

## WasteCCUS

Die Rolle von CCUS in der Siedlungsabfallverbrennung

<b>Programm / Ausschreibung</b>	Energieforschung (e!MISSION), Energieforschung, Energieforschungsprogramm 2023	<b>Status</b>	abgeschlossen
<b>Projektstart</b>	01.09.2024	<b>Projektende</b>	31.05.2025
<b>Zeitraum</b>	2024 - 2025	<b>Projektlaufzeit</b>	9 Monate
<b>Keywords</b>	Carbon Capture and Storage, Carbon Capture and Utilization, CO2 Abrennung, Abfallverbrennung		

### Projektbeschreibung

Das Streben Österreichs, bis zum Jahr 2040 Klimaneutralität zu erreichen, ist ein ambitioniertes und entscheidendes Ziel, das eine umfassende und sektorübergreifende Transformation erfordert. Die Abfallwirtschaft spielt in diesem Zusammenhang eine zentrale Rolle, da sie sowohl Herausforderungen als auch Chancen für die Reduktion von Treibhausgasemissionen bietet. Das WasteCCUS Projekt zielt darauf ab, innovative Lösungen und Strategien zu entwickeln, um den Sektor der Abfallwirtschaft in Österreich, vor allem im Bereich der thermischen Behandlung von Siedlungsabfällen, in Richtung Klimaneutralität zu führen.

Zentrale Frage ist, wie der Sektor Abfallwirtschaft mithilfe von Carbon Capture, Utilization and Storage (CCUS) Technologien, mit Fokus auf der CO<sub>2</sub> Abscheidung, klimaneutral werden kann und welche ökonomischen, regulatorischen, sozialen Änderungen damit einhergehen. Dabei besteht die Notwendigkeit, die ökonomischen und sozialen Auswirkungen dieser technologischen Veränderungen zu verstehen und zu gestalten. Es ist entscheidend, dass der Übergang zur Klimaneutralität in der Abfallwirtschaft nicht nur ökologisch, sondern auch sozial gerecht und ökonomisch tragfähig ist. Dies erfordert eine möglichst detaillierte Analyse der Kostenstrukturen, möglicher Finanzierungsmodelle und der Auswirkungen auf die Preisgestaltung in der Abfallwirtschaft.

Darüber hinaus liegt ein Schwerpunkt auf der Untersuchung der Integration von CCUS-Technologien in der Siedlungsabfallverbrennung in das bestehende Energiesystem sowohl auf Anlagenebene wie auch in der bundesweiten Energiebereitstellung. Dabei werden auch innovative Ansätze wie die Erzeugung von Synthesegas aus Abfällen unter Verwendung von CO<sub>2</sub> als Gaserzeugungsmedium betrachtet. Die Energieintensität der CO<sub>2</sub>-Abscheidung und die Notwendigkeit, diese Energie nachhaltig zu erzeugen, sind zentrale Punkte, die berücksichtigt werden müssen, um gesamtheitliche Lösungen zu gewährleisten.

Durch die aktive Einbeziehung von Branchenvertreter\*innen und Technologieanbieter\*innen können belastbare Szenarien und darauf aufbauend Handlungsempfehlungen erarbeitet werden. Die Untersuchung effizienter CCUS Technologien für diesen Sektor, bietet die Möglichkeit, einen wesentlichen Beitrag zur Reduzierung der Treibhausgasemissionen im Bereich der Abfallwirtschaft zu leisten.

## **Abstract**

Austria's ambition to achieve climate neutrality by 2040 is an ambitious and crucial goal that requires a comprehensive and cross-sectoral transformation. Waste management plays a central role in this context, as it offers both challenges and opportunities for reducing greenhouse gas emissions. The WasteCCUS project aims to develop innovative solutions and strategies to lead the waste management sector in Austria towards climate neutrality, especially in the area of thermal treatment of municipal waste.

The central question is how the waste management sector can become climate-neutral with the help of Carbon Capture, Utilization and Storage (CCUS) technologies, with a focus on CO<sub>2</sub> capture, and what economic, regulatory and social changes this will entail. There is a need to understand and shape the economic and social impacts of these technological changes. It is crucial that the transition to climate neutrality in waste management is not only environmentally, but also socially just and economically viable. This requires as detailed an analysis as possible of cost structures, possible financing models and the effects on pricing in the waste management sector.

