

Förderkennzeichen 033L020A. Gefördert durch



KuLaRuhr — Nachhaltige urbane Kulturlandschaft in der Metropole Ruhr

www.kularuhr.de

Bioenergie Supply Chain

Endbericht Teilprojekt 09 – Cluster03

Erstellt von:

Prof. Dr.-Ing. Bernd Noche

M. Sc. Aydin Karakaya

Inhaltsverzeichnis

1	Aufgabenstellung.....	4
2	Voraussetzungen, unter denen das FE-Vorhaben durchgeführt wurde.....	4
3	Planung und Ablauf des Vorhabens	5
4	Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde.....	6
4.1	Literaturverzeichnis.....	6
5	Zusammenarbeit mit anderen Stellen.....	13
6	Erzielte Projektergebnisse	14
6.1	Grundlagen zur Bioenergie und Logistik	14
6.1.1	Erneuerbare Energien und Bioenergie	14
6.1.2	Bioenergie Supply Chain.....	17
6.1.3	Modelle der Bioenergie Supply Chain	20
6.2	Datengrundlage	23
6.2.1	Untersuchungsgebiet	23
6.2.2	Quellen	24
6.2.3	Umschlagstationen	30
6.2.4	Verfügbare Flächen	30
6.2.5	Anlagen	31
6.2.6	Kunden	39
6.2.7	Logistik.....	41
6.3	Logistik.....	41
6.3.1	Bereitstellung von holzartigen Biomasse	42
6.3.2	Bereitstellung von halmgutartiger Biomasse	44
6.3.3	Bereitstellung von gewerblichen Bioabfällen	44
6.3.4	Bereitstellung von Bioabfällen aus Haushalt	54
6.3.5	Transportkosten.....	54
6.3.6	Logistikszenerarien.....	55
6.4	Entscheidungsunterstützungssystem bei der Verwertung von städtischen Biomassen	57
6.4.1	Grundlagen von Entscheidungsunterstützungssystemen.....	57
6.4.2	Bioenergie Supply Chain Designer	58

6.4.3	Benutzerschnittstelle	59
6.4.4	Daten-Management-Modul	59
6.4.5	Standortplanungsmodul.....	60
6.4.6	Meta-Daten und Benutzerhandbuch.....	64
6.5	Experimente.....	64
6.5.1	Annahmen für ausgewählte Szenarien	64
6.5.2	Ausgewählte Szenarien	64
6.5.3	Szenarien-Darstellung und Vergleich	65
6.5.4	Bewertung der Konzepte und Ausarbeitung der Vorschläge BMHKW und Biogasanlage	66
6.6	Zusammenfassung.....	67
7	Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere die Verwertbarkeit der Projektergebnisse.....	68
8	Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen	68
9	Erfolgte und geplante Veröffentlichung der Forschungsergebnisse	69
10	Kurzfassung des wesentlichen fachlichen Inhalts des Schlussberichts.....	69

I. Kurze Darstellung

1 Aufgabenstellung

Das Teilprojekt befasst sich mit dem Aufbau von Bioenergie Supply Chains. Im Ruhrgebiet fallen an vielen Stellen verschiedene Arten von Biomasse an, die zum jetzigen Zeitpunkt entsorgt, verwertet oder verkauft wird. Diese Biomasse eignet sich als Rohstoff für Bioabfallvergärungsanlagen, Klärwerke oder Biomasseheizkraftwerke. Das zentrale Ziel dieses Teilprojektes ist die Entwicklung eines integrierten Logistikkonzepts zur effektiven Unterstützung von Entscheidungsprozessen. Insbesondere für wirtschaftliche Einheiten aus dem privaten und öffentlichen Sektor, hinsichtlich einer optimalen Erfüllung der Aufgaben einer Gemeinde. Dies umfasst die Bereiche der Entsorgung von Biomassen, der Energieversorgung und des simultanen Betriebs von Klär- und Verwertungsanlagen. Daher wurde ein Planungswerkzeug implementiert, welches auf Basis abfragbarer Datensätze, als Tool zum Design von Bioenergie Supply Chains genutzt werden kann. Es wurden auch Logistikkonzepte zur qualitätsgerechten Biomasse Sammlung entwickelt. Diese Konzepte umfassen den Transport über Umschlagpunkte, die Auswahl von zentralen oder dezentralen Verarbeitungsstellen, sowie die Zufuhr der Energie an den Endverbraucher. Die Anwendung der Methodik wurde an ausgewählten Flächen im Ruhrgebiet erprobt und ausgewertet. Dabei wurden bestehende Infrastrukturen wie Klärwerke mit einbezogen. Prozessketten zur Bereitstellung von Bioabfall, Grünschnitt, Landschaftspflegematerial und Speisereste- Abfall aus der Lebensmittelindustrie wurden analysiert, miteinander verglichen und ebenfalls bewertet. Folgende zentrale Fragen wurden untersucht:

- Optimierung der Aufgabenerfüllung einer Gemeinde im Bereich der Verwertung von Biomassen
- Einbindung von bestehenden Anlagen im Verwertungssystem (z.B. Kläranlagen)
- Ökonomische Analyse der Verwertung von städtischen Biomassen im urbanen Raum
- Abdeckung von steigendem Bedarf an nachhaltigen Konzepten in den Ballungsgebieten
- Reduktion des urbanen Verkehrs sowie daraus resultierender Emissionen
- Optimierung der Material-, Produkt- und Informationsflüsse von Bioenergieanlagen

2 Voraussetzungen, unter denen das FE-Vorhaben durchgeführt wurde

Immer knapper werdende konventionelle Energiequellen wie Öl und der abnehmende Nutzen der Kernenergie führen zu einer Verschiebung des Augenmerks auf erneuerbare Energien, sie gewinnen an Bedeutung und stehen stärker im Fokus. Vor dem Hintergrund ist im Jahr 2009 eine neue EU-Richtlinie in Kraft getreten, um die Nutzung der erneuerbaren Energien zu fördern. Der Anteil an erneuerbaren Energien am Energiemix in Europa soll bis 2020 rund 20 Prozent betragen. Das Ziel ist es, den derzeitigen Anteil von fossilen Energien am europaweiten

Energiemix sukzessiv zu reduzieren und somit die bestehende Abhängigkeit von ölfördernden Nationen zu senken. Auch die deutsche Bundesregierung hat das Ziel, bis 2020 mit dem Energiekonzept, 35 Prozent des Stromverbrauchs durch erneuerbare Energien zu decken.

Im Jahr 2012 wurden nach Angaben des Bundesumweltministeriums insgesamt 12,7 Prozent des Endenergieverbrauchs durch erneuerbare Energien abgedeckt, wobei die Biomasse mit 8,2 Prozent des Endenergieverbrauchs am stärksten vertreten ist. Das bedeutet, dass zukünftig der Bedarf an Bioenergie steigen wird. Als erneuerbare Energiequelle hat die Biomasse den Vorteil, dass sie aus globalem Blickwinkel gesehen, nahezu überall verfügbar ist. Die unterschiedlichen Biomassetypen können auf vielfältige Weise in verschiedene Energieformen umgewandelt und zur Verwendung nutzbar gemacht werden. Der Erfolg der Realisierung solcher Versorgungssysteme ist eng an die hieran gestellten logistischen Anforderungen gebunden. Daher sollen entweder neue Logistikkonzepte entwickelt, oder eventuell bestehende Logistiksysteme angepasst und erweitert werden. Hinzukommt, dass neue Standorte benötigt, und bereits realisierte Infrastrukturen wie z.B. Kläranlagen, in neue Energieversorgungssysteme integriert werden müssen. Die Entscheidung der Energieerzeugung aus biogenen Rohstoffen ist sehr komplex, sie beinhaltet die Rücksicht auf ökonomische, rechtliche und technische Rahmenbedingungen. Deshalb ist eine Entscheidungsunterstützung für die Auflösung des Zielkonflikts zwischen der Minimierung von Kosten und Maximierung der Nutzung der Biomasse (als Energielieferant) nötig.

3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Um die gesetzten Ziele zu erreichen, wurde das Vorhaben in drei Arbeitspakete aufgeteilt. In dem ersten Arbeitspaket wurden eine Literaturrecherche und Interviews durchgeführt um Daten zu beschaffen. Dabei wurden einerseits statistische Daten ermittelt, andererseits Informationen für die Modellkomponenten von Bioenergie Supply Chain gesammelt. Anschließend wurde das Konzept „Bioenergie Supply Chain“ erarbeitet, um die logistischen Strukturen abzuleiten. Dazu gehören Konzepte aus Beschaffungs-, Produktions- und Distributionslogistik für die Bioenergie aus städtischer Biomasse. Bei dem zweiten Arbeitspaket wurde eine Systemanalyse durchgeführt, um die Modellkomponenten der Bioenergieanlagen zu identifizieren und die Standortanforderungen der Bioenergieanlagen zu untersuchen. Im Anschluss an die Systemanalyse zum Standort wurde logistische Prozesse der Grünschnittverwertung untersucht, insbesondere Sammelmethode, Aufbereitung und Produktion von Grünschnitt sowie Distributionsmöglichkeiten des Endprodukts wurden analysiert und das Tool Bioenergie Supply Chain entwickelt. Für das entwickelte Modell und Tool wurde zur Validierung im Rahmen der Datenbeschaffung die gewonnenen Informationen und von dem TP1 gelieferten Daten aufgearbeitet und im Tool gespeichert. Nach der Validierung wurden die angewendeten Algorithmen nochmal angepasst bzw. erweitert und erste Simulationsexperimente durchgeführt. Im letzten Arbeitspaket wurden weitere Konzepte ausgearbeitet und gegenüber gestellt. Die Ergebnisse sind in diesem Bericht zusammengestellt.

4 Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

- Angabe bekannter Konstruktionen, Verfahren und Schutzrechte, die für die Durchführung des Vorhabens genutzt wurden,

Erfindungen, Schutzrechtssammlungen und erteilte Schutzrechte werden nicht in Anspruch genommen.

- Angabe der verwendeten Fachliteratur sowie der verwendeten Informations- und Dokumentationsdienste

4.1 Literaturverzeichnis

- [1] Akgul, O., Zamboni, A., Bezzo, F., Shah, N., Papageorgiou, L. G. 2011. Optimization-Based Approaches for Bioethanol Supply Chains. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 50(9):4927–4938.
- [2] Aksoy, B., Cullinan, H., Webster, D., Gue, K., Sukumaran, S., Eden, M., Sammons, N. 2011. Woody biomass and mill waste utilization opportunities in Alabama: Transportation cost minimization. optimum facility location, economic feasibility, and impact. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 30(4):720–732.
- [3] Al Mansi, A. 2010. Heuristische Methode für die kombinierte Standort- und Tourenplanung für die Entwicklung eines Biogaskonzeptes. Duisburg, Essen, Univ., Diss., 2010.
- [4] Alfonso, D., Perpiñá, C., Pérez-Navarro, A., Peñalvo, E., Vargas, C., Cárdenas, R. 2009. Methodology for optimization of distributed biomass resources evaluation, management and final energy use. *Biomass and Bioenergy*, 33(8):1070–1079.
- [5] An, H., Wilhelm, W. E., Searcy, S. W. 2011. A mathematical model to design a lignocellulosic biofuel supply chain system with a case study based on a region in Central Texas. *Bioresource technology*, 102(17):7860–7870.
- [6] Andersen, F., Iturmendi, F., Espinosa, S., Diaz, M. S. 2012. Optimal design and planning of biodiesel supply chain with land competition. *Computers & Chemical Engineering*, 47:170–182.
- [7] Arnold, D., Furmans, K., Isermann, H., Kuhn A. 2008. *Handbuch Logistik*. 3. Auflage. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg.
- [8] Ayoub, N., Martins, R., Wang, K., Seki, H., Naka, Y. 2007. Two levels decision system for efficient planning and implementation of bioenergy production. *Energy Conversion and Management*, 48(3):709–723.
- [9] Bamberg, G., Coenenberg, A. G., Krapp, M. 2012. *Betriebswirtschaftliche Entscheidungslehre*. 14. Auflage. Vahlen GmbH.
- [10] Baur, F. 2011. Bioenergie - eine Option für Saarbrücken? – eine erste Erhebung. http://www.izes.de/cms/upload/publikationen/ST_10_042.pdf.

- [11] BEST AöR Bottroper Entsorgung und Stadtreinigung 2014. BEST-Bottrop - Bioabfall/Kompost. <http://www.best-bottrop.de/Abfallwirtschaft/Bioabfallkompost.asp>. Abgerufen am 01.10.2014.
- [12] BEST AöR Bottroper Entsorgung und Stadtreinigung 2014. BEST-Bottrop -Müllgefäße. <http://www.best-bottrop.de/Gebuehren/Muellgefaesse.asp>. Abgerufen am 01.10.2014.
- [13] Bilitewski, B., Härdtle, G. 2013. Abfallwirtschaft. Handbuch für Praxis und Lehre. 4. Auflage. Springer, Berlin.
- [14] Bioenergie Penzberg GmbH 2012. Dezentrale Energieversorgung Biomasseheizkraftwerk Penzberg, Industriegebiet Nonnenwald.
- [15] Bolle, F. 2012. WaStrAK NRW „Einsatz der Wasserstofftechnologie in der Abwasserbeseitigung“ - Phase I.
- [16] Bowling, I. M., Ponce-Ortega, J. M., El-Halwagi, M. M. 2011. Facility Location and Supply Chain Optimization for a Biorefinery. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 50(10):6276–6286.
- [17] Brich, S. (Hrsg) 2014. Gabler Wirtschaftslexikon. 18. Auflage. Springer Gabler, Wiesbaden.
- [18] Bruglieri, M., Liberti, L. 2006. Optimal design of a biomass-based energy production process. *Operation Research Models and Methods in the Energy Sector*.
- [19] Burgfeld, D., Eichner, R., Klöck, H., Niehage, A., Pelz, S., Willekens, A., Windmeier, J., Fragemann, H. 2009. Wasserwirtschaftliche Anforderungen an die Errichtung und den Betrieb von Biogasanlagen.
- [20] Celli, G., Ghiani, E., Loddo, M., Pilo, F., Pani, S. (Hrsg) 2008. Optimal location of biogas and biomass generation plants. *IEEE*.
- [21] Cheng, J. 2010. Biomass to renewable energy processes. CRC Press/Taylor & Francis, Boca Raton.
- [22] Cord-Landwehr, K. 2002. Einführung in die Abfallwirtschaft. Teubner.
- [23] Čuček, L., Varbanov, P. S., Klemeš, J.J., Kravanja, Z. 2012. Total footprints-based multi-criteria optimisation of regional biomass energy supply chains. *Energy*, 44(1):135–145.
- [24] D'Amours, S., Rönnqvist, M., Weintraub, A. 2008. Using Operational Research for Supply Chain Planning in the Forest Products Industry. *INFOR: Information Systems and Operational Research*, 46(4):265–281.
- [25] Diekema, W. H., Mol, R. M. de, Annevelink, E., Elbersen, HW. 2005. Combining goals in the logistics bio-energy chains. *Environmental Pollution - ENVIRON POLLUT*.
- [26] Diekmann, B., Rosenthal, E. 2014. Energie: Physikalische Grundlagen ihrer Erzeugung, Umwandlung und Nutzung. Springer Fachmedien Wiesbaden.
- [27] Dietrich, J. 2006. Entwicklung einer Methodik zur systemanalytischen Unterstützung adaptierbarer Entscheidungsprozesse bei der integrierten Flussgebietsbewirtschaftung. Bochum.
- [28] DIN EN 840-1:2013-03 2013. Fahrbare Abfall- und Wertstoffbehälter – Teil 1: Behälter mit 2 Rädern und einem Nennvolumen bis 400 l für Kammschüttungen – Maße und Formgebung, (840-1).

- [29] DIN EN 840-2:2013-03 2013. Fahrbare Abfall- und Wertstoffbehälter – Teil 2: Behälter mit 4 Rädern und einem Nennvolumen bis 1 300 l mit Flachdeckel(n), für Schüttungen mit Zapfenaufnahme und/oder für Kammschüttungen – Maße und Formgebung, (840-2).
- [30] Dunnett, A., Adjiman, C., Shah, N. 2007. Biomass to Heat Supply Chains. *Process Safety and Environmental Protection*, 85(5):419–429.
- [31] Dunnett, A. J., Adjiman, C.S., Shah, N. 2008. A spatially explicit whole-system model of the lignocellulosic bioethanol supply chain: an assessment of decentralised processing potential. *Biotechnology for biofuels*, 1(1):13.
- [32] EDG Entsorgung Dortmund GmbH 2014. Was kostet die Biotonne? - Entsorgung Dortmund GmbH. <https://www.edg.de/Was-kostet-die-Braune-Tonne-/131245,1031,131240,-1.aspx>. Abgerufen am 01.10.2014.
- [33] Ehrhardt, I., Seidel, H. 2011. Biomasselogistik: Herausforderungen und Chancen für Unternehmen, Netzwerke und Regionen. Herausforderungen, Chancen und Lösungen Band III:159.
- [34] Ekşioğlu, S. D., Acharya, A., Leightley, L. E., Arora, S. 2009. Analyzing the design and management of biomass-to-biorefinery supply chain. *Computers & Industrial Engineering*, 57(4):1342–1352.
- [35] Energieversorgung Oberhausen 2013. Biomasse Flyer Biomasse-Heizkraftwerk Oberhausen. http://www.evo-energie.de/fileadmin/user_upload/downloads_konzerninfos/130108_Biomasse_Flyer.pdf.
- [36] Entsorgungsbetriebe Essen GmbH 2014. Tonnen/Preise - Entsorgungsbetriebe Essen GmbH. <http://www.ebe-essen.de/privatkunden/abfallabfuhr/tonnenpreise/>. Abgerufen am 01.10.2014.
- [37] Essener Versorgungs- und Verkehrsgesellschaft mbH 2014. Biomasse als Energiequelle. <http://www.evv-online.de/geschaeftsfelder/waermeverkauf/biomasse-als-energiequelle.html>. Abgerufen am 25.08.2014.
- [38] FNR 2012. Leitfaden Feste Biobrennstoffe. 4. Auflage. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe, Gülzow.
- [39] Freppaz, D., Minciardi, R., Robba, M., Rovatti, M., Sacile, R., Taramasso, A. 2004. Optimizing forest biomass exploitation for energy supply at a regional level. *Biomass and Bioenergy*, 26(1):15–25.
- [40] Frombo, F., Minciardi, R., Robba, M., Rosso, F., Sacile, R. 2009. Planning woody biomass logistics for energy production: A strategic decision model. *Biomass and Bioenergy*, 33(3):372–383.
- [41] Frombo, F., Minciardi, R., Robba, M., Sacile, R. 2009. A decision support system for planning biomass-based energy production. *Energy*, 34(3):362–369.
- [42] Funda, K., Liebing, A. 2012. Ökologisch sinnvolle Verwertung von Bioabfällen. BMU, Berlin.
- [43] Gausemeier, J., Fink, A., Schlake, O. 1996. Szenario-Management. 2. Auflage. Hanser, München.

- [44] Geitmann, S. 2010. Erneuerbare Energien. Mit neuer Energie in die Zukunft ; Sachbuch ; mit 22 Tabellen. 3. Auflage. Hydrogeit-Verl, Oberkrämer.
- [45] Geitmann, S. 2010. Erneuerbare Energien: Mit neuer Energie in die Zukunft. Hydrogeit-Verlag.
- [46] GELSENDIENSTE 2014. Biotonne.
http://www.gelsendienste.de/Muellabfuhr/Unsere_Leistungen/Biotonne/default.asp?highmain=2&highsub=8&highsubsub=0. Abgerufen am 01.10.2014.
- [47] Giarola, S., Zamboni, A., Bezzo, F. 2011. Spatially explicit multi-objective optimisation for design and planning of hybrid first and second generation biorefineries. *Computers & Chemical Engineering*, 35(9):1782–1797.
- [48] Hartmann, H. 1997. Analyse und Bewertung der Systeme zur Hochdruckverdichtung von Halmgut. Bayerisches Staatsministerium für Ernährung Landwirtschaft und Forsten, München.
- [49] Heinloth, K. 2003. Die Energiefrage. Bedarf und Potentiale, Nutzung, Risiken und Kosten. 2. Auflage. Vieweg, Braunschweig.
- [50] Hiebel, M. 2014. Potenzialstudie Erneuerbare Energien NRW.-3. Biomasse-Energie.
- [51] Huang, Y., Chen, C., Fan, Y. 2010. Multistage optimization of the supply chains of biofuels. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 46(6):820–830.
- [52] Izquierdo, J., Minciardi, R., Montalvo, I., Robba, M., Tavera, M. (Hrsg) 2008. Particle Swarm Optimization for the biomass supply chain strategic planning.
- [53] Janakiraman, VS., Sarukesi, K. 2008. Decision support systems. Prentice-Hall of India, New Delhi.
- [54] Kaltschmitt, M. (Hrsg) 2009. Energie aus Biomasse. 2. Auflage. Springer, Berlin.
- [55] Kanzian, C., Holzleitner, F., Stampfer, K., Ashton, S. 2009. Regional energy wood logistics - Optimizing local fuel supply. *Silva Fennica*, 43(1):113–128.
- [56] Karakaya, A., Starker, P., Noche, B. 2013. Logistikprozessoptimierung bei der Bioabfallsammlung von Gewerben. *Jahrbuch Logistik*:143–147.
- [57] Kerdoncuff, P 2008. Modellierung und Bewertung von Prozessketten zur Herstellung von Biokraftstoffen der zweiten Generation. Univ.-Verlag Karlsruhe.
- [58] Kern, M. 2010. Aufwand und Nutzen einer optimierten Bioabfallverwertung hinsichtlich Energieeffizienz, Klima- und Ressourcenschutz. Umweltforschungsplan, Förderkennzeichen 370733304, Dessau-Roßlau.
- [59] Kersten, G. E., Mikolajuk, Z., Yeh, A. G. (Hrsg) 2000. Decision support systems for sustainable development. Kluwer Academic, Boston.
- [60] Kim, J., Realff, M. J., Lee, JH., Whittaker, C., Furtner, L. 2011. Design of biomass processing network for biofuel production using an MILP model. *Biomass and Bioenergy*, 35(2):853–871.
- [61] Koch, M. 2009. Ökologische und ökonomische Bewertung von Co-Vergärungsanlagen und deren Standortwahl. Univ.-Verl. Karlsruhe, Karlsruhe.

- [62] Kramer, M. 2010. Integratives Umweltmanagement: Systemorientierte Zusammenhänge zwischen Politik, Recht, Management und Technik. Gabler Verlag.
- [63] Kranert, M., Cord-Landwehr, K. 2010. Einführung in die Abfallwirtschaft. 4. Auflage. Vieweg+Teubner Verlag / GWV Fachverlage GmbH Wiesbaden, Wiesbaden.
- [64] Kranert, M. 2010. Einführung in die Abfallwirtschaft. 4. Auflage. Vieweg + Teubner, Wiesbaden.
- [65] Lakovou, E., Karagiannidis, A., Vlachos, D., Toka, A., Malamakis, A. 2010. Waste biomass-to-energy supply chain management: a critical synthesis. *Waste management (New York, N.Y.)*, 30(10):1860–1870.
- [66] Lam, H. L., Varbanov, P., Klemeš, J. 2010. Minimising carbon footprint of regional biomass supply chains. *Resources, Conservation and Recycling*, 54(5):303–309.
- [67] Landesamt für Umweltschutz 2002. Restmüllanalysen - eine Grundlage eines nachhaltigen Stoffstrommanagements der Abfallwirtschaft. LfU, Augsburg.
- [68] Leduc, S., Natarajan, K., Dotzauer, E., McCallum, I., Obersteiner, M. 2009. Optimizing biodiesel production in India. *Applied Energy*, 86:S125.
- [69] Leduc, S., Starfelt, F., Dotzauer, E., Kindermann, G., McCallum, I., Obersteiner, M., Lundgren, J. 2010. Optimal location of lignocellulosic ethanol refineries with polygeneration in Sweden. *7th International Conference on Sustainable Energy Technologies 7th International Conference on Sustainable Energy Technologies*, 35(6):2709–2716.
- [70] Lourdes Bravo, Maria de, Naim, M. M., Potter, A. 2012. Key issues of the upstream segment of biofuels supply chain. A qualitative analysis. *Logistics research*, 5(1/2):21–31.
- [71] Marcomini, A., Suter, GW., Critto, A. 2009. Decision Support Systems for Risk-Based Management of Contaminated Sites:xix, 435.
- [72] Marvin, A. W., Schmidt, LD., Benjaafar, S., Tiffany, DG., Daoutidis, P. 2012. Economic Optimization of a Lignocellulosic Biomass-to-Ethanol Supply Chain. *Dynamics, Control and Optimization of Energy Systems*, 67(1):68–79.
- [73] Mele, F. D., Kostin, AM., Guillén-Gosálbez, G., Jiménez, L. 2011. Multiobjective Model for More Sustainable Fuel Supply Chains. A Case Study of the Sugar Cane Industry in Argentina. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 50(9):4939–4958.
- [74] Meyer, A. de, Cattrysse, D., Snoeck, M., van Orshoven, J. 2012. Generic data model to represent the biomass-to-bioenergy supply chain logistics. In: *International Conference of Agricultural Engineering, CIGR-AgEng2012, Valencia, 8-12 July 2012, Papers book*.
- [75] Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen 2013. Abfallbilanz Nordrhein-Westfalen für Siedlungsabfälle 2010/2011.
https://www.umwelt.nrw.de/umwelt/pdf/abfallbilanz_2010_11.pdf. Abgerufen am 02.06.2014.
- [76] Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen 2014. Abfallwirtschaftsplan Nordrhein Westfalen Teilplan Siedlungsabfälle.

- http://www.umwelt.nrw.de/umwelt/pdf/abfallwirtschaftsplan_nrw_entwurf.pdf. Abgerufen am 25.09.2014.
- [77] Mol, R., Jogems, M. A., van Beek, P., Gigler, J. K. 1997. Simulation and optimization of the logistics of biomass fuel collection. *NJAS wageningen journal of life sciences*, 45(1):217–228.
- [78] Nävy, J., Schröter, M. 2013. *Facility Services: Die operative Ebene des Facility Managements*. Springer Berlin Heidelberg.
- [79] PANICHELLI, L., GNANSOUNOU, E. 2008. GIS-based approach for defining bioenergy facilities location: A case study in Northern Spain based on marginal delivery costs and resources competition between facilities. *Biomass and Bioenergy*, 32(4):289–300.
- [80] Papapostolou, C., Minoyiannis, M., Kondili, E. (Hrsg) 2010. Biomass supply chain development in Greece with special focus on the utilization of biomass residues.
- [81] Parker, N., Tittmann, P., Hart, Q., Nelson, R., Skog, K., Schmidt, A., Gray, E., Jenkins, B. 2010. Development of a biorefinery optimized biofuel supply curve for the Western United States. *Biomass and Bioenergy*, 34(11):1597–1607.
- [82] Perpiñá, C., Alfonso, D., Pérez-Navarro, A., Peñalvo, E., Vargas, C., Cárdenas, R. 2009. Methodology based on Geographic Information Systems for biomass logistics and transport optimisation. *Renewable Energy*, 34(3):555–565.
- [83] Plata, DA. 2008. Optimale Standorte von Biogasanlagen. *Standort*, 32(4):141–146.
- [84] Rentizelas, A. A., Tatsiopoulos, IP. 2010. Locating a bioenergy facility using a hybrid optimization method. *International Journal of Production Economics*, 123(1):196–209.
- [85] Rentizelas, A. A., Tolis, A. J., Tatsiopoulos, I. P. 2009. Logistics issues of biomass: The storage problem and the multi-biomass supply chain. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(4):887–894.
- [86] Rommelfanger, H. J., Eickemeier, S. H. 2002. *Entscheidungstheorie. Klassische Konzepte und Fuzzy-Erweiterungen*. Springer, Berlin.
- [87] Schenk, M., Zadek, H., Müller, G., Richter, K., Seidel, H. (Hrsg) 2013. 18. Magdeburger Logistiktag "Sichere und nachhaltige Logistik". Im Rahmen der IFF-Wissenschaftstage ; 19.-20. Juni 2013. IFF, Magdeburg.
- [88] Schink, A., Frenz, W., Queitsch, P. 2012. *Das neue Kreislaufwirtschaftsgesetz 2012*. Rehm, Heidelberg.
- [89] Schwaderer, F. 2012. *Integrierte Standort-, Kapazitäts- und Technologieplanung von Wertschöpfungsnetzwerken zur stofflichen und energetischen Biomassenutzung*. Karlsruher Institut für Technologie.
- [90] Sennheiser, A. 2008. *Wertorientiertes Supply Chain Management. Strategien zur Mehrung und Messung des Unternehmenswertes durch SCM ; mit 16 Tabellen*. Springer, Berlin.
- [91] Shi, X, Elmore, A., Li, X., Gorence, N. J., Jin, H., Zhang, X., Wang, F. 2008. Using spatial information technologies to select sites for biomass power plants: A case study in Guangdong Province, China. *Biomass and Bioenergy*, 32(1):35–43.

