

From the Professorship of Waste and Resource Management
Faculty of Agriculture, Civil and Environmental Engineering

Summary of the dissertation

**OPTIMIZATION OF MECHANICAL-BIOLOGICAL TREATMENT OF RESIDUAL
WASTE THROUGH THE FERMENTATION STAGE OF THE PRESS OFF LEACHATE
FROM ORGANIC FRACTIONS**

to obtain the academic degree Doctor of Engineering (Dr.-Ing.)

at the Faculty of Agriculture, Civil and Environmental Engineering
of the University of Rostock

submitted by M-Sc. Rzgar Bewani
born in 1991
in Kalar, Kurdistan Region, Republic of Iraq

Defence on 16 July 2026

This dissertation addressed one of the most pressing challenges in modern waste management: optimising mechanical-biological treatment (MBT) plants by transitioning from aerobic stabilisation of residual municipal solid waste (RMSW) to anaerobic digestion (AD). The study's primary focus was to improve substrate preparation by developing and optimising a screw press (SP)–based process that efficiently extracts organic-rich press water (PW) suitable for AD. The ultimate goal was to enhance biogas generation, establish a comprehensive mass and energy balance for MBT operations, and identify realistic scenarios for upgrading existing facilities. Secondary objectives included analysing AD process stability, characterising sand and inert materials in reactors, and evaluating MBT outputs, such as stabilised inert and refuse-derived fuel (RDF).

The research demonstrated that RMSW remains an untapped source of biogenic energy, with 21,6% of its mass consisting of organics, mainly kitchen and food waste. Mechanical pre-treatment recovered up to 92% of these organics into the mechanically sorted fine fraction (MSFF), confirming the suitability of this stream for anaerobic conversion once adequately prepared. A series of on-site experiments and laboratory validations identified critical SP operational parameters affecting PW yield and quality. Pressure showed a distinct threshold effect—while 2,5 bar was insufficient for effective liquid extraction, pressures above 4,5 bar offered no significant benefit. The liquid-to-MSFF emerged as the most influential factor: at 1.000–1.350 L/t MSFF, PW quality and biogas recovery improved significantly, reaching up to 55 m³/t MSFF, more than doubling current performance. Increasing the liquid ratio improved hydrolysis efficiency and organic washout, while extended mixing before pressing (10 min optimum) enhanced homogenisation and PW quality. These findings led to a data-based operational model linking SP parameters to biogas output and energy recovery.

Anaerobic digestion tests confirmed stable reactor performance across seasons, with minor variations in hydraulic retention time (19,65 days) and organic loading rate (approx. 6,2 kg VS m⁻³ d⁻¹). Process stability was maintained (VOA/TIC < 0,25), while methane (CH₄) content remained consistent at 58%. The AD system supplied 32% of the total plant electricity and 84% of its heat demand, with potential to achieve high to full energy self-sufficiency under optimised SP operation. Sand and grit analysis revealed that the first reactor effectively served as a settling chamber, capturing denser mineral fractions and reducing long-term wear on the downstream reactors. Although this aspect received limited focus, it provided important insights into AD reactor maintenance and sediment management. The MBT outputs demonstrated promising material recovery rates. Approximately 33% of the input RMSW remains stabilised and inert, suitable for landfill cover or reuse, and up to 35% of the RDF is predominantly class 1–2 quality. High-calorific RDF can replace fossil fuels in cement kilns or dedicated power plants, thereby reducing greenhouse gas emissions under the German Fuel Emissions Trading Act. These results confirm

that shifting to anaerobic MBT not only enhances energy efficiency but also supports the National Circular Economy Act (KrWG) and climate protection goals (KlimaschutzG).

Three operational scenarios were modelled for scaling up: (1) optimisation of existing SP operation increased biogas yield (BGY) to 16,5 m³/t RMSW; (2) full utilisation of MSFF achieved 14,5 m³/t RMSW; and (3) combined optimisation of 1 and 2 yielded up to 25 m³ t⁻¹ RMSW. Extrapolated nationally, applying this model to the remaining eight aerobic MBTs in Germany could recover approximately 62 million m³ of biogas annually.

