

Kennzahlen zur Unterstützung der Planung und Optimierung der Entsorgungslogistik

Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades
Doktor-Ingenieur (Dr.-Ing.)
der Fakultät für Maschinenbau und Schiffstechnik
der Universität Rostock

vorgelegt von
Zita Toth, geb. am 09.11.1975 in Sátoraljaújhely (Ungarn)
aus Rostock

Rostock, Februar 2007

- 1. Gutachter:** Prof. Dr.-Ing. Nina Vojdani
Universität Rostock
Fakultät für Maschinenbau und Schiffstechnik
Lehrstuhl für Produktionsorganisation und Logistik
- 2. Gutachter:** Prof. Dr.-Ing. Bernhard Gallenkemper
INFA Institut für Abfall, Abwasser und Infrastruktur-
Management, Ahlen
- 3. Gutachter:** PD Dr.-Ing. habil. Abdallah Nassour
Universität Rostock
Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät
Institut für Umweltingenieurwesen
Lehrstuhl für Abfall- und Stoffstrommanagement
- Tag der Verteidigung:** 12. November 2007

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	I
Abbildungsverzeichnis	III
1 Einleitung und Problemstellung	1
2 Zielsetzung und Aufbau der Arbeit	3
3 Einführung in die Entsorgungslogistik	5
3.1 Technische Systeme der Entsorgungslogistik	5
3.1.1 Erfassung	5
3.1.2 Sammlung.....	8
3.1.3 Umschlag.....	15
3.1.4 Transport.....	19
3.2 Organisation der Entsorgungslogistik	21
3.2.1 Aufbauorganisation eines Entsorgungsunternehmens	22
3.2.2 Ablauforganisation in einem Entsorgungsunternehmen.....	23
4 GIS in der Entsorgungslogistik.....	25
4.1 Einführung in GIS	25
4.2 GIS in der Abfallwirtschaft	29
4.3 Globale Positionierungs-System in der Abfallwirtschaft	30
5 Kennzahlen der Entsorgungslogistik	35
5.1 Funktion der Kennzahlen.....	35
5.2 Bedeutung der Kennzahlen für die Entsorgungslogistik	36
5.3 Beschreibung der Kennzahlen der Entsorgungslogistik	39
5.3.1 Kennzahlen für die strategische Planung.....	39
5.3.2 Kennzahlen für die taktische Planung	40
5.3.3 Kennzahlen für die operative Planung.....	42
6 Ist-Stand der Entsorgungslogistik in einem Praxisunternehmen	46
6.1 Unternehmensstruktur	46
6.1.1 Aufbauorganisation des Unternehmens.....	46
6.1.2 Ablauforganisation des Unternehmens.....	49
6.2 Untersuchung ausgewählter Kennzahlen auf dem Entsorgungsgebiet.....	52
6.2.1 Bereitgestellte Abfallsammelbehälter.....	53
6.2.2 Füllgrad der Abfallsammelbehälter	55
6.2.3 Inhaltsgewicht des Restabfalls.....	57
6.2.4 Raumgewicht des Restabfalls	58
6.2.5 Schüttgewicht des Restabfalls	58
7 Untersuchung relevanter Kennzahlen zur Auswertung der Funktionalität.....	60
7.1 Beschreibung des Untersuchungsgebietes	60

7.2	Auswertung ausgewählter Kennzahlen bezogen auf das Untersuchungsgebiet	63
7.2.1	Abfallaufkommen auf dem Untersuchungsgebiet	64
7.2.2	Anzahl der entsorgten Abfallsammelbehälter	66
7.2.3	Auslastung des Sammelfahrzeuges.....	68
7.3	Versuchsprogramm zur Erfassung und Auswertung weiterer Kennzahlen	72
7.3.1	Messtechnik	72
7.3.2	Vorbereitung der vorhandenen Daten für die Auswertung.....	73
7.3.3	Ablauf des Versuchs.....	75
7.3.4	Vorbereitung der durch GPS gewonnenen Daten für die Auswertung.....	76
7.3.5	Datenauswertung	77
7.3.6	Ergebnisse der Untersuchung	81
7.3.7	Bemerkungen zu dem Versuchsprogramm.....	87
8	Folgerungen für die Praxis	90
8.1	Auswirkung der Kennzahlen auf die Wirtschaftlichkeit.....	90
8.2	Vorgehensweise zur Ermittlung und Auswertung von Kennzahlen	92
8.3	Ansätze zur Optimierung der Entsorgungsprozesses des Unternehmens	93
8.4	Fallbeispiele zur Optimierung des Entsorgungsprozesses.....	98
9	Zusammenfassung und Ausblick	102
	Literaturverzeichnis.....	105
	Anhang	114

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Hauptprozesse der Abfallwirtschaft, nach [Jansen 98]	5
Abbildung 2: Erfassungssysteme	6
Abbildung 3: Eingesetzte Erfassungssysteme in Deutschland bei einzelnen Stoffen, nach Angaben von [VKS 03b].....	8
Abbildung 4: Technische Systeme der Entsorgungslogistik	9
Abbildung 5: Verteilung der Entsorgungsrhythmen in Deutschland 2005, nach Angaben von [VKS 03b].....	11
Abbildung 6: Entwicklung der Behälterverteilung, nach Angaben von [VKS 03b]	11
Abbildung 7: Verdichtung im Sammelfahrzeug, Quelle:[Rinschede 91].....	12
Abbildung 8: Eingesetzte Sammelfahrzeuge in Deutschland 2002, nach Angaben von [VKS 03b] ..	13
Abbildung 9: Wechselbehälter, Quelle: [Jünemann 89].....	14
Abbildung 10: Sammelfahrzeuge des Wechselsystems, nach [BGR 92]	14
Abbildung 11: Spezifischen Transportkosten in Abhängigkeit von Abfallmenge bzw. Transportentfernung, nach [Tabasaran 94] und [Jäger 89].....	16
Abbildung 12: Systematische Einteilung der verschiedenen Umlademethoden, Quelle: [Tabasaran 94]	17
Abbildung 13: Abfallverdichtungsmethoden im Rahmen des Umschlags, verändert nach [Jansen 98]	17
Abbildung 14: Varianten der Transportketten, nach [Jansen 98].....	19
Abbildung 15: Fahrzeuge und Behälter des Ferntransports	21
Abbildung 16: Organisationsformen eines Unternehmens, in Anlehnung an [N.N. 05a], [N.N. 05b], [Borngräber 05], [Schartner 98], [Payer 06] und [Maier 02].....	22
Abbildung 17: Darstellung der geometrischen Daten in Raster- und Vektormodell, nach [Czimber 01]	27
Abbildung 18: Vergleich der Charakteristik der Raster- und Vektormodelle, nach [Czimber 01].....	27
Abbildung 19: In der (Computer-) Kartographie verwendetes Layer-Prinzip, nach [Dickmann 99]....	28
Abbildung 20: Schematische Darstellung des Differential-GPS-System, nach [VKS 05]	31
Abbildung 21: Zusammenstellung der entsorgungslogistischen Kennzahlen	38
Abbildung 22: Schematische Darstellung der Gebietshierarchie in der Entsorgungslogistik	39
Abbildung 23: Schematische Darstellung der Zeithierarchie in der Entsorgungslogistik.....	44
Abbildung 24: Schematische Darstellung der Weghierarchie in der Entsorgungslogistik.....	45
Abbildung 25: Aufbauorganisation der Stadtentsorgung Rostock GmbH, internes Material der Stadtentsorgung Rostock GmbH	48
Abbildung 26: Ablauforganisation der Stadtentsorgung Rostock GmbH, internes Material der Stadtentsorgung Rostock GmbH	51
Abbildung 27: Entwicklung des Restabfallpotentials in Rostock, in Anlehnung an [Amt 05]	52

Abbildung 28: Bereitgestellte Abfallsammelbehälter und deren Abfuhrhythmus in Rostock 2001-2005	53
Abbildung 29: Verhältnis des Entsorgungsrhythmen bei den einzelnen Behältergrößen in Rostock 2005	54
Abbildung 30: Verteilung der Behältergrößen in Rostock 2005	55
Abbildung 31: Verteilung der Entsorgungsrhythmus der Behälter in Rostock 2005	55
Abbildung 32: Füllgrad der Abfallsammelbehälter in Rostock 2002-2005	56
Abbildung 33: Füllgrad der Abfallsammelbehälter in Rostock 2002-2005	56
Abbildung 34: Änderung des Inhaltsgewichtes in Rostock 2001-2005	57
Abbildung 35: Änderung des Raumgewichts in Rostock 2001-2005	58
Abbildung 36: Änderung des Schüttgewichtes in Rostock 2003-2005	59
Abbildung 37: Standorte der im Versuchsprogramm teilgenommenen Restabfallsammelbehälter.....	60
Abbildung 38: Verteilung der Behältergrößen im Bezug auf die Behälteranzahl (2004)	61
Abbildung 39: Verteilung der Behältergrößen im Bezug auf das Volumen (2004).....	62
Abbildung 40: Verteilung der Abfuhrhythmen auf dem Untersuchungsgebiet (2004).....	62
Abbildung 41: Erläuterung des Boxplots mit schematischer Darstellung, nach [Behrens 98].....	64
Abbildung 42: Vergleich der monatlich entsorgten Abfallmengen auf dem Untersuchungsgebiet 2003-2004	65
Abbildung 43: Verteilung der täglich entsorgten Abfallmenge an den Wochentagen 2003-2004.....	65
Abbildung 44: Verteilung der täglich entsorgten Restabfallmengen an den Wochentagen	66
Abbildung 45: Zahl der entsorgten Sammelbehälter pro Monat 2003-2004.....	67
Abbildung 46:Verteilung der Schüttvorgänge an den Wochentagen	67
Abbildung 47: Verteilung der Restabfallbehältergrößen im Bezug auf deren Anzahl bzw. Volumina	68
Abbildung 48:Durchschnittliche Auslastung des Sammelfahrzeuges per Monat 2003-2004	69
Abbildung 49: Darstellung der Fahrzeugausnutzung in der untersuchten Zeit	70
Abbildung 50: Verteilung der Auslastung des Sammelfahrzeuges	70
Abbildung 51: Auslastung des Sammelfahrzeuges an den Wochentagen.....	71
Abbildung 52: Auslastung des Sammelfahrzeuges	72
Abbildung 53: Lage und abrufbare Informationen der zu entsorgenden Restabfallsammelbehälter	74
Abbildung 54: Darstellung einer Karte mit Markierung der an einem Tag zu entleerenden Behälter.	75
Abbildung 55: Darstellung eines aufgezeichneten Weges in originaler Form	77
Abbildung 56: Darstellung der gewonnenen Positions- und Zeitdaten in korrigierter Form	79
Abbildung 57: Mustertabelle zur Kennzahlenauswertung	80
Abbildung 58: Länge der befahrenen Wege an den Wochentagen	83
Abbildung 59: Durchschnittswerte der täglich befahrenen Wege.....	84
Abbildung 60:Durchschnittliche Länge der Arbeitsvorgänge an den Wochentagen, 2004	85
Abbildung 61: Durchschnittliche Fahrgeschwindigkeiten an den Wochentagen, 2004.....	87

Abbildung 62: Detaillierte Darstellung des Entsorgungsgebietes mit Hilfe von GIS	89
Abbildung 63: Berechnungen der Fahrzeugkosten, nach [Dornbusch 05, S.44].....	98
Abbildung 64: Berechnungen der Fahrzeugkosten, nach [Dornbusch 05, S.44].....	99
Abbildung 65: Vergleich der Kosten beim Einsatz unterschiedlich großer Sammelfahrzeuge	99
Abbildung 66: Darstellung der Kapitalkosten des Fahrzeuges bei den unterschiedlichen Arbeitszeitmodellen.....	101

1 Einleitung und Problemstellung

Eine nachhaltige und funktionierende Abfallwirtschaft ist Ziel der verantwortlichen Institutionen (Landkreis, Stadt, Kommune, Ämter, Ministerium etc.) in Europa und in den meisten Ländern der Welt geworden. Die Elemente zur Umsetzung der Abfallwirtschaft sind wissenschaftliche Grundlagen, Gesetze und Verordnungen, Verwaltung, Finanzen, Technik und Fachpersonal. Der Aufbau ist langwierig und kann mehrere Jahre dauern. Die technischen Systeme der Abfallwirtschaft sind Entsorgungslogistik, Aufbereitung, stoffliche und thermische Verwertung, thermische Entsorgung und Deponierung.

Die Entsorgungslogistik ist eine wichtige Grundlage für eine nachhaltige Abfallwirtschaft und beeinflusst das gesamte System hinsichtlich der Ressourcenschonung und Minimierung der Kosten für die nachfolgenden erforderlichen Prozesse. Durch die Entsorgungslogistik entstehen 25 bis 50 % der gesamten Entsorgungskosten, die aus den Vorgängen Sammlung, Transport, Umschlag und Ferntransport besteht [MUNLV NRW 05]. Das heißt, für die tatsächliche Entsorgung - Aufbereitung, Behandlung, Nachsorge etc. - bleibt nur ein Teil der vorhandenen Finanzmittel übrig.

Die Hauptaufgaben in der Entsorgungslogistik sind Anschaffung der erforderlichen Betriebsmittel, Aufbau der Verwaltung, Bereitstellung des Fachpersonals, Aufgabenerfüllung und Ablauforganisation, welche die Planung, Steuerung und Kontrolle umfasst und die Wirtschaftlichkeit des Unternehmens stark beeinflusst. Ein Entsorgungsunternehmen muss technisch sowie wirtschaftlich konkurrenzfähig bleiben, um auf dem schwierigen Markt eine Position zu bekommen und zu erhalten. Die beauftragten Dienstleistungen müssen so genau wie möglich und notwendig geplant, durchgeführt und überwacht werden. An diesen Punkten muss man die Optimierungs- und dadurch die Sparmöglichkeiten suchen, finden und ausnutzen, um bessere Wirtschaftlichkeit zu erzielen.

Vorkalkulationen, Nachkalkulationen, Soll-Ist-Vergleich, ständige Kontrolle etc. sind Instrumente, um die gewünschten Ziele zu erreichen. Entsorgungslogistik besteht nicht nur aus Technik und Material-, sondern auch aus Informationsfluss. Dies bedeutet, dass der Ausbau eines ausreichenden, den Materialfluss begleitenden Informationssystems ein unerlässlicher Teil der alltäglichen Arbeit ist [Jüemann 89].

Das System Entsorgungslogistik besteht aus vielen kleinen Prozessen, welche strategisch, taktisch und operativ geplant und überwacht werden müssen. Dazu gibt es planbare und nicht planbare Faktoren und Einflussgrößen, die immer zu betrachten sind.

Die Managementebene im Entsorgungsunternehmen sollte ständig einen Überblick über die technische, personale und wirtschaftliche Situation haben, um die Funktionalität beurteilen zu können. Die Bereitstellung der notwendigen Daten und Instrumente für die Verantwortlichen durch einen transpa-

renten Informationsfluss ist ein unverzichtbarer Prozess. Dies stellt ein großes Problem bei den meisten Unternehmen der Entsorgungslogistik dar.

Ein weiteres Problem ist die mangelhafte Ermittlung wichtiger Planungsgrundlagen. Unter dieser Bedingung ist es nicht möglich, alle Arbeitsprozess bezogene Informationen zu entnehmen und zu analysieren, dadurch Schwachstellen festzustellen und zu beseitigen sowie den Arbeitsablauf zu optimieren.

Bereits ermittelte Daten werden oft nicht analysiert und landen im „Datenfriedhof“, weil ihre Rollen nicht eindeutig sind oder unterschätzt werden. Nicht optimale Auslastung der vorhandenen personellen und technischen Kapazitäten, nicht optimale Tourenplanung, Revierabgrenzung, Arbeitszeitmodell etc. führen in den Entsorgungslogistikunternehmen sehr häufig zu umfangreichen finanziellen Verlusten und manchmal zur Existenzgefahr.

Die Entwicklung von Planungs- und Kontrollinstrumenten, in Form von Kennzahlen je nach Zweck und Zeitraum, stellt eine wichtige Aufgabe im Rahmen der Entsorgungslogistik dar, um eine optimale Gestaltung und Umsetzung zu erreichen.

Um den Arbeitsablauf bzw. dessen Qualität messen zu können, sind Kennzahlen als Bausteine des Informationssystems der Entsorgungslogistik [Gerhardt 01] notwendig. Damit gelingt es, der Qualität der täglichen Arbeit zu folgen, was bei Rechnungsstellungen von Vorteil ist; aber auch in längeren Fristen (Wochen-, Monaten-, Quartals- oder Jahrestakt) können sie in die Kontrolle eingeführt und die Ergebnisse in der Planung verwendet werden.

2 Zielsetzung und Aufbau der Arbeit

Ziel dieser Arbeit ist, einen Beitrag zur Unterstützung der Planung und Optimierung der Entsorgungslogistik mittels Kennzahlen zu leisten. Im Vordergrund steht die Entwicklung einer Vorgehensweise zur Erfassung und Ermittlung der Kennzahlen für deren unterschiedliche Nutzung, wie z.B. Planung in den einzelnen Planungsphasen, Optimierung des Arbeitsablaufs, Kontrolle, Informationsfluss, etc.

Der Aufbau der Arbeit kann wie folgt zusammengefasst werden:

- Zusammenstellung einer wissenschaftlichen Grundlage der Entsorgungslogistik aus technischer und organisatorischer Sicht. Hier werden neben den wichtigsten Vorgängen, wie Erfassung, Sammlung, Transport, Umschlag und Ferntransport des Abfalls mit der jeweiligen Technik, die Aufbau- und Ablauforganisation der Entsorgungslogistik beschrieben.
- Einführung und Erläuterung der Funktionalität des Geographischen Informationssystems (GIS) mit anschließender Darstellung seiner Aufgaben und Einsatzmöglichkeiten. Als Instrument für GIS wird das Globale Positionssystem (GPS) verwendet, um ort- und zeitbezogene Daten zu gewinnen. Diese sind einerseits bei der Visualisierung der räumlichen Situation und andererseits bei der Ermittlung von Kennzahlen wichtig. Im Weiteren werden die Anwendungsmöglichkeiten der GIS und GPS in der Abfallwirtschaft beschrieben.
- Bearbeitung der entsorgungslogistisch relevanten Kennzahlen als einer der Hauptpunkte der Dissertation. Nach der Beschreibung ihrer Rolle in der Planung, Ausführung und Kontrolle der Arbeit werden diese nach der Planungsphase geordnet (strategisch, taktisch und operativ). Die Kennzahlen werden mit Zeichen, Maß und Definition versehen. Einige Abbildungen erleichtern die Zusammenhänge zwischen ähnlichen Kennzahlen.
- Entwicklung einer Vorgehensweise zur Erfassung und Ermittlung von Kennzahlen, die die Planung und die Kontrolle der auszuführenden Arbeit erleichtern. Diese besteht aus Auswertung der vorhandenen Daten sowie Erfassung und Verarbeitung neuer, überwiegend mit GIS und GPS gewonnenen Informationen. Ziel ist dabei das systematische und kontinuierliche Gewinnen und Auswerten von Daten, die die Leistung sowie die Voraussetzungen für die Arbeit beschreiben.
- Anwendung der entwickelten Vorgehensweise bei einem Praxisunternehmen. Vorstellung des Unternehmens anhand seiner Organisation sowie Auswertung ausgewählter Kennzahlen, die über mehrere Jahre erfasst wurden. Beschreibung des Verlaufs der Untersuchung. Auswertung erfasster und ermittelter Kennzahlen, sowie deren Darstellung in Diagrammen.
- Folgerungen für die Praxis. Kategorisierung der Kenngrößen nach deren Beeinflussbarkeit durch Planung. Darstellung der Auswirkung der einzelnen Größen auf die Wirtschaftlichkeit des Entsor-

gungsunternehmens. Empfehlung zu den verwendbaren Hilfsmitteln und zu der Häufigkeit der Erfassung bzw. Ermittlung, sowie der Auswertung der Kennzahlen.

- Anhand der Ergebnisse Erarbeitung von Vorschlägen zur Optimierung der Arbeit des Unternehmens.
- Ableitung von Fallbeispielen zur Optimierung des Entsorgungsprozesses, anhand der in der Arbeit gewonnenen Erkenntnisse.

Der schriftliche Teil der Dissertation enthält 66 Abbildungen. Weitere 54 Abbildungen, darunter 30 Diagramme, sind in den 18 Anhängen zu sehen.

Die durch diese Arbeit gewonnenen Erkenntnisse sollen später als Grundlage für die Entwicklung einer Software zur Unterstützung der Optimierung der Entsorgungslogistik dienen.

3 Einführung in die Entsorgungslogistik

3.1 Technische Systeme der Entsorgungslogistik

Im Rahmen der Abfallentsorgung sind die Abfallerfassung, -Sammlung, -Transport, -Umschlag und -Lagerung logistische Aufgabenstellungen. Das Ende dieses Prozesses ist die Behandlung des Abfalls. Diese Kette wird als STULB-Prozess bezeichnet [Jansen 98] und in Abbildung 1 dargestellt. Die Auswahl und die Gestaltung der verwendeten Sammelsysteme hängen von der Verkehrs-, Bebauungs- und Soziostruktur des Entsorgungsgebietes ab. So beeinflusst die Verkehrsstruktur die Fahrleistung des Sammelfahrzeuges; die Bebauungsstruktur hat eine Auswirkung auf die Entscheidung über die Verwendung von Hol- bzw. Bringsystem, die Art der eingesetzten Sammelfahrzeuge (Front-, Seiten- oder Hecklader) sowie die Anzahl und Lage der Sammelpunkte; die Soziostruktur hilft bei der Bestimmung von Größe und Anzahl der verwendeten Sammelbehälter [Bruns 97].

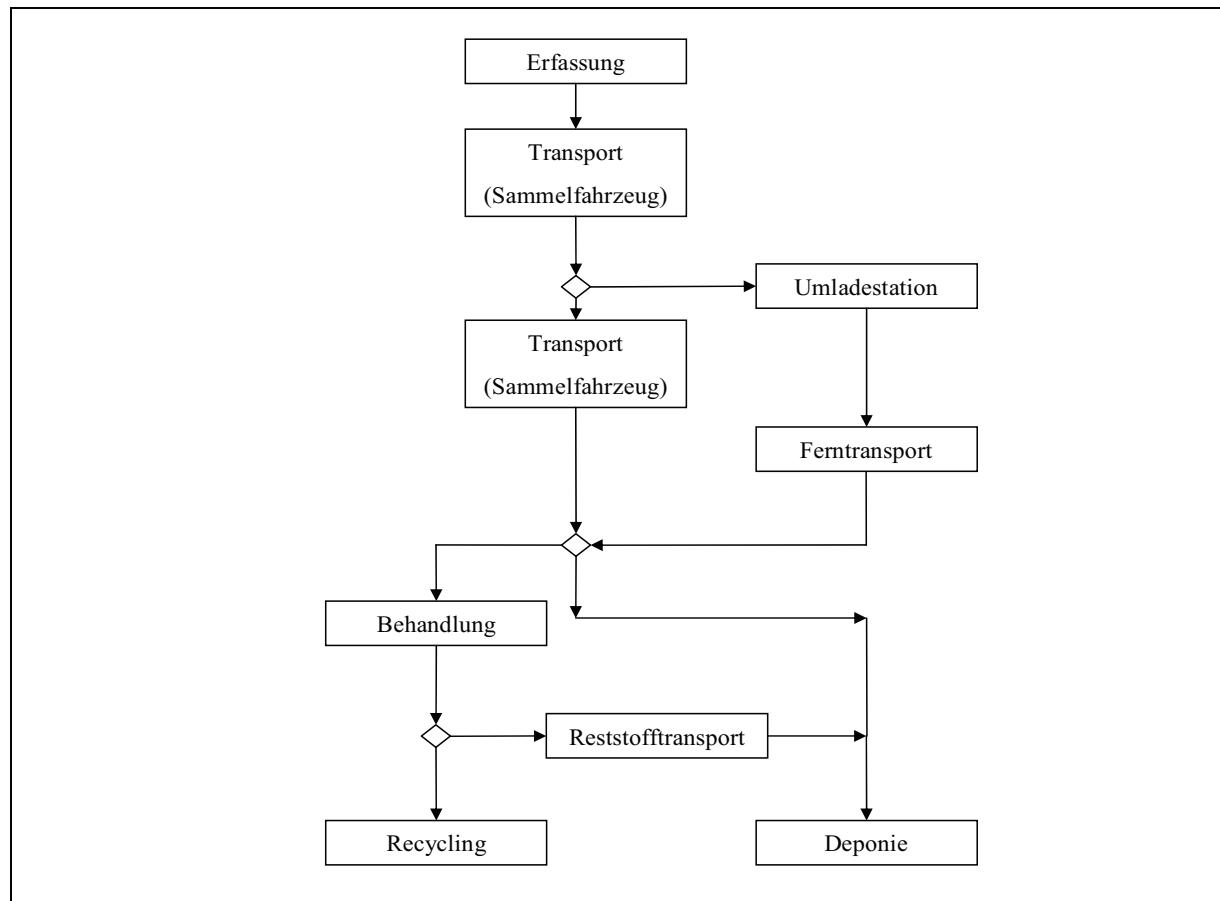


Abbildung 1: Hauptprozesse der Abfallwirtschaft, nach [Jansen 98]

3.1.1 Erfassung

Unter Abfallerfassung versteht man den Vorgang vom Befüllen der Behälter oder Container durch den Benutzer am Anfallort.

An dieser Stelle wird der Unterschied zwischen den Begriffen Abfallanfall und Abfallaufkommen erläutert. Während Abfallanfall die Menge Abfall bedeutet, die ein Erzeuger in einem bestimmten Zeitraum produziert, bezieht sich das Abfallaufkommen auf die Abfallmenge, die durch die Sammlung tatsächlich erfasst wird. Die erfasste Menge und die Zusammensetzung des Abfalls hängen mit dem Erfassungs- und Sammelsystem eng zusammen [Lemser 99].

Bei der Abfallsammlung müssen die stofflich verwertbaren Abfallteile wiedergewonnen werden. Ziel ist es, diese Stoffteile in den Produktionsprozess zurückzuführen. Damit kann eine Einsparung von Primärrohstoffen erreicht und die zu beseitigende Abfallmenge reduziert werden. Die Wiedergewinnung von Wertstoffen aus Abfall kann grundsätzlich auf zwei Wegen erfolgen. Entweder werden alle, für die Verwertung geeigneten Abfälle mit dem Restabfall zusammen gesammelt und erst später die einzelnen Fraktionen in einer Anlage separiert, oder die für die verschiedenen Verwertungen nutzbare Sorten werden bereits beim Ort des Abfallaufkommens mit Hilfe verschiedener Abfallbehälter sortiert. Dementsprechend werden gemischte und getrennte Erfassungssysteme unterschieden. Abbildung 2 veranschaulicht die Struktur der Abfallerfassungssysteme.

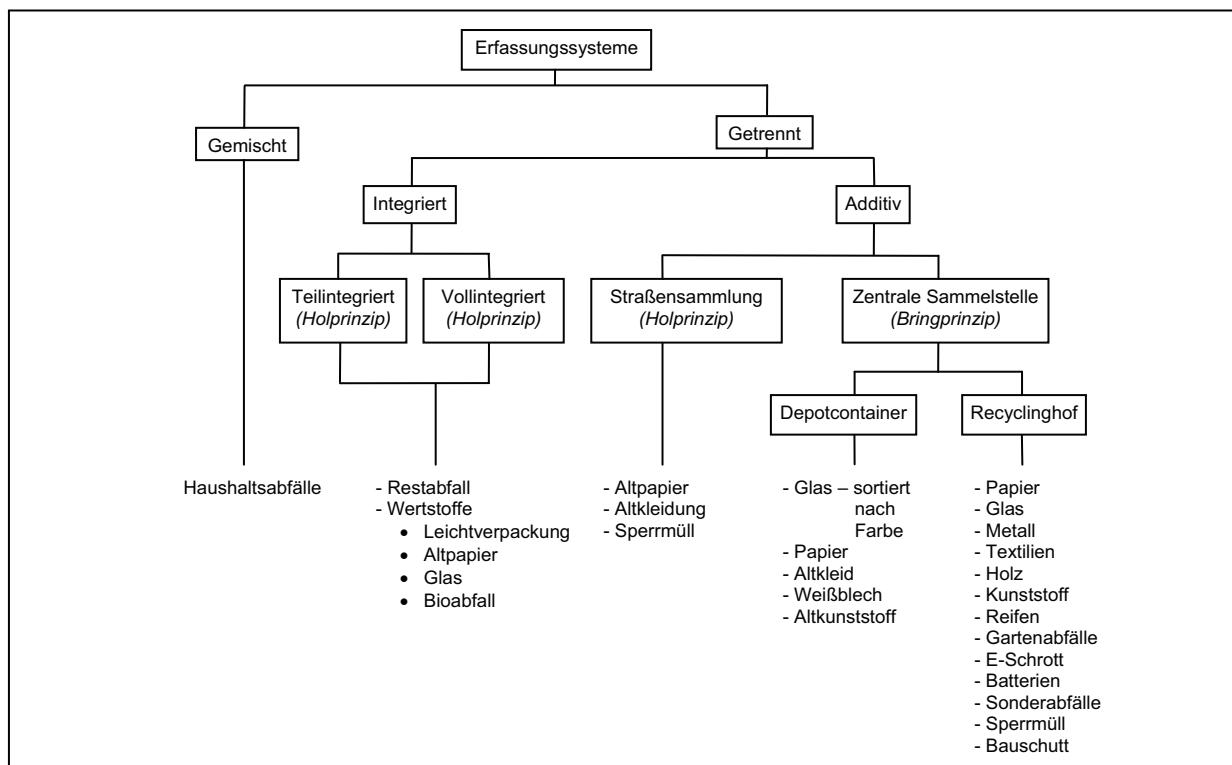


Abbildung 2: Erfassungssysteme

a) Gemischte Erfassung

Bei der gemischten Erfassung werden verwertbare und nicht verwertbare Abfälle zusammen in einem Gefäß gesammelt und entsorgt. Die verwertbaren Stoffe (z.B. Glas, Metall, Kunststoff) müssen durch eine mehrstufige Heraussortierung separiert werden. Dieser Prozess erfolgt in einer Haus- bzw. Ge-

werbemüllsortieranlage. Für diese Form der Abfallerfassung reicht lediglich ein Behälter für den Abfallerzeuger, darüber hinaus wird die Sammlung für den Einwohner bequemer und einfacher. Vorteile der gemischten Erfassung sind der geringere Aufwand beim Abfallerzeuger und bei der Erfassung, die hohe Erfassungsquote sowie die Möglichkeit der Erfassung zahlreiche Abfallfraktionen [Würz 97]. Der Nachteil dieses Verfahrens liegt in der relativ schlechten Qualität der Sortierung, die durch die im Sammelfahrzeug vorkommende Zerkleinerung, Vermischung und Versichtung entsteht. Im Weiteren ist die Einrichtung einer Sortieranlage mit hohen Betriebskosten (technische Betriebsmittel, Arbeitskraft- und Energieeinsatz) nötig [Jansen 98].

b) Getrennte Erfassung

Bei der getrennten Wertstofferfassung werden die einzelnen Wertstoffe vom Restmüll separat erfasst. Aus logistischer Sicht ist die Trennung der Stoffströme am Entstehungsort günstiger, denn so können die Teilsysteme der unterschiedlichen Fraktionen besser ausgelastet werden [Wehking 93]. Hier sind zwei Systeme zu unterscheiden: integrierte und additive Systeme. In Deutschland wird überwiegend eine Kombination der beiden Systeme angeboten.

Im Rahmen des integrierten Systems werden Wertstoffe aus dem Hausmüll getrennt bereitgestellt und mit der Hausmüllabfuhr eingesammelt. Vollintegriert ist das System, wenn die Abfuhr von Wertstoffen und Restmüll am selben Tag stattfindet. Auf diesem Weg werden neben dem Restmüll Leichtverpackung, Papier, Glas und Bioabfall erfasst. Die Wertstoffe und der Restabfall werden in genormten Ein- oder Mehrkomponenten-Tonnen und Wertstoffsäcken gesammelt und im regelmäßigen Turnus abgeholt. Die Erfassung der Stoffe im integrierten System erfolgt ausschließlich im Holsystem.

Beim additiven System wird zusätzlich zur regulären Hausmüllabfuhr angeboten, Wertstoffe vom Grundstück abholen zu lassen bzw. an speziellen Sammelstellen abzugeben. Die Hausmüll- und Wertstoffsammlung sind zeitlich und organisatorisch voneinander getrennt. Im Rahmen des additiven Systems lassen sich nach der Bereitstellungsvereinbarung Hol- und Bringsysteme unterscheiden.

Beim Holsystem im Rahmen des additiven Systems werden keine Behälter verwendet; es erfolgt eine Straßensammlung. Altpapier, Altkleider und teilweise Gartenabfälle, aber vor allem Sperrmüll werden zur Abholung auf der Straße bereitgestellt. Unter klassischem Holsystem wird das Prinzip der integrierten Erfassung verstanden.

Zum Bringsystem gehören die zentralen Depotcontainer und die Recyclinghöfe als Abfallannahmestelle. Beim System Depotcontainer werden Behälter für einzelne Wertstoffe an zentralen Stellen aufgestellt. Sie sind frei zugänglich und können von jedem Bürger benutzt werden. So werden z.B. Altglas (sortiert nach Farbe), Altpapier, Weißblech und z.T. Altkunststoffe erfasst. Die Container können entweder Einzelbehälter oder Mehrkammerbehälter sein. Der Nachteil des letzteren ist, dass der Behälter abgefahren werden muss, sobald eine Kammer voll ist. Recyclinghöfe haben einen größeren

Einzugsbereich und nehmen mehrere Wertstoffe (z.B. Altpapier, -pappe, -glas, -metall, -textilien, -holz, -kunststoffe, -reifen, Garten- und Grünabfälle, Elektronikschrott) kostenlos oder kostenpflichtig an. Sie sind nur während der Öffnungszeiten zugänglich und haben aufgrund der baulichen Ausrüstung und des Personals einen höheren Aufwand.

Die Verteilung des eingesetzten Hol- und Bringsystems bei einigen Stoffkategorien in Deutschland im Jahr 2002 zeigt Abbildung 3.

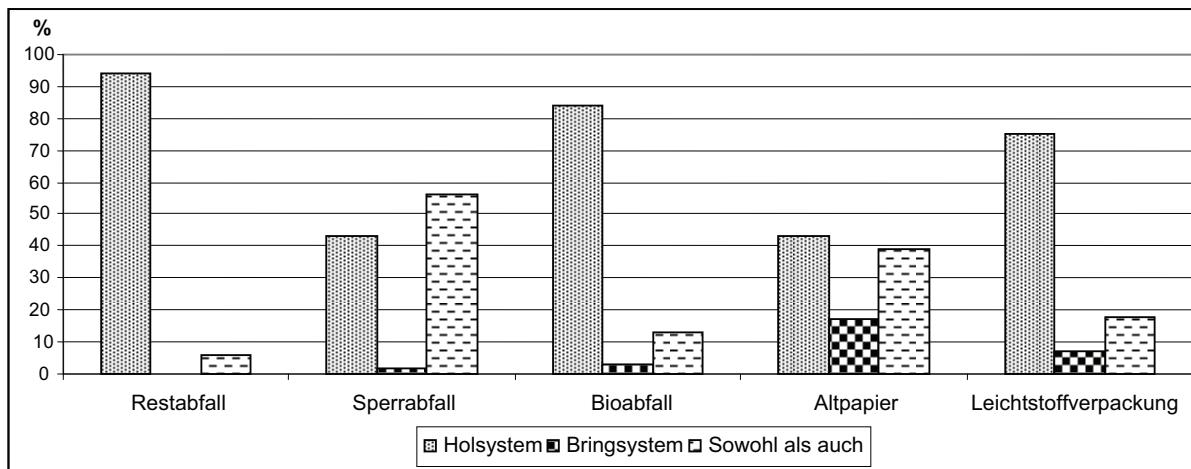
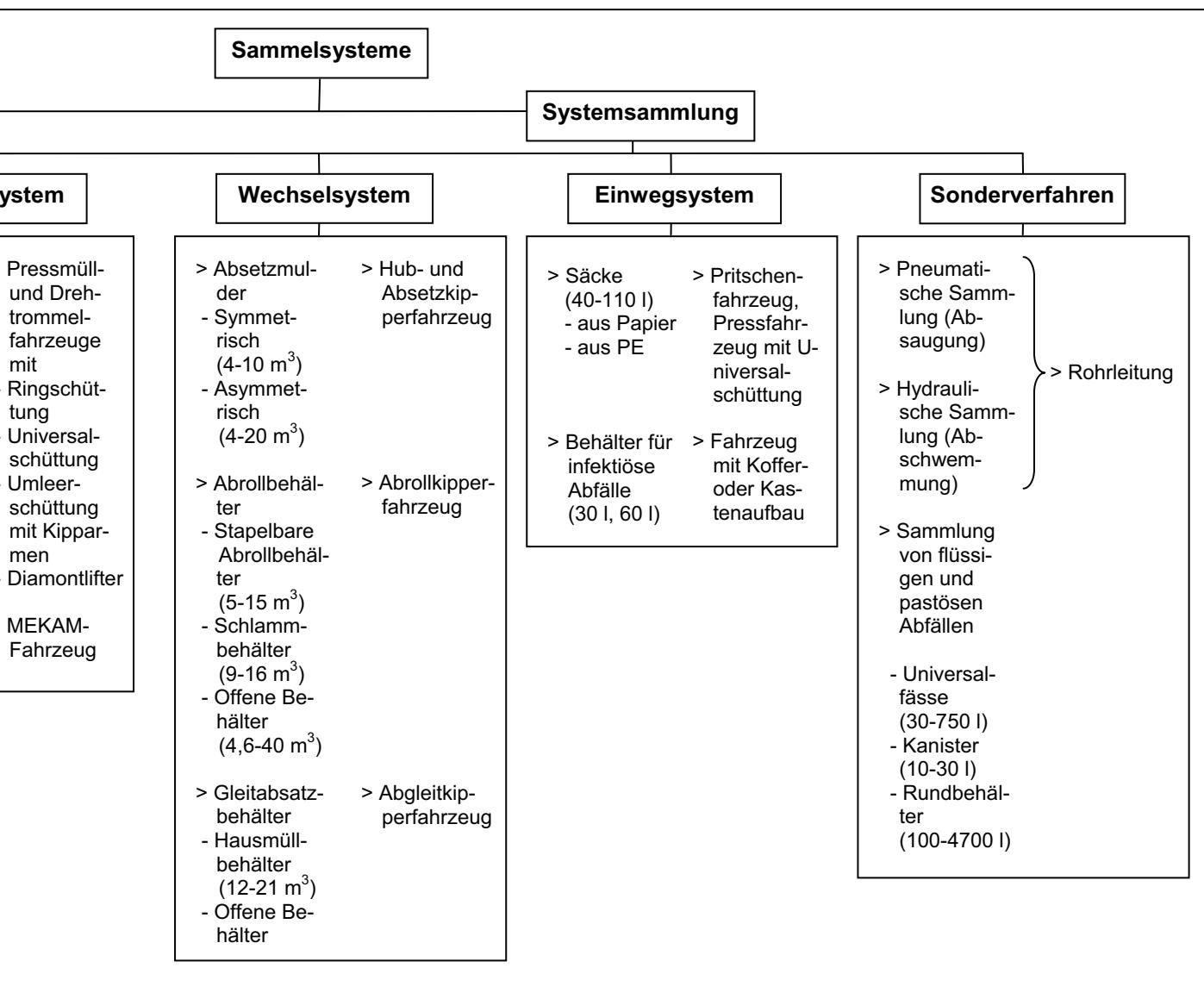


Abbildung 3: Eingesetzte Erfassungssysteme in Deutschland bei einzelnen Stoffen, nach Angaben von [VKS 03b]

3.1.2 Sammlung

Die Sammlung der Abfälle erfolgt meistens im festen Rhythmus, kann aber auf Anforderung oder in nicht spezialisierter Form durchgeführt werden.

Unter Sammelsysteme versteht man die Kombination von technischen Betriebsmitteln und menschlicher Arbeitskraft – insbesondere Sammelverfahren, Behältersysteme, Fahrzeuge und Personal. Grundsätzlich sind zwei Sammelverfahren zu unterscheiden: systemlose Sammlung und Systemmüllsammlung. In Abbildung 4 werden die Sammelsysteme in ihrer Struktur, der verwendeten Sammelbehälter und der verwendeten Sammelfahrzeuge zusammengestellt.



Bei der systemlosen Sammlung wird der Abfall in nach Größe und Form uneinheitlichen Abfallbehältern oder gar ohne Sammelbehälter bereitgestellt und auf Anforderung der Kommune abgeholt. Dieses System wird z.B. bei der Sperrmüllabfuhr angewendet.

Im Rahmen der Systemmüllsammlung gibt es Umleerverfahren, Wechselverfahren, Einwegverfahren und Sonerverfahren. Zu den Sonerverfahren gehören die pneumatischen und hydraulischen Sammlungen, die wegen ihrer Seltenheit in dieser Arbeit nicht weiter erörtert werden.

a) Umleersysteme

Beim Umleerverfahren werden die Umleerbehälter zum Sammelfahrzeug gebracht und dort entleert. Danach werden die leeren Behälter an ihren Stellen zurückgestellt. Das Bereit- und Zurückstellen der Behälter wird entweder durch den Erzeuger oder die Sammelmannschaft durchgeführt. Abhängig davon, wie viel die Sammelmannschaft aus der Vor- und Nachbereitung der Behälterentleerung übernimmt, werden Voll-, Teil-, Halb- und Nullservice unterschieden. Beim Vollservice wird das Sammelgefäß durch die Sammelmannschaft vom Standort zum Sammelfahrzeug gebracht und nach der Entleerung zurückgestellt. Beim Teilservice wird der Abfallbehälter vom Standort durch die Lademannschaft zum Sammelfahrzeug transportiert, die Zurückstellung erfolgt aber durch den Kunden. Wenn der Abfallbehälter durch den Kunden vom Standort zum Bereitstellungsort und nach der Entleerung durch die Sammelmannschaft zum Standort gebracht wird, spricht man vom Halbservice. Als Nullservice wird der Fall genannt, wenn der Kunde den Abfallbehälter vom Standort zum Bereitstellungsort und nach der Entleerung zurück transportiert [Kirchhoff 97]. In Deutschland wurde im Jahr 2002 45,1 % Teilservice, 33,8 % Vollservice und 21,1 % sowohl als auch bei der Restabfallsammlung angeboten [VKS 03b].

Die Abfuhr erfolgt nach regelmäßigem Rhythmus. Die für den Restabfall in Deutschland verwendeten Entsorgungsrhythmen und ihre Häufigkeit im Jahr 2005 werden in Abbildung 5 dargestellt. Bei der Sammlung von Hausmüllabfällen ist das Umleersystem das am häufigsten eingesetzte Sammelsystem. Daneben wird das System aber auch für die Erfassung von Wertstoffen wie z.B. Bioabfall, Leichtverpackung, Papier und Glas im Rahmen des integrierten Erfassungssystems verwendet.

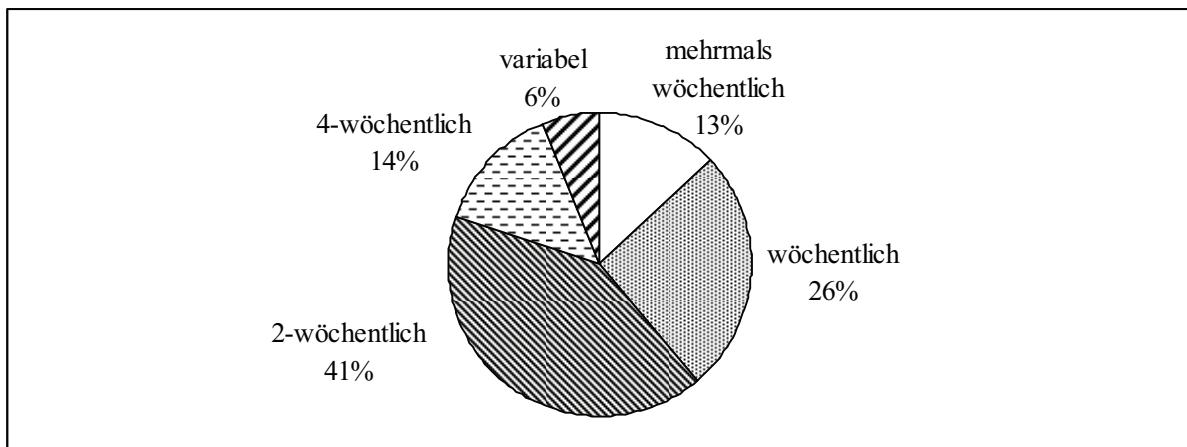


Abbildung 5: Verteilung der Entsorgungsrythmen in Deutschland 2005, nach Angaben von [VKS 03b]

Behälter

Das Umleersystem erfordert die Nutzung genormter Müllbehälter. Die Mülleimer (ME) haben einen Nutzinhalt zwischen 25 und 50 l, die Mülltonnen (MT) zwischen 60 und 110 l. Von den Müllgroßbehältern (MGB) gibt es eine breit gefächerte Größenauswahl von 80 l bis 5 m³. Bei der Hausmüllsammlung haben sich die MGB mit der Größe 80 l – 1,1 m³ etabliert. Sie sind aufgrund ihrer Räder einfacher zu bedienen. Sie haben eine einheitliche Entleerungskonzeption, und damit können alle Behälter mit der gleichen Kammschüttung entleert werden.

Die Entwicklung der Verteilung der Behältergrößen für die Restabfallerfassung zwischen 1995 und 2002 veranschaulicht Abbildung 6, nach VKS-Angaben [VKS 03b]. Es zeigt einen Trend von einer wachsenden Anzahl der kleineren und einer sinkenden Anzahl der größeren Behälter. Es ist vor allem auf die Änderungen der Abfallgebührensätze zurückzuführen.

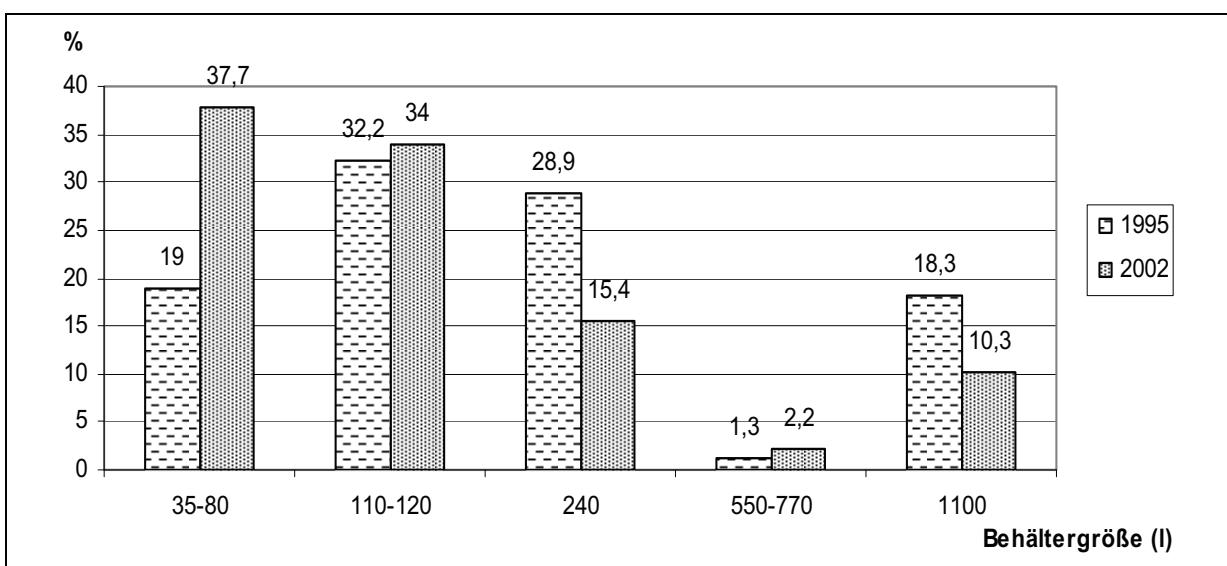


Abbildung 6: Entwicklung der Behälterverteilung, nach Angaben von [VKS 03b]

Fahrzeuge

Für das Umleerverfahren werden Spezialfahrzeuge mit geschlossenen Aufbauten eingesetzt. Diese Fahrzeuge bestehen aus den Komponenten Fahrgestell, Aufbau und Schüttung.

Aufgrund der hohen Nutzlastauslastung des Fahrzeugs sind Verdichtungs- und Fördereinrichtungen schon während des Sammelverfahrens erforderlich. Dies wird durch in den Aufbauten installierte Verdichtungs- und Zerkleinerungseinrichtungen realisiert. In Deutschland werden drei verschiedene Installationen verwendet: Pressplatte, Drehtrommel und Pressschnecke (siehe Abbildung 7). Mit Hilfe dieser Einrichtungen kann nach Angabe der Hersteller eine Verdichtung von bis zu 1:4 im Verhältnis erreicht werden.

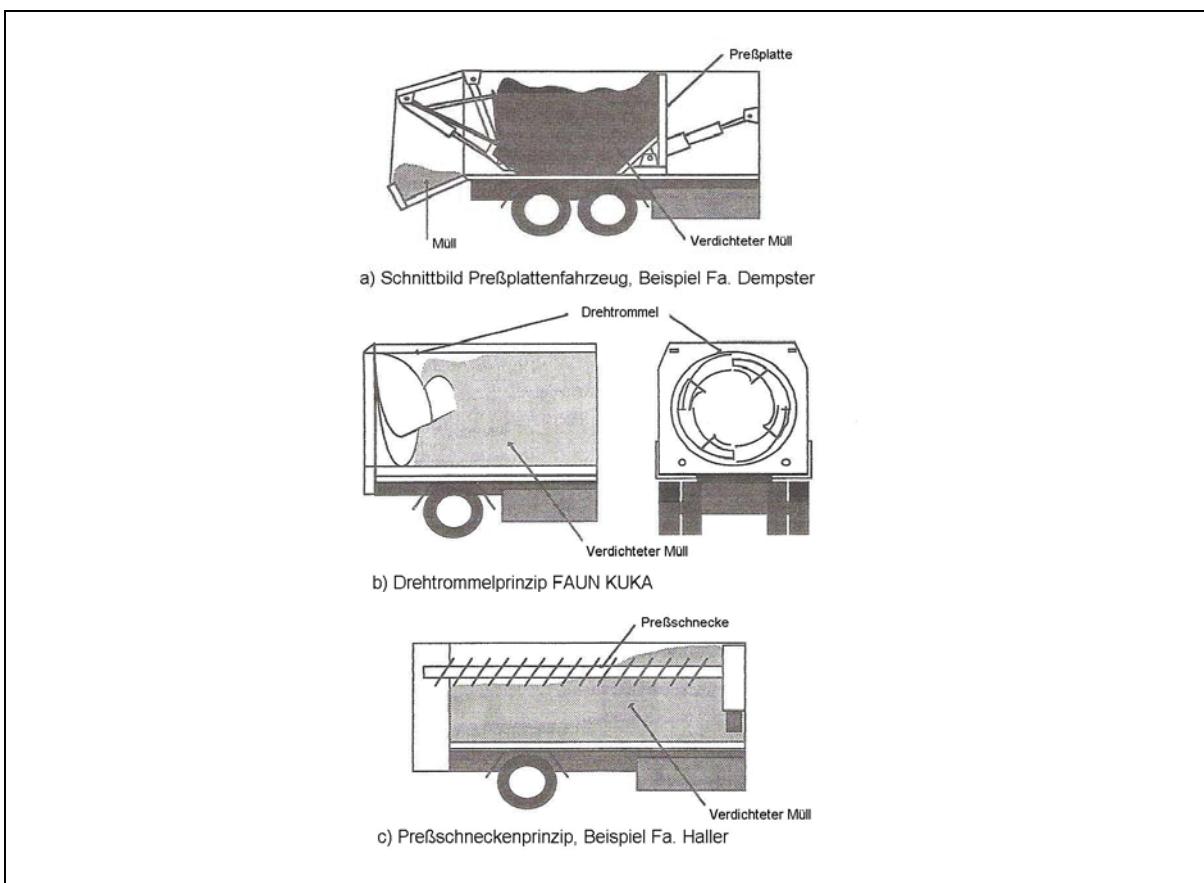


Abbildung 7: Verdichtung im Sammelfahrzeug, Quelle: [Rinschede 91]

Die Müllbehälter werden im Aufbau über die Schüttung umgeschlagen. Je nach Position der Schüttung am Fahrzeug werden Frontlader, Seitenlader und Hecklader unterschieden.

Nach den zu leerenden Behältersystemen lassen sich Ringschüttung, Kammschüttung, Umleerschüttung mit Klapparmen für Zapfenaufnahme und Diamond-Lifter unterscheiden.

Bei der Sammlung von Sperrmüll oder Säcke wird die sog. Universalschüttung verwendet. Das heißt, dass der Abfall ohne Schüttung in die offene Ladewanne kommt.

Die für den Restabfall in Deutschland im Jahr 2002 eingesetzten Sammelfahrzeuge und ihr Anteil werden in Abbildung 8 dargestellt.

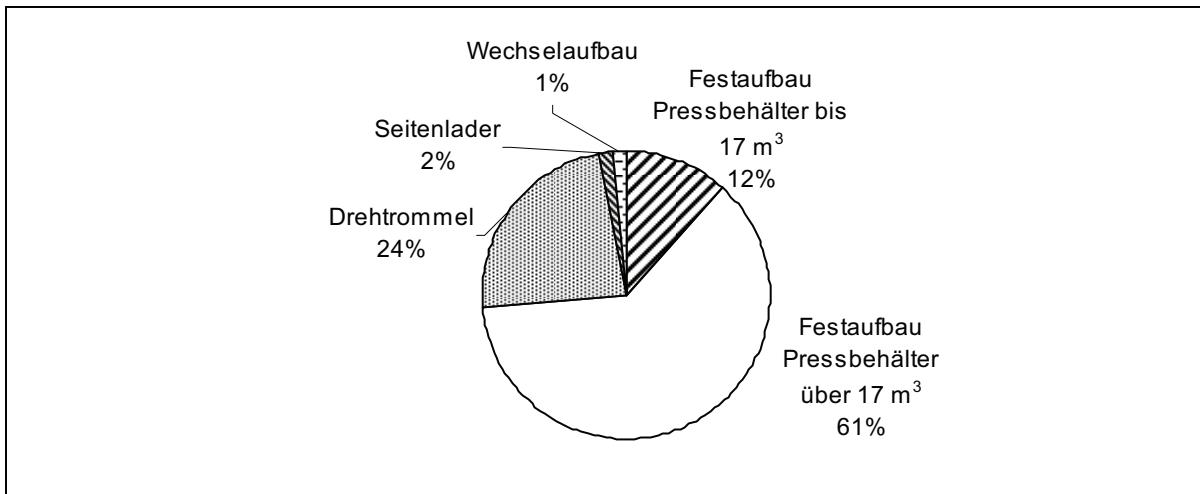


Abbildung 8: Eingesetzte Sammelfahrzeuge in Deutschland 2002, nach Angaben von [VKS 03b]

b) Wechselsysteme

Beim Wechselverfahren werden die befüllten Wechselbehälter vom Transportfahrzeug gegen einen leeren Behälter ausgetauscht und nach der Entleerung auf der Entsorgungsanlage wieder bereitgestellt. Die Abfuhr kann im regelmäßigen Rhythmus oder nach Abruf erfolgen. Wechselsysteme werden vor allem bei großer Abfallmenge oder bei Abfällen mit größerer Dichte (z.B. Erdaushub, Bauschutt, Klärschlamm usw.) eingesetzt.

Behälter

Die Wechselbehälter werden in drei Gruppen unterschieden (siehe Abbildung 9):

- Absetzmulden: sie werden mit einem Absetzkipperfahrzeug abgeholt. Es gibt unterschiedliche Bauformen. Sie können symmetrisch oder asymmetrisch 4 m³, 5,5 m³, 7 m³ oder 10 m³ groß sein. Beim asymmetrischen gibt es zusätzlich die Größe 12 m³, 15 m³, 18 m³ und 20 m³.
- Abrollbehälter: es gibt stapelbare Behälter mit der Größe 5–15 m³, Schlammbehälter mit der Größe 9 – 16 m³ und offene Behälter mit der Größe 4,6 – 40 m³.
- Gleitabsetzbehälter: in dieser Gruppe gehören Hausmüllbehälter für größere Wohngemeinschaften und offene Behälter mit der Größe von 12-21 m³.

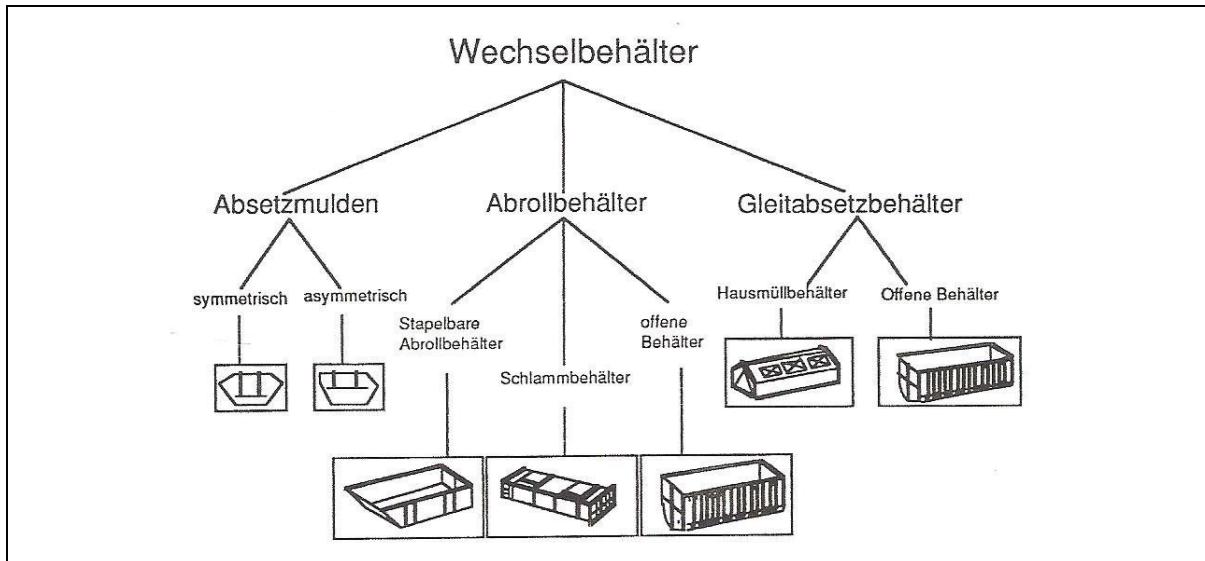


Abbildung 9: Wechselbehälter, Quelle: [Jünemann 89]

Fahrzeuge

Die zum Wechselbehälterverfahren angewandten Fahrzeuge haben ihre eigenen Hub- und Absetzkipp-systeme, Abrollkippsysteme mit Hakenaufnahme sowie Abgleitkippsysteme mit Seilzug, um die Mulden und Container auf- und abzuladen. Eine Darstellung der Fahrzeuge bietet Abbildung 10.

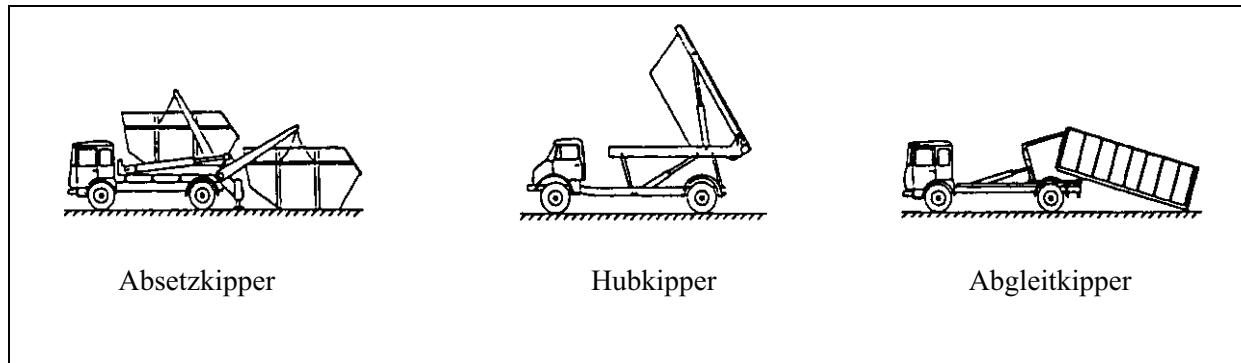


Abbildung 10: Sammelfahrzeuge des Wechselsystems, nach [BGR 92]

c) Einwegsysteme

Beim Einwegsystem werden die Abfälle in gefüllten Einwegbehältern, wie Säcke oder Spezialbehälter für z.B. infektiöse Abfälle, von Krankenhäusern gesammelt. Das System wird häufig bei der Sammlung von Leichtverpackung verwendet. Es ist auch dort geeignet, wo Abfälle unregelmäßig in unterschiedlich großen Mengen vorkommen, wie z.B. Gartenabfälle.

Behälter

Die Sammelsäcke sind aus Papier oder aus Kunststoff. Sie müssen fest sein, um den Inhalt halten zu können. Es werden in der Regel Säcke in Größen zwischen 40 und 110 l angeboten. Die Behälter für

infektiöse Abfälle sind stabil, in der Regel aus Kunststoff und nach dem Schließen nur mit Gewalt wieder zu öffnen. Sie werden zusammen mit dem Inhalt vernichtet.

Fahrzeuge

Beim Einwegfahren werden entweder Sammelfahrzeuge mit Universalschüttung, Pritschenfahrzeuge mit unterschiedlichen Aufbauvolumina oder Fahrzeuge mit Koffer- bzw. Kastenaufbau verwendet.

3.1.3 Umschlag

Die Tendenz zu weniger zentralen Entsorgungsanlagen zieht die Situation nach sich, dass die Distanz zwischen dem Sammelgebiet und der Entsorgungseinrichtung steigt. Da die spezifischen Kosten für den Direkttransport viel höher als für den Ferntransport sind (geringe Nutzlast von Sammelfahrzeugen, hohes Totgewicht, Personalkosten), werden Umschlagstationen eingerichtet. Der Abfall wird dort umgelagert und mit Ferntransportmittel weitergeliefert. Die Schaffung einer Umschlagstation ist allerdings erst bei entsprechender Abfallmenge oder Entfernung der Behandlungs- bzw. Deponierungsanlage wirtschaftlich. Eine Darstellung des Zusammenhangs zwischen spezifischen Transportkosten, mit und ohne Umladung in Abhängigkeit der Abfallmenge und der Entfernung der Entsorgungsanlage sind in Abbildung 11 zu sehen. Die kritische Entfernung für den Direkttransport im Sammelfahrzeug liegt zwischen 20 und 40 km. Weitere Abbildungen und Beschreibungen zu spezifischen Kosten des Umschlages und des Transports sind in [Haase 03] zu finden.

Die Vorteile des sammelgebietsnahen Abfallumschlags mit anschließendem Ferntransport sind nach [Tabasaran 94]:

- günstigerer Einsatz der Sammelfahrzeuge und des Ladepersonals, geringer Fahrzeug- und Personalaufwand bei der Abfuhr,
- Reduzierung der Umweltbelastung durch insgesamt geringes Verkehrsaufkommen,
- Möglichkeit zur Vorbehandlung der Abfälle (z.B. Vorseparierung),
- ortsnahes Entsorgungsangebot für private und gewerbliche Kleinmengen.

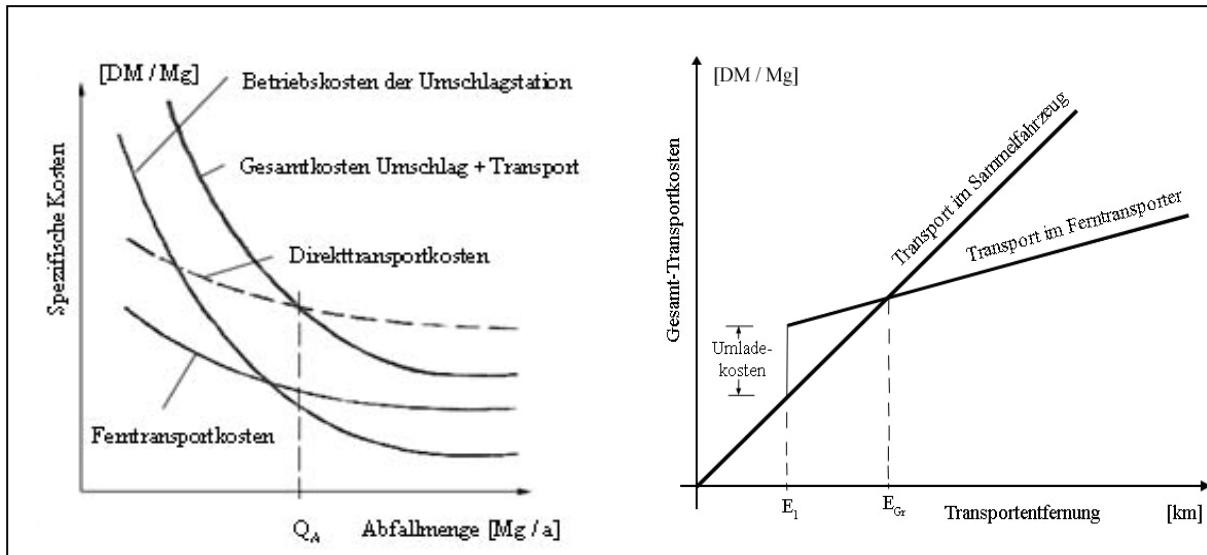


Abbildung 11: Spezifischen Transportkosten in Abhängigkeit von Abfallmenge bzw. Transportentfernung, nach [Tabasaran 94] und [Jäger 89]

In der Praxis werden drei Umschlagverfahren unterschieden: direkter und indirekter Umschlag sowie das Wechselverfahren. Beim letzteren wird der Sammelbehälter des Multi-Service-Transport-Systems (MSTS) nicht gewechselt, sondern nur das Ferntransportmittel.

Direktumschlag erfolgt ohne Zwischenlagerung und i.d.R. ohne Verdichtung des Abfalls; vom Sammelfahrzeug wird der Abfall direkt oder mit Hilfe eines Fülltrichters in nach oben offene Transportbehälter befördert. Die Ladung kann mit einem mechanischen Rechen verteilt werden. Für den Transport auf den Schienen werden Drehtrommelbehälter verwendet, deren Befüllung durch eine Rüttelrinne von der Stirnseite erfolgt. Direktumschlag kann auch beim Schiffstransport verwendet werden; in dem Fall werden die oben offenen Lastkähne direkt vom Sammelfahrzeug gefüllt. Vorteil des Direktumschlages ist der geringe technische Aufwand und damit die geringe technische Störanfälligkeit. Nachteil ist, dass beim im Sammelfahrzeug nicht vorkomprimierten Abfall die Nutzlast des Ferntransportfahrzeugs nicht oder schwer erreicht wird. Der Transportbehälter muss während des Transports von oben abgedeckt werden, um den Verlust der Abfälle zu verhindern.

Wird der Abfall vor der Beladung des Ferntransportfahrzeugs erst in einen Tiefen- oder Flächenbunker, auf ein Müllbrett, oder bei kleiner Abfallmenge in einen unten schließbaren Trichter entleert, so wird der Umschlag **indirekt** genannt. Der Abfall wird danach mit Hilfe z.B. eines Krans oder Förderbands in das Ferntransportfahrzeug geladen.

Bei dem direkten und indirekten Umschlagverfahren kann man grundsätzlich zwei Formen unterscheiden: Umschlag mit und ohne Abfallverdichtung. Abbildung 12 zeigt die verschiedenen Umlademethoden.

