

# Wohin mit den Windeln? Netzwerkanalyse zur Positionierung von Sammelcontainern

Thorsten Hens, Susanne Vesper und Rebecca Stüken

Björnsen Beratende Ingenieure, Koblenz · t.hens@bjoernsen.de

Full paper double blind review

## Zusammenfassung

Im Rahmen einer Machbarkeitsstudie wurde das Potenzial zur stofflichen Verwertung von Windelabfällen, die in Haushalten und Pflegeheimen anfallen, aufgezeigt und ein Gesamtkonzept für die Entsorgungslogistik und Verwertung vorgelegt. Verschiedene Varianten der Entsorgungslogistik wurden mithilfe von Netzwerkanalysen im Geografischen Informationssystem (GIS) auf der Grundlage von OpenStreetMap-Daten (OPENSTREETMAP 2014) berechnet, um daraus das Potenzial an erfassbarer Trockenmasse und die optimale Lage und Anzahl von Sammelcontainern bestimmen zu können.

## 1 Einleitung

Im Rahmen eines vom Land Rheinland-Pfalz geförderten EffChecks für die MOLTEX Baby-Hygiene GmbH wurden am Standort Mayen u. a. Untersuchungen zur stofflichen Verwertung der Abfälle aus der Windelproduktion durchgeführt. Die Produktionsabfälle erwiesen sich für die Herstellung von Pflanzenkohle und Wärme in Form der Karbonisierung (Pyrolyse) als geeignet (LEY 2014). Daraus entstand die Idee, die Windelabfälle von Babys und Kleinkindern, sowie der Inkontinenzabfall von inkontinenten, pflegebedürftigen Personen, die in der Stadt Mayen anfallen, durch das Karbonisierungsverfahren der Fa. PYREG einer stofflichen Verwertung zuzuführen (PYREG 2014). Die dabei entstehende Abwärme könnte für das von den Stadtwerken Mayen betriebene Wärmenetz unterstützend genutzt werden. Um durch die Karbonisierung die Windeln thermisch verwerten und gleichzeitig Pflanzenkohle, die z. B. als Bodenverbesserer weiter genutzt werden kann, herstellen zu können, muss ein eigenes Sammelsystem für die Windeln erstellt werden. Nur durch eine getrennte Erfassung der Windeln kann das Potenzial, das die Windeln als Wertstoff bietet, genutzt werden (KOMMUNAL DIREKT 2001).

In einer Machbarkeitsstudie der BJÖRNSSEN BERATENDE INGENIEURE (2014) sollten die energetischen und technischen Grundlagen erarbeitet werden und die Entsorgungslogistik – differenziert nach Hol- und Bringsystemen – konzipiert werden. Bei den bestehenden Pflegeheimen und dem Krankenhaus in Mayen kann ein Holsystem aufgrund des hohen Inkontinenzabfalls und den bereits vorhandenen Containern sinnvoll eingesetzt werden. Holsysteme bieten zwar für den Nutzer den größten Komfort, haben jedoch im Bereich der Privathaushalte den Nachteil, dass zusätzlicher Lagerplatz benötigt wird und aufgrund der Art des Abfalls eine mögliche Geruchsbelästigung die Akzeptanz herabsetzen kann. Die Beteiligung von Privathaushalten an einem Bringsystem ist von der Lage der Sammelcontainer

abhängig. Als mögliche Standorte wurde ein zentraler Standort an der Pyrolyseanlage sowie Standorte an Kindertageseinrichtungen und an Supermärkten vorausgewählt, da diese ohne zusätzliche Wege erreicht werden können.

Eine detaillierte Untersuchung der vorausgewählten Standorte für Sammelcontainer sollte zeigen, welche Standorte in welcher Zeit erreichbar sind, welcher Anteil der potenziell verfügbaren Trockenmasse über die Sammelcontainer erfasst werden kann und wie die Standorte der Sammelcontainer in Bezug auf die Lage und die Anzahl optimiert werden können.

## 1.1 Datengrundlage

Die Netzwerkanalyse wurde auf der Grundlage der in Tabelle 1 aufgeführten Daten ausgeführt.

