

## INTEGRAL

INTelligEnt GlyceRin wAste recyLing

<b>Programm / Ausschreibung</b>	Produktionstechnologien, Produktionstechnologien, Schlüsseltechnologien für nachhaltige Produktion Ausschreibung 2022	<b>Status</b>	laufend
<b>Projektstart</b>	01.01.2023	<b>Projektende</b>	31.12.2025
<b>Zeitraum</b>	2023 - 2025	<b>Projektlaufzeit</b>	36 Monate
<b>Keywords</b>	Machine Learning; Glycerin waste recycling; Deposit avoidance		

### Projektbeschreibung

In einem laufenden FFG-Frontrunner-Projekt ("Glycerin2Propanol", G2P, Projekt-Nr. 879587) wird ein Verfahren zur Herstellung von Propanol aus Rohglycerin entwickelt, wobei das erzeugte Propanol als fortschrittlicher Biokraftstoff gemäß der EU-Richtlinie für erneuerbare Energien (RED II) eingesetzt wird. Die zugehörige Pilotanlage wird Mitte 2023 in Betrieb gehen. In einem Teil dieses Prozesses fällt ein Abfallstrom an, der hauptsächlich aus nicht umgewandeltem Glycerin, Matter Organic Non-Glycerol (MONG, einschließlich Fettsäuren) und festen Salzen besteht. Das derzeitige Anlagenkonzept sieht vor, diese Abfälle einer Deponie zuzuführen, wobei keine weitere Behandlung dieser Abfälle im Sinne der Kreislaufwirtschaft vorgesehen ist.

Ziel dieses Projektes ist es, ein Verfahren zur Verwertung dieser Glycerinabfälle im Sinne der Kreislaufwirtschaft im Labormaßstab zu entwickeln. Durch Hinzufügen weiterer Trennschritte soll die Effizienz des gesamten G2P-Prozesses weiter gesteigert werden, indem die Abfallströme verringert und die Anzahl der verwertbaren Produkte, d.h. gereinigtes, nicht umgewandeltes Glycerin und Salze, erhöht wird. Um den optimalen Betrieb des Glycerinabfallprozesses angesichts der stark schwankenden Einsatzstoffe zu ermöglichen, wird ein digitaler Zwilling für diesen Prozess erstellt, der mit Machine Learning-Methoden verknüpft wird. Letztere sollen die Robustheit und Effizienz des Glycerinabfall-Recyclingprozesses deutlich verbessern, indem sie den jeweiligen Einsatzstoff erkennen und im Betriebsmodus der Glycerinabfallanlage darauf reagieren, mit dem Ziel, möglichst wenig Abfall zu deponieren und möglichst viele verwertbare Produkte zu erzeugen. Der Nachweis der Einsparungen wird im Projekt durch die Erarbeitung konkreter, kommerziell relevanter Anwendungsfälle erbracht.

Die wirtschaftlichen Vorteile der geplanten Lösung liegen in der Minimierung des zu deponierenden Abfalls, dem minimalen Energieverbrauch durch das hocheffiziente TCDC-Trennkonzentrat und der hohen Prozesssicherheit durch den Einsatz von Machine Learning Methoden. Eine erste Schätzung, die sich aus den Betriebskosten des Glycerin-Abfallprozesses, den Entsorgungskosten und den Gewinnen aus dem Verkauf von recycelten Produkten zusammensetzt, beziffert den wirtschaftlichen Nutzen auf 125 Euro pro Tonne Abfall im Vergleich zu einer Entsorgungslösung.

Der Gesamtmarkt für die Projektergebnisse kann wie folgt geschätzt werden: Im Zuge des G2P-Projekts sollen eine oder

mehrere kommerzielle Anlagen mit einer Kapazität von jeweils 100 Kilotonnen Propanol pro Jahr (kta) in Betrieb gehen. Bei einer 100 kta Anlage fallen ca. 33 kta Glycerinabfälle an, von denen 50 Gew.-% (16,5 kta) als Streusalz verwendet werden können. Mit dieser Menge könnte der Streusalzbedarf der Stadt Wien für ein ganzes Jahr gedeckt werden.

Die Relevanz des Projekts geht über Recyclingprobleme hinaus und betrifft alle industriellen Fest-Flüssig-Trennaufgaben, die durch häufig wechselnde Einsatzstoffe gekennzeichnet sind und ohne den Einsatz von Machine Learning-Methoden nur suboptimal betreibbar sind. Damit ist das Projekt für viele Bereiche der Prozessindustrie interessant, in denen ein digitaler Zwilling des Prozesses durch Machine-Learning-Methoden ergänzt werden kann, um unterschiedliche Einsatzstoffe zu erkennen und auf diese im Anlagenbetrieb zu reagieren, um so die Robustheit und Effizienz des Prozesses zu optimieren. Die Alleinstellungsmerkmale des Projekts umfassen den Einsatz des neuartigen TCDC-Trennkonzepes zur effizienten Fest-Flüssig-Trennung, auch bei schwierigen und häufig wechselnden Einsatzstoffen wie Glycerinabfällen, sowie die Kombination eines digitalen Zwillings mit Machine-Learning-Methoden zum optimalen Anlagenbetrieb bei häufig wechselnden Einsatzstoffen, die dadurch realisiert wird, dass der jeweilige Einsatzstoff von der G2P-Anlage erkannt wird und im Betriebsmodus der Glycerinabfallanlage darauf reagiert wird.

