

---

# MycoPom - Entwicklung eines Pilzpräparates auf Basis von Traubentrester zur biologischen Sanierung organisch belasteter Böden

---

## Sachbericht zum Verwendungsnachweis – Teil I: Kurzbericht

23.09.2024

GEFÖRDERT VOM



**Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung**

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 031B1324 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei der Autorin/beim Autor.

|                      |   |
|----------------------|---|
| Zahlungsempfänger    | RLP AgroScience gGmbH<br>Breitenweg 71<br>67435 Neustadt  |
| Förderkennzeichen    | 031B1324  |
| Vorhabensbezeichnung | MycoPom   |
| Berichtszeitraum     | 01.10.2022 bis 30.09.2023   |
| Ansprechpartner      | Dipl.-Ing. Thorsten Pollatz<br>Tel.: 06321 671 348<br>eMail: Thorsten.Pollatz@agrosience.rlp.de |

## Aufgabenstellung und Ausgangssituation

Das Projekt „MycoPom“ hat das Ziel, einen nachhaltigen Herstellungsprozess für ein Pilzpräparat auf Basis des landwirtschaftlichen Reststoffs „Traubentrester“ zu entwickeln, das zur biologischen Sanierung organisch belasteter Böden eingesetzt werden soll, um so mehrere Aspekte der Nachhaltigkeit zu adressieren: Zum einen soll der landwirtschaftliche Abfallstoff „Trester“ einer wirtschaftlich und ökologisch wertvollen Nutzung zugeführt werden. Zum anderen zielt das Projekt darauf ab, mit einer biologischen Sanierungstechnik den Umweltzustand der Ressource „Boden“ wiederherzustellen, die als praktisch nicht erneuerbar gilt. Indem belastete Standorte saniert und somit für eine Nachnutzung vorbereitet werden, sollen auch Investitionshemmnisse abgebaut werden. Dies soll einen Beitrag zur Bewältigung eines der gesellschaftspolitischen Großthemen leisten, nämlich der Bodenknappheit und den damit verbundenen steigenden Preisen für Mieten und Immobilien sowie der Verknappung von Bau- und Ackerland. Im Rahmen der Sondierungsphase wurde die Umsetzbarkeit des Projekts hinsichtlich der technischen Realisierbarkeit, des Marktpotenzials und der aktuellen Schutzrechtsituation geprüft. Neben der Analyse der Altlastensituation und des Marktpotenzials sollten auch mögliche Rohstoffnutzungskonflikte und die Verfügbarkeit des Traubentresters geklärt werden. Erste technische Versuche zur Kultivierung des Pilzpräparats auf verschiedenen Trestersorten wurden ebenfalls in der Sondierungsphase durchgeführt, um die Machbarkeit zu validieren.

## Ablauf des Vorhabens

In der Sondierungsphase wurden verschiedene Arbeitsschritte durchgeführt, um die Kernfragen des Projekts zu beantworten:

1. **Analyse der Altlastensituation:** Zu Beginn des Projekts wurde eine umfassende Literaturrecherche durchgeführt, um die Bodenkontamination in Deutschland und Europa zu bewerten und die relevantesten Schadstoffe für das Projekt zu identifizieren. Ziel war es, Schadstoffe zu finden, die häufig vorkommen und gleichzeitig prinzipiell durch Weißfäulepilze wie *Pleurotus ostreatus* abgebaut werden können. Hierzu wurde auf Publikationen des Umweltbundesamts und anderer wissenschaftlicher Quellen zurückgegriffen, um potenzielle Schadstoffe und deren Verbreitung zu analysieren.
2. **Marktanalyse und Identifikation von Wettbewerb und Kunden:** Es wurde eine umfassende Marktanalyse durchgeführt, um bestehende Sanierungsverfahren und deren Kosten zu bewerten. Die Identifikation potenzieller Kunden und Kooperationspartner erfolgte anhand mehrerer Kriterien, darunter die Größe der kontaminierten Flächen, die Effizienz bestehender Verfahren und das Potenzial für eine kostengünstigere Alternative. Gleichzeitig wurde die Wettbewerbslandschaft untersucht, um die Marktchancen des MycoPom-Verfahrens zu bestimmen.
3. **Rohstoffverfügbarkeit und Nutzungskonflikte:** Um die Verfügbarkeit von Traubentrester sicherzustellen, wurde eine Befragung der größten Weinbaubetriebe und Genossenschaften durchgeführt. Ziel war es, die langfristige Verfügbarkeit des Rohstoffs und potenzielle Nutzungskonflikte zu identifizieren, um eine sichere und kontinuierliche Versorgung zu gewährleisten.
4. **Kultivierung und Vorversuche:** In dieser Phase wurden verschiedene Methoden getestet, um die Besiedelung des Traubentresters durch den Pilz unter nicht-sterilen Bedingungen zu ermöglichen. Hierbei wurde das Ziel verfolgt, die Kultivierung unter möglichst energie- und

ressourceneffizienten Bedingungen zu gestalten. Hierbei wurden verschiedene Methoden zur Vorbehandlung des Tresters, wie Pasteurisation, Waschen und der Einsatz von Branntkalk, getestet. Diese Vorbehandlungen sollten sicherstellen, dass das Substrat für die Pilzkultivierung geeignet ist, ohne hohe Energie- und Ressourcenkosten zu verursachen, um das Verfahren für eine großtechnische Umsetzung praktikabel zu machen.

5. **Kooperationen und Partnerschaften:** Während der Sondierungsphase wurde nach Partnern gesucht, die für die industrielle Umsetzung des Projekts essenziell sind. Gesucht wurden vor allem Partner, die über Expertise in der Rohstoffbeschaffung (insbesondere Traubentrester) sowie in der Bodensanierung verfügen, um sicherzustellen, dass sowohl die Herstellung als auch der Einsatz des Pilzpräparats in relevanten Anwendungsgebieten effektiv erfolgen kann.

## Wesentliche Ergebnisse

Die Ergebnisse der Sondierungsphase bestätigen die Machbarkeit und das Potenzial des Projekts „MycoPom“:

1. **Identifizierung relevanter Schadstoffe:** Die durchgeführte Literaturrecherche ergab, dass polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) eine der am häufigsten vorkommenden und persistentesten Schadstoffgruppen in kontaminierten Böden sind. Diese Schadstoffe sind besonders problematisch, da herkömmliche physikalisch-chemische Sanierungsverfahren kostspielig, invasiv und energieintensiv sind. Die Recherche zeigte außerdem, dass *Pleurotus ostreatus* zu den Pilzen gehört, die in der Lage sind, diese Schadstoffe effizient abzubauen, was das Potenzial des Pilzpräparats bestätigte.
2. **Verfügbarkeit des Rohstoffs:** Die Befragung der größten Weinbaubetriebe und Genossenschaften ergab, dass Traubentrester in ausreichender Menge zur Verfügung steht, um eine kontinuierliche Versorgung für die Pilzkultivierung zu gewährleisten. Dies sichert die Rohstoffbasis für die weitere Entwicklung des Projekts.
3. **Sanierungsfähigkeit des Pilzpräparats:** In den Vorversuchen wurde gezeigt, dass die Vorbehandlung des Tresters die Besiedelung durch den Pilz *Pleurotus ostreatus* signifikant verbessert und die Schimmelkontamination reduziert. Die kalten Varianten der Branntkalkbehandlung mit Tensidunterstützung lieferten die besten Ergebnisse. Zusätzlich wurde ein Testsystem entwickelt, um die Besiedelungsgeschwindigkeit und Kontaminationsanfälligkeit verschiedener Trestervarianten zu bewerten.
4. **Marktpotenzial:** Die Marktanalyse ergab, dass das MycoPom-Verfahren eine kosteneffiziente Alternative zu herkömmlichen Sanierungsverfahren darstellt. Mit geschätzten Sanierungskosten von etwa 5 € pro Tonne kontaminierten Bodens bietet das Verfahren signifikante wirtschaftliche Vorteile gegenüber den herkömmlichen Verfahren, die zwischen 200 und 1200 € pro Tonne kosten.
5. **Kooperationen und Expertise:** Während der Sondierungsphase wurden wertvolle Kooperationen mit Biowin Naturprodukte und IMA Sanierungszentren GmbH & Co. KG etabliert. Diese Partnerschaften bieten eine starke Grundlage für die Durchführung der Machbarkeitsstudie sowie die industrielle Umsetzung des Projekts.

---

# MycoPom - Entwicklung eines Pilzpräparates auf Basis von Traubentrester zur biologischen Sanierung organisch belasteter Böden

---

## Sachbericht zum Verwendungsnachweis – Teil II: Eingehende Darstellung

23.09.2024

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 031B1324 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei der Autorin/beim Autor.

|                      |   |
|----------------------|---|
| Zahlungsempfänger    | RLP AgroScience gGmbH<br>Breitenweg 71<br>67435 Neustadt  |
| Förderkennzeichen    | 031B1324  |
| Vorhabensbezeichnung | MycoPom   |
| Berichtszeitraum     | 01.10.2022 bis 30.09.2023   |
| Ansprechpartner      | Dipl.-Ing. Thorsten Pollatz<br>Tel.: 06321 671 348<br>eMail: Thorsten.Pollatz@agrosience.rlp.de |

# Inhaltsverzeichnis

|  |    |
|--|----|
| 1. Vorhabensbeschreibung .....   | 3  |
| 2. Durchgeführte Projektarbeiten & Erzielte Ergebnisse .....                               | 4  |
| 2.1. Identifikation einer geeigneten Marktnische durch Analyse der Altlastensituation..... | 4  |
| 2.2. Analyse der Marktakteure und Bewertung der Wettbewerbssituation .....                 | 5  |
| 2.3. Identifikation potenzieller Kunden und Zielmärkte .....                               | 7  |
| 2.4. Befragung von Winzern zur Rohstoffverfügbarkeit .....                                 | 8  |
| 2.5. Durchführung der Kultivierungsversuche .....  | 10 |
| 2.6. Entwicklung einer PAK-Analytik .....  | 11 |
| 2.7. Prüfung der Schutzrechtssituation und rechtlichen Rahmenbedingungen .....             | 12 |
| 2.8. Kostenabschätzung und Bewertung der Konkurrenzsituation .....                         | 13 |
| 2.10. Identifizierung der Kooperationspartner und des Wirtschaftsexperten.....             | 15 |
| 3. Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises .....                                | 16 |
| 4. Projektrelevante Ergebnisse von dritter Seite .....                                     | 17 |
| 5. Referenzen.....   | 17 |