**Tabelle 1:** Datengrundlage

Name	Beschreibung	Quelle/Jahr
OpenStreetMap (OSM) <sup>1</sup>	Format OSM XML	Download (2014)
Liegenschaftskataster	CAD-Auszug des Liegenschaftskataster	Stadt Mayen (2014)
Wohngebäude	Wohngebäude des Liegenschaftskatasters	Stadt Mayen (2014)
Wohnblöcke	Ableitung aus OSM Straßenzügen: „von Straßen umschlossene Flächen“	–
Standortdaten	Standorte der Sammelcontainer (Kindertageseinrichtungen und Supermärkte) nach Internetrecherche und Geokodierung über OpenStreetMap bzw. OSM Overpass API <sup>2</sup> Abfrage	<a href="http://www.mayen.de/">http://www.mayen.de/</a> <a href="http://overpass-api.de/">http://overpass-api.de/</a>
Altersstruktur	Statistik der Altersstruktur der Stadt Mayen	Stadt Mayen (2014)

GRASER et al. (2013) geben einen Überblick über bisherige Untersuchungen, die OSM mit anderen routingfähigen Daten vergleichen, und fassen die Stärken und Schwächen der jeweiligen Daten zusammen. NEIS et al. (2012) konnten nachweisen, dass OSM in Bezug auf das gesamte Netzwerk in Deutschland zwar 27 % mehr Daten beinhalten als der kommerzielle TomTom Datensatz, jedoch in Bezug auf die Straßennavigation in OSM ca. 9 % Daten fehlen. Eine Vervollständigung wurde nach NEIS et al. (2012) aufgrund der vergangenen Entwicklung der Daten bis Ende 2012 abgeschätzt. Die für das Routing wichtigen Abbiegerestriktionen bedürfen nach NEIS et al. (2012) einen weiteren Entwicklungszeitbedarf von mehr als fünf Jahren. Trotz der bekannten regionalen Qualitäts- und Quantitätsunterschiede in OSM, wurde für die Untersuchung OSM aufgrund der „freien“ Verfügbarkeit ausgewählt. Die OSM-Daten wurden mithilfe der freien Software OSM2Networkdataset<sup>3</sup> in ein routingfähiges Netzwerk konvertiert, das die OSM Attribute wie Restriktionen

<sup>1</sup> © OpenStreetMap-Mitwirkende, Open Data gemäß der Open Data Commons Open Database Lizenz (ODbL).

<sup>2</sup> <http://overpass-api.de/>

<sup>3</sup> 52North OSM2Networkdataset, Apache License, Version 2.0, <http://52north.org/>

nen, Einbahnstraßen, Abbiegeverbote, Sperrungen und maximale Geschwindigkeit verwendet und kann direkt mit dem Network Analyst untersucht werden. Die anschließende Datenprüfung ergab zwei unplausible Geschwindigkeitsattribute im Bereich der Innenstadt von Mayen (maximale Geschwindigkeit größer 80 km/h). Der stichprobenartige Vergleich der Ergebnisse webbasierter Routingdienste mit dem generierten Netzwerkdatensatz zeigte, dass der Datensatz für die Untersuchung der Standorte im Rahmen einer Machbarkeitsstudie grundsätzlich geeignet ist.

## 1.2 Vorgehensweise

Zunächst wurde die potenziell verfügbare Trockenmasse des Windelaufkommens auf der Grundlage der Altersstruktur in Mayen und der Windelmasse nach MEIER-CIOSTO (2003) mit  $105 \text{ Mg/a}^4$  abgeschätzt. Zur Analyse der mittels Sammelcontainer potenziell erfassbaren Trockenmasse wurde diese flächengewichtet auf die Wohngebäude des Liegenschaftskatasters verteilt und für die Wohnblöcke aggregiert. Die Wohnblöcke wurden als Ausgangspunkt für die Fahrzeitenanalysen herangezogen.

Die potenziell verfügbare Trockenmasse legt dabei nicht den Bedarf an Containern fest, da die mögliche Kapazität der Container über die Anzahl der Leerung gesteuert werden kann, d. h. bei geringerer Anzahl an Containern würde entsprechend häufiger geleert.

Folgende Parameter wurden analysiert:

- potenziell erfassbare Trockenmasse eines zentralen Sammelcontainers;
- potenziell erfassbare Trockenmasse dezentraler Sammelcontainer;
- Optimierungsberechnung über alle Standorte.

