

## CONCLUSION

CO2 reduction on industrial composting plants using GNSS-based cooperative localization

|                                 |  |                        |               |
|---------------------------------|--|------------------------|---------------|
| <b>Programm / Ausschreibung</b> | Weltraum, Weltraum, ASAP Ausschreibung 2022  | <b>Status</b>          | abgeschlossen |
| <b>Projektstart</b>             | 01.10.2023                                   | <b>Projektende</b>     | 30.09.2025    |
| <b>Zeitraum</b>                 | 2023 - 2025                                  | <b>Projektlaufzeit</b> | 24 Monate     |
| <b>Keywords</b>                 | CO2-Reduktion; Kooperative Navigation; GNSS; |                        |               |

### Projektbeschreibung

Die Kompostierung von organischen Abfällen leistet einen wesentlichen Beitrag zum Klimaschutz. Dennoch entstehen bei der Kompostierung klimaschädliche Treibhausgase, wie z.B. Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) oder Methan (CH<sub>4</sub>). Das Projekt zielt darauf ab, klimaschädliche Emissionen bei der gewerblichen Kompostierung zu verringern. Dabei wird im Projekt auf drei Säulen zur Emissionsreduktion gesetzt.

Die erste Säule ist ein innovatives Konzept zur GNSS-basierten kooperativen Lokalisierung von mehreren elektrisch angetriebenen, autonomen Kompostwendern (e-Wendern), welches im Projekt entwickelt und getestet wird. Durch häufigeres Wenden des Komposts mit klimafreundlichen e-Wendern soll die Entstehung von klimaschädlichen Treibhausgasen während der Rotte verringert werden. Um das Konzept zu testen, werden Arbeitsmaschinen auf einer Kompostieranlage mit low-cost GNSS-Empfängern ausgestattet. Durch Kombination der Messungen der low-cost-Empfänger mit den Messungen an einer dynamischen GNSS-Referenzstation (Basislinienauswertung über doppelt-differenzierte Trägerphasen) sollen die Positionen der Arbeitsmaschinen genau bestimmt werden. Eine Vernetzung von Maschinen mit GNSS-Sensorik unterschiedlicher Qualität und experimentelle Erprobung im Laborbetrieb stellt eine absolute Neuheit dar. Zweite Säule ist die Entwicklung eines Sharing-Konzepts für Arbeitsmaschinen mit einem innovativen Systems-Engineering-Ansatz. Die Idee ist, dass sich mehrere Kompostieranlagen autonome e-Wender teilen, um so Ressourcen zu sparen. Die e-Wender sind mit GNSS-Empfängern ausgestattet und werden ausgehend von Verteilerzentren (Hubs) zu den jeweiligen Kompostieranlagen transportiert. So können auch kleine Kompostieranlagen umweltfreundlich kompostieren und müssen nicht auf dieselgetriebene Geräte zurückgreifen.

Dritte Säule ist die Entwicklung eines Emissionsmodells mithilfe einer gekoppelten Computational Fluid Dynamics (CFD)-Diskrete Elemente Methode (DEM)-Simulation. Es soll untersucht werden, wie CO<sub>2</sub> und CH<sub>4</sub> während des Kompostwende Prozesses freigesetzt werden. Auf Basis der Simulation soll untersucht werden, welche Maßnahmen zur Emissionsreduzierung möglich wären. Durch Messen und Georeferenzieren der tatsächlichen Emissionen können Emissions-Heatmaps erstellt und die Simulationen validiert werden.

Als Ergebnis des Projekts soll sich durch eine abschließende Evaluierung der Emissionsreduktion herausstellen, wie viele CO<sub>2</sub>- bzw. CH<sub>4</sub>-Emissionen bei der Kompostierung mithilfe der entwickelten Ansätze eingespart werden können.

## Abstract

Composting of organic waste plays a significant role in climate protection. Nevertheless, climate-damaging greenhouse gases such as carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) or methane (CH<sub>4</sub>) are produced in the process of composting. The project aims to reduce climate-damaging emissions in commercial composting. The project is based on three pillars to reduce emissions. The first pillar is an innovative concept for GNSS-based cooperative localisation of several electrically driven, autonomous compost turners (e-Wenders), which is being developed and tested in the project. By turning the compost more frequently with climate-friendly e-turners, the generation of climate-damaging greenhouse gases during rotting is to be reduced. To test the concept, machinery at a composting plant is equipped with low-cost GNSS receivers. By combining the measurements of the low-cost receivers with the measurements at a dynamic GNSS reference station (baseline computation via double-differentiated carrier phases), the positions of the working machines are to be determined precisely. A collaborative localisation of machines with GNSS sensors of varying quality and experimental testing in the laboratory is an absolute novelty.

