4 Die Planungssoftware PELIKOS

Wie in Kapitel 3 gezeigt, fehlt für die Industrieentsorgung ein geeignetes Behältersystem, welches gerade bei der Handhabung vielfältige Möglichkeiten bietet und somit die geforderte Mechanisierung bzw. zukünftige Automatisierung in der Industrieentsorgung durch die Nutzung der vorhandenen Stetig- und Unstetigfördermittel ermöglicht.

Diese Eigenschaften des Behälters, nachfolgend Industrie-Entsorgungsbehälter genannt, wurden in Kapitel 3 in Hinblick auf die technische Gestaltung und Funktionalität überprüft. Der wirtschaftliche Nutzen solcher Behälter für die Industrieunternehmen lässt sich jedoch schwer abschätzen, weil keine Erfahrungswerte von Anwendern vorliegen und die heutige Entsorgungslogistik auf die vorhandenen, aber für diesen Einsatzfall nicht optimalen, Behältersysteme ausgerichtet ist. Aus diesem Grund ist eine Planungssoftware, das Programm PELIKOS, entwickelt worden, so dass mit Hilfe dieser Software auch der wirtschaftliche Nachweis erbracht werden kann, ob der Einsatz dieser Industrie-Entsorgungsbehälter unter bestimmten Randbedingungen für die Unternehmen vorteilhaft ist.

Bei PELIKOS handelt es sich um eine Planungssoftware für die Entsorgungs-Logistik von Industriebetrieben zur Kostenvergleichsrechnung. Das Programm bietet die Möglichkeit den Nutzen verschiedener Behälter unter Berücksichtigung der wichtigsten logistischen Parametern zu simulieren und die Auswirkung einer Änderung dieser Parameter (vgl. Kap. 4.2.3) auf die Logistikkosten bereits in der Planungsphase abzuschätzen. Dieses EDV-gestützte Kostenvergleichsverfahren soll dem Planer daher helfen, eine Vorauswahl von logistischen Gestaltungsvarianten unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten durchzuführen, **Heimsoth 2000**.

Eine EDV-gestützte Variantenuntersuchung ist gerade deshalb notwendig, weil die Entsorgungslogistik von Industrieunternehmen von einer Reihe von Randbedingungen bestimmt wird und somit gerade bei großen Unternehmen komplexe Verhältnisse vorliegen. Einflussfaktoren sind z. B. (vgl. auch Kap. 2):

- Branche des Unternehmens,
- Fertigungstyp,
- räumliche Gegebenheiten im Werk,
- Werksgröße,
- innerbetriebliche Senken (Art, Anzahl, ...),
- Wahl der Fördermittel,

- Wahl der Behältertechnik,
- Wahl der Bereitstellungsart,
- etc.

4.1 Ziele des Programmes

Zwar sind nicht in jedem Werk sämtliche der oben aufgelisteten Parameter verschieden, aber deren Vielfalt ergibt entsprechend viele Kombinationsmöglichkeiten, so dass praktisch jeder Anwendungsfall eine unterschiedliche Entsorgungslogistik aufweist.
Bei einer Planung ergibt sich durch diese Vielzahl der Einflussfaktoren das Problem, dass sich bei Veränderung eines oder mehrerer Parameter die Auswirkungen auf die innerbetriebliche Entsorgungslogistik und besonders auf deren Kosten nicht mehr zufriedenstellend abschätzen lassen.

Was passiert beispielsweise, wenn die Sammlung von zentral auf dezentral umgestellt wird? Welche Auswirkungen hat die Einführung einer neuen Behältertechnik, etc.?

Diese oder ähnliche Fragen sind um so schwieriger zu beantworten, je größer und komplexer ein Werk ist und aus den aufgeworfenen Fragen ergibt sich unmittelbar der Funktionsumfang dieses EDV-Hilfsmittels. Es soll nämlich eine Überprüfung und Gegenüberstellung der Kosten bei Variation unterschiedlicher Parameter ermöglichen, so z. B.:

- innerbetriebliche Senken,
- Behältertechnik,
- Fördermittel und
- außerbetriebliche Transportmittel.

Ziel ist es, neben den in jedem Anwendungsfall bekannten Verwertungs- / und Beseitigungskosten für die Abfälle, jenen Kostenblock transparent zu machen, der in vielen Unternehmen unbekannt bzw. versteckt ist. Diese Kosten der innerbetrieblichen Entsorgungslogistik, bestehend aus den in Bild 4.1 dargestellten Kostenarten, sind oftmals nicht erfasst, obwohl von großer Bedeutung. Bei **Wehking 2000** wird

beispielsweise ein Anteil der Kosten der innerbetrieblichen Entsorgungslogistik an den gesamten Entsorgungskosten von 41,8% genannt. Gerade die Einführung einer neuen Behältertechnik wie des Industrie-Entsorgungsbehälters beeinflusst aber, wie sich in Kapitel 6 zeigen wird, sehr stark die verschiedenen Kostenarten.

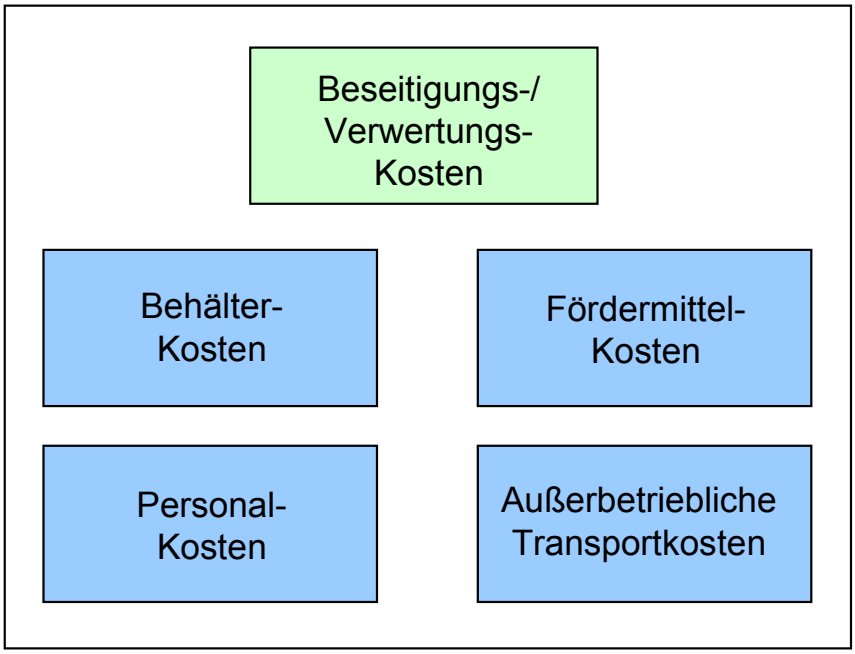


Bild 4.1: Kostenarten der innerbetrieblichen Entsorgung

Ein entscheidendes Kriterium für den Erfolg eines Entsorgungskonzeptes sind die damit verbundenen Kosten. Um hierfür ein Entscheidungskriterium zu erhalten, ist es daher ein wesentliches Ziel erstmals die oben dargestellten Kostenarten EDV-gestützt transparent zu machen, um daraus Informationen über das kostenoptimale Konzept beim Einsatz unterschiedlicher Behältersysteme zu erlangen.

Es ist prinzipiell möglich jeden einzelnen Arbeitsplatz innerhalb der Planungssoftware abzubilden. Die Entfernungen zwischen zwei Arbeitsplätzen sind aber oftmals im Vergleich zu den Entfernungen zu den Abfallsenken innerhalb eines Werkes so vernachlässigbar gering, dass es sinnvoll ist einzelne Arbeitsplätze zu Bereichen zusammenzufassen und trotzdem Planungsergebnisse von ausreichender Genauigkeit zu erzielen.

Innerhalb des Programms werden aus diesem Grund einzelne Arbeitsplätze zu einem Bereich zusammengefasst. Das Programm soll daher an der Schnittstelle der Bereichsebene (vgl. Bild 2.8) ansetzen und die Logistik bis zur Werksebene abbilden.

Es soll nicht auf der Arbeitsplatzebene jeder einzelne Behälterstandort definiert und beispielsweise berechnet werden, ob die Behältergröße ausreichend ist. Dies wird in der Praxis durch die Meisterbereiche in der Regel in Eigenregie durchgeführt. Durch die Dominanz der Produktion gegenüber der Entsorgung bezüglich der Flächenbelegung vor Ort, deckt sich der errechnete Behälterstandort nur in den wenigsten Fällen mit dem tatsächlichen Behälterstandort. Dies bedeutet, dass eine Berechnung dieser Behälterstandorte wenig Sinn macht, da in der Praxis die Produktion eine Abweichung von diesem optimalen Behälterstandort erforderlich macht.

Im Gegensatz zur Betrachtungsweise von **Schnellbögl 1993** soll daher das Programm nicht den Aufstellungsort von Behältern in einzelnen Hallenbereichen betrachten, sondern einzelne Arbeitsplätze werden als Bereiche definiert.

4.2 Aufbau und Beschreibung des Programms

Das Programm **PELIKOS** besteht aus zwei Modulen

- CAD-Modul und
- Berechnungs-Modul,

wobei im Laufe der Planung Daten vom CAD-Modul in das Berechnungs-Modul übertragen werden. Das Berechnungs-Modul wurde in einer Access-Datenbank entwickelt. Innerhalb dieser Module sind eine Reihe von Daten hinterlegt, die nicht für jede Planung neu einzugeben sind, da sie in der Regel unverändert bleiben können (Stammdaten).

Der grobe Ablauf der EDV-gestützten Planung der innerbetrieblichen Entsorgungslogistik ist in Bild 4.2 skizziert. Die Planung beginnt mit einer Dateneingabe in CAD und in den Tabellen der Datenbank, wobei unterschieden wird zwischen Stammdaten und Planungsdaten. Nach der Eingabe der Datenbasis kann innerhalb der Datenbank eine Kostenberechnung durchgeführt werden. Falls das Planungsergebnis angenommen wird, kann eine Ausgabe der Daten erfolgen, falls nicht ist über eine Variation der Parameter ein erneuter Programmdurchlauf möglich.