## 2 Netzwerkanalyse zur Positionierung der Sammelcontainer

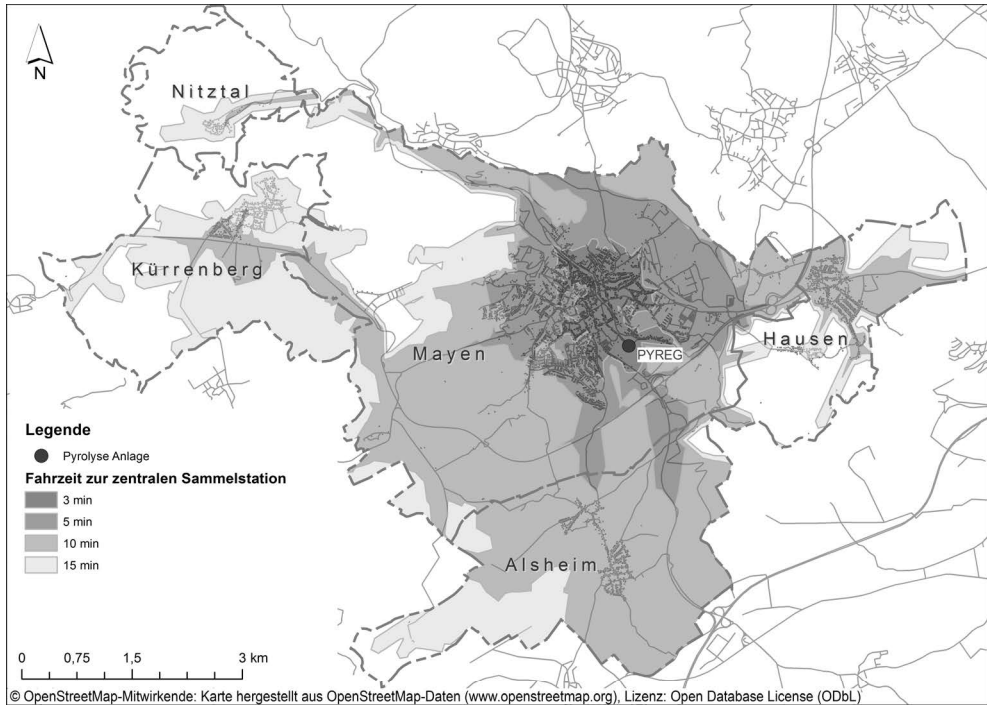
Bereits LUPIEN et al. (1987) führen an, wie Netzwerkanalysen im GIS neben der Bestimmung des besten Wegeverlaufs zur Ermittlung von Einzugsgebieten von Einrichtungen und deren Optimierung verwendet werden können. Die Analyse der Standorte der Sammelcontainer wurde in Esri ArcGIS Desktop als Netzwerkanalyse mit der Erweiterung „Network Analyst“ durchgeführt. Die Fahrzeiten werden anhand der durchschnittlichen Geschwindigkeit (PKW Profil) entlang der Straßen berechnet. Verzögerung durch Kreuzungen, Ampelanlagen oder erhöhtes Verkehrsaufkommen werden dabei nicht berücksichtigt.

### 2.1 Netzwerkanalyse zentraler Sammelstandort Pyrolyseanlage

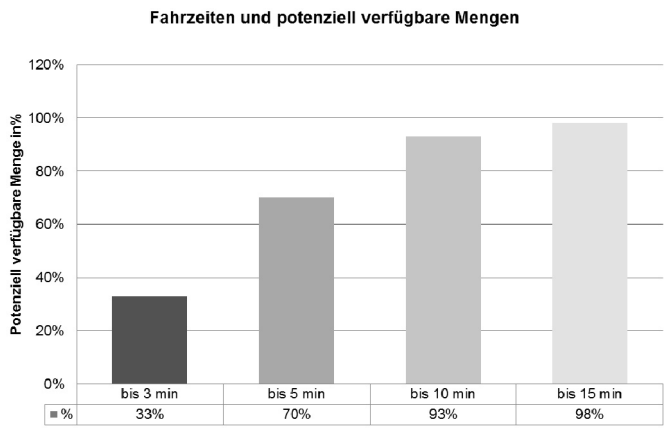
Die potenziell erfassbare Trockenmasse eines zentralen Windelcontainers auf dem Gelände der Pyrolyseanlage mit einem PKW wird mit den Methoden der Einzugsgebietsberechnung ermittelt. Das Einzugsgebiet umfasst alle Straßen, die vom Sammelcontainer in maximal 15 Minuten erreicht werden können. Die Fahrzeiten zur Anlieferung von Windeln zu einem zentralen Windelcontainer auf dem Gelände der Pyrolyseanlage mit einem PKW wurden auf der Grundlage der Routingdaten berechnet und in die Intervalle 0-3 Minuten, 3-5 Minuten, 5-10 Minuten und 10-15 Minuten klassifiziert (vgl. Abb. 1).

