung die gleichen Tätigkeiten und den gleichen Aufwand und werden daher zusammengefasst. Es ist hier jedoch zu berücksichtigen, dass ausgelieferte Behälter zu einem bestimmten Prozentsatz aus dem Behälterpool aus zurückgenommenen Behälter stammen und insofern nur zu einem Teil neu beschafft werden müssen. Die Kosten für die Instandhaltung der Behälter richten sich nach der Anzahl der auftretenden Schäden und dem notwendigen Vorgehen zu deren Behebung (vgl. 2.1.3.7). Sie werden somit durch die jeweiligen Anteile an vor Ort oder am Standort des Entsorgungsunternehmens instanzzusetzenden Behälter berücksichtigt.

$$K_{B_U} = \sum_{t=1}^g \left(\left(An_{B_Re_vO(t)} \cdot K_{B_Re_vO(t)} + An_{B_Re_St(t)} \cdot K_{B_Re_St(t)} \right) + An_{B_T(t)} \cdot An_{B_Pool} \cdot K_{B_T(t)} + An_{B_N(t)} \cdot An_{B_Pool} \cdot K_{B_N(t)} \right) \cdot b(t)$$

Formel 2.30

Es sind: An_{B_N}	= Anteil der neuaufzustellenden Behälter am Gesamtbestand der Behälter gleicher Größe und gleichen Typs inkl. Ersatz
$An_{B_Re_St}$	= Anteil der am Standort des Entsorgungsunternehmens instandzusetzenden Behälter am Gesamtbestand der Behälter gleicher Größe und gleichen Typs
$An_{B_Re_vO}$	= Anteil der Vor-Ort instandzusetzenden Behälter am Gesamtbestand der Behälter gleicher Größe und gleichen Typs
An_{B_T}	= Anteil der zu tauschenden Behälter am Gesamtbestand der Behälter gleicher Größe und gleichen Typs
An_{B_Pool}	= Anteil der neuaufgestellten Behälter infolge von Tausch, Ersatz oder Neuaufstellung aus dem Behälterpool
K_{B_N}	= Kosten für Behälterneuaufstellungen bzw. -ersatz pro Jahr
$K_{B_Re_St}$	= Kosten für die Instandsetzung eines Behälters am Standort des Entsorgungsunternehmens pro Jahr
$K_{B_Re_vO}$	= Kosten für die Vor-Ort-Instandsetzung eines Behälters pro Jahr
K_{B_T}	= Kosten für Behältertausch pro Jahr

Die einzelnen Kosten für Reparatur, Tausch und Ersatz der Behälter setzen sich aus der dafür notwendigen Logistik, also dem Transport von Personal und ggf. der Behälter, den Personalkosten und eventuell notwendigen Ersatzteilen bzw. Ersatzbehältern zusammen.

Erlöse durch Behältervermietung: Die Erlöse durch die Behältervermietung entsprechen der Summe der Einzelmieteinnahmen der Behälter und berechnen sich wie folgt:

$$V_{B_M} = \sum_{t=1}^g (V_{B_M(t)_e} \cdot b(t))$$

Formel 2.31

Es ist: $V_{B_M_e}$ = Mieterlös eines einzelnen Behälters pro Jahr

2.2.4 Verwaltung

In diesem Abschnitt werden die Kosten berücksichtigt, die durch Komponenten entstehen, die in ihrer Funktion als logistische Knotenpunkte die Kosten für das logistische Gesamtsystem beeinflussen. Hierzu gehören (vgl. Kapitel 2.1.5) Betriebsstellen bzw. Fuhrparkstandorte und Umschlagplätze.

$$K_{\text{Ver}} = \sum_{x=1}^{\text{Anz}_{\text{BF}}} K_{\text{Ver_BF}} + \sum_{y=1}^{\text{Anz}_{\text{Um}}} K_{\text{Ver_Um}} + K_{\text{Pers_Dispo}}$$

Formel 2.32

Es sind: Anz_{BF}	= Anzahl der Betriebsstellen und Fuhrparkstandorte im betrachteten Entsorgungsgebiet
Anz_{Um}	= Anzahl der Umschlagplätze im betrachteten Entsorgungsgebiet
$K_{\text{Ver_BF}}$	= Anteilige Kosten für Betrieb und Unterhalt der Betriebsstelle(n) bzw. Fuhrparkstandort(e) pro Jahr
$K_{\text{Ver_Um}}$	= Anteilige Kosten für Betrieb und Unterhalt der Umschlagplätze pro Jahr
$K_{\text{Pers_Dispo}}$	= Personalkosten Disposition pro Jahr

Wie bereits erläutert, besteht bei der Ermittlung der anteiligen Kosten das Problem, dass die Infrastruktur auch zur Erfüllung anderer Dienstleistungen und Aufgaben des Entsorgungsunternehmens genutzt wird. Da die tatsächlichen Kosten daher nur schwer und nur in Ausnahmefällen exakt ermittelt werden können, sollen sie als Fixkostensatz berücksichtigt und abgeschätzt werden. Aus diesem Grund soll hier auf eine weitere Detaillierung der einzelnen Kosten verzichtet werden.

2.2.5 Mengenmäßige Berechnung

In diesem Abschnitt sollen die in den vorangegangenen Kapiteln berechneten Parametern mit den in Kapitel 2.1.4 beschriebenen Randbedingungen bzw. der Leistungsdaten der Sammlung zu einer Gesamtberechnung zusammengeführt werden. Ausgangspunkt der Berechnung sind die im zu entsorgenden Gebiet anfallenden Abfallmengen. Diese Basis wurde gewählt, da diese Angaben im Vergleich zu anderen nahezu immer verfügbar sind.

2.2.5.1 Anzahl der Behälter

Ist die Anzahl der Behälter nicht bekannt, kann sie nach den verwendeten Behältergrößen aus deren Anteil am Gesamtbehälterbestand, dem Volumen, den spezifischen Füllungsgewichten und deren Verteilung auf die angebotenen Leerungsrhythmen ermittelt werden.

Die mit einer, einem bestimmten Leerungsrhythmus zugeordneten Behältergröße und -typ zu sammelnde Jahrestonnage ergibt sich wie folgt:

$$T_{\text{Bt_Lr}} = \frac{\lambda_{\text{Bt_Lr}} \cdot L_{\text{Anz_Lr}} \cdot B_{\text{Bt_Vol}} \cdot \rho_{\text{Bt_Lr}}}{\sum_{h=1}^I \sum_{t=1}^g L_{\text{Anz_Lr}(h,t)} \cdot B_{\text{Bt_Vol}(t)} \cdot \rho_{\text{Bt_Lr}(h,t)}} \cdot T$$

Formel 2.33

Es sind: $T_{\text{Bt_Lr}}$	= Fraktionsspezifische Jahrestonnage eines Behältertyps einer bestimmten Größe und eines bestimmten Leerungsrhythmus
$\rho_{\text{Bt_Lr}}$	= Spez. Füllgewicht der Behältergröße bzw. des Behältertyps
$\lambda_{\text{Bt_Lr}}$	= Anteil der Behältergröße und -typs mit gleichem Leerungsrhythmus am Gesamtbestand der Behälter
$B_{\text{Bt_Vol}}$	= Nenn-Volumen der Behältergröße bzw. des Behältertyps
$L_{\text{Anz_Lr}}$	= Anzahl der jährlichen Leerungen eines Leerungsrhythmus
T	= Jahrestonnage der Abfallfraktion im Entsorgungsgebiet

Nachdem die Gesamttonnage der mit einer Behältergröße abzufahrenden Fraktion eines diskreten Leerungsrhythmus bekannt ist, kann die Anzahl der dafür notwendigen Behälter durch Division dieser Menge durch das Produkt der spezifischen Füll-dichte und der Anzahl der jährlichen Leerungen ermittelt werden (Formel 2.34).

$$b_{\text{Bt_Lr}} = \frac{T_{\text{Bt_Lr}}}{\rho_{\text{Bt_Lr}} \cdot L_{\text{Anz_Lr}}}$$

Formel 2.34

Es ist: $b_{\text{Bt_Lr}}$	= Anzahl der Behälter einer Größe und eines Typs für eine Fraktion und eines bestimmten Leerungsrhythmus ohne Berücksichtigung der Bereitstellquote im Entsorgungsgebiet
-----------------------------	--

Wie aus der Definition der Anzahl der Behälter b_{Bt_Lr} hervorgeht, wurde hier die Bereitstellquote noch nicht berücksichtigt, d.h. bei dieser Anzahl der Behälter wäre zur Abfuhr der anfallenden Mengen eine hundertprozentige Bereitstellung bzw. Leerung aller angemeldeten Behälter notwendig. In der Praxis werden Behälter nicht an jedem Abfuhrtermin zur Sammlung bereitgestellt (vgl. Kapitel 2.1.4.3), d.h. der tatsächliche Bestand ist entsprechend der Differenz zwischen 100% aller mit Gebühren belasteten Behälter und der durch die Bereitstellungsquote bestimmten Anzahl tatsächlich zu leerender Behälter größer.

$$b_{Bt_Lr_mB} = \frac{b_{Bt_Lr}}{Bq_{Bt_Lr}}$$

Formel 2.35

Es sind: $b_{Bt_Lr_mB}$ = Anzahl der gebührenpflichtigen Behälter einer Größe und eines Typs eines bestimmten Leerungsrythmus im Entsorgungsgebiet, d.h. unter Berücksichtigung der Bereitstellungsquote

Bq_{Bt_Lr} = Bereitstellungsquote einer Behältergröße und -typs nach Leerungsrythmus

Die Anzahl der tatsächlich vorhandenen Behälter $b_{Bt_Lr_B}$ ist für die Berechnungen des Aufwandes für die Sammlung nicht relevant, da hierfür durch den darin enthaltenen Anteil nicht zu leerender Behälter keine Kosten resultieren. Sie ist jedoch für die Berechnung der behälterspezifischen Kosten und damit die Ermittlung der Gebühren von großer Bedeutung.

Um die Dimensionierung des Sammelfahrzeugfuhrparks, die im nächsten Kapitel vorgestellt wird, durchführen zu können, muss die Anzahl der täglich zu leerenden Behälter der verschiedenen Größen berechnet werden. Eine anzustrebende gleichmäßige Auslastung an allen Sammeltagen vorausgesetzt, ergibt sich diese Anzahl als Summe der durchschnittlich täglich zu leerenden Behälter über alle Leerungsrythmen.

$$b_{Bt_d} = \sum_{h=1}^I \left(b_{Bt_Lr(h)} \cdot \frac{L_{Anz_Lr(h)}}{Et_{a_Bru}} \right)$$

Formel 2.36

Es ist: b_{Bt_d} = Anzahl der täglich zu leerenden Behälter einer Größe und eines Typs für eine Fraktion im Entsorgungsgebiet

Nachdem die Anzahl der zu leerenden Behälter bekannt ist, muss nun die Anzahl der für deren Umleerung notwendigen Sammelfahrzeuge berechnet werden.

2.2.5.2 Anzahl der Sammelfahrzeuge

Um die Anzahl der einzusetzenden Fahrzeuge berechnen zu können, muss zunächst eine Aufteilung der täglich umzuleerenden Behälter nach den eingesetzten Fahrzeugtypen vorgenommen werden. Dieses kann durch eine Zuordnung der Behältertypen bzw. -größen zu den Fahrzeugsystemen geschehen.

$$b_{Bt_d_Ss} = b_{Bt_d} \cdot \lambda_{Bt_Ss}$$

Formel 2.37

Es sind: $b_{Bt_d_Ss}$ = Anzahl der Behälter einer Größe und eines Typs, die von einem definierten Fahrzeugsystem täglich abgefahren werden

λ_{Bt_Ss} = Anteil des Gesamtbestandes einer Behältergröße und -typs, die von einem definierten Fahrzeugsystem abgefahren werden

Im Folgenden wird die Anzahl der Fahrzeuge der jeweiligen Fahrzeugsysteme berechnet, die für die Umleerung der berechneten Anzahl von Behältern notwendig sind. Zunächst muss dafür die zur Verfügung stehende effektive Arbeitszeit ermittelt werden. Die effektive Arbeitszeit wird als die Zeit definiert, in der die Sammlung und der Primär-Transport bzw. die Entsorgungsfahrten durchgeführt werden.

Da die Fahrer aufgrund der einzuplanenden Rüstzeit i.d.R. einen früheren Arbeitsbeginn haben, soll als Basis für die Berechnungen die Arbeitszeit der Lader dienen.

Hiervon sind zur Berechnung der effektiven Arbeitszeit die Fahrzeiten zur An- und Abfahrt in das bzw. aus dem Revier zu Arbeitsbeginn bzw. -ende zu subtrahieren.

$$Az_{\text{eff_d_Ss}} = Az_{\text{La_d_Reg}} + Az_{\text{La_d_Üh}} - Fz_{\text{AA_d_Ss}}$$

Formel 2.38

Es sind: $Az_{\text{eff_d_Ss}}$ = Mittlere effektive tägliche Arbeitszeit für Sammlung und (Primär-)Transport einer Fraktion mit einem Fahrzeugsystem
 $Fz_{\text{AA_d_Ss}}$ = Mittlere tägliche Fahrzeit für An- und Abfahrt zu Arbeitsbeginn bzw. -ende für ein bestimmtes Fahrzeugsystem zur Sammlung einer definierten Fraktion

Am Ende der Sammlung fährt das Fahrzeug die Entsorgungsstelle bzw. den Umschlagplatz, im Folgenden "Senke 1" (als Ende des Primärtransportes) genannt, an. Diese Fahrt wird, wie die anderen Fahrten während der Schicht zur Senke 1, noch zur Sammlung gezählt. Das bedeutet, dass sich die Fahrzeit aus den Zeiten zur Überbrückung der Strecken vom Fuhrparkstandort zum Sammelrevier zu Schichtbeginn und von der Senke zum Fuhrparkstandort bei Schichtende zusammensetzt.

$$Fz_{\text{AA_d_Ss}} = \frac{\overline{Fu_Sr_{\text{Ss}}} + \overline{Se_1_Fu_{\text{Ss}}}}{v_{m_Ss}}$$

Formel 2.39

Es sind: $\overline{Fu_Sr_{\text{Ss}}}$ = Durchschnittliche Fahrstrecke vom Fuhrparkstandort zum Sammelrevier für ein bestimmtes Fahrzeugsystem zur Sammlung einer definierten Fraktion
 $\overline{Se_1_Fu_{\text{Ss}}}$ = Durchschnittliche Fahrtstrecke von der Senke zum Fuhrparkstandort für ein bestimmtes Fahrzeugsystem zur Sammlung einer definierten Fraktion
 v_{m_Ss} = Durchschnittsgeschwindigkeit für Verbindungsfahrten für ein bestimmtes Fahrzeugsystem zur Sammlung einer definierten Fraktion

Zur Berechnung der, in der ermittelten effektiven täglichen Arbeitszeit (Formel 2.38), sammelbaren Behälter wird zunächst die Formel 2.40 aufgestellt. In ihr wird die effek-

tive tägliche Arbeitszeit der Summe der reinen Sammelzeit, also dem Quotient aus gesammelten Behältern und Sammelleistung und der Zeit für die aus der gesammelten Abfallmenge resultierenden Entsorgungsfahrten gegenübergestellt. Bei der Ermittlung der Anzahl der Entsorgungsfahrten ist der Endwert aufzurunden und anschließend eine einfache Strecke zu subtrahieren, da diese der Rückfahrt von der Senke 1 zum Fuhrpark am Ende der Arbeitszeit entspricht. Diese Fahrtzeit wurde bereits bei der Ermittlung der effektiven Arbeitszeit abgezogen.

$$AZ_{\text{eff_d_Ss}} = \frac{b_{\text{Bt_d_Ss_Fz}}}{SL_{\text{wp_Ss}}} + \left(\frac{b_{\text{Bt_d_Ss_Fz}} \cdot (B_{\text{Vol_Ss_m}} \cdot \rho_{\text{Ss_m}})}{Zul_{\text{Ss}}} \right) \cdot \left(\frac{2 \cdot \overline{Sr_Se}_{1\text{Ss}}}{v_{\text{m_Ss}}} + t_{\text{Ss_Ent}} \right) - \frac{\overline{Sr_Se}_{1\text{Ss}}}{v_{\text{m_Ss}}}$$

Formel 2.40

Es sind: $b_{\text{Bt_d_Ss_Fz}}$ = Mit einem Sammelfahrzeug eines Fahrzeugsystems täglich gesammelte Behälter

SL_{Ss} = Sammelleistung eines Fahrzeugsystems

$B_{\text{Vol_Ss_m}}$ = Mittleres Nenn-Volumen der mit einem Fahrzeugsystem zu sammelnden Behälter

$\rho_{\text{Ss_m}}$ = Mittleres spezifisches Füllgewicht der mit einem Fahrzeugsystem zu sammelnden Behälter

Zul_{Ss} = Maximale Zuladung eines Sammel-Fahrzeugsystems

$t_{\text{Ss_Ent}}$ = Zeit für die Entsorgung, d.h. von Ein- bis Ausfahrt der Entsorgungsanlage bzw. der Umschlagplatzes

$\overline{Sr_Se}_{1\text{Ss}}$ = Durchschnittliche Fahrtstrecke vom Sammelrevier zur Senke 1 für ein bestimmtes Fahrzeugsystem zur Sammlung

Das mittlere Nenn-Volumen der mit einem Fahrzeugsystem zu sammelnden Behälter berechnet sich aus der Summe des Produktes der jeweiligen Anzahl der mit dem betreffenden Fahrzeugsystem täglich zu leerenden Behältergrößen bzw. -typen mit deren Nenn-Volumen, dividiert durch die Gesamtanzahl der täglich mit dem Fahrzeugsystem zu leerenden Behälter.

$$B_{\text{Vol_Ss_m}} = \frac{\sum_{t=1}^{g_{\text{Fs}}} n(t) \cdot B_{\text{Bt}(t)_ \text{Vol}}}{\sum_{t=1}^{g_{\text{Fs}}} n(t)}$$

Formel 2.41

Es ist: g_{Ss} = Anzahl der mit einem Fahrzeugsystem zu sammelnden verschiedenen Behältergrößen

Analog zur Berechnung des mittleren Nenn-Volumens erfolgt die Ermittlung der mittleren Füllichte, jedoch sind hier zusätzlich die verschiedenen Leerungsrhythmen zu berücksichtigen, da diese einen Einfluss auf das spezifische Füllgewicht besitzen (vgl. Kapitel 2.1.4.4) wie folgt:

$$\rho_{\text{Fs_m}} = \frac{\sum_{h=1}^I \sum_{t=1}^{g_{\text{Lr_Fs}}} b(h,t) \cdot \rho_{\text{Bt}(t)_ \text{Lr}(h)_ \text{Ss}}}{\sum_{h=1}^I \sum_{t=1}^{g_{\text{Lr_Fs}}} b(h,t)}$$

Formel 2.42

Es ist: $\rho_{\text{Bt_Lr_Ss}}$ = Anzahl der mit einem Fahrzeugsystem zu sammelnden verschiedenen Behältergrößen eines bestimmten Leerungsrhythmus

Die in Formel 2.40 eingehende maximale Zuladung eines Fahrzeugsystems ergibt sich aus dem Produkt der maximalen Zuladung und dem jeweiligen Ausnutzungsgrad (vgl. Kapitel 2.1.2.4), Formel 2.43.

$$Zul_{\text{Ss}} = Zul_{\text{max_Ss}} \cdot \eta_{\text{Fs}}$$

Formel 2.43

Es sind: Zul_{\max_Ss} = Maximal zulässige Zuladung für ein Sammelfahrzeug eines bestimmten Fahrzeugsystems
 η_{Ss} = Ausnutzungsgrad der maximal zulässigen Zuladung für ein Sammelfahrzeug eines bestimmten Fahrzeugsystems

Nachdem nun die Zusammensetzung der Formel 2.40 erläutert wurde, soll im Folgenden die Anzahl der mit einem Fahrzeug eines bestimmten Fahrzeugsystems täglich sammelbaren Behälter durch Auflösung nach $b_{Bt_d_Ss_Fz}$ berechnet werden. Dabei ist der Quotient aus dem Produkt der mittleren Behältervolumen multipliziert mit der mittleren Füllichte und der maximalen Zuladung des Fahrzeugsystems aufzurunden, um zu einer vollen Anzahl von Entsorgungsfahrten zu kommen. Es ergibt sich:

$$b_{Bt_d_Ss_Fz} = \frac{AZ_{eff_d_Ss} + \frac{Sr_Se_{1Ss}}{v_{m_Ss}}}{\frac{1}{SL_{Ss}} + \left(\frac{(B_{Vol_Ss_m} \cdot \rho_{Ss_m})}{Zul_{Ss}} \right) \cdot \left(\frac{2 \cdot Sr_Se_{1Ss}}{v_{m_Ss}} + t_{Ss_Ent} \right)}$$

Formel 2.44

Die hier berechnete Anzahl der an einem Einsatztag durch ein Fahrzeug sammelbaren Behälter ist tagesabhängig sehr unterschiedlich. Grund hierfür ist die starke Abhängigkeit der in der Formel 2.44

- zu verwendenden Fahrtstrecken und
- der durchschnittlich erreichbaren Sammelleistung

von der Tourenplanung, d.h. damit der Anzahl, der geographischen Lage und im Falle der Sammelleistung zusätzlich dem Siedlungsstrukturtyp der angefahrenen Gebiete.

In Gebieten, in denen Daten für die genannten Werte vorliegen, können diese über alle Fahrzeugeinsätze gewichtet gemittelt werden. Bei einer gewichteten Mittelung ist die Anzahl der tatsächlich unternommenen Fahrten mit zu berücksichtigen. Entspricht z.B. die Entsorgungstrecke aus Sammelgebiet A der Strecke 10km und die

aus Sammelgebiet B 50km so ergäbe eine einfache Mittelung den Wert 30km. Geht man davon aus, dass vom näher zur Entsorgungsanlage liegenden Sammelgebiet A aber z.B. 3 Entsorgungsfahrten unternommen werden können, während vom Sammelgebiet B aufgrund der größeren Entfernung am Tag nur 2 Fahrzeugentleerungen durchgeführt werden können, ergibt sich für die gewichtete Mittelung der abweichende Wert $(3 \cdot 10 \text{ km} + 2 \cdot 50 \text{ km}) / (2 + 3) = 26 \text{ km}$.

Um die zur Sammlung der Behälter notwendige Anzahl von Fahrzeugen eines Fahrzeugsystems zu berechnen, muss nur noch die Gesamtanzahl der Behälter durch die mit einem Fahrzeugtyp durchschnittlich sammelbaren Behälter dividiert werden (Formel 2.44).

$$f_{\text{Sam}_d_{Ss}} = \frac{b_{\text{Bt}_d_{Ss}}}{b_{\text{Bt}_d_{Ss}_{Fz}}}$$

Formel 2.45

Um in unbekanntem Gebieten oder nach Umstrukturierungen, die die Tourenplanung verändern, ein verlässliches Ergebnis für die Anzahl der Sammelfahrzeuge zu erhalten, ist es unumgänglich auf Basis einer Tourenplanung und -berechnung die tatsächlich sammelbaren Behälter für jeden Fahrzeugeinsatz zu bestimmen. In diesem Fall ergibt sich die Zahl der notwendigen Fahrzeuge durch wiederholtes Einsetzen eines Fahrzeuges, bis alle täglich zu sammelnden Behälter verplant sind. Dieses entspricht der im Rahmen der in Sensitivitätsanalyse (Kapitel 4) für die Ermittlung der Gesamtkosten durchgeführten Vorgehensweise.

Die Gesamtzahl der im Fuhrpark befindlichen Sammelfahrzeuge berechnet sich aus der Summe der täglich für die Abfuhr notwendigen Fahrzeuge multipliziert mit der vorzuhaltenden Reserve für Sammelfahrzeuge über alle Sammelfahrzeugsysteme.

$$f_{\text{Sam}} = \sum_{i=1}^{ASsU_{Ss}} \sum_{s=1} f_{\text{Sam}_d_{Ss(s)}} \cdot (1 + R_{Fu_{Ss}})$$

Formel 2.46

Es sind: f_{Sam} = Anzahl der Sammelfahrzeuge im Fuhrpark
 $R_{\text{Fu_Ss}}$ = Mittlerer gewichteter Reserveanteil für Sammelfahrzeuge
über alle Sammelfahrzeugsysteme

2.2.5.3 Anzahl der Transportfahrzeuge und Wechsel-/ Umschlagsbehälter

Im vorangegangenen Abschnitt wurde die Anzahl der im Entsorgungsgebiet einzusetzenden Sammelfahrzeuge ermittelt. Für den Fall, dass auch Sammelfahrzeuge mit Wechsellaufbau zum Einsatz kommen, muss der Sekundär- bzw. Ferntransport von Transportfahrzeugen bzw. -systemen übernommen werden. Die Anzahl der für einen kontinuierlichen Transport notwendigen Fahrzeuge soll im Folgenden berechnet werden.

Transportfahrzeuge

Wie bereits in Kapitel 2.1.4.9 erwähnt, wird von einem Sekundärtransport der Abfälle über die Straße ausgegangen. Sollte ein anderer Verkehrsträger (Schiene, Wasser) gewählt werden, entfällt die folgende Rechnung. Die entstehenden Kosten werden in diesem Fall durch den Dienstleister für die Transporte direkt in Rechnung gestellt und sollen hier nicht näher detailliert werden.

Zunächst muss die Kapazität, d.h. die Anzahl der Wechselbehälter, die das Transportsystem transportieren kann, berechnet werden. Sie ergibt sich aus der Anzahl der möglichen Transporte, also dem Quotienten aus der zur Verfügung stehenden effektiven Arbeitszeit und der für einen Transportvorgang notwendigen Zeit, multipliziert mit der Anzahl der mit einem Transportsystem gleichzeitig zu transportierenden Wechselbehälter. Der Wert für die Kapazität ist zu runden, um auf ganze Wechselbehälter zu kommen. Aus einem Aufrunden resultieren Überstunden, ein Abrunden hat eine Unterauslastung zur Folge.

$$\text{Kap}_{\text{WB_d_Ts}} = \frac{\text{Az}_{\text{eff_d_Ts}}}{t_{\text{Tr_ges}}} \cdot \text{Anz}_{\text{WB_Ts}}$$

Formel 2.47

Es sind: $Kap_{WB_d_Ts}$	= Mit einem Transportfahrzeug eines Transportsystems täglich zu transportierende Wechselbehälter
Anz_{WB_Ts}	= Anzahl der mit einem Transportsystem gleichzeitig zu transportierenden Wechselbehälter
$Az_{eff_d_Ts}$	= Für Transportfahrten zur Verfügung stehende effektive tägliche Arbeitszeit
t_{Tr_ges}	= Gesamtzeit für einen Transportvorgang von der Aufnahme der vollen bis zum Abstellen der leeren Wechselbehälter am Umschlagplatz

Die Ermittlung der in Formel 2.47 verwendeten Variablen soll im Folgenden erläutert werden.

Die für Transportfahrten täglich zur Verfügung stehende effektive Arbeitszeit $Az_{eff_d_Ts}$ entspricht der regulären Arbeitszeit zzgl. der durchschnittlich abgeleiteten Überstunden abzüglich der Rüstzeit und der Fahrtzeit für Hin- und Rückfahrt zu Beginn und Ende der Schicht vom Fuhrparkstandort zum Umschlagplatz. Als Durchschnittsgeschwindigkeit wird hierfür eine andere Geschwindigkeit angenommen als für die Verbindungsfahrten zwischen Revieren, da sie sich je nach örtlichen Gegebenheiten und Entfernungen in nicht vernachlässigbarem Maße unterscheiden können.

$$Az_{eff_d_Ts} = Az_{Fa_d_reg} + Az_{Fa_d_Üh} - t_{Rüst} - \frac{2 \cdot \overline{Fu_Se_1}}{V_{m_Ts_1}}$$

Formel 2.48

Es sind: $t_{Rüst}$	= Zeitlicher Aufwand für die Rüstzeit eines Fahrzeuges
$\overline{Fu_Se_1}$	= Fahrstrecke vom Fuhrparkstandort zum Umschlagplatz (Senke 1)
$V_{m_Ts_1}$	= Durchschnittsgeschwindigkeit eines Transportsystems auf der Strecke vom Fuhrparkstandort zum Umschlagplatz (Senke 1)

Die Gesamtzeit für einen Transportvorgang, d.h. von Aufnahme des bzw. der vollen Behälter(s) am Umschlagplatz bis zum Abstellen des bzw. der leeren Behälter(s) setzt sich aus der Dauer der einzelnen Prozesse

- Behälteraufnahme,
- Transportzeit zur Entsorgungsanlage,
- Entsorgungszeit (Fahrzeit auf dem Gelände der Entsorgungsanlage, der Wiegezeit des Fahrzeuges, der Wartezeit bis zur Entleerung und der Dauer der Entleerung),
- Rückfahrt zum Umschlagplatz und
- Abstellen der bzw. des Behälter(s)

zusammen. Die Entsorgungszeit wird dabei nicht detailliert berechnet, sondern -abhängig von der Anzahl der transportierten Wechselbehälter- als durchschnittlicher Wert angenommen. Es wird davon ausgegangen, dass die Zeiten für die das Aufnehmen und das Abstellen des bzw. der Behälter(s), also die Umschlagszeit, sowie die Fahrzeiten für die Strecke vom Umschlagplatz (Senke 1) bis zur Entsorgungsanlage (Senke 2) und zurück jeweils gleich lang sind.

$$t_{Tr_ges}(Anz_{WB_Ts}) = 2 \cdot Anz_{WB_Ts} \cdot t_{Tr_Um} + 2 \cdot \frac{Se_1 - Se_2}{V_{m_Ts_2}} + t_{Tr_Ent}(Anz_{WB_Ts})$$

Formel 2.49

Es sind: t_{Tr_Um} = Zeit für das Auf- oder Abladen eines Wechselbehälters mit einem Transportsystem

$\frac{Se_1 - Se_2}{V_{m_Ts_2}}$ = Fahrstrecke vom Umschlagplatz (Senke 1) zur Entsorgungsanlage (Senke 2)

$V_{m_Ts_2}$ = Durchschnittsgeschwindigkeit eines Transportsystems auf der Strecke vom Umschlagplatz (Senke 1) zur Entsorgungsanlage (Senke 2)

t_{Tr_Ent} = Zeit zwischen Ein- und Ausfahrt in bzw. aus der Entsorgungsanlage in Abhängigkeit von der Anzahl der zu entleerenden Wechselbehälter

Nachdem nun die Anzahl der Wechselbehälter, die pro Tag von einem Transportsystem transportiert werden können, berechnet wurde, kann die Anzahl der einzusetzenden Transportsysteme durch Bildung des Quotienten aus Anzahl insgesamt zu transportierender Wechselbehälter und Tageskapazität eines Transportsystems ermittelt werden.

$$f_{\text{Trans}_d} = \frac{w_d}{\text{Kap}_{\text{WB}_d_{\text{Ts}}}}$$

Formel 2.50

Es ist: w_d = Anzahl der täglich im Sekundärtransport zu transportierenden Wechselbehälter

Die Anzahl der täglich zu transportierenden Wechselbehälter im Sekundärtransport ist gleich der Summe der täglich befüllten Wechselbehälter aller Wechselfahrzeugsysteme über alle Fraktionen.

$$w_d = \sum_{s=1}^{f_{\text{Sam}_w}} f_{\text{sam}_d_{\text{Fr}(i)_{\text{Ss}(s)}}} \left(\frac{b_{\text{Bt}_d_{\text{Ss}(s)}_{\text{Fz}(i)}} \cdot (B_{\text{Vol}_{\text{Ss}(s)}_m} \cdot \rho_{\text{Ss}(s)}_m)}{\text{Zul}_{\text{Ss}(s)}} \right)$$

Formel 2.51

Es ist: f_{Sam_w} = Anzahl der eingesetzten unterschiedlichen Fahrzeugsysteme mit Wechselaufbau

Um die im Fuhrpark insgesamt vorzuhaltende Anzahl von Transportsystemen zu berechnen, muss lediglich die vorzuhaltende Reserve berücksichtigt werden. Es gilt:

$$f_{\text{Trans}} = f_{\text{Trans}_d} \cdot (1 + R_{\text{Fu}_{\text{Trans}}})$$

Formel 2.52

Es sind: f_{Trans} = Anzahl der Transportfahrzeuge im Fuhrpark
 $R_{\text{Fu}_{\text{Trans}}}$ = Reserveanteil für Transportfahrzeuge

Wechselbehälter

Um am Umschlagplatz einen verzögerungsfreien Tausch des auf dem Sammelfahrzeug befindlichen vollen Behälters gegen einen leeren Behälter zu ermöglichen, muss eine ausreichende Anzahl von Wechselbehälter vorgehalten werden bzw. im Umlauf befindlich sein.

Zur Erfüllung der Transportaufgabe müssen die Wechselbehälter in gleicher Geschwindigkeit transportiert und wieder leer bereitgestellt werden, wie sie von den Sammelfahrzeugen befüllt werden. Das bedeutet zum Beispiel, dass ein voller Behälter in der Zeit transportiert und zurückgestellt wird, in der ein Sammelfahrzeug einen zweiten befüllt, so dass bei Eintreffen des Sammelfahrzeuges wieder ein leerer Wechselbehälter zur Verfügung steht. Demnach sind theoretisch zwei Wechselbehälter pro Sammelfahrzeug anzusetzen.

In der Praxis wird jedoch eine Sicherheitsreserve vorgehalten, um bei Verzögerungen des Sekundärtransportes eine Unterbrechung der Sammlung zu verhindern.

$$w = 2 \cdot f_{\text{Sam}_W} + f_{\text{Sam}_W} \cdot R_{\text{WB}} = f_{\text{Sam}_W} \cdot (2 + R_{\text{WB}})$$

Formel 2.53

Es sind: R_{WB} = Reserveanteil der Wechselbehälter

2.2.5.4 Anzahl Personal

Die Berechnung des vorzuhaltenden Sammelpersonal richtet sich nach den in den beiden vorangegangenen Kapiteln berechneten Fahrzeugzahlen. Zusätzlich ist die Personalreserve zu berücksichtigen.

Die Anzahl der Lader setzt sich aus der Summe der Lader für alle Fahrzeuge aller Fahrzeugsysteme zusammen. Diese ist abhängig von der jeweiligen Besatzungsstärke und muss mit der vorzuhaltenden Lader-Reserve multipliziert werden.

$$\text{Anz}_{\text{La}} = \sum_{l=1}^m f_{\text{sam}_d, \text{Ss}(s)} \sum_{i=1} \text{Bs}_{\text{Ss}(s)\text{-Fz}(i)} \cdot (1 + R_{\text{La}})$$

Formel 2.54

Es ist: Anz_{La} = Anzahl der zu beschäftigenden Lader

Bei der Berechnung der Anzahl der zu beschäftigenden Fahrer ist das Beachten einer Besatzungsstärke nicht notwendig, deshalb ist die gleich der Anzahl aller täglich einzusetzenden Sammel- und Transportfahrzeuge zzgl. der Reserve.

$$\text{Anz}_{\text{Fa}} = (f_{\text{Sam_d}} + f_{\text{Trans_d}}) \cdot (1 + R_{\text{Fa}})$$

Formel 2.55

Es ist: Anz_{Fa} = Anzahl der zu beschäftigenden Fahrer

3 Das Berechnungsprogramm SOKRATES

Zur Bearbeitung der in Kapitel 1.1 dargestellten Problemstellung wurde im Rahmen dieser Arbeit eine Software erstellt, die eine schnelle und genaue Kalkulation der Kosten für die Sammellogistik ermöglicht.

Das Programm SOKRATES (Software-gestütztes Kostenrechnungs-Angebotstool für die Entsorgungssammellogistik) bietet dem Anwender die Möglichkeit nach einmaliger Eingabe der notwendigen gebietsspezifischen Daten, schnell die Sammellogistikkosten für Variationen der Sammeltechnik und -organisation durchzuführen. Parallel zu dieser Kostenberechnung wird eine Revier- und Tourenplanung durchgeführt, die die Ergebnisse transparent und nachvollziehbar macht sowie die spätere Umsetzung der ausgewählten Variante direkt ermöglicht.

Die Planung findet auf Basis der erfassten Gebiete homogener Siedlungsstruktur (vgl. Kap. 2.1.4.10 und 4.1.2) statt und legt somit ausschließlich deren Anfahrreihenfolge fest. Innerhalb dieser erfassten Gebiete wird von gleichen Bedingungen für die Sammlung ausgegangen. Um kurze Rechenzeiten zu ermöglichen, wird dabei auf eine straßengenaue Tourenplanung verzichtet und die Entfernung zwischen Gebieten über Umwegfaktoren (vgl. Kap. 4.2.1.4 und 4.2.2.4) berechnet.

Hier besteht ein wesentlicher Unterschied zu den bisher am Markt erhältlichen Softwarelösungen für die Abfuhrplanung. Diese sind aufgrund ihrer straßen- bzw. straßenabschnitts-basierten Planung für die Aufgabe einer schnellen Ermittlung der notwendigen Sammellogistik nicht geeignet. Dieses ist zum einen durch den deutlichen größeren Zeitaufwand für die Datenerfassung (genaue Zuordnung der Behälter auf die Straßen bzw. Straßenabschnitte und zum anderen durch die weit längeren Rechenzeiten begründet. Zudem wird mit diesen Lösungen keine Kostenkalkulation vorgenommen, so dass die berechnete Planung im Anschluss noch (meist manuell) in eine Kostenrechnung umgesetzt werden muss.

3.1 Ziele des Programms

Durch die Kombination einer schnellen Planung mit einer Kostenberechnung eignet sich das Programm SOKRATES zur Erreichung folgender Ziele:

- Verringerung des Aufwandes für die Berechnung der Logistikkosten für Dienstleistungen im Bereich der kommunalen Sammlung bei der
 - Erstellung von Angeboten im Rahmen von Ausschreibungsteilnahmen,
 - Sensitivitätsanalysen,
 - Nachkalkulationen oder
 - Überprüfung von Effekten geplanter Optimierungsmaßnahmen
- Erhöhung der Ergebnisqualität bzw. Senkung von Planungsrisiken durch
 - eine Unterstützung der Dateneingabe durch Eingabemasken und -menüs, um eine vollständige Datengrundlage zu gewährleisten
 - eine automatisierte Kalkulation der Kosten und damit eine Vermeidung von Berechnungsfehlern
- detaillierte Ausgabe der Sammellogistikkosten bezogen auf einzelne Tage, Fahrzeuge und das Personal
- eine parallele und orts- oder teilortsgenaue (abhängig von der Größe und Detaillierung der hinterlegten Sammelreviere) Einsatzplanung.

Insbesondere bei der Berechnung verschiedener Logistikvarianten für dasselbe Entsorgungsgebiet bringt eine automatisierte Planung und Kalkulation entscheidende Zeitvorteile, da nach einmaliger Eingabe der Daten lediglich neue Berechnungsdurchläufe gestartet werden müssen. Diese Variantenrechnungen (z.B. Variation der Transportentfernungen, Fest- oder Wechselaufbauten etc.) werden vor allem im Rahmen von Ausschreibungsteilnahmen zunehmend verlangt.

3.2 Aufbau und Beschreibung des Programms

Die Software SOKRATES ist auf Basis von Microsoft Excel in der dort unterstützten Programmiersprache Visual Basic erstellt. Die Eingabe der Daten erfolgt für selten zu verändernde Stammdaten über Eingabemasken in Tabellenform und für in Variantenrechnungen häufiger zu modifizierende Parameter über Menüs.

3.2.1 Allgemeine Stammdaten

In den Stammdaten sind alle Angaben über die einzelnen Kostenanteile der Kostenarten

- Personal,
- Fuhrpark,
- Behälter und
- Verwaltung

enthalten. Diese Daten, die einmalig über Eingabemasken (vgl. z.B. Anhang D, Tab: A 9 und Tab: A 10) hinterlegt werden müssen, sind im Kapitel 2.1 bereits ausführlich beschrieben worden und sollen daher an dieser Stelle nicht nochmals aufgeführt werden. Die Kosten für den Fuhrpark und das Personal werden dabei automatisch zu fixen und variablen Kosten zusammengeführt und in der anschließenden Berechnung verarbeitet. Die Gesamtkosten für Behälter und Verwaltung werden entsprechend den Planungsvorgaben und -ergebnissen auf die berechneten reinen Sammelkosten aufgeschlagen.

Zusätzlich zu den Kosten ist die zulässige Zuladung der einzelnen Sammelfahrzeuge in den Stammdaten hinterlegt. Grund für die Zuordnung zu den Stammdaten ist, dass die Angabe unveränderlich ist. Der tatsächliche Ausnutzungsgrad dieser Zuladung kann, wie in Kapitel 3.2.3 gezeigt, vom Anwender frei gesteuert werden.

3.2.2 Gebietsspezifische Daten

In den gebietsspezifischen Daten sind die Angaben hinterlegt, die die zu entsorgende Region charakterisieren. Weitere Eigenheiten des Entsorgungsgebietes, wie z.B. in der Tourenplanung zu berücksichtigende Flüsse oder Bergkämme werden, wie in Kapitel 3.2.4 beschrieben, von SOKRATES gesondert und automatisiert eingelesen. Das Bild 19 zeigt einen Ausschnitt der Daten, die für die Planung und Kostenberechnung notwendig sind.

lfd. Nr.	Name	Siedlungsstruktur	Durchmesser [km]	X-Entfernung [km]	Y-Entfernung [km]	Anzahl Behälter in Gebiet	Abfuhr-rhythmus
16	Gebiet A	C	0,43	6,85	0,31	219	10
17	Gebiet B	D	0,25	7,19	1,88	65	10
18	Gebiet C	D	0,25	7,46	1,62	75	10
19	Gebiet D	A	0,25	6,30	2,78	70	10
20	Gebiet E	C	0,25	4,95	3,01	129	10
21	Gebiet F	E	0,43	5,18	1,13	39	10
22	Gebiet G	D	0,50	4,95	3,20	141	10
23	Gebiet H	D	0,43	5,18	1,61	121	10
24	Gebiet I	C	0,25	5,06	2,45	127	10
25	Gebiet I_2	G	0,18	5,06	2,45	3	5
26	Gebiet J	C	0,61	5,40	0,98	310	10
27	Gebiet K	B	0,13	5,24	2,05	25	10
28	Gebiet L	C	0,25	5,28	2,10	127	10
29	Gebiet M	D	0,25	5,40	1,63	72	10

Bild 19: Auflistung der gebietsspezifischen Daten

Die Eingabe eines Namens für die Gebiete ist für die Planung nicht zwingend notwendig, sie ist jedoch für die Nachvollziehbarkeit der am Ende eines Programmdurchlaufes ausgegebenen Tourenliste von großer Bedeutung.

Jedem der erfassten Gebietskreise bzw. Sammelkreise ist die entsprechende Siedlungsstruktur hinzuzufügen. Diese Angabe ist für die in der Berechnung erfolgende Zuordnung typischer leistungsbeeinflussender Parameter, wie z.B. die im Gebiet erreichbare Sammelleistung in Behälter pro Stunde oder mittlere Füllgewichte der Behälter, unentbehrlich.