In addition, there is a focus on investigating the integration of CCUS technologies in municipal waste incineration into the waste management system. Thereby, the focus is on investigating the integration of CCUS technologies in municipal waste incineration into the existing energy system, both at plant level and in the nationwide energy supply. Innovative approaches such as the production of synthesis gas from waste using CO<sub>2</sub> as a gas generation medium are also being evaluated. The energy intensity of CO<sub>2</sub> capture and the need to generate this energy sustainably are key points that must be taken into account in order to ensure holistic solutions.

By actively involving industry representatives and technology providers, reliable scenarios and recommendations can be derived. The investigation of efficient CCUS technologies for this sector offers the opportunity to make a significant contribution to reducing greenhouse gas emissions in the waste management sector.

## **Endberichtkurzfassung**

Das Ziel Österreichs, bis 2040 Klimaneutralität zu erreichen, ist ambitioniert und erfordert eine tiefgreifende, sektorübergreifende Transformation. Die Abfallwirtschaft nimmt dabei eine Schlüsselrolle ein, da sie sowohl Herausforderungen als auch Potenziale zur Minderung von Treibhausgasemissionen birgt.

Trotz fortlaufender Fortschritte bei Abfallvermeidung und Recycling bleiben bestimmte Emissionen – insbesondere aus Siedlungsabfallverbrennungsanlagen – langfristig unvermeidbar. Diese Anlagen zählen zu den sogenannten „hard-to-abate“-Punktquellen, die für die Umsetzung von Carbon Capture and Utilization bzw. Storage (CCUS) besonders relevant sind. Denn hier besteht die Möglichkeit, nicht vermeidbare CO<sub>2</sub>-Emissionen abzuscheiden, zu transportieren und entweder geologisch zu speichern oder so weiterzuverwenden, dass sie dauerhaft aus dem atmosphärischen Kreislauf entfernt werden bzw. fossile Emissionen ersetzen.

Die Integration von Carbon-Capture-Technologien in Siedlungsabfallverbrennungsanlagen stellt jedoch eine komplexe Herausforderung dar, die technische, regulatorische und wirtschaftliche Aspekte umfasst.

Im Rahmen des Forschungs- und Entwicklungsprojekts „WasteCCUS“ (Energieforschungsprogramm 2023) wurde daher untersucht, inwieweit solche Anlagen durch die Implementierung geeigneter Maßnahmen einen Beitrag zur Klimaneutralität Österreichs leisten können. Dabei wurden auf technischer, sozioökonomischer und ökologischer Ebene sozial verträgliche Lösungen entwickelt und bewertet. Der Fokus lag insbesondere darauf, den Übergang in der Abfallwirtschaft nicht nur

ökologisch sinnvoll, sondern auch sozial gerecht und ökonomisch tragfähig zu gestalten.

Ein weiterer Schwerpunkt des Projekts war die Analyse der Integration von Carbon-Capture-Technologien in das bestehende Energiesystem – sowohl auf Anlagenebene als auch im Kontext der nationalen Energieversorgung.

„WasteCCUS“ schafft damit eine fundierte Grundlage für die potenzielle Implementierung von CO<sub>2</sub>-Abscheidungstechnologien in der österreichischen Abfallwirtschaft. Durch einen projektbegleitenden Branchenbeirat sowie zwei Stakeholder-Workshops wurden zentrale Akteure der Siedlungsabfallverbrennung aktiv eingebunden.

In Österreich sind aktuell zwölf Siedlungsabfallverbrennungsanlagen in Betrieb, die jährlich rund 2,6 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub> ausstoßen. Der Emissionsfaktor beträgt durchschnittlich 0,99 Tonnen CO<sub>2</sub> pro Tonne Abfall, wobei etwa 46 % des CO<sub>2</sub> fossilen Ursprungs sind. Der CO<sub>2</sub>-Ausstoß dieser Anlagen hat in den letzten zehn Jahren deutlich zugenommen, weil die thermisch behandelten Abfallmengen gestiegen sind. Die Einführung von CCUS-Technologien (Carbon Capture, Utilization and Storage) im Zusammenhang mit einem möglichen Emissionshandelssystem (EU-ETS) wird als wichtiger Schritt zur Klimaneutralität gesehen, bringt jedoch hohe wirtschaftliche und soziale Herausforderungen mit sich.