# 1. Vorhabensbeschreibung

Das Projekt „Mycopom“ nimmt Bezug auf die "Nationalen Forschungsstrategie BioÖkonomie 2030", mit dem Ziel Deutschland zu einem führenden Forschungs- und Innovationsstandort für die Bioökonomie zu entwickeln. Im Mittelpunkt des Projekts stand die Entwicklung eines nachhaltigen Herstellungsprozesses für ein Pilzpräparat, das auf dem Reststoff „Traubentrester“ aus der Weinproduktion basiert und zur biologischen Sanierung von belasteten Böden eingesetzt werden soll. Dabei werden mehrere zentrale Nachhaltigkeitsaspekte berücksichtigt. Zum einen sollen landwirtschaftliche Abfallstoffe ökologisch und wirtschaftlich sinnvoll verwertet werden. Zum anderen wird eine umweltfreundliche Sanierungstechnik entwickelt, die zur Wiederherstellung der Ressource „Boden“ beiträgt – einer Ressource, die praktisch als nicht erneuerbar gilt. Belastete Flächen können durch diese Sanierung in eine nachfolgende Nutzung überführt werden, was auch bestehende Investitionsbarrieren verringern kann. Gleichzeitig greift das Projekt zentrale gesellschaftliche Herausforderungen auf, wie die Bodenknappheit sowie die steigenden Preise für Mieten, Immobilien und Ackerland.

Vor der geplanten Machbarkeitsphase wurde eine Sondierungsphase durchgeführt, um die Umsetzbarkeit des Projekts zu evaluieren. Diese Phase umfasste eine umfassende Analyse der technischen Realisierbarkeit, des Marktpotenzials sowie der rechtlichen Rahmenbedingungen, einschließlich der Schutzrechtssituation. Zunächst wurde die Situation der Bodenkontaminationen in Deutschland und Europa analysiert, um das Ausmaß der Kontamination und die wichtigsten Schadstoffe zu identifizieren. Dabei galt es, potenzielle Marktnischen für das Pilzpräparat zu identifizieren. Ein weiterer Schwerpunkt lag auf der Analyse bestehender Sanierungstechnologien. Hierbei wurden vor allem die Kosten und Effektivität konventioneller Sanierungsverfahren untersucht, um die Wettbewerbssituation des geplanten Produkts einschätzen zu können. Gleichzeitig wurden mögliche Nutzungskonflikte in Bezug auf die Verfügbarkeit von Traubentrester analysiert. In einer Reihe von Vorversuchen wurden verschiedene Trestersorten und Verarbeitungsverfahren getestet, um die Rohstoffverfügbarkeit sowie die Produktionskosten des Pilzpräparats zu bewerten. Erste Laborversuche unter standardisierten Bedingungen wurden durchgeführt, um die Wirksamkeit des Pilzpräparats zu testen. Schließlich konnten bereits etablierte Kooperationspartner sowie Experten aus der Wirtschaft für die weitere Umsetzung des Projekts gewonnen werden. Ziel der Sondierungsphase war es die folgenden Kernfragen zu untersuchen:

- (F1) Wie umfassend ist die Altlastensituation in Deutschland, was sind die relevanten Hauptkontaminanten und welche Nische lässt sich für das Produkt identifizieren?
- (F2) Welche Sanierungsverfahrenstechniken und Unternehmen existieren auf dem Markt, wie hoch sind die Kosten etablierter Verfahren und was ist das Alleinstellungsmerkmal des Produkts?
- (F3) Wer werden die zukünftigen Kunden sein?
- (F4) Wie lassen sich die Kosten des Produkts im Vergleich zur Konkurrenz einschätzen und wie hoch wären die zu erwartenden Gewinnmargen?
- (F6) Welche Nutzungskonflikte ergeben sich für den Rohstoff „Traubentrester“ und existieren ausreichende Mengen des Rohstoffs? Welche Trestersorten und Verfahren eignen sich zur Herstellung des Pilzpräparats?
- (F7) Welche Regularien und Zulassungsbedingungen für das Inverkehrbringen von Pilzpräparaten als Bodenhilfsstoff gelten in Deutschland?
- (F8) Mit welchen Mengen ist dem im Zuge des Produktionsprozesses entstehende Nebenprodukt Austernpilze zu rechnen, welche Gewinnmargen lassen sich daraus abschätzen und welche Regularien existieren für die Vermarktung?
- (F9) Wie ist die Schutzrechtssituation?
- (F10) Welche Kooperationspartner und Wirtschaftsexperten kommen in Frage?

## 2. Durchgeführte Projektarbeiten & Erzielte Ergebnisse

### 2.1. Identifikation einer geeigneten Marktnische durch Analyse der Altlastensituation

**Projektarbeiten und Ergebnisse:** Im Rahmen des Projekts „MycoPom“ war es notwendig, die Altlastensituation in Deutschland und Europa zu analysieren, um potenzielle Marktnischen für das geplante Pilzpräparat zu identifizieren. Ein Schwerpunkt dieser Arbeit lag auf der Ermittlung relevanter Schadstoffe und deren Verbreitung. Eine umfassende Literaturrecherche, basierend auf den Publikationen des Umweltbundesamts (UBA), ergab, dass im Jahr 2022 bundesweit 19.132 Altlastenflächen und 356.186 altlastverdächtige Flächen registriert waren (siehe Abb. 1). Allerdings sind öffentlich verfügbare Daten zu Art und Umfang der Kontamination dieser Flächen begrenzt. Die in den Altlastenkatastern erfassten Informationen über Altlasten, Altablagerungen, Altstandorte, schädliche Bodenveränderungen oder Verdachtsflächen werden von den Umweltämtern der Länder und Kommunen in Datenbanken verwaltet. Jede Altlast wird durch eine eindeutige Kennziffer identifiziert. Für spezifische Informationen zu Bodenbelastungen ist eine anlassbezogene Anfrage bei den zuständigen Regionalstellen (z. B. der Struktur- und Genehmigungsdirektion Süd, Rheinland-Pfalz) notwendig. Es existiert jedoch keine umfassende landes- oder bundesweite Übersicht der am häufigsten vorkommende Schadstoffe, was eine genaue Einschätzung der relevanten Schadstoffe auf nationaler Ebene erschwert. Aufgrund der unzureichenden Verfügbarkeit detaillierter Schadstoffdaten wurden alternative Kennzahlen und wissenschaftliche Studien herangezogen. Insbesondere die Abbaubarkeit von Schadstoffen durch Weißfäulepilze, wie *Pleurotus ostreatus*, wurde näher betrachtet. Auf Grundlage dieser Studien konnte die Klasse der polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAK) als besonders relevanter Schadstoff für das Produkt „MycoPom“ identifiziert werden. PAK stellen aufgrund ihrer weiten Verbreitung und ihrer Umwelt- sowie Humantoxizität eine erhebliche Herausforderung im Bodenschutz dar. Eine von der EU beauftragte Studie (Panagos et al., 2013) ergab, dass PAK in 10,9 % der Fälle zu Bodenkontaminationen beitragen und zu den Hauptkontaminanten in Europa gehören. Die Sanierungskosten für PAK-belastete Böden werden allein in der Europäischen Union auf bis zu zwei Milliarden Euro jährlich geschätzt (Luo & Schrader, 2021). Aufgrund ihrer Persistenz und Gefährlichkeit sind PAK in zahlreichen nationalen und internationalen Verordnungen, wie der Bundesbodenschutzverordnung (BBodSchVO), als prioritäre Schadstoffe gelistet. Die Bundesbodenschutzverordnung legt strenge Grenzwerte für PAK im Boden fest. Der Prüfwert für Benzo[a]pyren beträgt 1 mg/kg der Feinbodentrockenmasse, während die Maßnahmewerte für verschiedene Nutzungszwecke zwischen 0,5 und 5 mg/kg variieren. Studien belegen, dass diese Grenzwerte in Regionen, die in Zusammenhang mit Verbrennungsprozessen oder der Verarbeitung von Kohle, Öl und Teer stehen, häufig überschritten werden (Panagos et al., 2013, Morillo et al., 2007). Diese Kontaminationen erfordern häufig umfassende Umweltsanierungsmaßnahmen. Auf Basis dieser Erkenntnisse wurde die Behandlung von PAK-belasteten Böden als eine vielversprechende Marktnische für das „MycoPom“-Produkt identifiziert. Die Fähigkeit von Weißfäulepilzen, PAK abzubauen, wurde in mehreren wissenschaftlichen Studien belegt, und der Kooperationspartner aus der Sanierungsbranche bestätigte das Potenzial dieser Nische (siehe Abschnitt 2.8). Somit bietet sich für „MycoPom“ eine klare Positionierung im Markt der umweltfreundlichen Bodensanierung an, insbesondere für kontaminierte Flächen, die durch PAK belastet sind.