- [92] Singh, J., Panesar, B. S., Sharma, S. K. 2011. Geographical distribution of agricultural residues and optimum sites of biomass based power plant in Bathinda, Punjab. *Biomass and Bioenergy*, 35(10):4455–4460.
- [93] Stadt Bottrop 2012. Zahlenspiegel 2012. <http://www.bottrop.de/wirtschaft/downloads/Zahlenspiegel.pdf>. Abgerufen am 01.08.2014.
- [94] Stadt Gladbeck 2013. Zahlenspiegel Gladbeck. https://www.gladbeck.de/Wirtschaft/Wirtschaftsstandort_GLA/Zahlenspiegel_Gla.pdf. Abgerufen am 01.08.2014.
- [95] Stadt Gladbeck Amt für Immobilienwirtschaft 2012. Energiebericht 2012.
- [96] Stadt Hamm 2014. Abfallgebührensatzung 2012.
- [97] Stadt Herne 2004. Stadt Herne - Abfallgebühren. http://www.herne.de/kommunen/herne/ttw.nsf/id/DE_Abfallgebuehren. Abgerufen am 01.10.2014.
- [98] Stadt Mülheim an der Ruhr - Amt für Umweltschutz 2014. Stadt Mülheim an der Ruhr - Gebührensatzung für die Abfallentsorgung. <http://www.muelheim-ruhr.de/cms/abfallgebuehrensatzung1.html>. Abgerufen am 01.10.2014.
- [99] Stadt Oberhausen 2014. Biotonne. <https://www.oberhausen.de/de/index/rathaus/verwaltung/umwelt-gesundheit-oekologische-stadtentwicklung/umwelt/abfall/abfallgefaesse2/biotonne.php>. Abgerufen am 01.10.2014.
- [100] Strobl, M. 2009. Biomasse-Erntelogistik–Bewerten und Optimieren. Internationale Wissenschaftstagung Biogas Science 2009 Band 3.
- [101] Tittmann, P. W., Parker, N. C., Hart, Q. J., Jenkins, B. M. 2010. A spatially explicit techno-economic model of bioenergy and biofuels production in California. *Journal of Transport Geography*, 18(6):715–728.
- [102] Turban, E, Aronson, JE, Liang, T 2005. Decision support systems and intelligent systems. 7. Auflage. Pearson Education Internat, Upper Saddle River, NJ.
- [103] Tursun, U. D., Kang, S., Onal, H., Ouyang, Y., Scheffran, J. (Hrsg) 2008. Optimal biorefinery locations and transportation network for the future biofuels industry in Illinois. Farm Foundation, Transition to a Bio Economy Conferences.
- [104] Urban, A. I. (Hrsg) 2005. Optimierung der Abfall-Logistik. Kassel Univ. Press, Kassel.
- [105] USB Bochum GmbH 2014. USB - Gebühren und Preise. <http://www.usb-bochum.de/buerger/Gebuehren.php>. Abgerufen am 01.10.2014.
- [106] Vahrenkamp, R., Siepermann, C. 2007. Logistik. Management und Strategien. 6. Auflage. Oldenbourg, München.
- [107] van Dyken, S., Bakken, B. H., Skjelbred, H. I. 2010. Linear mixed-integer models for biomass supply chains with transport, storage and processing. *Energy*, 35(3):1338–1350.
- [108] Venema, H., Calamai, P. 2003. Bioenergy Systems Planning Using Location–Allocation and Landscape Ecology Design Principles. *Annals of Operations Research*, 123(1-4):241-264.
- [109] Vera, D., Carabias, J., Jurado, F., Ruiz-Reyes, N. 2010. A Honey Bee Foraging approach for optimal location of a biomass power plant. *Applied Energy*, 87(7):2119–2127.

- [110] Veringa Niemela, M., Roder, H., Murray, G. 2010. Biomass Sourcing and Logistics: From Theory to Practice. *International Journal of Chemical Reactor Engineering*, 8(1).
- [111] Vlachos, D., Iakovou, E., Karagiannidis, A., Toka, A. (Hrsg) 2008. A strategic supply chain management model for waste biomass networks.
- [112] Walther, G., Schatka, A., Spengler, T. S. 2012. Design of regional production networks for second generation synthetic bio-fuel – A case study in Northern Germany. *European Journal of Operational Research*, 218(1):280–292.
- [113] Wang, S., Hastings, A., Smith, P 2012. An optimization model for energy crop supply. *GCB Bioenergy*, 4(1):88–95.
- [114] Westhaus, M. 2007. Supply Chain Controlling. Definition, Forschungsstand, Konzeption. 1. Auflage. Dt. Univ.-Verl, Wiesbaden.
- [115] Wirtschaftsbetriebe Duisburg 2014. Abfallgebühren und Behälter. http://www.duisburg.de/micro2/wbd/geschaeftsfelder/abfall_wertstoffe/102010100000239245.php. Abgerufen am 01.10.2014.
- [116] Wittenbrink, P. 2011. Transportkostenmanagement im Straßengüterverkehr. 1. Auflage. Gabler, Wiesbaden.
- [117] Wittkopf, S. 2005. Bereitstellung von Hackgut zur thermischen Verwertung durch Forstbetriebe in Bayern. Zugl.: München, Techn. Univ., Diss., 2005.
- [118] Zamboni, A., Bezzo, F., Shah, N. 2009. Spatially Explicit Static Model for the Strategic Design of Future Bioethanol Production Systems. 2. Multi-Objective Environmental Optimization. *Energy & Fuels*, 23(10):5134–5143.
- [119] Zamboni, A., Shah, N., Bezzo, F. 2009. Spatially Explicit Static Model for the Strategic Design of Future Bioethanol Production Systems. 1. Cost Minimization. *Energy & Fuels*, 23(10):5121–5133.
- [120] Zentraler Betriebshof Gladbeck 2012. Jahresabschluss. <http://www.zb-gladbeck.de/zbjg/files/Jahresabschluss2011.pdf>. Abgerufen am 02.06.2014.
- [121] Zentrum für Energieforschung Stuttgart (ZES) e.V. 2008. Standortanforderungen für die Ansiedlung von Bioenergie-Anlagen in Städten.
- [122] Zhu, X., Li, X., Yao, Q., Chen, Y. 2011. Challenges and models in supporting logistics system design for dedicated-biomass-based bioenergy industry. *Bioresource technology*, 102(2):1344–1351.
- [123] Zhu, X., Yao, Q. 2011. Logistics system design for biomass-to-bioenergy industry with multiple types of feedstocks. *Bioresource technology*, 102(23):10936–10945.

5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Die Zusammenarbeit erfolgte in erster Linie zwischen dem Teilprojekt 09 „Bioenergie Supply Chain“ und dem Teilprojekt 01 „Weiterentwicklung der urbanen Kulturlandschaft der Metropole Ruhr durch nachhaltiges Landschaftsmanagement“. Des Weiteren wurde zusammen mit dem Teilprojekt 06 „Optimierung regionaler Energie- und Stoffströme mit Hilfe eines nachhaltigen Konzeptes zur Nutzung von Abwasser und landwirtschaftlicher Biomasse“, der

Vetten GmbH & Co. KG und Michael Bolz Entsorgung gearbeitet. Der Austausch mit Schnittstellen anderer Teilprojekte erfolgte in projektinternen Arbeitstreffen und Workshops, sowie im Austausch mit den Städten (Bottrop, Gladbeck) im Arbeitskreis Biomasse.

II. Eingehende Darstellung

6 Erzielte Projektergebnisse

6.1 Grundlagen zur Bioenergie und Logistik

6.1.1 Erneuerbare Energien und Bioenergie

Holz diente den Menschen und ihrem wirtschaftlichen Handeln seit Jahrzehnten hinweg als primäre Energiequelle [49]. Schon damals wurden Wege gesucht, Holz möglichst effizient einzusetzen. Zunächst wurde das gewonnene Holz zur höherwertigen Holzkohle weiterverarbeitet. Später machten sich die Menschen Braun- und Steinkohle zunutze, welche im Vergleich zum Holz einen besseren Brennwert lieferten [44]. Die Vorherrschaft des Holzes wurde mit der Entdeckung von fossilen Energieträgern allmählich abgelöst. Zusammen mit Erfindungen wie der Dampfmaschine und Elektro- und Verbrennungsmotoren ist die Entwicklung der wirtschaftlichen Produktivität rasant angestiegen. Allein im 20. Jahrhundert verzehnfachte sich der weltweite Energieverbrauch, wobei in den Industrieländern 90 Prozent des Bedarfs durch fossile Energieträger gedeckt wurde [49]. Zu diesem Zeitpunkt reichte Holz schon lange nicht mehr aus, um den Energiebedarf der Industrienationen decken zu können. Nichtsdestotrotz gibt es auch heute noch viele Regionen, in denen Holz als zentrale Energiequelle dient. Zu den fossilen Brennstoffen zählen neben Kohle auch Erdgas und Erdöl. Um in ihrer heutigen Form vorzuliegen, benötigten sie in ihrer Entstehung mehrere Millionen Jahre. Diese Ressourcen bildeten sich aufgrund besonderer Voraussetzungen hinsichtlich Temperatur, Druck und Wirkungsmechanismen. Eines der größten Probleme bei der Verwendung dieser Energiequellen ist der bei der Verbrennung freigesetzte Kohlenstoff. Mit Beginn der industriellen Revolution Ende des 18. Jahrhunderts waren die Menschen mehr und mehr in der Lage das Potential dieser fossilen Ressourcen sowohl technisch als auch wirtschaftlich zu nutzen. Somit begannen sie den Prozess der Kohlenstoffeinlagerung rückgängig zu machen und die Kohlenwasserstoffverbindungen wieder freizusetzen. Prinzipiell entspricht diese Freisetzung somit einem natürlichen Kreislauf, jedoch vollzieht sich dieser Prozess in einer Geschwindigkeit, an welche sich die Natur nicht anpassen kann. Innerhalb der letzten zwei Jahrhunderte wurde so viel Kohlenstoff zurück in die Atmosphäre entlassen, dass die Auswirkungen nun spürbar sind [44].

Spätestens seit Beginn des 20. Jahrhunderts hat sich die Zahl der industrialisierten Staaten kontinuierlich vergrößert. Damit einhergehend sind auch der Bedarf und Verbrauch an Energie fortwährend angestiegen. Diese Entwicklung führte dazu, dass fossile Energieträger den heutigen Energiemarkt dominieren. Insbesondere Erdöl nimmt hierbei eine Vormachtstellung

ein. Die USA liegen im weltweiten Vergleich mit einem Tagesbedarf von rund 20 Millionen Barrel Erdöl weit an der Spitze. Dieser Wert entspricht ungefähr einer Menge von drei Milliarden Litern Öl, welches allein in den USA täglich verbraucht wird. Das Bewusstsein darüber, dass die Vorkommen an fossilen Ressourcen begrenzt sind und die Entstehung jener Ressourcen in keinem Verhältnis zur Geschwindigkeit deren Verbrauchs steht, ist über die letzten Jahren immer mehr in den Vordergrund getreten. Es wird erwartet, dass bei der derzeitigen Bedarfsrate das sog. Ölfördermaximum noch vor dem Jahr 2025 erreicht wird. Die gegenwärtige Wirtschaft ist in so hohem Maße von fossilen Ressourcen abhängig, dass versiegende Quellen für die Weltwirtschaft verheerende Konsequenzen hätten. Hierbei sind die zur Neige gehenden Reserven jedoch nur einer der Gründe, warum das Interesse an der Erforschung alternativer Energiequellen in den letzten Jahren rasant gestiegen ist. Ein weiterer Grund ist die Umwelt. Treibhausgase, welche durch die Verbrennung fossiler Rohstoffe freigesetzt werden, gelten als einer der größten Verursacher des Klimawandels [21]. Die Folgen sind ein vermehrtes Auftreten von saurem Regen, Waldsterben, Smog und veränderten klimatischen Verhältnissen. Zwei Probleme bei der Verminderung des Ausstoßens von Treibhausgasen sind hierbei bestimmend. Zum einen ist die bereits erwähnte Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen der Industriestaaten hierfür verantwortlich. Zum anderen können die bei der Verbrennung austretenden schädlichen Schwefel- und Stickoxide nur durch hohen Aufwand und einem enormen Einsatz finanzieller Mittel merklich vermindert werden. Die gefährliche Belastung der Umwelt, auch im Hinblick auf zukünftige Generationen, ist ebenfalls ein nicht zu unterschätzender Faktor, welcher die Suche nach alternativen Energiequellen intensiviert [49].

Der Energiebedarf der Gesellschaft steigt stetig an. Einerseits steigt der durchschnittliche Energieverbrauch pro Kopf, andererseits sind hierfür andauernde Industrialisierung, Globalisierung und nicht zuletzt das weltweite Bevölkerungswachstum verantwortlich. Zudem schmelzen die fossilen Energieträger und steigen Klimaprobleme, hervorgerufen durch Emissionen. Eine Konsequenz hieraus ist ein Energiesektor, der sich wandeln und den neuen Gegebenheiten möglichst schnell anpassen muss. Eine Abkehr von alten Strukturen ist bereits im Gange und wird erwartungsgemäß in den nächsten Jahren weiter voran schreiten. Erneuerbare Energieformen und moderne Techniken sind diesbezüglich eine vielversprechende Alternative und kommen vermehrt zum Einsatz. Ziel hierbei ist es, den Anteil von erneuerbarer Energie am Energiemix zügig zu erhöhen. Das nötige Potential ist jedenfalls vorhanden, es wird allerdings noch nicht in vollem Umfang genutzt. Zudem kann die Verwendung der derzeit vorherrschenden Energieträger nicht ohne weiteres kurzfristig abgeschafft und durch erneuerbare Energien ersetzt werden. Bei der Bereitstellung von Regelenergie und der Abdeckung von Lastspitzen kann noch nicht auf die klassische Versorgung verzichtet werden. Vielmehr muss es das Ziel sein, den Anteil der erneuerbaren Energien stetig zu erhöhen, um die Verwendung des vorhandenen Potentials stückweise auszubauen. Konsequenterweise muss weltweit zunehmend gewissenhafter mit vorhandener Energie und der Umwelt umgegangen werden. In diesem Zusammenhang wird immer häufiger der Begriff der Nachhaltigkeit angeführt. Eine nachhaltige Energiepolitik, zusammen mit einem effizienten Ressourceneinsatz,

ist der Schlüssel zur Verwirklichung der angestrebten Ziele. Derzeit werden weltweit lediglich 10 Prozent der nutzbar gemachten Energie auch tatsächlich verwertet. Ein so niedriger Gesamtwirkungsgrad bietet ebenfalls viel Optimierungspotential [49].

Der Weg heraus aus der Abhängigkeit der vorherrschenden fossilen Energieträger ist kein neues Thema und hat bereits begonnen. Die Probleme durch veränderte Klimazonen, Wetterextreme und dem gestörten Gleichgewicht der Natur sind in den letzten Jahren immer mehr in den Vordergrund getreten und führen mehr und mehr zu einem Umdenken in der internationalen Energiepolitik. Eine Umkehrung der umwelttechnischen Veränderungen und Konsequenzen ist in dieser Form nicht möglich, jedoch können die Auswirkungen durch Einschränkung des Schadstoffausstoßes eingedämmt werden [44]. Die wirtschaftlich von den fossilen Energieträgern profitierenden Unternehmen haben oftmals kein Interesse an einer fortschreitenden Entwicklung und bevorzugen die Beibehaltung vorhandener Strukturen. Die Umweltschäden und der ausufernde Abbau der knappen, dennoch weltweit dominierenden fossilen Ressourcen sind Anlass genug, deren Anteil am Energiemix zu senken und dauerhaft auf neue umweltschonende Techniken zurückzugreifen. Es gibt keinen einfachen Weg dieses Ziel zu erreichen, doch bieten erneuerbare Energien ein großes Potential und stellen eine ernstzunehmende Alternative in Bezug auf nachhaltige Energieversorgung dar [49].

Der Energiesektor ist sowohl in Deutschland als auch weltweit in einem Wandlungsprozess. Die wirtschaftlichen Strukturen, welche bislang überwiegend auf fossile Energieträger ausgerichtet sind, werden vermehrt von wissenschaftlicher als auch politischer Seite in Frage gestellt. Die bisherige Energiepolitik der führenden Industriestaaten ist, nicht länger ohne Konsequenzen durchführbar. Mittel- bis langfristig sollten demnach alternative und regenerative Energiequellen an deren Stelle treten, um die Ziele einer nachhaltigen und effizienten Energieversorgung durchsetzen zu können. Erneuerbare Energien machen sich regenerierbare respektive von einem menschlichen Zeithorizont ausgehend nicht endliche Quellen zu Nutzen. Sie sind jedoch keineswegs nur Zukunftsgedanken, sondern bereits jetzt ein fester Bestandteil des Energiemix [45]. Drei unterschiedliche Energiequellen lassen sich hierbei unterscheiden. Die herausragende Quelle stellt die von der Sonne abgegebene Strahlung dar. Sie liefert den mit Abstand größten nutzbaren Energiestrom. Zudem können die aus dem Erdinneren austretende Wärme sowie die durch die Erdrotation beeinflusste Gezeitenenergie nutzbar gemacht werden. Letztere leistet dabei den mit Abstand kleinsten Beitrag. Zusammen stellen diese drei Quellen die primären regenerierbaren Energieformen dar. Durch verschiedene natürliche Prozesse entstehen aus ihnen innerhalb der Erdatmosphäre weitere verwendbare Energieströme. Bekannte Energiequellen wie Wasserkraft, Windenergie oder nachwachsende Biomasse sind allesamt eine umgewandelte Form der Sonnenenergie. Die verschiedenen Energieströme können weltweit unterschiedlich stark und ausgeprägt genutzt werden. Sowohl geografische Lage als auch klimatische Verhältnisse beeinflussen die jeweiligen Energieströme. Beispielsweise spielen Gezeitenkraftwerke für die Energieerzeugung in Deutschland keine Rolle [54]. In Mitteleuropa finden vorwiegend die folgenden erneuerbaren Energien Verwendung:

- Solare Strahlung
- Windenergie
- Wasserkraft
- Biomasse
- Erdwärme

Biomasse ist ein, durch die Strahlung der Sonne beeinflusster, regenerativer Energieträger. Es handelt sich demnach um eine umgewandelte Form der Sonnenenergie. Die solare Strahlung wird von Pflanzen und Organismen im Zuge der Photosynthese umgewandelt. Hiermit unterscheidet sich die Biomasse generell von anderen Energiequellen, über die direkte oder indirekte Beeinflussung durch Sonnenstrahlung.

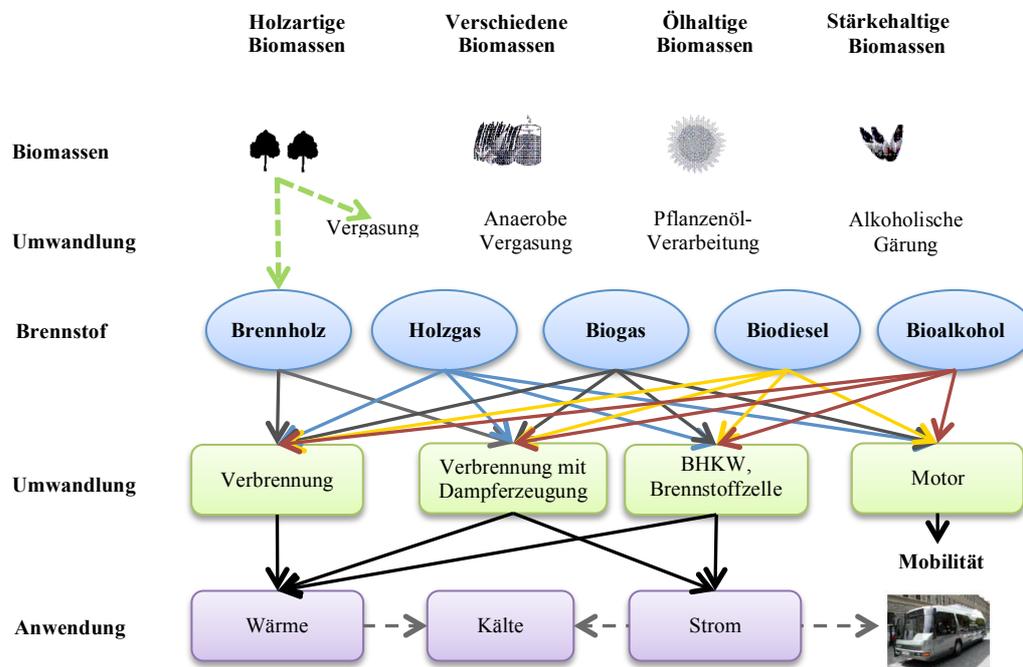


Abbildung 1: Energetische Nutzung von Biomassen [3]

6.1.2 Bioenergie Supply Chain

In Biomasse enthaltene Energie lässt sich durch unterschiedliche Verfahren für die Nutzung zur Verfügung stellen. Verbrennung, Vergasung und Vergärung sind einige Möglichkeiten dazu (siehe Abbildung 1). Die bei solchen Verfahren entstehende Energie wird Bioenergie genannt. Die Einsatzbereiche der produzierten Energie sind dabei sehr groß. Ob zur direkten Nutzung als Strom sowie Wärme oder nach entsprechender Aufbereitung zur Einspeisung in das Erdgasnetz oder als Treibstoff.

Aus der Perspektive der Energieversorgung betrachtet stellen stätische Biomassen deshalb vielmehr den Beginn als das Ende der Prozesskette dar. Die stätische Biomasse wie Landschaftspflegematerial oder Bioabfall sind eher als Rohstoffe, denn als Abfall zu betrachten.

Bei dem Aufbau und der Optimierung von Wertketten und Logistiknetzwerken und dem damit einhergehenden Streben diese möglichst effizient einzusetzen wird oft vom Supply Chain Management (SCM) gesprochen. Das SCM umschreibt sämtliche Tätigkeiten und Methoden zur bestmöglichen Bewältigung der Herausforderungen, die bei der Planung und Durchführung auf den verschiedenen Stufen auftreten [17]. Die Verwendung von Energie aus Biomasse benötigt ein breites Spektrum an Prozessen und Tätigkeiten, um ein funktionierendes Netzwerk zu bilden. Die Bereitstellung von Biomasse, Transportnetzwerken, Material- und Informationsflüssen sowie Weiterverarbeitung, Distribution, operative Planungen und Inventarmanagement sind nur einige der vielen Aufgaben, die innerhalb einer Biomassewertschöpfungskette zu beachten sind [123].

Eine Supply Chain beinhaltet Beschaffungs-, Produktions- und Distributionsabteilungen eines Unternehmens und stellt ein Netzwerk dar [90]. Sie kann aber auch als ein System betrachtet werden [114], und umfasst die Aufgabenbereiche der Unternehmenslogistik. In diesem Fall kann Bioenergie Supply Chain als Netzwerk dargestellt werden, welches die gesamte Lieferkette abdeckt. Diese Kette beinhaltet den Transport der Biomasse von der Quelle zu einer Anlage, Distribution der Endprodukte sowie alle zugehörigen Prozesse. Dabei entstehen Material-, Informations- und Endproduktflüsse. Die Aufgabenbereiche der Bioenergie Supply Chain werden in der Abbildung 2 dargestellt, welche allgemein (einfache Bioenergie Supply Chain) oder detailliert (erweiterte Bioenergie Supply Chain) betrachtet werden können. Eine einfache Bioenergie Supply Chain besteht aus zwei Transportvorgängen (vorgelagerter und nachgelagerter Transport) und umfasst die Biomassequellen, die Anlage sowie seine Kunden. Bei den größeren Anlagen werden weitere Unternehmen wie Aufbereitungsanlagen für Gärreste, Energieunternehmen oder Logistikdienstleister, welche für die Biomasseversorgung zuständig sind, berücksichtigt. Dieses wird als erweiterte Bioenergie Supply Chain definiert.

Die Ziele der Supply Chain aus unternehmerischer Sicht können Kostenreduzierung, Verbesserung der Kundenzufriedenheit, Flexibilität im Markt, Liefertreue sein [4]. Für die Bioenergie Supply Chain können die Ziele nicht nur wirtschaftlicher sondern auch klimatischer und sozialer Natur sein. Aufgrund der Komplexität des Themas stehen zunächst die ökonomischen Aspekte im Fokus.

Um eine Bioenergie Supply Chain für die städtische Biomasse zu gestalten, werden folgende Komponenten berücksichtigt:

- Biomassequellen
- Umschlagstationen
- verfügbaren Flächen
- Anlagentypen
- Kunden
- Logistik

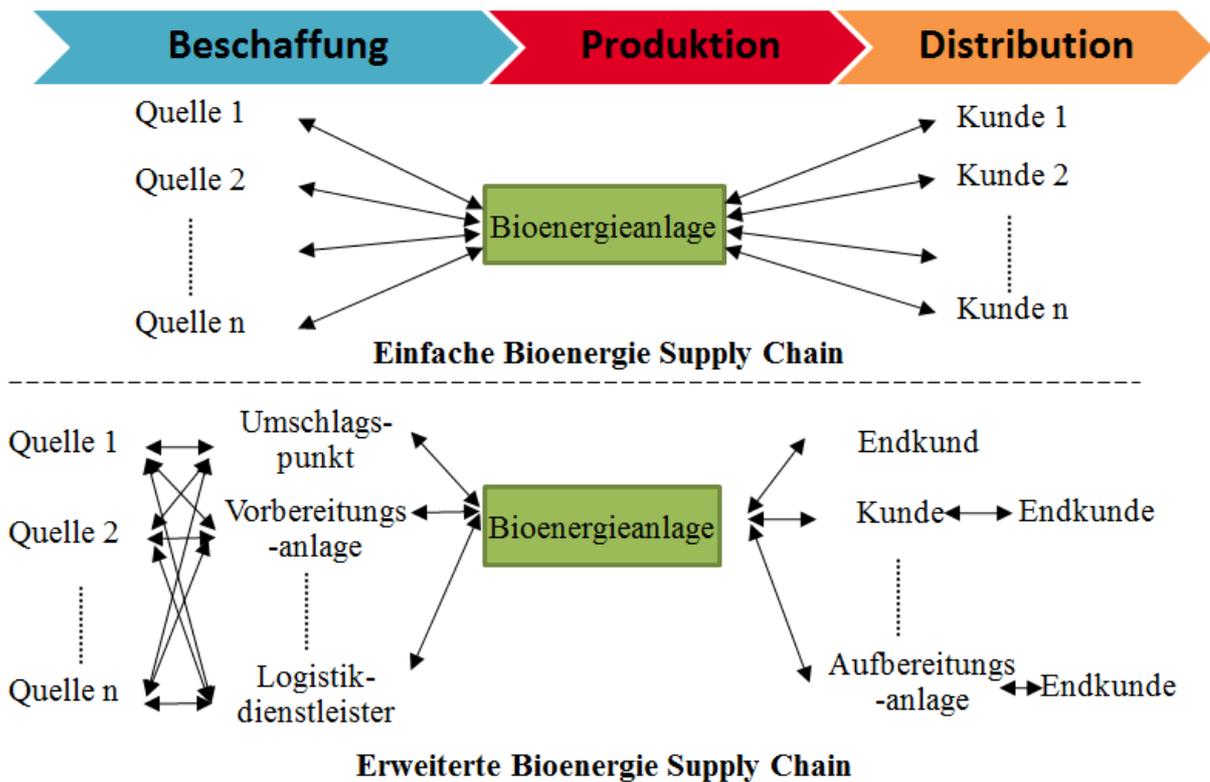


Abbildung 2: Bioenergie Supply Chain [87]

Die Verfügbarkeit von Biomasse ist häufig aufgrund verschiedener Faktoren limitiert. Biomasse kann je nach Art und Produktion saisonalen Schwankungen unterliegen. Bei der Planung wird häufig mit durchschnittlichen Ausbringungsmengen kalkuliert. Diese können über ein Jahr verteilt werden jedoch stark schwanken. Um den Zielen der Zuverlässigkeit und Kontinuität nachzukommen, müssen diese Schwankungen berücksichtigt und ggf. durch geeignete Lager weitestgehend aufgefangen werden. Zudem nimmt auch das Wetter Einfluss auf prognostizierte Ausbringungsmengen [122]. Doch nicht nur die Ausbringungsmenge, auch die Artenvielfalt kann je nach geographischer Lage variieren. Hierin liegt zum einen der Grund für die Komplexität im Umgang mit Biomasse, zugleich aber auch ein enormes Potential, sich durch überlegtes Supply Chain von der Konkurrenz abzuheben.

Die verfügbaren Flächen sind in der Metropole Region Ruhr begrenzt. Zu beachten sind auch die Anforderungen der Anlagentypen wie z.B. der Flächenbedarf, Verkehr, die Entfernung zu Energienetzen und Bedarfspunkten. Wichtig sind auch die rechtlichen Aspekte, welche auch dem Anforderungsprofil zugeordnet werden können [121]. Die Bioanlagentechnologien entwickeln sich fortwährend weiter und verbessern sich hinsichtlich der Nachhaltigkeit und Effizienz, bei der Auswahl einer Anlagentechnik spielen demnach technische Randbedingungen eine wichtige Rolle. Um die Distribution der Endprodukte (Strom, Biogas, Wärme) und der Nebenprodukte (Asche, Gärrest) zu optimieren, müssen die Abnehmer berücksichtigt werden.