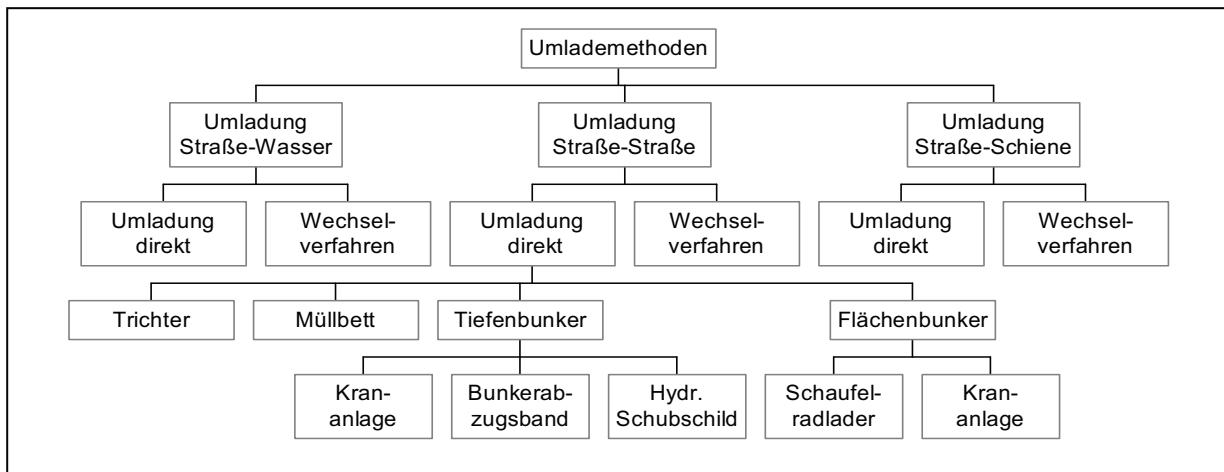


Abbildung 12: Systematische Einteilung der verschiedenen Umlademethoden, Quelle: [Tabasaran 94]

a) Umschlag ohne Verdichtung

Beim Umschlag ohne Verdichtung wird der im Sammelfahrzeug vorverdichtete Abfall direkt oder nach Lagerung ins Ferntransportmittel oder in den Wechselbehälter gefördert. Dazu wird ein Fülltrichter oder ein Transportband verwendet. Vorteile dieser Methode des Umschlages bestehen in dem geringen technischen Aufwand und der niedrigen Störanfälligkeit, die dem einfachen Beladungsverfahren zu verdanken sind. Weiterer Vorteil ist, dass wegen leichter Konstruktion des Transportfahrzeugs eine hohe Nutzlast möglich ist. Diese Möglichkeit wird allerdings oft nicht ausgenutzt, besonders dann, wenn der Abfall vorher nicht verdichtet wurde.

b) Umschlag mit Verdichtung

Die Verdichtung des Abfalls kann mit Hilfe von Verdichtungsfahrzeugen oder in stationären Anlagen auf der Umladestation in Form von hydraulischen Pressen oder Zerkleinerungsaggregaten erfolgen. Die verschiedenen Verdichtungsmethoden und ihre Technik zeigt Abbildung 13.

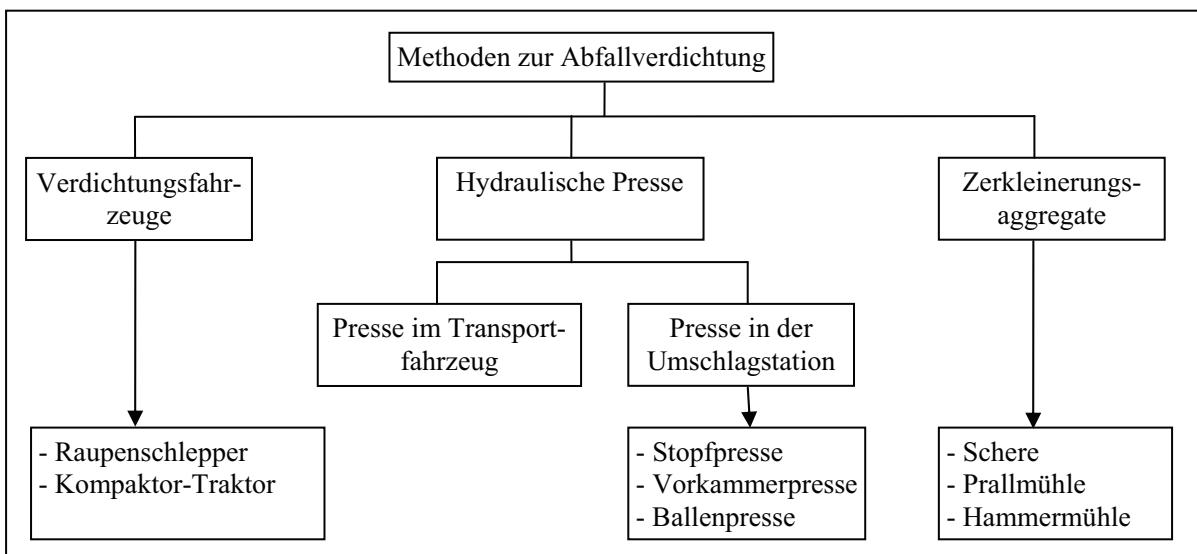


Abbildung 13: Abfallverdichtungsmethoden im Rahmen des Umschlages, verändert nach [Jansen 98]

Verdichtungsfahrzeuge

Der Abfall wird oft im Verdichtungsfahrzeug gesammelt, dann in der Sammelgrube mit Hilfe von Raupenschleppern oder Kompaktor-Traktoren zerkleinert und verdichtet und dann ins Ferntransportfahrzeug verladen. Die Nachteile dieser Methode ist, dass nur eine geringe Verdichtung erreichbar ist, der Abfall wird außerdem bei der Beladung aufgelockert.

Presse im Transportfahrzeug

Eine andere Möglichkeit zur Verdichtung ist eine ins Transportfahrzeug installierte Presse. Bei diesem Verfahren wird der Abfall von oben in den vorderen Teil des Großraumbehälters gefüllt. Danach drückt ein hydraulischer Schott den Abfall gegen die hintere Tür. Die Entladung erfolgt durch Zurückschub des Abfalls durch die geöffnete Tür. Die Vorteile dieser Methode liegen in der besseren Auslastung und der schnellen Entladung. Die Nachteile sind Störanfälligkeit und geringe Nutzlast aufgrund des Gewichts der Presse und der verstärkten Behälterwände. Dieses Verfahren wird selten angewendet.

Presse in der Umschlagstation

Öfter wird der Abfall in der Umschlagstation im Wechselcontainer kompaktiert. Die dazu dienenden Verdichtungseinrichtungen bestehen aus einer hydraulischen Abfallpresse. Man unterscheidet Stopf- und Vorkammerpresse.

Die Pressen werden durch einen Trichter befüllt. Bei der Stopfpresse wird der Abfall gegen die Rückwand des Containers gedrückt. Der Container wird durch mehrere Presszyklen befüllt. Bei der Vorkammerpresse wird der Abfall gegen eine heruntergelassene Wand gedrückt, dadurch wird ein Pressling gebildet, der in den Container geladen wird.

Vorteile der Presse sind die Ausnutzung der Ladenkapazität, die schnelle Entladung und bei einem automatischen Verfahren die Einsparung der Personalkosten. Der Nachteil besteht in dem großen Einrichtungsaufwand und bei Störungen der Presse können die Container nicht beladen werden.

Bei der Entladung verliert der Abfall an seiner Festigkeit. Um das zu vermeiden gibt es die Möglichkeit, aus dem Abfall Ballen herzustellen. In diesem Fall wird der Abfall in eine Dosierwanne gefüllt, in die Presse geführt und dort von drei Seiten gedrückt. Nach diesem Verfahren behält der Ballen oft seine Form, aber es ist möglich, ihn während des Prozesses mit Draht oder Bitumen zu verfestigen. Die Vorteile der Ballenpresse sind die Stapelbarkeit, die einfache Förderungsmöglichkeiten, die einfache Konstruktion des Transportfahrzeugs und die hohe Nutzlast. Außerdem wird die Verwehung des Abfalls beim Transport vermieden.

Zerkleinerungsaggregate

Auch mit Hilfe von Scheren, Prall- oder Hammermühlen kann der Abfall verdichtet werden. Damit wird der Abfall einfacher zu behandeln und das Eisenteil kann mit Hilfe eines Magnetkerns einfacher separiert werden. Die Nachteile sind hohe Installations-, Wartungs-, und Energiekosten. Außerdem gibt es bei dem Verfahren eine erhebliche Lärm- und Staubentwicklung.

3.1.4 Transport

Beim Abfalltransport kann man Nah- und Ferntransport unterscheiden. Der Nahtransport (wird öfter auch als Beförderung bezeichnet) erfolgt ausschließlich auf der Straße und wird durch das Sammelfahrzeug durchgeführt. Die Sammelfahrzeuge unterliegen dem Straßenverkehrsgesetz (StVG), der Straßenverkehrsordnung (StVO) und der Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung (StVZO), in denen Abmessungen und maximale Achslasten der Fahrzeuge, Fahrbahnnutzung bei der Beladung und Unfallverhützungsvorschriften festgelegt sind [Nassour 00]. Nahtransport heißt auch Direkttransport, sprich Transport vom Sammelgebiet direkt zur Abfallbehandlungs- bzw. Abfallbeseitigungsstelle. Durch die Zentralisierung der Deponien bekommt der Ferntransport immer größere Bedeutung in der Abfallwirtschaft. Beim Ferntransport wird der Abfall oft in ein anderes Fahrzeug oder einen anderen Behälter in einer Umschlagstation umgeladen und dann auf der Straße, den Schienen oder dem Wasser weiter transportiert. Abbildung 14 zeigt die möglichen Transportketten.

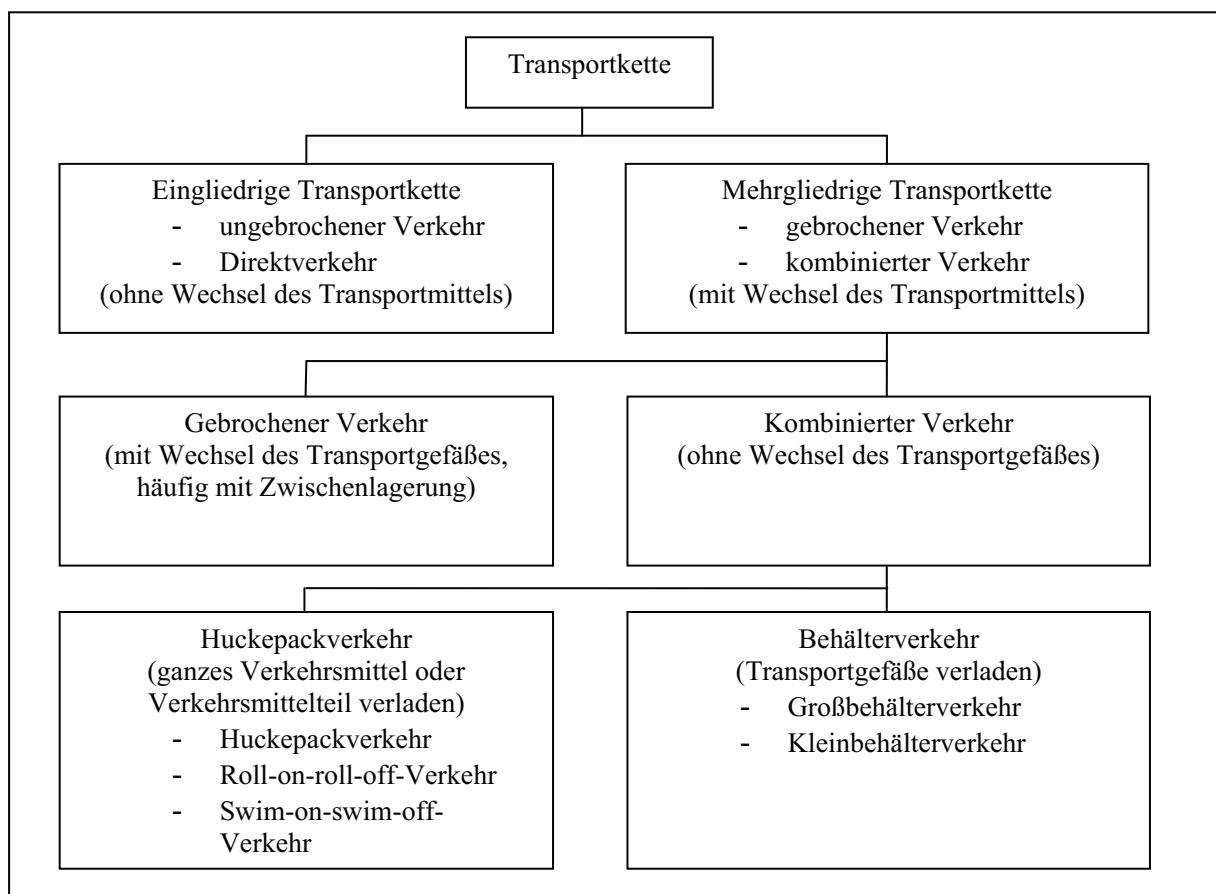


Abbildung 14: Varianten der Transportketten, nach [Jansen 98]

Der Ferntransport erfolgt überwiegend auf der Straße. Das hat den Grund, dass die Straßen in Deutschland ein gutes Verkehrsnetz bilden und die Straßenfahrzeuge flexibel einsetzbar sind. Dadurch sind sie für mittlere Entferungen gut geeignet. Ab einer Entfernung von etwa 100 km ist es jedoch empfohlen, neben ökologischen und wirtschaftlichen Gründen, den Schienenverkehr gegenüber dem Straßenverkehr zu wählen [Thomé-K. 95].

Für den Ferntransport auf der Straße werden verschiedene Fahrzeuge verwendet. Fahrzeuge mit Anhänger haben eine Containerkapazität von 80 - 90 m³, Sattelflieger etwa 50 – 60 m³, und der MSTS-(Multi-Service-Transport-System) Transportlift kann 3 Wechselcontainer mit je 20 m³ Nutzvolumen transportieren. Die zulässige Nutzlast hängt vom Fahrzeugaufbau und vom Eigengewicht des Fahrzeugs ab. Das maximale Gesamtgewicht von Fahrzeugen mit mehr als 4 Achsen darf 40 Mg nicht übersteigen.

Der Schienentransport wird vor allem eingesetzt, wenn die Distanz zwischen Umschlagstation und Behandlungsort (z.B. Müllverbrennung, Kompostierung) bzw. der Entsorgungsanlage groß ist und sie über eine ortsfeste Abkipplstelle verfügen.

Die Vorteile dieses Verfahrens liegen in der Entlastung der stark befahrenen Straßen, der geringeren Umweltbelastung und der hohen Kapazität. Ein Eisenbahnwaggon hat eine Nutzlast von 40-50 Mg. Meistens sind die Anlagen aber nicht direkt mit Schienen verbunden und ein Weitertransport wird benötigt. Beim Transport auf Schienen kann der Abfall durch Abrollbehälter, Presscontainer, Drehtrommelbehälter oder in unverdichteten Zustand auf dem Waggon angebracht werden.

Das Umladen von *Abrollcontainern* vom LKW auf einen Eisenbahnwaggon erfolgt direkt. Dafür wird kein weiteres Gerät gebraucht. Es ist allerdings notwendig, eine etwa 10 m breite Ladestraße in der Umladestation für die korrekte Anfahrt des LKW an den Eisenbahnwaggon einzurichten.

Die *Drehtrommelbehälter* sind 15 m lang und können ca. 73 m³ Abfall fassen. Die Befüllung erfolgt an der Sternseite. Drehtrommelbehälter werden auf speziellen Eisenbahnwaggons transportiert.

Die *Presscontainer* werden mit Hilfe eines Greifkrans durch eine Stopfpresse befördert und dann mit einem Brückenkran auf den Eisenbahnwaggon verladen. Für diese Methode ist eine Halle mit mehreren Abkipstellen nötig.

Der Ferntransport auf dem Wasser wird relativ selten eingesetzt. Die Gründe dafür sind die niedrige Anzahl von Umladestationen am Wasser und die große Ausfallzeit (Hoch- und Niedrigwasser, Eisgang). Von Vorteil sind allerdings die geringen spezifischen Transportkosten. Im Rahmen der Transportart auf dem Wasser kann man Umleer- und Wechselverfahren unterscheiden. Beim ersten wird der Abfall vom Sammelfahrzeug direkt ohne Verdichtung auf die Fachkähne gefüllt. Beim zweiten werden die gefüllten Behälter oder Wechselbauten mit Krananlagen auf die Kähne verladen.

In Abbildung 15 werden die eingesetzten Ferntransportmöglichkeiten mit den verwendeten Transportfahrzeugen und Abfallbehältern dargestellt.

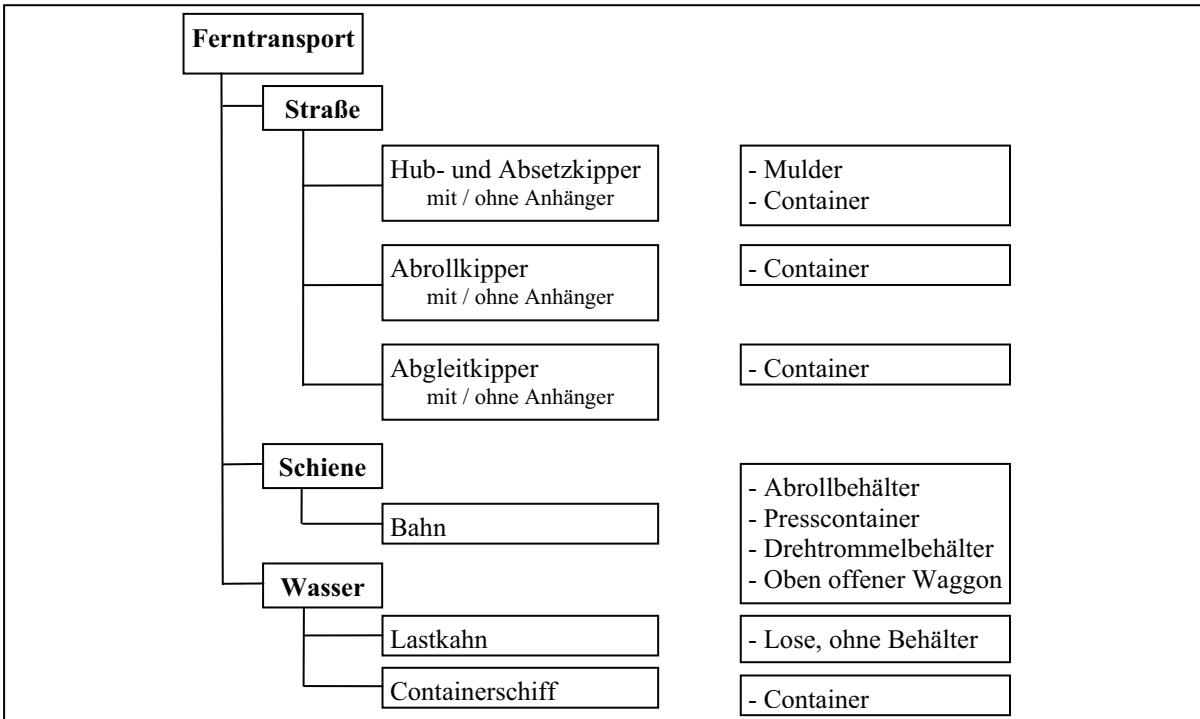


Abbildung 15: Fahrzeuge und Behälter des Ferntransports

3.2 Organisation der Entsorgungslogistik

Die Organisation eines Unternehmens wird mit der Aufbau- und Ablauforganisation beschrieben. Während sich die Aufbauorganisation hauptsächlich mit der Strukturierung eines Unternehmens in organisatorischen Einheiten, wie Stellen und Abteilungen, beschäftigt, regelt die Ablauforganisation die innerhalb dieses Rahmens ablaufende Arbeits- und Informationsprozesse [N.N. 05], [Incovis 06]. In Abbildung 16 sind die wichtigsten Merkmale und Aufgaben der Organisationsformen zusammengefasst.

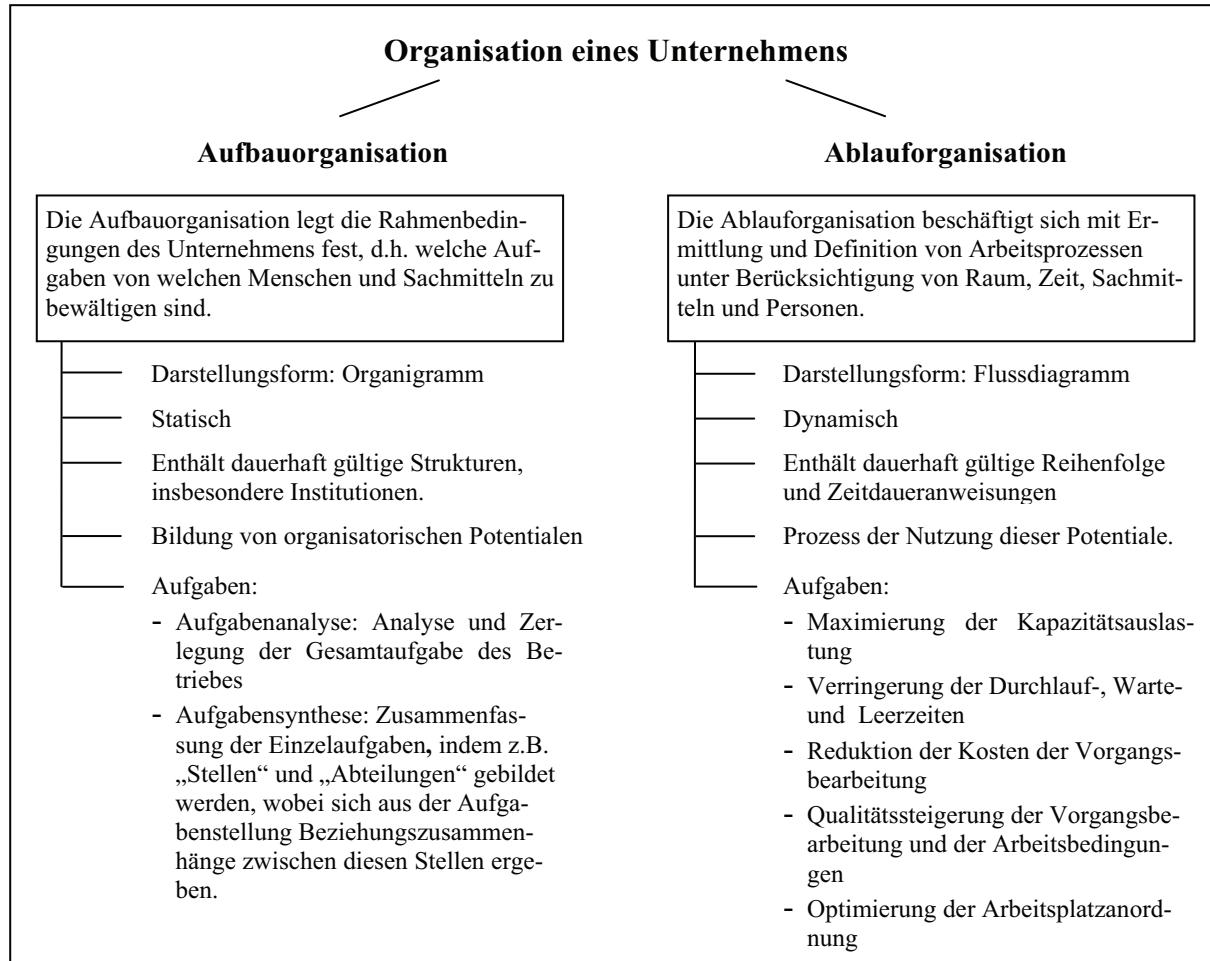


Abbildung 16: Organisationsformen eines Unternehmens, in Anlehnung an [N.N. 05a], [N.N. 05b], [Borngräber 05], [Schartner 98], [Payer 06] und [Maier 02]

3.2.1 Aufbauorganisation eines Entsorgungsunternehmens

Die Aufbauorganisation ist „Teilgebiet der Organisation, das sich mit dem Aufbau von Systemen, ihrer Dimension und räumlichen Struktur beschäftigt“ [Fraunhofer 04]. „In der Aufbauorganisation werden die Aufgaben (eines Unternehmens) auf verschiedene Stellen aufgeteilt und die Zusammenarbeit dieser Stellen geregelt.“ [Camra 77] S. 41.

Nach dem Abfallgesetz wird die Abfallentsorgung als öffentliche Aufgabe definiert. Die Aufgaben der Abfallentsorgung sind aufgeteilt. Die Einsammlung und der Transport der Abfälle gehören zu den kreisangehörigen Städten. Für die Entsorgung der Abfälle sind die Kreise verantwortlich. Die kreisfreien Städte haben beide Aufgaben zu erledigen [Buchholz 95]. Das Gesetz erlaubt aber auch die Beteiligung der Privatwirtschaft und wird durch § 3 Abs.2, 3 AbfG geregelt. Nach dem Bericht des Bundesverbandes der Deutschen Entsorgungswirtschaft e.V. (BDE) ist die Aufteilung der Marktanteile bei der Restmüllerfassung zwischen kommunalen und privatwirtschaftlichen Unternehmen 37% zu 63% [BDE 05]. Private Entsorgungsunternehmen können jede, vom deutschen Gesellschaftsrecht zugelassene Rechtsform besitzen. „Die öffentlichen Unternehmen sind als Regiebetrieb, Eigenbetrieb oder Eigengesellschaft organisiert. Der Regiebetrieb ist Teil der allgemeinen Verwaltung, Eigenbe-

triebe sind organisatorisch und finanzwirtschaftlich verselbständigte öffentliche Unternehmen. Eine Eigengesellschaft ist eine privatrechtlich organisierte Gesellschaft. Eigentümer ist die öffentliche Hand, wobei auch Mischformen mit privaten Beteiligungen existieren.“ [Schöne 93], S.16

Die meisten Entsorgungsunternehmen besitzen das Zertifikat des Entsorgungsfachbetriebes. Es wird in der Entsorgungsfachbetriebverordnung [EfbV 96] geregelt, welche Anforderungen die Unternehmen bestehen müssen, um dieses Zertifikat zu erhalten. Im § 3 werden die Anforderungen an die Betriebsorganisation wie folgt formuliert: „Die Organisation des Entsorgungsfachbetriebes ist so auszustalten, dass die erforderliche Überwachung und Kontrolle der vom Betrieb durchgeführten abfallwirtschaftlichen Tätigkeiten sichergestellt ist. Bei der Gestaltung der Organisation sind insbesondere der Zweck, die Tätigkeit und die Größe des Betriebes, die Tätigkeit der im Betrieb beschäftigten Personen und die Art, insbesondere Gefährlichkeit, Beschaffenheit und Menge der Abfälle, auf die sich die Tätigkeit bezieht, zu berücksichtigen.“

Beispielhaft steht ein Diagramm zur Aufbauorganisation eines praktizierenden Unternehmens im Kapitel 6.1.1, Abbildung 25.

3.2.2 Ablauforganisation in einem Entsorgungsunternehmen

„Die Ablauforganisation befasst sich mit der räumlichen und zeitlichen Folge des Zusammenwirkens von Menschen, Betriebsmitteln und Arbeitsgegenständen bzw. Informationen bei der Erfüllung von Arbeitsaufgaben.“ [Camra 77], S.11.

Der Arbeitsablauf muss in verschiedener Hinsicht geordnet werden nach [N.N. 06b]:

- die Ordnung des Arbeitsinhalts,
- die Ordnung der Arbeitszeit,
- die Ordnung des Arbeitsraums und
- die Arbeitszuordnung.

Einflussgrößen beim Prozess der Ablauforganisation sind nach [Payer 06]:

Interne Einflussgrößen:

- Arbeitsprogramm,
- Struktur der Arbeitsträger (Qualifikation der Mitarbeiter),
- Struktur des Planungssystems (zentral / dezentral),
- Struktur des Informationssystems (Übermittlung durch Vorgesetzte / EDV-System).

Externe Einflussgrößen:

- Rechtliche Normen (sicherheitstechnische Vorschriften, arbeitsrechtliche und kollektivvertragliche Regelungen),
- Soziale Normen (z.B.: bestimmte Umgangsformen unter Kollegen),
- Technologische Erkenntnisse,

- Verhalten der Marktteilnehmer (Monopolstellung / starke Konkurrenz).

Ein Praxisbeispiel zur Ablauforganisation wird anhand eines Diagramms in Abbildung 26 im Kapitel 6.1.2 gezeigt.

4 GIS in der Entsorgungslogistik

4.1 Einführung in GIS

Das Geo-Informationssystem (GIS) wird nach [Bill 94], S.5 wie folgt definiert: „Ein Geo-Informationssystem ist ein rechnergestütztes System, das aus Hardware, Software, Daten und Anwendungen besteht. Mit ihm können raumbezogene Daten digital erfasst und redigiert, gespeichert und reorganisiert, modelliert und analysiert sowie alphanumerisch und graphisch präsentiert werden.“ Neben der obigen existieren natürlich noch weitere Definitionen. In allen wird das Wesen des GIS ausgedrückt: die Behandlung raumbezogener Informationen. GIS ist damit eine Visualisierungsmöglichkeit für raumbezogene Daten.

GIS kann nach der „Stand-Alone-Einrichtung“ oder dem „Client-Server Prinzip“ eingerichtet werden. Bei der ersten Variante sind die Daten und das Programm auf jedem einzelnen Computer vorhanden. Bei der zweiten Lösung gibt es einen Rechnerverbund aus mehreren Computern. Es besteht eine Netzverbindung zwischen einem Zentralserver mit sehr großer Speicher- und Rechenkapazität und mehreren Benutzern (Clients), die Zugriff auf den Zentralserver haben. Auf diesem hochgradig leistungsfähigen Computer werden auch die Rechenoperationen im Hintergrund durchgeführt und die Ergebnisse gespeichert. Die Netzwerke können Busstruktur, Ringstruktur oder Sternstruktur haben [Bill 99a]. Die Daten und das Programm können auch auf verschiedenen Computern verteilt werden.

Wie in der Definition beschrieben wurde, sind die Elemente eines GIS Hardware, Software und Daten. Ihre Verjährungszeit ist unterschiedlich; Hardware ist 1-5 Jahre aktuell, Software 3-10 Jahre, bei den Daten ist es schwer einzuschätzen. Dementsprechend sind auch ihre Kosten unterschiedlich. In der Fachliteratur findet man folgendes Verhältnis zwischen den Größenordnungen der Kosten dieser Elemente:

$$\text{Hardware : Software : Daten} = 1 : 10 : 100$$

wobei die Größen in bestimmten Fällen getauscht werden können [Czimber 01].

Im Folgenden werden die in der Definition beschriebenen Komponenten eines GIS kurz beschrieben.

Zur Hardware zählen die Geräte zur Datenerfassung, zur Datenverwaltung und -verarbeitung sowie zur Datenausgabe. Geräte zur Datenerfassung sind Digitalisiertisch, vermessungstechnische Geräte, Global Positioning System (GPS), mobile Erfassungssysteme, photogrammetrische Auswertegeräte, Scanner, Satellitensensoren und Multisensorkonzepte im Bildflugzeug. Die Verwertung, Verarbeitung und Analyse der Daten erfolgt mit Hilfe eines Rechners, der aus Zentraleinheit, Speichereinheit, Tastatur, Bildschirm, Maus und Tablett besteht. Dazu kommen noch Speichermedien und externe Bussys-

teme, Netzwerk, Archivierungseinheiten und Austauschmedien. Zu den Ausgabegeräten für die Präsentation gehören Bildschirm, Drucker und Zeichengeräte (Plotter) [Bill 99a].

Die Software für GIS wird von mehreren Herstellern angeboten. Die bekanntesten sind ESRI, MapInfo und Intergraph. Ihre bekanntesten Produkte sind ArcInfo/ArView, MapInfo, GeoMedia. Neben diesen gibt es viele weitere, für spezielle Anwendung entwickelte Softwareprodukte und Module [Medwedeff 00]. Nach Goodchild in [Bill 99a] werden in einem GIS etwa 75 Grundfunktionen benötigt, die in folgenden Gruppen von GIS-Funktionen einzuordnen sind: Erfassen, Verändern, Strukturieren, Transformieren, Konstruieren, Archivieren, Verwalten, Prüfen, Sichern, Abfragen, Berechnen, Vergleichen, Gestalten, Analysieren und Präsentieren [Bartelme 95].

Die Qualität eines GIS hängt am meisten von der Qualität der Daten ab, daher sind sie der Kern eines GIS. In einem GIS werden zwei Datentypen unterschieden: Geometriedaten, die aus Grafiken und beschreibenden Attributen (Farbe, Strichstärke usw.) bestehen und Sachdaten, die ein reales Objekt beschreiben [Liebig 01]. Die Geometriedaten stellen die Lage der Elemente im Raum und zueinander dar (Nachbarschaftsbeziehungen).

Sachdaten werden auch beschreibende Daten genannt und sind nichtgeometrische Elemente wie z.B. Texte, Zahlen, Namen, Eigenschaften, Größen. Es existieren unterschiedliche Datenmodelle, mit deren Hilfe die Speicherung und die Bearbeitung der Sachdaten erfolgen. Am meisten verwendete Datenmodelle sind: Tabellen-Datenmodelle, hierarchische Datenmodelle, Netzwerk-Datenmodelle, relationale Datenmodelle und objektorientierte Datenmodelle [Kappas 01].

Nach Darstellungsart eines Raumes sind das Raster- und das Vektor-Datenmodell zu unterscheiden, die allerdings auch kombinierbar (Hybridmodell) und ineinander konvertierbar sind.

Im Rastermodell sind die Basiselemente gleich groß, i. d. R. rechteckige Flächen, sog. Pixel, aus denen die Linien und Oberflächen im Rastersystem (Spalten und Zeilen aus Zellen) gebaut werden. Die Größe der Pixel spielt eine bedeutende Rolle bei der Genauigkeit der Arbeit mit Rastermodell. Wenn deren Breite zu groß ist, führt dies zu einer starken Generalisierung der Objekte. Wenn sie zu klein sind, werden größere Datensätze produziert und die Verarbeitungsgeschwindigkeit lässt nach [Kappas 01]. Die Sachdaten werden zu den Pixel angekoppelt.

Im Vektormodell sind die Elemente auf der Basis von Punkten mit ihren Koordinaten dargestellt und die Attribute zu den einzelnen Punkten zugeordnet. Mit Hilfe von Punkten können Linien und mit Hilfe von Linien Flächen definiert werden (z.B. Endpunkten, Bruchlinien). Abbildung 17 zeigt die graphischen Darstellungen der Raster- und Vektordaten.

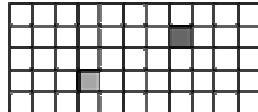
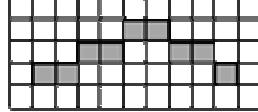
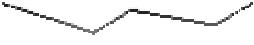
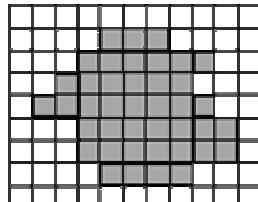
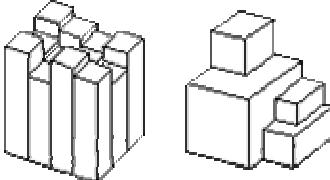
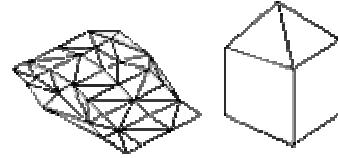
Dimension der Ausdehnung	Rasterdaten	Vektordaten
0D – kein, Punkt		+
1D – linear, Linie		
2D – eben, Fläche		
3D - räumlich, Oberfläche und Körper		

Abbildung 17: Darstellung der geometrischen Daten in Raster- und Vektormodell, nach [Czimber 01]

In der Abbildung 18 sind einige charakteristische Eigenschaften der Raster- und Vektormodelle zum Vergleich zusammengestellt. Die Tabelle veranschaulicht, dass während das Rastermodell vor allem für die Darstellung kontinuierlicher und flächiger Erscheinungen (für räumliche Analyse) geeignet ist, hat das Vektormodell eher für die Beschreibung diskreter und linearer Elemente (Registratur, Kartierung) den Vorteil.

Charakteristik	Rastermodell	Vektormodell
Herstellung	Einfach und schnell	Kompliziert und langwierig
Geometrische Genauigkeit	Weniger genau	Genau
Art der Speicherung	Elemente mit regelmäßiger Lage	Vektorelle, unregelmäßige Elemente
Benötigter Speicherplatz	Groß	Klein
Suchende Algorithmen	Schnell	Langsam
Zeichnende Algorithmen	Langsam wegen großer Datenmenge	Schnell
Räumliche Verbindungen	Einfach	Kompliziert
Räumliche Operationen	Einfach	Kompliziert
Informationsrückgabe	Detailliert und gleichmäßig	Wesentlich und ungleichmäßig
Veraltenszeit	Kurz	Länger
Aktualisierung	Einfach	Kompliziert

Abbildung 18: Vergleich der Charakteristik der Raster- und Vektormodelle, nach [Czimber 01]

Die Sach- und Geometriedaten bilden demnächst jeweils eine Informationsschicht (Datenebene). Mit vertikaler Aufeinanderlegung solcher Datenebenen ist die Erstellung thematischer und topographischer Karten möglich. Die Informationsebenen sind wie durchsichtige Folien: die Informationen aller eingeblendeten Ebenen sind gleichzeitig sichtbar (siehe Abbildung 19). Die einzelnen Schichten können beliebig ein- und ausgeblendet werden, je nach dem, ob sie für die Arbeit notwendig sind. Gearbeitet wird nur mit der aktiven („obersten“) Karte. Damit ist ein ungewollter Angriff zu den Hintergrund bildenden Informationsschichten nicht möglich. Diese Art des Prozesses der Kartenherstellung wird Layer-Prinzip (auch Ebenenprinzip oder Schichtenstruktur) genannt.

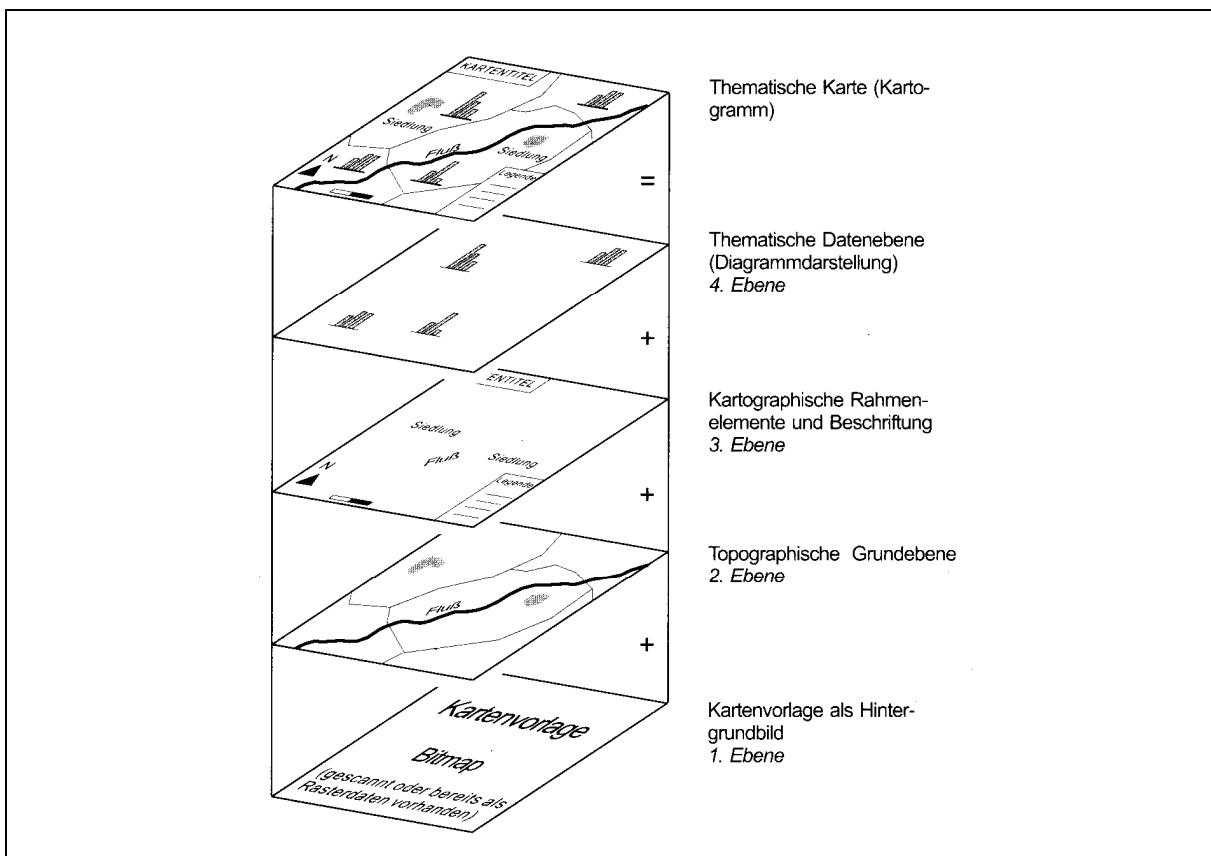


Abbildung 19: In der (Computer-) Kartographie verwendetes Layer-Prinzip, nach [Dickmann 99]

Geo-Informationssysteme werden vor allem in folgenden Sektoren verwendet (nach [Liebig 01]):

- Umweltschutz (Biotoptypen, Nutzungstypen, UVP, Altlasterkataster, Nationalpark),
- Notdienste (Polizei, Feuerwehr, Rettungswesen),
- Stadt- und Raumplanung (Deponiestandortsuche, Kanalnetze, Lärmuntersuchungen),
- Ver- und Entsorgungsunternehmen (Wasser, Strom, Gas, Kommunikation, Abfall),
- Militär (Logistik),
- Vermessungswesen (Erstellung von Karten, Straßenbau, GPS),
- Katasteramt (Liegenschaften),
- Land- und Forstwirtschaft (Waldschäden),
- Wissenschaft und Technik (Geologie, Geographie, Biologie, Hydrologie, Bergbau).

4.2 GIS in der Abfallwirtschaft

Als Grundlage des GIS wird eine, im Layer-Prinzip als Hintergrund verwendbare, geeignete digitalisierte Karte über das Entsorgungsgebiet benötigt. Eine Möglichkeit ist die Verwendung einer Karte aus dem Amtlichen Topographisch-Kartographischen Informationssystem (ATKIS), das inzwischen in mehr und mehr Gemeinden existiert und beim Katasteramt gegen Gebühren angeschafft werden kann. Sie sind sachneutral und damit frei von störenden und überflüssigen Informationen.

Im Allgemeinen sind die Ziele des GIS-Einsatzes in der Abfallwirtschaft folgende, verändert nach [Glowinski 01]:

- Visualisierung von abfallrelevanten Informationen,
- Effektive Auswertungen durch Berücksichtigung von räumlichen Zusammenhängen,
- Bereitstellung von detaillierten und aktuellen Planungsgrundlagen,
- Optimierung von abfallwirtschaftlichen Planungen.

Die benötigten Sachdaten können anhand bestehender Datenbanken oder durch Erfassung und Ermittlung hergestellter Informationen ausgearbeitet werden.

In der Abfallwirtschaft kann GIS sowohl bei der Deponieverwaltung als auch bei der Entsorgungslogistik verwendet werden. Da Deponien die wichtigsten Abfalllagerungsstätten sind, besteht eine hohe Anforderung an diese Anlagen. Mit Benutzung eines Deponieinformationssystems kann das Risiko einer Umweltgefährdung durch austretende kontaminierte Sickerwässer und Deponiegase minimiert werden. Die wichtigsten Schritte, um eine Deponieinformationssystem zu erstellen, sind [Bill 99b]:

- Erhebung der notwendigen Basisdaten (anstehender Boden, Reliefanalyse des Untergrundes, Basisabdichtung, Vermessungsergebnisse des Untergrundes usw.),
- Automatisierung der Erhebung der Befüllungsinformationen,
- Erstellung einer gesamtheitlichen Deponiedatenbank,
- Aufbau einer dreidimensionalen Leitungs- und Oberflächentopographie,
- Entwicklung von Begleitmaßnahmen einer zukünftigen Emissionskontrolle,
- Regelmäßige Datenpflege und Aktualisierung und langfristige Überwachung der Deponie.

In einem solchen Deponieinformationssystem können folgende Daten erhältlich sein: Befüllungsinformationen, Müllkataster, ein Betriebstagebuch, das den täglichen Deponiebetrieb inklusive Deponieeingangswagendaten, meteorologische Daten, Personaldaten und deponietypische Themengebiete wie z.B. Gaserfassung und Wasseranalytik dokumentiert, Infrastruktur in Form von Leitungen, Schächten, Gebäuden und Installationen und die Flur- und Grundstücksdaten.

Bei der Abfallentsorgung kann GIS als Abwicklungs- und Planungssystem verwendet und damit bei folgenden Aufgaben hilfreich eingesetzt werden:

- Auftragsbearbeitung bei Kleintonnen, Großbehältern (An-, Ab- und Ummeldung),
- Bearbeitung von Bestellungen von Müllsäcken, Containern, Sonderbestellungen,
- Tonnenverwaltung,
- Gebührenbescheiderstellung (Rechnungswesen, Kontierung),
- Satzungsvollzug (Betriebsvereinbarungen, Bearbeitung der Hausmüllgebührensatzung, Bußgeldbescheide),
- Tourenplanung mit Erstellung von Tourenbüchern und Übersichtskarten,
- Periodische Statistiken.

Als raumbezogene Objekte kommen Entsorgungsanlagen, Stützpunkte, Behälterstandorte als punktförmige, Straßen bzw. Straßennetze als linienförmige und Entsorgungsgebiet, Entsorgungsrevier und administrative Grenze als flächenhafte Objekte vor.

Mit Hilfe von GIS können Gebiete, Straßen oder einzelne Gebäude nach unterschiedlichen Parametern wie z.B. Einwohnerzahl, Altersgruppe der Einwohner, durchschnittliche Abfallaufkommen gekennzeichnet und durch diese Visualisierung die Tourenzusammenstellung erleichtert werden.

4.3 Globale Positionierungs-System in der Abfallwirtschaft

Die nachfolgenden Ausführungen dieses Abschnitts geben den Inhalt der VKS-Informationen 63, [VKS 05] wieder.

GPS (Globale Positionierungs-System) ist ein Navigationssystem, das aus mehreren, um die Erde kreisenden Satelliten und einigen, über die Erde verteilten Kontrollstationen besteht. Am häufigsten verwendetes GPS ist das vom Verteidigungsministerium der USA entwickelte und betriebene NAVSTAR-GPS, das aus 24 um die Erde kreisende Satelliten (auf 6 Laufbahnen in etwa 20.000 km Höhe) und 5, über die Erde verteilte Kontrollstationen besteht. Durch Messung der Laufzeit von Signalen zwischen dem Nutzer und je einem der Satelliten, deren Positionen bekannt sind, wird ihre Entfernung berechnet und damit das Ortungsverfahren durchgeführt. Ein GPS liefert Zeitpunkt und Koordinaten als Ausgangsinformation. Es sind drei Satelliten für eine zweidimensionale und vier Satelliten für eine dreidimensionale Ortsbestimmung notwendig. Wenn mehr als die gebrauchte Anzahl der Satelliten am Himmel sichtbar sind, sucht das System die 4 (oder bei zweidimensionaler Suchung 3) aus, die die günstigste Position haben. Mit diesem System ist eine Genauigkeit von 4 bis 20 Meter möglich. Die Genauigkeit des Systems hängt von mehreren Faktoren ab. Unter anderem werden sie durch das Wetter und die Umgebung des Benutzers beeinflusst, denn in einer stark bebauten Stadt ist der Empfang von Signalen wegen der Reflexion und der Streuung der Signale wesentlich ungenauer als auf einem Feld. Mit Hilfe zusätzlicher Korrektursignale und geeignetem Empfangsgerät lässt sich die Exaktheit der Ortsbestimmung jedoch verbessern (Differential-GPS-System – DGPS). So ist eine Genau-

igkeit von weniger als einem Meter erreichbar. Abbildung 20 stellt die Funktionalität der Positionsbestimmung eines Objektes mit Hilfe von GPS schematisch dar.

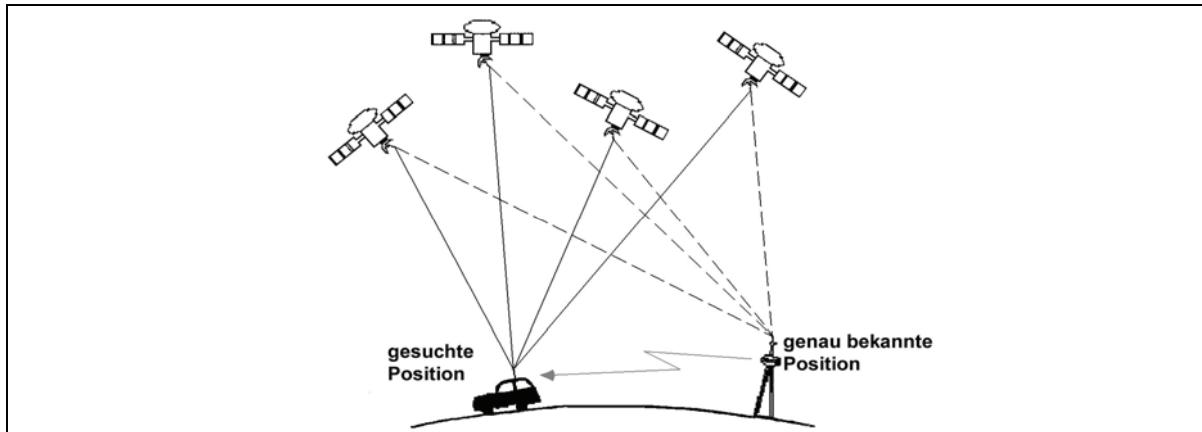


Abbildung 20: Schematische Darstellung des Differential-GPS-System, nach [VKS 05]

Ein GPS-System besteht aus

- einem GPS-Empfangs-/Sendegerät mit einer mobilen oder fest eingebauten Antenne zur Bestimmung der Fahrzeugposition,
- einem Bordcomputer, der die aufgenommenen Daten, wie z.B. Datum, Zeit und Koordinaten speichert und eventuell weiterverarbeitet,
- Software, zur Speicherung der GPS-Daten, zur Steuerung des Datentransfers vom Bordcomputer zur Zentrale, zur Auswertung der GPS-Daten, zur Darstellung der GPS-Daten auf digitaler Karten, für die Anwendungsprogramme wie z.B. Behälterdatei und Tourenplanung,
- Datenübertragung als Auslesestation für eine Speicherkarte, als DECT zu einer berührungslosen Datenübertragung zwischen Fahrzeug und Zentrale, als Funk, der neben Sprachübertragung auch Datenaustausch ermöglicht, oder als GSM-Modem für Datenübertragung zwischen Fahrzeug und Computersystem,
- Bedienterminal für den Fahrer zur Dateneingabe oder –anzeige und
- Monitor zur Datenanzeige oder für die Rückfahrtkamera,

wobei die beiden letzten nicht notwendig sind.

Die in der Einführung beschriebene Output-Informationen eines GPS, nämlich Zeit und Position des beobachteten Objekts, sind neben der Abfallwirtschaft auch in der Straßenreinigung und Winterdienst von großer Bedeutung. Mit einem auf dem Fahrzeug installierten Empfänger ist die Position des Fahrzeugs in regelmäßigen Zeitintervallen definierbar und mit Berechnung der Geschwindigkeit des Fahrzeugs die Arbeit verfolgbar.

Im Folgenden werden die Einsatzmöglichkeiten des GPS nach Anwendungsorten und nach Einsatzbereichen beschrieben.

In der Abfallwirtschaft kann GPS an folgenden Verwendungsorten die Arbeit unterstützen:

- im Fahrzeug,
- in der Disposition,
- bei der Fakturierung,
- bei organisatorischen Abläufen,
- im Betriebscontrolling und
- im Qualitäts-Management-System.

Im Fahrzeug kann GPS dem Fahrer einerseits als Navigationshilfe bei der Anfahrt zu neuen Kunden oder Entsorgungsanlagen, beim Finden von Ausweichstrecken bei Verkehrsbehinderungen wie Staus oder Baustellen, und beim lückenlosen Abarbeiten von Touren in einer vorgegebenen Reihenfolge behilflich sein. So bleibt dem Fahrer mehr Zeit für seine Hauptaufgabe. Eine zeitaufwendige Wegsuche zu den Kunden (Wechselsysteme, Bringsysteme, Containerdienst) und den Entsorgungsanlagen entfällt dank der Navigationshilfe.

Auch als Hilfestellung bei der Auftragsabwicklung durch die graphische Anzeige von bereits geleerten Abfallsammelbehältern, gekehrten oder gestreuten Straßenzügen, bedienten Kunden, erledigten Aufträgen und deren noch zu erledigenden Teil kann GPS dem Fahrer dienen. Dies ist vor allem dann von großer Bedeutung, wenn die Reihenfolge der Abwicklung optimiert wurde. Es kann auch dem Ersatzfahrer, dem neuen Mitarbeiter oder dem nicht festen Personal sehr helfen.

Die Aufzeichnung der GPS-Koordinaten kann - eventuell mit weiteren, die Arbeit beschreibenden Informationen zusammen - als Leistungsnachweis dienen. So fällt dessen Schreiben aus der Arbeitszeit des Fahrzeugfahrers. Die so gewonnenen Informationen können auch für weitere Auswertungen elektronisch gespeichert und verwendet werden.

In der Disposition sind Aufgaben, die vor Tourbeginn, nach Tourbeginn oder nach Tourende mit GPS unterstützt werden können. Vor Tourbeginn können mittels GPS-Koordinaten und entsprechender digitalisierten Karte die Kundenaufträge graphisch dargestellt und mit Hilfe dieser Darstellung eine sinnvolle Abfuhrreihenfolge zusammengestellt werden. Dieser Arbeitsschritt kann mit einem Tourenplanungs- und / oder Tourenoptimierungsprogramm unterstützt werden. Dazu werden unterschiedliche Hintergrundinformationen wie Fahrzeugdaten, Öffnungszeiten von Entsorgungseinrichtungen oder Verkehrsdaten benötigt.

Nach Tourbeginn ist die Verfolgung der Fahrzeuge von Interesse. In Verbindung mit GSM (Mobilfunk-Standard) können die aktuelle Fahrzeugposition und der Bearbeitungsstand in der Zentrale angezeigt werden. So können eventuell neue Aufträge noch am Tag erledigt, eventuelle Änderungen durchgeführt, beim Fahrzeugausfall, Verkehrsstaus oder unerwarteten Wartezeiten schneller reagiert und auf Kundenanfragen Auskunft gegeben werden.

Nach Tourende können die aufgenommenen Koordinaten als Leistungsnachweis bei der Abrechnung dienen.

Die GPS-Daten können mit weiteren Leistungsdaten, wie z.B. Wiegedaten oder Behälterleerungen, ins Auftragssystem direkt übernommen werden und damit bei der Fakturierung helfen. Durch automatische Datenerfassung und Erweiterung der rechnergestützten Informationsbasis fällt die manuelle Dateneingabe und damit die Mehrfach- und Fehleingabe weg, Prozesse, Leistungen und Sonderleistungen werden transparenter, die Abrechnung wird Leistungsgerechter und die Qualität der Stammdaten steigt. All dies führt durch Zeitersparnis zur Kostenreduzierung sowie durch Qualitätssteigerung zur Kundenzufriedenheit.

Durch Übertragung der während des Fahrzeugeinsatzes aufgezeichneten Koordinaten und unterschiedlichen Angaben in die entsprechenden Dokumentationssysteme können die in der Entsorgungsfachbetriebverordnung und in den Qualitätsmanagementsystemen vorgeschriebenen Aufzeichnungs- und Archivierungsarbeiten unterstützt werden.

Auch im Betriebscontrolling sind die durch GPS gewonnenen Daten von großer Bedeutung. Mit Hilfe aussagekräftiger Kennzahlen können die Leistungen objektiver bewertet und wenn nötig, Verbesserungsmaßnahmen abgeleitet werden. Neben den innenbetrieblichen Verwendungen sind die Daten auch beim Benchmarking in den Entsorgungsbetrieben anwendbar (siehe [Gellenbeck 05] [Wöbbeking 05] und [Mannheim 05], sowie [VKS 95], [VKS 98], [VKS 03c]).

Die eingehenden Beschwerden können anhand der durch GPS aufgezeichneten Leistungen schneller überprüft werden und damit das QMS unterstützen.

GPS kann in der Abfallwirtschaft, auf den Einsatzbereich bezogen, bei der Straßenreinigung, beim Winterdienst und bei der Entsorgungslogistik verwendet werden.

Bei der Straßenreinigung wird es vor allem zum Nachweis der ausgeführten Kehrleistung verwendet. Hierfür werden abgefahrene Strecke, dazugehörige Zeit, Geschwindigkeit und eingesetzte Kehreinrichtung aufgenommen. Die Daten können zur Fakturierung der Leistung und zur Beurteilung der Reinigungsqualität verwendet werden.

Beim Winterdienst, ähnlich wie bei der Straßenreinigung, können die durch GPS aufgenommenen Daten als Leistungsnachweis benutzt werden. Hierfür werden die abgefahrene Strecke mit den dazugehörigen Zeit- und Geschwindigkeitsdaten, aber auch die ausgebrachte Streumenge und der Einsatz des Schneepfluges erfasst. Die Aufzeichnung dieser Daten nehmen neben der Abrechnung auch beim Kontrollieren der Fremdleistungen und bei Streitigkeiten als Beweismittel eine bedeutende Rolle ein.

GPS wird bei den unterschiedlichen entsorgungslogistischen Systemen unterschiedlich verwendet. Bei den Umleersystemen, zu denen auch die Entsorgung des Hausabfalls gehört, können die Touren mittels GPS-Koordinaten aufgezeichnet und während der Fahrt mit Hilfe einer Sprachausgabe oder Anzeige auf einem Bildschirm dem Fahrer wiedergegeben werden. Mit den GPS-Koordinaten können weitere, während der Arbeit aufgenommene Leistungswerte verknüpft und mit deren Auswertungen entsorgungslogistische Kennzahlen abgeleitet werden. Diese Kennzahlen können neben der Beurteilung der Sammelleistung auch bei der Optimierung und Planung ähnlicher Entsorgungsgebiete behilflich sein. Im gewerblichen Bereich können die GPS-Aufzeichnungen die Kundenunterschrift vor Ort ersetzen, womit erhebliche Zeiteinsparung möglich ist. Die Verfolgung der Arbeit auf einem Monitor in der Zentrale gibt die Möglichkeit, bei Beschwerden und Anfragen der Kunden schnelle Auskunft zu geben.

Bei gewerblicher Abfuhr, Sperrmüllabfuhr und bei den Wechselsystemen werden die Abfallbehälter häufig auf Abruf entsorgt. Mit Hilfe von Tourenoptimierungsprogrammen können diese Aufträge zu einer Tour zusammengestellt und dem Fahrer angezeigt werden. Ein neuer Auftrag kann eventuell während der Arbeit in die Tour eingebaut und noch am selben Tag erledigt werden. Bei den Wechsel-systemen können auch Behälterverfolgungssysteme mit GPS verbunden werden.

Bei den Bringsystemen können GPS-Aufzeichnungen auch als Nachweis der erledigten Aufträge verwendet werden. Bei einer anderen Verwendung des GPS werden die Container mit einem Füllstandanzeiger ausgestatten, die bei einem bestimmten Füllstand ein Signal an die Zentrale oder an das Tourenplanungsprogramm senden. So kann auch eine Tour automatisch zusammengestellt und dem Fahrer gegeben werden.

Neben den oben beschriebenen Gebieten kann GPS auch bei weiteren Aufgaben, wie z.B. Standplatzreinigung von Depotcontainern, mobiler Abfallsammelbehälter- und Depotcontainerreinigung verwendet werden.

5 Kennzahlen der Entsorgungslogistik

5.1 Funktion der Kennzahlen

Für jedes Unternehmen ist es wichtig, Probleme, Schwachpunkte und potenzielle Optimierungsmöglichkeiten bei den Arbeitsabläufen möglichst frühzeitig zu erkennen und zu analysieren, um ihre Funktionalität weiterführen bzw. verbessern zu können. Eine der bedeutendsten Methoden dafür ist das Controlling. „Controlling ist ein funktionsübergreifendes Steuerungsinstrument, das den unternehmerischen Entscheidungs- und Steuerungsprozess durch zielgerichtete Informationser- und -verarbeitung unterstützt. Der Controller sorgt dafür, dass ein wirtschaftliches Instrumentarium zur Verfügung steht, das vor allem durch systematische Planung und der damit notwendigen Kontrolle hilft, die ausgestellten Unternehmungsziele zu erreichen.“ [Stewanovic 00] S.14.

- Grundelemente des Controllings sind, nach [Stewanovic 00]:
- Zielsetzung,
 - Information,
 - Planung,
 - Koordination,
 - Steuerung und
 - Kontrolle.

Um die Aufgaben des Controllings erfüllen zu können, werden Kennzahlen benötigt, die als Hilfsmittel einerseits Informationen über die Rahmenbedingungen und deren Änderungen, andererseits über die Leistung und deren Änderungen der zu leistenden oder geleisteten Arbeit in sich tragen.

Kennzahlen sind quantitative Größen, die über Sachverhalten der Realität in komplexer Form informieren. Mit deren Hilfe werden große, schwer überschaubare Datenmengen verdichtet dargestellt (vgl. [Weber 93]). Die Bedeutung der Kennzahlen ist beim Controlling seit langem bekannt. Ihre Aufgabe besteht nicht nur aus der Auswertung der Leistung in der Vergangenheit, sondern auch aus Hilfeleistung bei der Planung [Konen 85]. Außerdem übernehmen sie bei zwischenbetrieblichen Vergleichen, so genannten Benchmarking, eine wichtige Rolle, [VKS 95], [VKS 98], [VKS 03c]. Die Funktionen der Kennzahlen fasst Weber wie folgt zusammen [Weber 95]:

- Operationalisierungsfunktion: Bildung von Kennzahlen zur Operationalisierung von Zielen und Zielerreichung (Leistung),
- Anregungsfunktion: Laufende Erfassung von Kennzahlen zur Erkennung von Auffälligkeiten und Veränderungen,
- Vorgabefunktion: Ermittlung kritischer Kennzahlenwerte als Zielgrößen für unternehmerische Teilbereiche,
- Steuerungsfunktion: Verwendung von Kennzahlen zur Vereinfachung von Steuerungsprozessen,

- Kontrollfunktion: Laufende Erfassung von Kennzahlen zur Erkennung von Soll-Ist-Abweichungen.

Kennzahlen können als absolute Zahlen (Einzelzahlen, Summen, Differenzen, Parameter) oder als Verhältniszahlen (Gliederungszahlen, Beziehungszahlen, Indexzahlen) gebildet werden, vgl. [Vogel 93]. Im ersten Fall sind sie unabhängig von anderen Zahlgrößen (z.B. befahrener Weg – km, Sammelzeit – min), im zweiten Fall beschreiben sie ein Verhältnis von zwei absoluten Zahlen (z.B. Sammelgeschwindigkeit – km/h, Abfallaufkommen – Mg/a).

Kennzahlen sind nach unterschiedlichen Sichtpunkten zu kategorisieren. Die Grenze zwischen den Kategorien ist manchmal allerdings unscharf, weswegen eine eindeutige Einordnung schwierig ist.

Nach ihrem Charakter können organisatorische, technische, wirtschaftliche oder qualitative Kennzahlen unterschieden werden. Die Kennzahlen sind jedoch miteinander verbunden, voneinander mehr oder weniger abhängig.

Je nachdem, für welchen Zweck die Kennzahlen erhoben werden, kann man sie zu der strategischen, der taktischen oder der operativen Planung ordnen (siehe Abbildung 21). Definitionen und Einheiten der Kennzahlen sind im Abschnitt 5.3 beschrieben.

Die Kennzahlen können auch danach geordnet werden, ob und wieweit sie durch Planung veränderbar sind. Dies und ihre Auswirkung auf die Wirtschaftlichkeit eines Unternehmens werden im Abschnitt 8.1 erörtert.

Die Einordnung der Kennzahlen in den einzelnen Planungsphasen weist mehr oder weniger darauf hin, welche Kennzahl mit welcher Häufigkeit erhoben und analysiert werden soll. Die strategischen Kennzahlen stellen Rahmbedingungen dar, die sich nicht oder nur selten ändern. Ihre Erhebung ist in etwa alle 5 bis 10 Jahre durchzuführen bzw. zu überprüfen, und die Veränderungen sind bei Bedarf in die langfristige Planung einzubeziehen. Die taktischen Kennzahlen ändern sich ständig, allerdings mit einer niedrigen Geschwindigkeit. Untersuchungen zu diesen Zahlen sind 1- bis 4-mal jährlich empfohlen. Die operativen Kennzahlen zeigen Informationen, die möglichst täglich erfasst werden sollen, denn sie sind entweder bei der Rechnungsstellung oder bei der Leistungsauswertung, und damit bei der kurzfristigen Planung von Bedeutung. Nach dieser Sicht werden die Kennzahlen im Anhang XVIII zum Abschnitt 8.2 betrachtet.

5.2 Bedeutung der Kennzahlen für die Entsorgungslogistik

Bei der Tourenplanung gibt es drei unterschiedliche Planungsphasen: strategische, taktische und operative Planung [Novak 88]. Die taktische Tourenplanung wird oft der strategischen Tourenplanung

zugeordnet [Vahrenkamp 98]. Die strategische Planung basiert auf den Erfahrungen aus der operativen Planung, die über einen längeren Zeitraum gewonnen wurden, und strebt damit Kostensenkungen an. Die Aufgaben auf dieser Ebene bestehen aus der Festlegung langfristiger Konzepte (z.B. Sammlungsstrategien, Entsorgungsfrequenz) und Fuhrparkzusammensetzung, sowie die Durchführung von Standortbewertungen (Anzahl und Lage der Sammelstandorte, Begrenzung der Sammelgebiete) und Kostenanalysen, nach Diruf, G. und Eberhardt, K./Möller, K. in [Novak 88]. Eine taktische Planung wird bei den Touren verwendet, die über längere Zeit gleich bleiben, jedoch werden die Rahmentouren und die festgelegten Sammelreviere von Zeit zu Zeit auf Leistung und Wirtschaftlichkeit überprüft. Die operative Planung umfasst die tägliche Planung mit Berücksichtigung kurzfristiger Änderungen. Deinen Aufgaben sind die Tourenbildung, die Routenbildung und die Transportmittelzuordnung, nach Isermann, H. und Eberhardt, K./Möller, K. [in Novak 88]. In Abbildung 21 werden die Kennzahlen der Entsorgungslogistik, kategorisiert nach ihrer Verwendung in den Planungsphasen, dargestellt.

Neben den Kennzahlen sind auch weitere, sog. exogene Größen bei der Planung der Entsorgungsaufgaben zu beachten. Sie sind Größen, die vorgegebene Situationen quantitativ oder qualitativ beschreiben. Die Größen sind zum Beispiel für die Tourenplanung sehr relevant, entsorgungsbetrieblich jedoch nicht veränderbar. Hier zählen z.B. die Gebietsstruktur des Entsorgungsgebietes und die Verkehrsinfrastruktur als qualitative Größen. Ferner gehören hierher Kennzahlen wie Größe des Entsorgungsgebietes, Entfernung des Zielortes der Sammlung (Abfallbehandlungsort, Deponie, Umschlagstation), Einwohnerzahl und Einwohnerdichte. Da die letzteren Größen quantitativ beschrieben werden können, werden sie unter den Kennzahlen behandelt (siehe Abschnitt 5.2). An dieser Stelle werden die qualitativen Größen beschrieben.