Overall, this study provides a novel and practical framework for integrating SP-based substrate preparation into existing MBT systems, enabling a gradual, low-cost transition to anaerobic operation. It provides clear operational guidelines for plant operators, manufacturers, and municipalities, including recommendations for SP design improvements (e.g., extended contact time and flexible capacity). The developed mass and energy balance serves as a diagnostic and planning tool for adapting MBT configurations under various waste and operational conditions. Future research should focus on the detailed chemical composition of RMSW (particularly lignocellulosic fractions), microbial community analysis within AD reactors, and quantification of SP energy consumption under different pressures to complete the economic assessment. The findings of this work thus establish a comprehensive technical and scientific basis for upgrading MBT plants to sustainable, energy-positive waste management systems aligned with Germany's climate-neutral and circular economy objectives.

Diese Dissertation befasst sich mit einer der zentralen Herausforderungen der modernen Abfallwirtschaft: der Optimierung mechanisch-biologischer Behandlungsanlagen (MBA) durch den Übergang von der aeroben Stabilisierung gemischter Siedlungsabfälle (RMSW) zur anaeroben Vergärung (AD). Der Schwerpunkt der Arbeit lag auf der Verbesserung der Substrataufbereitung durch die Entwicklung und Optimierung eines schneckenpressbasierten (SP)-Prozesses, der organikreiches Presswasser (PW) effizient extrahiert und für die anaerobe Vergärung geeignet macht. Das übergeordnete Ziel war die Steigerung der Biogaserzeugung, die Erstellung einer umfassenden Massen- und Energiebilanz für den MBA-Betrieb sowie die Entwicklung realistischer Szenarien zur Modernisierung bestehender Anlagen. Sekundäre Ziele umfassten die Untersuchung der Prozessstabilität der AD, die Analyse von Sand- und Inertstoffen in den Reaktoren sowie die Bewertung der MBA-Endprodukte, darunter stabilisiertes Deponat und Ersatzbrennstoff (EBS).

Die Ergebnisse zeigen, dass RMSW weiterhin eine bislang unzureichend genutzte Quelle biogener Energie darstellt, da etwa 21,6 % der Masse aus organischen Bestandteilen – vor allem Küchen- und Lebensmittelabfällen – besteht. Die mechanische Vorbehandlung ermöglichte eine Rückgewinnung von bis zu 92 % dieser organischen Stoffe in die mechanisch sortierte Feinfraktion (MSFF), was deren Eignung für eine anaerobe Umwandlung nach entsprechender Aufbereitung bestätigt. Eine Reihe von Praxis- und Laborversuchen identifizierte die entscheidenden Betriebsparameter der Schneckenpresse, die den PW-Ertrag und dessen Qualität maßgeblich beeinflussen. Der Pressdruck zeigte dabei einen deutlichen Schwellenwert: Während 2,5 bar für eine effektive Flüssigkeitsextraktion unzureichend waren, führten Drücke oberhalb von 4,5 bar zu keiner weiteren Verbesserung. Das Verhältnis von Flüssigkeit zu MSFF erwies sich als der einflussreichste Faktor: Bei 1.000–1.350 L/t MSFF konnten PW-Qualität und Biogasausbeute signifikant gesteigert werden, bis auf bis zu 55 m³/t MSFF – mehr als eine Verdopplung der bisherigen Leistung. Eine Erhöhung des Flüssigkeitsanteils verbesserte die Hydrolyseeffizienz und den Austrag organischer Stoffe, während eine Mischzeit von 10 Minuten vor dem Pressvorgang die Homogenisierung und die PW-Qualität weiter erhöhte. Diese Erkenntnisse führten zu einem datenbasierten Betriebsmodell, das SP-Parameter mit der Biogasausbeute und der Energiegewinnung verknüpft.

