

ABSCHLUSSBERICHT

PROJEKT PSYLLID-REPELL:

Entwicklung eines biologischen Repellents gegen Psylliden auf Basis mineralischer Rohstoffe

ein Projekt im Rahmen der DBU-Förderinitiative Pestizide

Aktenzeichen: 35316

Laufzeit: 01.01.2021 – 30.06.2024

Antragsteller und Bewilligungsempfänger:

RLP AgroScience GmbH (AS)

Prof. Dr. Gabriele Krczal

Breitenweg 71, 67435 Neustadt

Kooperationspartner:

Stephan Schmidt KG (SSKG)

Prof. Dr. Ralf Diedel, Dr. Christoph Piribauer

Bahnhofstr. 92, 65599 Dornburg/Langendernbach

gefördert durch



Deutsche
Bundesstiftung Umwelt

www.dbu.de

Verfasser:

Dr. Wolfgang Jarausch

Dr. Jennifer Rudloff-Grund

Rita Knodt

Inhalt

Verzeichnis von Abbildungen und Tabellen	3
Projektkennblatt	5
Zusammenfassung	9
Einleitung	11
Darstellung der Arbeitsschritte und angewandte Methoden	13
Projektergebnisse	17
Öffentlichkeitsarbeit	46
Fazit und Ausblick	47
Literaturangaben	49

Verzeichnis von Abbildungen und Tabellen

Abbildung 1: Double choice-Versuchsaufbau für Tone.....	14
Abbildung 2: Applikation der Tone auf Birne.....	14
Abbildung 3: Double choice-Versuchsaufbau für Duftstoffe.....	14
Abbildung 4: High Pressure Gun.....	14
Abbildung 5: Applikation mit Motorrückenspritze.....	15
Abbildung 6: Applikation mit Parzellensprühgerät.....	15
Abbildung 7: Tagebau Eisenbach, Selters/Eisenbach (Primärlagerstätte), Stephan Schmidt Gruppe.....	17
Abbildung 8: Tagebau Wimpfeld III, Arborn (Sekundärlagerstätte); Stephan Schmidt Gruppe.....	18
Abbildung 9: Produktionsablauf der Großmahlung: Probenaufbereitung, Zermahlung in Walzenschüssel- mühle und Absackung in 25 kg-Säcke (Aufbereitungsanlage Maienburg).....	26
Abbildung 10: Obere Reihe: Absetzverhalten nach 24 Stunden, nach 7 Tagen sowie nach 1-maligem Um- stülpen nach 7 Tagen. Untere Reihe: Erscheinungsbild des sedimentierten Tons nach dem Umstülpen.....	28
Abbildung 11: Benetzung von Aststücken von Apfel, Birne, Aprikose und Pflaume mit Tonmineral G.....	29
Abbildung 12: Absolute Abwaschmenge der Tonminerale A – H von behandelten Ästen von Apfel, Birne und <i>Prunus</i> im Vergleich zum Kaolin-Referenzprodukt.....	29
Abbildung 13: Extraktion von Tannennadeln mit Hilfe einer Kräutermühle.....	31
Abbildung 14: Extraktion von Tannen-Triebspitzen mit Hilfe eines Mixers.....	31
Abbildung 15: Schematische Darstellung der durchgeführten Versuche mit Koniferenextrakten von Tanne und <i>C. pruni</i> und <i>C. picta</i>	33
Abbildung 16: Zusammenfassung der Versuchsergebnisse mit den Tonmineralen A – H mit <i>C. pyri</i> in den Frühjahren 2021 und 2022. Aufgetragen ist der Prozentsatz der Tiere auf behandelte und unbehandelte Pflanze. TM-K: Positivkontrolle Kaolin.....	36
Abbildung 17: Zusammenfassung der Versuchsergebnisse mit dem Tonmineral G mit <i>C. pyri</i> im Frühjahr 2023. Aufgetragen ist der Prozentsatz der Tiere auf behandelte und unbehandelte Pflanze.....	37
Abbildung 18: Zusammenfassung der Versuchsergebnisse mit den Tonmineralen A – H mit <i>C. pyricola</i> in den Frühjahren 2022 und 2023. Aufgetragen ist der Prozentsatz der Tiere auf behandelte und unbe- handelte Pflanze. TM-K: Positivkontrolle Kaolin.....	37

ABSCHLUSSBERICHT PROJEKT PSYLLID-REPELL

Abbildung 19: Zusammenfassung der Versuchsergebnisse mit verschiedenen Mahlungen von TM-G mit <i>C. pyri</i> und <i>C. pyricola</i> im Winter und 2023. Aufgetragen ist der Prozentsatz der Tiere auf behandelte und unbehandelte Pflanze.....	38
Abbildung 20: Zusammenfassung der Versuchsergebnisse mit den Tonmineralen A – H mit <i>C. pruni</i> in den Frühjahren 2021 und 2022. Aufgetragen ist der Prozentsatz der Tiere auf behandelte und unbehandelte Pflanze. TM-K: Positivkontrolle Kaolin.....	39
Abbildung 21: Zusammenfassung der Versuchsergebnisse mit verschiedenen Mahlungen von TM-G mit <i>C. pruni</i> im Frühjahr 2024. Aufgetragen ist der Prozentsatz der Tiere auf behandelte und unbehandelte Pflanze.....	39
Abbildung 22: Behandlung von Birnenbäumen mit TM-G (links), unbehandelte Kontrolle (rechts).....	40
Abbildung 23: Fotodokumentation der Applikation von TM-G 45 mit Motorrückenspritze auf Birne. Am Tag 14 nach Behandlung war ein Starkregenereignis.....	40
Abbildung 24: Statistische Auswertung der Anzahl der Tiere pro Ast auf mit TM-G L-behandelten oder unbehandelten (NB)Bäumen in 2023: <i>C. pyri</i> (links), <i>C. pyrisuga</i> (rechts).....	41
Abbildung 25: Statistische Auswertung der Anzahl <i>C. pyri</i> pro Ast auf mit TM-G 45-behandelten oder unbehandelten (NB)Bäumen nach der ersten Behandlung im Februar 2024.....	41
Abbildung 26: Anzahl an Parasitoiden, Generalisten und anderen Insektenarten in Klopfproben von TM-G-behandelten und unbehandelten Birnenbäumen an zwei Terminen in 2023 und 2024.....	42
Abbildung 27: Anzahl an Parasitoiden, Generalisten und anderen Insektenarten in Klopfproben von TM-G-behandelten und unbehandelten <i>Prunus</i> -Bäumen an 4 Terminen in 2023.....	43
Abbildung 28: Infektionsgrad mit <i>Ca. P. pyri</i> der überwinterten Generation der Birnblattsauger <i>C. pyri</i> , <i>C. pyricola</i> sowie <i>C. pyrisuga</i> im Spätwinter 2021, 2022 und 2023 sowie im Spätherbst 2021 und 2022 (Runne et al., 2023).....	45
Tabelle 1: Spezifikation der im Vorhaben erprobten Rohstoffe der SSKG sowie des Referenzprodukts.....	21
Tabelle 2: Mineralogische Zusammensetzung ausgewählter Tone. TM = Tonmineral.....	22
Tabelle 3: Chemische Zusammensetzung der im Vorhaben eingesetzten Rohstoffe (TM-K = Kaolin-Referenzprodukt, TM-A bis TM-H = Tone der Stephan Schmidt Gruppe).....	23
Tabelle 4: Granulometrie der untersuchten Tonproben und des Vergleichsproduktes (TM-K). n.b.= nicht bestimmt. Ausgangsmaterial: Schlagkreuzmühle mit 500 µm- bzw. 750 µm-Siebeinsatz. LKM = Laborkugelmühle (Zielgröße < 63 µm), SRM: Schlagrotormühle mit 80 µm-Siebeinsatz.....	26

ABSCHLUSSBERICHT PROJEKT PSYLLID-REPELL

06/02		Projektkennblatt der Deutschen Bundesstiftung Umwelt			
Az	35316	Referat	334	Fördersumme	326.669 €
Antragstitel		Entwicklung eines biologischen Repellents gegen Psylliden auf Basis mineralischer Rohstoffe (Psyllid-Repell)			
Stichworte		Blattsauger, Phytoplasma-Überträger, Tonminerale, Apfel, Birne, Steinobst			
Laufzeit	Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)		
42 Monate	01.01.2021	30.06.2024	1		
Zwischenberichte	2021, 2022, 2023, 2024				
Bewilligungsempfänger	RLP AgroScience GmbH Breitenweg 71 67435 Neustadt			Tel	06321-6711301
				Fax	06321-6711313
				Projektleitung Prof. Dr. Gabi Krczal	
				Bearbeiter Dr. Wolfgang Jarusch	
Kooperationspartner	Prof. Dr. R. Diedel, Dr. Christoph Piribauer Stephan Schmidt KG Bahnhofstr. 92 65599 Dornburg/Langendernbach				
Zielsetzung und Anlass des Vorhabens					
<p>Im europäischen Anbau von Apfel, Birne und Steinobst (vor allem Aprikose und Pfirsich) verursachen durch Phytoplasmen hervorgerufene Krankheiten großen wirtschaftlichen Schaden im Erwerbsobstbau, aber auch im Most- und Streuobstanbau. Die aktuelle Bekämpfung richtet sich gegen die Phytoplasma-übertragenden Psylliden. <i>Cacopsylla picta</i>, der Überträger der Apfeltriebsucht, und <i>C. pruni</i>, der Überträger der Europäischen Steinobstvergilbung, sind beides univoltine Arten, die sich auf den Obstbäumen entwickeln und auf Koniferen überwintern. Im zeitigen Frühjahr kommen sie als hoch-infektiöse Tiere in die Anlagen zurück und übertragen die Phytoplasmen bereits durch Probestiche auf gesunde Bäume. Dieser Wechsel von Überwinterungswirt zu Reproduktionswirt wird durch pflanzenbürtige Duftstoffe beeinflusst. Ein Ziel des Projektes war es deshalb, repellent wirkende Koniferenduftstoffe zu finden, die die Psylliden von der Besiedlung der Obstbäume abhalten.</p> <p><i>C. pyri</i> und <i>C. pyricola</i> sind polyvoltine Birnblattsauger, die den Birnenverfall (Pear decline, PD) übertragen. Dies geschieht besonders effizient durch die überwinterten Tiere im Spätwinter. Umweltfreundliche Bekämpfungsstrategien gegen die Birnblattsauger sind besonders nötig, da diese Arten selbst bedeutende Schädlinge sind. Ein weiteres Ziel des Projektes war es deshalb, ein gegen alle Psylliden-Arten repellent wirkendes Tonmineral zu finden, dass stammfarben ist und auf den kahlen</p>					

Bäumen im Spätwinter nicht auffällt. Es sollte zudem regenfest sein. Damit die repellente Wirkung dieses Tonmineralfilms auch nach Blüte und Blattaustrieb anhält, sollten repellent wirkende Koniferenduftstoffe in diese Matrix eingebettet werden. Durch diese Ansätze sollen nicht nur Insektizide ersetzt werden, sondern auch der Fortbestand ökologisch bedeutender Obstanlagen gesichert werden, die durch die Phytoplasmosen massiv bedroht sind. Die Behandlung sollte keinen Einfluss auf Bestäuberleistung und Nützlingspopulationen haben.

Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden

Von der Stephan Schmidt KG wurden 9 verschiedene Tone ausgewählt, die sich durch ihre Anteile an 2-, 3- und 4-Schicht Tonmineralen unterscheiden. Die Tone wurden auf verschiedene Mahlgrade zermahlen und dann als Suspensionen auf blattlose, verholzte Birnen- und Prunus-Pflanzen gesprüht. Als Kontrolle diente weißes Kaolin. Freilandfänge der verschiedenen Psylliden-Arten wurden in Double choice-Bioversuchen im Gewächshaus in Käfige entlassen und ihre Präsenz auf behandelten und unbehandelten Pflanzen bonitiert. Aus Nadeln verschiedener Koniferenarten wurden mittels Heißwasser-Auszug die Duftstoffe extrahiert. Verschiedene Extraktionsmethoden und Probenahmezeitpunkte der Nadeln wurden getestet. Die Extrakte wurden auf kleine beblätterte Apfel- und Prunus-Pflanzen gesprüht und im Double choice-Versuch im Vergleich zu unbehandelten Pflanzen getestet. Freilandfänge von *C. picta* und *C. pruni* wurden in die Käfige entlassen und ihre Präsenz auf den Pflanzen bonitiert. Die wirksamen Koniferenextrakte wurden an Tonminerale adsorbiert. Die Abgaberate der Duftstoffe wurde mittels GC/MS gemessen. Die repellente Wirkung dieser Tonmineral-Matrizen wurde in Double choice-Bioversuchen geprüft. Primäres Ziel des Projekts ist es, eine Übertragung der Phytoplasmen durch die Psylliden zu verhindern. Deshalb wurden sowohl die Testpflanzen als auch die eingesetzten Tiere mittels PCR auf eine Infektion mit den jeweiligen Phytoplasmen getestet. Im letzten Schritt wurde das repellent wirkende Tonmineral (TM) G in Freilandversuchen in je einer Birnen-, Pflaumen- und Mirabellenanlage getestet. Die Applikation erfolgte über eine Motorrückenspritze sowie über ein Parzellensprühgerät. Die Präsenz der Psylliden in behandelten und unbehandelten Versuchsblöcken wurde durch regelmäßige Klopfproben überprüft.

Ergebnisse und Diskussion

Der gewählte Versuchsaufbau mit Freilandfängen der Psylliden und Double choice-Versuchen im Gewächshaus zeigte ein zuverlässiges und reproduzierbares Ergebnis. Von den getesteten Tonmineralen zeigte nur das TM G eine starke Repellenz gegen alle Psylliden-Arten. Chemisch-mineralogisch-physikalische Charakterisierungen zeigten, dass dieser stammfarbene Ton gänzlich anders zusammengesetzt ist als Kaolin. Die weiße Farbe des Kaolins ist somit nicht bestimmend für die Repellenzeigenschaften.

Tannenextrakte hatten eine signifikant repellente Wirkung auf *C. pruni* sowie auf *C. picta*. Wirksam waren allerdings nur Extrakte von Nadeln, die zum Zeitpunkt der Remigration der Psylliden gesammelt wurden. Die Extraktionsmethode wurde so vereinfacht, dass sie auch in großtechnischem Maßstab funktionieren kann. Die Einbettung der Duftstoffe in die Tonminerale gelang durch Adsorption an kohlige Substanzen, z.B. durch Zugabe von Aktivkohle. Die eingebetteten Duftstoffe konnten die repellente Wirkung des Tonminerals jedoch nur noch wenig steigern.

Bei den mit TM G bzw. Koniferenduftstoffen behandelten Testpflanzen konnte keine Übertragung nachgewiesen werden. Dagegen erfolgte eine Phytoplasma-Übertragung durch *C. pyri*, *C. pyricola* und *C. picta* auf unbehandelte Testpflanzen. Individuen von *C. picta* hatten mit 13-21% den höchsten Infektionsgrad während Individuen von *C. pruni* nur zu 1-3% infiziert waren. Die polyvoltinen Birnblattsauger *C. pyri* und *C. pyricola* kommen in hohen Populationsdichten vor und es wurden zusätzliche Freilandproben getestet. Dabei zeigte sich, dass *C. pyricola* mit 3-9% stärker infiziert war als *C. pyri* mit 1-4%.

Freilandversuche in einer Birnenanlage zeigten, dass das TM G auch unter Freilandbedingungen eine gute repellente Wirkung gegen *C. pyri* hat. Daraufhin wurde versucht, dieses Tonmineral in großtechnischem Maßstab herzustellen. In den folgenden Bioversuchen zeigte sich aber, dass diese Mahlprodukte nicht mehr die gleiche Wirkung hatten – insbesondere nicht gegen kleinere Psylliden-Arten wie *C. pruni* und *C. pyricola*. Hier besteht weiterer Entwicklungsbedarf. Vor allem muss der Wirkmechanismus verstanden werden, um die Parameter einer großtechnischen Herstellung entsprechend zu steuern. Die Freilandversuche mit TM G in einer Pflaumen- und einer Mirabellenanlage führten zu keinem aussagekräftigen Ergebnis und müssen wiederholt werden. Weder bei Birne noch bei Pflaume oder Mirabelle wurde ein negativer Einfluss des TM G auf die Bestäuberleistung bzw. auf die Nützlingspopulationen festgestellt.

Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation

Auf nationaler Ebene wurden die Projektergebnisse in verschiedenen Beiträgen auf der 63. Deutschen Pflanzenschutztagung vorgestellt. Die Obstbaufachberater wurden auf ihrer Jahrestagung 2023 über die Projektergebnisse informiert. Einer breiten Öffentlichkeit wurden die Ergebnisse auf dem Tag der offenen Tür der RLP AgroScience in 2024 präsentiert. Auf internationaler Ebene wurden Projektergebnisse auf dem Expertengipfel zum Birnenverfall in Österreich 2022 präsentiert. Eine wissenschaftliche Präsentation erfolgte 2023 auf der 5. Tagung der International Phytoplasmaologist Working Group (IPWG) in Oman. Aus den nationalen und internationalen Präsentationen sind drei wissenschaftliche Tagungsbeiträge als Publikationen hervorgegangen. Weitere Publikationen sind in Vorbereitung.

Fazit

Das Projektziel eines repellent wirkenden Tonminerals gegen alle Phytoplasma-übertragenden Psylliden konnte erreicht werden. Dieses Tonmineral ist stammfarben und eine Applikation auf kahle Bäume ist völlig unauffällig. Das Tonmineral hat zudem keinen Einfluss auf Bestäuberleistung oder Nützlingspopulationen. Weiterer Entwicklungsbedarf besteht in der großtechnischen Herstellung des Tonminerals. Das Ziel einer guten Regenfestigkeit konnte nicht erreicht werden, so dass Versuche mit speziellen Haftmitteln folgen müssen. Obwohl repellent wirkende Koniferenduftstoffe gefunden wurden, wurden diese vielversprechenden Arbeiten nicht weiterverfolgt, da die Einbettung dieser Duftstoffe in die Tonmineralmatrix eine zu große Hürde für die Zulassung des Tonminerals darstellt. Ein weiteres Ergebnis ist, dass *C. pyricola* viel stärker zur aktuellen Ausbreitung des Birnenverfalls im Erwerbs- und Streuobst beiträgt als bislang bekannt.

Deutsche Bundesstiftung Umwelt • An der Bornau 2 • 49090 Osnabrück • Tel 0541/9633-0 • Fax 0541/9633-190 •

<http://www.dbu.de>

Zusammenfassung

Verschiedene Psylliden (Blattsauger)-Arten der Gattung *Cacopsylla* sind Überträger bedeutender Krankheiten im Kern- und Steinobst, die durch Phytoplasmen hervorgerufen werden. Die univoltinen Arten *Cacopsylla picta* und *C. pruni* übertragen die Apfeltriebsucht bzw. die Europäische Steinobstvergilbung. Die polyvoltinen Birnblattsauger *C. pyri* und *C. pyricola* übertragen den Birnenverfall, der sich in den letzten Jahren stark im Erwerbs- sowie im Streuobstanbau ausgebreitet hat. Beide Arten sind selbst ein Schädling und werden daher mit Insektiziden bekämpft.

Ziel des Projektes war es, diese phloemsaugenden Psylliden-Arten mit einer umweltfreundlichen Methode von den Obstbäumen zu vergrämen und sie an Probestichen, die zu einer Übertragung der Phytoplasmen führen, zu hindern. Der Zeitpunkt der Vergrämung ist die Phase der Rückwanderung der überwinterten univoltinen Arten von Koniferen auf die Obstbäume bzw. die Migrationsphase der Birnblattsauger zur Paarung und Eiablage. Dieser Zeitpunkt ist jeweils im Spätwinter bzw. zeitigen Frühjahr vor Blüte und Blattaustrieb. Die Strategie ist daher, die Obstbäume mit einem stammfarbenen Tonmineral zu behandeln, das die Tiere von einer Besiedlung der Obstbäume abhalten soll. Vorbild ist der weißfarbene Kaolin, welcher bereits erfolgreich gegen Birnblattsauger eingesetzt wird, aber unansehnliche weiße Bäume bewirkt.

Für die Versuche wurden in den Westerwälder Tonlagerstätten der Stephan Schmidt KG neun verschiedenartige Tone ausgewählt, die aufgrund ihrer Genese eine möglichst unterschiedliche mineralogische Zusammensetzung aufweisen, um das vorhandene Spektrum an Tonmineralen zu überprüfen. Diese Rohstoffe aus Primär- und Sekundärlagerstätten wurden eingehend chemisch-physikalisch untersucht.