Die Gebietsstruktur ist eine wichtige Grundlage für die Planung der Entsorgung. Sie bedeutet die Bebauungsstruktur des Sammelgebietes. Die Gebietstypen werden unter Berücksichtigung von einwohner-, sozial- und siedlungsstrukturellen Merkmalen unterschieden [Gallenkemper 98]. Die Gebietsstruktur hat großen Einfluss auf das Abfallaufkommen, Emery et al. in [Salhofer 01], auf den Sammeltarif und auf die Sammelleistung. Über ausführliche Untersuchungen zu diesem Thema wird in [Gallenkemper 95] berichtet. Gebietsstrukturen werden nach Gallenkemper wie im Anhang I beschrieben.

Die Verkehrsinfrastruktur beschreibt die Topologie (Straßenverlauf, Länge, Kreuzungspunkte) und die verkehrstechnisch relevanten Attribute (Einbahnstraßen, Abbiegevorschriften und Ampeln), vgl. [Bousonville 02].

Beispiele aus der Literatur für die operative Anwendung der Kennzahlen zur Optimierung der Entsorgungslogistik eines Unternehmens werden zusammen mit konkreten Vorschlägen für das untersuchte Unternehmen im Kapitel 8.3 beschrieben.

Kennzahlen der Entsorgungslogistik		
Strategische Planung	Taktische Planung	Operative Planung
<ol style="list-style-type: none"> 1. Größe des Entsorgungsgebietes 2. Größe des Entsorgungsreviers 3. Entfernung des Abfallbehandlungsortes 4. Entfernung der Deponie 5. Entfernung der Umweltabfallstation 6. Einwohnerzahl 7. Einwohnerdichte 8. Behälterdichte 9. Anzahl der Behälterstandorte 10. Behälterstandortdichte 11. Anzahl der Ladepunkte 12. Ladepunktdichte 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Abfallaufkommen 2. Spezifisches Abfallaufkommen 3. Behältervolumendichte 4. Behälter pro Ladepunkt 5. Einwohner pro Sammelbehälter 6. Spezifisches Behältervolumen 7. Spezifisch genutztes Behältervolumen 8. Füllgrad der Sammelbehälter 9. Abfallzusammensetzung 10. Fehlwurfquote 11. Raumgewicht des Abfalls 12. Schüttgewicht des Abfalls 13. Größe der Lademannschaft 14. Antransportzeit der Sammelbehälter 15. Antransportweg der Sammelbehälter 16. Arbeitszeit 17. Kippzeit 18. Deponieaufenthaltszeit 19. Entladezeit 20. Länge der Pause 21. Rüstzeit 22. Wartungszeit 23. Transportgeschwindigkeit 24. Umfahrgeschwindigkeit 25. Zwischenfahrgeschwindigkeit 26. Sammelleistung der Fahrzeuge 27. Kraftstoffverbrauch 28. Diverse Kosten 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Abfallaufkommen nach Straßenlänge 2. Anzahl der Sammelbehälter 3. Behältergrößeverteilung 4. Anzahl der Sammelbehälterleerungen 5. Bereitstellungsgrad 6. Inhaltsgewicht 7. Auslastung der Fahrzeuge 8. Fahrzeit 9. Sammelzeit 10. Netto-Sammelzeit 11. Ladezeit 12. Zwischenfahrzeit 13. Umfahrzeit 14. Transportzeit 15. Sonstige Zeit 16. Verhältnis der Soll- und Ist-Arbeitszeit 17. Fahrstrecke 18. Sammelweg 19. Sammelstrecke 20. Zwischenfahrweg 21. Umfahrweg 22. Transportweg 23. Sammelleistung der Fahrzeuge 24. Sammelleistung des Ladepersonals 25. Verhältnis der Zwischenfahrzeit zur Netto-Sammelzeit 26. Verhältnis des Zwischenfahrweges zum Sammelweg 27. Verhältnis der Umfahrzeit zur Sammelzeit 28. Verhältnis des Umfahrweges zum Sammelweg 29. Verhältnis der Netto-Sammelzeit zur Fahrzeit 30. Verhältnis der Sammelstrecke zur Fahrstrecke

Abbildung 21: Zusammenstellung der entsorgungslogistischen Kennzahlen

5.3 Beschreibung der Kennzahlen der Entsorgungslogistik

5.3.1 Kennzahlen für die strategische Planung

Größe des Entsorgungsgebietes* (A_{EG} , [km²] oder L_{EG} , [km]): Beschreibt entweder die Oberfläche (A_{EG}) oder die Gesamtlänge (L_{EG}) der zu befahrenen Straßen des Gebietes, welches unter einer einheitlichen Regie nach Plan regelmäßig entsorgt wird.

Größe des Entsorgungsreviers* (A_{ER} , [km²] oder L_{ER} , [km]): Beschreibt entweder die Oberfläche (A_{ER}) oder die Gesamtlänge (L_{ER}) der zu befahrenen Straßen des Reviers (auch Bezirk genannt), das ein Teil der Entsorgungsgebiete ist, und regelmäßig, nach einem festgelegten Plan in einer oder mehreren Sammeltouren (auch Sammelroute genannt) entsorgt wird.

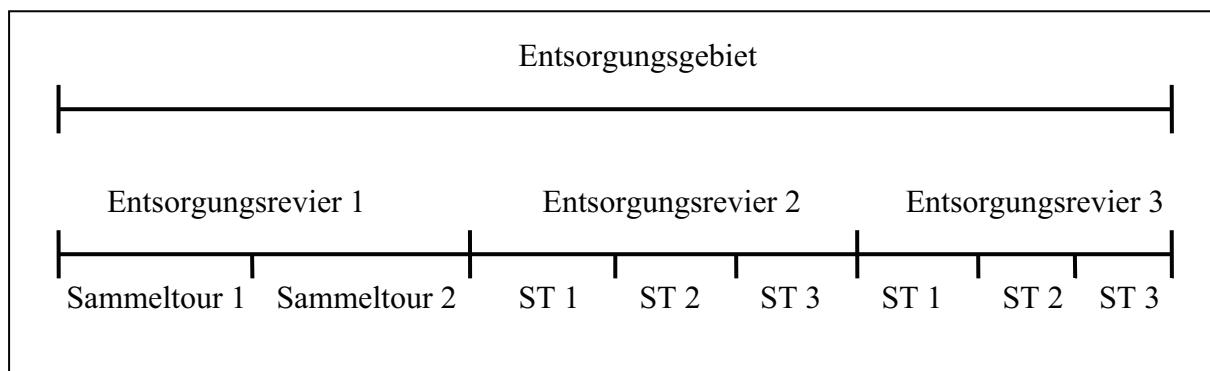


Abbildung 22: Schematische Darstellung der Gebietshierarchie in der Entsorgungslogistik

Entfernung des Abfallbehandlungsortes (W_{AE} bzw. W_{AB} , [km]): Distanz zwischen dem Abfallbehandlungsort und der Grenze des Entsorgungsgebietes (W_{AE}) bzw. der Betriebsgelände (W_{AB}).

Entfernung der Deponie (W_{DE} bzw. W_{DB} , [km]): Distanz zwischen der Deponie und der Grenze des Entsorgungsgebietes (W_{DE}) bzw. der Betriebsgelände (W_{DB}).

Entfernung der Umschlagstation (W_{UE} bzw. W_{UB} , [km]): Distanz zwischen der Umschlagstation und der Grenze des Entsorgungsgebietes (W_{UE}) bzw. der Betriebsgelände (W_{UB}).

Einwohnerzahl (E , [E]): Anzahl der angemeldeten Einwohner auf dem Entsorgungsgebiet. Bei der Planung kann sie auf die einzelnen Touren verstanden werden.

Einwohnerdichte (ED_A oder ED_W , [E/km²] oder [E/100 m]): Anzahl der Einwohner pro km² bzw. 100 m Straßenlänge. Deutet auf die Gebietsstruktur.

Behälterdichte (BD_A oder BD_W , [B/km²] oder [B/100 m]): Anzahl der zu entleerenden Behälter pro km² bzw. 100 m Sammelstrecke, wobei das letztere praktischer ist. Die Behälterdichte beeinflusst die Sammelzeit [Gallenkemper 03].

Anzahl der Behälterstandorte (S , [S]): Anzahl der Stellen, wo sich die zur Sammlung bereitgestellte Sammelbehälter befinden. Es kann niedriger sein als die Anzahl der Adressen, wenn die benachbarten Hauseingänge oder Häuser gemeinsamen Behälterstandort haben.

Behälterstandordichte (SD_A oder SD_W , [S/km^2] oder [$\text{S}/100 \text{ m}$]): Anzahl der Behälterstandorte pro km^2 bzw. 100 m Straßenabschnitt, wobei das letztere praktischer ist.

Anzahl der Ladepunkte (LP , [LP]): Anzahl der Stellen, wo das Sammelfahrzeug auf Grund der Entleerung der Sammelbehälter anhält.

Ladepunktdichte (LPD , [$\text{LP}/100 \text{ m}$]): Anzahl der Ladepunkte pro 100 m Straßenabschnitt.

Die mit * gekennzeichneten Kennzahlen wurden unter Berücksichtigung von [DIN 91] und [DIN 05] beschrieben.

5.3.2 Kennzahlen für die taktische Planung

Abfallaufkommen (m_A , [Mg]): Menge des zu entsorgenden Abfalls. Sie kann auf eine Tour (m_{AT}), auf einen Tag (m_{Ad}), auf eine Woche (m_{Aw}), auf einen Monat (m_{Am}), auf ein Jahr (m_{Aa}), auf ein Entsorgungsgebiet ($m_{A1}, m_{A2}, \dots, m_{An}$) usw. bezogen werden. Im Index kann die Art des Abfalls präzisiert werden.

Spezifisches Abfallaufkommen (m_{Ea} , [$\text{kg}/\text{E}^*\text{a}$]): Die von einer Person in einem Zeitraum (im diesem Fall in einem Jahr) produzierte Abfallmenge. Im Index kann die Art des Abfalls präzisiert werden.

Behältervolumendichte (BVD , [l/m]): Zur Entleerung bereitgestellte Behältervolumen pro Meter Straßenlänge. Deutet auf die Gebietsstruktur.

Behälter pro Ladepunkt (B_{LP} , [B/P_L]): Anzahl der Behälter, die an einem Ladepunkt entleert werden. Hängt von der Gebietsstruktur und vom Behältersystem ab [Gallenkemper 77] und beeinflusst die Sammelleistung.

Einwohner pro Sammelbehälter (B_E , [E/B]): Zeigt den Einwohnern angebotenen Bedienungskomfort. Mit zunehmender Einwohnerzahl pro Behälter nimmt auch die spezifische Abfallmenge zu.

Spezifisches Behältervolumen (V_{BEw} , [$\text{l}/\text{E}^*\text{w}$]): Zur Verfügung bereitgestelltes Behältervolumen pro Einwohner und Woche. Mit zunehmenden spezifischen Behältervolumen steigt die spezifische Abfallmenge [Ketelsen 93].

Spezifisch genutztes Behältervolumen (V_{sBEw} , [l/E*w]): Nach der Ermittlung des Füllgrades der Sammelbehälter berechenbare Wert des effektiv genutzten Behältervolumen pro Einwohner und Woche [Gallenkemper 98].

Füllgrad der Sammelbehälter (Fg_B , [%]): Verhältnis vom mit Abfall gefüllten zum gesamten Volumen des Sammelbehälters. Nach einzelnen Prüfungen, ein geschätzter oder mit Lasermessgerät gemessener Wert.

Abfallzusammensetzung (AZS, [%]): Anteile der einzelnen Abfallfraktionen in den Sammelbehältern. Hängt vom Erfassungssystem, Jahreszeiten und Abfallgebühren ab.

Fehlwurffquote (Q_{FW} ; [%]): Anteil des nicht ordnungsgemäß getrennten Abfalls. Bei Rechnungsstellung und bei der Öffentlichkeitsarbeit nutzbare Information.

Raumgewicht des Abfalls (G_R , [kg/m³]): Quotient des Inhaltsgewichtes des Abfalls und des Sammelbehältervolumens.

Schüttgewicht des Abfalls (G_S , [kg/m³]): Quotient des Inhaltsgewichtes des Abfalls und des verfüllten Sammelbehältervolumens. Es wird auch Sammelgewicht genannt.

Größe der Lademannschaft (M , [L]): Fahrer plus Anzahl der Lader (z.B. 1+2).

Antransportzeit der Sammelbehälter (t_A , [min]): Für den Transport der Behälter von ihren Stellplatz zum Sammelfahrzeug benötigte Zeit. Ungefähr die gleiche Zeit kann man auch für den Rücktransport der Sammelbehälter nehmen. Die Antransportzeit hängt von der Länge des Antransportweges ab.

Antransportweg der Sammelbehälter (W_A , [km]): Länge des Transportweges der Sammelbehälter zwischen ihrem Stellplatz und dem Sammelfahrzeug. Es hängt von der Gebietsstruktur und der Servicedimension ab.

Arbeitszeit (AZ, [h]): Nach unterschiedlichen Arbeitszeitmodellen besteht die Möglichkeit, dass das Ladepersonal nicht im üblichen 8-Stunden-Tag, sondern weniger oder mehr pro Tag arbeitet.

Kippzeit (t_K , [min]): Die Zeit, die für den Kippvorgang gebraucht wird.

Deponieaufenthaltszeit (t_D , [min]): Die Zeit zwischen Betreten und Verlassen des Deponiegebietes inklusive Verriegelungen, Entleerung, eventueller Reinigung.

Entladezeit* (t_E , [min]): Die Zeitspanne, die bei freiem Auswurf zum Entleeren des Aufbaubehälters erforderlich ist, gemessen vom Zeitpunkt der Entladerebereitschaft bis zum Zeitpunkt der Fahrbereitschaft.

Länge der Pause (t_P , [min]): Die Länge der Pause der Mitarbeiter der Sammelmannschaft.

Rüstzeit* (t_R , [min]): Erforderliche Zeitbedarf, um das Abfallsammel- oder Abfalltransportfahrzeug in Einsatzbereitschaft zu bringen.

Wartungszeit (t_W , [min]): Für die Reparatur und Pflege der Fahrzeuge benötigte Zeit.

Transportgeschwindigkeit (v_T , [km/h]): Durchschnittliche Geschwindigkeit bei dem Transport. Es können Transportgeschwindigkeiten zwischen innerhalb und außerhalb der Stadt unterschieden werden.

Umfahrgeschwindigkeit (v_U , [km/h]): Durchschnittliche Geschwindigkeit bei der Umfahrt.

Zwischenfahrgeschwindigkeit (v_Z , [km/h]): Durchschnittliche Geschwindigkeit bei der Zwischenfahrt.

Sammelgeschwindigkeit (v_S , [B/h] oder [Mg/h]): Zeigt die Sammelleistung des Sammelpersonals. Es kann auf die Sammelzeit oder auf die Arbeitszeit bezogen werden.

Kraftstoffverbrauch (KSV , [l/km]): Menge des verbrauchten Kraftstoffs je km pro Tag.

Diverse Kosten (K , [€]): Personalkosten, Fahrzeugkosten (Treibstoff, Öl, Reifen, etc.), Reparaturkosten, Behälterkosten (Anschaffung, Bereitstellung, Reinigung), Standplatzkosten, Entladungskosten, Umschlagskosten, Kosten des Ferntransports, Gemeinkosten [Multhaup 90].

Die mit * gekennzeichneten Kennzahlen wurden unter Berücksichtigung von [DIN 91] und [DIN 05] beschrieben.

5.3.3 Kennzahlen für die operative Planung

Abfallaufkommen nach Straßenlänge (m_W , [kg/m]): Die Abfallmenge nach Straßenlänge hängt mit der Gebietsstruktur stark zusammen. Die Größe hilft bei der Planung der Touren.

Anzahl der Sammelbehälter (B , [B]): Anzahl der auf dem Entsorgungsgebiet bzw. Entsorgungsrevier vorhandenen Sammelbehälter. Die Zahl der Behälter kann auf eine Tour, auf einen Tag, auf einen Monat bei der Kontrolle als Leistungskennzahl oder bei der Tourenplanung als Input-Kennzahl verwendet werden.

Behältergrößeverteilung ($B\%$, [%]): Prozentualverhältnis der unterschiedlichen, zu entleerenden Behältergrößen. Der Wert ist interessant für das Entsorgungsgebiet, Entsorgungsrevier und für die einzelnen Touren.

Anzahl der Sammelbehälterleerungen (BL , [B]): Anzahl der Abfallsammelbehälter, die in einer organisatorischen Einheit (Tour, Tag, Woche, Monat, Jahr) entsorgt wurden. Sie können nach Behältergröße unterschieden und gekennzeichnet werden (z.B. MGB 80, MGB 240 usw.).

Bereitstellungsgrad (BSG, [%]): Zeigt das Verhältnis der zur Entleerung bereitgestellt Abfallsammelbehälter, bezogen auf die Gesamtzahl der ausgeteilten Behälter [Gallenkemper 98].

Inhaltsgewicht (G_I , [kg]): Das Gewicht des Abfalls im Sammelbehälter. Für eine genaue Rechnungsabwicklung ist das Inhaltsgewicht eine grundlegende Information. Es wird mit Einzelverwiegungen der Behälter am Sammelfahrzeug ermittelt.

Auslastung der Fahrzeuge (α_F , [%]): Beschreibt das Verhältnis des eingesammelten Abfalls und des zugelassenen Gewichtes. Im Rahmen dieser Arbeit wird die Auslastung der Fahrzeuge auf das Gewicht bezogen. Das hat den Grund, dass aufgrund des hohen spezifischen Gewichts des Restabfalls die zugelassene Menge des Fahrzeuges eher erreicht wird als das höchstmögliche Volumen.

Fahrzeit (t_F , [min]): Zeit, die für die Sammlung, Transport und Leerung des Abfalls benötigt wird, ggf. dazu die sich dabei ergebene sonstige Zeit.

Sammelzeit (t_S , [min]): Die Zeit für die Sammlung vom ersten bis zum letzten Behälter in einer Sammeltour. Sie wird von der Gebietsstruktur sehr stark beeinflusst [Gallenkemper 77].

Netto-Sammelzeit (t_{NS} , [min]): Die Zeit, die tatsächlich für die Sammlung benötigt wird. Das bedeutet die Zeit der Entsorgung vom ersten bis zum letzten Behälter einer Sammeltour, ausgenommen Umfahrzeit und nicht zur Sammelzeit gehörende sonstige Zeit.

Ladezeit (t_L , [min]): Zeitabschnitt zwischen Anhalten und Abfahrt des Sammelfahrzeugs an einem Ladepunkt.

Zwischenfahrzeit (t_Z , [min]): Für das Befahren der Zwischenfahrt benötigte Zeit.

Umfahrzeit (t_U , [min]): Für das Befahren der Umfahrt benötigte Zeit.

Transportzeit (t_T , [min]): Für das Befahren des Transportweges zwischen Betriebsgelände, Sammelgebiet und Behandlungsort benötigte Zeit.

Sonstige Zeit (t_{So} , [min]): Zeit, die während der Arbeitszeit nicht mit Sammeln oder Transport des Abfalls bzw. Fahrzeugentleerung vergeht, z.B. Verkehrsstörungen oder technische Probleme, Wartezeiten, Pause etc.

Verhältnis der Soll- und Ist-Arbeitszeit (α_{ISI} , [-]): Vergleicht die reguläre und die tatsächlich gebrauchte Zeit zur Erbringung der täglichen Leistung. Ziel ist die Zahl 1.

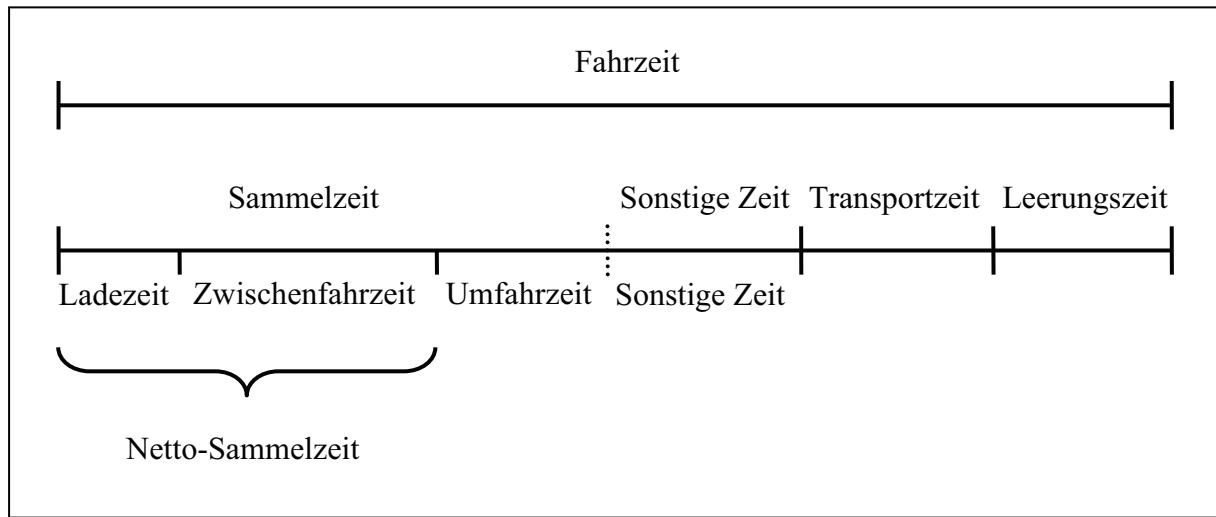


Abbildung 23: Schematische Darstellung der Zeithierarchie in der Entsorgungslogistik

Fahrstrecke* (W_G , [km]): Im Einsatz tatsächlich zurückgelegte Weglänge. Die Fahrstrecke besteht aus Sammelweg und Transportweg. Die Klassifizierung der Streckenarten ist in der Literatur nicht eindeutig. Bei einiger Anordnung gehören Zwischenfahrt und / oder Umfahrt zum Transport, bei anderen zur Sammlung.

Sammelweg (W_S , [km]): Länge des befahrenen Weges zwischen dem ersten und dem letzten zu entleerenden Behälter einer Tour. Der Sammelweg besteht aus Sammelstrecke, Zwischenfahrweg und Umfahrweg.

Sammelstrecke* (W_{SS} , [km]): Länge des Weges, der tatsächlich zum Beladen des Sammelfahrzeugs aus Abfallsammelbehälter oder von Hand zurückgelegt wird.

Zwischenfahrweg (W_Z , [km]): Länge des befahrenen Wegs zwischen den zu entleerenden Sammelbehältern. Nach Gallenkemper [Gallenkemper 77] gelten folgende Obergrenzen: MGB 1100 innerstädtischer Bereich 120 m, alle anderen üblichen Systeme in GS3 und GS4 60 m, GS5 160 m. Längere Wege sind Umfahrwege.

Umfahrweg (W_U , [km]): Länge des befahrenen Weges bei einer Sammeltour zwischen Häuserblöcken oder Straßenabschnitten ohne Abfall zu Sammeln. Nicht geschlossene Sammelgebiete oder ungünstige Routen bzw. Verkehrsverhältnisse können zu einem höheren Wert führen.

Transportweg (W_T , [km]): Der befahrene Weg zwischen Betriebsgelände und dem ersten zu entleerenden Sammelbehälter einer Sammeltour, zwischen dem letzten zu entleerenden Sammelbehälter einer Sammeltour und dem Behandlungsort, und zwischen dem Behandlungsort und dem Betriebsgelände.

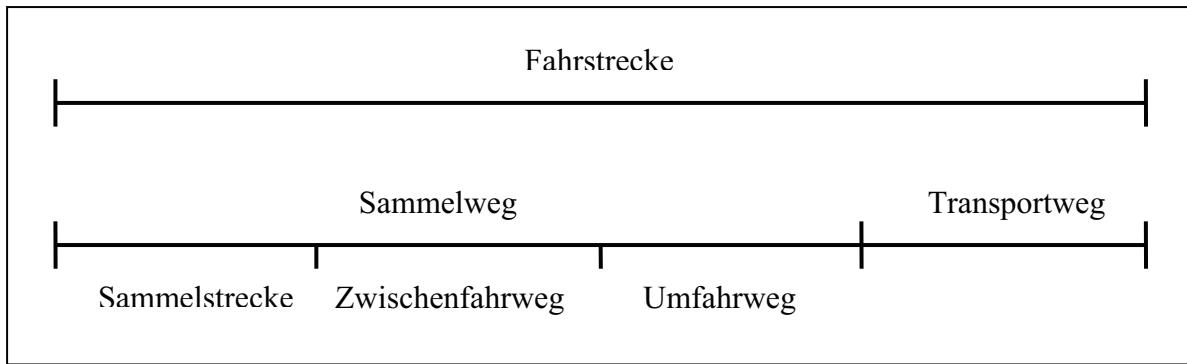


Abbildung 24: Schematische Darstellung der Weghierarchie in der Entsorgungslogistik

Sammelleistung der Fahrzeuge (SL_F , [$Mg/(Fzg*d)$] oder [$B/(Fzg*d)$]): Beschreibt die tägliche Leistung der Sammelfahrzeuge auf die eingesammelte Abfallmenge oder auf die entleerte Sammelbehälter bezogen.

Sammelleistung des Ladepersonals (SL_P , [$Mg/(L*d)$] oder [$B/(L*d)$]): Beschreibt die tägliche Leistung des Sammelpersonals auf die eingesammelte Abfallmenge oder auf die entleerte Sammelbehälter bezogen.

Verhältnis der Zwischenfahrzeit zur Netto-Sammelzeit (α_{IZ-NS} , [-]): Das Verhältnis hängt von der Gebietsstruktur des Sammelgebietes und der Route ab.

Verhältnis des Zwischenfahrweges zum Sammelweg (α_{WZ-S} , [-]): Das Verhältnis hängt von der Gebietsstruktur des Sammelgebietes und der Route ab.

Verhältnis der Umfahrzeit zur Sammelzeit (α_{IU-S} , [-]): Das Verhältnis hängt von der Tour ab. Ziel bei der Planung ist die Reduzierung dieses Werts.

Verhältnis des Umfahrweges zum Sammelweg (α_{WU-S} , [-]): Das Verhältnis hängt von der Tour ab. Ziel bei der Planung ist die Reduzierung dieses Werts.

Verhältnis der Netto-Sammelzeit zur Fahrzeit (α_{NS-F} , [-]): Das Verhältnis hängt von der Gebietsstruktur des Sammelgebietes und der Route ab.

Verhältnis der Sammelstrecke zur Fahrstrecke (α_{WSS-F} , [-]): Das Verhältnis hängt von der Tour ab. Ziel bei der Planung ist die Reduzierung dieses Werts.

Die mit * gekennzeichneten Kennzahlen wurden unter Berücksichtigung von [DIN 91] und [DIN 05] beschrieben.

6 Ist-Stand der Entsorgungslogistik in einem Praxisunternehmen

6.1 Unternehmensstruktur

6.1.1 Aufbauorganisation des Unternehmens

Die Stadtentsorgung Rostock GmbH besitzt das Zertifikat Entsorgungsfachbetrieb. Dementsprechend wird ein Handbuch geführt, in dem unter anderem die betriebliche Organisation geregelt ist. Auf diesem Handbuch und auf persönlichen Auskünften basiert dieses Abschnitt.

Die Stadtentsorgung GmbH ist gemäß Abfallsatzung der Hansestadt Rostock der beauftragte Dritte für die Entsorgung der anschlusspflichtigen Abfälle. In der Abbildung 25 ist die Aufbaustruktur der Stadtentsorgung Rostock GmbH zu sehen. Wie es auf dem Organigramm zu erkennen ist, gibt es drei große Bereiche neben der Geschäftsführung, nämlich Dienstleistungen (technischer Bereich), Kaufmännischer Bereich und Personalabteilung. Im Folgenden wird die Arbeit der einzelnen Unterbereiche der Dienstleistungen detailliert dargestellt.

Technologie: Seit Erhalten des Organigramms wurde die Stelle abgeschafft. Vorher wurde hier der Arbeitsablauf beobachtet und versucht, ihn zu verbessern.

Entsorgung: Diese Abteilung ist für die Entsorgung von Hausmüll, Leichtverpackung, Papier, Glas, Fäkalien und Bioabfuhr zuständig.

Straßenreinigung: Zur Straßenreinigung gehören manuelle und maschinelle Straßenreinigung, manuelle und maschinelle Gehwegreinigung und organisatorisch auch Winterdienst. Die Straßenreinigung und der Winterdienst werden durch dasselbe Personal durchgeführt, je nach Jahreszeit bzw. Bedarf. Die Straßenreinigung erfolgt überwiegend maschinell, mit Kehrmaschinen. Die Arbeit wird nach Plan gestaltet.

Kompostwerk: Im Kompostwerk in Parkentin findet Grünschnitt- und Biokompostierung statt.

Umschlag und Transport: In Hinrichsdorf befindet sich die Umschlagstation der Hansestadt Rostock. Die Sammelfahrzeuge werden bei der Einfahrt gewogen, der Abfall wird in eine Halle ausgeladen. Von dort wird er in 35 m³ Kubikcontainer gepackt und mit einem Containerfahrzeug, das 2 x 35 m³ Abfall (maximal 20 t) transportieren kann, nach Grimmen (ca. 90 km entfernt) zur Deponie befördert. (Bis November 2004 wurde der Abfall nach Rosenow transportiert.) Das Containerfahrzeug wird bei der Ausfahrt der Umschlagstation sowie bei der Einfahrt der Deponie verwogen. Der Transport erfolgt mit betriebseigenen Containerfahrzeugen.

Leistungsabrechnung: In den Bereichen Entsorgung, Straßenreinigung, Container und Sperrgut sowie Technik werden die täglichen Leistungen erfasst und dokumentiert. Diese Leistungsdaten sind

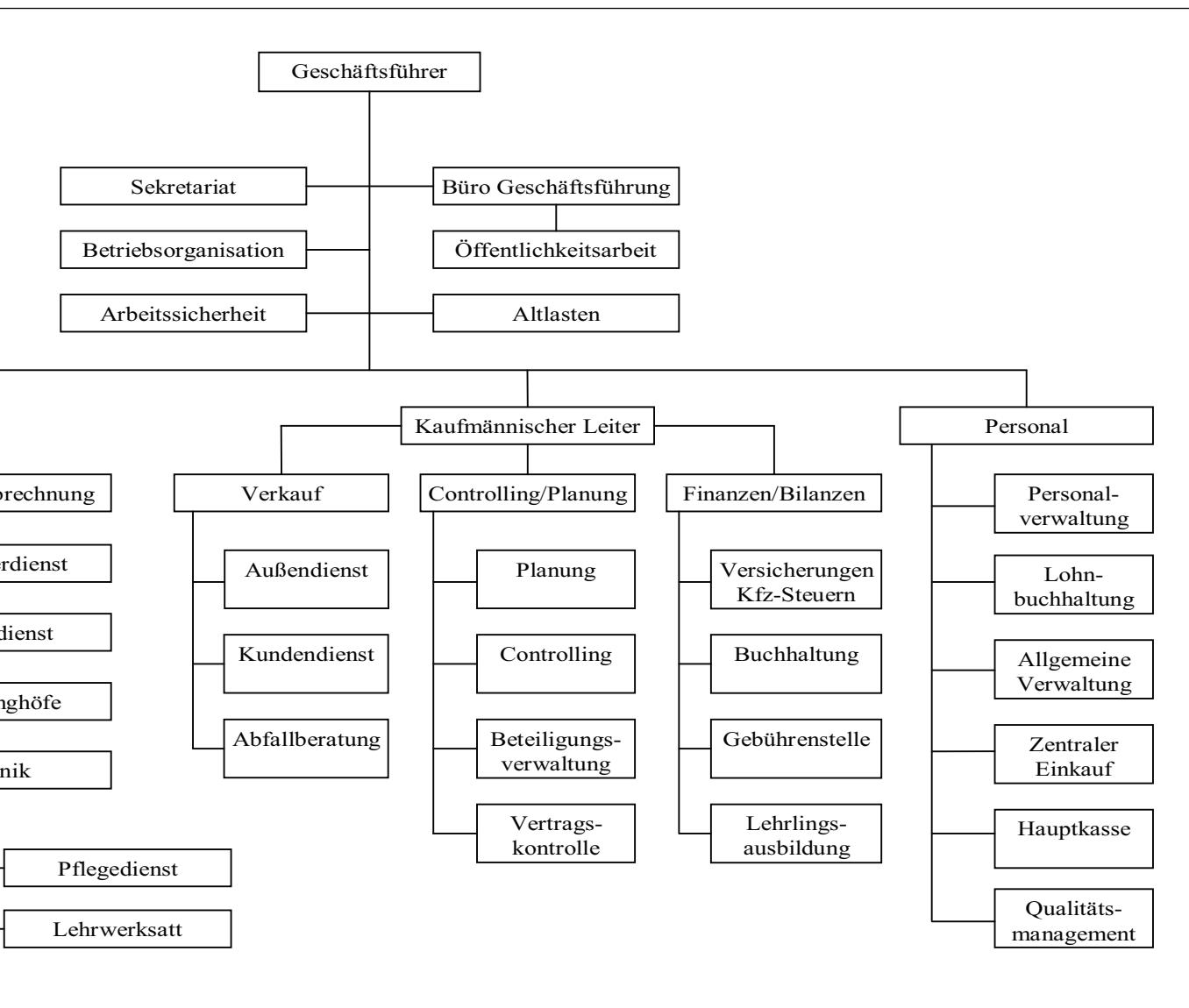
z.B. bei der Entsorgung die Anzahl der Entleerungen, die Tonnage, die Mitarbeiterzahl, Anzahl der Schichten der Fahrzeuge und die Arbeitszeit. Die hier gesammelten und zusammengefassten Leistungsdaten werden zum Controlling / zur Planung zur Auswertung weitergeleitet.

Containerdienst: Zur Aufgabe des Containerdiensts gehört die Bereitstellung, Abholung und der Transport zur Entsorgungsstelle der Container bei der Sperrmüllabfuhr sowie beim kommunalen und gewerblichen Containerdienst.

Winterdienst: Wie oben bereits beschrieben, ist diese Abteilung mit der Straßenreinigung stark verbunden. Ihre Aufgabe ist beim Schnee und Eis die frequentierten Straßen und Gehwege mit Kies bzw. Lauge zu bestreuen. Auf den Straßen erfolgt die Arbeit mit Feuchtsalztechnologie, auf den Gehwegen und auf den Straßen, die zum Trinkwasserschutzgebiet gehören, nur mit Kies. Der Kies muss natürlich nach dem Tauen wieder entsorgt werden (durch Straßenreinigung).

Recyclinghöfe: In der Hansestadt Rostock befinden sich 4 Recyclinghöfe (Südstadt, Lütten Klein, Dierkow, Reutershagen) Diese Abteilung gehört organisatorisch zum Containerdienst. Auf den Recyclinghöfen können die Rostocker Bürger kostenlos folgende Materialien abgeben: Wertstoffe, Sperrmüll, Alttextilien, Sonderabfälle aus der Haushalt, Batterien, Elektro- und Elektronikschrott, Kühlgeräte, Schrott, Garten- und Parkabfälle. Von dort wird der eingesammelte Abfall zu den Entsorgungsanlagen transportiert.

Technik: Hier findet die Wartung und Pflege des gesamten Fuhrparks statt, inklusive aller technischen Anlagen und Gebäuden. In der zentralen Werkstatt werden die Reparaturen durchgeführt. Zur Aufgabe des Pflegediensts gehört die Pflege und Instandhaltung der Fahrzeuge (z.B. Öl, Kühlwasser, Reifen, Licht) sowie das Waschen der Fahrzeuge nach Waschplan. Größere bemerkte Fehler werden bei der zentralen Werkstatt gemeldet. Die Lagerwirtschaft – bis auf die Büroartikel - ist für den kompletten Wareneinkauf zuständig. Der Bereich Objektinstandhaltung macht die Reparatur- und Pflegearbeiten in den technischen Anlagen und in den Gebäuden. In der Lehrwerkstatt werden Kfz-Lehrlinge ausgebildet.



tsorgung Rostock GmbH, internes Material der Stadtentsorgung Rostock GmbH

6.1.2 Ablauforganisation des Unternehmens

Es werden die Prozesse dargestellt, die für die Entsorgung des Haushaltsabfalls relevant sind. Die Ablauforganisation der Sammlung und des Transports der Stadtentsorgung Rostock GmbH zeigt das Flussdiagramm in Abbildung 26.

Als **Vorbereitung** der Entsorgung werden zuerst die Reviere verteilt und die benötigten Fahrzeuge ausgewählt. Hier sind folgende Kriterien zu berücksichtigen:

- Siedlungsstruktur im Sammelgebiet,
- Infrastruktur im Sammelgebiet,
- zu sammelnde und transportierende Stoffe,
- zu entleerende Behälterart,
- Entfernung zur Verwertungs- bzw. Entsorgungsanlage,
- Einwohnerzahl,
- vorgegebene Zeiträume und
- erwartete Tonnage.

Bei der Behälterauswahl werden folgende Punkte beachtet:

- Siedlungsstruktur im Sammelgebiet,
- durch den Kunden gewünschte Behältergröße,
- hauptsächliche Nutzung der Behälter (z.B. für Asche) und
- satzungsgerechte zugelassene Behälter.

Die Fahrtroutenbildung erfolgt anhand von:

- Erfahrungswerten der Kraftfahrer und Einsatzleiter
- Planungskriterien wie z.B.
 - zu fahrende km im Sammel- und Transportbereich,
 - ausgebildete Infrastruktur,
 - Verkehrsbelastung im Sammelgebiet,
 - Straßensperrungen aufgrund längerer Bauarbeiten und
 - Verkehrsänderungen.

Die Reviereinteilung und die Verantwortung für die Sammlung und den Transport der Abfälle liegen beim Leiter Dienstleistungen; für Tourenplanung sind die jeweiligen Einsatzleiter verantwortlich.

Zur **Disposition** gehören Personalplanung, Zeitplanung und Fahrzeug-/Betriebsmittelplanung. Die Personalplanung ist abhängig sowohl von den Qualifikationen, den Kenntnissen und den Fähigkeiten des Personals als auch vom Arbeitskraftplan, der Urlaub, Krankheit, Freistellung, Schichtbetrieb und Bereitschaftsdienst beinhaltet. Bei der Zeitplanung werden die gesetzlichen Vorschriften wie Sozial- und Verkehrsvorschriften und die arbeitsfreien Tage berücksichtigt. In der Fahrzeug- und Betriebsmit-

telplanung werden die Kapazitäten zur Pufferung von Beschäftigungsspitzen, die zur Verfügung stehenden Spezialsammelfahrzeuge und deren Einsatzmöglichkeiten und der Wartungsplan Technik beschrieben.

Vertragserbringung entspricht dem Vorgang der Sammlung und des Transports der Abfälle. Die Pflichten und die Arbeitseinschätzungen des Personals sind im Entsorgungsfachbetrieb-Handbuch definiert.

Zur **Nachbereitung** gehören Datenerfassung, Leistungskontrolle, Abrechnung und Dokumentation. Für die ersten zwei Aufgaben und für die Weitergabe der Daten an die Leistungsabrechnung ist der Einsatzleiter verantwortlich.

Bei der *Datenerfassung* werden folgende Daten erfasst:

- Gefahrene km,
- Einsatzzeit,
- Betriebsstoffverbrauch,
- Mängel und Probleme und
- Art und Menge der zur Verwertungs- bzw. Entsorgungsanlage transportierten Stoffe (anhand der Wiegescheine)

Im Rahmen der *Leistungskontrolle*, die der Einsatzleiter durchführt, werden anhand aller gesammelten Daten, Reklamationen, Ergebnissen von Prüfungen und internen Audits folgende Punkte ausgewertet:

- Vertragserfüllung,
- Zeiten und Mengen der zu sammelnden und transportierenden Stoffe,
- Kontrollfahrten der Einsatzleiter und
- Kontrolle der Einhaltung der gesetzlichen Regelungen und Vorschriften.

Bei auftretenden Abweichungen aus dem Soll-Ist-Vergleich ist eine Korrektur des Dispositionsplans, bei großen Abweichungen sind Korrekturmaßnahmen in der Reviereinteilung und Tourenplanung vorzunehmen.

Als letzter Schritt des Verfahrens werden die Leistungsdaten an die **Leistungsabrechnung** weitergegeben.

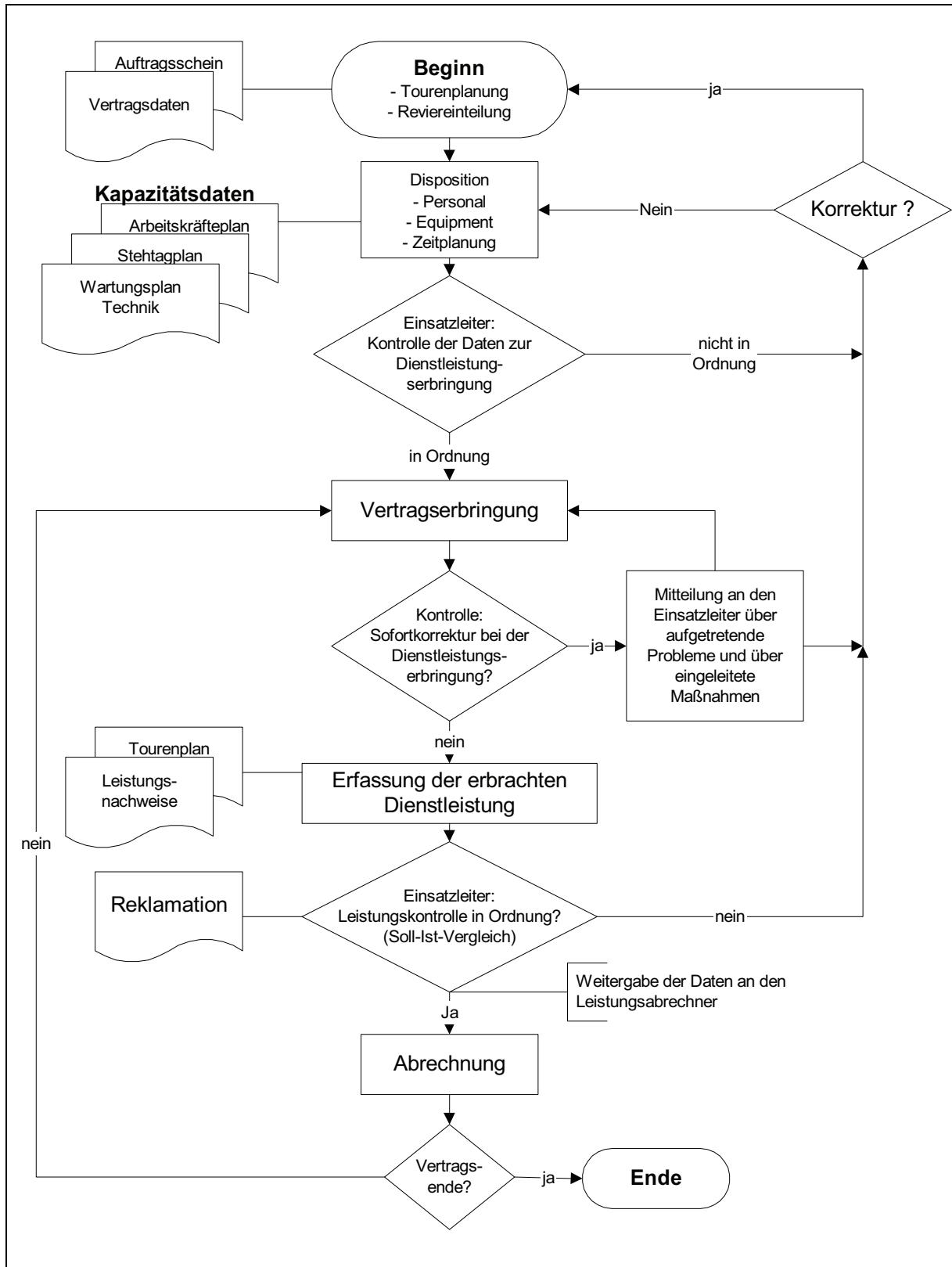


Abbildung 26: Ablauforganisation der Stadtentsorgung Rostock GmbH, internes Material der Stadtentsorgung Rostock GmbH

6.2 Untersuchung ausgewählter Kennzahlen auf dem Entsorgungsgebiet

In diesem Abschnitt werden ausgewählte Kennzahlen zur entsorgungslogistischen Leistung ausgewertet. Die Grunddaten basieren auf der seit 5 Jahren (von 2001 bis 2005) durch die Stadtentsorgung Rostock GmbH jährlich durchgeführten Füllstandkontrolle und Verwiegung von Abfallsammelbehältern sowie der Sortieranalyse. Die Untersuchungen beziehen sich auf das ganze Entsorgungsgebiet. Ziel der Untersuchung war Kennzahlen zu ermitteln, die bei der Zuordnung der Kosten und bei der Kalkulation eine wichtige Grundlage bilden. Sortieranalysen dienen sowohl bei der Auswahl der zu verwendenden Behandlungs- und Entsorgungstechnik als auch in den logistischen Maßnahmen [Lechner 04]. Aus der Sicht dieser Arbeit spielen die gewonnenen Ergebnisse bei der Tourenplanung bzw. -Optimierung eine bedeutende Rolle.

Der Vorgang fängt mit der Festlegung eines repräsentativen Stichprobenplans an. Er dient als Grundlage zur Auswahl der zu untersuchenden Abfallsammelbehälter. Gemäß dem Anhang zum TA-Siedlungsabfall umfasst die repräsentative Stichprobe 1 % der gesamten Sammelbehälter. Es wurden möglichst dieselben zu wiegenden Abfallbehälter wie in den Vorjahren festgelegt, aber wegen Änderungen des Behälterbestandes und des Entsorgungsrhythmus wurden auch andere Abfallbehälter in die Untersuchung miteinbezogen. Im Weiteren sorgt die Durchführung der Untersuchungen in derselben Jahreszeit für die Vergleichbarkeit der Ergebnisse der einzelnen Jahre.

Es stehen leider jedes Jahr unterschiedliche Daten zur Verfügung. Damit ist es nicht möglich, für jedes Jahr die gleichen Kennzahlen zu ermitteln. Tendenzdarstellungen über mehrere Jahre sind deshalb nicht möglich.

Um einen Überblick über die Größe der in der Stadt anfallenden Abfallmenge zu bekommen, ist die Entwicklung des Abfallpotentials zwischen 1999 und 2004 anhand der Informationen aus [Amt 05] in der Abbildung 27 zusammengestellt.

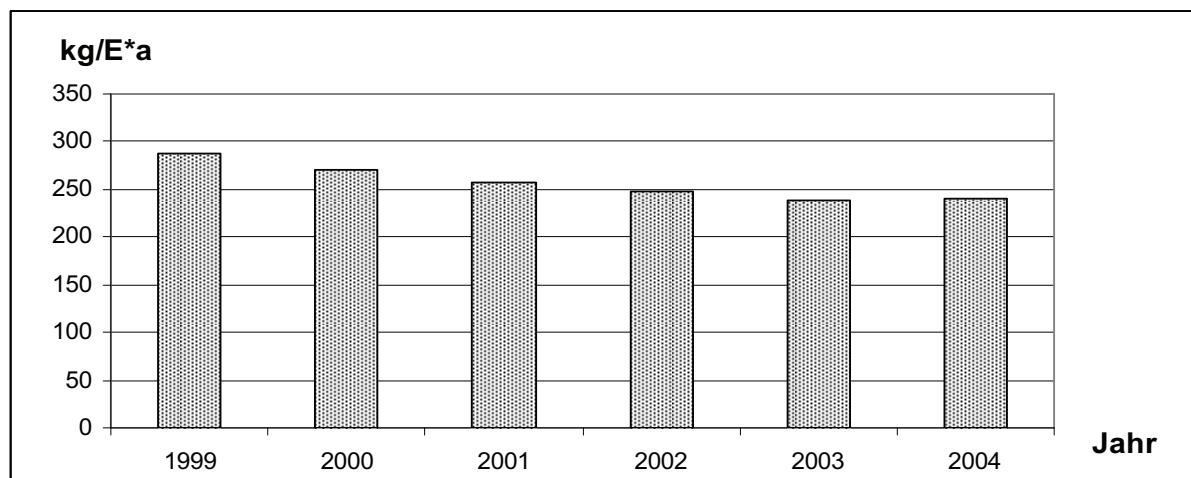


Abbildung 27: Entwicklung des Restabfallpotentials in Rostock, in Anlehnung an [Amt 05]

6.2.1 Bereitgestellte Abfallsammelbehälter

Anhand der Anzahl und der Größe der vom Entsorgungsunternehmen bereitgestellten Abfallsammelbehälter ist es möglich, das Verhalten der Abfallerzeuger zu beobachten bzw. daraus Konklusionen für die zukünftige Planung zu gewinnen. Dies ist vor allem möglich, wenn die Abfallerzeuger die freie Wahl beim Aussuchen der gewünschten Behältergröße und des gewünschten Abfuhrhythmus haben. Nach mehreren, das Thema betreffenden Untersuchungen (z.B. [Ketelsen 93], [Eder 83]) lässt sich feststellen, dass mit der Wahl der richtigen bereitgestellten spezifischen Behältergröße die vorkommende Abfallmenge beeinflussbar ist. Wie die Untersuchungen ergeben, führt ein Überangebot an Behältergrößen zu einer höheren Abfallproduktion.

Eine Tabelle über die für den Restabfall bereitgestellten Abfallsammelbehälter in den Jahren von 2001 bis 2005 ist im Anhang II zu finden. Es werden die Behälter sowohl auf ihre Anzahl als auch auf ihr Volumen (m^3 bzw. l/Woche) bezogen angegeben.

Die aus der Tabelle berechneten Gesamtzahlen nach Behältergrößen und Jahren sind in der Abbildung 28 dargestellt. Daraus werden folgende Erkenntnisse erzielt: Während die Anzahl der MGB 80 stark zunimmt, sinkt er bei den MGB 120, MGB 240 und MGB 1100. Die Gesamtzahl der bereitgestellten Sammelbehälter jedoch steigt.

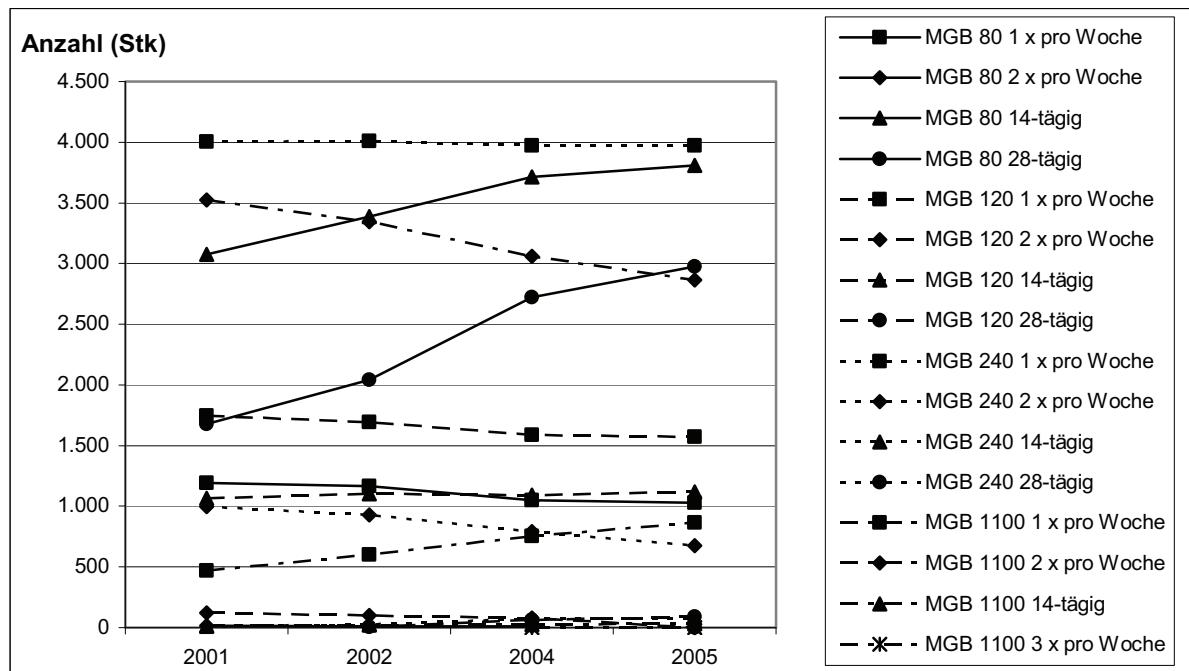


Abbildung 28: Bereitgestellte Abfallsammelbehälter und deren Abfuhrhythmus in Rostock 2001-2005

Die letzte Reihe der Tabelle zeigt, dass das Gesamtvolumen der bereitgestellten Sammelbehälter für Restabfall kontinuierlich um 2,5-5,2 % sinkt. Dies ist auf das wechselnde Gebührensystem zurückzuführen. Eine leichte Senkung der Grundgebühren und die kontinuierliche Steigung der Gebühren pro Leerung führen zu einer überlegten Auswahl der Behältergröße und des Entsorgungsrhythmus.

Es ist auch zu erkennen, dass das Entsorgungsintervall sich bei jeder Behältergröße streckt. Bei den drei kleineren Behältergrößen werden immer weniger 1- bzw. 2-mal wöchentlich, dagegen öfter 2- bzw. 4-wöchentlich entleert. Die MGB 1100 werden zwar immer öfter wöchentlich und 2-wöchentlich entsorgt, führend ist aber nach wie vor der 2-mal pro Woche Rhythmus.

Einen Zusammenhang zwischen Behältergröße und Entsorgungsrhythmus, nämlich die vermehrte Entleerung der Behälter mit wachsenden Volumen, zeigt Abbildung 29. Die im Diagramm nicht vor kommenden Entsorgungsrhythmen sind praktisch oder tatsächlich 0 %.

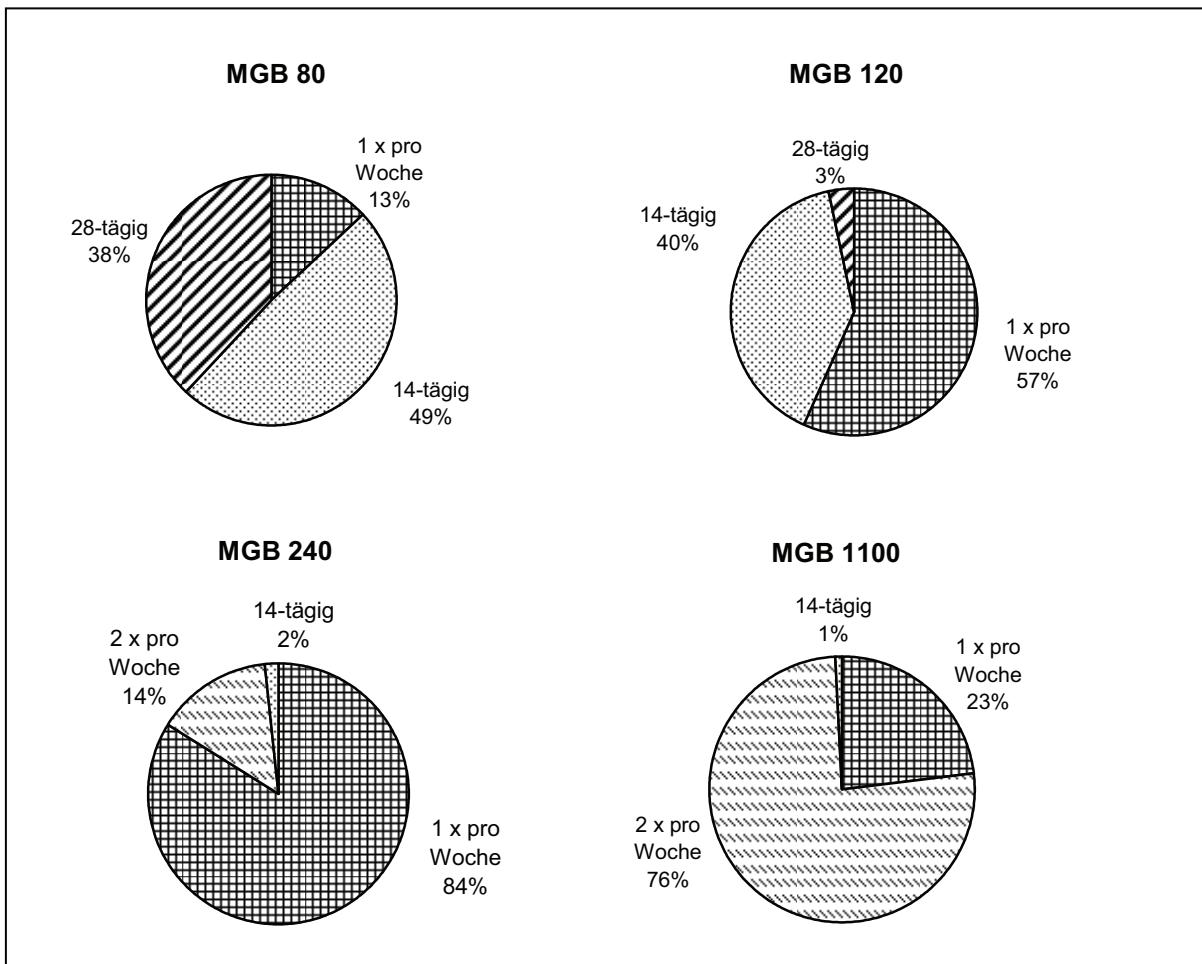


Abbildung 29: Verhältnis des Entsorgungsrhythmen bei den einzelnen Behältergrößen in Rostock 2005

Die Verteilung der Behältergrößen in Rostock 2005, bezogen auf die Behälteranzahl und ohne Be rücksichtigung der unterschiedlichen Abfuhrhythmen, zeigt Abbildung 30. Der hohe Anteil der MGB 80 ist nicht zu übersehen. Im Vergleich zu den Ergebnissen der VKS-Betriebsdatenauswertung [VKS 03b] werden in Rostock mehr MGB 80 und MGB 120 und weniger MGB 240 und MGB 1100 bereitgestellt.

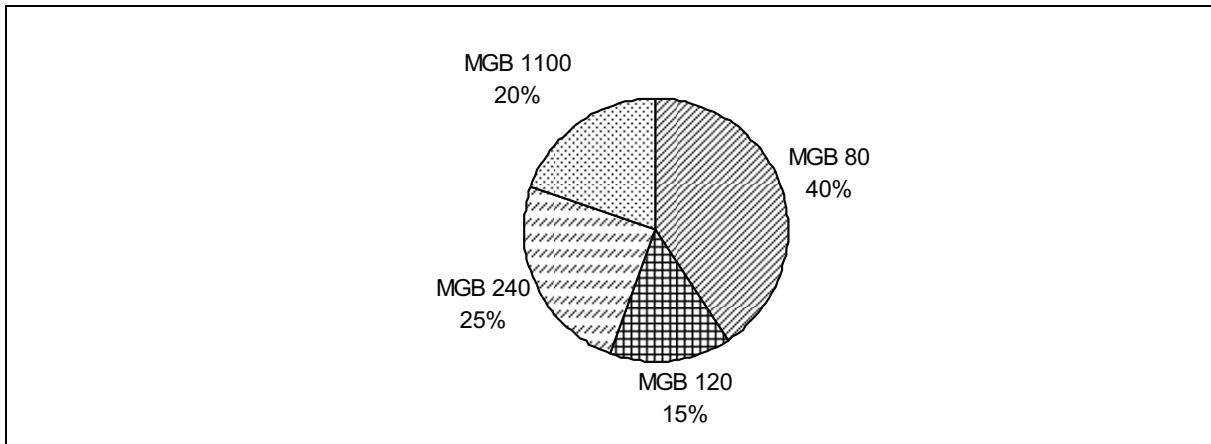


Abbildung 30: Verteilung der Behältergrößen in Rostock 2005

Die Verteilung der Entsorgungsrhythmen, unabhängig von der Behältergröße, ist in Abbildung 31 zu sehen. Es ist aus dem Diagramm abzulesen, dass die Behälter am häufigsten wöchentlich, gefolgt vom 2-wöchentlichen Intervall entsorgt werden. Im Vergleich zu den Durchschnittswerten in Deutschland (siehe Abschnitt 3.1.2) ist der Anteil der wöchentlichen Entsorgung in Rostock deutlich höher und die Verteilung zwischen den Intervallen ausgeglichener.

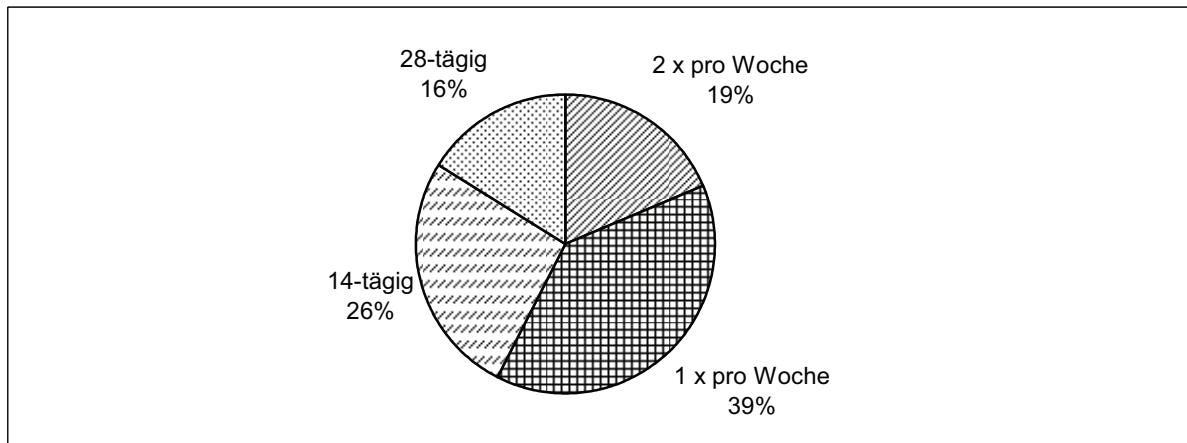


Abbildung 31: Verteilung der Entsorgungsrhythmus der Behälter in Rostock 2005

Mit der Berücksichtigung der Einwohnerstatistik der Hansestadt Rostock [Statistik 06] lässt sich ermitteln, dass das in den 5 Jahren für die Einwohner zur Verfügung gestellte Behältervolumen von 51,625 auf 45,736 l/E*w gesunken ist.

6.2.2 Füllgrad der Abfallsammelbehälter

Im Anhang III sind die Füllgradswerte der Abfallsammelbehälter von 4 Jahren tabellarisch zusammengestellt (aus dem Jahr 2001 gibt es keine Daten) und nach den Behältergrößen die gewichteten Mitteln ermittelt. Es wurde auch ein Gesamtdurchschnitt ausgerechnet, aber wegen der deutlich sehbaren Unterschiede der Werte der einzelnen Behältergrößen tragen sie nur einen Orientierungscharakter.

Genauso sind die Durchschnittswerte wegen der großen Streuung der Füllgrade innerhalb einer Behältergröße bzw. eines Entsorgungsintervalls mit Vorsicht bei der Planung zu verwenden.

Die Analyse der Tabelle im Anhang III und folgendes Diagramm (Abbildung 32) zeigen, dass der Füllgrad im Vergleich zu 2002 in den letzten drei Jahren erheblich gestiegen ist. Während in dieser dreijährigen Periode die Auslastung bei MGB 1100 weiter steigt, nimmt sie bei MGB 80 ab. Die Werte bei MGB 120 und MGB 240 stagnieren.

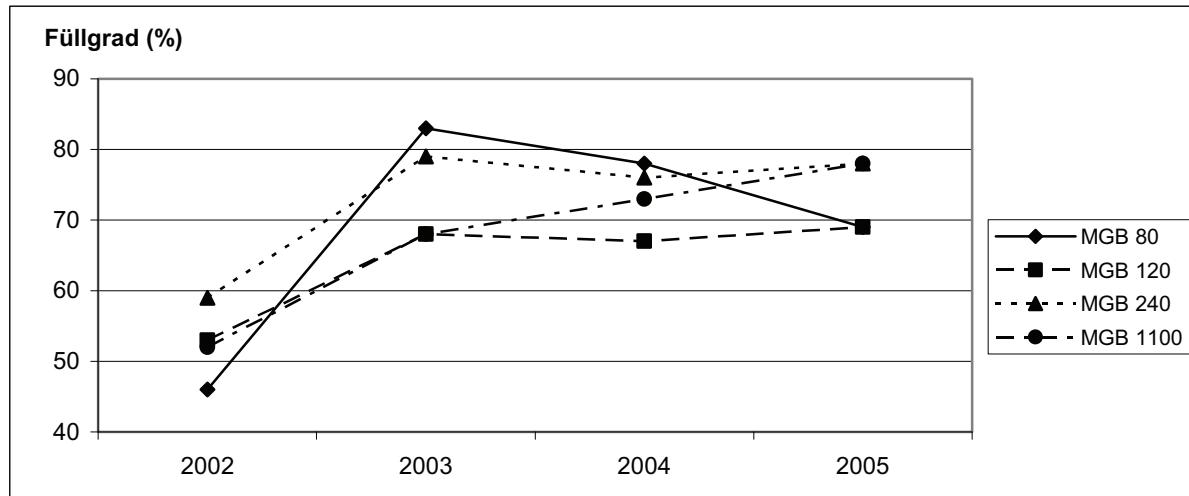


Abbildung 32: Füllgrad der Abfallsammelbehälter in Rostock 2002-2005

Die Ergebnisse schließen jegliche Abhängigkeit der Fülle der Sammelbehälter vom Entsorgungsintervall aus.

Eine Abhängigkeit des Füllgrads der Abfallsammelbehälter von der Behältergröße lässt sich auch nicht konstatieren (siehe Abbildung 33).

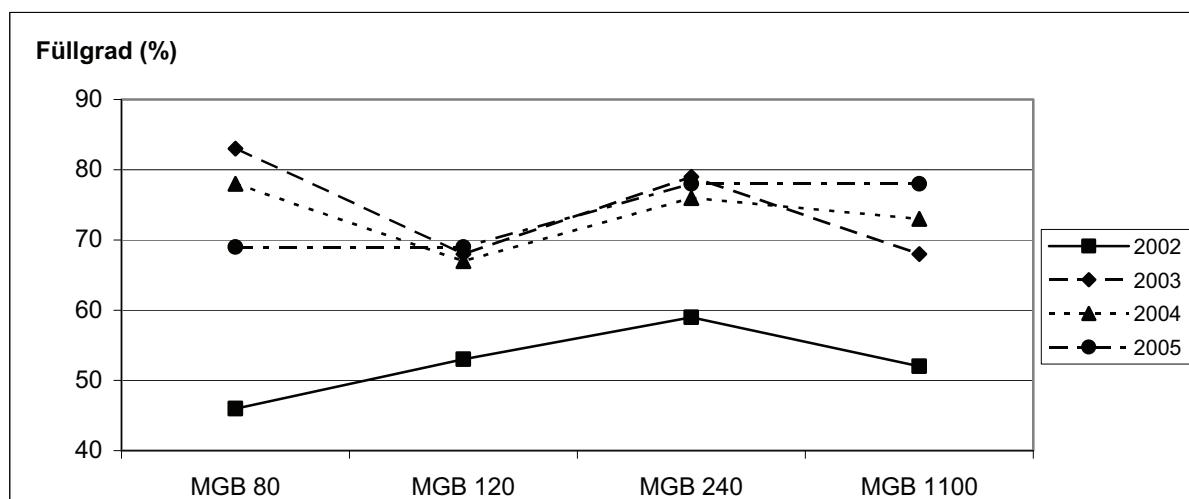


Abbildung 33: Füllgrad der Abfallsammelbehälter in Rostock 2002-2005

Die deutliche Erhöhung der Werte ab 2003 ist auf die Einführung eines neuen Gebührenmodells zurückzuführen.

Anhand einer Untersuchung aus 1996 [Mawick 1996], in der eine durchschnittliche Auslastung der Sammelbehälter von 60-65 % beschrieben wird, ist festzustellen, dass in den letzten 10 Jahren der Füllgrad der Sammelbehälter um 5-25 % gestiegen ist.