Bisher ist das Wissen zu CCUS in der Abfallverbrennung begrenzt, und die rechtlichen Rahmenbedingungen entwickeln sich noch. Ab 2024 gelten für größere Verbrennungsanlagen neue Berichtspflichten zu Treibhausgasemissionen, was eine wichtige Grundlage für künftige CCUS-Maßnahmen bildet. Die Einbindung dieser Anlagen in das EU-ETS ab 2028 wird aktuell geprüft. Die österreichische Carbon Management Strategie (CMS), veröffentlicht 2024, bildet die nationale Grundlage zur Regulierung von CO<sub>2</sub>-Abscheidung, Transport und Speicherung. Derzeit ist die geologische Speicherung in Österreich verboten, es gibt jedoch Bestrebungen, dieses Verbot aufzuheben.

Kostenschätzungen für die CO<sub>2</sub>-Abscheidung variieren je nach Szenario zwischen 103 und 234 EUR pro Tonne CO<sub>2</sub>. Je nach Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Zertifikatpreise könnte die Abscheidung wirtschaftlich vorteilhaft werden. Ein ETS-Preis ab etwa 150 EUR/t macht CCS gegenüber dem Status quo kosteneffizient. Dennoch könnten die Restmüllgebühren je nach Szenario um 16–24 % steigen, was soziale Auswirkungen mit sich bringt. Eine ökologisch und sozial verträgliche Gestaltung der Abfallgebühren ist daher essenziell.

Technisch betrachtet sind Post-Combustion-Verfahren (Monoethanolamin (MEA) Wäscher, vereinfacht auch Aminwäscher genannt) derzeit am besten für bestehende Anlagen geeignet, da sie nachrüstbar sind. Der Energiebedarf für die CO<sub>2</sub>-Abscheidung ist erheblich und kann etwa ein Drittel der bisherigen Energieproduktion ausmachen. Dies kann sowohl den Strom- als auch den Fernwärmeanteil betreffen. Der zusätzliche Energiebedarf müsste nachhaltig bereitgestellt werden, um die Klimaziele nicht zu gefährden.

Letztlich sollte CCUS nur dort eingesetzt werden sollte, wo keine effizienteren Alternativen zur Emissionsvermeidung bestehen. Die Entscheidung zur Implementierung muss jeweils unter Berücksichtigung technischer Machbarkeit, Energieverfügbarkeit, wirtschaftlicher Tragfähigkeit und sozialer Akzeptanz getroffen werden. Aus den Projektergebnissen lassen sich folgende Empfehlungen ableiten:

Sofern die Entscheidung fällt, dass die thermische Siedlungsabfallbehandlung in das ETS-System aufgenommen wird, können folgende Empfehlungen abgeleitet werden:

Carbon Capture stellt eine „End-of-Pipe“-Lösung dar, die nur zum Einsatz kommen sollte, wenn die Emissionen unvermeidbar

sind. Daher sollte geprüft werden, wie fossile Emissionen im Abfallbereich z.B. durch Abfallvermeidung (quantitativ sowie qualitativ, d.h. z.B. Ersatz von fossil-basierten Kunststoffprodukten durch biobasierte) oder getrennte Sammlung und Materialrecycling reduziert werden können, bevor in aufwendige Abscheidetechnologien investiert wird.

Die Implementierung einer CO<sub>2</sub>-Abscheidetechnologie bedarf in jedem Fall Energie. Mit dem Ziel Treibhausgasemissionen einzusparen, muss die zusätzlich benötigte Energiemenge nachhaltig zur Verfügung gestellt werden; dazu muss entweder in dieser Größenordnung Energie eingespart werden, um sie für die Abscheidetechnologie zur Verfügung zu stellen, oder im Bereich der Erneuerbaren Energieträger ausgebaut werden.

Technologieauswahl: Aufgrund des Reifegrads und der Anpassungsfähigkeit an bestehende Anlagen (Flexibilität hinsichtlich Strom-Wärme-Produktion), wird derzeit eine Technologie basierend auf Aminwäsche als bevorzugte Technologie empfohlen.

Vermeidung von Verlagerungseffekten: Es ist sicherzustellen, dass die Implementierung von Carbon Capture Technologien nicht zu einer Verschiebung von Abfällen hin zu anderen Entsorgungsmöglichkeiten wie z.B. der Deponierung führt. Eine systemische Betrachtung der gesamten Abfallwirtschaftskette ist erforderlich.