Die Hinterlegung der Daten für den Gebietsdurchmesser sowie die von einem frei wählbaren Ursprung gemessenen Abstände in X- und Y-Richtung (also i.d.R. in Ost-West- bzw. Nord-Süd-Richtung) dienen der Berechnung der Entfernungen zwischen verschiedenen Gebieten sowie zu den Fuhrparkstandorten und Senken.

Die Angabe der Anzahl der Behälter dient der Berechnung der für das jeweilige Gebiet notwendigen Sammelzeit sowie der dort gefahrenen Sammelkilometer und der zu berücksichtigenden Abfallmenge.

Schließlich ist noch eine Angabe für den Sammelrhythmus notwendig, in dem die Behälter des entsprechenden Gebietes abgefahren werden. Der anzugebende Wert ist bezogen auf Werktage, d.h. z.B. für einen zwei-wöchentlichen Abfuhrhythmus, dass die Behälter jeden 10. Werktag geleert werden.

Weist ein Gebiet Behälter auf, die in verschiedenen Sammelrhythmen zu leeren sind, kann dieses durch ein einfaches Kopieren bzw. Verdoppeln der geographischen Daten des Gebietes vorgegeben werden. In der in Bild 19 dargestellten Auflistung ste-

hen im Ortsteil bzw. Gebiet I z.B. 127 zwei-wöchentlich und 3 wöchentlich zu leeren-
de Behälter.

3.2.3 Planungsspezifische Daten

Wie eingangs des Kapitels erwähnt, lassen sich alle direkt planungsrelevanten Daten über Menüs schnell und einfach variieren. Diese Steuerungsmöglichkeiten sollen in diesem Abschnitt erläutert werden.

Direkt nach Programmstart erscheint das Hauptmenü (Bild 20), in dem wesentliche Vorgaben für die Planung ausgewählt werden können.

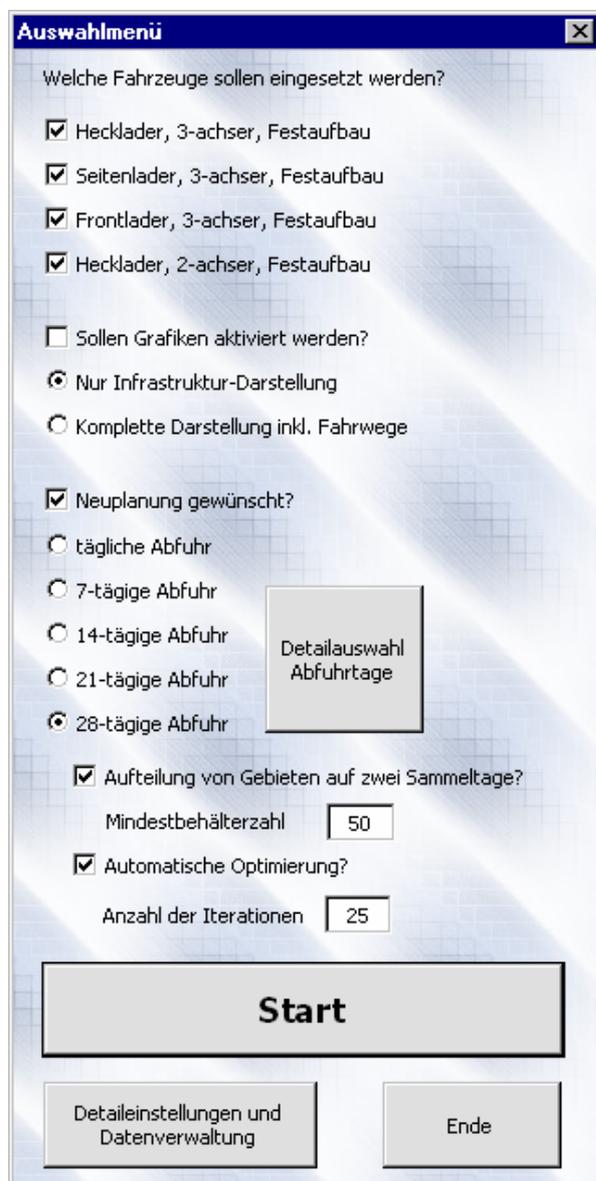


Bild 20: Das Hauptmenü von SOKRATES

Der Anwender hat die Möglichkeit bis zu 8 verschiedene Fahrzeugtypen in der Planung zu berücksichtigen. Im Menü werden dabei nur diejenigen Fahrzeugtypen zur Auswahl gestellt, die im Fuhrpark zur Verfügung stehen.

Als weitere Wahlmöglichkeit kann eingestellt werden, ob eine grafische Darstellung des Entsorgungsgebietes bzw. der Planung vorgenommen werden soll. Die Option Infrastrukturdarstellung zeigt die geographische Verteilung, die Größe und die Zuordnung der Gebiete zu den Fuhrparkstandorten an. Die "Komplette Darstellung inkl. Fahrwege" führt während des Berechnungsdurchlaufes eine Einzeichnung der Tourenverläufe auf der Gebietskarte durch. Im Gegensatz zur Infrastrukturdarstellung werden die Gebiete hier farblich entsprechend ihrer Siedlungsstruktur dargestellt. Die Einzeichnung der Tourenverläufe erhöht die Laufzeit geringfügig und ist insofern nur nach erfolgter Berechnung einer optimierten Revier- bzw. Gebietsplanung sinnvoll.

Ist das Kästchen "Neuplanung gewünscht?" aktiviert, so wird für die festgelegten Parameter eine komplett neue Planung der Sammelgebiete und -tours vorgenommen. Es besteht in diesem Zusammenhang die Wahl zwischen den 5 gängigen verschiedenen Abfuhrhythmen. Soll die Sammlung nicht an allen 5 Wochentagen durchgeführt werden, so besteht die Möglichkeit die Einsatztage einzeln mit dem Menü "Detaileinstellungen Abfuhrhythmus" auszuwählen (Bild 21).

Im Fall einer Wahlmöglichkeit des Abfuhrhythmus für den Bürger werden nicht alle Behälter im gleichen Rhythmus geleert. Diese verschiedenen Rhythmen können in der Eingabemaske für die Gebietsdaten hinterlegt werden. Der im Hauptmenü gewählte Sammelrhythmus für die Planung entspricht dann dem größten durch den Bürger wählbaren.

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag
1. Woche	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
2. Woche	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
3. Woche	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
4. Woche	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Zurück

Bild 21: Menü "Detaileinstellungen Abfuhrhythmus"

Als zusätzliche Optionen für die Planung kann entschieden werden, ob die hinterlegten Sammelgebiete nur ganzheitlich berücksichtigt werden sollen, d.h., dass alle dort aufgestellten Behälter an einem Tag geleert werden sollen. Ist dieses nicht zwangsläufig notwendig, kann gewählt werden, ab welcher Mindestbehälterzahl im Sinne einer gleichmäßigeren täglichen Tourenauslastung eine Aufteilung des Gebietes auf zwei verschiedene Abfuhrtage erlaubt ist.

Ist das Schaltfeld "Automatische Optimierung" aktiviert, so wird die Planung automatisch iterativ immer weiter verbessert. Erfahrungen am Beispiel der in der vorliegenden Arbeit zugrunde gelegten Musterregionen haben gezeigt, dass zur Erreichung des Planungsoptimums maximal 25 Planungsdurchläufe notwendig sind. Es steht dem Anwender jedoch frei, eine andere maximale Zahl von Iterationsläufen festzulegen.

Über die Schaltfläche "Detaileinstellungen und Datenverwaltung" erreicht man ein weiteres Untermenü (Bild 22), über das sich weitere grundlegende Planungsparameter verändern lassen.



Bild 22: Menü Detaileinstellungen

Über die Schaltfläche "Stammdaten" erreicht man die Eingabemaske, wie sie in Kapitel 3.2.1 beschrieben wurde.

Sammelleistung

Sammelleistung in Behälter pro Stunde und Gebietskennzahlen

Fahrzeugtyp	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
Hecklader, 3-achser, Festaufbau	105	125	140								
Seitenlader, 3-achser, Festaufbau				115	100	95					
Frontlader, 3-achser, Festaufbau							25	16			
Hecklader, 2-achser, Festaufbau									100	110	135
Mittleres Behälterfüllgewicht [kg]	43,3	75,2	53,3	39,4	45,2	45,2	93,9	99,3	43,3	75,2	53,3
Behälter pro Sammelkilometer	50	90	90	100	75	70	30	25	55	85	85

Zurück

Bild 23: Menü "Sammelleistung"

Die mit den verschiedenen Fahrzeugen durchschnittlich erreichbaren Sammelleistungen in Behältern pro Stunde können im über die Schaltfläche "Daten Sammlung" zu aktivierenden Menü (Bild 23) verändert werden. Weiterhin können dort siedlungsstrukturspezifische Werte wie das mittlere Behälterfüllgewicht und die Anzahl der pro laufenden Sammelkilometer aufgestellten Behälter variiert werden.

Abweichend von der bisher verwendeten Einteilung des Sammelgebietes in 8 verschiedene Siedlungsstrukturtypen können in SOKRATES bis zu 3 zusätzliche, beliebig definierbare Siedlungsstrukturtypen (also in Summe 11) berücksichtigt werden. Hintergrund dieser Erweiterung ist, dass auf diese Weise weitere Randbedingungen der Sammelreviere berücksichtigt werden können. So ist es z.B. möglich, besonders enge Altstadt-Gebiete speziell und ausschließlich für die Sammlung mit kleineren und wendigeren Fahrzeugen zu reservieren.

Die Angabe von Sammelleistungen verschiedener Fahrzeugtypen für denselben Siedlungsstrukturtyp bedeutet für die Planung, dass mehrere Fahrzeugtypen gleichzeitig für dasselbe Gebiet berücksichtigt werden. Die endgültige Auswahl erfolgt dann mittels einer überschlägigen Ermittlung der wirtschaftlicheren Variante.

Die optimale Konstellation und Planung bei Einsatz verschiedener Fahrzeugtypen für dieselben Gebiete ist nur in exponentiell steigender Rechenzeit berechenbar, vgl. **Bloemhof-Ruwaard 1996**. Da die erforderliche Berechnung also das Ziel einer

schnellen Berechnung verfehlt und da die optimale Lösung dieses Zuordnungsproblems einen nicht verhältnismäßigen Programmieraufwand bedeuten würde, werden in diesem Fall mit SOKRATES nur näherungsweise Lösungen ermittelt, die als Planungsvorschlag dienen können.

Über die Schaltfläche "Daten Fahrzeuge" gelangt man in ein Menü (Bild 24) in dem weitere Angaben zur Besetzung der Sammelfahrzeuge sowie die auf Verbindungsfahrten zwischen Sammelrevieren oder zu Fuhrparkstandorten bzw. Senken anzusetzende Durchschnittsgeschwindigkeit und der Zeitaufwand für einen Umschlag bzw. die Entsorgung verändert werden kann. Die Zeitdauer für einen Umschlag bzw. eine Entsorgung entspricht dabei, wie in Kapitel 2.1.4.6 definiert, der Zeitdauer zwischen Ein- und Ausfahrt auf das Gelände der Senke.

The screenshot shows a window titled 'Fahrzeugdaten' with a subtitle 'Eingabe der leistungsspezifischer Fahrzeugdaten'. It contains a table with four columns: 'Fahrzeugtyp', 'Anzahl Lader', 'Durchschnittsgeschwindigkeit auf Verbindungsfahrten [km/h]', and 'Zeitaufwand für Umschlag'. There are four rows of input fields, each with a 'Zurück' button at the bottom.

Fahrzeugtyp	Anzahl Lader	Durchschnittsgeschwindigkeit auf Verbindungsfahrten [km/h]	Zeitaufwand für Umschlag
Hecklader, 3-achser, Festaufbau	1	30	0,25
Seitenlader, 3-achser, Festaufbau	0	30	0,25
Frontlader, 3-achser, Festaufbau	0	30	0,25
Hecklader, 2-achser, Festaufbau	1	30	0,25

Zurück

Bild 24: Menü Fahrzeugdaten

Im Menü "Lage Standorte und Senken" (Bild 25) kann die Anzahl und geographische Lage der Fuhrparkstandorte und Senken festgelegt werden. Insgesamt bietet die Software die Möglichkeit bis zu 10 Senken und 3 Fuhrparkstandorte in der Planung zu berücksichtigen. Die Lage der Standorte bzw. Senken wird dabei durch deren Koordinaten bezüglich des für das Sammelgebiet gewählten Ursprungs definiert. Für die Senken kann festgelegt werden, ob es sich um Wechselplätze für Fahrzeuge mit Wechselaufbauten von denen aus ein Sekundärtransport erfolgt oder um eine Depo- nie bzw. Behandlungsanlage handelt. Die Fuhrparkstandorte können parallel als Wechselplätze definiert werden.

Eine weitere Schaltfläche erlaubt es die nach der Eingabe aktuelle Lage der Fuhrparkstandorte bzw. Senken in einer Übersichtskarte anzeigen zu lassen.

Menü Lage Standorte und Senken

Aktuelle Lage der Fuhrparkstandorte und Senken anzeigen

Senken			x-Koordinate [km]	y-Koordinate [km]	
<input checked="" type="checkbox"/>	Wechselplatz 1	<input checked="" type="radio"/> Wechselplatz <input type="radio"/> Deponie, Behandlung	13,5	8,3	
<input checked="" type="checkbox"/>	Wechselplatz 2	<input checked="" type="radio"/> Wechselplatz <input type="radio"/> Deponie, Behandlung	23,0	21,5	
<input checked="" type="checkbox"/>	Wechselplatz 3	<input checked="" type="radio"/> Wechselplatz <input type="radio"/> Deponie, Behandlung	7,3	21,6	
<input checked="" type="checkbox"/>	Müllverbrennungsanlage	<input type="radio"/> Wechselplatz <input checked="" type="radio"/> Deponie, Behandlung	6,4	16,1	

Senke hinzufügen

Fuhrparkstandorte			x-Koordinate [km]	y-Koordinate [km]	
<input checked="" type="checkbox"/>	Zentrale Betriebsstelle	<input checked="" type="checkbox"/> Gleichzeitig als Wechselplatz berücksichtigen?	6,4	16,1	
<input checked="" type="checkbox"/>	Aussenstelle	<input checked="" type="checkbox"/> Gleichzeitig als Wechselplatz berücksichtigen?	28,2	33,9	

Fuhrparkstandort hinzufügen

Zurück

Bild 25: Menü "Lage Standorte und Senken"

Im Untermenü "Sonstige Einstellungen" (Bild 26) können Einstellungen zur täglichen Arbeitszeit vorgenommen werden. Die tarifliche Arbeitszeit stellt dabei die Grundlage zur Berechnung entstehender Kosten durch Überstunden dar. Die hinterlegte maximale Arbeitszeit legt die in der Planung nicht zu überschreitende Arbeitszeit für einen Einsatztag fest.

Sonstige Einstellungen

Tägliche Arbeitszeit

tarifliche Arbeitszeit h

Maximale Arbeitszeit h

Zielarbeitszeit h

Weitere Parameter

Bereitstellungsquote %

Ausnutzung der zul. Zuladung %

Zurück

Bild 26: Menü "Sonstige Einstellungen"

Die Zielarbeitszeit ist eine Stellgröße mit der die Planung beeinflusst werden kann. Die Programmierung ist so ausgelegt, dass diese Zielarbeitszeit im Mittel über alle

einzelnen Touren bestmöglich erreicht wird. Ergibt sich nach einem automatischen Optimierungsdurchlauf eine stark unterausgelastete Tour (da die notwendige Gesamtarbeitszeit ein ungerades Vielfaches der vorgegebenen Zielarbeitszeit ist), so kann durch eine Verringerung dieses Wertes in einem neuen Planungsdurchlauf eine gleichmäßigere Tourenauslastung erreicht werden.

Der Parameter Bereitstellquote dient der Berechnung der gebietsgenau und sammelgebietsübergreifend ausgegebenen Kosten pro Behälter. D.h. es besteht die Möglichkeit, diese Kosten bezogen auf die Anzahl der tatsächlich zu leerenden Behälter berechnen zu lassen. Ist dieses nicht gewünscht, so ist dieser Wert auf 100% zu setzen.

Die Einstellung des Ausnutzungsgrades der zulässigen Zuladung der Fahrzeuge ermöglicht die Berücksichtigung gewichtsbezogen nicht maximal erreichbarer Zuladungen. Dieses ist z.B. bei der Sammlung von LVP dringend erforderlich, da die in den Stammdaten hinterlegten zulässigen Zuladungen aufgrund der geringen Dichte dieser Fraktion in aller Regel nicht erreicht werden können.

Mit der im Menü "Detaileinstellungen" (Bild 22) vorhandenen Schaltfläche "Hindernisse einlesen" wird ein Unterprogramm gestartet, das eine automatische Erkennung und Einlesung von Hindernissen im Entsorgungsgebiet durchführt.

Diese Programmfunktion erlaubt die Berücksichtigung von Hindernissen im Entsorgungsgebiet, die ausschlaggebenden Einfluss auf die Gebietsplanung haben, da sie direkte Verbindungsfahrten zwischen verschiedenen Sammelrevieren z.B. nur über bestimmte Überwege und damit über große Umwege zulassen. Solche Hindernisse sind z.B. Flüsse oder Autobahnen, die das Entsorgungsgebiet durchqueren. In Gebirgsregionen können mit dieser Funktion Bergketten abgebildet werden, die nur wenige Verbindungen zwischen Tälern zulassen.

Die Hinterlegung der Koordinaten des Hindernisverlaufes erfolgt durch eine einfache Nachzeichnung durch Linien mittels des in Microsoft Excel integrierten Zeichenprogramms. Durch Betätigung der Schaltfläche "Hindernisse einlesen" werden die Koordinaten des Hindernisverlaufes vom Unterprogramm eingelesen und in den Planungsdaten hinterlegt.

Die Schaltflächen "Geänderte Daten speichern" bzw. "Vorhandene Daten einlesen" ermöglichen dem Anwender, alle Planungsdaten sowie ggf. vorhandene Planungsergebnisse für ein Gebiet zu speichern bzw. wieder aufzurufen.

3.2.4 Ablauf des Programms

Der Programmaufbau besteht aus den 6 Modulen bzw. Unterprogrammen

- Initialisierung,
- Revierplanung,
- Grobplanung Sammeltour,
- Tourenoptimierung,
- Datenausgabe und
- Optimierung der Revierplanung.

Das folgende Bild 27 zeigt das Ablaufschema von SOKRATES, das in diesem Abschnitt näher erläutert wird.

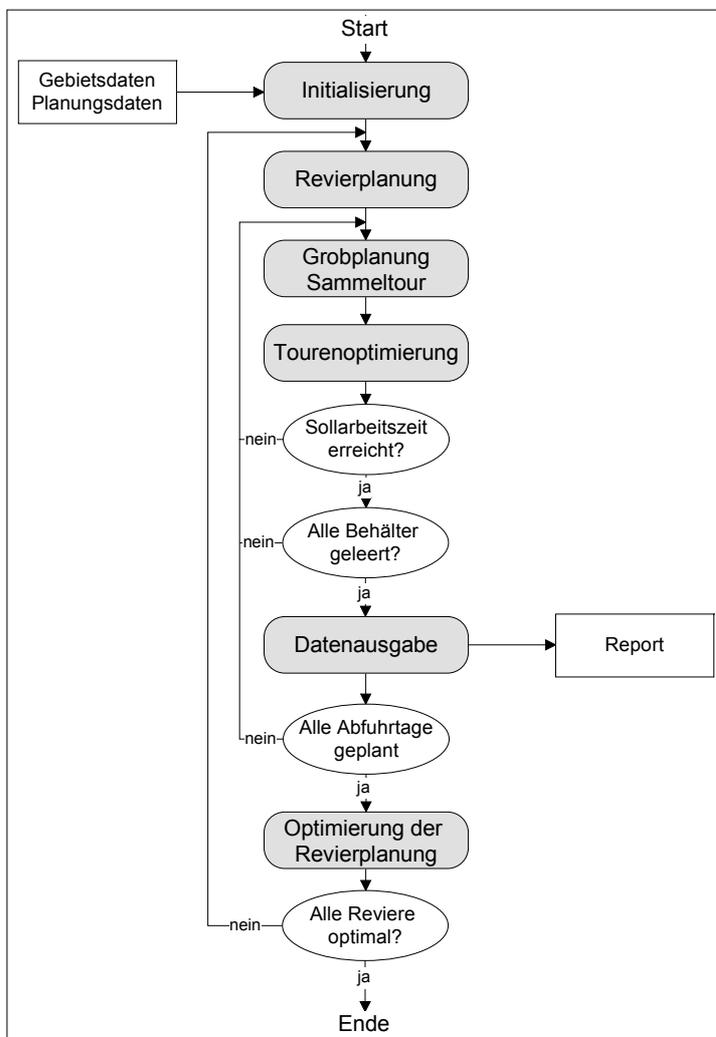


Bild 27: Ablaufschema der Software SOKRATES

Initialisierung

Nach Betätigung "Start-Schaltfläche" im Hauptmenü beginnt der Programmablauf. Dieser startet zunächst mit der Initialisierung.

In diesem Unterprogramm werden aus den Eingabemasken die für die Revier- und Tourenplanung sowie die Kostenberechnung notwendigen Daten eingelesen. Anschließend wird unter Berücksichtigung ggf. vorhandener Hindernisse und Überwege eine Entfernungsmatrix zwischen allen Sammelgebieten, den Fuhrparkstandorten sowie den Senken berechnet. Die Berechnung und Speicherung dieser Entfernungsmatrix zu Beginn des Programms erfordert einen erhöhten Arbeitsspeicherbedarf. Ein Vergleich mit jeweils parallel zum Programmablauf durchgeführten Einzelberechnung hat jedoch deutliche Performance-Vorteile ergeben.

Sind zwischen zwei durch ein Hindernis getrennten Punkten mehrere Verbindungswege möglich, da z.B. mehrere Brücken über einen Fluss führen, so wird der kürzeste Weg nach Stand der Technik mittels des Dijkstra-Verfahrens ermittelt. Dieses Verfahren ist ein Baumalgorithmus zur Ermittlung kürzester Wege in Netzwerken mit nicht negativen Bewertungen (es gibt keine negativen Entfernungen), **Neumann 1993**. Die Ergebnisse dieses Verfahrens stellen stets die optimale Lösung dar.

Sollte das Entsorgungsgebiet mehrere Senken bzw. Fuhrparkstandorte aufweisen, werden diese parallel den einzelnen Sammelgebieten zugeordnet. Die Zuordnung erfolgt dabei auf Basis kürzester Wege.

Wenn im Hauptmenü (Bild 20) das Kästchen "Sollen Grafiken aktiviert werden?" ausgewählt wurde, wird in diesem Modul eine Einzeichnung der Gebiete in die Übersichtskarte des Entsorgungsgebietes durchgeführt (vgl. Kapitel 3.2.5).

Revierplanung

Ist das Kontrollkästchen "Neue Gebietsplanung" aktiviert, wird in diesem Unterprogramm entsprechend der Anzahl der Abfuhrtage eine Einteilung des Entsorgungsgebietes in Tagesgebiete durchgeführt. Diese Einteilung wird für jeden Fahrzeugtyp bzw. die ihm zugeordneten Siedlungsstrukturen separat durchgeführt.

Die Aufteilung des Gebietes wird in im Uhrzeigersinn durchlaufene "Kuchenstücke" vorgenommen. Dieses Einteilung entspricht der in der Praxis am häufigsten angewendeten Methode. Ihr Vorteil liegt in der Erzeugung möglichst kompakter Gebiete und demzufolge auch kürzester Verbindungswege zwischen den Sammelgebieten. Bild 28 zeigt eine schematische Darstellung der Planungsmethode, deren Ausgangspunkt immer der Fuhrparkstandort ist.

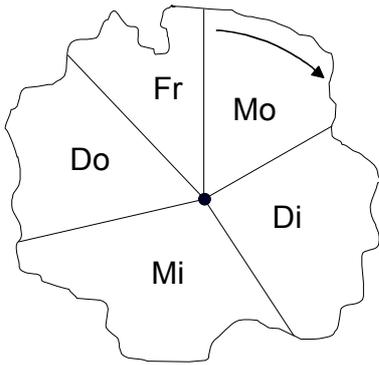


Bild 28: Schematische Darstellung der Tagesplanung in einem Entsorgungsgebiet

Die Größe der Kuchenstücke wird dabei so berechnet, dass der Zeitaufwand für die Entsorgung der Gebiete möglichst gleich groß ist. Dieses ist zunächst nur annäherungsweise möglich, da der tatsächliche Aufwand erst nach durchgeführter Tourenplanung feststeht. Um eine möglichst gute Annäherung zu erreichen, wird der Gesamtzeitaufwand aus einer Addition der notwendigen Sammelzeit der zu leerenden Behälter sowie anteiliger Fahr- und Umschlagszeiten für die Entsorgung berechnet.

Grobplanung Sammeltour

Die Grobplanung der Sammeltouren startet jeweils mit dem am weitesten vom Fuhrparkstandort entfernten Sammelrevier des entsprechenden Tagesgebietes. Von dort ausgehend wird, um kurze Verbindungsfahrten zwischen den Sammelrevieren und damit zusammenhängende Tagestouren zu erreichen, jeweils das nächstgelegene zu entsorgende Gebiet in die Sammeltour aufgenommen.

Parallel zur Zusammensetzung der Sammeltour wird laufend die aktuelle Zuladung des Fahrzeuges überprüft und gegebenenfalls eine Entsorgungsfahrt berücksichtigt. Weiterhin wird die aktuelle Arbeitszeit beobachtet. Die Planung wird beendet, sobald die gewünschte Zielarbeitszeit erreicht ist bzw. bevor die vom Anwender vorgegebene Maximalarbeitszeit überschritten wird.

Die Anfahrreihenfolge der Sammelgebiete wird in diesem Modul somit nach dem Prinzip des "Bester-Nachfolger-Verfahrens" festgelegt, vgl. **Müller-Merbach 1970**. Da die Zahl der möglichen Nachfolger im Verlauf des Verfahrens ständig sinkt, müssen zum Ende des Verfahrens oft ungünstige Reihenfolgen in die Tourenreihenfolge aufgenommen werden. Dadurch führt dieses Verfahren meistens zu relativ schlechten Ergebnissen, **Müller-Merbach, 1973**.

Um dieses noch ungenügende Planungsergebnis zu optimieren, werden die Ergebnisse der Sammeltour-Grobplanung in das Modul "Tourenoptimierung" übergeben.

Tourenoptimierung

Um die optimale Reihenfolge der Sammelgebiete auf einer Tagestour zu ermitteln, muss das klassische Handlungsreisendenproblem oder Traveling-Salesman-Problem (TSP) gelöst werden. Dieses Problem ist jedoch nur durch eine vollständige Enumeration, d.h. durch Berechnung aller möglichen Rundreisewege und die anschließende Auswahl des besten exakt lösbar, **Müller-Merbach 1970**.

Da diese Vorgehensweise schon ab einer geringen Anzahl zu verplanender Sammelgebiete eine sehr große Anzahl von Rechenschritten benötigt, kann dieses Problem ab einer gewissen Größe der Sammeltour nur über heuristische Verfahren, d.h. Annäherungsverfahren gelöst werden.

Das Modul "Tourenoptimierung" führt daher, je nach Tourengröße, wahlweise zwei Varianten der Optimierung durch.

Touren, die maximal 7 verschiedene Sammelgebiete befahren, werden exakt d.h. optimal gelöst. Für Touren dieser Größe müssen dafür $7! = 5040$ verschiedene Kombinationen berechnet werden. Die für diese Berechnung notwendige Rechenzeit hat sich in Praxistests des Programms als zeitlich akzeptabel herausgestellt. Im nächsten Schritt wären bereits $8! = 40320$ unterschiedliche Kombinationen zu berechnen,

Bei Touren mit mehr als 7 anzufahrenden Sammelgebieten wird für die näherungsweise Lösung das von Clarke/ Wright 1964 entwickelte Savingsverfahren in der nach **Paessens 1981** und **Weuthen 1983** modifizierten zweiparametrischen Form angewendet. Dieses Verfahren ist für die Tourenplanung in der Entsorgung zu bevorzugen, **Paessens 1981**. Eine weitere Erhöhung der Ergebnisqualität wird durch das anschließende Durchlaufen des 2-opt-Verbesserungsverfahrens, vgl. **Neumann 1993** erreicht.

Die mit diesen Verfahren optimierte Tour wird im Anschluss hinsichtlich der Kosten und der notwendigen Arbeitszeit neu berechnet. Ist die neue Arbeitszeit kürzer als die vom Anwender vorgegebene Zielarbeitszeit, so wird die Tour im Modul "Grobplanung Sammeltour" mit erhöhter Zeitvorgabe neu geplant. Dieser Planungs- und Optimierungszyklus wird abgebrochen, wenn die Tagesarbeitszeit zwischen der Zielarbeitszeit und der Maximalarbeitszeit liegt.

Wurde vom Anwender eine grafische Darstellung der Tourenverläufe gewünscht, werden die Wege, die auf der Sammeltour zu fahren sind, in diesem Unterprogramm auf der Übersichtskarte eingezeichnet.

Datenausgabe

Nach Planung und Berechnung aller Abfuhrtage bzw. nach Leerung aller Behälter des Entsorgungszyklus springt das Programm zum Modul Datenausgabe, in dem die Darstellung der Ergebnisse erfolgt (vgl. Kapitel 3.2.5).

Optimierung der Revierplanung

Wenn bei Start des Programms im Hauptmenü die Option "Automatische Optimierung" aktiviert wurde, werden in diesem Modul die Leistungsvorgaben für die einzelnen Abfuhrtage optimiert. Ziel der Optimierung ist die Erreichung eines möglichst ausgeglichenen Personal- und Fahrzeugeinsatzes.

Um dieses zu erreichen, werden für jede separat gehaltene Gebietsplanung, also für jeden Fahrzeugtyp und jeden Standort, die gebiets- und fahrzeugspezifischen Charakteristika wie

- die Zeiten für die Anfahrt ins Revier
- die pro Stunde sammelbaren Behälter (hier inkl. der Verbindungsfahrten zwischen den Revieren)
- die Zeiten für die Entsorgungsfahrten und
- die Zeiten Rückfahrt von der Senke zum Fuhrparkstandort

für den Abfuhrtag berechnet und gemittelt. Anschließend erfolgt Berechnung der entsprechenden Mittelwerte für den gesamten Abfuhrzyklus.

Mit diesen Werten kann eine Durchschnittssammeltour abgebildet werden und die auf ihr in der vorgegebenen Arbeitszeit sammelbaren Behälter ermittelt werden. Mit Hilfe der Zahl der sammelbaren Behälter sowie der Summe der durch den betreffenden Fahrzeugtyp insgesamt zu sammelnden Behälter wird die Gesamtzahl der Fahrzeugeinsatztage bestimmt.

Diese Einsatztage werden anschließend gleichmäßig über den Entsorgungszyklus verteilt, um so die Zahl der täglich einzusetzenden Fahrzeuge zu bestimmen. Die Gesamttagesarbeitszeit ergibt sich aus dem Produkt von Fahrzeugen und Zielarbeitszeit. Dieser Sollwert wird tageweise mit dem Ist-Wert aus der letzten Planung verglichen, um anschließend eine neue optimierte Planungsvorgabe zu berechnen.

Zwangsläufig ist nicht immer eine gleichmäßige Betriebsmittelauslastung möglich, d.h. die Zahl der einzusetzenden Fahrzeuge ist nicht an jedem Abfuhrtag gleich groß. Sind also z.B. für die Entsorgung eines Gebietes 7 Fahrzeugeinsatztage notwendig, bedeutet dieses bei einem wöchentlichen Abfuhrhythmus mit 5 Abfuhrtagen, dass an 2 Tagen 2 Fahrzeuge und an 3 Tagen lediglich 1 Fahrzeug eingesetzt wird. In diesem Fall werden die Planungsvorgaben durch das Programm so festgelegt, dass Tage mit gleicher Zahl eingesetzter Fahrzeuge aufeinanderfolgen. Dieses hat in der Praxis den Vorteil, dass Fahrzeuge en bloc, d.h. also für mehrere aufeinanderfolgende Tage eingeplant werden können. Der wesentliche zweite Vorteil ergibt sich, wenn im Entsorgungsgebiet mindestens zwei Fuhrparkstandorte bestehen. In diesem Fall erzeugt das Programm gegenläufige Einsatzzahlen der Fahrzeuge, um so in der Summe über die Standorte eine möglichst konstante Fahrzeug- und Personalauslastung zu erreichen.

In diesem Schema wird die Revierplanung tageweise optimiert, bis der vorletzte Tag die im Sinne gleichmäßiger Auslastungen ideale Planung aufweist. An dieser Stelle ist die Planungsvorgabe für den letzten Tag zwangsläufig vorgegeben, so dass die Optimierung beendet wird.

3.2.5 Darstellung Ergebnisse

Die Planungsergebnisse werden hier tages- und touren- und gebietsgenau ausgegeben und anschließend nach Planungstag bzw. über den gesamten Entsorgungszyklus zusammengefasst. Wenn vom Anwender gewünscht, wurde parallel zur Berechnung eine grafische Darstellung der berechneten Sammeltouren in einer Übersichtskarte durchgeführt.

Bild 29 zeigt einen Ausschnitt aus der tages- und gebietsgenauen Protokollierung der Planungsergebnisse. Von links nach rechts zeigt die Tabelle

- die laufende Nummer der auf der Sammeltour entsorgten Gebiete,
- den dafür ausgewählten Sammelfahrzeugtyp,
- den Namen des jeweiligen Gebietes (in diesem Beispiel einer fiktiven Region wurden die Gebiete lediglich alphabetisch durchnummeriert),
- die Anzahl der im betreffenden Gebiet umgeleerten Behälter in Stück,
- die aktuelle Arbeitszeit bei Ausfahrt aus dem Gebiet (beim letzten Gebiet einer Sammeltour die Gesamtarbeitszeit) in Stunden,
- die in diesem Gebiet gesammelte Abfallmenge in Tonnen,
- die aktuelle Gesamtzuladung bei Ausfahrt aus dem Gebiet in Tonnen,
- der berechnete Durchschnittspreis für die Umleerung eines Behälters im Sammelgebiet in Euro/Behälter,
- die Anzahl und den Zeitpunkt notwendiger Kipp- bzw. Entsorgungsfahrten,
- die gebietspezifischen Gesamtkosten der Sammlung in Euro sowie
- die Gesamtfahrtstrecke in km, die das Fahrzeug auf der Sammeltour zurücklegen muss.

Einsatz	Fahrzeug-Typ	in Gebiet	Anzahl Behälter	Arbeitszeit	Zuladung Einsatz	Gesamtzuladung	€/Behälter	Kippfahrten	Gesamtkosten	Fahrtstrecke
Montag										
1	HL, 3-achser, Fest	Gebiet t	25	0,29 h	1,9 t	1,9 t	0,56 €		15,76 €	
2		Gebiet m	70	0,77 h	2,8 t	4,6 t	0,43 €		34,16 €	
3		Gebiet a	70	1,24 h	2,8 t	7,4 t	0,43 €		33,80 €	
⋮		⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮		⋮	
10		Gebiet x	70	4,42 h	2,8 t	22,1 t	0,50 €		39,45 €	
11		Gebiet f	70	5,66 h	2,8 t	24,9 t	0,77 €	1	60,69 €	
12		Gebiet h	50	6,00 h	2,0 t	26,9 t	0,50 €		28,18 €	
13		Gebiet j	16	6,15 h	0,7 t	27,6 t	0,57 €		10,20 €	
14		Gebiet u	60	6,77 h	3,2 t	30,8 t	0,61 €		41,25 €	
15		Gebiet e	8	7,25 h	0,8 t	31,5 t	0,78 €	1	7,05 €	46,82 km
1	HL, 3-achser, Fest	Gebiet w	50	0,51 h	2,7 t	2,7 t	0,56 €		31,45 €	
2		Gebiet q	2	0,56 h	0,2 t	2,9 t	0,60 €		1,35 €	
3		Gebiet s	173	1,72 h	6,8 t	9,7 t	0,45 €		87,68 €	
4		Gebiet d	50	2,66 h	2,0 t	11,6 t	0,70 €	1	39,55 €	
5		Gebiet c	9	2,72 h	0,5 t	12,1 t	0,45 €		4,56 €	
6		Gebiet k	16	2,84 h	0,6 t	12,8 t	0,46 €		8,34 €	
7		Gebiet h	2	2,93 h	0,2 t	12,9 t	1,37 €		3,07 €	
8		Gebiet n	70	3,43 h	2,8 t	15,7 t	0,46 €		36,46 €	
9		Gebiet r	121	4,23 h	4,8 t	20,5 t	0,45 €		61,14 €	
10		Gebiet z	141	5,91 h	5,6 t	26,0 t	0,57 €	1	90,88 €	
11		Gebiet b	5	6,03 h	0,5 t	26,5 t	0,57 €		3,19 €	
12		Gebiet l	2	6,08 h	0,2 t	26,7 t	0,49 €		1,11 €	
13		Gebiet p	2	6,13 h	0,2 t	26,9 t	0,58 €		1,31 €	
14		Gebiet o	127	7,48 h	6,6 t	33,5 t	0,50 €	1	71,99 €	39,82 km
Zusammenfassung			3090	7,73 h	88,6 %	148,6 t	0,50 €		1.761,29 €	

Bild 29: Ausschnitt aus den Planungsergebnissen von SOKRATES

Diese Einzelergebnisse werden, wie in Bild 29 in der untersten Zeile dargestellt, tageweise zu den Werten

- Gesamtbehälterzahl des Abfuhrtages in Stück,
- durchschnittliche Gesamtarbeitszeit auf den Sammeltouren in Stunden,
- durchschnittliche Ausnutzung der zulässigen Zuladung der Sammelfahrzeuge in Prozent,
- gesammelte Abfallmenge in Tonnen,
- durchschnittliche Kosten für die Umleerung eines Behälters in Euro/ Behälter (unter Berücksichtigung einer optional vorgegebenen Bereitstellquote, d.h. bezogen auf den tatsächlich vorhandenen Gesamtbehälterbestand) sowie
- die effektiven Gesamtkosten für Personal und Fahrzeuge des Sammeltages in Euro

zusammengefasst.

Im Anschluss an diese tageweisen Darstellungen der Planungsergebnisse erfolgt eine Zusammenfassung des gesamten Abfuhrhythmus (Bild 30).

	Behälter	Arbeitszeit	Auslastung Zuladung	Gesamt- Zuladung	Kosten/ Behälter		Kosten/ Rhythmus
	23455	7,71 h	71%	527,59 t	0,83 €		10.278 €
Auswertung der Tagessammelleistungen							
Fuhrstandort A	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag	Summe	km gesamt
HL, 3-achser, Fest	1	1	1	0	0	3	297,3 km
Arbeitszeit	7,82 h	7,76 h	7,59 h	0,00 h	0,00 h		
SL, 3-achser, Fest	3	3	3	3	2	14	1.201,3 km
Arbeitszeit	23,31 h	23,01 h	23,64 h	23,52 h	14,90 h		
Fuhrstandort B	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag	Summe	km gesamt
HL, 3-achser, Fest	0	0	0	1	1	2	220,2 km
Arbeitszeit	0,00 h	0,00 h	0,00 h	7,95 h	7,81 h		
SL, 3-achser, Fest	2	2	2	2	3	11	956,6 km
Arbeitszeit	15,11 h	15,23 h	15,42 h	15,29 h	22,84 h		
Trans.-Fz.	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag	Summe	km gesamt
Arbeitszeit	2	2	2	2	2	10	1.329,7 km
	14,34 h	15,51 h	16,62 h	14,98 h	15,94 h		
Lader/ Tag	1	1	1	1	1		
Fahrer/ Tag	8	8	8	8	8		
						Kosten/ a	535.265 €
						inkl. Trans.-kosten/ a	182.334 €
						zus. Fixkosten/ a	0 €

Bild 30: Beispiel einer Gesamtzusammenfassung über den Abfuhrhythmus

Zusätzlich zu den aus den Tagesplanungen gemittelten Kennwerten ist in dieser Aufstellung die Anzahl täglich einzusetzender Fahrzeug nach Typ und Fuhrparkstandort dargestellt. Diese wird in Fahrzeugeinsatztage summiert und der jeweiligen Gesamtfahrstrecke gegenübergestellt. Im unteren Teil der Auswertung wird die Zahl der einzusetzenden Transportfahrzeuge (sofern Fahrzeuge mit Wechselaufbau eingesetzt werden bzw. ein loser Umschlag durchgeführt wird) mit der zugehörigen Gesamtkilometerleistung ausgewiesen. Eine weitere Aufstellung gibt über den für Sammlung und Transport notwendigen täglichen Personalbedarf Auskunft.

Schließlich werden die berechneten Gesamtkosten der Sammlung pro Jahr ausgewiesen, wobei die Transportkosten zur zusätzlichen Information nochmals gesondert dargestellt werden. Die zusätzlichen Fixkosten weisen die Kosten aus, die durch evtl. tageweise nicht genutzte Fahrzeuge entstehen. Im dargestellten Beispiel sind diese Kosten gleich null, da jeden Tag alle zur Verfügung stehenden Fahrzeuge eingesetzt werden.

Wie bereits erwähnt bietet SOKRATES neben bisher beschriebenen schriftlichen Ergebnisprotokollen eine grafische Darstellung der Planungsergebnisse. Ein Beispiel für diese Darstellung ist in Anhang G aufgeführt.

Die Darstellung der Sammeltouren wird durch das Programm farblich deutlich abgegrenzt, so dass ein Nachvollziehen der Tour leicht möglich ist. Zusätzlich bietet sich dem Anwender die Möglichkeit die Übersichtskarte auf dem Bildschirm auf bis zu 400% zu vergrößern.

Die Tourenverläufe werden in ihrer Reihenfolge durch Pfeilspitzen gekennzeichnet. Entsorgungsfahrten, die während der Sammlung durchgeführt werden, werden zur Erhöhung der Übersichtlichkeit lediglich durch eine gestrichelte Linie vom betreffenden Revier zur Senke dargestellt.

3.3 Praxistest der Berechnungssoftware

Im Rahmen der einzelnen Berechnungen für die Sensitivitätsanalysen hat sich gezeigt, dass die Ergebnisse eine allgemeine Schwankungsbreite von etwa einem Prozent aufweisen. Die Ursache hierfür ist in den heuristischen Verfahren für die Optimierung der Sammeltouren zu finden. Da, wie erwähnt, eine exakte Lösung dieses

Problems nur infolge teilweise tage- bis wochenlanger Rechenzeit (Beispiel: 70 anzufahrende Gebiete entsprechen $70! = 1,1979 \cdot 10^{100}$ Möglichkeiten!) möglich ist, treten aufgrund der näherungsweise Lösung Schwankungen von o.g. etwa ein Prozent in der Qualität der Touren auf.