6.2.3 Inhaltsgewicht des Restabfalls

Das Inhaltsgewicht ist eine wichtige Kennzahl für die Tourenplanung in der Entsorgungslogistik. Mit deren Hilfe kann eine Tour schneller zusammengestellt werden, denn bei der Kalkulation der Auslastung des Sammelfahrzeugs, als Primärfaktor bei der Tourenplanung, ist das Gewicht des zu sammelnden Abfalls wichtig. Mit Hilfe der Anzahl und Lage der verschiedenen Sammelbehältergrößen auf dem Sammelgebiet und des durchschnittlichen Inhaltsgewichtes des Restabfalls ist es möglich, ein annähernd optimal großes Revier abzugrenzen. Natürlich sind auch weitere Kennzahlen für die Bestimmung der genauen Größe des Gebietes nötig, aber das Inhaltsgewicht ist wichtig für die ersten Schritte der Planung bzw. Optimierung der Touren.

Weiterhin hat das Inhaltsgewicht eine wichtige Rolle bei der Rechnungsstellung. Um die Rechnung nach der tatsächlich produzierten Abfallmenge stellen zu können, ist die Ermittlung der aufkommenden Abfallmenge nötig. Es ist mit der Verwiegung des Inhaltsgewichtes der Abfallsammelbehälter möglich.

Im Anhang IV sind die Netto Inhaltsgewichte (also ohne Tara) der vier Untersuchungen mit gewogenen Durchschnitten je Behältergröße in einer Tabelle zusammengestellt (im Jahr 2002 wurden die Abfallsammelbehälter nicht verwogen). Um Regelmäßigkeiten zu veranschaulichen, sind die Durchschnittswerte in Abbildung 34 dargestellt.

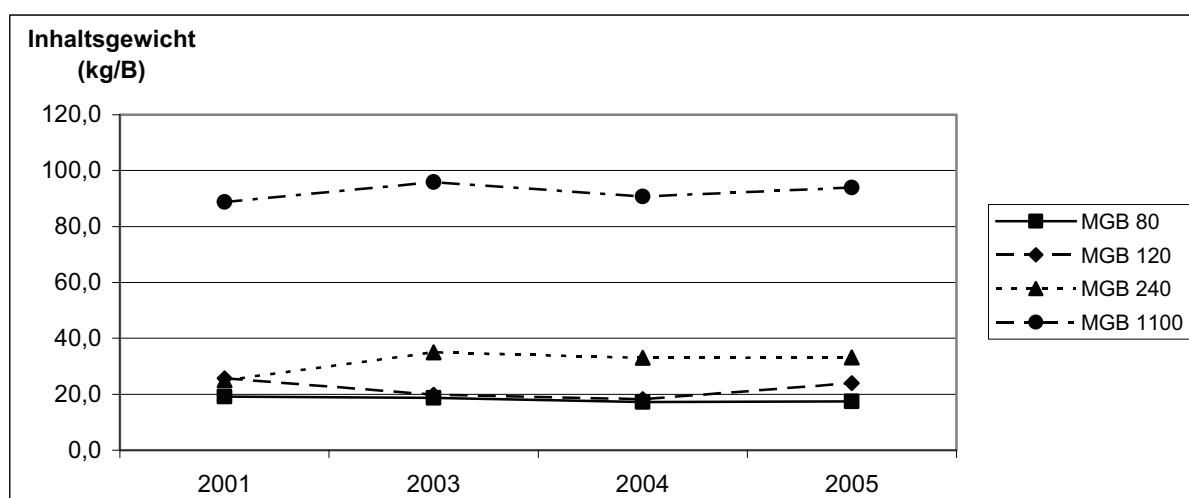


Abbildung 34: Änderung des Inhaltsgewichtes in Rostock 2001-2005

Es lässt sich kein Trend bezogen auf das Inhaltsgewicht feststellen. Die Werte variieren von Jahr zu Jahr, befinden aber in einem nicht zu breitem Intervall. Es ist nicht möglich, weitgehende Konklusionen zu einem Trend aus den Daten zu ziehen.

6.2.4 Raumgewicht des Restabfalls

Unter Raumgewicht wird das Gewicht eines Stoffes in einem Behälter bezogen auf das gesamte Behältervolumen verstanden [Gallenkemper 98].

Eine tabellarisierte Zusammenstellung der Raumgewichte des Restabfalls von vier Jahren (aus dem Jahr 2002 liegen keine Daten vor) - sortiert nach Behältergröße und Entsorgungsrhythmus - und ihr gewogenes Mittel befindet sich im Anhang V. Die Mittelwerte sind aufgrund der großen Schwankungen bei den einzelnen Behältergrößen nur zur Orientierung nützlich, direkte Verwendung bei der Planung ist nicht empfohlen.

Die zeitliche Änderung der Durchschnittswerte des Raumgewichts zeigt Abbildung 35. Ein Trend im Laufe der Jahre lässt sich nicht feststellen, denn die Werte schwanken. Nur MGB 1100 zeigt eine ausgewogene Größe.

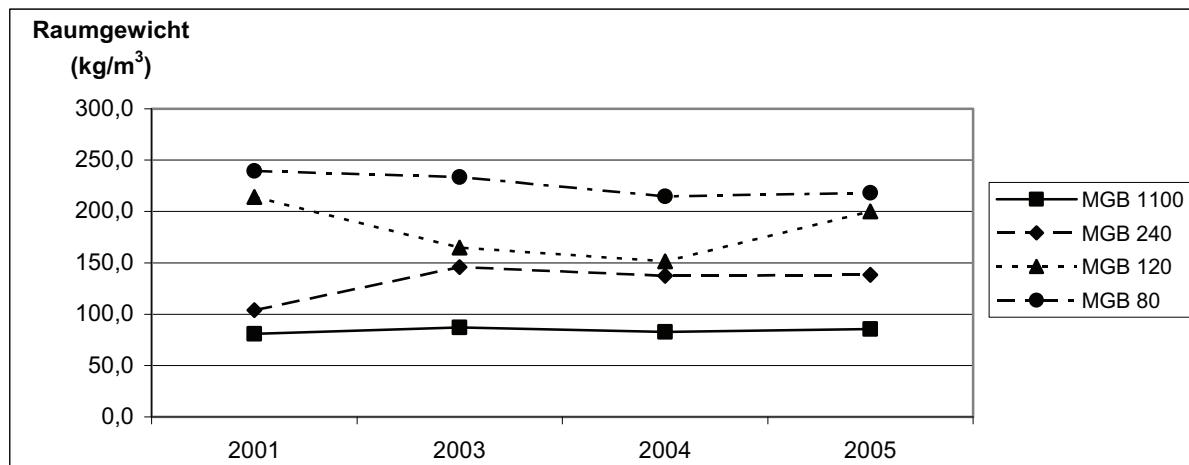


Abbildung 35: Änderung des Raumgewichts in Rostock 2001-2005

Das Diagramm zeigt sehr anschaulich, dass die These, wonach mit zunehmender Behältergröße das Raumgewicht abnimmt [Bilitewski 90], [Gallenkemper 94], [Ketelsen 93], mit diesen Ergebnissen bestätigt wird. Im Weiteren wird hier darauf hingewiesen, dass das Raumgewicht des Hausabfalls im Vergleich zu den Werten von 1977 [Gallenkemper 77] S.84 bei MGB 120 und MGB 240 sehr ähnlich, bei MGB 1100 etwa 20 % niedriger sind (bei MGB 80 liegen keine Daten aus dem Jahr 1977 vor).

6.2.5 Schüttgewicht des Restabfalls

Wie im Abschnitt 5.2.2 bereits dargestellt, wird als Schüttgewicht der Quotient des Inhaltgewichtes und des verfüllten Behältervolumens genannt.

Um das Schüttgewicht ermitteln zu können, sind Füllgrad und Inhaltsgewicht der Sammelbehälter notwendig. Aus diesem Grund ist es im Rahmen dieser Arbeit nur in den Jahren 2003, 2004 und 2005 möglich, Informationen über das Schüttgewicht des Restabfalls in Rostock zu geben, denn aus den restlichen zwei Jahren sind die Daten nicht vollständig. Im Anhang VI befindet sich eine Tabelle mit den Durchschnittswerten der Inhaltsgewichte, dem Füllgrad und der Schüttgewichte der drei Jahre. In einer zweiten Tabelle im selben Anhang sind die Schüttgewichte in überschaubarer Form zusammengestellt. Es ist zu bemerken, dass die Durchschnittswerte, genauso wie bei den anderen Gewichtsdaten, die Streuung der dazu gehörigen Daten nicht widerspiegeln, deshalb sind sie unter Vorbehalt zu betrachten.

Beim Schüttgewicht ist dieselbe Regel wie beim Raumgewicht zu erkennen, d.h. das Schüttgewicht nimmt mit zunehmender Behältergröße ab (vgl. [Eder 83]).

Auf die Zeit bezogen kann folgende Information aus dem Diagramm ablesen: Bei den kleineren Behältern (MGB 80 und MGB 120) nimmt das Schüttgewicht nach einer kleinen Senkung zu, bei den größeren Behältern dagegen (MGB 240 und MGB 1100) nimmt es langsam aber kontinuierlich ab (siehe Abbildung 36). Wegen der Kürze der auswertbaren Zeit ist es aber noch nicht als Trend zu beurteilen.

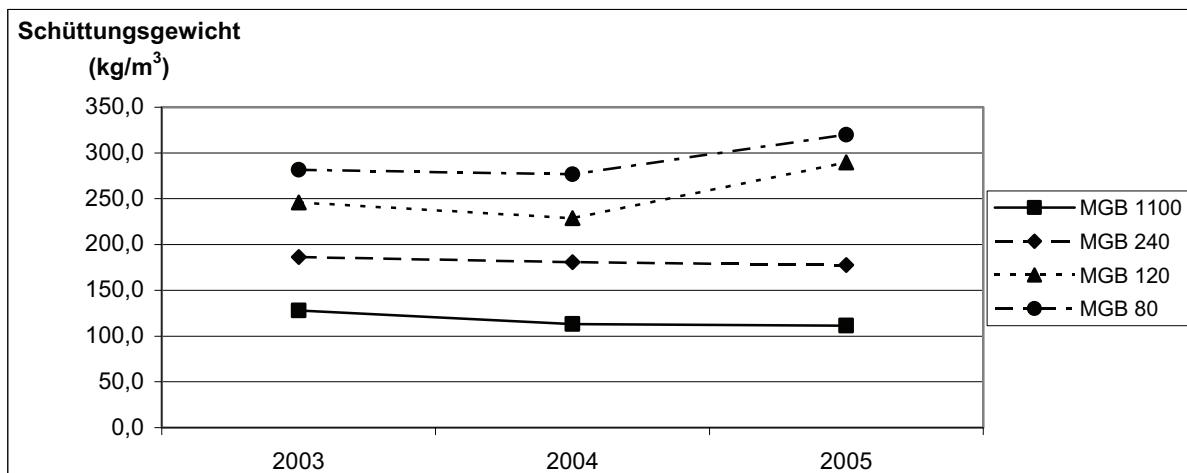


Abbildung 36: Änderung des Schüttgewichtes in Rostock 2003-2005

7 Untersuchung relevanter Kennzahlen zur Auswertung der Funktionalität

In diesem Abschnitt werden Daten – anders als im vorigen Abschnitt – auf das Untersuchungsgebiet bezogen und nur aus den Jahren 2003 und 2004 untersucht. Das sind teilweise schon vorhandene, jedoch bisher noch nicht ausgewertete Daten (Kapitel 7.1 und 7.2). Hinzu kommen die durch die Untersuchung ermittelten Daten (Kapitel 7.3). Die Auswahl der im Rahmen des Versuchsprogramms untersuchten Kennzahlen ist aus zeitlichen und organisatorischen Gründen begrenzt, und dient als Beispiel für die Auswertung weiterer Kennzahlen und Leistungen.

7.1 Beschreibung des Untersuchungsgebietes

Als Versuchsgebiet wurde ein existierendes Entsorgungsrevier in der Hansestadt Rostock gesucht, dessen Bebauung weder sehr locker noch sehr eng ist, und somit stellt das verwendete Abfuhrsysteem, die Behältergrößen sowie das Verhalten der Einwohner im Bezug auf die Abfallproduktion keinen Extremfall dar. Das ausgewählte Entsorgungsrevier liegt in den Stadtteilen Steintor-Vorstadt und Östlicher Altstadt sowie in einem Teil von Kassebohm bzw. Kröpeliner-Tor-Vorstadt. Der Gebietsstruktur des Reviers entspricht eine Mischung von GS3a, GS3b, GS4a und GS4b, wobei GS3b dominiert (siehe Anhang I). Auf der Karte in Abbildung 37 werden die zu entsorgenden Restabfallbehälter, die zu dem Untersuchungsgebiet gehören, mit Punkten gezeichnet.

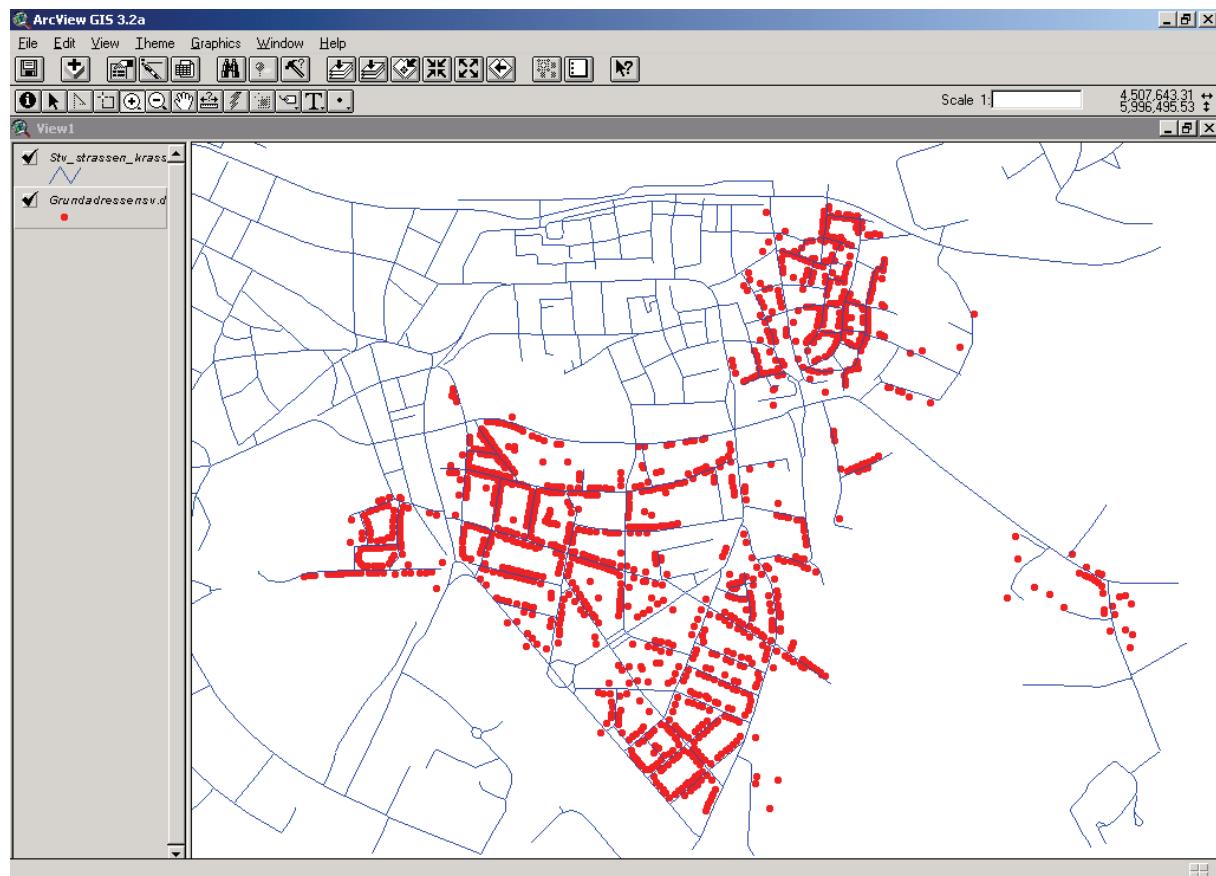


Abbildung 37: Standorte der im Versuchsprogramm teilgenommenen Restabfallsammelbehälter

Da in der Entsorgungslogistik die Längen der Straßenabschnitte größere Bedeutung haben als die Fläche des zu entsorgenden Gebietes (vgl. [Geppert 87]), wurden die Straßenabschnitte zunächst danach unterschieden, ob in einem Straßenabschnitt die Sammlung tatsächlich stattfindet, oder ob er nur für die Umfahrt benutzt wird. Danach wurde die Länge der Straßenabschnitte beider Kategorien gemessen. Dabei wurden verkehrstechnische Gegebenheiten, wie z.B. Straßen mit getrennten Spuren oder Sackgassen, die für die Sammlung zweimal befahren werden müssen, berücksichtigt. So hat die Vermessung ergeben, dass die Straßenabschnitte, in denen Abfall gesammelt wird (L_{EG}), eine Länge von 30,4 km und die Straßenabschnitte, in denen nur Umfahrt stattfindet, eine Länge von 8,3 km haben.

Weitere relevante Daten zur Beschreibung des Untersuchungsgebiets (im Jahr 2003):

Größe des Entsorgungsreviers (A_{EG}) ca.	1,86 km ²
Länge des Entsorgungsreviers (L_{EG}) ca.	33,5 km
Einwohnerzahl (E)	10469 E
Einwohnerdichte (ED_A)	5628 E/km ²
Einwohnerdichte (ED_W)	34,5 E/100 m
Behälterzahl (B)	1671 B
Behälterdichte (BD_A)	898 B/km ²
Behälterdichte (BD_W)	5,5 B/100 m
Anzahl der Aufträge (A)	314 A
Einwohnerspezifisches Behältervolumen* (V_E)	24 l/E
Restabfallaufkommen im Jahr (m_{RAa})	2700 Mg
Spezifisches Restabfallaufkommen (m_{RAEa})	285 kg/E*a

* ohne Berücksichtigung des Abfuhrhythmus

Für die Restabfallsammlung wird das Behältersystem MGB 80, MGB 120, MGB 240 und MGB 1100 verwendet. Die prozentuale Verteilung der bereitgestellten Behälter zeigen Abbildungen 38 und 39. (Nicht zu verwechseln mit der im Abschnitt 6.2.1 beschriebenen Verteilung der in der ganzen Stadt entsorgten Restabfallsammelbehälter).

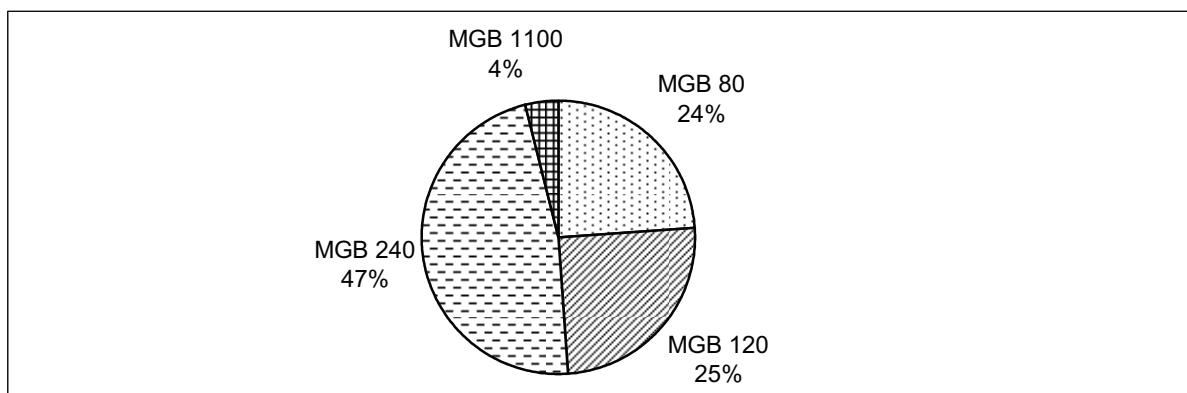


Abbildung 38: Verteilung der Behältergrößen im Bezug auf die Behälteranzahl (2004)

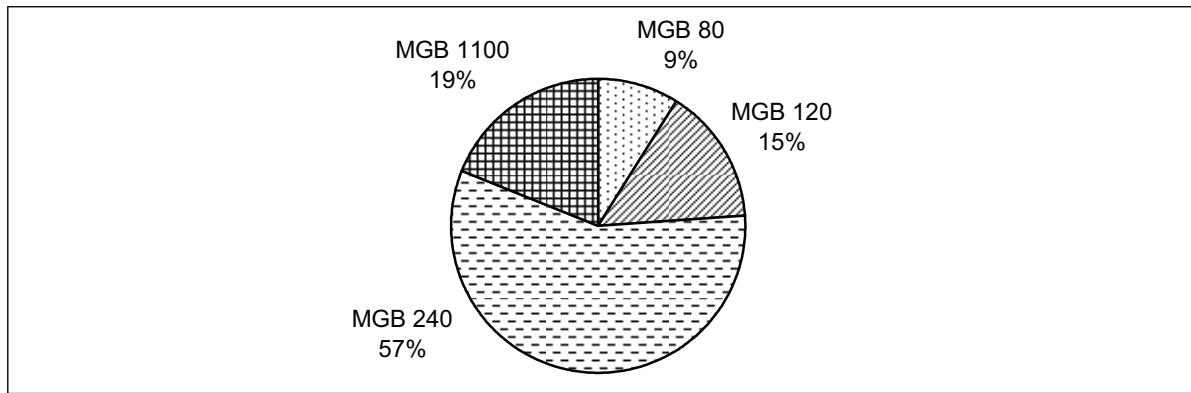


Abbildung 39: Verteilung der Behältergrößen im Bezug auf das Volumen (2004)

Die Entsorgung erfolgt in folgenden Rhythmen: 28-tägig, 14-tägig, wöchentlich, zweimal wöchentlich und dreimal wöchentlich, nach Wunsch der Kunden. Ihre Verteilung zeigt Abbildung 40. Im Vergleich zu den entsprechenden Werten der gesamten Stadt (siehe Abschnitt 6.2.1, Abbildung 31) wird der Restabfall auf dem Untersuchungsgebiet 9 % mehr zweimal wöchentlich und 23 % mehr wöchentlich, dagegen 18 % weniger 14-tägig und 14 % weniger 28-tägig entsorgt.

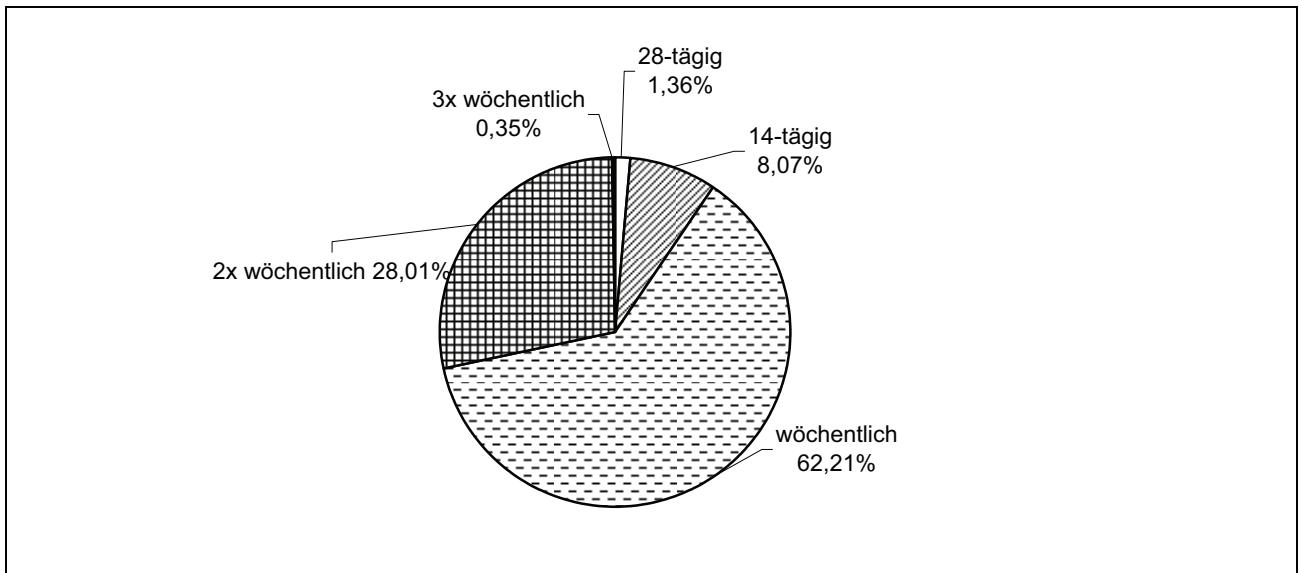


Abbildung 40: Verteilung der Abfuhrhythmen auf dem Untersuchungsgebiet (2004)

Die Restabfallsammlung erfolgt mit Teilservice. Dies bedeutet, dass die Abfallbehälter teilweise an den Straßenrand gestellt und von dort aus teilweise durch das Personal von deren Originalstelle zum Fahrzeug gerollt und nach der Entleerung auf ihre Stelle zurückgebracht werden. Wenn die Behälter mehr als 15 m oder 2 Treppenstufen transportiert werden müssen, wird es bei der Gebühr aufgerechnet [Amt 02].

Für die Abfuhr des Restabfalls wird ein Hecklader mit zwei Achsen eingesetzt. Das Fahrzeug hat 18 m³ Aufbauvolumen und 5,85 t Nutzlast. Das Fahrzeug hatte im Jahr 2003 1+2 (1 Fahrer + 2 Ladepersonal), im Jahr 2004 1+1 Besatzung.

Der gesammelte Abfall wird zur vom Sammelgebiet nordöstlich, ca. 6,5 km entfernten Umschlagstation gefahren. Bis November 2004 wurde der Restabfall von dort nach Rosenow, seit dem nach Grimmen (beide etwa 100 km entfernt) zur Deponie weitertransportiert.

7.2 Auswertung ausgewählter Kennzahlen bezogen auf das Untersuchungsgebiet

In den Abschnitten 7.2.1 bis 7.2.3 wird ein Boxplot-Diagramm verwendet, dessen Lesung am Beispiel von Abbildung 41, an dieser Stelle mit Hilfe von [Janssen 03] und [Behrens 98], kurz erläutert wird. Zur graphischen Auswertung statistischer Daten sind Boxplots sehr geeignet. Der Vorteil des Boxplots der einfachen Mittelwertberechnungen gegenüber ist die Möglichkeit der übersichtlichen Darstellung der Datenauswertung ohne Datenverlust. Im Boxplot können neben statistischen Lage- und Streuungsmaßen auch die Art der Verteilung dargestellt werden. Als statistische Grundlage basiert Boxplot auf Perzentilwerten. Es sind Grenzwerte, unter denen ein bestimmter Anteil aller Werte liegt. So ist z.B. das 25-Perzentil der Wert, unter dem 25 und über dem 75 % der ausgewerteten Werte liegen.

Im Diagramm zeigt die untere Kante der Kasten den 25. Prozentwert (25-Perzentil oder 1. Quartil), die obere Kante den 75. Prozentwert (75-Perzentil oder 3. Quartil). Die Linie innerhalb des Kastens zeigt den Median (auch Zentralwert, 50. Prozentwert, 50-Perzentil oder 2. Quartil genannt). Innerhalb des Kastens liegen also 50 % der Werte. Es werden zwei weitere Arten von Werten gezeigt. Ausreißer sind Fälle, die 1,5 bis 3 Kastenlängen von der oberen bzw. unteren Kastenkante entfernt sind. Diese sind mit einem Kreis gekennzeichnet. Extremwerte sind Fälle, die sich mehr als 3 Kastenlängen entfernt befinden. Diese sind mit einem Sternchen gekennzeichnet. Die von der oberen und unteren Kastenkante gezogenen senkrechten Linien mit Querbalken zeigen den größten und den kleinsten Wert, ausgenommen sind Extremwerte und Ausreißer. Die Lage der horizontalen Linien zeigt die Schiefe der Verteilung. So ist auf dem Beispieldiagramm zu sehen, dass die Variable nicht normal verteilt ist. Im normal verteilten Fall wäre das Diagramm symmetrisch, der Median läge also ungefähr in der Mitte des Kastens, und damit wären 25-Perzentil und 75-Perzentil vom Median gleich entfernt, außerdem wären die „Barthaare“ auch gleich lang. (Wegen dieser Linien wird das Diagramm auch als Box-and-Whiskers-Plot genannt.) Boxplots sind sehr gut für den Vergleich gruppierter Daten geeignet. In dem Fall nennen sie sich gruppierte Boxplots. So können ordinal skalierte Variablen nebeneinander dargestellt und ihre signifikanten Unterschiede veranschaulicht werden. Die benachbarten Variablen haben zwar den gleichen Abstand an der Achse, haben aber keine mathematisch sinnvollen Werte (z.B. Wochentage, Teilnehmer, Länder etc.).

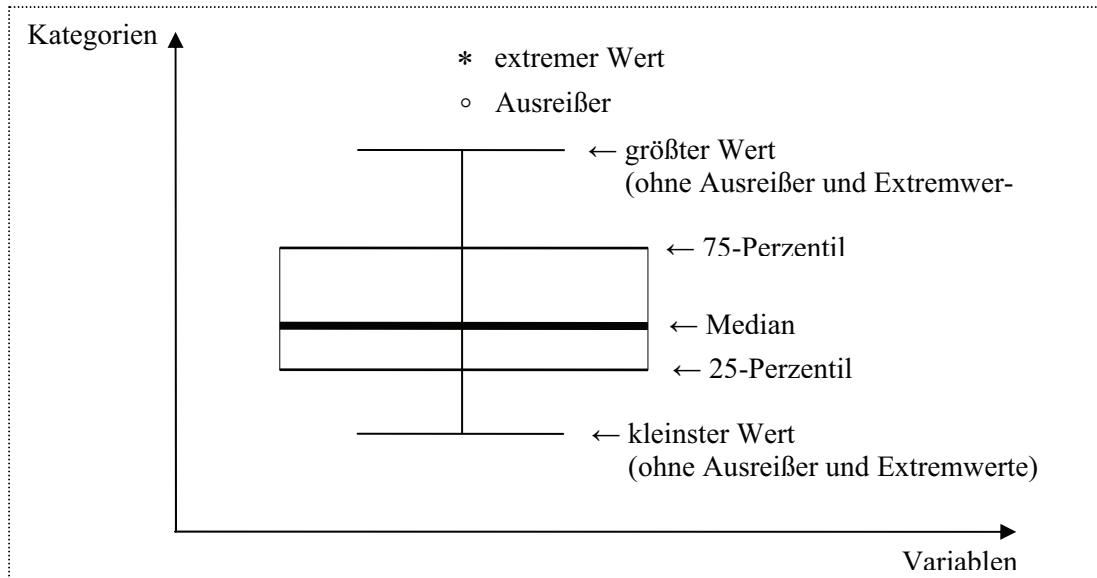


Abbildung 41: Erläuterung des Boxplots mit schematischer Darstellung, nach [Behrens 98]

7.2.1 Abfallaufkommen auf dem Untersuchungsgebiet

Es handelt sich hier nur um die Abfallmenge, die auf dem Untersuchungsgebiet in der Untersuchungszeit (siehe Abschnitt 7 und 7.1) entsorgt wurde.

Die Daten stammen aus den Wiegescheinen des betroffenen Sammelfahrzeugs. Sie werden nach den Touren abgegeben und täglich summiert. Hier ist zu bemerken, dass die Daten im untersuchten Zeitraum nicht vollständig sind. So fehlen z.B. einige Wiegedaten im Juli 2003. Dieses Fehlen beeinflusst die Auswertungen, die in diesem Zeitraum betroffen sind. Im Weiteren fehlen die Wiegescheine von 03.03.03 bis 07.03.03, deshalb sind die Werte aus den Tagesmengen mit einer Halbierung angegeben.

Es wird zuerst eine Jahresschwankung des Abfallaufkommens gesucht. Dazu sind die monatlich entsorgten Abfallmengen summiert und die jeweils im gleichen Monat entsorgten Abfallmengen zur Visualisierung in einem Diagramm aufeinander gelegt (siehe Abbildung 42). Im Diagramm ist es deutlich zu sehen, dass die Schwankungen auf den zwei Kurven parallel laufen. Es ist nicht möglich, anhand der Daten von nur zwei Jahren weitgehende Folgerungen zu schließen, jedoch ist eine Jahresschwankung in Form eines niedrigeren Abfallaufkommens in den Monaten Februar und November neben den Sommermonaten zu beobachten. In der Literatur sind unterschiedliche Erfahrungen über die Fluktuation des Abfallaufkommens im Laufe eines Jahres zu finden. So werden in [Lucas 93], [Wöbbeking 95] und in [Buchholz 95] im Sommer niedrige, im Winter höhere Abfallmengen beschrieben. Über im Frühjahr und im Sommer niedrigeres, im Herbst und im Winter höheres Restabfallaufkommen ist in [Bilitewski 00] zu lesen. Eine Feststellung keiner typischen saisonalen Schwankung, außer einem mehr oder weniger ausgeprägtem Minimum im Sommer, steht in [Gallenkemper 77]. Die Ergebnisse der Untersuchungen dieser Arbeit ähneln am meisten den Angaben von Eder in [Cord-L. 94], d.h. die Menge des Restabfalls ist im Frühjahr und im Herbst höher als im Winter und Sommer.

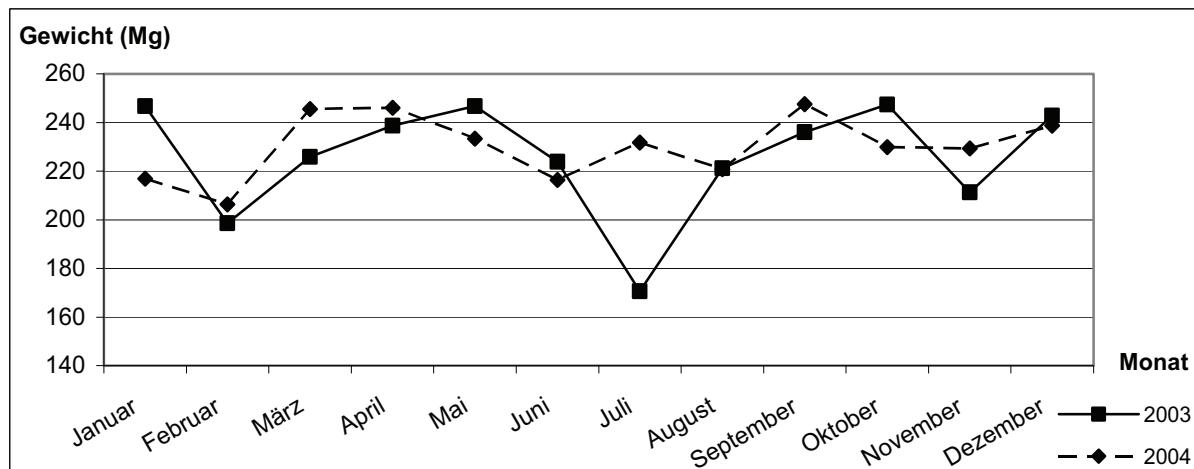


Abbildung 42: Vergleich der monatlich entsorgten Abfallmengen auf dem Untersuchungsgebiet 2003-2004

Monatlich wird zwischen 200 und 250 Mg Restabfall entsorgt, diesem entspricht eine Jahresschwankung von 25 % beim Restabfallaufkommen (abgesehen von den ausreißenden).

Als zweites wird die Verteilung der eingesammelten Restabfallmengen an den Wochentagen untersucht. Um es besser zu veranschaulichen, wurden die täglich erfassten Abfallmengen des untersuchten Zeitraums zu den einzelnen Wochentagen zugeordnet und die Wochengangslinien zusammen in einem Diagramm in Abbildung 43 dargestellt.

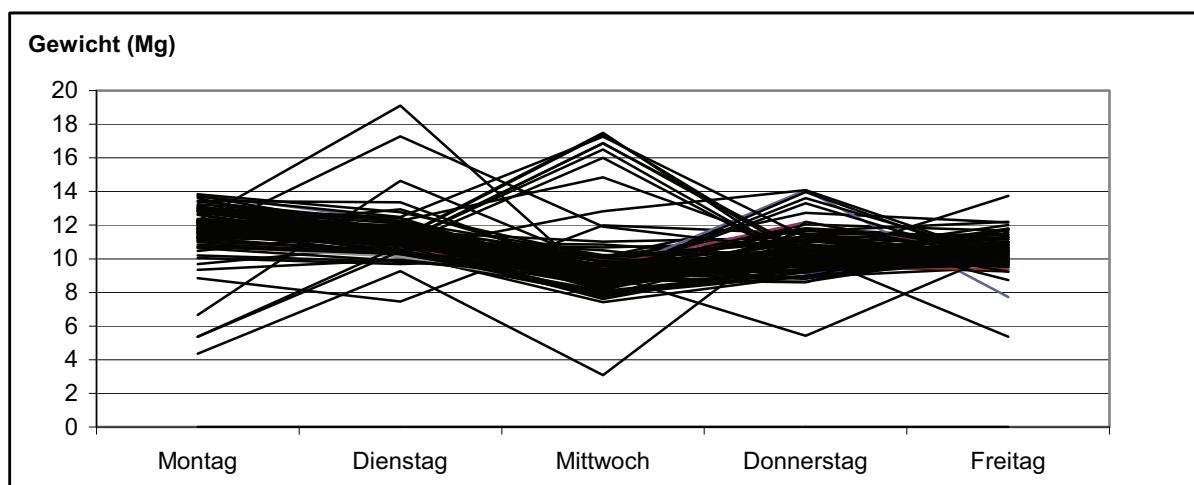


Abbildung 43: Verteilung der täglich entsorgten Abfallmenge an den Wochentagen 2003-2004

Dieselbe Relation ist im Boxplot-Diagramm in der Abbildung 44 zu sehen. Hier sind die niedrige Streuung der Abfallmenge und die Ausreißer bzw. Extremwerte deutlicher zu erkennen.

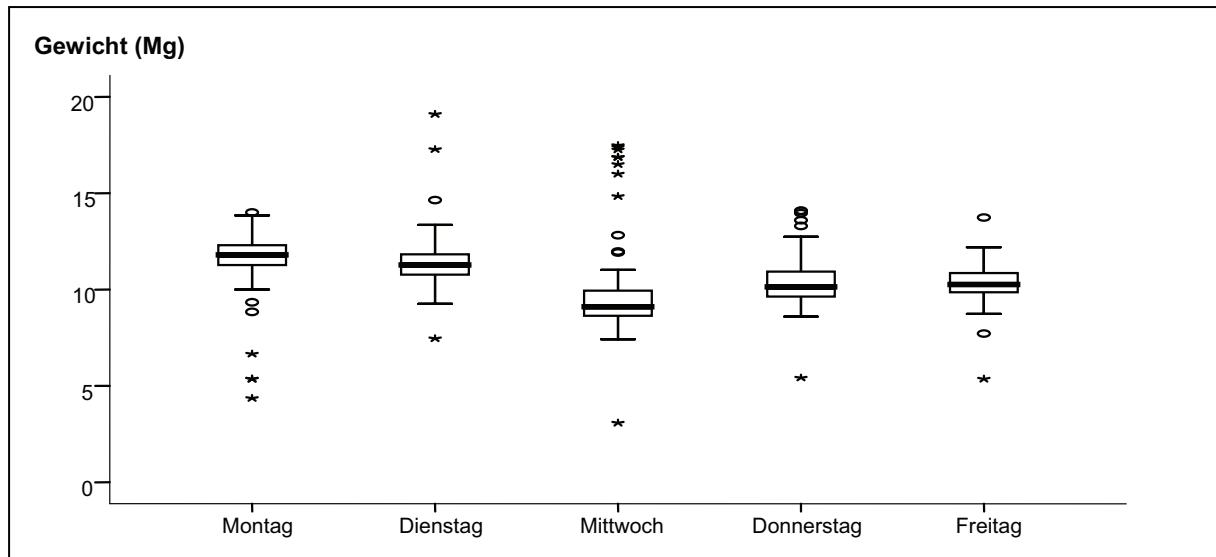


Abbildung 44: Verteilung der täglich entsorgten Restabfallmengen an den Wochentagen

Die Höhe der täglich entsorgten Abfallmenge ist sehr unterschiedlich, sie schwankt zwischen ca. 3 und 19 Mg; durchschnittlich beträgt sie 10,7 Mg. Betrachtet man die durchschnittlichen Werte, ergibt sich zwischen den Randwerten (es entspricht montags und mittwochs) ein Unterschied von etwa 30 %. Die Abweichung könnte auf unterschiedliche Arbeitsbedingungen (z.B. unterschiedliche Arbeitszeit, Lage der Sammelbehälter, Besonderheiten an den Größen der Sammelbehälter, Größe der Sammelmannschaft etc.) deuten. Der fehlende Unterschied der oben beschriebenen Punkte zwischen den Tagen führt zur Konklusion einer geringeren Sammelleistung.

7.2.2 Anzahl der entsorgten Abfallsammelbehälter

Eine aussagekräftige Art der Darstellung der Sammelleistung ist die Anzahl der Schüttvorgänge pro Fahrzeug und Tag. Die Daten sind aus den täglichen Tourenplänen entnommen und entsprechen den geplanten Entleerungen. Ausgefallene Behälterentleerungen werden auf dem Tourenplan mit einer Begründung vermerkt. Solche Fälle kamen in der untersuchten Zeit und des untersuchten Gebiets sehr selten vor und werden daher nicht weiter berücksichtigt. Zuerst wird auch hier eine Jahresschwankung gesucht. Dazu wird die Anzahl der im Monat entleerten Sammelbehälter in Abbildung 45 dargestellt. Wie zu vermuten war, ist eine Jahresschwankung der Werte festzustellen, ähnlich wie die Jahresschwankung der entsorgten Restabfallmenge. Dennoch befinden sich die Werte - im Gegensatz zu denen bei der Abfallmenge - bei einer Streuung von 15 %.

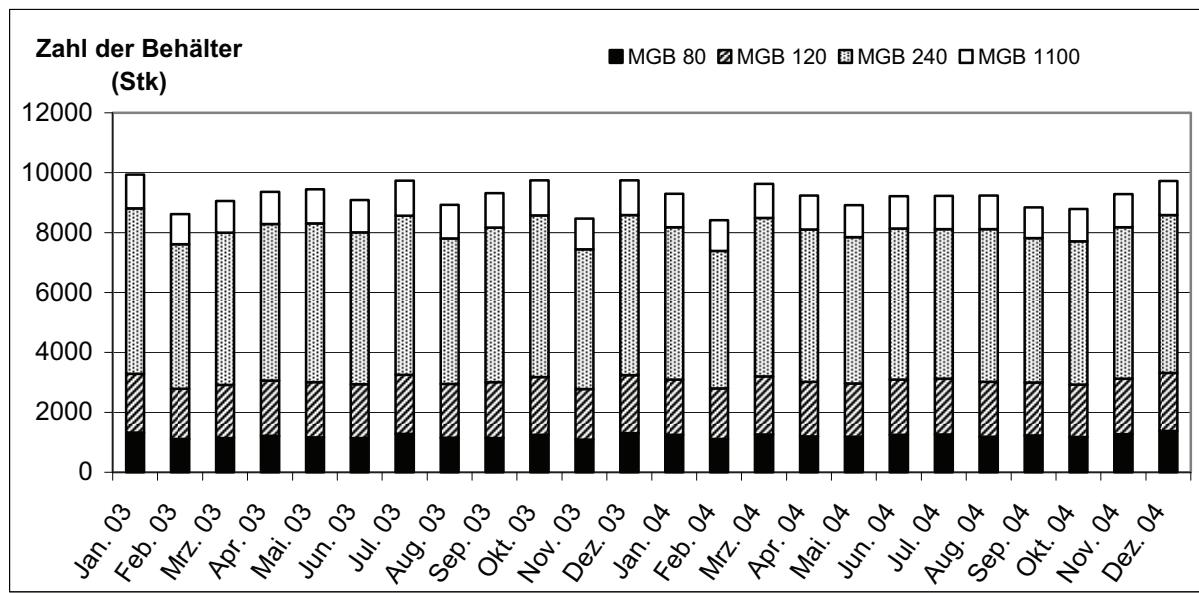


Abbildung 45: Zahl der entsorgten Sammelbehälter pro Monat 2003-2004

Die Schwankung der durchschnittlichen Anzahl der täglich entleerten Abfallsammelbehälter ist eindeutiger. Um die auf die Wochentage bezogenen Schüttvorgänge zu veranschaulichen, wurden sie in Abbildung 46 dargestellt. Bei der Auswertung werden die MGB 1100 wegen der Vergleichbarkeit mit den kleineren Behältern mit einem Multiplikationsfaktor von 3 versehen und berechnet. Es werden täglich zwischen 383 und 626 Restabfallbehälter auf dem untersuchten Gebiet entsorgt. Der durchschnittlicher Wert liegt bei 525 Behältern, wobei die Schwankung zwischen den einzelnen Wochentagen so groß ist, dass der Mittelwert nur als symbolisch betrachtet werden kann.

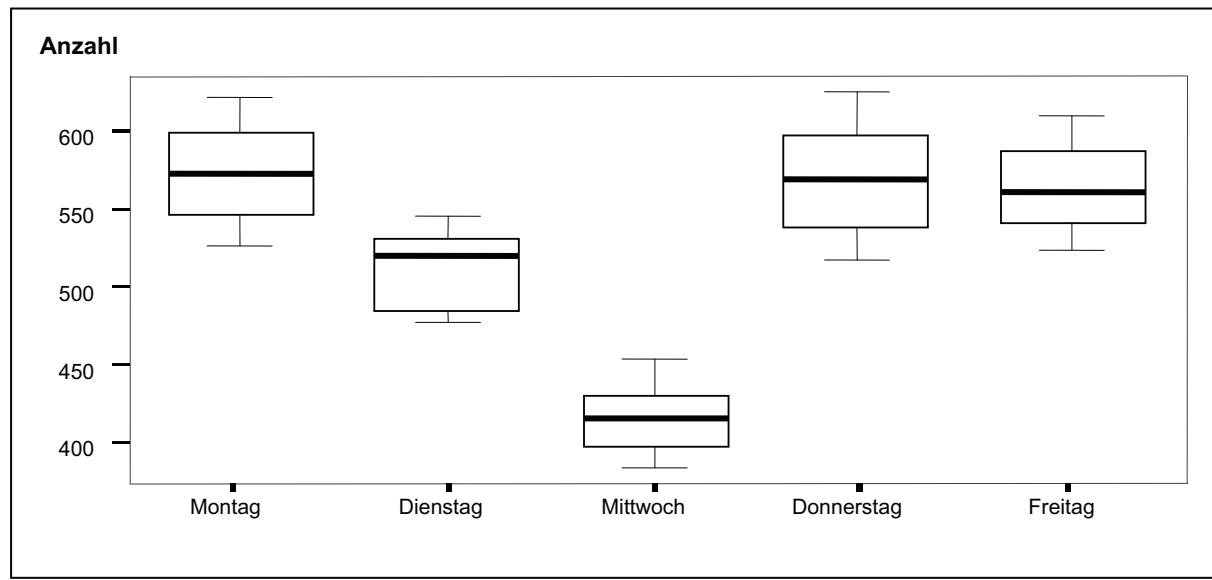


Abbildung 46: Verteilung der Schüttvorgänge an den Wochentagen

Die Annahme, dass die Sammelleistung mittwochs niedriger ist als an den anderen Tagen, wird hier weiter unterstützt. Mittwochs werden durchschnittlich 415, montags und donnerstags 570 Behälter entleert. Das entspricht einer Abweichung von etwa 30 %.

Dadurch, dass es im Diagramm weder Ausreißer noch Extremwerte vorkommen und die Werte außer denen im Box-Diagramm nicht sehr weit voneinander entfernt sind, ist sichtbar, dass die Lage der Werte ausgeglichener ist als im Abschnitt zuvor.

Wie oben bereits dargestellt wurde, ist die Verteilung der Behältergrößen an den einzelnen Wochentagen unterschiedlich. Die durchschnittliche Verteilung der entsorgten Behältergrößen im Bezug auf deren Anzahl (ohne der obigen Faktor für MGB 1100) bzw. Volumina zeigt Abbildung 47. Verglichen mit den gleichen Werten des ganzen Entsorgungsgebiets (siehe Abbildung 30 im Abschnitt 6.2.1), ergeben sich folgende Unterschiede: der MGB 240 wird in dem Untersuchungsgebiet um 30 %, der MGB 120 um 5 % öfter, der MGB 1100 um 8 % und der MGB 80 um 27 % weniger verwendet. Es ist auf die unterschiedliche Bebauungsstruktur zurückzuführen.

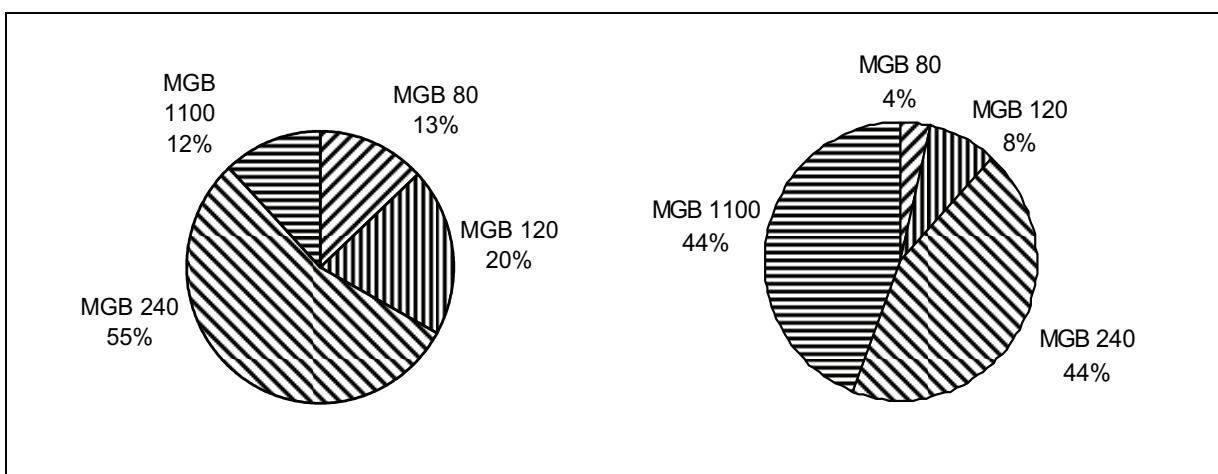


Abbildung 47: Verteilung der Restabfallbehältergrößen im Bezug auf deren Anzahl bzw. Volumina

Die Auswertung basiert auf den Daten der untersuchten zwei Jahre. Eine Veränderung der Verteilung zwischen den zwei Jahren ist nicht festzustellen, denn der Unterschied je Kategorie ist unter 1 % und damit sind sie praktisch identisch.

7.2.3 Auslastung des Sammelfahrzeuges

Wie es im Abschnitt 7.2.1 beschrieben ist, werden täglich sehr unterschiedliche Mengen von Abfall entsorgt. Aus der täglichen Verwendung desselben Fahrzeugs für die Sammlung folgt, dass die Auslastung des Sammelfahrzeugs, abhängig von der entsorgten Abfallmenge, ebenfalls schwankt. Wegen des hohen spezifischen Gewichts des Restabfalls wird bei der Sammlung als Obergrenze der einzusammelnden Abfallmenge die zugelassene Nutzlast vor dem möglichen Volumen des Fahrzeugs erreicht. Deshalb bezieht sich die Auslastung auf das Gewicht und nicht auf das Volumen des eingesammelten Abfalls. Die Nutzlast des bei der Untersuchung teilgenommenen Sammelfahrzeuges beträgt 5,85 Mg.

Um einen generellen Einblick in die Höhe der Auslastung des Sammelfahrzeuges zu bekommen, werden die monatlichen Durchschnittswerte in Abbildung 48 gezeigt.

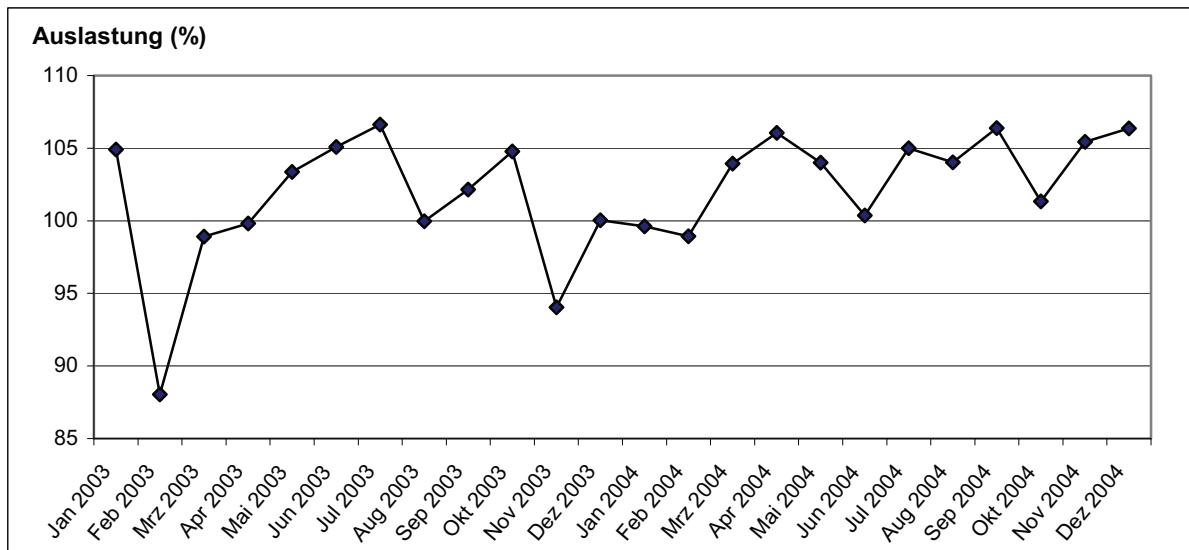


Abbildung 48: Durchschnittliche Auslastung des Sammelfahrzeuges per Monat 2003-2004

Es ist zu erkennen, dass die monatliche Durchschnittsauslastung öfter über als unter 100 % liegt. Es ist dadurch möglich, dass bei Restmüllsammlung die Nutzlast vor dem Nutzvolumen des Fahrzeuges erreicht wird. Durch das regelmäßige Überschreiten der zugelassenen Nutzlast werden die Vorschriften verletzt.

Ein Häufigkeitsdiagramm der in der Untersuchungszeit registrierten Fahrzeugauslastungen zeigt Abbildung 49. Auf dem Diagramm lässt sich erkennen, dass das Maximum der Normalverteilungskurve bei 100 % liegt.

In Abbildung 50 werden die Prozentualwerte der Auslastung kumulativ dargestellt. Nach einem Blick auf das Diagramm sieht man, dass der zu den 100 % gehörige Wert auf die kumulative Prozent-Achse projizierend eine Häufigkeit von etwa 60 % ergibt. Das bedeutet, dass in 40 % der Fälle das Sammelfahrzeug überlastet ist.

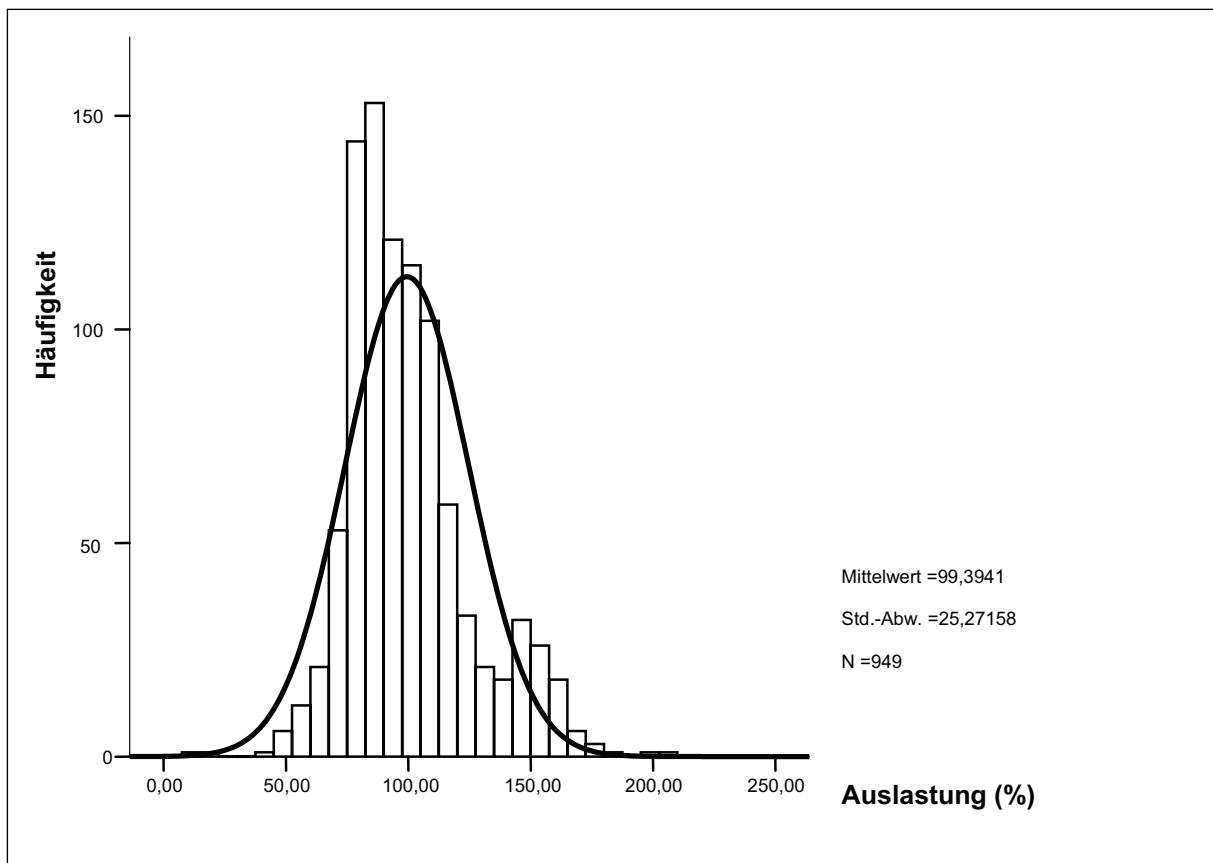


Abbildung 49: Darstellung der Fahrzeugausnutzung in der untersuchten Zeit

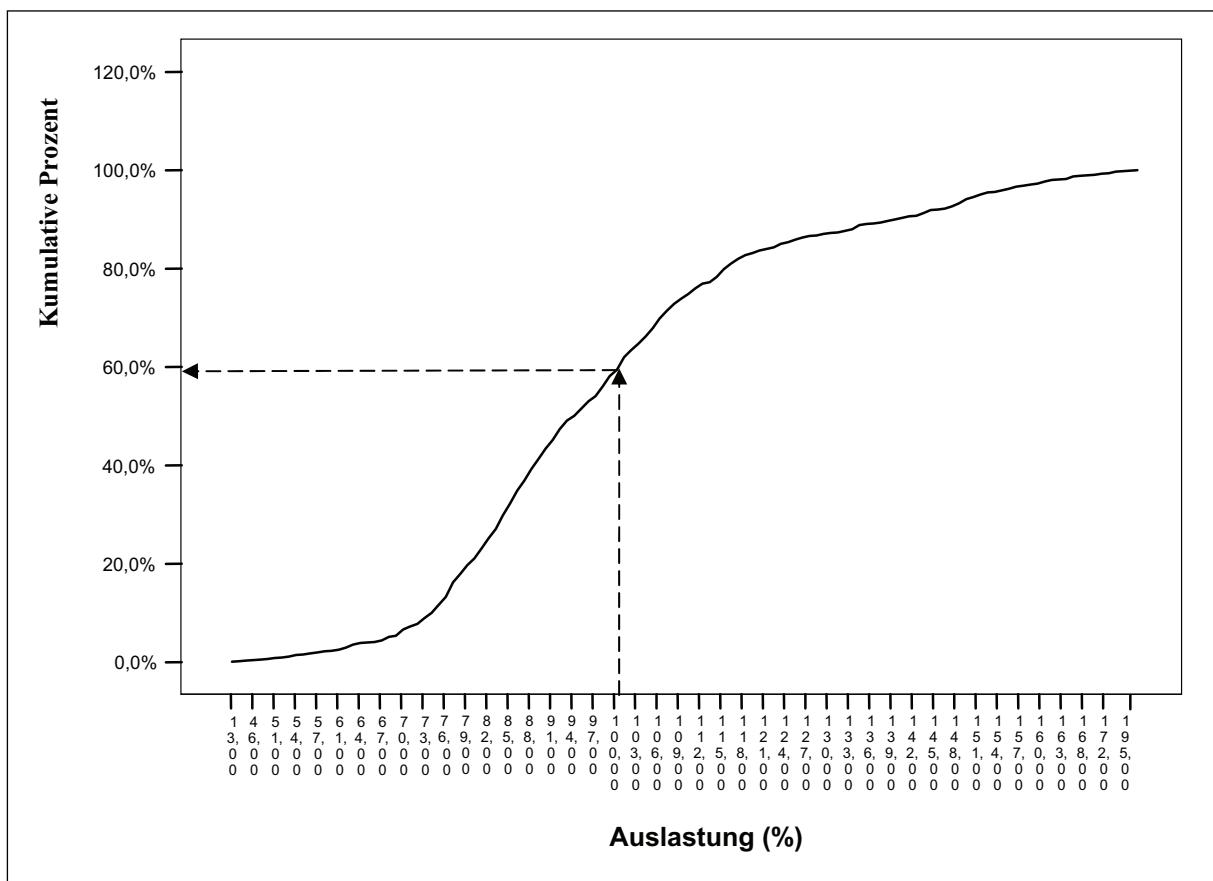


Abbildung 50: Verteilung der Auslastung des Sammelfahrzeugs

Analog zur Abbildung 43 werden die Fahrzeugauslastungen zu den Wochentagen zugeordnet (auf die Touren und nicht auf die Tagesmenge bezogen) und in Abbildung 51 dargestellt.

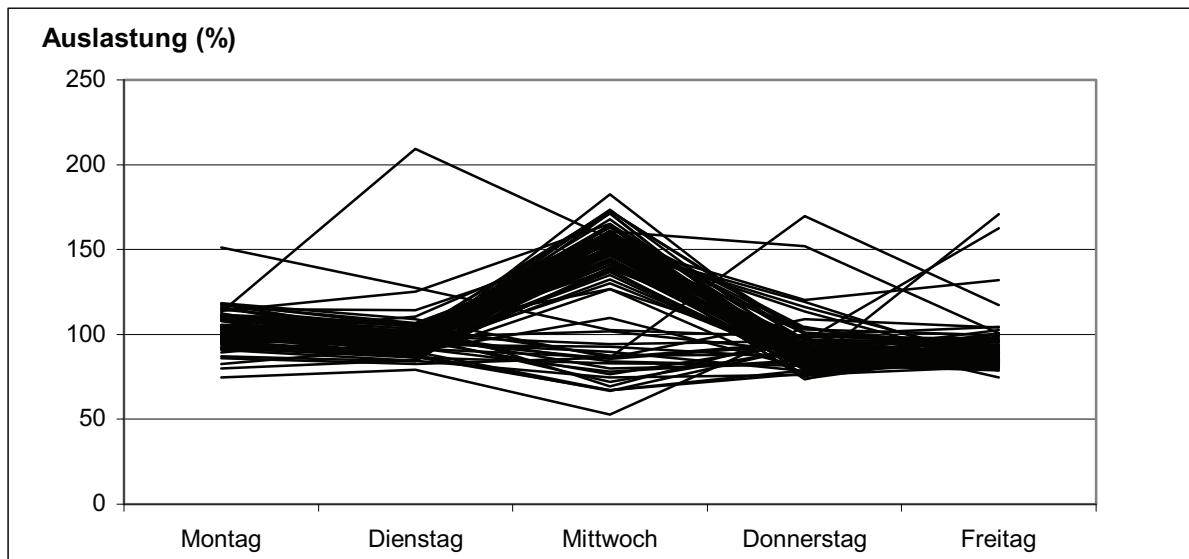


Abbildung 51: Auslastung des Sammelfahrzeuges an den Wochentagen

Aus den Tatsachen, dass in der Regel mittwochs nur eine Tour durchgeführt wird und die Abfallmenge an den Tagen größer ist als bei den üblichen Touren, war zu erwarten, dass es eine Auswirkung auf die Auslastung des Sammelfahrzeugs hat. Diese Vermutung lässt sich durch die Abbildung 51 bestätigen. Die Mittelwerte der Auslastungen liegen am Montag bei 102 %, am Dienstag bei 98 %, am Mittwoch bei 136 %, am Donnerstag bei 90 % und am Freitag bei 91 %.

Um die Streuung der Werte sowie die von Extremwerten und Ausreißern frei berechneten Mittel anschaulicher darzustellen, werden die Ergebnisse in einem Box-Plot-Diagramm (Abbildung 52) gezeigt. Während sich die mittleren 50 % der Werte montags, dienstags, donnerstags und freitags in einem ziemlich kleinen Intervall befinden, brauchen die gleichen mittleren Werte mittwochs ein deutlich größeres Feld. Und während sich die Mittelwerte von Montag und Dienstag um die 100 % und von Donnerstag und Freitag etwas darunter befinden, ist der Wert am Mittwoch deutlich größer. Dass der Mittelwert bei 150 % liegt und deutlich mehr als 75 % der Fälle über 100 % Auslastung liegt (die untere Kante der Kasten bedeutet den 25. Prozentwert), zeigt eindeutig, dass eine Umplanung dieser Tour notwendig ist.

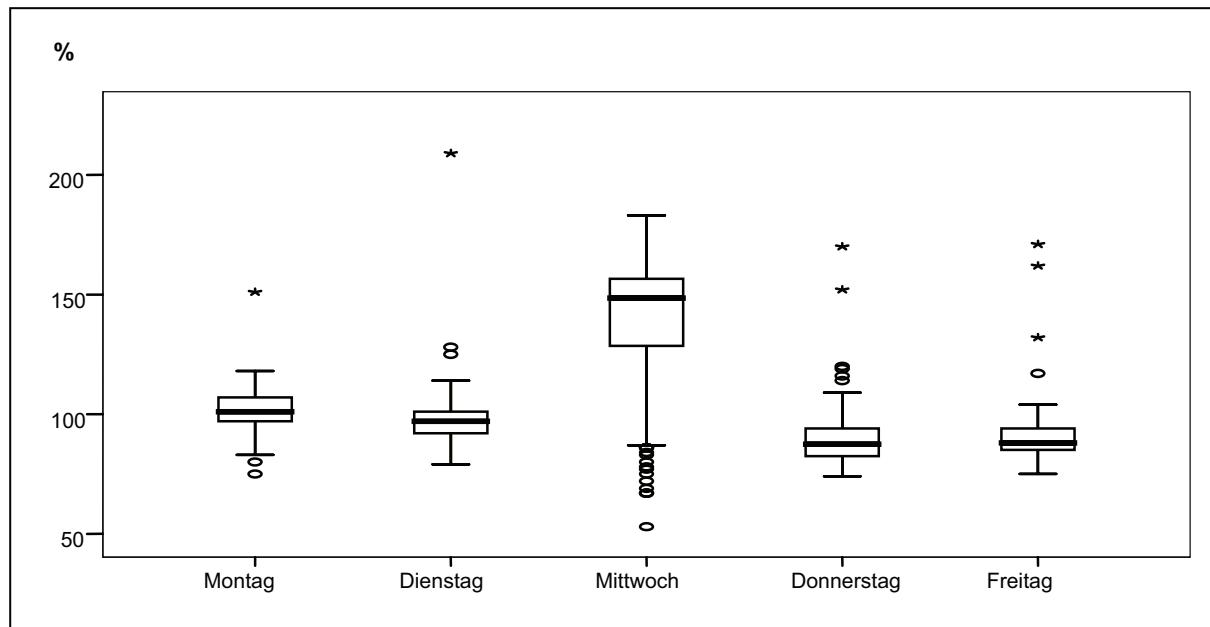


Abbildung 52: Auslastung des Sammelfahrzeuges

7.3 Versuchsprogramm zur Erfassung und Auswertung weiterer Kennzahlen

Ziel des Versuchsprogramms ist die Einführung des GPS als instrumentales Hilfsmittel zur Aufnahme der Positions- und Zeitdaten des Sammelfahrzeugs mit dem dazugehörigen Personal und damit die Ermittlung zeit- und ortsbezogener Informationen. Die Vorteile des GPS gegenüber dem Fahrtenschreiber liegen in der höheren Genauigkeit und der digitalen Speicher- und Bearbeitungsmöglichkeit. Die kleinsten ablesbaren Einheiten auf einem Fahrtenschreiber sind ca. 1 Minute und ca. 0,1 km [Gallenkemper 77], bei GPS sind es 1 Sekunde und 4 bis 20 m. Außerdem sind die Ablesung und damit die Auswertung des Fahrtenschreibers zeitaufwendiger als mit den meisten Software-Programmen, mit denen die GPS-Daten bearbeitet werden können. Für sorgfältige Ablesung des Fahrtenschreibers wird zusätzliches Gerät gebraucht. Für die maschinelle Ablesung wird ein spezieller Schein gebraucht.