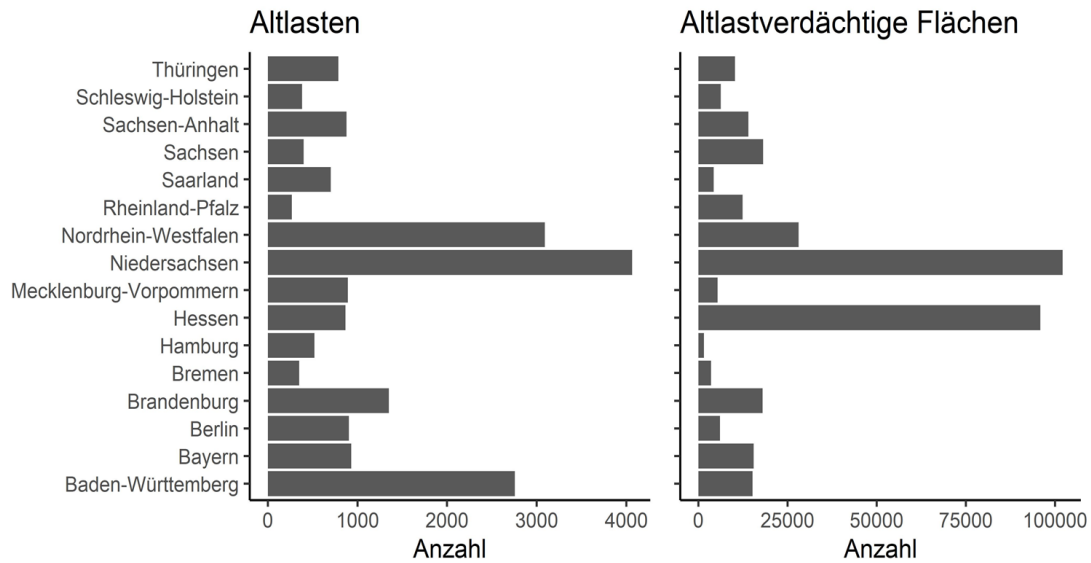


Abbildung 1: Bundesweite Übersicht zur Altlastenstatistik. Darstellung auf Basis der im Altlastenausschuss des LABO abgestimmten Datenerhebung aus den Ländern vom 16.08.2022.

**Notwendigkeit und Angemessenheit:** Die durchgeführten Arbeiten waren notwendig, um eine fundierte Einschätzung der Altlastensituation in Deutschland und Europa zu erhalten. Ohne eine detaillierte Analyse der vorhandenen Daten wäre es unmöglich gewesen, die relevanten Schadstoffe für das Projekt „MycoPom“ zu identifizieren und die Marktchancen des Pilzpräparats realistisch zu bewerten. Angesichts der unvollständigen Datenlage zu Altlasten und der fehlenden umfassenden Informationen zu Schadstoffverteilungen war es sinnvoll, alternative Kennzahlen und wissenschaftliche Studien heranzuziehen. Dies ermöglichte eine zielgerichtete Bestimmung der potenziellen Marktnische und lieferte eine Grundlage für die weitere Projektausgestaltung.

**Nutzen der erzielten Ergebnisse:** Die erzielten Ergebnisse lieferten wertvolle Erkenntnisse zur Marktentwicklung für das Produkt „MycoPom“. Insbesondere die Identifikation von PAK als relevante Schadstoffklasse für die Bodensanierung und die Bestätigung der Abbaubarkeit dieser Stoffe durch Weißfäulepilze bieten klare Vorteile für die Positionierung des Produkts. Zudem legten die Ergebnisse die Grundlage für eine präzisere Marktstrategie und die Ausrichtung auf Regionen, in denen PAK-Kontaminationen eine hohe wirtschaftliche und umweltpolitische Relevanz besitzen. Die gewonnenen Daten und Erkenntnisse stärken somit die Erfolgswahrscheinlichkeit des Projekts und die zukünftige Verwertung der Ergebnisse.

## 2.2. Analyse der Marktakteure und Bewertung der Wettbewerbssituation

**Projektarbeiten und Ergebnisse:** Im Rahmen der Sondierungsphase wurde eine umfassende Analyse der Sanierungsinfrastruktur und -technologien in Deutschland durchgeführt, um ein besseres Verständnis der vorhandenen Kapazitäten und Verfahren zu erhalten. Eine Untersuchung von Frauenstein & Mahrle (2020) zeigte, dass Deutschland im Jahr 2020 über eine genehmigte Kapazität stationärer Bodenbehandlungsanlagen von insgesamt 5.721.000 Tonnen pro Jahr verfügte. Davon entfallen 312.000 Tonnen auf thermische, 2.270.000 Tonnen auf chemisch-physikalische und 3.139.000 Tonnen auf biologische Verfahren. Die Verteilung dieser Kapazitäten erfolgte auf insgesamt 5 thermische, 14 chemisch-physikalische und 43 biologische Anlagen, die zum Teil durch mechanische Aufbereitung und Zwischenlagerung ergänzt wurden. Die Studie

dokumentierte zudem einen Rückgang der Kapazitäten im Vergleich zu den Vorjahren (siehe Abb. 2) und prognostizierte aufgrund der PFAS-Problematik (Per- und polyfluorierte Alkylverbindungen) einen steigenden Bedarf an Sanierungsanlagen. Mit der Novellierung der Bundesbodenschutzverordnung (BBodSchVO) im Jahr 2021 wurden erstmals Prüfwerte für PFAS eingeführt, wodurch künftig ein größerer Bedarf an chemisch-physikalischen und thermischen Behandlungsverfahren für belastete Böden bestehen wird.

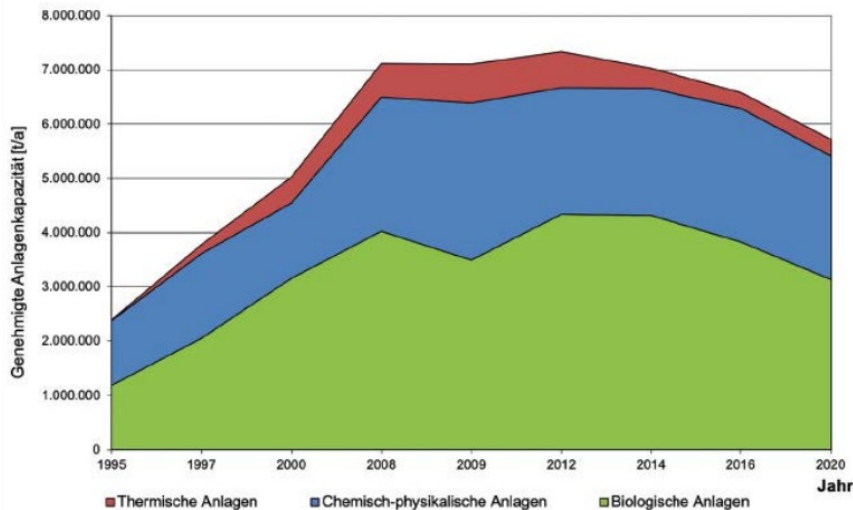


Abbildung 2: Langjährige Datenreihe zur genehmigten Anlagenkapazität stationärer Bodenbehandlungsanlagen (Frauenstein & Mahrle, 2020).

Für die Sanierung PAK-belasteter Standorte stehen verschiedene konventionelle Verfahren zur Verfügung. Diese basieren auf den Prinzipien der Immobilisierung (Abdecken, Stabilisierung, Ausbaggern, Deponierung) oder der Mobilisierung (thermische Desorption, Bodenwäsche, Elektrokinetik und tensidunterstützte Verfahren) (Kumar et al., 2021; Bianco et al., 2020; De Boer & Wagelmans, 2016). Während diese Technologien wirksam PAK-kontaminierte Böden behandeln können, sind sie oft mit hohen Kosten und erheblichem apparativen Aufwand verbunden. Darüber hinaus handelt es sich um invasive Verfahren, bei denen der Boden häufig irreversibel gestört wird und nach der Behandlung nicht mehr zur landwirtschaftlichen Nutzung geeignet ist.

Da allgemeingültige Kostenschätzungen für Sanierungsmaßnahmen nur schwer festzulegen sind, da sie von vielen Faktoren abhängen, wurde ein lokaler Umweltsanierungsdienstleister (IMA Sanierungszentren GmbH & Co. KG, Germersheim) zur Kostenschätzung befragt. Die angegebenen Orientierungswerte betragen für die Bodenwäsche 300–500 € pro Tonne, für thermische Behandlungen 700–1200 € pro Tonne und für den Bodenaustausch/Deponierung 200–700 € pro Tonne. Andere Sanierungstechniken, wie elektrokinetische oder tensidunterstützte Verfahren, stellen Nischenanwendungen dar, für die keine ausreichenden Kostenschätzungen identifiziert werden konnten. Da diese konventionellen Verfahren ex situ durchgeführt werden, sind die Kosten stark von Transportkosten abhängig, die in den letzten Jahren erheblich gestiegen sind.

Im Gegensatz dazu bietet die biologische Sanierung durch den Einsatz von Weißfäulepilzen eine weniger invasive Alternative. Allerdings zeigen herkömmliche mikrobielle Verfahren beim Abbau von PAK, insbesondere bei den höhermolekularen Verbindungen, nur geringe Effizienz. Mikroben können PAK mit mehr als drei Ringsystemen nur langsam und unvorhersehbar abbauen (Kumar et al., 2021). Im Gegensatz dazu haben Studien gezeigt, dass Weißfäulepilze wie *Pleurotus ostreatus* in der Lage sind, auch hochmolekulare PAK innerhalb weniger Wochen abzubauen und die PAK-Konzentration unter die gesetzlichen Grenzwerte zu senken (García-Delgado et al., 2015).

Aufgrund der ineffizienten PAK-Eliminierung durch herkömmliche biologische Verfahren und der steigenden Nachfrage nach chemisch-physikalischen und thermischen Anlagen für andere Schadstoffe wird ein Engpass bei PAK-Behandlungsdienstleistungen erwartet (Frauenstein & Mahrle, 2020). Daher besteht ein dringender Bedarf an kostengünstigen und effektiven biologischen Alternativen. Wir gehen davon aus, dass das MycoPom-Produkt einen bedeutenden Beitrag zur Schließung dieser Lücke leisten kann. Aus diesem Grund bewerten wir die Marktchancen des MycoPom-Produkts im Bereich der Bodensanierung als äußerst vielversprechend.