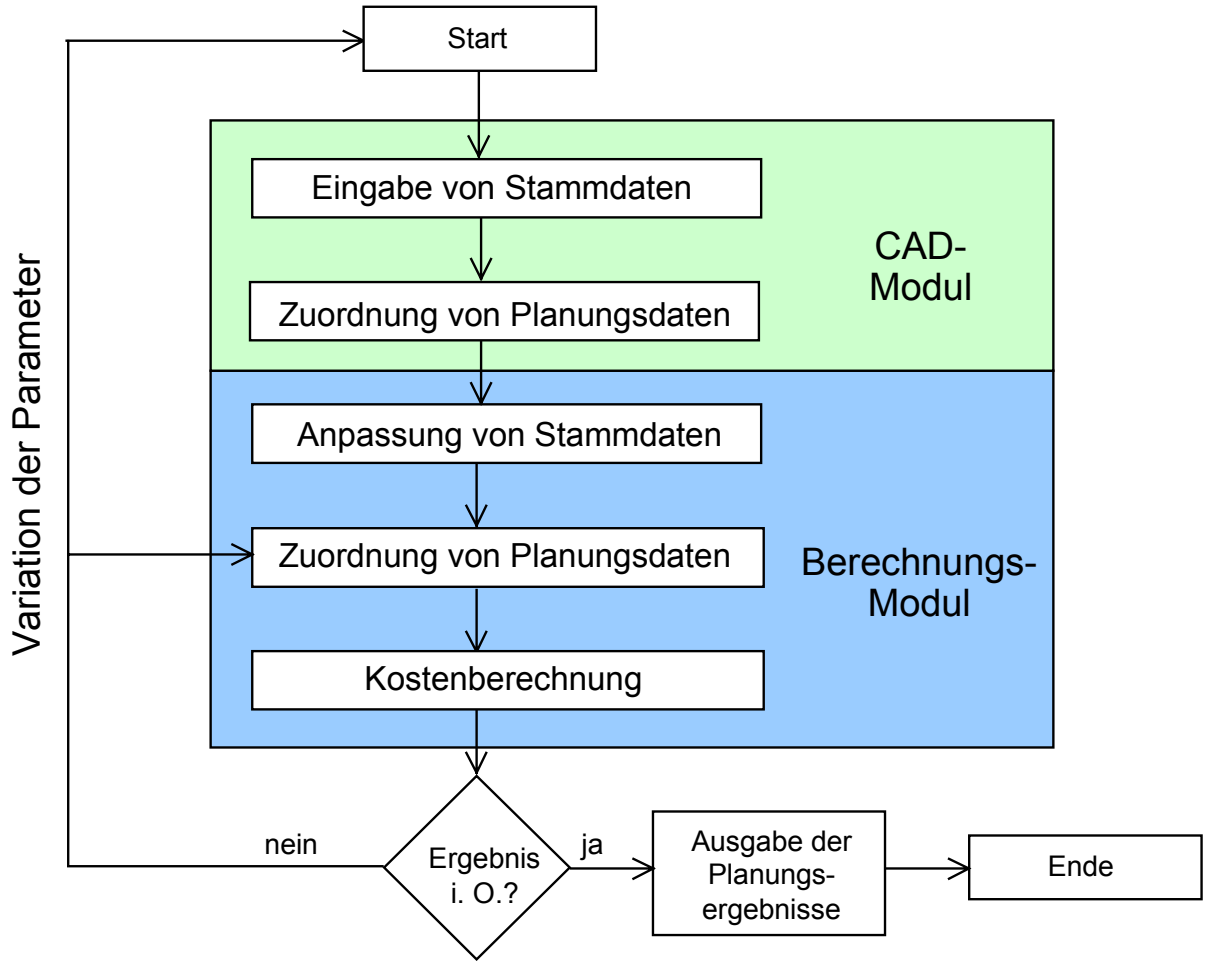


Bild 4.2: Grober Ablauf einer Planung mit Hilfe von PELIKOS, in Anlehnung an **Heimsoth 2000**

Eine detailliertere Beschreibung des Datenkonzeptes soll im Anschluss (Kapitel 4.2.1 bis 4.2.3) vorgenommen werden. Auf der Softwareseite wurde für diese Module Wert darauf gelegt Standard-Software zu verwenden:

- CAD-Modul: AutoCAD 14.0 (deutsch) der Fa. Autodesk
- Berechnungs-Modul: Access 97 der Fa. Microsoft

In der Übersicht ist dieses Datenkonzept in Bild 4.3 dargestellt.

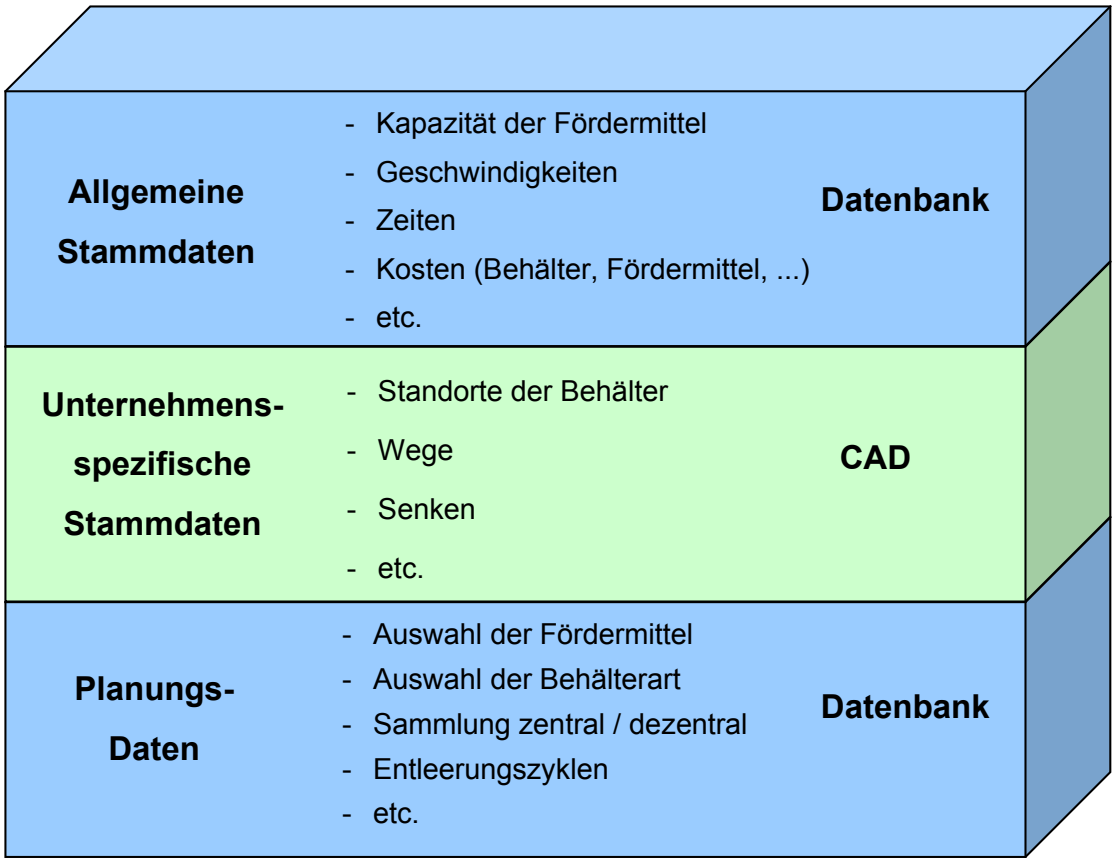


Bild 4.3: Übersicht des Datenkonzeptes des Planungsprogramms PELIKOS

Um eine Planung möglichst komfortabel zu gestalten, erfolgt die Dateneingabe in AutoCAD in der Regel einmalig, in dem Quellen, Senken und das Wegenetz räumlich definiert werden. Für jedes zu planende Unternehmen werden diese Daten, z. B. die Behälterstandorte und das innerbetriebliche Wegenetz, demnach zu Beginn der Planung eingegeben und im Laufe der Planung in der Regel nicht mehr verändert. Erst in der eigentlichen Planungsphase erfolgt innerhalb der Datenbank beispielsweise eine Zuordnung des Behälterstandortes zu der Anzahl der Behälter oder zu einem Behältertyp. Auch die Wahl der Bereitstellungsart (zentral, dezentral oder an Poolplätzen) und anderer wichtiger Parameter erfolgt ausschließlich auf den Oberflächen der Datenbank. Somit können vom Planer relativ schnell verschiedene Varianten erzeugt werden.

4.2.1 Allgemeine Stammdaten

Wie bereits in Bild 4.3 angedeutet, sind in einzelnen Tabellen der Access-Datenbank die Stammdaten des Programms hinterlegt. Dies sind im einzelnen Daten über:

- Behälter zur Sammlung
- Behälter zur Abholung
- Stetigförderer
- Unstetigförderer
- Außerbetriebliche Transportmittel

Unter den Behältern zur Sammlung werden dabei jene Behälter verstanden, die auf der Bereichsebene aufgestellt sind und nicht als innerbetriebliche Senke genutzt werden. Beispiele für Behälter zur Abholung sind Presscontainer oder Mulden mit großem Fassungsvolumen.
In Bild 4.4 sind die Datenfelder der Tabellen der oben aufgelisteten Stammdaten aufgeführt. Bei den Behältern enthalten die Datensätze neben einer eindeutigen Bezeichnung Informationen über das Volumen und die Behälterkosten (vgl. Kap. 5.1). Die Behälter werden genutzt, um die einzelnen Tabellen miteinander zu verknüpfen, da die Behälter das entscheidende logistische Element sind, um die Kompatibilität zu den Fördermitteln und außerbetrieblichen Transportmitteln zu erzielen. Daher erscheint das Feld „Behälter (Name)“ ebenfalls in den Tabellen Stetigförderer, Unstetigförderer und Transportmittel.

Behälter		**Fördermittel**		**Außerbetriebliche Transportmittel**
Behälter zur Sammlung	**Behälter zur Abholung**	**Stetigförderer**	**Unstetigförderer**	
Art	Art	Art	Art	Art
Name	Name	Behälter (Name)	Behälter (Name)	Behältervolumen
Volumen	Volumen	Geschwindigkeit	Geschwindigkeit	Behälter (Name)
Werkstoff	Werkstoff	Aufnahmezeit	Kapazität	Kosten pro Umleerung / Abholung
Abschreibung pro Jahr	Abschreibung pro Jahr	Abgabezeit	Aufnahmezeit	
Mietkosten pro Jahr	Mietkosten pro Jahr	Umleerzeit	Abgabezeit	
Wartungs- und Instandhaltungs-kosten pro Jahr		Kosten pro Stunde	Umleerzeit	
		Kosten pro Jahr	Kosten pro Stunde	
			Kosten pro Jahr	

Bild 4.4: Übersicht des Datenkonzeptes der Stammdaten

Die Verknüpfung zwischen den einzelnen Datensätzen erfolgt in PELIKOS durch die Auswahl eines Behälters. Als Beispiel sei hierzu in Bild 4.5 die Verknüpfung von Unstetigförderern und Behältern zur Sammlung dargestellt. Die Kompatibilität von Fördermittel und Behälter erfolgt programmseitig durch das Generieren eines Datensatzes, d. h. jede Relation von Fördermittel und Behälter resultiert aus einem Datensatz.

Behälter	**Art (Unstetigförderer)**
Industrie-Entsorgungsbehälter	Gabelstapler Handgabelhubwagen Schlepper Manuell
Palette mit 660 l MGB	Gabelstapler Handgabelhubwagen
4-rädrig 1.100 l, Stahl	Schlepper Manuell
2-rädrig, 240 l, Kunststoff	Manuell
...	...

Bild 4.5: Beispiel für die Verknüpfung von Unstetigförderern und Behältern zur Sammlung

Bei den Fördermitteln sind andere Datenfelder in den Stammdaten hinterlegt und zwar in erster Linie solche, welche die Leistung der Fördermittel beschreiben. Die nachfolgend aufgeführten Leistungsdaten für jedes Fördermittel sind für eine anschließende Kostenberechnung notwendig, also z. B.

- Fahrgeschwindigkeit,
- Zeiten für die Aufnahme und Abgabe der Behälter sowie
- Zeiten für das Umleeren der Behälter.

Die Kosten teilen sich in den verschiedenen Datenfeldern auf in fixe und variable Kosten. Bei den Unstetigförderern ist zusätzlich ein Feld Kapazität vorhanden, welches variabel verändert werden kann, aber bei fast allen Fördermitteln standardmäßig auf 1 (dies bedeutet Kapazität von 1 Behälter) gesetzt wird. Lediglich die Schlep-

per bilden hier eine Ausnahme, da durch das Bilden von Schleppzügen dem Fördermittel eine andere (Behälter-) Kapazität zugeordnet werden kann.
Bei den Transportmitteldaten ist ebenfalls eine Verknüpfung zu den Behälterdaten vorhanden und zwar für beide Behälterarten

- Behälter zur Sammlung bei einer Umleerung durch das Transportmittel an Poolplätzen
- Behälter zur Abholung (zentral oder dezentral) durch das Transportmittel

Die Verknüpfung erfolgt analog jener der Fördermittel, und zwar wird jeder Kombinationsmöglichkeit von Transportmittel und Behälter ein Datensatz zugeordnet, der vom Planer ausgewählt werden kann.