The second pillar is the development of a sharing concept for working machines with an innovative system engineering approach. The idea is that several composting plants share autonomous e-Wenders to save resources. The e-Wenders are equipped with GNSS receivers and are transported from distribution centres (hubs) to the respective composting plants. In this way, even small composting plants can compost in an environmentally friendly way and do not have to rely on diesel-powered equipment.

The third pillar is the development of an emission model using a coupled Computational Fluid Dynamics (CFD)-Discrete Element Method (DEM) simulation. The aim is to investigate how CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> are released during the compost-turning process. Based on the simulation, it will be investigated which measures could be taken to reduce emissions. By measuring and georeferencing the actual emissions, emission heatmaps can be created and the simulations validated.

As a result, the project's final evaluation of the emission reduction should reveal how many CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> emissions can be saved in composting with the help of the developed approaches.

## Endberichtkurzfassung

Im Projekt CONCLUSION (CO<sub>2</sub> reduction on industrial composting plants using GNSS-based cooperative localization) wurde das UN Sustainable Development Goal 13: Maßnahmen zum Klimaschutz verfolgt. Ziel des Projekts war es, mithilfe von GNSS den CO<sub>2</sub>-Fußabdruck im gesamten Kompostierprozess zu reduzieren.

Die Kompostierung von organischen Abfällen leistet einen wesentlichen Beitrag zum Klimaschutz. Doch nicht jeder Teilaspekt der gewerblichen Kompostierung ist klimafreundlich. In der Dreiecksmietenkompostierung, auf die die meisten heimischen Kompostierbetriebe setzen, wird das zu verrottende Material in langen, dreieckigen Zeilen aufgeschüttet. Das Material muss in regelmäßigen Abständen von Kompostwendemaschinen umgesetzt werden. Diese Kompostwendemaschinen sind häufig dieselbetrieben und manuell – nicht automatisiert – gesteuert. Zusätzlich werden beim Wenden des Materials klimaschädliche Treibhausgase, wie z.B. Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) oder Methan (CH<sub>4</sub>), freigesetzt. Je seltener das Material gewendet wird, desto höher sind die Emissionen.

Das Projekt CONCLUSION zielte darauf ab, klimaschädliche Emissionen in der gewerblichen Kompostierung zu verringern und baut auf den Vorgängerprojekten ANTON und ANDREA auf, in denen ein GNSS-basiertes Navigationsmodul für einen autonom fahrenden, elektrisch angetriebenen Kompostwender (Forschungslabor eWender) entwickelt wurde. Zur Emissionsreduktion setzt CONCLUSION auf drei innovative Entwicklungen.

Die erste Entwicklung ist ein innovatives Konzept zur GNSS-basierten kooperativen Lokalisierung von mehreren elektrisch angetriebenen, autonomen Kompostwendern (eWendern). Die Idee dahinter ist, dass durch häufigeres Wenden des Komposts mit klimafreundlichen eWendern die Entstehung von klimaschädlichen Treibhausgasen während der Rotte verringert werden soll. Das ursprüngliche mobile Forschungslabor eWender aus den Vorprojekten war mit hochpreisiger GNSS-Sensorik ausgestattet. Das in CONCLUSION entwickelte Konzept basiert darauf, dass nur ein eWender mit hochpreisiger Sensorik ausgestattet ist und als mobile GNSS-Referenzstation dient; die restlichen Maschinen sind mit low-cost GNSS-Empfängern und low-cost inertialen Messeinheiten (IMUs) ausgestattet. Alle Empfänger messen Code- und Phasenmessungen. Mittels doppelt differenzierte Trägerphasen können die Basislinien zwischen dem eWender mit hochpreisiger Sensorik und den mobilen low-cost Rovern hochgenau bestimmt werden. Zusätzlich werden IMU Messungen integriert, um kurzfristige GNSS-Ausfälle bei den low-cost Empfängern überbrücken zu können. Alle Beobachtungen werden zentral mittels Faktorgraph-Optimierung prozessiert, um die Zustandsvektoren aller bewegten Maschinen bestimmen zu können. Das Konzept wurde erfolgreich im Laborbetrieb auf der Kompostieranlage getestet.