---

<sup>4</sup> 1 Mg = 1 Megagramm = 1 Tonne.



**Abb. 1:** Einzugsgebiet der zentralen Sammelstation auf dem Gelände der Pyrolyseanlage (BJÖRNSSEN BERATENDE INGENIEURE 2014)

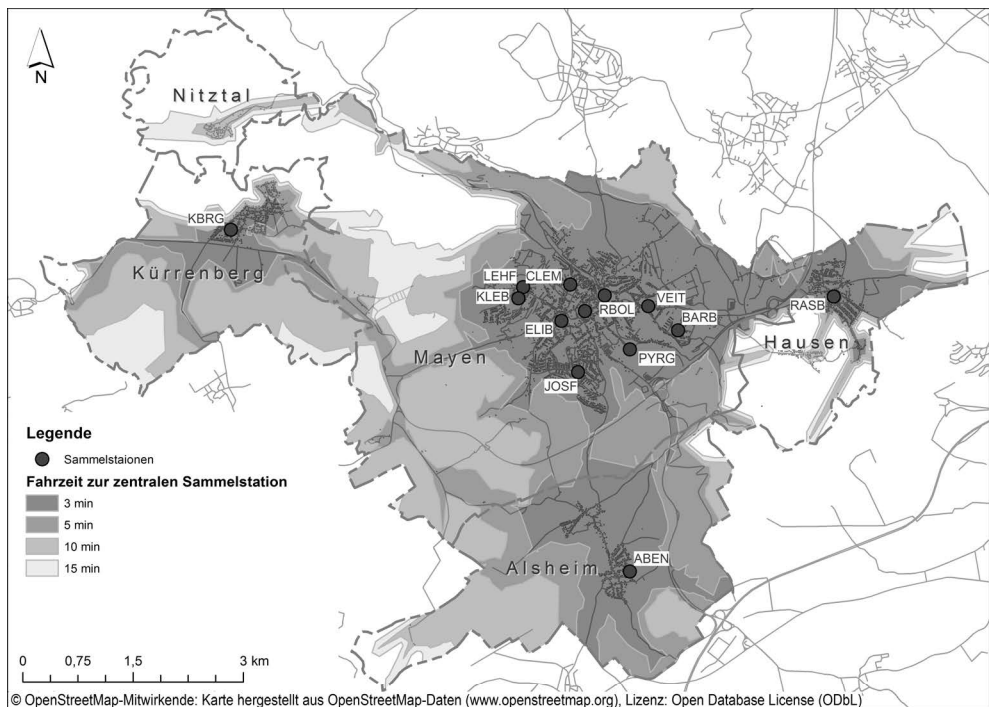


**Abb. 2:** Fahrzeiten und die damit potenziell verfügbare Menge Trockenmasse (%) einer zentralen Sammelstation auf dem Gelände der Pyrolyseanlage (BJÖRNSSEN BERATENDE INGENIEURE 2014)

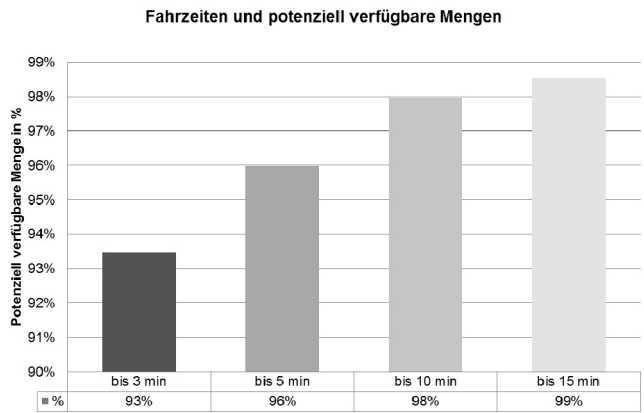
Anhand von Abbildung 1 und Abbildung 2 wird deutlich, dass der Container gut erreichbar wäre. Bei einer Fahrzeit von 10 Minuten würden bereits 93 % der anfallenden Trockenmasse erreicht.