Die wirtschaftlichen Vorteile der geplanten Lösung liegen in der Minimierung des zu deponierenden Abfalls, einem minimalen Energieverbrauch durch den Einsatz des hocheffizienten TCDC-Trennkonzepes und einer hohen Prozesssicherheit durch den Einsatz von Machine Learning Methoden. Eine erste Schätzung, die sich aus den Betriebskosten des Glycerin-Abfallprozesses, den Entsorgungskosten und den Gewinnen aus dem Verkauf von Recyclingprodukten zusammensetzt, beziffert den wirtschaftlichen Nutzen auf 125 Euro pro Tonne Abfall im Vergleich zu einer Entsorgungslösung.

Der Gesamtmarkt für die Projektergebnisse kann wie folgt geschätzt werden: Im Zuge des G2P-Projekts sollen eine oder mehrere kommerzielle Anlagen mit einer Kapazität von jeweils 100 Kilotonnen Propanol pro Jahr (kta) in Betrieb gehen. Bei einer 100 kta-Anlage fallen ca. 33 kta Glycerinabfälle an, von denen 50 Gew.-% (16,5 kta) als Streusalz verwendet werden können. Mit dieser Menge könnte der Streusalzbedarf der Stadt Wien für ein ganzes Jahr gedeckt werden.

## **Abstract**

In an ongoing FFG frontrunner project ('Glycerin2Propanol', G2P), project no. 879587), a process for the production of propanol from crude glycerin is being developed, where the propanol produced is used as an advanced biofuel according to EU's Renewable Energy Directive (RED II). The associated pilot plant will go into operation in mid-2023. In one section of this process, a waste stream consisting mainly of unconverted glycerin, Matter Organic Non-Glycerol (MONG, including fatty acids) and solid salts arises, which is hereinafter referred to as glycerin waste. However, the current plan is to send this waste to a deposit, and no further treatment of this waste in the sense of circular economy is provided.

The goal of this project is to develop a process for exploitation of this glycerin waste in view of circular economy on a lab-scale. By adding further separation steps, the efficiency of the overall G2P process will be further enhanced by diminishing waste streams and increasing the number of usable products, i.e., purified unconverted glycerin and salts. To enable optimal operation of the glycerin waste process in view of the strongly varying feedstock inputs, a digital twin for this process is created and Machine Learning methods are applied. The latter should significantly improve the robustness and efficiency of the glycerin waste recycling process by recognizing the respective feedstock and reacting to it in the glycerin waste plant operation mode, with the aim to minimize waste to be deposited and to produce as many usable products as possible. Proof

of the savings will be provided in the project by elaboration of concrete, commercially relevant use-cases.

The economic advantages of the planned solution include the minimization of waste to be deposited, minimum energy consumption by using the highly efficient TCDC separation concept, and high process reliability through the use of Machine Learning methods. An initial estimate comprising OPEX of the glycerin waste process, waste disposal costs and profits from selling value-added products, puts the economic benefit at 125 euros per ton of waste, compared to a disposal solution. The total market for the project results can be estimated as follows: In the course of the G2P project, one or several commercial plants with a capacity of 100 kilotons per year (kta) of propanol each are planned to go into operation. For a 100 kta plant, approx. 33 kta of glycerin waste arise, from which 50 wt% (16.5 kta) can be used as road salt. With this amount, the road salt demand of the city of Vienna for one whole year could be covered.

The relevance of the project goes beyond recycling problems and concerns all industrial solid-liquid separation tasks characterized by frequently changing feedstocks, which are suboptimal to operate without the use of Machine Learning methods. Thus, the project is of highest interest for many areas of the process industry where a digital twin of the process can be supplemented by Machine Learning methods to recognize different feedstocks and to react to these in the plant operation mode, in order to optimize the robustness and efficiency of the process. The unique selling points of the planned results include the use of the novel TCDC separation concept for efficient solid-liquid separation, even in case of difficult and frequently changing feedstocks like glycerin waste, and the combination of a digital twin with Machine Learning methods for optimal plant operation at frequently changing feedstocks, which is realized by recognizing the respective feedstock of the G2P plant and reacting to it in the operation mode of the glycerin waste plant.