Die zweite Neuheit war die Entwicklung eines Sharing-Konzepts für Arbeitsmaschinen mit einem innovativen Model-Based Systems Engineering (MBSE)-Ansatz. Die Idee war, dass sich mehrere Kompostieranlagen autonome eWender teilen, um so Ressourcen zu sparen. Die eWender sind mit GNSS-Empfängern ausgestattet und werden ausgehend von Verteilerzentren (Hubs) zu den jeweiligen Kompostieranlagen transportiert. So können auch kleine Kompostieranlagen umweltfreundlich kompostieren und müssen nicht auf dieselgetriebene Geräte zurückgreifen. Das Sharing-Konzept wurde systemisch konzipiert und auch technisch implementiert. Durch Model-Based Systems Engineering (MBSE) entstand eine klare Systemarchitektur mit Stakeholder-Modellen und detaillierten Ablaufdiagrammen. Die technische Umsetzung bestand aus Standortplanung, Routenoptimierung und einer Agent-based Simulation (ABS), die dynamische Szenarien realitätsnah abbildete. Highlights waren eine effiziente Routenplanung in Verbindung mit einem nutzerfreundlichen Buchungssystems: Nutzer des Sharing Systems können auswählen, zu welchem Zeitslot ein Gerät gebucht werden soll. Der Routing-Algorithmus berechnet anschließend den optimalen Roundtrip. Das Sharing-System gewährleistet Flexibilität für Nutzer bei gleichzeitiger optimierter Routenführung. Die Agent-based Simulation ermöglichte robuste Tests bei dynamischen Szenarien.

Die dritte Neuheit war die Entwicklung eines Emissionsmodells mithilfe einer gekoppelten Computational Fluid Dynamics (CFD)-Diskrete Elemente Methode (DEM)-Simulation. Dabei sollte untersucht werden, wie CO<sub>2</sub> und CH<sub>4</sub> während des Kompostwende Prozesses freigesetzt werden. Der Ansatz bildet die Partikel-Luft-Wechselwirkung ab und quantifiziert Geschwindigkeitsfelder, die in ein Mehrphasen-CFD-Modell zur Abbildung des Transports und der Dispersion von CO<sub>2</sub> und CH<sub>4</sub> integriert wurden. Die Kalibrierung erfolgte auf Grundlage von DEM-Parametern aus dem Vorgängerprojekt ANDREA sowie experimentellen Messungen der Luftströmung und Gaskonzentrationen aus zwei Messkampagnen. Das Modell reproduziert die Verteilung der Emissionen während des Wendens und stellt somit ein validiertes Simulationsmodell des Emissionsprozesses dar. Die experimentellen Ergebnisse zeigten, dass die CO<sub>2</sub>- und CH<sub>4</sub>-Konzentrationen während des Wendens ansteigen, die zusätzlichen Emissionen im Vergleich zur Ruhephase jedoch nicht so groß sind, dass ein aktives Abscheidesystem ökonomisch sinnvoll erscheint. Dennoch wurde das CFD-DEM-Simulationsmodell genutzt, um prinzipiell zu demonstrieren, wie ein solches System funktionieren könnte. Zu diesem Zweck wurde im Simulationsmodell ein konzeptionelles Abscheidesystem implementiert. Durch die Einführung einer Einhausung und einer geführten Absaugung hinter dem e-Wender konnte im Modell gezeigt werden, dass Emissionsschwaden wirksam aufgefangen werden können.

Abschließend wurden im Projekt im Rahmen eines Partial Life Cycle Assessments die klimarelevanten Auswirkungen des

elektrisch angetriebenen eWenders im Vergleich zu einem herkömmlichen Dieselwender untersucht. Betrachtet dabei wurden die Emissionen während der Nutzungsphase unter Berücksichtigung der jährlichen Einsatzzeiten sowie dem dokumentierten Energie- und Materialverbrauch. Der eWender kam dabei in Summe auf 686 kgCO<sub>2</sub> e pro Jahr, während der Dieselwender auf 14.375 kgCO<sub>2</sub> e pro Jahr kam. Somit können durch die Nutzung mehrerer eWender auf einer Kompostieranlage bzw. durch das Sharing-Konzept, mithilfe dessen eWender zwischen Kompostieranlagen geteilt werden können, signifikante Mengen an CO<sub>2</sub> eingespart werden. Durch das Abscheidesystem können Emissionen weiter reduziert werden.

### **Projektkoordinator**

- Technische Universität Graz

### **Projektpartner**

- Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg - Institut für Logistik und Materialflusstechnik
- Pusch & Schinnerl GmbH
- Sonnenerde GmbH