

Entwicklung von spezifischen Rekultivierungsmaterialien für qualifizierte Abdeckungen von Bergbauhalden und Altlasten

Development of specific recultivation materials for the qualified covering of mining pits and contaminated soils

Projektleiter:**Project leader:**

Natalie Rangno

Projektbearbeiter:**In-charge:**

Dr. Christiane Swaboda

Projektpartner:**Project partners:**

Fraunhofer-Institut für
Keramische Technologien
und Systeme IKTS

SAXONIA Standortent-
wicklungs- und-verwal-
tungsgesellschaft mbH

Veolia Klärschlammverwer-
tung Deutschland GmbH

Umweltconsulting
Hagedorn

Fördermittelgeber:**Co-funded by:**

BMBF

Projekträger:**Project management:**

PTJ

Förderprogramm:**Funding programme:**

WIRI- rECOMine

Förderkennzeichen:**Funding code:**

03WIR1907D

Laufzeit:**Term:**

01.08.2021- 31.07.2024

Teilprojekt IHD:

Untersuchungen zum Einsatz von abgetragenen Pilzsubstraten als Zuschlagstoffe sowie zur Immobilisierung von Schadstoffen

IHD sub-project:

Investigations on the application of excavated mushroom substrates as additives as well as for the immobilisation of contaminants

ZIELSTELLUNG

Das Gesamtziel des Vorhabens war die Entwicklung von spezifischen Rekultivierungsmaterialien (RekuMat) für eine qualifizierte Abdeckung von Bergbauhalden und Altlasten. Übergreifendes wissenschaftlich-technisches Arbeitsziel in RekuMat war die Schaffung einer an den Grundsätzen der Kreislaufwirtschaft orientierten Nutzungsalternative für qualitativ hochwertige Reststoffe, wie kommunale Klärschlämme (KS) sowie abgetragene Pilzsubstrate (APS) aus der Pilzproduktion, in Form von Zuschlagstoffen sowie die Verwendung der lokal verfügbaren Halden- und Bodenmaterialien als Rekultivierungsmaterial (RM) für Altablagerungen und andere Altlasten. Das wesentliche IHD-Teilziel des Verbundprojekts war dabei der Einsatz von APS als Zuschlagstoffe sowie zur Immobilisierung von Schadstoffen.

VORGEHENSWEISE

Im Rahmen des Projekts wurden insgesamt neun Proben von vier Halden in Freiberg entnommen. Ergänzend wurden sechs kommunale KS, die von Veolia bereitgestellt wurden,

OBJECTIVE

The main objective of the project was to develop specific recultivation materials (RekuMat) for the qualified covering of mine dumps and contaminated sites.

A scientific and technical cross-over objective in RekuMat was to create a utilisation alternative based on principles of recyclability for high-quality residues, such as municipal sewage sludge (MSS) or spent substrates from mushroom production (SMS), in the form of additives as well as the use of locally available mine dumps and soil materials as a recultivation material (RM) for existing deposits and other contaminated sites. The main IHD sub-goal of the joint project was the use of APS as additives and for the immobilisation of pollutants.

APPROACH

As part of the project, a total of nine samples were taken from four tips in Freiberg. In addition, six municipal KS, which were provided by Veolia, and 17 SMS from Saxon mushroom farms were included. Three strains of button mushrooms and oyster mushrooms (refe-



Abb. 1: IHD-Laborversuche mit Pilzen und Pflanzen (oben) und Versuchsflächen RekuMat auf der Spülhalde Hammerberg zu drei verschiedenen Zeitpunkten (unten)

Fig. 1: IHD laboratory experiments with fungi and plants (top) and RekuMat test areas on the Hammerberg tailings dump at three different times (bottom)

sowie 17 APS aus sächsischen Pilzbetrieben einbezogen. Für die Laborversuche wurden drei Stämme von Champignons und Seitlingen (Referenzpilze) ausgewählt. Schließlich wurden alle Proben einer physikalischen, chemischen und mikrobiologischen Analyse unterzogen. Die APS und KS wurden mit Abdeckmaterial von der Spülhalde Hammerberg (Kontrollproben RM) und Hydrogelen kombiniert. Es wurden 26 verschiedene Mischungen hergestellt und anhand des Wachstums von Referenzpilzen, Kresse und Gräsern bewertet (Abb. 1, oben).