Die aufgenommenen Daten sollen bei der Analyse des derzeitigen Arbeitsablaufs auf zwei Weisen helfen. Einerseits durch Visualisierung der befahrenen Wege, um raumbezogene Optimierungsmöglichkeiten zu finden. Andererseits als Grundlage für Ermittlung von Kennzahlen, die bei der Kontrolle als Leistungsdaten und bei der Planung bzw. Optimierung der entsorgungslogistischen Aufgaben (wie z.B. Abgrenzung der Entsorgungsreviere, Tourenplanung, inklusive Auswahl der geeigneten Sammelfahrzeuge, Zusammenstellung der Touren usw.) als Basis dienen.

7.3.1 Messtechnik

Es wurden in den zwei Untersuchungsabschnitten (siehe Abschnitt 7.3.3.) zwei unterschiedliche Messtechniken verwendet. Grund dafür ist, dass das Unternehmen im ersten Jahr kein eigenes GPS-Empfängergerät hatte und die von der Universität Rostock ausgeliehene GPS-Maus eine andere Da-

tenspeicherlösung verlangt hat als das beim zweiten Untersuchungsteil verwendete unternehmenseigene GPS-System.

So wurden die ort- und zeitspezifischen Daten des Sammelfahrzeugs im ersten Jahr durch eine mit Magnet am Sammelfahrzeug befestigten „HOLUX GM-210 GR“ GPS-Maus erfasst. Die GPS-Maus verfügt über eine Korrektionsfunktion und hat somit nach Angabe des Herstellers eine Genauigkeit von 2 bis 5 m. Die aufgenommenen Daten wurden an einen im Fahrhaus liegenden Laptop geleitet, und in diesem, mit Hilfe eines individuellen Programms, in geeigneter Form formatiert und gespeichert.

Im zweiten Jahr wurde die Ortung des Sammelfahrzeugs mit einem unternehmenseigenen „GPSMO-VE III“ durchgeführt. Es ist ein GPS-Empfänger mit Datalogger für eine Standortbestimmung und eine Aufzeichnung von Punkten und Linienführungen zum Einsatz in Fahrzeugen. Das Gerät wurde an der Bordspannungsversorgung des Fahrzeugs angeschlossen. Die gewonnenen Daten wurden auf einer wechselbaren Speicherkarte (Compact Flash) gesichert und am Ende der Woche in der Zentrale ausgelesen und auf einen Computer übertragen. Eine Genauigkeit der Ortsbestimmung ist nach [GPSMO] mit Standard GPS-Verfahren von 10 bis 25 m erreichbar.

In beiden Fällen erfolgte die Positionsangabe nach geographischen Koordinaten (WGS-84). Zusätzlich wurden das Datum und die genaue Uhrzeit (UTC) erfasst. Die Signale wurden im Sekundentakt aufgezeichnet.

7.3.2 Vorbereitung der vorhandenen Daten für die Auswertung

a) Herstellen einer Basisdatenbank als Grundlage für die Auswertung

Vom Katasteramt Rostock wurde eine Datenbank mit Koordinaten, Adressen, Einwohnerzahl und der Gebäude, die sich auf dem Untersuchungsgebiet befinden, zur Verfügung gestellt. Zusammen mit der bei der Stadtentsorgung Rostock vorhandenen Datenbank, die für die Tourenplanung relevante Informationen enthält, ist eine neue Datenbank gebildet worden. Durch die Adressen wurden die Datenbanken zusammengekoppelt und eine neue, komplexe Datenbank mit folgenden Informationen erstellt:

- Adresse,
- Einwohnerzahl,
- Behältergröße des Restabfallsammelbehälters,
- Entsorgungsrhythmus,
- Entsorgungstag (Montag bis Freitag),
- Datum der Entsorgung,
- Koordinaten der Adressen.

Mit der so erstellten neuen, komplexen Datenbank konnten die auf der digitalisierten Karte abgebildeten Entsorgungsadressen mit Sachdaten ausgestattet werden.

b) Herstellen einer digitalisierten Karte als Grundlage für die Auswertung

Das Katasteramt Rostock hat eine digitalisierte ALK-Karte sowie einen Straßenpolygon der betroffenen Stadtteile zur Verfügung gestellt. Letzteres hat sich für ausreichend bei der Orientierung auf der Karte ergeben, und hat wegen kleiner Speicherplatzbedarf eine schnellere Arbeit ermöglicht. Die einzelnen Straßen konnten mit ihren Namen beschriftet und mit Einblenden dieser Information eine schnelle Auskunft über die Lage gegeben werden. Auf der Karte wurden die einzelnen Adressen mit Punkten dargestellt. Mit einem Klick auf den entsprechenden Punkt konnten die oben aufgezählten Informationen eingeblendet werden (siehe Abbildung 53).

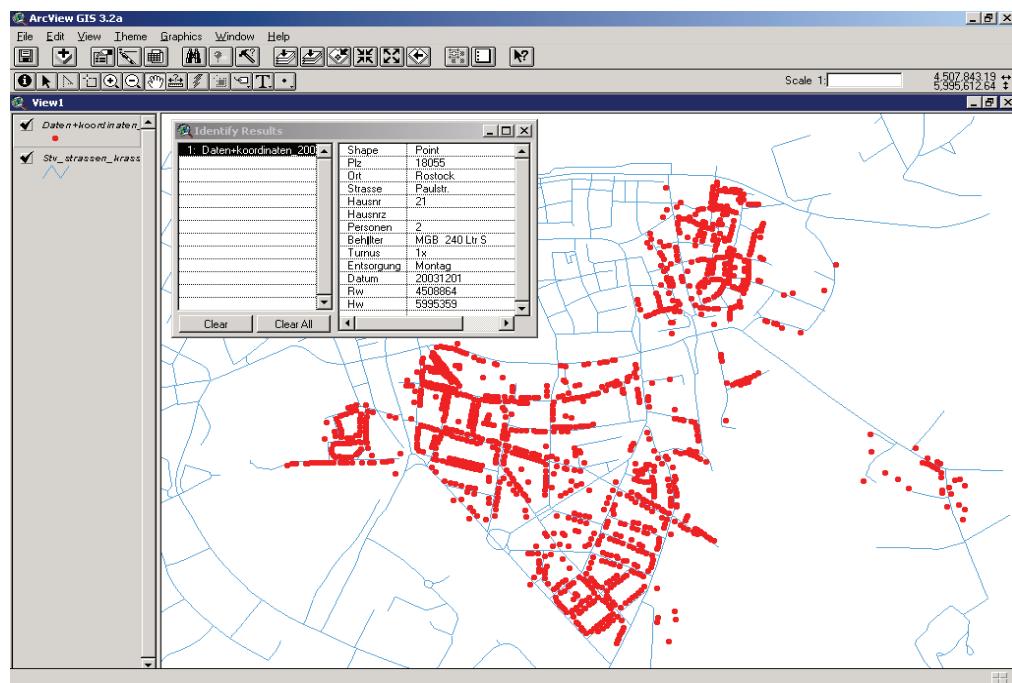


Abbildung 53: Lage und abrufbare Informationen der zu entsorgenden Restabfallsammelbehälter

Im Weiteren war es mit dem Programm möglich, nach Kriterien aus der Datenbank eine Adresse herauszufiltern und zu markieren. So konnte z.B. eine Karte erstellt werden, auf der die Restabfallsammelbehälter markiert waren, die donnerstags entsorgt werden mussten (siehe Abbildung 54) oder an der die Restabfallsammelbehälter bestimmter Größen markiert waren.

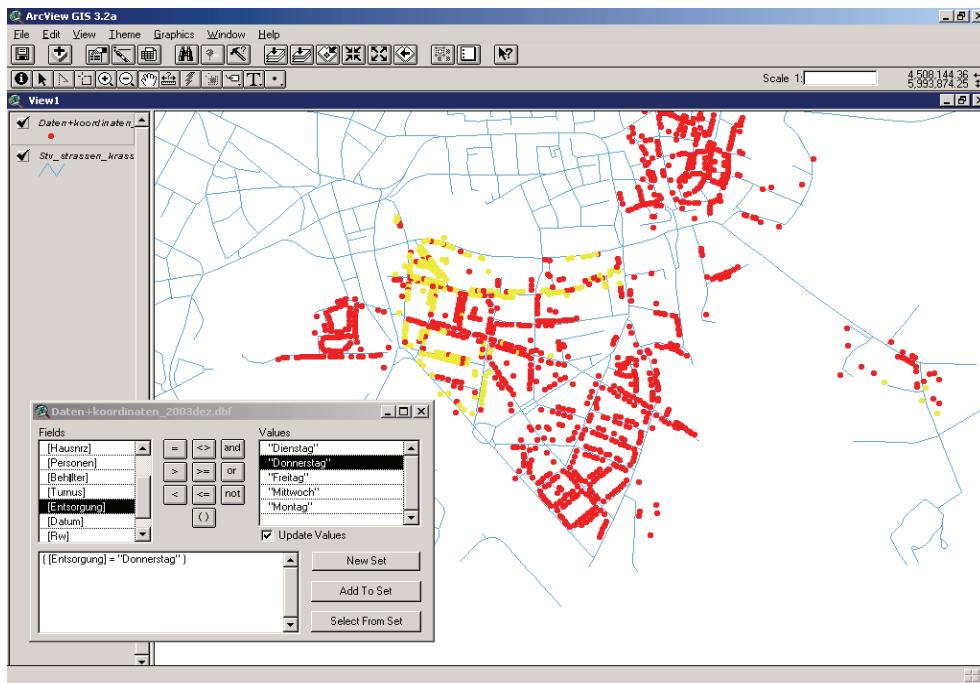


Abbildung 54: Darstellung einer Karte mit Markierung der an einem Tag zu entleerenden Behälter

7.3.3 Ablauf des Versuchs

Die Untersuchung bestand aus zwei Abschnitten. Der erste Teil wurde in der Zeit von 1.12.2003 bis 12.12.2003, der zweite von 11.10.2004 bis 31.12.2004 durchgeführt.

Die Abfallsammlung erfolgt, wie gewohnt, im Teilservice (siehe Abschnitt 7.1). Der erfasste Restabfall wurde mit dem im Abschnitt 7.1. beschriebenen Fahrzeug gesammelt und nach den Touren – ein- oder zweimal pro Tag – zur Umladestation gefahren. Für die Untersuchung wurden weder organisatorische noch personelle Änderungen durchgeführt, die tägliche Arbeit lief wie bisher. Der Arbeitsablauf wird im folgenden Absatz beschrieben.

Der Fahrer erhält vom Einsatzleiter vor dem Dienstbeginn den Tourenplan mit darauf folgenden Informationen:

- Adresse
- Typ des Abfallbehälters
- Entsorgungsrhythmus
- Entsorgungstag
- Bemerkung

Die Sammelroute wird nicht festgelegt und der Fahrer entscheidet über die Reihenfolge der Entleerung der Sammelbehälter. Die Sammelfahrzeuge fahren um 6 Uhr morgens vom Betriebsgelände ab. Nach der Sammlung der ersten Tour machen der Fahrer und das Ladepersonal eine etwa 30 Minuten lange

Pause. Danach fahren sie zur Umschlagstation. Dort wird das Fahrzeug beim Eingangsbereich gewogen, entleert, beim Ausfahren wieder gewogen und anschließend bekommt der Fahrer den Wiegeschein. Danach kehrt der Fahrer mit dem Fahrzeug zum Sammelgebiet zurück und setzt die Sammlung des Restabfalls fort. Im Folgenden wird wieder zur Umschlagstation gefahren. Nach der letzten Entleerung fährt der Fahrer das Fahrzeug zum Betriebsgelände. Der Fahrer gibt den Tourenplan, die Wiegescheine und den Fahrtenschreiber dem Einsatzleiter ab. Während der Arbeit hält der Fahrer den Kontakt per Funk mit dem Einsatzleiter.

In Dezember 2003 wurde ein Ist-Stand aufgenommen. Es war geplant, hinterher bei mehreren unterschiedlichen Arbeitsbedingungsvarianten dieselbe Untersuchung durchzuführen. Aus technischen und organisatorischen Gründen konnte dieses Vorhaben nicht verwirklicht werden. Eine zweite Untersuchung zur Aufnahme des Ist-Standes wurde dennoch ab Oktober bis Dezember 2004 durchgeführt. Um die derzeitige Arbeit bzw. deren Leistung festzuhalten, wurde allerdings eine andere Technik angewendet (siehe Abschnitt 7.3.1.).

Zwischen den beiden Untersuchungen haben sich einige Umstände verändert. Eine Modifikation lag an der Senkung der Arbeitszeit von 8 auf 7 Stunden. Das hieß in der Praxis, dass die Sammelmannschaft nach der letzten Tour mit dem gefüllten Fahrzeug nicht zur Umladestation, sondern zum Betrieb gefahren ist und alle Fahrzeuge von einem Mitarbeiter in der Spätschicht zur Umladestation gefahren wurden.

Eine zweite Änderung vollzog sich in dem Verkehrssystem der Stadt. Eine wichtige Straße wurde vom Verkehr ausgeschlossen (Neuer Markt). Dadurch haben sich die Transportwege geändert. Bei dem untersuchten Gebiet hatte dies eine Wirkung auf den Transportweg, nicht auf den Sammelweg.

Eine dritte Änderung ist, dass die Größe der Sammelmannschaft von 1+2 auf 1+1 gesenkt wurde.

Um diese Änderungen bei den betroffenen graphischen Darstellungen zu zeigen, wurden in den Liniendiagrammen die Linien für 2003 gestrichelt und für 2004 durchgehend dargestellt. Bei den Balkendiagrammen steht eine senkrechte Linie für die Trennung der zwei Untersuchungsperioden.

7.3.4 Vorbereitung der durch GPS gewonnenen Daten für die Auswertung

Die durch GPS-Empfänger gelieferten Daten wurden zunächst in Textformat (.txt) gespeichert. So konnten sie bei der Visualisierung aber nicht direkt verwendet werden, weil das Format der Daten nicht mit der Software für die Visualisierung und Verarbeitung (ArcView GIS 3.2a vom ESRI) kompatibel war. Gleichzeitig stimmte das Koordinatensystem der erfassten Positionen (WGS-84) mit dem Koordinatensystem der vom Katasteramt Rostock bereitgestellten und für die Auswertung verwendeten digitalisierten Stadt-karte bzw. Straßenpolygon (Gauß-Krügel S42/83, GK Zone 4, Meter) nicht überein.

Deshalb wurden die Daten zuerst mit MS-Excel in eine Tabelle geordnet, danach die Koordinaten mit Hilfe eines Software-Programms (Geographic Calculator 5.0 vom Blue Marble Geographics) in das entsprechende Koordinatensystem konvertiert und schließlich in einer dBase IV-Datenbank im .dbf Format gespeichert. Dieses Format ist bei ArcView direkt verwendbar.

7.3.5 Datenauswertung

Die durchs GPS-Gerät ermittelten Koordinaten mit den dazu gehörigen Datums- und Zeitangaben waren nach der Vorbereitung auf der digitalisierten Karte zu sehen. Da die Punkte in Sekundentakt aufgenommen wurden, war der befahrene Weg des Fahrzeugs theoretisch sehr gut nachzuvollziehen. Ein Beispiel dafür zeigt Abbildung 55. In Teil a) ist die gesamte Aufzeichnung dargestellt, in Teil b) eine Vergrößerung des Entsorgungsreviers.

Die Praxis zeigte allerdings, dass gerade in der Stadt die Koordinaten nur als Orientierung nutzbar waren. Wegen Störungen waren die Daten nicht genau genug, um präzise Distanz- und dadurch Geschwindigkeitsdaten zu ermitteln. Eine unbearbeitete Wegaufzeichnung zeigt Abbildung 55.

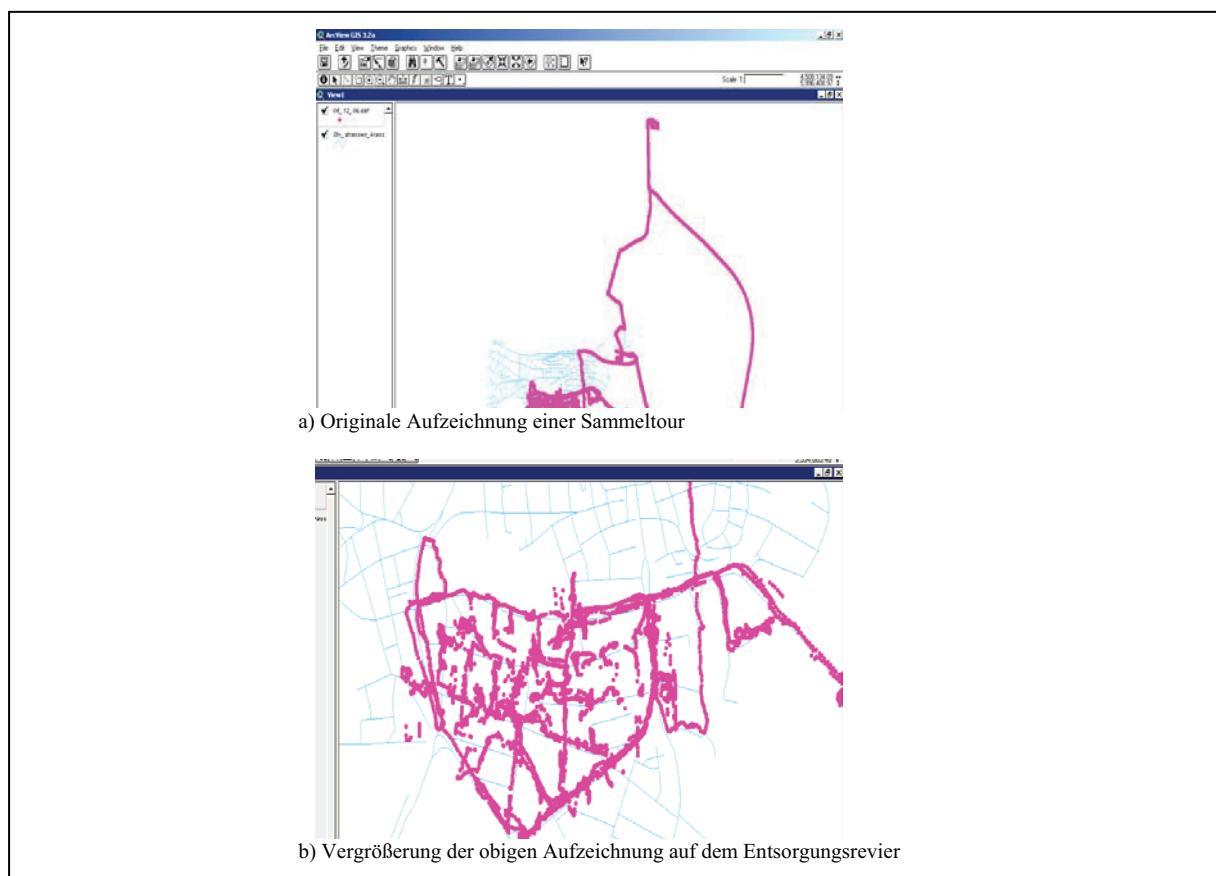


Abbildung 55: Darstellung eines aufgezeichneten Weges in originaler Form

Durch einen Klick auf die Punkte der Aufzeichnung des befahrenen Weges konnte man die dazu gehörigen Informationen abrufen. Es war auch möglich, alle Punkte mit einer bestimmten Information zu beschriften. So konnte man die Punkte mit der Zeit kennzeichnen. So wurde es möglich, den Weg präziser zu erkennen und zu verfolgen. Das Programm ermöglicht, eine Linie zu zeichnen und die

Länge einzelner Abschnitte bzw. die Gesamtlänge der Linie zu messen. Als Illustration steht Abbildung 56 hier.

Bei der Abmessung der befahrenen Wege wurden die unterschiedlichen Tätigkeiten differenziert. So wurden die unterschiedlichen Fahrten wie folgt eingeteilt:

Transportweg außerhalb des Sammelgebiets: Es gibt zwei Punkte, wo das Fahrzeug das Sammelgebiet betrat. Die zwei Punkte wurden als Grenzpunkte gekennzeichnet. Alle Transporttätigkeiten, die außerhalb dieser Grenze stattfanden, wurden in diese Kategorie eingeordnet. Dazu zählen die Fahrten sowohl zwischen dem Betriebsgelände und dem Sammelgebiet als auch zwischen dem Sammelgebiet und der Umladestation, sowie zwischen der Umladestation und dem Betriebsgelände.

Transportweg innerhalb des Sammelgebiets: In diese Kategorie gehören die Fahrten zwischen der Gebietsgrenze und dem ersten bzw. letzten zu entleerenden Behältern, und die auf der Karte eindeutig erkennbare Umfahrten. Wie im Abschnitt 5.2.3. beschrieben, ist die Kategorisierung der Fahrtkategorien in der Literatur nicht einstimmig. Nach der in dieser Arbeit verwendeten Kategorisierung gehören die Wege zwischen den Gebietsgrenzen und den ersten bzw. letzten Behältern zur Umfahrt bei der klassischen Gruppierung.

Sammelweg: Hierzu gehören die tatsächlichen Sammelfahrten (Netto-Sammelfahrt genannt), die Zwischenfahrten und die auf der Karte nicht eindeutig erkennbare Umfahrten. Leider ist es mit der verwendeten Messtechnik nicht gelungen, die drei Kategorien voneinander zu unterscheiden und damit konkrete Werte ermitteln zu können.

Analog der oben beschriebenen Kategorisierung wurden auch die Zeitabschnitte wie folgt unterschieden:

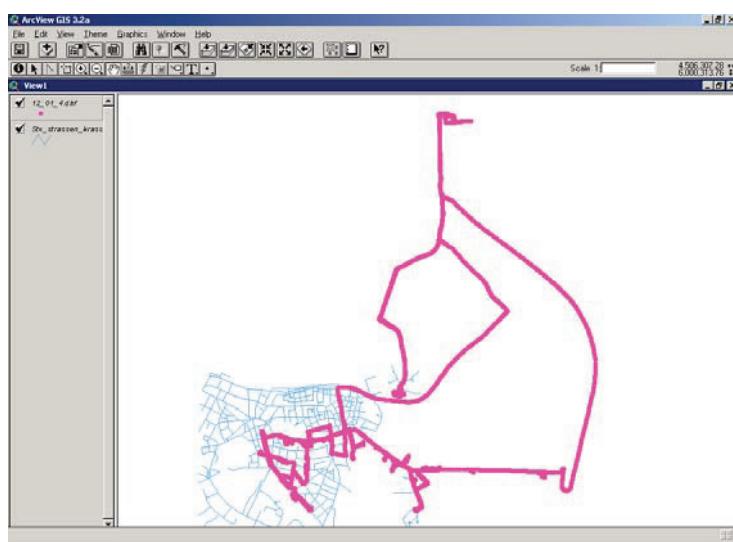
Sammelzeit: Für die Sammlung und kürzere Zwischenfahrten erforderliche Zeit.

Transportzeit innerhalb des Sammelgebiets: Für den Transport auf dem Sammelgebiet sowie für die Umfahrt benötigte Zeit.

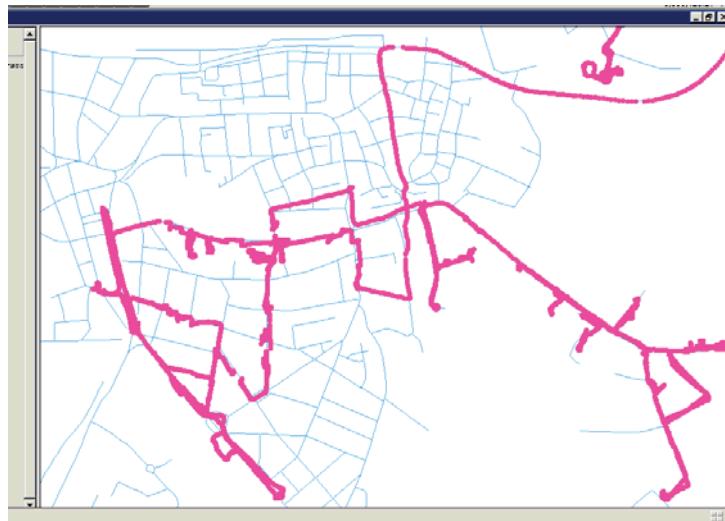
Transportzeit außerhalb des Sammelgebiets: Die für den Transport außerhalb des Sammelgebiets benötigte Zeit.

Deponieaufenthalt: Zeit des Aufenthalts auf der Umladestation.

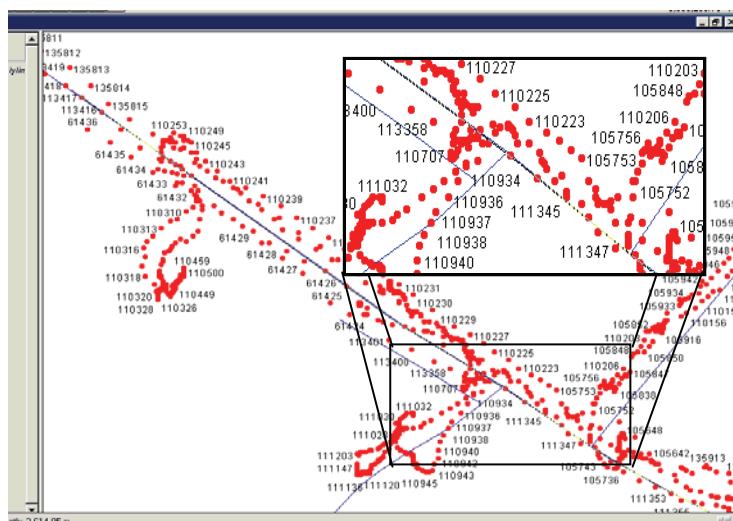
Pause



a) Korrigierte Aufzeichnung einer Sammeltour



b) Vergrößerung der obigen Aufzeichnung auf dem Sammelrevier



c) Vermessung der Länge des Sammelweges

Abbildung 56: Darstellung der gewonnenen Positions- und Zeitdaten in korrigierter Form

Mit den oben genannten Distanz- und Zeitdaten sowie mit den aus dem Tourenplan und von den Wiescheinen erhaltenen Informationen kann eine Tabelle hergestellt werden, die man in wöchentliche, 4-wöchentliche (Entsorgungsperiode) oder monatliche Zeiträume zusammenstellen, miteinander vergleichen und analysieren kann. In der Tabelle sind blockweise die Daten der zu entleerenden Abfallbehältern, der entsorgten Abfallmenge, der Fahrzeugauslastung, der befahrenen Wege, der benötigten Zeit, der Anzahl der Umladungen pro Tag, des Ladepersonals und einige berechnete Werte dargestellt (Abbildung 57). Die Tabellen mit den ausgewerteten Kennzahlen befinden sich in Anhang VII.

	Tag 1	Tag 2	Tag 3	Tag 4	Tag 5	Summa	Durchschnitt
MGB 80							
MGB 120							
MGB 240							
MGB 1100							
ΣBL (B)							
G 1 (Mg)							
G 2 (Mg)							
ΣG (Mg)							
Auslastung 1 (%)							
Auslastung 2 (%)							
Auslastung \varnothing (%)							
W_s (km)							
W_{TI} (km)							
W_{TA} (km)							
ΣW (km)							
t_s (min)							
t_{TI} (min)							
t_{TA} (min)							
t_u (min)							
t_p (min)							
Σt (min)							
Z_{UL}							
Z_{LP}							
KSV (l/km)							
a_{tSI}							
$SL_F = \Sigma BL / t_s$ (B/h)							
$SL_F = \Sigma G / t_s$ (Mg/h)							
$SL_F = \Sigma BL / W_s$ (B/km)							
$SL_F = \Sigma G / W_s$ (Mg/km)							
$SL_p = \Sigma BL / Z_{LP}$ (B/L)							
$SL_p = \Sigma G / Z_{LP}$ (t/L)							
$v_s = W_s / t_s$ (km/h)							
$v_{TI} = W_{TI} / t_{TI}$ (km/h)							
$v_{TA} = W_{TA} / t_{TA}$ (km/h)							

Abbildung 57: Mustertabelle zur Kennzahlenauswertung

In der Tabelle verwendete Abkürzungen:

BL - [B] - Anzahl der Behälterleerungen	t_S	- [min]	- Sammelzeit
G1 - [Mg] - Gewicht des Entsorgten Restabfalls bei der ersten Tour	t_{TI}	- [min]	- Transportzeit auf dem Sammelgebiet
G2 - [Mg] - Gewicht des Entsorgten Restabfalls bei der zweiten Tour	t_{TA}	- [min]	- Transportzeit außer dem Sammelgebiet
G3 - [Mg] - Gewicht des Entsorgten Restabfalls bei der dritten Tour	t_U	- [min]	- Aufenthalt auf der Umschlagstation
ΣG - [Mg] - Gesamtgewicht des am Tag entsorgten Restabfalls	t_P	- [min]	- Pause
Σt - [min]		- [min]	- Gesamtzeit
a_{ISI} - [-]		-	Vergleich Soll-Ist-Arbeitszeit
Z_{LP} - [L]		-	Anzahl des Ladepersonals
Z_{UL} - [UL]		-	Zahl der Umladungen
W_S - [km] - Sammelstrecke	KSV	- [l/km]	Kraftstoffverbrauch
W_{TA} - [km] - Transportweg außer der Stadt	v_S	- [l/km]	Sammelgeschwindigkeit
W_{TI} - [km] - Transportweg in der Stadt (entspricht Zwischenfahrtweg und Umfahrtsweg)	v_{TI}	- [l/km]	Transportgeschwindigkeit in der Stadt
ΣW - [km] - Gesamtweg	v_{TA}	- [l/km]	Transportgeschwindigkeit außer der Stadt

Außer der tabellarischen Auswertung ist es sinnvoll, die Ergebnisse in Diagrammen darzustellen, damit der Vergleich durch Visualisierung einfacher und anschaulicher wird. Die Darstellungen der täglichen Ergebnisse sind in den Anhängen VIII bis XV zu finden. Die wöchentlichen Ergebnisse sind im Anhang XVI zusammengestellt. Diese werden im Abschnitt 7.3.6 ausgewertet. Wie im Kapitel 7.3.3 dargestellt, sind in den Abbildungen die Ergebnisse der Untersuchungsperioden durch gestrichelte Linien bzw. senkrechte Linien gekennzeichnet, um deren Vergleich wegen unterschiedlichen Voraussetzungen (Personaleinsatz) zu vermeiden.

7.3.6 Ergebnisse der Untersuchung

Die Erfassung und die Auswertung der Kennzahlen erfolgten täglich. Die graphischen Darstellungen können in einem endlosen Diagramm mit den täglichen, den wöchentlichen, monatlichen oder jährlichen Werten dargestellt werden. Die Angaben über die Anzahl und das prozentuale Verhältnis der Größen der entleerten Abfallsammelbehälter sind im Anhang VIII, die eingesammelte Restabfallmenge im Anhang IX und die Auslastung des Sammelfahrzeugs im Anhang X graphisch dargestellt. Diese drei Kennzahlen wurden über einen längeren Zeitraum, detaillierter als bei der Untersuchung, im Abschnitt 7.2 dargestellt. Die während der Untersuchung gewonnenen Daten werden aufgrund der Vollständigkeit hier in den Ergebnistabellen noch einmal gezeigt, aber nur die früher nicht ausgewerteten Ergebnisse dargestellt. Die täglich ermittelbaren Kennzahlenwerte sind in den Anhängen VIII bis XV, die wöchentlich ermittelbaren im Anhang XVI zusammengestellt. Nach dem gleichen Schema ist es möglich, die Werte für Monate oder Jahre zu ermitteln.

Die Werte aus den Tabellen werden zuerst thematisch dargestellt. Die Restabfallsammelbehälter werden sowohl mit konkreten Zahlen als auch prozentual abgebildet. Im ersten Fall ist es möglich, den

Schwankungen anhand der Gesamtzahl zu folgen. Bei der eingesammelten Restabfallmenge und der Auslastung des Sammelfahrzeugs ist der prozentuale Anteil zwischen den am Tag gelaufenen Touren zwar möglich, aber irrelevant. Auf die erneute Interpretation der drei oben beschriebenen Kenngrößen wird auf dieser Stelle verzichtet.

a) *Länge der befahrenen Wege*

Die Längen der befahrenen Wege, unterschieden nach Art, werden im Anhang XI mit konkreten Größen dargestellt, um die täglichen Schwankungen zu sehen. Die Werte aus dem Jahr 2003 sind mit gestrichelten Linien dargestellt, um einen möglichen Unterschied zu sehen. Täglich werden insgesamt zwischen ca. 28 und 70 km gefahren. Die im Kapitel 7.3.3 beschriebene Veränderung des Arbeitsablaufs ist in der Abbildung XI-5 sichtbar, da die Linien aus dem Jahr 2003 einen längeren Weg aufweisen, der der zweiten Fahrt zur Deponie entspricht.

Die höheren W_S -Werte (Sammelweg) können dadurch entstehen, dass mehr kleinere Sammelbehälter entleert wurden und deshalb auch mehr gefahren wurde. Es kann aber ebenfalls die Folge von längerer Zwischenfahrt sein, was wiederum daran liegt, dass in einer Straße nur wenige Behälter entleert wurden.

Die höheren W_{TI} -Werte (Transport innerhalb des Sammelgebietes) bedeuten längere Umfahrt, die auf ein nicht geschlossenes Tagesrevier deutet. Theoretisch könnte ein Grund für die höheren W_{TI} -Werte auch die Lage des Gebietes innerhalb der Stadt sein, d.h. dass der Weg zwischen der festgelegten Gebietsgrenze und den ersten bzw. letzten entleerten Sammelbehältern automatisch länger ist. Die Erfahrung zeigt allerdings, dass diese Distanz relativ konstant ist.

Bei den W_{TA} -Werten (Transport außerhalb des Sammelgebietes) besteht der Unterschied darin, dass an manchen Tagen nicht im Schichtsystem zur Umschlagstation gefahren wurde (siehe Abschnitt 7.3.3), sondern an manchen Tagen einmal und an manchen zweimal. Außerdem gab es mehrere Möglichkeiten zur Umladestation zu fahren, und manchmal war es aus sammeltechnischen Gründen günstiger, den längeren Weg zu wählen. Die prozentuale Darstellung zeigt, dass für die tatsächliche Arbeit, d.h. für die Sammlung, etwa 35 bis 70 % der befahrenen Wege gebraucht wurden.

Die Längen der befahrenen Sammelwege und der Transportwege innerhalb sowie außerhalb des Entsorgungsgebietes an den Wochentagen sind im Anhang VIII graphisch dargestellt. Dass die Längen des Sammelweges an den einzelnen Wochentagen relativ ähnlich sind, entspricht den Erwartungen, denn die Anzahl und die Lage der zu entleerenden Sammelbehälter sind relativ konstant. Die Länge des Transportwegs innerhalb des Sammelgebietes zeigt auch eine Tendenz, wobei die Streuung der Werte mittwochs die größte ist. Die befahrenen Wege in dieser Klasse, ähnlich wie in vorheriger, ändern sich kaum. Die Schwankungen in dieser Kategorie können vor allem verkehrsbedingt sein, z.B. aufgrund von Straßenbauarbeiten in der Stadt oder sonstiger Umleitungen. Außerhalb des Entsor-

gungsgebiets wird aber unterschiedlich viel gefahren. Die zwei obersten Linien im Diagramm beschreiben die Zeit, als noch zweimal am Tag zur Umladestation gefahren wurde, sie sind also mit den anderen nicht direkt vergleichbar. Sie wiederum zeigen eine Tendenz, an der an den gleichen Wochentagen eine Schwankung von etwa 10 km zu beobachten ist. Dies ist vor allem mit dem bereits oben beschriebenen Grund zu erklären, d.h. dass drei unterschiedliche Wege befahren werden, um für die Abfallsammlung den günstigsten „Grenzpunkt“ zu passieren.

In Abbildung 58 sind die Gesamtlängen an den einzelnen Wochentagen dargestellt, die gestrichelten Linien sind aus dem Jahr 2003, die kontinuierlichen Linien aus dem Jahr 2004. Wegen des Ausfalls des zweiten Transports zur Deponie im Jahr 2004 sind die Werte entsprechend niedriger. Im Jahr 2004 sind die Werte nicht konstant. Dies liegt vor allem an der Schwankung des Transports außerhalb des Entsorgungsgebiets. Hier ist anzumerken, dass aufgrund der 4-wöchentlichen Periode der Entsorgungsplanung diese Untersuchung mit 2+12 Wochen als kurzzeitig gilt und daher die Trendlinien mit Vorsicht zu betrachten sind.

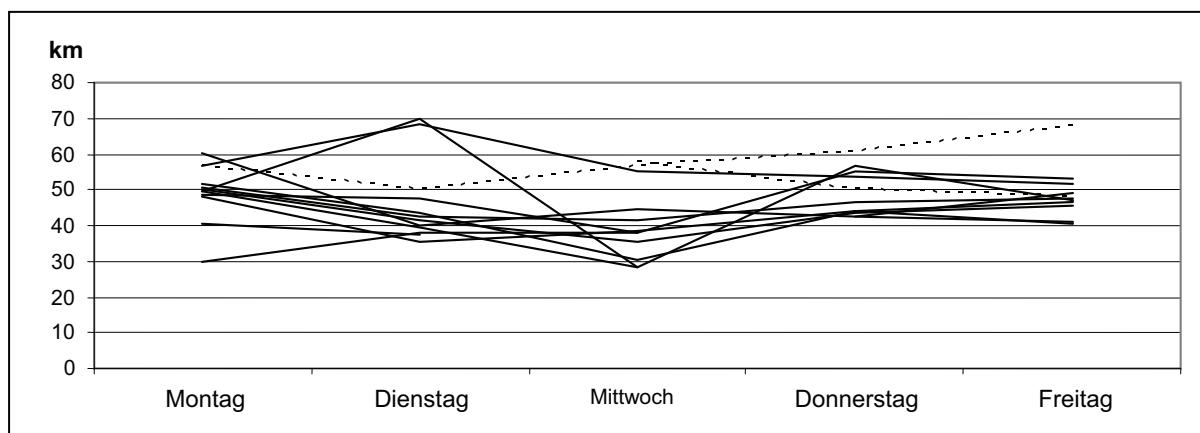


Abbildung 58: Länge der befahrenen Wege an den Wochentagen

In Abbildung 59 sind die täglichen Durchschnittswerte der befahrenen Wege in den untersuchten Wochen nach Kategorien aufgezeichnet. Die senkrechte Linie zeigt die Grenze zwischen den Jahren. In dieser Abbildung ist ebenso eine Ungleichmäßigkeit zu erkennen. In den Daten aus dem Jahr 2004 fehlt die erwartete 4-wöchentliche Periodizität.

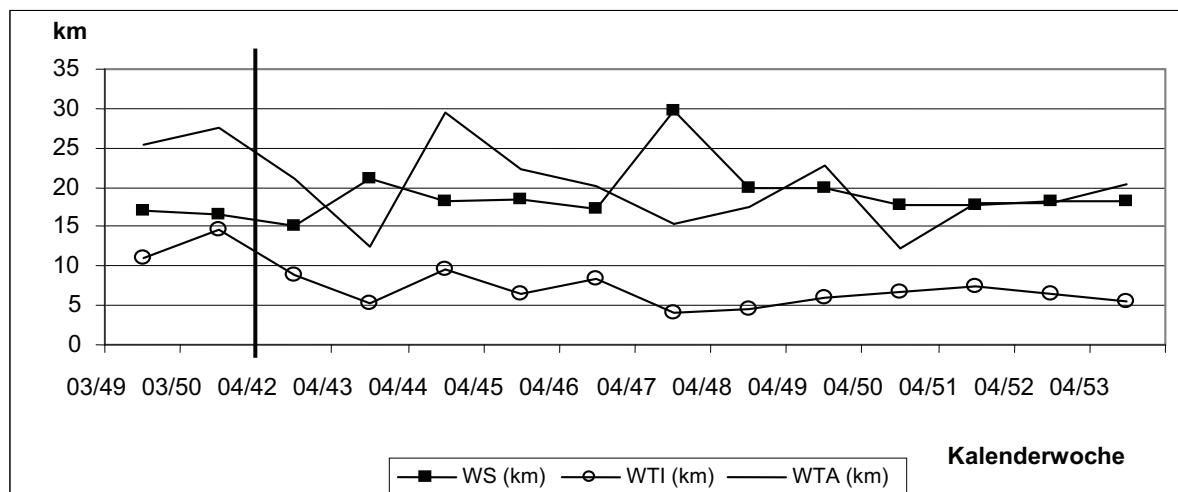


Abbildung 59: Durchschnittswerte der täglich befahrenen Wege

b) Zeitabschnitte

Die Zeitabschnitte sind im Anhang XII, ähnlich wie bei den befahrenen Wegen, als Absolutenwert und prozentual dargestellt. Die senkrechten Linien bei den ersten zwei Diagrammen zeigen wieder die Grenze zwischen den Messperioden. In den drei weiteren Grafiken sind die Daten aus dem Jahr 2003 mit gestrichelter Linie dargestellt. Die Werte in den ersten Diagrammen zeigen, dass etwa 60 bis 80 % der gesamten Arbeitszeit für die Sammlung verwendet wurde; das entspricht einem Unterschied von anderthalb Stunden. Die einzelnen Zeitkategorien sind in eigenen Diagrammen zusammengefasst und auf die Wochentage bezogen dargestellt (Abbildung XII-3 bis XII-7). Es ist der Trend zu erkennen, dass es für die Abfallsammlung montags und mittwochs mehr, freitags weniger Zeit gebraucht wurde als dienstags und donnerstags. Dagegen, entsprechend der befahrenen Wege, ist es recht unterschiedlich, wie viel Zeit für den Transport innerhalb bzw. außerhalb des Entsorgungsgebiets gebraucht wurde. Für den niedrigeren Zeitbedarf für den Transport außerhalb des Entsorgungsgebietes kann die Erklärung die Planung sein, d.h. dass mittwochs nur eine Tour durchgeführt wurde. Also fuhr das Sammelfahrzeug nicht bzw. nur einmal am Tag (2003) zur Umladestation. Das ist auch der Grund, warum auf der Umschlagstation mittwochs keine Zeit gebraucht wurde (Abbildung XII-6). Im selben Diagramm ist auch zu erkennen, dass an manchen Tagen nur 8, an anderen dagegen bis zu 25 Minuten gebraucht wurde. Die Länge der Pause ist mit 30 Minuten vorgegeben, dementsprechend sind die Werte relativ konstant.

In der Abbildung 60 wird die Länge der Arbeitstage inklusive der einzelnen Arbeitsvorgänge von 2004 dargestellt. Obwohl in dem Jahr das Arbeitszeitmodell „5 x 7“ eingeführt wurde, liegen die Werte deutlich über 420 Minuten pro Tag. Das heißt regelmäßige Überstunden für das Sammelpersonal.

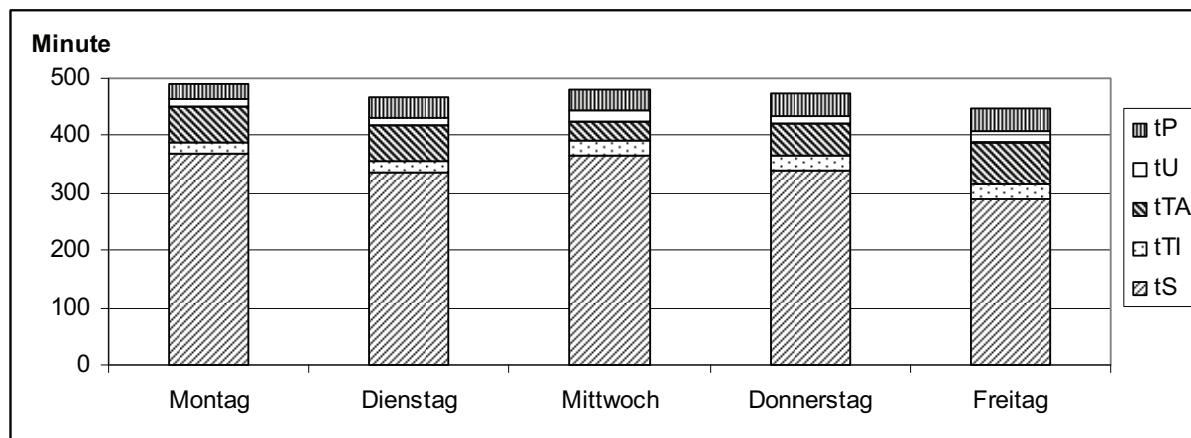


Abbildung 60: Durchschnittliche Länge der Arbeitsvorgänge an den Wochentagen, 2004

Das Optimierungspotenzial liegt, entsprechend der Tatsache, dass Abfallsammlung das Briefträgerproblem (kantenorientiertes Problem) als logistisches Problem darstellt (wobei die Tourenplanung manchmal als knotenorientiertes oder gemischtes Problem behandelt wird – vgl. [Otten 98]), in der Minimierung der Länge der unproduktiven Strecken [Dom 90]. Dies bedeutet konkret, einerseits eine Senkung der Zwischenfahrt bei der Sammelstrecke durch höhere Dichte der zu entleerenden Sammelbehälter durchzuführen, und andererseits Kürzung der Umfahrt durch Anstrengung geschlossener Routen zu planen.

c) Leistung

Die Leistung der Sammelerarbeit wird sowohl anhand der Sammelzeit als auch anhand des Ladepersonals betrachtet. Um die eventuellen Zusammenhänge zwischen Behälteranzahl und Gewicht des entsorgten Abfalls zu erkennen und eine unabhängige Sicht der Bezüge zu ermöglichen, sind die zwei Graphen jeweils in zweiachsigen Diagrammen mit den täglich erfassten Ergebnissen dargestellt. Die Diagramme sind im Anhang XIII als erstes und zweites zu sehen. Es fällt auf den ersten Blick auf, dass ein direkter Zusammenhang zwischen der Anzahl der entsorgten Sammelbehälter und dem Gewicht des entsorgten Restabfalls nur bedingt besteht. Es hängt mit den unterschiedlichen Auslastungen der Sammelbehälter und dem unterschiedlichen Raumgewicht des Restabfalls zusammen. Die wöchentliche Regelmäßigkeit der Anzahl der Sammelbehälter entspricht wieder der bei der Tourenplanung existierenden Periodizität. Eine mehr oder weniger erkennbare Periodizität hat auch das Gewicht des entsorgten Restabfalls, jedoch sind die Maxima und die Minima der beiden Eigenschaften nicht an den gleichen Tagen festzustellen. Es lässt sich einerseits damit erklären, dass das Verhältnis der Behältergrößen nicht berücksichtigt wird und an einem Tag mit mehr MGB 1100 und weniger MBG 240 bei der gleichen Anzahl an Sammelbehälter mehr Gewicht anfällt als im umgekehrten Fall. Die alte Sammelfahrzeugbesatzung – mit unkontinuierlicher Linie gezeichnet – lässt sich in den Diagrammen gut erkennen.

Die durchschnittliche Sammelleistung an den Wochentagen wird im selben Anhang dargestellt. Sie wird sowohl auf das Sammelfahrzeug als auch auf das Ladepersonal, jeweils in zwei Formen, d.h. nach Anzahl der entsorgten Sammelbehälter und nach Gewicht des entsorgten Restabfalls, betrachtet. Anhand der Diagramme ist der Trend zu erkennen, dass die Leistungen mittwochs etwas niedriger sind als an den anderen Wochentagen. Eine konstante Leistung wäre mit einer Umplanung der Touren möglich. Die Sammelleistung des Sammelpersonals hat sich nach der Einführung des 1+1 Personaleinsatzes, wie erwartet, verdoppelt (der neue Personaleinsatz wird mit kontinuierlichen Linien dargestellt).

d) Behälter- und Abfalldichte

In der Kennzahlentabelle (siehe Abbildung 57) wurde auch die Behälter- und Abfalldichte erfasst. Es wäre möglich, allerdings weniger interessant, ihre Dichte bezogen auf den ganzen befahrenen Weg zu interpretieren. Diese Kennzahlen können täglich erfasst werden, jedoch ist der Wert nicht bei der operativen sondern bei der taktischen Planung wichtig. Im Anhang XIV sind die täglich erfassten Werte im Verlauf der Untersuchungszeit sowie die Durchschnittswerte an den einzelnen Wochentagen zu sehen. Wie in den anderen Grafiken, sind hier die Daten aus den unterschiedlichen Jahren durch unterschiedliche Darstellung (gestrichelte und kontinuierliche Linien) leicht zu unterscheiden. Aus der Parallelität der Graphen wird ersichtlich, dass es einen Zusammenhang zwischen der Anzahl der Sammelbehälter und dem Gewicht des Restabfalls gibt. Die Zahlen an den einzelnen Wochentagen deuten auf die Planung und nicht auf die Leistungen hin. Die niedrigere Behälter- und Abfalldichte mittwochs könnte auf ein lockeres Entsorgungsgebiet mit mehr Einfamilienhäusern deuten und deswegen auf längere Zwischen- und Umfahrten hinweisen. Aber in diesem Fall ist dies nicht der Grund, denn die befahrenen Wege sind ebenfalls kürzer als an den anderen Wochentagen. Es ist einfach – gewollt oder ungewollt – ein leichter Arbeitstag Mitte der Woche.

e) Fahrgeschwindigkeit

Die Geschwindigkeit des Sammelfahrzeugs während der Sammlung, des Transports innerhalb und außerhalb des Entsorgungsgebietes, wurde ebenfalls berechnet und in der Kennzahlentabelle aufgelistet. Ähnlich wie im vorherigen Absatz ist diese Kenngröße nicht bei der operativen sondern bei der taktischen Planung wichtig. Um eine große Anzahl der Geschwindigkeitswerte zu bekommen, werden sie täglich erfasst und von Zeit zu Zeit insgesamt betrachtet. Die Auswertung der in der Untersuchungszeit erhobenen Daten hat ergeben, dass die Geschwindigkeit während der Sammlung in Höhe von 3,24 km/h relativ konstant war, sie schwankte aber beim Transport. Innerhalb des Entsorgungsgebietes variierte die Geschwindigkeit zwischen 10 und 22 km/h mit einem Durchschnitt von 16 km/h, außerhalb des Entsorgungsgebietes konnten Werte zwischen 15 und 27 km/h mit einem Durchschnitt von 22 km/h festgestellt werden. Die graphische Darstellung der Daten ist im Anhang XV zu sehen

(gestrichelte Linien aus 2003, kontinuierlichen aus 2004). Abbildung 61 zeigt die zusammengestellten Durchschnittswerte aus 2004.

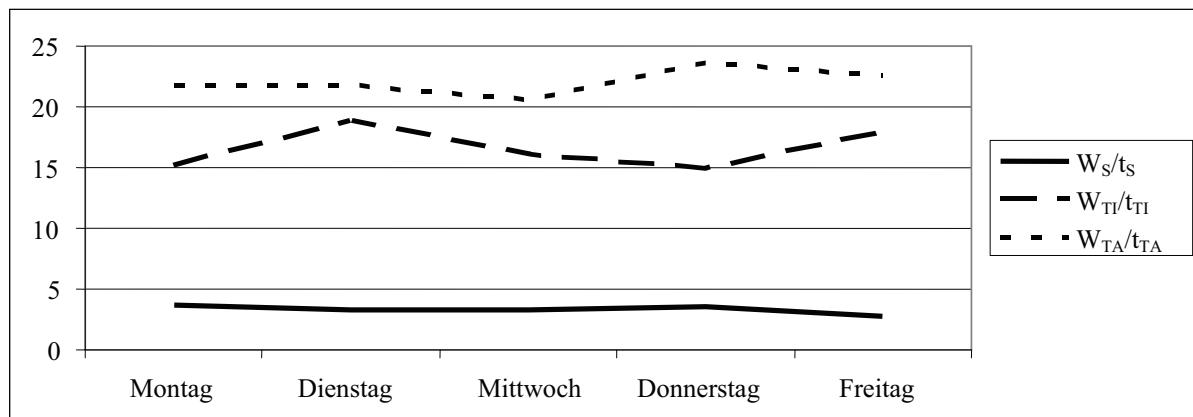


Abbildung 61: Durchschnittliche Fahrgeschwindigkeiten an den Wochentagen, 2004

Mit Hilfe der ermittelten Fahrgeschwindigkeitswerte ist es möglich, die Fahrtarten anhand der Fahrgeschwindigkeit und ohne Verwendung GPS- und GIS-Technik zukünftig einzuordnen und damit die unterschiedenen Fahrtkategorien auszuwerten. Die Methode dient allerdings nur annähernden Informationen, denn die verwendeten Werte und Durchschnittswerte sowie die Geschwindigkeitsbereiche - wie im Anhang zu sehen ist – überlappen sich teilweise.

f) Wöchentlich ermittelte Kennzahlen

Die wöchentlich ermittelbaren Kennzahlen, wie die Anzahl der entleerten Sammelbehälter, die eingesammelte Restabfallmenge, die Auslastung des Sammelfahrzeugs, die Länge der befahrenen Wege und die Arbeitszeit sind im Anhang XVI zusammengestellt. Wo es sinnvoll ist, sind diese in Dreiecks-Diagrammen dargestellt. In diesen werden sowohl die wöchentlichen Gesamtwerte als auch die täglichen Durchschnittswerte der Vorgänge gezeigt. Die nicht-identischen Graphen im Diagramm bedeuten, dass die Daten nicht vollständig sind, was letztlich eine Auswirkung auf die Auswertungsresultate hat. Die wöchentliche Ermittlung der Kennzahlen hilft bei der operativen und taktischen Planung. Es besteht die Möglichkeit, weitere Kennzahlen wöchentlich auszuwerten, die im Kennzahlensystem eingebaut werden können.

Auf die gleiche Art wie die wöchentliche Ermittlung der Kennzahlen können auch Monats- oder Quartal- oder Jahreskennzahlen ermittelt, dargestellt und ausgewertet werden.

7.3.7 Bemerkungen zu dem Versuchsprogramm

Das größte Problem während der Untersuchung war die Ungenauigkeit der Messwerte, die sehr viel Nacharbeit erfordert hat. Die manuelle Vermessung der Distanzen hat viel Zeit in Anspruch genommen.

men, auch nach dem der Vorgang eingeübt war. Diese Methode ist damit für die alltägliche Praxis nicht geeignet.

Wie in der Abbildung 55 erkennbar, ist die Anordnung der Koordinaten außerhalb der Stadt und auf wenig bebauten und breiten Straßen sehr gut nachzuvollziehen. Problematisch ist es in der Innenstadt, gerade bei der Sammlung. Eine zweite Methode für die nichtmanuelle und damit schnellere Abmessung der Länge der befahrenen Straßen ist, den Weg anhand der aufgezeichneten Koordinaten mit Hilfe eines einfachen Programms vom Punkt zu Punkt ausrechnen zu lassen. Hier besteht ebenso die Gefahr der Ungenauigkeit, da die Koordinaten zu große Abweichungen von den tatsächlichen Aufenthaltspunkten haben. Eine dritte Methode ist die Messung der Straßenlänge anhand eines Straßenpolygons auf der Karte mit Hilfe von Software. Die Ungenauigkeit dieser Methode besteht darin, dass aufgrund der Abweichungen der aufgenommenen Punkte es fast unmöglich ist, den Weg zu den Straßenzügen genau zuzuordnen. Im Groben kann eine ungefähre Länge ermittelt werden, allerdings ist es nicht möglich, kleinere Einfahrten (z.B. in einen Hof) zu messen. Die vierte Methode ist die Anwendung des traditionellen Tachometers im Fahrzeug. Vom Fahrer wird der Kilometerstand jeden Tag abgelesen. Die gemessenen und die berechneten Werte können allerdings nicht mit einander verglichen werden, wenn – wie es zurzeit erfolgt – die Werte des Tachometers auf 10 km aufgerundet und registriert werden.

Trotz der oben genannten Ungenauigkeit der verwendeten Methode sind die Daten miteinander vergleichbar, weil man davon ausgehen kann, dass die Abweichungen bei den einzelnen Tagen verhältnismäßig ähnlich sind.

Ein anderer Schwachpunkt der Vermessungen ist die nicht eindeutige Trennbarkeit der Lade- und Zwischenfahrzeiten bzw. Zwischen- und Umfahrwege. Aus diesem Grund sind die ermittelten Daten keine präzisen Kenngrößen, jedoch ist es möglich, mit ihrer Hilfe die einzelnen Touren miteinander zu vergleichen. Wenn z.B. der Wert $\Sigma BL / W_S$ beträgt, bedeutet dies eine relativ kurze Zwischenfahrt während der Sammlung, was wiederum darauf hinweist, dass das Sammelgebiet ein geschlossenes Gebiet ist. Ein solches Gebiet ist ein anzustrebendes Ziel bei der Festlegung der Sammelgebiete sowie bei der Festlegung der Routen.

Da die Untersuchung aus organisatorischen Gründen nicht länger als 2 + 12 Wochen lang andauerte, und somit keine langzeitige Ergebnisse liefern konnte, sind die Fazite dementsprechend zu interpretieren. Die 4-wöchentliche Periode, die in der Tourenplanung vorkommt, ist in einigen Fällen mehr, in anderen weniger zu erkennen. Mit längerer Untersuchungszeit könnte man nicht nur einen besseren Einblick in die Arbeit gewinnen, sondern auch Kennzahlen ermitteln, die bei der Planung sicherer verwendbar sind.

Mit Hilfe eines leistungsfähigen Computers ist es möglich, eine digitalisierte Karte mit allen der Orientierung dienenden Informationen herzustellen. Ein Beispiel hierfür ist in Abbildung 62 zu sehen. Die Straßen sind durch Polygone dargestellt und mit Namen kenntlich gemacht, die Liegenschaften sind mit Eingang und Hausnummer gekennzeichnet. Die Adresse, von denen der Abfall am Tag entsorgt werden muss, sind markiert (hier leere Kreise unter den Hausnummern). Es ist möglich, statt der Eingänge die Stelle der Abfallsammelbehälter anzuzeigen. Die Aufzeichnung des Weges des Sammelfahrzeugs ist, als neue Ebene, ebenfalls sichtbar.

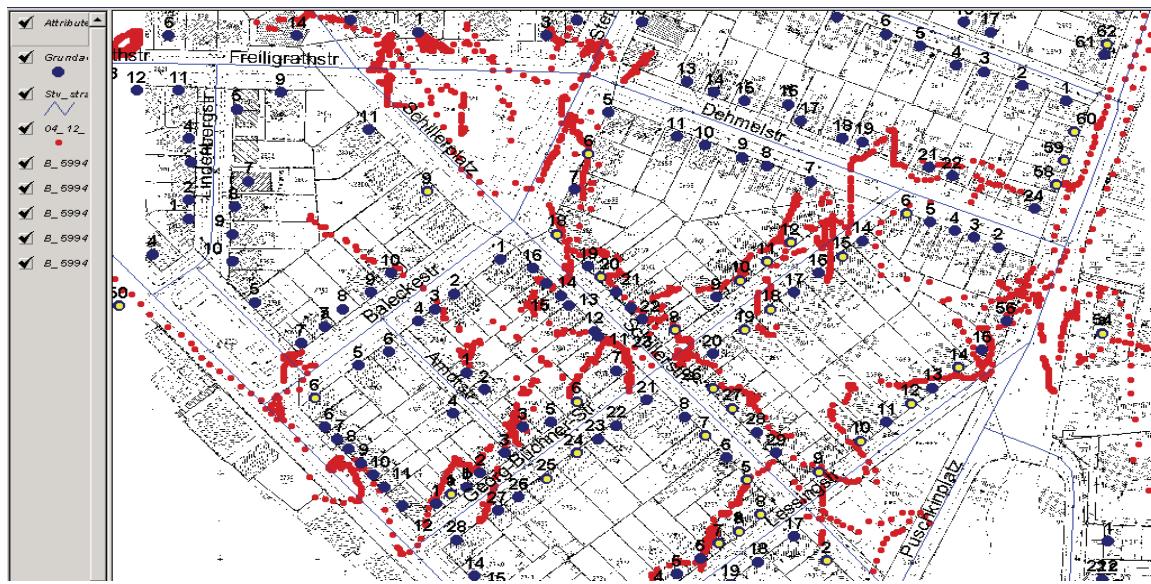


Abbildung 62: Detaillierte Darstellung des Entsorgungsgebietes mit Hilfe von GIS

8 Folgerungen für die Praxis

8.1 Auswirkung der Kennzahlen auf die Wirtschaftlichkeit

In diesem Abschnitt werden die im Abschnitt 5.2 beschriebenen Kennzahlen danach kategorisiert, inwieweit sie beeinflussbar sind. Im Einzelnen wird die Auswirkung der Kennzahlen auf die Wirtschaftlichkeit eines Unternehmens gezeigt. Diese Eigenschaft ist wichtig bei der Planung und Festlegung der Zielsetzung. In den Tabellen sind unter den Kennzahlen die Fälle, auf denen sich die ausgewiesenen Wirkungen beziehen. Wegen des großen Umfangs der Tabellen sind die im Anhang XVII zusammengestellt. In Abbildung XVII-1 sind die Kennzahlen dargestellt, deren Werte durch Planung veränderbar sind. Zum größten Teil sind es Kennzahlen, die die Leistung beschreiben. Es ist somit wichtig, die Leistungsdaten täglich zu erfassen und zu optimieren.

In Abbildung XVII-2 stehen die mit Planung indirekt mehr oder weniger beeinflussbaren Kennzahlen. Sie beschreiben teilweise die Sammelleistung und sind teilweise Informationen, die bei der Planung verwendet werden. Deswegen ist es wichtig, sie regelmäßig, teilweise täglich zu untersuchen.

In Abbildung XVII-3 sind die mit Planung nicht beeinflussbaren Kennzahlen veranschaulicht. Dies sind Planungsdaten, die regelmäßig, aber nicht täglich untersucht werden müssen, um die Veränderungen bei der Planung einbeziehen zu können.

Aus den 64 Kennzahlen sind hier 5 beispielhaft ausgewählt und die Ursache-Wirkung auf die Wirtschaftlichkeit beschrieben.

Größe des Entsorgungsreviers

Die optimale Abgrenzung des Entsorgungsreviers ist sehr wichtig bei den Arbeit- und Kostenoptimierungen. Leider wird die Größe des Reviers wegen des großen Aufwands sehr selten auf Wirtschaftlichkeit überprüft und ggf. geändert. Dabei spielt dieser Faktor bei den Personalkosten, bei den Treibstoffkosten, bei den Betriebskosten des Sammelfahrzeuges und im Extremfall bei der Kapitalbindung in Form von zusätzlichem Fahrzeug eine wichtige Rolle. Personalkosten erhöhen sich durch Überstunden bei zu großem Gebiet oder durch nicht ausgenutzte Arbeitzeit. Treibstoffkosten können durch eine zweite oder dritte Sammeltour am Tag entstehen, bei denen die letzte Tour nicht mit vollem Sammelfahrzeug beendet werden kann. Nicht ausgelastete Sammelfahrzeugkapazitäten können schnell zu zusätzlichen Sammelfahrzeugbedarf führen. Dies verursacht die höhere Kapitalbindung.

Anzahl der Ladepunkte

Niedrige Anzahl der Ladepunkte bedeutet niedrige Anzahl von Anhalten und Abfahren während der Arbeit. Wie es in der Literatur zu sehen ist [UBA 93], verringert sich die spezifische Ladezeit bei hö-

herer Behälteranzahl pro Ladepunkt. Da die Zwischenfahrzeit auch direkt von der Anzahl der Ladepunkte abhängt, verringert sich die Zwischenfahrzeit bei höheren Entleerungen pro Haltepunkt [Bilitewski 04], [Gallenbeck 94]. Diese beiden Faktoren hängen natürlich auch voneinander ab. Die so gewonnen Zeit führt zu Ersparnis bei den Personalkosten wegen bessere Auslastung der Arbeitszeit. Die Treibstoffkosten bleiben auch nicht unverändert. Wegen weiteren Einflusse ist es jedoch nicht möglich genau sagen zu können, ob sie höher oder niedriger werden. Höher werden die auf dasselbe Fahrzeug projektiert, da das Fahrzeug mehr Leistung erreicht, das bedeutet durch längere Fahrt mehr Treibstoffverbrauch. Anderseits wird durch das Stop-and-go-Effekt mehr Treibstoff gebraucht als bei Fahren oder stehen. Die bessere zeitliche Auslastung der Sammelfahrzeuge kann auch in diesem Fall zu Kostensenkung der Fahrzeugflotte führen.

Auslastung der Sammelfahrzeuge

Die Auslastung der Sammelfahrzeuge ist das oberste Ziel bei der Zusammenstellung einer Sammeltour. Überlastete Fahrzeuge sind nicht im Straßenverkehr erlaubt. Unterlastete Fahrzeuge führen sehr schnell zu erhöhten Kosten sowohl bei den Personal- als auch bei den Treibstoffkosten. Die Personalkosten sind bei der letzten Tour des Tages mit halbvollem Sammelfahrzeug verhältnismäßig höher als bei den ersten, da auf wenigere Sammelleistung mehr Fahrzeit ankommt. Das gleiche gilt für die Treibstoffkosten. Auf Sammelleistung bezogen erhöht sich die Treibstoffkosten. Wenn auf mehreren Gebieten mit nicht ausgelastetem Fahrzeug zur Umschlaganlage bzw. Deponie gefahren wird, kann dazu führen, dass der Betrieb sein Kapital in mehr Sammelfahrzeugen binden muss.

Bereitstellungsgrad

Hohe Bereitstellungsgrad verkürzt die Zeit, die für die Abarbeitung eines Behälters nötig ist, denn die Zeit für die Vor- bzw. Nachbereitung entfällt. Dies bedeutet geringere Arbeitzeit für die Durchführung einer Sammeltour und/oder ermöglicht die Zusammenstellung einer längeren Sammeltour. Dies führt zu einer höheren Sammelleistung und dadurch zu niedrigeren Personalkosten. Durch effektivere Arbeit und Sammelfahrzeugnutzung kann im Extremfall an Fahrzeug gespart und damit die Kapitalbindung gesenkt werden. Diese Zeitersparnis kann durch Einführung von Service-Team, das die Bereit- und Zurückstellung der Sammelbehälter übernimmt, gefördert werden.