Biomasse in der richtigen Form zur richtigen Zeit bereitzustellen, kann sich als vielschichtige und kostenintensive Aufgabe herausstellen, welche im Vorfeld keineswegs unterschätzt werden

sollte [110]. Während die einzelnen Weiterverarbeitungsschritte innerhalb einer Wertkette den Nutzen und damit den Wert der Biomasse steigern, verhält sich der Transport entgegengesetzt. Er verursacht Kosten und erhöht dabei den Wert der Biomasse nicht. Die Planung von Transporten, die Investitionen in Ausrüstung für Umschlagpunkte und die Kosten, um die Qualität der transportierten Biomasse aufrecht zu erhalten, stellen allesamt eine besondere Anforderung an das Logistiknetzwerk. Das Netzwerkdesign sollte so aufgebaut sein, dass Transportwege und unterstützende logistische Tätigkeiten aufeinander abgestimmt sind und die anfallenden Kosten minimiert werden [21]. Die Abbildung 3 stellt einige Verbesserungsmaßnahmen entlang der Supply Chain dar.

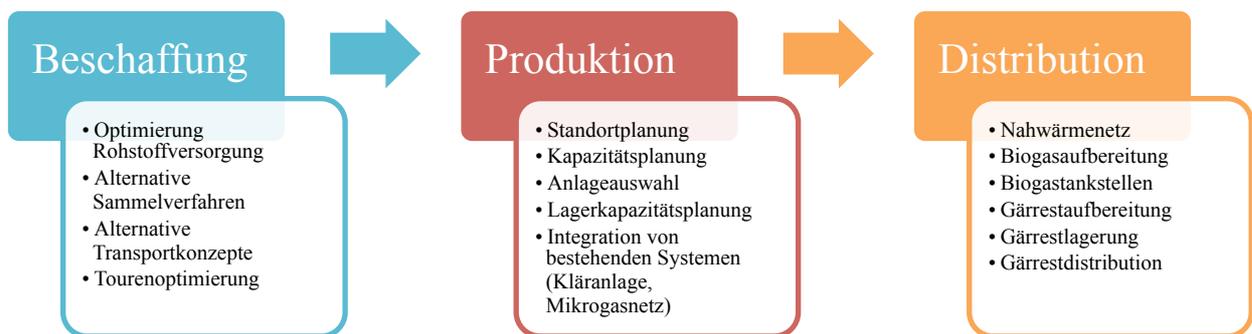


Abbildung 3: Optimierungs- und Verbesserungsmaßnahmen für die Bioenergie Supply Chain

6.1.3 Modelle der Bioenergie Supply Chain

Die Tabelle 1 gibt einen Einblick über den Stand der Wissenschaft zu Bioenergie Supply Chains und wird nach den in Abbildung 4 dargestellten Modellen differenziert in die drei Subsysteme Beschaffung, Produktion und Distribution.

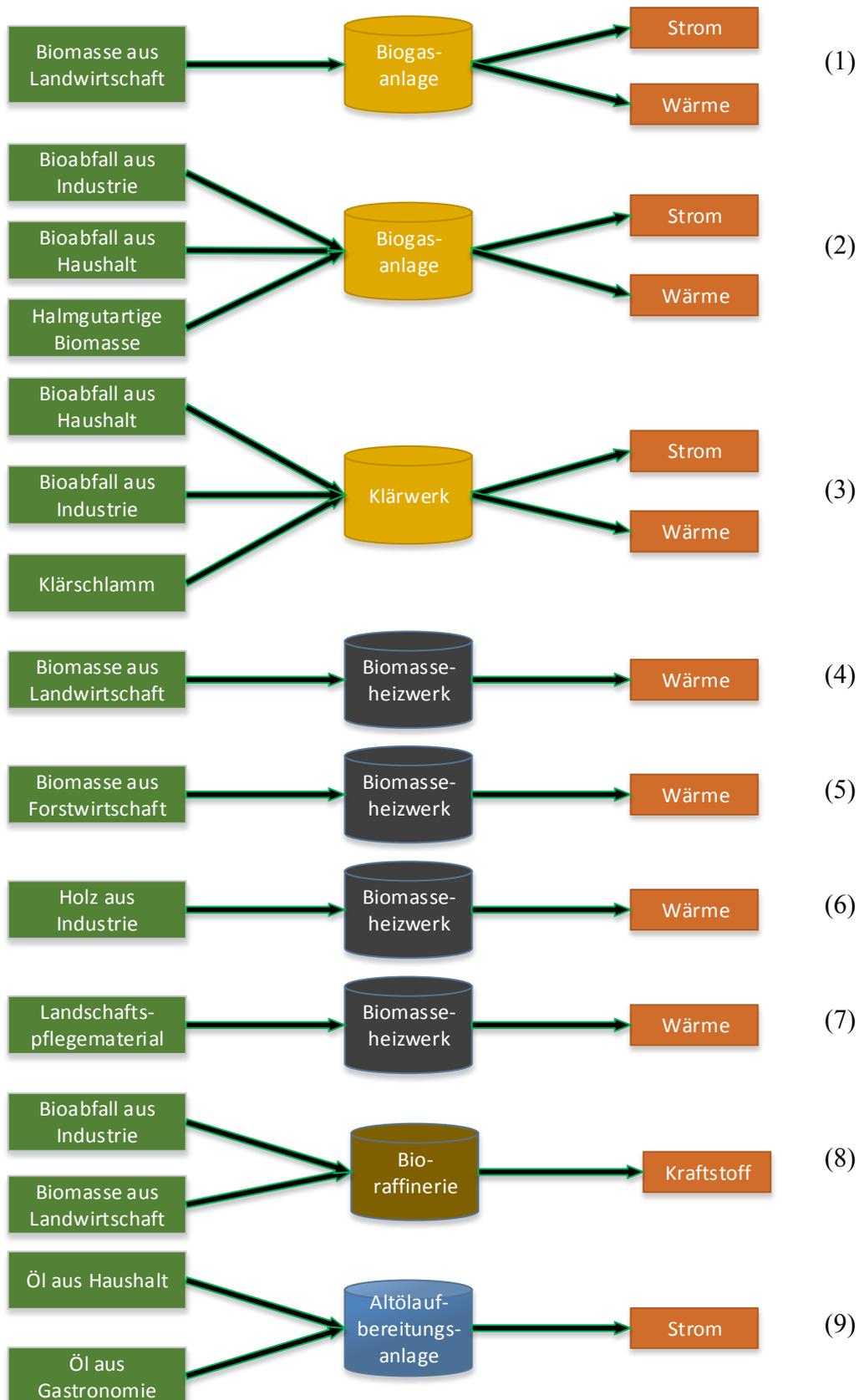


Abbildung 4: Modelle zur Bioenergie Supply Chain

Tabelle 1: Literaturreview

	Model	Beschaffung	Produktion	Distribution
Akgul et al. [1]	(8)	✓	✓	✓
Aksoy et al. [2]	(5,6)	✓	✓	
Al Mansi [3]	(2,3)	✓	✓	
Alfonso et al. [4]	(1,2,5,7)	✓	✓	✓
An et al. [5]	(8)	✓	✓	✓
Andersen et al. [6]	(8)	✓	✓	✓
Ayoub et al. [8]	(5)	✓	✓	✓
Bowling et al. [16]	(8)	✓	✓	
Bravo et al. [70]	(8)	✓	✓	
Bruglieri et al. [18]	(2,8)	✓	✓	
Celli et al. [20]	(1)	✓	✓	
Čuček et al. [23]	(5)	✓	✓	✓
D'Amours et al. [24]	(5,6)	✓	✓	✓
De Mol et al. [77]	(1,2,3,4,5,6,7,8)	✓	✓	
Diekema et al. [25]	(2,5)	✓	✓	
Dunnett et al. [30]	(1)	✓	✓	✓
Dunnett et al. [31]	(8)	✓	✓	✓
Ehrhardt et al. [33]	(5,6,7)	✓		
Ekşioğlu et al. [34]	(8)	✓	✓	✓
Freppaz et al. [39]	(5)	✓	✓	
Frombo et al. [40]	(5)	✓	✓	
Fromboa et al. [41]	(5,6)	✓	✓	
Giarola et al. [47]	(8)	✓	✓	✓
Halm et al. [104]	(2)	✓		
Huang et al. [51]	(8)	✓	✓	✓
Izquierdo et al. [52]	(5)	✓	✓	
Kanzian et al. [55]	(5)	✓	✓	
Kerdoncuff [57]	(8)	✓	✓	✓
Kim et al. [60]	(8)	✓	✓	✓
Koch [61]	(1,2)	✓	✓	
Lakovou et al. [65]	(2)	✓	✓	
Lam et al. [66]	(1,2,3,4,5,6,7,8,9)	✓	✓	✓
Leduc et al. [68]	(8)	✓	✓	✓
Leduc et al. [69]	(5)	✓	✓	✓
Marvin et al. [72]	(8)	✓	✓	
Mele et al. [73]	(8)	✓	✓	✓
Meyer et al. [74]	(1,5)	✓	✓	✓
Panichelli et al. [79]	(5)	✓	✓	
Papapostolou et al. [80]	(2,8)	✓	✓	✓
Parker et al. [81]	(8)	✓	✓	✓
Perpiñá et al. [82]	(5)			
Plata [83]	(1)	✓	✓	
Rentizelas et al. [84]	(5,6)	✓	✓	✓
Rentizelas et al. [85]	(1)	✓	✓	

Schwaderer [89]	(8)	✓	✓	
Shi et al. [91]	(5)	✓	✓	
Singh et al. [92]	(4)	✓	✓	
Strobl [100]	(5)	✓		
Tittmann et al. [101]	(8)	✓	✓	✓
Tursun et al. [103]	(8)	✓	✓	✓
Van Dyken et al. [107]	(1,2,3,4,5,6,7,8,9)	✓	✓	✓
Venema et al. [108]	(5)	✓	✓	
Vera et al. [109]	(5)	✓	✓	
Vlachos et al. [111]	(2)	✓	✓	✓
Walther et al. [112]	(8)	✓	✓	✓
Wang et al. [113]	(1)	✓	✓	
Zamboni et al. [118]	(8)	✓	✓	✓
Zamboni et al. [119]	(8)	✓	✓	✓

6.2 Datengrundlage

6.2.1 Untersuchungsgebiet

Im Rahmen des Verbundprojektes wurden zwei Betrachtungsräume ausgewählt. Aufgrund der verfügbaren Daten im Betrachtungsraum 1 (siehe Abbildung 5) wurden zwei Städte (Bottrop und Gladbeck) als Untersuchungsraum ausgewählt, welche Zentral im Ruhrgebiet liegen. Die Stadt Gladbeck hat ca. 76.000 Einwohner und eine Fläche von 35,91 km². Die wichtigsten Quellen für die Verwendung von Biomasse stellen städtischen Waldflächen (ca. 195 ha), Parks und Spielplätze (ca. 220 ha), rekultivierte Flächen (ca. 180 ha), Kleingartenanlagen (ca. 34,7 ha) sowie Stadtgärten (ca. 12,5 ha) dar [94]. Die Stadt Bottrop hat ca. 116.000 Einwohnern und eine Fläche von 100,61 km². Die wichtigsten Quellen für die Verwendung von Biomasse stellen städtischen Waldflächen (346 ha), Parks und Spielplätze (183 ha), Verkehrsgrün (24 ha), Grün an Sportanlagen und Bädern (20 ha), Grün an öffentlichen Gebäuden (8 ha), Grün an Schulen und Kindergärten (40 ha) Kleingartenanlagen (54,5 ha) sowie Friedhöfe (66,6 ha) dar [93]. Hinzu kommen sämtliche Bioabfälle aus Haushalten und der Industrie für die beiden Städte. Die Stadt Gladbeck verfügt derzeit über keine Bioenergieanlagen. In Bottrop befindet sich ein Klärwerk, welches von der Emschergenossenschaft betrieben wird.

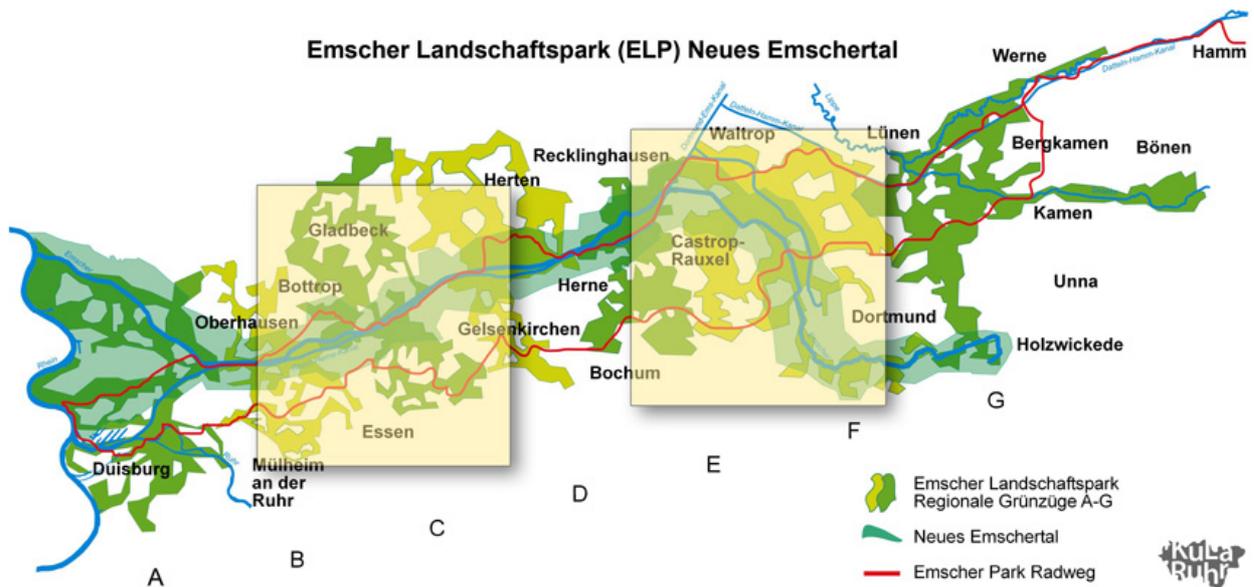


Abbildung 5: Untersuchungsraum

6.2.2 Quellen

Biomasse wird in der Literatur sowohl nach Eigenschaften als auch nach Herkunft klassifiziert. Einerseits wird sie nach fest, flüssig und gasförmig unterteilt andererseits wird sie nach der Entstehung aus der Forst-, Land-, Entsorgungswirtschaft sowie Lebensmittelverarbeitung klassifiziert [62] (siehe Abbildung 6).

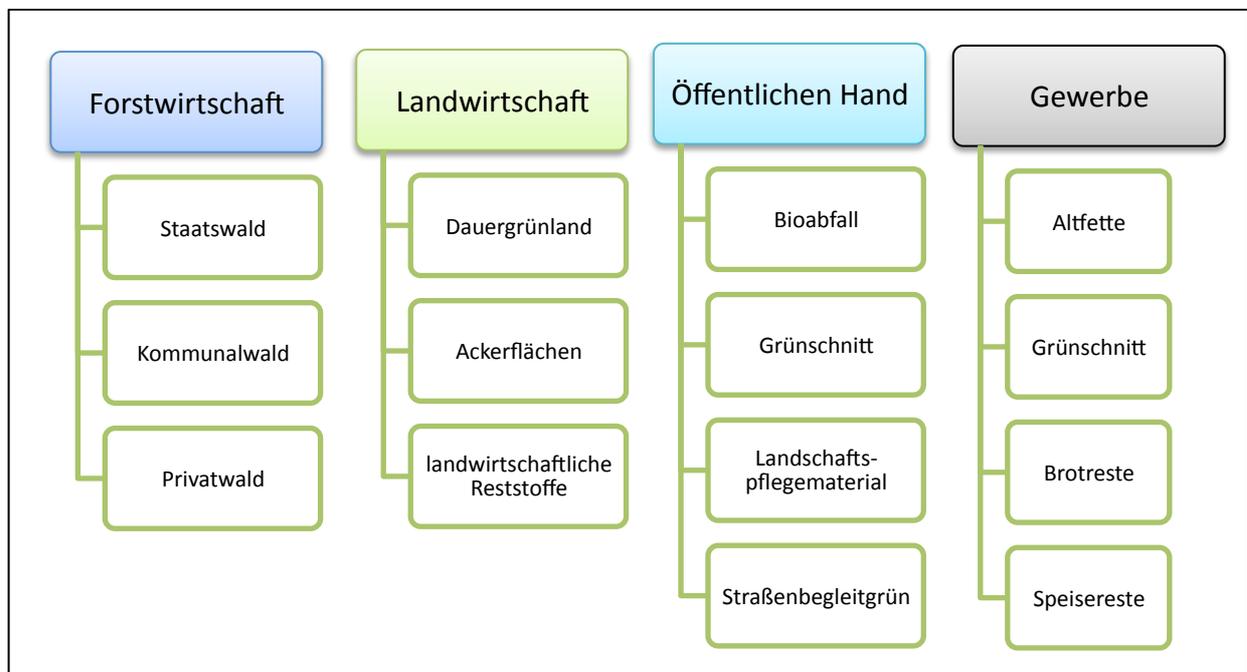


Abbildung 6: Biomasse nach ihrer jeweiligen Herkunft (Anlehnung an [10])

In Rahmen des Projektes werden die Biomassetypen betrachtet, die aus der öffentlichen Hand und aus dem Gewerbebereich entstehen. Die Biomasse stammt aus folgenden Quellen [10]:

- Hotels und Gaststätten
- Kantinen aus größeren Betrieben, Mensen
- Bäckereien und Konditoreien
- Metzgereien
- Supermärkte und der Großmarkt
- Krankenhäuser
- Alten und Pflegeheime
- Gärtnereien und Landschaftsbauer
- Holzverarbeitender Industrie

6.2.2.1 Biomasse-Potenzial im Untersuchungsgebiet

Um den Standort, die Anlage und die Transportmodel zu bestimmen sowie zugehörige Kosten zu berechnen, wurde das Biomasse-Potenzial für das Untersuchungsgebiet berechnet. Aufgrund technischer, gesetzlicher, struktureller sowie weiterer Einschränkungen, können die verfügbaren Biomassen nur teilweise für die Energieproduktion eingesetzt werden. In der Literatur sind verschiedenen Mengenangaben angegeben, die sich stark voneinander unterscheiden. Sie sind ebenso schwer zu finden und es werden unterschiedliche Begriffe für das Potenzial gebraucht. Kaltschmitt unterteilte das Biomassepotenzial in vier Kategorien (siehe Abbildung 7)[54].

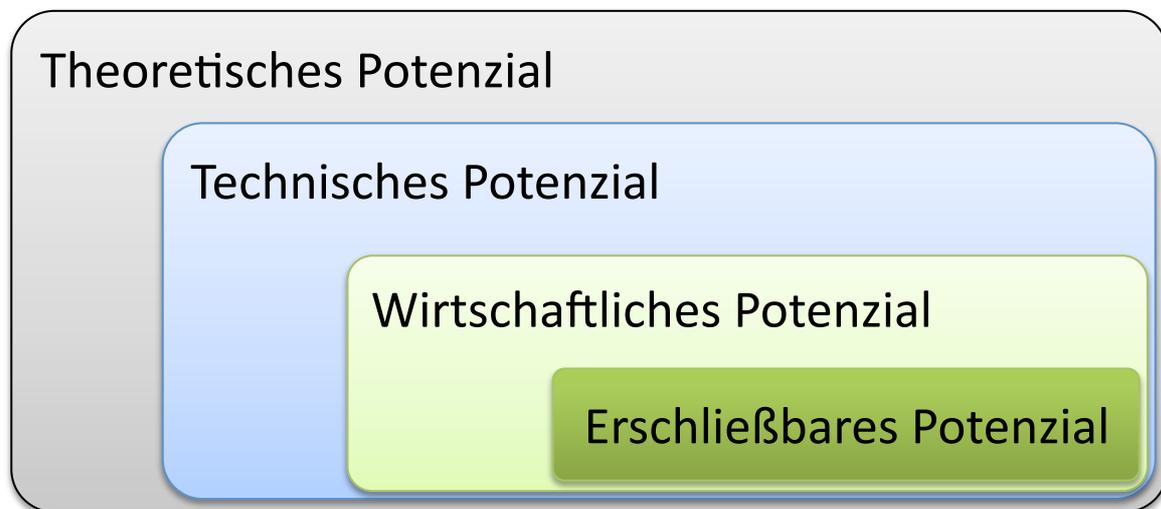


Abbildung 7: Beziehung der Kategorien des Biomasse-Potenzials

Unter dem theoretischen Potenzial wird das Potenzial verstanden, welches in einem bestimmten Zeitraum theoretisch verfügbar ist. Die theoretische Biomasse kann wegen technischer Restriktionen nur anteilig genutzt werden, dieser Anteil wird als technisches Potenzial bezeichnet. Um die Biomasse für Bioenergieproduktion einzusetzen, ist auch ein wirtschaftlicher Anreiz notwendig. Das erschließbare Potenzial ist der Anteil des wirtschaftlichen Potenzials, welches nach weiteren Restriktionen noch zur Verfügung steht.

Im Rahmen des Teilprojekts 01 werden ausgewählte Kommunen detailliert untersucht. Somit wurden die Berechnungen für das erschließbare Potenzial diese Kommunen berücksichtigt. Die

Datenbasis des Untersuchungsgebietes stammt aus den Quellen, die in der Abbildung 8 dargestellt worden sind.

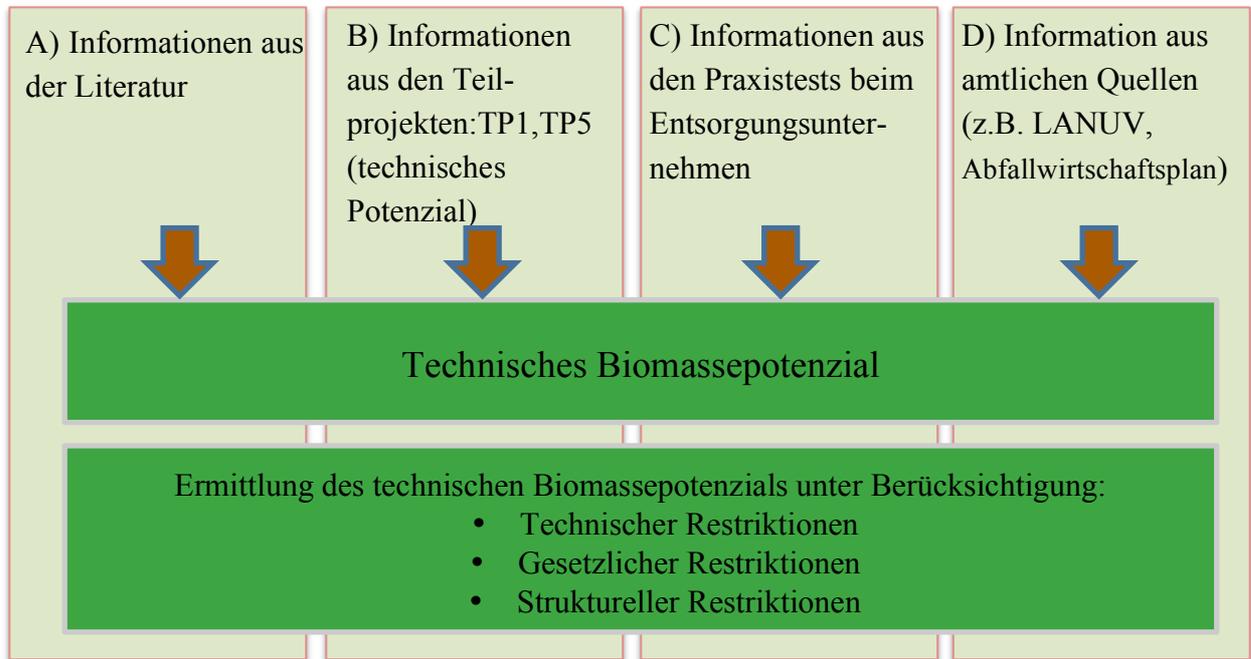


Abbildung 8: Datenquellen für die Biomassequellen

Tabelle 2: Abschätzung der Aufkommen vom Landschaftspflegeholz

Beschreibung	Min	Max
Straßenbegleitholz		
Straßenrandpflege	1 Mg/km·a	4 Mg/km·a
Gemeindestraßen	1 Mg/km·a	1 Mg/km·a
Bundes-, Landes- und Kreisstraßen	1 Mg/km·a	2 Mg/km·a
Bundesautobahnen	3 Mg/km·a	4 Mg/km·a
Landschaftspflege aus der freien Landschaft		
Gehölzaufwuchs	5 Mg/ha·a	5 Mg/ha·a
Knickpflege	2,5 Kg/m	2,5 Kg/m
Baumschnitt aus städtischen Grünanlagen		
öffentlichen Grünanlagen	1,8 Mg/ha·a	7 Mg/ha·a
öffentlichen Friedhöfen	4,5 Mg/ha·a	13 Mg/ha·a
Baumschnitt aus landwirtschaftlichen Flächen		
Obstplantagen	0,5 Mg/ha·a	12 Mg/ha·a
Streuobstwiesen	2 Mg/ha·a	4 Mg/ha·a

6.2.2.2 Holzartiges Biomasse-Potenzial

Holzartige Biomassen lassen sich in Landschaftspflegeholz, Industrierestholz und Altholz unterteilen, die auch meistens thermo-chemisch verwendet werden. Das Landschaftspflegeholz

fällt nach Pflegearbeiten, Baumschnittaktivitäten in Parks, auf Friedhöfen, an Straßen- und Feldrändern, an Schienen, privaten Kleingärten und an ähnlichen Orten an. Die Tabelle 2 stellt die Aufkommen des Landschaftspflegeholzes dar [54].

Die Nebenprodukte und Reststücke aus der Holzwirtschaft können auch als Rohstoff eingesetzt werden. Im Kapitel 6.1.3 „Modelle der Bioenergie Supply Chain“, werden einige dieser Modelle dargestellt.

6.2.2.3 Halmgutartiges Biomasse-Potenzial

Nach der Landschaftspflege fallen an Straßenrändern, Schienentrassen, Wasserstraßen, auf Naturschutzflächen, in Parks, Anlagen und auf Friedhöfen halmgutartige Biomassen an, welche als Rohstoff in Biogas- oder Kläranlagen verwendet werden können. Im Rahmen des „KuLaRuhr“- Projektes wurde festgestellt, dass viele Faktoren den Biogasertrag beeinflussen, wie z.B. ein erhöhtes Pflegeintervall. Aufgrund des höheren Schwermetallgehalts ist der Einsatz von Biomasse, die von Autobahn- und Straßenrändern gesammelt wird, problematisch. Die Tabelle 3 stellt die Aufkommen halmgutartiger Biomassen dar [54].

Tabelle 3: Abschätzung der Aufkommen halmgutartiger Biomasse

Beschreibung	Min	Max
Straßengrasschnitt		
Bundesstraßen	0,6 ha/km	0,6 ha/km
Bundesautobahnen	1,2 ha/km	2,3 ha/km
Landschaftspflege aus der freien Landschaft		
Aus Garten und Parks	15 kg/EW	15 kg/EW

6.2.2.4 Bioabfall-Potenzial

Der im März 2014 vorgelegter Entwurf des Abfallwirtschaftsplans NRW beinhaltet Leitwerte für die Entwicklung und den Umgang mit Abfällen, dieser umfasst auch einen Teil-Plan für Siedlungsabfälle. Das Hauptziel des Plans ist der Aufbau einer ökologischen Abfallwirtschaft in NRW. Um dieses Ziel zu erreichen, wird ein Landes-Zielwert von 150 kg Abfall pro Einwohner und Jahr vorgegeben. Die getrennt erfassten Bio- und Grünabfallmengen liegen deutlich unter dem Landes-Zielwert. Im Jahr 2010 wurden ca. 67 kg Abfall pro Einwohner und Jahr getrennt erfasst. Um den Landes-Zielwert zu erreichen, wurden kurz- und langfristige Werte festgelegt und eine zeitliche Staffelung vorgesehen.