## 2.2 Netzwerkanalyse dezentrale Sammelstandorte

Alternativ zur Einrichtung eines zentralen Sammelstandortes wurde die dezentrale Sammlung in Windelcontainern an geeigneten Standorten wie Kindergärten oder Kindertagesstätten vorgeschlagen. In Abbildung 3 sind alle Kindergärten und Kindertagesstätten sowie der potenzielle Standort der Pyrolyseanlage eingezeichnet. Würde an all diesen Standorten ein Sammelcontainer aufgestellt, würden schon bei einer Fahrzeit von drei Minuten 93 % der Trockenmassenmenge erfasst werden (s. Abb. 4).



**Abb. 3:** Fahrzeiten zu den dezentralen Sammelstationen an Kindergärten, Kindertagesstätten und auf dem Gelände der Pyrolyseanlage (Standortkürzel s. Tabelle 1). (BJÖRNSSEN BERATENDE INGENIEURE 2014)



**Abb. 4:** Fahrzeiten und potenziell verfügbare Mengen Trockenmasse bei Errichtung dezentraler Sammelstationen (BJÖRNSEN BERATENDE INGENIEURE 2014)

### 2.3 Optimierung der Lage und der Anzahl dezentraler Sammelstandorte

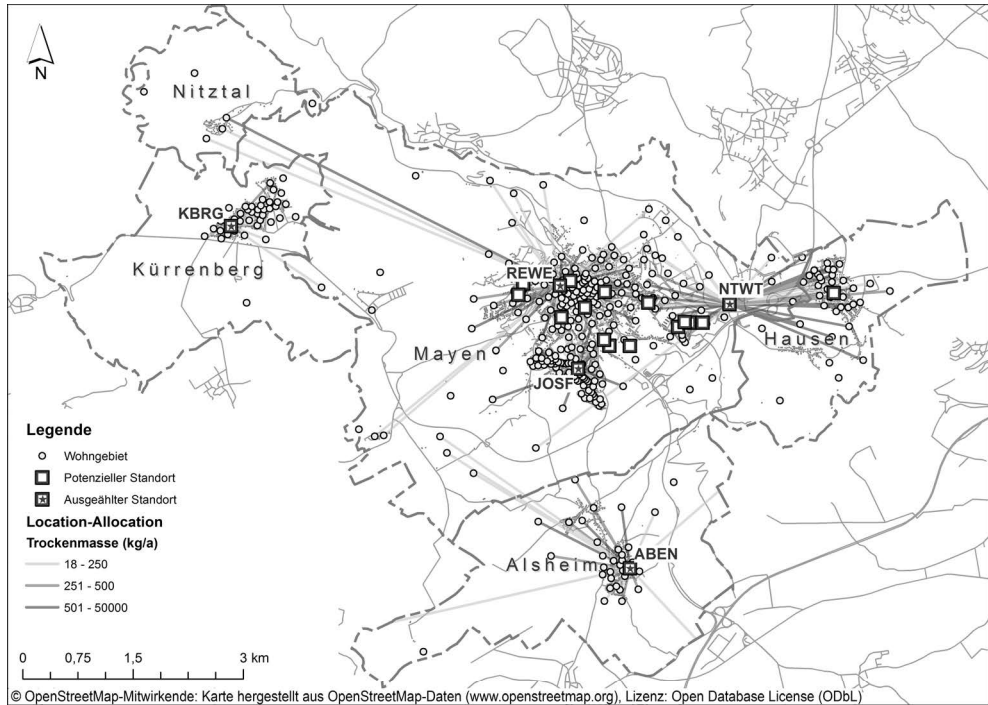
Die Aufstellung von Containern an allen Kindergärten, Kindertagesstätten sowie an der Pyrolyseanlage wäre mit hohen Kosten verbunden. Daher ist die Anzahl der Container so zu reduzieren, dass immer noch ein hoher Prozentsatz an Trockenmasse erfasst wird. Dazu ist es sinnvoll, die dezentralen Standorte weiter zu optimieren, damit eine gute Erreichbarkeit, d. h. kurze Fahrzeiten, trotz geringer Containeranzahl gewährleistet ist.