Entfernung der Umschlagstation

Die Fahrt zwischen Entsorgungsgebiet und Umschlagstation wird in den meisten Fällen mit voller Besetzung des Fahrzeuges durchgeführt. Dies bedeutet bei größerer Entfernung mehr Personalkosten für die Sammlung bzw. weniger Leistung für dieselben Kosten. Treibstoffkosten für die gesamte Sammelleistung werden durch längeren Fahrweg automatisch höher. Durch die verursachte kürzere Sammelzeit werden mehrere Sammelfahrzeuge gebraucht, die zu erhöhter Kapitalbindung des Unternehmens führt. Da die Entfernung der Umschlagstation nachträglich nicht beeinflussbar, ist es zu ü-

berlegen um die oben dargestellte Kosten zu reduzieren die Sammelmannschaft vom Sammelfahrzeug für die Zeit zu trennen, in der das Fahrzeug zur Entleerung fährt.

8.2 Vorgehensweise zur Ermittlung und Auswertung von Kennzahlen

Zu diesem Abschnitt wird im Anhang XVIII in tabellarischer Form zusammengestellt, mit welchen Hilfsmitteln und wie oft die Kennzahlen erfasst bzw. ermittelt und ausgewertet werden sollen, um sie in das Controlling einzuführen und bei der entsprechenden Planungsphase verwenden zu können (Abbildung XVIII-1). In der Tabelle sind folgende Abkürzungen der Hilfsmittel verwendet:

Nach erwünschter Häufigkeit sind die Kennzahlen in vier Kategorien eingeordnet. In die erste Kategorie gehören Planungsdaten, die sich nicht oder nur ganz selten bzw. bei Neuerungen ändern. Die Häufigkeit ihre Ermittlung ist deswegen schwer definierbar. Dennoch ist eine Überprüfung bzw. Festlegung 5 bis 10-jährlich empfohlen.

Die Größen einer Gruppe der Kennzahlen ändern sich öfter als die von der vorherigen Kategorie. Um die Tourenplanung an diese Änderungen anpassen zu können, sind diese Kenndaten jährlich zu kontrollieren bzw. zu ermitteln.

Es gibt Kennzahlen, deren Werte sich kontinuierlich ändern, aber nicht täglich erfasst werden müssen. Bei diesen wird empfohlen, sie mehrmals im Jahr – mindestens 4-mal jährlich – in Rahmen von Extra-Untersuchungen zu ermitteln. Ihre Auswertung erfolgt meistens gleich nach der Ermittlung. Eine Feststellung eventueller Regelmäßigkeiten, abhängig von den Jahreszeiten, ist möglich.

Beim größten Teil der Kennzahlen ist die tägliche Erfassung bzw. Ermittlung erwünscht. Teilweise sind es Leistungsdaten, die bei Rechnungsstellung wichtig sein könnten und müssen deswegen täglich ausgewertet werden. Teilweise sind es Leistungsdaten der Mitarbeiter oder andere wertvolle entsorgungsbezogene Informationen, die bei der Tourenplanung Hilfe leisten. Bei ihnen sollen zusätzliche oder nur monatliche bzw. jährliche Auswertungen stattfinden, um die globalen Veränderungen verfolgen zu können.

Auch wenn die folgenden Informationen nicht direkt zu den Kennzahlen gehören, wäre es notwendig, sie regelmäßig zu überprüfen.

- Abfallzusammensetzung
- Gebietsstruktur
- Erfassungssystem

8.3 Ansätze zur Optimierung der Entsorgungsprozesses des Unternehmens

Während der Zusammenarbeit mit der Stadtentsorgung Rostock GmbH war es möglich, eine Einsicht in ihre Arbeitsweise zu bekommen. Anhand der auf die gewonnenen Erkenntnisse bezogenen Erfahrungen während der Arbeit werden in diesem Abschnitt einige Ideen für eine Verbesserung vorgeschlagen und auf weitere Literatur bezüglich der Themen aufgewiesen.

Als ein auffälliges Problemfeld hat sich der **Informationsfluss** innerhalb des Betriebes ergeben. Es hat sich in der Form gezeigt, dass dieselben Daten aus verschiedenen Quellen unterschiedliche Werte hatten. Das deutet darauf hin, dass die Daten linear weitergegeben werden, und sich die Daten während der mehrmaligen Verarbeitung und Weitergabe verändern. Eine solche Veränderung der Werte wäre mit einer zentralen Datenbank vermeidbar, die für jede Stelle zugänglich ist, die die Daten benötigt. D.h. auch, dass die ermittelten Kennzahlen in diese Datenbank zurückgeführt werden müssen, damit sie bei einem nochmaligen Gebrauch, z.B. zur Entwicklung weiterer Kennzahlen, zur Verfügung stehen (vgl. [VKS 03a] spezialisierte vs. integrierte Systemstruktur).

Als nächstes sollten hier ein paar Worte über die **Untersuchungen** fallen, die zurzeit jährlich durchgeführt werden, um ortsspezifische Kenntnisse über **Abfallzusammensetzung**, **Füllstand** der Abfallbehälter und andere, gewichtsbezogene Relationen des Abfalls zu bekommen. Wie in der Literatur zu lesen ist, schwankt zwischen den Jahreszeiten nicht nur die produzierte Abfallmenge, sondern auch das Raum- und Schüttgewicht [Gellenbeck 94]. Um weitgehende Informationen über die Ist-Situation bzw. Veränderungen des Abfallaufkommens und das Verhalten der Abfallerzeuger (Effizienz der getrennten Sammlung anhand Fehlwürfe, Ausnutzung der Sammelbehälter) zu bekommen, ist es erwünscht, mengenbezogene Abfallanalysen möglichst öfter, mindestens 4 mal im Jahr (in den Jahreszeiten jeweils einmal) mit denselben Gesichtspunkten durchzuführen. Dafür sind folgende Punkte empfohlen:

- Raumgewicht des Abfalls,
- Füllgrad der Abfallbehälter,
- Bereitstellungsgrad und
- Fehlwurfquote.

Aus diesen Informationen können weitere hilfreiche Werte, wie z.B. Schüttgewicht des Abfalls oder spezifisch genutztes Behältervolumen, ermittelt werden. Diese Erkenntnisse können bei der Tourenplanung oder bei der Öffentlichkeitsarbeit (Beratung, Information der Bürger) genutzt werden.

Weitere Literaturhinweise zum Thema Schwankungen im Abfallaufkommen sind im Abschnitt 7.2.1 zu finden. Empfehlungen für einheitliche, vergleichbare Abfallanalysen und Leitfäden zur Durchführung solcher Untersuchungen sind in der Literatur zu finden ([Barghoorn 81], [Gallenkemper 98], [Glöck 99], [Jäger 94], [Jäger 95], [Ketelsen 93], [Mroß 01], [Pohlmann 94], [Salhofer 98]).

Um bei der Analyse der erfassten Werte der oben dargestellten Untersuchungen **statistisch korrekte Ergebnisse** zu erhalten, ist es notwendig, ein gewichtetes Mittel aus den Daten zu errechnen, statt, wie es bei den Untersuchungen innerhalb der 5 Jahre gemacht wurde, mit einem einfachen Mittel zu kalkulieren. Die durch einfaches Mittel berechneten Ergebnisse haben bis zum 23 %, durchschnittlich 6,8 % Fehler.

Es wird eine **Einführung der Fahrzeugauslastung** pro Tour in das Kennzahlensystem für das Controlling empfohlen, denn wie sich herausstellte (siehe Abschnitt 7.2.3), ist die Kapazitätsnutzung der Sammelfahrzeuge nicht immer optimal. Eine Übersicht könnte zu einer Tourenplanänderung oder vielleicht auch zu einer neuen Verteilung des Entsorgungsgebietes und damit zu einer besseren Nutzung der Arbeitkräfte und der Fahrzeuge führen.

Wie im Abschnitt 7.3.3 beschrieben, hat sich die **Arbeitszeit verkürzt**. Die Ergebnisse der Untersuchung zeigen jedoch, dass der Arbeitstag nach wie vor etwa 8 Stunden dauert (Abbildung 60). Dies führt regelmäßig zu Überstunden für das Ladepersonal. Die Entwicklung in der Entsorgungswirtschaft tendiert zur längeren Arbeitszeit pro Tag, z.B. durch Einführung flexibler Arbeitszeitmodelle (siehe weiter unten), um die Sammelfahrzeuge länger in Betrieb stellen zu können. Beide Feststellungen machen die Frage, ob der kürzere Arbeitstag mit ständiger Überstunde wirklich vorteilhaft ist, fragwürdig.

Die **Lademannschaft** sollte die **Größe** haben, dass der Fahrer in die Entleerung der Sammelbehälter nicht miteinbezogen werden muss (auch nicht bei MGB 1100).

Im Folgenden werden einige, in der Praxis positiv bewertete Sparpotenziale zur Organisation und Durchführung der entsorgungslogistischen Aufgaben beschrieben.

Die in der Literatur an der ersten Stelle stehende Sparmöglichkeit bei der Entsorgungslogistik ist das **Strecken der Abfuhrintervalle** [Baranec 02]. Wie in Abbildung 31 zu sehen ist, werden die Sammelbehälter meistens in einem wöchentlichen, gefolgt von einem 2-wöchentlichen Intervall entsorgt. Mehrmals in der Woche werden überwiegend die MGB 1100 Behälter entleert. Eine Abschaffung des „2-mal-in-der-Woche“ Rhythmus bei den drei kleineren Behältern würde außer zu Einsparungen in der Fahrt, dank ganzjährlicher (1, 2 oder 4 wöchentlicher) Entsorgung, ebenfalls zu einer einfacheren Tourenplanung führen. Die Bürger könnten zwischen den drei restlichen Abfuhrhythmusmöglichkeiten und zwischen den Behältergrößen wählen, wobei eine Tendenz in Richtung größerer Behälter mit seltener Entleerung gegenüber kleinerer Behältern mit häufiger Entsorgung aufgrund der kürzeren Fahrt zu einem Sparpotential führen kann. Als Beispiel sei hier das Ergebnis einer Untersuchung von Gallenkemper [Gallenkemper 03] genannt, bei der nach einer Änderung eines gemischten Abfuhrhythmus von 1- und 2-wöchentlich auf ausschließlich 2-wöchentlich trotz höheren Behälterkosten 10 % an Gesamtkosten gespart wurde. Die Tendenz zum zunehmendem Anteil der 4-wöchentlichen

und der Abnahme der wöchentlichen bzw. mehrmals wöchentlichen Abfuhr ist ebenso in der Literatur zu finden [VKS 03b]. Eine Untersuchung von Gallenkemper et al. [Gallenkemper 95] beweist, dass eine 4-wöchentliche Entsorgungsfrequenz der 2-wöchentlichen gegenüber kein Nachteil im Hinblick auf Hygiene und Geruch hat.

Ein zweiter Grund, der für die seltener Abfallabfuhr spricht, ist die Tatsache, dass mit abnehmender Leerungshäufigkeit der Sammelbehälter die einwohnerspezifische Restabfallmenge sinkt [VKS 03c].

Mit **Einführung eines Serviceteams** ist es möglich, Zeit des Fahrzeugpersonals einzusparen. In diesem Fall würde es bedeuten, dass ein Team von 3 bis 4 Personen vor dem Sammelfahrzeug alle Abfallbehälter an der Fahrbahn bereitstellt und nach deren Entleerung an ihre Standorte zurücksetzt. Damit wäre die Zeit der Lademannschaft, die sie für das Bereit- und Zurückstellen der Behälter verbringt, gespart. An dieser Stelle wird neben Personalkosten auch an Einsatzzeit des Sammelfahrzeuges für die gleiche Strecke gespart und die Fahrzeuge könnten für weitere Strecke eingesetzt werden. Es entstehen zusätzliche Personalkosten für das Serviceteam, die aber niedriger sind als die Ersparnis durch längeren Sammelfahrzeugeinsatz. Kostensparpotenziale bei Einsatz von Satellitenfahrzeugen wurden durch Gallenkemper untersucht und veröffentlicht [Gallenkemper 03]. Es hat natürlich mehr Effizienz - und wird deshalb so verwendet - wenn nicht nur eine, sondern mehrere und möglichst alle Abfallarten einbezogen werden [Dor 05]. Die Schwierigkeit dieser Methode ist, dass alle Abfallsorten auf dem Tagesrevier dasselbe Entsorgungsrhythmus haben müssen, um eine mehrmalige Fahrt zu vermeiden. Dafür muss ein Gebiet abgegrenzt werden, in dem das Abfallaufkommen der verschiedenen Abfallarten so groß ist, dass sich eine für die einzelnen Sammelfahrzeuge angemessene Menge ergibt. Wenn sich solche Gebiete bestimmen lassen, kann der gleiche Entsorgungsrhythmus mit dem Variieren der Sammelbehältergröße erreicht werden.

Sparpotential steckt auch in der **Trennung der Lademannschaft vom Sammelfahrzeug**. In diesem Fall bedient eine Sammelmannschaft mehrere Fahrzeuge. Das gefüllte Sammelfahrzeug fährt nur mit dem Fahrer und ohne weiteres Personal zum Zielort (Deponie, Umschlagstation oder Abfallbehandlungsort). In dieser Zeit arbeitet das Ladepersonal, eventuell nach einem Transport mit einem Satellitenfahrzeug (falls der Fahrzeugwechsel nicht an der Reviergrenze passiert), bei einem anderen Sammelfahrzeug. So wird an Personalkosten gespart. Eine detaillierte Beschreibung ist von Dornbusch in [Gallenkemper 02] zu lesen.

Eine andere Methode für die bessere Personalausnutzung ist, alle MGB 1100 Behälter, separiert von den anderen, an einem Tag zu entsorgen. An diesem Tag kann das Sammelfahrzeug mit 1+2 Besatzung unterwegs sein, während an den anderen Tagen eine 1+1 Besatzung ausreicht. So müssen die Fahrer nicht bei jeder MGB 1100 das Fahrzeug verlassen und verlieren somit weder Zeit, noch müssen sie ihre Kniegelenke beladen (gesundheitliche Belastung) oder die Fahrzeutür übermäßig strapazieren (Materialverschleiß). Das Gebiet, in dem MGB 1100 Behälter vorkommen, kann natürlich anders ver-

teilt werden als bei den restlichen Behältergrößen, die zusammen entsorgt werden. So ist vorstellbar, dass solche Touren nur ein- oder zweimal in der Woche, aber dafür auf größerem Gebiet notwendig sind.

Eine erdenkliche Zeitsparmöglichkeit ist die **Reduzierung der Ladepunkte**. Wie Gallenkemper beschreibt [UBA 93], verringert sich mit wachsender Behälteranzahl pro Ladepunkt die behälterspezifische Ladezeit. Diverse Untersuchungen zeigen, dass die Zwischenfahrzeit direkt von der Anzahl der Standplätze abhängt [Gellenbeck 94], [Bilitewski 04], d.h. bei weniger Standplätzen wird weniger Zeit für die Zwischenzeit benötigt. Die zu entleerenden Behälter müssen natürlich nicht straßenabschnittsweise auf einer Stelle gesammelt werden. Wenn aber z.B. die Behälter jeweils an der Grenze von zwei Grundstücken bereitgestellt werden, kann dadurch Zeit gespart werden, denn das Fahrzeug muss seltener anhalten. Um eine solche Stelle zu schaffen, kann entweder ein Serviceteam die Behälter platzieren (in dem Fall können sie allerdings solche „Inseln“ in einem größeren Abstand bilden) oder die Einwohner werden miteinbezogen, d.h. sie stellen die Behälter auf einer vorgeschriebenen Stelle bereit bzw. die Behälterstandorte werden von Anfang an auf den entsprechenden Stellen ausgestaltet. Nachteil solcher Zentralisierung der Sammelbehälter ist, dass es leicht vorkommen kann, dass die Abfallbehälter beim Zurückstellen verwechselt werden, die Behälter also nicht auf die richtige Stelle zurückgebracht und damit bis zur nächsten Entsorgung nicht von den tatsächlichen Benutzern gefüllt werden. Dies kann vor allem zu einem Problem führen, wenn die Behälter identifiziert und einzeln verwogen sind und die Rechnungen danach ausgestellt werden.

Ein weiteres Optimierungspotenzial ist die **Einführung eines neuen Arbeitszeitmodells**. Primäres Ziel ist der lange Fahrzeugeinsatz. Weil sich zwei 8-Uhr-Schichten pro Tag nicht durchführen lassen, sollten die Schichten länger sein. Um die Wochenstunden der Mitarbeiter einzuhalten, wird pro Person nicht 5, sondern 4 Tage in der Woche gearbeitet. Es ist ein 4-in-5-Tagen Modell, das sich in der Praxis gut bewährt hat [Schöne 03]. Bei einer 40 Stundenwoche Arbeitszeit heißt es dann 4 mal 10 Stunden, bei einer 35 Stundenwoche Arbeitszeit 4 mal 8,75 Stunden pro Tag Arbeit und 3 Tage frei. Die Teams sind für jeden Tag eingeplant und jedes Team hat in der Woche einen zusätzlichen freien Tag. So sind die Mitarbeiter motiviert, an einem Tag mehr zu arbeiten. Die Fahrzeuge sind länger in Betrieb, denn sie werden auch am fünften Tag genutzt. Dieses Modell hat auf den Personalbedarf keinen Einfluss. Dieses Arbeitszeitmodell wird im Abschnitt 8.3 für die 7-Stunden-Arbeitstage berechnet und die Ersparnispotenziale dargestellt.

Bei anderen Modellen wird an 4 Tagen in längerer, am fünften in kürzerer Schicht oder in drei Schichten [Würz 99b] gearbeitet. Alternative Arbeitszeitmodelle sind in [Dor 03] dargestellt.

Wenn allerdings die Schichten nach wie vor 7 Stunden dauern, ist es möglich, in zwei oder anderthalb Schichten zu arbeiten. Damit sind die Sammelfahrzeuge länger in Betrieb, was bedeutet, dass niedrigere spezifische Kosten durch längeren Einsatz entstehen. Nach einer Untersuchung von Würz

[Würz 98a] können die Kosten für die Abfuhr von Restabfall und Bioabfall beim Zweischichtbetrieb gegenüber dem Einschichtbetrieb um 14 bis 20 % gesenkt werden.

Die Einführung der **digitalisierten Erfassung der entsorgten Abfallmenge** hat den Vorteil, dass es später nicht dazu kommen kann, dass die Wiegescheine später schwer zu finden sind und dass das manuelle Eingeben der Abfallmenge in die Datenbank ausfällt und somit die Fehlerquote durch Vertippen eingedämmt wird.

Um die digitalisierte Erfassung der Wiegedaten weiterzuführen, ist die **Ausstattung der Sammelfahrzeuge neben einem Identifikationssystem mit einem Wiegesystem** aus der Sicht der Rechnungsstellung vorteilhaft. So ist es möglich, den identifizierten Abfallbehältern die entsorgte Abfallmenge zuzuordnen und damit eine gerechtere Abfallgebühr zu erstellen. Ein sekundär, aber durchaus wichtiger Vorteil eines solchen Systems ist der schnellere und einfache Datenfluss in die EDV-Datenbank, um eine Basis für die EDV-gestützte Tourenplanung und das Controlling zu schaffen. Ein weiterer Vorteil ist, dass mit Hilfe eines Bordcomputers die entsorgten Abfallmengen addiert und dem Fahrer gezeigt werden können. So kann er das Inhaltsgewicht des Fahrzeuges verfolgen und die einzelnen Touren so durchführen, dass das Fahrzeug nicht über 100 % ausgelastet wird. Mehr über Identifikations- und Wiegesysteme ist in neuerer Literatur zu lesen (Preusser, T., Katzmarzik, H.-H. in [Thomé-K. 89], Vater, Chr. und Breisch, E. in [Thomé-K. 01], [Potthast 01], [VKS 01], [Würz 98b]).

Eine deutlich bessere Trennung des Bioabfalls vom Restabfall wird mit Einführung eines **Dekektions-Systems** am Bioabfall-Sammelfahrzeug [VKS 06] erreicht. Der Detektor basiert auf dem Wirbelstromprinzip, das die elektrische Leitfähigkeit der Störstoffe zu ihrer Erkennung verwendet. Die Entsorgung von Bioabfall ist für den Bürger kostenlos, dessen Qualität wird aber mittels Dekektions-System überprüft. Bei regelmäßiger Verletzung der Qualitätsgrenze werden die Bürger zuerst gewarnt, dann mit Extra-Gebühren belastet. Das gleiche System kann auch bei Papiersammlung eingesetzt werden [N.N. 06a].

Bei großen Wohnanlagen hat sich das **CEB-System** („Chip-Einwurf-Behältern“-System) bewährt. Die Eingabe des Restabfalls in den Sammelbehälter kann nur mit einer Chipkarte erfolgen. Damit ist die Zuordnung der Abfallmenge zu den Erzeugern möglich und die Gebühren können fairer berechnet werden. [Würz 99c]

Alle hier beschriebenen Optimierungsmöglichkeiten sind relativ. Ihre Effizienz hängt von mehreren Kriterien ab. Ihre Synergie-Effekte sind nur mit eigenen Untersuchungen feststellbar, denn die örtlichen Gegebenheiten können die verwendbaren Entsorgungslogistiksysteme sehr beeinflussen. Zu den einzelnen Einflussgrößen hat Gallenkemper [Gallenkemper 77] aufwendige Untersuchungen durchgeführt. Weitere Untersuchungen zu sukzessiven Kostensenkungen wurden durch Dornbusch et al. [Gallenkemper 03] ausgeführt.

8.4 Fallbeispiele zur Optimierung des Entsorgungsprozesses

In diesem Abschnitt werden anhand von zwei Beispielen konkrete Optimierungsmöglichkeiten in dem untersuchten Praxisunternehmen dargestellt.

Beispiel 1: Einsatz eines größeren Fahrzeuges

Variante A (Ist): Sammelfahrzeug mit Kapazität von 5,85 Mg fährt 2 Touren pro Tag

Variante B (Soll): Sammelfahrzeug mit Kapazität von 10,5 Mg fährt 1 Tour pro Tag

Es werden die Fahrzeugkosten sowie die Personalkosten der beiden Varianten gegenübergestellt.

Bei den Berechnungen werden Daten teilweise aus der Literatur [Dornbusch 05], teilweise nach Angabe des Unternehmens verwendet. Abbildung 63 stellt die Berechnungen in tabellarischer Form dar.

Fahrzeugkosten	2-Achsfahrzeug		3-Achsfahrzeug	
	Kosten	Kosten	Kosten	Kosten
Anschaffung [€]		135.000 €		150.000 €
Abschreibungszeitraum [a]	8			8
Jährliche Abschreibung [%]	12,5	16.875 €	18.750 €	12,5
Verzinsung [%]	2,8	3.713 €	4.125 €	2,8
Anteil Reserve [%]	10,0	2.059 €	2.288 €	10,0
Kapitalkosten [€/a]		22.646 €	25.163 €	
Steuer/ Versicherung [%]	2,0	2.700 €	3.000 €	2,0
Laufleistung [km/a]	13.000			8.840
Treibstoffverbrauch [l/100 km]	63,3			72,1
Treibstoffkosten [€/a]		8.229 €	6.374 €	
Reparatur/ Material [%]	9,0	12.150 €	13.500 €	9,0
Betriebskosten [€/a]		23.079 €	22.874 €	
Kapital- und Betriebskosten [€/a]		45.725 €	48.036 €	
Allgemeine Geschäftskosten [%]	17,0	7.773 €	8.166 €	17,0
Wagnis und Gewinn [%]	3,0	1.372 €	1.441 €	3,0
Verrechnungsbasis [€/a]		54.870 €	57.643 €	
Einsatzstunden [h/a]	1.715			1.500
Verrechnung auf die Einsatzstunden		31,99 €	38,43 €	

Abbildung 63: Berechnungen der Fahrzeugkosten, nach [Dornbusch 05, S.44]

Die Kapitalkosten unterscheiden sich automatisch wegen der Anschaffungskosten. Abschreibungszeitraum, Verzinsung und Anteil Reserve sind gleich.

Betriebskosten unterscheiden sich in mehreren Punkten. Der erste ist die Laufleistung des Sammelfahrzeugs. Durch die Einführung des größeren Fahrzeuges wird statt zwei Touren nur eine gefahren und wird dadurch nur einmal zur Deponie gefahren. Dies führt zu einer Verkürzung der Länge des zu befahrenden Weges von 50 auf 34 km am Tag. Dies bedeutet eine jährliche Laufleistung des Sammelfahrzeugs von 13.000 auf 8.840 km.

fahrzeuges von 8840 km statt 13000 km. Der Treibstoffverbrauch liegt nach Angabe eines Unternehmens bei einem kleinen Sammelfahrzeug bei 63,3 l/100 km und bei einem großen bei 72,1 l/100 km.

Wegen der Ersparnis einer Fahrt zur Umladestation und zurück verkürzt sich die für die gleiche Arbeit benötigte Arbeitszeit um ca. 50 Minuten pro Tag (siehe Ergebnisse der Untersuchung). Damit entfällt die Überstunde der Mitarbeiter, die zurzeit regelmäßig in Anspruch genommen werden muss. Das bedeutet auch eine Ersparnis der Personalkosten für die Überstunden. Mitarbeiterkosten werden mit Hilfe von dem in [VKS 03b] angegebenen durchschnittlichen brutto Jahresgrundgehalt ausgerechnet und aufgrund der das Unternehmen belastenden weiteren Sozialkosten um 40 % erhöht. Mit dem zurzeit üblichen 1+1 Ladepersonal und 7,83 Arbeitsstunden am Tag (Ergebnis der Untersuchung mit den Überstunden, insgesamt 2035,8 Stunden im Jahr) ergeben sich folgende Personalkosten, wenn für die Überstunden mit dem gleichen Stundenlohn gerechnet wird wie bei der normalen Arbeitzeit:

Personalkosten	2-Achsfahrzeug		3-Achsfahrzeug	
	Kosten		Kosten	
Stundenlohn je Mitarbeiter [€/h]		16,44 €	16,44 €	
Anteil Reserve [%]	25,00	4,11 €	4,11 €	25,00
Kosten inkl. Reserve [€/h]		20,55 €	20,55 €	
Verwaltung, Wagnis und Gewinn [%]	20,00	4,11 €	4,11 €	20,00
Verrechnungsbasis [€/h]		24,66 €	24,66 €	
Arbeitsstunden pro Jahr [h/a]	2.036			1.820
Personalkosten [€/a]		50.208 €	44.881 €	
Besetzung des Fahrzeuges	2			2
Besetzungsosten [€/a]		100.416 €	89.762 €	

Abbildung 64: Berechnungen der Fahrzeugkosten, nach [Dornbusch 05, S.44]

Eine kurze Zusammenfassung der Veränderung der Fahrzeug- und Personalkosten bei Einführung der Variante B zeigt Abbildung 65:

Kostenarten	Variante A [€/a]	Variante B [€/a]	Ersparnis [€/a]
Fahrzeugkosten	54.870	57.643	-2.773
Personalkosten	100.416	89.762	10.654
Gesamt	155.286	147.405	7.881

Abbildung 65: Vergleich der Kosten beim Einsatz unterschiedlich großer Sammelfahrzeuge

Gewonnene Erkenntnisse und Anmerkungen

Durch Einsatz eines 3-achsigen Sammelfahrzeuges könnte die zurzeit regelmäßige Überstunde des Ladepersonals von 50-60 Minuten pro Tag gewonnen werden. Außerdem kann eine Gesamtersparnis von rund 7900 Euro im Jahr erzielt werden.

Es ist generell zu beachten, dass 3-achsige Fahrzeuge nicht überall eingesetzt werden können. Beispiel dafür sind enge Straßen, vor allem in den Altstadt-Gebieten. Vor der Einführung eines Fahrzeuges mit neuer Sammelkapazität muss auch überlegt werden, ob die Größe des Sammelreviers für den Einsatz des Fahrzeuges passend ist oder ob die Grenzen vorher geändert werden müssen.

Beispiel 2: Einführung des Arbeitszeitmodells „4-in-5-Tage“

Mit der Einführung des neuen Arbeitszeitmodells werden ein längerer Einsatz der Sammelfahrzeuge und damit die Senkung der Fixkosten des Fahrzeugbestandes angestrebt. Wie am Beispiel 1 zu sehen ist, kann die 7-Stunden Arbeitszeit erreicht werden, ohne Überstunden einplanen zu müssen. Von dieser Situation ausgehend lässt sich eine weitere Ersparnis ableiten.

Variante A (Ist): 35 Stundenwoche (5×7 [h/d])

Variante B (Soll): 35 Stundenwoche ($4 \times 8,75$ [h/d])

Folge der Einführung des „4-in-5-Tage“-Arbeitszeitmodells, nach [Schilling 03]:

- Erhöhung der täglichen Arbeitszeit auf 8,75 h/MA
- Wöchentliche Arbeitszeit von 35 h wird erreicht nach 4 Tagen
- 1 zusätzlicher freier Tag / Woche
- Keine Veränderung im Personalbedarf
- Erhöhung des wöchentlichen Einsatzes der Fahrzeuge auf 43,75 h
- Verringerung des Fahrzeugbestandes

Bei Variante A werden 19 Sammelfahrzeuge für die Restmüllsammlung eingesetzt.

Die Anzahl der im neuen Arbeitszeitmodell benötigten Fahrzeuge wird wie folgt abgeleitet:

Entsorgte Abfallmenge in Rostock (nach Angaben der Stadtentsorgung Rostock GmbH):

$$50.000 \text{ [Mg/a]} / 260 \text{ [d/a]} = 192,3 \text{ [Mg/d]}$$

Abfuhrleistung eines Fahrzeuges pro Stunde:

$$192,3 \text{ [Mg/d]} / 19 \text{ [Fzg]} / 7 \text{ [h/d]} = 1,446 \text{ [Mg/(Fzg*d)]}$$

Benötigte Anzahl der Sammelfahrzeuge bei derselben Leistung nach dem neuen Arbeitszeitmodell:

Abfuhrleistung des Fahrzeuges pro Jahr:

$$1,446 \text{ [Mg/(Fzg*h)]} * 8,75 \text{ [h/d]} * 260 \text{ [d/a]} = 3.290 \text{ [Mg/(Fzg*d)]}$$

Benötigte Anzahl der Fahrzeuge:

$$50.000 \text{ [Mg/a]} / 3.290 \text{ [Mg/(Fzg*a)]} = 15,19 \text{ Fzg} \rightarrow 16 \text{ Fzg}$$

Anhand von Beispiel 1 werden zu einem Sammelfahrzeug 25.163 € jährliche Kapitalkosten zugeordnet.

	Variante A	Variante B	Einsparung
Anzahl der Fahrzeuge	19	16	3
Kapitalkosten des Fahrzeugbestandes pro Jahr	478.097 €	402.608 €	75.489 €

Abbildung 66: Darstellung der Kapitalkosten des Fahrzeuges bei den unterschiedlichen Arbeitszeitmodellen

Die einmalige Transportzeit zur Deponie (zweite Tour) wurde in den Berechnungen nicht abgezogen, denn zurzeit wird das Sammelfahrzeug in den 7,83 Stunden auch nur einmal entleert; die zweite Entleerung erfolgt in der Nachschicht.

Gewonnene Erkenntnisse und Anmerkungen

Der Berechnung zufolge kann der Betrieb 3 Sammelfahrzeuge einsparen. Dies führt zu einer niedrigeren Kapitalbindung. Die Betriebskosten des Abfuhrparks, die damit verbunden sind, reduzieren sich automatisch um ca. 75.000 Euro (siehe Abbildung 70).

Dennoch muss man an andere Aspekte denken, wie zum Beispiel an die Erhöhung der Wartungs- und Reparaturkosten der 16 Sammelfahrzeuge, die durch verstärkte Nutzung entstehen.

Die intensivere Nutzung der Sammelfahrzeuge führt auch zu einem kürzeren Abschreibungszeitraum.

Es ist auch zu betrachten, dass bei längerer Arbeitszeit die Sammelleistung des Personals eine Minderung aufweisen kann.

Da nach wie vor eine Sammeltour am Tag angestrebt wird, ist zu prüfen, ob die Abgrenzung der zurzeit existierenden Sammelreviere für eine längere Sammeltour geeignet ist, oder ob die Reviere vergrößert werden müssen, um eine optimal lange Tour zusammenstellen zu können. Mit Einführung des neuen Arbeitszeitmodells entfällt die zurzeit praktizierte Nachschicht, in der die halbvollen und vollen Sammelfahrzeuge zur Deponie gefahren und entleert werden.

9 Zusammenfassung und Ausblick

Die Entsorgungslogistik ist ein Kernpunkt der nachhaltigen Abfallwirtschaft und gehört zu den wichtigsten technischen Prozessen. Dadurch werden angepasste Systeme zur Bereitstellung, Sammlung und Transport installiert und betrieben. Die Entsorgungslogistik verursacht je nach Standortstruktur und Entsorgungskonzept 25 bis 50 % der gesamten Entsorgungskosten. Dies belastet sehr die verfügbaren Finanzen, welche durch die Abfallgebühren von der Bevölkerung, dem Gewerbe und der Industrie bereitzustellen sind.

Die Entsorgungslogistik lässt sich in technische und organisatorische Systeme aufteilen. Die technische Entsorgungslogistik umfasst alle notwendigen technischen Systeme zur Bewältigung der durchzuführenden Aufgaben, wie Erfassung, Sammlung, Umschlag und Transport. Das Organisationssystem der Entsorgungslogistik beinhaltet die Planung, Steuerung und Kontrolle der zu erledigenden Arbeiten.

Das System Entsorgungslogistik besteht aus vielen umfangreichen Teilprozessen, welche strategisch, taktisch und operativ geplant und überwacht werden müssen. Dazu gibt es planbare und nicht planbare Faktoren und Einflussgrößen, die immer zu betrachten sind. Die strategische Planung basiert auf den Erfahrungen der operativen Planung, die über einen längeren Zeitraum gewonnen wurden. Die Aufgaben auf dieser Ebene bestehen aus der Festlegung langfristiger Konzepte (z.B. Sammlungsstrategien, Entsorgungsfrequenz), der Fuhrparkzusammensetzung sowie der Durchführung von Standortbewertungen (Anzahl und Lage der Sammelstandorte, Begrenzung der Sammelgebiete) und Kostenanalysen. Taktische Planung wird bei den Touren verwendet, die über längere Zeit gleich bleiben. Dennoch müssen die Rahmentouren und die festgelegten Sammelreviere von Zeit zu Zeit auf Leistung und Wirtschaftlichkeit überprüft werden. Die Kennzahlen für die taktische Planung sind spezifische Eigenschaften des Abfalls, Beschaffenheiten der Sammelbehälter, Prozesszeiten und –kosten. Die operative Planung umfasst die tägliche Planung mit Berücksichtigung kurzfristiger Änderungen. Deren Aufgaben sind die Tourenbildung, die Routenbildung und die Transportmittelzuordnung. Die Kennzahlen sollen als Hilfestellung zur Dynamisierung und Flexibilisierung des Entsorgungslogistiksystems dienen, um eine angepasste Entscheidung kurzfristig treffen zu können. Sammelstrecken, verfügbare personelle und maschinelle Kapazitäten sowie leistungsabhängige Prozesszeiten bilden die wichtigsten Grundlagen.

Die Managementebene im Entsorgungsunternehmen sollte ständig einen Überblick über die technische, personale und wirtschaftliche Situation haben, um die Funktionalität beurteilen zu können. Die Bereitstellung der notwendigen Daten und Instrumente für die Verantwortlichen durch einen transparenten Informationsfluss ist ein unverzichtbarer Prozess. Dies stellt ein großes Problem bei den meisten Unternehmen der Entsorgungslogistik dar.

Ein weiteres Problem bei den meisten Unternehmen ist der Mangel an Ermittlung wichtiger Planungsgrundlagen. Unter dieser Bedingung ist es nicht möglich, alle auf den Arbeitsprozess bezogenen Informationen zu entnehmen und zu analysieren, dadurch Schwachstellen festzustellen und zu beseitigen sowie den Arbeitsablauf zu optimieren.

Bereits ermittelte Daten werden oft nicht analysiert und landen im „Datenfriedhof“, weil ihre Rollen nicht eindeutig sind oder unterschätzt werden. Nicht optimale Auslastung der vorhandenen personellen und technischen Kapazitäten, nicht optimale Tourenplanung, Revierabgrenzung, Arbeitszeitmodell etc. führen in den Entsorgungslogistikunternehmen sehr häufig zu umfangreichen finanziellen Verlusten und manchmal zur Existenzgefahr.

Die Entwicklung von Planungs- und Kontrollinstrumenten, in Form von Kennzahlen je nach Zweck und Zeitraum, stellt eine wichtige Aufgabe im Rahmen der Entsorgungslogistik dar, um eine optimale Gestaltung und Umsetzung zu erreichen.

Kennzahlen sind quantitative (oder qualitative) Größen, die über Sachverhalte in der Realität in komplexer Form informieren. Sie werden nicht nur bei der Auswertung der Leistung in der Vergangenheit verwendet, sondern spielen auch als Hilfsmittel bei der Planung und beim Benchmarking eine wichtige Rolle. Die Kennzahlen können Operationalisierungsfunktion, Anregungsfunktion, Vorgabefunktion, Steuerungsfunktion und Kontrollfunktion haben.

In der Abfallwirtschaft wird GIS (Geo-Informationssystem) u. a. bei der Entsorgungslogistik für die Auftragsbearbeitung, Tonnenverwaltung, Rechnungswesen, Gebühren, Tourenplanung, Kontrolle und Nachkalkulationen, Statistiken, etc. eingesetzt. Deshalb ist das GIS eine wichtige Grundlage zur Bildung von Kennzahlen in der Entsorgungslogistik, welche zum besseren Controlling der technischen, organisatorischen und wirtschaftlichen Funktionalität des Entsorgungsunternehmens führen kann.

In der Abfallwirtschaft kommt das GPS u. a. in den Aufgaben Navigationshilfe, graphische Anzeige, Aufzeichnung von GPS-Koordinaten, Herstellung von graphischen Karten und Verfolgung von Fahrzeugen oder Behältern zum Einsatz. Auch im Betriebscontrolling sind die durch GPS gewonnenen Daten von großer Bedeutung. Mit Hilfe aussagekräftiger Kennzahlen können die Leistungen objektiver bewertet und wenn nötig, Verbesserungsmaßnahmen abgeleitet werden. Neben den innerbetrieblichen Verwendungen sind die Daten auch beim Benchmarking in den Entsorgungsbetrieben anwendbar.

Kernpunkte der Arbeit sind folgende:

- Zusammenstellung einer wissenschaftlichen Grundlage der Entsorgungslogistik aus technischer und organisatorischer Sicht. Hier werden einerseits die wichtigsten Vorgänge, wie Erfassung, Samm-

lung, Transport, Umschlag und Ferntransport des Abfalls mit der jeweiligen Technik, und anderseits die Aufbau- und Ablauforganisation der Entsorgungslogistik beschrieben.

- Erfassung und Beschreibung der notwendigen entsorgungslogistischen Kennzahlen, hinsichtlich der Planungsphase (strategisch, taktisch und operativ) für die unterschiedlichen Aufgaben.
- Erläuterung der Funktionalität des Geographischen Informationssystems (GIS) und des Globalen Positionssystems (GPS), für Visualisierung und für Ermittlung der Kennzahlen in der Entsorgungslogistik.
- Entwicklung einer Vorgehensweise zur Erfassung und Ermittlung der Kennzahlen. Anwendung des Modells anhand eines Praxisunternehmens. Vorstellung des Unternehmens und des Verlaufs der Untersuchung. Auswertung vorhandener, bzw. ermittelter Kennzahlen, sowie Darstellung der Auswertung in Diagrammen. Als Beispiel wird hier eine Schwankung der täglich entsorgten Abfallmenge von 30 % festgestellt. Die Schwankung der Anzahl der täglich entleerten Sammelbehälter liegt bei 20 %. Das Sammelfahrzeug ist häufiger überlastet. Für die Sammlung werden 60 bis 80 % der Arbeitszeit verwendet. die Sammlung findet auf 35 bis 70 % der befahrenen Wege statt; der Rest ist Zwischen- und Umfahrt sowie Transport zwischen Entsorgungsgebiet und Umladestation.
- Anhand der Ergebnisse Erarbeitung von Vorschlägen zur Optimierung der Arbeit des Unternehmens. So werden z.B. die Verbesserung des Informationsflusses, Durchführung regelmäßiger Untersuchungen, Änderung der Arbeitszeit, Änderung vom Einsatz des Ladepersonals, Strecken der Abfuhrintervalle, digitale Erfassungssysteme, usw. beschrieben.
- Beschreibung der Folgerungen für die Praxis. Kategorisierung der Kenngrößen danach, inwieweit sie durch Planung beeinflussbar sind. Darstellung der Auswirkung der einzelnen Größen auf die Wirtschaftlichkeit des Entsorgungsunternehmens. Empfehlung zu den verwendbaren Hilfsmitteln und zu der Häufigkeit der Erfassung bzw. Ermittlung, sowie der Auswertung der Kennzahlen.
- Ableitung von Fallbeispielen zur Optimierung des Entsorgungsprozesses, anhand der in der Arbeit gewonnenen Erkenntnisse. Mit Einsatz eines größeren Sammelfahrzeuges ist eine Einsparung von etwa 7.900 Euro im Jahr möglich. Noch größer ist das Einsparpotenzial bei Einführung des Arbeitszeitmodells „4-in-5-Tage“, nämlich etwa 75.500 Euro im Jahr durch Einsparung von 3 Sammelfahrzeugen.

Die durch diese Arbeit gewonnenen Erkenntnisse sollen später als Grundlage für die Entwicklung einer Software zur Unterstützung der Optimierung der Entsorgungslogistik dienen.

Literaturverzeichnis

- [Amt 02] Amt für Umweltschutz Rostock: *Satzung über die Abfallwirtschaft in der Hansestadt Rostock*,
<http://www.rostock.de/Internet/stadtverwaltung/download/abfall.pdf>, 2002
- [Amt 05] Amt für Umweltschutz Rostock: *Abfallbilanzen*
<http://www.rostock.de/Internet/stadtverwaltung/amt73/abfall.jsp#bila>, 2005
- [Baranec 02] Baranec, P.: *Sparen beim Müllholen*, in Kommunalpolitische Blätter, Bd.54,
Heft 4, 2002
- [Barghoorn 81] Barghoorn, M. et al.: *Erstellung von Probeplänen zur Untersuchung des Abfallaufkommens nach Art und Zusammensetzung in ausgewählten Städten und Landkreisen*, Umweltbundesamt, Berlin 1981
- [Bartelme 95] Bartelme, N.: *Geoinformatik. Modelle, Strukturen, Funktionen*, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg 1995
- [BDE 05] BDE: *Aufteilung der Marktanteile bei der Restmüllerfassung*, http://www.bde-berlin.de/01seiten_b/documents/Zahlen-u.-Daten-d.-Entsorgungsw.-Kapitel-1.pdf#keyword, 2005
- [Behrens 98] Behrens, F., Maydell, O.: *Analyse der Kostenstruktur der kommunalen Abfallentsorgung*, Umweltbundesamt, Berlin 1998
- [BGR 92] *BGR 186 - Austauschbare Kipp- und Absetzbehälter Berufsgenossenschaftliche Regeln für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit*
<http://www.umwelt-online.de/regelwerk/arbeitss/uvv/bgr/186a.htm>, 1992
- [Bilitewski 90] Bilitewski, B., Härdtle, G., Marek, K.: *Abfallwirtschaft : Eine Einführung*, Springer Verlag, Berlin 1990
- [Bilitewski 00] Bilitewski, B., Härdtle, G., Marek, K.: *Abfallwirtschaft : Handbuch für Praxis und Lehre*, Springer Verlag, Berlin 2000
- [Bilitewski 04] Bilitewski, B., Günther, M., Janz, A.: *Logistische und technische Aufwendungen bei einem System „Trockene Tonne“*, in Müll und Abfall Bd. 36 /2004, Heft 11
- [Bill 94] Bill, R., Fritsch, R.: *Grundlagen der Geo-Informationssysteme, Band 1: Hardware, Software und Daten*, Herbert Wichmann Verlag, Heidelberg 1994

- [Bill 99a] Bill, R.: *Grundlagen der Geo-Informationssysteme. Band 1: Hardware, Software und Daten*, Herbert Wichmann Verlag, Heidelberg 1999
- [Bill 99b] Bill, R.: *Grundlagen der Geo-Informationssysteme. Band 2: Analysen, Anwendungen und neue Entwicklungen*, Herbert Wichmann Verlag, Heidelberg 1999
- [Borngräber 05] Borngräber, Ch.: *Organisation und Personalmanagement*, http://www.fh-studiengang.de/downloads/Organisation_und_Personalmanagement.pdf, 2005
- [Bousonville 02] Bousonville, T.: *Tourenplanung für die Siedlungsabfallentsorgung*, Deutscher Universitäts-Verlag, Wiesbaden 2002
- [Bruns 97] Bruns, K.: *Analyse und Beurteilung von Entsorgungssystemen*, Deutscher Universitäts-Verlag, Wiesbaden 1997
- [Buchholz 95] Buchholz, M. P. et al.: *Handbuch für Ver- und Entsorger. Band 4: Fachrichtung Abfall*, Hirthammer Verlag, München 1995
- [Camra 77] Camra, J. J.: *REFA-Lexikon Betriebsorganisation: Arbeitsstudium, Planung und Steuerung*, Beuth, Berlin 1977
- [Cord-L. 94] Cord-Landwehr, K.: *Einführung in die Abfallwirtschaft*, Teubner, Stuttgart 1994
- [Czimber 01] Czimber, K.: *Geoinformatika - elektronikus jegyzet*, Sopron (Ungarn), <http://geo.efc.hu/hun/onlinejegyzet/geoinfo/geoinfo1.htm>, 2001
- [Dickmann 99] Dickmann, F., Zehner, K.: *Computerkartographie und GIS*, Westermann Schulbuchverlag GmbH, Braunschweig 1999
- [DIN 91] DIN 30706 Teil 1: *Entsorgungstechnik: Begriffe für Hausabfallentsorgung und Entsorgungsfahrzeuge*, DIN Deutsche Institut für Normung e.V., Berlin 1991
- [DIN 05] DIN 30706-1: *Begriffe der Kommunalen Technik – Teil 1: Abfallentsorgung*, Entwurf, DIN Deutsche Institut für Normung e.V., Berlin 2005
- [Domschke 90] Domschke, W.: *Logistik: Rundreisen und Touren*, Oldenbourg Verlag, München 1990
- [Dornbusch 03] Dornbusch, H. J.: *Erkennen, Umsetzen und Begleiten von Optimierungsmaßnahmen*, im Tagungsband anlässlich der 8. Münsteraner Abfallwirtschaftstage, 27.1. bis 29.01.2003, Fachhochschule Münster LASU, 2003

- [Dornbusch 05] Dornbusch, H. J.: *Untersuchungen zur Optimierung der Entsorgungslogistik für Abfälle aus Haushaltungen*, Dissertation, Rostock 2005
- [Eder 83] Eder, G.: *Einflussgrößen bei häuslichen Abfällen*, Erich Schmidt Verlag, Berlin 1983
- [Efb 96] *Entsorgungsfachbetriebeverordnung*, <http://www.sup-im-net.de/service/gesetze/ebf1.htm>, 1996
- [Fraunhofer 04] Homepage: <http://www.iff.fraunhofer.de>, 2004
- [Gallenkemper 77] Gallenkemper, B.: *Vergleichende Untersuchungen zur Müllabfuhr beim Einsatz verschiedener Behältersysteme unter besonderer Berücksichtigung der örtlichen Gegebenheiten*, Veröffentlichungen des Institutes für Siedlungswasserwirtschaft der Technischen Universität Hannover, Heft 44, Hannover 1977
- [Gallenkemper 94] Gallenkemper, B.: *Getrennte Sammlung von Wertstoffen des Hausmülls: Abfallwirtschaftliche Grundlagen und ausgewählte Verfahren der getrennten Sammlung*, Abfallwirtschaft in Forschung und Lehre Band 65, Erich Schmidt Verlag, Berlin 1994
- [Gallenkemper 95] Gallenkemper, B., Gellenbeck, K., Dornbusch, H.-J.: *Gebührensysteme und Abfuhrhythmen in der kommunalen Abfallwirtschaft*, Erich Schmidt Verlag, Berlin 1995
- [Gallenkemper 98] Gallenkemper, B.: *Leitfaden für Analysen zur Bestimmung der Menge und Zusammensetzung von Abfällen aus Haushaltungen*, Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen, Essen 1998
- [Gallenkemper 03] Gallenkemper, B.: *Kostensenkung in der kommunalen Abfallentsorgung und Stadtreinigung*. Abschlussbericht – Entsorgungslogistik –, BMBF-Projekt 2003
- [Gellenbeck 94] Gellenbeck, K., Dornbusch, H.-J., Gallenkemper, B.: *Untersuchungen zum 2- und 4wöchigen Restmüllabfallrhythmus im Landkreis Oldenburg*. Untersuchungsbericht, Fachhochschule Münster LASU, 1994
- [Gellenbeck 05] Gellenbeck, K.: *Benchmarking-Projekte – ein Überblick*, im Tagungsband anlässlich der 9. Münsteraner Abfallwirtschaftstage, 14.2. bis 16.02.2005, Fachhochschule Münster LASU, 2005
- [Geppert 87] Geppert, B.: *Tourenplanung bei der innerstädtischen Hausmüllentsorgung*, Schriftenreihe des ISWW Karlsruhe 48, Karlsruhe 1987

- [Gerhardt 01] Gerhardt, K., Tempel, H.: *Entsorgungslogistik, Reststoffbehandlung, Kreislaufwirtschaft*, Offsetdruckerei Gerhard Weinert GmbH, Berlin 2001
- [Glowinski 01] Glowinski, R., Brock, M: *Geoservices in der Umweltbehörde Hamburg*, GIS-Workshop des BLAK UIS am 22.03.
http://www2.lfu.baden-wuerttemberg.de/lfu/uis/info/workshops/20010321/gis_einsatz_02.pdf
- [Glöck 99] Glöck, S.: *Aggregation von Daten zur Zusammensetzung von Hausmüll*, in Müllhandbuch, Kennzahl 1743, Lieferung 7/99, Erich Schmidt Verlag, Berlin
- [GPSMO] GPSMOVE III – Benutzerhinweise, ESYS GmbH, Berlin
- [Haase 03] Haase, H.: *Bewertung der Logistikkostenanteile bei der Vergabe von Entsorgungsdienstleistungen*; in Handbuch Umweltwissenschaften: Abfall Entsorgung Recycling Umwelttechnik, Ausgabe 2003/2004, Institut für Bildungs- und Wissenschaftsdienste (IBW), Nackenheim 2003
- [Incovis 06] Incovis: *Glossar*, <http://www.incovis.de/Glossar.35.0.html>, 2006
- [Jansen 98] Jansen, R: *Handbuch Entsorgungslogistik: Möglichkeiten und Grenzen der Abfallvermeidung, -verwertung und -beseitigung*, Deutscher Fachverlag GmbH, Frankfurt am Main 1998
- [Janssen 03] Janssen, J., Laatz, W.: *Statistische Datenanalyse mit SPSS für Windows*, Springer Verlag Berlin Heidelberg 2003
- [Jäger 89] Jäger, B.: *Abfallverwertung in der Bundesrepublik Deutschland: Verfahren, Entwicklungstendenzen und neue Technologien in der kommunalen Abfallentsorgung*, Umweltbundesamt Berlin 1989
- [Jäger 94] Jäger, B.: *Bestimmung der Menge fester Abfälle*, in Müll-Handbuch, Kennzahl 1710, Lieferung 3/94, Erich Schmidt Verlag, Berlin
- [Jäger 95] Jäger, B.: *Durchführung von Restmüll-Untersuchungen*, in Müll-Handbuch, Kennzahl 1721, Lieferung 4/95, Erich Schmidt Verlag, Berlin
- [Jünemann 89] Jünemann, R.: *Materialfluß und Logistik: systematische Grundlagen mit Praxisbeispielen*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1989
- [Kappas 01] Kappas, Martin: *Geographische Informationssysteme*, Westermann Schulbuchverlag, Braunschweig 2001

- [Ketelsen 93] Ketelsen, K.; *Grundlagen für integrierte Abfallwirtschaftskonzepte und abfallwirtschaftliche Planungen*, ISAH, Hannover 1993
- [Kirchhoff 97] Kirchhoff , J.- F.: *Die leistungswirtschaftliche Beurteilung von Konzepten der Entsorgungslogistik*, Peter Lang Verlag, Frankfurt am Main 1997
- [Konen 85] Konen, W.: *Kennzahlen in der Distribution*, Springer Verlag, Berlin 1985
- [Lechner 04] Lechner, P. (Hg.): *Kommunale Abfallentsorgung*, Facultas Universitätsverlag, Wien 2004
- [Lemser 99] Lemser, B., Maselli, J., Tillmann, A.: *Betriebswirtschaftliche Grundlagen der öffentlichen Abfallwirtschaft*, Erich Schmidt Verlag, Berlin 1999
- [Liebig 01] Liebig, W.: *Desktop-GIS mit ArcView*, Herbert Wichmann Verlag, Heidelberg 2001
- [Löbbert 06] Löbbert, F. J.: *Ungenutzte Einsparpotenziale in der Abfallwirtschaft*, in VSK-News, 110. Ausgabe; Oktober 2006
- [Lucas 93] Lucas, M.: *Kommunale Abfallwirtschaft: Probleme und Lösungsmöglichkeiten*, Deutscher Kommunal-Verlag, Vieselbach, Erfurt, 1993
- [Maier 02] Maier, M.: Organisationstheorie, http://www.uni-weimar.de/medien/management/frames.html?url=/medien/management/sites/ss2002/vorlesung/vorlesung_content/vorlesung_kapitel_2c.htm&, 2002
- [Mannheim 05] Mannheim, E.: *Differenzierte Betriebssteuerung auf Basis von Benchmarkprojekten*, im Tagungsband anlässlich der 9. Münsteraner Abfallwirtschaftstage, 14.2. bis 16.02.2005, Fachhochschule Münster LASU, 2005
- [Mawick 96] Mawick, H.: *Auswertung der Hausmüllsortieranalyse des Zweckverbandes Abfallwirtschaft Nordmecklenburg für das Untersuchungsgebiet der Hansestadt Rostock*, Diplomarbeit., Universität Rostock, 1996
- [Medwedeff 00] Medwedeff, A.: *GIS-unterstützte Tourenplanung in der Abfallwirtschaft am Beispiel Wiens*. Diplomarbeit, Universität Wien, Grund- und Integrativwissenschaftliche Fakultät, Wien 2000
- [Mroß 01] Mroß, W.-D., Lahl, U.: *Praxisratgeber Abfallmanagement: Moderne Abfallentsorgung für Betrieb und Behörde*, Fachverlag Deutscher Wirtschaftsdienst, Köln 2001

- [Multhaup 90] Multhaup R., Plümer Th.: *Entsorgungslogistik*, Verlag TÜV Rheinland, Köln 1990
- [MUNLV NRW 05] *Ökologische und ökonomische Bewertung von Sammelsystemen für Haushaltsabfälle in Nordrhein-Westfalen*, herausgegeben vom Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, 2005
- [Nassour 00] Nassour, A.: *Abfallwirtschaft: Technologie und Recycling*, Universität Rostock, 2000
- [N.N. 05a] Autorenkollektiv: *Ablauforganisation*,
<http://www.lextoday.de/Ablauforganisation>, 2005
- [N.N. 05b] Autorenkollektiv: Aufbauorganisation,
<http://aufbauorganisation.lexikona.de/art/Aufbauorganisation.html>, 2005
- [N.N. 06a] Autorenkollektiv: *Detektor spürt Störstoffe im Bioabfall auf*
http://www.stadtreiniger.de/index.php?id=nachrichten&no_cache=1&news_id=60, 2006
- [N.N. 06b] Autorenkollektiv: *Die unterschiedlichen Aufgaben der Aufbau- und der Ablauforganisation*, <http://www.ibim.de/pl+orga/3-1.htm>, 2006
- [Novak 88] Novak, B.: *Tourenplanung in mittelständischen Unternehmen*, Deutscher Universitäts-Verlag, Wiesbaden 1999
- [Otten 98] Otten, H.: *Verfahren zur Lösung von Tourenproblemen in der Abfallwirtschaft*, Verlag Praxiswissen, Dortmund 1998
- [Payer 06] Payer, M.: Kulturen von Arbeit und Kapital,
<http://www.payer.de/arbeitkapital/arbeitkapital01203.htm>, 2006
- [Pfaff-Schley 92] Pfaff-Schley, H., Schimmelpfeng, L., Wagner, M.: *EDV in der Abfallwirtschaft*, in Abfallwirtschaft in Forschung und Lehre Band 50, Erich Schmidt Verlag, Berlin 1992
- [Pohlmann 94] Pohlmann, M.: *Stichprobenverfahren für feste Siedlungsabfälle unter besonderer Berücksichtigung von Hausmüllsortierungen* in Müll-Handbuch, Kennzahl 1712, Lieferung 3/94, Erich Schmidt Verlag, Berlin

- [Potthast 01] Potthast, H.: *Technische Anforderungen an die EDV für Abfallsammlung und Transport*, in Müll-Handbuch, Kennzahl 4065, Lieferung 1/01, Erich Schmidt Verlag, Berlin
- [Rinschede 91] Rinschede, A., Wehking, K.-H.: *Entsorgungslogistik I – Grundlagen, Stand und Technik*, Erich Schmidt Verlag, Berlin 1991
- [Salhofer 98] Salhofer S., Rauscher B.: *Sichtungen und Sortieranalysen als Kontrollinstrument der kommunalen Abfallwirtschaft* in Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft, Bd.50 Heft 7/8, 1998
- [Salhofer 01] Salhofer, S: *Kommunale Entsorgungslogistik – Planung, Gestaltung und Bewertung entsorgungslogistischer Systeme für kommunale Abfälle, Abfallwirtschaft*, in Forschung und Lehre Band 121, Erich Schmidt Verlag, Berlin 2001
- [Schartner 98] Schartner, U.: *Virtuelle Lokale Netze: Analyse, Realisierung, Einsatzkonzept am Beispiel des Gebäudekomplexes Oettingenstraße*, Diplomarbeit, <http://www.mnm-team.org/pub/Diplomarbeiten/scha98/HTML-Version/node31.html>, 1998
- [Schilling 03] Schilling, U.: *Optimierung der Entsorgungslogistik: Umsetzung eines neuen Arbeitszeitmodells*, 8. Münsteraner Abfallwirtschaftstagen, 27.01. bis 29.01.2003, Münster 2003
- [Schöne 93] Schöne, H.: *Optimierung der Hausabfallsammlung mit Aufbauwechselsystem durch kombinierte Standort- und Tourenplanung*, Verlag Praxiswissen, Dortmund 1993
- [Statistik 06] *Statistisches Jahrbuch Hansestadt Rostock 2006*, Hansestadt Rostock Der Oberbürgermeister, Pressestelle
- [Stewanovic 00] Stewanovic, M.: *Bewertungsmethoden für entsorgungslogistische Prozesse und ihre Anwendbarkeit für ein ökologieorientiertes Ranking*, in Magdeburger Schriften zur Logistik 6/2000
- [Tabasaran 94] Tabasaran O. (Hrsg.): *Abfallwirtschaft, Abfalltechnik – Siedlungsabfälle*, Ernst Verlag, Berlin, 1994
- [Thomé-K. 89] Thomé-Kozmiensky, K.- J.: *Sammlung, Umschlag und Transport von Abfällen*, EF-Verlag für Energie und Umweltschutz, Berlin 1989

- [Thomé-K. 95] Thomé- Kozmiensky, K.-J.: *Verfahren und Stoffe in der Kreislaufwirtschaft*, EF-Verlag für Energie und Umweltschutz, Berlin 1995
- [Thomé-K. 01] Thomé-Kozmiensky, K.- J. (Hrsg): *Reformbedarf in der Abfallwirtschaft*, TK Verlag, Neuruppin 2001
- [UBA 93] Autorenkollektiv:: *Entsorgung ländlich strukturierter Gebiete mit verschiedenen logistischen Systemen zur getrennten Erfassung kompostierbarer Stoffe*, Umweltbundesamt, Berlin 1993
- [Vahrenkamp 98] Vahrenkamp, R.: *Logistikmanagement*, Oldenbourg Verlag, München 1998
- [VKS 95] Autorenkollektiv: *Leistungsdaten in der Abfallwirtschaft: Leistungsdaten bei Sammlung und Transport von Abfällen und Wertstoffen*, in VKS-Informationsschrift 25, VKS, Köln 1995
- [VKS 98] Autorenkollektiv: *Betriebsdaten in der Abfallwirtschaft: Ergebnisse der VKS-Umfrage zu Sammlung und Transport von Abfällen und Wertstoffen bei öffentlich-rechtlichen Entsorgungsunternehmen*, in VKS-Informationsschrift 33, VKS, Köln 1998
- [VKS 01] Autorenkollektiv: *Ident-, Wiege- und Volumenmesssysteme in der Abfallwirtschaft*, in VKS-Information 45, VKS, Köln 2001
- [VKS 03a] Autorenkollektiv: *Arbeitspapier „EDV-gestützte Tourenplanung/-optimierung“*, in VKS-Information 51, VKS, Köln 2003
- [VKS 03b] Autorenkollektiv: *VKS-Betriebsdatenauswertung 2002: Ergebnisse der VKS-Umfrage zu Sammlung und Transport von Abfällen zur Beseitigung und zur Verwertung bei öffentlich-rechtlichen Entsorgungsunternehmen*, in VKS-Information 57, VKS, Köln 2003
- [VKS 03c] Autorenkollektiv: *Ergebnisse und Erfahrungen zum VKS-Kennzahlenvergleich*, in VKS-Information, 59VKS, Köln 2003
- [VKS 05] Autorenkollektiv: *GPS-Einsatz im Bereich der Entsorgungswirtschaft und Stadtreinigung*, in VKS-Information 63, VKS, Köln 2005
- [Vogel 93] Vogel, A.: *Controlling in der gewerblichen Entsorgungslogistik*, Peter Lang Verlag, Frankfurt am Main 1993

- [Weber 93] Weber, J. (Hrsg.): *Praxis des Logistik-Controlling*, Schäffer-Poeschel Verlag, Stuttgart 1993
- [Weber 95] Weber, J.: *Logistik-Controlling: Leistungen, Prozesskosten, Kennzahlen*, Schäffer-Poeschel Verlag, Stuttgart 1995
- [Wehking 93] Wehking, K.-H., Rinschede, A.: *Entsorgungslogistik II - Entwicklung und Bewertung neuer Konzepte und Technologien*, Schmidt Verlag, Berlin 1993
- [Wöbbeking 95] Wöbbeking, K.- H., Fischer, T., Schmitt, C.: *Controlling in der kommunalen Abfallwirtschaft*, Eich Schmidt Verlag, Berlin 1995
- [Wöbbeking 05] Wöbbeking, K. H., Meetz, M.: *Benchmarking als betriebliches Controllinginstrument; Kennzahlen und Benchmarking – Bedeutung für die betriebliche Steuerung*, im Tagungsband anlässlich der 9. Münsteraner Abfallwirtschaftstage: 14.2. bis 16.02.2005, Fachhochschule Münster LASU, 2005
- [Würz 97] Würz, W.: *Verfahren zur Abfuhr von Abfällen*, in Müllhandbuch, Kennzahl 2120, Lieferung 3/97, Erich Schmidt Verlag, Berlin
- [Würz 98a] Würz, W.: *Wirtschaftliche Aspekte beim Einsatz von Fahrzeugen zur Abfuhr von festen Abfällen*, in Müllhandbuch, Kennzahl 2213, Lieferung 6/98, Erich Schmidt Verlag, Berlin
- [Würz 98b] Würz, W.: *Mobile Systeme zur Erfassung von Daten bei der Abfuhr*, in Müllhandbuch, Kennzahl 2233, Lieferung 8/98, Erich Schmidt Verlag, Berlin
- [Würz 99a] Würz, W.: *Software für Tourenplanung und Behälterverwaltung*, in Müllhandbuch, Kennzahl 2518, Lieferung 6/99, Erich Schmidt Verlag, Berlin
- [Würz 99b] Würz, W.: *Rationalisierung bei Sammlung und Transport von Abfällen*, in Müllhandbuch, Kennzahl 2530, Lieferung 6/99, Erich Schmidt Verlag, Berlin
- [Würz 99c] Würz, W.: *Integrierte Logistiksysteme für die Stadtentsorgung*, in Müllhandbuch, Kennzahl 2531, Lieferung 6/99, Erich Schmidt Verlag, Berlin
- [Würz 01] Würz, W.: *Betriebsdaten zur Abfallabfuhr*, in Müllhandbuch, Kennzahl 2055, Lieferung 4/01, Erich Schmidt Verlag, Berlin
- [Zingel 05] Zingel, H.: *Grundgedanken der Unternehmensorganisation*, <http://www.zingel.de/pdf/10orga.pdf>, 2005

Anhang

Anhangsverzeichnis

Anhang I: Gebietsstrukturen	115
Anhang II: Anzahl und Volumen der bereitgestellten Restabfallbehälter in Rostock 2001-2005	116
Anhang III: Füllgrad der Abfallsammelbehälter in Rostock 2001 - 2005	117
Anhang IV: Inhaltsgewicht des Restabfalls in Rostock 2001 - 2004	118
Anhang VI: Ermittlung des Schüttgewichtes und Ergebnisse in Rostock 2003 - 2005	120
Anhang VII: Ergebnisse der Untersuchung	121
Anhang VIII: Grafische Darstellungen der Anzahl und Verteilung der täglich entsorgten Sammelbehälter	136
Anhang IX: Grafische Darstellung des Verlaufs der täglich entsorgten Restabfallmenge	137
Anhang X: Grafische Darstellung der Auslastung des Sammelfahrzeuges	138
Anhang XI: Grafische Darstellungen des Verlaufs der Längen der täglich befahrenen Wege	139
Anhang XII: Grafische Darstellungen des Zeitverbrauchs, kategorisiert nach Arbeitsvorgänge	141
Anhang XIII: Grafische Darstellungen der Sammelleistung während der Untersuchung	144
Anhang XIV: Grafische Darstellungen zur Behälter- und Abfalldichte auf der Sammelstrecke	147
Anhang XV: Grafische Darstellungen der Geschwindigkeit, kategorisiert nach Arbeitsvorgänge	148
Anhang XVI: Darstellung der wöchentlichen Auswertung der erfassten Kennzahlen	149
Anhang XVII: Auswirkung der Kennzahlen auf die Wirtschaftlichkeit	151
Anhang XVIII: Vorgehensweise zur Ermittlung und Auswertung von Kennzahlen	157

Anhang I: Gebietsstrukturen

Gebietsstruktur	Wohneinheiten je Eingang	Beschreibung
[GS]	[Haush.]	[-]
1	-	Citygebiete (Innerstädtische Bebauung mit hohem Gewerbeanteil)
2	>6	Geschlossene Mehrfamilienhausbebauung
3a	>6	Offene Mehrfamilienhausbebauung (größer fünfgeschossig)
3b	>6	Offene Mehrfamilienhausbebauung (drei- bis fünfgeschossig)
4a	3-6	Drei- bis Sechsfamilienhausbebauung
4b	1-2	Ein- und Zweifamilienhausbebauung
5a	1-2	Aufgelockerte Ein- und Zweifamilienhausbebauung (Streusiedlungen)
5b	1-2	Aufgelockerte Ein- und Zweifamilienhausbebauung (Einzelgehöfte)

Abbildung I-1: Gebietsstrukturen, definiert nach Gallenkemper in [Bousonville 02], S. 13

n der bereitgestellte Restabfallbehälter in Rostock 2001-2005

ahl (Stk)		Volumen (m ³)				Volumen (l/Woche)				
2004	2005	2001	2002	2004	2005	2001	2002	2004	2005	
1.050	1.028	95,44	93,20	84,00	82,24	95.440	93.200	84.000	82.240	
12	-	1,44	1,04	0,96	-	2.880	2.080	1.920	-	
3.715	3.811	245,92	270,88	297,20	304,88	122.960	135.440	148.600	152.440	
2.724	2.975	134,08	163,44	217,92	238,00	33.520	40.860	54.480	59.500	
7.501	7.814	476,88	528,56	600,08	625,12	254.800	271.580	289.000	294.180	
1.586	1.571	209,40	203,40	190,32	188,52	209.400	203.400	190.320	188.520	
79	2	14,40	12,24	9,48	0,24	28.800	24.480	18.960	480	
1.094	1.117	127,92	132,00	131,28	134,04	63.960	66.000	65.640	67.020	
62	90	-	0,72	7,44	10,80	-	180	1.860	2.700	
2.821	2.780	351,72	348,36	338,52	333,60	302.160	294.060	276.780	258.720	
3.975	3.970	960,96	961,68	954,00	952,80	960.960	961.680	954.000	952.800	
791	676	239,04	222,72	189,84	162,24	478.080	445.440	379.680	324.480	
75	79	2,64	6,72	18,00	18,96	1.320	3.360	9.000	9.480	
-	2	-	-	-	0,48	-	-	-	120	
4.841	4.727	1202,64	1191,12	1161,84	1134,48	1.440.360	1.410.480	1.342.680	1.286.880	
753	867	518,10	662,20	828,30	953,70	518.100	662.200	828.300	953.700	
3.060	2.864	3874,20	3680,60	3366,00	3150,40	7.748.400	7.361.200	6.732.000	6.300.800	
28	31	15,40	20,90	30,80	34,10	7.700	10.450	15.400	17.050	
1	1	-	-	1,10	1,10	-	-	3.300	3.300	
3.842	3.763	4407,70	4363,70	4226,20	4139,30	8.274.200	8.033.850	7.579.000	7.274.850	
0	19.005	19.084	6431,71	6431,74	6326,64	6232,50	10.271.520	10.009.970	9.487.460	9.114.630

gestellten Restabfallbehälter in Rostock 2001-2005

Anhang III: Füllgrad der Abfallsammelbehälter in Rostock 2001 - 2005

Behälterart	Entsorgungsrhythmus	Füllgrad der Sammelbehälter (%)				
		2001	2002	2003	2004	2005
MGB 80	1 x pro Woche	35	81	69	76	
MGB 80	2 x pro Woche	-	-	-	-	
MGB 80	14-tägig	45	87	79	66	
MGB 80	28-tägig	70	79	80	68	
MGB 80	Durchschnitt	46	83	78	69	
MGB 120	1 x pro Woche	55	72	68	68	
MGB 120	2 x pro Woche	45	38	100	-	
MGB 120	14-tägig	50	69	62	71	
MGB 120	28-tägig	-	-	70	-	
MGB 120	Durchschnitt	53	68	67	69	
MGB 240	1 x pro Woche	60	83	81	78	
MGB 240	2 x pro Woche	45	68	62	73	
MGB 240	14-tägig	100	-	97	92	
MGB 240	28-tägig	-	100	-	100	
MGB 240	Durchschnitt	59	79	76	78	
MGB 1100	1 x pro Woche	55	61	86	88	
MGB 1100	2 x pro Woche	50	69	72	77	
MGB 1100	14-tägig	-	-	-	85	
MGB 1100	Durchschnitt	52	68	73	78	
Gesamt	Durchschnitt	52	76	74	74	

Abbildung III-1: Füllgrad der Abfallsammelbehälter in Rostock 2001-2005

Daten aus 2001 sind nicht vorhanden.