Die neun fein vermahlenden Tone wurden in Bioversuchen auf ihre repellente Wirkung gegen die verschiedenen Blattsauger-Arten getestet. Ein Tonmineral, TM-G, hatte gegen alle Arten eine hochgradig repellente Wirkung. Die Wirkung war besser oder gleichwertig zu derjenigen des Kaolins, welches als Kontrolle in den Versuchen diente. Das stammfarbene, saprolithische TM-G hat eine völlig andere Mineralogie als der Kaolin. Die weiße Farbe des Kaolins kann also nicht für die Repellenzeigenschaften verantwortlich sein. Eine wichtige Rolle spielt dagegen die Feinheit der Mahlung und die Korngrößenverteilung. Quellende Tonminerale hatten keine oder sogar eine attraktive Wirkung auf die Psylliden.

Freilandversuche in einer Birnenanlage zeigten, dass das TM-G auch unter Freilandbedingungen eine gute repellente Wirkung gegen den weitverbreiteten Gemeinen Birnblattsauger *C. pyri* hat. Daraufhin wurde versucht, dieses Tonmineral in großtechnischem Maßstab herzustellen. In den folgenden Bioversuchen zeigte sich aber, dass diese Mahlprodukte nicht mehr die gleiche Wirkung hatten – insbesondere nicht gegen kleinere Psylliden-Arten wie *C. pruni* und *C. pyricola*. Hier besteht weiterer Entwicklungsbedarf. Vor allem muss der Wirkmechanismus verstanden werden, um die Parameter einer großtechnischen Herstellung entsprechend zu steuern.

Es wurden auch Freilandversuche in einer Pflaumen- und einer Mirabellenanlage durchgeführt, um die Wirkung des TM-G auf *C. pruni* zu testen. Diese Versuche führten aus unterschiedlichen Gründen zu keinem aussagekräftigen Ergebnis und müssen wiederholt werden. In 2023 war die Population von *C. pruni* zu niedrig, in 2024 wurde eine Großmahlung von TM-G eingesetzt, die auch in den parallel laufenden Bioversuchen nur eine schwache Wirkung hatte.

In allen Freilandversuchen wurde untersucht, ob die Applikation des Tonminerals einen Einfluss auf die Bestäuberleistung bzw. auf die Nützlingspopulationen hat. Weder bei Birne noch bei Pflaume oder Mirabelle wurde ein negativer Einfluss festgestellt.

Ein weiteres Ziel des Projektes war es, durch Einbettung von Repellentstoffen die repellente Wirkung der Tonmineralschicht auch nach Blüte und Blattaustrieb zu erhalten. Hierzu wurden für die univoltinen Arten Koniferenduftstoffe geprüft, da in Vorversuchen eine repellente Wirkung von Fichtennadelextrakten auf *C. picta* gezeigt werden konnte. Im Projekt wurden Heißwasserauszüge von Fichten-, Tannen-, Kiefern- und Douglasiennadeln in Double choice-Bioversuchen getestet. Die Versuche wurden hauptsächlich mit *C. pruni* durchgeführt, da von dieser Spezies mehr Tiere zum Zeitpunkt der Remigration gefangen werden konnten. Die beste repellente Wirkung sowohl gegen *C. pruni* als auch gegen *C. picta* hatten Tannenextrakte. Wirksam waren allerdings nur Extrakte von Nadeln, die zum Zeitpunkt der Remigration der Psylliden gesammelt wurden. Die Extraktionsmethode wurde so vereinfacht, dass sie auch in großtechnischem Maßstab funktionieren kann. Die Einbettung der Duftstoffe in die Tonminerale gelang durch Adsorption an kohlige Substanzen, z.B. durch Zugabe von Aktivkohle.

Die in den Bioversuchen eingesetzten Testpflanzen und Psylliden wurden molekular auf eine Infektion mit den jeweiligen Phytoplasmen untersucht. Dabei konnte eine Übertragung des Birnenverfalls durch *C. pyri* und *C. pyricola* nachgewiesen werden. Ein beunruhigendes Ergebnis war der hohe Infektionsgrad von *C. pyricola* von bis zu 10% der Tiere. Zusammen mit den hohen Populationsdichten, die diese Art in unbehandelten Birnenanlagen erreichen kann, ergibt sich die Hypothese, dass die Ausbreitung dieser Art in Deutschland zur starken Ausbreitung des Birnenverfalls wesentlich beiträgt.

Das Projektziel eines repellent wirkenden Tonminerals gegen alle Phytoplasma-übertragenden Psylliden konnte erreicht werden. Dieses Tonmineral ist stammpar und eine Applikation auf kahle Bäume ist völlig unauffällig. Das Tonmineral hat zudem keinen Einfluss auf Bestäuberleistung oder Nützlingspopulationen. Weiterer Entwicklungsbedarf besteht in der großtechnischen Herstellung des Tonminerals. Dagegen konnte das Ziel einer besseren Regenfestigkeit im Vergleich zum Referenzprodukt Kaolin nicht erreicht werden. Weitere Versuche mit speziellen Haftmitteln müssen folgen. Als weiteres Projektziel konnten repellent wirkende Koniferenduftstoffe gefunden werden. Da die Einbettung dieser Duftstoffe in die Tonmineralmatrix eine zu große Hürde für die Zulassung des Tonminerals darstellt, wurden diese vielversprechenden Arbeiten nicht weiterverfolgt.

Einleitung

AUSGANGSSITUATION

Im europäischen Anbau von Apfel, Birne und Steinobst (vor allem Aprikose und Pfirsich) verursachen durch Phytoplasmen hervorgerufene Krankheiten großen wirtschaftlichen Schaden im Erwerbsobstbau, aber auch im Most- und Streuobstanbau. Es gibt keine direkte Bekämpfungsmöglichkeit gegen diese im Phloem der Pflanzen lebenden zellwandlosen Bakterien. Sie werden durch phloemsaugende Psylliden (Blattsauger) der Gattung *Cacopsylla* übertragen. Die aktuelle Bekämpfung richtet sich daher gegen diese übertragenden Insekten.

Beim Apfel wird die Apfelfriebsucht (AT), verursacht durch '*Candidatus Phytoplasma mali*', sehr effizient durch *Cacopsylla picta*, im Steinobst wird die Europäische Steinobstvergilbung (European stone fruit yellows, ESFY; Erreger: '*Candidatus Phytoplasma prunorum*') durch *Cacopsylla pruni* übertragen (Jarausch et al., 2019a). Beide Arten sind univoltin und haben einen vergleichbaren biologischen Zyklus. Sie infizieren sich als Larven oder Jungtiere an befallenen Bäumen und wandern im Sommer zu Koniferen, um Sommer und Winter dort zu verbringen. Während dieser Zeit vermehren sich die Phytoplasmen in den Insekten. Im zeitigen Frühjahr (ab Mitte März) kommen die Psylliden als hoch-infektiöse Tiere in die Anlagen zurück (Remigrants) und übertragen die Phytoplasmen auf gesunde Bäume. Dieser Wechsel von Überwinterungswirt zu Reproduktionswirt wird durch pflanzenbürtige Duftstoffe beeinflusst. Bei der Suche nach Reproduktionswirtspflanzen wirken Koniferenduftstoffe repellent auf die Remigrants. Diese Wirtspflanzen werden auch mittels Probestichen an gustativen Reizen erkannt. Bei diesen Probestichen werden allerdings sofort die Phytoplasmen übertragen, so dass auch langsam wirkende synthetische Insektizide diese Übertragung nicht verhindern können.

ZIELE DES PROJEKTS

Ziel des Projektes ist es, mit einer umweltfreundlichen Methode die Psylliden von den Obstbäumen zu vergrämen und sie an Probestichen, die zu einer Übertragung der Krankheitserreger führen können, zu hindern. Für *Cacopsylla pyri*, dem polyvoltinen Überträger des Birnenverfalls (Pear decline, PD; Erreger: '*Candidatus Phytoplasma pyri*') (Jarausch et al., 2019a), wurde bereits gezeigt, dass ein mineralischer Film aus Kaolin die Besiedlung der Bäume im Frühjahr und damit die Entwicklung weiterer Generationen behindern kann. Der große Nachteil liegt in der sehr geringen Regenbeständigkeit des Kaolins (geringe Haftfähigkeit, d.h. nach jedem Regen muss neu gespritzt werden) und in der weißen Farbe, welche die Anlagen unansehnlich macht. Da der Obstbau heute auch eine wichtige sozio-kulturelle und touristische Bedeutung hat, ist dies sehr störend und verhindert den Einsatz von Kaolin-Produkten. Daher sollte zunächst auf Basis der bei Stephan Schmidt KG verfügbaren speziellen Tone ein regenfester, stammarbener mineralischer Film entwickelt werden, der bereits repellent auf die Psylliden wirkt. Die Applikation sollte mit handelsüblichen Spritzgeräten vor Blüte und Blattaustrieb auf Stamm und Äste erfolgen. Eine dauerhafte repellente Wirkung sollte durch die Einbettung von Koniferen-Duftstoffen erzielt werden. Hierbei sollte die Wirksamkeit der Duftstoffe verbessert werden. Wirksame Einzelduftstoffe bzw. Duftstoffgemische sollten identifiziert werden. Die repellente Wirkung sollte die Tiere aus den Anlagen vergrämen, so dass sie auch bei Blattaustrieb nicht zur Eiablage zurückkommen.

Die Birnblattsauger *Cacopsylla pyri* und *Cacopsylla pyricola* machen keinen Wirtswechsel und überwintern auf Birne. Diese Überwinterungsgeneration stellt das größte Risiko für eine Phytoplasma-Übertragung im Frühjahr dar. Im Laufe des Projekts wurde bekannt, dass auch die dritte auf Birne vorkommende Blattsaugerart, *Cacopsylla pyrisuga*, die Phytoplasmen übertragen kann (Riedle-Bauer et al., 2022). Diese univoltine Art migriert wie *C. picta* und *C. pruni* im zeitigen Frühjahr von Überwinterungswirten zurück auf Birne.

UMWELTRELEVANZ

Seit 2000 wird die Wirtschaftlichkeit des Apfelanbaus vor allem in Norditalien und Südwestdeutschland durch das massive Auftreten der Apfeltriebsucht bedroht. Die Europäische Steinobstvergilbung führt auch in Deutschland zu verheerenden Ausfällen bei Pfirsich und Aprikose, da sie zum Absterben der Bäume führt (Lampe & Harzer, 2011). Diese beiden Kulturen stellen eine wirtschaftlich wichtige Ergänzung zum Massenprodukt „Apfel“ dar und ihr Anbau wird deshalb gefördert. Diese Ausweitung der Kultur von Pfirsich und Aprikose wird jedoch durch das starke Auftreten von ESFY in Frage gestellt. Große wirtschaftliche Bedeutung hat ESFY vor allem auch in südeuropäischen Aprikose-Anbaugebieten von Ungarn über Friuli in Norditalien bis nach Südfrankreich und Spanien. Der Birnenverfall (PD) breitet sich in den letzten Jahren massiv in Mitteleuropa aus und bedroht nicht nur Erwerbsanlagen, sondern auch 100-jährige Streuobstbäume, die an der Krankheit sterben.

Alle drei Krankheiten können bereits durch Probestiche der Psylliden übertragen werden und auch der massive Einsatz von synthetischen Insektiziden (z.B. in Italien) kann eine Ausbreitung der Krankheiten nicht effizient verhindern. In Deutschland und im Bioanbau gibt es kaum bzw. keine zugelassenen Mittel gegen *C. picta* und *C. pruni*. Da *C. pyri* auch ein direkter Schädling ist, wird er seit Jahren massiv mit Insektizidbehandlungen bekämpft, die bereits zu Resistenzbildung geführt haben. Die im Projekt entwickelte Repellenzstrategie soll nicht synthetische Insektizide ersetzen, sondern vor allem die Übertragung der Krankheiten verhindern. Hierdurch kann der Erhalt ökologisch wertvoller Obstanlagen gesichert werden, die aktuell auf Grund der Krankheiten immer mehr verschwinden.

Darstellung der Arbeitsschritte und angewandte Methoden

Ein wesentliches Ziel des Projektes war es, Tonminerale zu finden, die eine repellente Wirkung gegen Psylliden haben und Probestiche verhindern. Diese Tonminerale sollten in einer Suspension auf die Stämme und Äste der Obstbäume aufgebracht werden. Die repellente Wirkung der auf kahle Bäume aufgesprühten Tonmineralschicht sollte durch die Einbettung von repellent wirkenden Koniferenduftstoffen verlängert werden, damit die Wirkung auch bei Blattaustrieb anhält. Das zweite Ziel war daher, repellent wirkende Koniferenduftstoffe als Duftstoffgemisch oder als Einzelduftstoffe zu identifizieren.

Die repellente Wirkung von Tonmineralen und Duftstoffen wurde mit allen Psylliden-Arten in Double choice-Bioversuchen im Gewächshaus geprüft. Mit den univoltinen Arten konnten diese Versuche nur im zeitigen Frühjahr durchgeführt werden. Mit den polyvoltinen Arten wurden zusätzliche Versuche im Spätherbst durchgeführt. Alle Versuche wurden mit Freilandfängen durchgeführt, was zur Folge hatte, dass die Versuche von den jährlich schwankenden Populationsdichten einiger Arten beeinträchtigt wurden.

Zum Ende des Projekts wurden mit repellent wirkenden Tonmineralen erste Freilandversuche durchgeführt. Hierbei wurde auch der Einfluss der Tonmineralbehandlung auf die Bestäubung und auf die Nützlingspopulationen untersucht.

Da ein primäres Ziel des Projektes die Verhinderung einer Phytoplasma-Übertragung war, wurden sowohl die in Versuchen eingesetzten Psylliden als auch die Versuchspflanzen molekular auf Befall mit den jeweiligen Phytoplasmen untersucht.

AUSWAHL MINERALISCHER ROHSTOFFE

Zunächst wurden möglichst verschiedenartige Tonminerale aus den Westerwälder Tongruben der Stephan Schmidt KG ausgewählt. Diese sollten folgende weitere Eigenschaften erfüllen:

- Ein Farbton, der sich nicht oder nur in geringem Maße von der Stammfarbe unterscheidet und damit ein gänzlich anderes Erscheinungsbild abgibt als das Vergleichsmuster, einen weißen Kaolin
- Eine gute Haftung der Tonminerale, gleichzusetzen mit einer schlechten Abwaschbarkeit durch Regen
- Eine gute Anwendbarkeit der Tonsuspension. Diese umfasst einerseits die Herstellung einer Tonmineralsuspension (z.B. 5%ig), die Tonminerale müssen sich leicht in Wasser dispergieren lassen, dürfen sich in einem Vorlagebehälter über den Zeitraum der Verarbeitung nicht absetzen und müssen sich mit klassischen Spritzen versprühen lassen.

Die Tone wurden eingehend chemisch-mineralogisch-physikalisch mit den verschiedensten Methoden charakterisiert. Als Referenz diente ein Referenzprodukt, ein weißer calcinierter Kaolin, welches eine Sonderzulassung zur Bekämpfung der Birnblattsauger hat.

IDENTIFIZIERUNG REPELLENTER DUFTSTOFFE

Die bisherigen Arbeiten von RLP AgroScience haben gezeigt, dass sowohl *C. picta* als auch *C. pruni* auf Fichte und Tanne überwintern können (Jarausch & Jarausch, 2014; Jarausch & Jarausch, 2016). In Vorversuchen konnte nachgewiesen werden, dass Extrakte aus Fichtennadeln auf *C. picta* repellent wirken (Jarausch et al., 2019b). Daher wurden zunächst Extrakte aus verschiedenen Koniferenspezies – vor allem Tanne – getestet, um noch wirksamere Duftstoffe zu finden. Auf Grund der Ergebnisse der Vorversuche und mit dem Hintergrund einer Einbettung in die Tonminerale wurden nur Heißwasserauszüge untersucht. Hierfür wurden jedoch verschiedene Methoden der Zermahlung der Nadeln und verschiedene Varianten der Extraktion untersucht. Als Nächstes wurde getestet, ob der Standort oder das Alter der Bäume sowie der Probenahmezeitpunkt einen Einfluss auf die Wirkung der Extrakte haben. Zuletzt wurde noch untersucht, ob ein synthetischer Mix relevanter Duftstoffe bereits eine Wirkung hat.

EINBETTUNG VON REPELLENTSTOFFEN IN DIE MINERALISCHE MATRIX

Wirksame Koniferenduftstoffextrakte wurden mit repellent wirkenden Tonmineralen gemischt. Für die Bindung der Duftstoffe an die Tonminerale wurde das Prinzip der Adsorption an kohlige Substanzen genutzt. Dieses Prinzip ist technologisch im Umweltschutz weit verbreitet und wird genutzt, um organische Verbindungen aus Wässern und Rauchgasen an Aktivkohlen zu fixieren. Deshalb wurde den Tonmineralen zur besseren Bindung Aktivkohle zugesetzt. Von zwei verschiedenen Koniferenextrakten wurde mittels GC-MS ein qualitatives Duftstoffspektrum erstellt. In diesen Spektren wurden vier Leitsubstanzen definiert, die sich für eine Quantifizierung der Duftstoffe bei den Einbettungsversuchen der Koniferenextrakte in verschiedenen Tonmineral-Varianten eignen.

BIOVERSUCHE

Alle potentiell repellenten Stoffe – Tonminerale oder Duftstoffe – mussten in aufwändigen Bioversuchen auf ihre Wirkung gegen die verschiedenen Psylliden getestet werden.

Mit Beginn der warmen Witterung Ende Februar wurde zunächst die repellente Wirkung verschiedener Formulierungen der Töne auf *C. pyri* bzw. *C. pyricola* getestet. Hierzu wurden die Versuche als double choice mit behandelter und unbehandelter Pflanze in einem Käfig im Gewächshaus unter kontrollierten Bedingungen durchgeführt (Abb. 1). Als Versuchspflanzen standen 3-jährige *ex vitro* Pflanzen gesunder Birne zur Verfügung, die unter Winterbedingungen im Saranhaus kultiviert wurden und somit den zu dieser Jahreszeit natürlichen, blattlosen Zustand hatten. Diese wurden mit einer 5%igen Suspension der verschiedenen Töne mit einer Sprühflasche flächendeckend besprüht (Abb. 2). In die Käfige wurden je 20 *C. pyri* bzw. *C. pyricola* eingesetzt und ihr Aufenthaltsort täglich morgens, mittags und abends bonitiert. Die Daten (Präsenz auf Pflanze, Mortalitätsrate) wurden statistisch ausgewertet.

Der Repellenztest der Duftstoffe erfolgte mit Freilandfängen von *C. picta* und *C. pruni* im double choice Versuch im Gewächshaus nach der von Jarausch et al. (2019b) beschriebenen Methode (Abb. 3). Dabei wurden junge, ca. 10-blättrige *ex vitro* Pflanzen von Apfel und *Prunus* (Jarausch et al., 1994; 1996) mit den Extrakten definiert besprüht. Hierzu wurden die gesamten Pflanzen an Blattober- und -unterseite und Trieben mit einer High Pressure Gun (Abb. 4) mit ca. 2 bar flächig fein besprüht. In einem Käfig im Gewächshaus unter kontrollierten Bedingungen wurde je eine behandelte und eine unbehandelte Pflanze auf entgegengesetzte Seiten gestellt (Abb. 3). In der Mitte wurden je 10 Psylliden freigesetzt. Die Präsenz

ABSCHLUSSBERICHT PROJEKT PSYLLID-REPELL

der nicht sehr mobilen Tiere auf den verschiedenen Pflanzen wurde täglich morgens, mittags und abends für einen Zeitraum von 7 Tagen bonitiert. Die Daten (Präsenz auf Pflanze, Mortalitätsrate) wurden statistisch ausgewertet. Alle Versuche wurden mehrmals wiederholt. Wirksame Tonminerale wurden in verschiedenen Jahren bzw. Jahreszeiten (Frühjahr, Herbst) getestet.



Abb. 1 Double choice-Versuchsaufbau für Tone



Abb. 2 Applikation der Tone auf Birne



Abb. 3 Double choice-Versuchsaufbau für Duftstoffe



Abb. 4 High Pressure Gun

VERSUCHE IM FREILAND

Von 2022 bis 2024 wurden mit wirksamen Tonmineralen Freilandversuche mit Pflaumen/Mirabellen und Birnen durchgeführt. Hierfür hat uns das DLR Rheinpfalz dankenswerterweise unbehandelte Anlagen auf seinem Versuchsgelände in Neustadt zur Verfügung gestellt. Die Anlagen wurden durch Schnittmaßnah-

men auf die Versuche vorbereitet. Die Pflaumen- und die Mirabellenanlage wurde in je zwei Versuchsblöcke mit je 10 behandelten und unbehandelten Bäumen aufgeteilt. Die größere Birnenanlage wurde in Blöcken von je 30 Bäumen randomisiert aufgeteilt (2023 je 2x; 2024 je 4x). Die Applikation des Tonminerals in 5%iger Suspension erfolgte mit einer Motorrückenspritze (Abb. 5). Die Birnen wurden zweimal Mitte Februar und Anfang März behandelt. Die Behandlung der *Prunus*-Arten erfolgte zum Zeitpunkt der Remigration von *C. pruni* in die Anlagen Ende Februar/Anfang März. Im Frühjahr 2024 wurde eine alte Mirabellenanlage von einem Mitarbeiter des DLR Rheinpfalz mit einem Parzellensprühgerät behandelt (Abb. 6). Die repellente Wirkung der Tonmineral-Behandlung wurde durch zweimalige Klopfproben pro Woche untersucht. Die Daten wurden statistisch ausgewertet.