Im GIS kann diese Fragestellung mit der Location-Allocation-Analyse untersucht werden, die für räumlich verteilte Bedarfspunkte, die Einrichtungen ermittelt, die den Bedarf optimal abdecken (GOODCHILD 1987). Die Location-Allocation-Analyse des Problemtyps „Flächenabdeckung maximieren“ optimiert die Einrichtungen so, dass den Lösungseinrichtungen möglichst viele, innerhalb des Impedanz-Grenzwertes liegende Bedarfspunkte zugeordnet werden (ESRI 2015).

Parametrisierung:

- Einrichtungen: Standorte an Kindergärten, Kindertagesstätten und fünf Supermärkten;
- Bedarfspunkte: Zentroide der Wohnblöcke;
- Impedanz: Fahrzeit;
- Impedanz-Grenzwert: 10 Minuten;
- Anzahl auszuwählender Standorte: 4;
- Gewichtungskriterium der Bedarfspunkte: verfügbare Trockenmasse 1-40 Mg/a, d. h. Standorte in kurzer Entfernung zu Wohngebieten mit hoher Gebäudedichte und damit hoher potenzieller Trockenmenge werden höher priorisiert.

In Abbildung 5 ist das Ergebnis der Location-Allocation-Analyse exemplarisch unter Vorgabe von fünf auszuwählenden Standorten dargestellt. Die Karte zeigt anhand der Linien schematisch, welche Standorte von den Wohngebieten am schnellsten erreicht werden. Die Linien dienen dabei nur der schematischen Darstellung. Die Fahrzeitberechnung erfolgt auf der Grundlage der Routingdaten entlang der Straßen.



**Abb. 5:** Ergebnis der Location-Allocation-Analyse bei einer Auswahl von fünf Standorten (Standort-Kürzel siehe Tab. 1) (BJÖRNSSEN BERATENDE INGENIEURE 2014)

Tabelle 2 zeigt das Ergebnis der Location-Allocation Analyse abhängig von der Vorgabe der Anzahl der auszuwählenden Standorte. Anhand der summierten, potenziell erreichbaren Trockenmasse wird deutlich, dass 90 % der Wohngebiete den zentralen Standort am Kindergarten Herz Jesu im Zentrum von Mayen erreichen würden. Mit zunehmender Anzahl Standorte nimmt die potenziell erreichbare Trockenmasse nur noch geringfügig zu. Jedoch sinkt bei zunehmender Anzahl Standorte die spezifische Fahrzeit von 998 Minuten bei einem Standort auf 591 Minuten bei fünf Standorten. Die spezifische Fahrzeit gibt die Summe der Fahrzeiten von den Wohnblöcken zum jeweiligen Standort an und wird zur Beurteilung der relativen Zeiteinsparungen herangezogen. Zeiteinsparung bedeutet neben der eingesparten Zeit sowohl eine Reduzierung an Fahrtkosten als auch an CO<sub>2</sub>. Die Fahrzeit zur Anlieferung der Windel zu Standorten kann aufgrund der unterschiedlichen Haushaltsgrößen innerhalb der Wohnblöcke nicht aus der spezifischen Fahrzeit abgeleitet werden.

**Tabelle2:** Ergebnis der Location-Allocation Analyse unter Vorgabe der Auswahl von eins bis fünf Standorten (BJÖRNSSEN BERATENDE INGENIEURE 2014)