Es gilt klare regulatorische und wirtschaftliche Rahmenbedingungen zu schaffen.

Demonstrationsanlage als Leuchtturmprojekt: Eine einzelne, öffentlich geförderte Demonstrationsanlage sollte als Lernort für Betreiber, Politik und Öffentlichkeit fungieren (ähnlich dem Schweizer Modell). Offenheit, Transparenz und zugängliche Daten sind zentrale Voraussetzungen. Eine Verknüpfung mit bestehenden Leuchtturmförderungen wird empfohlen.

Bei CO<sub>2</sub>-Zertifikatpreisen bis ca. 80 EUR/t CO<sub>2</sub>,fossil besteht basierend auf den Berechnungen und Überlegungen innerhalb dieses Projektes aus ökonomischer Sicht kein Handlungsbedarf, da der Effekt auf Abfallgebühren im Bereich des Grundrauschens liegen würde.

Bei zu erwartenden CO<sub>2</sub>-Zertifikatpreisen bis ca. 200 EUR/t CO<sub>2</sub>,fossil kann die Erweiterung der Produzentenverantwortung auf kunststoffhaltige Produkte ins Auge gefasst werden, um die Kostenverantwortung von Kommunen auf Hersteller zu übertragen, somit eine sozial gerechtere Belastung der Bürger\*innen zu erreichen und ökologisch vorteilhafte Substitutionseffekte zu induzieren. Bis zu diesem ETS-Preis blieben die kommunalen, einwohnerspezifischen Abfallgebühren im bisherigen Bereich.

Bei höheren, zu erwartenden CO<sub>2</sub>-Zertifikatpreisen ist die CCS-Behandlung bei gleichzeitiger Inanspruchnahme von Carbon Contracts for Difference zu empfehlen, um das Risiko für MVA-Anlagenbetreiber im Falle fallender ETS-Preise zu reduzieren.

Bei CCS-Behandlung ist zu berücksichtigen, dass feuchtes Biotonnenmaterial als einzige massenrelevante Fraktion durch intensivierte Getrennterfassung dem Anlageninput entzogen werden könnte, da die Mehrkosten durch CCS-Behandlung fraktionsaliquot trotz Gutschriften gegenüber der alternativen Getrennterfassung nicht kompetitiv sein könnten.

Parallel zur Anlagentechnologie muss der Aufbau einer nationalen oder grenzüberschreitenden CO<sub>2</sub>-Transport- und Speicherinfrastruktur vorangetrieben werden.

Wie schon erwähnt, ist das Thema CCUS bei der Siedlungsabfallverbrennung noch mit großen Unsicherheiten bis hin zu Unwissen behaftet.

Forschungsbedarf ist sowohl in der technologischen Weiterentwicklung als auch in wirtschaftlicher Sicht gegeben sowie in der umfassenden Bewertung der Klimawirkung und der gesellschaftlichen Akzeptanz. Forschungs- und Entwicklungsanstrengungen sollten sich daher in naher Zukunft v.a. auf folgende Aspekte konzentrieren:

Technologische Entwicklungen

## Optimierungsansätze und Effizienzsteigerung:

Die Weiterentwicklung von CO<sub>2</sub>-Abscheidungstechnologien sollte auf eine Steigerung der Abscheidungsraten bei gleichzeitig sinkendem Energie- und Ressourcenverbrauch abzielen. Zentrale Forschungs- und Entwicklungsfragen konzentrieren sich auf technologische Lösungen, die den Betriebskostenaufwand senken und die Integration in bestehende Anlagen erleichtern (z.B. durch möglichst platzsparende Lösungsansätze).

## Demonstrationsanlage als Leuchtturmprojekt:

Die Errichtung einer öffentlich geförderten Demonstrationsanlage wird als essenzieller Schritt zur technologischen, politischen und gesellschaftlichen Lernkurve angesehen. Eine solche Anlage sollte als Reallabor für Betreiber\*innen, politische Entscheidungsträger\*innen und die interessierte Öffentlichkeit fungieren und wissenschaftlich begleitet werden. Transparenz, offene Datenverfügbarkeit und nachvollziehbare Kommunikation sind dabei Grundvoraussetzungen für das Vertrauen in die Technologie. Die Kopplung an bestehende Förderinstrumente für Leuchtturmprojekte wird empfohlen, um Synergien in der Innovationsförderung zu nutzen.