Abb. 5: Applikation mit Motorrückenspritze



Abb. 6: Applikation mit Parzellensprühgerät

Die Auswirkung der Tonmineralbehandlungen auf die Bestäuberleistung wurde geprüft, in dem die Fruchtansätze von je 10 blühenden Ästen der behandelten und unbehandelten Bäume verglichen wurden. Es wurden keine Unterschiede gefunden.

Des Weiteren wurde der Einfluss der Behandlungen auf die Nützlingspopulationen untersucht. Hierzu wurden 2-3 Klopfproben im April/Mai durchgeführt und die Insektenfauna bestimmt. Als Nützlinge wurden bekannte Generalisten und Parasitoide von allen anderen Arten (Indifferente) unterschieden. Die Daten wurden quantitativ und statistisch ausgewertet.

MOLEKULARE UNTERSUCHUNGEN

Im Herbst eines jeden Versuchsjahres wurden die Versuchspflanzen molekular auf eine Übertragung der Phytoplasmen untersucht. Hierzu wurden Blattstiele beprobt und die Gesamt-Nukleinsäure nach Jarasch *et al.* (2011) extrahiert. Der molekulare Phytoplasma-Nachweis erfolgte mittels PCR mit den Obstphytoplasma-spezifischen Primern f01/r01 (Lorenz *et al.*, 1995).

Da eine Übertragung davon abhängt, ob überhaupt infizierte Tiere im Versuch waren, wurden alle wiedergefundenen Versuchstiere getestet. Hierzu wurde die Gesamt-Nukleinsäure aus Einzeltieren nach Jarasch *et al.* (2011) extrahiert. Der molekulare Phytoplasma-Nachweis erfolgte wieder mittels PCR mit den Obstphytoplasma-spezifischen Primern f01/r01 (Lorenz *et al.*, 1995).

Projektergebnisse

Arbeitspaket 1 (AP1): Auswahl mineralischer Rohstoffe und Rezeptierung der Sprühlösungen

ROHSTOFFAUSWAHL UND -CHARAKTERISIERUNG

In diesem Arbeitspaket wurden zunächst diverse verschiedenartige Tone (Arbeitsbezeichnungen: TM-A bis TM-F) für die ersten Versuche ausgewählt, sowie ein Vergleichsprodukt. Bei dieser ersten Auswahl wurde als eines der Hauptkriterien auf einen den Obstbaum-Ästen und der Stammrinde ähnlichen Farbton geachtet, da dies ein erklärtes Projektziel war. Hierfür wurden verschiedene Rohstoffe ausgewählt, die aufgrund ihrer Genese eine möglichst unterschiedliche mineralogische Zusammensetzung aufweisen, um das vorhandene Spektrum an Tonmineralen überprüfen zu können. Diese Erstauswahl wurde zunächst chemisch-physikalisch untersucht. Weiterhin wurden vorhandene sowie eigens neu entwickelte Prüfmethoden erprobt, um die im Hinblick auf die Applikation (Aufsprühverhalten) und die Regenbeständigkeit (Haftung) der Tonminerale auf den Obstbäumen relevanten Parameter erfassen und möglichst quantifizieren zu können. Bioversuche mit verschiedenen Psylliden-Arten wurden im Gewächshaus durchgeführt, um die im Vorhaben relevanteste Eigenschaft, nämlich die Repellenz der verschiedenen Tone und Mischungen zu ermitteln. Nach dem Vorliegen dieser ersten Untersuchungsergebnisse wurden der Erst-Auswahl noch einige weitere Rohstoffe hinzugefügt (TM-G, TM-Gmod und TM-H).

Als Vergleichsmaterial wurde ein Schweizer Referenzprodukt auf Kaolinbasis (Arbeitsbezeichnung: TM-K) ausgewählt, da dieses derzeit als einziges Tonmineralprodukt in Europa eine Zulassung als Pflanzenschutzmittel hat. Diese Zulassung ist national auf die Schweiz beschränkt und beruht auf einer europäischen Wirkstoffgenehmigung des Minerals Kaolinit gemäß EU-Verordnung VO 1107-2009 über die Vermarktung von Pflanzenschutzmitteln auf dem Markt. Im Rahmen des Art. 53 der o.g. EU-VO hat dieses Produkt diverse zeitlich begrenzte Notfallzulassungen auch in Deutschland erwirkt und ist somit bislang das einzige Produkt, das in Deutschland regional und zeitlich beschränkt verwendet werden darf. Das Produkt hat gute repellente Eigenschaften gegen den Birnblattsauger *Cacopsylla pyri*, weist jedoch eine weiße Farbe auf, was als ungünstig zu bewerten ist, da dies im Obstbau als kulturell und touristisch störend eingeschätzt wird und den Willen zum Einsatz von Kaolin-Produkten verringert. Die Haftbeständigkeit bei Regenereignissen ist als gering einzustufen. Ein weiteres Kriterium ist die Neigung des Absetzens der Suspension, was sich je nach eingesetztem Sprühgerät negativ auf die Aufbringung auswirken kann. Im Vorhaben hatte sich mittels thermischer Analysen (Simultanthermoanalyse, Thermogravimetrie) erwiesen, dass es sich bei dem Referenzprodukt nicht um einen geogenen, sondern um einen calcinierten (d.h. bei Temperaturen von ca. 500-800°C erhitzten) Kaolin handelt. Mit dieser Behandlung verliert der ursprüngliche Kaolin seinen Tonmineralcharakter, da damit eine Entwässerung des Tonminerals sowie zumindest teilweise bereits eine Mineralneubildung verbunden ist. Als weitere Information zeigte die Kopplung der STA-Analytik mit der Fourier-Transformierte-Infrarotspektrometrie (FTIR), dass wahrscheinlich bereits eine organische Substanz, z. B. ein Haftmittel, im Produkt enthalten sein könnte.

Kaolin, der Hauptbestandteil des Referenzprodukts, weist aufgrund seiner **Genese** (Verwitterung von Graniten) und seiner Aufbereitung (Abtrennung des feinkörnigen Tonminerals Kaolinit von den gröberkörnigen Nebenbestandteilen, v.a. Quarz) vorwiegend das weiße Tonmineral Kaolinit auf. Im Unterschied dazu stehen Westerwälder Tone für eine Gesteinsart, deren dominierende Mineralien verschiedenste Tonminerale sind, die weltweit ein weites Spektrum von weiteren Mineralen aufweisen, welche zusätzlich zu den Tonmineralen die Eigenschaften des „Tons“ prägen. Im Westerwälder Ton ist das neben den Tonmineralen dominierende Mineral Quarz, gefolgt von Eisenhydroxiden (Goethit ist für die Braunfärbung der Tone verantwortlich) und titanführenden Mineralen (Rutil, Anatas). Untergeordnet treten Eisensulfide auf (Pyrit, Markasit), teilweise auch fein- und grobkörnige Braunkohleneinlagerungen, denn die Westerwälder Tone wurden im Erdzeitalter Tertiär abgelagert, in dem auch die Braunkohlenlagerstätten am Niederrhein und in der Lausitz gebildet wurden. Im vorliegenden Projekt wurde auf Tone aus Tagebaubetrieben des Westerwaldes zurückgegriffen, die sich zunächst auf Grund ihrer geologischen Genese unterscheiden:

Primärlagerstätten (Saprolithe): die Ausgangsgesteine, im Westerwald/Rheinisches Schiefergebirge sind es devonische Schiefer, verwitterten an Ort und Stelle (in situ) über einen Zeitraum von mehreren Millionen (Mio) Jahren. Hierbei kam es zu Mineralumwandlungen, u.a. zur Bildung neuer Tonminerale. I.d.R. kommen die Tonminerale als Aggregate und Agglomerate vor und weisen daher insgesamt einen eher grobkörnigen Charakter auf.



Abb. 7: Tagebau Eisenbach, Selters/Eisenbach (Primärlagerstätte), Stephan Schmidt Gruppe

Sekundärlagerstätten: zahlreiche Primärlagerstätten wurden über einen Zeitraum von 42-27 Mio. Jahren erodiert, über Flusssysteme über mehrere 10er km transportiert und in großräumigen Beckenstrukturen abgelagert. Während des Transportes erfolgte sowohl eine Klassierung der Minerale nach Größe (zuerst lagerten sich grobkörnige Minerale ab, überwiegend Quarz) als auch nach Mineralart. Damit ist eine Sortierung über die Lagenstruktur verbunden. I.d.R. startet jede Ablagerungssequenz mit einer groben, überwiegend quarzhaltigen Schicht. Nach oben werden die Tone immer quarzärmer, tonmineralreicher und feinkörniger, so dass im Beckenzentrum die feinsten Tone anzutreffen sind (s.u. Granulometrie). Als Besonderheit der Westerwälder Tonlagerstätten ist zu erwähnen, dass einige von ihnen von vulkanischen Gesteinen überlagert werden, u.a. von Tuffen. Auch diese Tuffe alterierten über den Zeitraum von 25 Mio. Jahren durch Verwitterung und wandelten sich zu Bentoniten um, die zu 60-80 M.-% das Dreischichttonmineral Smektit aufweisen und mit in das Untersuchungsprogramm aufgenommen wurden.

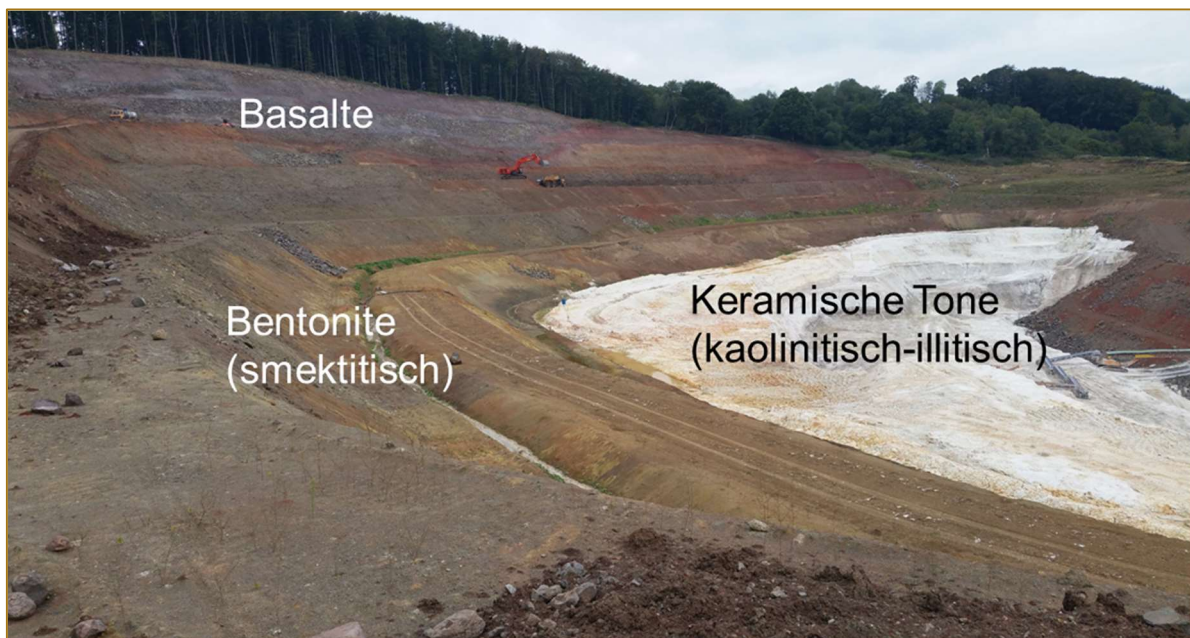


Abb. 8: Tagebau Wimpfeld III, Arborn (Sekundärlagerstätte); Stephan Schmidt Gruppe

Die Kenntnis der o.g. Lagerstättentypen, der Ablagerungssequenzen und der daraus folgenden Mineralogie und Granulometrie war für die Auswahl der Rohstoffe und für die Entwicklung des Produktes von Bedeutung (s.a. Tab. 1). Zunächst wurde bei der Charakterisierung der Tone das Verhältnis der Tonminerale zu den „Nichttonmineralen“ wie Quarz herangezogen. Je höher der Tonmineralanteil, desto höher ist die Viskosität und desto geringer ist das Absetzverhalten bei gegebener Suspensionsdichte. Sämtliche im Vorhaben untersuchten Rohstoffe sind mit ihrer Spezifikation in der nachfolgenden Tabelle 1 aufgeführt:

Tab. 1: Spezifikation der im Vorhaben erprobten Rohstoffe der SSKG sowie des Referenzprodukts (TM-K)

Tonmineral	Spezifikation
A	sedimentärer Ton mit Kaolinit mit Huminstoffen und Sulfiden
B	Ca-Bentonit (smektitisch)
C	aktivierter Ca- Bentonit (smektitisch)
D	Tonmischung aus 90 % Bentonit (Smektit) und einem kaolinitischen Ton (10%)
E	kaolinitischer Ton (sehr hoher Feinheitsgrad schon im Rohzustand [90 % < 63 µm]; vergleichbar dem aufbereiteten Referenzprodukt)
F	kaolinitischer Ton mit Wechsellagerungsmineralen
G	Saprolith (chloritisch-illitisch)
Gmod	Tonmischung: 90 % TM-G, 10 % kaolinitischer Ton; Standardprodukt
H	kaolinitisch-illitischer Ton (weiß)
K	Referenzprodukt (weißer Kaolin)

Die im Vorhaben eingesetzten Rohstoffe wurden u. a. im Hinblick auf ihre quantitative Tonmineralzusammensetzung mittels Röntgenbeugungsanalyse (XRD) und Rietveldt-Auswertung analysiert. Eine Auswahl davon ist Tabelle 2 zu entnehmen. Zur Ergänzung dieser Informationen wurde zusätzlich die chemische Zusammensetzung der charakteristischen Hauptelemente von Tonen mittels Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA) ermittelt sowie die Elemente Kohlenstoff und Schwefel mittels Trägerheißgasverfahren (vgl. Tab. 3).

ABSCHLUSSBERICHT PROJEKT PSYLLID-REPELL

Tab. 2: Mineralogische Zusammensetzung ausgewählter Tone. TM = Tonmineral

Rohstoffherkunft		Sedimentäre Tone (Sekundärlagerstätten)			Saprolith (Primärlagerstätte)
Probenbezeichnung		TM-A	TM-E	TM-H	TM-G
Mineral	Mineralgruppe	Konzentration (M.-%)			
Quarz	Quarz und Feldspäte	0,212	0,218	0,478	0,333
Cristobalit		-	-	-	-
Plagioklas		-	-	-	-
K-Feldspat		0,027	0,014	-	-
Illit	Tonminerale	0,331	0,283	0,146	0,472
Smektit		0,096	0,104	0,108	-
Chlorit		-	-	-	0,168
Kaolinit		0,319	0,266	0,245	-
Kalzit	Karbonate	-	-	-	-
Siderit		-	-	-	-
Anatas	Oxide/Hydroxide	-	-	0,011	0,011
Rutil		0,011	0,009	0,012	0,013
Goethit		-	0,106	-	-
Hämatit		-	-	-	-
Magnetit		-	-	-	-
Diopsid	Pyroxene	-	-	-	-
Pyrit	Sulfide/Sulfate	0,004	-	-	0,003

Wegen der Besonderheit der Westerwälder Tonlagerstätten, die überwiegend frei von Feldspäten (< 5 M.-%) und karbonatischen Mineralen sind (s. Tab. 2), kann aus den chemischen Daten die mineralogische Zusammensetzung mit ausreichender Genauigkeit abgeleitet werden. Dabei resultiert der Al₂O₃-Gehalt fast ausschließlich aus den Tonmineralen. Je höher der Wert ausfällt, desto höher ist der Anteil an Tonmineralen. Der K₂O-Gehalt beschreibt die Dreischicht- (Illit) und Vierschichtminerale (Chlorit). Der Fe₂O₃-Gehalt resultiert bei den Tönen überwiegend aus dem Mineral Goethit (FeOOH), untergeordnet aus den Sulfiden Pyrit/Markasit (FeS₂). Bei den Bentoniten/Smektiten ist Eisen Bestandteil des Smektitgitters. Der MgO-Gehalt wird den Smektiten resp. den Illit/Smektit-Wechsellagerungen und dem Chlorit zugeordnet; MgO tritt in den Kristallgittern der anderen Minerale nicht auf.

ABSCHLUSSBERICHT PROJEKT PSYLLID-REPELL

Tab. 3: Chemische Zusammensetzung der im Vorhaben eingesetzten Rohstoffe (TM-K = Kaolin-Referenzprodukt, TM-A bis TM-H = Tone der Stephan Schmidt Gruppe)

Material	TM-K	TM-A	TM-B	TM-C	TM-D	TM-E	TM-F	TM-G	TM-H
SSKG-Materialbezeichnung	Surround WP Kaolin	F1527.06	G1580.00	Z23218	10.537.001	F0472.00	G1822.00	G0950.00	F0303.00
SSKG-Prüfnummer	226363	225215	225216	225217	225303	225305	226198	236413	236325
Parameter	Messwert (M.-%)								
SiO ₂	51,92	63,08	60,49	69,74	59,50	58,37	59,25	59,95	75,87
TiO ₂	1,58	1,27	2,96	0,52	2,74	1,25	2,01	1,01	1,91
Al ₂ O ₃	44,79	29,33	16,96	16,79	17,44	24,33	26,55	23,04	19,00
Fe ₂ O ₃	0,88	1,51	12,18	4,57	11,91	11,97	8,57	8,25	0,84
CaO	0,22	0,66	2,63	2,59	2,81	0,39	0,59	0,32	0,23
MgO	0,08	0,60	3,68	1,90	4,17	0,60	0,84	2,60	0,34
K ₂ O	0,18	3,21	0,87	1,16	1,17	2,82	1,98	4,51	1,62
Na ₂ O	0,35	0,34	0,23	2,73	0,26	0,26	0,21	0,32	0,19
C	0,40	4,46	0,08	0,51	0,05	0,06	0,17	0,31	0,08
S	0,01	0,45	0,01	0,01	0,00	0,01	0,02	0,13	0,01

Die aufgeführten Spezifikationen der im Vorhaben eingesetzten Rohstoffe und Mischungen (Tab. 2 + 3), die insbesondere auf der unterschiedlichen Tonmineralzusammensetzung beruhen, bewirken je nach Tonmineralart und den weiteren enthaltenen Mineralen verschiedene Eigenschaften:

Zweischichtminerale (Kaolinit) und nicht quellfähige Dreischichtminerale (Illit). Diese sind enthalten in den Rohstoffen TM-A, TM-E, TM-H. **TM-A** ist ein klassischer, kaolinitisch-illitischer Westerwälder Ton; Besonderheit ist hier der Anteil an organischer Substanz (C) und Sulfiden (S). Der erst später hinzugezogene **TM-H** ist im Gegensatz zu den goethithaltigen Tönen ein weißer, kaolinitisch-illitischer Ton mit geringen Eisengehalten. Der Fe₂O₃-Gehalt von 0,84 % ist identisch mit dem weißen Vergleichskaolin (0,88 %), weshalb dieser Rohstoff als heller Vergleich zum Benchmark-Referenzprodukt herangezogen wurde.

Quellfähige Dreischichtminerale (Smektite). Die Dreischichtminerale können unter Wasserzutritt quellen, lösen damit in einer Suspension eine Viskositätssteigerung aus, von der eine bessere Haftung erwartet wird. Diese sind enthalten in den Rohstoffen **TM-B, TM-D**. Eine Variante der Smektite sind sogenannte „aktivierte Bentonite“; die Smektite werden mit Natriumkarbonat (Na₂CO₃) versetzt, so dass das Quellvermögen und der Thixotropieeffekt noch gesteigert wird. Diese sind enthalten in den Rohstoffen **TM-C**, einem Zukaufrohstoff, erkennbar an dem erhöhten Gehalt an Na₂O.

Rohstoff **TM-F** ist eine natürliche Mischung aus **Kaoliniten, Illit und Illit/Smektit-Wechselagerungsmineralen**.

Die Farbgebung wird durch die in den Tonen natürlich vorkommenden Eisenverbindungen gesteuert (**Goethit, Hämatit**). **TM-E** ist ein kaolinitisch-illitischer Ton mit hohem Gehalt an Goethit (ca. 10 %), erkennbar am Fe_2O_3 -Gehalt von ca. 12 %.