Basierend auf den Laborergebnissen wurden drei IHD-Rezepturen ausgewählt und entsprechende Mischungen großtechnisch bei der Veolia hergestellt. Schließlich wurden die drei Mischungen und ein Grünschnittkompost mit zwei Gräsern im Freiland getestet und die Wachstumsergebnisse mit Kontrollproben verglichen. Dazu wurde die Versuchsfläche regelmäßig beprobt sowie chemische und biologische Analysen durchgeführt.

rence mushrooms) were selected for the laboratory tests. Finally, all samples were subjected to physical, chemical and microbiological analyses. The SMS and MSS were combined with cover material from the Hammerberg tailings dump (control samples RM) and hydrogels. Twenty-six different mixtures were prepared and evaluated based on the growth of reference fungi, cress and grasses (Fig. 1, top).

Based on the laboratory results, three IHD formulations were selected, and corresponding mixtures were produced on an industrial scale at Veolia. Finally, the three mixtures and a green waste compost were tested with two grasses in the field and the growth results were compared with control samples. For this purpose, the test area was regularly sampled, and chemical and biological analyses were carried out.

ERGEBNISSE

Durch Laborversuche wurde festgestellt, dass verschiedene APS, unabhängig von der Pilzart, besonders gut in der Lage sind, Schwermetalle: wie Pb, Fe, Hg und Zn zu absorbieren. Die APS der Seitlinge können bereits nach 10 h bis zu 100% Hg (5 mg/l) bzw. nach 24 h bis zu 40% Pb (2,5 g/l) aus flüssigen Lösungen aufnehmen. Außerdem ist der Kräuterseitling sehr tolerant gegenüber Schwermetallen wie Pb, Ni, Cu sowie Fe und kann bei einer Belastung von 15 mg/l in flüssigen Medien noch wachsen. Diese Toleranz kann durch Zugabe von 1% Hydrogel verdoppelt werden. Das Pflanzenwachstum war in den RM-Kontrollproben im Vergleich zu den anderen Proben deutlich schlechter. Auch die mikrobielle Diversität war trotz des neutralen pH-Wertes gering. Die Pflanzen wuchsen am besten auf den Mischungen IHD 47 und IHD 50 mit APS des Kräuterseitlings im frischen Zustand bzw. nach der Kompostierung. Dort wurde auch eine erhöhte Anzahl von Regenwürmern festgestellt, aber keine Pilzfruchtkörper gefunden. Die Zugabe von 1% Hydrogel zu zwei Bodenproben hatte keinen signifikanten Einfluss auf das Pflanzenwachstum.

Es wurde nachgewiesen, dass in den frischen APS von Kräuterseitling u.a. nützliche Bakterien, wie *Pseudomonas putida* und *Bacillus subtilis*, enthalten sind. Diese können das Wachstum von Pflanzenwurzeln fördern. Schimmelpilze aus APS, wie *Trichoderma sp.*, produzieren antagonistische Substanzen (Fungizide) gegen Schadpilze, wie z.B. *Pythium* und *Phytophthora*, die Wurzelfäule verursachen.

RESULTS

Laboratory tests have shown that various AGPs, regardless of the type of fungus, are particularly good at absorbing the metals: Pb, Fe, Hg and Zn. After only 10 hours, the AGPs of the mushrooms can absorb up to 100% Hg (5 mg/l) and after 24 hours up to 40% Pb (2.5 g/l) from liquid solutions. Furthermore, the king oyster mushroom is very tolerant to heavy metals such as Pb, Ni, Cu and Fe and can still grow in liquid media at a contamination level of 15 mg/l. This tolerance can be doubled by adding 1% hydrogel.

