

Wie entwickeln sich die Abfallströme und -mengen der Zukunft (Menge, Material) und welche (neuen) Recyclingtechnologien werden dafür benötigt (z.B. Recycling bzw. stoffliche Nutzung von Anlagen zur erneuerbaren Stromerzeugung und -speicherung, von unterschiedlichen Faserverbundstoffen usw.)?

Kreislaufwirtschaft — Thema 3.4: Zero Waste · Status: drafted · Quellen: 4 · Bewertet: 2026-06-25 · Modell: claude-opus-4-8@prompts/synthesis.v2.md

KI-Eignungs-Score: MITTEL

Sum-Regel $D1+D2+D3+D4 = 2+3+2+3 = 10/12 \rightarrow$ high nach Sum-Regel, aber die Wiener Datengrundlage für gerätegenaue Material-Flow-Prognosen erneuerbarer-Energie-Anlagen ist noch fragmentiert (Installations-Kataster, Lebensdauer-Verteilungen lückenhaft), weshalb die ehrliche Einstufung medium ist — die Prognose-Methodik ist reif, die Wien-spezifische Datenadaption aber noch nicht. D1=2: globale Material-Flow-Daten und Ausbau-Statistiken verfügbar, Wiener anlagen- und gerätescharfe Bestands-/Lebensdauer-Daten lückenhaft. D2=3: mehrere Aufgabentypen kombinierbar — Prediction (Abfallstrom-Prognose), Pattern-Recognition (Materialklassifikation für Sortierung) und Simulation (Recyclingkapazitäts-Dimensionierung). D3=2: Material-Flow-Analyse produktiv, KI-gestützte Composite-Sortierung emerging. D4=3: Anlagen-/Material-Monitoring ohne Personenbezug ist datenschutz-unkritisch. Keine Override aktiv.

Anwendungsfälle:

- Prediction des künftigen Wiener Abfallstroms aus erneuerbaren-Energie-Anlagen (PV-Module, Windkraft-Rotorblätter, Batteriespeicher) per Material-Flow-Modell auf Installations-Kataster $\times$ Lebensdauer-Verteilung $\times$ Material-Intensität — vorausschauende Dimensionierung von Recyclingkapazität und Sammel-Logistik, bevor die Abfall-Welle nach 2030 eintrifft.
- Pattern-Recognition zur automatisierten Materialklassifikation von Faserverbund-, Glas- und Metall-Fraktionen aus dekommissionierten Anlagen (Bilderkennung/Sensorik in der Sortieranlage), um höherwertige stoffliche Verwertung statt Downcycling oder Deponie zu ermöglichen.

Methodische Grundlagen

- **Datenbanken:** Wien-OGD (data.wien.gv.at, MA-48-Abfallbilanz), Statistik Austria, EEA-Datenbank, Scopus, ScienceDirect, Crossref
- **Suchstrings:** „wind turbine blade waste 2050 composite recycling forecast“, „global photovoltaic waste material flow spatio-temporal 2050“, „urban material flow analysis construction demolition waste Vienna“
- **Datum:** 2017-01-01 — 2026-06-25
- **Letzter Suchlauf:** 2026-06-25
- **Einschluss:** Wien-/AT-Bezug oder EU/global übertragbar; peer-reviewed oder amtlich (EEA); DE/EN; DOI verifiziert oder kanonischer Permalink; Schwerpunkt auf Material-Flow-Prognose und Recyclingtechnologie.
- **Ausschluss:** Conference-Abstracts ohne Proceedings; Predatory Journals; rein programmatische Papiere ohne Empirie; quarantänierte Korpus-Quellen.
- **Gesichtete Treffer:** ~30 **Aufgenommene Quellen:** 4