Anzahl Standorte	Name des Standorts	Kürzel	Erfasste Wohngebiete	Pot. Trockenmasse	Spezifische Fahrzeit
			Prozent	Prozent	Minuten
1	Kath. Kindergarten Herz Jesu	JESU	80 %	90 %	1108
2	Supermarkt Am Wasserturm	NTWT	15 %	17 %	124
	Kath. Kindergarten Herz Jesu	JESU	65 %	73 %	874
	<b>Summe</b>		<b>80 %</b>	<b>90 %</b>	<b>998</b>
3	Städt. Kindergarten Kürrenberg	KBRG	11 %	4 %	99
	Städt. Kindergarten „Abenteuerland“ Alzheim	ABEN	10 %	6 %	93
	Kath. Kindergarten „St. Veit“	VEIT	60 %	81 %	622
	<b>Summe</b>		<b>81 %</b>	<b>91 %</b>	<b>814</b>
4	Städt. Kindergarten Kürrenberg	KBRG	10 %	4 %	88
	Städt. Kindergarten „Abenteuerland“ Alzheim	ABEN	10 %	6 %	93
	Supermarkt Am Wasserturm	NTWT	15 %	17 %	129
	Supermarkt Finstinger Straße	REWE	46 %	64 %	399
	<b>Summe</b>		<b>81 %</b>	<b>91 %</b>	<b>709</b>
5	Städt. Kindergarten Kürrenberg	KBRG	10 %	4 %	88
	Städt. Kindergarten „Abenteuerland“ Alzheim	ABEN	10 %	5 %	87
	Kath. Kindergarten St. Josef, Am Taubenberg	JOSF	19 %	10 %	116
	Supermarkt Am Wasserturm	NTWT	15 %	17 %	129
	Supermarkt Finstinger Straße	REWE	27 %	54 %	171
	<b>Summe</b>		<b>81 %</b>	<b>91 %</b>	<b>591</b>

Zur Bestimmung der optimalen Anzahl an Containern wird in einem nächsten Schritt berechnet, wieviel Zeit eingespart werden kann, wenn statt einem, mehrere Container aufgestellt werden. In Tabelle 3 wird verdeutlicht, dass bei der Zeiteinsparung gegenüber der Aufstellung eines einzelnen Containers die höchste prozentuale Steigerung bei der Aufstellung von drei Containern erreicht werden würde.



**Tabelle 3:** Zeiteinsparung bei verschiedener Standortzahl im Gegensatz zu einem Standort (BJÖRNSSEN BERATENDE INGENIEURE 2014)

Anzahl Standorte	Zeiteinsparung	Differenz
2	10 %	
3	27 %	17 %
4	36 %	9 %
5	47 %	11 %

Das Ergebnis von drei Standorten unterstreicht den Richtwert der Firma Uthof Consulting (Consulting für Windelcontainer) von einem Container pro 6.000 Einwohner. In der Stadt Mayen entspräche das ca. drei Containern. Die Relevanz der Fragestellung und die Akzeptanz zeigen die Erfahrung der Stadt Flörsheim<sup>5</sup>: Nach der Einführung des Systems wurden die Windelcontainer zunächst einmal im Monat geleert. Aufgrund der guten Annahme durch die betroffenen Haushalte ist mittlerweile eine Leerung alle 2,5 Wochen erforderlich.

### 3 Ergebnis

Das potenzielle Windel- und Inkontinenzabfallaufkommen für die Stadt Mayen beläuft sich auf ca. 180 Mg/a Trockenmasse (105 Mg/a Windelabfall, 75 Mg/a Inkontinenzabfall) im Jahr. Zur Sammlung des Abfalls wurden drei mögliche Varianten evaluiert:

- Variante 1 – Holsystem: Windeln werden in den Haushalten, den Pflegeheimen und dem Krankenhaus in Säcken oder Tonnen gesammelt und von der Stadt abgeholt.
- Variante 2 – Bringsystem zentral: Einrichtung eines zentralen Sammelcontainers direkt bei der Pyrolyseanlage.
- Variante 3 – Bringsystem dezentral: Einrichtung von Sammelcontainer über die Stadt Verteil, Leerung und Anlieferung an die Pyrolyseanlage durch die Stadt.

Die drei Varianten unterscheiden sich in ihrer Benutzerfreundlichkeit und somit in ihrer Erfassungsrate und den Gesamtkosten.

In der GIS-Analyse wurde die Erfassungsrate in Abhängigkeit vom Fahrweg für die zweite und die dritte Variante bestimmt. Bei der Aufstellung eines Sammelcontainers an der Pyrolyseanlage wäre bereits bei einer Fahrzeit von 10 Minuten (PKW) mit einer Erfassungsquote von 93 % zu rechnen (Variante 2). Da diese Fahrten extra zum Zweck der Entsorgung getätigt werden müssten, ist davon auszugehen, dass die dezentrale Aufstellung von Sammelcontainern die Akzeptanz deutlich erhöht (Variante 3). Die günstigsten Standorte für drei Container wären ausgewählte Kindergärten bzw. Kindertagesstätten.