Eine EDV-gestützte Tourenplanung gibt ein auf Basis mathematischer Berechnungen ideales Ergebnis aus, wie es manuell kaum bzw. nicht zu ermitteln ist. Die realen Bedingungen der Sammlung sind jedoch aufgrund der Vielzahl der Einflüsse hoch komplex. Wie sich daher in der Praxis auch bei am Markt erhältlichen Tourenplanungsprogrammen für die straßengenaue Planung zeigt, kann davon ausgegangen werden, dass eine manuelle Korrektur der von SOKRATES erstellten Abfahrpläne durch einen erfahrenen Disponenten erforderlich ist, um lokale Besonderheiten, wie z.B. tageszeitlich besonders schwankende Verkehrsaufkommen, Behinderungen durch Wochenmärkte etc. zu berücksichtigen.

Um die Übertragbarkeit der Ergebnisse der Kostenberechnung auf die Praxis zu überprüfen, wurden die Daten eines realen Gebietes eines großen mittelständischen nordrhein-westfälischen Entsorgungsunternehmens aufgenommen und die Ergebnisse am Beispiel der Restabfall-Sammlung mit den tatsächlichen Daten verglichen. Das untersuchte Gebiet weist ca. 30.000 Einwohner auf und wird von einem Fluss durchzogen, der über 3 verschiedene Brücke zu überqueren ist. Die Abfuhr wird ausgehend von zwei getrennten Fuhrparkstandorten sowohl mit Heck- als auch Seitenladern durchgeführt. Die durchschnittliche tägliche Arbeitszeit in der Sammlung beträgt ca. 10 Stunden. Aufgrund der zugesicherten Geheimhaltung können an dieser Stelle keine detaillierteren Angaben gemacht werden.

Bevor auf die Ergebnisse dieses Praxistests eingegangen wird, soll zunächst die Vorgehensweise für die Erhebung der notwendigen Daten als auch für die eigentliche Berechnung geschildert werden. Um in der Berechnung möglichst exakte Ergebnisse zu erhalten, wurde bei der Datenerhebung sehr genau vorgegangen. In Kapitel 6 dieser Arbeit wird dargestellt, wie sich der daraus resultierende Zeitaufwand erheblich verringern lässt. Des Weiteren wird darauf hingewiesen, dass diese Arbeitsschritte von einem erfahrenen Disponenten mit langjähriger Praxiserfahrung voraussichtlich in weit kürzerer Zeit zu erledigen wären als im nachstehend beschriebenen und von Institutsmitarbeitern durchgeführten Praxistest angegeben.

Für die Datenerhebung wurden alle Gemeinden und Teil-Gemeinden des Entsorgungsgebietes mit dem Auto durchfahren. In diesem Zuge wurden diese Orte nach den in Kapitel 2.1.4.10 beschriebenen Siedlungsstrukturen eingeteilt. Je nach Größe des jeweiligen Ortes wurden hierfür bis zu 15 einzelne Gebiete auf einer Straßenkarte in Form von Kreisen verschiedener Größen (Durchmesser zwischen 0,2km bis 1,5 km) eingezeichnet, denen die jeweilige Siedlungsstruktur zugeordnet wurde. Insgesamt wurden 220 Gebiete erfasst.

Parallel wurde anhand von Behälterzählungen und zurückgelegter Fahrstrecke die charakteristische Behälterdichte der einzelnen Siedlungsstrukturtypen ermittelt. Der zeitliche Aufwand für diese durchgeführte Datenerhebung kann mit 2,5 Manntagen angegeben werden.

Anschließend wurden die auf der Straßenkarte eingezeichneten Kreise auf EDV übertragen. Hierzu wurden die einzelnen Gebietskreise bezüglich eines Ursprunges (hier wurde er in den äußersten Nord-Westen des Entsorgungsgebietes gelegt) mit ihren Entfernungen in x- bzw. y-Richtung (also Ost-West bzw. Nord-Süd-Richtung) und ihrem jeweiligen Durchmesser in die Eingabemaske von SOKRATES (vgl. Bild 19) aufgenommen. Jedem Gebiet wurde dabei zusätzlich die dort, ausgehend von der bekannten Gesamtbehälterzahl, geschätzt stehende Behälterzahl zugeordnet. Dieser Arbeitsschritt bildet den Abschluss der Erfassung der Daten, die gebietsgenau erforderlich sind. Der Aufwand für diese Übertragung der vor Ort ermittelten Daten, die wie eingangs erwähnt sehr genau ermittelt wurden, lässt sich mit einem weiteren Manntag angeben.

Vor Start der Berechnungen muss nun noch eine Zuordnung der 8 erfassten verschiedenen Siedlungsstrukturtypen zu den charakteristischen Werten

- erreichbare Sammelleistung in Behältern pro Stunde
- Behälterdichte
- Mittleres Behälterfüllgewicht

getroffen werden und in einer Eingabemaske hinterlegt werden.

Die erreichbaren Sammelleistungen wurden hierfür auf Basis von Erfahrungswerten des Entsorgungsunternehmens abgeschätzt. Die jeweiligen Behälterdichten wurden bereits während der Vor-Ort-Aufnahme durch Stichproben ermittelt.

Zur Ermittlung der Siedlungsstrukturtyp-abhängigen Behälterfüllgewichte wurden zu-

nächst mit Hilfe der bekannten Gesamtabfallmenge pro Jahr und der Anzahl der Behälterleerungen pro Jahr das mittlere Behältergewicht für das gesamte Gebiet ermittelt. Anschließend wurden, unter Berücksichtigung von Erfahrungswerten, Anpassungen dieses Mittelwertes an die in den Siedlungsstrukturen zu erwartenden tatsächlichen Behälterfüllgewichte vorgenommen. Ursache der vorzunehmenden Anpassungen ist, dass je nach Siedlungsstruktur unterschiedliche Behälterspektren und spezifische Abfallaufkommen auftreten. In einem innerstädtischen Gebiet und entsprechend hohem Anteil an Gewerbebetrieben bzw. Einzelhandelsgeschäften stehen z.B. anteilig mehr große und vergleichsweise schwerere Behälter als in einem Wohngebiet mit Ein- oder Zwei-Familienhausbebauung (vgl. Anhang C und D).

Die eigentliche Berechnung wurde mit Hilfe der in Kapitel 3.2.4 beschriebenen automatischen Optimierung vorgenommen und lieferte bereits nach ca. 10 Min. Rechenzeit (Computer: Pentium 4, Taktfrequenz 1,8 Ghz, 256 MB Arbeitsspeicher) ein erstes Ergebnis. Da das Entsorgungsgebiet von zwei verschiedenen Fuhrparkstandorten aus abgefahren wird, musste die Zuordnung der Sammelgebiete mit dem Ziel einer gleichmäßigen durchschnittlichen Arbeitszeitauslastung anschließend manuell angepasst werden. Bis zum Erhalt des endgültigen Ergebnisses wurden noch weitere 4 Berechnungsdurchläufe à 10 Min. notwendig.

Bei diesem beschriebenen Test erreichte SOKRATES eine Genauigkeit von 7%. Da die genauen Kostensätze für Personal und Fahrzeuge aufgrund der Konkurrenzsituation in diesem umkämpften Markt vom Entsorgungsunternehmen nicht genannt werden konnten, wurde der Vergleich anhand der jeweiligen Arbeitszeiten und Einsatz-tage der beiden verwendeten Fahrzeugtypen Heck- und Seitenlader vorgenommen. Bei einer vollkommenen Übereinstimmung der Fahrzeugeinsatz-tage wich die mit SOKRATES ermittelte Gesamtarbeitszeit mit 122,1 Stunden um die oben angegebenen 7% von der realen Gesamtarbeitszeit von 113,75 Stunden ab.

Die Genauigkeit des Berechnungsergebnis ist stark abhängig von der Güte der Eingangsdaten. Insbesondere die zugrundegelegten Sammelleistungen haben hier einen großen Einfluss (vgl. Kapitel 4.9). Vom Entsorgungsunternehmen wurden 4 charakteristische Werte für die erreichbaren Sammelleistungen nach Größe der Ortschaften zur Verfügung gestellt. Hierbei wurde eine Unterteilung in Werte für die beiden größten Ortschaften, für 3 mittelgroße Gemeinden, 3 kleine Gemeinden und einen Wert für die restlichen Kleinstgemeinden getroffen. Wie erläutert, ist für die Berechnung der Sammellogistikkosten mit SOKRATES eine Angabe der Sammelleis-

tungen bezogen auf Siedlungsstrukturen notwendig. Daher wurde auf Basis der ortsbezogenen Werte eine Abschätzung der erreichbaren Sammelleistungen für die verschiedenen Siedlungsstrukturtypen vorgenommen. Gesonderte, explizit auf die Siedlungsstrukturtypen abgestimmte, Messungen wurden nicht durchgeführt. Dieses wird als mögliche Ursache der oben angegebenen Berechnungsungenauigkeit von 7% angesehen.

Eine Modellrechnung mit im Vergleich zu den ursprünglich angesetzten Werten 6% höheren Sammelleistungen in den einzelnen Siedlungsstrukturen und einer parallel besser zu treffenden Aufwandsverteilung auf die beiden Fuhrparkstandorte ergab eine exakte Abbildung des realen Aufwandes für den Abfuhrbetrieb.

4 Sensitivitätsanalyse der Berechnungsparameter

In der in diesem Kapitel vorzunehmenden Analyse soll der Einfluss der Variation der Eingangsparameter auf die Gesamtkosten der Sammlung, d.h. die Wichtigkeit der einzelnen Berechnungsvariablen für das Endergebnis ermittelt werden. Ziel dieses Arbeitsschrittes ist es somit eine Aussage darüber treffen zu können, welche Einflüsse bei einer Berechnung der Sammellogistikskosten besonders genau betrachtet werden müssen. Grundlage für die Erzielung realitätsgetreuer Ergebnisse ist hierbei eine dynamische Betrachtung der Sammellogistik. Dieses bedingt, dass die Gestaltung der Revierplanung und die Abfolge der Touren bei einer Variation von Parametern jederzeit optimal ist.

Die flächendeckende Durchführung der kommunalen Entsorgung in Deutschland wird in unterschiedlichsten Regionen organisiert. Diese Regionen weisen alle Charakteristika vom hochverdichteten städtischen Gebieten bis zu sehr dünnbesiedelten ländlichen Räumen auf. Hieraus ergeben sich sehr unterschiedliche Randbedingungen, die die Zusammensetzung der Gesamtkosten der Sammlung beeinflussen. Die folgende Aufzählung gibt die Parameter wieder, die wesentlich von den Besiedlungsstrukturen der zu entsorgenden Regionen beeinflusst werden:

- Abfallaufkommen pro Einwohner und Jahr
- Zusammensetzung des Abfalls
- Verteilung der Behältergrößen
- Behältervolumen pro Einwohner

- Durchschnittliche Fahrleistung der Sammelfahrzeuge pro Jahr
- Durchschnittliche Geschwindigkeit der Sammelfahrzeuge auf Verbindungsfahrten
- Eingesetzte Fahrzeugtechnik

Um diese veränderlichen Randbedingungen zu berücksichtigen, soll in der Sensitivitätsanalyse der Einfluss der Regionstypen auf die Sammelkosten beachtet werden. Regionstypen werden anhand der quantitativen Kenngrößen Einwohnerdichte und der Existenz von Zentren unterschieden.

Die folgende Aufzählung gibt die drei nach **BBR 1998** festgelegten Regionstypen wieder, die sich wiederum in insgesamt 9 Kreistypen unterteilen:

- Regionstyp I (Agglomerationsräume):
 - Kreistyp 1: Kernstädte im Regionstyp I (kreisfreie Städte > 100 000 EW)
 - Kreistyp 2: Hochverdichtete Kreise im Regionstyp I (Kreise \geq 300 EW/km²)
 - Kreistyp 3: Verdichtete Kreise im Regionstyp I (Kreise \geq 150 EW/km²)
 - Kreistyp 4: Ländliche Kreise im Regionstyp I (Kreise/Kreisregionen < 150 EW/km²)
- Regionstyp II (Verstädterte Räume):
 - Kreistyp 5: Kernstädte im Regionstyp II (kreisfreie Städte > 100 000 EW)
 - Kreistyp 6: Verdichtete Kreise im Regionstyp II (Kreise \geq 150 EW/km²)
 - Kreistyp 7: Ländliche Kreise im Regionstyp II (Kreise/Kreisregionen < 150 EW/km²)
- Regionstyp III (Ländliche Räume)
 - Kreistyp 8: Ländliche Kreise höherer Dichte (Kreise/Kreisregionen \geq 100 EW/km²)
 - Kreistyp 9: Ländliche Kreise geringerer Dichte (Kreise/Kreisregionen < 100 EW/km²)

Um zu einer möglichst klaren Gegenüberstellung der unterschiedlichen Auswirkungen der Regions- bzw. Kreistypen auf die Sensitivitäten zu kommen, werden für die beiden Modellregionen die Extreme Regionstyp I, Kernstädte und Regionstyp III, Ländliche Kreise geringerer Dichte gewählt. Die aufzustellenden Modellregionen sollen dabei die Charakteristika eines typischen Vertreters dieser Regions- bzw. Kreistypen in Deutschland aufweisen.

4.1 Vorgehensweise bei der Ermittlung der Daten

Um eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse der in diesem Kapitel durchzuführenden Sensitivitätsanalyse erreichen zu können, werden beide Modellregionen so erstellt, dass sie jeweils eine Gesamtzahl von 150.000 Einwohnern aufweisen. Dieses entspricht annähernd der mittleren Einwohnerzahl der 544 Landkreise bzw. kreisfreien Städte in Deutschland (Ø151.653 Einwohner/ Landkreis bzw. kreisfreie Stadt, Stand: 2. Quartal 2002, Quelle: Statistisches Bundesamt).

In den folgenden Abschnitten wird die Vorgehensweise bei der Erstellung der Modellregionen bzw. bei der Ermittlung deren Daten erläutert.

4.1.1 Einwohnerdichte der Modellregionen

Zur Ermittlung typischer Vertreter der beiden gewählten Regions- bzw. Kreistypen wird zunächst die durchschnittliche Einwohnerdichte entsprechender Landkreise bzw. kreisfreier Städte bestimmt.

Dabei wird in der in diesem Zusammenhang durchzuführenden Untersuchung darauf geachtet, dass die hierfür herangezogenen Landkreise bzw. kreisfreien Städte im Mittel ebenfalls eine Einwohnerzahl von etwa 150.000 aufweisen.

Kreistyp 1				Kreistyp 9			
Nr.	kreisfreie Stadt	Einwohner	Einwohnerdichte (EW/km ²)	Nr.	Landkreis	Einwohner	Einwohnerdichte (EW/km ²)
1	Osnabrück	157.035	1.318	1	Parchim	107.996	49
2	Oldenburg	154.832	1.504	2	Uckermark	149.000	50
3	Neuss	150.518	1.513	3	Märkisch-Oderland	189.000	50
4	Regensburg	141.000	1.552	4	Demmin	192.140	51
5	Bremerhaven	119.420	1.634	5	Ludwigslust	131.700	52
6	Solingen	162.974	1.845	6	Nordvorpommern	119.500	55
7	Mülheim/Ruhr	173.142	1.889	7	Güstrow	113.280	55
8	Leverkusen	161.621	2.058	8	Nordwestmecklenburg	118.400	56
9	Ludwigshafen	165.949	2.139	9	Bitburg-Prüm	96.325	58
10	Herne	168.994	3.287	10	Stendal	159.733	58
Mittelwert		155.549	1.874	Mittelwert		137.707	53

Tabelle 1: Erhebung der durchschnittlichen Einwohnerdichte der Kreistypen 1 und 9

Quelle: Internet-Recherche

Die Tabelle 1 gibt die untersuchten Landkreise bzw. kreisfreien Städte wieder, die für die Ermittlung der durchschnittlichen Einwohnerdichte herangezogen wurden. Für die Recherche des Kreistyps 1, Kernstädte im Regionstyp I wurden die 10 dichtbesiedeltsten deutschen Städte mit einer Einwohnerzahl zwischen ca. 120.000-180.000 Einwohner herangezogen. Mit der gleichen Stichprobe wurden auch die dünnbesie-

deltesten ländlichen Gebiete recherchiert, jedoch ist hier die Schwankungsbreite der Einwohnerzahlen (ca. 96.000-192.000 EW) bedingt durch die relativ geringe Zahl der Landkreise des gesuchten Kreistyps 9 (Ländliche Kreise mit geringer Dichte) im insgesamt dichtbesiedelten Deutschland etwas größer.

Um nun Aufschluss über die typische Verteilung der Siedlungsstrukturen innerhalb dieser Städte zu bekommen, wird exemplarisch eine kreisfreie Stadt bzw. ein Landkreis ausgewählt, die bzw. der den berechneten Mittelwerten bezüglich der Einwohnerdichte und -anzahl am nächsten kommt. Die für die Musterregionen festgelegte Anzahl von 150.000 Einwohner wird durch Verkleinerung bzw. Vergrößerung der erfassten Gebiete unter Beibehaltung des Verhältnisses der Siedlungsstrukturen untereinander erreicht.

4.1.2 Flächenmäßige und geographische Siedlungsstrukturverteilung

Ziel der flächenmäßigen und geographischen Ermittlung der Siedlungsstrukturverteilung ist es, eine maximal genaue Grundlage für die Berechnung der Gesamtkosten sowie der Sensitivitäten zu erhalten. Alternativ zu der im Zusammenhang mit dem Praxistest der Software SOKRATES (vgl. Kapitel 3.3) geschilderten Vorgehensweise der Datenaufnahme durch Befahrung des Gebietes wird daher eine noch genauere Ermittlung der Siedlungsstrukturen anhand von Luftbildern (Auflösung 0,6m) und topographischen Karten im Maßstab 1:50.000 vorgenommen.

Mit Hilfe dieser Unterlagen lässt sich eine gute Zuordnung der Gebiete zu den im Kapitel 2.1.4.10 vorgestellten 8 Siedlungsstrukturen treffen. Bild 32 und Bild 31 zeigen typische Ausschnitte, wie sie für die Erhebung verwendet werden.



Bild 31: Ausschnitt einer Siedlungsstruktur vom Typ D (Topographische Karte)

Quelle: Landesvermessungsamt Brandenburg



Bild 32: Luftbild-Aufnahme einer Siedlungsstruktur vom Typ C (Original farbig)

Quelle: www.ausderluft.de

Homogene, zusammenliegende Gebiete derselben Siedlungsstruktur werden dabei, wie Bild 33 zeigt, durch Kreisflächen angenähert.

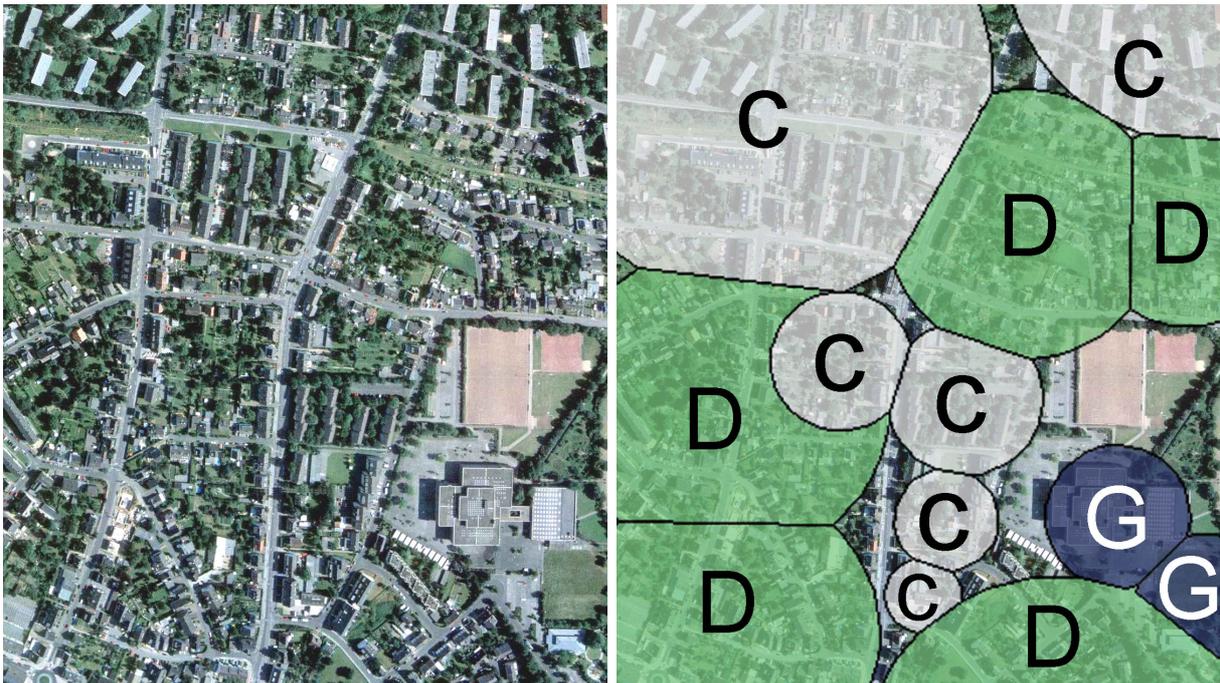


Bild 33: Beispiel für Erfassung der Siedlungsstrukturen durch Kreise

Quelle: www.ausderluft.de

Mit dieser Erfassungsmethode wird der gesamte als Grundlage für die Modellregion verwendete Landkreis bzw. die kreisfreie Stadt erfasst. Auf diese Weise ist eine realistische Abbildung der Regionen, nicht nur die Verteilung der Siedlungsstrukturhäu-

figkeiten betreffend sondern auch bezüglich deren geographischen Verteilung, gewährleistet.

Das Ergebnis dieses Arbeitsschrittes ist eine Auflistung aller siedlungsstrukturspezifisch homogenen Gebiete, die deren Mittelpunktswerte in Form von Luftlinienabständen bezüglich eines frei wählbaren Ursprungs und deren Durchmesser wiedergibt.

Deutsche Landkreise bzw. kreisfreie Städte weisen jedoch sehr charakteristische, im Lauf der Geschichte z.B. anhand von geographischen Details wie z.B. Flüssen, Wäldern etc. festgelegte Umriss auf. Daher ist es notwendig, um eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse der beiden Modellregionen zu gewährleisten, gleiche Umriss der beiden Modellregionen herzustellen. Andernfalls sind, z.B. bei einem sehr langgestreckten Landkreis die durchschnittlichen Fahrstrecken zur Erreichung der einzelnen Gebiete im Vergleich zu einem kompakten Umriss überdurchschnittlich lang.

Um diese Ungleichheiten zwischen den zu untersuchenden Regionen zu vermeiden, wird in beiden Fällen ein rechteckiger Umriss gewählt. Die dafür nötige Umwandlung geschieht durch eine Verschiebung der ermittelten Mittelpunktswerte der Siedlungsstrukturkreisflächen. Dabei wird insbesondere darauf geachtet, dass komplette, städtebaulich in sich geschlossene Orte oder Vororte verschoben werden, damit nach wie vor eine realistische geographische Verteilung von Vororten, Randgebieten, Ortskernen etc. gewährleistet ist. Bild 34 zeigt ein Beispiel für die Verlegung eines Ortes zur Erhaltung eines rechteckigen Grundrisses.

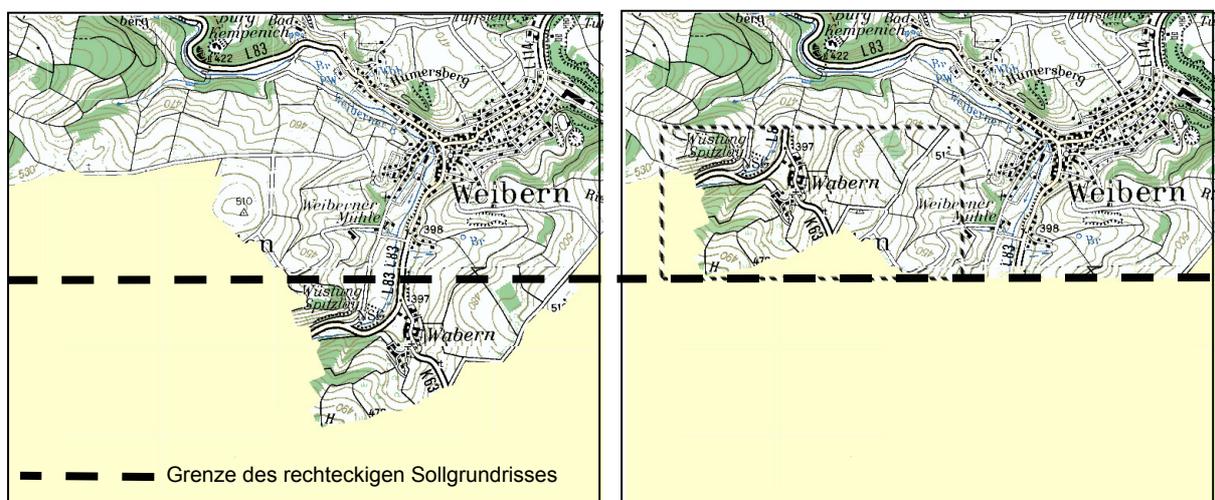


Bild 34: Beispiel für Anpassung des natürlichen Umrisses durch Verlegung von Orten

Quelle Datenmaterial: www.speedmap.de

Als Verhältnis zwischen West-Ost und Nord-Süd Ausdehnung des rechteckigen Grundrisses der erstellten Modellregionen wird der Wert 1,5 gewählt, da dieses in etwa dem Mittelwert der jeweiligen Ausdehnungen der als Datenbasis gewählten Regionen entspricht und damit die notwendigen Anpassungen so gering wie möglich gehalten werden können.

4.1.3 Spezifische Einwohnerdichte der Siedlungsstrukturen

Nach der Erfassung der Siedlungsstrukturen durch die die Flächenanteile der jeweiligen Siedlungsstruktur ermittelt werden, muss geklärt werden, wie sich die Gesamteinwohnerzahl auf die Siedlungsstrukturen verteilt. Dieses ist insbesondere wichtig, um im späteren Verlauf der Arbeit eine Zuordnung von Abfallaufkommen und Behälteranzahlen zu den Gebieten treffen zu können.

Der Unterschied zur allgemeinen Einwohnerdichte der betrachteten Modellregionen besteht darin, dass in diesem Schritt die Einwohnerdichte ausschließlich der besiedelten Gebiete ermittelt wird, d.h., dass landwirtschaftlich genutzte Flächen, Wälder oder Seen nicht mehr berücksichtigt werden. Durch diesen Schritt erfolgt eine Konzentration auf die Flächen, in denen die tatsächliche Entsorgung durchgeführt werden muss.

Wie aus dem Beispiel der Annäherung der Siedlungsstrukturen durch Kreisflächen (Bild 33) ersichtlich ist, wird nicht die gesamte Siedlungsfläche erfasst. Dieses ist gewünscht, da eine Fokussierung auf die Gebäude, an denen i.d.R. auch die Abfallbehälter stehen, sinnvoll ist. Andererseits darf für die Ermittlung der Einwohnerdichte der jeweiligen Siedlungsstrukturen nur die unverdeckte nicht gleichzeitig mit einem anderen Kreis erfasste Kreisfläche berücksichtigt werden (vgl. Bild 33), die kleiner als die tatsächliche Fläche des Kreises ist.

Ein Vergleich der Summe aller Kreisflächen mit den tatsächlichen Summen der Gebäude- und Freiflächen der ausgewählten Modellregionen ergibt, dass sich die beiden geschilderten Erfassungungenauigkeiten annähernd exakt gegenseitig ausgleichen.

Gebäude- und Freiflächen sind definiert als Flächen mit Gebäuden (Gebäudeflächen) und unbebaute Flächen (Freiflächen), die den Gebäuden dienenden Zwecken untergeordnet sind, **StaBu 2002**.

Da bezüglich der jeweiligen Einwohnerdichten der zugrundegelegten 8 Siedlungsstrukturtypen für die gewählten Modellregionen keine veröffentlichten Erhebungen vorliegen, werden sie wie im Folgenden beschrieben ermittelt.

Auf den Luftbildern und den topographischen Karten wird für jede der einzelnen Siedlungsstrukturen eine Anzahl von je 10 Stichproben vorgenommen, bei denen auf definierten Flächen (ca. 250m x 250m) an verschiedenen Orten die Anzahl der dort bestehenden Wohneinheiten und Gebäudegrößen gezählt werden. Da innerhalb gleicher Siedlungsstrukturen in derselben Modellregion keine großen Abweichungen festzustellen sind, ist die gewählte Stichprobengröße ausreichend.

Die Zählung ergibt insbesondere bei den Luftbildern zuverlässige Werte, da Häuser z.T. von der Seite zu erkennen sind bzw. die Geschosszahl durch die Schattenbildung der Häuser abschätzbar ist.

Die so ermittelte Zahl von Wohneinheiten wurde mit den in Tabelle 2 auf Basis von Angaben des Statistischen Bundesamtes, **Mikro 1998** berechneten durchschnittlichen Belegungsstärken multipliziert.

Die betreffenden Ausgangsdaten des Statistischen Bundesamtes liegen lediglich aus Erhebungen in Nordrhein-Westfalen vor und sind insofern nicht direkt auf alle Regionen in Deutschland übertragbar. Bei der Multiplikation mit der ermittelten Gesamtzahl von Wohneinheiten ergeben sie folglich einen von der Gesamteinwohnerzahl der zugrundegelegten realen Modellregionen abweichenden Wert und müssen an diese angepasst werden. Die Werte wurden deshalb unter Beibehaltung des Größenverhältnisses untereinander mit einem Korrektur-Faktor an die tatsächlichen Belegungsstärken der Modellregionen angeglichen (Faktoren: Kernstadt 1,005, Ländlicher Raum 0,930).

	Durchschnittliche Belegungsstärke von Gebäuden mit		
	1 Wohnung	2 Wohnungen	3 und mehr Wohnungen
Kernstadt, Regionstyp I, Kreistyp 1	2,68	2,36	2,01
Ländlicher Raum, Regionstyp III, Kreistyp 9	2,48	2,18	1,86

Tabelle 2: Durchschnittliche Anzahl der Bewohner/ Wohneinheit in Modellregionen

Die mit der geschilderten Vorgehensweise ermittelten spezifischen Einwohnerdichten der erfassten Siedlungsstrukturen werden im folgenden Kapitel dargestellt.

4.2 Beschreibung der zugrundegelegten Modellregionen

In diesem Abschnitt sollen die Charakteristika der für die Sensitivitätsanalyse ausgewählten Modellregionen vorgestellt werden. Hierzu gehören Angaben über die Größe der betrachteten Gebiete, die Verteilung der Siedlungsstrukturen sowie eine Beschreibung der Sammellogistik, so wie sie als Ausgangszustand für die weiteren Betrachtungen festgelegt wird.

4.2.1 Städtische Modellregion

In den folgenden Abschnitten 4.2.2.1-4.2.2.3 sollen zunächst die Charakteristika, die im direkten Zusammenhang mit den ausgewählten städtischen Modellregion stehen, dargestellt werden. Alle anderen festgelegten Daten, die in der Ausgangsberechnung der Kosten zugrundegelegt sind, werden im Anhang C zusammengefasst.

4.2.1.1 Größe und Siedlungsstruktur(en)

Wie zu Beginn des Kapitels festgelegt, weist die städtische Modellregion eine Zahl von 150.000 Einwohnern auf. Dieses bedeutet, dass sie infolge der in Kapitel 4.1.1 ermittelten, durchschnittlichen Einwohnerdichte von 1.874 Einwohner pro qkm für Kernstädte des Kreistyps 1 in betrachteter Größenordnung eine Fläche von 80,04 qkm hat. Aufgrund des gewählten Seitenverhältnisses von 1:1,5 für den Grundriss hat die Region damit eine Nord-Süd-Ausdehnung von 7,30 km und eine Ost-West-Ausdehnung von 10,96 km.

Die, wie in Kapitel 4.1.2 erläutert, ermittelte Verteilung der Siedlungsstrukturen auf das Stadtgebiet ergibt die in Bild 35 dargestellten Flächenanteile. Es ist zu erkennen, dass 37% der Besiedelungsfläche von Wohngebieten mit großen Mehrfamilienhäusern (Siedlungsstruktur C) bedeckt ist. Mit 36% weisen die Gebiete mit mehrheitlicher Bebauung durch Ein-, Zweifamilienhäuser (Siedlungsstruktur D) etwa die gleiche Fläche auf. Insgesamt 19% ist durch Gewerbeflächen bedeckt (Siedlungsstruktur G, Gewerbegebiete und Siedlungsstruktur H, Industriegebiete). Lediglich 4% der Besiedelungsfläche weisen eine aufgelockerte Bebauung mit Wohnhäusern und teilweise Bauernhöfen (Siedlungsstruktur E) auf, wie sie in städtischen Regionen auch nur in Randgebieten zu finden sind. Die Gebiete mit stark innerstädtischem Charakter, d.h. Citygebiete mit einem hohen Anteil an Einzelhandelsbetrieben, starker Verkehrshinderung und enger Bebauung (Siedlungsstrukturen A und B) belegen insgesamt 4% der Besiedelungsfläche.

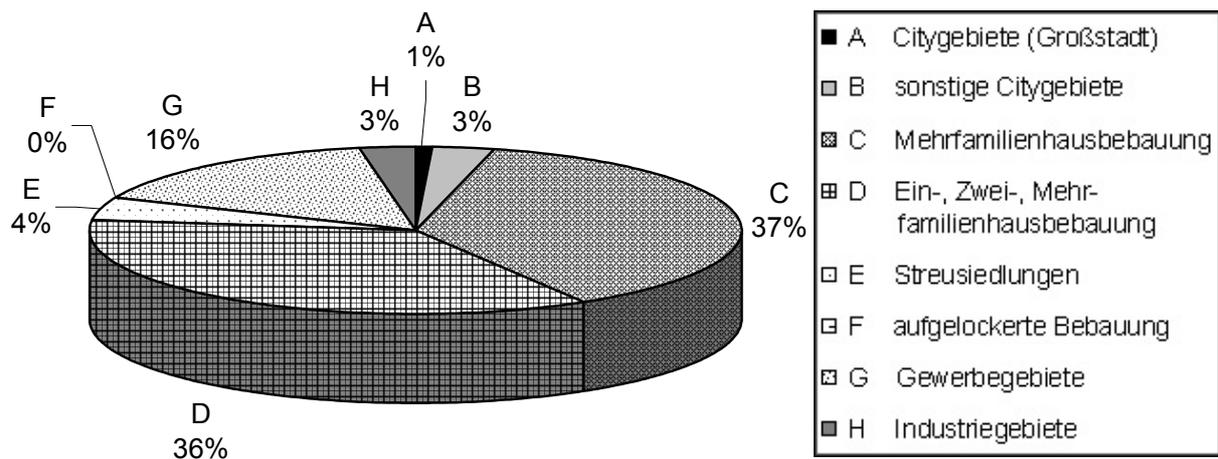


Bild 35: Flächenanteile der Siedlungsstrukturen der städtischen Modellregion

In Anhang B ist eine Übersichtskarte der Region mit ihrer geographischen Siedlungsverteilung dargestellt. Insgesamt wurden 370 bezogen auf ihre Siedlungsstruktur in sich homogene Gebiete erfasst.

Wie der Darstellung zu entnehmen ist, befindet sich der Fuhrparkstandort des Entsorgungsdienstleisters etwa in der Mitte der betrachteten Modellregion. Dieser Standort entspricht gleichzeitig dem Müllmengenschwerpunkt der Region. Hier befindet sich auch eine Müllverbrennungsanlage. Diese ideale Festlegung der im Schnitt kürzesten Fahrwege zu und aus den Revieren wird für beide Modellregionen getroffen, da willkürliche bzw. verschiedene Standorte bei den zu betrachtenden Gebieten die Vergleichbarkeit der Ergebnisse nicht mehr gewährleisten würde.

Siedlungsstruktur	Flächen	Einwohnerdichte	Einwohnerzahl
A	0,19 km ²	6.700 EW/km ²	1.240 EW
B	0,86 km ²	5.900 EW/km ²	5.050 EW
C	9,97 km ²	10.200 EW/km ²	101.740 EW
D	9,51 km ²	4.200 EW/km ²	39.940 EW
E	1,15 km ²	1.600 EW/km ²	1.842 EW
F	0,00 km ²	-	-
G	4,28 km ²	40 EW/km ²	171 EW
H	0,70 km ²	25 EW/km ²	18 EW
Summe	26,65 km ²		150.000 EW

Tabelle 3: Spezifische Einwohnerdichten und -zahlen der Siedlungsstrukturen (Stadt)

Für die spezifischen Einwohnerdichten der Siedlungsstrukturen werden die in Tabelle 3 dargestellten und, wie in Kapitel 4.1.3 beschrieben, durch Multiplikation der Belegungsstärken mit der ermittelten Anzahl von Wohneinheiten berechneten Werte zugrundegelegt. Mit 26,65 km² weist die Gebäude- und Freifläche in der Modellregion einen Anteil von 33,3% an der Gesamtfläche auf.

4.2.1.2 Abfallaufkommen

Das jährliche Restabfallaufkommen pro Kopf wird mit 0,275 t auf den in einer Untersuchung des Umweltbundesamtes für städtische Gebiete errechneten Mittelwert festgelegt, **Behrens 1998**. In der Summe sind somit bei 150.000 Einwohnern der Modellregion 41.250 t Restabfall pro Jahr zu entsorgen.

4.2.1.3 Behälterstruktur und Abfuhrhythmus

Für die Festlegung einer typischen Behälterstruktur werden, um auf eine zur Modellregion passende Datenbasis zurückzugreifen, die gleichen kreisfreien Städte untersucht, mit denen auch bereits die mittlere Einwohnerdichte ermittelt wurde. Tabelle 4 zeigt das dort satzungsgemäß zu leerende Behälterspektrum im Bereich der Restabfallsammlung.

	kreisfreie Stadt	Behältervolumina [l]											Anzahl Behältergrößen	
1	Herne			80			120	240	660		1100			5
2	Ludwigshafen			80			120	240			1100	4000	6000	6
3	Leverkusen			80			120	240	660		1100			5
4	Mülheim/Ruhr		60	80			120	240	660	770	1100			7
5	Solingen		60	80		110	120	240		770	1100			7
6	Bremerhaven		60		90		120	240		770	1100			6
7	Regensburg		60	80			120	240		770	1100			6
8	Neuss						120	240		770	1100			4
9	Oldenburg/O.		60	80			120	240		770	1100			6
10	Osnabrück	40	60	80			120	240	660		1100			7
Schnitt/ Anzahl		1	6	8	1	1	10	10	4	6	10	1	1	5,9

Tabelle 4: Erhebung der Behälterstruktur für Restabfall in städtischen Regionen

Quelle: Internetrecherche

Wie aus den Ergebnissen der Erhebung hervorgeht, werden in den untersuchten Städten im Schnitt ca. 6 verschiedene Behältergrößen eingesetzt. Die dabei am häufigsten verwendeten Behältergrößen haben ein Volumen von 60l, 80l, 120l, 240l, 770l und 1100l. Diese ermittelte Behälterkombination wird für die städtische Modellregion übernommen.

Eine Recherche der in den untersuchten Städten satzungsgemäß angebotenen Abfuhrhythmen ergibt folgende in Tabelle 5 dargestellte Ergebnisse.

	kreisfreie Stadt	Abfuhrhythmus				Anzahl verschiedener Abfuhrhythmen
		7	14	21	28	
1	Herne	✓	✓	-	-	2
2	Ludwigshafen	✓		-	-	1
3	Leverkusen	-	✓	-	-	1
4	Mülheim/Ruhr	✓	✓	-	-	2
5	Solingen	-	✓	-	-	1
6	Bremerhaven	✓	✓	-	-	2
7	Regensburg	-	✓	-	-	1
8	Neuss	✓	✓	-	-	2
9	Oldenburg/O.	-	✓	-	-	1
10	Osnabrück	✓	✓	-	-	2
Häufigkeit		6	9	0	0	

Tabelle 5: Abfuhrhythmen für Restabfall in untersuchten kreisfreien Städten

Quelle: Internetrecherche

Wie den Ergebnissen der Recherche zu entnehmen ist, bietet die Mehrzahl der Städte nur einen Abfuhrhythmus an. Die in 90% der Städte angebotene zweiwöchentliche Abfuhr wird für die Musterregion übernommen.

4.2.1.4 Berechnungsgrundlage für die städtische Modellregion

Im Folgenden sollen noch einige wesentliche Randparameter der Sammellogistik beschrieben werden.

Gebührenmodell

Die Entsorgungsgebühr wird pauschal und ausschließlich abhängig von der vom Bürger gewählten Behältergröße erhoben.

Arbeitszeitmodell und Arbeitsorganisation

Die Abfuhr erfolgt im klassischen Einschichtsystem mit einer täglichen Arbeitszeit von 7,7h (Tarif BDE-West). Die Frühstücks- und Mittagspause wird im jeweiligen Sammelrevier verbracht. Die Abfuhr erfolgt im Benutzer-Transport.

Angaben Sammelfahrzeuge und -personal

Der für die städtische Modellregion eingesetzte Fuhrpark besteht ausschließlich aus Heckladern, die mit 3-achsigen Fahrgestellen ausgestattet sind. Alle Touren sind

entsprechend der hohen Behälterdichte mit 1:2-Besetzung d.h. mit einem Fahrer und zwei Ladern besetzt.

Behälterangaben

Wie in Abschnitt 4.2.1.3 bereits festgelegt werden satzungsgemäß die Behältergrößen mit einem Volumen 60l, 80l, 120l, 240l, 770l und 1100l angeboten. Die Behälter sind als MGB's ausgeführt.

Insgesamt stehen im Entsorgungsgebiet 30.086 zwei-wöchentlich zu leerende Behälter, die Eigentum des Entsorgungsunternehmens sind. Die Verteilung der Behältergrößen untereinander und auf die Siedlungsstrukturen ist Tabelle 6 zu entnehmen.

Siedlungsstruktur	60l	80l	120l	240l	770l	1100l	Anzahl Behälter
A	19%	20%	28%	24%	2%	8%	276
B	14%	15%	20%	17%	5%	29%	702
C	17%	18%	25%	22%	4%	14%	18.810
D	19%	20%	28%	24%	2%	6%	9.533
E	18%	19%	27%	23%	3%	9%	388
F	-	-	-	-	-	-	
G	10%	10%	14%	12%	29%	25%	310
H	9%	9%	13%	11%	26%	32%	68
Anzahl Behälter	5.318	5.598	7.836	6.717	1.046	3.571	30.086
Anteil insgesamt	17,7%	18,6%	26,0%	22,3%	3,5%	11,9%	

Tabelle 6: Verteilung der verschiedenen MGB's in der städtischen Modellregion²

Sonstige Festlegungen

Die Modellregion ist ein auf realen Daten beruhendes, fiktives Gebiet. Die Hinterlegung einer realistischen Straßenkarte würde den Rahmen dieser Arbeit sprengen. Um dennoch die für die Berechnung der Sammellogistik notwendigen Entfernungen zwischen den Sammelrevieren, dem Fuhrparkstandort und der Abfallsenke berechnen zu können, wird eine mathematische Beziehung zwischen Luftlinienentfernung und Straßenentfernung zugrundegelegt.