**Notwendigkeit und Angemessenheit:** Die Marktrecherche war notwendig, um die Wettbewerbslandschaft und bestehenden Sanierungsverfahren zu verstehen. Nur so konnte sichergestellt werden, dass das geplante Pilzpräparat eine sinnvolle Ergänzung oder Alternative zu bestehenden Technologien darstellt. Ohne diese Recherche wäre es nicht möglich gewesen, eine klare Marktnische zu identifizieren und die Anforderungen an eine wettbewerbsfähige Lösung zu bestimmen.

**Nutzen der erzielten Ergebnisse:** Die Ergebnisse der Marktrecherche zeigten, dass herkömmliche Sanierungsverfahren zwar wirksam, aber kostenintensiv und invasiv sind. Dies bot eine klare Marktlücke für das MycoPom-Produkt, das als kostengünstige und weniger invasive Alternative positioniert werden kann. Darüber hinaus hat die Recherche gezeigt, dass der Bedarf an umweltfreundlichen Verfahren zur PAK-Sanierung groß ist, was die Relevanz und das Potenzial des MycoPom-Produkts im Markt stärkt. Diese Erkenntnisse ermöglichen es, das Produkt gezielt auf Betreiber PAK-belasteter Standorte auszurichten, die nach effizienteren und kostengünstigeren Lösungen suchen.

### 2.3. Identifikation potenzieller Kunden und Zielmärkte

**Projektarbeiten und Ergebnisse:** Im Rahmen der Sondierungsphase wurde untersucht, welche Kunden und Zielmärkte für das MycoPom-Produkt in Frage kommen könnten. Ein zentrales gesellschaftspolitisches Thema, das in den letzten Jahren zunehmend an Bedeutung gewonnen hat, ist die Bodenknappheit und die damit verbundenen steigenden Bodenpreise. Diese Problematik betrifft vor allem den Mangel an Wohnraum und Ackerland sowie die drastisch steigenden Preise für Mieten, Immobilien und landwirtschaftlich genutzte Flächen. Die Auswirkungen der Bodenknappheit sind unmittelbar spürbar und betreffen sowohl die Lebensqualität der Bevölkerung als auch die wirtschaftliche Entwicklung in Deutschland. Laut Statistiken des Statistischen Bundesamts stiegen die Kaufpreise für Bauland zwischen 2000 und 2021 von 53 auf 171 €/m<sup>2</sup>, während der Kaufwert landwirtschaftlich genutzter Flächen im Zeitraum von 2008 bis 2020 von 9.955 auf 26.777 €/ha anstieg (siehe Abb. 4). Gleichzeitig wächst der Bedarf an Wohnraum, insbesondere in Zeiten steigender Mieten. Um dem Bedarf an Wohnraum, wie z. B. im sozialen Wohnungsbau, gerecht zu werden, muss dringend neues Bauland erschlossen werden. Die Bodensanierung spielt eine entscheidende Rolle bei der Umwandlung belasteter ehemaliger Industrieflächen in Bauland. In § 11 Abs. 1 S. 2 Nr. 1 des Baugesetzbuches (BauGB) wird die Bodensanierung explizit als notwendige Maßnahme bei städtebaulichen Projekten erwähnt. Dabei sind die Effizienz, Dauer und Kosten der Sanierungsmaßnahmen von großer Bedeutung für die erfolgreiche Umwandlung dieser Flächen. Das MycoPom-Projekt bietet in diesem Zusammenhang eine nachhaltige und kosteneffiziente Alternative zu herkömmlichen Sanierungsmethoden. Durch den Einsatz des MycoPom-Produkts können belastete Standorte schneller und kostengünstiger in Bauland umgewandelt werden, was insbesondere bei der Erschließung neuen Wohnraums von Vorteil ist. Aufgrund dieser Faktoren sehen wir ein erhebliches Marktpotenzial für das MycoPom-Produkt im Bereich der Schaffung von neuem Bauland.

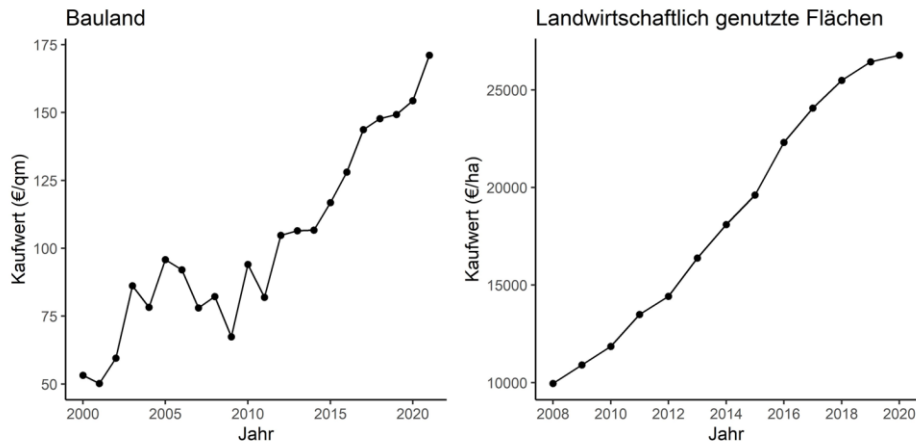


Abbildung 4: Entwicklung des Kaufwerts von Bau- (links) und Ackerlands (rechts). Daten des Statistischen Bundesamts (2023).

**Notwendigkeit und Angemessenheit:** Die Wirtschaftlichkeit des Produkts, also der Sanierungstechnologie, hängt maßgeblich mit den Preisen und der Nachfrage nach Bauland und landwirtschaftlichen Flächen zusammen. Daher war es für die strategische Ausrichtung des Projekts unerlässlich, den aktuellen Zustand sowie die zukünftige Entwicklung der Bodenpreise zu analysieren. Dadurch konnte sichergestellt werden, dass das Produkt auf langfristige Marktbedürfnisse und wirtschaftliche Gegebenheiten abgestimmt ist.

**Nutzen der erzielten Ergebnisse:** Die Rechercheergebnisse zeigten, dass die steigenden Bodenpreise und die zunehmende Knappheit an Bauland eine klare Marktchance für das Produkt bieten. Die Nachfrage nach kosteneffizienten Sanierungslösungen wird in den kommenden Jahren weiter zunehmen, insbesondere bei der Umwandlung von belasteten Industrieflächen in Bauland. In diesem Zusammenhang konnte das Projekt eine klare Marktnische identifizieren: die Umwandlung von belasteten Industriebrachen in Bauland für den Wohnungsbau.

## 2.4. Befragung von Winzern zur Rohstoffverfügbarkeit

**Projektarbeiten und Ergebnisse:** Um mögliche Nutzungskonflikte hinsichtlich des Rohstoffs „Traubentrester“ im Vorfeld zu klären, wurde Kontakt zu den größten Winzerbetrieben und Genossenschaften Deutschlands sowie zu größeren Weinbaubetrieben in der Region aufgenommen. Ziel war es, die tatsächlich verfügbaren Rohstoffmengen zu evaluieren und potenzielle Partner zu identifizieren. Insgesamt wurden 10 Großwinzer mit einer Rebfläche von mehr als 100 ha, 15 Großgenossenschaften mit einer Rebfläche von mehr als 500 ha sowie 5 größere lokale Weinbaubetriebe (Rebflächen < 100/500 ha) kontaktiert. Die Rücklaufquote der versendeten Fragebögen betrug 37 % (siehe Abb. 5). Die gemeldeten Tresteranfallmengen reichten von 200 bis 5.500 Tonnen pro Jahr, mit einem Durchschnitt von 1.650 Tonnen. 91 % der Befragten gaben an, ihren Trester zumindest teilweise abzugeben, während 36 % bereit wären, diesen vollständig abzugeben. Hinsichtlich der aktuellen Nutzung gaben 72 % an, den Trester zumindest teilweise als Wirtschaftsdünger oder Kompost zu verwenden. 18 % verkaufen ihren Trester an externe Verwerter, beispielsweise für die Produktion von Traubenkernöl oder Kosmetika, und weitere 18 % nutzen den Trester zur Biogasproduktion. Alle Befragten äußerten Interesse daran, weiterhin über das Projekt informiert zu bleiben. Aus den Befragungsergebnissen lässt sich schließen, dass ausreichend Traubentrester für die Produktion des MycoPom-Pilzpräparats zur Verfügung steht.

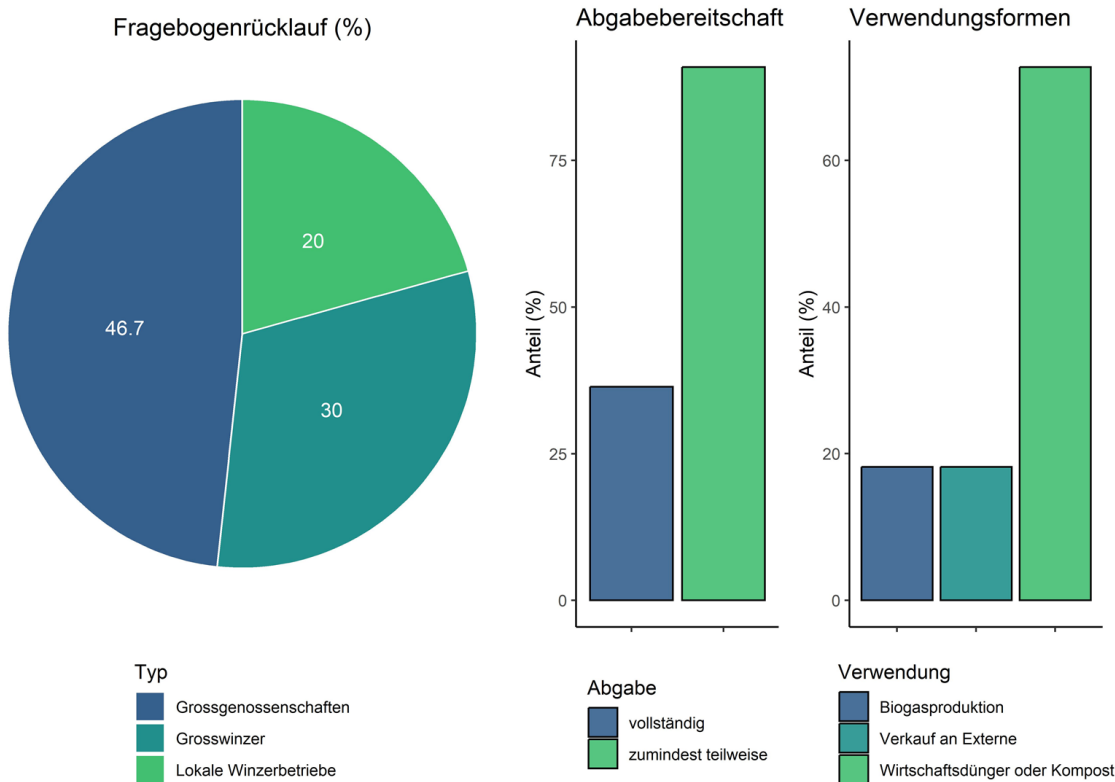


Abbildung 5: Ergebnisse der Winzerbefragung hinsichtlich der Rücklaufquote (links), der Abgabebereitschaft (Mitte) und der aktuellen Verwertungsformen (rechts).

