

HTC-Klärschlamm: Machbarkeitsstudie zur Düngerherstellung und Prozesswasserverwertung

Projektdauer 2021 - 2022

Projektteam G. Gerner, J. W. Chung, L. Meyer, R. Wanner, S. Heiniger, D. Seiler, R. Krebs, A. Treichler, R. Kontic und B. Kulli
Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften, Wädenswil

Zusammenfassung

Um eine Kreislaufwirtschaft zu erreichen, müssen nährstoffreiche Abfallströme wie Klärschlamm als Ressource genutzt werden, anstatt sie auf einer Deponie zu entsorgen oder ungenutzt zu verbrennen. Um dieses Ziel zu erreichen, trat 2016 mit der Verordnung über die Vermeidung und die Entsorgung von Abfällen (VVEA) in der Schweiz eine neue Regelung in Kraft, welche ab 2026 eine Phosphorrückgewinnungspflicht (VVEA, Artikel 15) aus phosphorreichen Abfällen wie Klärschlamm, sowie Tier- und Knochenmehl verlangt. In den letzten Jahren gab es hierbei vielversprechende Entwicklungen zur Phosphorrückgewinnung direkt aus dem Klärschlamm oder nach dessen Verbrennung aus der Klärschlammasche. Im Bereich der Verwertung von nassem Klärschlamm ermöglicht der Prozess der hydrothermalen Karbonisierung (HTC) eine mehrfache Nutzung der Ressource Klärschlamm. HTC erhöht zum einen die Entwässerbarkeit des Faulschlammes, was zu einer Einsparung der thermischen Energie bei der Verbrennung führt, und zudem kann neben dem Nährstoff Phosphor auch ein Teil des Stickstoffes zurückgewonnen werden.

In dieser Studie wurde die Gewinnung eines schwermetallfreien Düngemittels aus ausgefaultem, karbonisiertem Klärschlamm und die Verbesserung der Prozesswasserbehandlung untersucht. In einem ersten Schritt wurde hierzu der Klärschlamm unter hohem Druck und hoher Temperatur in Kohle umgewandelt, um anschliessend den gebundenen Phosphor von der HTC-Kohle mittels Säure zu extrahieren und in die flüssige Phase zu überführen. Somit konnte nach dem Entwässern und Trocknen die Kohle als Brennstoff erhalten bleiben, während vorgängig die Nährstoffe entzogen wurden. Der im Faulschlamm enthaltene Stickstoff wurde zu über 50% in die flüssige Phase überführt, welcher später für die Düngerherstellung verwendet wurde und zudem zu einer Aufwertung der Kohle als Brennstoff führte. Bei der sauren Phosphorextraktion der Kohle werden auch andere Metalle gelöst, welche am Phosphor gebunden waren. Der grösste Anteil stammt von Fällungsmitteln wie Eisen- und Aluminiumsalzen, welche zu über 97% bei der Aufreinigung mit Ionenaustauscherharzen aus dem Säureextrakt zurückgewonnen werden konnten und für eine spätere Wiederverwendung in der Kläranlage zur Verfügung stehen. Das aufgereinigte Säureextrakt diente später als Phosphorquelle für die Struvitfällung, welches als Dünger in der Landwirtschaft wieder zum Einsatz kommt.

Ein weiteres Produkt des HTC-Prozesses ist das Prozesswasser, welches große Mengen an organischen Verbindungen enthält, die während der aeroben Behandlung in Kläranlagen Energie benötigen, um zersetzt und entfernt zu werden. Um einen grossen Teil der gelösten organischen Verbindungen vorgängig zu entfernen, wurde die Gefrierkonzentration als vielversprechende Alternative zur Verdampfung und Membrantrennung untersucht. Im Vergleich zur Verdampfung hat diese einen siebenmal geringeren Energieverbrauch und ist

widerstandsfähiger gegenüber korrosiven Abwässern. Trennungsversuche zeigten eine Rückgewinnung von über 90% der gelösten Verbindungen im Konzentrat. Dieses kann für die Rückgewinnung wertvoller Verbindungen weiterverwendet oder direkt in den HTC-Prozess als Kohlenstoffquelle zurückgeführt werden, um somit die Kohlenstoffeffizienz des Prozesses zusätzlich zu erhöhen. In der vorliegenden Studie wurde das Konzentrat als Ammoniumquelle für die Struvitfällung verwendet, um den enthaltenen Stickstoff für die Düngerherstellung zu nutzen.