4.2.2 Unternehmensspezifische Stammdaten

Die Eingabe der unternehmensspezifischen Stammdaten wird in AutoCAD vorgenommen. Die Oberfläche von AutoCAD ist frei programmierbar, so dass dem Planer komfortable Dialogfenster zur Verfügung stehen. Mit AutoLisp ist für AutoCAD eine Programmiersprache vorhanden, die den Datenexport zu anderen Programmen, so auch zur Access-Datenbank, ermöglicht. Mit DCL (Dialogue Control Language) steht zudem ein Werkzeug zum Programmieren von benutzerspezifischen Dialogfenstern bereit.
Innerhalb von PELIKOS wurde das Zusatzmenü „Entsorgungslogistik“ in die AutoCAD Oberfläche integriert. Es existieren folgende Menüpunkte:

- Laden der Module (dient zum Initialisieren des Programmes),
- Allgemeine Daten,
- Behälterstandort (Quelle),
- Senken (zentral oder dezentral),
- Wege (für Stetig- oder Unstetigförderer),
- Datenexport.

Als Beispiele für die CAD-Oberfläche seien im folgenden die Dialogfenster nach Auswahl der Menüpunkte Behälterstandort (Quelle) und Datenexport dargestellt (vgl. Bild 4.6 und 4.7).

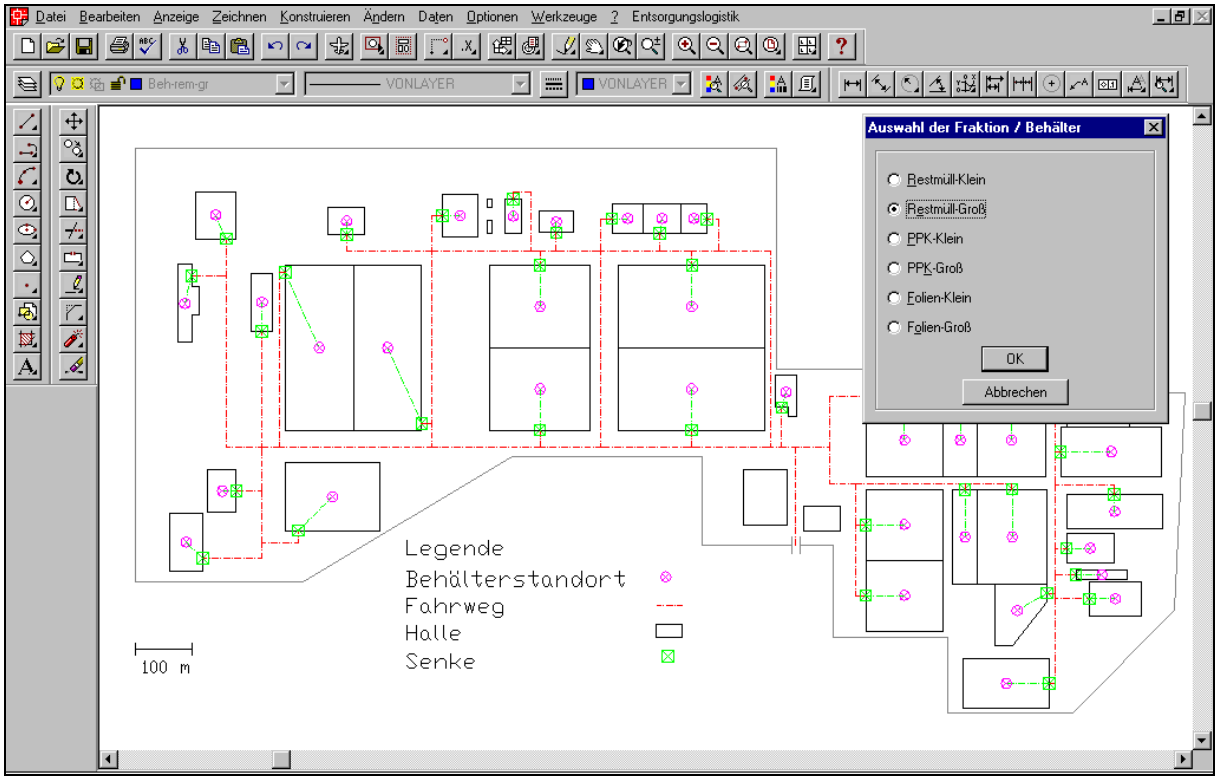


Bild 4.6: Menü Entsorgungslogistik / Eingabe eines Behälters (Quelle)

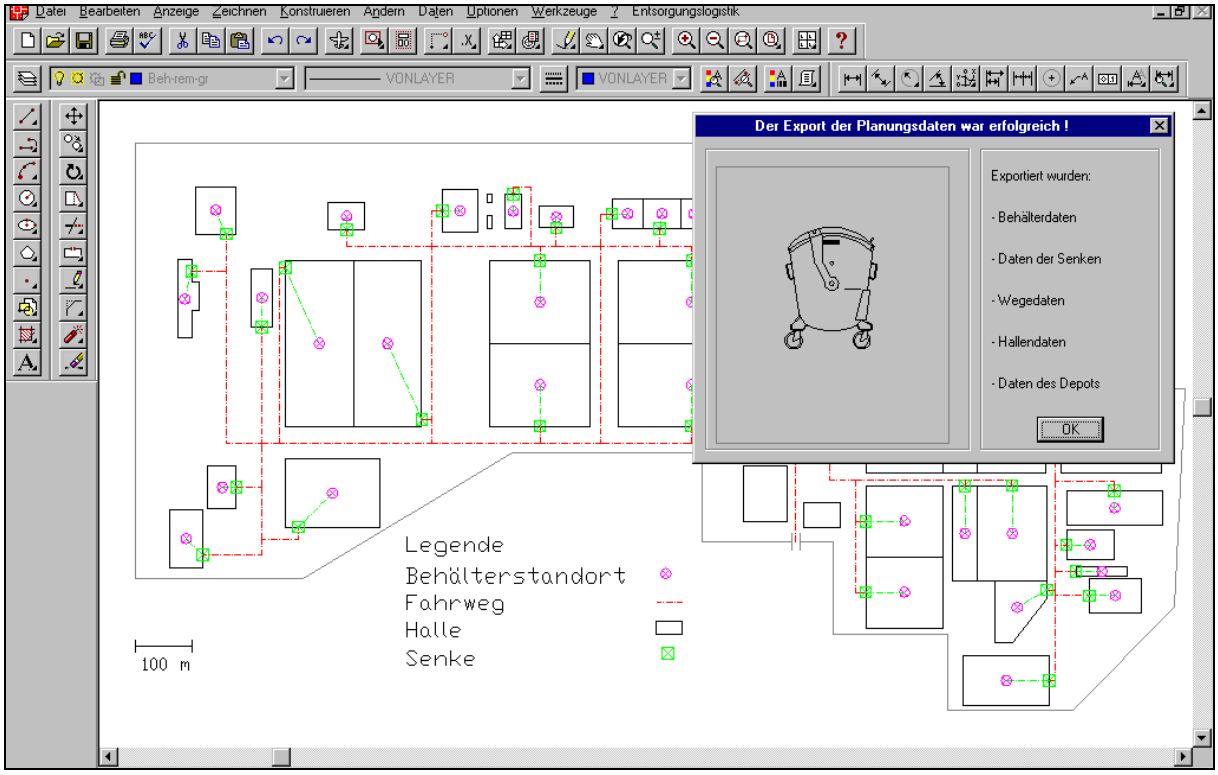


Bild 4.7: Menü Entsorgungslogistik / Oberfläche nach der Durchführung des Datenexports

Auf das in diesen Abbildungen aufgeführte Layout des Musterunternehmens soll erst in Kapitel 5.1 näher eingegangen werden.

Bei den vom Planer in AutoCAD einzugebenden Daten sind besonders die für die Materialflussbetrachtung wichtigen Daten hervorzuheben:

- Behälterstandorte (Quellen),
- Senken (zentral und dezentral) und
- Wege (für Stetig- und Unstetigförderer).

Im Rahmen dieser Arbeit sollen mit den Abfallfraktionen (vgl. Kapitel 1.2)

- Restmüll,
- PPK (Pappe, Papier und Kartonage) und
- Folien

jene Abfälle betrachtet werden, deren innerbetriebliche Sammlung einen erheblichen logistischen Aufwand erfordern.
Die Behälter können für diese drei Abfallfraktionen generiert werden, eine Verknüpfung mit einer Behälterart erfolgt in der Access-Datenbank. Für jede der obigen drei Fraktionen ist es möglich zwei unterschiedliche Behältertypen anzulegen, da in der Praxis selten werksübergreifend lediglich ein Behältertyp pro Fraktion verwendet wird. Somit können derzeitig insgesamt 6 verschiedene Behältertypen erzeugt werden (vgl. Bild 4.6)[11]. Die Behälterstandorte sind auf der Bereichsebene einzugeben, die als eine abgeschlossene Halle definiert wird. Daher soll innerhalb einer Halle, also für jeden Einzelbereich von jedem Typ jeweils nur ein Behälter aufgestellt werden, eine Zuordnung der Behälteranzahl je Typ erfolgt erst in der Access-Datenbank. Die Eingabe der Behälter erfolgt benutzergeführt, die Behälter werden in AutoCAD als Blöcke eingefügt. Es wird eine räumliche Gleichverteilung der Behälter auf der Arbeitsplatzebene angenommen, daher werden die Behälter in den zu planenden Unternehmen jeweils im geometrischen Mittelpunkt der Halle plaziert (vgl. Berechnung der Fördermittelkosten in Kap. 5.2).

---

[11] Das Ziel für jede der 3 genannten Fraktionen 2 unterschiedliche Behältertypen anzulegen, wird im Programm dadurch erreicht, dass mit 6 Fraktionen gerechnet wird, die bei bestimmten Rechnungen fraktionsweise zusammengefasst werden.

Innerhalb der Access-Datenbank erfolgt anschließend für jede Halle und jede Fraktion eine Eingabe und Zuordnung der Behälteranzahl je Fraktion und Typ.
Die Eingabe der Senken erfolgt analog über das Einfügen von definierten Blöcken. Es können, gemäß der Hauptunterteilung der Bereitstellungsarten, zentrale und dezentrale Senken erzeugt werden. Dezentrale Senken werden an der Hallenkante angelegt, eine zentrale Senke kann als Entsorgungszentrum beliebig im Werk angeordnet werden. Die Zuordnung der dezentralen Senken zu den einzelnen Hallen-Nummern (Bereichen) wird in AutoCAD über eine Modifikation der Block-Attribute der Senken vorgenommen. In der Datenbank lassen sich für die dezentralen Senken Poolplätzen als zusätzliche Planungsvariante definieren (vgl. Bild 2.10, Bereitstellungsverfahren).