**Notwendigkeit und Angemessenheit:** Für das MycoPom-Projekt war es entscheidend, die Verfügbarkeit von Traubentrestern als Rohstoff sicherzustellen, um die Produktionskapazitäten des Pilzpräparats realistisch einschätzen zu können. Da Traubentrestern ein landwirtschaftlicher Reststoff ist, der von vielen Weinbaubetrieben bereits vielfältig genutzt wird, war es notwendig, mögliche Nutzungskonflikte zu identifizieren. Nur durch eine gezielte Untersuchung der tatsächlichen Verfügbarkeit konnten potenzielle Engpässe vermieden und die Grundlage für eine kontinuierliche Rohstoffversorgung gelegt werden. Darüber hinaus war die Identifizierung potenzieller Kooperationspartner für die langfristige Rohstoffbeschaffung ein wesentlicher Bestandteil der Projektplanung.

**Nutzen der erzielten Ergebnisse:** Die Ergebnisse der Befragung haben bestätigt, dass ausreichend Traubentrestern zur Produktion des MycoPom-Pilzpräparats verfügbar ist. Die Rückmeldungen zeigten, dass ein Großteil der Winzer bereit ist, den Trester zumindest teilweise abzugeben, was die kontinuierliche Versorgung mit dem Rohstoff sicherstellt. Darüber hinaus konnten potenzielle Partner für die langfristige Zusammenarbeit identifiziert werden, was die Produktionsplanung und -sicherheit weiter stärkt. Die gewonnenen Erkenntnisse liefern zudem wichtige Informationen über bestehende Verwendungsformen des Tresters, wodurch das MycoPom-Projekt besser auf mögliche Nutzungskonflikte reagieren kann. Insgesamt bieten die Ergebnisse eine solide Basis, um die Rohstoffversorgung des Projekts effizient zu gestalten.

## 2.5. Durchführung der Kultivierungsversuche

**Projektarbeiten und Ergebnisse:** Im Rahmen von Vorversuchen zur Kultivierung wurde untersucht, inwieweit verschiedene Trestersorten und deren Vorbehandlungen das Wachstum von *Pleurotus ostreatus* beeinflussen und welche Sorten sich am besten für die Produktion eignen. Das Ergebnis dieser Tests hat direkten Einfluss auf die Rohstoffverfügbarkeit und somit auf die Marktchancen des MycoPom-Produkts. Zu diesem Zweck wurde ein Testsystem entwickelt, das es ermöglicht, sowohl die Wachstumsgeschwindigkeit als auch die biologische Kontaminationsrate verschiedener Tresterarten und Behandlungsformen zu analysieren (siehe Abb. 6).



Abbildung 6: Testsystem zur Bewertung der Trestervarianten und -behandlungen auf das Pilzwachstum.

Getestet wurden Dornfelder-Trester (aus der Maischeerhitzung bei der Rotweinherstellung) und siliierter Riesling-Trester (aus der Gärkühlung bei der Weißweinbereitung). Die Trester wurden entweder ungewaschen oder im Verhältnis 1:5 (kg:L) mit Wasser gewaschen und anschließend einer Kaltpasteurisation oder Kontrollbehandlungen unterzogen. Die Behandlungen umfassten:

- +2 % Branntkalk, angesetzt mit heißem (L+) oder kaltem (L) Wasser
- +2 % Branntkalk + Spülmittel, angesetzt mit heißem (LT+) oder kaltem (LT) Wasser
- +2 % Holzasche, angesetzt mit heißem (A+) oder kaltem (A) Wasser
- +2 % Holzasche + Spülmittel, angesetzt mit heißem (AT+) oder kaltem (AT) Wasser
- Sterilisation im Autoklaven (sterile Kontrolle, C+)
- keine Behandlung (unsterile Kontrolle, C)

Nach einer Kultivierung bei 25 °C in Dunkelheit ergaben sich folgende zentrale Erkenntnisse:

1. Das Waschen des Tresters beschleunigte das Wachstum und reduzierte in den meisten Behandlungsgruppen die Schimmelkontaminationsrate, insbesondere beim nicht silierten Rotweintrester.
2. Die Asche- und Branntkalkbehandlungen führten zu einer signifikanten Steigerung der Wachstumsgeschwindigkeit im Vergleich zu den sterilen und unsterilen Kontrollen. Besonders gute Ergebnisse erzielten die Kalkbehandlungen mit Tensidzusatz.
3. Beim Rotweintrester resultierte die Kaltpasteurisation in einer deutlichen Reduktion der Schimmelkontamination, während beim Weißweintrester keine signifikante Verbesserung beobachtet wurde. Dies lag am höheren Säuregehalt des Weißweintresters.

In weiteren Tests konnte durch eine Erhöhung der Asche- und Branntkalkkonzentration eine erfolgreiche Besiedelung auch des Weißweintresters erreicht und die Kontaminationsraten signifikant gesenkt werden. Darüber hinaus wurden erste Upscaling-Versuche erfolgreich abgeschlossen, bei denen mithilfe der entwickelten Kaltpasteurisationstechniken Pilzpräparate im Kilogrammereich hergestellt wurden. Auch ein Fermentationsprodukt aus Traubentrester, das von unserem Projektpartner Biowin Naturprodukte (Ilbesheim) angeboten wird, zeigte Potenzial für die Kultivierung von *P. ostreatus*.

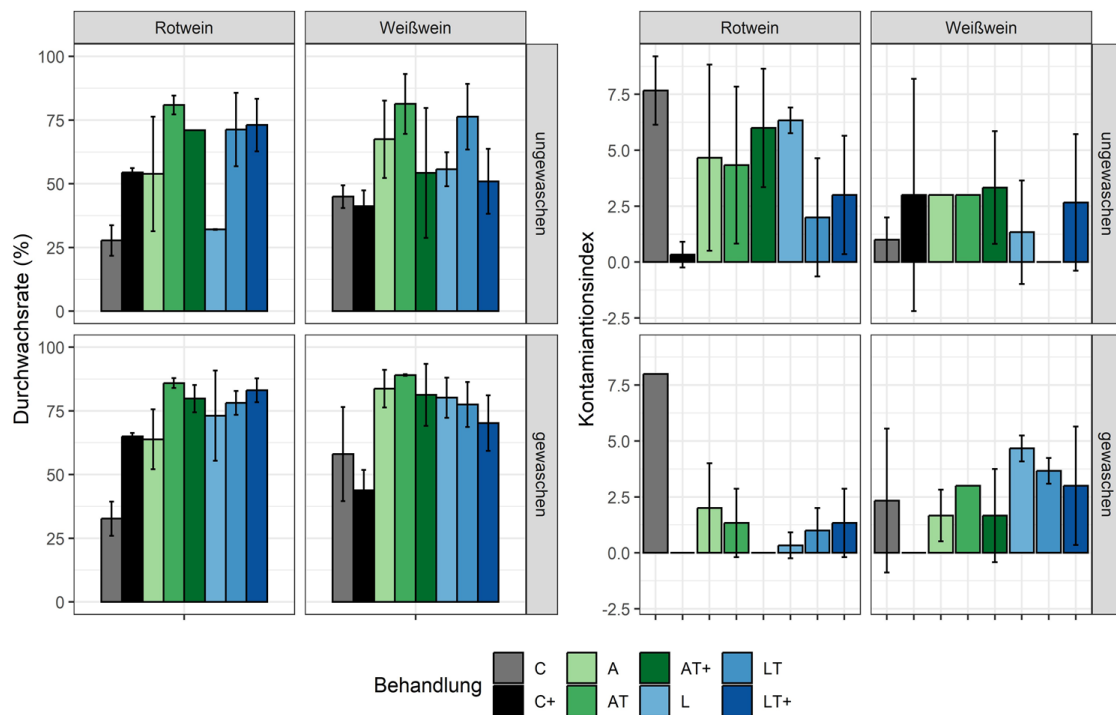


Abbildung 7: Effekt der Behandlungen auf die Besiedelungsgeschwindigkeit (links) und Kontaminationsanfälligkeit (rechts) von gewaschenem und ungewaschenem Rot- und Weißweintrester.

**Notwendigkeit und Angemessenheit:** Die Kultivierungsvorversuche waren notwendig, um sicherzustellen, dass das Projekt auf eine ausreichende Rohstoffbasis zurückgreifen kann. Da Traubentrester in unterschiedlichen Formen und Qualitäten anfallen, war es entscheidend zu klären, welche Trestersorten und Vorbehandlungen die besten Voraussetzungen für die Besiedelung durch *Pleurotus ostreatus* bieten. Die durchgeführten Versuche lieferten darüber hinaus wichtige Informationen zur Optimierung des Produktionsprozesses.