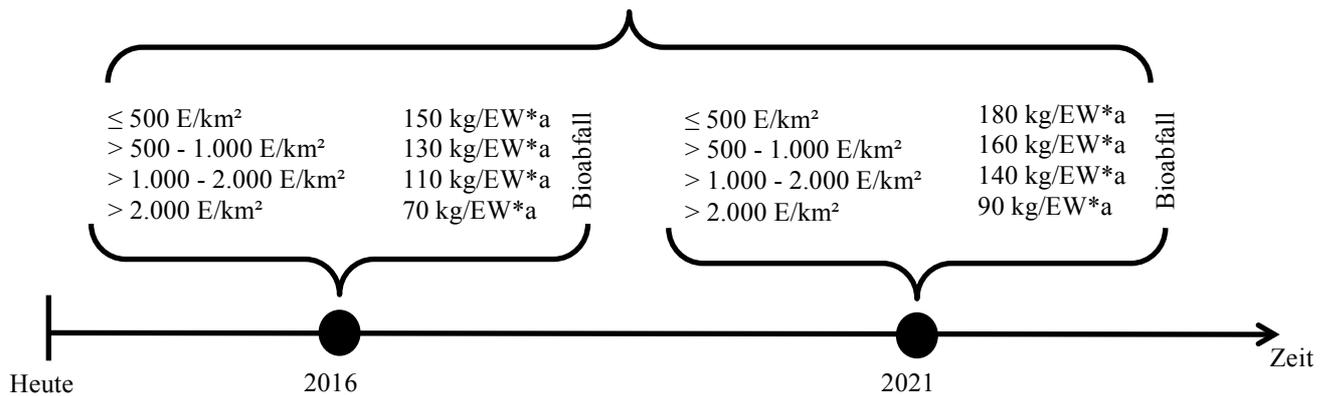


Abbildung 9: Zielwerte für die getrennte Erfassung von Bio- und Grünabfällen in vier Cluster

Mittels dieser Zielwerte in der Abbildung 9 wurden unterschiedliche Szenarien definiert. Die Stadt Gladbeck sammelte im Jahr 2010 ca. 3.610 Bio- und Gartenabfälle [120]. Die Bevölkerungsdichte der Stadt Gladbeck liegt bei 2.061 EW je km². Nach den Zielwerten, sollen nach 2016 (70 kg/EW*a) ca. 5.180 Mg und nach 2021 (90 kg/EW*a) ca. 6.660 Mg anvisiert werden. Laut Abfallbilanz 2010 wurden in der Stadt Bottrop 15.716 Mg Bio- und Grünabfälle gesammelt [75]. Die Bevölkerungsdichte der Stadt Bottrop liegt bei 1.154 EW je km². Den Zielwerten zufolge, sollen nach 2016 (110 kg/EW*a) ca. 12.800 Mg und nach 2021 (140 kg/EW*a) ca. 16.300 Mg realisiert werden. Wenn die Zielwerte erreicht werden, müssen im Ruhrgebiet zusätzlich knapp 237.000 Mg Biomasse verwertet werden (siehe Tabelle 4).

Tabelle 4: Bio- und Grünabfallmengen im Ruhrgebiet in Mg [76]

Stadt	2010	2016	2021	Unterschied 2010-2021
Bochum	16.405	25.360	32.606	16.201
Bottrop	15.716	12.904	16.424	708
Essen	29.632	39.634	50.958	21.326
Dortmund	26.067	39.980	51.403	25.336
Duisburg	33.620	34.193	43.962	10.342
Gelsenkirchen	18.292	18.114	23.289	4.997
Hagen	9.058	20.674	26.312	17.254
Hamm	10.898	22.885	28.166	17.268
Herne	10.023	10.861	13.964	3.941
Mülheim an der Ruhr	14.205	18.355	23.361	9.156
Oberhausen	9.435	14.715	18.919	9.484
Ennepe-Ruhr-Kreis	24.697	42.386	52.168	27.471
Kreis Recklinghausen	75.575	80.520	99.101	23.526
Kreis Unna	46.626	46.425	57.138	10.512
Kreis Wesel	41.306	67.151	80.581	39.275
Gesamt	381.555	494.156	618.352	236.797

6.2.2.5 Klärschlamm-Potenzial

In Kläranlagen können die Klärschlämme in Faultürmen vergoren werden. Dabei entstehendes Klärgas, kann bei der Strom und Wärmeproduktion verwendet werden. Da die Kläranlagen bereits bestehen und folglich keine Transportkosten entstehen, wurde das Klärschlamm-Potenzial in weiteren Berechnungen nicht betrachtet, sondern nur die Kläranlagen als bestehende Infrastruktur..

6.2.2.6 Gewerbliches Bioabfall-Potenzial

Im gewerblichen Bereich fallen sowohl bei der Verarbeitung, als auch im Gastgewerbe und im Einzelhandel erheblichen Mengen an Biomassen an.

Tabelle 5: Biomasse aus dem Gewerbe [3; 54]

Beschreibung	Min	Max
Getreideverarbeitung	0,2 kg pro verarbeitende kg	0,3 kg pro verarbeitende kg
Obst-, Gemüse- und Kartoffelverarbeitung	0,1 kg pro verarbeitende kg	0,35 kg pro verarbeitende kg
Zuckerherstellung	0,7 kg pro verarbeitende kg	0,7 kg pro verarbeitende kg
Pflanzenölproduktion	1 kg pro verarbeitende Liter	3 kg pro verarbeitende Liter
Bierherstellung	0,25 kg pro verarbeitende Liter	0,25 kg pro verarbeitende Liter
Weinherstellung	0,2 kg pro verarbeitende kg	0,3 kg pro verarbeitende kg
Trinkalkohol	1 kg pro verarbeitende Liter	3 kg pro verarbeitende Liter
Milchverarbeitung	1 kg pro verarbeitende Liter	2 kg pro verarbeitende Liter
Schlachthöfe/Fleischverarbeitung	15 kg pro Tier	60 kg pro Tier
Zellstoffproduktion	2 kg pro verarbeitende kg	3 kg pro verarbeitende kg
Altpapierverarbeitung	0,1 kg pro verarbeitende kg	0,3 kg pro verarbeitende kg
Lebensmittelgeschäften	80 kg pro Woche	80 kg pro Woche
Gastgewerbe	25 kg pro Einwohner im Jahr	25 kg pro Einwohner im Jahr

6.2.2.7 Bilanz der Biomasse-Potenziale im Untersuchungsgebiet

Die Ergebnisse der Potenzialabschätzung für das Untersuchungsgebiet sind in der Tabelle 6 als Mengenszenarien dargestellt. Detaillierte Mengenerrechnungen über holz-, halmgut- und krautartige Biomassen und deren Energiegehalte ist den Ergebnissen des Teilprojekts 01 zu entnehmen. Aus Bioabfällen, können ca. 220 kWh Strom (netto) und die gleiche Menge Wärme erzeugt werden.

Tabelle 6: Mengenszenarien für die Experimente

Szenario	Beschreibung	Menge (Mg)
BMHKW 1	Holzartige Biomasse aus Gladbeck	127
BMHKW 2	Holzartige Biomasse aus Gladbeck und Bottrop	391
BMHKW 3	Holzartige Biomasse alle Akteure im Gebiet	480
Biogas 1	Halmgut- und krautartige Biomasse aus Gladbeck	2.665
Biogas 2	Halmgut- und krautartige Biomasse aus Gladbeck und Bottrop	4.003
Biogas 3	Halmgut- und krautartige Biomasse alle Akteure im Gebiet	6.638
Biogas 4	Bioabfall, Halmgut- und krautartige Biomasse aus Gladbeck (2016)	7.845
Biogas 5	Bioabfall, Halmgut- und krautartige Biomasse aus Gladbeck und Bottrop (2016)	21.998
Biogas 6	Bioabfall, Halmgut- und krautartige Biomasse alle Akteure im Gebiet (2016)	28.636
Biogas 7	Bioabfall, Halmgut- und krautartige Biomasse aus Gladbeck (2021)	9.325
Biogas 8	Bioabfall, Halmgut- und krautartige Biomasse aus Gladbeck und Bottrop (2021)	26.973
Biogas 9	Bioabfall, Halmgut- und krautartige Biomasse alle Akteure im Gebiet (2021)	33.611

6.2.3 Umschlagstationen

Bei der Abfallwirtschaft werden tendenziell zentrale Anlagen bevorzugt [13] Liegen die bestehenden Bioenergieanlagen weiter entfernt, können die Bioabfälle in Umschlagstationen auf größere LKWs umgeladen werden, um Transportkosten und Emissionen zu reduzieren. Es ist zu beachten, dass mit abnehmender Biomassemenge die Umschlagkosten pro Tonne steigen.

6.2.4 Verfügbare Flächen

Zur Auswahl geeigneter Standorte und einer Bewertung eventuell vorhandener Räumlichkeiten ist eine Aufstellungsplanung vorzunehmen. Nachfolgend sind deshalb Angaben zum Platzbedarf der wesentlichen Anlagenteile von Bioenergieanlagen sowie die Anordnung der jeweiligen Anlagenteile zueinander aufgeführt. Grundsätzlich prägen die individuellen örtlichen Gegebenheiten die Aufstellungsplanung, so dass allgemeingültige Aussagen nur eingeschränkt getroffen werden können.

Bei der Aufstellungsplanung von Bioenergieanlagen sind insbesondere die Komponenten Brennstoffanlieferung und -lagerung, Ascheentsorgung und Abgasentstaubung zu berücksichtigen. Ein Schwerpunkt bei der Aufstellungsplanung stellt die Planung des Brennstofflagers in Verbindung mit der Kesselaufstellung dar. Eine einfache Brennstoffentladung und Kesselbeschickung sollte sichergestellt werden, wobei die maschinentechnischen Komponenten vorwiegend aus sicherheitstechnischen Aspekten baulich getrennt von der Lagerhalle aufgestellt werden müssen.

6.2.5 Anlagen

Biomasse wird in den entsprechenden Konversionsanlagen in die gewünschte Energieform überführt. Die Entwicklung im Bereich erneuerbarer Energien hat bereits eine Vielzahl von Verfahren und Anlagen zur Umwandlung von Biomasse hervorgebracht. Einige der gängigsten Anlagen werden in diesem Abschnitt in ihren Grundzügen dargestellt. Bei der Planung im Zusammenspiel mit den in Abschnitt 6.1.3 beschriebenen Modellen sind es folgende Anlagen, welche vorrangig betrachtet werden.

6.2.5.1 Biogasanlage

Der erste betrachtete Anlagentyp ist der einer Biogasanlage. Eine Biogasanlage wird verwendet, um organisches Material in ein methanhaltiges Biogas umzuwandeln. Im Normalfall schließt sich noch vor Ort eine Weiterverarbeitung zu Strom und Wärme mittels eines Blockheizkraftwerks (BHKW) an. Die vorhandenen tierischen und pflanzlichen Reststoffe können zur Produktion von Biogas verwertet werden. Durch zusätzlich angebaute Energiepflanzen, welche den Reststoffen zugemischt werden, kann der Gasertrag zusätzlich gesteigert werden. Jedoch ist auch eine nicht-landwirtschaftliche Nutzung möglich. Hierbei dienen biologische Abfälle als Substrat zur Gasgewinnung. Die Biomasse wird zunächst gesammelt und anschließend in einen beheizten Fermenter gegeben. In diesem Bioreaktor wird die Biomasse durch mikrobielle Zersetzung unter Ausschluss von Sauerstoff (anaerob) zu einem Methangas vergoren. Dieses Gas wird anschließend einem BHKW zugeführt und in Wärme und Strom umgewandelt. Der produzierte Strom kann direkt ins angeschlossene Stromnetz eingespeist werden. Die Wärme kann noch vor Ort zur Trocknung von Abfällen, zur Hygienisierung und zum Beheizen des Fermenters genutzt werden. Zudem kann die restliche Energie verwendet werden, um angrenzende Wohn- und Wirtschaftsgebäude zu versorgen. Ein weitere Alternative ist die Aufbereitung des Biogas in Erdgasqualität, somit können z. B. erdgasgetriebene Fahrzeuge betankt oder Biogas ins Gasnetz eingespeist werden [26]. Des Weiteren entstehen bei der Gärung Reste, wie dienlicher Kompost und Flüssigkeitsdünger, die wiederum zum Anbau von Biomasse verwendet werden können. Durch diese Wiederverwertung schließt sich gewissermaßen ein natürlicher Kreislauf [45]. Je nach den eingesetzten Verfahren werden unterschiedliche Energieerträge erzielt (siehe Abbildung 10). Zurzeit befinden sich in Ruhrgebiet zwei Biogasanlagen (siehe Abbildung 11).

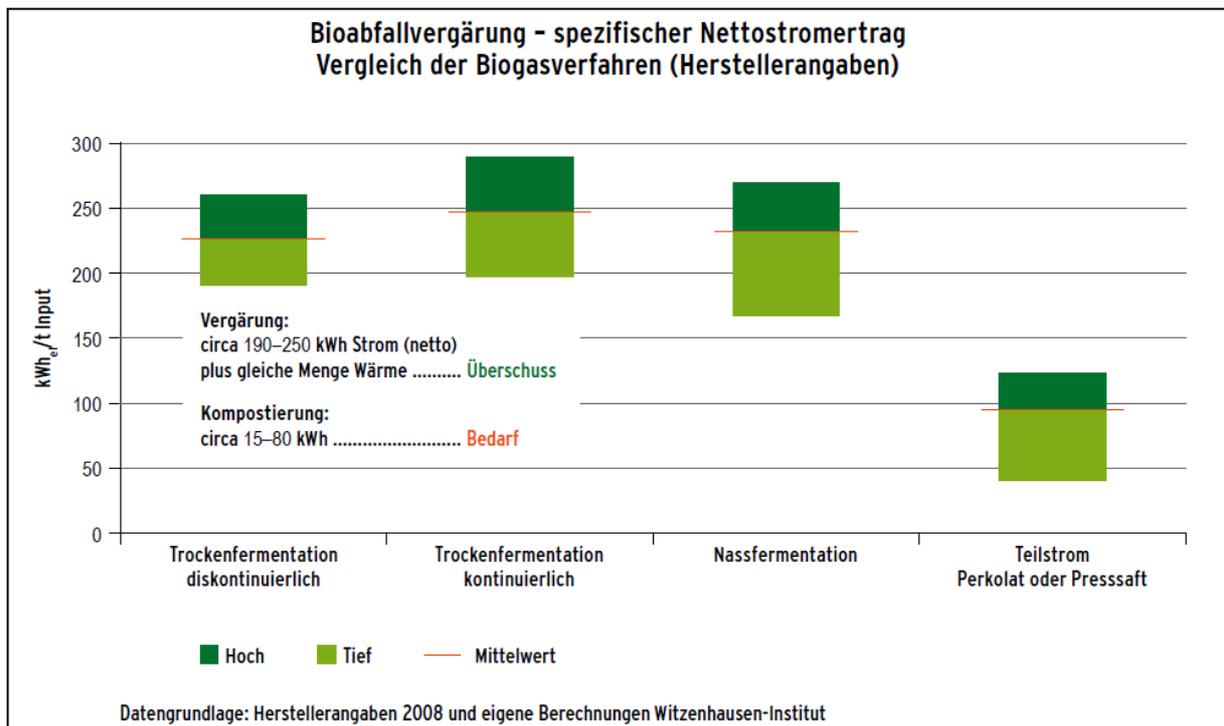


Abbildung 10: Energieertrag von Biogasanlagen je nach Verfahren [42]

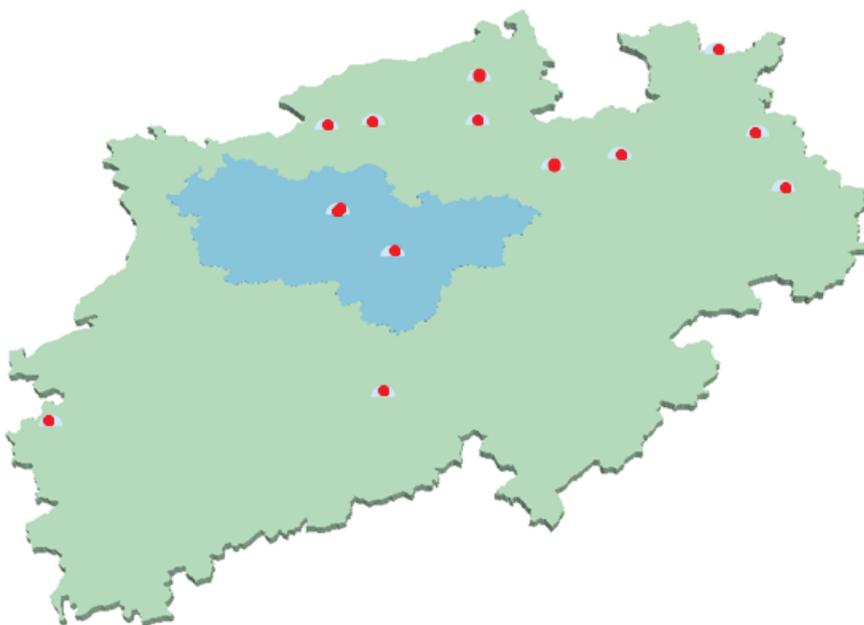


Abbildung 11: Bioabfallvergärungsanlagen in NRW

6.2.5.2 Biomasseheizkraftwerk (BMHKW)

Bei einem BMHKW wird feste Biomasse verfeuert und mittels eines Generators elektrische Energie erzeugt. Je nach eingesetzter Biomasse kann sich das Verfahren unterscheiden, wobei das Prinzip jedoch gleich bleibt. Durch die Verbrennung von Biomasse entsteht Rauchgas bzw. Dampf. Dieses Gas wird durch Kesselsysteme geleitet und dient im Endeffekt als Antrieb für

eine Turbine, durch welche Strom erzeugt wird. Das Gas wird anschließend gereinigt und emittiert. Neben dem erzeugten Strom stellt ein BMHKW auch die entstehende Wärme bereit. Diese kann in das Nah- bzw. Fernwärmenetz eingespeist oder direkt als Prozesswärme wiederverwendet werden. Eine neue Anlage wurde in Stadt Essen im Jahr 2012 in Betrieb genommen und jährlich wird ca. 2.600 Mg holzartige Biomasse in Energie umgewandelt [37]. Eine weitere Anlage in Oberhausen verarbeitet ca. 40.000 Mg Landschaftspflegeholz und erzeugt Bioenergie [35].

6.2.5.3 Kläranlage mit Faulturm

Eine weitere Möglichkeit Bioenergie zu gewinnen bieten Kläranlagen mit angeschlossenem Faulturm. Kläranlagen dienen der Abwasserreinigung. Das Wasser durchläuft hierbei verschiedene Prozesse, wobei die biologische Stufe des Reinigungsprozesses den entscheidenden Teil darstellt. Der in der Anlage entstehende Klärschlamm enthält organisches Material und kann somit der Kategorie Biomasse zugeteilt werden. Der Klärschlamm kann mittels eines Faulturms in Biogas umgewandelt werden. Die Prozesse innerhalb des Faulturms ähneln dabei denen der Biogasanlagen. Das entstehende Gas wird mittels eines BHKW verstromt und kann analog zu Biogasanlagen verwertet werden. Die Kläranlage der Emschergenossenschaft in der Stadt Bottrop liegt im Untersuchungsgebiet, in dieser Anlage wird das Klärgas aufbereitet und anschließend als Treibstoff verwendet [15].



Abbildung 12: Kläranlagen im Ruhrgebiet

6.2.5.4 Bioenergieanlage-Anforderungen für die Standortwahl

Bei der Auswahl einer Anlage und eines Standortes müssen folgende technische und gesetzliche Randbedingungen berücksichtigt werden [19]:

- Verfügbare Biomassetype und –menge,
- Kundenbedürfnisse (Wärme, Strom, Gas, etc.),
- Größe des Energiebedarfs im Einzugsgebiet,
- Stand der Technik,

- Flächenbedarf der Anlagen,
- Anlieferung und Verkehr,
- Je nach Produktion: Gasnetz, Wärmenetze und Wärmebedarf,
- Bauvorschriften,
- Rechtliche Voraussetzungen etc.

Bei der Auswahl einer geeigneten Bioenergieanlage, sind verfügbare Biomasse, Biomassetyp und die Energienachfrage besonders wichtig. Die saisonale Menge wird jedoch auch in der Auswahl berücksichtigt. Die Abbildung 13 stellt die Beziehung zwischen Anlagegröße und Endprodukt, für feste Biomasse dar.

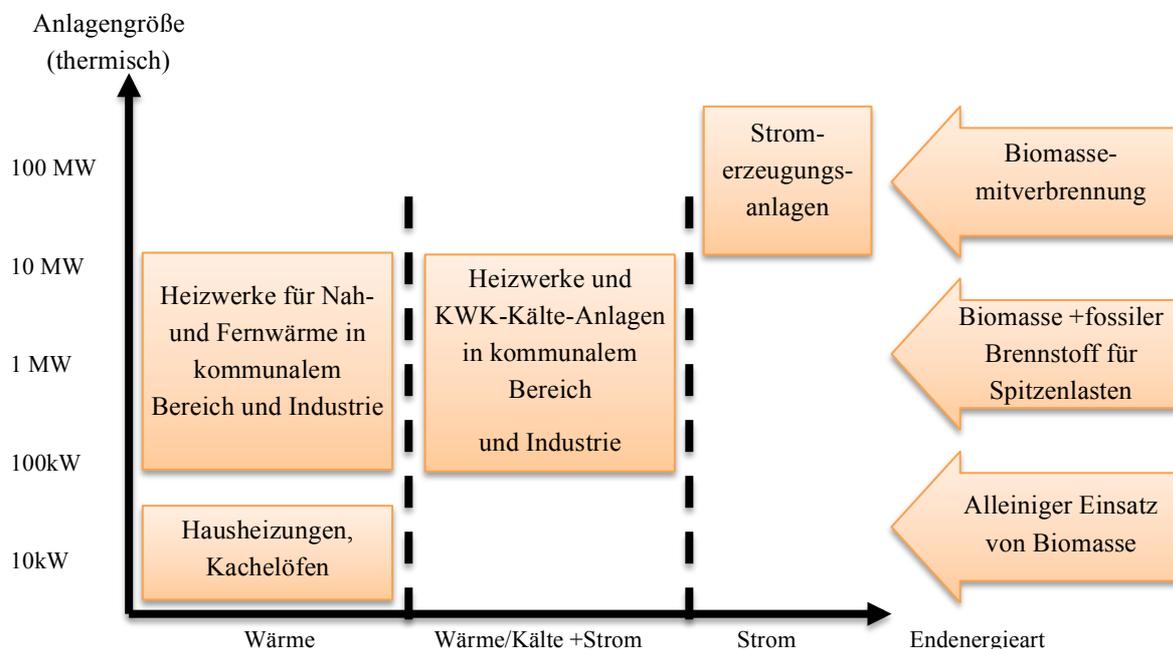


Abbildung 13: Übersicht über mögliche Anlagen zur energetischen Nutzung fester Biomasse [38]

6.2.5.5 Flächenbedarf

Um den geeigneten Standort auszuwählen, spielt der Flächenbedarf der Bioenergieanlage eine übergeordnete Rolle. Um eine störungsfreie Biomasselieferung und einen ebenso reibungslosen Nebenprodukttransport (Gärrest, Asche, etc.) zu gewährleisten, müssen bei der Ermittlung des Flächenbedarfs Anlagekomponenten, Lagerflächen und Außenanlagen wie z.B. Feuerwehrezufahrten betrachtet und berücksichtigt werden. Die Abbildung 14 bis 16 stellen Beispielaufstellungen für Bioenergieanlagen dar. Eine allgemeine Aussage für das Layout der Anlage ist nicht möglich, da sie von den örtlichen Gegebenheiten und Abmessungen, sowie dem Schnitt des verfügbaren Grundstücks abhängt. Die Planung von Biogasanlagen ist je nach Verfahren komplizierter als BMHKW. Die BMHKW bestehen im Wesentlichen aus zwei

wichtigen Komponenten, deren Platzbedarf für unterschiedliche Anlagegrößen in den Tabelle 7 und Brennstofflager in Tabelle 8 dargestellt werden.

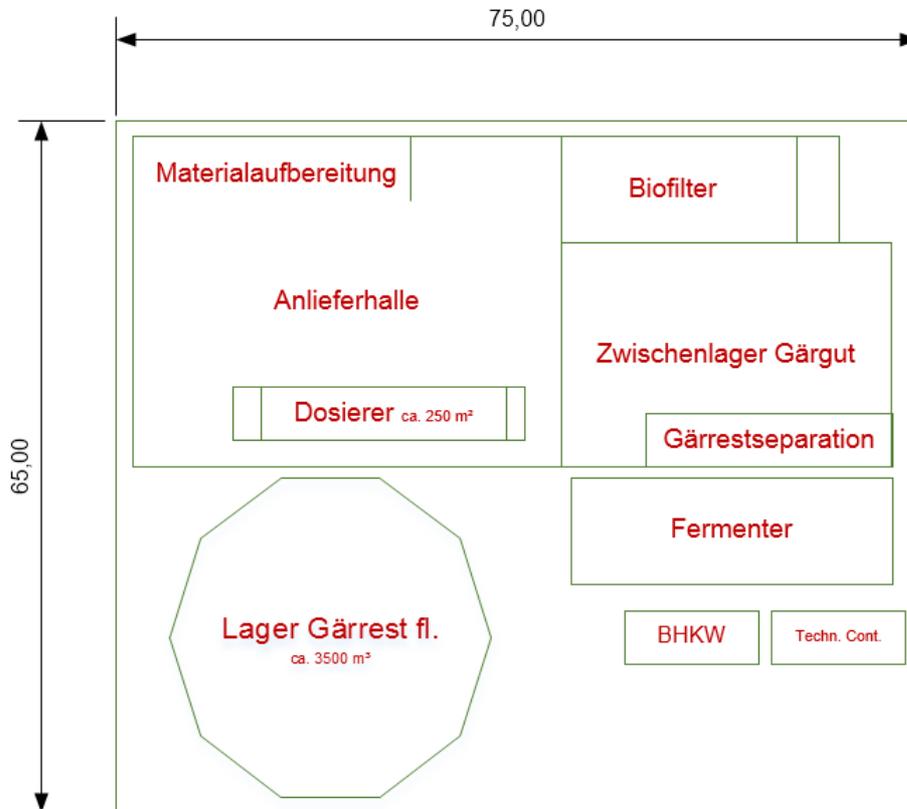


Abbildung 14: Beispielanlage mit kontinuierlicher Trockenfermentation für 20.000 Mg Bioabfall [58]

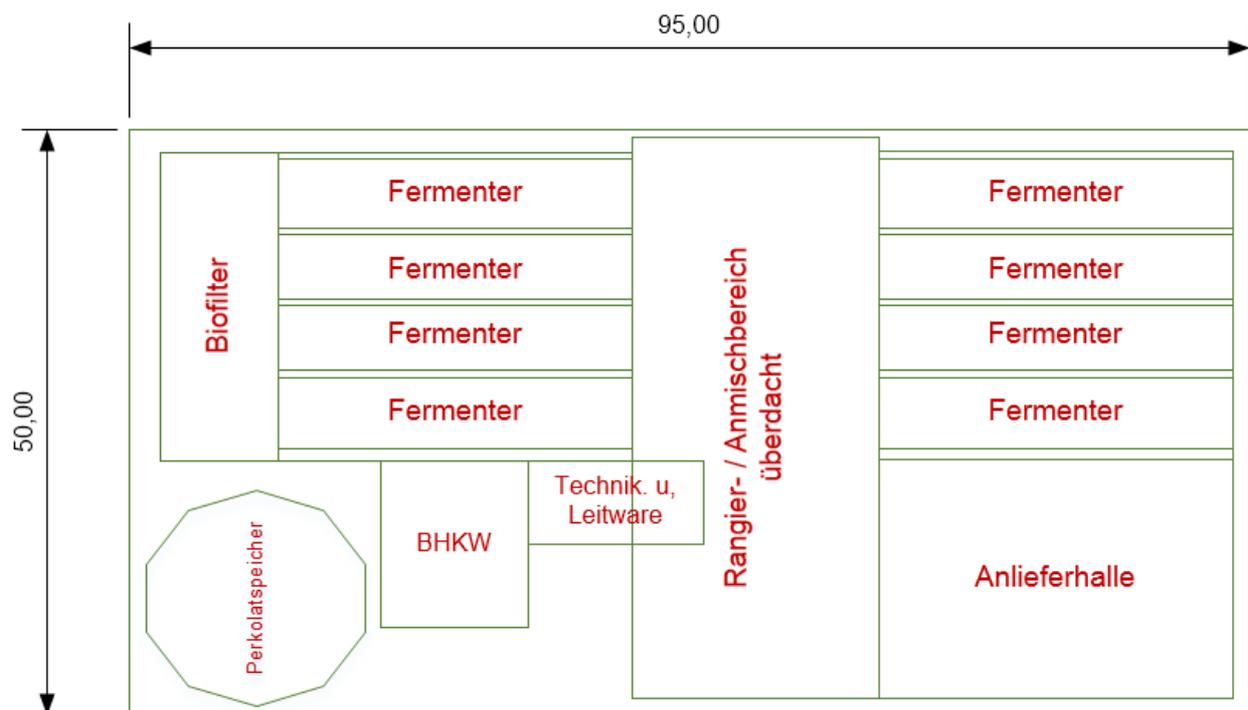


Abbildung 15: Beispielanlage mit kontinuierlicher Trockenfermentation für 20.000 Mg Bioabfall [58]

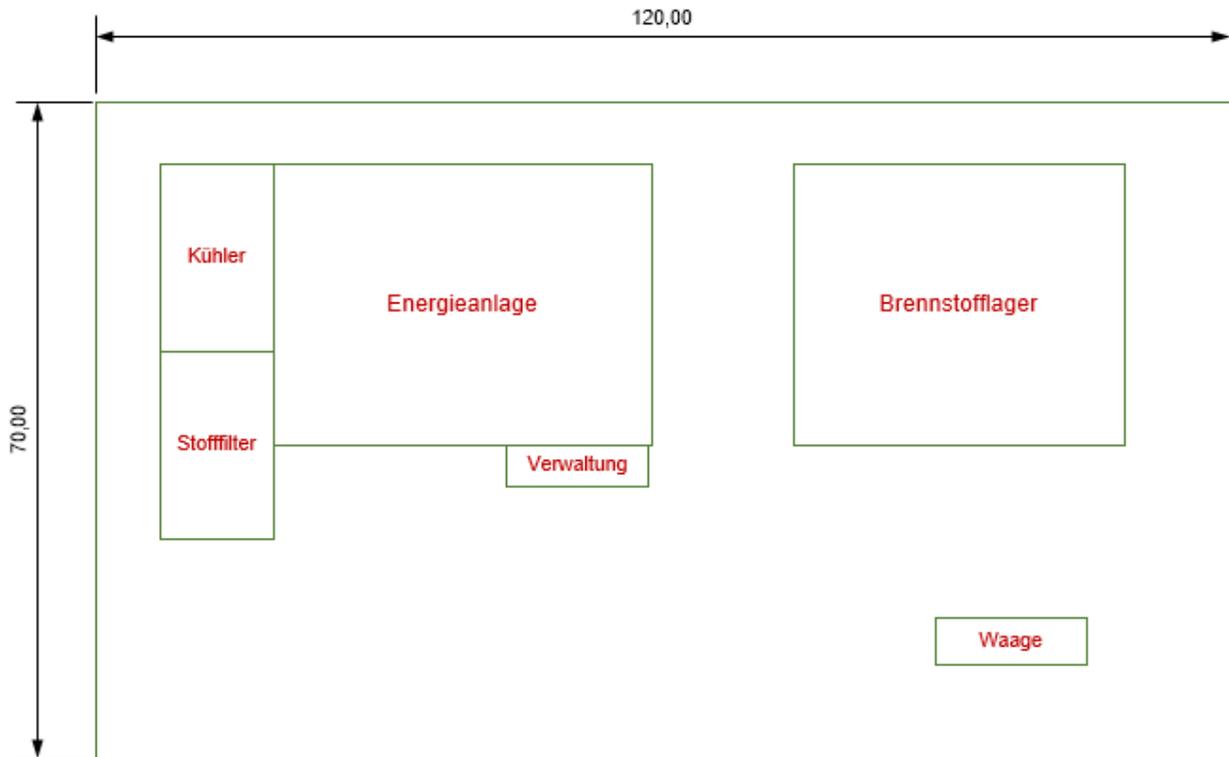


Abbildung 16: Beispiel-BMHKW [14]

Tabelle 7: Platzbedarf für den Biomassekessel [38]

Leistung [kW]	Länge [m]	Breite [m]	Höhe [m]	Fläche [m ²]	Volumen [m ³]
50	1,6	0,8	1,4	1,3	1,8
100	1,8	1,3	1,5	2,3	3,5
200	2,6	1,3	2,2	3,4	7,4
500	3,3	1,5	3,1	5,0	15,3
1.000	3,8	2,3	4,0	8,7	35,0
2.000	4,1	2,5	4,0-5,0	10,3	46,1
5.000	5,0	3,5	4,0-5,0	17,5	78,8

Tabelle 8: Platzbedarf für das Brennstofflager

Beschreibung	0,5 MW	1 MW	5 MW	10 MW	20 MW
Feuerungswärmeleistung [MW]	0,5	1	5	10	20
Betriebsstunden[h]	24	24	24	24	24
Brennstoffreichweite [Tage]	7	7	7	7	7
Brennstoffbedarf für 7 Tage [MWh]	84	168	840	1.680	3.360
Heizwert [MWh/t]	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8
Schütt- bzw. Pressdichte [t/m ³]	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
Bevorratungsmenge [t]	23	45	222	443	885
Bevorratungsvolumen [m ³]	92	180	888	1.772	3.540
Lagerhöhe [m]	3	3	3	3	3
Erforderliche Fläche [m ²]	31	60	296	591	1.180

6.2.5.6 Rechtliche Voraussetzungen

Für die Einrichtung einer Bioenergieanlage sind diverse Rechtsvorschriften und Regelwerke relevant. Die Abbildung 17 stellt ein Überblick über diese dar. Das Grundgesetz regelt die nachhaltige Entwicklung (§20a) und kommunale Planungshoheit (§28). Somit soll einerseits gewährleistet werden, dass alle staatlichen Organe, vor allem die Gesetzgebung, für die Bedürfnisse der zukünftigen Generationen Verantwortung übernehmen. Andererseits soll ebenfalls eine eigene finanzielle Verantwortung übernommen werden.