Das innerbetriebliche Wegenetz, also die Verbindung der Quellen (Behälterstandorte) und Senken, wird ebenfalls in AutoCAD generiert. Es wird dabei unterschieden in Unstetigförderer- und Stetigfördererstrecken. Die Stetigfördererstrecken verbinden die Behälterstandorte mit den dezentralen Senken und verlaufen somit innerhalb der Hallen bis zur Hallenkante. Diese Strecken werden nur dann als Stetigfördererstrecken erkannt, wenn Stetigförderer im Planungsmodul ausgewählt wurden. Falls Unstetigförderer vorhanden sind, nutzen diese ebenfalls diese Strecken. Dies vereinfacht die Dateneingabe, da innerhalb der Bereichsebene kein redundantes Wegenetz für Stetig- und Unstetigförderer eingegeben werden muss. Das Wegenetz für Unstetigförderer verbindet jede dezentrale Senke mit dem Entsorgungszentrum. Das eingegebene Datennetz muss lückenlos sein und jede Quelle und Senke integrieren. Dies ist für die Qualität der anschließenden Kostenberechnung entscheidend und führt im Programm im Falle eines nicht geschlossenen Wegenetzes bei der Wegberechnung zu einer Fehlermeldung.

Ergänzt und abgeschlossen wird die Dateneingabe in AutoCAD durch eine Menüführung zur Eingabe der Hallenkonturen, des Werkstors sowie des Depots[12] für die Unstetigförderer.

---

[12] Es wird bei der Berechnung der Kosten der Unstetigförderer vereinfachend davon ausgegangen, dass diese auf ein Depot zurückgreifen, welches den Start- und Zielpunkt für die Sammlung darstellt (vgl. Kap. 5). Ein Depot ist der Stellplatz für Gabelstapler oder Schlepper, an dem nach Beendigung der Schicht das Abstellen erfolgt, z. B. eine Batterieladestation.

Nach Beendigung der Dateneingabe können die Daten aus AutoCAD exportiert werden (vgl. Bild 4.7), damit diese anschließend dem eigentlichen Planungsmodul zur Verfügung stehen. Beim Export der Daten ist grundsätzlich zu differenzieren zwischen Daten des Wegenetzes und Daten der Quellen und Senken. Bei den Daten des Wegenetzes wird jede einzelne Strecke als Datensatz exportiert und in eine Datei geschrieben. Es werden in jedem der Datensätze die Koordinaten vom Anfangs- und Endpunkt aufgeführt, so dass sich innerhalb der Datenbank die Entfernungen von der Quelle zur Senke bei der Berechnung der Entfernungsmatrix vollständig abbilden lassen.
Die Daten der Quellen und Senken werden als Blöcke in AutoCAD eingefügt und somit auch als Blöcke in einzelne Dateien exportiert. AutoCAD bietet hierfür die Möglichkeit die Attributinformationen der Blöcke zu extrahieren. Hierzu muss die Struktur der Datei, in der die Attributinformationen enthalten sein sollen, in einer Dateischablone definiert werden.

Es werden sämtliche für die anschließende Planung erforderlichen Daten in einzelne txt-Dateien geschrieben und stehen somit der Access-Datenbank für den Import zur Verfügung. Beispielhaft für den Export der eingefügten Blöcke sind in Bild 4.8 einige Datensätze der Behälterdaten aufgelistet. Die Datenfelder sind im einzelnen: Blockname, x-Koordinate, y-Koordinate sowie Zuordnung der Fraktion.

Blockname	x-Koordinate	y-Koordinate	Fraktion
BEH-REM-GR	1053	5,5	Restmüll groß
BEH-PPK-GR	1224,8	7	PPK groß
BEH-REM-GR	1399,2	-59,7	Restmüll groß
BEH-PPK-GR	1399,2	-59,7	PPK groß
BEH-REM-GR	1385	-290,7	Restmüll groß
...	...	...	...

Bild 4.8: Beispieldatensätze des Exportes der Behälterdaten

Nach dem Export der Daten kann das AutoCAD-Modul verlassen werden, ein Anlegen von Layout-Varianten und separates Speichern dieser AutoCAD-Daten ist dem Planer natürlich möglich.

4.2.3 Planungsdaten

Der Planer hat bei der Nutzung von PELIKOS die Möglichkeit durch eine Variation von Parametern, welche in der Access-Datenbank eingestellt werden können, unterschiedliche Planungsergebnisse in der anschließenden Kostenberechnung zu erzielen. Bevor eine Kostenberechnung durchgeführt wird, können im Formular „Einstellung der Parameter“ Einstellungen gewählt bzw. Modifikationen vorgenommen werden (Bild 4.9). Wie bereits angesprochen können für jede der Fraktionen zwei verschiedene Typen erzeugt werden, Typ „Groß“ und Typ „Klein“.

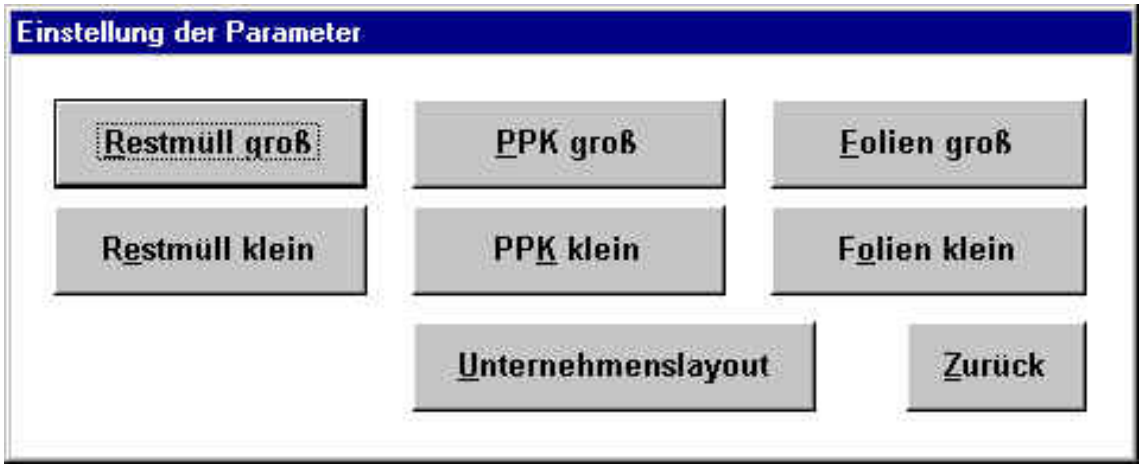


Bild 4.9: Formular „Einstellung der Parameter“

Es kann in dem in Bild 4.9 dargestellten Formular zum einen in ein weiteres Formular „Unternehmenslayout“ gewechselt werden (Bild 4.10), zum anderen können für jede der 6 Fraktionen verschiedene Einstellungen getroffen werden (s. unten).

Über das Formular „Unternehmenslayout“ wird einerseits der Datenimport angestoßen, es werden aber auch allgemeine, für die Planung wichtige Daten in diesem Formular definiert:

- Anzahl der Arbeitsschichten in denen entsorgt wird,
- Entleerungszyklen[13],
- Stundenlohn der Mitarbeiter und
- Bereitstellungsart zentral, dezentral oder Poolplätzen (vgl. auch Bild 2.10).

[13] Im Beispiel in Bild 4.10 bedeuten 125 Zyklen eine Leerung der Behälter jeden zweiten Tag, bei einer Annahme von 250 Produktionstagen pro Jahr.

Beim Datenimport kann der Planer das gewünschte Verzeichnis, in dem die Layoutvariante abgelegt ist, auswählen. Das Programm sucht die Datei „Wege.txt“, die bei jedem Datenexport angelegt wird.

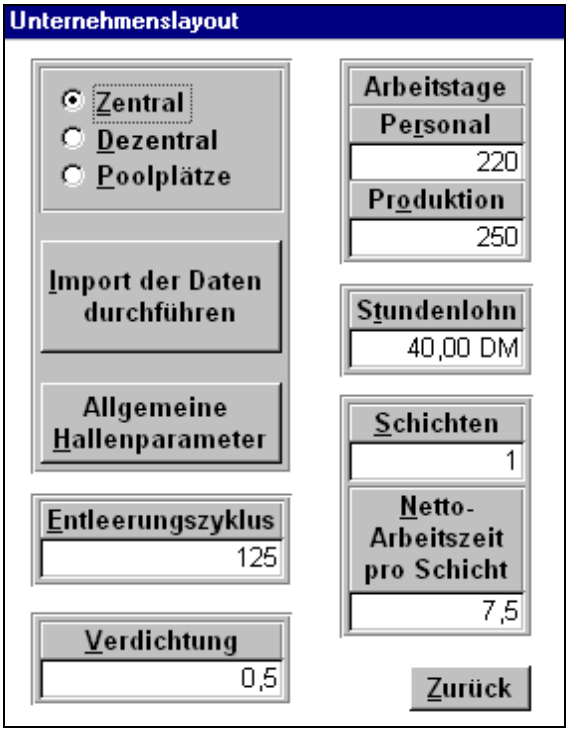


Bild 4.10: Unterformular „Unternehmenslayout“

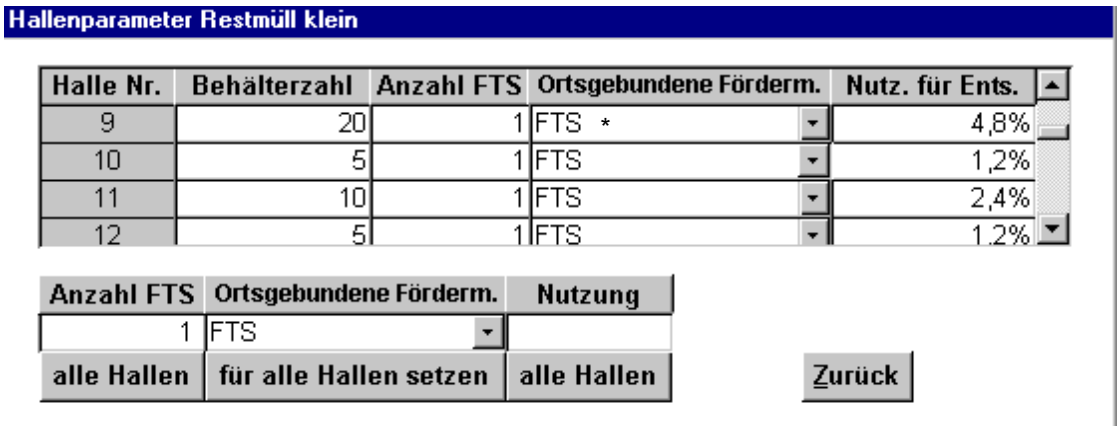
Auf dem Formular „Einstellung der Parameter“ kann der Planer nun für jede der Fraktionen verschiedene Einstellungen treffen (Bild 4.11), hier am Beispiel der Fraktion „Restmüll Groß“.

Es wird der Fraktion erst in diesem Schritt ein Behältertyp zugeordnet, so dass eine Veränderung des Behältertyps ohne erneutes Wechseln in das CAD-Modul möglich ist. Wie bereits erläutert, können pro Fraktion zwei verschiedene Behältertypen (Typ „Groß“ und Typ „Klein“) definiert werden. Durch die Festlegung des Behältertyps erscheinen im Kombinationsfeld „Fördermittel“ nur noch jene Datensätze, die zu dem gewählten Typ kompatibel sind (vgl. Verknüpfungen in Bild 4.5). Das Feld „Transportmittel“ ist ebenfalls von der gewählten Behältertechnik bestimmt, und zwar in Abhängigkeit davon, welche Behälter von den Transportmitteln angefahren werden können:

- von den gewählten Sammelbehältern bei Sammlung an Poolplätzen
- von den gewählten Mulden / Presscontainern an den Senken

Bild 4.11: Formular „Einstellung der Fraktionsparameter“ am Beispiel „Restmüll Groß“

Das Feld „Senke“ in Bild 4.11 ist daher im Formular nicht vorhanden, wenn bei der Bereitstellungsart „Poolplätze“ ausgewählt wurde, da in diesem Fall, bedingt durch die Bereitstellungsart, keine zusätzlichen Behälter an der Senke aufgestellt werden.
Des weiteren wird in diesem Formular die erwartete Abfallmenge in t pro Jahr hinterlegt sowie ausgewählt, ob es sich um gekaufte oder gemietete Behälter handelt. Weitere wichtige Einstellungen werden im folgenden Formular „Hallenparameter“ für jede der 6 Fraktionen definiert (Bild 4.12).