Um hier zu möglichst realistischen Werten zu kommen, wurden 5 verschiedene Ballungsgebiete in Deutschland untersucht. Bei der Auswahl wurde darauf geachtet,

² Die festgelegte Verteilung basiert auf Erkenntnissen aus am IFT durchgeführten Aufträgen in der kommunalen Abfallsammlung sowie aus Daten vorliegender Ausschreibungen.

dass die untersuchten Gebiete eine vergleichbare Einwohnerdichte wie die der Modellregion aufweisen.

Dabei wird die mit Hilfe einer Landkarte gemessene Luftlinienentfernung der mit einem Routenplanungsprogramm (Map&Guide, PTV GmbH, Karlsruhe) berechneten Fahrtstrecke gegenübergestellt. Bild 36 zeigt die mit einer Stichprobe von 50 Messungen ermittelten Werte.

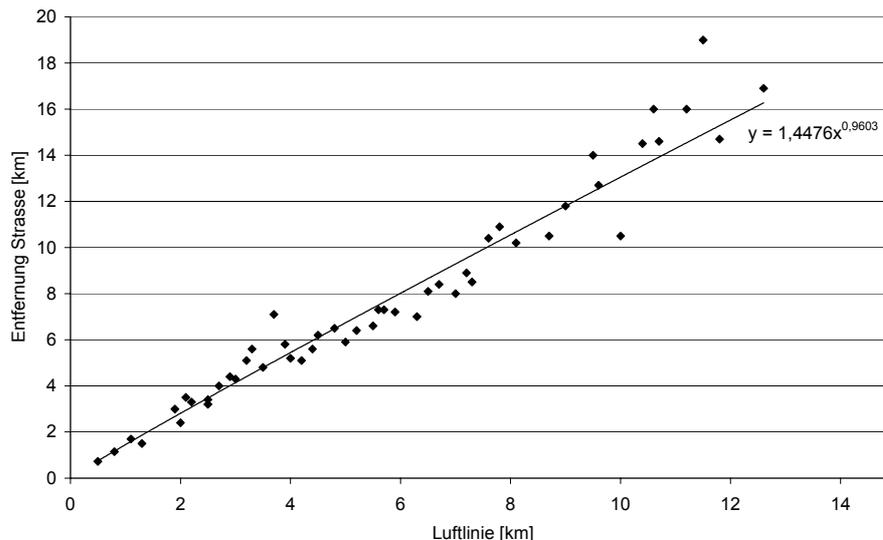


Bild 36: Ergebnisse der Messungen von Luftlinien- und Straßenentfernung (Ballungsräume)

Die in Bild 36 eingezeichnete Trendlinie mit der Potential-Funktion

$$\text{Entfernung}_{\text{Straße}} = 1,4476 \cdot \text{Entfernung}_{\text{Luft}}^{0,9603}$$

Formel 4.1

ergibt mit einer durchschnittlichen relativen Abweichung von 1,60% bei einer festgestellten, annähernden Normalverteilung der Fehler eine ausreichend gute Näherung.

Alle weiteren Werte der Ausgangsparameter für die Berechnung der Kosten für die Sammellogistik sind dem Anhang C, Ausgangswerte für die städtische Modellregion zu entnehmen.

4.2.2 Ländliche Modellregion

In diesem Abschnitt werden die Festlegungen bezüglich der Größe und Struktur der Region geschildert. Alle zugrundegelegten Einzelkosten und Leistungsdaten sind im Anhang D aufgeführt.

4.2.2.1 Größe und Siedlungsstruktur(en)

Entsprechend der berechneten durchschnittlichen Einwohnerdichte von 53 Einwohnern pro km² (Kreistyp 9, ländlicher Raum geringer Dichte) umfasst die ländliche Modellregion eine Fläche von 2830,19 km² auf der, genau wie in der städtischen Modellregion, 150.000 Einwohner leben.

Mit Hilfe des festgelegten Seitenverhältnis des rechteckigen Umrisses von 1,5 ergibt sich damit eine Nord-Süd-Ausdehnung von 43,44 km und eine Ost-West-Ausdehnung von 65,16 km.

Im Gegensatz zur im vorigen Abschnitt vorgestellten städtischen Modellregion, besitzt die ländliche Modellregion (Bild 37) einen deutlich größeren Anteil an Gebieten mit aufgelockerter Bebauung (Siedlungsstruktur E) und weit auseinanderliegenden Gebäuden (Siedlungsstruktur F). Insgesamt nehmen die Gebiete, die vornehmlich durch reine Wohnhäuser bebaut sind (Siedlungsstrukturen C, D, E, F) insgesamt 89% der Gebäude- und Freifläche ein. Der Anteil der gewerblich genutzten Fläche ist mit der Summe von 9% (Siedlungsstrukturen G und H) im Vergleich zur städtischen Modellregion relativ gering (Bild 37).

Im Anhang B ist die geographische Verteilung der Siedlungen dargestellt. Wie zu erkennen ist, ist die ländliche Region durch eine Vielzahl kleiner Siedlungsanhäufungen bzw. Dörfer geprägt. Es gibt nur wenige Gegenden mit großen Mehrfamilienhäusern (Siedlungsstruktur C), die hier grundsätzlich in der Umgebung der kleinen Städte liegen.

Durch die große Anzahl kleiner und kleinster Siedlungen (z.B. landwirtschaftliche Betriebe) ist die Anzahl von 1063 erfassten, siedlungsstrukturspezifisch homogenen Gebiete ca. 3-mal größer als in der städtischen Modellregion.

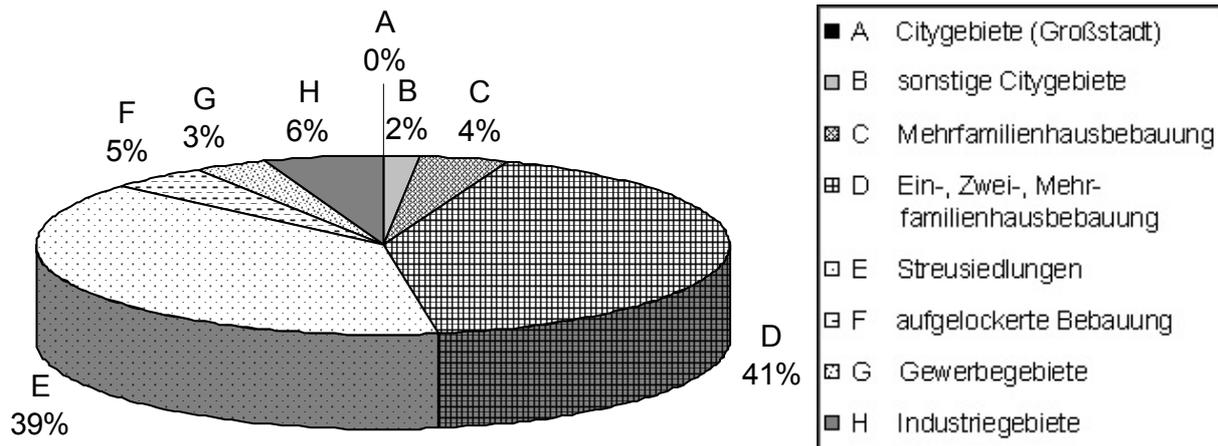


Bild 37: Flächenanteile der Siedlungsstrukturen der ländlichen Modellregion

Im Gegensatz zur städtischen Modellregion weist dieses Gebiet insgesamt zwei Standorte des Entsorgungsdienstleisters auf. Dieses entspricht den Gegebenheiten der Praxis, in der Gebiete dieser Größe aus wirtschaftlichen Gründen i.d.R. ebenfalls von mehr als einem Standort aus entsorgt werden. Der Unterschied der Gesamtkosten gegenüber nur einem Standort konnte in einer Gegenrechnung mit rund 10% berechnet werden.

Aus Gründen der Vergleichbarkeit sind die Standorte, die Müllverbrennungsanlage und die 4 separaten (zusätzlich bieten die beiden Standorte die Möglichkeit zur Zwischenlagerung von Wechselcontainern) Wechselplätze wie auch bei der städtischen Modellregion geographisch ideal verteilt.

Vorab sei an dieser Stelle angemerkt, dass aus dieser Verteilung ein mittlerer Anfahrtsweg vom Sammelrevier zum Umschlagplatz von 9,8 km resultiert. Diese Fahrstrecke bewegt sich damit im Bereich der mittleren Entfernung in der Praxis. Sie ist nach **VKS 2000** mit 8 km angegeben.

Für die jeweiligen Einwohnerdichten der Siedlungsstrukturen werden die in Tabelle 7 dargestellten und wie in Kapitel 4.1.3 beschrieben ermittelten Werte zugrundegelegt. Die Gebäude- und Freiflächen in der ländlichen Modellregion weisen insgesamt einen Anteil von 5,5% an der Gesamtfläche auf.

Siedlungsstruktur	Flächen	Einwohnerdichte	Einwohnerzahl
A	0,00 km ²	-	-
B	2,69 km ²	2.200 EW/km ²	5.918 EW
C	6,31 km ²	4.500 EW/km ²	28.395 EW
D	65,93 km ²	1.500 EW/km ²	98.895 EW
E	61,02 km ²	250 EW/km ²	15.255 EW
F	7,40 km ²	150 EW/km ²	1.110 EW
G	5,12 km ²	40 EW/km ²	205 EW
H	8,91 km ²	25 EW/km ²	223 EW
Summe	157,37 km ²		150.000 EW

Tabelle 7: Spezifische Einwohnerdichten und -zahlen der Siedlungsstrukturen (Land)

4.2.2.2 Abfallaufkommen

Es wird ein jährliches Pro-Kopf-Restabfallaufkommen von 190 kg festgelegt. Dieses entspricht dem Mittelwert des in **Behrens 1998** ermittelten Restabfallaufkommens für ländliche Gebiete. Dieser Wert entspricht gleichzeitig annähernd dem aus einzelnen Daten (soweit verfügbar) errechneten Mittelwert aus den, der ländlichen Modellregion zugrundegelegten realen Landkreisen.

4.2.2.3 Behälterstruktur und Abfuhrhythmus

Entsprechend der Vorgehensweise bei der städtischen Modellregion wird die typische Behälterstruktur auf Basis der zugrundegelegten realen Landkreise ermittelt. Wie aus Tabelle 8 ersichtlich ist, werden im Schnitt 4 verschiedene Behältergrößen angeboten. Für die ländliche Modellregion werden die 4 häufigsten Behältergrößen 80l, 120l, 240l und 1100l berücksichtigt.

	Landkreis	Behältervolumina [l]						Anzahl Behältergrößen
1	Parchim			80	120	240	1100	4
2	Uckermark	60	80	120	240	1100		5
3	Märkisch-Oderland			120	240	1100		3
4	Demmin		80	120	240	1100		4
5	Ludwigslust			120	240	1100		3
6	Nordvorpommern		80	120	240	1100		4
7	Güstrow	40	80	120	240	1100		5
8	Nordwestmecklenburg	60		120		1100		3
9	Bitburg-Prüm		80	120	240	1100		4
10	Stendal	60	80	120	240	1100		5
Anzahl/ Schnitt		1	3	7	10	9	10	4,0

Tabelle 8: Erhebung der Behälterstruktur für Restabfall in ländlichen Regionen

Quelle: Internetrecherche

Die Recherche der in den untersuchten Landkreisen angebotenen Abfuhrhythmen ergab, dass in der Mehrzahl der Fälle ausschließlich eine 14-tägige Abholung stattfindet (Tabelle 9). Dieses wird für die ländliche Modellregion übernommen.

	kreisfreie Stadt	Abfuhrhythmus				Anzahl verschiedener Abfuhrhythmen
		7	14	21	28	
		-täglich				
1	Parchim	-	✓	-	-	1
2	Uckermark	-	✓	-	-	1
3	Märkisch-Oderland	-	✓	-	-	1
4	Demmin	-	✓	-	✓	2
5	Ludwigslust	✓	-	-	-	1
6	Nordvorpommern	✓	✓	-	✓	3
7	Güstrow	-	✓	-	✓	2
8	Nordwestmecklenburg	-	✓	-	-	1
9	Bitburg-Prüm	-	✓	-	-	1
10	Stendal	✓	-	✓	-	2
Häufigkeit		3	8	1	3	

Tabelle 9: Abfuhrhythmen für Restabfall in untersuchten Landkreisen

Quelle: Internetrecherche

4.2.2.4 Berechnungsgrundlage für die ländliche Modellregion

Im Folgenden sollen noch einige Randparameter der Sammellogistik beschrieben werden.

Gebührenmodell

Die Entsorgungsgebühr wird pauschal und ausschließlich abhängig von der vom Bürger gewählten Behältergröße erhoben.

Arbeitszeitmodell und Arbeitsorganisation

Die Abfuhr erfolgt wie in der städtischen Modellregion im klassischen Einschichtsystem mit einer täglichen Arbeitszeit von 7,7h (Tarif BDE-West). Die Frühstück- und Mittagspause wird im jeweiligen Sammelrevier verbracht. Die Sammlung erfolgt im Benutzer-Transport.

Angaben Sammelfahrzeuge und -personal

Der für die ländliche Modellregion eingesetzte Fuhrpark besteht sowohl aus Seiten- als auch aus Heckladern, die mit 3-achsigen Fahrgestellen und Wechselbehältertechnik ausgestattet sind. Alle Heckladertouren sind mit 1:1-Besetzung, d.h. mit einem Fahrer und einem Lader besetzt. Alle Seitenlader-Touren werden im 1-Mann-Betrieb durchgeführt.

Die einzelnen ermittelten Gebiete (vgl. Anhang B) werden entsprechend ihrer Eignung für die beiden eingesetzten Fahrzeugtypen wie folgt aufgeteilt und abgefahren:

- Seitenlader: Siedlungsstrukturen D, E, F
- Hecklader: Siedlungsstrukturen B, C, G, H

Für den Sekundärtransport der Wechselbehälter zur Entsorgungsanlage werden Abrollkipper mit Anhängern eingesetzt, die über eine Transportkapazität von insgesamt zwei Sammelcontainern verfügen.

Behälterangaben

Insgesamt stehen im Entsorgungsgebiet 36.508 zwei-wöchentlich zu leerende Behälter, die im Besitz des Entsorgungsunternehmens sind. Die Verteilung der Behältergrößen untereinander und auf die Siedlungsstrukturen ist Tabelle 10 zu entnehmen.

Siedlungsstruktur	80l	120l	240l	1100l	Anzahl Behälter
A	-	-	-	-	-
B	44%	22%	7%	27%	1.524
C	55%	22%	9%	14%	7.216
D	61%	27%	10%	3%	23.652
E	58%	25%	10%	7%	3.737
F	58%	25%	9%	8%	278
G	48%	15%	10%	27%	47
H	45%	15%	11%	29%	54
Anzahl Behälter	14.676	16.465	2.848	2.519	36.508
Anteil insgesamt	40,2%	45,1%	7,8%	6,9%	

Tabelle 10: Verteilung der verschiedenen MGB's in der ländlichen Modellregion³

Sonstige Festlegungen

Wie bereits für die städtische Modellregion erläutert, werden die Entfernungen für Verbindungsstrecken mittels einer Ausgleichsfunktion zwischen Luftlinienentfernung und tatsächlicher Straßenentfernung berechnet. Die auf Basis von 50 Einzelmessungen ermittelte Potentialfunktion

$$\text{Entfernung}_{\text{Straße}} = 1,4502 \cdot \text{Entfernung}_{\text{Luft}}^{0,9542}$$

Formel 4.2

ist in Bild 38 dargestellt.

³ Die festgelegte Verteilung basiert auf Erkenntnissen aus am IFT durchgeführten Aufträgen in der kommunalen Abfallsammlung sowie aus Daten vorliegender Ausschreibungen.

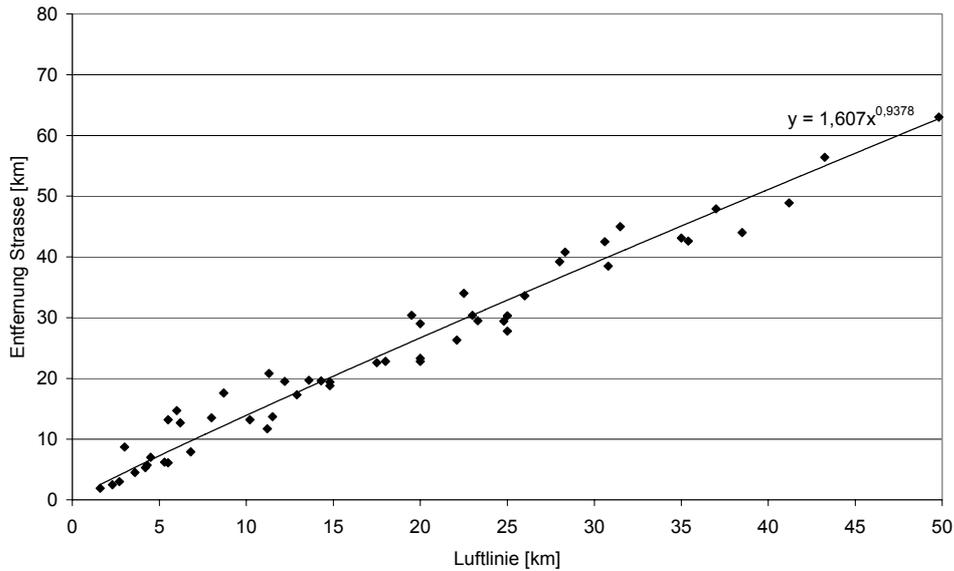


Bild 38: Gegenüberstellung von Luftlinien- und Straßenentfernungen
(Ballungsräume)

Die durchschnittliche relative Abweichung weist einen Wert von 3,05 % auf. Die Abweichung dieser Näherung ist damit knapp doppelt so hoch wie bei der städtischen Modellregion (1,60%). Grund hierfür ist eine geringfügig weitere Abweichung der Fehler der Näherungslösungen von der idealen Normalverteilung.

Alle weiteren Werte der Ausgangsparameter für die Berechnung der Kosten für die Sammellogistik werden im Anhang D, Ausgangswerte für die ländliche Modellregion dargestellt.

4.3 Kosten der Sammellogistik in der Ausgangssituation

Basierend auf den im Anhang C - Ausgangsdaten für die städtische Modellregion bzw. Anhang D - Ausgangsdaten für die ländliche Modellregion angegebenen Kosten- und Leistungsdaten wurden die Gesamtkosten für die Sammellogistik mit Hilfe von SOKRATES ermittelt. Die folgenden Berechnungen wurde anhand der in Kapitel 3.2.4 beschriebenen Option "Automatische Optimierung" durchgeführt.

4.3.1 Städtische Modellregion

Ein kompletter Berechnungsdurchlauf für die städtische Modellregion nimmt ca. 20 Min. in Anspruch (Computer: Pentium 4, Taktfrequenz 1,8 Ghz, 256 MB Arbeitsspeicher), wobei im Laufe der Optimierung insgesamt ca. 20 Iterationsschritte zur Optimierung der Gebietseinteilung durchgeführt werden. Zur Erreichung der im Tarif BDE (West) festgelegten Sollarbeitszeit von 7,7 Stunden pro Tag mussten 3 Berechnungsdurchläufe unternommen werden, in denen die Stellgröße "Zielarbeitszeit" (vgl. Kapitel 3.2.4) der Software SOKRATES jeweils iterativ angepasst wurde. Im Folgenden werden die Ergebnisse dieser Berechnungen dargestellt.

Insgesamt wird das Gebiet durch 34 Einsatztage der Fahrzeuge entsorgt. Die Fahrzeugeinsätze wurden dabei so geplant, dass an 6 Tagen des zweiwöchentlichen Sammelrhythmus 3 Fahrzeuge (also in Summe 3 Fahrer und 6 Lader) und an 4 Tagen insgesamt jeweils 4 Fahrzeuge (also in Summe 4 Fahrer und 8 Lader) eingesetzt werden. Die mittlere tägliche Gesamtarbeitszeit beträgt genau 7,70 Stunden und entspricht somit exakt der tariflichen Vorgabe.

Die Gesamtfahrstrecke der Sammelfahrzeuge innerhalb eines Leerungsrhythmus beträgt 1436 km. Dieses entspricht einer Tageskilometerleistung von 42,2 km. Dieser verhältnismäßig geringe Wert liegt nach **VKS 2000** in einem praxisgerechten Rahmen. Hier bewegen sich die Angaben in einer Erhebung unter 150 Gebietskörperschaften/ Entsorgungsbetrieben aller Regionstypen in einem Bereich zwischen 30 km/ Tag und 180 km/ Tag. Aufgrund der hohen Einwohnerdichte und der zentralen Lage von Fuhrparkstandort sowie Abfallsenke in der städtischen Modellregion liegt die Tageskilometerleistung zwangsläufig im unteren Bereich der erhobenen Werte. Als weiterer Grund für die niedrige Tageskilometerleistung kann die durch SOKRATES durchgeführte optimierte EDV-gestützte Tourenplanung angegeben werden. Der Erhebung in **VKS 2000** ist nicht zu entnehmen welcher Anteil der befragten Unternehmen ihre Tourenplanung EDV-gestützt durchführt. Es ist jedoch davon auszugehen, dass sie mehrheitlich manuell erstellt wird. **Bilitewski 2000** gibt im Zusammenhang mit dem Einsatz EDV-gestützter Tourenplanungen Einsparungen in Fahrstrecke und Zeit von 15-20% an. Die durchschnittliche tägliche Fahrleistung wird in o.g. Erhebung mit 85 km/ Tag angegeben.

Folgende Kosten wurden ermittelt bzw. für die nachfolgenden Untersuchungen zugrunde gelegt:

Personal:

Kosten Sammelpersonal	367.622,91 €/a
-----------------------	----------------

Fahrzeuge:

Fixkosten Sammelfahrzeuge	90.427,60 €/a
---------------------------	---------------

Variable Kosten Sammelfahrzeuge	57.874,77 €/a
---------------------------------	---------------

Behälter:

Kosten Behältertausch, -wartung, -instandhaltung	47.702,38 €/a
--	---------------

Kapitalkosten Behälter	257.887,74 €/a
------------------------	----------------

Mieterlöse Behälter	-257.887,74 €/a
---------------------	-----------------

Verwaltung:

Anteilige Kosten Standort	30.000 €/a
---------------------------	------------

Personalkosten Disposition	13.600 €/a
----------------------------	------------

Summe	607.227,66 €/a
-------	----------------

Wie der Aufstellung zu entnehmen ist, wurde die Annahme getroffen, dass die Mieterlöse der Behälter in der Ausgangssituation genau deren Kapitalkosten abdecken. Die Auswirkungen höherer oder geringerer Erlöse werden in der folgenden Sensitivitätsanalyse dargestellt.

Sowohl für die Verwaltungskosten (vgl. Kapitel 2.1.5) als auch für die Betrachtung der Fixkosten wurde im Sinne einer transparenten Kostendarstellung davon ausgegangen, dass das fiktive Entsorgungsunternehmen weitere Dienstleistungen im betreffenden Gebiet durchführt. Die Verwaltungskosten wurden daher anteilig für die Sammlung der Fraktion Restabfall angesetzt (vgl. Anhang C). In diesem Zusammenhang wird somit auch davon ausgegangen, dass der Fuhrpark gleichmäßig genutzt wird und hier durch tageweise nicht genutzte Fahrzeuge keine zusätzlichen Fixkosten zu berücksichtigen sind.

Die Division der Gesamtkosten pro Jahr durch die Anzahl der Behälterleerungen ergibt einen Preis pro Behälterleerung von 0,638 €. Unter Berücksichtigung einer Bereitstellungquote von 98% ergibt sich für alle angemeldeten Behälter ein Preis pro Behälterleerung von 0,625 €.

4.3.2 Ländliche Modellregion

Die Berechnung der Kosten für die Sammellogistik wurden wie bei der städtischen Modellregion ebenfalls mit Hilfe der Option "Automatische Optimierung" von SOKRATES durchgeführt. Aufgrund der etwa 3-fachen Anzahl der hinterlegten Einzelgebiete und der Tatsache, dass die Entsorgung von zwei verschiedenen Fuhrparkstandorten durchgeführt wird, nimmt ein Berechnungsdurchlauf hier mit ca. 45 Min. deutlich mehr Rechenzeit in Anspruch als bei der städtischen Modellregion (20 Min.). In dieser Zeit werden von SOKRATES ca. 30 Iterationsschritte zur Optimierung der Gebietseinteilung unternommen. Nach Ende des ersten Berechnungsdurchlaufes wurde die durchschnittliche tägliche Arbeitszeit mit 7,5h ausgegeben. Zur annähernden Erreichung des Sollwertes von 7,7h nach Tarif BDE (West) musste ein zweiter Berechnungsdurchlauf vollzogen werden. Im Folgenden werden die Ergebnisse dieser Berechnung dargestellt.

Für die Leerung der Restabfall-Behälter im zweiwöchentlichen Rhythmus sind insgesamt 66 Fahrzeugeinsatztage notwendig. Hiervon werden 19 Einsätze mit Heckladern und 47 Einsätze mit Seitenladern gefahren. Das täglich einzusetzende Personal wurde vom Berechnungsprogramm SOKRATES mit 6 Fahrern an 4 Tagen und 7 Fahrern an 6 Tagen bzw. 2 Ladern an 9 Tagen und einem Lader an 1 Tag ermittelt. Die berechnete mittlere tägliche Arbeitszeit liegt mit 7,65h annähernd exakt (Abweichung täglich 3 Min.) in Höhe der tariflichen Vorgabe.

Zu diesen Einsätzen der Sammelfahrzeuge sind noch insgesamt 19 Einsatztage für die Abrollkipper, die den Transport der Wechselbehälter von den Umschlagplätzen zur MVA bewältigen, hinzuzurechnen. Die Transportfahrzeuge weisen dabei bezogen auf die Sollarbeitszeit (nach Tarif 7,7h) eine relativ geringe Auslastung von ca. 71% auf. Analog zu den Verwaltungskosten, die in dieser Arbeit genauso anteilig bezogen auf die Dienstleistung der Restabfall-Sammlung berücksichtigt werden (vgl. Kapitel 2.1.5), werden für die Ermittlung der Gesamtkosten auch hier nur die tatsächlich für den Transport von Restabfall-Wechselbehältern entstehenden Kosten berücksichtigt. Hintergrund dieser Vorgehensweise ist die Festlegung, dass die Restabfall-Sammlung nur einen Teil der vom Entsorgungsunternehmen durchgeführten Dienstleistungen bestreitet und die restlichen 29% der Arbeitszeit somit für Transporte anderer Fraktionen in Anspruch genommen werden können.

Der im Vergleich zur städtischen Region deutlich höhere Aufwand für die Sammlung ist im wesentlichen durch die geringere Sammelleistung (vgl. Anhang D) und die längeren Fahrtstrecken begründet. Letztere wurden mit durchschnittlich 101,5 km für die Hecklader und 115,7 km für die Seitenlader pro Einsatztag ermittelt. Die Transportfahrzeuge legen täglich 175,8 km zurück. Im Vergleich zur Umfrage nach **VKS 2000** liegen die täglichen Fahrtstrecken damit deutlich über dem dort ermittelten Mittelwert von 85 km/Tag. Die alternativen Werte ohne den hier stattfindenden Einsatz von Wechselsystemen sind, wie eine durchgeführte Vergleichsrechnung zeigte noch um ca. 40% höher anzusetzen.

Wie auch bei den Berechnungen für die städtische Modellregion führt die von der Software SOKRATES durchgeführte EDV-gestützte Tourenplanung zu optimierten und damit kurzen Sammeltouren.

Die einzelnen Positionen aus denen sich die Gesamtkosten zusammensetzen sind im Folgenden dargestellt.

Personal:

Kosten Sammelpersonal (inkl. Transport)	373.666,13 €/a
---	----------------

Fahrzeuge:

Fixkosten Sammel- und Transportfahrzeuge	236.139,14 €/a
--	----------------

Variable Kosten Sammel- und Transportfahrzeuge	312.050,28 €/a
--	----------------

Behälter:

Kosten Behältertausch, -wartung, -instandhaltung	23.964,40 €/a
--	---------------

Kapitalkosten Behälter	190.321,65 €/a
------------------------	----------------

Mieterlöse Behälter	-190.321,65 €/a
---------------------	-----------------

Verwaltung:

Anteilige Kosten Standort	40.000 €/a
---------------------------	------------

Anteilige Kosten Wechselplätze	8.000 €/a
--------------------------------	-----------

Personalkosten Disposition	34.000 €/a
----------------------------	------------

Summe	1.027.819,96 €/a
-------	------------------

Der Preis pro tatsächlich durchgeführter Behälterumleerung lässt sich mit 1,104 Euro angeben. Unter Berücksichtigung der Bereitstellquote von 98% ergibt sich ein Preis von 1,082 € pro angemeldetem und mit Abfall-Gebühren belastetem Behälter.

In den folgenden Abschnitten wird dargestellt, wie sich die Variation der in Kapitel 2.1.6 zusammengefassten Einflussparameter auf die Gesamtkosten auswirkt. Es soll in diesem Zusammenhang nur auf die wichtigen Parameter eingegangen werden d.h. solche, die entweder einen verhältnismäßig großen Einfluss aufweisen oder starke Abhängigkeiten von der Struktur des Entsorgungsgebietes aufweisen. Alle weiteren Ergebnisse sind dem Anhang E zu entnehmen.

4.4 Vorgehensweise für die Berechnung der Sensitivitäten

Für die Sensitivitätsanalyse oder auch One-by-One-Factor-Methode wird in **VDI 3633** definiert, dass jeweils nur eine Einflussgröße verändert wird, während alle anderen konstant bleiben. Dieses führt zu einer Abgrenzung der Einflussgrößen untereinander, so dass der Einfluss der Kombination von Einflussgrößen untereinander unberücksichtigt bleibt.

Betrachtet man Variationen der Parameter in bestehenden Gebieten, kann eine gegenseitige Beeinflussung der Parameter streng genommen nicht unberücksichtigt bleiben. Konkret bedeutet dieses, dass z.B. in einem Gebiet mit bekannten Leistungsdaten eine Erhöhung der Behälterdichte gleichzeitig auch eine Erhöhung der Sammelleistung ermöglicht.

Ziel der Analyse ist jedoch die Untersuchung der Situation bei der Kostenberechnung in unbekanntem Gebieten im Rahmen einer Angebotserstellung für eine Ausschreibung. Hier kann eine getrennte Betrachtung erfolgen, da es keinen allgemeingültigen, mit fixen Werten bezifferten Zusammenhang zwischen einzelnen Parametern gibt. Diese Zusammenhänge sind sehr individuell abhängig von Gebietscharakteristika. Im oben genannten Beispiel bedeutet dieses, dass ein bestimmter Wert allein für die Behälterdichte keine exakte Bestimmung der Sammelleistung möglich macht, da sie von weiteren quantitativen und qualitativen Randbedingungen wie z.B. den Behältergrößen oder der Zugänglichkeit der Behälterstandplätze abhängig ist.

Als Grundlage für die in den folgenden Abschnitten durchgeführte Analyse wird der Variationsbereich zur Erhaltung vergleichbarer Ergebnisse über alle Eingangsparameter gleichermaßen von -10% bis +10% festgelegt. Dieser Bereich wurde festgelegt, da sich im Verlaufe der Untersuchungen anhand stichprobenartiger Überprüfun-

gen in größeren Variationsbereichen herausstellte, dass der Verlauf der Sensitivitäten anhand dieses Ausschnittes vollständig beurteilt werden kann. Dieses bedeutet, dass sich der Verlauf außerhalb des Untersuchungsbereiches genauso fortsetzt wie im gewählten Ausschnitt dargestellt.

Im Folgenden werden die Ergebnisse dieser Untersuchungen dargestellt, die mit Hilfe von SOKRATES unter gleichzeitiger schrittweiser Variation der einzelnen Parameter isoliert voneinander ermittelt wurden.

Bei der Ermittlung der Sensitivitäten kann zwischen Parametern unterschieden werden, deren Variation im untersuchten Bereich

- die Sammellogistik nicht beeinflusst, wie z.B. Angaben zu Investitionskosten. Diese Parameter werden in Schritten von 1% variiert.
- die Sammellogistik beeinflusst und so in jedem einzelnen Schritt eine komplette neue Tourenplanung erfordert, im wesentlichen sind dieses die in Kap. 4.9 untersuchten "Randbedingungen und Leistungsdaten der Sammlung". Diese Parameter werden aufgrund des hohen Rechenaufwandes in Schrittweiten à 2% variiert. Wie die Ergebnisse zeigen, ist diese Detaillierung zur Beurteilung der Sensitivitäten ausreichend.

Die erstgenannten Variationen könnten aufgrund ihres im Untersuchungsbereich nicht vorhandenen Einflusses auf die Tourenplanung somit auch ohne die Zuhilfenahme der Software SOKRATES untersucht werden. Aber erst mit dieser neuartigen Berechnungssoftware kann erstmalig eine umfassende und gleichzeitige Analyse aller, also auch der bisher nicht unter Beachtung der realen Zusammenhänge mit der Tourenplanung untersuchten, Parameter für die strukturell sehr unterschiedlichen Gebiete durchgeführt werden.

4.5 Sammelpersonal

In diesem Abschnitt werden die Eingangsparameter variiert, die die Randbedingungen des Personaleinsatzes charakterisieren.

Bild 39 zeigt die Auswirkungen höherer bzw. niedriger Lohn- und Zusatzkosten der Fahrer und Lader sowie einer Änderung der täglichen Arbeitszeit auf die Gesamtkosten.

Die tatsächliche mittlere Arbeitszeit ist abhängig von den in der Tourenplanung ermittelten einzelnen Tagesarbeitszeiten der Touren. Je nach Arbeitszeitvorgabe ergeben sich individuell unterschiedliche Sammeltouren. Aus diesem Grund lässt sich die resultierende effektive Arbeitszeit daher auch in der Praxis nicht auf konkrete Werte festlegen. Bild 39 zeigt die Ergebnisse einer schrittweisen Variation der Arbeitszeitvorgabe im Bereich von 90% bis 110% um jeweils 2%.

Wie der Darstellung zu entnehmen ist, steigen bzw. fallen die Gesamtkosten linear mit der Erhöhung bzw. Senkung der Lohn- und Zusatzkosten. Hierbei ist deutlich zu erkennen, dass in der städtischen Modellregion eine höhere Sensitivität vorliegt. Der Grund hierfür ist der relativ gesehen höhere Personaleinsatz aufgrund der 1:2-Besatzung (also insgesamt 3 Mitarbeiter pro Fahrzeug) der dort eingesetzten Hecklader. In der ländlichen Modellregion sind die Fahrzeuge nicht zuletzt aufgrund des umfassenden Seitenlader-Einsatzes mit durchschnittlich nur 1,29 Mitarbeitern besetzt.

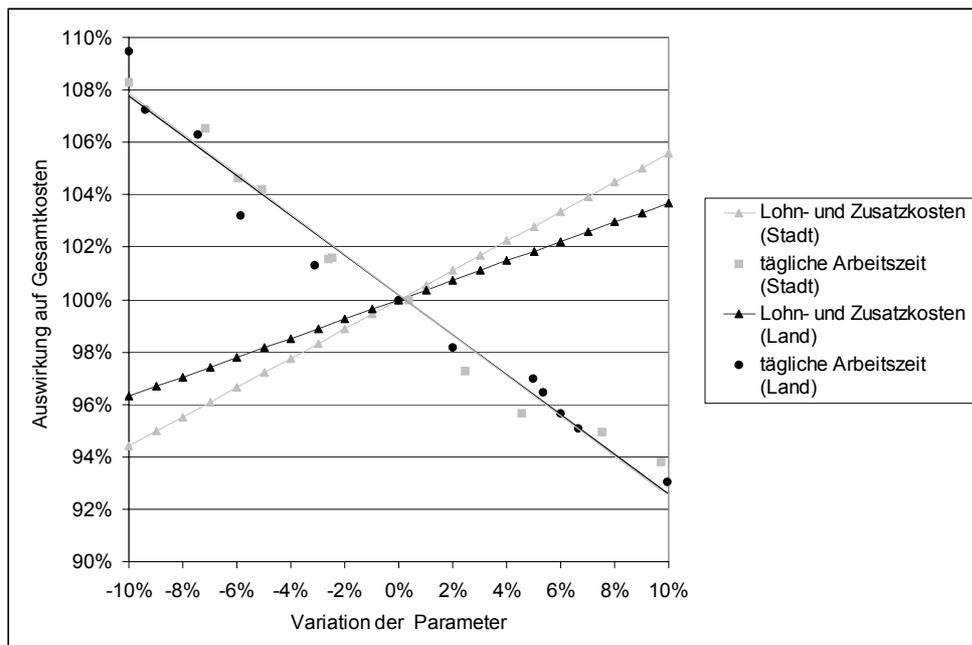


Bild 39: Variation der Lohn- und Zusatzkosten sowie der Arbeitszeit

Die mit steigender täglicher Einsatzzeit sinkenden Gesamtkosten resultieren aus der Minderung der notwendigen Fahrzeugeinsätze und dem sich damit verkleinernden Fuhrpark. Die Zahl der Fahrzeugeinsatztage sinkt in der städtischen Region bei 10% längerer Arbeitszeit von 37 auf 31 bzw. steigt bei 10% verkürzter Arbeitszeit auf 43. In der ländlichen Modellregion bewegen sich die notwendigen Fahrzeugeinsatztage im Bereich von 61 bis 71.

In Bild 40 ist die Abhängigkeit der Gesamtkosten von der vorzuhaltenden Personalreserve (infolge Urlaub, Krankheit etc.) abgebildet. Die jeweils dargestellte Sensitivität wird durch das Verhältnis der eingesetzten Fahrer zu den Ladern beeinflusst. In der ländlichen Region werden täglich im Schnitt 8,5 Fahrer bei lediglich 1,9 Ladern eingesetzt. Die Auswirkungen einer Veränderung der Fahrerreserve ist damit deutlich höher als die der Laderreserve. In der städtischen Modellregion ist das Verhältnis aufgrund der dort typischen Hecklader mit 1:2-Besetzung genau umgekehrt.

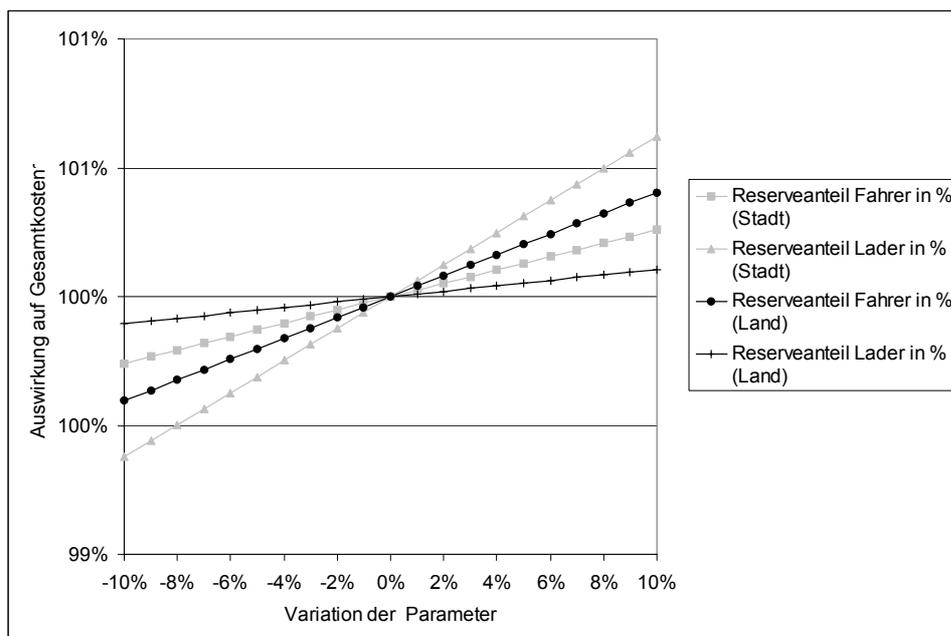


Bild 40: Variation der Personalreserve

4.6 Fahrzeugdaten, -kosten

Im Folgenden wird dargestellt inwieweit die zugrundegelegten Fahrzeugdaten und -kosten die Gesamtkosten beeinflussen.

4.6.1 Fixkosten

Strukturbedingt kommen in der ländlichen Modellregion andere Sammelfahrzeugsysteme und andere Besatzungsstärken der Fahrzeuge zum Einsatz. In der städtischen Modellregion wird die Sammlung mit vergleichsweise günstigen Heckladern mit Festaufbau, dafür aber relativ hohem Personaleinsatz (1:2 Besetzung) durchgeführt. In der ländlichen Modellregion kommen teurere Wechselsysteme zum Einsatz. Diese sind mehrheitlich Seitenlader in 1:0 Besetzung, eine geringere Anzahl Hecklader mit nur einem Lader und nur mit Fahrern besetzte Transportfahrzeuge.

Diese Unterschiede bedingen, dass - bei etwa gleichen Anteilen für Verwaltungs- und Behälterkosten - in der ländlichen Modellregion die fixen Fahrzeugkosten einen deutlich höheren Anteil an den Gesamtkosten (ca. 22,5%) aufweisen als in der städtischen Modellregion (14,9%).

Demzufolge weisen die Eingangsparameter

- Investitionskosten Fuhrpark (Bild 41),
- Verkaufserlöse des Fuhrparks nach Nutzungsdauer (Bild 41),
- Anteil der Reservefahrzeuge (Bild 41),
- Abschreibungsdauer der Fahrzeuge (Bild 42),
- Kalkulatorischer Zinssatz für die Abschreibung der Fahrzeuge (Bild 42),
- Fahrzeugversicherungskosten (vgl. Anhang E) und
- Fahrzeugsteuer (vgl. Anhang E)

in der ländlichen Modellregion jeweils größere Sensitivitäten hinsichtlich der jeweiligen Gesamtkosten auf als in der städtischen Modellregion.

Zunächst soll dieses anhand des Parameters der Investitionskosten dargestellt werden, dessen Einfluss in der ländlichen Region (2,06% bei 10% Variation) etwa 1,5-fach höher ist als in der städtischen Modellregion (1,35% bei 10% Variation), vgl. Bild 41.