## Nachhaltigkeit, Wirtschaftlichkeit, soziale Auswirkungen und Akzeptanz

### Nachhaltigkeitsbewertung mittels Lebenszyklusanalyse (LCA)

Um fundierte Entscheidungen über den Einsatz von CDR-Technologien in der Abfallwirtschaft treffen zu können, ist eine umfassende Nachhaltigkeitsbewertung unerlässlich. Die Lebenszyklusanalyse (LCA) bietet hierfür ein etabliertes Instrument, um Umweltwirkungen über den gesamten Lebenszyklus – von der Abfallaufbereitung über die CO<sub>2</sub>-Abscheidung bis hin zur Speicherung oder Nutzung – systematisch zu erfassen. Dabei werden neben Treibhausgasemissionen auch weitere Umweltkategorien wie Ressourcenverbrauch, Luft- und Wasseremissionen sowie potenzielle Schädwirkungen auf Ökosysteme berücksichtigt. Ergänzend zur ökologischen Bewertung kann die LCA mit sozioökonomischen Methoden wie dem Social Life Cycle Assessment (S-LCA) und Life Cycle Costing (LCC) kombiniert werden, um eine ganzheitliche Nachhaltigkeitsbewertung sicherzustellen. Dies ermöglicht nicht nur eine technologieübergreifende Vergleichbarkeit, sondern schafft auch Transparenz für Politik, Wirtschaft und Gesellschaft hinsichtlich der tatsächlichen Auswirkungen von CCUS-Maßnahmen im Abfallsektor.

## Ökonomische Integration in die Wertschöpfungs- und Abfallbehandlungskette

Die erfolgreiche Etablierung von Carbon Dioxide Removal (CDR)-Technologien in der Siedlungsabfallwirtschaft erfordert eine

ganzheitliche, systemische Bewertung. Durch den Einsatz von den oben genannten Methoden ökologische, ökonomische und soziale Auswirkungen entlang der gesamten Prozesskette präzise erfasst und bewertet werden. In Folge dessen ist das Ziel, integrierte Geschäftsmodelle zu entwickeln, die neben der technischen Machbarkeit auch wirtschaftliche und ökologische Tragfähigkeit sowie gesellschaftliche Akzeptanz gewährleisten.

#### Systemische Bewertung von Kosten und Preissystemen

Die zukünftige Preisgestaltung für Emissionen – insbesondere unter Berücksichtigung des Anteils biogenen vs. fossilen Kohlenstoffs – erfordert differenzierte Ansätze. Konzepte wie die Ökomodulation, also die ökologische Differenzierung von Entsorgungsgebühren, können gezielte Anreize für emissionsärmere Produkte setzen. Hierfür sind umfassende Analysen zu den Kostenentwicklungen sowie zur sozialen Verträglichkeit solcher Systeme erforderlich. Ein besonderer Fokus liegt auf der Entwicklung fairer Finanzierungsmodelle, um die Belastung für Haushalte und Betriebe sozial ausgewogen zu gestalten.

#### Innovative Finanzierungsmodelle und Datengrundlagen

Innerhalb des vorliegenden Forschungsvorhabens konnten erste konzeptionelle Überlegungen zu innovativen Finanzierungsinstrumenten angestellt werden – darunter auch die potenzielle Anwendung der erweiterten Produzentenverantwortung im Kontext von CO<sub>2</sub>-Emissionen. Um diese Modelle in der Praxis zu konkretisieren, sind jedoch vertiefende Analysen notwendig. Insbesondere bedarf es aktueller und differenzierter Daten zu biogenem und fossilem Kohlenstoffgehalt in Konsumgütern – idealerweise gegliedert nach Produktgruppen und Nutzungskategorien –, die nach Ende der Lebensdauer im Siedlungsabfall landen. Diese Daten bilden eine wesentliche Grundlage für gezielte Lenkungsmaßnahmen und verursachergerechte Kostenallokationen.

#### **Projektkoordinator**

- BEST - Bioenergy and Sustainable Technologies GmbH

#### **Projektpartner**

- Universität für Bodenkultur Wien