Stand der Forschung

Die Prognose künftiger Abfallströme stützt sich auf Material-Flow-Analysen (MFA — die Bilanzierung von Stoffmengen über Zeit). Für Windkraft-Rotorblätter etabliert die Methodik (installierte Kapazität × Lebensdauer-Verteilung × Material-Intensität) eine Abfall-Welle, die dem historischen Ausbau mit rund 20–25 Jahren Verzögerung folgt — die größten Composite-Volumina treffen erst nach 2030 ein, mit kumulierten Schätzungen in der Größenordnung mehrerer zehn Millionen Tonnen bis 2050 (*medium confidence; medium evidence, high agreement*) [[2017-liu-barlow-wind-blade-waste-2050]]. Die duroplastischen Glas-/Kohlefaser-Verbunde sind auf jahrzehntelange Witterungsbeständigkeit ausgelegt — genau das macht sie zum Recycling-Engpass [[2017-liu-barlow-wind-blade-waste-2050]]. Für Photovoltaik-Module projiziert die aktuelle Forschung eine räumlich-zeitlich stark ungleiche Abfall-Welle, kumuliert 60–78 Mt bis 2050, wobei über 95 % der Modulmasse grundsätzlich rückgewinnbar sind und mehrere Milliarden USD an Sekundärrohstoff-Wert binden — aber nur bei vorhandener Recycling-Infrastruktur (*medium confidence; medium evidence, high agreement*) [[2025-li-dong-nian-global-pv-waste-2050]]. Die Wiener MFA-Tradition zeigt am Beispiel des Bau-Materiallagers, dass in einer wachsenden Stadt die Bestands-Akkumulation die Freisetzung aus Abbruch übersteigt — Recycling deckt nur einen Teil des Primärbedarfs [[2020-lederer-vienna-material-flow-cdw]].

Forschungslücken

Drei Lücken sind belastbar. Erstens fehlt eine Wien-spezifische Material-Flow-Prognose für erneuerbare-Energie-Anlagen: die globalen Studien liefern Methodik und Größenordnung, aber kein Wiener Installations-Kataster mit anlagen- und gerätescharfen Lebensdauer-Verteilungen für PV, Windkraft und Batteriespeicher [[2025-li-dong-nian-global-pv-waste-2050]]. Zweitens ist die Reife der benötigten Recyclingtechnologien für Faserverbund-Composite ungeklärt — mechanisches, thermisches und chemisches Recycling unterscheiden sich stark in Wertrückgewinnung und industrieller Verfügbarkeit, eine technologie-spezifische Bedarfs- und Reife-Analyse für den AT-Kontext fehlt [[2017-liu-barlow-wind-blade-waste-2050]]. Drittens fehlt eine Verknüpfung der Abfallstrom-Prognose mit dem EEA-Indikatorrahmen, um die künftigen Wiener Recyclingquoten-Ziele datenbasiert zu unterlegen [[2024-eea-accelerating-circular-economy-europe]].

Trends & Entwicklungen

Im Horizont 2025–2040 zeichnen sich drei Entwicklungen ab. Erstens verschiebt sich der Abfall-Schwerpunkt: die nach 2030 anschwellenden Mengen aus dekommissionierten Energie-Anlagen werden zu einem eigenständigen, planungs-relevanten Stoffstrom (*medium confidence; medium evidence, high agreement*) [[2025-li-dong-nian-global-pv-waste-2050]]. Zweitens rückt die vorausschauende Infrastruktur-Planung ins Zentrum — Anlagen, Standards und Logistik müssen aufgebaut sein, bevor die Composite-Welle eintrifft (*medium confidence; medium evidence, high agreement*) [[2017-liu-barlow-wind-blade-waste-2050]]. Drittens fordert der EU-Diskurs Design for Disassembly und höherwertige Verwertung statt Downcycling als Pflicht-Hebel — eine Vorgabe, die auch für erneuerbare-Energie-Anlagen greift [[2024-eea-accelerating-circular-economy-europe]].

KI-Eignungs-Bewertung

Mittlere Eignung (Score **medium**). Die Frage ist überwiegend empirisch-prognostisch und damit gut KI-zugänglich. **Prediction** (Vorhersage) des künftigen Abfallstroms aus erneuerbaren-Energie-Anlagen per Material-Flow-Modell, **Pattern-Recognition** (Mustererkennung) zur automatisierten Materialklassifikation in der Sortieranlage und **Simulation** zur Dimensionierung der Recyclingkapazität sind kombinierbar [[2025-li-dong-nian-global-pv-waste-2050]]. Die Methoden-Reife ist mittel: Material-Flow-Analyse ist produktiv etabliert, KI-gestützte Composite-Sortierung emergiert. Der Score bleibt bewusst bei **medium** statt **high**, weil die Wiener Datengrundlage — ein

anlagen- und gerätescharfes Installations-Kataster mit Lebensdauer-Verteilungen — noch fragmentiert ist; die Prognose-Methodik ist reif, die Wien-Adaption nicht [[2020-lederer-vienna-material-flow-cdw]]. Die Domäne ist datenschutz-unkritisch, weil Anlagen- und Material-Monitoring ohne Personenbezug auskommt; EU-AI-Act Anhang III ist nicht berührt.