Folgende Projektziele wurden erreicht:

- Gesamt-Phosphorrückgewinnung vom Klärschlamm bis zum Dünger von über 64%.
- Mit Hilfe eines Ionenaustauscherharzes konnten über 97% des im Säureextrakt enthaltenen Eisen und Aluminium zurückgewonnen werden.
- Herstellung eines schwermetallarmen Struvitdüngers (Schwermetallgehalte für Ni, Cu, Zn, Cd und Pb unterhalb der MinRec-Grenzwerte (ChemRRV)).
- Ein Teil des gelösten Stickstoffes diente als Stickstoffquelle für die Herstellung des Struvit-Düngers und konnte somit als Nährstoff wieder verfügbar gemacht werden.
- Aus dem Prozesswasser konnten mittels Gefrierkonzentration über 90% des organischen Kohlenstoffes und weitere gelöste Stoffe entfernt werden.
- Eine aerobe Behandlung des mittels Gefrierkonzentration aufgereinigten Prozesswassers führte zu einer CSB-Reduktion von 85%.

Abschlussbericht

Der vollständige Projektbericht wurde in der Fachzeitschrift Energies veröffentlicht und ist in englischer Sprache unter folgendem Link frei verfügbar: [Hydrothermal Carbonization of Sewage Sludge: New Improvements in Phosphatic Fertilizer Production and Process Water Treatment Using Freeze Concentration](https://doi.org/10.3390/en16207027) (https://doi.org/10.3390/en16207027)

HTC of sewage sludge: feasibility study for fertilizer production and process water treatment

Project duration 2021 - 2022

Project team G. Gerner, J. W. Chung, L. Meyer, R. Wanner, S. Heiniger,
D. Seiler, R. Krebs, A. Treichler, R. Kontic und B. Kulli
Zurich University of Applied Sciences, Wädenswil

Abstract

In order to achieve a circular economy, nutrient-rich waste streams such as sewage sludge must be used as a resource instead of being disposed of in a landfill or incinerated unused. In order to achieve this goal, a new regulation came into force in Switzerland in 2016 with the Ordinance on the Avoidance and Disposal of Waste (VVEA), which requires phosphorus recovery (VVEA, Article 15) from phosphorus-rich waste such as sewage sludge, as well as animal and bone meal by 2026. In recent years, there have been promising developments in phosphorus recovery directly from sewage sludge or from sewage sludge ash after incineration. In the field of wet sewage sludge recycling, the process of hydrothermal carbonization (HTC) enables multiple use of the sewage sludge resource. On the one hand, HTC increases the dewaterability of the digested sludge, which leads to savings in thermal energy during incineration, and in addition to the nutrient phosphorus, some of the nitrogen can also be recovered.

This study investigated the production of a heavy metal-free fertilizer from digested, carbonized sewage sludge and the improvement of process water treatment. In a first step, the sewage sludge was converted into a char like product under high pressure and high temperature in order to subsequently extract the bound phosphorus from the HTC-char using acid and transfer it to the liquid phase. After dewatering and drying, the coal could thus be retained as a fuel, while the nutrients were removed beforehand. More than 50% of the nitrogen contained in the digested sludge was transferred to the liquid phase, which was later used for fertilizer production, and also led to an upgrading of the HTC-char as a fuel. During the acidic phosphorus extraction of the coal, other metals that were bound to the phosphorus were also dissolved. The largest proportion comes from precipitants such as iron and aluminum salts, over 97% of which were recovered from the acid extract during purification with ion exchange resins and are available for later reuse in the wastewater treatment plant. The purified acid extract was later used as a source of phosphorus for struvite precipitation, which can be reused as a fertilizer in agriculture.

Another product of the HTC process is the process water, which contains large amounts of organic compounds that require energy to be decomposed and removed during aerobic treatment in wastewater treatment plants. In order to remove a large part of the dissolved organic compounds in advance, freeze concentration was investigated as a promising alternative to evaporation and membrane separation. Compared to evaporation, this has seven times lower energy consumption and is more resistant to corrosive wastewater. Separation tests showed a recovery of over 90% of the dissolved compounds in the concentrate. This can be reused for the recovery of valuable compounds or fed directly back into the HTC process as a carbon source to further increase the carbon efficiency of the process. In the present

study, the concentrate was used as an ammonium source for struvite precipitation in order to utilize the contained nitrogen for fertilizer production.

Following project goals were achieved:

- Total phosphorus recovery of over 64% from sewage sludge to fertilizer.
- With the help of an ion exchange resin, over 97% of the iron and aluminum contained in the acid extract could be recovered.
- Production of a low heavy metal containing struvite fertilizer (heavy metal contents for Ni, Cu, Zn, Cd and Pb below the MinRec threshold values (ChemRRV)).
- Part of the dissolved nitrogen served as a source of nitrogen for the production of the struvite fertilizer and could thus be made available again as a plant nutrient.
- Over 90% of the organic carbon and other dissolved substances were removed from the process water by means of freeze concentration.
- Aerobic treatment of the process water purified by means of freeze concentration leads to a COD reduction of 85%.

Final report

The full report was published in the journal Energies and is available for free under following link: [Hydrothermal Carbonization of Sewage Sludge: New Improvements in Phosphatic Fertilizer Production and Process Water Treatment Using Freeze Concentration](https://doi.org/10.3390/en16207027) (<https://doi.org/10.3390/en16207027>)