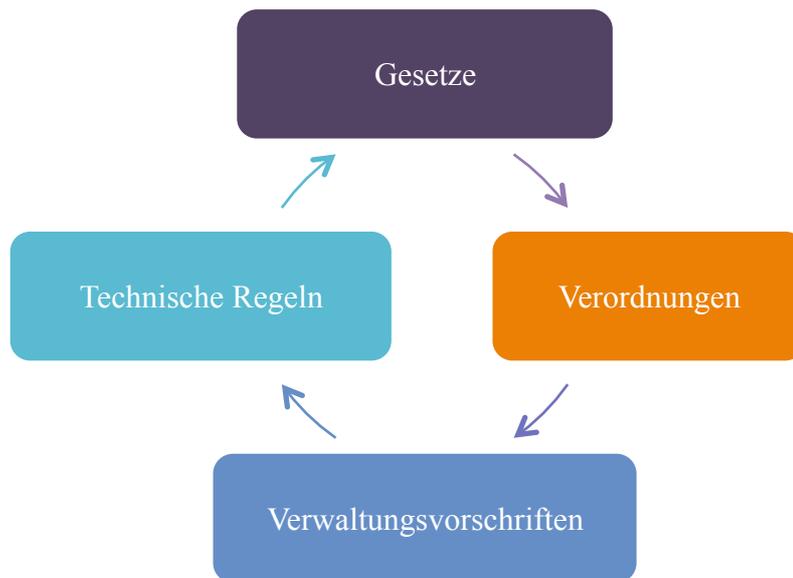


Abbildung 17: Rechtsvorschriften und Regelwerke

Immissionsschutzrechtliche Regelungen

Das Bundes-Immissionsschutzgesetz schützt die Menschen, Tiere und Pflanzen, den Boden, das Wasser, die Atmosphäre sowie Kultur- und sonstige Sachgüter vor schädlichen Umwelteinwirkungen. Es gewährleistet die Verhinderung schädlicher Umwelteinwirkungen und regelt die Einrichtung von Anlagen.

Die Bundesimmissionsschutzverordnung regelt Verordnungen über den Betrieb von Bioenergieanlagen. Bis zu einer Leistung von 100 KW sind die Anlagen genehmigungsfrei, das heißt, dass ein Kaminbesitzer ohne Genehmigung sein Haus heizen darf. Hierbei sind Brandschutzregelungen gesondert zu betrachten. Für Biogasanlagen, die besonders überwachungsbedürftige Abfälle einsetzen und welche die eine tägliche Durchsatzleistung von 10 Tonnen Abfall erreichen bzw. überschreiten, besteht die Genehmigungspflicht.

Die technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft regelt Emissionswerte für bestimmte Luftschadstoffe und Grenzwerte für die genehmigungspflichtigen Anlagen.

Diese Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm dient dem Schutz der Allgemeinheit und der Nachbarschaft. Es wird geschützt vor Geräuschen. Die Anleitung gilt auch als

Vorsorgemaßnahme gegen die Umwelteinwirkungen die durch Geräusche verursacht werden.
Weitere relevante Rechtsvorschriften und Regelwerke sind:

- Baugesetzbuch
- Betriebssicherheitsverordnung
- Niederspannungsverordnung
- Explosionsschutzverordnung
- Bioabfallverordnung
- Biokraftstoff-Nachhaltigkeitsverordnung
- Biokraftstoffquotengesetz
- Biomasseverordnung
- Biomassestrom-Nachhaltigkeitsverordnung
- Düngegesetz
- Düngeverordnung
- Düngemittelverordnung
- Energiesteuergesetz
- Energieeinsparverordnung
- Erneuerbare-Energien-Gesetz
- Erneuerbare-Energien-Wärme-Gesetz
- Gasnetzzugangsverordnung
- Gasnetzentgeltverordnung
- Kraft-Wärme-Kopplungs-Gesetz
- Kreislaufwirtschaftsgesetz
- Tierische Nebenprodukte-Beseitigungsgesetz
- Wirtschaftsdünger-Verordnung
- Bundesnaturschutzgesetz
- Treibhausgas-Emissionshandelsgesetz
- Bundeswaldgesetz
- Kyoto-Protokoll
- Energiewirtschaftsgesetz

Erneuerbare Energien Gesetz

Das Erneuerbare-Energie-Gesetz (EEG) ist ein wichtiges Instrument zum Ausbau erneuerbarer Energien in Deutschland. Zum Errichten neuer Bioenergieanlage ist eine Auseinandersetzung mit dem EEG unvermeidlich. Aus diesem Grund ist das EEG für eine genauere Darstellung der Entwicklung erforderlich. Im Jahr 2000 trat das erste Erneuerbare Energie Gesetz (EGG) in Kraft und löste damit die Stromeinspeisungsgesetz aus, welches den Wettbewerb auf dem Energiemarkt erhöhte. Seit dem wurde es bereits viermal novelliert (2004, 2009, 2012, 2014). Einerseits dient das EEG einem schnellen und kosteneffizienten Ausbau der erneuerbarer Energien in Deutschland, andererseits regelt es die Förderung und Vergütung von

Bioenergieanlagen. Die Tabelle 9 stellt die Entwicklung der Mindestvergütungssätze nach Anlageleistung dar. Mit Inkrafttreten der EEG Novelle 2014, fand eine umfassende Änderung des EEG's statt. Bei dem weiteren Ausbau der erneuerbaren Energien wurde der Fokus auf kostengünstigere Technologien gesetzt. Sonnen- und Windkraftanlagen haben somit bessere Chancen als die verhältnismäßig teuren Bioenergieanlagen. Es werden andererseits aber auch Bioabfallvergärungsanlagen gefördert, um die Umsetzung der Getrenntsammlungspflicht von Bioabfällen im Kreislaufwirtschaftsgesetz zu gewährleisten. Die Konsequenz der Novellierung der EEG war das Streichen des NawaRo-Bonus, des Landschaftspflegebonus und des Gasaufbereitungsbonus.

Tabelle 9: EEG Mindestvergütungssätze

Bemessungsleistung [kW _{el}]	EEG-2000 [ct/kWh _{el}]	EEG-2004 [ct/kWh _{el}]	EEG-2009 [ct/kWh _{el}]	EEG-2012 [ct/kWh _{el}]	EEG-2014 [ct/kWh _{el}]
bis 150	10,2	11,5	11,7	14,3	13,66
bis 500	10,2	9,9	9,2	12,3	11,78 *15,26
Bis 750	10,2	9,9	9,2	11,0	11,78 *13,38
bis 5.000	9,2	8,9	8,3	11,0	10,55
bis 20.000	8,7	8,4	7,8	6,0	5,85

(* Vergütungssätze für eine Bioabfallvergärungsanlage)

6.2.6 Kunden

Durch Umwandlung der Biomassevorkommen können die regionalen Energieabnehmer bei der Energieversorgung unterstützt werden. Zu den energiebedarfsrelevanten Abnehmern in einer Stadt gehören Schulen, Krankenhäuser, Schwimmbäder, Sporthallen, Bürgerhäuser, Feuerwehr, öffentliche Einrichtungen für Senioren und Jugendliche, Stadthallen, Museen, Rathaus, Büchereien, Volkshochschulen, Abfallbetriebshöfe. Die Standorte der relevanten Abnehmer aus Gladbeck wurden in der Abbildung 18 dargestellt, welche überwiegend Schulen (siehe Abbildung 19) sind und mehr Heizenergie verbrauchen (siehe Abbildung 20) [95].

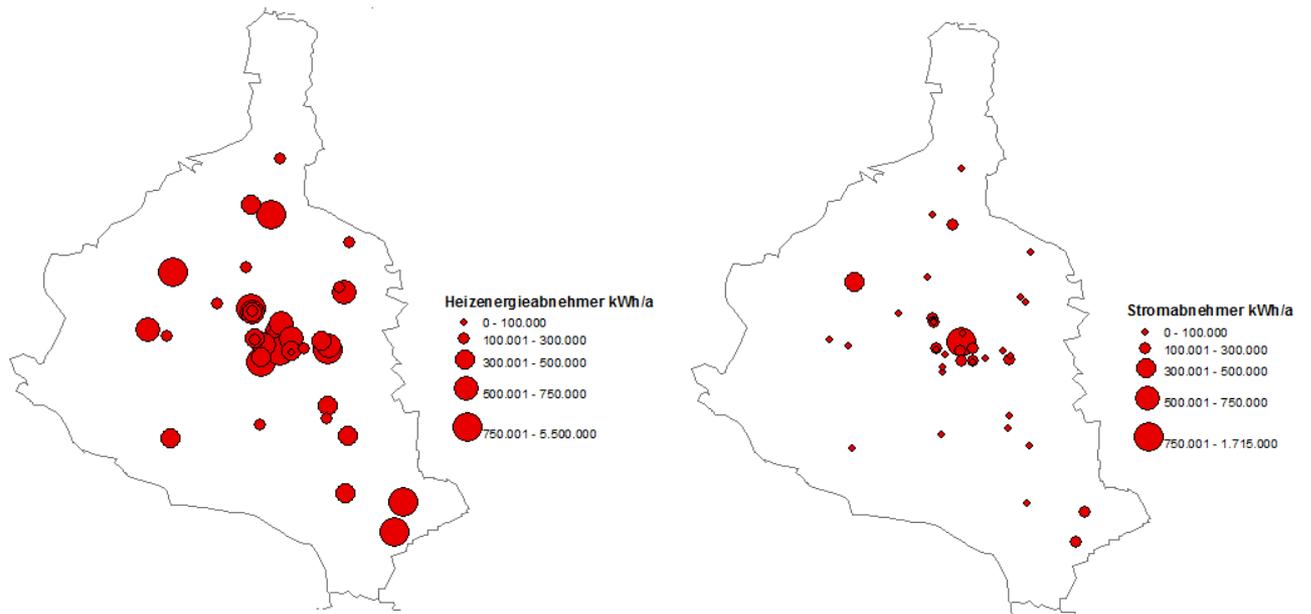


Abbildung 18: Relevante Heizenergie- und Stromabnehmer in Gladbeck

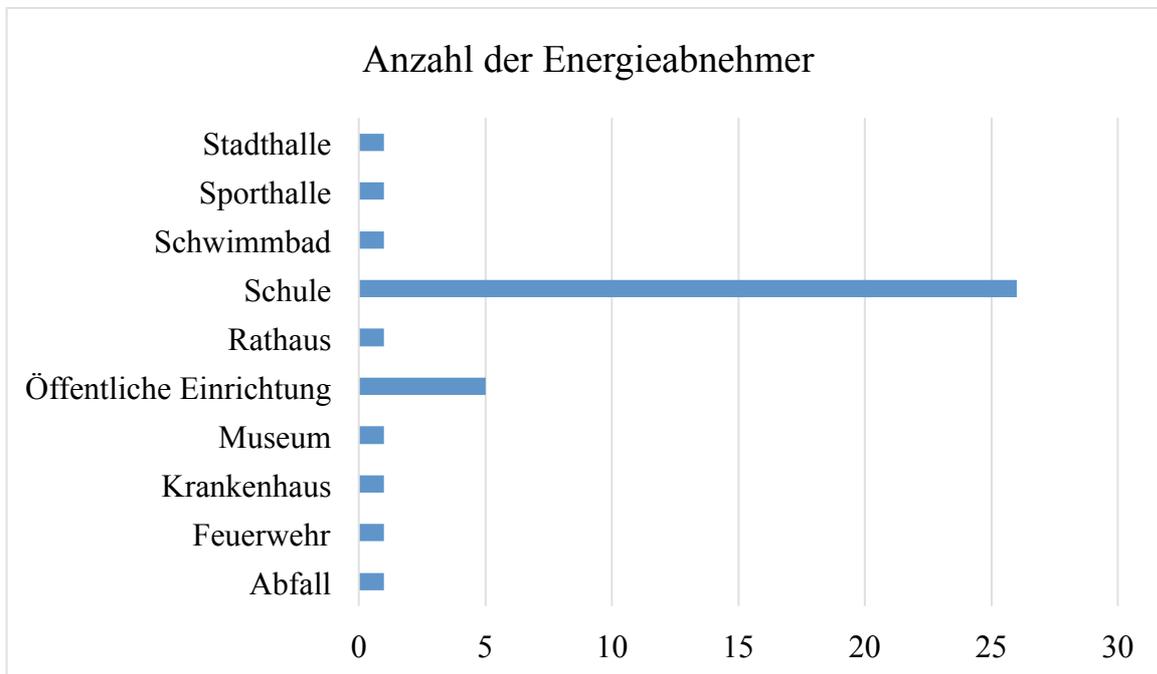


Abbildung 19: Anzahl der betrachteten Energieabnehmer in der Stadt Gladbeck

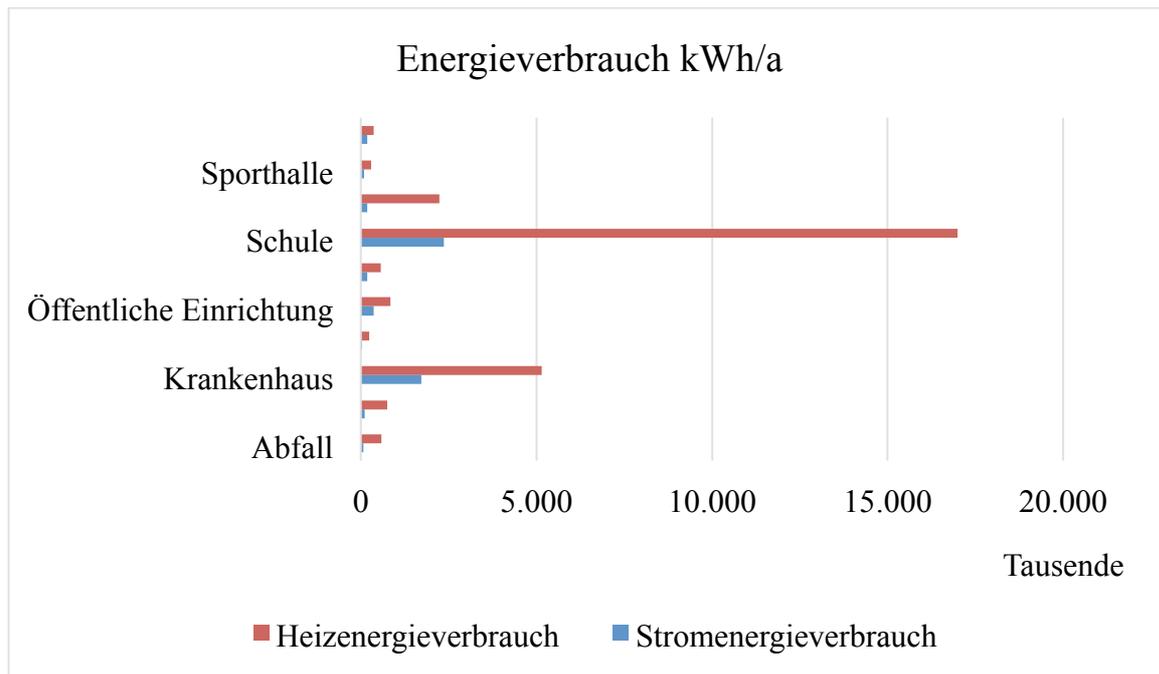


Abbildung 20: Energieverbrauch der relevanten Energieabnehmer in der Stadt Gladbeck

6.2.7 Logistik

Die Verwendung der Energie aus Biomasse benötigt ein breites Spektrum an Prozessen und Tätigkeiten, um ein funktionierendes Netzwerk zu bilden. Dieses Netzwerk, Bioenergie Supply Chain, beinhaltet viele logistische Tätigkeiten. Deshalb wird Logistik als separates Kapitel behandelt.

6.3 Logistik

Biomasse ist weltweit verfügbar, trotzdem ist der richtige Biomassetyp, in der richtigen Menge, zur richtigen Zeit und am richtigen Ort nicht immer verfügbar. In diesem Zusammenhang gewinnen der Transport und die Lagerung von Biomasse an Bedeutung. Die Herausforderung liegt darin, ein funktionierendes Netzwerk inklusive einer gut strukturierten Wertschöpfungskette bereitzustellen, um einen effizienten und nachhaltigen Energiegewinnungsprozess zu gewährleisten [110]. Dieser umfasst sämtliche Prozesse und Tätigkeiten, die zur Nutzbarmachung von Biomasse notwendig sind. Ziel ist es den geforderten und ggf. schwankenden Endenergiebedarf kontinuierlich und zuverlässig zu decken. Die Supply Chain beinhaltet und koordiniert hierbei alle Vorgänge von Sammlung bzw. der Bereitstellung der Biomasse bis hin zur Verfügbarmachung der Energie. Die Angebotsseite ist durch die Biomassevorkommen bzw. -produktion bestimmt. Auf Seiten der Nachfrage sind die erstrebte End- und Nutzenergie ausschlaggebend. Randbedingungen wie Umweltschutzvorgaben und Kapazitätsrestriktionen sind auf jeder Stufe der Supply Chain denkbar [54].

6.3.1 Bereitstellung von holzartigen Biomasse

In den nächsten Kapiteln werden das Holz aus dem Wald, aus der Landschaftspflege und aus den Kurzumtriebsplantagen betrachtet.

6.3.1.1 Holz aus dem Wald

Bei der Durchforstung werden die Bäume regelmäßig gefällt, um Stammholz zu produzieren. Für die Fahrzeuge wird eine einzelne Baumreihe beseitigt, damit die geernteten Biomassen transportiert werden können. Bei der Ernte des Waldholzes kommen drei Ernteprozesse vor [54]:

- *Fällen und Aufarbeiten:* Die Motorsäge wird bei dem Fällen des Waldholzes genutzt. Neben der Motorsäge kommen auch verschiedene Äxte zum Einsatz.
- *Teil- und vollmechanisierte Verfahren:* Die Bäume werden beim teilmechanisierten Verfahren mit Unterstützung einer schleppermontierte, funkgesteuerte Seilwinde gefällt.. Beim vollmechanisierten Verfahren kommt der Harvester zum Einsatz. Mit Hilfe des Harvesters können alle Ernteprozesse ausgeführt werden.
- *Vorliefern und Rücken:* Nachdem das Holz gefällt wird, wird dieser zu den Lagerplätzen transportiert, dieser Prozess wird als Rücken bezeichnet.

Die Tabelle 10 stellt die Leistung von unterschiedliche teil- und vollmechanisierte Verfahren für die Logistikkette(siehe Abbildung 21: Ablaufabschnitte der Logistikkette) dar.

6.3.1.2 Pflegeholz

In den gemeinsamen Bereichen (z.B. Parks, Friedhöfen und Straßenrändern usw.) werden die Bäume wegen Naturschutz ständig geschnitten. Die entstehenden Hölzer werden mit einem Reihenhacker gesammelt und zerkleinert. Diese können in Form von Hackschnitzel zur Energiegewinnung verwendet werden.

Tabelle 10: Leistung unterschiedlicher Verfahren [117]

Beschreibung	BHD 10 cm	BHD 15 cm	BHD 20 cm
Teilmechanisiert – Seilschlepper [Srm/h]	1,8	2,6	3,1
Teilmechanisiert – Rückewagen [Srm/h]	3,9	6,2	7,8
Vollmechanisiert –Harvester [Srm/h]	4,0	7,6	10,3
Vollmechanisiert –Rückewagen [Srm/h]	5,7	9,2	7,9

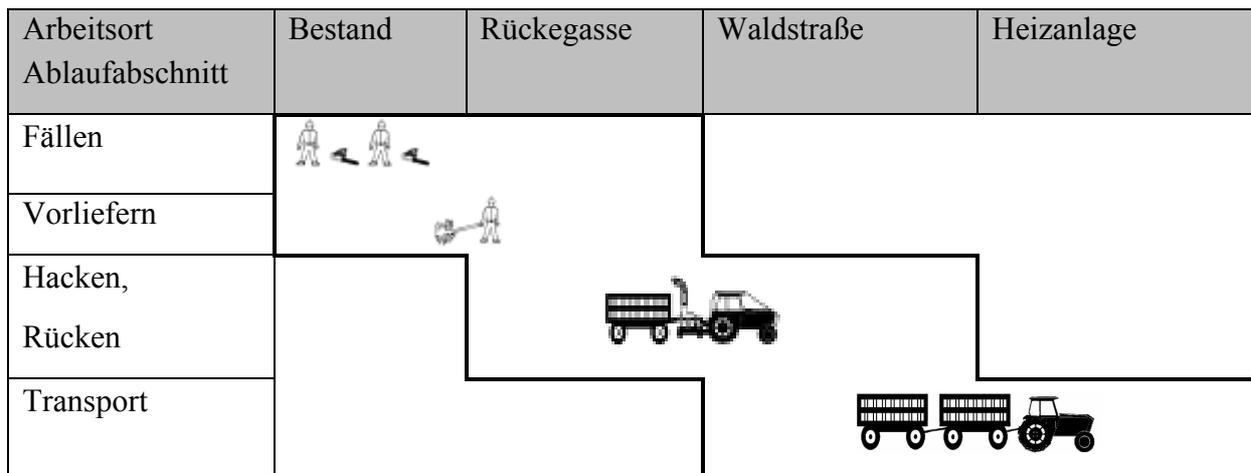


Abbildung 21: Ablaufabschnitte der Logistikkette [117]

6.3.1.3 Holz aus Kurzumtriebsplantagen

Bei der Ernte für Kurzumtriebsplantagen müssen die gleichen Ernteprozesse wie beim Holz aus dem Wald durchgeführt werden. Mögliche zwei Ernteverfahren sind nachfolgend beschrieben:

- **Kontinuierliche Verfahren:** Diese Verfahren bestehen aus drei unterschiedlichen Verfahren. Die Hackschnitzel werden beim *Bunkerverfahren* manuell in einem Behälter gesammelt. Danach werden die gesammelten Hackschnitzel auf die Transportfahrzeuge umgefüllt. Beim *Umhängeverfahren* werden die Anhänger mit Hilfe eines LKWs oder einer Zugmaschine betrieben. Beim *Parallel Ernteverfahren* fahren eine Erntemaschine und ein Transportfahrzeug zusammen. Somit kann die Dauer des Transports reduziert werden.
- **Absätziges Verfahren:** Beim absätzigem Verfahren werden die Baumstämme von den Stöcken getrennt. Diese Transaktion kann durch motormanuelle Verfahren, Fäll-Lege-Maschine oder Fäll-Bündel-Maschinen durchgeführt werden. Beim motormanuellen Verfahren kommt eine Motorsäge zum Einsatz. Somit kann die Arbeit leichter und unbelastet implementiert werden. Fäll-Bündel-Maschinen können selbst fahren, die Bäume fällen und bündeln.

Die Ernteprozesse können mit Hilfe der Mähacker, Feldhäcksler und modifizierter Zuckerrohrernter vereinfacht und vollmechanisiert ausgeführt werden. In der Abbildung 22 sind solche Maschinen dargestellt.

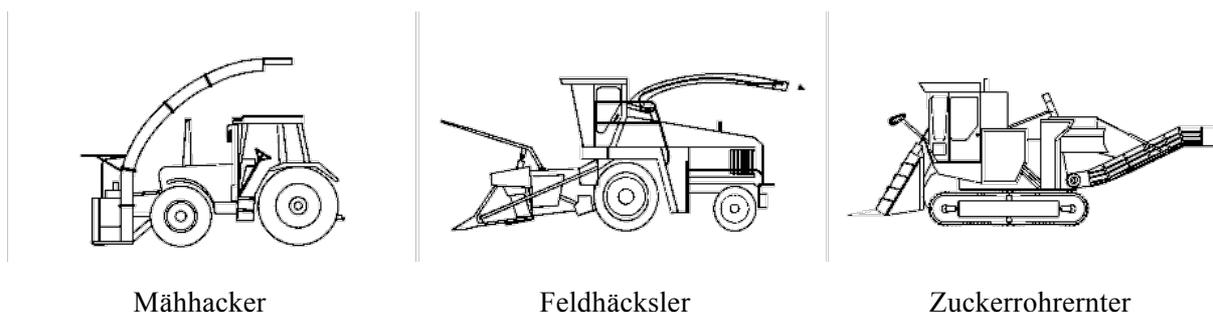


Abbildung 22: Maschinen zur Ernte von Kurzumtriebsplantagen [54]

6.3.2 Bereitstellung von halmgutartiger Biomasse

Die halmgutartigen Biomassen werden in Form von Körner, Ballen, Silage, Häckselgut und Pellets geerntet. Für die Ernte der halmgutartigen Brennstoffe kommen Spezialerntemaschinen zum Einsatz. Mit Hilfe eines Mähdreschers wird das Korn vom Stroh getrennt. Nachdem die geernteten Pflanzen getrocknet wurden, werden sie zu Ballen oder Pellets weiterverarbeitet. Ein Schwadmäher wird eingesetzt, um die Pflanzen zu mähen und auf Schwad zu legen. Der Feldhäcksler zerkleinert die Pflanzen und wird zur Produktion der Häckselgüter verwendet. Für die Ballenernte und Ernte von Miscanthus wird wegen des hohen Wassergehalts die selbstfahrende Pelletiermaschine eingesetzt. In der Abbildung 23 werden die unterschiedlichen Ernteprodukte mit der jeweils dazugehörigen Erntemaschine dargestellt.

