

Innovativer Mottenschutz für Schafwollämmstoffe

H. Mackwitz, V. Reinberg

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

90/2006

Impressum:

Eigentümer, Herausgeber und Medieninhaber:
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination:
Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien
Leiter: DI Michael Paula

Liste aller Berichte dieser Reihe unter <http://www.nachhaltigwirtschaften.at>

Innovativer Mottenschutz für Schafwollämmstoffe

Hanswerner Mackwitz, Veronika Reinberg,
Brigitte Salcher, Alfred Strigl, Johannes Kisser
(alchemia-nova Institut für innovative Pflanzenforschung)

Hubertus Kleeberg (Trifolio-M)

Roland Meingast (natur & lehm)

Alexander Lehner (Isolena)

Walter Schober (Bioinnova)

Unterstützende Mitarbeit:

Michael Gross (biohelp), Anton Hagspiel (Hagspiel Naturbaustoffe), Harald Greger (Institut für Botanik, Universität Wien), Wolfgang Harand, Brigitte Brem, Elisabeth Kaltenegger (Verein zur Erforschung bioaktiver Naturstoffe und ihrer ökologischen Bedeutung - BION), Gerhard Karg (BUGS Kaiserslautern), Edmund Hummel (Trifolio-M), Andreas Greiner (FB Chemie Universität Marburg), Peter Laßnig (Biogärtnerei Gänserndorf), Franz Neubauer (Ecolabor), Helmut Pelzmann (Landwirtschaftliches Versuchszentrum Wies), Susanne Schemitz, Wien, Josef Schett (Villgrater Naturprodukte, Josef Schett KG Innervillgraten Tirol), Josef Spritzendorfer (Natureplus), Magdalena Reinberg (Reinberg Translations), Vittorio Veronelli (CBC Europe, Mailand)

Wien, Februar 2006

Ein Projektbericht im Rahmen der Programmlinie



Impulsprogramm Nachhaltig Wirtschaften

Im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie

Vorwort

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines beauftragten Projekts aus der Programmlinie *Haus der Zukunft* im Rahmen des Impulsprogramms *Nachhaltig Wirtschaften*, welches 1999 als mehrjähriges Forschungs- und Technologieprogramm vom Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie gestartet wurde.

Die Programmlinie *Haus der Zukunft* intendiert, konkrete Wege für innovatives Bauen zu entwickeln und einzuleiten. Aufbauend auf der solaren Niedrigenergiebauweise und dem Passivhaus-Konzept soll eine bessere Energieeffizienz, ein verstärkter Einsatz erneuerbarer Energieträger, nachwachsender und ökologischer Rohstoffe, sowie eine stärkere Berücksichtigung von Nutzungsaspekten und Nutzerakzeptanz bei vergleichbaren Kosten zu konventionellen Bauweisen erreicht werden. Damit werden für die Planung und Realisierung von Wohn- und Bürogebäuden richtungsweisende Schritte hinsichtlich ökoeffizientem Bauen und einer nachhaltigen Wirtschaftsweise in Österreich demonstriert.

Die Qualität der erarbeiteten Ergebnisse liegt dank des überdurchschnittlichen Engagements und der übergreifenden Kooperationen der Auftragnehmer, des aktiven Einsatzes des begleitenden Schirmmanagements durch die Österreichische Gesellschaft für Umwelt und Technik und der guten Kooperation mit der Österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft bei der Projektabwicklung über unseren Erwartungen und führt bereits jetzt zu konkreten Umsetzungsstrategien von modellhaften Pilotprojekten.

Das Impulsprogramm *Nachhaltig Wirtschaften* verfolgt nicht nur den Anspruch, besonders innovative und richtungsweisende Projekte zu initiieren und zu finanzieren, sondern auch die Ergebnisse offensiv zu verbreiten. Daher werden sie in der Schriftenreihe publiziert, aber auch elektronisch über das Internet unter der Webadresse <http://www.HAUSderZukunft.at> Interessierten öffentlich zugänglich gemacht.