Anhang IV: Inhaltsgewicht des Restabfalls in Rostock 2001 - 2004

Behälterart	Entsorgungsrhythmus	Inhaltsgewicht des Restabfalls (kg)				
		2001	2002	2003	2004	2005
MGB 80	1 x pro Woche	23,9		20,1	14,9	17,9
MGB 80	2 x pro Woche	-		-	-	-
MGB 80	14-tägig	18,3		18,9	18,1	16,3
MGB 80	28-tägig	17,6		17,8	17,1	18,6
MGB 80	Durchschnitt	19,2		18,7	17,2	17,5
MGB 120	1 x pro Woche	20,4		16,7	16,6	23,7
MGB 120	2 x pro Woche	21,0		16,5	14,0	-
MGB 120	14-tägig	34,4		26,0	21,8	24,6
MGB 121	28-tägig	-		-	18,0	-
MGB 120	Durchschnitt	25,7		19,8	18,2	24,0
MGB 240	1 x pro Woche	24,9		34,7	33,4	31,4
MGB 240	2 x pro Woche	25,2		34,3	28,9	36,0
MGB 240	14-tägig	-		-	51,7	36,0
MGB 240	28-tägig	-		56,2	-	36,0
MGB 240	Durchschnitt	25,0		35,0	33,0	33,2
MGB 1100	1 x pro Woche	155,0		73,9	71,4	76,8
MGB 1100	2 x pro Woche	82,0		98,6	93,1	95,4
MGB 1100	14-tägig	90,0		-	-	77,5
MGB 1100	3 x pro Woche	-		-	-	-
MGB 1100	Durchschnitt	88,8		95,9	90,8	93,9
Gesamt	Durchschnitt	39,2		46,0	43,5	45,3

Abbildung IV-1: Inhaltsgewicht des Restabfalls in Rostock 2001-2005

Daten aus 2002 sind nicht vorhanden.

Anhang V: Raumgewicht des Restabfalls in Rostock 2001 - 2005

Behälterart	Entsorgungsrhythmus	Raumgewicht des Restabfalls (kg/m³)				
		2001	2002	2003	2004	2005
MGB 80	1 x pro Woche	298,8		251,3	186,3	224,3
MGB 80	14-tägig	228,8		236,3	226,3	203,8
MGB 80	28-tägig	220,0		222,5	213,8	232,1
MGB 80	Durchschnitt	239,5		233,6	214,7	218,3
MGB 120	1 x pro Woche	170,0		139,2	138,3	197,5
MGB 120	2 x pro Woche	175,0		137,5	116,7	204,6
MGB 120	14-tägig	286,7		216,7	181,7	-
MGB 120	28-tägig	-		-	150,0	-
MGB 120	Durchschnitt	214,1		164,9	151,3	200,0
MGB 240	1 x pro Woche	103,8		144,6	139,2	130,6
MGB 240	2 x pro Woche	105,0		142,9	120,4	150,0
MGB 240	14-tägig	-		-	215,4	150,0
MGB 240	28-tägig	-		234,2	-	150,0
MGB 240	Durchschnitt	104,0		145,7	137,4	138,3
MGB 1100	1 x pro Woche	140,9		67,2	64,9	69,8
MGB 1100	2 x pro Woche	74,5		89,6	84,6	86,7
MGB 1100	14-tägig	81,8		-	-	70,5
MGB 1100	Durchschnitt	80,8		87,1	82,6	85,4
Gesamt	Durchschnitt	157,1		158,5	146,8	155,1

Abbildung V: Raumgewicht des Restabfalls in Rostock 2001-2005

Daten aus 2002 sind nicht vorhanden

Schüttgewichtes und Ergebnisse in Rostock 2003 - 2005

Inhalts- gewicht kg/B)	2003		2004			2005				
	Füllgrad der Be- hälter (%)	Schütt- gewicht (kg/m³)	Anzahl der beprobten Behälter (Stk)	Inhalts- gewicht (kg/B)	Füllgrad der Be- hälter (%)	Schütt- gewicht (kg/m³)	Anzahl der beprobten Behälter (Stk)	Inhalts- gewicht (kg/B)	Füllgrad der Be- hälter (%)	Schütt- gewicht (kg/m³)
0,1	81	310,2	14	14,9	69	269,9	16	17,9	76	295,1
8,9	87	271,6	37	18,1	79	286,4	33	16,3	65	313,5
7,8	79	281,6	27	17,1	80	267,2	28	18,6	68	341,4
8,7	83	281,7	78	17,2	78	276,8	77	52,3	70	319,8
6,7	72	193,3	23	16,6	68	203,4	20	23,7	68	290,4
6,5	38	361,8	1	14,0	100	116,7	0	-	-	-
6,0	69	314,0	11	21,8	62	293,0	11	24,6	71	288,7
-	-	-	1	18,0	70	214,3	0	-	-	-
9,8	68	246,0	36	18,2	67	228,7	31	24,0	69	289,8
4,7	83	174,2	40	33,4	81	171,8	40	31,4	78	167,5
4,3	68	210,2	18	28,9	62	194,2	19	36,0	73	205,5
-	-	-	3	51,7	97	222,1	6	36,0	92	163,0
6,2	100	234,2	0	-	-	-	1	36,0	100	150,0
5,0	79	186,4	61	33,0	76	180,9	66	33,2	78	177,7
3,9	61	110,1	8	71,4	86	75,5	4	76,8	88	79,3
8,6	69	129,9	68	93,1	72	117,6	68	95,4	76	114,1
-	-	-	0	-	-	-	2	77,5	85	82,9
5,9	68	127,7	76	90,8	73	113,1	74	93,9	77	111,4
6,0	76	206,7	251	43,5	74	197,0	248	56,1	74	216,1

Schüttgewichtes und Ergebnisse in Rostock 2003-2005

möglich, Informationen aus den Jahren 2001 und 2002 zu gewinnen.

Anhang VII: Ergebnisse der Untersuchung

	01.12.03	02.12.03	03.12.03	04.12.03	05.12.03	Summa	Durchschnitt
MGB 80	70	57	72	79	72	350	70
MGB 120	99	75	84	96	81	435	87
MGB 240	258	227	195	258	234	1172	234
MGB 1100	60	59	16	55	72	262	52
ΣBL	487	418	367	488	459	2219	444
G 1 (Mg)	6,44	4,58	3,08	5,80	5,32	25,22	5,04
G 2 (Mg)	6,52	7,84	5,02	5,84	6,88	32,10	6,42
ΣG (Mg)	12,96	12,42	8,10	11,64	12,20	57,32	11,46^d
							5,73^T
Auslastung 1 (%)	110	78	53	99	91	-	86
Auslastung 2 (%)	111	134	86	100	118	-	110
Auslastung ø (%)	111	106	69	99	104	-	98^T
W_S (km)	22,50	k.D.	18,20	14,70	12,80	68,20*	17,05*
W_{TI} (km)	20,95	k.D.	10,10	7,45	5,30	43,80*	10,95*
W_{TA} (km)	14,68	k.D.	29,55	27,85	29,90	101,98*	25,50*
ΣW (km)	58,13	k.D.	57,85	50,00	48,00	213,98*	53,50*
t_S (min)	353	k.D.	327	353	349	1382*	346*
t_{TI} (min)	82	k.D.	45	40	17	184*	46*
t_{TA} (min)	33	k.D.	76	67	78	254*	64*
t_U (min)	17	k.D.	21	26	24	88*	22*
t_P (min)	39	k.D.	43	26	39	147*	37*
Σt (min)	524	k.D.	512	512	507	2055*	514*
Z_{UL}	2	2	2	2	2	10	2,0
Z_{LP}	2	2	2	2	2	10	2
α_{tsI}	0,92	k.D.	0,94	0,94	0,95	-	0,93
ΣBL / t_S (B/h)	83	k.D.	67	83	79	-	78*
ΣG / t_S (Mg/h)	2,20	k.D.	1,49	1,98	2,10	-	1,94*
ΣBL / W_S (B/km)	22	k.D.	20	33	36	-	28
ΣG / W_S (Mg/km)	0,58	k.D.	0,45	0,79	0,95	-	0,67
t_S / ΣG (min/Mg)	27,24	k.D.	40,37	30,33	28,61	-	31,64
t_S / ΣBL (min/B)	0,72	k.D.	0,89	0,72	0,76	-	0,77
ΣBL / Z_{LP} (B/L)	244	209	184	244	230	-	222
ΣG / Z_{LP} (t/L)	6,48	6,21	4,05	5,82	6,10	-	5,73
WS / tS (km/h)	0,06	k.D.	0,06	0,04	0,04	-	0,05
WTI / tTI (km/h)	0,26	k.D.	0,22	0,19	0,31	-	0,24
WTA / tTA (km/h)	0,44	k.D.	0,39	0,42	0,38	-	0,40

Abbildung VII-1: Gewonnene Daten der KW 49 2003

	08.12.03	09.12.03	10.12.03	11.12.03	12.12.03	Summa	Durchschnitt
MGB 80	27	24	93	38	36	218	44
MGB 120	91	67	92	86	69	405	81
MGB 240	254	224	199	251	232	1160	232
MGB 1100	58	57	14	52	70	251	50
ΣBL	430	372	398	427	407	2034	406,8
G 1 (Mg)	5,16	4,16	3,14	4,94	4,80	22,20	4,44
G 2 (Mg)	5,88	6,34	4,72	4,26	6,18	27,38	5,48
ΣG (Mg)	11,04	10,50	7,86	9,20	10,98	49,58	9,92
							4,96
Auslastung 1 (%)	88	71	54	84	82	-	76
Auslastung 2 (%)	101	108	81	73	106	-	94
Auslastung ø (%)	94	90	67	79	94	-	85
W_S (km)	20,40	17,20	16,10	16,60	12,10	82,40	16,48
W_{TI} (km)	6,86	6,15	10,55	19,35	29,85	72,76	14,55
W_{TA} (km)	29,62	26,85	29,85	24,95	26,00	137,27	27,45
ΣW (km)	56,88	50,20	56,50	60,90	67,95	292,43	58,49
t_S (min)	331	341	323	306	276	1577	315
t_{TI} (min)	34	19	49	86	125	313	63
t_{TA} (min)	85	77	83	60	54	359	72
t_U (min)	32	23	24	24	31	134	27
t_P (min)	27	42	25	27	30	151	30
Σt (min)	509	502	504	503	516	2534	507
Z_{UL}	2	2	2	2	2	10	2,0
Z_{LP}	2	2	2	2	2	10	2
α_{tsI}	0,94	0,96	0,95	0,95	0,93	-	0,95
ΣBL / t_S (B/h)	78	65	74	84	88	-	78
ΣG / t_S (Mg/h)	2,00	1,85	1,46	1,80	2,39	-	1,90
ΣBL / W_S (B/km)	21	22	25	26	34	-	25
ΣG / W_S (Mg/km)	0,54	0,61	0,49	0,55	0,91	-	0,60
t_S / ΣG (min/Mg)	29,98	32,48	41,09	33,26	25,14	-	32,39
t_S / ΣBL (min/B)	0,77	0,92	0,81	0,72	0,68	-	0,78
ΣBL / Z_{LP} (B/L)	215	186	199	214	204	-	203
ΣG / Z_{LP} (t/L)	5,52	5,25	3,93	4,60	5,49	-	4,96
WS / tS (km/h)	0,06	0,05	0,05	0,05	0,04	-	0,05
WTI / tTI (km/h)	0,20	0,32	0,22	0,23	0,24	-	0,23
WTA / tTA (km/h)	0,35	0,35	0,36	0,42	0,48	-	0,38

Abbildung VII-2: Gewonnene Daten der KW 50 2003

	11.10.04	12.10.04	13.10.04	14.10.04	15.10.04	Summa	Durchschnitt
MGB 80	30	25	96	37	39	227	45
MGB 120	97	63	90	87	68	405	81
MGB 240	246	229	195	252	215	1137	227
MGB 1100	51	59	13	53	70	246	49
ΣBL	424	376	394	429	392	2015	403
G 1 (Mg)	4,52	4,78	9,82	5,16	5,82	30,10	6,02
G 2 (Mg)	7,22	6,74	-	4,90	5,98	24,84	6,21
ΣG (Mg)	11,74	11,52	9,82	10,06	11,80	54,94	10,99^d 6,10^T
Auslastung 1 (%)	77	82	168	88	99	-	103
Auslastung 2 (%)	123	115	-	84	102	-	106
Auslastung ø (%)	100	98	168	86	101	-	104^T
W_S (km)	k.D.	15,15	k.D.	17,55	12,35	45,05*	15,02*
W_{TI} (km)	k.D.	4,30	k.D.	8,75	13,55	26,60*	8,87*
W_{TA} (km)	k.D.	32,00	k.D.	16,05	15,20	63,25*	21,08*
ΣW (km)	k.D.	51,45	k.D.	42,35	41,10	134,90*	44,97*
t_S (min)	k.D.	322	k.D.	330	290	942*	314*
t_{TI} (min)	k.D.	11	k.D.	46	65	122*	41*
t_{TA} (min)	k.D.	104	k.D.	59	64	227*	76*
t_U (min)	k.D.	16	k.D.	10	8	34*	11*
t_P (min)	k.D.	46	k.D.	28	43	117*	39*
Σt (min)	k.D.	499	k.D.	473	470	1442*	481*
Z_{UL}	1	1	0	1	1	4	0,8
Z_{LP}	1	1	1	1	1	5	1
α_{tsI}	k.D.	0,70	k.D.	0,74	0,74	-	0,73
ΣBL / t_S (B/h)	k.D.	70	k.D.	78	81	-	76*
ΣG / t_S (Mg/h)	k.D.	2,15	k.D.	1,83	2,44	-	2,14*
ΣBL / W_S (B/km)	k.D.	25	k.D.	24	32	-	27
ΣG / W_S (Mg/km)	k.D.	0,76	k.D.	0,57	0,96	-	0,73
t_S / ΣG (min/Mg)	k.D.	27,95	k.D.	32,80	24,58	-	28,44
t_S / ΣBL (min/B)	k.D.	0,86	k.D.	0,77	0,74	-	0,79
ΣBL / Z_{LP} (B/L)	424	376	394	429	392	-	403*
ΣG / Z_{LP} (t/L)	11,74	11,52	9,82	10,06	11,80	-	10,99*
WS / tS (km/h)	k.D.	0,047	k.D.	0,053	0,043	-	0,048
WTI / tTI (km/h)	k.D.	0,391	k.D.	0,190	0,208	-	0,218
WTA / tTA (km/h)	k.D.	0,308	k.D.	0,272	0,238	-	0,279

Abbildung VII-3: Gewonnene Daten der KW 42 2004

	18.10.04	19.10.04	20.10.04	21.10.04	22.10.04	Summa	Durchschnitt
MGB 80	56	55	70	68	69	318	64
MGB 120	104	71	82	98	77	432	86
MGB 240	251	230	193	261	216	1151	230
MGB 1100	54	60	14	56	70	254	51
ΣBL	465	416	359	483	432	2155	431
G 1 (Mg)	5,94	4,74	9,22	5,64	4,94	30,48	6,10
G 2 (Mg)	6,18	7,18	-	5,12	5,32	23,80	5,95
ΣG (Mg)	12,12	11,92	9,22	10,76	10,26	54,28	10,86^d 6,03^T
Auslastung 1 (%)	102	81	158	96	84	-	104
Auslastung 2 (%)	106	123	-	88	91	-	102
Auslastung ø (%)	104	102	158	92	88	-	103^T
W_S (km)	24,45	17,60	k.D.	k.D.	k.D.	42,05*	21,03*
W_{TI} (km)	6,50	4,25	k.D.	k.D.	k.D.	10,75*	5,38*
W_{TA} (km)	9,35	15,80	k.D.	k.D.	k.D.	25,15*	12,58*
ΣW (km)	40,30	37,65	k.D.	k.D.	k.D.	77,95*	38,98*
t_S (min)	358	334	k.D.	k.D.	k.D.	692*	346*
t_{TI} (min)	32	21	k.D.	k.D.	k.D.	53*	27*
t_{TA} (min)	87	62	k.D.	k.D.	k.D.	149*	75*
t_U (min)	8	11	k.D.	k.D.	k.D.	19*	10*
t_P (min)	36	37	k.D.	k.D.	k.D.	73*	37*
Σt (min)	521	465	k.D.	k.D.	k.D.	986*	493*
Z_{UL}	1	1	0	1	1	4	0,8
Z_{LP}	1	1	1	1	1	5	1
α_{tsi}	0,67	0,75	k.D.	k.D.	k.D.	-	0,71
ΣBL / t_S (B/h)	78	75	k.D.	k.D.	k.D.	-	76*
ΣG / t_S (Mg/h)	2,03	2,14	k.D.	k.D.	k.D.	-	2,09*
ΣBL / W_S (B/km)	19	24	k.D.	k.D.	k.D.	-	21
ΣG / W_S (Mg/km)	0,50	0,68	k.D.	k.D.	k.D.	-	0,52
t_S / ΣG (min/Mg)	29,54	28,02	k.D.	k.D.	k.D.	-	28,78
t_S / ΣBL (min/B)	0,77	0,80	k.D.	k.D.	k.D.	-	0,79
ΣBL / Z_{LP} (B/L)	465	416	359	483	432	-	431*
ΣG / Z_{LP} (t/L)	12,12	11,92	9,22	10,76	10,26	-	10,86*
WS / tS (km/h)	0,07	0,05	k.D.	k.D.	k.D.	-	0,06
WTI / tTI (km/h)	0,20	0,20	k.D.	k.D.	k.D.	-	0,20
WTA / tTA (km/h)	0,11	0,25	k.D.	k.D.	k.D.	-	0,17

Abbildung VII-4: Gewonnene Daten der KW 43 2004

	25.10.04	26.10.04	27.10.04	28.10.04	29.10.04	Summa	Durchschnitt
MGB 80	30	23	103	38	40	234	47
MGB 120	97	66	92	88	66	409	82
MGB 240	246	229	195	252	216	1138	228
MGB 1100	51	69	13	53	70	256	51
ΣBL	424	387	403	431	392	2037	407
G 1 (Mg)	5,66	4,58	4,12	5,40	5,08	24,84	4,97
G 2 (Mg)	5,82	6,72	4,84	5,68	4,82	27,88	5,58
ΣG (Mg)	11,48	11,30	8,96	11,08	9,90	52,72	10,54^d
							5,27^T
Auslastung 1 (%)	97	78	70	92	87	-	85
Auslastung 2 (%)	99	115	83	97	82	-	95
Auslastung ø (%)	98	97	77	95	85	-	90^T
W_S (km)	21,00	16,05	18,70	18,95	16,00	90,70	18,14
W_{TI} (km)	5,70	16,50	10,30	6,35	9,45	48,30	9,66
W_{TA} (km)	30,15	35,85	26,20	28,50	26,30	147,00	29,40
ΣW (km)	56,85	68,40	55,20	53,80	51,75	286,00	57,20
t_S (min)	342	312	314	316	293	1577	315
t_{TI} (min)	18	20	57	44	52	191	38
t_{TA} (min)	69	79	64	87	58	357	71
t_U (min)	26	30	22	25	29	132	26
t_P (min)	33	42	41	33	42	191	38
Σt (min)	488	483	498	505	474	2448	490
Z_{UL}	2	2	2	2	2	10	2,0
Z_{LP}	1	1	1	1	1	5	1
α_{tsI}	0,72	0,72	0,70	0,69	0,74	-	0,71
ΣBL / t_S (B/h)	74	74	77	82	80	-	78
ΣG / t_S (Mg/h)	2,01	2,17	1,71	2,10	2,03	-	2,01
ΣBL / W_S (B/km)	20	24	22	23	25	-	23
ΣG / W_S (Mg/km)	0,55	0,70	0,48	0,58	0,62	-	0,58
t_S / ΣG (min/Mg)	29,79	27,61	35,04	28,52	29,60	-	30,11
t_S / ΣBL (min/B)	0,81	0,81	0,78	0,73	0,75	-	0,77
ΣBL / Z_{LP} (B/L)	424	387	403	431	392	-	407
ΣG / Z_{LP} (t/L)	11,48	11,30	8,96	11,08	9,90	-	10,54
WS / tS (km/h)	0,06	0,05	0,06	0,06	0,05	-	0,06
WTI / tTI (km/h)	0,32	0,83	0,18	0,14	0,18	-	0,25
WTA / tTA (km/h)	0,44	0,45	0,41	0,33	0,45	-	0,41

Abbildung VII-5: Gewonnene Daten der KW 44 2004

	01.11.04	02.11.04	03.11.04	04.11.04	05.11.04	Summa	Durchschnitt
MGB 80	70	58	74	75	79	356	71
MGB 120	106	73	82	99	77	437	87
MGB 240	252	230	193	261	216	1152	230
MGB 1100	54	60	14	56	70	254	51
ΣBL	482	421	363	491	442	2199	440
G 1 (Mg)	6,56	4,70	9,20	5,96	4,96	31,38	6,28
G 2 (Mg)	6,56	6,85	-	4,66	5,12	23,19	5,80
ΣG (Mg)	13,12	11,55	9,20	10,62	10,08	54,57	10,91^d
							6,06^T
Auslastung 1 (%)	112	80	157	102	85	-	107
Auslastung 2 (%)	112	117	-	80	88	-	99
Auslastung ø (%)	112	99	157	91	86	-	104^T
W_S (km)	24,45	13,75	21,65	19,30	13,20	92,35	18,47
W_{TI} (km)	6,80	4,70	9,60	6,50	4,80	32,40	6,48
W_{TA} (km)	29,05	21,70	13,25	16,80	30,95	111,75	22,35
ΣW (km)	60,30	40,15	44,50	42,60	48,95	236,50	47,30
t_S (min)	367	339	360	359	289	1714	343
t_{TI} (min)	33	20	29	17	15	114	23
t_{TA} (min)	59	65	45	34	71	274	55
t_U (min)	20	10	0	9	26	65	16
t_P (min)	31	34	35	39	41	180	36
Σt (min)	510	468	469	458	442	2347	469
Z_{UL}	2	1	0	1	2	6	1,2
Z_{LP}	1	1	1	1	1	5	1
α_{tsI}	0,69	0,75	0,75	0,76	0,79	-	0,75
ΣBL / t_S (B/h)	79	75	61	82	92	-	78
ΣG / t_S (Mg/h)	2,14	2,04	1,53	1,77	2,09	-	1,92
ΣBL / W_S (B/km)	20	31	17	25	33	-	25
ΣG / W_S (Mg/km)	0,54	0,84	0,42	0,55	0,76	-	0,59
t_S / ΣG (min/Mg)	27,97	29,35	39,13	33,80	28,67	-	31,79
t_S / ΣBL (min/B)	0,76	0,81	0,99	0,73	0,65	-	0,79
ΣBL / Z_{LP} (B/L)	482	421	363	491	442	-	440
ΣG / Z_{LP} (t/L)	13,12	11,55	9,20	10,62	10,08	-	10,91
WS / tS (km/h)	0,07	0,04	0,06	0,05	0,05	-	0,05
WTI / tTI (km/h)	0,21	0,24	0,33	0,38	0,32	-	0,28
WTA / tTA (km/h)	0,49	0,33	0,29	0,49	0,44	-	0,41

Abbildung VII-6: Gewonnene Daten der KW 45 2004

	08.11.04	09.11.04	10.11.04	11.11.04	12.11.04	Summa	Durchschnitt
MGB 80	30	25	97	37	40	229	46
MGB 120	97	64	88	87	66	402	80
MGB 240	246	215	196	252	216	1125	225
MGB 1100	51	60	13	53	70	247	49
ΣBL	424	364	394	429	392	2003	401
G 1 (Mg)	6,02	5,46	9,38	5,24	4,80	30,90	6,18
G 2 (Mg)	5,54	5,44	-	4,40	5,04	20,42	5,11
ΣG (Mg)	11,56	10,90	9,38	9,64	9,84	51,32	10,26^d
							5,70^T
Auslastung 1 (%)	103	93	160	90	82	-	106
Auslastung 2 (%)	95	93	-	75	86	-	87
Auslastung ø (%)	99	93	160	82	84	-	97^T
W_S (km)	23,15	15,20	18,40	17,45	11,65	85,85	17,17
W_{TI} (km)	6,95	5,10	10,90	12,30	6,30	41,55	8,31
W_{TA} (km)	20,40	22,05	12,20	16,70	29,45	100,80	20,16
ΣW (km)	50,50	42,35	41,50	46,45	47,40	228,20	45,64
t_S (min)	348	320	359	322	290	1639	328
t_{TI} (min)	34	25	47	51	18	175	35
t_{TA} (min)	36	52	36	41	85	250	50
t_U (min)	10	10	0	11	19	50	13
t_P (min)	23	33	25	30	37	148	30
Σt (min)	451	440	467	455	449	2262	452
Z_{UL}	1	1	0	1	2	5	1,0
Z_{LP}	1	1	1	1	1	5	1
α_{tsI}	0,78	0,80	0,75	0,77	0,78	-	0,77
ΣBL / t_S (B/h)	73	68	66	80	81	-	74
ΣG / t_S (Mg/h)	1,99	2,04	1,57	1,80	2,04	-	1,89
ΣBL / W_S (B/km)	18	24	21	25	34	-	24
ΣG / W_S (Mg/km)	0,50	0,72	0,51	0,55	0,84	-	0,60
t_S / ΣG (min/Mg)	30,10	29,36	38,27	33,40	29,47	-	32,12
t_S / ΣBL (min/B)	0,82	0,88	0,91	0,75	0,74	-	0,82
ΣBL / Z_{LP} (B/L)	424	364	394	429	392	-	401
ΣG / Z_{LP} (t/L)	11,56	10,90	9,38	9,64	9,84	-	10,26
WS / tS (km/h)	0,07	0,05	0,05	0,05	0,04	-	0,05
WTI / tTI (km/h)	0,20	0,20	0,23	0,24	0,35	-	0,24
WTA / tTA (km/h)	0,57	0,42	0,34	0,41	0,35	-	0,40

Abbildung VII-7: Gewonnene Daten der KW 46 2004

	15.11.04	16.11.04	17.11.04	18.11.04	19.11.04	Summa	Durchschnitt
MGB 80	57	54	70	68	69	318	64
MGB 120	104	72	81	98	77	432	86
MGB 240	252	229	194	262	218	1155	231
MGB 1100	54	60	14	56	70	254	51
ΣBL	467	415	359	484	434	2159	432
G 1 (Mg)	4,36	4,98	8,65	5,84	4,82	28,65	5,73
G 2 (Mg)	7,82	6,88		4,28	5,14	24,12	6,03
ΣG (Mg)	12,18	11,86	8,65	10,12	9,96	52,77	10,55^d
							5,86^T
Auslastung 1 (%)	75	85	148	100	82	-	98
Auslastung 2 (%)	134	118		73	88	-	103
Auslastung ø (%)	104	101	148	86	85	-	100^T
W_S (km)	22,55	45,20	21,25	k.D.	k.D.	89,00	29,67
W_{TI} (km)	4,90	4,50	3,00	k.D.	k.D.	12,40	4,13
W_{TA} (km)	22,10	20,00	4,10	k.D.	k.D.	46,20	15,40
ΣW (km)	49,55	69,70	28,35	k.D.	k.D.	147,60	49,20
				k.D.	k.D.		
t_S (min)	421	369	372	k.D.	k.D.	1162	387
t_{TI} (min)	24	12	11	k.D.	k.D.	47	16
t_{TA} (min)	69	58	17	k.D.	k.D.	144	48
t_U (min)	9	11	0	k.D.	k.D.	20	10
t_P (min)	27	31	36	k.D.	k.D.	94	31
Σt (min)	550	481	436	k.D.	k.D.	1467	489
Z_{UL}	1	1	0	1	1	4	0,8
Z_{LP}	1	1	1	1	1	3	1
α_{tsi}	0,64	0,73	0,80	k.D.	k.D.	-	0,72
ΣBL / t_S (B/h)	67	67	58	k.D.	k.D.	-	64
ΣG / t_S (Mg/h)	1,74	1,93	1,39	k.D.	k.D.	-	1,69
ΣBL / W_S (B/km)	21	9	17	k.D.	k.D.	-	16
ΣG / W_S (Mg/km)	0,54	0,26	0,41	k.D.	k.D.	-	0,36
t_S / ΣG (min/Mg)	34,56	31,11	43,03	k.D.	k.D.	-	36,23
t_S / ΣBL (min/B)	0,90	0,89	1,04	k.D.	k.D.	-	0,94
ΣBL / Z_{LP} (B/L)	467	415	359	484	434	-	432
ΣG / Z_{LP} (t/L)	12,18	11,86	8,65	10,12	9,90	-	10,54
WS / tS (km/h)	0,05	0,12	0,06	k.D.	k.D.	-	0,08
WTI / tTI (km/h)	0,20	0,38	0,27	k.D.	k.D.	-	0,26
WTA / tTA (km/h)	0,32	0,34	0,24	k.D.	k.D.	-	0,32

Abbildung VII-8: Gewonnene Daten der KW 47 2004

	22.11.04	23.11.04	24.11.04	25.11.04	26.11.04	Summa	Durchschnitt
MGB 80	31	23	105	38	40	237	47
MGB 120	97	65	90	88	66	406	81
MGB 240	247	228	195	252	217	1139	228
MGB 1100	51	58	13	53	70	245	49
ΣBL	426	374	403	431	393	2027	405
G 1 (Mg)	4,48	5,18	8,98	5,30	5,78	29,72	5,94
G 2 (Mg)	6,76	6,88	-	3,98	5,18	22,80	5,70
ΣG (Mg)	11,24	12,06	8,98	9,28	10,96	52,52	10,50^d
							5,84^T
Auslastung 1 (%)	77	89	154	91	99	-	102
Auslastung 2 (%)	116	118	-	68	89	-	97
Auslastung ø (%)	96	103	154	79	94	-	100^T
W_S (km)	25,10	17,60	21,55	19,75	15,00	99,00	19,80
W_{TI} (km)	4,80	4,05	5,00	5,20	3,80	22,85	4,57
W_{TA} (km)	21,55	21,75	4,05	18,85	21,75	87,95	17,59
ΣW (km)	51,45	43,40	30,60	43,80	40,55	209,80	41,96
t_S (min)	403	375	409	349	292	1828	366
t_{TI} (min)	10	16	14	16	44	100	20
t_{TA} (min)	51	48	12	61	46	218	44
t_U (min)	11	10	0	11	13	45	11
t_P (min)	34	30	30	25	46	165	33
Σt (min)	509	479	465	462	441	2356	471
Z_{UL}	1	1	0	1	1	4	0,8
Z_{LP}	1	1	1	1	1	5	1
α_{tsI}	0,69	0,73	0,75	0,76	0,79	-	0,74
ΣBL / t_S (B/h)	63	60	59	74	81	-	67
ΣG / t_S (Mg/h)	1,67	1,93	1,32	1,60	2,25	-	1,75
ΣBL / W_S (B/km)	17	21	19	22	26	-	21
ΣG / W_S (Mg/km)	0,45	0,69	0,42	0,47	0,73	-	0,53
t_S / ΣG (min/Mg)	35,85	31,09	45,55	37,61	26,64	-	35,35
t_S / ΣBL (min/B)	0,95	1,00	1,01	0,81	0,74	-	0,90
ΣBL / Z_{LP} (B/L)	426	374	403	431	393	-	405
ΣG / Z_{LP} (t/L)	11,24	12,06	8,98	9,28	10,96	-	10,50
WS / tS (km/h)	0,06	0,05	0,05	0,06	0,05	-	0,05
WTI / tTI (km/h)	0,48	0,25	0,36	0,33	0,09	-	0,23
WTA / tTA (km/h)	0,42	0,45	0,34	0,31	0,47	-	0,40

Abbildung VII-9: Gewonnene Daten der KW 48 2004

	29.11.04	30.11.04	01.12.04	02.12.04	03.12.04	Summa	Durchschnitt
MGB 80	71	58	74	75	79	357	71
MGB 120	106	72	81	99	77	435	87
MGB 240	252	229	193	262	218	1154	231
MGB 1100	54	60	15	56	70	255	51
ΣBL	483	419	363	492	444	2201	440
G 1 (Mg)	5,88	4,86	8,34	5,74	5,08	29,90	5,98
G 2 (Mg)	6,40	6,88	-	4,14	5,48	22,90	5,73
G 3 (Mg)	-	7,36	-	-	-	7,36	7,36
ΣG (Mg)	12,28	19,10	8,34	9,88	10,56	52,80	12,03^d
							6,02T
Auslastung 1 (%)	101	83	143	98	87	-	102
Auslastung 2 (%)	109	118	-	71	94	-	98
Auslastung 3 (%)	-	126	-	-	-	-	126
Auslastung ø (%)	105	109	143	84	90	-	103^T
W_S (km)	22,20	18,35	19,70	21,60	17,15	99,00	19,80
W_{TI} (km)	5,40	3,50	8,00	6,95	6,25	30,10	6,02
W_{TA} (km)	20,85	25,65	10,15	26,85	29,95	113,45	22,69
ΣW (km)	48,45	47,50	37,85	55,40	53,35	242,55	48,51
t_s (min)	368	350	349	335	316	1718	344
t_{TI} (min)	18	11	25	39	19	112	22
t_{TA} (min)	53	58	32	47	65	255	51
t_U (min)	16	16	0	24	26	82	21
t_P (min)	24	29	38	35	42	168	34
Σt (min)	479	464	444	480	468	2335	467
Z_{UL}	1	2	0	2	2	7	1,4
Z_{LP}	1	1	1	1	1	5	1
α_{tsI}	0,73	0,75	0,79	0,73	0,75	-	0,75
ΣBL / t_s (B/h)	79	72	62	88	84	-	77
ΣG / t_s (Mg/h)	2,00	3,27	1,43	1,77	2,01	-	2,10
ΣBL / W_S (B/km)	22	23	18	23	26	-	22
ΣG / W_S (Mg/km)	0,55	1,04	0,42	0,46	0,62	-	0,61
t_s / ΣG (min/Mg)	29,97	18,32	41,85	33,91	29,92	-	30,79
t_s / ΣBL (min/B)	0,76	0,84	0,96	0,68	0,71	-	0,79
ΣBL / Z_{LP} (B/L)	483	419	363	492	444	-	440
ΣG / Z_{LP} (t/L)	12,28	19,10	8,34	9,88	10,56	-	12,03
WS / t_s (km/h)	0,06	0,05	0,06	0,06	0,05	-	0,06
WTI / t_{TI} (km/h)	0,30	0,32	0,32	0,18	0,33	-	0,27
WTA / t_{TA} (km/h)	0,39	0,44	0,32	0,57	0,46	-	0,44

Abbildung VII-10: Gewonnene Daten der KW 49 2004

	06.12.04	07.12.04	08.12.04	09.12.04	10.12.04	Summa	Durchschnitt
MGB 80	31	25	98	37	41	232	46
MGB 120	97	64	88	88	66	403	81
MGB 240	248	229	195	252	217	1141	228
MGB 1100	51	58	13	53	70	245	49
ΣBL	427	376	394	430	394	2021	404
G 1 (Mg)	5,38	4,48	9,12	5,42	5,56	29,96	5,99
G 2 (Mg)	5,80	6,90	-	-	4,96	17,66	5,89
ΣG (Mg)	11,18	11,38	9,12	5,42	10,52	47,62	9,52^d
							5,95^T
Auslastung 1 (%)	92	77	156	93	95	-	102
Auslastung 2 (%)	99	118	-	-	85	-	101
Auslastung ø (%)	96	97	156	93	90	-	102^T
W_S (km)	22,35	15,95	20,00	k.D.	12,95	71,25*	17,81*
W_{TI} (km)	5,65	5,40	8,70	k.D.	7,55	27,30*	6,83*
W_{TA} (km)	2,07	16,80	9,30	k.D.	20,85	49,02*	12,26*
ΣW (km)	30,07	38,15	38,00	k.D.	41,35	147,57*	36,89*
t_S (min)	347	340	376	k.D.	289	1352*	338*
t_{TI} (min)	33	34	18	k.D.	29	114*	29*
t_{TA} (min)	71	42	30	k.D.	73	216*	54*
t_U (min)	17	10	0	k.D.	11	38*	13*
t_P (min)	25	35	32	k.D.	42	134*	34*
Σt (min)	493	461	456	k.D.	444	1854*	464
Z_{UL}	1	1	0	0	1	3	0,6
Z_{LP}	1	1	1	1	1	5	1
α_{tsI}	0,71	0,76	0,77	k.D.	0,79	-	0,76
ΣBL / t_S (B/h)	74	66	63	k.D.	82	-	71*
ΣG / t_S (Mg/h)	1,93	2,01	1,46	k.D.	2,18	-	1,90*
ΣBL / W_S (B/km)	19	24	20	k.D.	30	-	23
ΣG / W_S (Mg/km)	0,50	0,71	0,46	k.D.	0,81	-	0,53
t_S / ΣG (min/Mg)	31,04	29,88	41,23	k.D.	27,47	-	32,40
t_S / ΣBL (min/B)	0,81	0,90	0,95	k.D.	0,73	-	0,85
ΣBL / Z_{LP} (B/L)	427	376	394	430	394	-	404
ΣG / Z_{LP} (t/L)	11,18	11,38	9,12	5,42	10,52	-	9,52
WS / tS (km/h)	0,06	0,05	0,05	k.D.	0,04	-	0,05
WTI / tTI (km/h)	0,17	0,16	0,48	k.D.	0,26	-	0,24
WTA / tTA (km/h)	0,03	0,40	0,31	k.D.	0,29	-	0,23

Abbildung VII-11: Gewonnene Daten der KW 50 2004

	13.12.04	14.12.04	15.12.04	16.12.04	17.12.04	Summa	Durchschnitt
MGB 80	57	55	70	68	70	320	64
MGB 120	104	73	81	99	77	434	87
MGB 240	253	230	193	262	218	1156	231
MGB 1100	54	61	15	56	70	256	51
ΣBL	468	419	359	485	435	2166	433
G 1 (Mg)	5,94	4,42	8,10	6,60	3,78	28,84	5,77
G 2 (Mg)	6,06	7,10	-	4,80	5,90	23,86	5,97
ΣG (Mg)	12,00	11,52	8,10	11,40	9,68	52,70	10,54^d
							5,86^T
Auslastung 1 (%)	102	76	138	113	65	-	99
Auslastung 2 (%)	104	121	-	82	101	-	102
Auslastung ø (%)	103	98	138	97	83	-	100^T
W_S (km)	24,10	15,30	17,60	20,20	11,80	89,00	17,80
W_{TI} (km)	5,35	5,70	9,80	6,80	9,80	37,45	7,49
W_{TA} (km)	20,55	20,55	8,25	16,70	23,85	89,90	17,98
ΣW (km)	50,00	41,55	35,65	43,70	45,45	216,35	43,27
t_S (min)	402	329	369	355	295	1750	350
t_{TI} (min)	17	29	32	31	27	136	27
t_{TA} (min)	48	53	22	44	111	278	56
t_U (min)	8	10	0	8	10	36	9
t_P (min)	33	40	33	31	31	168	34
Σt (min)	508	461	456	469	474	2368	474
Z_{UL}	1	1	0	1	1	4	0,8
Z_{LP}	1	1	1	1	1	5	1
α_{tsI}	0,69	0,76	0,77	0,75	0,74	-	0,74
ΣBL / t_S (B/h)	70	76	58	82	88	-	75
ΣG / t_S (Mg/h)	1,79	2,10	1,32	1,93	1,97	-	1,82
ΣBL / W_S (B/km)	19	27	20	24	37	-	26
ΣG / W_S (Mg/km)	0,50	0,75	0,46	0,56	0,82	-	0,59
t_S / ΣG (min/Mg)	33,50	28,56	45,56	31,14	30,48	-	33,85
t_S / ΣBL (min/B)	0,86	0,79	1,03	0,73	0,68	-	0,82
ΣBL / Z_{LP} (B/L)	468	419	359	485	435	-	433
ΣG / Z_{LP} (t/L)	12,00	11,52	8,10	11,40	9,68	-	10,54
WS / tS (km/h)	0,06	0,05	0,05	0,06	0,04	-	0,05
WTI / tTI (km/h)	0,31	0,20	0,31	0,22	0,36	-	0,28
WTA / tTA (km/h)	0,43	0,39	0,38	0,38	0,21	-	0,32

Abbildung VII-12: Gewonnene Daten der KW 51 2004

	20.12.04	21.12.04	22.12.04	23.12.04	24.12.04	Summa	Durchschnitt
MGB 80	31	23	105	38	41	238	48
MGB 120	97	66	90	89	66	408	82
MGB 240	248	229	195	252	217	1141	228
MGB 1100	51	59	13	53	70	246	49
ΣBL	427	377	403	432	394	2033	407
G 1 (Mg)	6,12	4,32	8,86	5,82	4,08	29,20	5,84
G 2 (Mg)	5,82	7,02	-	4,94	6,38	24,16	6,04
ΣG (Mg)	11,94	11,34	8,86	10,76	10,46	53,36	10,67^d
							5,93^T
Auslastung 1 (%)	105	74	151	99	70	-	100
Auslastung 2 (%)	99	120	-	84	109	-	103
Auslastung ø (%)	102	97	151	92	89	-	101^T
W_S (km)	21,85	15,55	19,40	21,50	12,20	90,50	18,10
W_{TI} (km)	6,20	4,50	11,85	5,95	4,45	32,95	6,59
W_{TA} (km)	20,10	15,50	7,45	16,75	29,95	89,75	17,95
ΣW (km)	48,15	35,55	38,70	44,20	46,60	213,20	42,64
t_S (min)	343	329	388	334	269	1663	333
t_{TI} (min)	25	19	48	21	11	124	25
t_{TA} (min)	61	59	25	48	91	284	57
t_U (min)	12	10	0	7	36	65	16
t_P (min)	24	39	37	34	35	169	34
Σt (min)	465	456	498	444	442	2305	461
Z_{UL}	1	1	0	1	2	5	1,0
Z_{LP}	1	1	1	1	1	5	1
α_{tsI}	0,75	0,77	0,70	0,79	0,79	-	0,76
ΣBL / t_S (B/h)	75	69	62	78	88	-	74
ΣG / t_S (Mg/h)	2,09	2,07	1,37	1,93	2,33	-	1,96
ΣBL / W_S (B/km)	20	24	21	20	32	-	23
ΣG / W_S (Mg/km)	0,55	0,73	0,46	0,50	0,86	-	0,59
t_S / ΣG (min/Mg)	28,73	29,01	43,79	31,04	25,72	-	31,66
t_S / ΣBL (min/B)	0,80	0,87	0,96	0,77	0,68	-	0,82
ΣBL / Z_{LP} (B/L)	427	377	403	432	394	-	407
ΣG / Z_{LP} (t/L)	11,94	11,34	8,86	10,76	10,46	-	10,67
WS / tS (km/h)	0,06	0,05	0,05	0,06	0,05	-	0,05
WTI / tTI (km/h)	0,25	0,24	0,25	0,28	0,40	-	0,27
WTA / tTA (km/h)	0,33	0,26	0,30	0,35	0,33	-	0,32

Abbildung VII-13: Gewonnene Daten der KW 52 2004

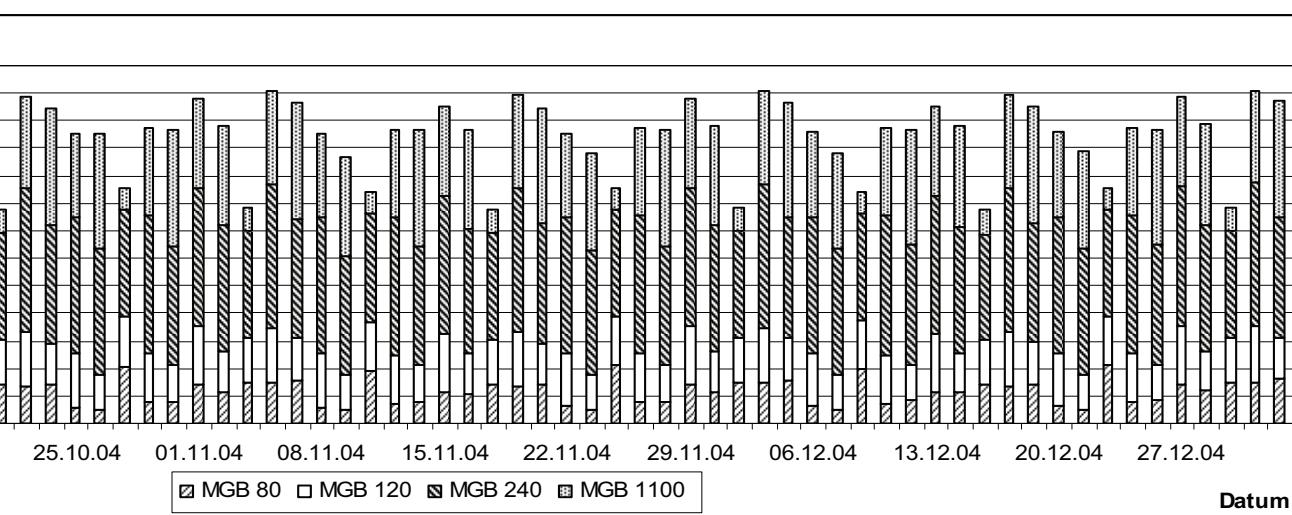
	27.12.04	28.12.04	29.12.04	30.12.04	31.12.04	Summa	Durchschnitt
MGB 80	71	59	74	75	80	359	72
MGB 120	106	73	81	100	77	437	87
MGB 240	253	230	193	262	218	1156	231
MGB 1100	54	61	15	56	70	256	51
ΣBL	484	423	363	493	445	2208	442
G 1 (Mg)	5,90	4,76	8,90	8,90	3,60	32,06	6,41
G 2 (Mg)	5,78	6,72	-	4,40	6,08	22,98	5,75
G 3 (Mg)	-	-	-	19,41	-	19,41	19,41
ΣG (Mg)	11,68	11,48	8,90	32,71	9,68	55,04	14,89^d
							7,45^T
Auslastung 1 (%)	101	81	152	152	62	-	110
Auslastung 2 (%)	99	115	-	75	104	-	98
Auslastung 3 (%)	-	-	-	332	-	-	332
Auslastung ø (%)	100	98	152	186	83	-	127^T
W_S (km)	22,45	14,50	19,95	22,95	11,70	91,55	18,31
W_{TI} (km)	6,95	7,50	1,01	6,20	5,65	27,31	5,46
W_{TA} (km)	20,25	17,45	7,35	27,45	29,80	102,30	20,46
ΣW (km)	49,65	39,45	28,31	56,60	47,15	221,16	44,23
t_s (min)	342	327	358	337	273	1637	327
t_{TI} (min)	40	21	36	18	11	126	25
t_{TA} (min)	51	62	17	72	75	277	55
t_U (min)	10	10	0	18	18	56	14
t_P (min)	21	42	36	85	37	221	44
Σt (min)	464	462	447	530	414	2317	463
Z_{UL}	1	1	0	2	2	6	1,2
Z_{LP}	1	1	1	1	1	5	1
α_{tsI}	0,75	0,76	0,78	0,66	0,85	-	0,76
ΣBL / t_s (B/h)	85	78	61	88	98	-	82
ΣG / t_s (Mg/h)	2,05	2,11	1,49	5,82	2,13	-	2,72
ΣBL / W_S (B/km)	22	29	18	21	38	-	26
ΣG / W_S (Mg/km)	0,52	0,79	0,45	1,43	0,83	-	0,81
t_s / ΣG (min/Mg)	39,73	40,24	50,22	16,20	42,77	-	37,83
t_s / ΣBL (min/B)	0,96	1,09	1,23	1,08	0,93	-	1,06
ΣBL / Z_{LP} (B/L)	484	423	363	493	445	-	442
ΣG / Z_{LP} (t/L)	11,68	11,48	8,90	32,71	9,68	-	14,89
WS / t_s (km/h)	0,07	0,04	0,06	0,07	0,04	-	0,06
WTI / t_{TI} (km/h)	0,17	0,36	0,03	0,34	0,51	-	0,22
WTA / t_{TA} (km/h)	0,40	0,28	0,43	0,38	0,40	-	0,37

Abbildung VII-14: Gewonnene Daten der KW 53 2004

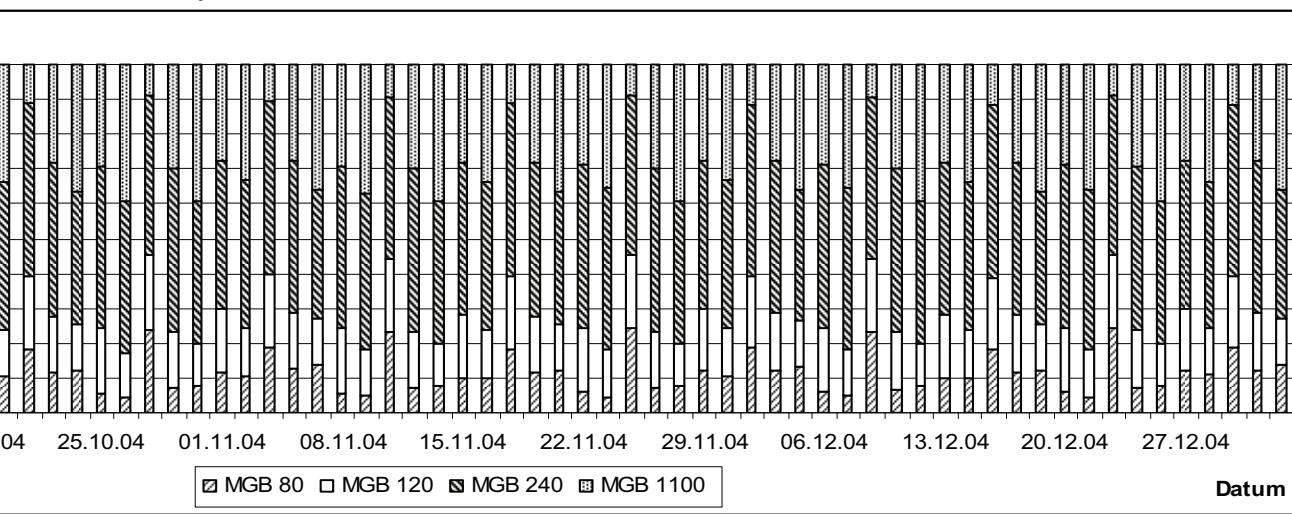
Verwendete Abkürzungen:

- k.D. – Keine Daten vorhanden
- * – Werte sind aus unvollständigen Daten ermittelt
- ^d – Auf Tag bezogener Durchschnitt
- ^T – Auf Tour bezogener Durchschnitt

lungen der Anzahl und Verteilung der täglich entsorgten Sammelbehälter

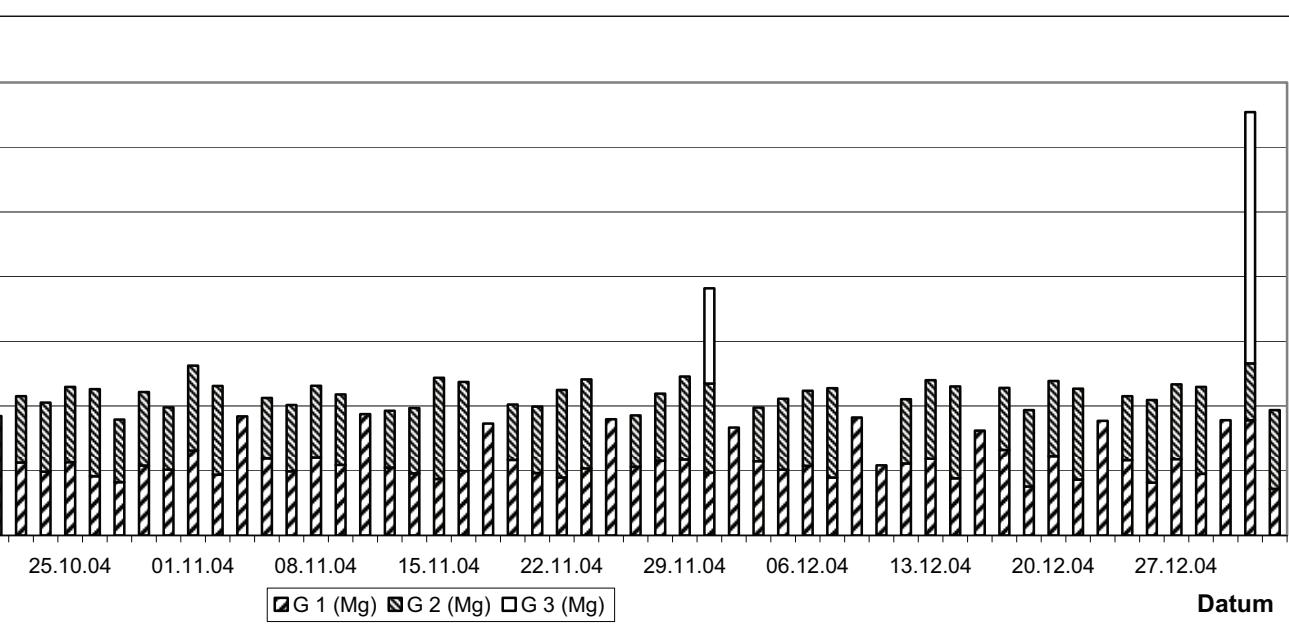


h entleerten Restabfallsammelbehälter



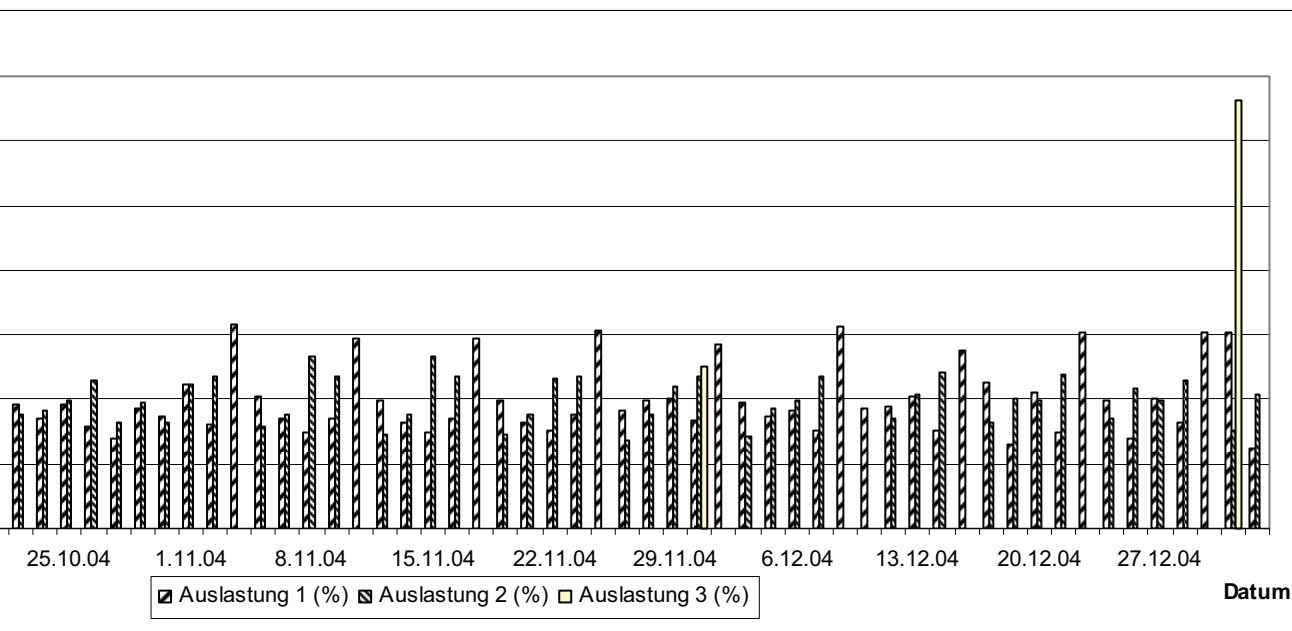
täglich entleerten Sammelbehälter

Übersicht des Verlaufs der täglich entsorgten Restabfallmenge



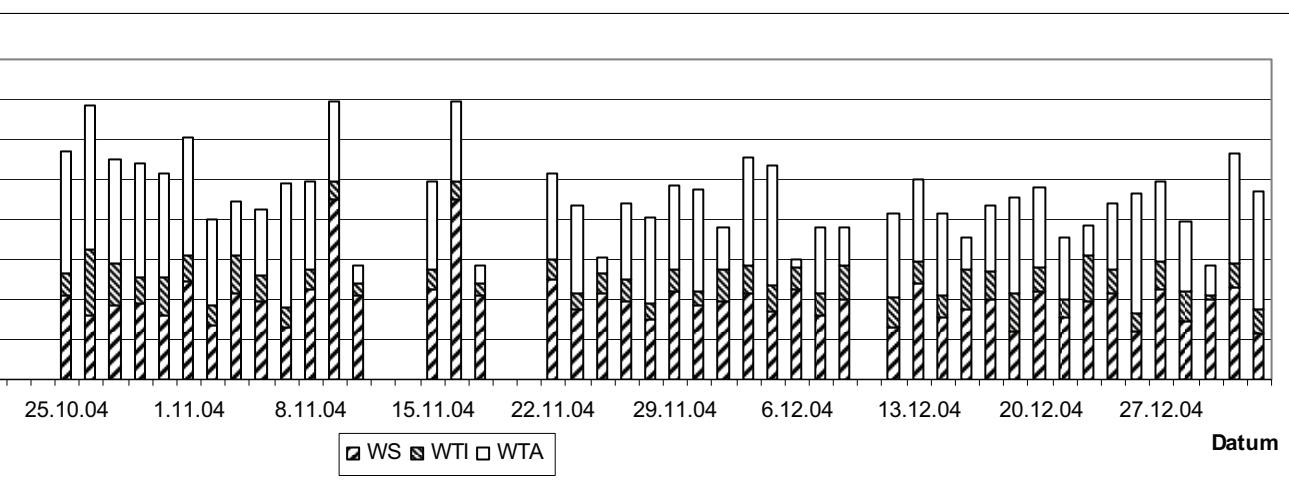
Übersicht der Restabfallmenge während der Untersuchung

ng der Auslastung des Sammelfahrzeuges

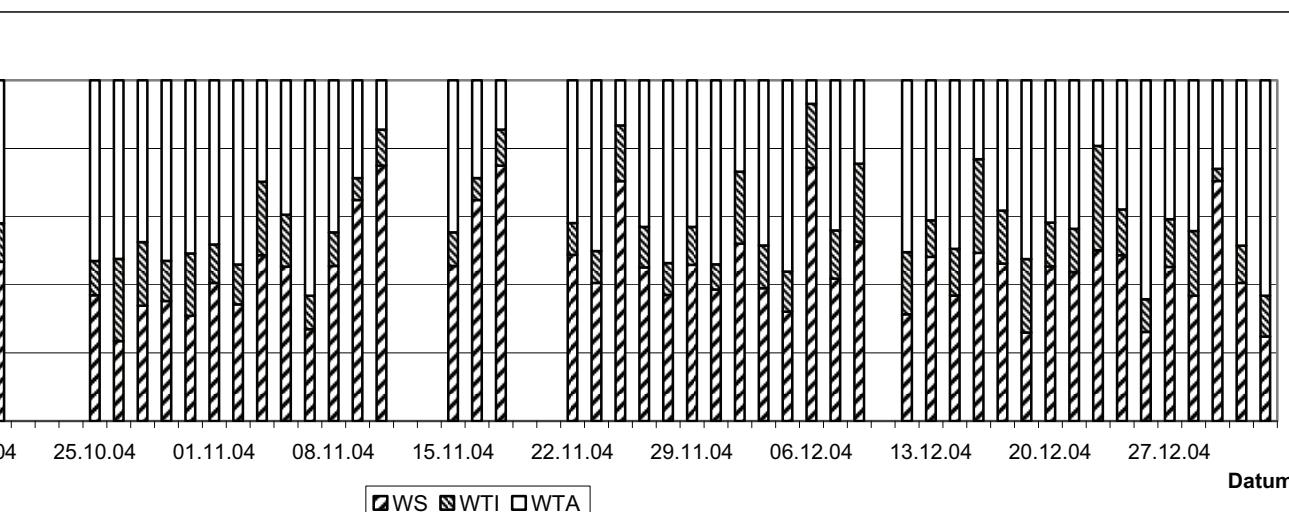


lastung des Sammelfahrzeuges während der Untersuchung

ungen des Verlaufs der Längen der täglich befahrenen Wege



nen Wege nach Kategorien



nhrenen Wege

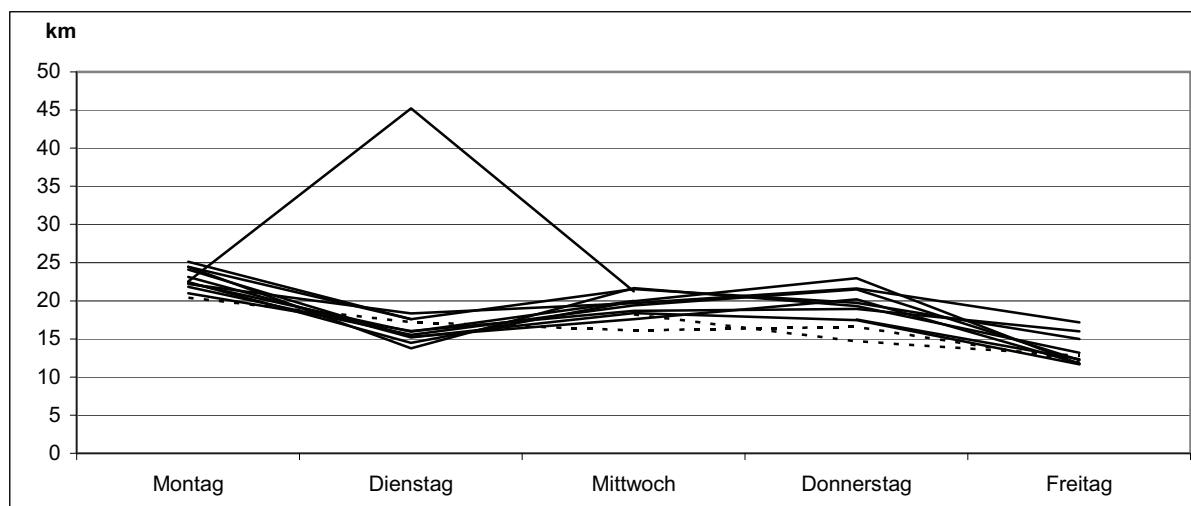


Abbildung XI-3: Länge des Sammelweges an den Wochentagen

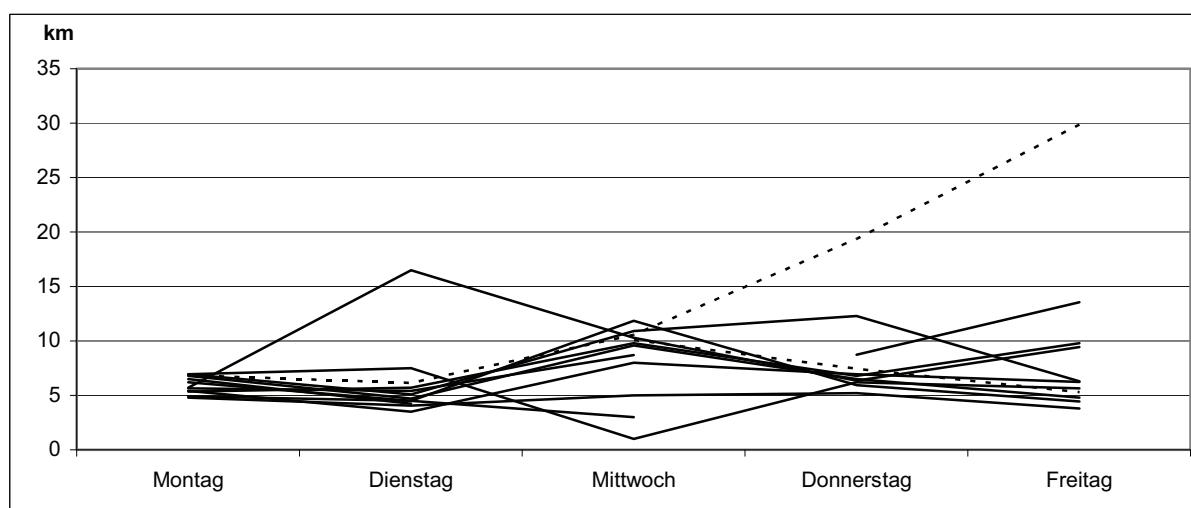


Abbildung XI-4: Länge des Transportweges innerhalb des Sammelgebietes an den Wochentagen