* FTS - Fahrerlose Transportsysteme

Bild 4.12: Formular „Hallenparameter“ am Beispiel „Restmüll Klein“

Für jede Halle wird die Behälteranzahl definiert, auch hier besteht in der Planungsphase die Möglichkeit diese Daten mit geringem Aufwand für eine veränderte Planung neu zu definieren.
Ferner kann an dieser Stelle die alternative Nutzung von ortsgebundenen Fördermitteln in den einzelnen Hallen abgebildet werden. Es besteht die Auswahl zwischen Rollenbahn, FTS und einem nicht ortsgebundenen Fördermittel. Diese Verknüpfung ist allerdings nur dann aktiv, wenn bei der Behältertechnik eine Auswahl getroffen wurde, die kompatibel zu den aufgeführten Fördermitteln ist. Es handelt sich dabei um die folgenden Behältertypen:

- Industrie-Entsorgungsbehälter
- Palette (ohne Räder) 660 l
- Palette (ohne Räder) 1000 l

Zur Vereinfachung der Dateneingabe können innerhalb des Formulars „Hallenparameter“ die Daten auch für alle Hallen gleich gesetzt werden, ebenso kann aber auch jeder Halle einzeln ein ortsgebundenes Fördermittel zugewiesen werden.

Die Nutzung der Fördermittel für die Entsorgung wird als Prozentsatz hinterlegt und gibt den errechneten Anteil der Entsorgung am betrieblichen Durchsatz der ortsgebundenen Fördermittel wieder (vgl. Kapitel 5.2.1). Dieser Anteil ist für die Kostenberechnung wichtig, da hierüber eine Kostenzuordnung der Fördermittel auf die Entsorgung erfolgt. Durch die prozentuale Verrechnung dieser Kosten kann der Fall der ausschließlichen Nutzung (100 %) der ortsgebundenen Fördermittel durch die Entsorgung abgebildet werden. Eine anteilige Berechnung der Kosten dieser Fördermittel auf die Entsorgung ist jedoch praxisgerechter, da der für ortsgebundene Fördermittel relativ geringe Durchsatz im Bereich der Entsorgungslogistik dazu führt, dass diese Fördermittel nur bei gleichzeitiger (und überwiegender) Nutzung durch die Versorgungslogistik wirtschaftlich eingesetzt werden können.

Wie oben bereits aufgezählt, wird das in Kapitel 3 beschriebene neuartige Behältersystem, neben einer Reihe von anderen in der Industrieentsorgung genutzten Behältersystemen, innerhalb von PELIKOS abgebildet. Der wirtschaftliche Nutzen des Behältersystems für die Entsorgung von Industrieunternehmen soll in Kapitel 6 aufgezeigt werden. Zuvor soll jedoch in Kapitel 5 eine genaue Betrachtung der Berechnungen erfolgen, die in PELIKOS durchgeführt werden.

5 Berechnung der verschiedenen Kostenarten

Mit dem Programm PELIKOS, welches im vorigen Kapitel beschriebenen wurde, sollen vor allem die Veränderungen der Entsorgungskosten in Abhängigkeit von verschiedenen Parametern berechnet und für verschiedene Varianten überprüft werden. Die Kostenberechnungen innerhalb dieses Programms sollen in diesem Kapitel für die folgenden fünf Kostenarten (vgl. auch Bild. 4.1) erläutert werden:

- Behälterkosten
- Fördermittelkosten
- Außerbetriebliche Transportmittelkosten
- Personalkosten
- Beseitigungs- / Verwertungskosten

Die gesamten innerbetrieblichen Entsorgungskosten setzen sich demnach zusammen aus:

$$K_{Ges,Ent} = K_{Beh} + K_{Fm} + K_{Tm} + K_{Pers} + K_{BV} \quad (1)$$

$K_{Ges,Ent}$	-	Gesamte innerbetriebliche Entsorgungskosten
K_{Beh}	-	Behälterkosten
K_{Fm}	-	Fördermittelkosten
K_{Tm}	-	Transportmittelkosten
K_{Pers}	-	Personalkosten
K_{BV}	-	Kosten für die Beseitigung oder Verwertung der Abfälle

Unberücksichtigt bleiben bei dieser Kostenaufstellung die folgenden Kostenarten

- Kosten für innerbetriebliche Abfallbehandlungsanlagen, z. B werksinterne Sortieranlagen,
- Raum- und Flächenkosten, also beispielsweise die Kosten für Stellflächen der Sammelsysteme,
- Folgekosten, worunter z. B. Kosten für die Kapitalbindung von Wertstoffen fallen,
- Kosten, die durch das Befüllen der Sammelsysteme durch Produktionsmitarbeiter entstehen.

Bevor auf die Berechnung der einzelnen Kostenarten näher eingegangen wird, sollen im folgenden die Restriktionen und Randbedingungen, die diesen Berechnungen zugrunde liegen, aufgelistet werden. Eine zusätzliche Beschreibung der Restriktionen erfolgt in den Kapiteln 5.1 bis 5.4:

- Die Fahrzeiten der Fördermittel errechnen sich aus den Durchschnittsgeschwindigkeiten und den Fahrstrecken. Beschleunigungen, Kurvenfahrten, Strecken mit reduzierter Maximalgeschwindigkeit, etc. bleiben unberücksichtigt.
- Es existieren keine zeitlichen Restriktionen oder Prioritäten für die Sammlung der einzelnen Behälter.
- Pausenzeiten, eingeschränkte Verfügbarkeit der Fördermittel, etc. werden über einen konstanten Beschäftigungsgrad der Fördermittel abgebildet.
- Jedes Fördermittel hat eine definierte Kapazität, die nicht überschritten werden kann. Diese Kapazität ergibt sich aus der zulässigen maximalen Behälteranzahl pro Fördermittel.
- Es ist ein Depot für die Unstetigförderer vorhanden, welches den Start- und Endpunkt für die Sammlung durch jedes Fördermittel pro Tag darstellt, es sind geschlossene Touren vorhanden.
- Es wird für jede Art der nicht ortsgebundenen Fördermittel die gesamte Fahrzeit pro Jahr ermittelt und daraus die erforderliche Anzahl Fördermittel je Gruppe (Fördermittel gleicher Bauart) abgeleitet.
- Die Fördermittelstrecken sind von der Fahrtrichtung unabhängig.
- Jahreszeitliche bzw. produktionsbedingte Schwankungen des Abfallaufkommens werden nicht eingerechnet. Die Behälterentleerungszyklen werden über das Jahr als gleichmäßig verteilt angenommen.
- Die Kosten für die ortsgebundenen Fördermittel können mit einem Anteil (0 % bis 100 %) der Entsorgung zugerechnet werden (vgl. Kapitel 5.2.1), der sich aus dem betrieblichen Durchsatz und dem Durchsatz durch die Entsorgung ergibt.
- Für nicht ortsgebundene Fördermittel, wie z. B. Gabelstapler oder Schlepper, werden die Kosten vollständig der Entsorgung zugerechnet und diese somit ausschließlich für entsorgungslogistische Aufgaben eingesetzt.

5.1 Behälterkosten

Die Behälterkosten berechnen sich im Rahmen des Programmes über die Investitionskosten und einer linearen Abschreibung dieser Kosten auf fünf Jahre bzw. einem Mietzins, falls die Behälter in Form einer Dienstleistung von einem externen Unternehmen zur Verfügung gestellt werden. Die Auswahl der Behälter zur Sammlung (gekauft oder gemietet) oder Behälter zur Abholung (gemietet) erfolgt im Formular „Einstellung der Fraktionsparameter“ (vgl. Bild. 4.11) und wird fraktionsweise vorgenommen. Die gesamten Behälterkosten ergeben sich wie folgt:

Gemietete Behälter

$$K_{Beh} = \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} \left(n_{BS(i,\,j)} * K_{BS,\,M(i)}\right) + \left(n_{BA(i,\,j)} * K_{BA,\,M(i)}\right) \tag{2}$$

Gekaufte Behälter

$$K_{Beh} = \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} n_{BS(i,\,j)} * \left(K_{BS,\,A(i)} + K_{BS,\,W(i)}\right) \tag{3}$$

n - Anzahl der Fraktionen

m - Anzahl der Hallen

n_{BS} - Anzahl der Behälter zur Sammlung pro Halle und Fraktion

$K_{BS,A}$ - Abschreibungskosten je Behälter zur Sammlung, wobei die Behälter fraktionsweise zugeordnet werden. Hierbei handelt es sich um eine lineare Abschreibung der Anschaffungskosten über fünf Jahre.

$K_{BS,M}$ - Mietkosten je Behälter zur Sammlung, wobei die Behälter fraktionsweise zugeordnet werden. Es handelt sich um Mietkosten pro Jahr.

$K_{BS,W}$ - Wartungs- und Instandhaltungskosten je Behälter zur Sammlung, wobei die Behälter fraktionsweise zugeordnet werden. Es handelt sich um Kosten pro Jahr. Bei gemieteten Behältern sind diese Kosten im Mietzins enthalten und daher nicht separat aufgeführt.

n_{BA} - Anzahl der Behälter zur Abholung (Mulden bzw. Presscontainer), zentral oder dezentral aufgestellt.

$K_{BA,M}$ - Kosten je Behälter zur Abholung (zentral oder dezentral) und Fraktion. Hierbei handelt es sich um Mietkosten pro Jahr.

5.2 Fördermittelkosten

Die Fördermittelkosten lassen sich einteilen in Kosten für stetige und unstetige Fördermittel. Für das Programm PELIKOS wurde eine weitere Unterscheidung definiert, und zwar in **„Ortsgebundene Fördermittel“**, also Fördermittel, die nur innerhalb der Hallen genutzt werden, und **„Nicht ortsgebundene Fördermittel“,** d. h. Fördermittel, die auf dem gesamten Werksgelände, also auch in den Hallen, zum Einsatz kommen können. Eine solche Unterteilung ist notwendig, weil sich die Berechnung der Kosten für diese beiden Gruppen wesentlich unterscheidet.

- Ortsgebundene Fördermittel:
  Fahrerlose Transportsysteme (FTS) und Rollenbahnen,
- Nicht ortsgebundene Fördermittel[11]:
  Gabelstapler, Drehgabelstapler, Schlepper, Handgabelhubwagen und manueller Transport.

Unter FTS werden im Rahmen der Kostenberechnung sowohl die FTF (Fahrerlosen Transport-Fahrzeuge) als auch die Steuerung dieser Fahrzeuge verstanden.