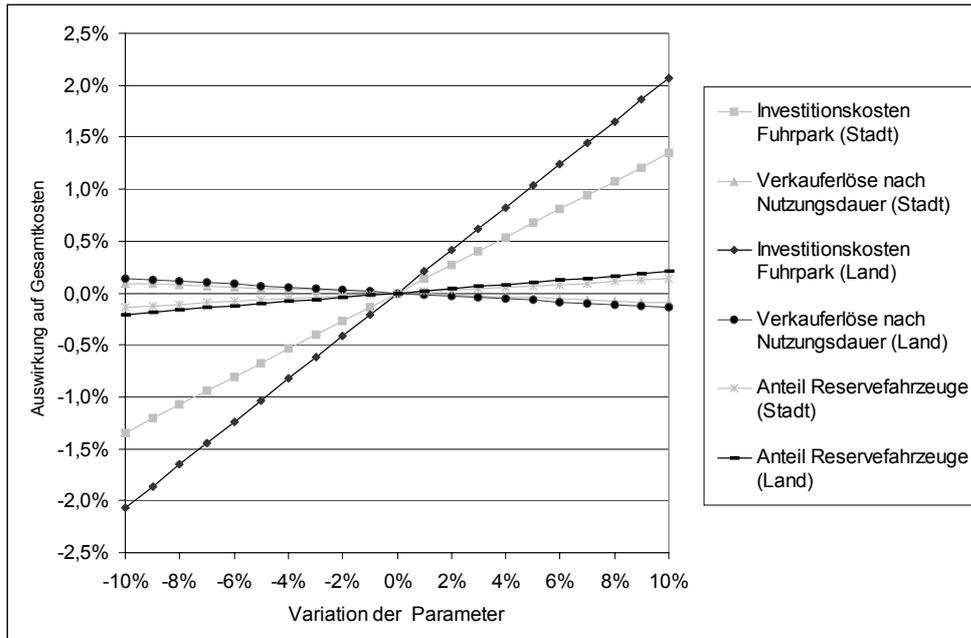


Bild 41: Variation von Fuhrparkinvestitionskosten, Verkaufserlösen und Anteil von Reservefahrzeugen

Höhere zu erzielende Verkaufserlöse der Fahrzeuge nach Ende der Abschreibungsdauer senken den Abschreibungsbetrag und damit die Gesamtkosten. Der Einfluss ist allerdings verhältnismäßig gering. Eine Abweichung um 10% hat eine Änderung von 0,14% (Land) bzw. 0,1% (Stadt) der Gesamtkosten zur Folge.

Der Anteil vorzuhaltender Reservefahrzeuge hat im Rahmen der untersuchten Abweichungen einen maximalen Einfluss von 1,35% (Stadt) bzw. 2,04% (Land) auf die Gesamtkosten.

Bild 42 zeigt die Sensitivitäten der Abschreibungsdauer der Fahrzeuge sowie des für die Abschreibung angesetzten kalkulatorischen Zinssatzes. Da die Abschreibungsdauer in die Berechnung der Abschreibungskosten als Quotient eingeht, zeigt die Funktion der Kosten in Abhängigkeit der Abschreibungsdauer einen hyperbelförmigen Verlauf (dieses ist in Bild 42 am Beispiel der Funktion Abschreibungsdauer Fuhrpark (Land) mit Hilfe einer gestrichelten geraden Linie dargestellt).

Die Abschreibungsdauer bewirkt im Variationsbereich eine maximale Änderung zwischen +1,7% bis -1,4% (Land) bzw. +1,1% bis -0,9% (Stadt) der Gesamtkosten zur Folge.

Der linear über seinen Variationsbereich verlaufende Einfluss des angesetzten kalkulatorischen Zinssatzes bewirkt eine maximale Erhöhung bzw. Senkung der Gesamtkosten um 0,37% (Land) bzw. 0,25% (Stadt).

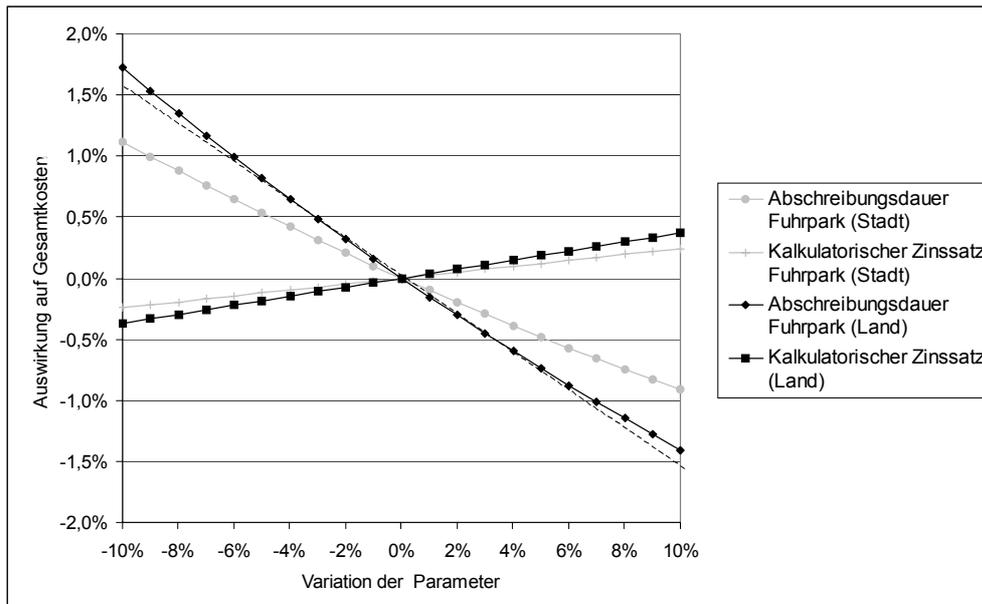


Bild 42: Variation der Abschreibungsdauer und des kalkulatorischen Zinssatzes für den Fuhrpark

Wie eingangs dieses Abschnittes erwähnt, ist die Sammlung in der ländlichen Region trotz gleicher Einwohnerzahl mit dem Einsatz von deutlich mehr Fahrzeugen verbunden, aus diesem Grund sind auch die jeweils festgestellten Sensitivitäten wesentlich höher. Zusammenfassend bedeuten diese Ergebnisse also, dass je höher der Anteil der Fuhrparkkosten desto mehr ist im Rahmen der Erstellung von Angeboten auf die korrekte Ermittlung der hier untersuchten Parameter zu achten bzw. desto relativ und absolut größer sind bei bestehenden Gebieten die Einsparpotentiale durch infolge einer Änderung dieser Parameter.

Die Parameter Fahrzeugversicherungskosten, Fahrzeugsteuer und Kosten für Untersuchungen nach StVZO sind aufgrund ihres geringen Einflusses auf die Gesamtkosten im Anhang E aufgeführt.

4.6.2 Variable Kosten

Auch im Bereich der Einflüsse der den variablen Kosten zuzurechnenden Parameter bestehen erhebliche strukturbedingte Unterschiede zwischen den beiden Modellregionen. Im wesentlichen ist dieses durch die stark unterschiedlichen Fahrstrecken während der Sammeltouren bedingt. Wie den in Kapitel 4.3 aufgeführten durchschnittlichen Fahrleistungen der Sammelfahrzeuge zu entnehmen ist, sind diese in der ländliche Modellregion um einen Faktor von ca. 2,6 länger als in der städtischen Modellregion. Da die variablen Kosten direkt fahrleistungsabhängig sind, ergeben

sich in der ländlichen Region zwangsläufig größere Sensitivitäten als in der städtischen Region.

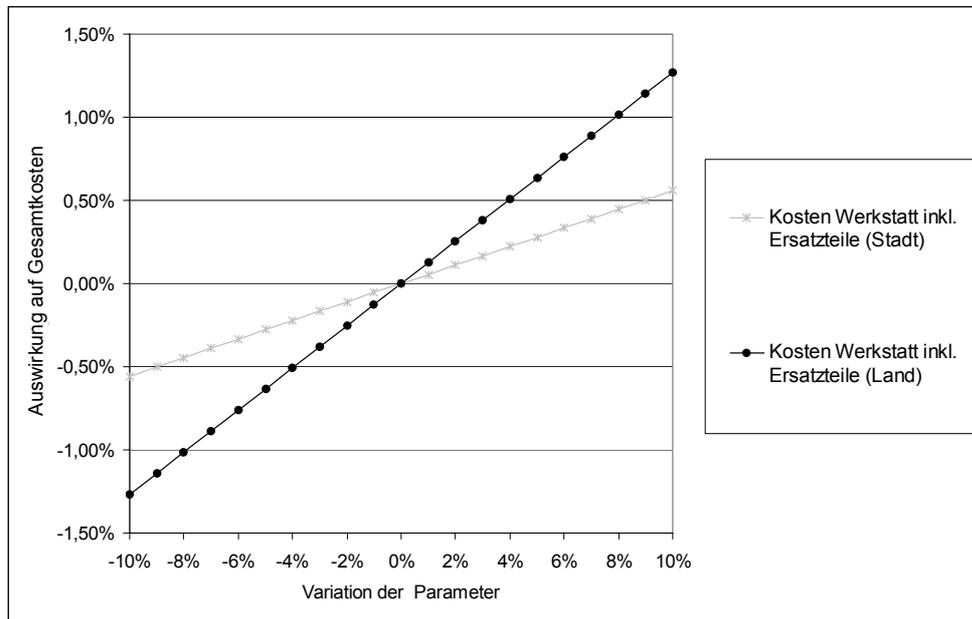


Bild 43: Variation der Werkstattkosten inkl. Ersatzteile

Im Fall der Kosten für Werkstattreparaturen inklusive der Ersatzteile besteht eine zusätzliche Abhängigkeit von den Fixkosten eines Fahrzeuges. Dieses bedeutet, dass teure und technisch aufwendigere Fahrzeuge wegen der höheren Ersatzteilkosten und höherer Reparaturanfälligkeit auch höhere Reparaturkosten mit sich ziehen.

Die in Bild 43 dargestellte Funktion der Gesamtkosten in Abhängigkeit der Summe der Werkstattkosten zeigt demzufolge auch einen deutlichen Unterschied der Sensitivitäten zwischen den beiden Modellregionen. Während sich die Gesamtkosten in der städtischen Modellregion bei einer Variation der Werkstattkosten um 10% um maximal 0,56% ändern, ist der Einfluss in der ländlichen Region mit maximal 1,27% um das etwa 2,3-fache höher.

Der Einfluss der strukturbedingt unterschiedlichen Fahrleistungen kann noch deutlicher anhand des durchschnittlichen Kraftstoffverbrauches pro 100km dargestellt werden (Bild 44). Hier besteht zwischen den beiden Modellregion bei einer maximalen Variation von 10% ein Unterschied des Einflusses auf die Gesamtkosten in Höhe des Faktors von ca. 4,8 (absoluter Einfluss 0,28%, Stadt und 1,35%, Land).

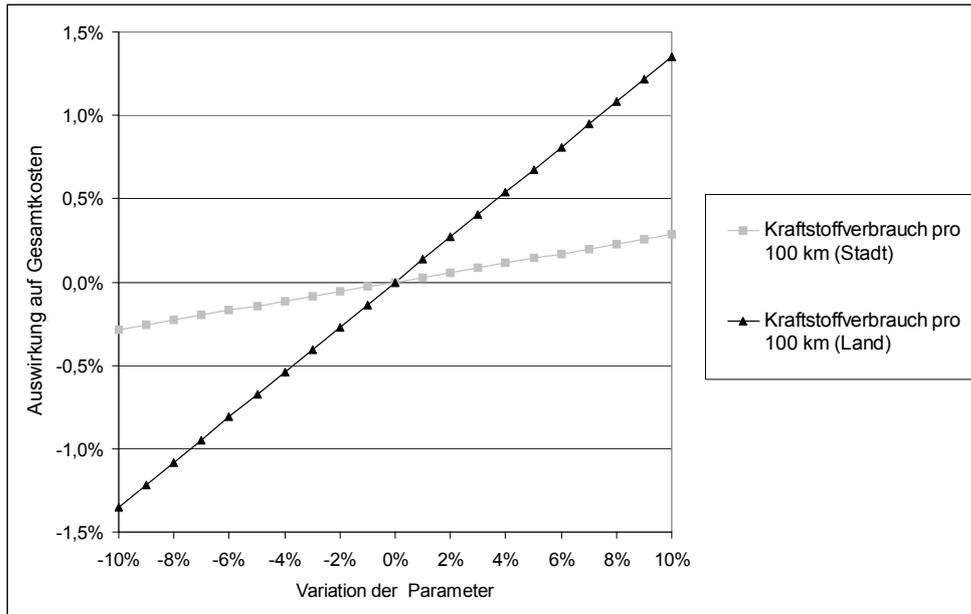


Bild 44: Variation des Kraftstoffverbrauches pro 100km

Die Ergebnisse der Variation des Kraftstoffverbrauches entsprechen aufgrund ihres direkten Zusammenhanges denen des Kraftstoffpreises pro Liter. Auf die Darstellung der Einflüsse des Kraftstoffpreises soll daher an dieser Stelle verzichtet werden.

Die Ergebnisse der Variation der Parameter

- Kosten für Untersuchungen nach StVZO,
- Kosten Öl- und Schmiermittel,
- Kosten für Fahrzeugpflege und
- Kosten für Kommunikation zwischen Disposition und Fahrern

sind aufgrund ihres geringen Einflusses im Anhang E aufgeführt.

4.6.3 Sonstige Daten

Ein wichtiger Parameter für die Tourenplanung ist die zulässige Zuladung der Sammelfahrzeuge. Wie in Kapitel 2.1.2.4 beschrieben, kann die maximale Zuladung nicht bei allen Fraktionen auch tatsächlich ausgenutzt werden. Bei der hier untersuchten Fraktion Restabfall ist dieser Umstand jedoch nicht gegeben. Dennoch kommt es in der Praxis vor, dass Touren so geplant werden, dass die maximal zulässige Zuladung möglichst nicht überschritten wird, d.h. es wird bereits in der Planung ein Puffer gelassen, der an Sammeltagen mit höherem Abfallaufkommen (z.B. nach Feiertag-

gen) eine Überladung verhindert. Gleichmaßen kommt es vor, dass Überladungen auch wenn straßenverkehrsrechtlich unzulässig billigend in Kauf genommen werden. Bild 45 zeigt die Auswirkungen dieser beiden Vorgehensweisen auf die Gesamtkosten.

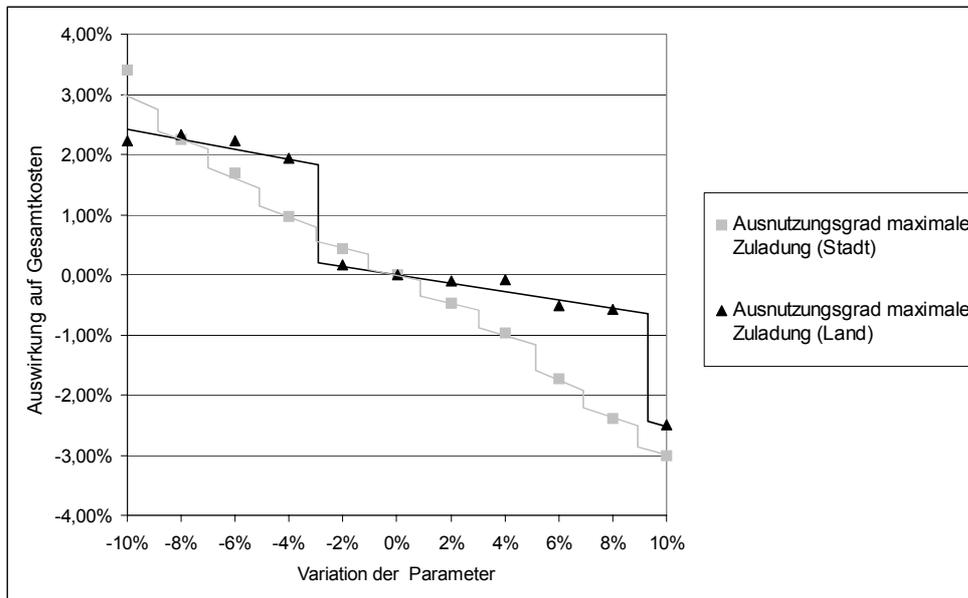


Bild 45: Variation des Ausnutzungsgrades der maximal zulässigen Zuladung

Wie der Darstellung zu entnehmen ist, weist die Funktion der Gesamtkosten über dem Ausnutzungsgrad der Zuladung für die städtische Modellregion einen ausgeprägten Treppenverlauf auf. Jede Stufe entspricht hier der Einsparung eines kompletten Fahrzeugeinsatztages. Innerhalb der Stufen reduzieren sich die Kosten durch eine Verringerung der notwendigen Fahrstrecke für die Entsorgungsfahrten. Die Kostenkurve für die ländliche Region zeigt einen deutlich flacheren Verlauf. Grund hierfür ist die wesentlich höhere Anzahl eingesetzter Fahrzeuge, die die Auswirkungen der Einsparung nur eines Fahrzeugeinsatztages weniger prägnant machen.

Bei maximaler Variation des Ausnutzungsgrades bewegen sich die Gesamtkosten in einem Rahmen von -3,0% bis +3,4% (Stadt) bzw. -2,5% bis +2,2% (Land).

Aufgrund dieses relativ hohen Einflusses ist es dringend zu empfehlen, in der Planung keine wie eingangs erwähnten Puffer für die Ausnutzung der Zuladung zu berücksichtigen. In Ausnahmefällen sollte so besser eine zusätzlich notwendige Entsorgungsfahrt hingenommen werden.

4.7 Behälterdaten, -kosten

Wie anhand der Ausgangsberechnungen erläutert wurde die Annahme getroffen, dass die Kapitalkosten für die Behälter den gleichen Betrag aufweisen wie die Behältermieterlöse. Daher weisen die Sensitivitäten dieser beiden Parameter gleiche Maximalwerte jedoch aufgrund ihres Vorzeichens entgegengesetzte Steigungen auf.

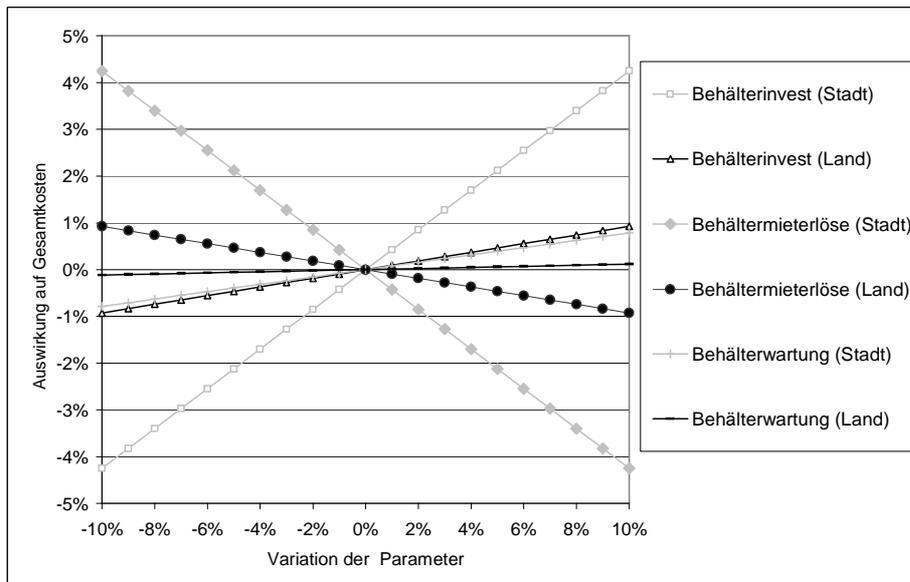


Bild 46: Variation von Behälterinvestitionskosten, -mieterlösen und -wartungskosten

Der Einfluss der Behälterkosten auf die Gesamtkosten weist in der städtischen Modellregion deutlich größere Werte auf als in der ländlichen Region (Bild 46). Ursache sind die im Vergleich zu den Gesamtkosten höheren Behälterinvestitionskosten. Die Behälterwartungskosten werden als prozentualer Anteil der Behälterinvestitionskosten berechnet (vgl. Anhang C Ausgangsdaten städtische Modellregion und Anhang D Ausgangsdaten ländliche Modellregion) und weisen daher gleiche relative Unterschiede zwischen den beiden Modellregionen auf. Die Funktionen für die Gesamtkosten über der Abschreibungsdauer der Behälter und dem dafür angesetzten kalkulatorischen Zinssatz sind dem Anhang E zu entnehmen.

4.8 Verwaltungskosten

Die Einflüsse der Verwaltungskosten, also der Kosten für die Standorte und die Umschlagplätze (ländliche Modellregion) sowie der Personalkosten für die Disposition sind dem Anhang E zu entnehmen.

4.9 Randbedingungen und Leistungsdaten der Sammlung

Die in diesem Abschnitt zu untersuchenden Randbedingungen und Leistungsdaten sind wesentliche Einflussgrößen zur Bestimmung der für die Leerung der im Entsorgungsgebiet stehenden Behälter notwendigen Arbeitszeit sowie, im Falle der Behälterdichte, der im Sammelrevier zurückzulegenden Fahrstrecke. Ihnen kommt daher eine zentrale Bedeutung bei der Ermittlung der Gesamtkosten zu, da sie das Mengengerüst des notwendigen Fahrzeug- und Personaleinsatzes bestimmen.

In Bild 47 ist der Einfluss der Sammelleistung auf die Gesamtkosten dargestellt. Die beiden Kostenfunktionen der Modellregionen weisen dabei ähnliche Verläufe auf. Da die Sammelleistung als Quotient in die Berechnung des Zeitbedarfes für die Sammlung eingeht, ergibt sich ein hyperbelförmiger Verlauf der Sensitivitäten. Es ist daher zu erkennen, dass eine Minderung der Sammelleistung die Kosten stärker ändert als eine Erhöhung. Der Einfluss der Sammelleistung auf die Gesamtkosten ist verhältnismäßig groß, so dass sich bei einer Minderung der Sammelleistung eine Gesamtkostenerhöhung von ca. 9% ergibt.

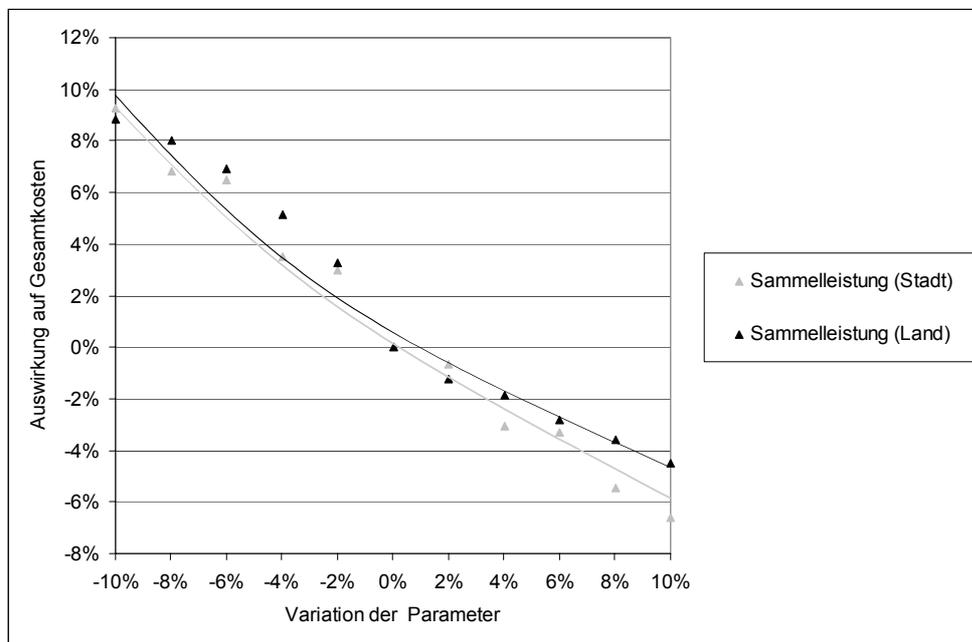


Bild 47: Variation der Sammelleistung

Starke Unterschiede zwischen beiden Modellregionen lassen sich bei der Sensitivität bezüglich der angesetzten Durchschnittsgeschwindigkeit erkennen (Bild 48). Hier kommen die strukturellen Unterschiede zum Tragen, die in der ländlichen Region

deutlich längere Fahrtstrecken zwischen den einzelnen Sammelgebieten erfordern. Der Einfluss dieses Parameter ist mit einer im betrachteten Variationsbereich anzu-gebenden Abweichung von etwa 65% für die ländliche Modellregion daher auch etwa 2,8-mal höher als in der städtischen Region (61,8%).

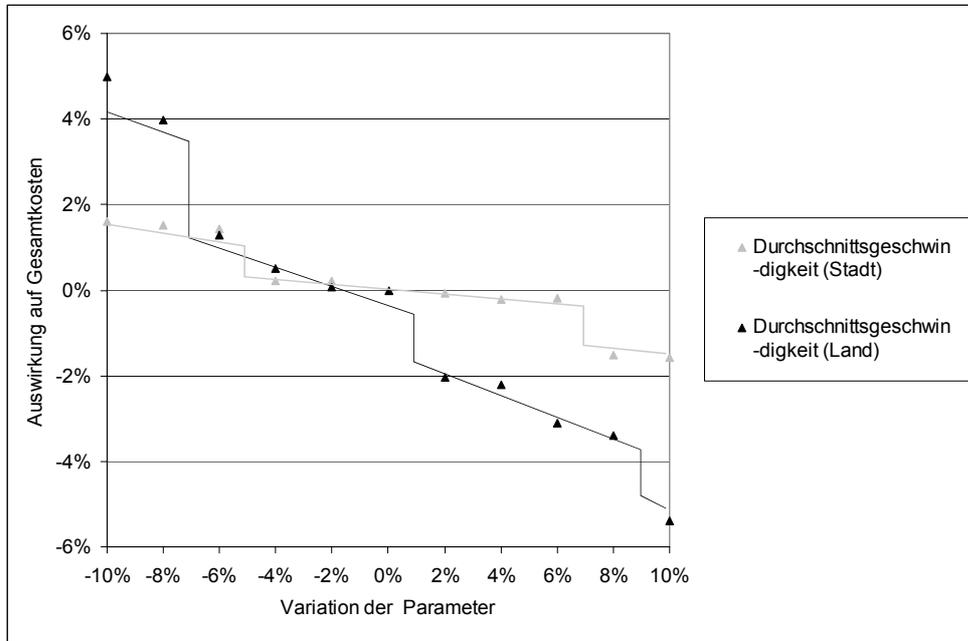


Bild 48: Variation der Durchschnittsgeschwindigkeit für Verbindungsfahrten

Wie den Funktionskurven in Bild 49 zu entnehmen ist, haben die zugrundegelegten mittleren Behälter(-füll-)gewichte in der städtischen Region größeren Einflusses auf die Gesamtkosten als in der ländlichen Region. Ursache hierfür ist das höhere Pro-Kopf-Aufkommen bei gleichzeitig geringerer Anzahl der Gesamtbehälterzahl in der städtischen Region. Dieses verursacht bei Variation der mittleren Behältergewichte einen deutlich größeren absoluten Anstieg der Gesamtabfallmenge (und damit der notwendigen Entsorgungsfahrten) als in der ländlichen Region.

Die Darstellungen des Einflusses der Dauer für den Umschlag und der Behälterdichte sind dem Anhang E zu entnehmen.

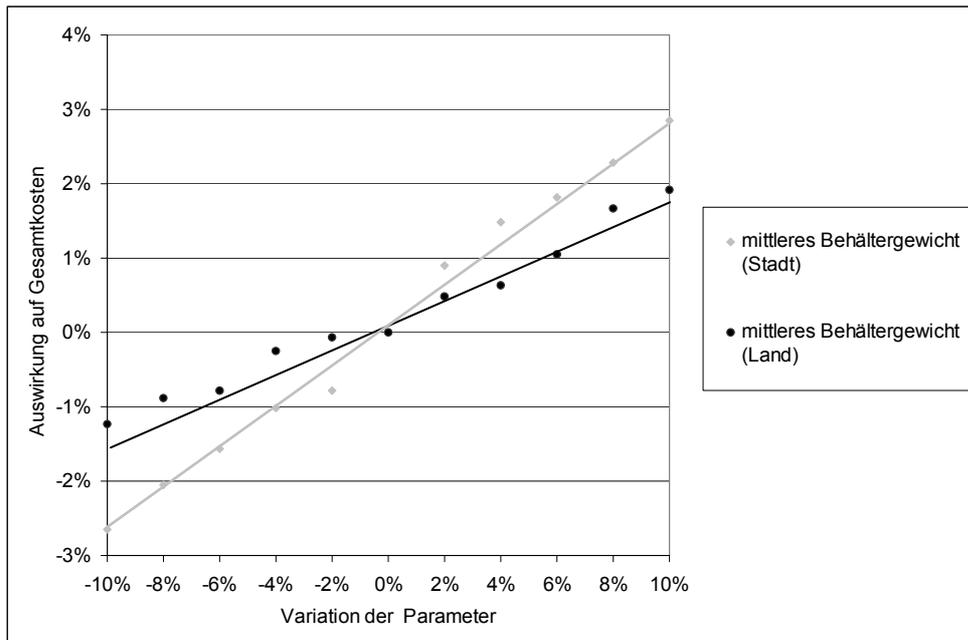


Bild 49: Variation des mittleren Behältergewichtes

4.10 Zusammenfassung der Ergebnisse

In den vorangegangenen Abschnitten konnten erhebliche regionsabhängige Unterschiede zwischen untersuchten Sensitivitäten der einzelnen Eingangsparameter für die Berechnung der Sammellogistikkosten dargestellt werden.

Im wesentlichen ist dieses auf die unterschiedliche Verteilung und Ausprägung der Siedlungsstrukturen der beiden zugrundegelegten Modellregionen zurückzuführen. Diese erfordern nicht nur den Einsatz unterschiedlicher Zusammensetzungen des Fuhrparks sondern damit einhergehend auch andere Personalstärken. Dadurch ergeben sich andere Zusammensetzungen der Gesamtkosten aus den verschiedenen Kostenarten.

Die Sammlung in der ländlichen Region ist erheblich aufwendiger, da deutlich größere Fahrstrecken zurückzulegen sind und die Sammelleistungen aufgrund der geringeren Bevölkerungsdichte und der damit verbundenen geringeren Behälterdichte geringer sind.

Im folgenden Kapitel wird eine Pareto-Analyse der Einflussparameter durchgeführt, die deren unterschiedliche Rangfolge bezüglich ihrer Wichtigkeit für die Berechnung der Gesamtkosten widerspiegelt.

5 Pareto-Analyse der Einflussgrößen

Die Pareto-Analyse (benannt nach Vilfredo Pareto, 1848 – 1923) wird angewendet, um die Signifikanz von Dingen oder Prozessen hinsichtlich eines bestimmten Merkmals festzustellen, vgl. **Nippel 1995**. Die Analyse beruht auf der Feststellung Paretos, dass sich die meisten Auswirkungen auf relativ wenige Ursachen zurückführen lassen. Ein häufig zutreffende Umschreibung dieser Faustregel ist die Aussage, dass zwischen 20 und 30 % der Ursachen 70 bis 80 % der Wirkungen ergeben, **IQ 1999**.

Mit Hilfe der Ergebnisse der in Kapitel 4 durchgeführten Sensitivitätsanalyse soll in diesem Abschnitt eine Reihenfolge der Parameter bezogen auf die Wichtigkeit für die Berechnung der Gesamtkosten erstellt werden. Die Einflüsse werden dabei der Reihe nach addiert, so dass eine sog. Lorenz-Kurve dargestellt werden kann, die nach o.g. Faustregel anzeigt welche 20-30% der Parameter bereits 70-80% der Gesamtkosten bestimmen.

Hierzu werden im Folgenden die festgestellten maximalen prozentualen Auswirkungen, d.h. bei einer Variation um 10%, der einzelnen Einflussparameter auf die Gesamtkosten in einem Diagramm nach absteigender Wichtigkeit dargestellt. Grundlage der Betrachtung ist eine solche Veränderung der Parameter, die die Gesamtkosten erhöht. Je nach Steigung der Kostenfunktion bzw. des Sensitivitätsverlaufes wird also eine Änderung der jeweiligen Parameter um plus oder minus 10% vorgenommen. Infolge dieser gleichzeitigen Variation aller Parameter stiegen die Gesamtkosten in der städtischen Modellregion um 304.369 €/a bzw. 50,1% und in der ländlichen Modellregion um 527.275 €/a bzw. 50,2%.

Bild 50 (städtische Modellregion) und Bild 51 (ländliche Modellregion) zeigen die strukturabhängig unterschiedlichen Reihenfolgen bezüglich der Wichtigkeit der Eingangsparameter. Die jeweils eingezeichnete Linie bei 80% kumuliertem Einfluss zeigt, welche Parameter bereits für 80% der Genauigkeit der Kostenberechnung ausschlaggebend sind. Die Gesamtheit der Parameter ist hier im Sinne der Zielsetzung der Arbeit auf die zur Erstellung eines Angebotes im Rahmen von Ausschreibungen zu ermittelnden bzw. zugrunde zulegenden Daten reduziert. Eine Reihenfolge aller Parameter ist im Anhang H aufgeführt.

Wie den Darstellungen zu entnehmen ist, ist die erreichbare Sammelleistung wenn auch mit unterschiedlichen Auswirkungen regionsübergreifend der wichtigste Parameter zur Bestimmung der Gesamtkosten.

An zweiter Stelle der Rangfolge besteht jedoch schon ein wesentlicher strukturabhängiger Unterschied. Während in städtischen Gebieten aufgrund der größeren Abfallmengen der Ausnutzungsgrad der zulässigen Fahrzeugzuladung eine wesentliche Rolle spielt, ist in ländlichen Regionen aufgrund der größeren Entfernungen die erreichbare Geschwindigkeit auf Verbindungsfahrten zwischen den Revieren, Senken und Standorten von großer Bedeutung.

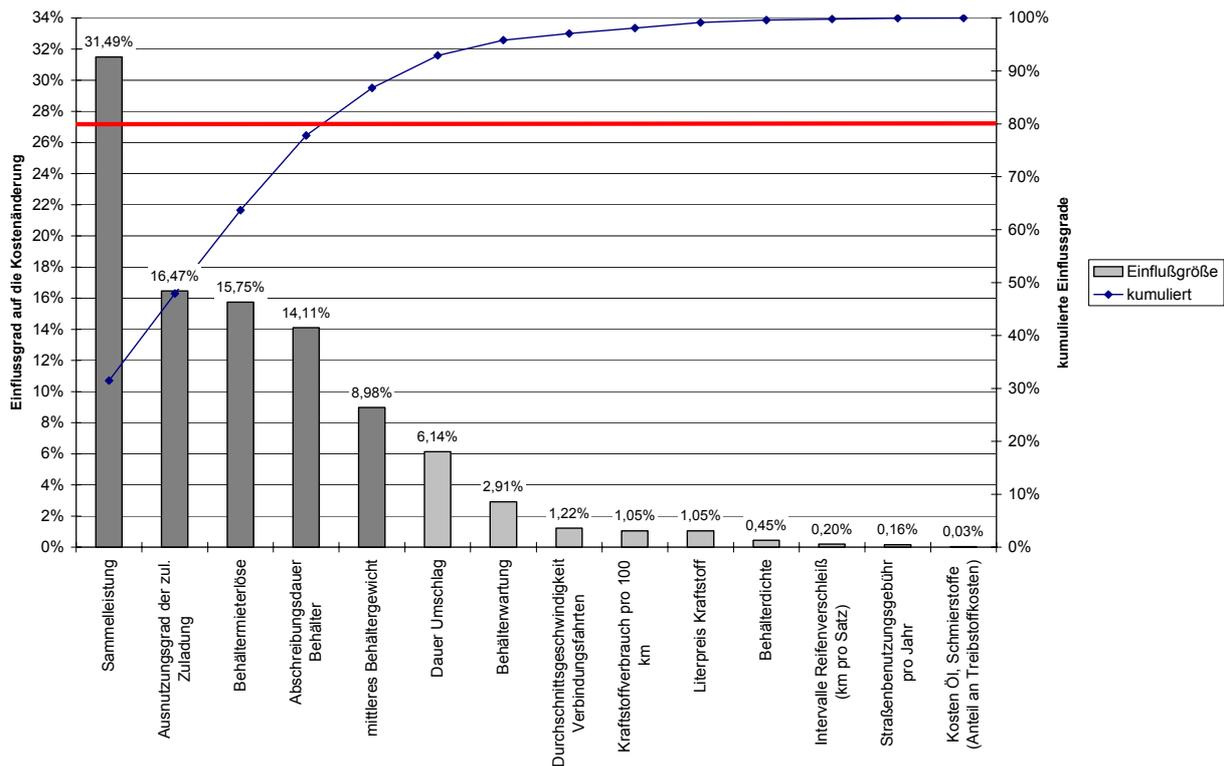


Bild 50: Pareto-Analyse der bei Ausschreibungen abzuschätzenden Einflussgrößen für die städtische Modellregion (Variation der Parameter um 10%)

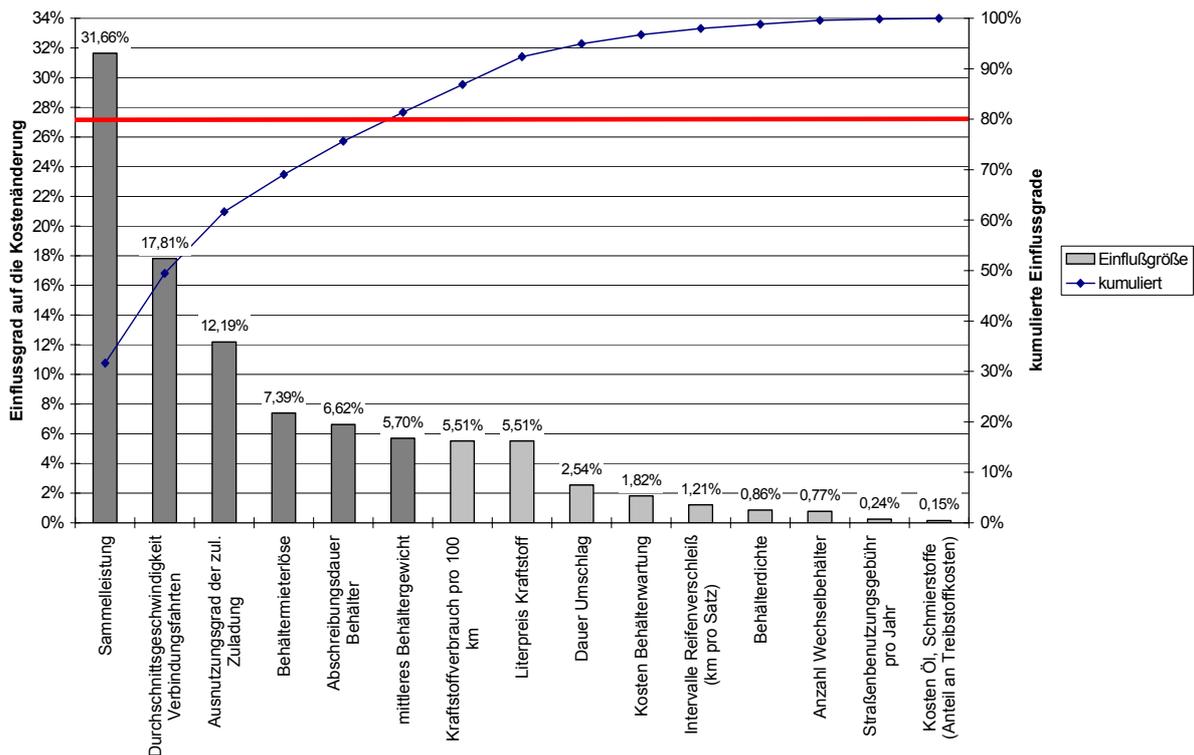


Bild 51: Pareto-Analyse der bei Ausschreibungen abzuschätzenden Einflussgrößen für die ländliche Modellregion (Variation der Parameter um 10%)

Während in der Stadt die Behältermieterrlöse aufgrund der relativ hohen Behälterinvestitionskosten schon der dritt wichtigste Einflussparameter ist, ist in der ländlichen Region an dieser Stelle mit dem Auslastungsgrad der zulässigen Zuladung noch ein im direkten Zusammenhang mit der Sammlung stehender Parameter zu finden. Erst im Anschluss daran sind in der ländlichen Region die Behältermieterrlöse (4. Position) und die Abschreibungsdauer der Behälter (5. Position) zu finden. An fünfter Stelle befindet sich in der Stadt der Parameter "mittleres Behältergewicht", der in der ländlichen Region erst an 6. Position folgt.

Die Dauer des Umschlages ist in der Stadt (6. Position) deutlich wichtiger als auf dem Land (9. Position). Wesentlicher Grund hierfür ist die aufgrund kürzerer Entsorgungswege höhere Anzahl täglicher Entsorgungen und damit des Gesamtzeitanteils dieses Prozesses.

Ein anderes Beispiel für die Auswirkungen der strukturbedingt unterschiedlichen Fahrleistungen sind die Kraftstoffkosten bzw. der Kraftstoffverbrauch, die in ländlichen Regionen einen insgesamt höheren Stellenwert und Einfluss (Positionen 7 und 8) aufweisen als in städtisch geprägten Gebieten (Positionen 9 und 10). Der Unter-

schied der Einflüsse ist mit einem Faktor von ca. 5 anzugeben (je 5,51%, Land zu je 1,05%, Stadt).

Der beschriebene Unterschied in den Fahrleistungen hat ähnliche Auswirkungen auf die Höhe der Intervalle für den Reifenverschleiß. Hier kommt hinzu, dass die Sammlung auf dem Land einen deutlich höheren Fahrzeugeinsatz verlangt als in der Stadt, so dass der absolute Unterschied des Einflusses der Intervalle für den Reifenverschleiß mit dem Faktor ca. 6 anzugeben ist (0,20% Stadt und 1,21% Land).

Zudem ist der Aufstellung zu entnehmen welche Parameter mit Standardwerten angesetzt werden können, da der Aufwand für die genaue Wertermittlung nicht lohnt. Diese Grenze kann zum Beispiel bei einem Einfluss von weniger als zwei Prozent gesetzt werden, wodurch in der Stadt 7 von 14 Positionen und auf dem Land 6 von 15 Positionen⁴ vernachlässigt werden könnten.

Wo die Grenze zwischen pauschalen Annahmen und der Durchführung einer Datenermittlung genau gelegt wird, hängt hierbei individuell von der gewünschten Genauigkeit des Ergebnisses ab.

6 Vereinfachung der Datenerhebung

Wie bereits in Kapitel 1.2 beschrieben, erfordert die genaue Berechnung der Kosten für die Sammellogistik in bisher unbekanntem Gebieten eine gute Kenntnis der strukturellen Randbedingungen im ausgeschriebenen Entsorgungsgebiet.

Für die im Rahmen der Sensitivitätsanalyse anhand der beiden zugrunde gelegten Modellregionen angewendete Methode bzw. Berechnungssoftware ist eine Erfassung der Siedlungsstrukturen in Form einzelner Gebietskreise notwendig.