**Nutzen der erzielten Ergebnisse:** Die Vorversuche zeigten, dass beide Trestersorten – Dornfelder und Riesling – für die Kultivierung von *Pleurotus ostreatus* geeignet sind. Die Kaltpasteurisation mit Tensidzusatz erwies sich als die effektivste Methode, um das Wachstum zu fördern und Schimmelkontaminationen zu minimieren. Erste Upscaling-Versuche verliefen erfolgreich und deuten darauf hin, dass eine großtechnische Produktion auf Basis der getesteten Verfahren möglich ist, was die Marktchancen des MycoPom-Produkts deutlich erhöht.

## 2.6. Entwicklung einer PAK-Analytik

**Projektarbeiten und Ergebnisse:** Die geplanten Tätigkeiten in der Machbarkeitsphase erfordern eine zuverlässige Analytik, um die Abbauleistung des Pilzpräparats für PAK (Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe) in kontaminierten Böden zu messen. Es wurden alle für die Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchVO) relevanten PAKs identifiziert, und entsprechende analytische Standards erworben. Im Rahmen der Vorarbeiten wurde eine HPLC-UV-Methode entwickelt, um die chromatografische Trennung und Quantifizierung der PAK-Standards zu ermöglichen. Dazu wurden spezifische Laufmittel- und Wellenlängenprogramme erstellt. Erste Versuche zur Rückgewinnung von PAKs in dotierten Referenzböden, bereitgestellt vom Fraunhofer-Institut für Molekularbiologie und Angewandte Oekologie (IME), wurden durchgeführt. Verschiedene

Lösungsmittel, Extraktionsmethoden und Aufreinigungsschritte wurden getestet. Die besten Ergebnisse wurden mit einem QuEChERS-Extraktionsprotokoll erzielt, bei dem Acetonitril, Wasser und die Salze MgSO<sub>4</sub> und NaCl in Kombination mit Ultraschall verwendet wurden (Cvetkovic et al. 2016). Die Weiterentwicklung und Finalisierung der Methode wird in der Machbarkeitsphase erfolgen.

**Notwendigkeit und Angemessenheit:** Die Entwicklung einer PAK-Analytik war notwendig, um den Abbau von PAKs durch das MycoPom-Pilzpräparat zuverlässig zu messen und dessen Wirksamkeit zu überprüfen. Eine präzise Analytik ist entscheidend, um den Erfolg des Projekts in der Bodensanierung sicherzustellen und die Anforderungen der BBodSchVO zu erfüllen. Ohne diese Analytik wäre es nicht möglich, den Fortschritt der Sanierungsmaßnahmen objektiv zu bewerten und wissenschaftlich fundierte Ergebnisse zu liefern.

**Nutzen der erzielten Ergebnisse:** Die durchgeführten Vorarbeiten haben erste vielversprechende Ergebnisse geliefert, insbesondere im Hinblick auf die Trennung und Messung von PAKs sowie die Rückgewinnung in Referenzböden. Die getestete QuEChERS-Extraktionsmethode zeigte Potenzial für eine weiterführende Optimierung. Diese ersten Erkenntnisse bilden eine solide Basis für die Weiterentwicklung der Analytik, die in der kommenden Machbarkeitsphase finalisiert und an die spezifischen Anforderungen der Bodensanierung angepasst werden soll.

## 2.7. Prüfung der Schutzrechtssituation und rechtlichen Rahmenbedingungen

**Projektarbeiten und Ergebnisse:** Um die rechtlichen Belange des MycoPom-Projekts frühzeitig zu klären, wurde eine umfassende Patentrecherche durchgeführt, die Patente aus Europa und den USA der letzten 25 Jahre berücksichtigte. Es wurden zahlreiche Patente im Bereich der Bioremediation mit Bodenmikroorganismen und Enzympräparaten identifiziert (z. B. WO01/64841 A1). Im Gegensatz dazu existieren nur wenige Patente, die Weißfäulepilze für die Remediation nutzen. Diese beziehen sich überwiegend auf spezifische Verfahren wie die Unterstützung des Pilzwachstums im kontaminierten Medium (DE 10 2005 048 904 A1), die Anwendung von Flüssigpilzkulturen (US 22023/0014538 A1) oder die Behandlung von kontaminierten Flüssigkeiten (US 2008/0264858 A1). Ein weiteres Patent (DE 10 2020 007 220 A1), eingereicht von unserem Projektpartner Biowin Naturprodukte, betrifft die Bearbeitung von Trester für landwirtschaftliche Zwecke. Aufgrund der geringen thematischen Überschneidungen sehen wir jedoch keine Konflikte hinsichtlich der Schutzrechte. Da das MycoPom-Produkt ein Pilzpräparat auf Traubentresterbasis zur Behandlung von organisch belasteten Böden adressiert, für das bisher keine Patentanmeldungen existieren, wird die Schutzrechtssituation als unproblematisch eingestuft.

Ergänzend zur Patentrecherche war es notwendig, die gesetzlichen Rahmenbedingungen für das Inverkehrbringen des Pilzpräparats als Bodenhilfsstoff in Deutschland zu prüfen. Der rechtliche Rahmen hierfür ist in der Düngemittelverordnung (DüMV) festgelegt. Nach §4 der DüMV dürfen Bodenhilfsstoffe in den Verkehr gebracht werden, wenn sie bei sachgerechter Anwendung die Fruchtbarkeit des Bodens, die Gesundheit von Menschen, Tieren und Nutzpflanzen nicht schädigen und den Naturhaushalt nicht gefährden. Bewertet werden die Haupt- und Nebenbestandteile des Hilfsstoffs sowie Fremdstoffe und Ausgangsmaterialien. Zudem müssen gemäß §5 Anforderungen an die Seuchen- und Phytohygiene erfüllt sein. Da das Pilzpräparat sich noch in der Entwicklungsphase befindet, können abschließende Aussagen zur Erfüllung dieser Anforderungen noch nicht getroffen werden. Allerdings vertreibt unser Partner Biowin Naturprodukte bereits Bodenhilfsstoffe auf Traubentresterbasis, was darauf hindeutet, dass eine Zulassung für das MycoPom-Produkt als Bodenhilfsstoff wahrscheinlich ist. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit, das MycoPom-Produkt zur ex situ Behandlung kontaminierter Böden zu nutzen, was außerhalb des Anwendungsbereichs der DüMV liegt. Diese Optionen werden zusammen mit den

Kooperationspartnern im weiteren Verlauf der Machbarkeitsphase geprüft.

Ursprünglich war vorgesehen, die im Produktionsprozess entstehenden Austernpilze als Nebenprodukt zu vermarkten. Diese Option wurde jedoch im Verlauf der Sondierungsphase aufgegeben. Ein wesentlicher Grund ist der hohe regulatorische Aufwand, der durch die Verordnung (EG) 178/2002 und die damit verbundenen Anforderungen des Lebensmittelrechts entsteht. Diese Regularien erfordern umfangreiche Hygienekontrollen, Zertifizierungen und die Einhaltung strenger Vorgaben bei der Produktion und dem Vertrieb von Lebensmitteln. In Anbetracht dieser Faktoren wurde entschieden, den Fokus ausschließlich auf die Entwicklung und Vermarktung des Pilzpräparats zur Bodensanierung zu legen.

**Notwendigkeit und Angemessenheit:** Die Patentrecherche war notwendig, um sicherzustellen, dass das entwickelte Verfahren keine bestehenden Schutzrechte verletzt. Da Bioremediation ein etabliertes Feld ist, war es entscheidend, mögliche Überschneidungen mit bereits bestehenden Patenten frühzeitig zu identifizieren, um rechtliche Hürden zu vermeiden und die technologische Einzigartigkeit des MycoPom-Produkts zu gewährleisten. Ergänzend dazu war es erforderlich, die rechtlichen Rahmenbedingungen für das Inverkehrbringen des Pilzpräparats als Bodenhilfsstoff zu prüfen. Die Einhaltung der Düngemittelverordnung (DüMV) ist essenziell, um sicherzustellen, dass das Produkt den gesetzlichen Anforderungen entspricht und eine Zulassung als Bodenhilfsstoff erlangt werden kann. Des Weiteren musste geklärt werden, welche regulatorischen Hürden für den Vertrieb der Austernpilze als Nebenprodukt bestehen, was letztlich zur Entscheidung führte, diesen Vertrieb aufgrund des hohen regulatorischen Aufwands nicht weiterzuverfolgen.

**Nutzen der erzielten Ergebnisse:** Die Patentrecherche bestätigte, dass es nur wenige Überschneidungen mit bestehenden Schutzrechten gibt, was dem Projekt die Sicherheit gibt, dass das Pilzpräparat auf Traubentresterbasis eine rechtlich geschützte Marktlösung bietet. Dies minimiert das Risiko zukünftiger rechtlicher Konflikte und stärkt die Marktfähigkeit des Produkts. Ebenso zeigte die Prüfung der gesetzlichen Rahmenbedingungen, dass eine Zulassung des MycoPom-Präparats als Bodenhilfsstoff gemäß der Düngemittelverordnung wahrscheinlich ist, was die Markteinführung weiter erleichtert. Die Entscheidung, den Vertrieb der Austernpilze aufgrund des regulatorischen Aufwands aufzugeben, ermöglichte es, die Ressourcen auf die Kerntechnologie der Bodensanierung zu konzentrieren.