Die resultierenden Fördermittelkosten für diese Gruppen von Fördermitteln ergeben sich somit aus der Summe der Kosten für die ortsgebundenen und nicht ortsgebundenen Fördermittel, die sich wiederum in Abhängigkeit ihrer Behälterkapazität in zwei weitere Gruppen unterteilen (vgl. Kap. 5.2.2):

$$K_{FM} = K_{OFM} + K_{NOFM,g} + K_{NOFM,h} \tag{4}$$

K_{OFM} - Kosten für ortsgebundene Fördermittel

$K_{NOFM,g}$ - Kosten für nicht ortsgebundene Fördermittel mit einer geringen Behälterkapazität (Index g)

$K_{NOFM,h}$ - Kosten für nicht ortsgebundene Fördermittel mit einer hohen Behälterkapazität (Index h)

---

[11] Auch die nicht ortgebundenen Fördermittel können ortsgebunden eingesetzt und genutzt werden.

5.2.1 Kosten der ortsgebundenen Fördermittel

Unter diese Gruppe von Fördermitteln fallen sowohl stetige als auch unstetige Fördermittel, z. B. Rollenbahnen oder Fahrerlose Transportsysteme (FTS). Innerhalb des Programmes werden die Kosten für diese Fördermittel über einen Nutzungsgrad ermittelt, der den Durchsatz der Entsorgung bezogen auf den gesamten betrieblichen Durchsatz wiedergibt, wobei es möglich ist, die Kosten für diese Fördermittel vollständig der Entsorgungslogistik zuzurechnen. Der relativ geringe Durchsatz dieser Fördermittel mit Behältern der Entsorgung führt aber dazu, dass eine anteilige Berechnung der Investitionskosten dieser Fördermittel auf die Entsorgung praxisgerechter und sinnvoller ist. Nur wenn diese Fördermittel von der Versorgungslogistik ebenfalls genutzt werden bzw. bereits vorhanden sind, macht eine Nutzung durch die Entsorgungslogistik Sinn. Dies wird durch die Nutzungsgrade der Fördermittel berücksichtigt.

$$K_{OFM} = \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} \left(f_{RB(i,j)} * K_{RB(j)} + f_{FTS(i,j)} * K_{FTS} \right) \tag{5}$$

K_{OFM} - Kosten für ortsgebundene Fördermittel

f_{RB} - Nutzungsgrad der Rollenbahnen für die Entsorgung (s. unten),

K_{RB} - Kosten der Rollenbahnen pro Jahr

f_{FTS} - Nutzungsgrad der Fahrerlosen Transportsysteme (FTS) für die Entsorgung (s. unten),

K_{FTS} - Kosten der Fahrerlosen Transportsysteme (FTS) pro Jahr

Die Nutzungsgrade für jeden der beiden Typen der ortsgebundenen Fördermittel wird gemäß der folgenden Beziehung ermittelt:

$$f_{(RB,\ FTS)} = \sum_{j=1}^{m} \frac{n_{BS(j)} * A_{UL}}{l_{(RB,\,FTS)(j)}} \tag{6}$$

A_{UL} - Anzahl der Umleerungen der Behälter pro Jahr. Durch diesen Wert werden die Produktionstage pro Jahr und die Umleerungen der Behälter pro Tag berücksichtigt.

$\lambda_{(RB,\,FTS)}$ - Betrieblicher Durchsatz der ortsgebundenen Fördermittel in Behältern pro Jahr. Dieser Wert gibt den maximalen Durchsatz an Behältern pro Jahr (für die Ver- und Entsorgung) für jeden der Fördermitteltypen an.

$f_{(RB, FTS)}$ - Nutzungsgrad der Rollenbahnen bzw. FTS für die Entsorgung

n_{BS} - Anzahl der Behälter zur Sammlung pro Halle und Fraktion

In Anlehnung an **Kuhn 1993** wird die Kostenberechnung für die zwei Fördermitteltypen innerhalb des Programmes wie folgt durchgeführt:

Berechnung der Kosten der Fahrerlosen Transportsysteme

$$K_{FTS} = \left(K_{FTF, Inv} + \frac{K_{FTS, Inv\ -St}}{n_{FTF, St}} \right) * n_{FTF, Hal} * f_{FTS, Var} * \frac{1}{T_{FTS, Abschr}} \quad (7)$$

K_{FTS} - Kosten der Fahrerlosen Transportsysteme (FTS) pro Jahr

$K_{FTF,Inv}$ - Investitionskosten der Fahrerlosen Transport-Fahrzeuge (FTF)

$K_{FTS,Inv-St}$ - Investitionskosten der Steuerung der Fahrerlosen Transportsysteme (FTS)

$n_{FTF,St}$ - Anzahl der FTF bei gleicher Systemsteuerung

$n_{FTF,Hal}$ - Anzahl der FTF pro Halle

$f_{FTS,Var}$ - Faktor, über den die einsatzabhängigen Kosten der FTS erfasst werden: Wartung, Instandhaltung und Energieversorgung

$T_{FTS,Abschr}$ - Abschreibungszeit der FTS

Berechnung der Kosten der Rollenbahnen

$$K_{RB(j)} = \sum_{j=1}^{m} K_{RB, Inv} * l(j) * f_{RB, Var} * \frac{1}{T_{RB, Abschr}} \quad (8)$$

K_{RB} - Kosten der Rollenbahnen pro Jahr

$K_{RB,Inv}$ - Spezifische Investitionskosten der Rollenbahnen (DM / m)

l - Länge der Rollenbahnen pro Halle. Diese Strecke wird ebenfalls bei den nicht ortsgebundenen Fördermitteln mit einer hohen Behälterkapazität genutzt.

$f_{RB,Var}$ - Faktor, über den die einsatzabhängigen Kosten der Rollenbahnen erfasst werden: Wartung und Instandhaltung

$T_{RB,Abschr}$ - Abschreibungszeit der Rollenbahnen

5.2.2 Kosten der nicht ortsgebundenen Fördermittel

Die Kosten für die nicht ortsgebundenen Fördermittel, z. B. Gabelstapler oder Schlepper, ergeben sich über die Zeiten, die für die gesamten innerbetrieblichen Transporte unter den gegebenen Randbedingungen erforderlich sind. Aus diesen Zeiten kann auf die notwendige Fördermittelanzahl und somit auf die Kosten geschlossen werden.

Die Behälterstandorte sind auf der Bereichsebene jeder Halle definiert worden und zwar innerhalb jeder Halle in den geometrischen Mittelpunkt. Um den Planungsaufwand zu reduzieren wurde hierfür der geometrische Mittelpunkt und nicht der Wichtungsschwerpunkt[12] gewählt, eine Gewichtung der Transporthäufigkeit der Behälter der einzelnen Arbeitsplätze wurde also vernachlässigt, da die Transporthäufigkeit in der Entsorgungslogistik kaum zwischen den einzelnen Arbeitsplätzen variiert. In der Praxis wurde bei 30 untersuchten Unternehmen festgestellt, dass die Behälter in der Regel einmal pro Tag bzw. pro Schicht geleert werden.

Für die Berechnung der Anzahl der Fördermittel muss zunächst ermittelt werden, welche Gesamtzeit sich für die Tätigkeiten der Entsorgungslogistik ergibt. Diese besteht aus:

- Fahrzeit,
- Aufnahmezeit der Behälter,
- Abgabezeit der Behälter sowie
- Umleerzeit der Behälter.

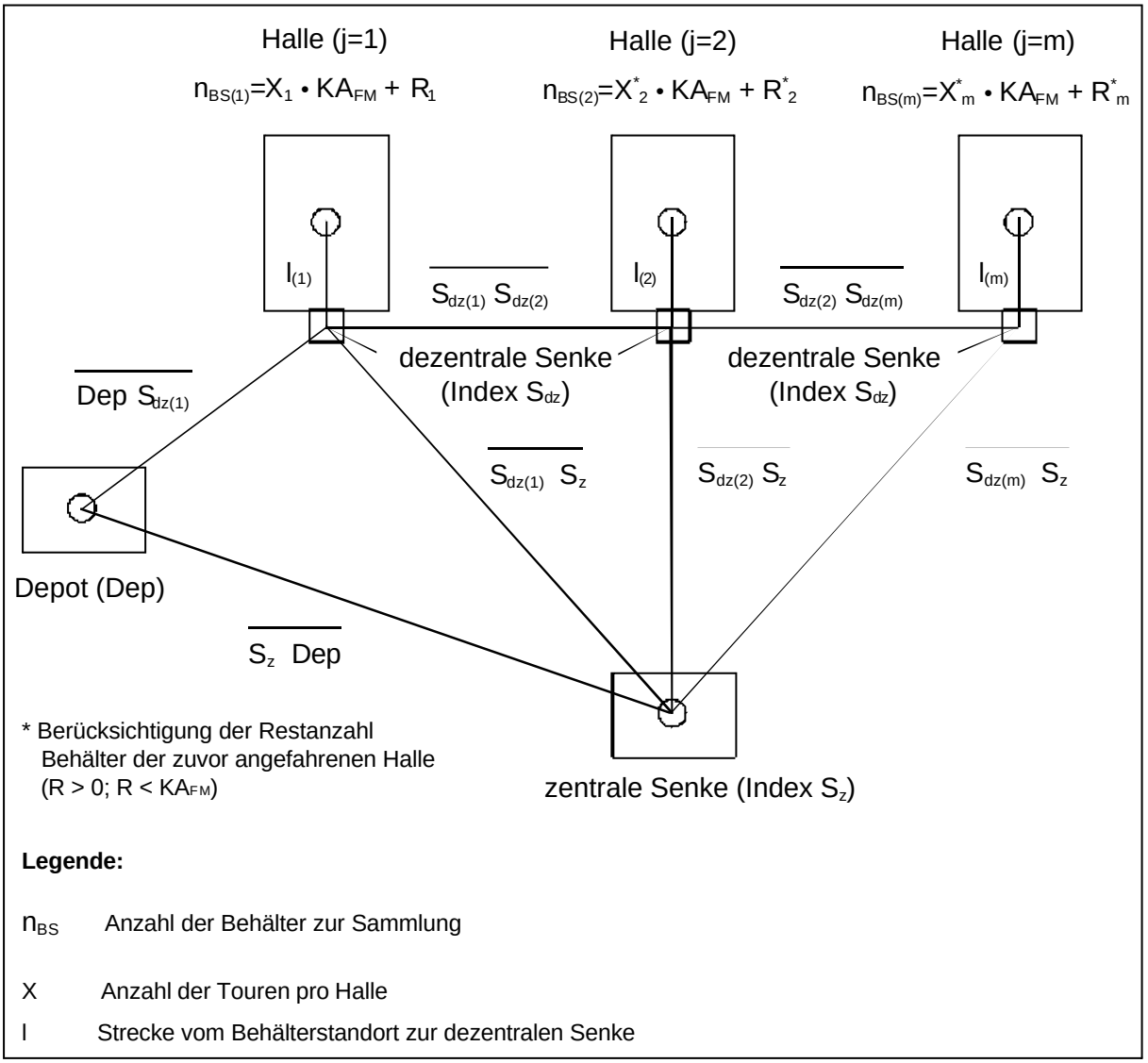
Bei der Berechnung dieser Zeiten muss unterschieden werden in Fördermittel mit einer geringen bzw. einer hohen Behälterkapazität. Diese Aufteilung ist notwendig, da sich gerade die von den Fördermitteln zurückzulegende Fahrstrecke bei diesen beiden Gruppen erheblich unterscheidet. Während der Gabelstapler beispielsweise zwischen Quelle und Senke pendelt, fährt der Schlepper innerbetriebliche Touren mit mehreren Behältern im Schleppzug. Des weiteren muß differenziert werden in die Berechnung der Kosten für die in Kapitel 2 aufgezeigten drei unterschiedlichen Bereitstellungsverfahren der Behälter (vgl. Bild 2.10):

- Zentrale Bereitstellung und Umleerung in Behälter zur Abholung
- Dezentrale Bereitstellung und Umleerung in Behälter zur Abholung
- Dezentrale Bereitstellung an Poolplätzen

---

[12] Der Schwerpunkt aus dem Betrag der Entfernungen multipliziert mit der Anfahrhäufigkeit.