Dieses kann durch Befahrungen vor Ort durchgeführt werden wie es im Beispiel des Praxistests (vgl. Kapitel 3.3) beschrieben wurde. Alternativ ist aber auch eine Erfassung der Siedlungsstrukturen anhand von Luftbildern und topographischen Karten möglich (vgl. Kapitel 4.1). Letztere Vorgehensweise ist zwar sehr genau aber auch zeitaufwendiger. Zudem ist in der Praxis nicht immer das erforderliche Kartenmaterial

⁴ Auf dem Land sind die Kosten für die dort eingesetzten Wechselbehälter zusätzlich berücksichtigt

bzw. Luftbilder verfügbar, so dass diese Art der Erfassung für die spätere Anwendung gerade nicht empfohlen wird.

Sowohl die vorgestellten Musterregionen als auch das reale Gebiet für den Praxistest wurden sehr detailliert erfasst, um zunächst eine möglichst genaue Abbildung der örtlichen Gegebenheiten und damit eine gute Berechnungsgrundlage zu erhalten.

Unabhängig von der tatsächlich gewählten Vorgehensweise zur Erfassung der Gebiete sollen in diesem Kapitel Möglichkeiten untersucht werden, die einerseits eine Vereinfachung bzw. Aufwandsreduktion der Datenerhebung ermöglichen aber andererseits die Genauigkeit des von SOKRATES auf Basis dieser Daten ermittelte Ergebnis nicht entscheidend mindern.

Wie bereits anhand der Beschreibung des Praxistests der Software angemerkt, ist der zeitliche Aufwand für die Datenerhebung bei Durchführung durch einen erfahrenen Disponenten deutlich geringer anzusetzen als er sich im Rahmen dieser Arbeit durch Institutsmitarbeiter darstellen ließ.

6.1 Beschreibung der bisherigen Vorgehensweise

Für die vor-Ort-Untersuchungen existiert kein festgelegter Standard. Im Folgenden soll die auf Basis von Expertengesprächen ermittelte bisherige Vorgehensweise zusammenfassend geschildert werden.

Zu Beginn einer Kalkulation steht in der Regel die Beschaffung des entsprechenden Kartenmaterials über die ausgeschriebene Region. Anhand dieses Kartenmaterials wird anschließend eine grobe Einteilung in Siedlungsstrukturen getroffen. Die Typenvielfalt der hierfür zugrunde gelegten Siedlungsstrukturen ist sehr individuell und zudem abhängig von der tatsächlichen Struktur des Gebietes. Im Allgemeinen wird hier zwischen dicht und dünn besiedelten Gebieten unterschieden. Gegebenfalls werden wenn bezüglich der Sammlung gesondert zu betrachtende Gebiete vorliegen (z.B. enge Altstadtgebiete oder reine Gewerbegebiete) weitere Unterteilungen getroffen. Anhand dieser Einteilung werden erste Abschätzungen hinsichtlich der dort erreichbaren Sammelleistungen und der erreichbaren Durchschnittsgeschwindigkeiten für Verbindungsfahrten vorgenommen.

Die so abgeschätzten Kennzahlen werden anschließend in Vor-Ort-Untersuchungen mit Erfahrungswerten aus ähnlichen Gebietsstrukturen abgeglichen. Aus der Praxis sind dem Verfasser jedoch auch Fälle bekannt, in denen auf diesen Arbeitsschritt komplett verzichtet wurde. In den Vor-Ort-Untersuchungen wird insbesondere auf spezielle leistungsbeeinflussende Gegebenheiten geachtet, wie z.B.

- Zugänglichkeit der Behälterstandorte,
- Verkehrssituation,
- Einbahnstraßen und enge Straßen,
- Beschaffenheit der Straßen (z.B. Kopfsteinpflaster),
- Topographie (z.B. extrem steile Straßen) etc.

Je nach Detaillierungsgrad der zugrunde liegenden Ausschreibungsunterlagen müssen parallel noch weitere Erkenntnisse z.B. über die Behälterstruktur gesammelt werden.

Die so erhobenen Daten werden anschließend auf EDV übertragen und bilden die Basis für die anschließend i.d.R. mit Hilfe von Tabellenkalkulationsprogrammen durchzuführende Kalkulation. Alternativ werden die Daten auch nur mit Erfahrungswerten des jeweiligen Unternehmens aus ähnlichen Gebieten verglichen und auf diese Weise ein grober Anhaltswert für die Gesamtkosten der Sammellogistik abgeschätzt.

6.2 Reduktion der Einflussparameter

Für die in Kapitel 3 angewendete Methode der exakten Berechnung muss im Arbeitsschritt der Datenerhebung zusätzlich zur geschilderten Vorgehensweise eine Erfassung der Siedlungsstrukturen in Gebietskreise durchgeführt werden. Erst auf dieser Grundlage kann die folgende durch die in Kapitel 3 vorgestellte Software unterstützte beschleunigte Kostenkalkulation erfolgen.

Der Aufwand für diese Erfassung ist wesentlich von den drei Faktoren

- Anzahl der verschiedenen Siedlungsstrukturtypen,
- Genauigkeit der Abbildung der geographischen Lage und Ausmaße (bzw. der tatsächlichen Umrisse) der Sammelgebiete und
- Genauigkeit Verteilung der Behälterzahlen auf die Gebietskreise

abhängig. Je kleiner und hinsichtlich ihrer Charakterisierung differenzierter die Gebietskreise erfasst werden, desto exakter lassen sich die tatsächlichen Bedingungen im Sammelgebiet abbilden. Theoretisch lässt sich z.B. jeder beliebige Umriss eines Gebietes durch sehr viele und sehr kleine Kreise exakt abbilden. Wo aber ist der sinnvolle Schnittpunkt zwischen Erfassungsaufwand und Genauigkeit der auf dessen Basis durchgeführten Kostenkalkulation?

Mittels einer schrittweisen Verringerung der Detailgenauigkeit der drei genannten Faktoren wird in den folgenden Abschnitten untersucht inwieweit der Erfassungsaufwand gesenkt werden kann, ohne die Kalkulationsergebnisse wesentlich zu beeinflussen.

6.2.1 Zusammenfassung der Siedlungsstrukturen

Die beiden vorgestellten Modellregionen wurden jeweils nach insgesamt 8 verschiedene Siedlungsstrukturtypen (vgl. Kapitel 2.1.4.10) aufgeteilt. Die Aufstellung in Bild 52 zeigt die zu prüfende Reduktion der Typenvielfalt zu jeweils übergeordneten Klassifizierungen. Die Zusammenfassungen sollen zunächst einzeln auf ihre Auswirkungen auf das Gesamtergebnis kontrolliert werden bevor die Kombination aller einzelnen Vereinfachungen überprüft wird.

Bisherige Siedlungsstrukturtypen	Übergeordnete Klassifizierung
Typ A: Innenstadtgebiete	Innerstädtische Mischgebiete
Typ B: sonstige Citygebiete	
Typ C: Mehrfamilienhausbebauung	städtische Wohngebiete
Typ D: Ein-, Zwei-, Mehrfamilienhausbebauung	
Typ E: Aufgelockerte Bebauung	ländliche Wohngebiete
Typ F: Streusiedlungen	
Typ G: Gewerbegebiete	Industrie, Gewerbe
Typ H: Industriegebiete	

Bild 52: Zusammenfassung der Siedlungsstrukturen

Die Zusammenfassung verschiedener Siedlungsstrukturtypen wird in der Berechnung durch eine entsprechend ihrer auf Behälter bezogenen Häufigkeit gewichtete Mittelung der charakteristischen Werte für

- die erreichbare Sammelleistung nach Sammelfahrzeugsystem (nicht bei der Zusammenfassung der Siedlungsstrukturtypen C und D in der ländlichen Region, da diese getrennt von Heckladern (Typ C) bzw. Seitenladern (Typ D) abgefahren werden),
- das mittlere Behältergewicht und
- die Behälterdichte

berücksichtigt. Ergebnis dieser Mittelung der Werte ist, dass einige Gebiete vergleichsweise schneller bzw. mit geringerer Zuladung entsorgt werden können, während es sich bei den anderen Gebieten genau andersherum verhält. Besteht auf bestimmten Touren ein Übergewicht einer der zusammengefassten Siedlungsstrukturen, bedeutet dieses eine Verkürzung bzw. Verlängerung der Tour gegenüber der Berechnung vor der Zusammenfassung. Hierdurch wird zwangsläufig das Gesamtergebnis beeinflusst.

Die Auswirkungen der beschriebenen Zusammenfassungen auf die berechneten Gesamtkosten sind in Bild 53 dargestellt. Dabei entspricht die 0%-Linie der Ausgangssituation bei der bisher durchgeführten Gebietseinteilung nach den 8 in Kapitel 2.1.4.10 beschriebenen Siedlungsstrukturen.

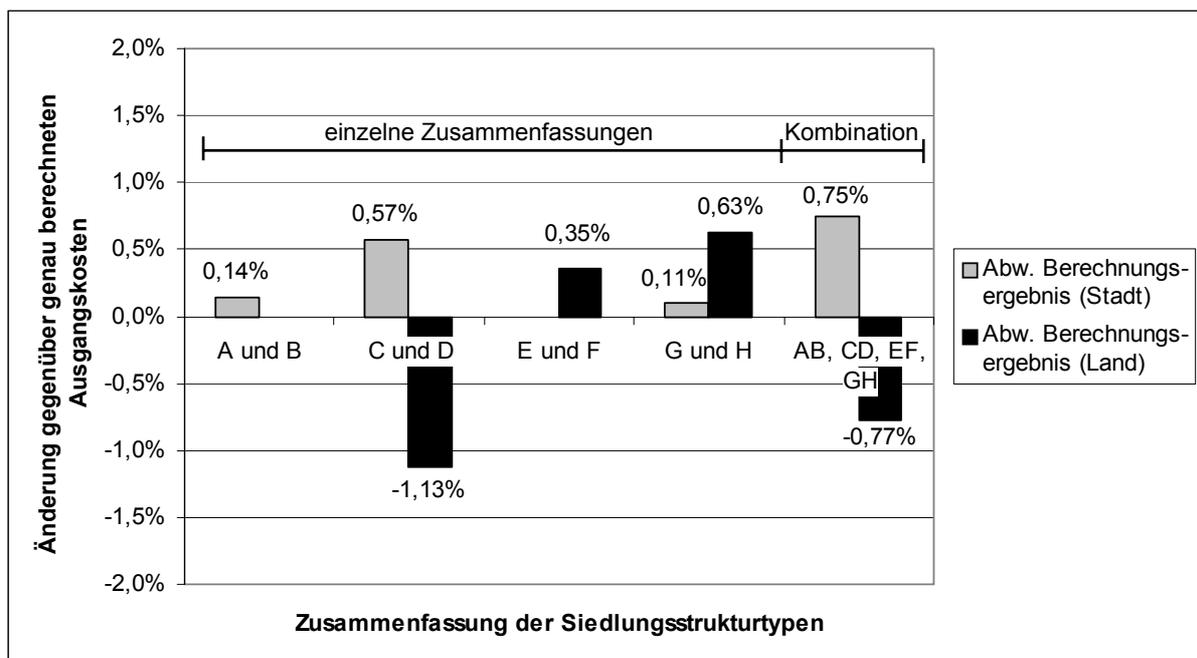


Bild 53: Auswirkungen der Zusammenfassung der Siedlungsstrukturen

Wie der Darstellung in Bild 53 zu entnehmen ist, weichen die berechneten Gesamtkosten durch die schrittweise Zusammenfassung der Siedlungsstrukturtypen erwartungsgemäß nach oben bzw. unten ab. Die Höhe der Abweichungen wird dabei individuell von der neuen von SOKRATES mit heuristischen Verfahren angenäherten Tourenplanung bestimmt.

Insgesamt zeigt sich, dass eine gleichzeitige paarweise Zusammenfassung der bisher 8 verwendeten Siedlungsstrukturtypen A-H auf die 4 übergeordneten Klassifizierungen (Bild 52) mit 0,75% (Stadt) bzw. -0,77% (Land) keine entscheidenden Fehler in der Gesamtkostenberechnung verursacht.

Durch die Zusammenfassung der Siedlungsstrukturen werden, wie oben beschrieben, auch die charakteristischen Daten (z.B. Sammelleistung) gemittelt. Daher kann es vorkommen, dass manche Touren über- und andere unterlastet sind. Dieses Ungleichgewicht muss anschließend wieder durch Verschiebungen von Behältern zwischen einzelnen Sammeltouren ausgeglichen werden. Die jeweils erstellten Tourenpläne weisen daher verglichen mit der Ausgangssituation einen höheren manuellen Korrekturbedarf auf. Aus diesem Grund wird auf eine weitere Vereinfachung verzichtet.

6.2.2 Zusammenfassung von Gebietskreisen

Wie in Bild 33 dargestellt, wurden die Umrisse der Siedlungsgebiete der Modellregionen sehr genau durch entsprechend kleine Gebietskreise angenähert und abgebildet. Diese genaue Erfassung führte zu einer Gesamtzahl von 1063 einzelnen Kreisen für die ländliche und 370 einzelnen Kreisen für die städtische Region. In diesem Abschnitt soll geklärt werden wie sich eine Reduktion bzw. Zusammenfassung dieser Kreise, die gleichbedeutend mit einer schlechteren Abbildung der tatsächlichen Umrisse des Gebietes ist, auf das Berechnungsergebnis auswirkt.

Es wird hierbei zunächst nur eine Zusammenfassung einzelner kleiner Kreise gleicher Siedlungsstruktur zu neuen größeren Kreisen durchgeführt.

Durch die Zusammenfassung einzelner Kreise gleichen Siedlungsstrukturtyps bleiben die charakteristischen Daten unberührt. Der entstehende neue Kreis wird durch Addition der Einzelflächen gebildet. Der neue geographische Mittelpunkt wird durch eine gewichtete Mittelung der vorherigen einzelnen x,y-Koordinaten entsprechend der Einzelflächen berechnet.

Die Auswirkungen dieser Zusammenfassung bestehen in einer Veränderung der Distanzen zwischen den einzelnen Gebieten. Es ist zu erwarten, dass sich diese Veränderungen zumindest teilweise ausgleichen. Inwieweit dieses zutrifft wird anhand einer schrittweisen Reduktion in folgenden Schritten überprüft:

Zusammenfassung aller Gebietskreise gleicher Siedlungsstruktur,

1. deren Kreisflächen sich gegenseitig überschneiden,
2. zwischen denen eine Luftliniendistanz von maximal 50m besteht
3. zwischen denen eine Luftliniendistanz von maximal 100m besteht
4. zwischen denen eine Luftliniendistanz von maximal 150m besteht
5. zwischen denen eine Luftliniendistanz von maximal 200m besteht

Bild 54 zeigt die Auswirkungen dieser schrittweisen Vereinfachung. Es ist zu erkennen, dass ab einer Zusammenfassung von Gebietskreisen zwischen denen ein größerer Luftlinienabstand von mehr als 150m besteht eine Ergebnisverfälschung von mehr als 2% entsteht. Unterhalb dieser Grenzentfernung bewegen sich die berechneten Gesamtkosten innerhalb des Toleranzrahmens bzw. der allgemeinen Berechnungsgenauigkeit (vgl. Kap. 3.3).

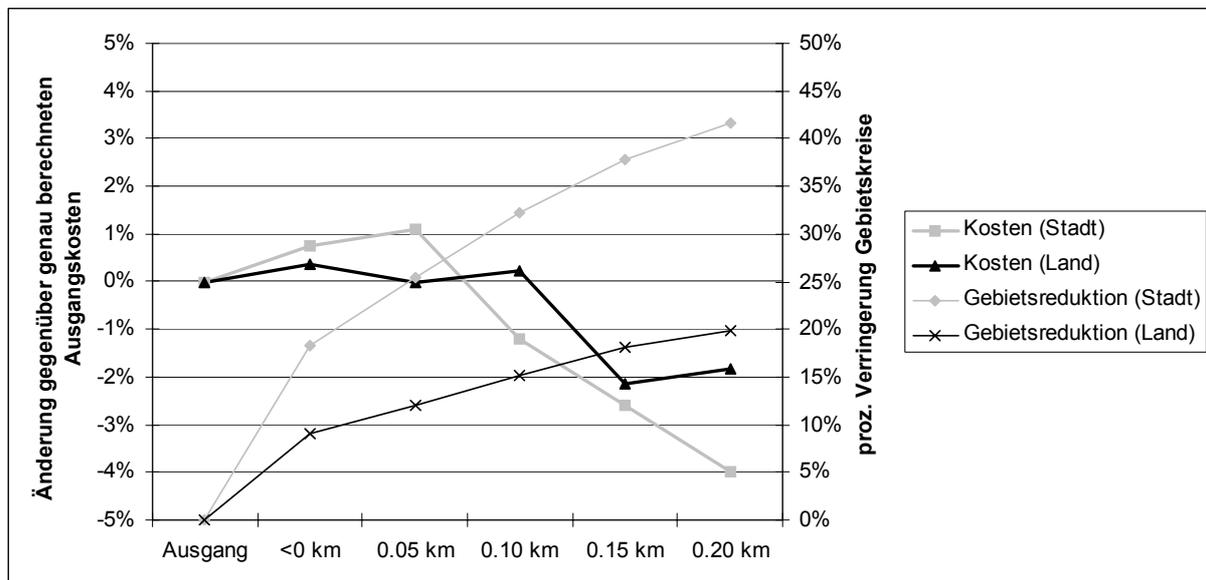


Bild 54: Auswirkung der Gebietsreduktion auf die Gesamtkostenberechnung

6.2.3 Vereinfachung der Behälterverteilung

Oft sind Ausschreibungsunterlagen nicht soweit detailliert, dass Behälterzahlen auf Ortsebene heruntergebrochen vorliegen. Insofern müssen diese abgeschätzt werden. Wie genau muss diese Abschätzung vorgenommen werden bzw. welcher Fehlergrad ist zulässig?

Um diese Frage klären zu können, soll im Folgenden eine schrittweise Rundung der für die einzelnen Gebietskreise bisher genau ermittelten Behälterzahlen erfolgen. Die Vereinfachungen werden dafür in folgenden Abstufungen vorgenommen:

- 1) Rundung aller Behälterzahlen größer als 5 auf die Genauigkeit 10 (d.h. Rundung von z.B. 66 Behältern auf 70 Behälter)
- 2) Rundung aller Behälterzahlen kleiner als 25 auf die Genauigkeit 10 und größer bzw. gleich 25 auf die Genauigkeit 50 (d.h. Rundung von z.B. 23 Behältern auf 20 Behälter und von 163 Behältern auf 150 Behälter)
- 3) Rundung aller Behälterzahlen kleiner als 50 auf die Genauigkeit 10 und größer bzw. gleich 50 auf die Genauigkeit 100 (d.h. Rundung z.B. von 34 Behältern auf 30 Behälter und von 153 Behältern auf 200 Behälter)

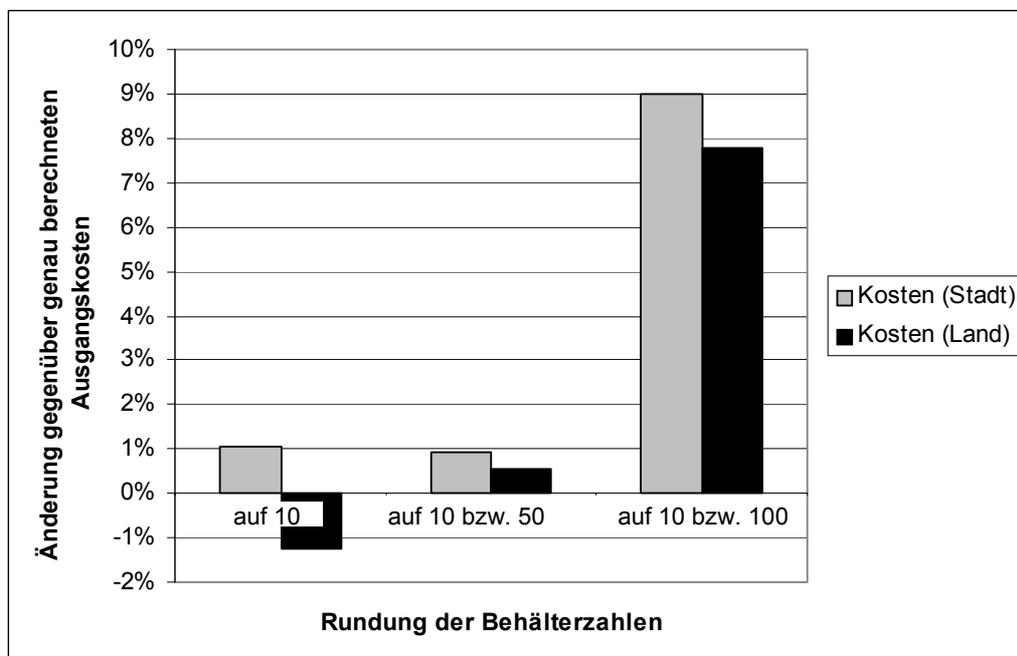


Bild 55: Einfluss der Vereinfachung der Behälterverteilung auf die Gesamtkosten

Um Verfälschungen des Ergebnisses zu vermeiden, werden falls sich die Gesamtbehälterzahl infolge der Rundung um mehr als 0,5% verändert, die Einzelangaben im Anschluss gleichmäßig erhöht bzw. gesenkt.

Bild 55 zeigt die Einflüsse der beschriebenen Vereinfachung der Behälterverteilung. Wie der Darstellung zu entnehmen ist, ergibt sich für beide Modellregionen erst ab dem dritten der oben geschilderten Vereinfachungsschritte eine deutliche Abweichung der Gesamtkosten vom Ursprungswert, d.h. sobald eine Rundung der realen Behälterzahlen kleiner als 50 auf die Genauigkeit 10 und größer bzw. gleich 50 auf die Genauigkeit 100 erfolgt. Die dargestellten kleineren Rundungen der Schritte 1 und 2 beeinflussen das Ergebnis nur unwesentlich und können daher bei der Datenerhebung vorgenommen werden.

6.3 Kombination der Maßnahmen und Ergebniszusammenfassung

Mit Hilfe der Berechnungssoftware SOKRATES konnte die tatsächlich erforderliche Detailgenauigkeit der zur genauen Berechnung der Kosten der Sammellogistik notwendigen Datenerhebung erstmalig konkretisiert werden. Dieses geschah zunächst durch die Überprüfung von Einzelmaßnahmen zur Reduktion der Detailgenauigkeit der zu ermittelnden Daten.

Zur Überprüfung der Kombinierbarkeit dieser in den vorangegangenen Abschnitten geschilderten Maßnahmen wurde zunächst die gleichzeitige Anwendung aller maximal zulässigen Einzel-Vereinfachungen auf ihre daraus resultierende Ungenauigkeit überprüft. Bereits bei diesem ersten Schritt konnte festgestellt werden, dass diese größtmögliche Gesamt-Vereinfachung einen nur unwesentlichen Fehler in der Kostenberechnung zur Folge hat. Die Ergebnisverfälschung in der Gesamtkostenberechnung bei Kombination der Maßnahmen beträgt in der städtischen Region ca. 0,6% und in der ländlichen Region -1,6%. Unter Berücksichtigung der Schwankungsbreite der berechneten Kosten für die Sammellogistik (vgl. Kapitel 3.3) lässt das Ergebnis den Schluss zu, dass sich die jeweils entstehenden Fehler der Einzelmaßnahmen in der Kombination addieren.

Mit Hilfe dieses Ergebnisses kann folglich zusammengefasst werden, dass

- die Zusammenfassung der bisher verwendeten 8 Siedlungsstrukturen in 4 einfach zu charakterisierende grobe Strukturen möglich ist (vgl. Kapitel 6.2.1).
- die Detailgenauigkeit der Erfassung der einzelnen Sammelgebiete nur bis zu einem Luftlinienabstand von 150m zwischen einzelnen Gebieten notwendig ist. Am Beispiel der städtischen Modellregion mindert dieses die Anzahl der zu erfassenden Gebiete um rund 32% (vgl. Kapitel 6.2.2).
- eine Erfassung der den Sammelgebieten zugeordneten Behälterzahlen nur eine Genauigkeit von 10 für Gebiete mit real weniger als 25 Behältern und von 50 für Gebiete mit real mehr als 25 Behältern notwendig ist (vgl. Kapitel 6.2.3).

Diese einzelnen Maßnahmen können den zeitlichen Aufwand für die Datenerfassung in einem Sammelgebiet erheblich mindern, ohne gleichzeitig auf ein genaues Ergebnis für die Kosten der Sammellogistik verzichten zu müssen. Unter Berücksichtigung der Zeitanteile und Arbeitsinhalte für die einzelnen Schritte zur Datenaufnahme sowohl im durchgeführten Praxistest als auch für die Erhebung der beiden Musterregionen wird von einer Zeitreduktion von ca. 40%-50% (Schätzwert auf Basis von Erfahrungswerten) ausgegangen. Unabhängig davon wird jedoch wie am Beginn dieses Kapitels 6 erwähnt empfohlen, dass die Datenerfassung wie im Rahmen des Praxistests beschrieben (3.3) durch Befahrungen des Sammelgebietes erfolgt. Grund für diese Empfehlung ist, dass mit dieser Vorgehensweise vor allem bei einer Durchführung durch erfahrene Disponenten von vornherein ein möglichst geringer Gesamtzeitaufwand erreicht werden kann.

Es sei jedoch an dieser Stelle erwähnt, dass eine Vereinfachung der Datenerhebung die Umsetzbarkeit der mit SOKRATES ermittelten Vorschläge für die Tourenplanung verringert, da die dadurch erfolgende Mittelung charakteristischer Werte gleichzeitig die Zusammensetzung der Sammeltouren beeinflusst. Um diese in die reale Abfuhrpraxis umzusetzen, ist ein höherer manueller Korrekturaufwand notwendig.

7 Zusammenfassung und Ausblick

Die kommunale Abfallwirtschaft stellt einen wichtigen Teil der deutschen Entsorgungswirtschaft dar. Die Logistik, also das Sammeln, Transportieren und Umschlagen der Abfälle, bestreitet hierbei den größten Anteil.

Zur Unterstützung der im Rahmen der Sammellogistik anfallenden Aufgaben zur Planung und Verwaltung wird am Markt ein breites Spektrum von Software-Lösungen angeboten. Diese Lösungen eignen sich jedoch nicht für eine schnelle und gleichzeitig genaue Berechnung der Kosten der Sammellogistik. Deren Ermittlung ist vor allem bei, infolge immer kürzerer Vertragslaufzeiten, häufig zu erstellenden Angeboten im Rahmen von Ausschreibungsteilnahmen und der Überprüfung von Einsparpotenzialen im Rahmen geplanter Optimierungsmaßnahmen notwendig.

Weiterhin fehlt bis heute eine umfassende Untersuchung der Einflussgrößen der vielfältigen Eingangsparameter, die in der Berechnung zu berücksichtigen sind. Diese sind vor allem in bisher unbekanntem Gebieten z.T. nur mit großem Aufwand durch Vor-Ort-Untersuchungen zu ermitteln. Diese fehlenden Erkenntnisse erschweren die Datenaufnahme, da keine Sicherheit darüber besteht welcher jeweilige Aufwand für die Ermittlung der einzelnen Daten sinnvoll ist.

Vor diesem Hintergrund wurden die zahlreichen Einflussparameter in Kapitel 2 dieser Arbeit zunächst einzeln definiert und anschließend in einer Berechnung der Sammellogistikkosten zusammengeführt.

In Kapitel 3 wurde die Berechnungssoftware SOKRATES (Software-gestütztes Kostenreinigungs-Angewandtes Tool für die Entsorgungssammellogistik) vorgestellt. Diese Software stellt eine erstmalige Kombination der Verfahren

- der Einteilung von Sammelgebieten nach Siedlungsstrukturen zur Ermittlung charakteristischer leistungsbeeinflussender Daten für die Sammlung,
- der klassischen Tourenplanung mit Hilfe dafür geeigneter Heuristiken und
- der Kostenberechnung für die kommunale Sammellogistik dar

und bietet somit eine Lösung zur schnellen und exakten Kostenberechnung bei gleichzeitiger Erstellung umsetzungsfähiger Tourenpläne.

SOKRATES unterstützt den Anwender durch Eingabemasken und Menüs bei der Hinterlegung und Variation der zur Kostenermittlung notwendigen Daten und sichert auf diese Weise gleichzeitig eine vollständige und stringente Planungsgrundlage.

Auf Basis der eingegebenen Daten führt die Software eine automatische Berechnung der im zu untersuchenden Entsorgungsgebiet entstehenden Sammellogistikkosten durch. Um zu realistischen und praxisnahen Ergebnissen zu kommen, wird dabei eine komplette selbstoptimierende Revier- und Tourenplanung auf Basis hierfür geeigneter Heuristiken durchgeführt.

Nach der Berechnung werden von der Software umfangreiche Ergebnisse ausgegeben, die neben den Gesamtkosten Auskunft über die tagesbezogene Anzahl der einzusetzenden Fahrzeuge und des Personals, Arbeitszeiten, Fahrstrecken sowie die Einzelkosten für die Behälterumleerungen geben. Weiterhin wird die parallel zur Berechnung durchgeführte Abfuhrplanung in Form von Tourenlisten ausgegeben, die auf einer Übersichtskarte auch grafisch dargestellt werden können.

Die von marktüblichen Softwarelösungen zur Tourenplanung und -optimierung durchgeführte straßengenaue Planung ist sowohl bezüglich der dafür notwendigen Datenaufnahme als auch der eigentlichen Berechnung sehr zeitaufwendig. Um diesen Nachteil zu umgehen, wird die Tourenplanung und Kostenberechnung von SOKRATES gebietsgenau durchgeführt. Die Gebiete stellen in diesem Zusammenhang einzelne Orte oder Stadtteile dar, innerhalb derer die Bedingungen für die Sammlung als weitestgehend konstant angesehen werden können. Die Fahrtentfernungen zwischen den Gebieten werden über eine gebietsindividuelle mathematische Beziehung zwischen Luftlinienentfernung und tatsächlicher Straßenentfernung berücksichtigt.

Die allgemeine Berechnungsgenauigkeit von SOKRATES lässt sich aufgrund der bei Sensitivitätsanalysen festgestellten Abweichungen der Berechnungsergebnisse vom Sollverlauf empirisch auf ca. ein Prozent beziffern. Diese Schwankung tritt aufgrund der Verwendung heuristischer Verfahren für die Tourenoptimierung auf, die die optimale Lösung in den meisten Fällen nur näherungsweise berechnen können. Eine exakte Lösung des Problems der Tourenplanung ist nach heutigem Stand der Technik in akzeptabler Rechenzeit nicht möglich.

Zur Absicherung der Übertragbarkeit der Ergebnisse auf die Praxis wurden die Daten eines realen Gebietes eines großen mittelständischen Entsorgungsunternehmens in Nordrhein-Westfalen aufgenommen und die Berechnungsergebnisse mit den tat-

sächlichen Gegebenheiten verglichen. Die Software SOKRATES wies hierbei eine Ungenauigkeit von 7% auf. Im Rahmen des Praxistests wurden die Angaben des Unternehmens für die erreichbaren Sammelleistungen für die in der Berechnung mit SOKRATES verwendeten Siedlungsstrukturen abgeschätzt. Diese Umwandlung wird als mögliche Ursache für die genannte Berechnungsungenauigkeit angesehen. Eine Gegenrechnung mit einer im Schnitt 6% höheren Sammelleistung ergab eine genaue Abbildung des realen Aufwandes für den Abfuhrbetrieb. Dieser große Einfluss der Sammelleistung auf die Sammellogistik konnte auch in den folgenden Kapiteln durch die dort durchgeführten Analysen nachgewiesen werden.

Für die in Kapitel 4 durchgeführte Sensitivitätsanalyse konnte mit Hilfe der erstellten Software erstmalig eine dynamische, d.h. unter Beachtung der jeweils optimalen Tourenplanung, erfolgende Untersuchung der in die Berechnung der Kosten für die Sammellogistik eingehenden Parameter durchgeführt werden. Um hierbei den Einfluss unterschiedlicher Regionstypen auf die Sensitivitäten berücksichtigen zu können, wurden zwei gegensätzliche Modellregionen mit jeweils 150.000 Einwohnern erstellt. Davon weist eine ausgeprägt städtische Merkmale und die andere sehr ländliche Charakteristika auf.

Wesentliches Ergebnis dieser Analyse ist, dass die untersuchten Parameter abhängig vom Regionstyp sehr unterschiedliche Einflussgrößen auf die Gesamtkosten aufweisen.

Aufbauend auf den Ergebnissen der Sensitivitätsanalyse wurde in Kapitel 5 eine Pareto-Analyse aller Einflussgrößen durchgeführt. Mit ihr wurde insbesondere für die Erstellung von Angeboten im Rahmen von Ausschreibungen eine regionsabhängige Prioritätenreihenfolge für die Ermittlung der kostenbeeinflussenden Parameter erstellt. Aus der Analyse ist zudem abzuleiten, welche Parameter für welche Berechnungsgenauigkeit verantwortlich sind.

Um nicht nur eine gezieltere Datenerhebung zu ermöglichen, sondern auch den dafür notwendigen Zeitaufwand zu reduzieren, wurden in Kapitel 6 Möglichkeiten untersucht die Datenvielfalt zu reduzieren ohne dabei die Güte des Berechnungsergebnisses in zu großem Maße zu mindern. Es konnte durch die Kombination von drei Maßnahmen zur Vereinfachung gezeigt werden, dass der zukünftig zu betreibende Aufwand für die Aufnahme der Gebietsdaten um etwa 40%-50% gemindert werden kann, ohne auf eine genaue Ermittlung der Kosten verzichten zu müssen.

Als Ausblick kann eine zukünftige durch Weiterentwicklung in der Nutzung und Bereitstellung geographischer Informationsdaten mögliche automatisierte Gebietserfassung wesentlich zur Vereinfachung der Software-Anwendung beitragen. In diesem Zuge ist auch eine Kopplung mit herkömmlichen Programmen zur Routenplanung denkbar, die eine exakte Ermittlung der Verbindungswege (und nur dieser) zwischen den Gebieten ermöglicht. Eine vollständige Kopplung im Sinne einer straßengenauen Planung auch in den Gebieten selber widerspricht jedoch der Zielsetzung einer schnellen Berechnung.

Die Software SOKRATES liefert aber auch ohne diese möglichen Erweiterungen, vor allem unter Einbeziehung der Erkenntnisse aus den Analysen der Einflussparameter, einen wesentlichen Beitrag für eine zukünftig genauere Berechnung der Sammellogistikkosten insbesondere im Rahmen von Ausschreibungsteilnahmen.

Vor allem im Zusammenhang mit der zunehmenden Vielfalt abgefragter Angebotsvarianten (z.B. Variation der Transportentfernungen, Fest- oder Wechselaufbauten etc.) wird zudem eine erhebliche Beschleunigung der Angebotserstellung ermöglicht, da nach einmaliger Erhebung der erforderlichen Daten lediglich erneute automatisierte Berechnungsdurchläufe angestoßen werden müssen.

8 Literatur

- BBR 1998** Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung: Aktuelle Daten zur Entwicklung der Städte, Kreise und Gemeinden, Ausgabe 1998. In: Berichte des BBR, Band 1, Bonn 1998
- BDE 2000-1** Bundesverband der deutschen Entsorgungswirtschaft e.V.: Internetseite des BDE, URL: <http://www.bde.org>
- BDE 2000-2** Bundesverband der deutschen Entsorgungswirtschaft e.V.: Tarifverträge private Entsorgungswirtschaft, Eigenverlag, Berlin 2000
- Behrens 1998** Behrens, F., von Maydell, O.: Analyse der Kostenstruktur der kommunalen Entsorgung. Texte-Veröffentlichung 32/98 des Umweltbundesamtes, Berlin 1998
- Bilitewski 1994** Bilitewski, B., Härdtle, G., Marek, K.: Abfallwirtschaft - Eine Einführung. Berlin: Springer Verlag, 1994
- Bilitewski 2000** Bilitewski, B., Härdtle, G., Marek, K.: Abfallwirtschaft - Handbuch für Praxis und Lehre. Berlin: Springer Verlag, 2000
- Bloemhof-Ruwaard 1996** Bloemhof-Ruwaard, J., M. Salomon, and L. Van Wasenhove: The Capacitated Distribution and Waste Disposal Problem. European Journal of Operational Research 88, S. 490-503, Berlin: Springer Verlag, 1996
- Braun/ Kolb 1995** Braun, H. und Kolb, G.: LKW - Ein Lehrbuch und Nachschlagewerk. Bonn: Kirschbaum Verlag, 1995
- Bundeskartellamt 2000** Tätigkeitsberichte des Bundeskartellamtes. 1992-2000. Deutscher Bundestag, Drucksache, 1992-2000
- DB Research 2000** Frank, H.-J.: Sonderbericht "Perspektiven der Entsorgungswirtschaft. Frankfurt am Main: Deutsche Bank Research, Februar 2000
- DIN 6628** DIN 6628, Mülleimer für staubfreie Leerung, Norm zurückgezogen
- DIN 6629** DIN 6629, Mülltonnen für staubfreie Leerung, Norm zurückgezogen

- DIN 30737** DIN 30737, 05.89: Müllgroßbehälter - Fahrbare Umleerbehälter mit Klappdeckel, 2,5m³ und 5m³
- DIN 30738** DIN 30738, 05.89: Müllgroßbehälter - Fahrbare Umleerbehälter mit Schiebedeckel, 2,5m³ und 4,5m³
- DIN 30760** DIN 30760, 12.01: Fahrbare Abfallsammelbehälter - Abfallsammelbehälter mit 2 Rädern und einem Volumen von 80 l bis 360 l für Diamondschüttungen
- DIN-EN 840** DIN-EN 840-1 bis 4, 03.97: Fahrbare Abfallsammelbehälter
- DIN-EN 13592** DIN-EN 13592, 08.99: Kunststoffsäcke für Abfallsammlung
- Doedens 1995** Doedens, H., Kettern, J. T.: Verursachergerechte Abwasser- und Abfallgebühren - Anspruch und Wirklichkeit. Berlin: Erich Schmidt Verlag, 1995
- Eberle 2000** Eberle D./ Muggli u.a.: Deutsch-schweizerisches Handbuch der Planungsbegriffe. Verlag der ARL, Hannover - Bern 2000
- Edelhoff 1996** Edelhoff Firmenschrift: PACKER I, Sammelfahrzeug für Abfälle und Altstoffe aus Diamond-Umleerbehältern, 1996
- Faun 2000** Homepage der Firma Faun Umwelttechnik GmbH & Co: URL: <http://www.faun.com>
- Gallenkemper 1977** Gallenkemper, B.: Vergleichende Untersuchungen zur Müllabfuhr, Heft 44. Hannover: Arbeitskreis Wasser, Abwasser und Abfall e.V. 1977
- Gallenkemper 1985** Gallenkemper, B.: Behälterwahl für die Sammlung von Hausmüll (KZ. 2565). Kumpf/ Maas/ Straub: Handbuch für Müll und Abfall. Berlin: Erich Schmidt Verlag 1985
- Haase 2003** Haase, H.: Vorlesungsskript zur Vorlesung "Entsorgungslogistik", SS 2003, Lehrstuhl für Logistik, Universität Magdeburg
- Habeck-Tropfke 1985** Habeck-Tropfke, L., Habeck-Tropfke, H.-H.: Müll und Abfalltechnik. Düsseldorf: Werner Verlag, 1985

- Havlicek 1973** Havlicek, D.: Die Preisbildung im gewerblichen Güternahverkehr auf der Straße, Schriftenreihe des Institutes für Industrie- und Verkehrspolitik der Universität Bonn, Band 26, 1973
- Hill oJ** Hill, I.: Was kostet ein LKW pro Tag und Kilometer im Güternahverkehr?, Düsseldorf, o.J.
- Hofmann 2000** Hofmann, Steffen: Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen in der Abfallwirtschaft. In: Tagungsbericht Nr. 13, Siedlungsabfallwirtschaft 2000, Magdeburg
- IQ 1999** Institut für Qualitätssicherung, Prof.-Dr.-Ing. G. Redeker, Universität Hannover: Vorlesungsskript "Ganzheitliches Qualitätsmanagement" WS 1999/2000
- Jacob 1996** Jacob, E.: KECIS - ein kostenorientiertes Entscheidungs- und Controllingssystem im Speditionswesen, Aachen 1996
- Kemper 2003** Kemper, B.: In: BDE-Info Nr. 12/2003. Informationsschrift des Bundesverbandes der deutschen Entsorgungswirtschaft, Berlin: Eigenverlag, 2003
- Kilger 1993** Kilger, W.: Flexible Plankosten- und Deckungsbeitragsrechnung, 10. Auflage, bearbeitet durch K. Vikas, Gabler Verlag, Wiesbaden 1993
- Kilger 1987** Kilger, W.: Einführung in die Kostenrechnung, 3. Auflage, Gabler Verlag, Wiesbaden 1987
- Kirchhoff 1997** Kirchhoff, Johannes F.: Leistungswirtschaftliche Beurteilung von Konzepten der Entsorgungslogistik. Frankfurt am Main: Peter Lang GmbH, Europäischer Verlag der Wissenschaften, 1997
- Medwedeff 2000** Medwedeff, A.: GIS-unterstützte Tourenplanung in der Abfallwirtschaft am Beispiel Wiens. Diplomarbeit Universität Wien, 2000
- Müller-Merbach 1970** Müller-Merbach, H.: Optimale Reihenfolgen. Berlin, Springer-Verlag, 1970
- Müller-Merbach 1973** Müller-Merbach, H.: Operations research : Methoden u. Modelle d. Optimalplanung. München, Vahlen-Verlag, 1973

- Neesen 1940** Neesen, F.: Gestaltung und Wirtschaftlichkeit der Land-, Wasser- und Luftfahrzeuge, Erstes Buch: Der Einfluss der Geschwindigkeit auf die Gestaltung und Wirtschaftlichkeit der Land-, Wasser- und Luftfahrzeuge, Jena 1940
- Neumann 1993** Neumann, K., Morlock, M.: Operations Research. München: Hanser Verlag, 1993
- Nippel 1995** Nippel, H.: Qualitätsmanagement in der Logistik. Wiesbaden: Dt. Universitäts-Verlag, 1995, S. 83 - 87
- Mikro 1998** Mikrozensus-Zusatzerhebung 1998 - Wohnsituation der Haushalte, Heft 2 Wohnsituation von Haushalten und Familien, Statistisches Bundesamt, Metzler-Poeschel-Verlag, Stuttgart 2000
- Moyer 1945** Moyer, R. A.: Tire wear and tire failures on various road surfaces, Public Road Administration, Washington D.C. 1943
- Paessens 1981** Paessens, H.: Tourenplanung bei der regionalen Haumüllentsorgung, Schriftenreihe des Institutes für Siedlungswasserwirtschaft der Universität Karlsruhe, Band 26, Dissertation 1981
- Pöpel 1968** Pöpel, F., Shin, K. C.: Über Müllsammel- und Transportkosten unterschiedlich dicht besiedelter Gebiete. In: Stuttgarter Berichte zur Siedlungswasserwirtschaft, Band 38, München 1968
- Queißner 1978** Queißner, E.: Kostentheoretische Grundlagen und Entscheidungsmodelle zur Gütertransportplanung, Frankfurt/ Main 1978
- Roberts 1968** Roberts, P. O.; Kresge, D. T.; Meyer, J. R.: An analysis of investment alternatives in the Colombian Transport Systems, Cambridge, Mass. 1968
- Saal 1950** Saal, C.: Time and Gasoline Consumption in Motor Truck Operations, Highway Research Bulletin 9 A. Washington 1950
- Schneider 1996** Schneider, D., Becker, T., Lehrke, G.: Leistungssteigerungsmöglichkeiten bei kommunalen Entsorgungsaufgaben durch optimale Tourenplanung. In: Kommunalwirtschaft, Heft 3/ 1996, S. 108-113
- Schöpke 1970** Schöpke, M.: Die Selbstkosten deutscher Nutzfahrzeuge, Ausgabe 1969/70.