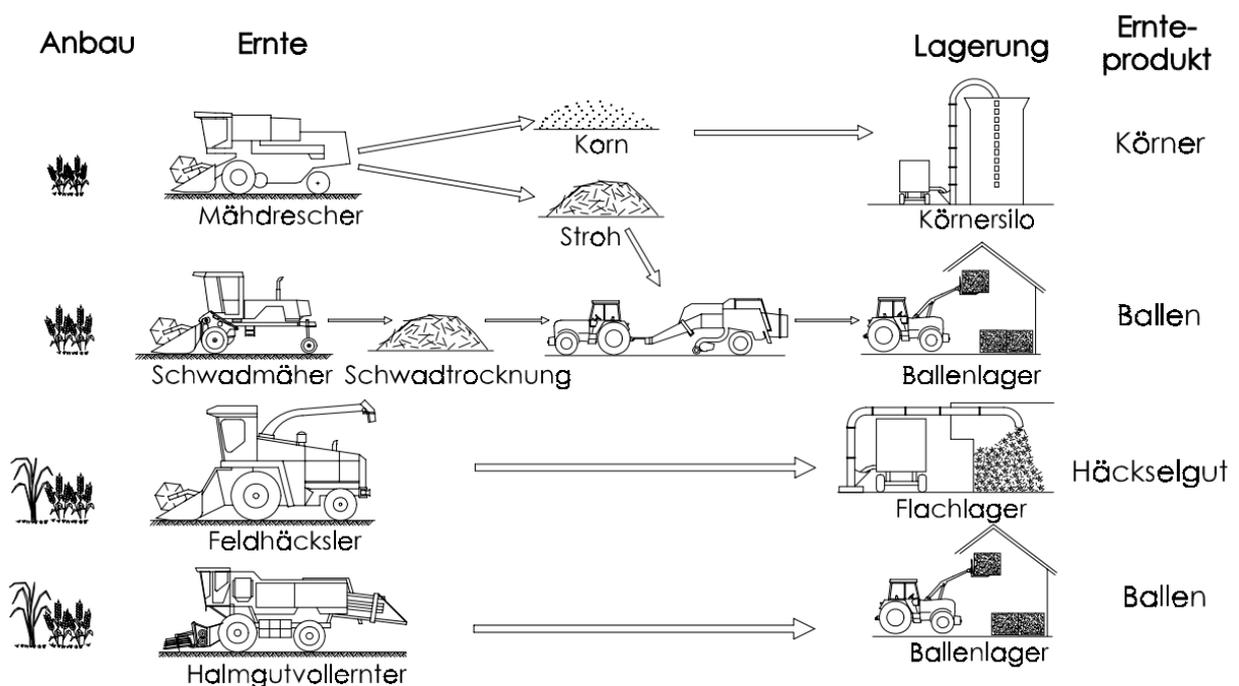


Abbildung 23: Ernteverfahren für halmgutartige Energieträger [48]

6.3.3 Bereitstellung von gewerblichen Bioabfällen

6.3.3.1 Hol- und Bringsystem der Bioabfallsammlung

Das Kreislaufwirtschaftsgesetz differenziert im Bereich der Entsorgungslogistik zwischen Hol- und Bringsystemen [88]. Sie unterscheiden sich vor allem in Hinblick auf den logistischen Aufwand für den Entsorgungsdienstleister. Die Wahl des Systems hängt hauptsächlich von der Anzahl der Quellen und der Menge an Abfällen pro Quelle ab. Sinnvoll sind Bringsysteme immer dann, wenn die Anzahl der Abfallquellen groß ist und an jeder Quelle nur eine geringe Menge Abfall anfällt, sodass der daraus resultierende Aufwand für den Einsatz eines Holsystems in keinem Kosten-Nutzen Verhältnis stehen würde [7].

In reinen Holsystemen werden Sammelpunkte definiert, die vom Entsorgungsfahrzeug angefahren und bedient werden [106]. Die Abfälle werden i.d.R. am Ort des Entstehens

gesammelt und in meist festen Intervallen abgeholt. Der logistische Aufwand liegt also nahezu vollkommen beim Entsorger. Ein Beispiel für ein Holsystem stellt die Sammlung privater Hausmüllabfälle dar.

Im Gegensatz zu Holsystemen ist das Bringsystem auf die Mitwirkung der Endverbraucher am Entsorgungsprozess ausgelegt. Der Abfallproduzent übernimmt den Transport der Abfälle zu fest vorgegebenen Sammelstellen, um diese dort zu entsorgen. Ein logistischer Aufwand entsteht i.d.R. nur, falls mehrere Sammelstellen definiert werden. Es kann jedoch davon ausgegangen werden, dass angesichts der geringeren Bereitschaft der Abfallverursacher zur getrennten Entsorgung auch geringere Rücklaufquoten als bei Holsystemen zu erwarten sind. Eine Kombination von Hol- und Bringsystemen, wie z.B. bei der Altglas Sammlung, kann zwar die Bereitschaft zur Stoffstromtrennung und Entsorgung erhöhen, ein reines Holsystem macht aber i.d.R. eine effizientere Stoffstromnutzung möglich [67]. Überdies werden besonders im gewerblichen Bereich das Abholen der Abfälle und teilweise sogar die Reinigung der Abfallbehälter als Dienstleistung seitens der Kunden gefordert.

Holsysteme können hinsichtlich der Sammelbehälter in System- und systemloser Abfuhr, sowie in Bezug auf den Servicegrad in Vollservice und Teilservice unterteilt werden. Die Systemabfuhr basiert im Unterschied zur systemlosen Abfuhr auf dem Einsatz einheitlicher Behälter und den dazu gehörigen Ladesystemen [63]. Für die Systemabfuhr ist ein Voll- oder Teilservice möglich. Der Vollservicebetrieb besteht aus dem Heraus- und Hineinstellen, sowie dem eigentlichen Entladevorgang des Behälters. Soll die Systemabfuhr nur im Teilservicebetrieb erfolgen, muss der Kunde die Behälter zur Entladung an der Straße bereitstellen und sie danach wieder hereinstellen. Für die Sammlung von gewerblichen Abfällen ist im Hinblick auf die angebotene Dienstleistung grundsätzlich ein Vollservicebetrieb anzustreben. Der Teilservice findet sich eher im Bereich der privaten Abfallsammlung wieder und auch hier bevorzugt in ländlichen oder wenig bebauten Stadtrandgebieten.

6.3.3.2 Behälter zur Sammlung von Bioabfälle

Die Entsorgung von gewerblichen Bioabfällen erfolgt i.d.R. als Systemabfuhr im Vollservicebetrieb. Prinzipiell kommen bei Sammlung von gewerblichen Abfällen Müllgroßbehälter (MGB) der Klassen 80 l bis 1.100 l (siehe Tabelle 11) zum Einsatz [78]. Dabei muss berücksichtigt werden, dass die MGB der Klassen 120 l und 240 l sich sowohl als Umleer- als auch als Wechselbehälter einsetzen lassen. Beim Umleerverfahren werden die Abfälle als Schüttgut in einem großen Sammelcontainer gesammelt. Beim Wechselverfahren findet hingegen ein Behältertausch „Sauber und leer gegen verschmutzt und voll“ statt. Das Wechselverfahren ist für die Abfälle mit hoher Dichte besser geeignet [7] und auch für gewerbliche Bioabfälle, da in einigen Fällen (TierNebV § 4) die Behälter gereinigt und desinfiziert werden müssen.

Tabelle 11: Übliche Größen von Bioabfallbehälter [28; 29; 78]

Klasse	80l	120l	240l	660	1100
Anzahl der Räder	2	2	2	4	4
Breite [mm]	448+5	505 max.	505 max.	665 max.	1.370 max.
Tiefe [mm]	530 max.	555 max.	555 max.	880 max.	785 max.
Höhe [mm]	975 max.	1005 max.	1100 max.	1115 max.	1215 max.
Neninhalt [l]	80	120	140	360	660
Deckelart					

6.3.3.3 Sammelfahrzeuge für die Abfuhr gewerblicher Abfälle

Während bei der privaten Hausmüllsammlung ausschließlich das Umleerverfahren zum Einsatz kommt, wird zur Sammlung gewerblicher Abfälle sowohl das Umleer- und das Wechselverfahren genutzt. Die Wahl des Sammelverfahrens und der entsprechenden Entsorgungsfahrzeuge ist allerdings mit Kompromissen verbunden. Während beim Umleerverfahren die verfügbare Ladekapazität aufgrund des Schüttprinzips optimal genutzt wird, ist die Ausnutzung der theoretisch nutzbaren Ladekapazität beim Wechselverfahren in der Praxis deutlich geringer. Zurückzuführen ist dieser Umstand auf die schlechtere Raumausnutzung durch Freiräume zwischen den MGB während des Transportes. In Bezug auf die Hygiene können durch den Behältertausch beim Wechselverfahren hingegen höhere Standards als beim Umleerverfahren erreicht werden. Für die Fuhrparkplanung ist deshalb neben den Fahrzeugdaten und betriebswirtschaftlichen Kennzahlen, wie z.B. die Ladekapazität oder der Treibstoffverbrauch auch die Frage zu berücksichtigen, welche Serviceleistung mit den eingesetzten Fahrzeugen erreicht werden kann.

Die eingesetzten Fahrzeuge zur Sammlung gewerblicher Abfälle lassen sich in zwei Kategorien einteilen: Unterschieden wird zwischen Fahrzeugen mit Ladesystem und Fahrzeugen ohne Ladesystem. Die Kategorie der Fahrzeuge mit Ladesystemen lässt sich wiederum in zwei Unterkategorien einteilen. Sie besteht aus LKWs mit Kofferaufbauten und Ladebordwand zum Transport von Wechselbehältern, sowie LKWs mit Kippaufbau und Heckladesystemen zur Entleerung von Umleerbehältern. Welche LKW-Variante zur Sammlung der Abfälle gewählt wird, hängt vor allem von der Abfallmenge pro Quelle, den Abfalleigenschaften, und ganz besonders von den hygienischen Ansprüchen der Kunden ab. Diese variieren je nach Branche stark. Seitens der Kunden sind im gastronomischen Bereich und der lebensmittelverarbeitenden Industrie z.B. höhere hygienische Standards gefordert als im Bereich der Sammlung verpackter Supermarktabfälle.

Die LKWs ohne Ladesystem sind in der Regel die am Markt gängigen Transportcontainer. Dazu gehören Containersattelzüge, Absetzkipper oder Abrollkipper. Sie werden zur Bedienung von Betrieben eingesetzt, in denen entweder sporadisch oder in regelmäßigen Intervallen sehr hohe Mengen an Abfällen anfallen. In solchen Betrieben sind meist individuell angepasste Sammelsysteme unmittelbar an die Produktion angeschlossen. Die wesentlichen Komponenten solcher Sammelsysteme bestehen aus einer Fördereinrichtung der Abfälle und einem großen Sammelcontainer. Ist der Sammelcontainer nicht als Wechselcontainer ausgelegt, sondern z.B.

in Form eines Silos fest installiert, muss eine weitere Fördereinrichtung zum Befüllen der Entsorgungsfahrzeuge installiert sein.

Sammelfahrzeugtyp Hecklader

Speziell für die Sammlung von gewerblichen organischen Abfällen entwickelte Heckladesysteme mit Kippaufbau, im Folgenden nur als Hecklader bezeichnet, zeichnen sich aufgrund des Umleerprinzips durch eine effiziente Ausnutzung der vorhandenen Ladekapazität bei gleichzeitiger Gewährleistung hygienischer Mindestanforderungen aus. Für diese Fahrzeugkategorie wird im Folgenden exemplarisch das Einkammer-Heckladesystem (EHS) mit Kippaufbau beschrieben [56]. Der EHS-Aufbau kann individuell nach den Kundenwünschen und dem LKW-Fahrgestell angepasst werden.

Die drei wesentlichen Komponenten des Aufbaus bilden die Ladevorrichtung, der Sammelcontainer und die integrierte Waschanlage zur Reinigung der MGB. Die Ladevorrichtung ist für die Aufnahme von MGB der Volumen 120l, 240l, 660l und 1100l ausgelegt. Für die Aufnahme der MGB verfügt das EHS über eine Kammaufnahme und einen Aufnahmehebel (siehe Abbildung 24).



Abbildung 24: Darstellung eines Aufnahmehebels

Die MGB der Volumen 120l und 240l können nur über die Kammaufnahme eingespannt und entleert werden, wobei allerdings die Möglichkeit besteht, jeweils drei MGB gleichzeitig einzuspannen und zu entleeren. Die MGBs der Volumen 660l und 1100l können je nach Bauart sowohl über den Aufnahmehebel als auch über die Kammaufnahme aufgenommen werden, wobei der Ladevorgang mittels Aufnahmehebel aufgrund der einfacheren und somit schnelleren Bedienung vorzuziehen ist. Die MGB werden mit einer Hebevorrichtung hydraulisch über den Container gehoben, entleert (siehe Abbildung 25), kopfüber arretiert und durch einen Hochdruckstrahler gereinigt. Die dafür installierten Hochdruckreinigungsdüsen auf dem Dach des Edelstahlsammelcontainers sind über ein Leitungssystem mit einer Pumpe und einem Wassertank im Fahrzeug verbunden. Die Reinigungsanlage ist so konzipiert, dass das Schmutzwasser in den Edelstahlsammelcontainer fließen kann. Falls der Deckel des MGB noch

stark verschmutzt ist, kann ihn der Fahrer nach dem Absetzen mit einer Hochdruckwaschlanze von Rückständen befreien.



Abbildung 25: Schüttung der Abfälle in den Sammelcontainer

Die Größe der Sammelcontainer lässt sich individuell anpassen und ist abhängig von dem Verhältnis der beiden Parameter; Gewicht und Volumen der zu sammelnden Abfälle. Ist eine getrennte Erfassung der Abfälle nötig, ist die Unterteilung des Sammelcontainers in einen Mehrkammerbehälter möglich. Die Trennwände garantieren eine hundertprozentige Dichtheit und verhindern ein Vermischen der Medien. Zur Verdichtung und zur Entladung der gesammelten Abfälle kann der Aufbau um ca. 30 Grad nach vorne, sowie um ca. 40 Grad nach hinten geneigt werden. Ein vollständiger Entladeprozess dauert ca. 3 Minuten, wobei das Wiegen vor und nach dem Entladen nicht berücksichtigt ist. Beim Entladen wirkt das Abwasser aus dem Reinigungsprozess zusätzlich als Schmiermittel. Es steht eine Reihe von zusätzlichen Ausstattungsmerkmalen, wie z.B. einem Chipsystem zur Identifikation der MGB, eine Schüttwage für die direkte Erfassung der Abfallmengengewichte oder einem GPS System zu Verfügung. Mit der Installation solcher Hilfsmittel wird die Flexibilität erheblich gesteigert, da die Disponenten einen ständigen Überblick über die Kapazitätsauslastungen haben und somit auch kurzfristig Zuordnungen von Fahrzeugen und Sammelpunkten vornehmen können. Schwachstelle des Systems ist der begrenzte Einsatz der Waschanlage in den Wintermonaten. Um einer Beschädigung der Wasserleitungen vorzubeugen, müssen diese entleert bzw. winterfest gemacht werden.

Das EHS eignet sich aufgrund seines großen Ladevolumens und der Möglichkeit, auch größere MGB aufnehmen zu können, vor allem für die Sammlung größerer Mengen verpackter und unverpackter Lebensmittelabfälle aus Supermärkten oder Discountern. Dort werden die MGB

im Normalfall außerhalb des Betriebes an speziell vorgesehenen Plätzen abgestellt, so dass die Reinigung mit der im EHS-Aufbau integrierten Waschanlage und der Waschanlage in der Regel ausreicht. Die Bedienung von Sammelpunkten mit hohen hygienischen Anforderungen gestaltet sich aber aufgrund der nicht ausreichenden Hygienisierung der MGB als schwierig. Es ist jedoch denkbar, dass durch Maßnahmen wie bspw. der Einsatz Inlays aus Plastik und spezieller Deckeleinsätze die Akzeptanz der EHS in solchen Betrieben wächst. In der Tabelle 12 sind die wichtigsten Daten des EHS aufgeführt.

Tabelle 12: Fahrzeugdaten des Einkammer-Heckladesystems [56]

Beschreibung	Wert
Anschaffungskosten (gesamt):	180.000€
Preis Fahrgestell:	105.000€
Preis Kofferaufbau:	75.000€
Ø Treibstoffverbrauch	35l/100km
Leergewicht	12 Mg
Nutzlast	12 Mg
Max. Ladevolumen	22 m ³
MGB-Aufnahme	Kammaufnahme/ Aufnahmehebel
Ladevorrichtung für MGB-Klasse	120l / 240l / 660l / 1100l
Ø Dauer des Be- und Entladevorgangs eines MGB am Kunde	Ca. 7 min
Dauer der Entladevorgangs in Betriebshof (ohne wiegen)	Ca. 3 min
Dauer der Entladevorgangs in Betriebshof (mit wiegen)	Ca. 10 min

Die Abbildung 26 zeigt schematisch die Prozesse einer Sammeltour mit einem Sammelfahrzeug vom Typ Hecklader auf dem Umleerbehälterprinzip basierend.

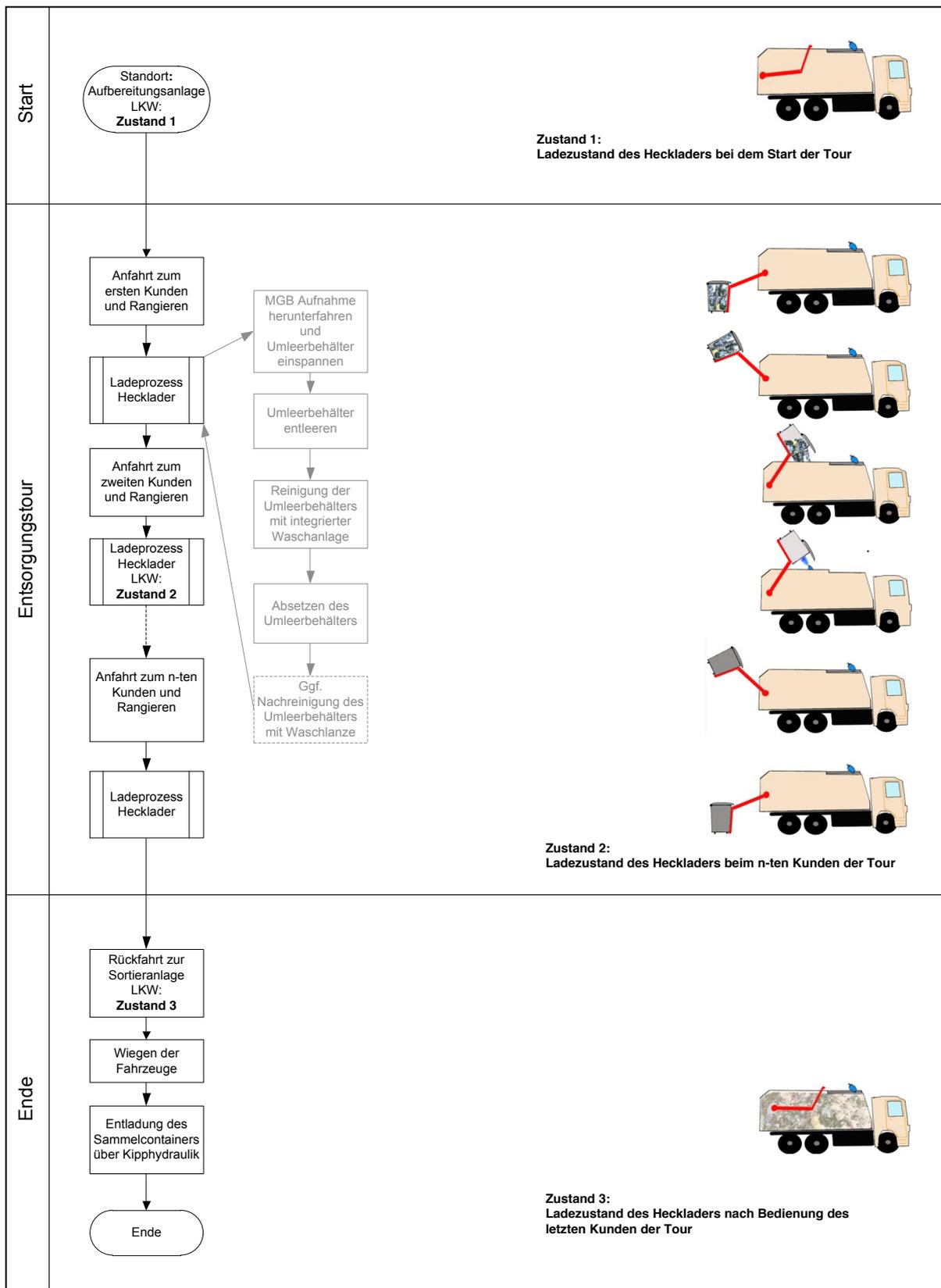


Abbildung 26: Prozessketten einer Sammeltour mit einem Hecklader und Umleerbehältern [56]

Sammelfahrzeugtyp Kofferaufbau

LKWs mit Kofferaufbau, im Folgenden nur als Kofferaufbauten bezeichnet, basieren auf dem Wechselbehälterprinzip, das bedeutet, dass am Sammelpunkt ein Behältertausch stattfindet. Um das zu realisieren, ist ein höherer logistischer Aufwand als bei Heckladern nötig, denn die zu sammelnden vollen MGB müssen durch leere, saubere MGB ersetzt werden. Im zeitlichen Verlauf einer Entsorgungstour befindet sich somit unabhängig vom Zustand (voll oder leer), immer die gleiche Anzahl an MGB im Kofferaufbau. Die Vorteile bei Anwendung des Wechselbehälterprinzips liegen im Bereich der Reinigung und der Hygienisierung. Nach dem Behältertausch vor Ort werden die vollen MGB zur Abfallaufbereitungsanlage transportiert, wo sie entleert und anschließend in einer speziellen MGB-Waschanlage gereinigt werden. Die Maßstäbe der MGB-Hygienisierung sind so angesetzt, dass die sauberen MGB im Bedarfsfall auch unmittelbar an der Produktion oder Verarbeitung von Lebensmitteln aufgestellt werden können. Deshalb kommen die Kofferaufbauten und Wechselbehälter überall dort zum Einsatz, wo hohe hygienische Standards für die MGB gelten.

Ein weiterer Vorteil der Kofferaufbauten ist, dass man kleine Fahrzeuge einsetzen kann. Die Fahrzeuge, die ein zulässiges Gesamtgewicht von 12t haben, bieten zum einen Ersparnis bei den Steuer – und Versicherungsabgaben und zum anderen die Mautbefreiung. Das Be- und Entladen der MGB erfolgt über eine hydraulische Ladebordwand. Da der Ablauf einer Sammeltour komplexer als der eines Heckladers ist, wird nachstehend eine typische Sammeltour mit einem Kofferaufbau detailliert beschrieben.

Start der Entsorgungstour auf dem Betriebsgelände:

Der Kofferaufbau ist mit derjenigen Anzahl leerer und gereinigter MGB beladen, die während der Tour getauscht werden sollen. Die MGB sind zum Start der Tour zweistöckig im Kofferaufbau angeordnet. Die restlichen MGB stehen am Boden des Kofferaufbaus. Durch diese Anordnung ergibt sich in der Mitte eines Kofferaufbaus ein Gang, in dem der Fahrer sich bewegen und die MGB rangieren kann.

Behältertausch am Sammelpunkt:

Nach der Anfahrt zu einem Sammelpunkt prüft der Fahrer vor Ort die Anzahl der zu tauschenden MGB. Volle Behälter werden getauscht, leere verbleiben am Sammelpunkt. Für den Behältertausch entlädt der Fahrer die benötigten MGB über die Laderampe. Nach dem Behältertausch belädt der Fahrer die vollen MGB wieder über die Laderampe und positioniert sie an der frei gewordenen Stellfläche. Im Laufe einer Entsorgungstour werden zuerst die in Fahrtrichtung vorne stehenden/hängenden leeren MGB getauscht. Im Unterschied zu den leeren MGB werden die vollen MGB ausschließlich am Boden angeordnet. Die Sicherung der vollen MGB erfolgt über die drei Außenwände des Kofferaufbaus und einer variablen Klemmstange. Durch das Hängesystem bleibt dem Fahrer ein zeitaufwändiges Rangieren der MGB innerhalb des Kofferaufbaus erspart. Die durchschnittliche Gesamtzeit für einen Behältertausch beträgt 10 Minuten. Sie setzt sich zusammen aus:

- Rangieren der leeren MGB auf die Laderampe
- Herabfahren der Laderampe
- Behältertausch inkl. Dokumentation
- Herauffahren der Laderampe
- Rangieren und Sichern der vollen MGB

Ende der Entsorgungstour und Entladen der MGB:

Nachdem alle Sammelpunkte bedient wurden und nur noch volle MGB im Kofferaufbau vorhanden sind, fährt der LKW zur Abfallaufbereitungsanlage. Vor dem Entladen werden die Kofferaufbauten noch über eine Unterflurwaage gewogen.

Das Abladen erfolgt über die Laderampe, auf der wahlweise zwölf MGB à 120 l, oder 9 MGB à 240l gleichzeitig abgeladen werden können. Damit die Entsorgungstour am nächsten Tag ohne Verzögerung starten kann, werden die Kofferaufbauten nach dem Entladen wieder mit leeren sauberen MGB beladen. Die Gesamtdauer für das Wiegen, Abladen der vollen MGB und Beladen der leeren MGB beträgt ca. 30 Minuten. Die Abbildung 27 stellt nochmals den gesamten Ablauf einer Entsorgungstour schematisch dar. In der Tabelle 13 sind die wichtigsten Daten des Kofferaufbaus aufgeführt

Tabelle 13: Fahrzeugdaten des Kofferaufbaus [56]

Beschreibung	Wert
Anschaffungskosten	60.000€
Ø Treibstoffverbrauch	21l/100km
Leergewicht	6 Mg
Nutzlast	6 Mg
Max. Kapazität MGB 120l	60 Stück
Max. Kapazität MGB 240l	40 Stück
Ø MGB – Belegung eines Kofferaufbaus	2/3 à 120l und 1/3 á 240l
MGB Be- und Entladung	Hydraulische Laderampe
Ø Dauer eines Be- und Entladevorgangs am Sammelpunkt	10 min
Ø Anzahl von Sammelpunkten/Tag	40
Dauer der gesamten Be- und Entladung in der Aufbereitungsanlage	30 min

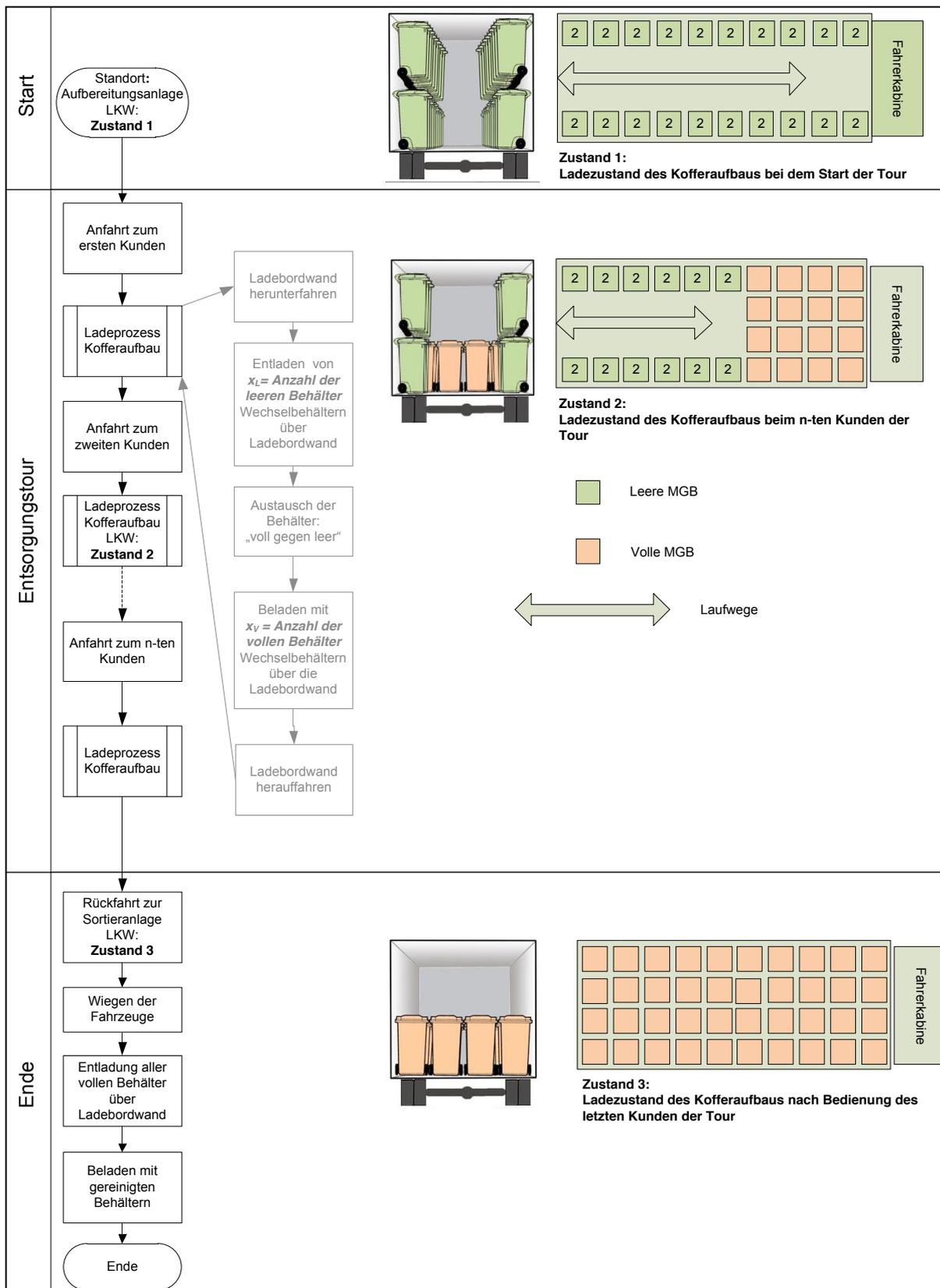


Abbildung 27: Prozessketten einer Sammeltour mit einem Kofferaufbau und Wechselbehältern [56]

6.3.4 Bereitstellung von Bioabfällen aus Haushalt

Zur Bereitstellung der Bioabfälle aus Haushalt können sowohl Bringsysteme als auch Holsysteme geeignet sein. Grünabfälle können zu den Betriebshöfen gebracht und die Küchenabfälle in Biotonnen zwei wöchentlich (bzw. in der Sommerzeit wöchentlich) gesammelt werden [22]. [14]. Nach den Angaben von BMU stehen ca. 44 Millionen Bürgern keine Biotonne zur Verfügung [42]. Bei der Sammlung von Bioabfällen aus Haushalt kommen in der Regel MGB der Klassen 80 l bis 240 l bei einem 14 tägigen Intervall zum Einsatz. Die Tabelle 14 stellt die Gebühren nach MGB-Klassen in den kreisfreien Städten des Ruhrgebietes dar. Die Stadt Hagen bietet zurzeit keine Biotonne an.