Das **Vierschichttonmineral Chlorit** kommt in Kombination mit Illit im erst später hinzugezogenen Rohstoff **TM-G** aus einer Primärlagerstätte vor. Die Partikelgrößen sind größer als die kaolinitgeprägten Rohstoffe. Durch die in situ Verwitterung des Gesteinskörpers (Saprolith) ohne Abschwemmung und Transport der Tonminerale liegt ein gröberes Gefüge und ein vollständig anderer Mineralbestand vor als bei den zuvor getesteten sedimentären Tonen und Bentoniten.

Bei **TM-Gmod** handelt es sich um ein bereits existierendes Produkt der SSKG. Es enthält 90 % TM-G und zu 10 % einen sehr feinen, schwefelhaltigen Ton. Das Produkt liegt zudem in drei Aufbereitungsstufen vor (Rohton, gemahlen, gemahlen+gesichtet). Neben der Repellenzwirkung am gesichteten Material wurden vor allem das Absetzverhalten und die Waschfestigkeit dieser verschiedenen Aufbereitungsstufen getestet.

TM-K: der sehr hohe Al_2O_3 -Gehalt des calcinierten kaolinitischen Referenzproduktes weist auf einen ursprünglich sehr hohen Kaolinitanteil hin. Quarz und andere Minerale sind nur in Spuren vorhanden.

Da der **saprolithische Ton TM-G** sich als einziges Material mit hervorragenden Repellenz-Eigenschaften erwies, werden nachfolgend die wesentlichen Eigenschaften dieses Materials im Vergleich zu den umgelagerten Tonen aus den Sekundärlagerstätten sowie zum Referenzprodukt erläutert:

In Tab. 2 sind exemplarisch die grundlegenden mineralogischen Unterschiede zwischen sedimentären Tonen und dem in situ verwitterten Saprolith (TM-G) ersichtlich. Die sedimentären Tone TM-A, -E und -H weisen neben Quarz bedeutende Anteile an Kaolinit und in geringeren Mengen Smektit auf; diese Minerale fehlen bei TM-G völlig. Dafür enthält dieser als einzige Probe aus den Versuchsreihen das Vierschichtmineral Chlorit $[(\text{Fe},\text{Mg},\text{Al},\text{Zn})_6(\text{Si},\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH})_8]$ und den höchsten Anteil an Illit $\text{K}_{0,65}\text{Al}_{2,0}\text{Al}_{0,65}\text{Si}_{3,35}\text{O}_{10}(\text{OH})_2$.

Gegenüber dem kaolinitischen Referenzprodukt $\text{Al}_4[(\text{OH})_8[\text{Si}_4\text{O}_{10}]]$ (TM-K) zeigt sich eine völlig andere Mineralogie. Ein deutlicher Unterschied von TM-G gegenüber dem Referenzprodukt wird außerdem in der chemischen Zusammensetzung (Tab. 3) deutlich: das Referenzprodukt als kaolinitisches Material weist neben einigen Spurenverunreinigungen von Fe und Ti, i. W. die Elemente Al und Si auf (in der Tabelle als Oxide aufgeführt). Während das Si im Kaolinit Bestandteil des Kristallgitters ist, verteilt sich das Si bei TM-G auf das Mineral Quarz (SiO_2) und die Tonminerale, in denen es, wie im Kaolinit, Bestandteil des Kristallgitters ist. Die hohen Fe-Gehalte sind dem Mineral Chlorit zuzuordnen. Die erhöhten Mg-Gehalte stammen ebenfalls aus dem Chlorit, die K-Gehalte aus dem Illit. Die Ti-Gehalte resultieren aus dem akzessorischen Auftreten der Ti-Oxide Rutil und/oder Anatas. Der Schwefelgehalt im TM-G ist auf die Sulfide Pyrit/Markasit zurückzuführen. Der Kohlenstoffgehalt in TM-G resultiert aus geogener, organischer Substanz. Beim Referenzprodukt ist ein geogener C-Gehalt unwahrscheinlich. Es wird vermutet, dass der oben bereits erwähnte mittels thermischer Analyse nachgewiesene Kohlenstoff aus einer geringen Beimischung eines organischen Haft- oder Netzmittels stammt. Der Glühverlust beschreibt bei Tonmineralen den Verlust des Kristallwassers bei thermischer Beanspruchung. Die Werte für TM-G und TM-H liegen in

der zu erwartenden Größenordnung. Beim Referenzprodukt tritt mit 1,79 % ein anormal niedriger Wert auf, wie bereits bei den thermischen Analysen aufgefallen war (s.o.). Stöchiometrisch enthält ein Kaolinit ca. 13 % H₂O. Auch dieser geringe Glühverlust bestätigt die Vermutung, dass der ursprüngliche Kaolinit einer thermischen Behandlung unterzogen worden sein muss.

Neben der Mineralogie (und der daraus abgeleiteten chemischen Zusammensetzung) ist auch die **Granulometrie** der eingesetzten Rohstoffe für die Verarbeitung der Suspension (Herstellung, Absatzverhalten, Versprühen, Vermeidung des Verstopfens der Spritzdüsen) sowie die Haftung/Regenbeständigkeit auf den Pflanzen und letztlich auch für die repellenten Eigenschaften entscheidend.

Wichtige Merkmale der Suspensionen sind die Viskosität und der Thixotropie- (Ansteifungs-) Aspekt. Insbesondere der Rohstoff aus der Primärlagerstätte (TM-G) enthält körnige Aggregate bis in den Millimeterbereich. Wegen der Primärkorngrößen in Kombination mit dem Aufschlussverhalten der Tone (Zerfall der Agglomerate in einer Suspension) müssen die Rohstoffe im Bedarfsfall gemahlen werden. Dies erfolgt zunächst im Labor und kann erforderlichenfalls auch im Produktionsmaßstab durchgeführt werden. Falls ein Maximalkorn von < 63 µm erforderlich sein sollte, kann ein Ton nach der Mahlung im Produktionsmaßstab zusätzlich noch einer Feinsichtung unterzogen werden.

Der Vergleichskaolin (TM-K) ist von hoher Feinheit (s. Tab. 4), was einerseits die Versprühbarkeit sicherstellt, andererseits die Haftung verbessern soll. Deshalb wurde zunächst eine vergleichbare Feinheit der ausgewählten Tone angestrebt, die diese im originären Zustand oder nach einer Laboraufbereitung, und später in einer Produktionsvermahlung aufweisen sollten. Es wurden verschiedene Laborverfahren angewandt, um die Tone zu zerkleinern (nach Trocknung bei 110°C):

- Schlagkreuzmühle: Grobzerkleinerung (Kennung < 500 resp. < 750 µm)
- Laborkugelmühle: Feinstzerkleinerung von nur wenigen 100 g in Porzellanmahltopfen mit Porzellankugeln; hoher Zeitaufwand (Kennung: LKM x h)
- Schlagrotormühle: Feinzerkleinerung mit 80 µm Sieb; erlaubt die Zerkleinerung mehrerer kg Material in weniger als 1 h; Verwendung mit oder ohne Zyklonabscheidung (Kennung: SRM 80 µm mit/ohne Zyklon).

Als Vergleich zu den Westerwälder Rohstoffen wird vorzugsweise das Verfahren der Lasergranulometrie herangezogen, bei der die Rohstoffe dispergiert werden, vergleichbar mit der späteren Applikation als Pflanzenschutzmittel.

Beim Referenzprodukt gibt es folgende Auffälligkeiten:

- der Feinheitsgrad ist sehr hoch. 93 % der Partikel sind in der Kornfraktion < 40 µm.
- 44 % sind < 6 µm, aber lediglich 10 % < 2 µm, der eigentlichen Tonmineralfraktion.

Die Westerwälder Rohstoffe zeigten in ihrem originären Zustand (Grobaufbereitung < 500 resp. < 750 µm) folgende Besonderheiten: die Rohstoffe TM-E, -F und -H weisen bereits im Rohzustand bei 40 µm eine vergleichbare oder höhere Feinheit auf als das Vergleichsprodukt. Sie sind insbesondere im Feinstkornbereich < 6 µm signifikant feiner als das Referenzprodukt. Sie lassen sich bei Bedarf durch (Labor-) Aufbereitungsverfahren noch weiter verfeinern. Auch die anderen Rohstoffe ließen sich im Labor und damit auch mit hoher Wahrscheinlichkeit im Produktionsmaßstab auf die Feinheit des Referenzprodukts aufbereiten.

ABSCHLUSSBERICHT PROJEKT PSYLLID-REPELL

Tab. 4: Granulometrie der untersuchten Tonproben und des Vergleichsproduktes (TM-K). n.b.= nicht bestimmt. Ausgangsmaterial: Schlagkreuzmühle mit 500 µm- bzw. 750 µm-Siebeinsatz. LKM = Laborkugelmühle (Zielgröße < 63 µm), SRM: Schlagrotormühle mit 80 µm-Siebeinsatz.

Material	TM-K	TM-A		TM-B		TM-C		TM-D		TM-E		TM-F		TM-G		TM-H	
SSKG-Materialbezeichnung	Referenzprodukt (Kaolin)	F1527.06		G1580.00		Z3218		10.537.001		F0472.00		G1822.00		G0950.00		F0303.00	
SSKG-Prüfnummer	226363	225215	225677	225216	225676	225217	225679	225303	226512	225305	225678	226198	226296	236413	236413	236325	236325
Aufbereitungsstatus	nicht bekannt	< 500 µm	LKM Labor	< 500 µm	LKM Labor	< 500 µm	LKM Labor	.006	LKM2 2h	< 500 µm	LKM Labor	< 500 µm	LKM Labor	< 750 µm	SRM Labor	< 750 µm	SRM Labor
Siebrückstand	Messwert (M.-%)																
> 63 µm [%]	0,01	1,21	0,05	3,01	1,06	7,57	1,04	0,81	n.b.	0,55	0,18	1,50	1,30	10,76	0,00	0,38	0,00
Sedigraph	Messwert (M.-%)																
< 63 µm	nicht messbar	84,4	99,9	71,6	99,8	93,0	99,4	99,7	98,4	99,9 / 100	99,5 / 99,1	99,9	100,0	100,0	100,0	99,2	99,5
< 40 µm		79,5	99,3	57,2	99,6	88,3	99,0	99,0	98,9	99,7 / 99,9	99,5 / 98,8	99,2	99,2	98,2	98,0	99,0	97,6
< 20 µm		69,4	96,9	39,3	93,7	76,7	96,2	84,4	96,3	97,5 / 96,5	97,3 / 96,6	97,9	98,3	87,3	89,0	96,6	95,7
< 10 µm		56,5	90,2	24,8	79,6	60,5	91,0	65,0	88,9	92,9 / 90,8	92,8 / 92	95,4	96,1	73,3	75,0	91,0	88,4
< 6 µm		44,6	83,7	16,6	68,1	45,5	86,4	53,1	80,5	88,3 / 85,8	88,5 / 87	92,8	93,0	60,2	62,0	81,1	80,2
< 2 µm		17,0	66,1	4,7	43,7	12,9	76,0	31,8	55,5	76,9 / 75,5	77,5 / 76,2	79,1	79,8	33,4	34,0	59,6	56,9
< 1 µm		5,6	55,0	1,1	30,8	2,8	68,4	22,6	39,6	70,3 / 68,1	70,5 / 66,2	69,4	68,3	18,8	19,0	51,4	49,9
< 0,5 µm		0,9	41,3	0,1	19,4	0,2	60,2	15,9	23,8	62 / 58,4	60,4 / 51,5	57,6	54,9	12,0	12,0	41,8	38,4
Lasergranulometrie	Messwert (Vol.-%)																
L<200µm	96,94	93,1	100,0	99,5	100,0	99,6	100,0	100,0	99,6	100 / 100	100 / 100	98,1	100,0	87,5	100,0	99,3	100,0
L<100µm	93,31	88,2	99,8	93,1	99,7	98,2	99,6	95,4	98,6	99,86 / 100	100 / 100	96,6	100,0	85,4	100,0	98,8	99,8
L< 63µm	93,27	84,4	98,7	80,3	95,9	95,3	97,6	82,3	98,0	99,15 / 99,57	99,98 / 100	96,6	99,6	80,5	98,0	96,6	99,7
L< 40µm	93,27	78,9	95,6	65,4	88,2	90,8	93,4	66,2	95,3	97,2 / 97,55	99,04 / 99,59	96,4	99,3	72,9	94,0	93,8	99,4
L< 20µm	90,96	68,3	85,6	45,0	71,5	79,6	82,9	45,2	81,4	90,26 / 90,58	93,72 / 95,22	92,8	98,8	57,4	81,0	87,6	94,2
L< 10µm	70,57	55,4	70,1	27,8	50,5	62,1	67,0	29,9	58,1	77,83 / 76,8	82,45 / 83,05	82,6	93,0	41,6	63,0	75,0	80,5
L< 6µm	43,98	44,0	55,4	18,2	34,5	46,8	51,2	21,2	40,6	65,17 / 63,83	70,05 / 69,35	68,2	78,1	29,7	46,0	60,4	64,1
L< 2µm	10,09	17,3	19,7	5,0	8,9	13,2	15,3	7,0	10,8	31,89 / 30,55	34,73 / 31,25	28,2	32,0	7,9	13,0	25,2	26,4
L< 1µm	3,42	5,9	5,4	1,2	1,8	2,8	3,5	2,0	2,5	13,62 / 12,83	14,17 / 11,71	10,4	10,1	2,1	3,4	9,1	9,5
L<0,5µm	0,53	1,0	0,6	0,1	0,1	0,2	0,3	0,3	0,3	3,53 / 3,29	3,18 / 2,5	2,1	1,5	0,4	0,7	1,6	1,7

Inwieweit die höchste Feinheit und damit verbunden auch die höchste spez. Oberfläche der Tone auch für die Repellenz, die Haftung, die Abwaschbeständigkeit und das Aufsprühverhalten ideal ist, war Gegenstand der nachfolgenden Untersuchungen im Vorhaben.

PRODUKTIONSVERSUCHE MIT TM-G

Nachdem gezeigt worden war, dass das laborvermahlene Tonmineral TM-G 80 µm sowohl in den Bioversuchen als auch in den ersten Freilandversuchen von den untersuchten Rohstoffen und Mischungen die beste repellente Wirkung auf alle Psylliden-Arten hat, wurden die Arbeiten zum Projektende hin auf die Herstellung von TM-G in industriellem Maßstab konzentriert. Hierfür wurden im Herbst 2023 zwei verschiedene Aufbereitungsstufen hergestellt und die Mahlungen chemisch-mineralogisch-physikalisch sowie in Bio- und Feldversuchen bzgl. Repellenz, aber auch Aufsprühbarkeit, Haftung und Abwaschbeständigkeit untersucht.

Es wurden je 12 Tonnen Material in den folgenden Aufbereitungsstufen erzeugt:

- TM-G feingemahlen (Bezeichnung: 10855.005; Soll-Rückstand auf dem 63 µm Sieb: 3-5 M.-%))
- TM-G feinstgemahlen (Bezeichnung: 10.855.045; Soll-Rückstand auf dem 63 µm Sieb: < 0,1 M.-%).

Anmerkungen zur Nomenklatur: diese industrievermahlene Materialien werden im weiteren Verlauf als „TM-G 05“ bzw. „TM-G 45“ bezeichnet und vom laborvermahlene Tonmineral TM-G 80 µm „TM-G L“ unterschieden.

Bei der verwendeten Walzenschüsselmühle (Abb. 9) handelt es sich um eine vertikale Walzenschüsselmühle. Der Feinheitsgrad wird beim Mahlen über die Rotationsgeschwindigkeit des Windsichters (max. 300 Umdrehungen pro Minute) eingestellt, eine produktionsseitige Kontrolle erfolgt mittels Luftstrahlsiebung.

Vergleich der Materialien aus dem Produktionsversuch (TM-G 05 und TM-G 45) mit dem bisher eingesetzten laboraufbereiteten Material (TM-G L):

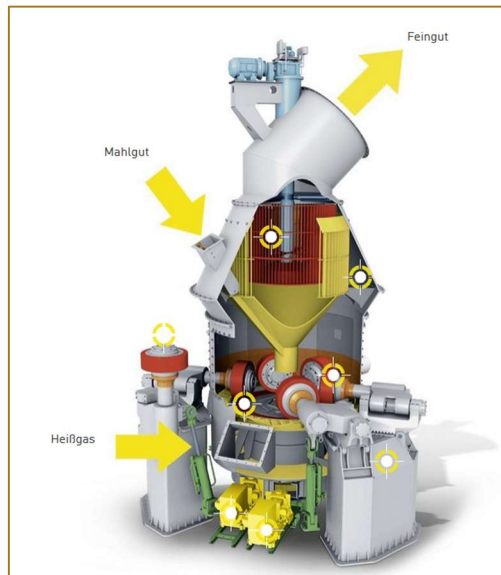
Die chemische Zusammensetzung und die Farbwerte der Proben weisen keine nennenswerten Unterschiede auf. Die Bestimmung der Korngrößenverteilung macht deutlich, dass TM-G L so wie das Referenzprodukt ein schmaleres Kornband aufweisen als die beiden Proben aus dem Produktionsversuch. Die breite Verteilung der Letztgenannten ist auf die unterschiedlichen Mahlverfahren zurückzuführen (Walzenschüsselmühle versus Schlagrotormühle).

Das laborvermahlene Material erweist sich zudem als insgesamt feinkörniger als die beiden Materialien aus den Produktionsversuchen. Das im Produktionsversuch feiner vermahlene Material TM-G 45 weist zudem vor allem im so genannten Grobkorn (Fraktion > 45 µm und Fraktion > 63 µm) geringere Werte auf als TM-G 05.

ABSCHLUSSBERICHT PROJEKT PSYLLID-REPELL



Aufbereitung: Links: Kastenbeschicker (Vorzerkleinern und Homogenisieren); rechts Trockner



Walzenschüsselmühle (Bild rechts aus <https://www.gebr-pfeiffer.com/produkte/mvr-walzenschuessel-muehle-multidrive>)

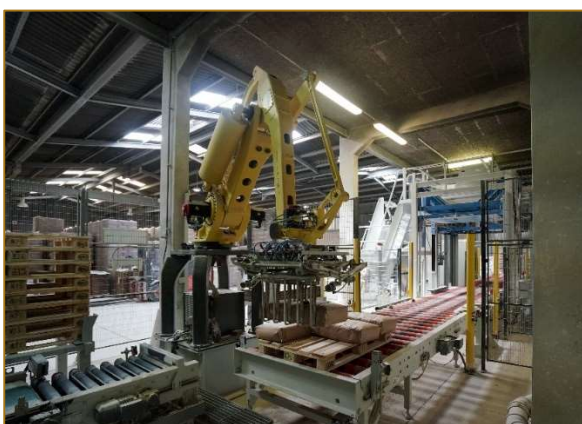


Abb. 9: Produktionsablauf der Großmahlung: Probenaufbereitung, Zermahlung in Walzenschüsselmühle und Absackung in 25 kg-Säcke (Aufbereitungsanlage Maienburg)

Da die Bio- und Feldversuche im weiteren Verlauf (s. AP 3) zeigten, dass das feinere Material TM-G 45 bessere Repellenz zeigte als TM-G 05, und das laborvermahlene Material TM-G L die besten diesbzgl. Eigenschaften aufwies, erfolgten zum Projektende hin seitens SSKG noch einige Vergleichsuntersuchungen mit anderen Tonen in den verschiedensten Aufbereitungsstufen. Diese sollten Hinweise darauf geben, welche weiteren Aufbereitungsstufen, die seitens SSKG großtechnisch möglich sind, für die zukünftigen Untersuchungen in einem Folgevorhaben die bestgeeigneten Aufbereitungsverfahren sein könnten. Ziel war es, ein ähnliches Produkt wie das laborvermahlene TM-G L im Hinblick auf die Kornfeinheit sowie die Korngrößenverteilung (Kurvensteilheit) mit den eigenen vorhandenen Aufbereitungsaggregaten zu produzieren.

Die demnach ausgewählten zukünftig geplanten alternativen Aufbereitungsstufen beruhen zunächst ebenfalls auf dem Prinzip der Walzenschüsselmühle mit anschließender weiterer Feinstvermahlung und Sichtung, jedoch zusätzlich mit einer gezielten Entfernung des Grobanteils („Grieseaustrag“); SSKG-interne Bezeichnung hierfür: ebenfalls „.045“. Weiterhin kommt eine anschließende weitere Feinstsichtung mit einem zusätzlichen Aggregat infrage (.047), um eine noch feinere Korngrößenverteilung und ein noch schmaleres Kornband zu erzielen.