Ferner konnte gezeigt werden, dass aus den Daten des OpenStreetMap-Projektes in kurzer Zeit ein routingfähiger Netzwerkdatsatz aufgebaut werden kann, der zur Evaluierung unterschiedlicher Varianten der Entsorgungslogistik geeignet ist. Die Netzwerkanalyse lieferte die potenziell verfügbare Trockenmasse und die optimierte Anzahl und Lage von

<sup>5</sup> Information aus Interview mit dem Fachbereich Steuern, Abgaben und Dienstleistungen.

Sammelcontainern, sodass darauf aufbauend das Kosten-Nutzen Verhältnis bilanziert werden konnte. Für weitere Planungen und die endgültige Festlegung der Standorte ist eine Aktualisierung des Netzwerkdatensatzes sowie eine Überprüfung der Vollständigkeit und der Topologie des Straßennetzes erforderlich.

Eine abschließende Entscheidung für eine der Varianten ist unter Berücksichtigung der Erfassungsrate, der gewünschten Benutzerfreundlichkeit sowie den Gesamtkosten zu treffen.

## Literatur

- BJÖRNSEN BERATENDE INGENIEURE (2014), Erläuterungsbericht zur Machbarkeitsstudie Windelkarbonisierung zur Unterstützung des Nahwärmenetzes in der Stadt Mayen. Erstellt im Auftrag der MOLTEXT Baby-Hygiene GmbH Mayen (unveröffentlicht). Koblenz.
- ESRI (2015), ArcGIS Help 10.3 implementiert in Software Version Esri ArcGIS 10.3.0.4322.
- GOODCHILD, M. F. & DONNAN J. A. (1987), Optimum location of liquid waste disposal facilities: formation fluid in the Petrolia, Ontario, oilfield. In: CHATTERJI, M. (Ed.), Hazardous Materials Disposal: Siting and Management. Gower, Aldershot, 263-273.
- GRASER, A., STRAUB, M. & DRAGASCHNIG, M. (2013), Entwicklung eines Graphenmodells als Grundlage für eine Routingapplikation für den motorisierten Individualverkehr basierend auf GIP. In: STROBL, J. et al. (Hrsg.), Angewandte Geoinformatik 2013. Wichmann, Berlin/Offenbach, 424-433.
- KOMMUNAL DIREKT (2001), Windelrecycling schont die Umwelt – Positive ökologische Bilanz für Knowaste-Verfahren, 1/2001.
- LEY, M. (2014), Die Analyse der Pyrolysefähigkeit von Abfällen in der Babywindelproduktion. Bachelorarbeit Hochschule Koblenz (unveröffentlicht).
- LUPIEN, A. E., MORELAND, W. H. & DANGERMOND, J. (1987), Network analysis in Geographic Information Systems. In: Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 53 (10), 1417-1421.
- MEIER-CIOSTO M. (2003), Entsorgung von Windeln- und Inkontinenzabfälle. LfU-Schriftenreihe, 171, 33-34. Bayerisches Landesamt für Umwelt Augsburg.
- NEIS, P., ZIELSTRA, D., ZIPF, A. & STRUCK, A. (2010), Empirische Untersuchungen zur Datenqualität von OpenStreetMap – Erfahrungen aus zwei Jahren Betrieb mehrerer OSM-Online-Dienste. In: STROBL, J. et al. (Hrsg.), Angewandte Geoinformatik 2010. Wichmann, Berlin/Offenbach,
- NEIS, P., ZIELSTRA, D. & ZIPF, A. (2012), The Street Network Evolution of Crowdsourced Maps: OpenStreetMap in Germany 2007-2011. Future Internet, 4/2012, 1-21.
- OPENSTREETMAP (2014), Copyright OpenStreetMap-Mitwirkende, Open Data gemäß der Open Data Commons Open Database Lizenz (ODbL), <http://api.openstreetmap.org>.
- PYREG (2014), Das innovative PYREG®-Verfahren. <http://www.pyreg.de/technologie.html> (18.08.2014)