Die in den Berechnungen in den folgenden Kapiteln 5.2.2.1 und 5.2.2.2 genutzten Formelzeichen und Indizes sind in Bild 5.1 zusammengefasst dargestellt. So ist in Bild 5.1 insbesondere die Berücksichtigung der verschiedenen Strecken, die aus dem CAD-Modul exportiert wurden, innerhalb des Programmes PELIKOS ersichtlich. Die Strecke $\overline{Dep\ \ S_{dz(1)}}$ ist dabei z. B. jene vom Depot der Fördermittel zur ersten dezentralen Senke (Halle j = 1) und die Strecke $\overline{S_{dz(j)}\ S_z}$ bezeichnet den Weg, welchen die Fördermittel von der dezentralen Senke der Halle „j“ zur zentralen Senke zurücklegen.



Legende:

n_{BS} Anzahl der Behälter zur Sammlung

X Anzahl der Touren pro Halle

l Strecke vom Behälterstandort zur dezentralen Senke

Bild 5.1: Formelzeichen und Indizes zur Kostenberechnung der nicht ortsgebundenen Fördermittel

5.2.2.1 Gesamtfahrzeit der Fördermittel mit geringer Behälterkapazität

Fördermittel mit einer auf eine Ladeeinheit beschränkten Kapazität, wie z. B. der Gabelstapler, fahren in einer „Pendeltour“ zwischen den einzelnen Behälterstandorten und der zentralen oder dezentralen Senke. Somit ergibt sich die Gesamtzeit zu:

$$t_{ges,g} = \sum_{k=1}^{q} \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} ((t_{Fahr(k,i,j)} + n_{BS(i,j)} * (t_{auf(k)} + t_{ab(k)} + t_{uml(k)})) * A_{UL} \quad (9)$$

A_{UL} - Anzahl der Umleerungen der Behälter pro Jahr. Durch diesen Wert werden die Produktionstage pro Jahr und die Umleerungen der Behälter pro Tag berücksichtigt.

n_{BS} - Anzahl der Behälter zur Sammlung pro Halle und Fraktion

q - Anzahl der Fördermittelarten mit einer geringen Behälterkapazität

$t_{ges,g}$ - Gesamtzeit der Behältersammlung, der Index g wird für die Fördermittel mit einer geringen Behälterkapazität verwendet

t_{Fahr} - Gesamtfahrzeit in Abhängigkeit der gewählten Fördermittelart,

t_{auf} - Aufnahmezeit der Behälter in Abhängigkeit der gewählten Fördermittelart

t_{ab} - Abgabezeit der Behälter in Abhängigkeit der gewählten Fördermittelart

t_{uml} - Umleerzeit der Behälter in Abhängigkeit der gewählten Fördermittelart

In die Berechnung der Fördermittelkosten fließen nur die Kosten für die Sammelbehälter (n_{BS}) ein, da die zentralen / dezentralen Behälter zur Abholung (n_{BA}) von den Transportmitteln getauscht werden. Die Fahrzeit, welche von den Hallen, Fraktionen und Fördermittelarten abhängig ist, ergibt sich für die drei unterschiedlichen Bereitstellungsverfahren wie folgt:

Gesamtfahrzeit für zentrale Bereitstellung und Umleerung in Behälter zur Abholung

$$t_{Fahr(k,i,j)} = (\overline{Dep \quad S_{dz(1)}} + 2 * ((n_{BS(i,j)} + 1) * l(j) + n_{BS(i,j)} * \overline{S_{dz(j)} \quad S_z}) + \overline{S_{dz(j)} \quad S_{dz(j+1)}} + \overline{S_{dz(m)} \quad Dep}) * \frac{1}{v_{m(k)}} * w \quad (10)$$

$\overline{Dep\ \ S_{dz(1)}}$ - Fahrstrecke vom Depot zur ersten dezentralen Senke. Für $n_{BS(i,j=1)} = 0$ wird der Zähler „j“ solange erhöht, bis die erste Halle mit $n_{BS(i,j)} > 0$ erreicht ist.

$\overline{S_{dz(j)}\ \ S_z}$ - Fahrstrecke von der dezentralen Senke der Halle „j“ zur zentralen Senke S_z. Für den Fall der dezentralen Bereitstellung sind diese Streckenabschnitte gleich null.

$\overline{S_{dz(j)}\ \ S_{dz(j+1)}}$ - Fahrstrecke zwischen den dezentralen Senke der einzelnen Hallen. Die Reihenfolge der Hallen wird vom Planer definiert.

$\overline{S_{dz(m)}\ \ Dep}$ - Fahrstrecke von der dezentralen Senke der letzten Halle (j=m) zum Depot. Für $n_{BS(i,j=m)} = 0$ wird der Zähler „j“ solange reduziert bis die letzte Halle mit $n_{BS(i,j)} > 0$ erreicht ist.

l - Strecke vom Behälterstandort zur dezentralen Senke

n_{BS} - Anzahl der Behälter zur Sammlung pro Halle und Fraktion

v_m - Mittlere Geschwindigkeit des Fördermittels in Abhängigkeit der gewählten Fördermittelart

w - Umwegfaktor. Über diesen Wert wird berücksichtigt, dass sich die reale Fahrstrecke von der reinen Koordinatendifferenz (Luftlinie) unterscheidet. Gründe hierfür sind Hallen, Hindernisse, etc.
Über diesen konstanten Faktor können den vorhandenen Abweichungen Rechnung getragen werden. Aufwendigere Rechenverfahren werden z. B. bei **Fischer 1981** oder **Röscher 1993** erläutert. Zur Qualität der Planungsergebnisse bei Verwendung von Umwegfaktoren s. Kap. 6.4.

Gesamtfahrzeit für dezentrale Bereitstellung und Umleerung in Behälter zur Abholung

$$t_{Fahr(k,i,j)} = (\overline{Dep\ \ S_{dz(1)}} + (n_{BS(i,j)} + 1) * l(j) + \overline{S_{dz(j)}\ \ S_{dz(j+1)}} + \overline{S_{dz(m)}\ \ Dep}) * \frac{1}{v_{m(k)}} * w \quad (11)$$

Gesamtfahrzeit für dezentrale Bereitstellung an Poolplätzen

$$t_{Fahr(k,i,j)} = 2 * (\overline{Dep\ \ S_{dz(1)}} + 2 * n_{BS(i,j)} * l(j) + \overline{S_{dz(j)}\ \ S_{dz(j+1)}} + \overline{S_{dz(m)}\ \ Dep}) * \frac{1}{v_{m(k)}} * w \quad (12)$$

Da die Behälterstandorte nicht auf Arbeitsplatzebene definiert sind (vgl. Kap. 4.1), entfallen bei den Fördermitteln mit einer geringen Behälterkapazität die Fahrstrecken zu anderen Behältern innerhalb der Hallen. Es wird bei jeder Fahrt der in CAD eingegebene Aufstellungsort der Behälter auf der Bereichsebene der Halle angefahren.

5.2.2.2 Gesamtfahrzeit der Fördermittel mit hoher Behälterkapazität

In diese Gruppe von Fördermitteln fällt z. B. der Gabelstapler, wenn zwei Industrie-Entsorgungsbehälter übereinander gestapelt transportiert werden, und der in der Industrieentsorgung verbreitete Schlepperbetrieb. Dieser zeichnet sich dadurch aus, dass seine Behälterkapazität größer ist, als jene der zuvor betrachteten Fördermittel. Die Behälter werden über eine Deichsel und Kupplung hinter den Schlepper gehängt. Es bilden z. B. vier Behälter zusammen mit dem Schlepper den sogenannten Schleppzug. Die Zeitberechnung für Schlepper wird im Rahmen des Programmes wie folgt vorgenommen:

$$t_{ges,h} = \sum_{l=1}^{r}\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}((t_{Fahr(l,i,j)} + n_{BS(i,j)} * (t_{auf(l)} + t_{ab(l)} + t_{uml(l)})) * A_{UL} \qquad (13)$$

A_{UL} - Anzahl der Umleerungen der Behälter pro Jahr. Durch diesen Wert werden die Produktionstage pro Jahr und die Umleerungen der Behälter pro Tag berücksichtigt.

n_{BS} - Anzahl der Behälter zur Sammlung pro Halle und Fraktion

r - Anzahl der Fördermittelarten mit einer hohen Behälterkapazität

$t_{ges,h}$ - Gesamtzeit der Behältersammlung, der Index h wird für die Fördermittel mit einer hohen Behälterkapazität verwendet

t_{auf} - Aufnahmezeit der Behälter in Abhängigkeit der gewählten Fördermittelart

t_{ab} - Abgabezeit der Behälter in Abhängigkeit der gewählten Fördermittelart

t_{uml} - Umleerzeit der Behälter in Abhängigkeit der gewählten Fördermittelart

Analog zur Berechnung in Kap. 5.2.2.1 erfolgt auch für diese Fördermittelgruppe eine Unterteilung der Fahrzeiten für die drei Bereitstellungsverfahren:

Gesamtfahrzeit für zentrale Bereitstellung und Umleerung in Behälter zur Abholung

$$t_{Fahr(l,\,i,\,j)} = (\overline{Dep\quad S_{dz(1)}} + 2 * \left((X(j)+1) * l(j) + X(j) * \overline{S_{dz(j)}\ \ S_z}) + n_{BS(i,\,j)} * l(j) * \frac{1}{5} \right) + \overline{S_{dz(j)}\ \ S_{dz(j+1),(R>0)}} + \overline{S_{dz(m)}\ \ Dep}) * \frac{1}{v_{m(l)}} * w \tag{14}$$

$$n_{BS(i,\,j)} = X(j) * KA_{FM} + R, \quad X \in N \tag{15}$$

$$X(j) = \frac{n_{BS(i,\,j)}}{KA_{Fm}}, \quad mit \quad R = 0, \quad X \in \mathrm{N} \tag{16}$$

$\overline{Dep\quad S_{dz(1)}}$ - Fahrstrecke vom Depot zur ersten dezentralen Senke. Für $n_{BS(i,j=1)} = 0$ wird der Zähler „j“ solange erhöht, bis die erste Halle mit $n_{BS(i,j)} > 0$ erreicht ist.

$\overline{S_{dz(j)}\ \ S_z}$ - Fahrstrecke von der dezentralen Senke der Halle „j“ zur zentralen Senke S_z. Für den Fall der dezentralen Bereitstellung sind diese Streckenabschnitte gleich null.

$\overline{S_{dz(j)}\ \ S_{dz(j+1)}}$ - Fahrstrecke zwischen den dezentralen Senken der einzelnen Hallen. Die Reihenfolge der Hallen wird vom Planer definiert.

$\overline{S_{dz(m)}\ \ Dep}$ - Fahrstrecke von der dezentralen Senke der letzten Halle (j=m) zum Depot. Für $n_{BS(i,j=m)} = 0$ wird der Zähler „j“ solange reduziert bis die letzte Halle mit $n_{BS(i,j)} > 0$ erreicht ist.