ABSETZVERHALTEN UND AUFSCHÜTTELBARKEIT:

Die Proben des Materials TM-G (sowohl das laborvermahlene Material TM-G L, als auch die beiden Proben aus den Produktionsversuchen TM-G 05 und TM-G 45) wurden – zusätzlich zu dem Referenzprodukt und analog zu umfangreichen Vorab-Untersuchungen an allen ursprünglich untersuchten Materialien – einem Absetztest unterzogen. Dazu wurde jeweils eine 5 M.-%-ige Suspension mit einem Laborflügelrührer hergestellt (10 min. Rühren bei 500 U/min von 200 g Ton in deionisiertem Wasser) und das Absetzverhalten sofort nach der Überführung in einen Standzylinder, sowie nach 10 Minuten, 1 Stunde, 4 Stunden, 24 Stunden und nach 7 Tagen bewertet und dokumentiert. Danach wurden die Zylinder je 1x umgestülpt (180°-Drehung), um die Aufschüttelbarkeit subjektiv beurteilen zu können.

Das Material TM-G L setzte sich bei diesen Versuchen insgesamt am schnellsten ab; dies hängt jedoch höchstwahrscheinlich ausschließlich damit zusammen, dass beim Laborvermahlen mit der Rotorschnellmühle das Feinstmaterial zur Entstaubung generell über einen kleinen Sichter entfernt wird. Somit bleiben hier deutlich weniger Feinstpartikel im Überstand in der Schwebelage als bei den anderen Proben.

Die Unterschiede sind auch in den Vergleichsfotos der Materialien nach 24 Stunden, sowie nach 7 Tagen gut zu erkennen, vgl. Abb. 10: im rechten Bild der oberen Reihe (7d und 1x Umstülpen) ist die unterschiedliche Aufschüttelbarkeit von TM-G im Vergleich zum Referenzprodukt erkennbar. In der unteren Reihe (Detailaufnahme des Bodensatzes nach dem Umstülpen) ist ersichtlich, dass das Referenzprodukt am deutlichsten zum Festsetzen nach dem Sedimentieren neigt.

Die bisherigen Feldversuche, bei denen TM-G mit Rückensprüngeräten und auch versuchsshalber maschinell mit im Obstanbau eingesetzten Geräten versprüht wurden, lassen die Vermutung zu, dass das Material wenig Probleme im Hinblick auf Absetz- und Wiederaufrührmöglichkeiten bereiten wird. Hierzu sind jedoch noch weitere realistische Applikationsversuche erforderlich.

ABSCHLUSSBERICHT PROJEKT PSYLLID-REPELL

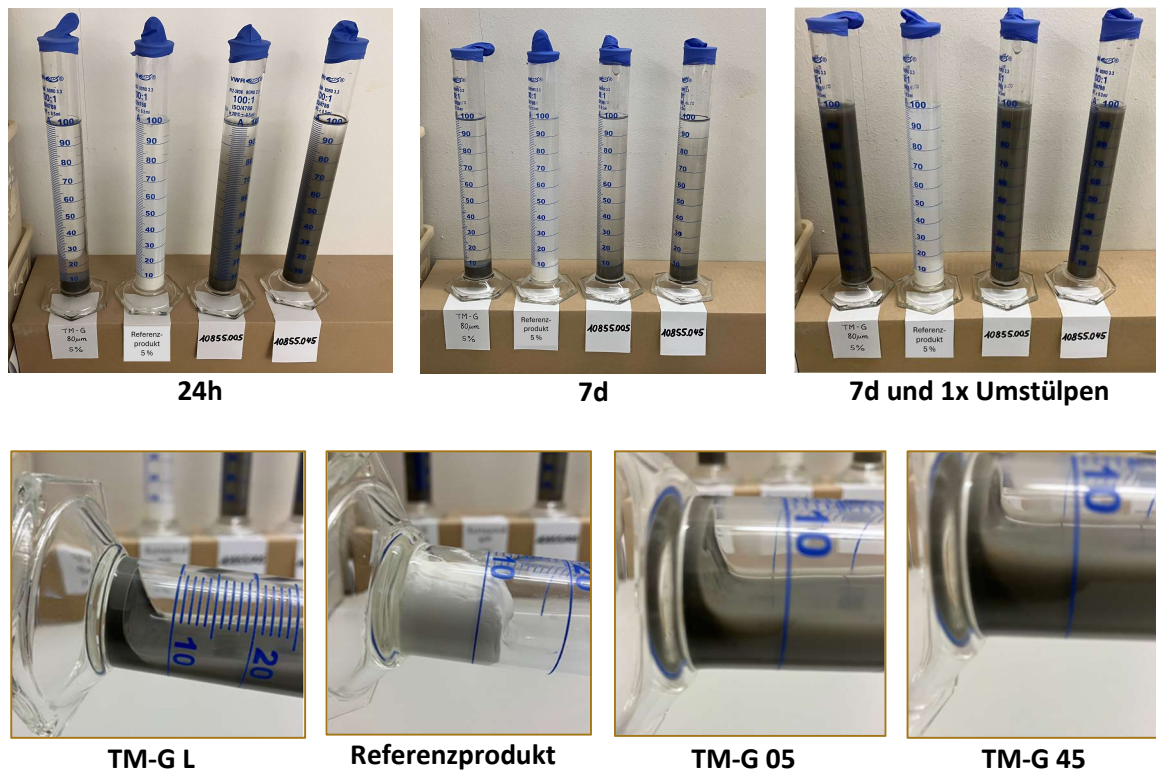


Abb. 10: Obere Reihe: Absetzverhalten nach 24 Stunden, nach 7 Tagen sowie nach 1-maligem Umstülpfen nach 7 Tagen. Untere Reihe: Erscheinungsbild des sedimentierten Tons nach dem Umstülpfen

HAFTUNG/REGENBESTÄNDIGKEIT

Erprobung von Testverfahren zur Bestimmung der Haftung/Regenbeständigkeit

Sowohl seitens RLP AS, als auch seitens SSKG wurden verschiedene Methoden zur Ermittlung der Haftung resp. der Regenbeständigkeit des Tons auf Ästen sowie auf alternativen Testmaterialien durchgeführt, da für diese Eigenschaften keine standardisierten Verfahren zur Verfügung stehen.

Seitens SSKG wurde der jeweilige Ton manuell mit einer Sprühflasche auf emaillierten Stahlplatten aufgebracht, bei Raumtemperatur getrocknet und die Haftung vor und nach einem Abwaschtest gravimetrisch ermittelt. Zunächst wurden realitätsnahe Auftragsmengen aufgesprüht. Die Reproduzierbarkeit und Aussagekraft war allerdings nicht zufriedenstellend, da die Auftragsmengen zu gering waren. In weiteren Versuchen wurde eine 20-fache Auftragsmenge erprobt. Auch diese Methodik erwies sich als nicht hinreichend aussagekräftig. Einzig sehr grobe qualitative Aussagen zur Haftung/Abwaschbeständigkeit beim Vergleich verschiedener Tone (mit und ohne verschiedene im Handel erhältliche Haft- und Netzmittel), die im Vorhaben erprobt wurden, konnten gemacht werden.

Die Tonmatrix muss auf der Rinde von Apfel-, Birn- und Steinobstbäumen haften. Diese Oberflächen haben heterogene strukturelle und physikalisch-chemische Eigenschaften. Deshalb wurden von RLP AS Äste von Apfel, Birne, Aprikose und Pflaume für die Abwaschversuche untersucht, die vor Blattaustrieb im

ABSCHLUSSBERICHT PROJEKT PSYLLID-REPELL

Freiland geschnitten wurden. Um die Haftfähigkeit der verschiedenen Tonminerale auf den Ästen zu untersuchen, wurde ein eigenes Versuchsdesign entwickelt. Für eine vergleichbare, homogene Benetzung wurden fingerdicke Äste für 3 Sekunden in eine 5%ige Tonmineralsuspension getaucht. Nach Antrocknung wurden die Äste in ca. 10cm lange Stücke geschnitten und der jeweilige Mantelumfang bestimmt. Die Aststücke wurden in ein 50ml Proberöhrchen gegeben und in einem Rotatormixer mit 1ml Wasser für 30min rotiert. Abb. 11 zeigt die unterschiedlichen Oberflächen der Äste von *Pyrus*, *Malus* und *Prunus* sowie die Benetzung mit dem TM-G, welches im Vergleich zu einer Kaolinbehandlung die Farbe des Astes kaum verändert. Die Konzentration der Tone in der Abwaschlösung wurde spektrophotometrisch mittels Ton-spezifischen Eichkurven bestimmt und auf die Mantelfläche bezogen. In Abb. 12 wird die Haftfähigkeit aller in 2021 und 2022 untersuchten Tonminerale vergleichend dargestellt. Vom Tonmineral G wird eine relativ hohe Menge abgewaschen, was auf eine geringe Haftfähigkeit hindeutet. Diese ist jedoch statistisch nicht verschieden zum Referenzprodukt Kaolin. Die Haftfähigkeit auf den Rinden der verschiedenen Obstarten ist dabei sehr unterschiedlich: auf Birne haften alle Tonminerale am besten.

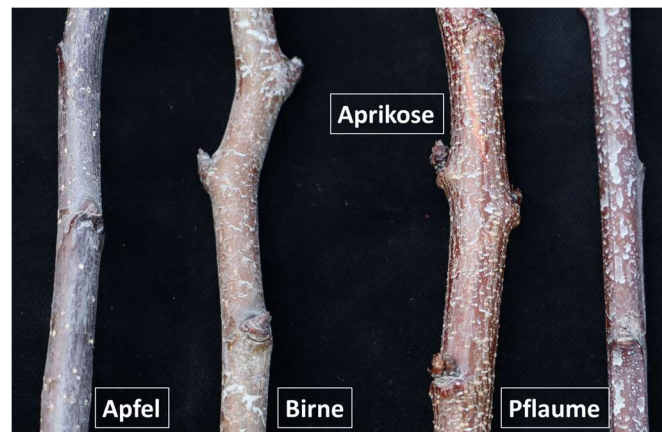


Abb. 11: Benetzung von Aststücken von Apfel, Birne, Aprikose und Pflaume mit dem Tonmineral G

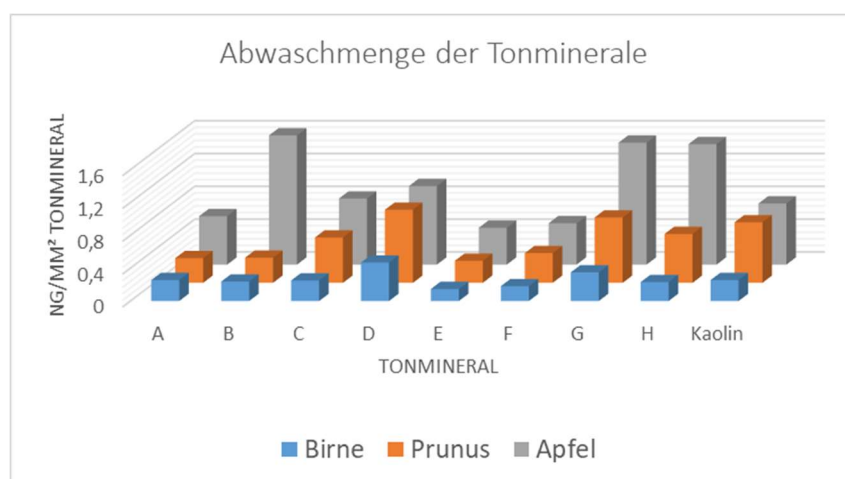


Abb. 12: Absolute Abwaschmenge der Tonminerale A – H von behandelten Ästen von Apfel, Birne und *Prunus* im Vergleich zum Kaolin-Referenzprodukt

Da es auch zukünftig weiterhin ein wichtiges Thema sein wird, nach einem geeigneten Haftmittel zu suchen, muss im geplanten Folgevorhaben demnach zunächst ein aussagefähiges Prüfverfahren neu erarbeitet werden, das die gewünschte quantitative Beurteilung der Haftung sowie die Regenbeständigkeit von Tonen (mit und ohne Haft-/Netzmitteln) ermöglicht. Im Projekt durchgeführte Vorversuche haben bspw. gezeigt, dass die spektrophotometrische Bestimmung der Konzentration der Tonminerale bei Zusatz eines Haftmittels gestört ist. Die zu besprühende Testunterlage, das Sprühverfahren und die Analysemethode müssen komplett neu überdacht und erprobt werden. Für das Aufsprühen wurde eine automatisierte Aufbringung mit einer Technikums-Glasieranlage der Fa. Krautzberger auf unterschiedlichen Unterlagen (Kermikplatten, Obstbaumäste) bereits erprobt, mit vielversprechenden Ergebnissen im Hinblick auf die Gleichmäßigkeit und Reproduzierbarkeit der Besprühung. Für die Analytik stehen optische Prüfmethoden (HSI – Hyperspectral Imaging mit anschließender Bildauswertung, REM/EDX oder auch eine Bildauswertung von unter gleichbleibenden Beleuchtungs- und Belichtungsverhältnissen hergestellten Fotografien) zur Debatte, die im Folgevorhaben ebenfalls erprobt und entwickelt werden sollen.

Ergebnisse der bisher erprobten Haftmittel:

Der Einfluss folgender, sehr unterschiedlich zusammengesetzter auf dem Markt befindlicher Haft- und Netzmittel auf die Haftung von Ton auf Ästen und/oder emaillierten Platten nach den beschriebenen Methoden wurde im Vorhaben überprüft:

- BreakThru SP 133 (Fettsäure- und Polyglycerolester)
- BreakThru S 301 (Polyether-Polymethylsiloxan-Copolymer)
- CropCover 1000 (modifizierte Stärke); Haft-/Netzmittel - BVL-Listenummer: 6761-64, FIBL-Zulassung
- Zentero SPR (Sophorolipide, Biotenside, Fementationsprodukte aus Zucker und Ölen); Haftmittel, FIBL-Zulassung
- Wetcit (Fettalkoholethosylat); Zulassung ausgelaufen 2022

Als qualitative Aussage konnte zwar teilweise ein unterschiedliches Benetzungsverhalten auf den emaillierten Stahlplatten beobachtet werden; eine Quantifizierung der verbesserten Haftung, insb. nach simulierten Regenereignissen (Abwaschtests) war jedoch aus den genannten Einschränkungen im Hinblick auf die eingesetzten Prüfmethoden nicht möglich.

Die Untersuchungen zu Haftmitteln sollen im geplanten Folgevorhaben weiter fortgeführt und um weitere Haft- und Netzmittel ergänzt werden, ggf. in direkter Zusammenarbeit mit den jeweiligen Herstellern. Ziel ist es, hierbei ggf. durch eine gezielte Weiterentwicklung der Produkte in Zusammenarbeit mit den Herstellern die geeigneten Eigenschaften zu erreichen. Als weitere optionale Haft- und Netzmittel können Materialien, die gemäß Art. 23 der EU-VO 1107/2009 als Grundstoffe für den Pflanzenschutz zugelassen sind, mit untersucht werden.

PHYTOTOXIKOLOGISCHE UNTERSUCHUNGEN

Toxizitäten und Phytotoxizitäten von Tonen, natürlichen Bestandteilen von Böden, insbesondere der Rohstoffe der Stephan Schmidt Gruppe, sind nicht bekannt. Deshalb sollten mögliche phytotoxische Effekte durch Sprühapplikation der Tone auf junge Blätter von Versuchspflanzen (vgl. AP 2.1) getestet werden.

Bei Birnen- und Steinobstpflanzen mit voll entwickelten Blättern wurde pro Pflanze die untere Hälfte mit der jeweiligen Tonmineralsuspension besprüht. Die obere Hälfte jeder Pflanze diente als Kontrolle. Pro Ton und Pflanzenart wurden zwei Wiederholungen durchgeführt und für drei Wochen bonitiert. Trotz deutlicher Sprühflecken auf den Blättern konnte keine Phytotoxizität beobachtet werden.

Arbeitspaket 2 (AP2): Einbettung von Repellentstoffen

IDENTIFIZIERUNG REPELLENTER DUFTSTOFFE

Die Extraktion der Koniferen-Duftstoffe wurde nach der von Jarausch et al. (2019b) beschriebenen Methode durchgeführt. Die Nadeln wurden von den Zweigen abgetrennt und klein zerhackt. Dies erfolgte entweder manuell oder mittels einer Kräutermühle. Alternativ wurden ganze Triebspitzen mit einem Mixer zerkleinert. Die Extraktion der wasserlöslichen Duftstoffe erfolgte durch Heißwasserextraktion (65°C) in einer Extraktionssäule. Alternativ wurde der Extrakt filtriert. Jeweils 50g Koniferennadeln wurden mit 150ml heißem Wasser extrahiert. Abb. 13 zeigt das Extraktionsverfahren mittels Kräutermühle, Abb. 14 dasjenige mittels Mixer.

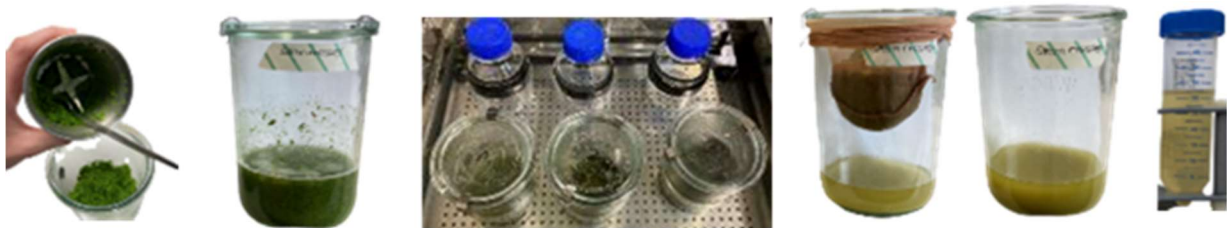


Abb. 13. Extraktion von Tannennadeln mit Hilfe einer Kräutermühle

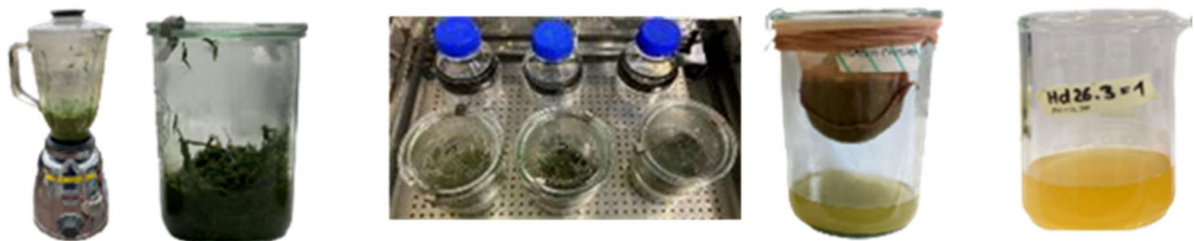


Abb. 14. Extraktion von Tannen-Triebspitzen mit Hilfe eines Mixers

Die erhaltenen Extrakte wurden wie oben beschrieben in double choice Bioversuchen mit jungen *ex vitro* Pflanzen getestet. Die relativ stark konzentrierten Kräutermühlen-Extrakte wurden zusätzlich in 1:2 Verdünnung getestet.

ABSCHLUSSBERICHT PROJEKT PSYLLID-REPELL

Folgende Fragestellungen sollten beantwortet werden:

- Koniferenspezies: welche wirkt am besten?
- Herkunft der Nadeln: ist der Standort bzw. physiologische Zustand des Baumes entscheidend für die repellente Wirkung?
- Erntezeitpunkt: können die Nadeln zu jedem beliebigen Zeitpunkt geerntet werden ohne die repellente Wirkung zu verlieren?
- Extraktionsverfahren: kann das Extraktionsverfahren für einen großtechnischen Einsatz vereinfacht bzw. angepasst werden, ohne die repellente Wirkung zu verlieren?

Abb. 15 zeigt schematisch die durchgeführten Versuche zur Beantwortung dieser Fragen.