Tabelle 14: Jährliche Biotonnengebühren in den kreisfreien Städten des Ruhrgebietes in 2014 in €

Stadt\Volumen	30 l	40 l	60 l	80 l	120 l	240 l	660l
Bochum [105]	54	72,1	108,1	144,2	216,3	432,7	-
Bottrop [11; 12]	-	-	-	-	34,7	34,7	-
Dortmund [32]	-	-	-	76,14	102,90	183,16	-
Duisburg [115]	-	-	-	74	98	166	-
Essen [36]	-	-	-	36	54	108	-
Gelsenkirchen [46]	-	-	-	-	ca. 40	-	-
Hagen [50]	-	-	-	-	-	-	-
Hamm [96]	-	-	-	-	62,48	124,96	-
Herne [97]	-	-	-	31,61	47,42	94,84	260,81
Mülheim an der Ruhr [98]	-	-	-	59,14	78,26	128,66	-
Oberhausen [99]	-	-	-	97,35	146,02	292,04	-

Die Auswahl des optimalen Fahrzeugsystems hängt im Wesentlichen von den örtlichen Randbedingungen ab. Zum Einsatz können Seitenlader, Frontlader, Hecklader sowie Einkammer- und Mehrkammer-Systeme kommen [64].

6.3.5 Transportkosten

Um die Transportkosten zu berechnen, müssen zeit- sowie leistungsabhängige Kostensätze ermittelt werden. Für die Ermittlung der Kostensätze werden neben dem Anschaffungswert des Fahrzeuges die Kosten für Einbauten und Zubehör benötigt. Voraussichtliche Nutzungsdauer, Jahres- und Tageseinsatzzeit, Fahrzeugkapazität, jährliche Steuerabgaben, Versicherungskosten, Wartungs- und Reparaturkosten, Fahrerkosten, Treibstoffverbrauch, aktueller Treibstoffpreis, Schmierstoffpreis, Stückpreise von Reifen sowie die Leistung und die Anzahl benötigt. Da die Fahrzeuge in kommunalen Bereich auch andere Aufgaben haben, wurden hier die zeitabhängigen Kosten nicht fix sondern variabel betrachtet [116]. Die zeitabhängigen Kosten bestehen aus Versicherungskosten, Steuerabgaben, Reparaturabgaben, Abschreibungen, Stundenlohn der Fahrer, Personalfaktor und Sozialaufwendungen. Die leistungsabhängigen

Transportkosten setzen sich aus Treibstoff-, Schmierstoff- und Reifenkosten zusammen. Die Tabelle 15 Tabelle 12 stellt die Kostenstrukturen dar.

Tabelle 15: Zeit- und leistungsabhängige Transportkostensätze [56]

Basisdaten	Zeitabhängige Transportkosten
Nutzungsdauer des Fahrzeuges	Versicherungskosten
Anschaffungskosten des Fahrzeuges	Steuerabgaben
Kapazität des Fahrzeuges	Reparaturkosten
Steuerabgaben pro Jahr	Abschreibungen
Versicherungskosten	Stundenlohn
Wartungs- und Reparaturkosten	Personalfaktor
Bruttolohn des Fahrers	Sozialaufwendungen
Treibstoffverbrauch des Fahrzeuges	Leistungsabhängige Transportkosten
Treibstoffpreis pro Liter	Treibstoffkosten
Schmierstoffpreis	Schmierstoffkosten
Reifenstückpreis	Reifenkosten
Reifenleistung in km	
Reifenanzahl	
Jahreseinsatzzeit	
Tageeseinsatzzeit	

6.3.6 Logistikszenerien

Für den Erfolg einer Bioenergieanlage müssen die Transportkosten so gering wie möglich sein. . Deshalb sind die Auswahl des richtigen Standorts der Anlage und ein geeignetes Transportsystem unabdingbar. Mit Hilfe von Szenarien können verschiedene Alternativen untersucht werden. In der Abbildung 28 wurden die Schritte dargestellt, die zur Erstellen der Szenarien notwendig sind.

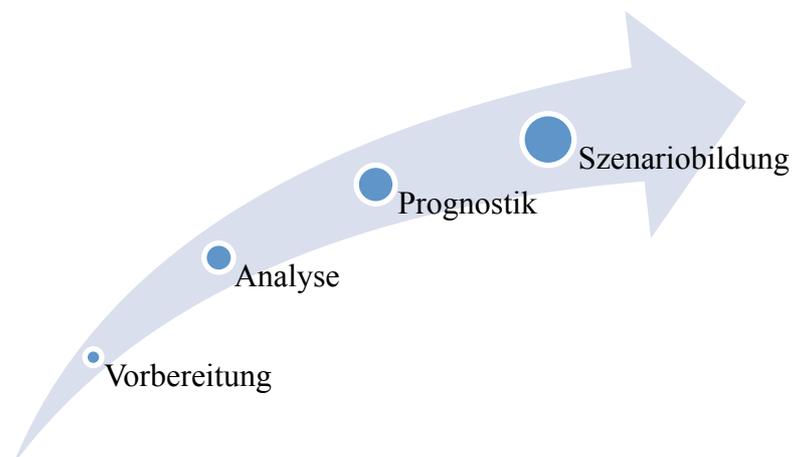


Abbildung 28: Prozessschritte zum Erstellen der Szenarien [43]

Folgende logistische Szenarien wurden gebildet:

- Einstufiger Transport
- Zweistufiger Transport (mit Umschlag)
- Containertransport
- Standortbestimmung
- Zuordnung der Rohstoffe am nächsten bestehenden Standort

6.3.6.1 Einstufiger Transport

Beim einstufigen Transport kommen nur die Sammelfahrzeuge zum Einsatz. Der Transport zu einer Anlage erfolgt direkt nach der Sammlung von Biomasse. Dieses Konzept ist für die dezentrale Anlagen besser geeignet, da der Umschlag mehr kostet als der Transport. In diesem Konzept fahren die Fahrzeuge von der Anlage zum Sammelgebiet hin und nach der Sammlung wieder zurück zur Anlage.

6.3.6.2 Zweistufiger Transport

Bei dem zweistufigen Transport bringen Sammelfahrzeuge die Biomasse zu einer Umschlagstation von wo aus der weitere Transport mit großvolumigen LKWs zu einer Bioenergieanlage stattfindet. Dieses Konzept ist besser geeignet für zentrale Anlagen, da die kleinvolumigen Sammelfahrzeuge in längeren Distanzen nicht wirtschaftlich sind und eventuell auch eine mehrköpfige Besatzung mitfahren muss.

6.3.6.3 Containertransport

Bei dem Containertransport-Konzept wird ein Wechselcontainer an einem geeigneten Platz im Sammelgebiet gestellt und in bestimmten Intervallen oder nachdem der Container voll ist zu einer Bioenergieanlage gebracht. Der Nachteil dieses Konzepts ist die Notwendigkeit von Containerstellplätzen.

6.3.6.4 Standortbestimmung

Neben dem Transportkonzept hat der Standort der Bioenergieanlage einen Einfluss auf die Transportkosten. Durch die Dezentralisierung der Bioenergieanlagen können Transportkosten und auch transportbedingte Emissionen reduziert werden. Im Vergleich zu dezentralen Anlagen weisen die zentralen hohe Transportkosten auf aber haben geringere Investitionskosten und damit niedrigere Stromerzeugungskosten. In einigen Fällen ist die verfügbare Biomasse in kleinen Kommunen so gering, dass ein interkommunaler Kooperationsbedarf besteht. Mit Hilfe unterschiedlicher Szenarien können zentrale und dezentrale Anlagen untersucht werden.

6.3.6.5 Zuordnung der Rohstoffe zum nächsten bestehenden Standort

Die Bioenergieanlagen, die bereits existieren und verfügbare Kapazität haben, können in eine Bioenergie Supply Chain integriert werden. Insbesondere Kläranlagen haben meistens zusätzliche freie Kapazitäten. Wenn man zudem die technologische Entwicklung und den demografische Wandel berücksichtigt, werden Kläranlagen zukünftig noch mehr freie Kapazität

haben und können die Biomassen von benachbarten Kommunen für die Energieerzeugung nutzen.

6.4 Entscheidungsunterstützungssystem bei der Verwertung von städtischen Biomassen

6.4.1 Grundlagen von Entscheidungsunterstützungssystemen

Die Wahl einer von zwei oder mehreren Handlungsalternativen wird allgemein als Entscheidung verstanden. Mit Hilfe von Entscheidungen kann ein Entscheidungsträger sein Ziel besser realisieren. Ein Entscheidungsträger analysiert mit vorhandenen, notwendigen Wertprämissen zur zielorientierten Informationsgewinnung, für den Prozess der entscheidungslogischen Informationsverarbeitung. Die entscheidungstheoretischen Untersuchungen unterscheiden sich in zwei Hauptrichtungen. Die deskriptive Entscheidungstheorie versucht den Prozess zur Entscheidungsfindung in der Wirklichkeit zu untersuchen [86]. Die präskriptive Entscheidungstheorie kann als Entscheidungslogik oder normative Entscheidungstheorie bezeichnet werden. Im Gegensatz zur deskriptiven Entscheidungstheorie versucht die präskriptive Entscheidungstheorie formale Regeln zu entwickeln, damit der Entscheidungsträger bei gegebenen Handlungsmöglichkeiten, Umweltbedingungen und Zielkriterien optimale Alternativen erreichen kann [9]. Diese wird beim Entwurf eines rechnergestützten Entscheidungsunterstützungssystems angewandt. Ein rechnergestütztes Entscheidungsunterstützungssystem ist in der englischsprachigen Literatur als „Decision Support System“ zu finden und ist ein Werkzeug, welches mit Daten, mathematischen Methoden sowie Simulations- und Optimierungsmodellen die Entscheidungsträger unterstützt. Es wählt die beste Möglichkeit aus vielen Alternativen und hilft dem Entscheidungsträger, eine bessere Entscheidung zu treffen, um komplexe Probleme besser zu lösen [27]. Das heißt, dass das Entscheidungsunterstützungssystem selbst keine Entscheidung darstellt, sondern technische Hilfe liefert, relevante Informationen identifiziert und Auswirkungen von unterschiedlichen Alternativen erkennt.

6.4.1.1 Komponenten von Entscheidungsunterstützungssystemen

Ein Entscheidungsunterstützungssystem muss notwendigerweise mindestens aus Daten-, Modell- und Dialogkomponenten bestehen. Aufgrund der Vielzahl von Anwendungen ist es schwierig, eine allgemeine Aussage zur Struktur geben zu können. Neben den drei Hauptkomponenten stellt das wissensbasierte System eine weitere notwendige Komponente dar. Die folgenden vier Module werden unterschieden [53]:

- **Datenmanagementmodul:** Das Datenmanagementmodul umfasst eine Datenbank, die relevante Daten für bestimmte Situationen enthält. Diese Datenbank wird durch ein Database Management System verwaltet.
- **Modellmanagementmodul:** Das Modellmanagementmodul enthält neben den Finanz-, Statistik-, Management Science oder anderen quantitativen Modellen auch

kundenspezifische Modelle und wird oft als ein Model Base Management System bezeichnet.

- Grafische Benutzeroberfläche (GUI): Der Benutzer kommuniziert mit diesem System durch dieses Modul. Ein Entscheidungsunterstützungssystem wird durch dieses Subsystem gesteuert.
- Wissensbasiertes Managementmodul. Dieses Modul kann verschiedene Teilsysteme unterstützen, kann aber auch als eigenständige Komponente gehandelt werden. Es bietet eine eigene Intelligenz, um die Entscheidungsträger zu unterstützen.

6.4.1.2 Anwendungsgebiete von Entscheidungsunterstützungssystemen

Entscheidungsunterstützungssysteme werden normalerweise entwickelt, um bei der Lösung eines bestimmten Problems zu unterstützen oder um Bewertungen zu ermöglichen. und gelten als Ansatz zur Unterstützung bei der Entscheidungsfindung. Sie verwenden interaktive, flexible und rechnerbasierte Systeme und sind speziell zur Unterstützung bei der Lösungsfindung spezifischer, nicht strukturierter Managementprobleme entwickelt [102].

Entscheidungsunterstützungssysteme können in den unterschiedlichsten Gebieten wie umweltpolitischer Entscheidungsfindung, Beurteilung von Wasserressourcen, Landwirtschaft, Forstwirtschaft, Fertigung, Medizin, Wirtschaft, organisatorische Unterstützung und Infrastruktur zur Anwendung kommen. Die Entscheidungsunterstützungssysteme können Entwicklern und Entscheidungsträgern umfangreiche Informationen zu spezifischen Bereichen liefern [59].

Vor der Entwicklung eines Entscheidungsunterstützungssystems muss der Designer die Anwendungsbereiche, die Funktionalität, die technische Komplexität, die Implementierung von Hard- und Software und die Struktur in Betracht ziehen sowie alle Beteiligten in der Entwicklung mit einbeziehen. Weiterhin muss überlegt werden, auf welchen Ebenen die Funktionen von Entscheidungsunterstützungssystem gegeben werden. Diese Systeme können speziell für eine Anwendung, Generika zu einem Anwendungsgebiet oder allgemein für alle möglichen Anwendungen eingesetzt werden [71].

6.4.2 Bioenergie Supply Chain Designer

Im Rahmen des Projektes wurde das Tool Bioenergie Supply Chain Designer (BSCD) entwickelt, um Entscheidungsprozesse bei der Verwertung von städtischen Biomassen zu unterstützen. Das Tool ermöglicht Modellierung von praktischen Szenarien und dient zur Planung von Supply-Chain-Netzen für die Bioenergieproduktion und unter anderem zur:

- Simulation von ein- und zweistufigen Transporten
- Standortbestimmung von Bioenergieanlagen
- Ermittlung von Biomassetransportkosten

Das Tool verfügt über eine Benutzerschnittstelle, ein Daten-Management-Modul, Standortplanungs-Modul und ein Meta-Daten-Modul.

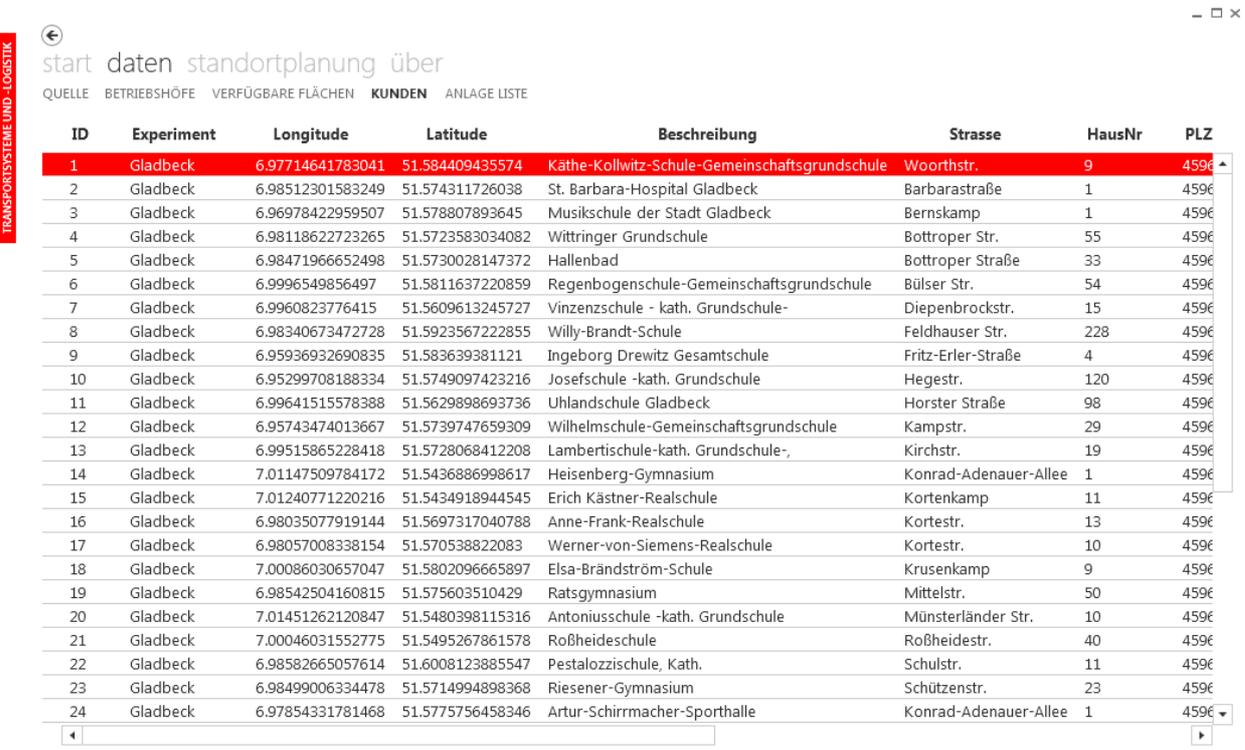
6.4.3 Benutzerschnittstelle

Die Benutzerschnittstelle ermöglicht die Daten und die Methoden im Standortplanungs-Modul zu nutzen sowie den Report zu erlangen.

6.4.4 Daten-Management-Modul

Das Daten-Management-Modul dient der Darstellung der gespeicherten Informationen von allen Elementen in der Datenbank und beinhaltet Informationen über:

- Quellen
- Betriebshöfe
- Verfügbare Flächen
- Kunden
- Anlagenliste



ID	Experiment	Longitude	Latitude	Beschreibung	Strasse	HausNr	PLZ
1	Gladbeck	6.97714641783041	51.584409435574	Käthe-Kollwitz-Schule-Gemeinschaftsgrundschule	Woorthstr.	9	4596
2	Gladbeck	6.98512301583249	51.574311726038	St. Barbara-Hospital Gladbeck	Barbarastraße	1	4596
3	Gladbeck	6.96978422959507	51.578807893645	Musikschule der Stadt Gladbeck	Bernskamp	1	4596
4	Gladbeck	6.98118622723265	51.5723583034082	Wittringer Grundschule	Bottroper Str.	55	4596
5	Gladbeck	6.98471966652498	51.5730028147372	Hallenbad	Bottroper Straße	33	4596
6	Gladbeck	6.9996549856497	51.5811637220859	Regenbogenschule-Gemeinschaftsgrundschule	Bülser Str.	54	4596
7	Gladbeck	6.9960823776415	51.5609613245727	Vinzenzschule - kath. Grundschule-	Diepenbrockstr.	15	4596
8	Gladbeck	6.98340673472728	51.5923567222855	Willy-Brandt-Schule	Feldhauser Str.	228	4596
9	Gladbeck	6.95936932690835	51.583639381121	Ingeborg Drewitz Gesamtschule	Fritz-Erler-Straße	4	4596
10	Gladbeck	6.95299708188334	51.5749097423216	Josefschule -kath. Grundschule	Hegestr.	120	4596
11	Gladbeck	6.99641515578388	51.5629898693736	Uhlandschule Gladbeck	Horster Straße	98	4596
12	Gladbeck	6.95743474013667	51.5739747659309	Wilhelmshule-Gemeinschaftsgrundschule	Kampstr.	29	4596
13	Gladbeck	6.99515865228418	51.5728068412208	Lambertischule-kath. Grundschule-	Kirchstr.	19	4596
14	Gladbeck	7.01147509784172	51.5436886998617	Heisenberg-Gymnasium	Konrad-Adenauer-Allee	1	4596
15	Gladbeck	7.01240771220216	51.5434918944545	Erich Kästner-Realschule	Kortenkamp	11	4596
16	Gladbeck	6.98035077919144	51.5697317040788	Anne-Frank-Realschule	Kortestr.	13	4596
17	Gladbeck	6.98057008338154	51.570538822083	Werner-von-Siemens-Realschule	Kortestr.	10	4596
18	Gladbeck	7.00086030657047	51.5802096665897	Elsa-Brändström-Schule	Krusenkamp	9	4596
19	Gladbeck	6.98542504160815	51.575603510429	Ratsgymnasium	Mittelstr.	50	4596
20	Gladbeck	7.01451262120847	51.5480398115316	Antoniuschule -kath. Grundschule	Münsterländer Str.	10	4596
21	Gladbeck	7.00046031552775	51.5495267861578	Roßheideschule	Roßheidestr.	40	4596
22	Gladbeck	6.98582665057614	51.6008123885547	Pestalozzschule, Kath.	Schulstr.	11	4596
23	Gladbeck	6.98499006334478	51.5714994898368	Riesener-Gymnasium	Schützenstr.	23	4596
24	Gladbeck	6.97854331781468	51.5775756458346	Artur-Schirrmacher-Sporthalle	Konrad-Adenauer-Allee	1	4596

Abbildung 29: Daten-Management-Modul

Die Quelleinformationen beinhalten Biomassetyp, Standortinformationen und verfügbare Biomasse. Um Berechnungen für zweistufige Transport-Szenarien durchzuführen, werden Informationen über Umschlagstationen benötigt. In dem Datenbankmodul sind die Informationen unter Betriebshöfe zu finden und beinhalten Standortinformationen. Für eine neue Anlage geeignete Flächen werden unter verfügbare Flächen gespeichert und beinhalten im Wesentlichen Informationen über Standort und Energienetzanschlüsse. Weitere wesentliche Informationen sind wichtig Energieabnehmerinformationen und vordefinierte Anlagen zur Hilfe für die Wirtschaftlichkeitsanalyse.

6.4.5 Standortplanungsmodul

Das Standortplanungsmodul ist die zentrale Einheit, mit der der Anwender arbeitet, Experimente bildet und auswertet. Es besteht aus dem Experimentbildungs- und Transportkostenrechnerfenster, der Karte für die Darstellung von Daten sowie dem Ergebnis-, Wirtschaftlichkeitsanalyse- und Auswertungsfenster (siehe Abbildung 30).

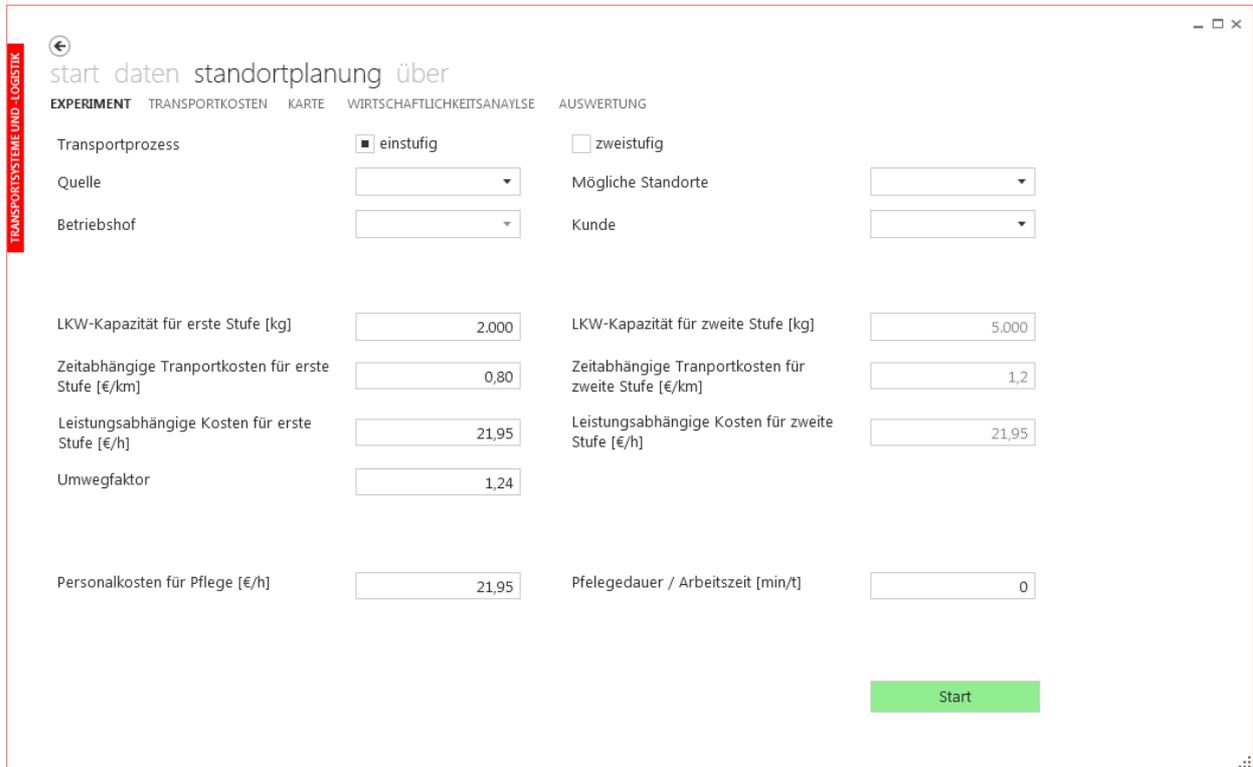


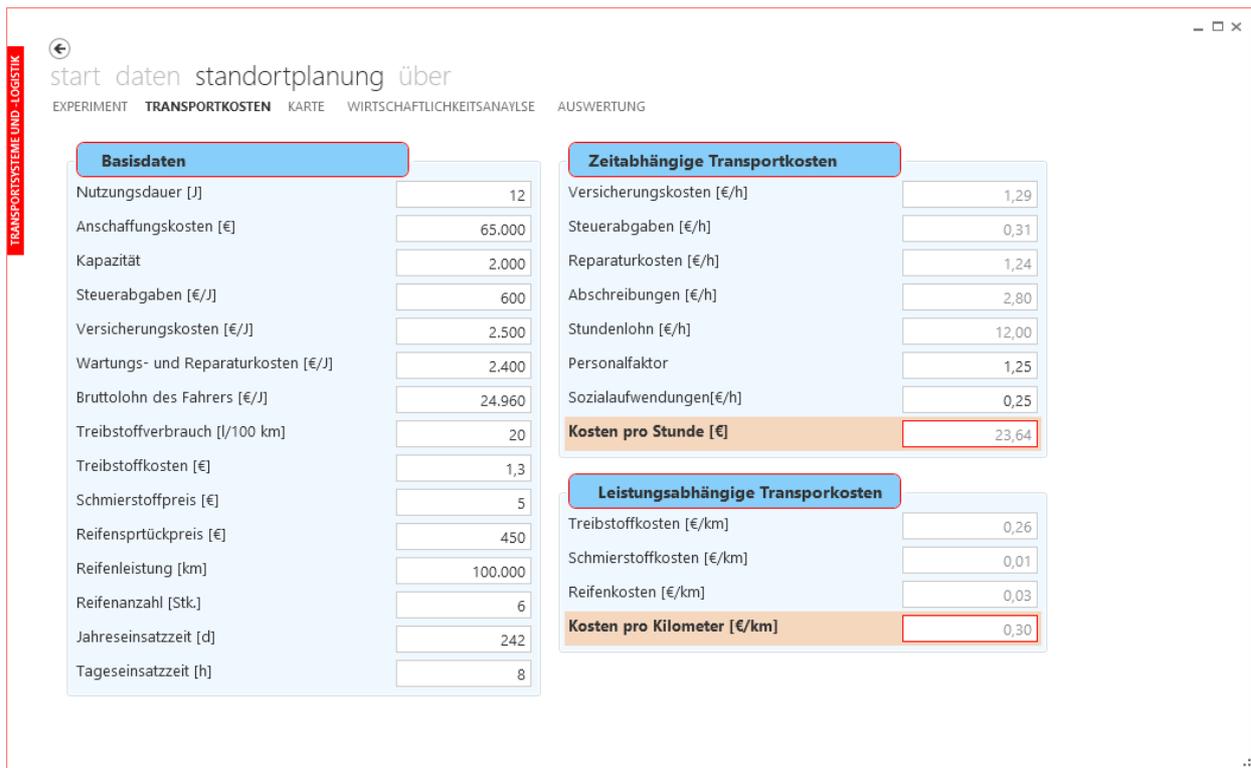
Abbildung 30: Experimentbildungsfenster

6.4.5.1 Experiment

In dem Experimentbildungsfenster, werden Experimente definiert (siehe Abbildung 30). Die Experimentbildung erfolgt durch die Auswahl von Daten, dem Transportkonzept sowie der Eingabe der LKW-Kapazität, der zeit- und leistungsabhängigen Transportkosten und der Personalkosten für Pflege. Durch das Klicken des Startbutton wird das Experiment ausgeführt.