## 2.8. Kostenabschätzung und Bewertung der Konkurrenzsituation

**Projektarbeiten und Ergebnisse:** Im Rahmen der Sondierungsphase war es erforderlich, basierend auf einer groben Abschätzung der Produktionskosten und einer Gegenüberstellung der konventionellen, auf dem Markt etablierter Sanierungsverfahren, das Marktpotential und die zu erwartenden Margen des Produktes überschlägig abzuschätzen. Für die Abschätzung wird angenommen, dass auf einem Hektar ( $\square$  10000 m<sup>2</sup>) Grundstück ein mit PAK-kontaminierter Oberboden ( $\square$  0,20 m) saniert werden soll. Bei einer angenommen Bodendichte von 1,6 t m<sup>-3</sup> (Berechnungsgrundlage unseres Projektpartners IMA Sanierungszentren GmbH & Co. KG, Germersheim) entspricht dies einer zu sanierenden Bodenmenge von 3200 t. Während eines Vorversuchs im Labor zur Untersuchung des Abbaus eines Bodens mit einem hohen Gehalt an dem hochpersistenten Schadstoff Lindan (0,1% Massenanteil) hat sich eine Pilzapplikationsrate von 2,5% als erfolgreich erwiesen. Für eine Freilandbehandlung unter *in situ* Bedingungen wird sicherheitshalber eine realistische und technisch realisierbare Einbringungsrate von 10% angenommen. Dies entspricht einer Inokulummenge von 320 t. Obwohl einige Winzerangaben den Trester kostenfrei bei Abholung abzugeben, wird sicherheitshalber ein Verkaufspreis von 5 € t<sup>-1</sup> angenommen, was einer Inokulummasse von 320 t einer Summe von 1600 € entspricht. Für die Kostenkalkulation des Transports vom Winzerbetrieb zur Pilzkultivierungsanlage und von der

Pilzkultivierungsanlage zur kontaminierten Fläche wird eine lokale Produktion und somit kurze Transportwege von jeweils 10 km angenommen. Bei einer angenommenen Transportkostenpauschale von 1 € t<sup>-1</sup> km<sup>-1</sup> (Berechnungsgrundlage unseres Projektpartners IMA Sanierungszentren GmbH & Co. KG, Germersheim) entspricht dies einer Transportkostensumme von 6400 €. Da eine *in situ* Behandlung nur in der Vegetationsperiode möglich ist, wird eine Produktion des Pilzpräparats bei Umgebungstemperaturen ohne zusätzliche Beheizung angenommen, sodass keine Heizkosten in die Berechnung mit aufgenommen werden. Die Pilzkultivierung sowie der Transport ist in Big Bags mit einer Tragefähigkeit von 1000 kg vorgesehen. Bei einem aktuellen Marktwert pro Big Bag von 3.5 € ergeben sich für die 320 t Pilzpräparat Kosten von 1120 €. Für die Kaltpasteurisationsbehandlung des Tresters mit Branntkalk hat sich in Vorversuchen eine Applikationsrate von etwa 5% bewährt, sicherheitshalber wird für die Kostenkalkulation aber eine Rate von 10% angenommen. Dies entspricht einer benötigten Menge von 32 t Branntkalk und geschätzten Kosten von 5.5 Cent pro kg (DLG-Merkblatt 353: Hinweise zur Kalkdüngung) insgesamt 1760 €. Falls anstelle von Branntkalk der Abfallstoff Holzrasche zur Pasteurisation genutzt werden würde, könnten diese Kosten teilweise bis vollständig entfallen. Für die Herstellung der Pilzkultur wird eine sequentielle Vermehrung in drei Schritten mit Inokulationsraten von, in der Pilzzucht üblichen, 10 % angenommen, was einer Starterkulturmenge von 320 kg entspricht. Zwar wird beabsichtigt die Starterkultur im eigenen Unternehmen herzustellen, für die Kostenkalkulation wird allerdings sicherheitshalber der Bezug von einem Großzüchter (z.B. Mycelia) angenommen mit aktuellen Preisen von etwa 1,8 € kg<sup>-1</sup>, was in einer Gesamtsumme von 576 € resultiert. Für die Betreuung der Pilzkultivierung, sowie der Anlage und Pflege der Bodensanierungsfläche wird im Durchschnitt 1 Tag pro Woche (entspricht 8 Personenstunden pro Woche) geschätzt. Die Infrastruktur hierfür liegt bei den Kooperationspartnern bereits vor. Für die Herstellung des Pilzpräparats werden 8 Wochen und für die *in situ* Behandlung 12 Wochen angenommen, was 160 Personenstunden entspricht. Bei angenommenen Personalkosten von 25 € h<sup>-1</sup> ergeben sich in Summe 4000 €. Zur Einarbeitung des Pilzpräparats in die kontaminierte Fläche sind verschiedene Techniken denkbar, z.B. Pflügen, Eggen, Grubber- und Fräsereinarbeitung. Für die Kostenkalkulation wird ein Pauschwert des Maschinen- und Betriebshilfsring Dillingen e.V. für den Service „Pflügen komplett“ mit 120 € ha<sup>-1</sup> (Verrechnungssätze 2023) zur Berechnung hinzugezogen. Für die Pflege der Fläche wird zwecks einer optimalen Wasserversorgung der Pilze der Einsatz einer zusätzlichen mobilen Beregnungsmaschine (Düsenwagen) angenommen. Als Referenz werden Durchschnittswerte der Landwirtschaft von etwa 500 € ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> zur Kalkulation herangezogen (Betriebswirtschaftliche Eckdaten zur landwirtschaftlichen Bewässerung, Bundesinformationszentrum Landwirtschaft).

Tabelle 1: Aufstellung der geschätzten Kosten, die im Rahmen einer Altlastensanierung einer 1 Hektar großen Fläche mit der MycoPom-Anwendung entstehen.

| Position                        | Kosten (€)   |                                 |
|---------------------------------|--|---------------------------------|
|                                 | Für Behandlung des Oberbodens einer 1 Hektar großen Fläche | Pro Tonne kontaminiertem Medium |
| Rohstoffkosten Trester          | 1600   |                                 |
| Transportkosten                 | 6400   |                                 |
| Materialkosten Pilzkultivierung | 3456   |                                 |
| Personalkosten                  | 4000   |                                 |
| Kosten Anlage der Fläche        | 120  |                                 |
| Feldpflege (Beregnung)          | 500  |                                 |
| <b>SUMME</b>                    | <b>14316</b>   | <b>5</b>                        |

Insgesamt belaufen sich die Kosten für eine *in situ* Behandlung des Oberbodens einer 1 Hektar großen PAK-belasteten Fläche somit 16076 €. Dies entspricht einer Summe von etwa 5 € t<sup>-1</sup>. Die Kosten sind in Tabelle 1 aufgeführt. Die erwarteten Gesamtkosten liegen mit 5 € t<sup>-1</sup> weit unter den Preisen konventioneller, auf dem Markt etablierter Kosten von 200 bis 1200 € t<sup>-1</sup> (siehe Kapitel 1.4.). Es ergibt sich somit eine Gewinnmarge von etwa 195 - 1195 € t<sup>-1</sup> kontaminierten Materials im Vergleich zu konventionellen Techniken. Für eine Altlastenfläche von 1 Hektar ergibt sich somit eine Gewinnmarge von 624.000 bis 3.824.00 €.

Darüber ist die angestrebte MycoPom-Technik konkurrenzlos in der Hinsicht, dass sie *in situ* durchgeführt werden kann und der Boden hierbei erhalten bleibt und darüber hinaus aufgewertet wird. Dahingegen existiert zusätzlich zum monetären auch ein nicht-monetärer Wert, da zum einen die Ressource „Boden“ geschützt anstelle zerstört zu werden und zum anderen der landwirtschaftliche Reststoff „Trester“ einer sinnvollen Verwendung zugeführt wird. Somit sehen wir ein enormes Marktpotential der MycoPom-Technologie.

**Notwendigkeit und Angemessenheit:** Die Kostenabschätzung und Bewertung der Konkurrenzsituation waren entscheidend, um die wirtschaftliche Machbarkeit des MycoPom-Produkts realistisch zu beurteilen. Da die Altlastensanierung ein kostenintensiver Markt ist, war es notwendig, eine grobe Kalkulation der Produktionskosten für das Pilzpräparat zu erstellen und diese den etablierten konventionellen Verfahren gegenüberzustellen. Nur durch diese Analyse konnte das Marktpotenzial des MycoPom-Produkts evaluiert und die zu erwartenden Gewinnmargen abgeschätzt werden. Dies ist für die strategische Ausrichtung des Projekts und die zukünftige Vermarktung unerlässlich, um sicherzustellen, dass das Produkt sowohl konkurrenzfähig als auch wirtschaftlich rentabel ist.

**Nutzen der erzielten Ergebnisse:** Die Kostenabschätzung ergab, dass die MycoPom-Technologie mit 5 € pro Tonne deutlich günstiger ist als konventionelle Verfahren, die 200 bis 1200 € pro Tonne kosten. Dadurch entsteht eine hohe Gewinnmarge und das Produkt wird im Markt konkurrenzfähig. Zudem bietet die *in situ*-Sanierung den Vorteil, den Boden zu erhalten und aufzuwerten. Das zusätzliche Nebenprodukt der Fruchtkörper schafft weitere Einnahmequellen, was das Marktpotenzial der MycoPom-Technologie weiter steigert. Die Ergebnisse der Kostenabschätzung bestätigen die wirtschaftliche Attraktivität der MycoPom-Technologie und unterstreichen ihr großes Potenzial, als kostengünstige und nachhaltige Alternative im Markt für Bodensanierung erfolgreich zu sein.

## 2.9. Identifizierung der Kooperationspartner und des Wirtschaftsexperten

**Projektarbeiten und Ergebnisse:** Um die Machbarkeitsphase des MycoPom-Projekts erfolgreich durchzuführen, war es notwendig in der Sondierungsphase, erfahrene Kooperationspartner und einen Wirtschaftsexperten zu akquirieren. Diese Partner sollten über umfassende Expertise in den Bereichen Traubentresterveredelung und Umweltsanierung verfügen, um das Projekt sowohl technologisch als auch wirtschaftlich optimal zu unterstützen. Die Auswahl geeigneter Partner war entscheidend, um die Produktionsprozesse effizient zu gestalten und die rechtlichen und wirtschaftlichen Anforderungen zu erfüllen.