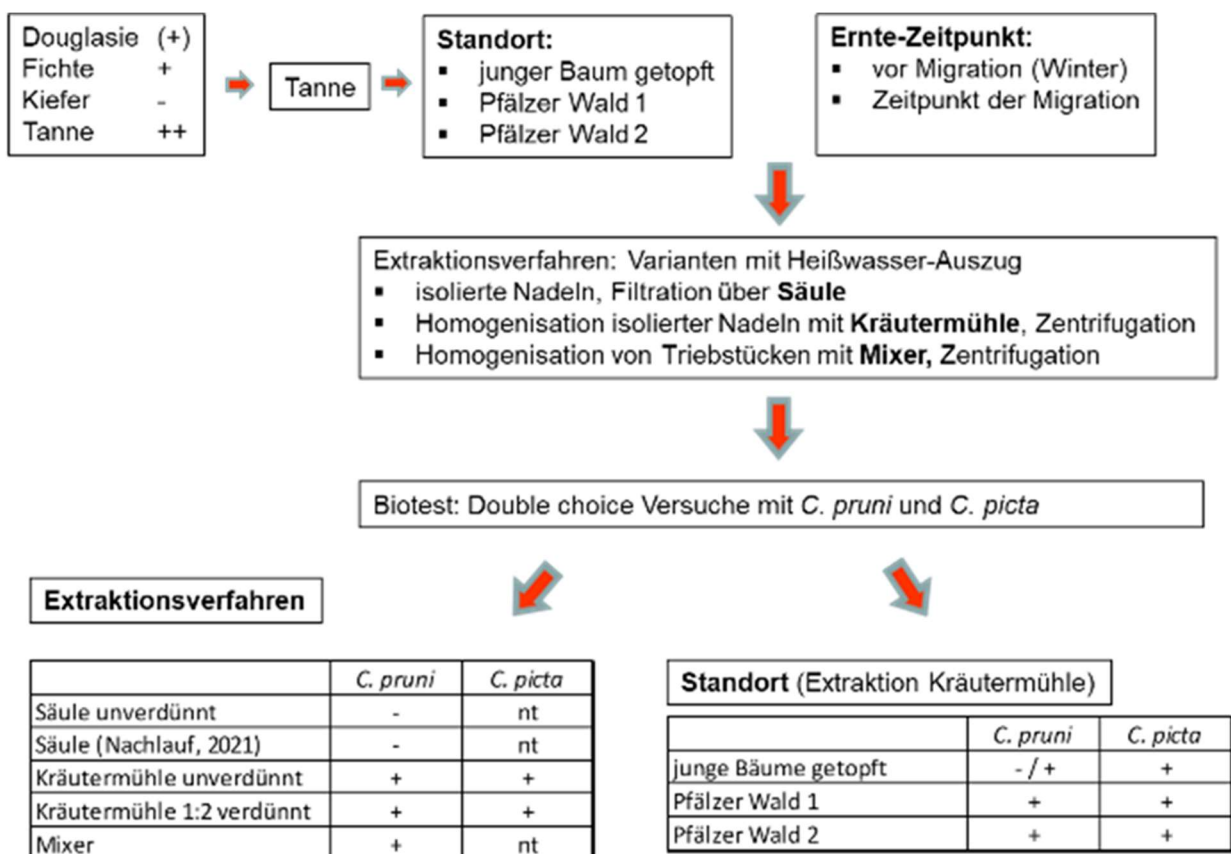


Abb. 15 Schematische Darstellung der durchgeführten Versuche mit Koniferenextrakten von Tanne und *C. pruni* und *C. picta*

Diese Versuche wurden vor allem mit *C. pruni* von Anfang bis Ende April durchgeführt. Aus versuchstechnischen Gründen mussten bis Ende März die Bioversuche mit den Tonmineralen an blattlosen Pflanzen bearbeitet werden. Basierend auf den ersten Ergebnissen mit *C. pruni* wurden mit *C. picta* in der 2. und 3. Aprilwoche gezielte Versuche zum Extraktionsverfahren und zur Herkunft der Nadeln durchgeführt. Auf Grund der geringen Fangzahlen konnte jede Versuchsvariante nur einmal getestet werden.

Die Versuchsergebnisse im ersten Versuchsjahr zeigten, dass insbesondere die Extrakte von Tannennadeln eine reproduzierbar repellente Wirkung auf *C. pruni* hatten. Deshalb wurden alle weiteren Versuche ausschließlich mit Tannennadeln durchgeführt.

Im Februar 2022 wurden zunächst im Pfälzer Wald Tannenstandorte eruiert, da diese relativ selten geworden sind. Von zwei Standorten wurden dann zu zwei verschiedenen Zeitpunkten Äste geschnitten: einmal im Februar vor der Migrationsphase der Psylliden und einmal im März während der Migrationsphase der Psylliden. Die Ergebnisse zeigten, dass der Standort der Tanne im Pfälzer Wald keinen Einfluss auf die Repellenz hat. Dagegen waren Extrakte von jungen, getopften Bäumen nur eingeschränkt wirksam. Der Erntezeitpunkt der Nadeln ist aber entscheidend. Extrakte der Tannennadeln, die von den Standorten im Pfälzer Wald vor der Migrationsphase geerntet wurden, hatten keine Wirkung auf *C. pruni* während Extrakte von Tannennadeln, die von den beiden Standorten während der Migrationsphase geerntet wurden repellent wirkten.

Die für die Laborversuche gewählten Extraktionsmethoden – insbesondere über die Extraktionssäule – sind sehr aufwändig und für einen großtechnischen Einsatz nicht wirtschaftlich darstellbar. Die Versuchsergebnisse zeigten überdies, dass die über die Säule hergestellten Extrakte keine reproduzierbar repellente Wirkung auf *C. pruni* hatten. Dagegen hatten die Mühlen- und Mixer-Extrakte immer eine signifikante repellente Wirkung. Insbesondere die Verwendung ganzer Triebspitzen an Stelle isolierter Nadeln und die Homogenisation in einem Mixer könnten für eine großtechnische Höher skalierung geeignet sein.

Da von *C. picta* nur wenige Tiere gefangen werden konnten, wurden die Versuche als Kombinationsversuche angelegt, d.h. als Extraktionsverfahren wurden die Kräutermühlenextrakte getestet und zwar für die drei verschiedenen Standorte. Die Ergebnisse zeigten, dass *C. picta* deutlich sensibler auf die Koniferenextrakte reagiert und stärker vergrämt wird. Bis auf eine Verdünnung haben alle getesteten Extrakte eine starke repellente Wirkung – auch diejenigen von jungen Bäumen, die nicht gegen *C. pruni* gewirkt hatten. Diese Ergebnisse bestätigen einerseits die hohe Effizienz des Extraktionsverfahrens mittels Kräutermühle und andererseits, dass die Herkunft der Tannennadeln keinen Einfluss auf die Wirkung hat. Für *C. picta* konnte somit zum ersten Mal gezeigt werden, dass Tannennadelextrakte eine starke repellente Wirkung haben.

Die 2022 hergestellten und getesteten Koniferenextrakte wurden bei -80°C gelagert und im Frühjahr 2023 für weitere Versuche mit *C. pruni* eingesetzt. Auf Grund der geringen Populationsdichten wurden mit *C. picta* keine Duftstoff-Versuche durchgeführt. Drei in 2022 wirksame Koniferenextrakte wurden in 3 Varianten getestet:

- direkte Applikation auf die beblätterte Pflanze (Versuchsdesign 2022)
- Applikation auf mit einem Haftmittel vorbehandelte Pflanzen
- Applikation zusammen mit dem Tonmineral G (s. AP2.2.)

Einer von drei getesteten eingelagerten Extrakten zeigte weiterhin eine signifikante repellente Wirkung. Die Kombination mit einem Haftmittel steigerte diese Wirkung, so dass auch ein zweiter der drei eingelagerten Extrakte wirkte.

Darüber hinaus wurden im Jahr 2023 erstmals auch synthetische Duftstoffe getestet. Hierzu wurde eine Duftstoffmischung getestet, die in Versuchen mit Dispensern in einem anderen Projekt eine repellente Wirkung zeigten. Die unveröffentlichte Rezeptur der Duftstoffmischung wurde dankenswerterweise von Dr. Cornelia Dippel (IS Insect Services GmbH, Berlin) zur Verfügung gestellt. Um eine flächige Benetzung der Pflanzen zu erreichen, wurde dieses Duftstoffgemisch auf eine Schicht eines Haftmittels direkt auf die beblätterten Pflanzen gesprüht. Der Mix synthetischer Duftstoffe wurde in zwei verschiedenen Verdünnungen getestet, da es zu einer Direktapplikation von synthetischen Duftstoffen keine Erfahrungswerte gab. Es konnte jedoch mit keiner Variante eine repellente Wirkung erzielt werden.

EINBETTUNG VON REPELLENTSTOFFEN IN DIE MINERALISCHE MATRIX

Zunächst wurde ein kohlenstoffhaltiger Ton ausgewählt (TM-A), der bereits eine gewisse Repellenz zeigte, wenngleich diese niedriger war als die Repellenz von TM-G (vgl. AP3). Zudem wurde das Tonmineral mit hoher Repellenz, TM-G, mit kohliger Substanz angereichert, um das Adsorptionspotential zu erhöhen. Um eine Quantifizierung der Anreicherung der Duftstoffkomponenten in der mineralischen Matrix zu ermöglichen wurden folgende vier Leitsubstanzen ausgewählt: Trans-2-Hexenal, Pinen, Limonen und Camphor. Die beste Bindung in der kohlenstoffhaltigen mineralischen Matrix erfolgte mit Pinen (95%) und Limonen (89%). Camphor und 2-Hexenal wurden mit 20% bzw. 16% deutlich schlechter gebunden.

Mit der gewählten Versuchsdurchführung konnte somit ein Verfahren ermittelt werden, mit dem eine Adsorption der Duftstoffe an den Tonen erfolgreich nachgewiesen wurde. In der praktischen Anwendung könnte dieses Adsorptionsverfahren durch Zuführung geogener kohliger Substanzen aus den Tagebauen der SSKG für eine Bindung von Duftstoffen an die Tonminerale genutzt werden.

Im Frühjahr 2023 wurden Bioversuche mit *C. pruni* durchgeführt, um die repellente Wirkung eingebetteter Koniferen-Duftstoffe zu testen. Eine 5%ige Suspension von TM-G wurde zunächst mit Aktivkohle versetzt und mit einem Koniferenextrakt (s. AP2.1) auf nackte *Prunus*-Pflanzen ohne Blattaustrieb gesprüht. Zum Vergleich wurde der Koniferenextrakt auch auf Pflanzen appliziert, die mit einer 2%igen Suspension von TM-G mit Zusatz eines Haftmittels (vgl. AP3.1.) behandelt waren. Die Zugabe von Aktivkohle führte zu sehr heterogenen Ergebnissen, was vermutlich auf eine zu hohe Konzentration an Aktivkohle zurückzuführen ist. Die Kombination von TM-G und Koniferenextrakt wirkte dagegen stark repellent. Die Wirkung beider Repellentien schien sich verstärkt zu haben, da weder der Koniferenextrakt allein noch die 2%ige Suspension von TM-G (s. AP 3) eine vergleichbar repellente Wirkung hatten.

Arbeitspaket 3 (AP3): Biologischer Wirksamkeitstest

In diesem Arbeitspaket werden alle Versuche zur repellenten Wirkung der verschiedenen Tonminerale, die in AP1 selektiert wurden, zusammengefasst. Der Wirksamkeitstest erfolgte unter kontrollierten Bedingungen im Gewächshaus als double choice-Test wie oben beschrieben.

DOUBLE CHOICE-VERSUCHE IM GEWÄCHSHAUS MIT BIRNBLATTSaugERN

Ursprünglich waren nur Versuche mit dem Gemeinen Birnblattsauger *Cacopsylla pyri* geplant, da diese Art am weitesten verbreitet ist und selbst ein Schädling im Birnenanbau ist. Auf Grund der Ergebnisse aus dem AP3.4, nach denen der Kleine Birnblattsauger *Cacopsylla pyricola* stärker mit Phytoplasmen infiziert ist und somit ein größeres Risiko für eine Phytoplasma-Übertragung darstellt, wurden die Bioversuche auch mit dieser Art durchgeführt. Nach dem bekannt wurde, dass der migrierende univoltine Große Birnblattsauger *Cacopsylla pyrisuga* ebenfalls ein Überträger von PD sein kann, wurde im Frühjahr 2023 ein Tastversuch mit dieser Art gemacht.

Die Bioversuche mit den polyvoltinen Arten *C. pyri* und *C. pyricola*, die auf Birne überwintern, wurden sofort mit Beginn der warmen Witterung im Februar eines jeden Versuchsjahres gestartet. Eine zweite Versuchsserie erfolgte im Spätherbst Ende November mit der jeweiligen Wintergeneration. Beide Arten wurden in verschiedenen Birnenanlagen gefangen, in den nur jeweils die eine oder die andere Art vorkam. Auf diese Weise konnte auf eine Vorsortierung lebender Tiere verzichtet werden und die Versuche konnten weitgehend artrein durchgeführt werden.

Die Tonminerale A – H (s. AP1) wurden im Vergleich zum Referenzprodukt jeweils in 4-9-facher Wiederholung geprüft. Die Ergebnisse für *C. pyri* sind in Abb. 16 dargestellt. Eine signifikante repellente Wirkung konnte nur mit TM-E und TM-G sowie der Positivkontrolle Kaolin erzielt werden. Die aus Freilandversuchen bekannte gute Wirkung des Kaolins auf *C. pyri* zeigte, dass der Versuchsaufbau zuverlässige Ergebnisse ermöglichte. Das TM-G war in der Repellenz mit einem Wirkungsgrad nach Abbot von 95% dem Referenzprodukt absolut ebenbürtig, so dass weitere Versuche nur mit diesem Tonmineral durchgeführt wurden.

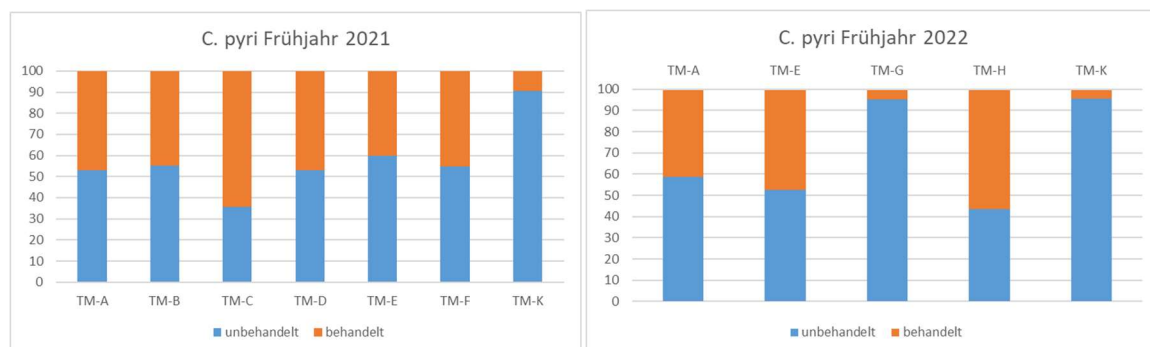


Abb. 16: Zusammenfassung der Versuchsergebnisse mit den Tonmineralen A – H mit *C. pyri* in den Frühjahren 2021 und 2022. Aufgetragen ist der Prozentsatz der Tiere auf behandelte und unbehandelte Pflanze. TM-K: Positivkontrolle Kaolin.

ABSCHLUSSBERICHT PROJEKT PSYLLID-REPELL

Im Frühjahr 2023 wurde getestet, ob die Aufwandmenge von TM-G von 5% auf 2% reduziert werden kann. Zusätzlich wurde ein Haftmittel getestet. Abb. 17 zeigt, dass die hervorragende repellente Wirkung einer 5%igen Suspension von TM-G auf *C. pyri* reproduzierbar war. Der Wirkungsgrad nach Abbot lag bei 98%. Die Reduktion der Aufwandmenge auf 2% führte jedoch zu einer deutlichen Abschwächung der Replenz, die durch den Zusatz eines Haftmittels wiederhergestellt werden konnte.

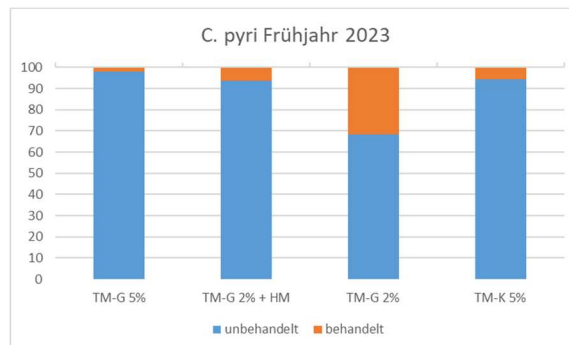


Abb. 17: Zusammenfassung der Versuchsergebnisse mit dem Tonmineral G mit *C. pyri* im Frühjahr 2023. Aufgetragen ist der Prozentsatz der Tiere auf behandelter und unbehandelter Pflanze.

Ein ähnliches Ergebnis wurde in den Bioversuchen mit *C. pyricola* erzielt (Abb. 18). Die repellente Wirkung des Kaolin-Referenzprodukts auf *C. pyricola* war deutlich schwächer als auf *C. pyri*. Von den getesteten Tonmineralen zeigte nur das TM-G eine gute repellente Wirkung. Im Frühjahr 2023 wurde sogar ein Wirkungsgrad nach Abbot von 96% erreicht. Dieser konnte auch bei der Reduzierung der Aufwandmenge auf 2% bei Zusatz eines Haftmittels erhalten werden.

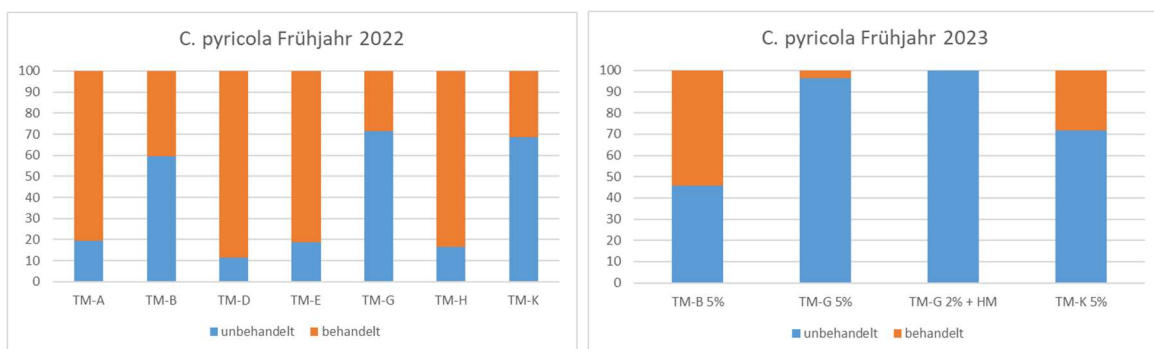


Abb. 18: Zusammenfassung der Versuchsergebnisse mit den Tonmineralen A – H mit *C. pyricola* in den Frühjahren 2022 und 2023. Aufgetragen ist der Prozentsatz der Tiere auf behandelter und unbehandelter Pflanze. TM-K: Positivkontrolle Kaolin.

Die repellente Wirkung von TM G auf *C. pyri* und *C. pyricola* konnte auch in den Versuchen im Spätherbst bestätigt werden.

In dem Tastversuch mit *C. pyrisuga* zeigte das TM-G ebenfalls eine repellente Wirkung.

Die bisherigen Versuchsergebnisse wurden mit einer Labormahlung von TM-G erzielt. Diese ist jedoch schwierig im großtechnischen Maßstab durchzuführen. Deshalb wurden im Herbst 2023 zwei Varianten von Großmahlungen (s. AP1) auf ihre repellente Wirkung gegen *C. pyri* und *C. pyricola* geprüft. Wie die Ergebnisse in Abb. 19 zeigen, hat die Labormahlung von TM-G eine reproduzierbar gute repellente Wirkung auf beide Arten während die feinere Großmahlung TM-G 45 in der Wirkung abfällt. Die gröbere Großmahlung TM-G 05 hat dagegen eine deutlich schlechtere bis keine Wirkung.

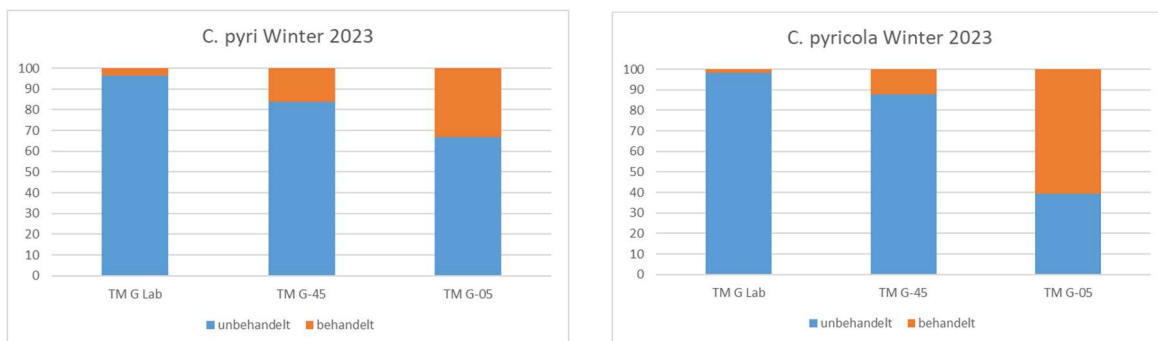


Abb. 19: Zusammenfassung der Versuchsergebnisse mit verschiedenen Mahlungen von TM-G mit *C. pyri* und *C. pyricola* im Winter und 2023. Aufgetragen ist der Prozentsatz der Tiere auf behandelter und unbehauelter Pflanze.