- Schweitzer 1995** Schweitzer, A.: Untersuchungen von Logistikkonzepten in der Siedlungsabfallwirtschaft und Entwurf eines neuen integrierten Logistiksystems. Dissertation Universität Berlin 1995
- StaBu 2002** Homepage des Statistischen Bundesamtes.
URL:<http://www-zr.destatis.de/def/def0489.htm>
- Tabasaran 1994** Tabasaran, O.: Abfallwirtschaft, Abfalltechnik, Siedlungsabfälle. Berlin: Ernst Verlag, 1994
- VDI 3633** VDI 3633, Ausgabe 12.95 Blatt 3: Simulation von Logistik-, Materialfluß- und Produktionssystemen - Experimentplanung und Auswertung, 1995
- VKS 1995** Verband Kommunale Abfallwirtschaft und Stadtreinigung e.V. (VKS): Leistungsdaten in der Abfallwirtschaft. In: VKS-Informationsschrift 25, Köln 1995
- VKS 2000** Verband Kommunale Abfallwirtschaft und Stadtreinigung e.V. (VKS): VKS-Betriebsdatenauswertung 2000. In: VKS-Informationsschrift 48, Köln 2000
- Warnecke 1993** Warnecke, H. J., Bullinger, H.-J., Hichert, R., Voegele, A.: Kostenrechnung für Ingenieure. 4. Auflage, S. 39, Hanser Verlag, München, 1993
- Wehking 1991** Wehking, K.-H., Rinschede, A.: Entsorgungslogistik I - Grundlagen, Stand der Technik. Berlin: Jünemann, R. (Hrsg.), 1991
- Wehking 1996** Wehking, K.-H.: Entsorgungslogistik als wesentlicher Bestandteil der zukünftigen Kreislaufwirtschaft. In: UmweltWirtschaftsForum, Heft 13/ 1996, S. 20-25
- Wehking 2003** Wehking, K.-H.: Vorlesungsskript zur Vorlesung "Fördertechnik für die Entsorgung", SS 2003
- Wehner 1964** Wehner, B.: Die Kraftfahrzeug-Betriebskosten in Abhängigkeit von den Straßen- und Verkehrsbedingungen, Berlin-München 1964
- Weuthen 1983** Weuthen, H.-K.: Tourenplanung - Lösungsverfahren für Mehrdepotprobleme. Universität Karlsruhe, Eigenverlag, Dissertation 1983

9 Anhang

Abbildungsverzeichnis

Bild A - 1:	Übersichtskarte der städtischen Modellregion	A-10
Bild A - 2:	Übersichtskarte der ländlichen Modellregion	A-11
Bild A - 3:	Variation der Fahrzeugversicherung und -steuer	A-16
Bild A - 4:	Variation der Kosten für regelmäßige Untersuchungen und Fahrzeugpflege	A-17
Bild A - 5:	Variation des Reifenverschleißes und der Reifenkosten pro Stück ..	A-17
Bild A - 6:	Variation der Kosten für Öl und Schmierstoffe als Anteil der Treibstoffkosten	A-18
Bild A - 7:	Variation der Kommunikationskosten und Straßenbenutzungsgebühr	A-18
Bild A - 8:	Variation der Abschreibungsdauer und des kalkulatorischen Zinssatzes für Behälter	A-19
Bild A - 9:	Variation der Verwaltungskosten (Standortkosten, Personalkosten Disposition und Kosten für Umschlagplätze).....	A-19
Bild A - 10:	Variation der Umschlagdauer	A-20
Bild A - 11:	Variation der Behälterdichte.....	A-20
Bild A - 12:	Beispiel für grafische Darstellung der Tourenverläufe in SOKRATES.....	A-23
Bild A - 13:	Pareto-Analyse aller Einflussparameter für die städtische Modellregion	A-24
Bild A - 14:	Pareto-Analyse aller Einflussparameter für die ländliche Modellregion	A-25

Tabellenverzeichnis

Tab: A 1:	Fahrzeugdaten, -kosten für die städtische Modellregion.....	A-12
Tab: A 2:	Personaldaten, -kosten für die städtische Modellregion.....	A-12
Tab: A 3:	Behälterdaten für die städtische Modellregion	A-13
Tab: A 4:	Behälterkosten für die städtische Modellregion.....	A-13
Tab: A 5:	Verwaltungskosten für die städtische Modellregion	A-13

Tab: A 6: Siedlungsstrukturspezifische Daten für die städtische Modellregion.....	A-13
Tab: A 7: Angaben Umschlagsdauer und Durchschnittsgeschwindigkeit für die städtische Modellregion	A-13
Tab: A 8: Bereitstellquote u. Auslastungsgrad der Zuladung für die städtische Modellregion.....	A-13
Tab: A 9: Angaben Fahrzeugdaten, -kosten für die ländliche Modellregion	A-14
Tab: A 10: Personaldaten, -kosten für die ländliche Modellregion.....	A-14
Tab: A 11: Behälterdaten für die ländliche Modellregion	A-15
Tab: A 12: Behälterkosten für die ländliche Modellregion.....	A-15
Tab: A 13: Verwaltungskosten für die ländliche Modellregion	A-15
Tab: A 14: Siedlungsstrukturspezifische Daten für die ländliche Modellregion.....	A-15
Tab: A 15: Angaben Umschlagsdauer und Durchschnittsgeschwindigkeit für die ländliche Modellregion	A-16
Tab: A 16: Bereitstellquote u. Auslastungsgrad der Zuladung für die ländliche Modellregion	A-16
Tab: A 17: In der DIN-EN 840 genormte Müllgroßbehälter.....	A-21
Tab: A 18: In der DIN 30737 und DIN 30738 genormte Müllgroßbehälter.....	A-22
Tab: A 19: In der DIN 30760 genormte Müllgroßbehälter.....	A-22

A Formelzeichen und Indizes

Zeichen	Einheit	Bedeutung
a	-	Anzahl der Anhänger
An _{B_N}	-	Anteil der neuaufzustellender Behälter am Gesamtbestand der Behälter gleicher Größe und gleichen Typs inkl. Ersatz
An _{B_Pool}	-	Anteil der neuaufgestellten Behälter infolge von Tausch, Ersatz oder Neuaufstellung aus dem Behälterpool
An _{B_Re_St}	-	Anteil der am Standort des Entsorgungsunternehmens instandzusetzenden Behälter am Gesamtbestand der Behälter gleicher Größe und gleichen Typs
An _{B_Re_vO}	-	Anteil der Vor-Ort instandzusetzenden Behälter am Gesamtbestand der Behälter gleicher Größe und gleichen Typs
An _{B_T}	-	Anteil der zu tauschenden Behälter am Gesamtbestand der Behälter gleicher Größe und gleichen Typs

$An_{Fz_Sch_Kr}$	-	Anteil der Kosten für Öl, Schmiermittel etc. eines Fahrzeuges an Kraftstoffkosten
Anz_{BF}	-	Anzahl der Betriebsstellen und Fuhrparkstandorte im betrachteten Entsorgungsgebiet
Anz_{Fa}	-	Anzahl der zu beschäftigenden Fahrer
Anz_{La}	-	Anzahl der zu beschäftigenden Lader
Anz_{Re_Anh}	-	Anzahl der Reifen eines Anhängers
Anz_{Re_Fz}	-	Anzahl der Reifen eines Fahrzeuges
Anz_{Um}	-	Anzahl der Umschlagplätze im betrachteten Entsorgungsgebiet
Anz_{WB_Ts}	-	Anzahl der mit einem Transportsystem gleichzeitig zu transportierenden Wechselbehälter
ASs	-	Anzahl der verschiedenen Fahrzeugsysteme im Fuhrpark
$Az_{eff_d_Ss}$	h	Mittlere effektive tägliche Arbeitszeit für Sammlung und (Primär-)Transport einer Fraktion mit einem Fahrzeugsystem
$Az_{eff_d_Ts}$	h	Für Transportfahrten zur Verfügung stehende effektive tägliche Arbeitszeit
$Az_{Fa_d_reg}$	h	reguläre Arbeitszeit der Fahrer pro Tag
$Az_{Fa_d_Üh}$	h	nach Überstundentarif zu bezahlende Arbeitsstunden der Fahrer pro Tag
$Az_{La_d_reg}$	h	reguläre Arbeitszeit der Lader pro Tag
$Az_{La_d_Üh}$	h	nach Überstundentarif zu bezahlende Arbeitsstunden der Lader pro Tag
b_{Bt}	-	Anzahl der Behälter einer Größe und eines Typs
b_{Bt_d}	-	Anzahl der täglich zu leerenden Behälter einer Größe und eines Typs für eine Fraktion im Entsorgungsgebiet
$b_{Bt_d_Ss}$	-	Anzahl der Behälter einer Größe und eines Typs für eine Fraktion, die von einem definierten Fahrzeugsystem täglich abgeholt werden
$b_{Bt_d_Ss_Fz}$	-	Mit einem Sammelfahrzeug einer Fahrzeugsystems täglich gesammelte Behälter einer bestimmten Fraktion
b_{Bt_Lr}	-	Anzahl der Behälter einer Größe und eines Typs für eine Fraktion und eines bestimmten Leerungsrhythmus ohne Berücksichtigung der Bereitstellquote im Entsorgungsgebiet

$b_{Bt_Lr_mB}$	-	Anzahl der gebührenpflichtigen Behälter einer Größe und eines Typs für eine Fraktion und eines bestimmten Leerungsrhythmus im Entsorgungsgebiet, d.h. unter Berücksichtigung der Bereitstellungsquote
B_{Bt_Vol}	l	Nenn-Volumen der Behältergröße bzw. des Behältertyps
Bq_{Bt_Lr}	-	Bereitstellungsquote einer Behältergröße und -typs nach Fraktion und Leerungsrhythmus
Bs_{Ss_Fz}	-	fraktionsspezifische Lader-Besatzungsstärke eines Fahrzeuges eines bestimmten Sammel-Fahrzeugsystems
$B_{Vol_Ss_m}$	l	Mittleres Nenn-Volumen der mit einem Fahrzeugsystem zu sammelnden Behälter einer Fraktion
Et_{a_Bru}	d	Brutto-Einsatztage eines Mitarbeiters im Jahr bzw. Anzahl der Tage an denen die Sammlung durchgeführt wird
$Et_{a_Net_Fa}$	d	Netto-Arbeitstage der Fahrer pro Jahr, d.h. unter Berücksichtigung des Urlaubes, Krankheitstagen etc.
$Et_{a_Net_La}$	d	Netto-Arbeitstage der Lader pro Jahr, d.h. unter Berücksichtigung des Urlaubes, Krankheitstagen etc.
f	-	Anzahl der Fahrzeuge im Fuhrpark
f_d	-	Anzahl der täglich durchschnittlich eingesetzten Fahrzeuge
f_{Sam}	-	Anzahl der Sammelfahrzeuge im Fuhrpark
f_{Sam_d}	-	Anzahl der täglich eingesetzten Sammelfahrzeuge
$f_{Sam_d_Ss}$	-	Anzahl der täglich einzusetzenden Sammelfahrzeuge eines Fahrzeugsystems für eine bestimmte Fraktion
f_{Sam_Ws}	-	Anzahl der eingesetzten unterschiedlichen Fahrzeugsysteme mit Wechselaufbau
f_{Trans}	-	Anzahl der Transportfahrzeuge im Fuhrpark
f_{Trans_d}	-	Anzahl der täglich eingesetzten Transportfahrzeuge
$\overline{Fu_Se_1}$	km	Fahrstrecke vom Fuhrparkstandort zum Umschlagplatz (Senke 1)
$\overline{Fu_Sr}_{Ss}$	km	Durchschnittliche Fahrstrecke vom Fuhrparkstandort zum Sammelrevier für ein bestimmtes Fahrzeugsystem zur Sammlung einer definierten Fraktion
$FZ_{AA_d_Ss}$	h	Mittlere tägliche Fahrzeit für An- und Abfahrt zu Arbeitsbeginn bzw. -ende für ein bestimmtes Fahrzeugsystem zur Sammlung einer definierten Fraktion

FZ _{Zus_d_Ss}	h	Tägliche Fahrzeit für Zusatzkilometer für ein bestimmtes Fahrzeugsystem zur Sammlung einer definierten Fraktion
g	-	Anzahl der eingesetzten verschiedenen Behältergrößen bzw. -typen
g _{Lr_Ss}	-	Anzahl der mit einem Fahrzeugsystem zu sammelnden verschiedenen Behältergrößen für eine bestimmte Fraktion und eines bestimmten Leerungsrhythmus
g _{Ss}	-	Anzahl der mit einem Fahrzeugsystem zu sammelnden verschiedenen Behältergrößen für eine bestimmte Fraktion
K _{Anh_Inv}	€	Investitionskosten - Anhänger
K _{Anh_Re}	€	Reifenkosten eines Anhängers pro Jahr
K _{apWB_d_Ts}	-	Mit einem Transportfahrzeug eines Transportsystems täglich zu transportierende Wechselbehälter
K _B	€	Kosten für Gestellung und Unterhalt der Sammelbehälter pro Jahr
K _{B_Inv}	€	Anschaffungskosten eines Behälters
K _{B_Inv_B}	€	Anschaffungskosten eines Behälters ohne Ident-System
K _{B_Inv_I}	€	Anschaffungskosten des Ident-Systems inkl. Montage
K _{B_Kap}	€	Kapitalkosten durch Gestellung der Sammelbehälter pro Jahr
K _{B_N}	€	Kosten für Behälterneuaufstellungen bzw. -ersatz pro Jahr
K _{B_Re_St}	€	Kosten für die Instandsetzung eines Behälters am Standort des Entsorgungsunternehmens pro Jahr
K _{B_Re_vO}	€	Kosten für die Vor-Ort-Instandsetzung eines Behälters pro Jahr
K _{B_T}	€	Kosten für Behältertausch pro Jahr
K _{B_U}	€	Kosten für den Unterhalt der Sammelbehälter pro Jahr
K _{Fu}	€	Kosten für Betrieb und Wartung des Fuhrparks pro Jahr
K _{Fu_Fix}	€	Fixkosten des Fuhrparks pro Jahr
K _{Fu_Kap}	€	Kapitalkosten des Fuhrparks pro Jahr
K _{Fu_Kom}	€	Kommunikationskosten durch Betrieb des Fuhrparks pro Jahr
K _{Fu_Kr}	€	Kraftstoffkosten des Fuhrparks pro Jahr
K _{Fu_Pf}	€	Kosten für Fahrzeugpflege des Fuhrparks pro Jahr
K _{Fu_Re}	€	Kosten für Reifen des Fuhrparks pro Jahr
K _{Fu_Sb}	€	Kosten für Straßenbenutzung des Fuhrparks pro Jahr
K _{Fu_Sch}	€	Kosten für Schmiermittel, Öl etc. des Fuhrparks pro Jahr

K _{Fu_St}	€	Kosten für Fahrzeugsteuern des Fuhrparks pro Jahr
K _{Fu_Un}	€	Kosten für Untersuchungen des Fuhrparks nach StVZO pro Jahr
K _{Fu_Var}	€	Variable Kosten des Fuhrparks pro Jahr
K _{Fu_Ve}	€	Versicherungskosten des Fuhrparks pro Jahr
K _{Fu_We}	€	Werkstattkosten des Fuhrparks pro Jahr
K _{Fz_Auf_Inv}	€	Investitionskosten für Fahrzeugaufbau
K _{Fz_Fg_Inv}	€	Investitionskosten für Fahrzeuggestell bzw. -chassis
K _{Fz_I_Inv}	€	Investitionskosten für System zur Behälteridentifikation
K _{Fz_Inv}	€	Investitionskosten - Fahrzeuge
K _{Fz_Kom}	€	Kommunikationskosten eines Fahrzeuges pro Jahr
K _{Fz_Kr}	€	Kraftstoffkosten eines Fahrzeuges pro Jahr
K _{Fz_Pf}	€	Kosten für Fahrzeugpflege eines Fahrzeuges pro Jahr
K _{Fz_Re}	€	Reifenkosten eines Fahrzeuges pro Jahr
K _{Fz_S_Inv}	€	Investitionskosten für Schüttung
K _{Fz_Sb}	€	Kosten für Straßenbenutzung eines Fahrzeuges pro Jahr
K _{Fz_Sch}	€	Kosten für Öl, Schmiermittel etc. eines Fahrzeuges pro Jahr
K _{Fz_St}	€	Steuersatz eines Fahrzeuges pro Jahr
K _{Fz_Un}	€	Kosten für Untersuchungen eines Fahrzeuges nach StVZO pro Jahr
K _{Fz_V_Inv}	€	Investitionskosten für System zur Behälteridentifikation und -verwiegung
K _{Fz_Ve}	€	Versicherungsprämie eines Fahrzeuges pro Jahr
K _{Fz_We}	€	Werkstattkosten eines Fahrzeuges pro Jahr
K _{LogGs}	€	Kosten des logistischen Gesamtsystems
K _{Pers}	€	Personalkosten für das Sammelpersonal pro Jahr
K _{Pers_Fa}	€	Personalkosten für die Fahrer pro Jahr
K _{Pers_La}	€	Personalkosten für das Ladepersonal pro Jahr
K _{Ver}	€	Verwaltungskosten pro Jahr
K _{Ver_BF}	€	Anteilige Kosten für Betrieb und Unterhalt der Betriebsstelle(n) bzw. Fuhrparkstandort(e) pro Jahr
K _{Ver_Um}	€	Anteilige Kosten für Betrieb und Unterhalt der Umschlagplätze pro Jahr
K _{W_Inv}	€	Investitionskosten - Wechselbehälter
La _{Anh}	km	Laufleistung eines Anhängers pro Jahr

$L_{\text{Anh_Re}}$	km	Verschleiß-Laufleistung eines Anhängerreifens
L_{Fz}	km	Laufleistung eines Fahrzeuges pro Jahr
$L_{\text{Fz_Re}}$	km	Verschleiß-Laufleistung eines Fahrzeugreifens
$L_{\text{Anz_Lr}}$	-	Anzahl der jährlichen Leerungen eines Leerungsrhythmus
$L_{\text{Fa_a}}$	€	Lohnkosten eines Fahrers pro Jahr inkl. aller Neben- und Zusatzkosten sowie Zuschläge für Samstagsarbeit
$L_{\text{Fa_h}}$	€	Lohnkosten eines Fahrers pro Arbeitsstunde
$L_{\text{Fa_Üh}}$	€	Lohnkosten eines Fahrers pro Überstunde
$L_{\text{La_a}}$	€	Lohnkosten eines Laders pro Jahr inkl. aller Neben- und Zusatzkosten sowie Zuschläge für Samstagsarbeit
$L_{\text{La_h}}$	€	Lohnkosten eines Laders pro Arbeitsstunde
$L_{\text{La_Üh}}$	€	Lohnkosten eines Laders pro Überstunde
m	-	Anzahl der vom Unternehmen abgefahrenen Fraktionen
$P_{\text{Kraftstoff}}$	€	Literpreis des Kraftstoffes
P_{Reifen}	€	Kosten eines Reifens
R_{Fa}	-	Personalreserve Fahrer
R_{Fu}	-	Reserveanteil des Fuhrparks
$R_{\text{Fu_Ss}}$	-	Mittlerer Reserveanteil für Sammelfahrzeuge über alle Sammelfahrzeugsysteme
$R_{\text{Fu_Trans}}$	-	Reserveanteil für Transportfahrzeuge
R_{La}	-	Personalreserve Lader
R_{WB}	-	Reserveanteil der Wechselbehälter
$\overline{Se_1_Fu_{Ss}}$	km	Durchschnittliche Fahrtstrecke von der Senke zum Fuhrparkstandort für ein bestimmtes Fahrzeugsystem zur Sammlung einer definierten Fraktion
$\overline{Se_1_Se_2}$	km	Fahrtstrecke vom Umschlagplatz (Senke 1) zur Entsorgungsanlage (Senke 2)
SL	$\frac{\text{Gebinde}}{\text{Gebinde}}$	Sammelleistung
SL_{Ss}	h	Sammelleistung eines Fahrzeugsystems in Abhängigkeit der Fraktion
$\overline{Sr_Se_1_{Ss}}$	km	Durchschnittliche Fahrtstrecke vom Sammelrevier zur Senke 1 für ein bestimmtes Fahrzeugsystem zur Sammlung einer definierten Fraktion
$t_{\text{Anh_A}}$	a	Abschreibungsdauer eines Anhängers
$t_{\text{B_A}}$	a	Abschreibungsdauer der Behälter

T_{Bt_Lr}	t	Fraktionsspezifische Jahrestonnage eines Behältertyps einer bestimmten Größe und eines bestimmten Leerungsrhythmus
T_{Fr}	t	Jahrestonnage einer Fraktion im Entsorgungsgebiet
t_{Fz_A}	a	Abschreibungsdauer eines Fahrzeuges
$t_{Rüst}$	h	Zeitlicher Aufwand für die Rüstzeit eines Fahrzeuges
t_{Ss_Ent}	h	Zeit für die Entsorgung, d.h. von Ein- bis Ausfahrt der Entsorgungsanlage bzw. der Umschlagplatzes
t_{Tr_Ent}	h	Zeit zwischen Ein- und Ausfahrt in bzw. aus der Entsorgungsanlage in Abhängigkeit von der Anzahl der zu entleerenden Wechselbehälter
t_{Tr_ges}	h	Gesamtzeit für einen Transportvorgang von Aufnahme der vollen bis Abstellen der leeren Wechselbehälter am Umschlagplatz
t_{Tr_Um}	h	Zeit für das Auf- oder Abladen eines Wechselbehälters mit einem Transportsystem
t_{W_A}	a	Abschreibungsdauer eines Wechselbehälters
u_{Ss}	-	Anzahl der eingesetzten unterschiedlichen Sammelfahrzeug-Fahrzeugsysteme
$Üz$	-	Überstundenzuschlag
V_{Anh_E}	€	Verkaufserlös des Anhängers nach Ende der Abschreibungsdauer
V_{B_M}	€	Erlöse durch Vermietung der Sammelbehälter pro Jahr
$V_{B_M_e}$	€	Mieterlös eines einzelnen Behälters pro Jahr
V_{B_V}	€	Verkaufserlöse der Behälter einer Größe und eines Typs nach Ende der Abschreibungsdauer
Ver_{Fz_spez}	l/km	Spezifischer Kraftstoffverbrauch eines Fahrzeuges
V_{Fz_E}	€	Verkaufserlös des Fahrzeuges nach Ende der Abschreibungsdauer
v_{m_Ss}	km/h	Durchschnittsgeschwindigkeit für Verbindungsfahrten für ein bestimmtes Fahrzeugsystem zur Sammlung einer definierten Fraktion
$v_{m_Ts_1}$	km/h	Durchschnittsgeschwindigkeit eines Transportsystems auf der Strecke vom Fuhrparkstandort zum Umschlagplatz (Senke 1)

$V_{m_Ts_2}$	km/h	Durchschnittsgeschwindigkeit eines Transportsystems auf der Strecke vom Umschlagplatz (Senke 1) zur Entsorgungsanlage (Senke 2)
V_{W_E}	€	Verkaufserlös des Wechselbehälters nach Ende der Abschreibungsdauer
w	-	Anzahl der Wechselbehälter
w_d	-	Anzahl der täglich im Sekundärtransport zu transportierenden Wechselbehälter
Z_k	-	kalkulatorischer Zinssatz
Zul_{Ss}	t	Fraktionsabhängige maximale Zuladung eines Sammel-Fahrzeugsystems
Zul_{max_Ss}	t	Maximal zulässige Zuladung für ein Sammelfahrzeug eines bestimmten Fahrzeugsystems
\overline{Zus}_{Ss}	km	Durchschnittliche zusätzliche tägliche Fahrstrecken eines Fahrzeuges zur Sammlung einer Fraktion
ρ_{Bt_Lr}	kg/l	Spez. Füllgewicht der Behältergröße bzw. des Behältertyps
λ_{Bt_Lr}	-	Anteil der Behältergröße und -typs mit gleichem Leerungsrhythmus am Gesamtbestand der Behälter
λ_{Bt_Ss}	-	Anteil des Gesamtbestandes einer Behältergröße und -typs nach Fraktion, die von einem definierten Fahrzeugsystem abgefahren werden
ρ_{Ss_m}	kg/l	Mittleres spezifisches Füllgewicht der mit einem Fahrzeugsystem zu sammelnden Behälter einer Fraktion
η_{Ss}	-	Ausnutzungsgrad der maximal zulässigen Zuladung für ein Sammelfahrzeug eines bestimmten Fahrzeugsystems

Verwendete Zähler

i	Fahrzeugzähler
j	Anhängierzähler
k	Wechselbehälterzähler
n	Behälterzähler
t	Behältergrößen bzw. -typenzähler
x	Betriebsstellen- bzw. Fuhrparkstandortzähler
y	Umschlagplatzzähler

B Übersichtskarten der Modellregionen

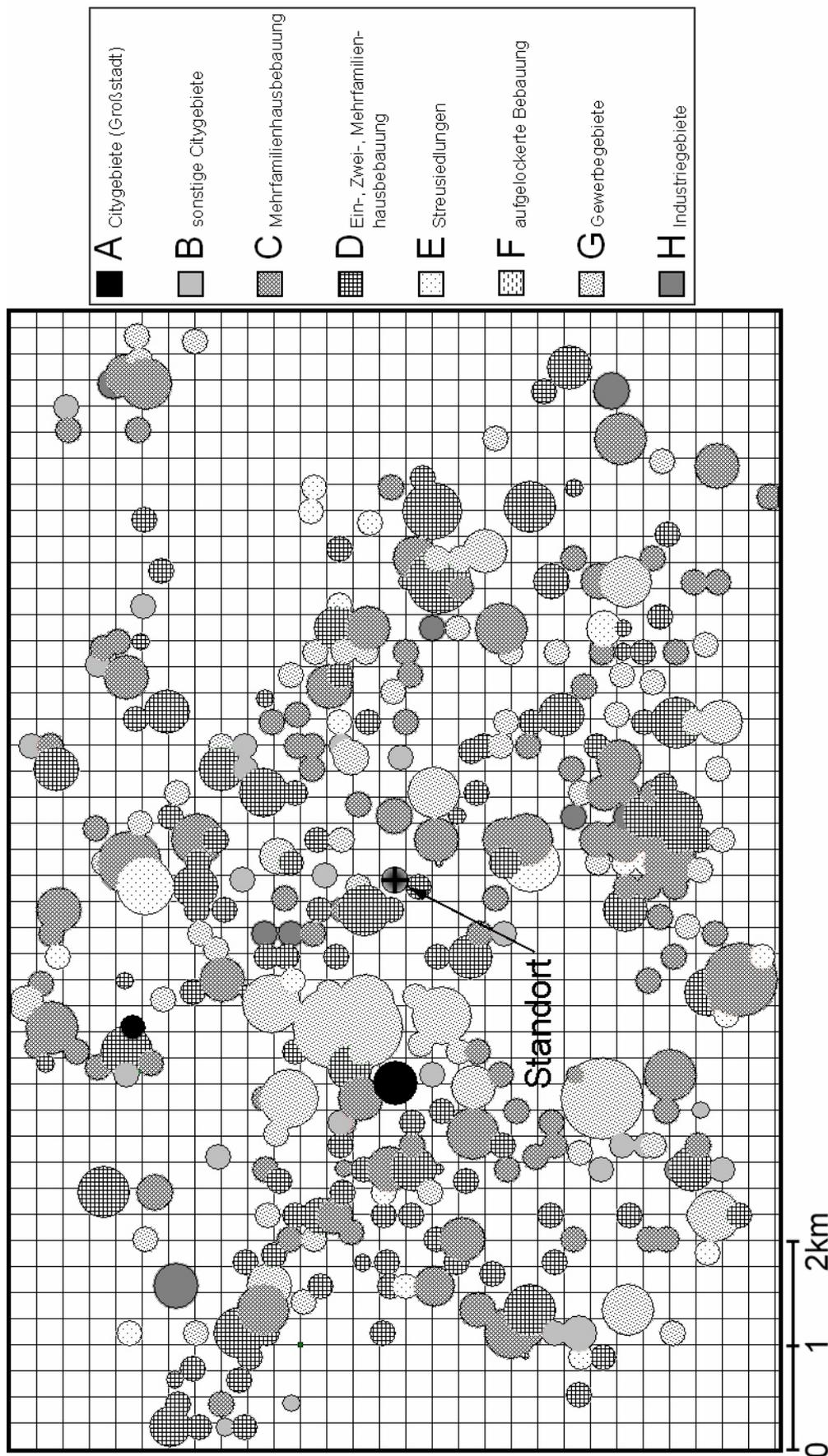


Bild A - 1: Übersichtskarte der städtischen Modellregion

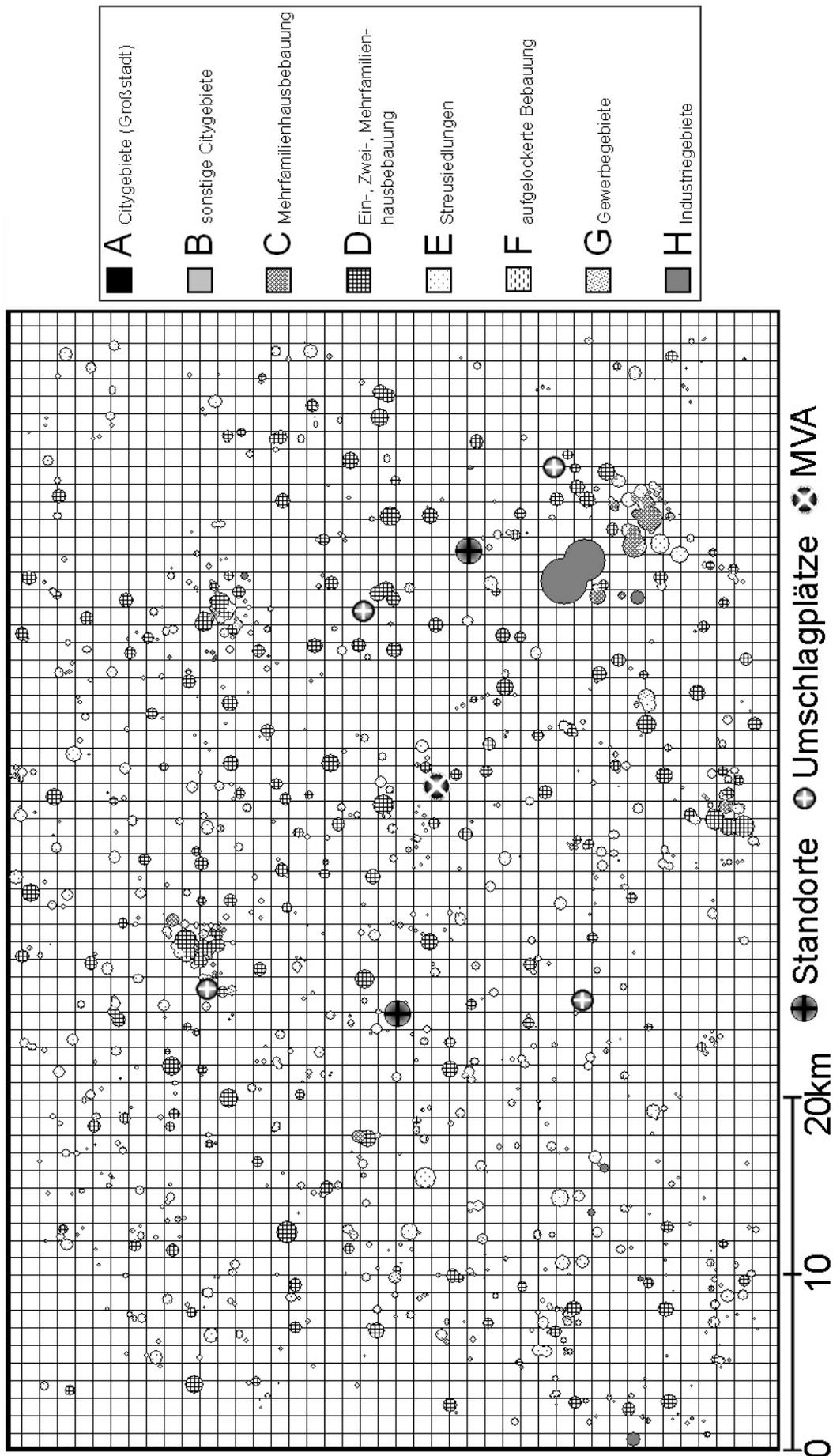


Bild A - 2: Übersichtskarte der ländlichen Modellregion

C Ausgangswerte für Kostenberechnung der städtischen Modellregion

		Hecklader, 3-achser, Festaufbau
	Fahrzeugdaten/ -kosten	
1	Kosten Fahrgestell	78.000 €
2	Kosten Aufbau	45.000 €
3	Kosten Schüttung	18.000 €
4	Kosten System Behälter-Identifikation	13.000 €
5	Ident-System im Einsatz (j/n)	nein
6	Kosten System Behälter-Ident.+Verwiegung	38.000 €
7	Ident-System+Verwiegung im Einsatz (j/n)	nein
8	Kosten Anhänger	-
9	Abschreibungsdauer Anhänger in Jahrem	-
10	Kosten Wechselbehälter (wenn vorhanden)	0 €
12	Verkaufserlöse nach Nutzungsdauer	10.000 €
13	Abschreibungsdauer in Jahren	8
14	Kalkulatorischer Zinssatz	6%
15	Kosten Werkstatt inkl. Ersatzteile	10.000 €/ a
	Info: Entspricht Anteil am Anschaffungspreis	5,21%
16	Kraftstoffverbrauch pro 100 km	55 l
17	Dieselpreis	0,81 €/l
18	Reifenpreis pro Stück	250 €
19	Intervalle Reifenverschleiß (km pro Satz)	25.000 km
20	Reifen je Wechsel	8
21	Kosten Öl, Schmierstoffe (Anteil an Treibstoffkosten)	3%
22	Straßenbenutzungsgebühr pro Jahr	750 €/a
23	Kosten Fahrzeugpflege	100 €/a
24	max. Zuladung (Transportsystem: Anzahl Behälter)	11,5 t
25	Kommunikationskosten (Fz.-Dispo)	250 €/a
26	Anteil Reservefahrzeuge	10,00%
27	Fahrzeugversicherung	2.800 €/a
28	Fahrzeugsteuer	700 €/a
29	Kosten TÜV	400 €/a
30	Besatzungsstärke Fahrer	1
31	Besatzungsstärke Lader	2

Tab: A 1: Fahrzeugdaten, -kosten für die städtische Modellregion

	Personalkosten/ -daten	
32	Tarifliche Tagesarbeitszeitstunden	7,70 h
33	Wochenstunde ab der Überstunden bezahlt werden	46
34	Tariflohn pro Monat	1.859,03 €/Mon.
35	+Krankenversicherung [%]	6,80%
36	+Rentenversicherung [%]	9,55%
37	+Arbeitslosenversicherung [%]	3,25%
38	+Pflegeversicherung	0,85%
39	+Berufsgenossenschaftsbeitrag [%]	2,61%
40	+Arbeitskleidung [%]	2,00%
41	+sonst. Personalkosten [%]	1,00%
42	+Vermögenswirksame Leistung [€]	20,00 €/Mon.
43	+Urlaubsgeld [€]	511,29 €/a
	Gesamtkosten pro Jahr	30.732,24 €/a
44	Tarifgruppe Fahrer	Tarif 1
45	Reserveanteil Fahrer in %	15,0%
	Lohnkosten Fahrer pro Tag (inkl. Reserve)	135,41 €/Tag
	Lohnkosten Fahrer pro Jahr (inkl. Reserve)	35.342 €/a
46	Tarifgruppe Lader	Tarif 1
47	Reserveanteil Lader in %	18,0%
	Lohnkosten Lader pro Tag (inkl. Reserve)	138,94 €/Tag
	Lohnkosten Lader pro Jahr (inkl. Reserve)	36.264 €/a
48	Überstundenzuschlag in %	25%
	Kosten Fahrzeugpersonal pro Überstunde	57,34 €/Uh
49	Rüstzeit	0,25 h
	Gesamtkosten Personal pro Einsatztag (inkl. Reserve)	413,30 €/Tag

Tab: A 2: Personaldaten, -kosten für die städtische Modellregion

Behälterdaten	60 l	80 l	120 l	240 l	770 l	1100 l
	MGB	MGB	MGB	MGB	MGB	MGB
Anschaffungspreis MGB	17,64 €	18,92 €	19,30 €	27,61 €	327,23 €	219,86 €
Erlöse durch Behältermiete	2,73 €/ a	2,93 €/ a	2,99 €/ a	4,28 €/ a	50,72 €/ a	34,08 €/ a
Kosten für Austausch eines Behälters (Logistik)	7,67 €	7,67 €	7,67 €	7,67 €	10,74 €	11,76 €
Anteil der Behälter aus Pool (Wiederverwendung)	75%	75%	75%	75%	75%	75%
Gesamtkosten für Austausch, Neuaufstellung, Ersatz	12,08 €	12,40 €	12,49 €	14,57 €	92,54 €	66,72 €
Kosten für vor-Ort-Reparatur eines Behälters	4,09 €	4,09 €	4,09 €	4,09 €	4,09 €	4,09 €
Kosten für Reparatur eines Behälters am Standort	15,85 €	15,85 €	15,85 €	15,85 €	18,92 €	19,94 €
Kalkulatorischer Zins Beh.	6%	6%	6%	6%	6%	6%
Abschreibungsdauer Beh.	8 Jahre	8 Jahre				
Anteil auszutauschende Behälter	2,5% p.a.	2,5% p.a.				
Anteil Reparatur vor Ort	2,0% p.a.	2,0% p.a.				
Anteil Reparatur am Standort	1,0% p.a.	1,0% p.a.				