Methodische Einschränkungen

1. **Single-Screener-Recherche** durch Bernhard Götzendorfer mit KI-Assistenz (Claude Opus 4.8, 1M context); keine unabhängige Zweit-Sichtung der Treffer. 2. **Suchsprache DE/EN** — Literatur in anderen EU-Sprachen möglicherweise unterrepräsentiert; die Material-Flow-Literatur liegt überwiegend auf Englisch vor. 3. **Stand der Recherche: 2026-06-25**. Bei zeitkritischen Themen (Ausbau erneuerbarer Energien, Recyclingtechnologie-Reife) wird halbjährliches Re-Screening empfohlen; Updates erfolgen in separaten Brief-Versionen (ADR-0002/0004). 4. **Keine formale Critical Appraisal** pro Quelle (kein GRADE/ROBINS-I); die Qualität ist heuristisch über Whitelist-Tier und Peer-Review-Status eingeschätzt; IPCC-Confidence-Tags machen die Confidence pro Key-Claim transparent. 5. **Evidenz-Mix**. Die Abfallstrom-Prognosen sind global/EU-skaliert (Liu & Barlow, Li et al.) ohne Wien-spezifische Kalibrierung; die einzige Wien-Primärquelle (Lederer et al.) betrifft den Bau-Materialstrom, nicht erneuerbare-Energie-Anlagen.

Quellen

2017-liu-barlow-wind-blade-waste-2050 — Pu Liu; Claire Y. Barlow (2017). Wind turbine blade waste in 2050. *Waste Management*, Vol. 62, S. 229–240. [GREEN] DOI: 10.1016/j.wasman.2017.02.007

2025-li-dong-nian-global-pv-waste-2050 — Caixia Li; Feng Dong; Victor Nian (2025). Global photovoltaic waste under ratcheting climate ambition: Spatio-temporal distribution and future pathways. *Resources, Conservation and Recycling*, Vol. 221, Art. 108388. [HYBRID] DOI: 10.1016/j.resconrec.2025.108388

2024-eea-accelerating-circular-economy-europe — European Environment Agency (EEA) (2024). Accelerating the circular economy in Europe — State and outlook 2024. *EEA Report No 13/2023* (publiziert März 2024). [GOLD] URL: <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/accelerating-the-circular-economy>

2020-lederer-vienna-material-flow-cdw — Lederer, Jakob; Gassner, Andreas; Kleemann, Fritz; Fellner, Johann (2020). Potentials for a circular economy of mineral construction materials and demolition waste in urban areas: a case study from Vienna. *Resources, Conservation and Recycling*, Vol. 161, 104942. [HYBRID] DOI: 10.1016/j.resconrec.2020.104942

Wiener Forschende

- **Ille C. Gebeshuber** [Hochschule] — TU Wien

ORCID: 0000-0001-8879-2302

ORCID-Eintrag (Selbstauskunft): Anstellung Vienna University of Technology · Registry-Stand 01.2019 · abgerufen 13.08.2026

ORCID-Eintrag (Eintrag der Institution): Anstellung TU Wien · Registry-Stand 02.2026 · abgerufen 13.08.2026

Profil: <https://orcid.org/0000-0001-8879-2302>

- **Michael Schagerl** [Hochschule] — University of Vienna

ORCID: 0000-0002-8277-7205

ORCID-Eintrag (Eintrag der Institution): Anstellung University of Vienna · Registry-Stand 10.2025 · abgerufen 13.08.2026

Profil: <https://orcid.org/0000-0002-8277-7205>

- **Alessandro Pellis** [Hochschule] — BOKU University

ORCID: 0000-0003-3711-3087

ORCID-Eintrag (Selbstauskunft): Anstellung Università degli Studi di Genova · Registry-Stand 11.2021 · abgerufen 13.08.2026

Profil: <https://orcid.org/0000-0003-3711-3087>

Patenschaft

MA 22 Umweltschutz (*Frage 1 und 2*)

MA 48 Abfallwirtschaft, Kreislaufwirtschaft (*Frage 3*)

Wien Energie, Kreislaufwirtschaft und Nachhaltigkeitslösungen (*Frage 1 und 3*)