6.4.5.2 Transportkosten

Das Transportkostenberechnungsfenster liefert für die Experimente die zeit- und leistungsabhängigen Transportkosten. Daher ist es wichtig die Basisdaten zu pflegen. Die Vorgehensweise wurde in dem Abschnitt 6.3.5 detailliert erläutert. Die Abbildung 31 veranschaulicht die Eingabemaske des Transportkostenberechnungsfensters.



Basisdaten	
Nutzungsdauer [J]	12
Anschaffungskosten [€]	65.000
Kapazität	2.000
Steuerabgaben [€/J]	600
Versicherungskosten [€/J]	2.500
Wartungs- und Reparaturkosten [€/J]	2.400
Bruttolohn des Fahrers [€/J]	24.960
Treibstoffverbrauch [l/100 km]	20
Treibstoffkosten [€]	1,3
Schmierstoffpreis [€]	5
Reifensprückpreis [€]	450
Reifenleistung [km]	100.000
Reifenanzahl [Stk.]	6
Jahreseinsatzzeit [d]	242
Tageseinsatzzeit [h]	8

Zeitabhängige Transportkosten	
Versicherungskosten [€/h]	1,29
Steuerabgaben [€/h]	0,31
Reparaturkosten [€/h]	1,24
Abschreibungen [€/h]	2,80
Stundenlohn [€/h]	12,00
Personalfaktor	1,25
Sozialaufwendungen [€/h]	0,25
Kosten pro Stunde [€]	23,64

Leistungsabhängige Transportkosten	
Treibstoffkosten [€/km]	0,26
Schmierstoffkosten [€/km]	0,01
Reifenkosten [€/km]	0,03
Kosten pro Kilometer [€/km]	0,30

Abbildung 31: Transportkostenrechner

6.4.5.3 Karte

In dem Kartenfenster lassen sich Quellen, Betriebshöfen, mögliche Flächen, Kunden sowie Quelle-Anlage-Zuordnung darstellen (siehe Abbildung 32). Die grünen Kreise stellen die Quellenstandorte, die orangenen die Betriebshöfe, die roten mögliche freie Flächen und die gelben die Kundenstandorte dar. Die blauen Linien stellen im einstufigen Transport die Quelle-Anlage-Zuordnung, im zweistufigen Transport die Quelle-Betriebshof-Zuordnung dar. Bei dem zweistufigen Transport wird die Betriebshof-Anlage-Zuordnung mit einer grünen Linie dargestellt.

6.4.5.4 Wirtschaftlichkeitsanalyse

In diesem Fenster kann ein Experiment ökonomisch analysiert werden. Durch die Auswahl aus der Anlageliste lassen sich die Basistaten von der Datenbank abrufen womit eine passende Anlage ausgewählt werden kann (siehe Abbildung 33). Darüber hinaus können die Anlagekosten angepasst werden.

6.4.5.5 Analyse

Das Analysefenster dient der Visualisierung der Kennzahlen wie Transportmenge pro Monat oder Tourenlänge pro Monat (siehe Abbildung 34).

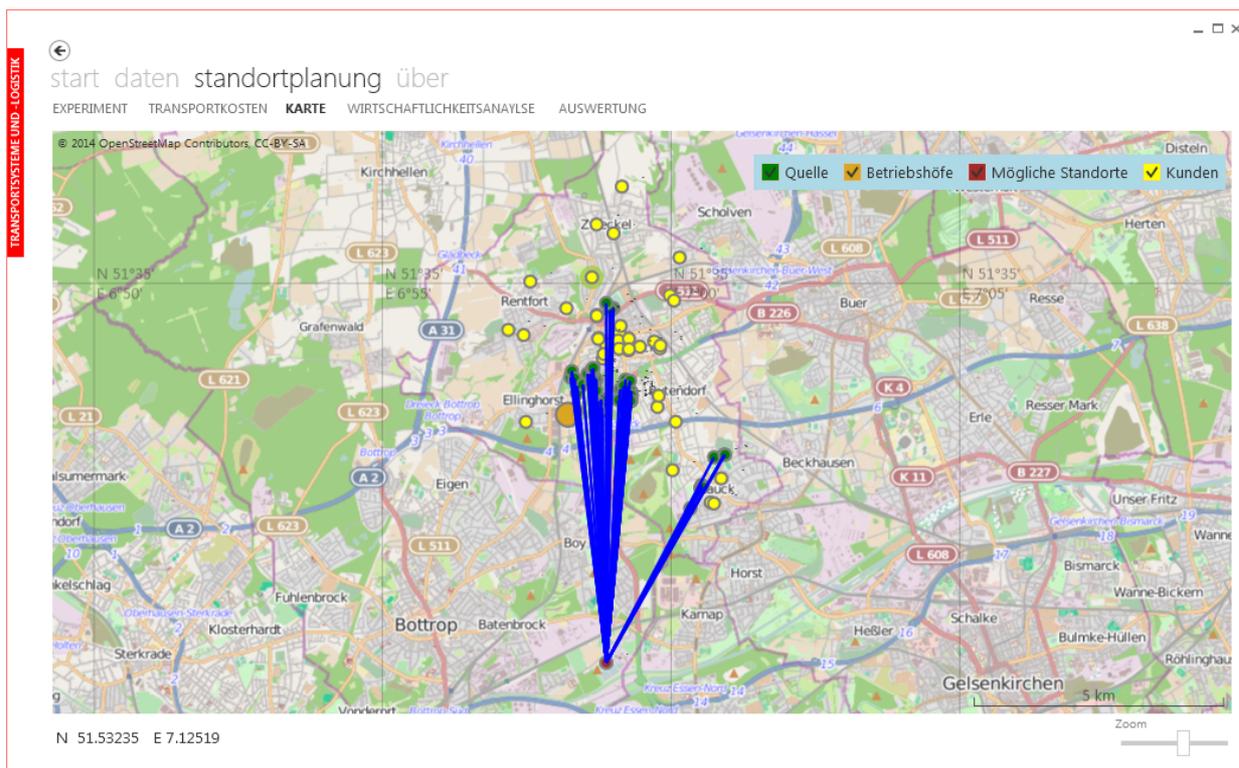


Abbildung 32: Kartenfenster

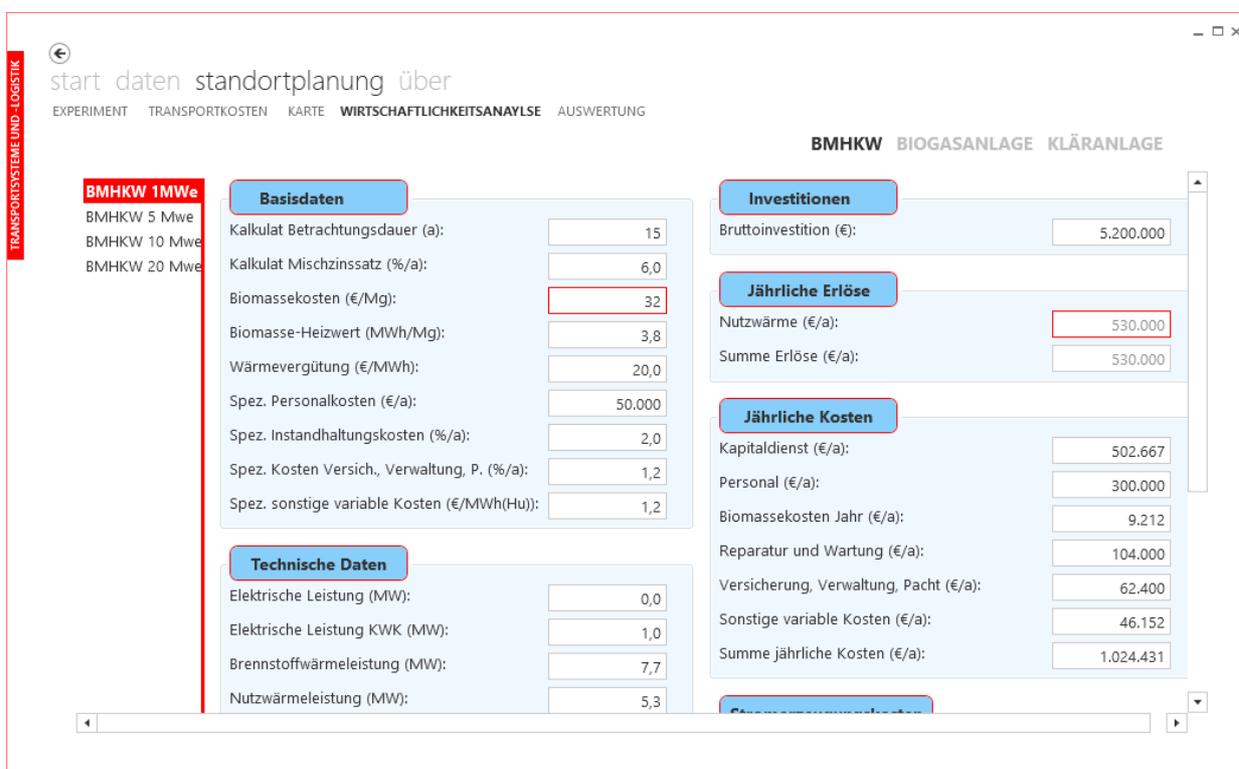


Abbildung 33: Wirtschaftlichkeitsanalysefenster

6.4.6 Meta-Daten und Benutzerhandbuch

Dieses Modul enthält Informationen über das Projekt und logistische Konzepte und stellt auch das Benutzerhandbuch dar (siehe Abbildung 35).

6.5 Experimente

Das Ziel ist die Entwicklung eines Konzeptes zur energetischen Nutzung der in Gladbeck anfallenden Biomasse in Form von Bioabfall, Grünschnitt sowie holzartiger Biomasse. Dies wird mit Hilfe von vier verschiedenen Szenarien untersucht, welche auf der Grundlage von Mengenszenarien (siehe Tabelle 6) und Logistiksznarien (siehe Abschnitt 6.3.6) basieren. Zunächst wurden die relevanten Szenarien ausgewählt und anschließend einige Annahmen getroffen.

6.5.1 Annahmen für ausgewählte Szenarien

Die Daten für die Annahmen liefern verschiedenen Quellen. Dazu zählen u.a. Erfahrungswerte von Verbänden und anderen Organisationen, Faustkennzahlen aus der Fachliteratur sowie Teilprojekt 1. Für die Sammlung werden LKWs mit einer Nutzlast von 2 Tonnen ausgewählt und in der Umschlagstation wird die Biomasse mit einem LKW umgeschlagen, der eine Nutzlast von 5 Tonnen hat. Mit dem Tool können die Transportkosten berechnet werden, hier wurde aber als Erfahrungswert für die leistungsabhängigen Kosten in der erste Stufe 0,8 € pro km und für die zeitabhängigen Kosten 21,95 € pro Stunde angenommen. Die Kosten für die zweite Stufe belaufen sich auf 1,2 € pro km für die leistungsabhängigen Kosten und analog zur ersten Stufe 21,95 € pro Stunde für die zeitabhängigen Kosten. Die durchschnittliche Fahrgeschwindigkeit für die erste Stufe wurde mit 25 km pro Stunde und für die zweite mit 60 km pro Stunde angenommen.

6.5.2 Ausgewählte Szenarien

Innerhalb der Stadt Gladbeck gibt es zurzeit kein Klärwerk und keine Biogasanlage. Das nächst gelegene Klärwerk liegt außerhalb der Stadt Gladbeck. Daher wurden zwei verschiedene Anlagentypen in vier Szenarien untersucht. Der erste Anlagentyp BMHKW kann die holzartige Biomasse verarbeiten und der zweite Anlagentyp Klärwerk kann Grünschnitt und Bioabfall verwerten. Die untersuchten Szenarien sind folgendermaßen definiert:

1. Einstufiger Transport zu einem neuen BMHKW in Gladbeck
2. Zweistufiger Transport von Quellen über Betriebshöfe zu einem neuen BMHKW in Gladbeck
3. Einstufiger Transport von Quellen zum Klärwerk in Bottrop
4. Zweistufiger Transport von Quellen über Betriebshöfe zum Klärwerk in Bottrop

Szenario 1 beschreibt dabei die Verwertung der holzartigen Biomassen von der Stadt Gladbeck. Errichtet werden soll ein dezentrales BMHKW zur Erzeugung von Strom. Die Größe der Anlage richtet sich nach den zur Verfügung stehenden Mengen an Biomasse. Ca. 130 Mg holzartige

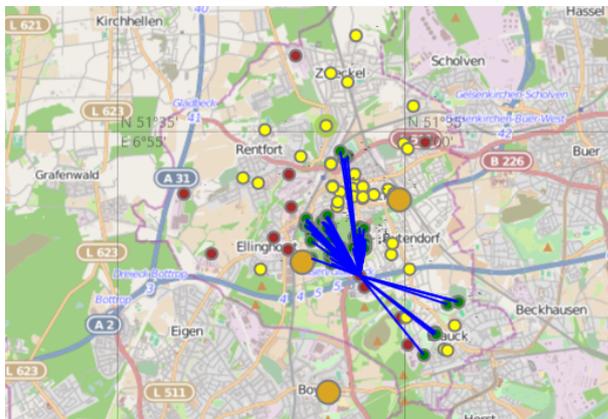
Biomasse soll in diesem dezentralen BMHKW verarbeitet werden. Die Fahrzeuge fahren von der BMHKW zum Sammelgebiet und nach der Sammlung wird die holzartige Biomasse zum BMHKW angefahren. Gleichmaßen werden in Szenario 2 zweistufige Transportkonzepte untersucht und es wird angenommen, dass die holzartige Biomasse von der Stadt Gladbeck nach der Sammlung in dem Betriebshof umgeschlagen und anschließend zu einem neuen BMHKW transportiert wird. In dem dritten Szenario wurde die Integration von bestehenden Bioenergieanlagen untersucht. Daher wurde angenommen, dass der Bioabfall- und das halmgutartige Biomassepotenzial im Jahr 2016 insgesamt ca. 7.845 Mg beträgt, die zum Klärwerk Bottrop transportiert werden soll. Das vierte und letzte Szenario wurde als zweistufiges Transportkonzept untersucht. Als Umschlagstation dient der zentrale Betriebshof und als Bioenergieanlage das Bottroper Klärwerk.

6.5.3 Szenarien-Darstellung und Vergleich

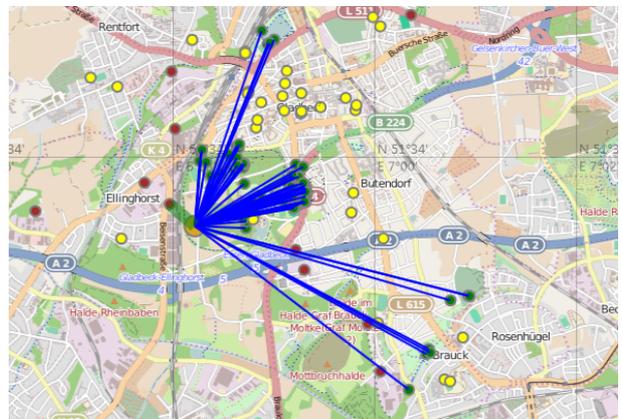
Das Ziel der Szenarien-Bildung war die Identifizierung von Konzepten zur Nutzung der Biomassevorkommen der Stadt Gladbeck. In dem ersten und zweiten Szenario wurden Anlagestandorte in der Stadt Gladbeck (siehe Abbildung 36 (a, b)) ermittelt. Die Abbildung 36 (c, d) stellen das dritte und letzte Szenario mit dem Biomassetransporte zum Klärwerk in Bottrop dar. Wichtige Ergebnisse wurden in der Tabelle 16 gegenübergestellt.

Tabelle 16: Szenarien-Vergleich

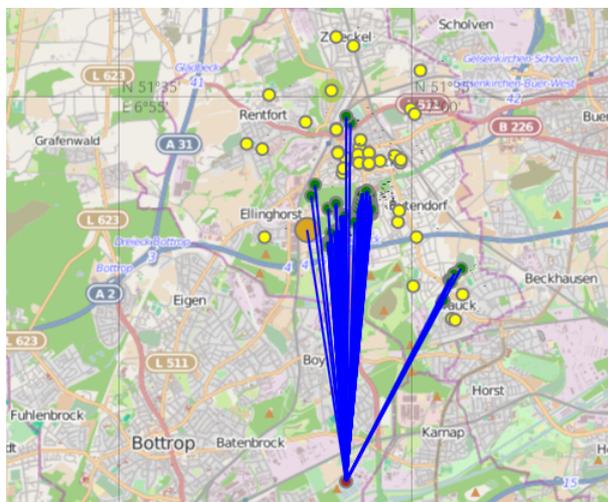
	Szenario 1	Szenario 2	Szenario 3	Szenario 4
Menge [Mg]	127	127	7.845	7.845
Tourenlänge für erste Stufe [km/a]	193	180	38.600	3.457
Tourenlänge für zweite Stufe [km/a]	-	19	-	12.724
Anzahl der Touren pro Jahr für erste Stufe	73	73	4.011	4.017
Anzahl der Touren pro Jahr für zweite Stufe	-	25	-	1.332
Anzahl der Stops pro Jahr für erste Stufe	319	319	4.131	4.131
Anzahl der Stops pro Jahr für zweite Stufe	-	25	-	1.332
Durchschn. Transportmenge pro Tour für erste Stufe [Mg]	1,7	1,7	1,95	1,95
Durchschn. Transportmenge pro Tour für zweite Stufe [Mg]	-	5,1	-	5,8
Durchschn. Tourlänge für erste Stufe [km]	2,6	2,6	9,6	0,86
Durchschn. Tourlänge für zweite Stufe [km]	-	0,8	-	9,5
Biomassetransportkosten [€/Mg]	7	7,5	9,2	4,5



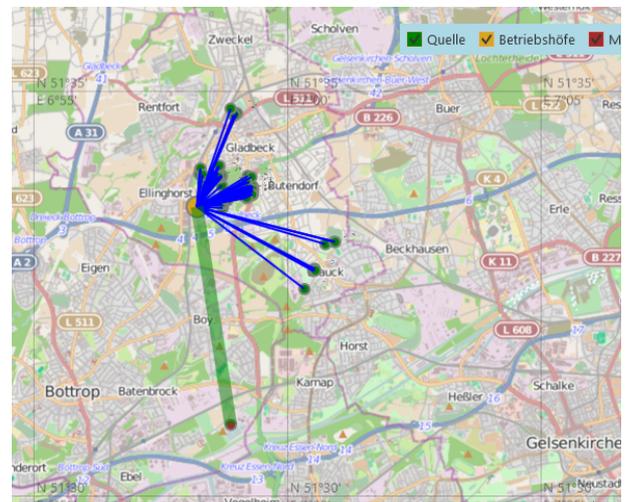
a) Szenario 1



b) Szenario 2



c) Szenario 3



d) Szenario 4

Abbildung 36: Darstellung von Szenarien

6.5.4 Bewertung der Konzepte und Ausarbeitung der Vorschläge BMHKW und Biogasanlage

Insbesondere für größere Untersuchungsgebiete mit größeren Biomassevorkommen, mehreren Lagern und Anlagen bieten sich für anschließende Analysen viele Optimierungsspielräume. Knotenpunkte, Lager- und Anlagestandorte sind wichtige Elemente der Planung und des Aufbaus einer Netzwerkstruktur. Für das operative Geschäft müssen die gefundenen Strukturen bestmöglich eingesetzt und aufeinander abgestimmt werden. Das Potenzial zum Betreiben einer Biogasanlage ist generell vorhanden aber der alleinige wirtschaftliche Betrieb einer Biogasanlage durch die Stadt Gladbeck ist nicht möglich. Ein hohes Potenzial kann durch eine Kooperation mit Bottrop und anderen Akteuren erreicht werden. Der Betrieb eines BMHKW ist in allen Fällen nur dann wirtschaftlich, wenn die Anlage ganzjährig genutzt wird. Daher sind entweder eine kleine Anlage mit längerer Lagerung der Biomasse oder eine größere Anlage und

der Zukauf von Biomasse notwendig. Da die Anlage in Szenario 2 sehr nah am Betriebshof liegt, ist ein zweistufiges Transportkonzept nicht geeignet.

Andererseits können durch ein zweistufiges Transportkonzept die Transportkosten im Szenario 3 verringert werden, da die Kläranlage weiter entfernt liegt.

Bei der Errichtung einer Biogasanlage muss das NRW-Ziel 150 kg Bioabfall pro Einwohner berücksichtigt werden und am Anfang durch Zukauf von Biomasse abgedeckt werden. Weitere wichtige Kriterien, die die Anlagekapazität beeinflussen, sind der demografische Wandel und der Bevölkerungsrückgang. Nach den derzeitigen Prognosen werden im Jahr 2030 im Vergleich zum Jahr 2011 rund -7,7 % weniger Menschen in Ruhrgebiet leben. Das bedeutet, 60.000 Mg weniger Bioabfall und mehr Kapazität in Klärwerken. Durch interkommunale Kooperationen können zentrale Anlagen errichtet werden wodurch aber wiederum die Kosten für den Transport der Biomasse und der Abtransport der Nebenprodukte steigen (z.B. hinterlässt die Biogasproduktion 70% der Inputmenge als Gärrest).

6.6 Zusammenfassung

Die Landnutzung, die Energiewende sowie der Klimawandel verursachen strukturelle und optische Veränderungen in urbanen Landschaften. Für die Entwicklung eines nachhaltigen Landmanagements ist Energie eine der Kernpunkte. Zur Erreichung einer nachhaltigen Umgebung in der Metropole Ruhr sollen daher die natürlichen Ressourcen optimal genutzt werden. Die Produktion von Bioenergie aus städtischen Biomassequellen gehört zu dem politischen Ziel der Bundesregierung und der Europäischen Kommission. Die energetisch-stoffliche Nutzung von in der Stadt anfallender Biomasse, wie Grünschnitt oder Bioabfall, stellt jedoch keine neue Flächen- und Nutzungskonkurrenz dar und bietet zusätzlich die Erhaltung natürlicher Ressourcen. Durch die Formulierung von Bioenergieversorgungsketten, welche sich in diesem Raum vernetzen, kann die Nutzung sichergestellt werden. Diese Versorgungsketten beinhalten den Transport der Biomasse von der Quelle zu einer Anlage, die Produktion von Bioenergie und die Distribution der Endprodukte sowie alle zugehörigen Prozesse. Dabei entstehen Material-, Informations- und Endproduktflüsse. Außerdem soll der zugehörige Stakeholder integriert werden, da die nachhaltige Entwicklung nicht nur zu einer formal-technischen Disziplin gehört.

Das Ziel des Teilprojektes war der Aufbau von oben genannten Bioenergie Supply Chains sowie unter anderem die Entwicklung von Logistikkonzepten und die Konzipierung eines Planungswerkzeugs zur Planung von Bioenergie Supply Chains. Für den ausgewählten Untersuchungsraum wurden Konzepte entwickelt und Vorschläge ausgearbeitet sowie das Planungswerkzeug erprobt. In den Untersuchungen sind Informationen von anderen Teilprojekten, Gemeinden, Juristen sowie von öffentlichen und privaten Entsorgungsunternehmen eingeflossen, um die Komplexität des Teilprojektes mit einem interdisziplinären Forschungsansatz zu decken.

Die Untersuchungen zeigen, dass die dezentralen Anlagen für die Entwicklung einer nachhaltigen Umgebung viele Vorteile mit sich bringen, weil die transportbedingten Emissionen niedriger und der Netzverlust geringer ist sowie die regionale Wertschöpfung ermöglicht wird. Die Berechnungen zeigen aber, dass das technische Biomasse-Potenzial in dem Untersuchungsraum zu gering ist. Besonders die holzartige Biomasse fällt nur in einigen Monaten an. Um die Anlage immer auszulasten, müssten diese eine längere Zeit gelagert werden. Durch die Kooperation von Städten oder Nutzung von bestehende Anlagen können ökonomisch ökologische Vorteile erzielt werden.

7 Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere die Verwertbarkeit der Projektergebnisse

Das entwickelte Tool bietet Hilfestellung für langfristige Verwertungsstrategien städtischer Biomassen. Daher kann es als Planungstool oder als Konzept in Kommunen verwendet werden. Durch diese Methodik können unterschiedliche Handlungsalternativen gegenübergestellt werden. Präsenze und neue Konzepte bzw. Vorgehensweisen können untersucht, sowie der Einsatz von biogener städtischer Biomasse zur Energieproduktion optimiert werden. Somit verschiebt sich der Energie-Mix von den fossilen zu den alternativen Energieträgern und es kann ein Beitrag zur Erreichung der nationalen und europäischen Klimaziele geleistet werden.

Unmittelbare Potentiale ergeben sich auch für die bioabfallproduzierende Industrie, ebenso wie für Logistikunternehmen, Unternehmen aus der Chemie-, Biologie- und Entsorgungsbranche, IT-Betriebe sowie für Energieunternehmen. Besonders für kleine und mittelständische Logistik- und Entsorgungsunternehmen, sowie Anlagebauer kann sich durch eine frühe Adaption der Forschungsergebnisse und dem Einsatz von Planungstools ein Marktvorsprung gesichert werden.

Die Projektergebnisse werden im Projekt „Advanced Technologies for Biogas Efficiency, Sustainability and Transport“ (europäisches Forschungsprojekt im Rahmen des Marie Curie ITN Programms) weiter verwendet. Die Einreichung zwei weiterer Projektanträge ist für die nächsten Monate geplant, um eine geeignete Fortführung der Forschungsarbeiten zu gewährleisten. Ziel ist es, mit einer unmittelbaren Verwertung der Ergebnisse, ebenfalls eine Übertragung auf andere Anwendungsgebiete zu ermöglichen.

8 Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Während der Laufzeit bekannt gewordene Erkenntnisse Dritter im Bereich Supply Chain Modelle wurden jeweils in dem Berichtsteil 6.1.3 dargestellt. Des Weiteren hat ein Austausch mit dem Projekt Berbion und Projekt RePro stattgefunden. Das Berbion Projekt beschäftigte sich mit der Maximierung der energetischen Nutzung der in der Stadt anfallender Biomassen. Unter anderem wurden logistische Aspekte untersucht und neuartige Sammelsysteme entwickelt und die Umsetzbarkeit dieser Sammelsysteme beurteilt. Das Projekt RePro beschäftigte sich mit

dem Aufbau von Re-Produktionsketten. Für das Teilprojekt Bioenergie Supply Chain sind die Praxis-Beispiele zur Bioenergieproduktion bei Biomasseheizkraftwerken, die Biogasanlage und die Klärwerke von Bedeutung.

9 Erfolgte und geplante Veröffentlichung der Forschungsergebnisse

- Bernd Noche (2012): Vortag: Bioenergy Supply Chain Engineering in a Circular Economy, X. International Logistics and Supply Chain Congress 08-09.11.2012
- Karakaya, Aydin; Bernd Noche (2012): Comparison of different commercial organic waste collection concepts, X. International Logistics and Supply Chain Congress, Istanbul
- Karakaya, Aydin; Bernd Noche (2013): Logistikprozessoptimierung bei der Bioabfallsammlung von Gewerben, Jahrbuch Logistik 2013
- Karakaya, Aydin; Özgür, Cagdas; Bernd Noche (2013): Auswahl der Standorte von Bioenergieanlagen, 18. Magdeburger Logistiktage
- Vilanova Plana, Paz; Karakaya, Aydin; Bernd Noche (2014): Distributions logistics for biogas by-product digestate; XII. International Logistics and Supply Chain Congress, Istanbul
- Karakaya, Aydin (2014): Vortag: Bio-energy Supply Chain Management, International DAAD Alumni Seminar: Water, Waste & Energy – Environmental and Supply Chain Management

Weitere Veröffentlichungen der Projektergebnisse sind geplant.

10 Kurzfassung des wesentlichen fachlichen Inhalts des Schlussberichts

Siehe Anlage.