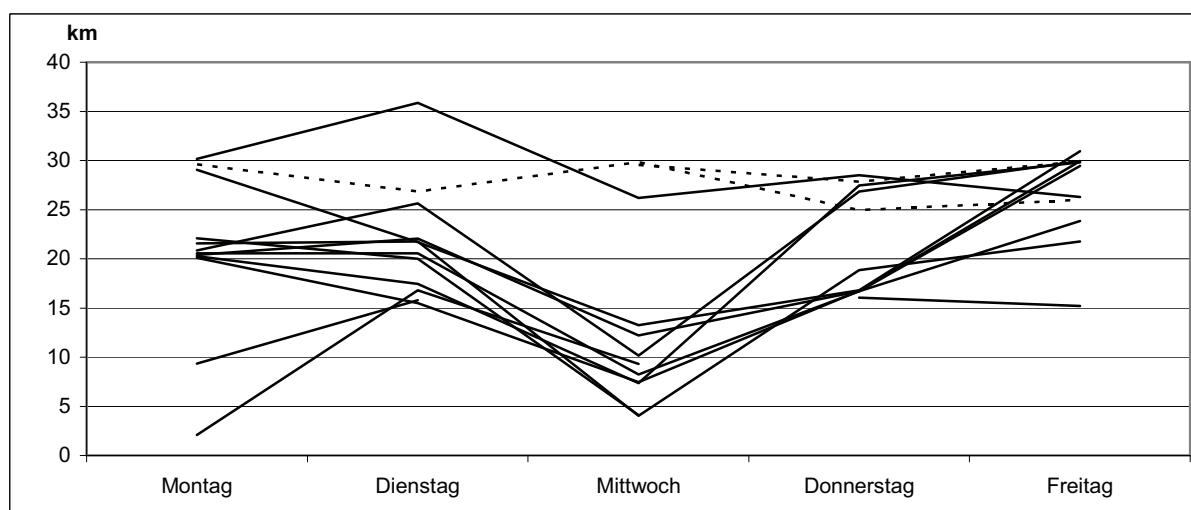
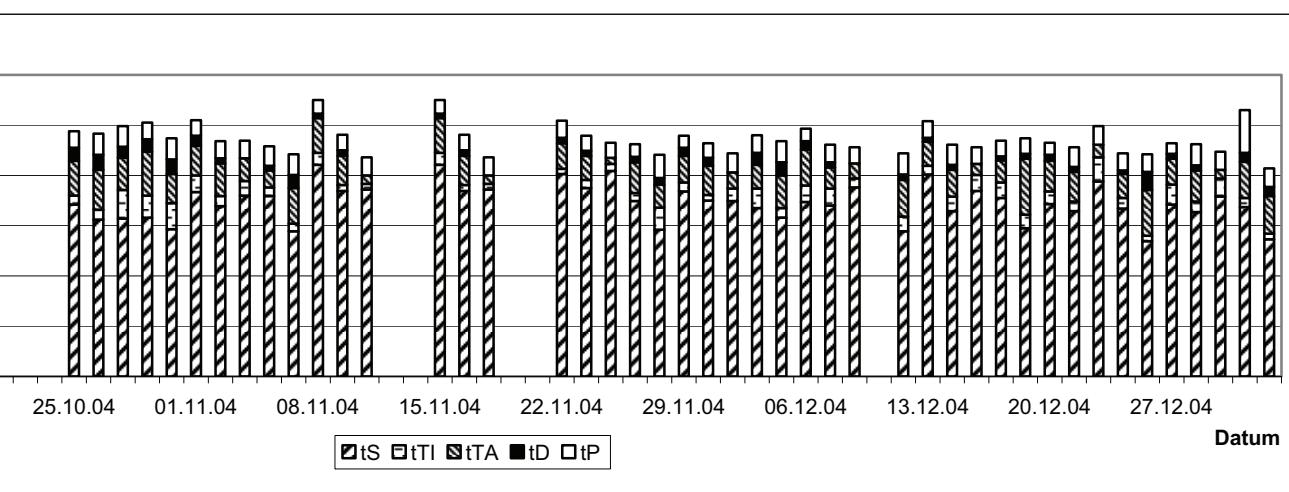
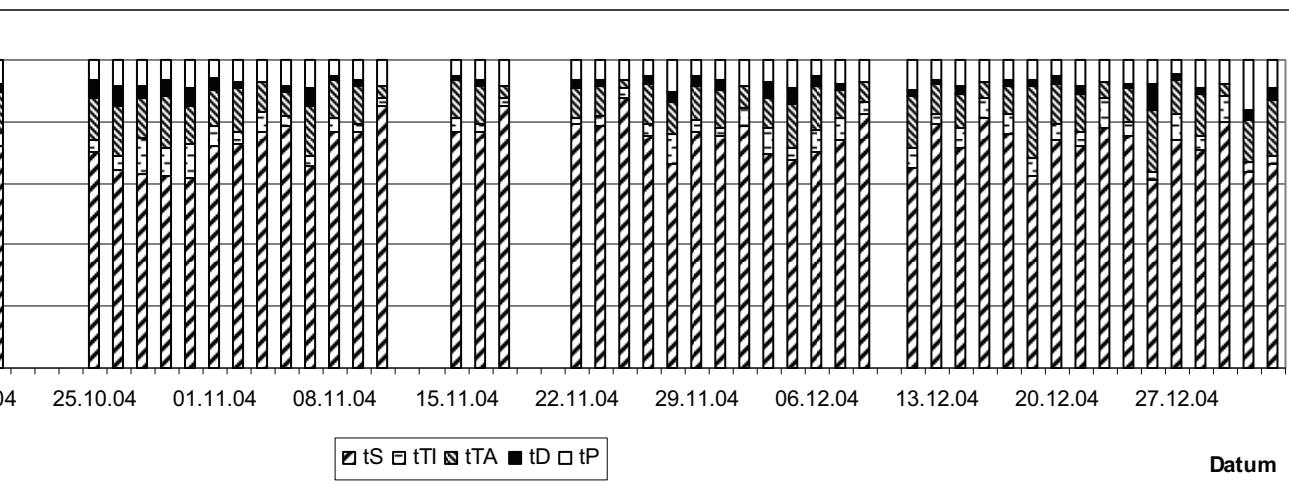


Abbildung XI-5: Länge des Transportweges außerhalb des Entsorgungsgebietes an den Wochentagen

ungen des Zeitverbrauchs, kategorisiert nach Arbeitsvorgänge



nach Kategorien



nach Kategorien

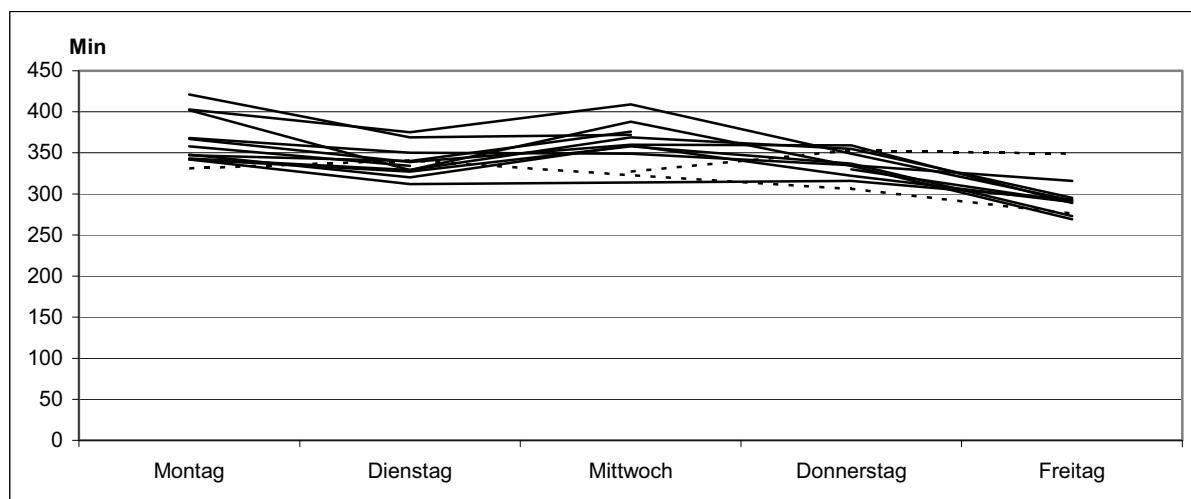


Abbildung XII-3: Gebrauchte Zeit für die Sammlung

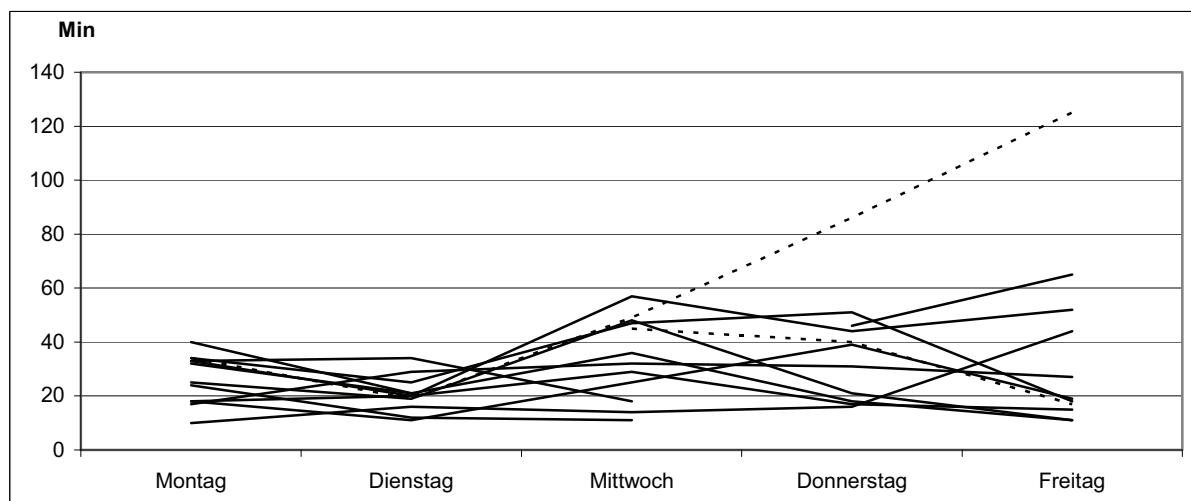


Abbildung XII-4: Gebrauchte Zeit für den Transport innerhalb des Sammelgebietes

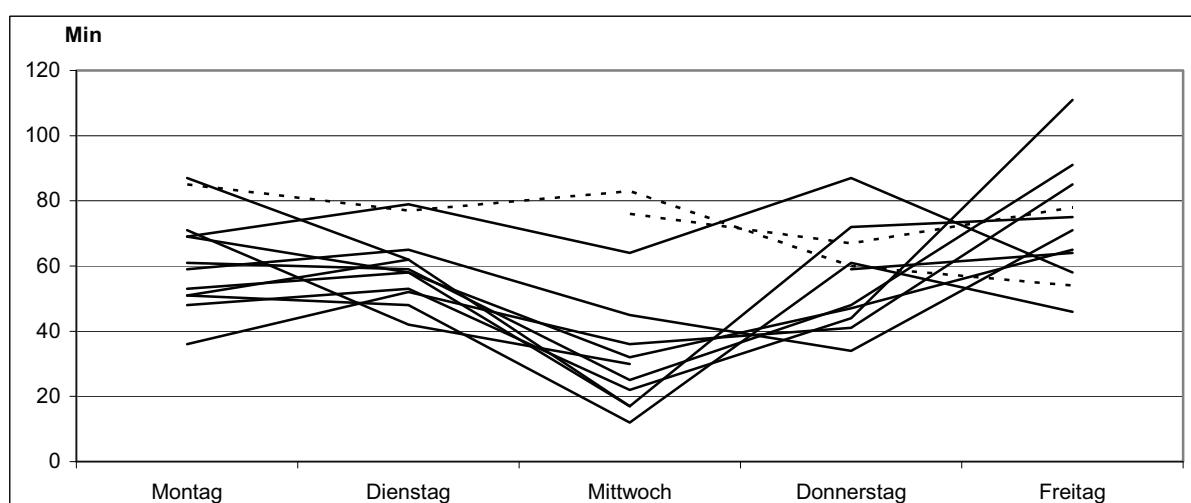


Abbildung XII-5: Gebrauchte Zeit für den Transport außerhalb des Entsorgungsgebietes

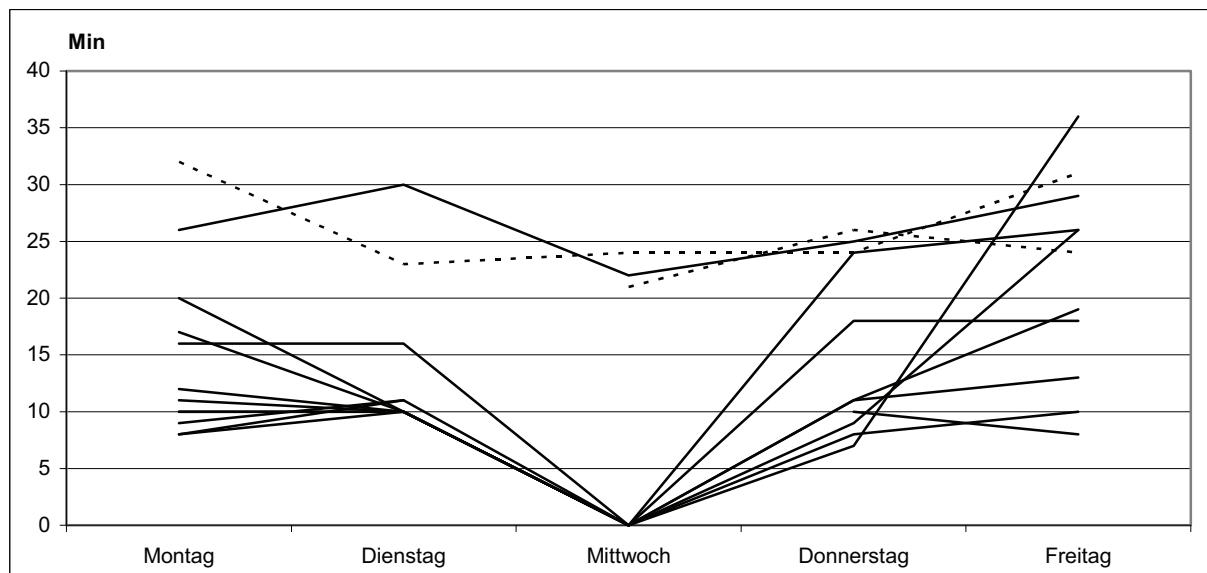


Abbildung XII-6: Gebrauchte Zeit auf der Umschlagstation

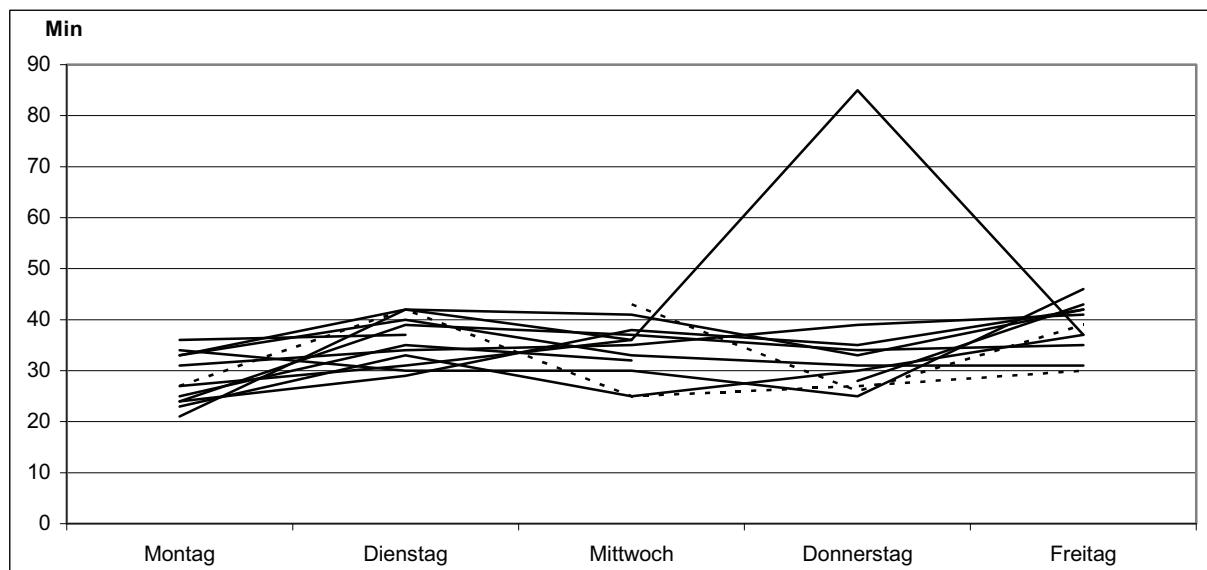
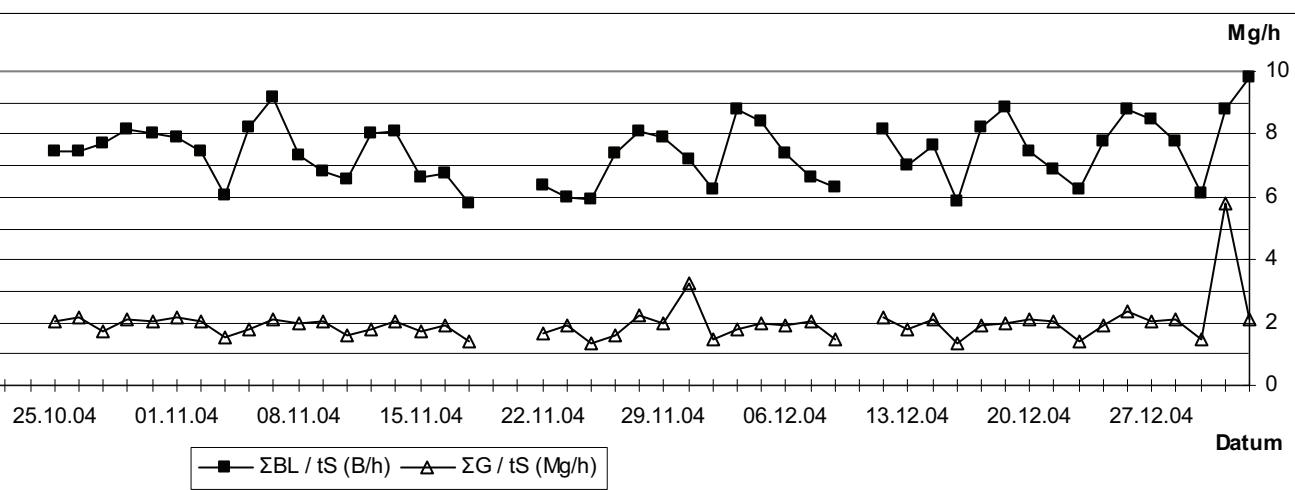
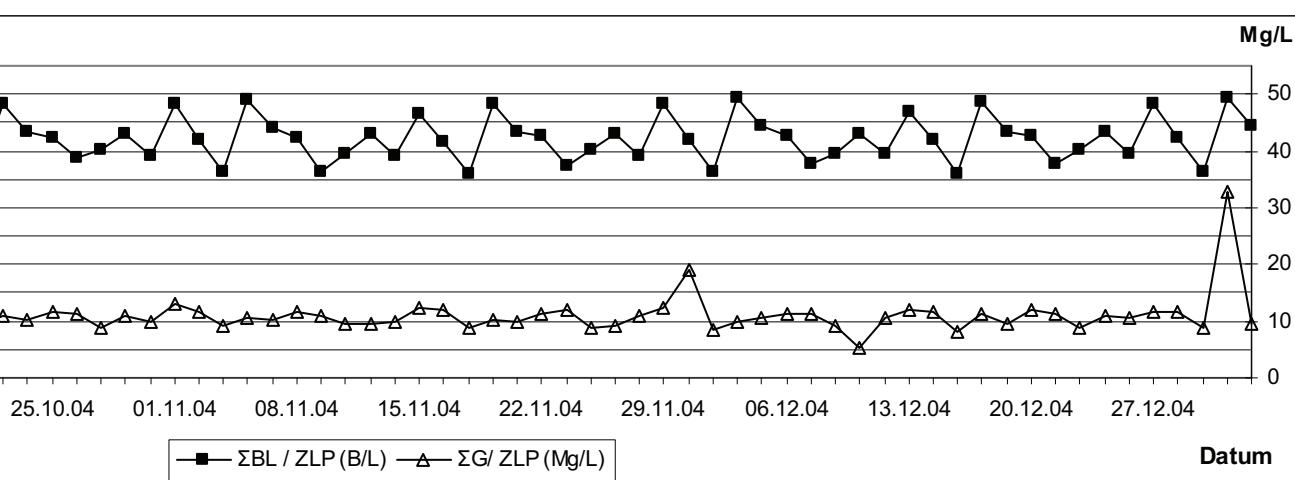


Abbildung XII-7: Länge der Pause

lungen der Sammelleistung während der Untersuchung



fahrzeuges in Bezug auf die Anzahl der entleerten Sammelbehälter (B/h) bzw. die entsorgte Restabfallmenge (Mg/h)



personals in Bezug auf die Anzahl der entleerten Sammelbehälter (B/L) bzw. die entsorgte Restabfallmenge (Mg/L)

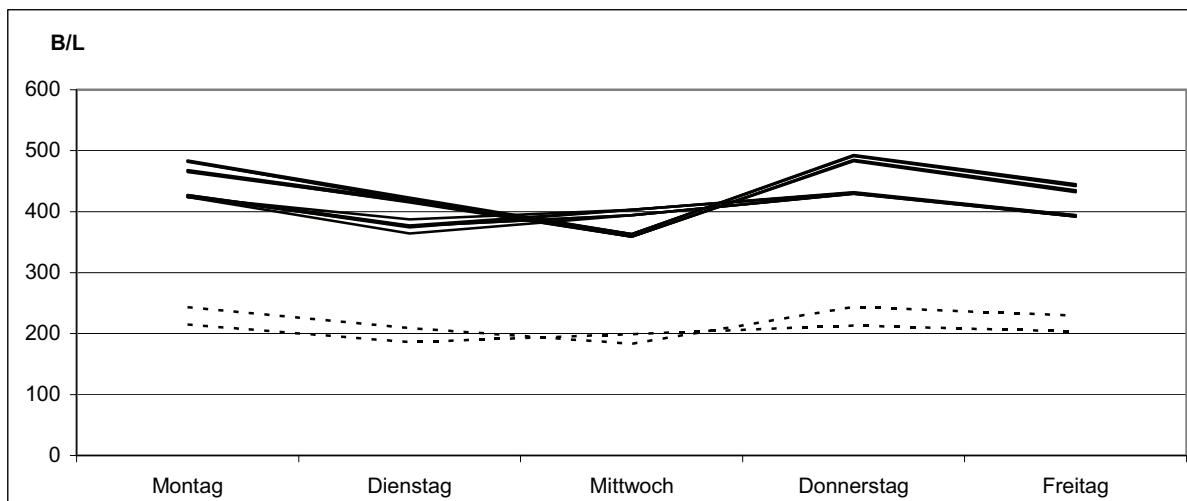


Abbildung XIII-3: Sammelleistung des Ladepersonals bezogen auf die Anzahl der entsorgten Sammelbehälter

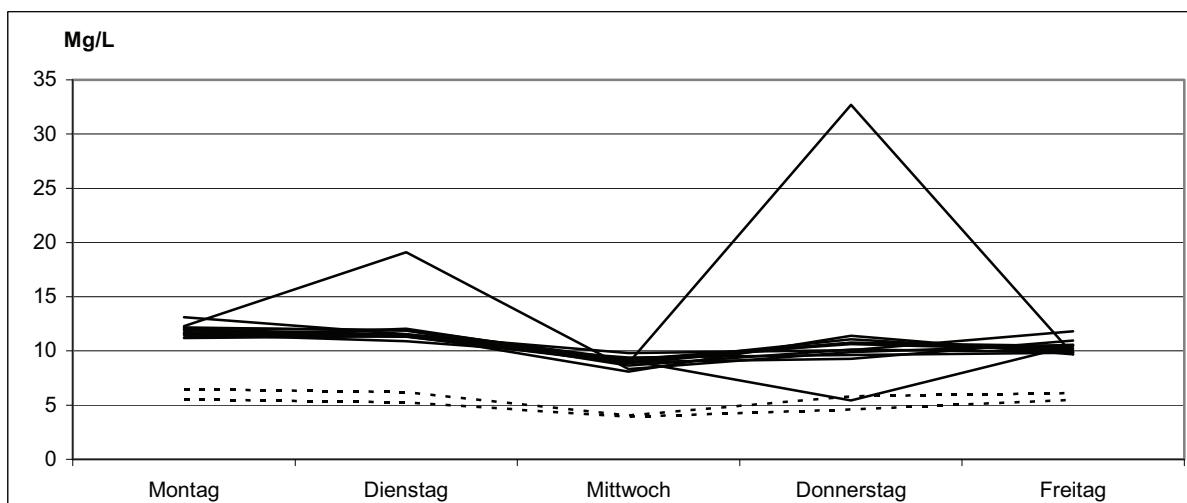


Abbildung XIII-4: Sammelleistung des Sammelpersonals bezogen auf das Gewicht des entsorgten Abfalls

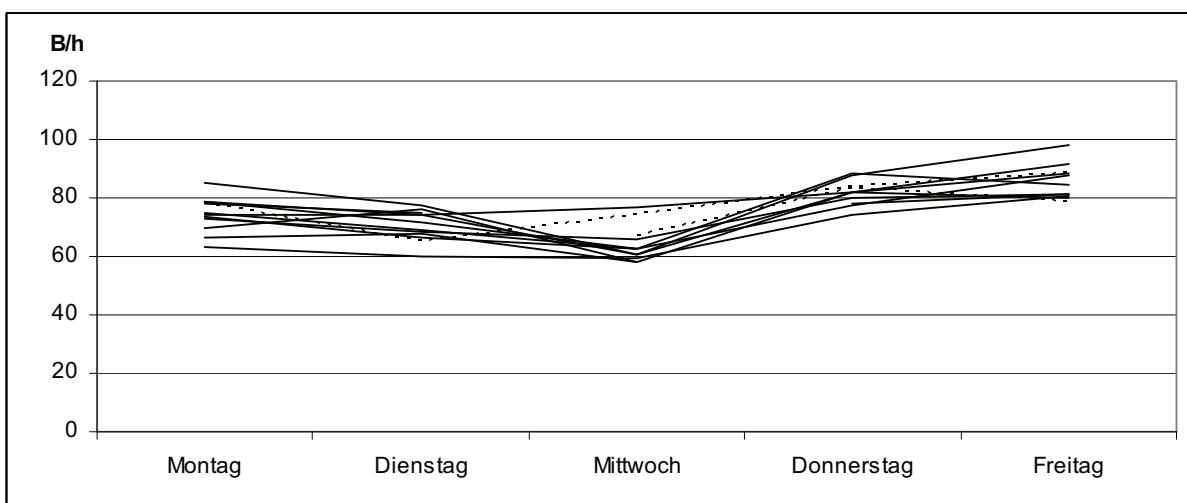


Abbildung XIII-5: Sammelleistung des Sammelfahrzeuges bezogen auf die Anzahl der Sammelbehälter

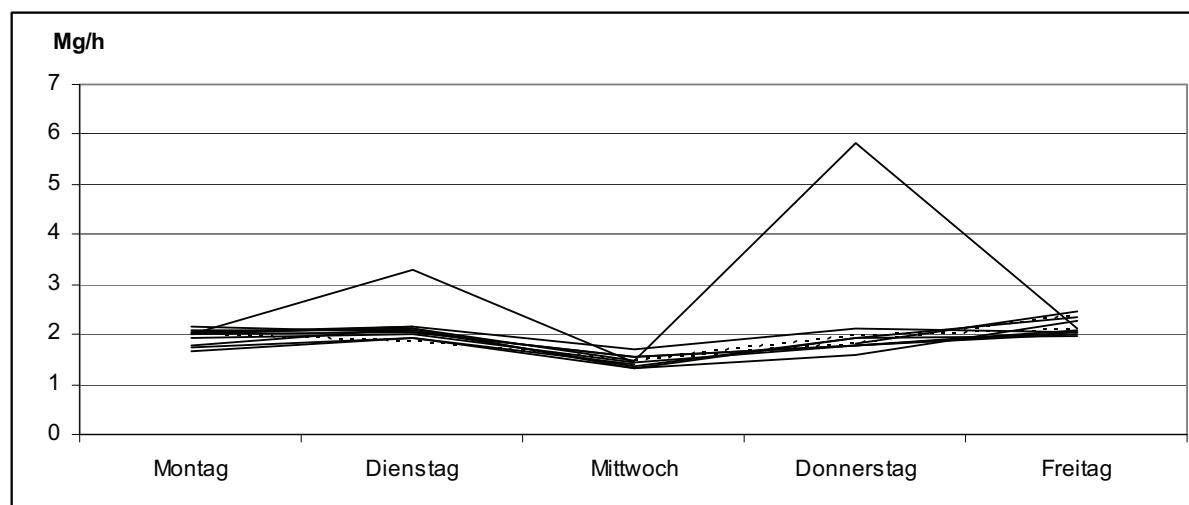
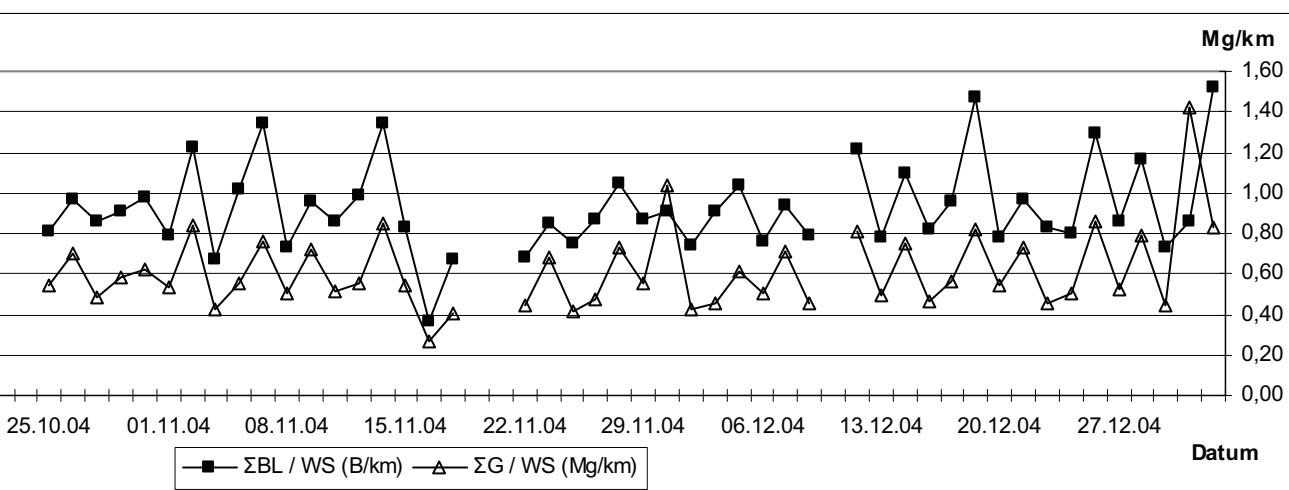
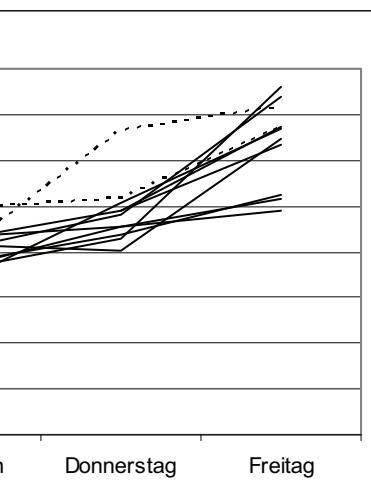


Abbildung XIII-6: Sammelleistung des Sammelfahrzeuges bezogen auf das Gewicht des entsorgten Restabfalls

Abbildung XIII-2: Abfalldichten auf der Sammelstrecke



und Abfalldichte (Mg/km) auf der Sammelstrecke



Strecke an den Wochentagen

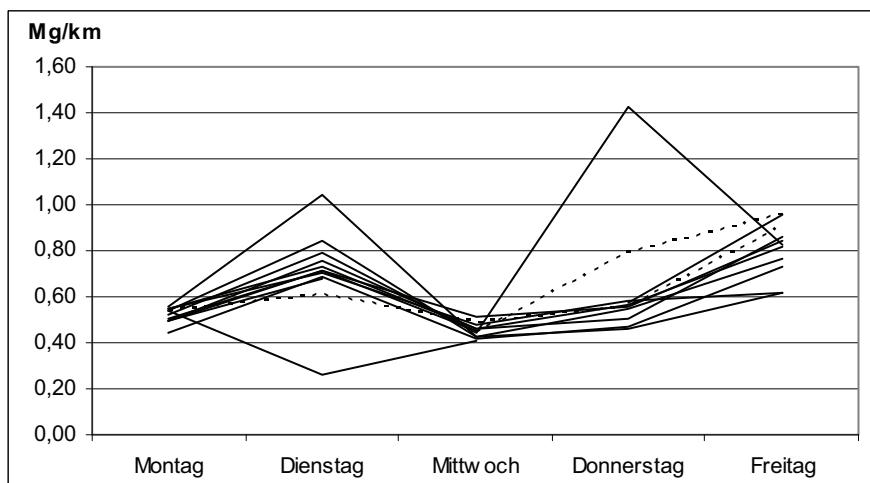


Abbildung XIII-3: Abfalldichte auf der Sammelstrecke an den Wochentagen

Anhang XV: Grafische Darstellungen der Geschwindigkeit, kategorisiert nach Arbeitsvorgänge

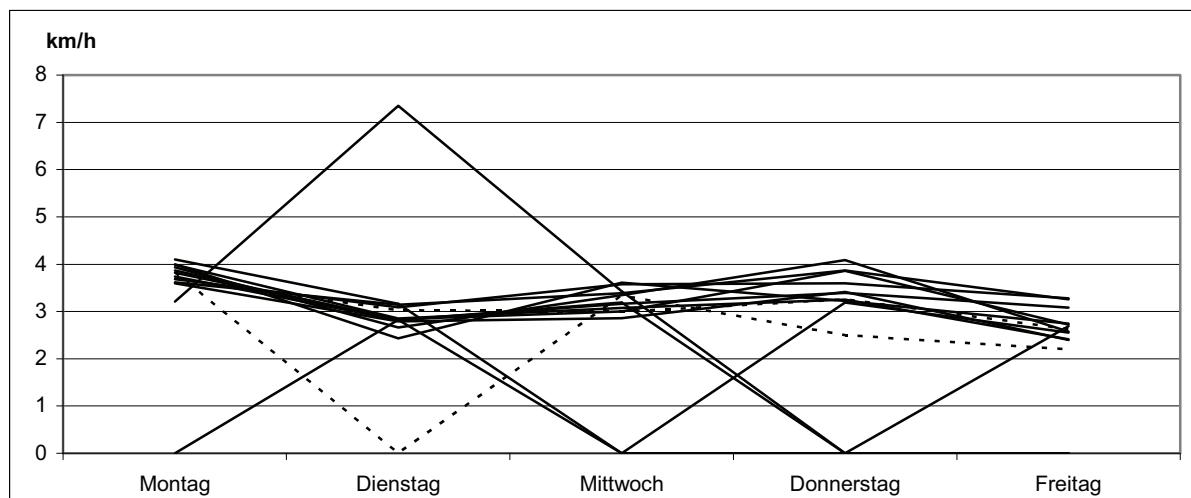


Abbildung XV-1: Geschwindigkeit während des Sammels

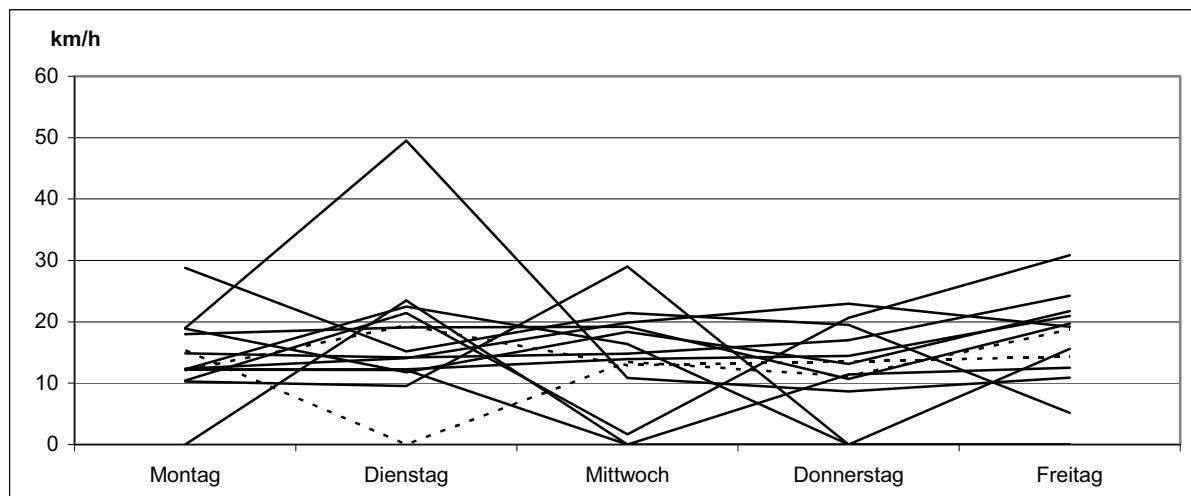


Abbildung XV-2: Geschwindigkeit innerhalb des Entsorgungsgebietes

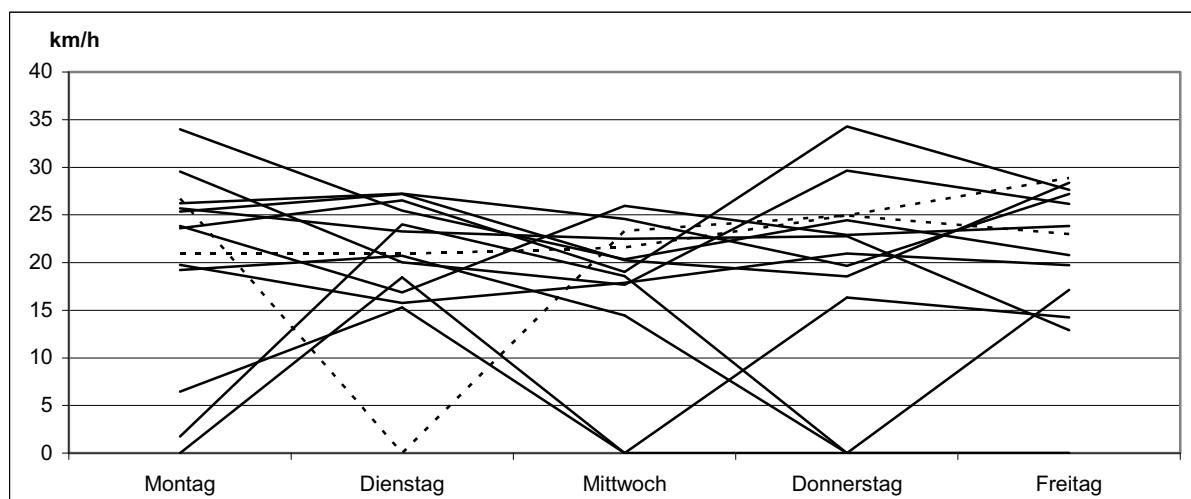


Abbildung XV-3: Geschwindigkeit außerhalb des Sammelgebietes

Anhang XVI: Darstellung der wöchentlichen Auswertung der erfassten Kennzahlen

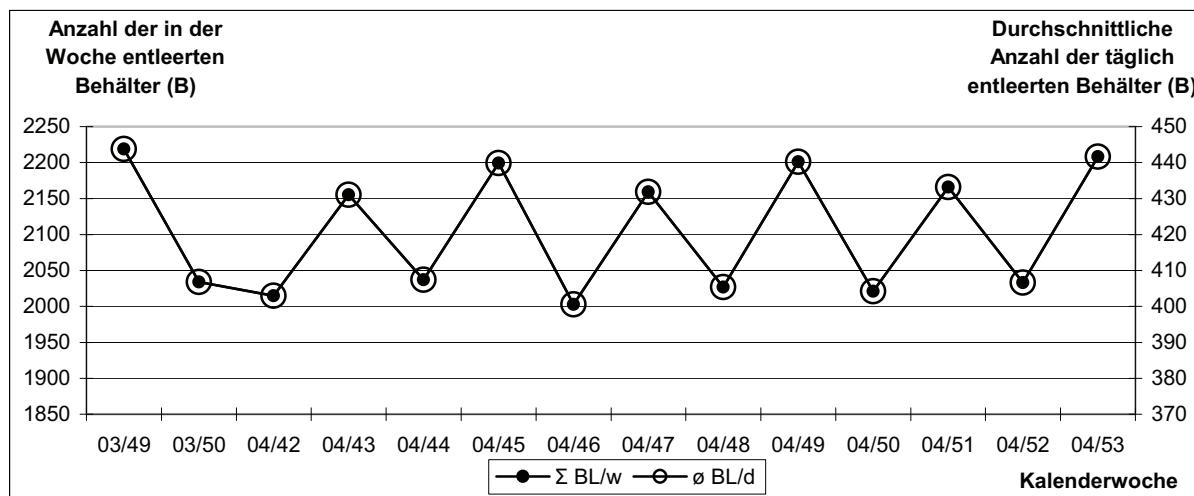


Abbildung XVI-1: Wöchentlicher Überblick über die Anzahl der entleerten Sammelbehälter

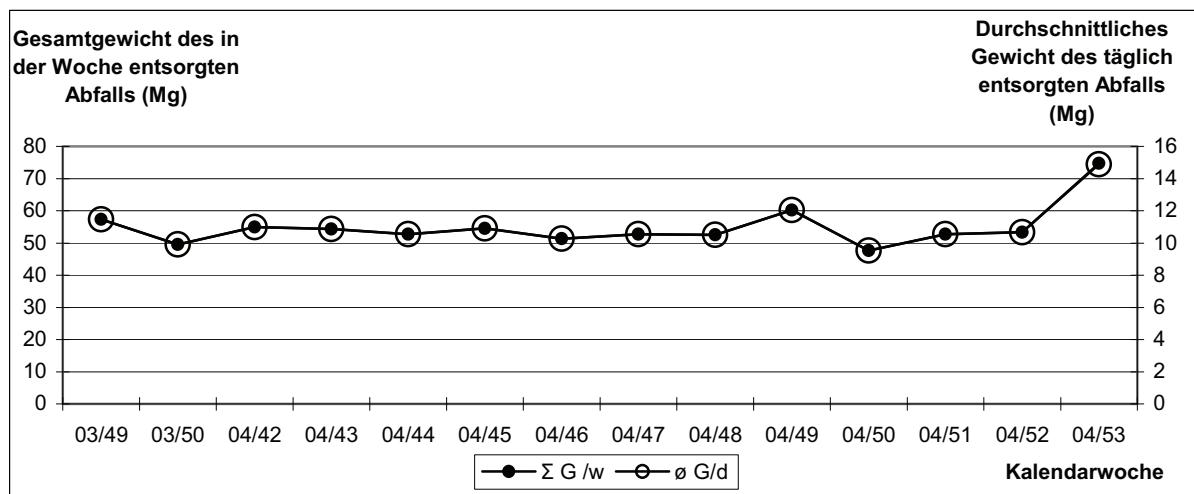


Abbildung XVI-2: Wöchentlicher Überblick über die entsorgte Abfallmenge

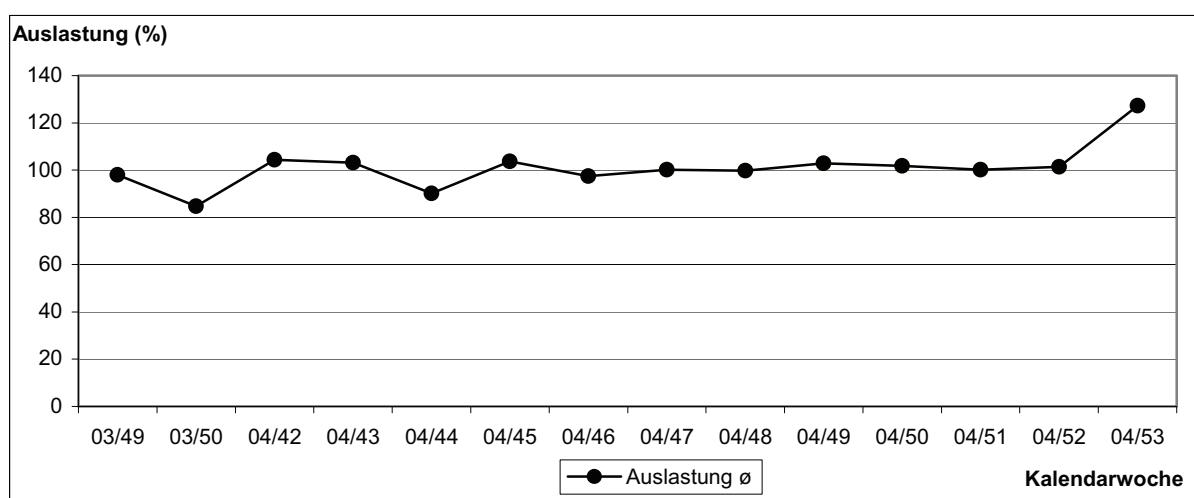


Abbildung XVI-3: Wöchentliche Durchschnittsauslastung des Sammelfahrzeuges

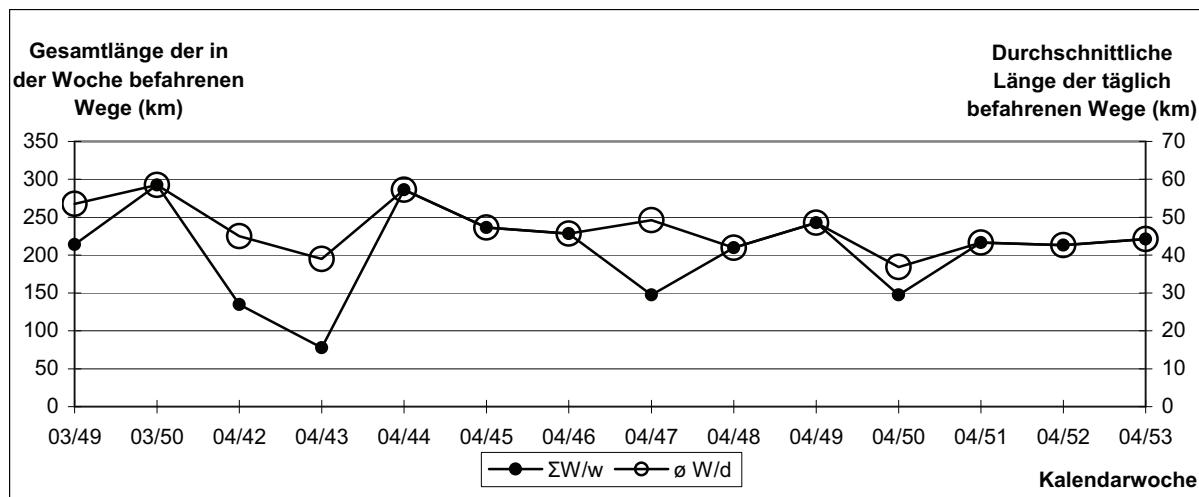


Abbildung XVI-4: Wöchentlicher Überblick über die befahrene Wege

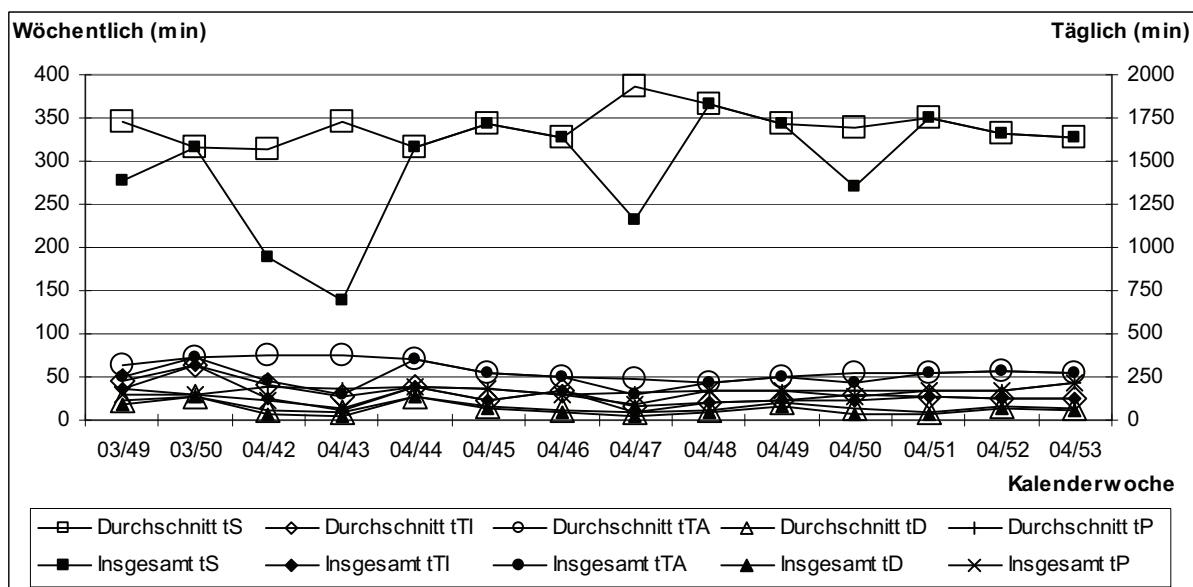


Abbildung XVI-5: Durchschnittliche Länge der einzelnen Arbeitsvorgänge

Anhang XVII: Auswirkung der Kennzahlen auf die Wirtschaftlichkeit

Kennzahlen	Personal-kosten	Treibstoff-kosten	Fahrzeug-kosten (variabel)	Fahrzeug-kosten (fix)	Behälter-kosten	Kapital-bindung
Größe des Entsorgungsreviers Bei nicht optimaler Reviersgröße	--	--	--	(--)	0	(--)
Behältergrößeverteilung Beeinflusst die Sammelleistung und das Abfallaufkommen	x	x	x	x	x	x
Anzahl der Ladepunkte Bei niedriger Anzahl	+	+	+	(+)	0	(+)
Ladepunktdichte Bei hoher Behälterdichte	+	x	+	(+)	0	(+)
Behältervolumendichte Beeinflusst die Sammelleistung und das Abfallaufkommen	x	x	x	x	0	x
Behälter pro Ladepunkt Bei hoher Behälteranzahl pro Ladepunkt – bei konstanter Gesamtanzahl der Behälter	+	+	+	(+)	0	(+)
Einwohner pro Sammelbehälter Mit zunehmender Einwohnerzahl	+	(+)	0	(+)	+	+
Spezifisches Behältervolumen Beeinflusst das Abfallaufkommen	x	x	x	x	0	x
Auslastung der Fahrzeuge Bei niedriger Auslastung	-	--	0	0	0	(-)
Größe der Lademannschaft Bei zu großer Lademannschaft	--	0	0	0	0	0
Bei zu kleinem Sammelmannschaft niedrigere Sammelleistung	--	--	--	(-)	0	(-)
Arbeitszeit Bei flexibler Arbeitszeit bessere Fahrzeugauslastung	++	0	++	(+)	0	(+)
Sammelzeit Bei nicht idealer Sammelzeit	--	--	--	(-)	0	(-)
Netto-Sammelzeit Bei nicht idealer Netto-Sammelzeit	--	--	--	(-)	0	(-)
Ladezeit Bei nicht idealer Ladezeit	--	--	--	(-)	0	(-)
Zwischenfahrzeit Bei nicht idealer Zwischenfahrzeit	--	--	--	(-)	0	(-)

Kennzahlen	Personal-kosten	Treibstoff-kosten	Fahrzeug-kosten (variabel)	Fahrzeug-kosten (fix)	Behälter-kosten	Kapital-bindung
Umfahrzeit Bei nicht idealer Umfahrzeit	--	--	--	(-)	0	(-)
Transportzeit Bei nicht idealer Transportzeit	--	---	--	(-)	0	(-)
Fahrstrecke Bei nicht ideal langem Weg	--	--	--	(-)	0	(-)
Sammelweg Bei nicht ideal langem Weg	--	--	--	(-)	0	(-)
Sammelstrecke Bei nicht ideal langem Weg	--	--	--	(-)	0	(-)
Zwischenfahrweg Bei nicht ideal langem Weg	--	--	--	(-)	0	(-)
Umfahrweg Bei zu langem Weg	--	--	--	(-)	0	(-)
Transportweg Bei nicht ideal langem Weg	-	-	-	(-)	0	(-)
Sammelleistung der Fahrzeu-ge Bei niedriger Sammelleistung	--	--	--	(-)	0	(-)
Sammelleistung des Ladeper-sonals Bei niedriger Sammelleistung	--	--	--	(-)	0	(-)
Diverse Kosten Bei nicht idealer Planung und / oder Arbeit	--	--	--	(--)	(-)	(--)

Abbildung XVII-1: Mit Planung veränderbare Kennzahlen und ihre Auswirkung auf die Betriebskosten

Kennzahlen	Personal-kosten	Treibstoff-kosten	Fahrzeug-kosten (variabel)	Fahrzeug-kosten (fix)	Behälter-kosten	Kapital-bindung
Abfallaufkommen Bei hohem Abfallaufkommen	-	-	-	(-)	-	-
Bei nicht idealer Zuordnung der Abfallmenge zu den Touren	--	--	--	(--)	0	(--)
Abfallaufkommen nach Straßenlänge Zur Planung optimaler Fahrzeugauslastung	x	x	x	x	0	x
Spezifisches Abfallaufkommen Zur Planung optimaler Fahrzeugauslastung	x	x	x	(x)	0	(x)
Anzahl der Sammelbehälter Bei hoher Zahl	-	-	-	0	--	--
Spezifisch genutztes Behältervolumen Zur Planung optimaler Fahrzeugauslastung	0	0	x	0	0	0
Bereitstellungsgrad Bei hoher Wert	+	0	0	0	0	(+)
Füllgrad der Sammelbehälter Zur Planung optimaler Fahrzeugauslastung	0	0	x	0	0	0
Abfallzusammensetzung Bei großer Heterogenität	(x)	(x)	(x)	0	0	0
Fehlwurfquote Bei hohem Wert	--	-	(-)	(-)	0	(-)
Inhaltsgewicht des Abfalls Bei hohem Inhaltsgewicht	-	-	-	(-)	0	(-)
Raumgewicht des Abfalls Beeinflusst die Sammelleistung	x	x	x	x	0	x
Schüttgewicht des Abfalls Zur Planung optimaler Fahrzeugauslastung	x	x	x	(x)	0	(x)
Antransportzeit der Sammelbehälter Bei hohem Wert	--	-	-	(-)	0	(-)
Antransportweg der Sammelbehälter Bei langem Antransportweg	--	-	-	(-)	0	(-)
Kraftstoffverbrauch Bei hohem Verbrauch	0	--	0	0	0	0
Fahrzeit Bei längerer Fahrzeit	--	--	--	(-)	0	(-)

Kennzahlen	Personal-kosten	Treibstoff-kosten	Fahrzeug-kosten (variabel)	Fahrzeug-kosten (fix)	Behälter-kosten	Kapital-bindung
Verhältnis der Soll-Ist-Arbeitszeit Bei von 1 abweichendem Wert	--	(-)	(-)	(-)	0	(-)
Sammelgeschwindigkeit Bei niedrigem Wert	--	--	--	(-)	0	(-)
Verhältnis der Zwischenfahrzeit zur Netto-Sammelzeit Bei hohem Wert	--	-	-	(-)	0	(-)
Verhältnis des Zwischenfahrweges zum Sammelweg Bei hohem Wert	--	-	-	(-)	0	(-)
Verhältnis der Umfahrzeit zur Sammelzeit Bei hohem Wert	--	-	-	(-)	0	(-)
Verhältnis des Umfahrweges zum Sammelweg Bei hohem Wert	--	-	-	(-)	0	(-)
Verhältnis der Netto-Sammelzeit zur Fahrzeit Bei hohem Wert	--	-	-	(-)	0	(-)
Verhältnis der Sammelstrecke zur Fahrstrecke Bei hohem Wert	--	-	-	(-)	0	(-)

Abbildung XVII-2: Mit Planung beeinflussbare Kennzahlen und ihre Auswirkung auf die Betriebskosten

Kennzahlen	Personal-kosten	Treibstoff-kosten	Fahrzeug-kosten (variabel)	Fahrzeug-kosten (fix)	Behälter-kosten	Kapital-bindung
Größe des Entsorgungsgebietes Bei nicht idealer Größe	--	--	--	(-)	0	(-)
Entfernung des Abfallbehandlungsortes Bei großer Entfernung	-(-)	--	-	-	0	-
Entfernung der Deponie Bei großer Entfernung	-(-)	--	-	-	0	-
Entfernung der Umschlagstation Bei großer Entfernung	-(-)	--	-	-	0	-
Einwohnerzahl Beeinflusst die Abfallproduktion	x	x	x	(x)	0	(x)
Einwohnerdichte Bei höherer Dichte	x	x	+	+	(x)	(+)
Anzahl der Sammelbehälterleerungen Bei mehr Leerungen	-	-	-	-	0	-
Behälterdichte Bei großer Behälterdichte	+	+	+	(+)	0	(+)
Anzahl der Behälterstandorte Bei hoher Anzahl	-	-	-	(-)	(-)	(-)
Behälterstandortdichte Bei hoher Dichte	-	-	-	(-)	(-)	(-)
Kippzeit Bei langer Kippzeit	-	-	-	(-)	0	(-)
Deponieaufenthaltszeit Bei hohem Wert	-	-	-	(-)	0	(-)
Entladezeit Bei langer Entladezeit	-	-	-	(-)	0	(-)
Länge der Pause	x	0	0	(x)	0	(x)
Rüstzeit Bei langer Rüstzeit	-	0	(x)	(x)	0	(x)
Wartungszeit Bei langer Wartungszeit	0	0	0	(-)	0	(-)
Sonstige Zeit Bei langer sonstigen Zeit	-	-	-	(-)	0	(-)
Transportgeschwindigkeit Bei langsamer Transport	-	x	x	(-)	0	(-)
Umfahrgeschwindigkeit Bei langsamer Umfahrt	-	x	x	(-)	0	(-)
Zwischenfahrgeschwindigkeit Bei langsamer Zwischenfahrt	-	x	x	(-)	0	(-)

Abbildung XVII-3: Mit Planung nicht beeinflussbare Kennzahlen und ihre Auswirkung auf die Betriebskosten

Bedeutung der in den Tabellen verwendeten Symbole:

- sehr negativ
- negativ
- 0 neutral
- +
- positiv
- ++ sehr positiv
- x Richtung nicht definierbar
- () im Extremfall

Anhang XVIII: Vorgehensweise zur Ermittlung und Auswertung von Kennzahlen

Kennzahl	Hilfsmittel zur Erfassung bzw. Ermittlung	Frequenz der Erfassung bzw. Ermittlung	Frequenz der Auswertung	Nutzung bei der Planungsphase
Größe des Entsorgungsgebietes	GIS	5 bis 10-jährlich	Jeweils bei den Erfassungen	Strategisch
Größe des Entsorgungsreviers	GIS	5-jährlich, bzw. bei Neuerungen bei der Gebietsverteilung	Jeweils bei den Erfassungen	Strategisch
Entfernung des Abfallbehandlungsortes	GIS	Bei Neuerungen der Gebietsverteilung oder Änderung der Lage des Zielortes	Jeweils bei den Erfassungen	Strategisch
Entfernung der Deponie	GIS	Bei Neuerungen der Gebietsverteilung oder Änderung der Lage des Zielortes	Jeweils bei den Erfassungen	Strategisch
Entfernung der Umschlagstation	GIS	Bei Neuerungen der Gebietsverteilung oder Änderung der Lage des Zielortes	Jeweils bei den Erfassungen	Strategisch
Einwohnerzahl	ED	Jährlich	Jährlich	Strategisch
Einwohnerdichte	ED, GIS	Jährlich	Jährlich	Strategisch
Abfallaufkommen	V	Täglich	Täglich, Monatlich, Jährlich	Taktisch
Abfallaufkommen nach Straßenlänge	GIS, I, V	Jährlich mehrmals	Jeweils bei den Erfassungen	Operativ
Spezifisches Abfallaufkommen	ED, I, V	Jährlich	Jährlich	Taktisch
Anzahl der Sammelbehälter	ZDB	Bei Änderungen	Jeweils bei den Erfassungen	Operativ
Behältergrößeverteilung	TP	Täglich	Jährlich	Operativ
Anzahl der Sammelbehälterleerungen	I	Täglich	Täglich, Monatlich, Jährlich	Operativ
Behälterdichte	GIS, ZDB	Jährlich	Jährlich	Strategisch
Anzahl der Behälterstandorte	GIS, ZDB	Jährlich	Jährlich	Strategisch
Behälterstandorddichte	GIS, ZDB	Jährlich	Jährlich	Strategisch
Anzahl der Ladepunkte	GIS, GPS, ZDB	Jährlich	Jährlich	Strategisch
Ladepunktdichte	GIS, GPS, ZDB	Jährlich	Jährlich	Strategisch
Behältervolumendichte	GIS, ZDB	Jährlich	Jährlich	Taktisch
Behälter pro Ladepunkt	GIS, ZDB	Jährlich	Jährlich	Taktisch

Kennzahl	Hilfsmittel zur Erfassung bzw. Ermittlung	Frequenz der Erfassung bzw. Ermittlung	Frequenz der Auswertung	Nutzung bei der Planungsphase
Einwohner pro Sammelbehälter	ED, I	Jährlich mehrmals	Jeweils bei den Erfassungen	Taktisch
Spezifisches Behältervolumen	ED, I	Jährlich mehrmals	Jeweils bei den Erfassungen	Taktisch
Spezifisch genutztes Behältervolumen	ED, I, U _F	Jährlich mehrmals	Jeweils bei den Erfassungen	Taktisch
Bereitstellungsgrad	I, TP	Täglich	Monatlich, jährlich	Operativ
Füllgrad der Sammelbehälter	U _F	Jährlich mehrmals	Jeweils bei den Erfassungen	Taktisch
Abfallzusammensetzung	U _{AZ}	Jährlich mehrmals	Jeweils bei den Erfassungen	Taktisch
Fehlwurfquote	U _{AZ}	Jährlich mehrmals	Jeweils bei den Erfassungen	Taktisch
Inhaltsgewicht des Abfalls	I, V	Täglich	Täglich	Operativ
Raumgewicht des Abfalls	I, V	Täglich	Jeweils bei den Erfassungen	Taktisch
Schüttgewicht des Abfalls	I, U _F , V	Jährlich mehrmals	Jeweils bei den Erfassungen	Taktisch
Auslastung der Fahrzeuge	A, V	Täglich	Täglich, Monatlich, Jährlich	Operativ
Kraftstoffverbrauch	BB	Täglich	Täglich, Monatlich, Jährlich	Taktisch
Größe der Lademannschaft	TP	Täglich	Jährlich	Taktisch
Antransportzeit der Sammelbehälter	GIS, GPS, I	Jährlich	Jährlich	Taktisch
Antransportweg der Sammelbehälter	GIS, I	Jährlich	Jährlich	Taktisch
Arbeitszeit	GIS, GPS	Täglich	Täglich, Monatlich, Jährlich	Taktisch
Verhältnis der Soll- und Ist-Arbeitszeit	A	Täglich	Täglich, Monatlich, Jährlich	Operativ
Fahrzeit	GIS, GPS	Täglich	Täglich, Monatlich, Jährlich	Operativ
Sammelzeit	GIS, GPS	Täglich	Täglich, Monatlich, Jährlich	Operativ
Netto-Sammelzeit	GIS, GPS	Täglich	Täglich, Monatlich, Jährlich	Operativ
Ladezeit	GIS, GPS	Täglich	Täglich, Monatlich, Jährlich	Operativ

Kennzahl	Hilfsmittel zur Erfassung bzw. Ermittlung	Frequenz der Erfassung bzw. Ermittlung	Frequenz der Auswertung	Nutzung bei der Planungsphase
Kippzeit	Stoppuhr	Bei Einführung neues Sammelfahrzeuges	Jeweils bei den Erfassungen	Taktisch
Zwischenfahrzeit	GIS, GPS	Täglich	Täglich, Monatlich, Jährlich	Operativ
Umfahrzeit	GIS, GPS	Täglich	Täglich, Monatlich, Jährlich	Operativ
Transportzeit	GIS, GPS	Täglich	Täglich, Monatlich, Jährlich	Operativ
Deponieaufenthaltszeit	GIS, GPS	Täglich	Monatlich, Jährlich	Taktisch
Entladezeit	GIS, GPS	Täglich	Jährlich	Taktisch
Länge der Pause	GIS, GPS	Täglich	Jährlich	Taktisch
Rüstzeit	BB _W	Täglich	Monatlich, jährlich	Taktisch
Wartungszeit	BB _W	Täglich	Monatlich, jährlich	Taktisch
Sonstige Zeit	GIS, GPS	Täglich	Täglich, Monatlich, Jährlich	Operativ
Fahrstrecke	GIS, GPS	Täglich	Täglich, Monatlich, Jährlich	Operativ
Sammelweg	GIS, GPS	Täglich	Täglich, Monatlich, Jährlich	Operativ
Sammelstrecke	GIS, GPS	Täglich	Täglich, Monatlich, Jährlich	Operativ
Zwischenfahrweg	GIS, GPS	Täglich	Täglich, Monatlich, Jährlich	Operativ
Umfahrweg	GIS, GPS	Täglich	Täglich, Monatlich, Jährlich	Operativ
Transportweg	GIS, GPS	Täglich	Täglich, Monatlich, Jährlich	Operativ
Transportgeschwindigkeit	GIS, GPS	Täglich	Täglich, Monatlich, Jährlich	Taktisch
Umfahrgeschwindigkeit	GIS, GPS	Täglich	Täglich, Monatlich, Jährlich	Taktisch
Zwischenfahrgeschwindigkeit	GIS, GPS	Täglich	Täglich, Monatlich, Jährlich	Taktisch
Sammelgeschwindigkeit	A, GIS, GPS, I, V	Täglich	Täglich, Monatlich, Jährlich	Taktisch
Sammelleistung der Fahrzeuge	I, V	Täglich	Täglich, Monatlich, Jährlich	Operativ

Kennzahl	Hilfsmittel zur Erfassung bzw. Ermittlung	Frequenz der Erfassung bzw. Ermittlung	Frequenz der Auswertung	Nutzung bei der Planungsphase
Sammelleistung des Landepersonals	I, V	Täglich	Täglich, Monatlich, Jährlich	Operativ
Verhältnis der Zwischenfahrzeit zur Sammelzeit	A, GIS, GPS	Täglich	Täglich, Monatlich, Jährlich	Operativ
Verhältnis des Zwischenfahrweges zum Sammelweg	A, GIS, GPS	Täglich	Täglich, Monatlich, Jährlich	Operativ
Verhältnis der Umfahrzeit zur Sammelzeit	A, GIS, GPS	Täglich	Täglich, Monatlich, Jährlich	Operativ
Verhältnis des Umfahrweges zum Sammelweg	A, GIS, GPS	Täglich	Täglich, Monatlich, Jährlich	Operativ
Diverse Kosten	BB	Täglich	Täglich, Monatlich, Jährlich	Taktisch

Abbildung XVIII-1: Vorgehensweise zur Ermittlung und Auswertung von Kennzahlen

In der Tabelle sind folgende Abkürzungen der Hilfsmittel verwendet:

- A – Ableitung / Berechnung
- BB – Betriebsbuch
- BB_W – Betriebsbuch der Werkstatt
- ED – Einwohnerdaten vom Einwohnerbehörde
- GPS – GPS-Technik
- GSI – Verwendung von GIS
- I – Identifikationssystem (Adresse, Größe des Sammelbehälters, Entsorgungsrhythmus)
- TP – Tourenplan
- U_{AZ} - Extra Untersuchung zur Abfallzusammensetzung
- U_F – Extra Untersuchung zum Füllgrad der Sammelbehälter
- V – Einzelveriegung am Sammelfahrzeug
- ZDB – Zentrale Datenbank