Die anaeroben Vergärungsversuche bestätigten eine stabile Reaktorleistung über alle Jahreszeiten hinweg, mit geringen Schwankungen der hydraulischen Verweilzeit (19,65 Tage) und der organischen Raumbelastung (6,2 kg VS m⁻³ d⁻¹). Die Prozessstabilität blieb erhalten (VOA/TIC < 0,25), während der Methangehalt konstant bei 58 % blieb. Das AD-System mit 25 m³/t MSFF (10 m³/t RMSW) deckte 32 % des gesamten Strombedarfs und 84 % des Wärmebedarfs der Anlage – mit Potenzial für nahezu vollständige Energieautarkie bei optimierter SP-Betriebsweise. Die Sand- und Sedimentanalysen zeigten, dass der erste Reaktor effektiv als Absetzstufe für mineralische Bestandteile dient und dadurch den

Verschleiß in den nachfolgenden Reaktoren reduziert. Obwohl dieser Aspekt nur eine Nebenrolle spielte, lieferte er wertvolle Erkenntnisse zur Reaktorwartung und zur Sedimentbewirtschaftung.

Die MBA-Endprodukte zeigten ein hohes Potenzial für die Stoffrückgewinnung. Etwa 33 % der RMSW verbleiben als stabilisiertes, inertes Material, das entweder als Deponieabdeckung oder zur Wiederverwendung geeignet ist, und bis zu 35 % werden als EBS gewonnen, überwiegend aus der EU-Qualität der Klassen 1–2. Hochkalorischer EBS kann fossile Brennstoffe in Zementwerken oder speziellen Kraftwerken ersetzen und damit Treibhausgasemissionen gemäß dem deutschen Brennstoffemissionshandelsgesetz (BEHG) reduzieren. Diese Ergebnisse bestätigen, dass der Übergang zu anaeroben MBAs nicht nur die Energieeffizienz steigert, sondern auch nationale Ziele der Kreislaufwirtschaft (KrWG) und des Klimaschutzes (Klimaschutzgesetz) unterstützt.

Für die Optimierung wurden drei Betriebsszenarien modelliert: (1) Eine Optimierung des bestehenden SP-Betriebs erhöhte die Biogasausbeute von 10 auf 16,5 m³/t RMSW; (2) die vollständige Pressung der MSFF ergab 14,5 m³/t RMSW; (3) die Kombination beider Optimierungen erreichte bis zu 25 m³/t RMSW. Hochgerechnet auf die noch acht aerob betriebenen MBAs in Deutschland könnten damit jährlich etwa 62 Millionen m³ Biogas zusätzlich erzeugt werden.

Insgesamt bietet diese Arbeit ein neuartiges und praxisnahes Konzept zur Integration der SP-basierten Substrataufbereitung in bestehende MBT-Anlagen sowie in neu geplante MBT-Anlagen, das eine schrittweise und kosteneffiziente Umstellung auf anaerobe Betriebsweisen ermöglicht. Sie liefert klare Handlungsempfehlungen für Anlagenbetreiber, Hersteller und Kommunen, insbesondere zu Verbesserungen im SP-Betrieb (verlängerte Kontaktzeit, flexibler Durchsatz). Die entwickelte Massen- und Energiebilanz der gesamten MBT-Anlage unter verschiedenen Szenarien dient als Diagnose- und Planungsinstrument zur Anpassung von MBT-Konfigurationen an unterschiedliche Abfall- und Betriebsbedingungen.

Zukünftige Forschung sollte sich auf die detaillierte chemische Zusammensetzung von RMSW (insbesondere Lignocellulose-Fractionen), auf mikrobiologische Analysen der Reaktorpopulationen sowie auf die Quantifizierung des Energieverbrauchs der SP bei unterschiedlichem Druck und unterschiedlichen Betriebseinstellungen und Szenarien konzentrieren, um eine Vision zu den aktuellen DOC_{deg} und eine vollständige ökonomische Bewertung zu ermöglichen. Die Ergebnisse dieser Arbeit bilden somit eine umfassende technische und wissenschaftliche Grundlage für die Transformation bestehender MBAs von aeroben auf anaerobe Behandlung der organischen Teile in gemischten Siedlungsabfällen und damit zu nachhaltigen, energiepositiven Abfallbehandlungssystemen im Einklang mit den deutschen Zielen einer klimaneutralen und zirkulären Abfallwirtschaft.