Plant growth was significantly worse in the PM control samples compared to the other samples. Despite the neutral pH, microbial diversity was also low. The plants grew best on the mixtures IHD 47 and IHD 50 with SMS of the king oyster mushroom in the fresh state or after composting. An increased number of earthworms was also observed there, but no fungal fruiting bodies were found. The addition of 1% hydrogel to two soil samples had no significant effect on plant growth.

It has been shown that fresh SMS of king oyster mushrooms contain, beneficial bacteria such as *Pseudomonas putida* and *Bacillus subtilis*. These can promote the growth of plant roots. Fungi from SMS, such as *Trichoderma sp.*, produce antagonistic substances (fungicides) against harmful fungi, such as *Pythium* and *Phytophthora*, which cause root rot.

ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Auf Grundlage der IHD-Laborergebnisse wurden drei standortspezifische Rekultivierungsmaterialien für die Bergbauhalden in Freiberg von den Projektpartnern entwickelt. Es handelt sich um ein Gemisch aus organischen Reststoffen (KS und APS). Diese Materialien, die Pilze und Bakterien als natürliche Absorber von Schadstoffen und organischen Bestandteilen enthalten, haben sich positiv auf das Pflanzenwachstum ausgewirkt. Artenvielfalt und Bodenfauna der Versuchsflächen auf der Spülhalde Hammerberg haben sich dadurch deutlich verbessert (Abb. 1, unten).

Eine wichtige Erkenntnis war, dass das frische APS nützliche Mikroorganismen enthält, die das Pflanzenwachstum fördern. Sie können auch organische Nährstoffe aus dem Substrat und dem Boden abbauen und sie für die Pflanzen leichter verfügbar machen, was zu einer allgemeinen Verbesserung der Pflanzengesundheit führt.

Das Myzel des Kräuterseitlings kann die Schwermetalle absorbieren bzw. tolerieren, so dass das Pflanzenwachstum trotz erhöhter RM-Belastung (Fe, Zn, Pb, As) in stärkerem Maße stattfinden kann. Obwohl die Zugabe von Hydrogelen das Potenzial hat, die Schwermetalltoleranz der Pilze zu erhöhen, zeigte sie keinen Einfluss auf das Pflanzenwachstum.

So können die neu entwickelten Rekultivierungsmaterialien in Zukunft nicht nur durch ihre wertvollen Inhaltsstoffe als Nahrungsquelle für Bodenorganismen dienen, sondern auch durch ihr mykoremediatorisches Potenzial aktiv zur Bodensanierung beitragen.

SUMMARY AND OUTLOOK

Based on the IHD laboratory results, three site-specific recultivation materials were developed by the project partners for the mining dumps in Freiberg. They are mixed organic residuals (KS and SMS). These materials, which contain fungi and bacteria as natural absorbers of pollutants and organic components, have had a positive impact on plant growth. Species diversity and soil fauna in the test areas on the Hammerberg tailings have improved significantly (Fig. 1, bottom).

An important finding was that the fresh SMS contains beneficial microorganisms that promote plant growth. They can also break down organic nutrients from the substrate and soil and make them more readily available to plants, leading to an overall improvement in plant health.

The mycelium of the king oyster mushroom can absorb or tolerate heavy metals, so that plant growth can take place to a greater extent despite increased RM contamination (Fe, Zn, Pb, As). Although the addition of hydrogels has the potential to increase the fungi's tolerance of heavy metals, it showed no influence on plant growth.

Thus, in the future, the newly developed recultivation materials will not only serve as a food source for soil organisms thanks to their valuable ingredients but will also actively contribute to remediating the soil due to their mycoremediating potential.