Tab: A 3: Behälterdaten für die städtische Modellregion

Behälterkosten	60 l	80 l	120 l	240 l	770 l	1100 l	Summe
	MGB	MGB	MGB	MGB	MGB	MGB	
Anzahl Behälter	5.318	5.598	7.836	6.717	1.046	3.571	30.086
Kapitalkosten Behälter pro Jahr	14.540,12 €/ a	16.414,79 €/ a	23.442,93 €/ a	28.745,49 €/ a	53.053,28 €/ a	121.691,12 €/ a	257.887,74 €/ a
Kosten für Behältertausch pro Jahr	3.140,94 €/ a	3.393,79 €/ a	4.787,31 €/ a	5.373,60 €/ a	4.733,15 €/ a	11.650,39 €/ a	33.079,18 €/ a
Kosten vor-Ort-Reparatur	850,88 €/ a	895,68 €/ a	1.253,76 €/ a	1.074,72 €/ a	167,36 €/ a	571,36 €/ a	4.813,76 €/ a
Kosten am-Standort-Reparatur	1.648,58 €/ a	1.735,38 €/ a	2.429,16 €/ a	2.216,61 €/ a	387,02 €/ a	1.392,69 €/ a	9.809,44 €/ a
Zwischensumme Kosten p.a.	17.424,01 €/ a	19.495,24 €/ a	27.773,69 €/ a	33.175,80 €/ a	55.756,75 €/ a	128.652,07 €/ a	282.277,57 €/ a
Erlöse durch Behältermiete pro Jahr	14.540,12 €/ a	16.414,79 €/ a	23.442,93 €/ a	28.745,49 €/ a	53.053,28 €/ a	121.691,12 €/ a	257.887,74 €/ a
Gesamtsumme p.a.	5.640,40 €/ a	6.024,85 €/ a	8.470,23 €/ a	8.664,93 €/ a	5.287,53 €/ a	13.614,44 €/ a	47.702,37 €/ a

Tab: A 4: Behälterkosten für die städtische Modellregion

Verwaltungskosten		
Miete/ Pacht Standort		75.000 €/ a
davon anteilig für Dienstleistung Resabfall-Sammlung		40%
Lohnkosten Disponent		40.000 €/ a
Fahrzeuge pro Disponent		10

Tab: A 5: Verwaltungskosten für die städtische Modellregion

	Siedlungsstrukturtyp							
	A	B	C	D	E	F	G	H
Sammelleistung Hecklader [Beh. pro h]	125	150	165	175	145	0	60	55
mittleres Behältergewicht [t]	0,04332	0,07516	0,05326	0,03942	0,04522	0	0,09386	0,10130
Behälterdichte [Behälter pro km]	50	90	90	100	75	0	30	20

Tab: A 6: Siedlungsstrukturspezifische Daten für die städtische Modellregion

	Zeit für Umschlag	Regiegeschwindigkeit
Hecklader	0,25 h	24 km/h

Tab: A 7: Angaben Umschlagsdauer und Durchschnittsgeschwindigkeit für die städtische Modellregion

Ausnutzungsgrad der zul. Zuladung	100%
Bereitstellquote	98%

Tab: A 8: Bereitstellquote u. Auslastungsgrad der Zuladung für die städtische Modellregion

D Ausgangswerte für die ländliche Modellregion

		Transportfahrzeug	HL, 3-achser, Wechsel	SL, 3-achser, Wechsel
	Fahrzeugdaten/ -kosten			
1	Kosten Fahrgestell	82.000 €	77.000 €	100.000 €
2	Kosten Aufbau	23.000 €	68.000 €	51.000 €
3	Kosten Schüttung	-	in Aufbau	in Aufbau
4	Kosten System Behälter-Identifikation	-	13.000 €	13.000 €
5	Ident-System im Einsatz (i/n)	-	n	n
6	Kosten System Behälter-Ident.+Verwiegung	-	38.000 €	38.000 €
7	Ident-System+Verwiegung im Einsatz (i/n)	-	n	n
8	Kosten Anhänger	23000	-	-
9	Abschreibungsdauer Anhänger in Jahren	12	-	-
10	Kosten Wechselbehälter (wenn vorhanden)	0 €	8.000 €	8.000 €
12	Verkaufserlöse nach Nutzungsdauer	10.000 €	10.000 €	10.000 €
13	Abschreibungsdauer Fahrzeug in Jahren	8	8	8
14	Kalkulatorischer Zinssatz	6%	6%	6%
15	Kosten Werkstatt inkl. Ersatzteile	15.500 €/ a	16.000 €/ a	17.500 €/ a
	Info: Entspricht Anteil am Anschaffungspreis	12,11%	8,16%	8,17%
16	Kraftstoffverbrauch pro 100 km	40 l	50 l	85 l
17	Dieselpreis	0,81 €/l	0,81 €/l	0,81 €/l
18	Reifenpreis pro Stück	250 €	250 €	250 €
19	Intervalle Reifenverschleiß (km pro Satz)	25.000 km	25.000 km	25.000 km
20	Reifen je Wechsel	8	8	8
21	Kosten Öl, Schmierstoffe (Anteil an Treibstoffkosten)	3%	3%	3%
22	Straßenbenutzungsgebühr pro Jahr	750 €/a	750 €/a	750 €/a
23	Kosten Fahrzeugpflege	100 €/a	100 €/a	100 €/a
24	max. Zuladung (Transportsystem: Anzahl Behälter)	2	10,0 t	10,0 t
25	Kommunikationskosten (Fz.-Dispo)	250 €/a	250 €/a	250 €/a
26	Anteil Reservefahrzeuge	10,00%	10,00%	10,00%
27	Fahrzeugversicherung	2.800 €/a	2.800 €/a	2.800 €/a
28	Fahrzeugsteuer	700 €/a	700 €/a	700 €/a
29	Kosten TÜV	400 €/a	400 €/a	400 €/a
30	Besatzungsstärke Fahrer	1	1	1
31	Besatzungsstärke Lader	0	1	0

Tab: A 9: Angaben Fahrzeugdaten, -kosten für die ländliche Modellregion

	Personalkosten/ -daten			
			Tarif 1	Tarif 2
32	Tarifliche Tagesarbeitszeitstunden		7,7	7,7
33	Wochenstunde ab der Überstunden bezahlt werden		46	46
34	Tariflohn pro Monat		1.859,03 €/Mon.	1.913,71 €/Mon.
35	+Krankenversicherung [%]	6,80%	126,41 €/Mon.	6,80%
36	+Rentenversicherung [%]	9,55%	177,54 €/Mon.	9,55%
37	+Arbeitslosenversicherung [%]	3,25%	60,42 €/Mon.	3,25%
38	+Pflegeversicherung	0,85%	15,80 €/Mon.	0,85%
39	+Berufsgenossenschaftsbeitrag [%]	2,61%	48,52 €/Mon.	2,61%
40	+Arbeitskleidung [%]	2,00%	37,18 €/Mon.	2,00%
41	+sonst. Personalkosten [%]	1,00%	18,59 €/Mon.	1,00%
42	+Vermögenswirksame Leistung [€]	20,00 €/Mon.	20,00 €/Mon.	20,00 €/Mon.
43	+Urlaubsgeld [€]	511,29 €/a	511,29 €/Mon.	511,29 €/a
	Gesamtkosten pro Jahr		30.732,24 €/Mon.	31.614,07 €/Mon.
44			Transportfz.	Hecklader
45	Tarifgruppe Fahrer	1	1	2
	Reserveanteil Fahrer in %	15,0%	15,0%	15,0%
	Lohnkosten Fahrer pro Tag (inkl. Reserve)	135,41 €/Tag	135,41 €/Tag	139,30 €/Tag
46	Lohnkosten Fahrer pro Jahr (inkl. Reserve)	35.342 €/a	35.342 €/a	36.356 €/a
47	Tarifgruppe Lader		1	
	Reserveanteil Lader in %		18,0%	
	Lohnkosten Lader pro Tag (inkl. Reserve)		139 €/a	
48	Lohnkosten Lader pro Jahr (inkl. Reserve)		36.264 €/a	
	Überstundenzuschlag in %	25%	25%	25%
49	Kosten Fahrzeugpersonal pro Überstunde	19,11 €/Uh	38,23 €/Uh	19,66 €/Uh
	Rüstzeit	0,25 h	0,25 h	0,25 h
	Gesamtkosten Personal pro Einsatztag (inkl. Rese	135,41 €/Tag	274,35 €/Tag	139,30 €/Tag

Tab: A 10: Personaldaten, -kosten für die ländliche Modellregion

Behälterdaten	80 l	120 l	240 l	1100 l
	MGB	MGB	MGB	MGB
Anschaffungspreis MGB	18,92 €	19,30 €	27,61 €	219,86 €
Erlöse durch Behältermieta	2,93 €/ a	2,99 €/ a	4,28 €/ a	34,08 €/ a
Kosten für Austausch eines Behälters (Logistik)	7,67 €	7,67 €	7,67 €	11,76 €
Anteil der Behälter aus Pool (Wiederverwendung)	75%	75%	75%	75%
Gesamtkosten für Austausch, Neuaufstellung, Ersatz	12,40 €	12,49 €	14,57 €	66,72 €
Kosten für vor-Ort-Reparatur eines Behälters	4,09 €	4,09 €	4,09 €	4,09 €
Kosten für Reparatur eines Behälters am Standort	15,85 €	15,85 €	15,85 €	19,94 €
Kalkulatorischer Zins Beh.	6%	6%	6%	6%
Abschreibungsdauer Beh.	8 Jahre	8 Jahre	8 Jahre	8 Jahre
Anteil auszutauschende Behälter	2,5% p.a.	2,5% p.a.	2,5% p.a.	2,5% p.a.
Anteil Reparatur vor Ort	2,0% p.a.	2,0% p.a.	2,0% p.a.	2,0% p.a.
Anteil Reparatur am Standort	1,0% p.a.	1,0% p.a.	1,0% p.a.	1,0% p.a.

Tab: A 11: Behälterdaten für die ländliche Modellregion

Behälterkosten	80 l MGB	120 l MGB	240 l MGB	1100 l MGB	Summe
Anzahl Behälter	14.676	16.465	2.848	2.519	36.508
Kapitalkosten Behälter pro Jahr	84.166,86 €/ a	96.340,83 €/ a	23.837,76 €/ a	167.891,35 €/ a	372.236,80 €/ a
Kosten für Behältertausch pro Jahr	8.897,33 €/ a	10.059,09 €/ a	2.278,40 €/ a	8.218,24 €/ a	29.453,05 €/ a
Kosten vor-Ort-Reparatur	2.348,16 €/ a	2.634,40 €/ a	455,68 €/ a	403,04 €/ a	5.841,28 €/ a
Kosten am-Standort-Reparatur	4.549,56 €/ a	5.104,15 €/ a	939,84 €/ a	982,41 €/ a	11.575,96 €/ a
Zwischensumme Kosten p.a.	99.961,91 €/ a	114.138,47 €/ a	27.511,68 €/ a	177.495,04 €/ a	419.107,09 €/ a
Erlöse durch Behältermieta pro Jahr	84.166,86 €/ a	96.340,83 €/ a	23.837,76 €/ a	167.891,35 €/ a	-372.236,80 €/ a
Gesamtsumme p.a.	15.795,05 €/ a	17.797,64 €/ a	3.673,92 €/ a	9.603,69 €/ a	46.870,29 €/ a

Tab: A 12: Behälterkosten für die ländliche Modellregion

Verwaltungskosten	
Miete/ Pacht Standorte	50.000 €/ a
davon anteilig für Dienstleistung Resabfall-Sammlung	40%
Kosten Umschlagplatz	5.000 €/ a
davon anteilig für Dienstleistung Resabfall-Sammlung	40%
Lohnkosten Disponent	40.000 €/ a
Fahrzeuge pro Disponent	10

Tab: A 13: Verwaltungskosten für die ländliche Modellregion

	Siedlungsstrukturtyp							
	A	B	C	D	E	F	G	H
Sammelleistung Hecklader [Beh. pro h]	0	90	95	0	0	0	45	42
Sammelleistung Seitenlader [Beh. pro h]	0	0	0	118	118	103	0	0
mittleres Behältergewicht [t]	0,00000	0,05526	0,03899	0,02533	0,03044	0,03148	0,05554	0,05829
Behälterdichte [Behälter pro km]	0	60	60	70	35	30	25	15

Tab: A 14: Siedlungsstrukturspezifische Daten für die ländliche Modellregion

	Zeit für Umschlag	Regiegeschwindigkeit
Hecklader	0,25 h	40 km/h
Seitenlader	0,20 h	40 km/h
Abrollkipper	0,15 h pro W.-Beh.	50 km/h

Tab: A 15:Angaben Umschlagsdauer und Durchschnittsgeschwindigkeit für die ländliche Modellregion

Ausnutzungsgrad der zul. Zuladung	100%
Bereitstellquote	98%

Tab: A 16: Bereitstellquote u. Auslastungsgrad der Zuladung für die ländliche Modellregion

E Sensitivitäten weiterer Eingangsparameter

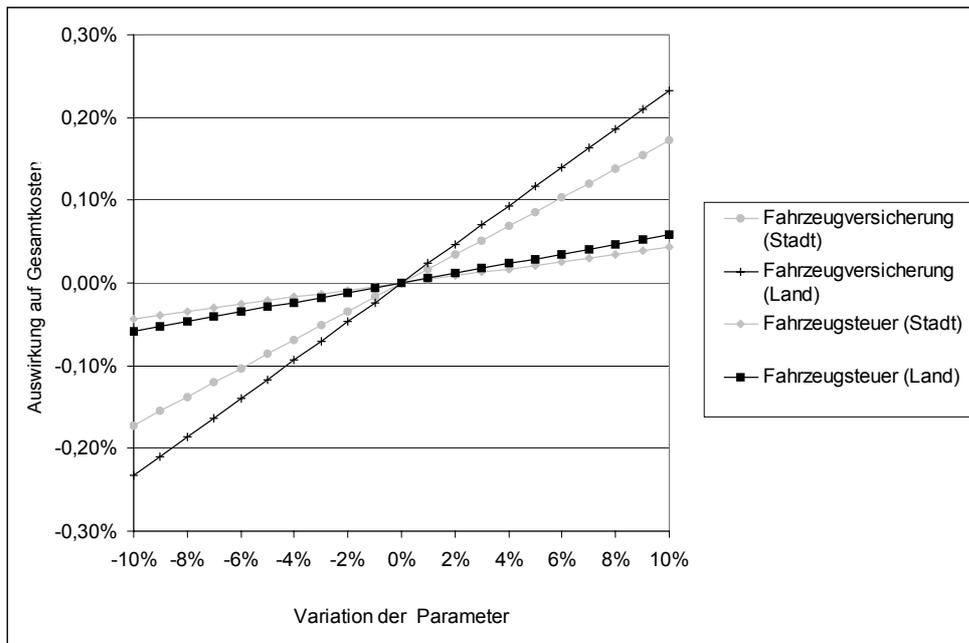


Bild A - 3: Variation der Fahrzeugversicherung und -steuer

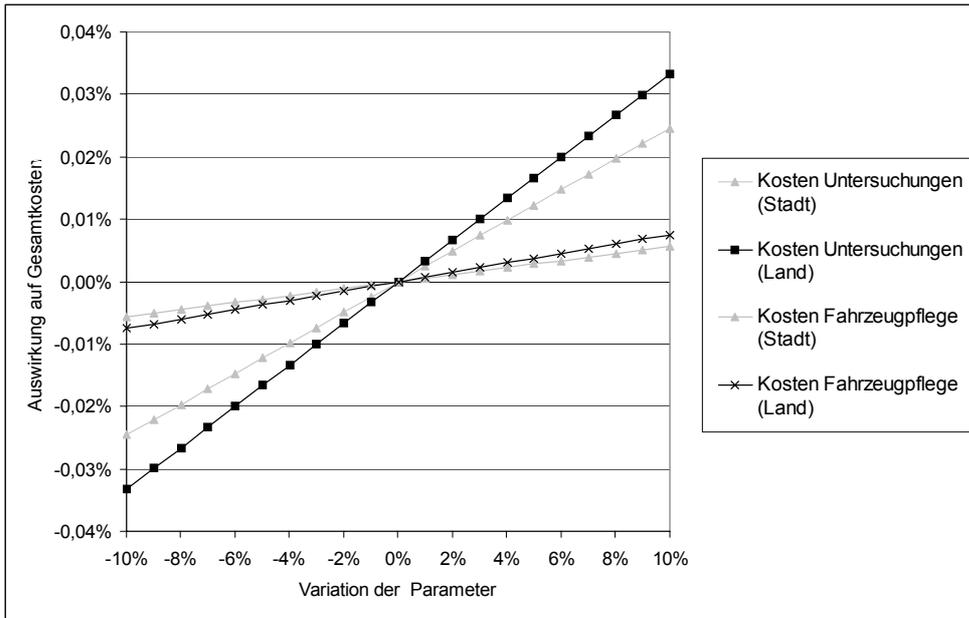


Bild A - 4: Variation der Kosten für regelmäßige Untersuchungen und Fahrzeugpflege

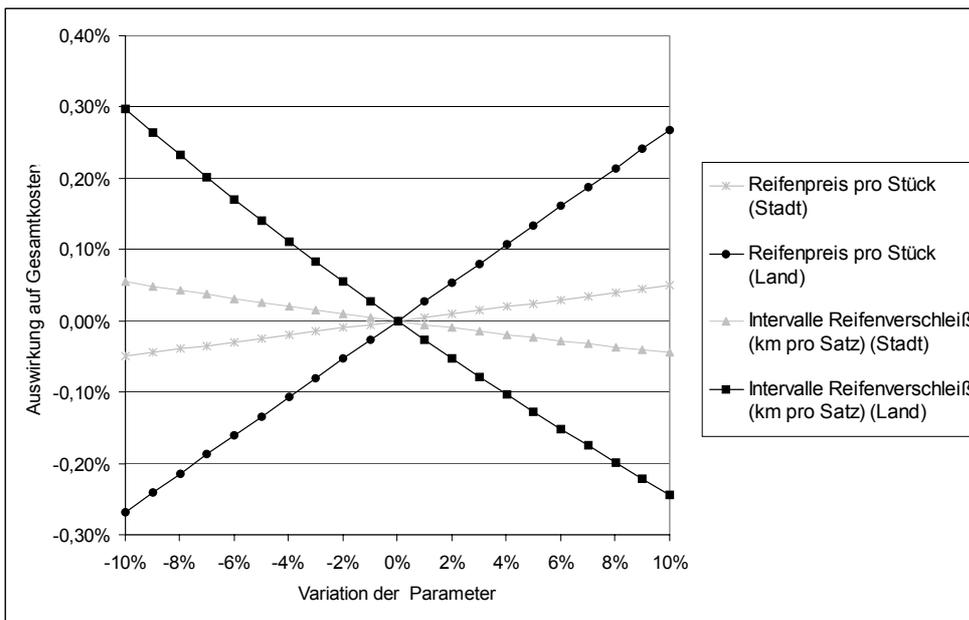


Bild A - 5: Variation des Reifenverschleißes und der Reifenkosten pro Stück

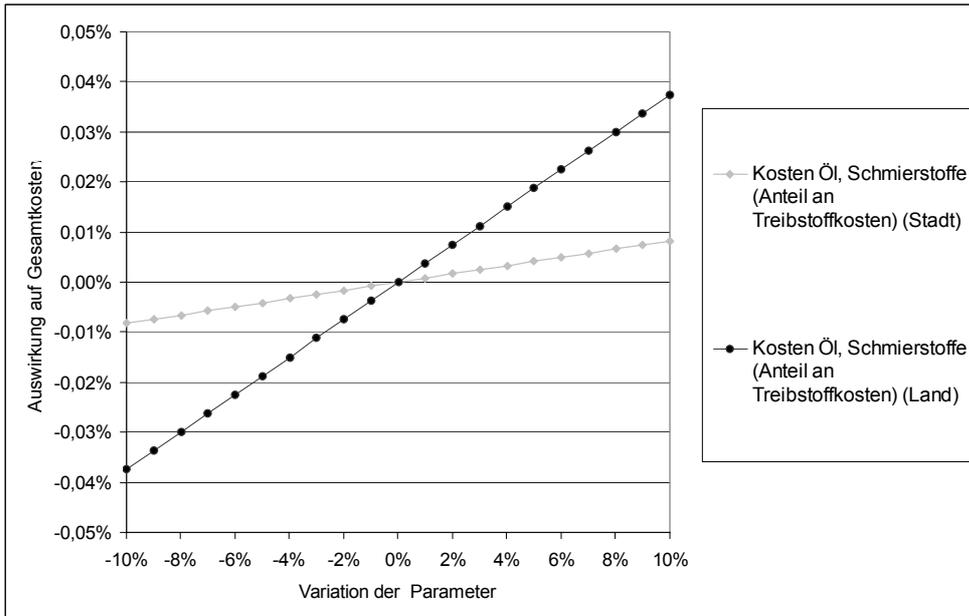


Bild A - 6: Variation der Kosten für Öl und Schmierstoffe als Anteil der Treibstoffkosten

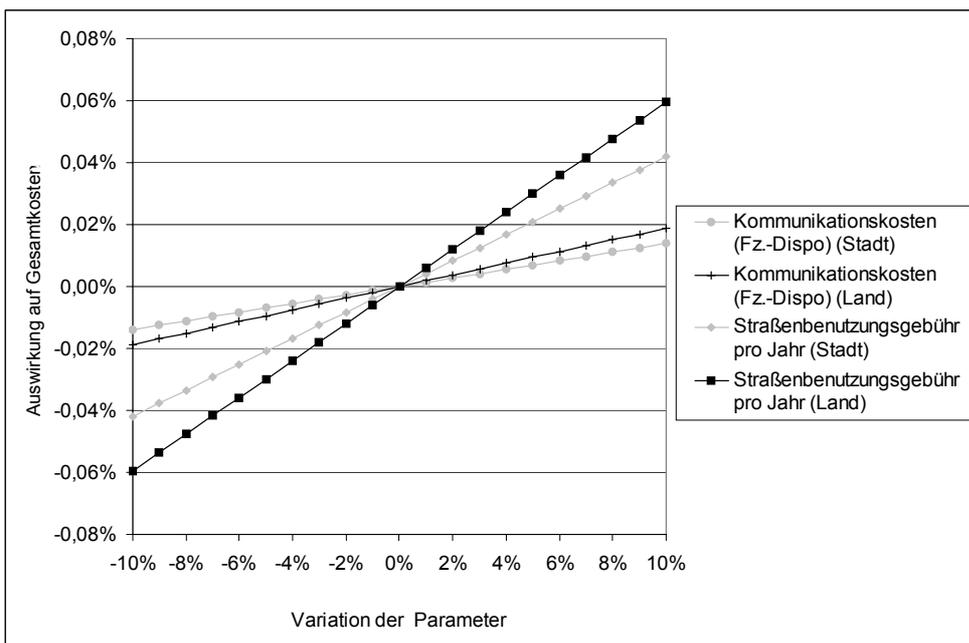


Bild A - 7: Variation der Kommunikationskosten und Straßenbenutzungsgebühr

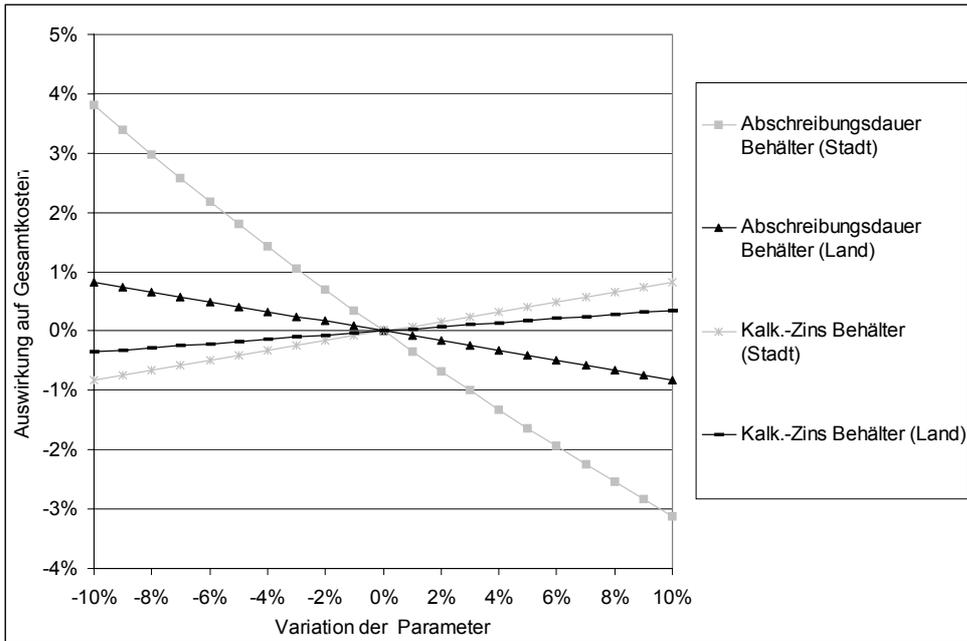


Bild A - 8: Variation der Abschreibungsdauer und des kalkulatorischen Zinssatzes für Behälter

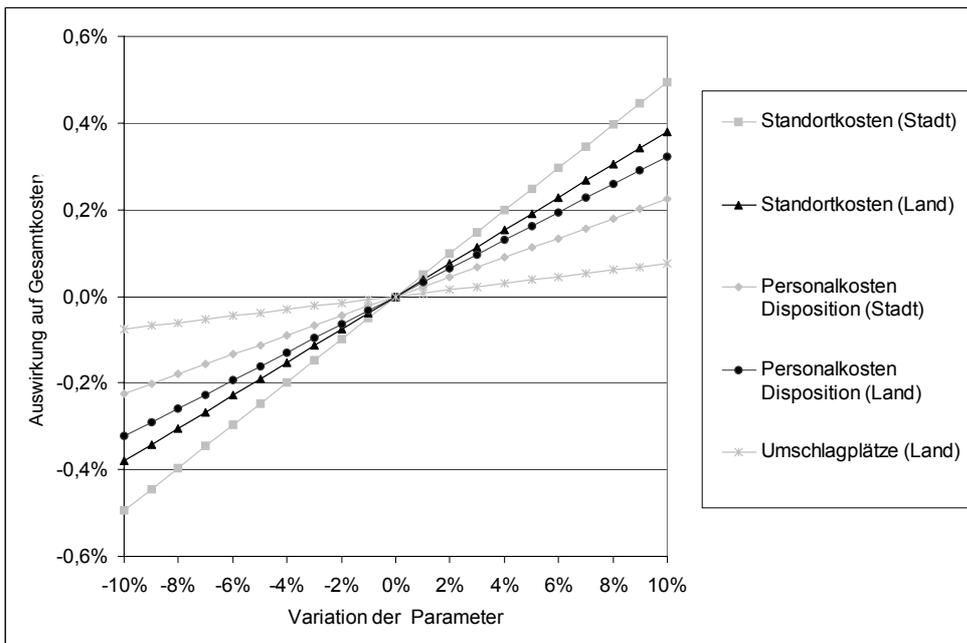


Bild A - 9: Variation der Verwaltungskosten (Standortkosten, Personalkosten Disposition und Kosten für Umschlagplätze)

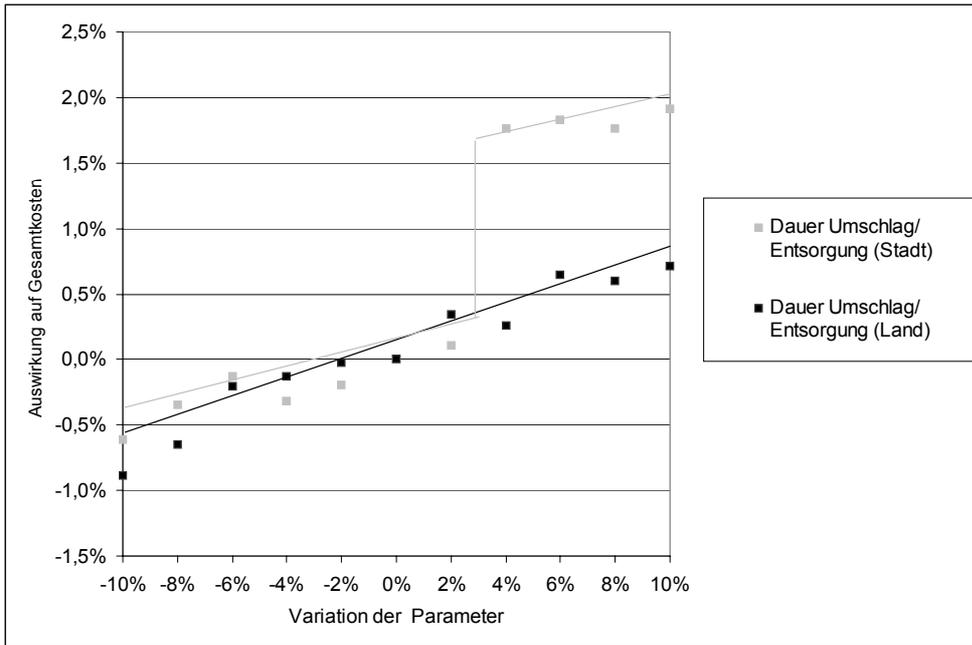


Bild A - 10: Variation der Umschlagdauer

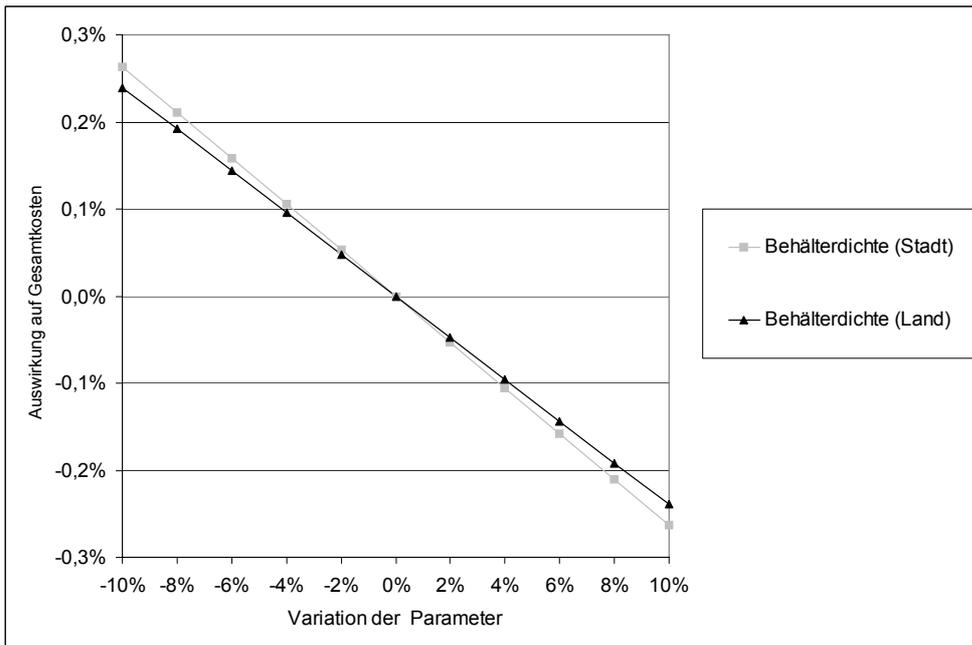


Bild A - 11: Variation der Behälterdichte

F Behälter

Bezeichnung	Volumen	Material	Anz. Räder	Funktionsweise Deckel	Behälteraufnahme	Norm
MGB 80	80l	PE	2	Klappdeckel	Kamm	DIN-EN 840-1
MGB 100	100l	PE	2	Klappdeckel	Kamm	DIN-EN 840-1
MGB 120	120l	PE	2	Klappdeckel	Kamm	DIN-EN 840-1
MGB 130	130l	PE	2	Klappdeckel	Kamm	DIN-EN 840-1
MGB 140	140l	PE	2	Klappdeckel	Kamm	DIN-EN 840-1
MGB 210	210l	PE	2	Klappdeckel	Kamm	DIN-EN 840-1
MGB 240	240l	PE	2	Klappdeckel	Kamm	DIN-EN 840-1
MGB 340	340l	PE	2	Klappdeckel	Kamm	DIN-EN 840-1
MGB 390	390l	PE	2	Klappdeckel	Kamm	DIN-EN 840-1
MGB 500	500l	PE	4	Klappdeckel	Kamm, Zapfen	DIN-EN 840-2
MGB 660	660l	PE	4	Klappdeckel	Kamm, Zapfen	DIN-EN 840-2
MGB 770	770l	PE	4	Klappdeckel	Kamm, Zapfen	DIN-EN 840-2
MGB 1000	1000l	PE o. Stahlblech	4	Klappdeckel	Kamm, Zapfen	DIN-EN 840-2
MGB 1100	1100l	PE o. Stahlblech	4	Klappdeckel	Kamm, Zapfen	DIN-EN 840-2
MGB 1200	1200l	PE o. Stahl-	4	Klappdeckel	Kamm, Zapfen	DIN-EN 840-2
MGB 770	770l	PE o. Stahlblech	4	Schiebedeckel	Kamm, Zapfen	DIN-EN 840-3
MGB 1100	1100l	PE o. Stahlblech	4	Schiebedeckel	Kamm, Zapfen	DIN-EN 840-3
MGB 1300	1300l	PE o. Stahlblech	4	Schiebedeckel	Kamm, Zapfen	DIN-EN 840-3
MGB 750	750l	PE o. Stahlblech	4	Klappdeckel	Kamm breit, Zapfen, BG	DIN-EN 840-4
MGB 1000	1000l	PE o. Stahlblech	4	Klappdeckel	Kamm breit, Zapfen, BG	DIN-EN 840-4
MGB 1300	1300l	PE o. Stahlblech	4	Klappdeckel	Kamm breit, Zapfen, BG	DIN-EN 840-4
MGB 1400	1400l	PE o. Stahlblech	4	Klappdeckel	Kamm breit, Zapfen, BG	DIN-EN 840-4
MGB 1500	1500l	PE o. Stahlblech	4	Klappdeckel	Kamm breit, Zapfen, BG	DIN-EN 840-4
MGB 1600	1600l	PE o. Stahlblech	4	Klappdeckel	Kamm breit, Zapfen, BG	DIN-EN 840-4
MGB 1700	1700l	PE o. Stahlblech	4	Klappdeckel	Kamm breit, Zapfen, BG	DIN-EN 840-4

Tab: A 17: In der DIN-EN 840 genormte Müllgroßbehälter

Bezeichnung	Volumen	Material	Anz. Räder	Funktionsweise Deckel	Behälteraufnahme	Norm
MGB 2,5	2500l	Stahlblech	4	Klappdeckel	Zapfen	DIN 30737
MGB 5,0	5000l	Stahlblech	4	Klappdeckel	Zapfen	DIN 30737
MGB 2,5	2500l	Stahlblech	4	Schiebedeckel	BG-Aufnahme	DIN 30738
MGB 4,5	4500l	Stahlblech	4	Schiebedeckel	BG-Aufnahme	DIN 30738

Tab: A 18: In der DIN 30737 und DIN 30738 genormte Müllgroßbehälter

Bezeichnung	Volumen	Material	Anz. Räder	Funktionsweise Deckel	Behälteraufnahme	Norm
DU 80	80l	PE	2	Klappdeckel	DU	DIN 30760
DU 120	120l	PE	2	Klappdeckel	DU	DIN 30760
DU 240	240l	PE	2	Klappdeckel	DU	DIN 30760
DU 360	360l	PE	2	Klappdeckel	DU	DIN 30760

Tab: A 19: In der DIN 30760 genormte Müllgroßbehälter

G Beispiel für grafische Darstellung der Tourenverläufe in SOKRATES

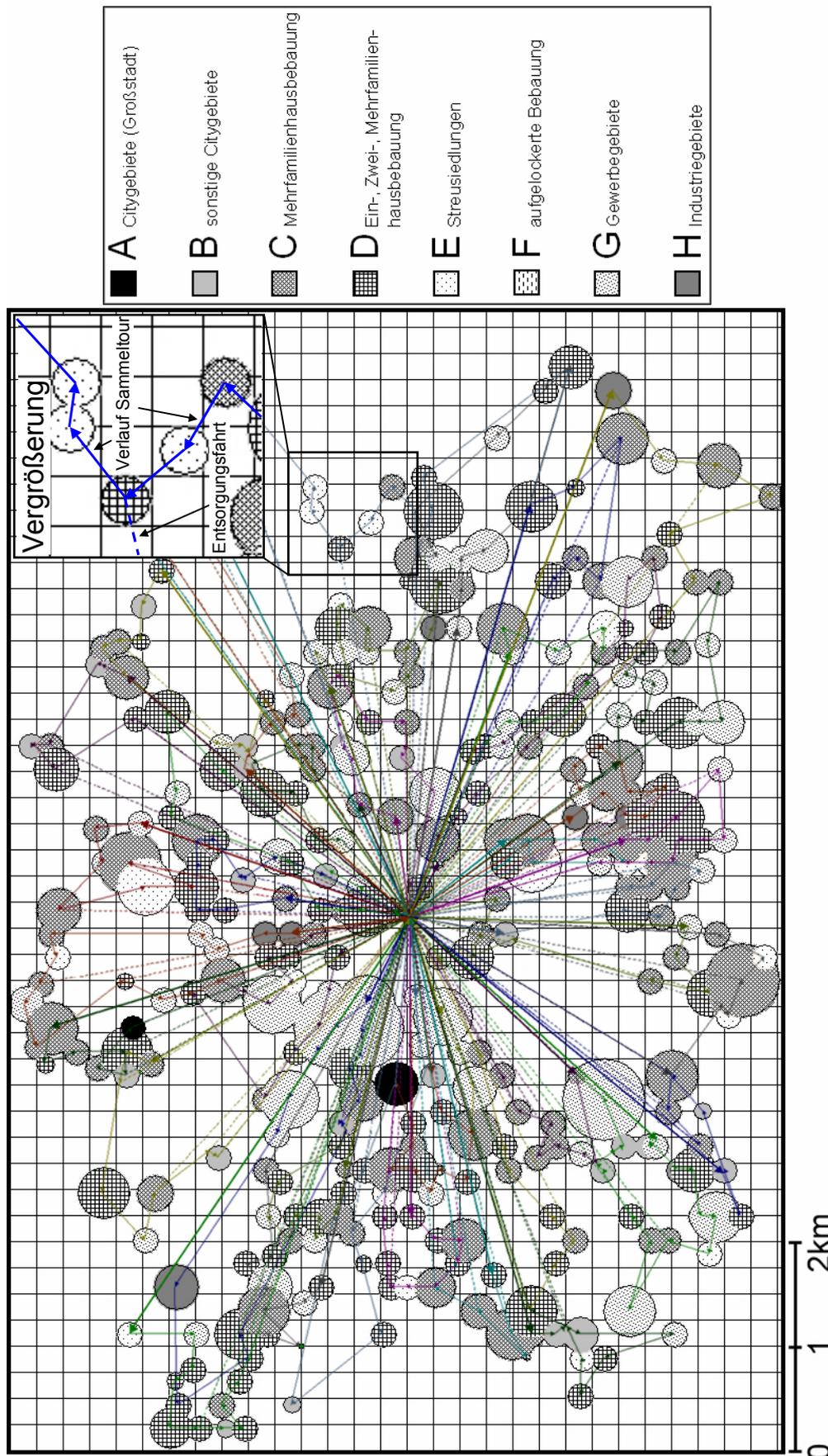


Bild A - 12: Beispiel für grafische Darstellung der Tourenverläufe in SOKRATES

H Pareto-Analyse aller Einflussparameter

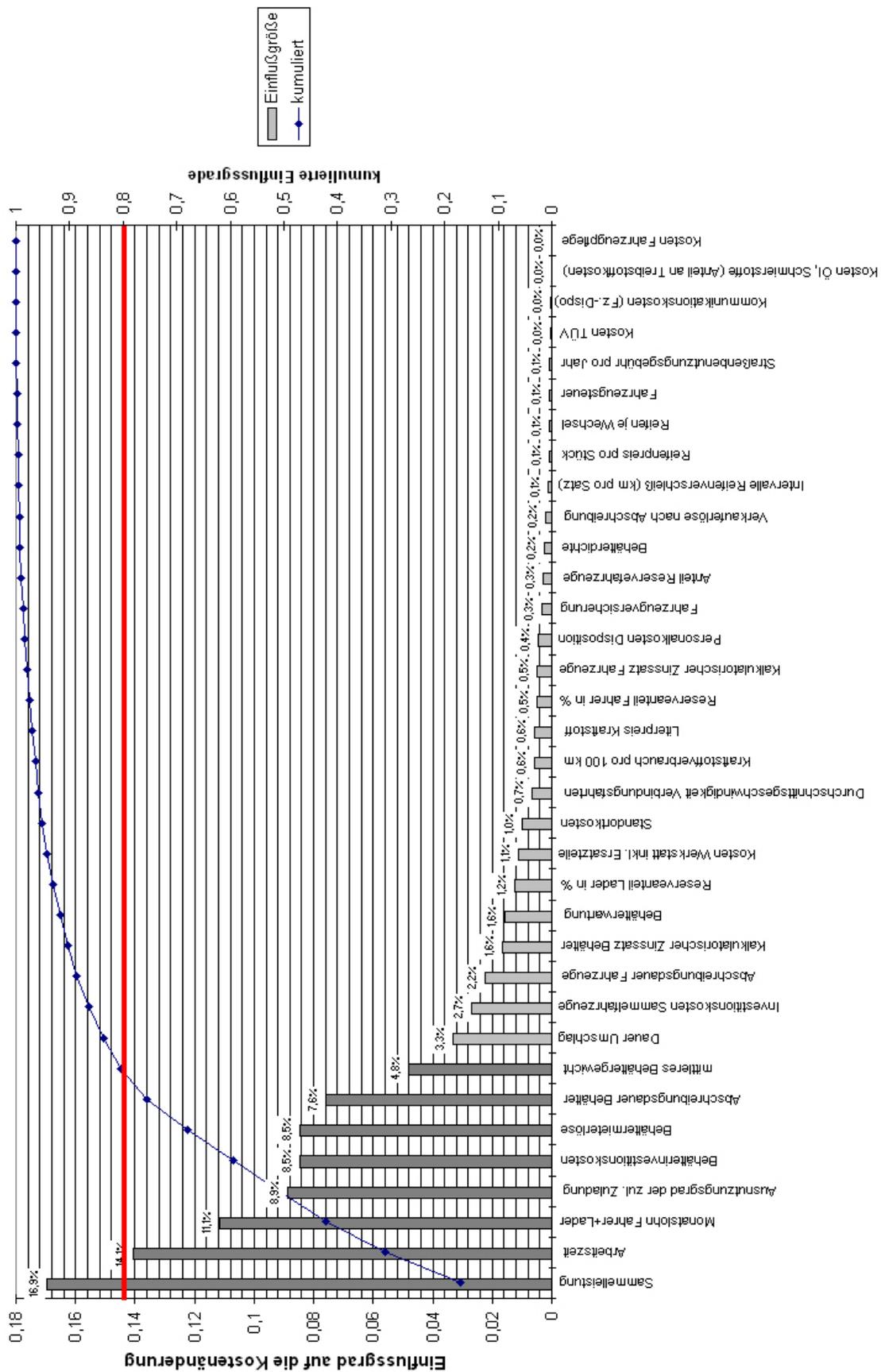


Bild A - 13: Pareto-Analyse aller Einflussparameter für die städtische Modellregion

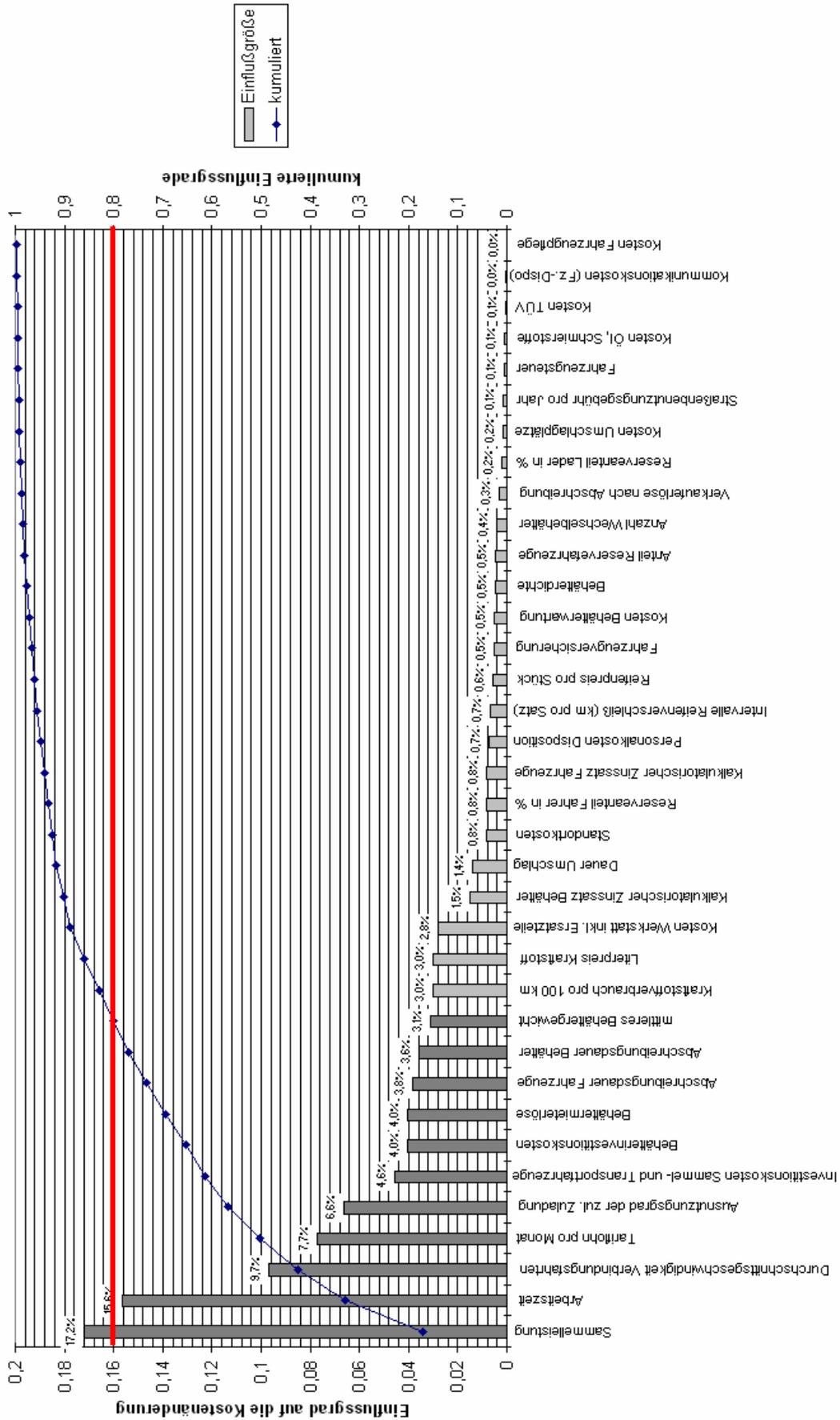


Bild A - 14: Pareto-Analyse aller Einflussparameter für die ländliche Modellregion