DOUBLE CHOICE-VERSUCHE IM GEWÄCHSHAUS MIT *C. PICTA* UND *C. PRUNI*

Anfang April 2023 konnten erstmals Versuche zur Repellenz des Tonminerals G gegen *C. picta* durchgeführt werden, da keine weiteren Versuche mit Koniferenduftstoffen erfolgten. Die Ergebnisse von 4 Versuchswiederholungen zeigten auch für *C. picta* eine repellente Wirkung einer 5%igen Suspension von TM-G. Der späte Versuchszeitpunkt und die relativ hohe Mortalität der Tiere haben vermutlich den Versuchserfolg beeinträchtigt, so dass nur ein Wirkungsgrad nach Abbot von 56% erreicht werden konnte.

Die Freilandpopulationen von *C. pruni* schwankten stark zwischen den Versuchsjahren, so dass nur 1-4 Versuchswiederholungen pro Tonmineral durchgeführt werden konnte. Abb. 20 zeigt das Ergebnis mit allen Tonmineralen in den Versuchsjahren 2021 und 2022. Eine statistisch signifikante repellente Wirkung konnte mit TM-A, TM-E und TM-G erzielt werden. Die Ergebnisse für das Referenzprodukt waren sehr heterogen zwischen den Versuchsjahren. Die mit Abstand beste Wirkung konnte mit der 5%igen Suspension von TM-G erreicht werden. Dieses Ergebnis konnte im Frühjahr 2023 reproduziert werden. Eine Reduzierung der Aufwandmenge auf 2% erzielte trotz Zusatz eines Haftmittels nur eine schwache, aber signifikante, repellente Wirkung. Die Wirkungsgrade nach Abbot lagen bei TM-G 5% jeweils über 80%.

ABSCHLUSSBERICHT PROJEKT PSYLLID-REPELL

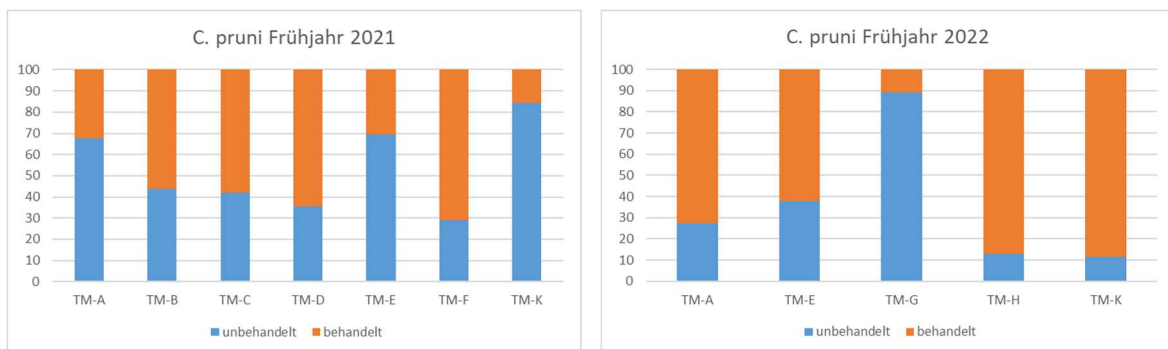


Abb. 20: Zusammenfassung der Versuchsergebnisse mit den Tonmineralen A – H mit *C. pruni* in den Frühjahren 2021 und 2022. Aufgetragen ist der Prozentsatz der Tiere auf behandelter und unbehandelter Pflanze. TM-K: Positivkontrolle Kaolin.

Im Frühjahr 2024 wurden auch gegen *C. pruni* die beiden Großmahlungen gegen die Labormahlung von TM-G getestet. Das Ergebnis in Abb. 21 zeigt die reproduzierbar gute repellente Wirkung der Labormahlung von TM-G gegen *C. pruni* mit einem Wirkungsgrad nach Abbot von 92%. Dagegen hatten die beiden Großmahlungen keine bzw. nur noch eine nicht ausreichende repellente Wirkung.

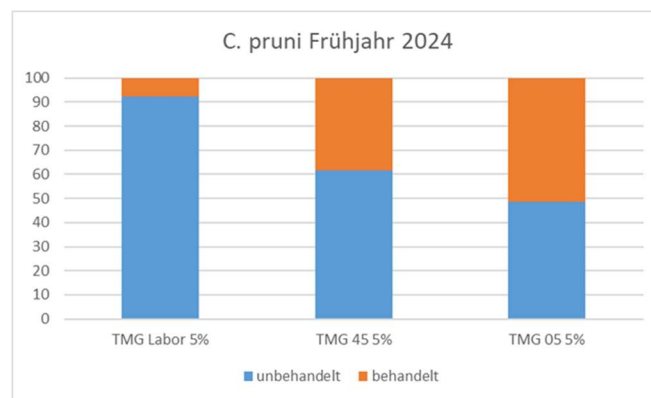


Abb. 21: Zusammenfassung der Versuchsergebnisse mit verschiedenen Mahlungen von TM-G mit *C. pruni* im Frühjahr 2024. Aufgetragen ist der Prozentsatz der Tiere auf behandelter und unbehandelter Pflanze.

VERSUCHE IM FREILAND

Die unter kontrollierten Gewächshausbedingungen erzielten Ergebnisse wurden in Freilandversuchen validiert. Hierbei wurden nur Versuche mit dem stark repellent wirkenden Tonmineral G durchgeführt. Der Ansatz mit der zusätzlichen Einbettung von Duftstoffen wurde aus folgenden Gründen nicht weiterverfolgt: 1) die Zulassungsbedingungen von Duftstoffen erscheinen aus aktueller Sicht schwierig, 2) die

ABSCHLUSSBERICHT PROJEKT PSYLLID-REPELL

geringe zusätzliche repellente Wirkung der eingebetteten Duftstoffe hätte den erforderlichen Mehraufwand für die Herstellung der benötigten Mengen an Koniferen-Duftstoffen nicht gerechtfertigt. Deshalb wurden die im Projekt zur Verfügung stehenden Ressourcen auf die Freilandversuche mit TM-G bei Birne und bei Steinobst konzentriert.

Für die Versuche konnte dankenswerterweise die Versuchsanlage des DLR Rheinpfalz in Neustadt genutzt werden. Aus früheren Arbeiten in dieser Versuchsanlage war bekannt, dass die für die erfolgreiche Durchführung erforderlichen Populationen von *C. pyri* auf Birne und *C. pruni* auf Steinobst vorhanden sind.

Repellenzversuch gegen Birnblattsauger in einer Birnenanlage

Im Februar 2023 und im Februar 2024 wurde jeweils ein Freilandversuch mit dem Tonmineral G in einer älteren Birnenanlage durchgeführt. In 2023 wurde eine 5%-ige Suspension der Labormahlung TM-G L getestet, in 2024 wurde eine 5%-ige Suspension der feinen Großmahlung TM-G 45 getestet. Die Applikation mit der Motorrückenspritze hinterließ einen unauffälligen, kaum sichtbaren Belag (Abb. 22).



Abb. 22: Behandlung von Birnenbäumen mit TM-G (links), unbehandelte Kontrolle (rechts)

Der Spritzbelag wurde jedoch in jedem Jahr durch Starkregenereignisse abgewaschen. Dies ist exemplarisch in den Fotos von Abb. 23 dokumentiert. Daraufhin erfolgte in jedem Jahr eine zweite Behandlung Anfang März direkt nach den Starkregenereignissen.



Abb. 23: Fotodokumentation der Applikation von TM-G 45 mit Motorrückenspritze auf Birne. Am Tag 14 nach Behandlung war ein Starkregenereignis.

ABSCHLUSSBERICHT PROJEKT PSYLLID-REPELL

Die repellente Wirkung der Behandlung mit TM-G wurde durch zweimalige Klopfproben pro Woche untersucht. Die Bestimmung der gefangenen Tiere ergab, dass in beiden Jahren zunächst nur *C. pyri* gefangen wurden. Nach einem deutlichen Temperaturanstieg am 17.03.2023 bzw. am 14.03.2024 erfolgte eine Zuwanderung der univoltinen Art *C. pyrisuga*. Die statistische Auswertung der Daten der Klopfproben 2023 ergab für beide Arten eine signifikante repellente Wirkung der Behandlung mit TM-G L (Abb. 24). Die Wirkungsgrade nach Abbot lagen für *C. pyri* bei 70% und für *C. pyrisuga* bei 68%. Dies ist für Freilanddaten ein sehr gutes Ergebnis.

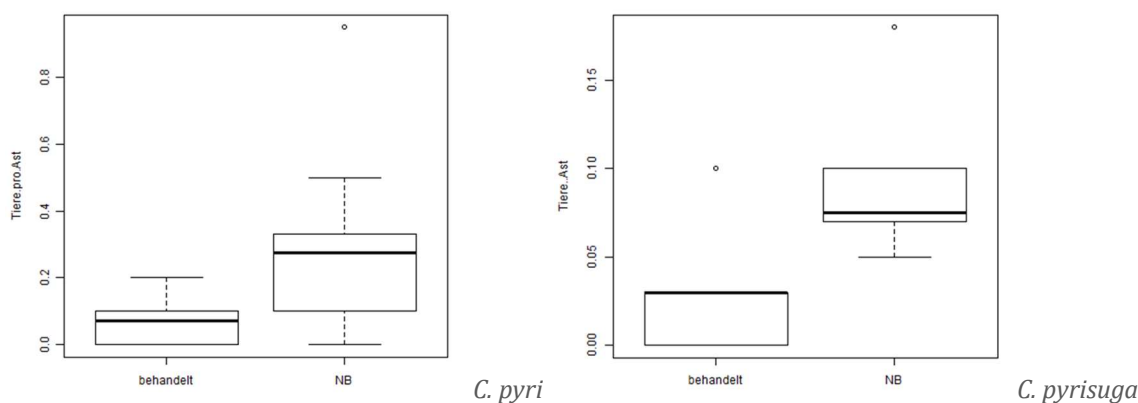


Abb. 24: Statistische Auswertung der Anzahl der Tiere pro Ast auf mit TM-G L-behandelten oder unbehandelten (NB)Bäumen in 2023: *C. pyri* (links), *C. pyrisuga* (rechts)

Die Wirkung der Großmahlung TM-G 45 in 2024 war dagegen etwas schwächer. Dies lag vermutlich an zwei verschiedenen Faktoren: 1) durch die extrem milde Witterung Ende Januar/Anfang Februar waren die überwinterten Blattsauger bereits sehr früh in Aktivität und die Eiablage erfolgte früh. Auf Grund wiederholter Regenfälle konnte 2) die Behandlung erst Ende Februar erfolgen. Dieser Zeitpunkt war für eine erfolgreiche repellente Wirkung während der Migrationsphase von *C. pyri* zu spät. Dennoch hatte die erste Behandlung mit TM-G 45 noch eine signifikante repellente Wirkung (Abb. 25) und der Wirkungsgrad nach Abbot lag bei 62%. Dagegen hatte die zweite Behandlung nach den Starkregenereignissen sowohl auf *C. pyri* als auch auf *C. pyrisuga* keine signifikante repellente Wirkung mehr.

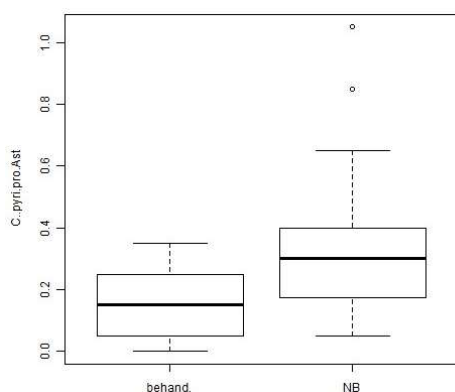


Abb. 25: Statistische Auswertung der Anzahl *C. pyri* pro Ast auf mit TM-G 45-behandelten oder unbehandelten (NB)Bäumen nach der ersten Behandlung im Februar 2024

Die beiden Behandlungen mit TM-G L bzw. TM-G 45 hatten keinen Einfluss auf die Bestäuberleistung. Es wurden keine signifikanten Unterschiede in der Anzahl der Fruchtsätze zwischen behandelten und unbehandelten Bäumen gefunden.

Zur Untersuchung des Einflusses der Behandlungen auf die Nützlingspopulationen wurden im Mai 2023 und im April 2024 jeweils zwei Klopffproben durchgeführt. Die Insektenfauna wurde bestimmt und als Nützlinge bekannte Generalisten und Parasitoide wurden von allen anderen Arten (Indifferente) unterschieden. Die quantitative Auswertung ist für 2023 und 2024 in Abb. 26 gezeigt. Da bei den untersuchten Birnen im Mai 2023 ein hoher Befall mit Blattläusen auftrat und entsprechend die Population von Marienkäfern hoch war, wurden diese beiden Gruppen aus den Daten herausgenommen, um die Darstellung nicht zu verzerren. Das Ergebnis zeigt, dass es keine Unterschiede bei den Nützlingen zwischen behandelten und unbehandelten Bäumen gab. In 2024 wurde zusätzlich die Kategorie „Schädlinge“ ausgewiesen, die zum überwiegenden Teil Tiere der neuen Generation von *C. pyri* beinhaltet. Während für Parasitoide, Generalisten und Indifferente keine signifikanten Unterschiede zwischen den Behandlungen gefunden wurde, gab es eine deutliche Reduktion von ca. 30% bei der Anzahl von *C. pyri* der neuen Generation in den behandelten Blöcken. Die qualitative Auswertung der Daten für 2023 zeigte diesbezüglich sogar eine Reduktion von 60% der neuen Generation von *C. pyri* durch die Behandlung mit TM-G L.

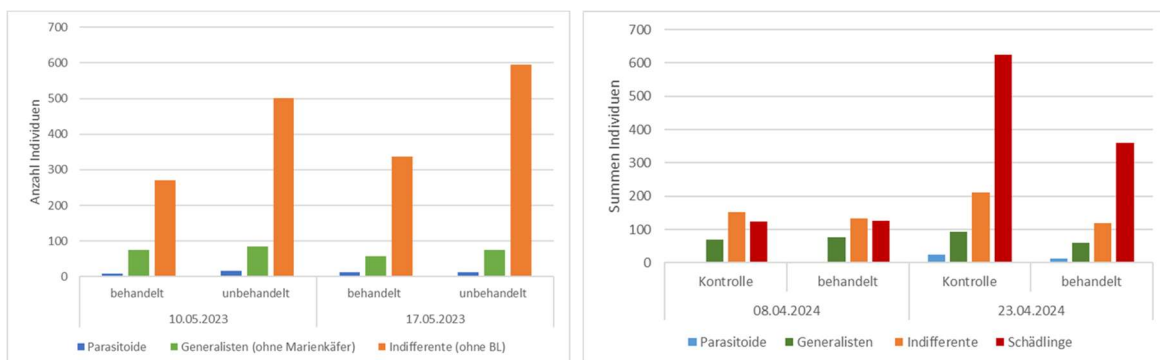


Abb. 26: Anzahl an Parasitoiden, Generalisten und anderen Insektenarten in Klopffproben von TM-G-behandelten und unbehandelten Birnenbäumen an zwei Terminen in 2023 und 2024

Repellenzversuche gegen *C. pruni* in einer Pflaumen- und Mirabellenanlage

Die Versuche erfolgten 2023 und 2024 im März zum Zeitpunkt des Anflugs der überwinterten Tiere von *C. pruni* jeweils in einer Pflaumen- und einer Mirabellenanlage. In 2023 wurde eine 2%-ige Suspension von TM-G L plus Haftmittel mit der Motorrückenspritze appliziert, in 2024 erfolgte die Behandlung mit einer 5%-igen Suspension von TM-G 45 mit einem Parzellensprühergerät.

Die repellente Wirkung der Behandlung mit TM-G wurde durch zweimalige Klopffproben pro Woche untersucht. Da die Populationen von *C. pruni* im Frühjahr 2023 sehr niedrig waren, wurden in beiden Versuchsblöcken nur wenige Tiere gefangen, so dass die Versuche nicht auswertbar waren.

Dagegen waren die Populationen von *C. pruni* im Frühjahr 2024 in Mirabelle und Pflaume ausreichend hoch, um eine Auswertung der Daten zu erlauben. Trotz dieser guten Ausgangslage konnte in keinem der Versuchsblöcke von Mirabelle und Pflaume eine repellente Wirkung der Behandlung beobachtet werden. Dieses Ergebnis bestätigt die Laborergebnisse der Double choice-Versuche, dass die Großmahlung TM-G 45 nur eine geringe Wirkung auf *C. pruni* hat. Diese ist im Freiland offensichtlich nicht ausreichend.

In 2023 wurde die Auswirkung der Tonmineralbehandlung auf die Bestäuberleistung geprüft, in dem die Fruchtsätze von je 10 blühenden Ästen von Pflaume bzw. Mirabelle der behandelten und unbehandelten Bäume verglichen wurden. Es wurden keine Unterschiede gefunden.

Des Weiteren wurde der Einfluss der Behandlung auf die Nützlingspopulation untersucht. Hierzu wurden vier Klopfpfproben von Mitte April bis Mitte Mai durchgeführt und die Insektenfauna bestimmt. Als Nützlinge wurden bekannte Generalisten und Parasitoide von allen anderen Arten (Indifferente) unterschieden. Die quantitative Auswertung in Abb. 27 zeigt, dass es keine Unterschiede zwischen behandelten und unbehandelten Bäumen gab.

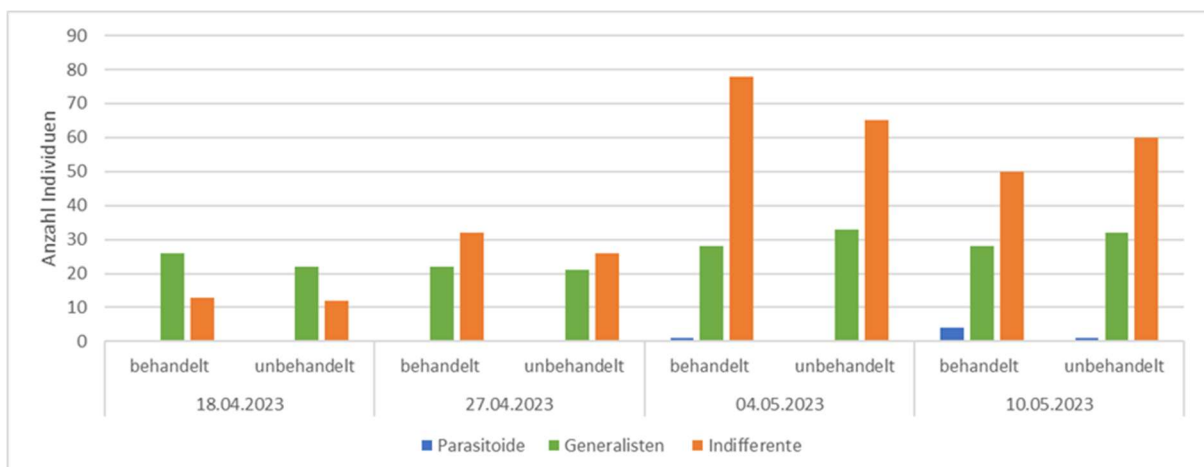


Abb. 27: Anzahl an Parasitoiden, Generalisten und anderen Insektenarten in Klopfpfproben von TM-G-behandelten und unbehandelten *Prunus*-Bäumen an 4 Terminen in 2023

MOLEKULARE UNTERSUCHUNGEN ZUR ÜBERTRAGUNG DER PHYTOPLASMEN

Im Herbst eines jeden Versuchsjahres wurden die Versuchspflanzen mittels PCR auf eine Übertragung der Phytoplasmen untersucht.

Insgesamt wurden 3 Übertragungen mit *C. pyri* und 2 Übertragungen mit *C. pyricola* gefunden. Damit konnte erstmals nachgewiesen werden, dass diese beiden Arten auch in Deutschland Überträger von 'Ca. Phytoplasma pyri' sind.

Bei den *Prunus*-Pflanzen aus den Versuchen mit *C. pruni* konnte keine Infektion mit 'Ca. Phytoplasma prunorum' festgestellt werden.

In den double choice-Versuchen mit *C. picta* aus dem Frühjahr 2023 wurde im Herbst eine unbehandelte Kontrollpflanze positiv auf 'Ca. Phytoplasma mali' getestet. Dieses mit sehr wenigen Versuchstieren erzielte Ergebnis zeigt, dass *C. picta* ein sehr effizienter Überträger der Phytoplasmen ist, während *C. pyri* und *C. pruni* eher ineffiziente Überträger sind.