KA_{FM} - Kapazität der Fördermittel

l - Strecke vom Behälterstandort zur dezentralen Senke

n_{BS} - Anzahl der Behälter zur Sammlung pro Halle und Fraktion

R - Restanzahl der Behälter, die sich in einer Halle nach der Bildung von Touren unter Ausnutzung der vollen Kapazität der Fördermittel ergibt.

v_m - Mittlere Geschwindigkeit des Fördermittels in Abhängigkeit der gewählten Fördermittelart

w - Umwegfaktor. Über diesen Wert wird berücksichtigt, dass sich die reale Fahrstrecke von der reinen Koordinatendifferenz (Luftlinie) unterscheidet. Gründe hierfür sind Hallen, Hindernisse, etc.

X - Anzahl der Touren pro Halle. Hierbei handelt es sich um die Anzahl Touren mit vollständiger Behälteranzahl aufgrund der Kapazität des Fördermittels.

Falls nach der Fahrzeitberechnung der vollständigen Touren noch eine Restkapazität des Fördermittels verbleibt, wird die nächste Halle angefahren und dort die Behälteranzahl bis zur Fördermittelkapazität ergänzt. Anschließend werden in dieser Halle erneut vollständige Touren gefahren, wobei unter Umständen eine (neue) Anzahl Restbehälter verbleiben kann. Dieser Ablauf wird unter Einbeziehung der Nachfolgerhalle abermals angestoßen.

Gesamtfahrzeit für dezentrale Bereitstellung und Umleerung in Behälter zur Abholung

$$t_{Fahr(l,i,j)} = (\overline{Dep \quad S_{dz(1)}} + 2 * \left(\left(\frac{n_{BS(i,j)}}{KA_{FM}} + 1 \right) * l(j) + n_{BS(i,j)} * l(j) * \frac{1}{5} \right) + \overline{S_{dz(j)} \quad S_{dz(j+1)}} + \overline{S_{dz(m)} \quad Dep}) * \frac{1}{v_{m(l)}} * w \tag{17}$$

Bei l(j) handelt es sich um dieselbe Strecke vom eingegebenen Behälterstandort zur dezentralen Senke, die bereits bei der Berechnung für die ortsgebundenen Fördermittel genutzt wurde (vgl. auch Kap. 4.2.2).

Gesamtfahrzeit für dezentrale Bereitstellung an Poolplätzen

$$t_{Fahr(l,i,j)} = 2 * (\overline{Dep \quad S_{dz(1)}} + \frac{2 * n_{BS(i,j)}}{KA_{FM}} * l(j) + n_{BS(i,j)} * l(j) * \frac{1}{5} + \overline{S_{dz(j)} \quad S_{dz(j+1)}} + \overline{S_{dz(m)} \quad Dep}) * \frac{1}{v_{m(l)}} * w \tag{18}$$

5.2.3 Anzahl der Fördermittel und resultierende Kosten

Nach der Berechnung des Zeitbedarfes für die innerbetrieblichen Transporte kann auf die erforderliche Fördermittelanzahl je Fördermittelart geschlossen werden, um im nächsten Schritt aus dieser Anzahl der Fördermittel die Fördermittelkosten abzuleiten (s. unten). Die notwendige Fördermittelanzahl ergibt sich aus:

$$n_{FM(k,l)} = \frac{t_{ges}}{t_{FM(k,l)} * S} * h_{B(k,l)} \tag{19}$$

n_{FM} - Erforderliche Anzahl der Fördermittel je Fördermittelart. Dieser Wert wird im Programm aufgerundet.

S - Anzahl der Schichten, in denen Umleerungen der Behälter durchgeführt werden.

t_{FM} - Theoretisch verfügbare Zeit des Fördermittels pro Jahr

t_{ges} - Gesamtzeit der Behältersammlung

η_B - Beschäftigungsgrad des Fördermittels. „Berücksichtigung der Zeit, in der das Fördermittel aufgabengerechter Beanspruchung unterliegt“, **DIN 40041**

Berechnung der Kosten für Fördermittel mit einer geringen Behälterkapazität

$$K_{NOFM,g} = \sum_{k=1}^{q} \left(t_{ges,g(k)} * K_{FM,Var(k)} + \frac{n_{FM(k)} * K_{FM,Abschr(k)}}{T_{FM,Abschr(k)}} \right) \tag{20}$$

$K_{FM,Var}$ - Variable (einsatzabhängige) Kosten der Fördermittel

$K_{FM,Abschr}$ - Investitionskosten der Fördermittel

$K_{NOFM,g}$ - Kosten für nicht ortsgebundene Fördermittel mit einer geringen Behälterkapazität (Index g)

n_{FM} - Erforderliche Anzahl der Fördermittel je Fördermittelart. Dieser Wert wird im Programm aufgerundet.

$T_{FM,Abschr}$ - Abschreibungszeitraum der Fördermittel

$t_{ges,g}$ - Gesamtzeit der Behältersammlung, der Index g wird für die Fördermittel mit einer geringen Behälterkapazität verwendet

Berechnung der Kosten für Fördermittel mit einer hohen Behälterkapazität

$$K_{NOFM,h} = \sum_{l=1}^{r} \left(t_{ges,h(l)} * K_{FM,Var(l)} + \frac{n_{FM(l)} * K_{FM,Abschr(l)}}{T_{FM,Abschr(l)}} \right) \quad (21)$$

$K_{NOFM,h}$ - Kosten für nicht ortsgebundene Fördermittel mit einer hohen Behälterkapazität (Index h)

$t_{ges,h}$ - Gesamtzeit der Behältersammlung, der Index h wird für die Fördermittel mit einer hohen Behälterkapazität verwendet

5.3 Außerbetriebliche Transportmittelkosten

Unter außerbetriebliche Transportmittelkosten fallen sämtliche Kosten, die an der Schnittstelle des Industriebetriebes entstehen, damit die Abfälle vom Industriebetrieb zum Entsorger bzw. Verwerter gelangen, also im wesentlichen Umschlag- und Transportkosten. Die Kosten für diese Prozesse, die in der Regel von einem externen Dienstleister durchgeführt werden[13], sind im folgenden zusammengefasst unter außerbetrieblichen Transportmittelkosten. Gemäß der Bereitstellungsart der Behälter wird unterschieden in außerbetriebliche Transportmittelkosten

- bei zentraler und dezentraler Bereitstellung und
- Kosten bei Bereitstellung an Poolplätzen

Außerbetriebliche Transportmittelkosten bei zentraler und dezentraler Bereitstellung

Die Transportmittelkosten ergeben sich aus der Abholung der Behälter ($n_{BA(i)}$), z. B. der Presscontainer oder Mulden. Für die Kostenberechnung ist es dabei unerheblich, ob die Behälter zentral oder dezentral im Werk aufgestellt sind, die Dienstleistung ist dieselbe.

$$K_{Tm,BA} = \sum_{i=1}^{n} \left(\frac{\frac{m_{Fr(i)}}{r_{(i)}}}{V_{BA(i)}} * K_{TBA(i)} * n_{p(i)} \right) \quad (22)$$

---

[13] Die außerbetrieblichen Transportmittelkosten des externen Dienstleisters setzen sich aus Fahrzeug- und Personalkosten zusammen. Da diese Dienstleistung von den Entsorgern in der Regel als Fixbetrag ohne Unterscheidung in einzelne Kostenarten ausgewiesen wird, wird im Programm ebenfalls ein Gesamtbetrag angesetzt.

$K_{Tm,BA}$ - Summe der Transportmittelkosten bei Abholung der zentralen oder dezentralen Behälter

m_{Fr} - Masse pro Fraktion

ρ - Dichte pro Fraktion

V_{BA} - Fassungsvolumen eines Behälters zur Abholung der jeweiligen Fraktion

K_{TBA} - Transportkosten für die Abholung eines Behälters in Abhängigkeit der gewählten Fahrzeugtechnik pro Fraktion

ν_p - Verdichtungsfaktor. Beiwert der beim Einsatz von Pressbehältern den Komprimierungsgrad der einzelnen Fraktionen berücksichtigt. Beim Einsatz von Mulden ist dieser Beiwert = 1.

Außerbetriebliche Transportmittelkosten bei Bereitstellung an Poolplätzen

$$K_{Tm,\,pool} = \sum_{i=1}^{n} n_{BS(i)} * K_{TBS(i)} \qquad (23)$$

$K_{Tm,pool}$ - Summe der Transportmittelkosten bei Bereitstellung an Poolplätzen,

K_{TBS} - Transportkosten eines Behälters zur Sammlung in Abhängigkeit der gewählten Fahrzeugtechnik pro Fraktion.

n_{BS} - Anzahl der Behälter zur Sammlung pro Halle und Fraktion

5.4 Personalkosten

Unter Personalkosten fallen im Rahmen der Berechnungen dieses Programmes die logistischen Tätigkeiten für das Sammeln oder Umleeren der Behälter, also z. B. die Bedienung der Gabelstapler. Nicht enthalten bei den Personalkosten sind z. B. Verwaltungskosten (Planung, Disposition, etc.). Ausgenommen sind des weiteren die Personalkosten, die sich beim Transport der Abfälle für die Fahrer der Transportmittel (LKW) ergeben, da diese Kosten in der Regel vom Entsorgungsunternehmen bei der Dienstleistung „Transport“ nicht einzeln ausgewiesen werden (vgl. Kap. 5.3). Daher ergeben sich die Personalkosten unmittelbar aus den in Kap. 5.2 berechneten Fördermittelkosten.

$$K_{Pers} = \sum_{k=1}^{q} \sum_{l=1}^{r} t_{ges(k,l)} * K_{Pers,T} * S \qquad (24)$$

K_{Pers} - Personalkosten

$K_{Pers,T}$ - Personalkosten pro Stunde für die Bediener der Fördermittel

S - Anzahl der Schichten, in denen Umleerungen der Behälter durchgeführt werden

t_{ges} - Gesamtzeit der Behältersammlung

5.5 Beseitigungs- / Verwertungskosten

Bei dieser Kostenart handelt es sich um Fremdleistungskosten, die durch die Inanspruchnahme einer externen Dienstleistung entstehen, z. B. der thermischen Behandlung der Abfälle. Da für die Errichtung und den Betrieb solcher Anlagen eine Genehmigung nach dem Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) erforderlich ist, und solche Anlagen nur bei entsprechendem Abfallaufkommen wirtschaftlich arbeiten, wird die Verwertung bzw. Beseitigung der Abfälle in der Regel nicht von den Industriebetrieben selbst übernommen, sondern in speziell für diese Zwecke errichteten Anlagen behandelt.

Bei den betrachteten Abfallfraktionen Restmüll, Folien und PPK können hierunter fallen:

- Deponien,
- Müllverbrennungsanlagen,
- Papiersortieranlagen,
- Kunststoffsortieranlagen.

Für die Industriebetriebe sind die nachfolgenden Entsorgungsprozesse nur dahingehend von Interesse, dass sie als Erzeuger der Abfälle sicherstellen müssen, dass die Abfälle einer rechtlich gesicherten und genehmigten Beseitigung oder Verwertung zugeführt werden. Die Kosten werden in der Regel in DM / t mit dem Dienstleister abgerechnet und ergeben sich somit im Rahmen des Programmes zu:

$$K_{BV} = \sum_{i=1}^{n} m_{Fr(i)} * K_{BV,Fr(i)} \qquad (25)$$

K_{BV} - Kosten für die Beseitigung und Verwertung der Abfälle

m_{Fr} - Masse pro Fraktion

$K_{BV,Fr}$ - Beseitigungs- / Verwertungskosten pro Fraktion.