The economic advantages of the planned solution include the minimization of waste to be deposited, minimum energy consumption by using the highly efficient TCDC separation concept, and high process reliability through the use of Machine Learning methods. An initial estimate comprising OPEX of the glycerin waste process, waste disposal costs and profits from selling value-added products, puts the economic benefit at 125 euros per ton of waste, compared to a disposal solution.

The total market for the project results can be estimated as follows: In the course of the G2P project, one or several commercial plants with a capacity of 100 kilotons per year (kta) of propanol each are planned to go into operation. For a 100 kta plant, approx. 33 kta of glycerin waste arise, from which 50 wt% (16.5 kta) can be used as road salt. With this amount, the road salt demand of the city of Vienna for one whole year could be covered.

## **Endberichtkurzfassung**

Ziel dieses Projektes war die Entwicklung eines Verfahrens im Labormaßstab zur Verwertung von Glycerinabfällen im Sinne der Kreislaufwirtschaft.

Dabei handelt es sich um Abfälle einer Anlage zur Herstellung von Propanol aus Rohglycerin, wobei das erzeugte Propanol als fortschrittlicher Biokraftstoff gemäß der EU-Richtlinie für erneuerbare Energien (RED II) zugelassen ist. In einem Teil dieses Prozesses fällt ein Abfallstrom an, der hauptsächlich aus nicht umgewandeltem Glycerin, Matter Organic Non-Glycerol (MONG, einschließlich Fettsäuren) und festen Salzen besteht.

Zu diesem Zweck wurden Versuche im Technikumsmaßstab durchgeführt, um mögliche Konfigurationen des

Abfallverwertungsprozesses zu identifizieren. Als Herzstück des Prozesses wurde ein Taylor-Couette-Disc-Contactor (TCDC) eingesetzt, der die erforderliche Trennleistung bei minimalem Energieeinsatz und stabilem Betriebsverhalten sicherstellt. Nachdem ein Spektrum verschiedener Einsatzstoffe für die Anlage verfügbar gemacht wurde, wurde die Technikumsanlage mit dieser Varianz an Einsatzstoffen betrieben und damit eine breite Datenbasis für einen digitalen Zwilling des Prozesses geschaffen. Dieser digitale Zwilling wurde zunächst in Form einer Flowsheet-Simulation aufgebaut und anhand der Versuchsdaten kalibriert. Das resultierende „white-box“ Modell wurde auf Grundlage der design-of-experiments (DoE) Methode durch „black-box“ Modelle in Form künstlicher neuronaler Netze ergänzt und zu einem „gray-box“ Modell weiterentwickelt, das sich gegenüber der Flowsheet-basierten Lösung durch höhere Stabilität und kürzere Rechenzeiten auszeichnet. Im nächsten Schritt wurde ein Machine-Learning Tool entwickelt, um optimale Betriebsparameter des Abfallverwertungsprozesses für verschiedene Einsatzströme zu bestimmen. Dazu wurden im Rahmen einer Einflussgrößenanalyse die Massenströme sowie die Gehalte an Glycerin und MONG als Parameter identifiziert und mit diesen eine multikriterielle Optimierung auf Grundlage des Non-dominated Sorting Genetic Algorithm II (NSGA-II) implementiert. Das finale Modell wurde als Verknüpfung dieses Machine-Learning Tools mit dem digitalen Zwilling in der Wolfram Language implementiert. Abhängig vom aktuellen Abfallstrom, welcher der Abfallverwertungsanlage zugeführt wird, erstellt das Tool eine Pareto-Front, die den bestmöglichen Kompromiss gegensätzlicher Betriebsparameter darstellt, um die Anlage optimal zu betreiben. Ergänzend zur technischen Lösung wurde auf Grundlage einer Wirtschaftlichkeitsanalyse eine Verwertungsstrategie entwickelt, welche eine rückstandsfreie Verwertung der Abfallstoffe abhängig vom eingesetzten Rohglycerin in Form von Streusalz, Düngemittelausgangsstoffen sowie Einsatz für Biogasanlagen vorschlägt.

Die Methodik des Projekts geht über Recyclingprobleme hinaus und kann auf alle industriellen Fest-Flüssig-Trennaufgaben übertragen werden, die durch häufig wechselnde Einsatzstoffe gekennzeichnet sind und ohne den Einsatz von Machine Learning-Methoden nur suboptimal betreibbar sind. Damit ist das Projekt für viele Bereiche der Prozessindustrie interessant, in denen ein digitaler Zwilling des Prozesses durch Machine-Learning-Methoden ergänzt werden kann, um unterschiedliche Einsatzstoffe zu erkennen und auf diese im Anlagenbetrieb zu reagieren, um so die Robustheit und Effizienz des Prozesses zu optimieren.

## **Projektkoordinator**

- Technische Universität Graz

## **Projektpartner**

- OMV Downstream GmbH
- Prozess Optimal CAP GmbH