Da eine Übertragung davon abhängt, ob überhaupt infizierte Tiere im Versuch waren, wurden alle wiedergefundenen Versuchstiere getestet. In den Versuchsjahren 2021 und 2022 wurden jeweils über 500 Tiere von *C. pruni* mittels PCR getestet. Der Infektionsgrad mit 'Ca. Phytoplasma prunorum' lag bei 1% bzw. 3,2%. Dies entspricht früheren Ergebnissen für Deutschland (Jarusch et al., 2007; 2008) und erklärt, warum keine Übertragungen auf Testpflanzen gefunden wurden.

Tiere von *C. picta* wurden in einer stark AT-befallenen Anlage gefangen. Dies erklärt evtl. die hohen Infektionsgrade mit 'Ca. Phytoplasma mali' von 13,5% (111 Tiere in 2021), 13,8% (58 Tiere in 2022) und 21,4% (42 Tiere in 2023). Diese Werte liegen z.T. deutlich über dem langjährigen Mittel von ca. 10% (Jarusch et al., 2011).

Für die Birnblattsauger wurden im Rahmen des Projekts erstmals systematisch Daten in der Pfalz zur Infektion mit 'Ca. Phytoplasma pyri' erhoben. Da diese Untersuchungen wichtige neue Ergebnisse lieferten, wurden diese epidemiologischen Untersuchungen durch Zusatzfänge vertieft, so dass die Daten entsprechend veröffentlicht werden konnten (Jarusch et al., 2023; Runne et al., 2023). Die Infektionsgrade der drei Birnblattsauger-Arten mit 'Ca. P. pyri' wurden in Einzeltieren mittels PCR untersucht. In den drei Untersuchungsjahren 2021 – 2023 lagen sie bei *C. pyri* insgesamt zwischen 0,4 und 4,4% und bei *C. pyricola* zwischen 2,9 und 9,4%. Bei *C. pyrisuga* wurde nur ein infiziertes Tier gefunden (0,7% Infektionsgrad insgesamt). Tendenziell nahmen die Infektionsgrade insbesondere von *C. pyricola* von 2021 bis 2023 stark zu. Die Ergebnisse sind in Abb. 28 gezeigt.

Ein Vergleich der Populationsdichten erfolgte im Spätwinter. Die Populationsdichten von *C. pyri* und *C. pyricola* waren in den einzelnen Anlagen sehr unterschiedlich. Meist war eine Art dominant. Während bei *C. pyri* die Populationsdichten um den Wert von 1 Tier pro Ast schwankten erreichte *C. pyricola* höhere Populationsdichten mit bis zu 2 Tieren pro Ast. In allen Anlagen, in denen beide Arten in größerer Anzahl gefangen wurden, lag die Infektionsrate von *C. pyricola* immer 2-3fach höher als bei *C. pyri*. *C. pyrisuga* wurde dagegen nur in sehr geringer Anzahl im Frühjahr gefangen wurde, ist aber dennoch weit verbreitet.

Diese Ergebnisse zeigen, dass *C. pyricola* ein deutlich größeres Risiko für die Ausbreitung von PD darstellt als bislang angenommen. Diese Art scheint sich durch den reduzierten Einsatz von Pflanzenschutzmitteln auszubreiten und könnte für die starke Ausbreitung von PD in den letzten Jahren verantwortlich sein. Aus diesem Grund wurde die Art intensiv im Projekt bearbeitet, obwohl dies bei Antragstellung nicht geplant war. Die Ergebnisse zeigen, dass das Tonmineral G auch gegen diese Art gut wirkt. Freilandversuche konnten hierzu mangels geeigneter Anlage nicht durchgeführt werden.

Im Gegensatz zu Ergebnissen in Österreich (Riedle-Bauer et al., 2022) scheint *C. pyrisuga* in Deutschland keine Rolle bei der Ausbreitung von PD zu spielen.

ABSCHLUSSBERICHT PROJEKT PSYLLID-REPELL

Februar-März 2021			
Spezies	Anzahl Tiere getestet	Anzahl Tiere positiv	Infektionsgrad
C. pyri	997	4	0,40
C. pyricola	240	7	2,92
C. pyrisuga	103	0	0
gesamt	1340		



November-Dezember 2021			
Spezies	Anzahl Tiere getestet	Anzahl Tiere positiv	Infektionsgrad
C. pyri	429	5	1,17
C. pyricola	554	27	4,87
C. pyrisuga	nt		
gesamt	983		

Februar-März 2022			
Spezies	Anzahl Tiere getestet	Anzahl Tiere positiv	Infektionsgrad
C. pyri	425	11	2,59
C. pyricola	445	23	5,17
C. pyrisuga	33	1	3,03
gesamt	903		



November-Dezember 2022			
Spezies	Anzahl Tiere getestet	Anzahl Tiere positiv	Infektionsgrad
C. pyri	409	18	4,40
C. pyricola	127	11	8,66
C. pyrisuga	nt		
gesamt	536		

Februar-März 2023			
Spezies	Anzahl Tiere getestet	Anzahl Tiere positiv	Infektionsgrad
C. pyri	641	4	0,62
C. pyricola	403	38	9,43
C. pyrisuga	49	0	0
gesamt	1093		

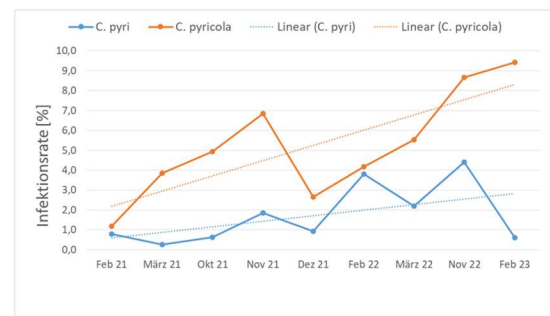


Abb. 28: Infektionsgrad mit *Ca. P. pyri* der überwinternden Generation der Birnblattsauger *C. pyri*, *C. pyricola* sowie *C. pyrisuga* im Spätwinter 2021, 2022 und 2023 sowie im Spätherbst 2021 und 2022 (Runne et al., 2023)

Öffentlichkeitsarbeit

Erste Projektergebnisse wurden 2022 auf einem Expertengipfel Phytoplasma-bedingter Birnenverfall, einer Tagung der Landwirtschaftskammer Niederösterreich in Euratsfeld, Österreich, in zwei Vorträgen vorgestellt.

Weitere Projektergebnisse wurden 2023 auf dem 5th Meeting of the International Phytoplasma Working Group, Muscat, Oman, sowie auf der 63. Deutsche Pflanzenschutztagung in Göttingen und auf der 32. Bundesarbeitstagung für Pflanzenschutzberater im Obstbau in Grünberg vorgestellt. Hierzu wurden Kongressberichte publiziert.

Publikationen

W. Jarausch, M. Runne, N. Schwind, S. Alexander, B. Jarausch (2023): Epidemiology of pear decline in orchards without vector control in Southwest Germany. *Phytopathogenic Mollicutes* Vol. 13 (1), June 2023, 47-48. doi: 10.5958/2249-4677.2023.00024.5

W. Jarausch, M. Runne, B. Jarausch, S. Alexander, S. Häußler, R. Diedel (2023): Entwicklung eines Tonminerals zur Vergrämung von Psylliden aus Obstanlagen. *Julius-Kühn-Archiv*, 475, 402.

M. Runne, B. Jarausch, N. Schwind, S. Alexander, W. Jarausch (2023): Aktuelle Untersuchungen zur Ausbreitung von Pear decline durch Birnblattsauger in Südwestdeutschland. *Julius-Kühn-Archiv*, 475, 648-649.

Vorträge

B. Jarausch. Übertragung des Birnenverfalls durch Blattsauger: aktuelle Ergebnisse aus Südwestdeutschland. Expertengipfel Phytoplasma-bedingter Birnenverfall – widerstandsfähige Unterlagen im Streuobstanbau, 28. & 29. November 2022, Euratsfeld, Österreich.

W. Jarausch. Aktuelle Arbeiten zu Repellenzstrategien gegen Birnblattsauger mittels Tonmineralen. Expertengipfel Phytoplasma-bedingter Birnenverfall – widerstandsfähige Unterlagen im Streuobstanbau, 28. & 29. November 2022, Euratsfeld, Österreich.

W. Jarausch, M. Runne, N. Schwind, S. Alexander, B. Jarausch (2023): Epidemiology of pear decline in orchards without vector control in Southwest Germany. 5th Meeting of the International Phytoplasma Working Group, Muscat, Sultanate of Oman, May 21-25, 2023

W. Jarausch, M. Runne, B. Jarausch, S. Alexander, S. Häußler, R. Diedel (2023): Entwicklung eines Tonminerals zur Vergrämung von Psylliden aus Obstanlagen. 63. Deutsche Pflanzenschutztagung, 26. – 29. September 2023, Göttingen.

W. Jarausch (2023): Entwicklung von Repellenzstrategien gegen Birnblattsauger mittels Tonmineralen. 32. Bundesarbeitstagung für Pflanzenschutzberater im Obstbau, 17. – 19. Oktober 2023, Grünberg.

Poster

M. Runne, B. Jarausch, N. Schwind, S. Alexander, W. Jarausch (2023): Aktuelle Untersuchungen zur Ausbreitung von Pear decline durch Birnblattsauger in Südwestdeutschland. 63. Deutsche Pflanzenschutztagung, 26. – 29. September 2023, Göttingen.

Des Weiteren wurde das Projekt am Tag der offenen Tür des DLR Rheinpfalz und der RLP AgroScience am 31.08. und 01.09.2024 einer breiten Öffentlichkeit vorgestellt.

Fazit und Ausblick

Im AP 2 konnte gezeigt werden, dass Koniferenduftstoffe - insbesondere von Tanne – eine repellente Wirkung auf *C. pruni* und *C. picta* haben. Dabei wirken nur Duftstoffgemische, die als Extrakte von Tannennadeln oder Triebspitzen hergestellt wurden. Synthetische Duftstoffgemische hatten keine Wirkung. Als Extraktionsverfahren wurde nur ein Heißwasserauszug getestet. Das Extraktionsverfahren wurde so vereinfacht, dass es auch in großtechnischem Maßstab durchführbar wäre. Repellent wirkten Tannennadelextrakte jedoch nur dann, wenn die Nadeln zum Zeitpunkt der Migration der Psylliden frisch von den Bäumen an den Überwinterungsstandorten im Wald geerntet wurden. Die repellente Wirkung von Koniferenextrakten konnte auch nach Einlagerung bei -80°C teilweise erhalten werden. Die Applikation der Koniferenduftstoffe zusammen mit einem Haftmittel erhöhte die repellente Wirkung. Die repellente Wirkung von Tonmineral G und Koniferenduftstoff kann sich bei gemeinsamer Applikation erhöhen.

Das Projektziel der Identifizierung von repellent wirkenden Koniferenduftstoffen wurde somit erreicht. Die Einbettung in die Tonmineralmatrix gelang bedingt. Angesichts der Zulassungsproblematik von Duftstoffen ist die repellente Wirkung jedoch nicht ausreichend, um weitere Arbeiten in diese Richtung zu rechtfertigen.

Im AP 3 konnte ein Tonmineral mit sehr guter Wirkung gefunden werden. Das Tonmineral G wirkt in 5%iger Suspension gegen alle Phytoplasma-übertragenden Blattsauger repellent. Die Wirkungsgrade sind gegen die Birnblattsauger und gegen *C. pruni* sehr gut und besser als diejenigen des Referenzprodukts. Eine Reduzierung der Aufwandmenge von TM-G auf 2% verschlechtert die Wirkung, insbesondere gegen *C. pruni*. Der Zusatz von einem Haftmittel verbessert die Wirkung von TM-G. Dies muss aber in weiteren Versuchen genauer untersucht werden.

Die Ergebnisse wurden mit einer Labormahlung von TM-G erzielt. Es wurden erste Versuche durchgeführt, das Tonmineral großtechnisch herzustellen. In den Bioversuchen wurde jedoch festgestellt, dass die Großmahlungen nicht mehr die gleiche Wirkung hatten. Bei der gröberen Großmahlung ging sie ganz verloren, bei der feineren Großmahlung war die Wirkung gegen *C. pyri* noch gut aber gegen die kleineren Psyllidenarten *C. pyricola* und *C. pruni* für die praktische Anwendung nicht mehr ausreichend.

Die erzielten Ergebnisse deuten darauf hin, dass die Repellenz der Tonminerale gegen Psylliden nicht auf der weißen Farbe des Kaolins sondern auf der Art des Tonmineralfilms beruht. Die Eigenschaften dieses Tonmineralfilms müssen u.U. auf die einzelnen Psylliden-Arten angepasst werden. Hier besteht weiterer Forschungs- und Entwicklungsbedarf um den Mechanismus der repellenten Wirkung aufzuklären, damit die großtechnische Herstellung von TM-G entsprechend gesteuert werden kann.

Ein weiteres Projektziel war der stammpfarbene Belag, so dass die behandelten Bäume nicht unansehnlich sind, so wie es bei dem Referenzprodukt der Fall ist. Dieses Ziel wurde erreicht.

Handlungsbedarf besteht weiterhin bei der Regenfestigkeit des Belags. Diese ist für TM-G ähnlich wie für das Referenzprodukt nicht ausreichend. Nach stärkeren Regenereignissen müssen die Bäume nachbehandelt werden.

Die repellente Wirkung von TM-G konnte in Freilandversuchen gegen *C. pyri* bestätigt werden. Die Applikation von TM-G hatte keine negativen Auswirkungen auf die Bestäuberleistung oder auf Nützlinge. Die Entwicklung der neuen Generation von *C. pyri* konnte dagegen reduziert werden.

Die molekularen epidemiologischen Untersuchungen konnten erstmals *C. pyri* und *C. pyricola* als Überträger von PD in Deutschland experimentell nachweisen. Die Infektionsgrade und die Populationsdichten von *C. pyricola* waren doppelt so hoch wie diejenigen von *C. pyri*. Dies erlaubt die Hypothese, dass *C. pyricola* für die starke Ausbreitung von PD in den letzten Jahren verantwortlich ist und als Hauptrisiko angesehen werden kann.

AUSBLICK/AUSSTEHENDE ARBEITEN

Seitens der Stephan Schmidt Gruppe soll in einem Folgevorhaben insbesondere ein vermarktungsfähiges Produkt entwickelt werden. Hierfür soll vor allem die bestgeeignete Aufbereitungsmethode gefunden werden. Dies ist mit einigen konkreten weiteren Produktionsversuchen geplant sowie mit alternativen Methoden der Aufbereitung zunächst im Technikums- und schließlich auch im Produktionsmaßstab erforderlich (extern).

Um als Wettbewerbsvorteil zukünftig eine verbesserte Haftfähigkeit resp. Regenbeständigkeit zu erzielen, ist die weitere Suche und die Prüfung alternativer Haftmittel, im Bedarfsfall auch die gemeinsame Weiterentwicklung auf dem Markt vorhandener Produkte geplant. Die im Projekt durchgeführten Bioversuche mit einem neuartigen Haftmittel geben erste Hinweise darauf, welche Art von Haftmittel in Frage kommen könnte. Als wichtige Voraussetzung hierfür muss jedoch im Vorfeld wie oben beschrieben eine reproduzierbare quantitative Bewertungsmöglichkeit mittels optimierter Testmethodik entwickelt und sichergestellt werden.

Die Projektergebnisse haben aber auch gezeigt, dass es unabdingbar ist, alle Optimierungsschritte jeweils auch in Bioversuchen zu prüfen, um die gewünschten Repellenzeigenschaften nicht zu verlieren.

Weiterhin muss das Applikationsverhalten im Folgevorhaben durch die Anwendung des Materials in praxisrelevanten Sprühvorrichtungen untersucht und im Bedarfsfall optimiert werden.

Der aktuell besonders komplexe Sachverhalt im Hinblick auf das geeignetste Zulassungsverfahren wurde im Vorhaben bereits einer kontinuierlichen kritischen Überprüfung unterzogen. Eine Zulassung als Pflanzenschutzmittel, als Grundstoff oder als Biostimulanz ist als außerordentlich zeit- und kostenintensiv zu bewerten. Wegen der EU-seitig geplanten Verringerung des Einsatzes chemisch wirksamer Pestizide ist anzustreben, vereinfachte Verfahren für physikalisch wirksame Barrieren, wie es der Einsatz geogener Tonminerale ist, zu entwickeln und zeitnah zu ermöglichen. Die Zulassungsprozedur wird im Folgevorhaben weiter beobachtet werden. Durch kontinuierliche Erweiterung der Kontakte in der Branche und bei den zuständigen Behörden kann das hier angestrebte Verfahren der Psyllidenvergrämung beispielhaft für eine solche gesetzgeberische zukünftige Zulassungs-Vereinfachung genutzt werden.

Literaturangaben

Itmec, M. et al. (2020): Determination of rainfall effects on kaolin clay coverage rates used in prevention plant from sunburn. *Int. J. of Agric Environ Food Sci* 4 (2), 224-229. Doi: 10.31015/jaefs.2020.2.13

Jarausch, B., Jarausch, W. 2014. Establishment of a permanent rearing of *Cacopsylla picta* (Hemiptera: Psylloidea), the main vector of 'Candidatus Phytoplasma mali' in Germany. *Journal of Pest Science* 87: 459-467.

Jarausch, B., Mühlentz, I., Beck, A., Lampe, I., Harzer, U., Jarausch, W. 2008. Epidemiology of European stone fruit yellows (ESFY) in Germany. *Acta Horticulturae* 781: 417-422.

Jarausch, B., Mühlentz, I., Fuchs, A., Lampe, I., Harzer, U., Jarausch, W. 2007. Untersuchungen zur Europäischen Steinobstvergilbung (ESFY) in Deutschland. *Gesunde Pflanzen* 59: 183-192.

Jarausch, B., Schwind, N., Fuchs, A., & Jarausch, W., 2011. Characteristics of the spread of apple proliferation by its vector *Cacopsylla picta*. *Phytopathology* 101: 1471-1480.

Jarausch, B., Tedeschi, R., Sauvion, N., Gross, J., Jarausch, W. 2019a. Psyllid vectors. In: *Phytoplasmas: Plant Pathogenic Bacteria – II. Transmission and Management of Phytoplasma - Associated Diseases*. Eds. Bertaccini, A., Weintraub, P.G., Rao, G.P., Mori, N., Springer, Singapore, pp. 53-78. <https://doi.org/10.1007/978-981-13-2832-9>

Jarausch, W, Jarausch, B. 2016. A permanent rearing system for *Cacopsylla pruni*, the vector of 'Candidatus Phytoplasma prunorum'. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 159: 112-116.

Jarausch, W., Jarausch, B. 2019b. Repellent strategy to avoid transmission of 'Candidatus Phytoplasma mali' by its vector *Cacopsylla picta*. *Phytopathogenic Mollicutes* 9 (1): 177-178.

Jarausch, W., Lansac, M., Dosba, F. 1994. Micropropagation for maintenance of mycoplasma-like organisms in infected *Prunus marianna* GF 8-1. *Acta Horticulturae* 359: 169-176.

Jarausch, W., Lansac, M., Dosba, F. 1996. Long-term maintenance of non-culturable apple proliferation phytoplasmas in their micropropagated natural host plant. *Plant Pathology* 45: 778-786.

Jarausch, W., Runne, M., Jarausch, B., Alexander, S., Häußler, S. and Diedel, R. 2023b. Entwicklung eines Tonminerals zur Vergrämung von Psylliden aus Obstanlagen. *Julius-Kühn-Archiv* 475, 402.

Jarausch, W., Runne, M., Schwind, N., Alexander, S. and Jarausch, B. 2023. Epidemiology of pear decline in orchards without vector control in Southwest Germany. *Phytopathogenic Mollicutes* 13 (1), 47-48. doi: 10.5958/2249-4677.2023.00024.5

Lorenz, K.-H., B. Schneider, U. Ahrens, and E. Seemüller. 1995. Detection of the apple proliferation and pear decline phytoplasmas by PCR amplification of ribosomal and nonribosomal DNA. *Phytopathology* 85:771-776.

Riedle-Bauer, M., Paleskić, C., Schönhuber, C., Staples, M. and Brader, G. 2022. Vector transmission and epidemiology of 'Candidatus Phytoplasma pyri' in Austria and identification of *Cacopsylla pyrisuga* as new pathogen vector. *Journal of Plant Diseases and Protection* 129, 375-386. <https://doi.org/10.1007/s41348-021-00526-y>

Runne, M., Jarausch, B., Schwind, N., Alexander, S. and Jarausch, W. 2023. Aktuelle Untersuchungen zur Ausbreitung von Pear decline durch Birnblattsauger in Südwestdeutschland. *Julius-Kühn-Archiv*, 475, 648-649.

Tusa, L. et al. (2020): Drill-Core Mineral Abundance Estimation Using Hyperspectral and High-Resolution Mineralogical Data. *Remote Sens.* 12, 1218. Doi:10.3390/rs12071218