Insgesamt haben wir zwei lokale Kooperationspartner und einen Wirtschaftsexperten identifiziert. Der erste Partner ist das Unternehmen Biowin Naturprodukte, eine Niederlassung der ASAM Betriebs-GmbH mit Sitz in Ilbesheim bei Landau in der Pfalz. Biowin Naturprodukte ist auf die Verarbeitung und Veredelung von Traubentrester spezialisiert und stellt daraus Bio-Dünger, Pflanzenstärkungsmittel und Bodenhilfsstoffe her, die für den ökologischen und konventionellen Landbau zugelassen sind. Das Unternehmen ist bereits fest im Markt etabliert und verfügt über ein

breites Netzwerk zu Kunden aus Landwirtschaft und Weinbau. Biowin wird eine zentrale Rolle bei der Beschaffung und Behandlung des Traubentresters sowie der Herstellung des Pilzpräparats spielen.

Der zweite Partner ist die IMA Sanierungszentren GmbH & Co. KG aus Germersheim. Dieses Unternehmen ist auf die biologische Behandlung von industriellen Massenabfällen und kontaminierten Böden spezialisiert. Es nutzt biotechnologische Verfahren, um Abfälle wie Böden und Straßenkehricht zu verarbeiten und aufzubereiten. Mit seiner langjährigen Erfahrung und Expertise in der Umweltsanierung sowie seiner Kenntnis der gesetzlichen Regularien wird IMA maßgeblich an der Entwicklung und Durchführung der Sanierungstechnik beteiligt sein.

Der Wirtschaftsexperte des Projekts ist Herr Roland Barnstorf (Dipl. Ing., Dipl. Wirt. Ing.), Geschäftsführer der IMA Sanierungszentren GmbH & Co. KG. Herr Barnstorf besitzt Abschlüsse in Elektrotechnik und Betriebswirtschaft und bringt jahrzehntelange Erfahrung im Controlling sowie in der Leitung von Unternehmen im Bereich der Umweltsanierung mit. Seine fundierten Kenntnisse sowohl im wirtschaftlichen als auch im technischen Bereich machen ihn zu einem wichtigen Berater für das Projekt, insbesondere bei der wirtschaftlichen Bewertung und Steuerung der Machbarkeitsphase.

**Notwendigkeit und Angemessenheit:** Die Suche nach Kooperationspartnern und einem Wirtschaftsexperten war entscheidend, um die nötige Fachkompetenz für die Machbarkeitsphase zu sichern. Da das MycoPom-Projekt interdisziplinäre Expertise in der Traubentresterverarbeitung, Bodensanierung und wirtschaftlichen Bewertung erfordert, war es entscheidend, Partner mit spezifischem Know-how in diesen Bereichen zu gewinnen, um die praktische Umsetzung und die wirtschaftliche Tragfähigkeit zu gewährleisten.

**Nutzen der erzielten Ergebnisse:** Durch die Einbindung erfahrener Kooperationspartner und eines Wirtschaftsexperten konnte das MycoPom-Projekt gezielt auf das technische und wirtschaftliche Know-how zugreifen, das für eine erfolgreiche Umsetzung der Machbarkeitsphase notwendig ist. Die Partner tragen zur sicheren Rohstoffversorgung, zur fachgerechten Bodensanierung und zur wirtschaftlichen Bewertung des Projekts bei, was die Erfolgsaussichten des Projekts erheblich stärkt.

### 3. Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

#### **Position 0820: Technische/wissenschaftliche Aushilfen**

Für die Durchführung der Projektarbeiten waren zwei technische/wissenschaftliche Aushilfen mit einer wöchentlichen Arbeitszeit von jeweils 6 Stunden eingesetzt. Die Gesamtkosten beliefen sich auf 16.263,96 €. Ihre Unterstützung war essenziell für den Bau des Prototyps zur Kultivierung des Pilzpräparats sowie für die Durchführung von Kultivierungsversuchen. Sie waren zudem in die Literatur- und Patentrecherche eingebunden, um eine fundierte Basis für die weiteren Schritte im Projekt zu schaffen.

#### **Position 0812: Wissenschaftlicher Mitarbeiter**

Ein wissenschaftlicher Mitarbeiter war mit einer wöchentlichen Arbeitszeit von 70% im Projekt tätig, wobei die Gesamtkosten für diese Position 41.079,86 € betragen. Dieser Mitarbeiter übernahm eine zentrale Rolle im Projekt, da er für die Koordination aller wissenschaftlichen und technischen Aufgaben verantwortlich war. Seine Aufgaben umfassten die Planung und Durchführung der Kultivierungs- und Analytikversuche, die Entwicklung der methodischen Ansätze sowie die Erstellung von Berichten und Dokumentationen. Ein wissenschaftlicher Mitarbeiter war erforderlich, um die Projektziele effizient zu verfolgen und die experimentellen Versuchsreihen erfolgreich umzusetzen.

#### **Position 0843: Materialien und Dienstleistungen**

Für die Durchführung der Trestersubstratbehandlungs- und Pilzkultivierungsversuche sowie für die notwendige Laboranalytik wurden verschiedene Materialien und Dienstleistungen in Anspruch genommen. Die Gesamtkosten hierfür betragen 5.930,83 €. Diese Investitionen waren unerlässlich, um die Laborarbeiten, wie etwa die Entwicklung und Optimierung der Kultivierungsprozesse, zu ermöglichen.

#### **Position 0846: Dienstreisen**

Die für das Projekt erforderlichen Dienstreisen, darunter die An- und Rückreise zu einem Zwischenevaluationstermin beim Projektträger in Jülich sowie Fahrten zu den Projektpartnern, verursachten Gesamtkosten in Höhe von 800 €. Diese Reisen waren notwendig, um eine enge Abstimmung zwischen den Partnern sicherzustellen und die Fortschritte des Projekts zu evaluieren.

## **4. Projektrelevante Ergebnisse von dritter Seite**

Die Analyse der Schutzrechtsituation ergab keine Konflikte. Außerdem hat sich innerhalb der Sondierungsphase die Problematik hinsichtlich der Umweltverschmutzung mit per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen (PFAS) verschärft und ist in den Fokus von Politik und Gesellschaft gerückt. Dadurch wird sich das Angebot konventioneller physikalisch-chemischer Behandlungsanlagen für andere organische Bodenbelastungen wie z.B. PAK vorraussichtlich verknappen. Somit ist mit einer Zunahme des Interesses an neuen innovativen biologischen Sanierungsverfahren, die in der Lage sind diese Schadstoffe zu adressieren zu rechnen. Weiterhin ist keine Verbesserung hinsichtlich der Bodenpreise, Wohnungsnot und Bau- und Ackerlandnot zu verzeichnen, sodass weiterhin aus dieser Seite ein hoher Bedarf an Möglichkeiten besteht neues Bau- und Ackerland zu schaffen.

## **5. Referenzen**

Abdel-Shafy, H. I., & Mansour, M. S. (2016). A review on polycyclic aromatic hydrocarbons: source, environmental impact, effect on human health and remediation. *Egyptian Journal of Petroleum*, 25(1), 107-123.

Bianco, F., Monteverde, G., Race, M., Papirio, S., & Esposito, G. (2020). Comparing performances, costs and energy balance of ex situ remediation processes for PAH-contaminated marine sediments. *Environmental Science and Pollution Research*, 27, 19363-19374.

Bunzel, A. (2022). Bauland mobilisieren und entwickeln. *Bauland mobilisieren und schaffen – Strategien und Instrumente für mehr Wohnungsbau*, 7.

De Boer, J., & Wagelmans, M. (2016). Polycyclic aromatic hydrocarbons in soil – practical options for remediation. *CLEAN – Soil, Air, Water*, 44(6), 648-653.

Cvetkovic, J. S., Mitic, V. D., Jovanovic, V. P. S., Dimitrijevic, M. V., Petrovic, G. M., Nikolic-Mandic, S. D., & Stojanovic, G. S. (2016). Optimization of the QuEChERS extraction procedure for the determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in soil by gas chromatography-mass spectrometry. *Analytical Methods*, 8(7), 1711-1720.

- Frauenstein, J., & Mahrle, S. (2020). Stationäre Bodenbehandlungsanlagen in Deutschland – Bedarfsbelegung versus Anlagensterben? *Altlasten Spektrum*, 5, 2020.
- García-Delgado, C., Alfaro-Barta, I., & Eymar, E. (2015). Combination of biochar amendment and mycoremediation for polycyclic aromatic hydrocarbons immobilization and biodegradation in creosote-contaminated soil. *Journal of Hazardous Materials*, 285, 259-266.
- Kumar, M., Bolan, N. S., Hoang, S. A., Sawarkar, A. D., Jasemizad, T., Gao, B., ... & Rinklebe, J. (2021). Remediation of soils and sediments polluted with polycyclic aromatic hydrocarbons: To immobilize, mobilize, or degrade?. *Journal of Hazardous Materials*, 420, 126534.
- Luo, R., & Schrader, W. (2021). Getting a better overview of a highly PAH contaminated soil: A non-targeted approach assessing the real environmental contamination. *Journal of Hazardous Materials*, 418, 126352.
- Morillo, E., Romero, A. S., Maqueda, C., Madrid, L., Ajmone-Marsan, F., Grcman, H., ... & Villaverde, J. (2007). Soil pollution by PAHs in urban soils: a comparison of three European cities. *Journal of Environmental Monitoring*, 9(9), 1001-1008.
- Panagos, P., Van Liedekerke, M., Yigini, Y., & Montanarella, L. (2013). Contaminated sites in Europe: review of the current situation based on data collected through a European network. *Journal of Environmental and Public Health*, 2013.
- Papadaki, A., Kachrimanidou, V., Papanikolaou, S., Philippoussis, A., & Diamantopoulou, P. (2019). Upgrading grape pomace through *Pleurotus* spp. cultivation for the production of enzymes and fruiting bodies. *Microorganisms*, 7(7), 207.