DI Michael Paula

Leiter der Abt. Energie- und Umwelttechnologien

Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie

ZUSAMMENFASSUNG

Motivation, Inhalt und Methoden

Biogene Dämmstoffe weisen im Kontext nachhaltigen Wirtschaftens viele Vorteile auf, im speziellen leisten sie einen qualifizierten und messbaren Beitrag zur Verbesserung des Wohlbefindens der Hausbewohner. So zeichnen sie sich unter anderem durch ihre CO₂-Neutralität und den geringen Energieverbrauch bei der Umwandlung der Rohstoffe zum Dämmstoff aus. Durch ihre Fähigkeit, Feuchtigkeit aufzunehmen, tragen sie außerdem zu einem gesunden Wohnklima bei. Gerade bei dieser feuchtepuffernden Wirkung ist Schafwolle als Isolationsmaterial unübertroffen. Weitere „Pluspunkte“ dieser tierischen Dämmmaterialien sind die schlechte Brennbarkeit (auch ohne Zusatz von Flammschutzmitteln Brandklasse B2) und die Entfernung von Schadstoffen aus der Luft durch Absorption und Bindung der schädlichen Substanzen an die Keratinfaser. Aufgrund der besonderen Produkteigenschaften sind viele BauherrInnen bereit die im Verhältnis zu anderen Dämmstoffen höheren Preise zu bezahlen.

Der einzige Nachteil der Schafwolle besteht in der Gefahr des Mottenbefalls (Kleidermotte – *Tineola biselliella*), wodurch eine Ausrüstung des Rohstoffes mit Antimottenmitteln unabdingbar wird. Die für diesen Zweck am häufigsten eingesetzte Substanz – Sulcoforon (in MITIN-Produkten der Fa. CIBA enthalten) stellt als organische Halogenverbindung eine vermeidbare gesundheitliche und umwelttoxikologische Gefährdung dar und widerspricht den Ansprüchen „eco-designter“ Produkte im Bereich des ökologischen Bauens. Mitin, eine an sich schon gesundheitsschädliche Substanz (deren Toxizität bis heute nicht vollkommen geklärt ist), und die sich in biologischen Matrices akkumuliert (da kaum biologischer Abbau wahrscheinlich ist), führt im Brandfall zur Entstehung von Dioxinen, die für ihre enorme Toxizität bekannt sind.

Die Nachteile konventioneller Mottenschutz-Ausrüstung bei Schafwolle und das drohende Mitin FF-Verbot in der EU (ab Juli 2006) machen eine rasche Entwicklung einer für Mensch und Umwelt unbedenklichen, aber wirksamen Motten-Prophylaxe nötig. Bisher erforschte Substanzen, wie Extrakte des Neem-Baumes, können aufgrund fehlender Temperaturstabilität, die beim Schutz von Dämmstoffen essentiell ist, zuverlässige Abwehr der keratinverdauenden Mottenlarven nicht garantieren. Im Forschungsprojekt „Motte & Schafwolle“ wurden daher internationale Literaturrecherchen nach phytochemischen Alternativen mit insektenabwehrender Wirkung durchgeführt, die Ergebnisse evaluiert, im Praxistest überprüft und optimiert. Das Programm umfaßte Screening-Untersuchungen, Rezeptur-Entwicklungen und State-of-the-art-Experimente, bei denen die Kleidermotte auf unterschiedliche Weise wirksamen (ovizid, fraßhemmend, keratinabbauhemmend, hormonstörend) Extrakten aus (vorwiegend heimischen) Pflanzen exponiert wurde.

Nur teilweise konnten Daten aus der Literatur zur Auswahl von Versuchspflanzen verwendet werden, die anschließend für Extraktionen und Tests auf mottenabwehrende Wirkung geprüft wurden, andere Pflanzen wurden im Hinblick auf spezifische Inhaltstoffe gescreent. Im Mottentest wirksame Extrakte wurden in Folge einer Hitzebelastung unterzogen und erneut getestet. Die Ergebnisse der Experimente führten zur Rezeptur einer Pflanzenextraktmischung, die zur Potenzierung mit mineralischen Komponenten ergänzt wurde. Zusätzlich wurde die antimikrobielle Wirksamkeit der eingesetzten Pflanzen untersucht. Für den Langzeittest wurde ein Versuchsformteil hergestellt, der als Dämmstoffplatte in ein Lehm-Passiv-Haus eingebaut wurde, wo er weiterhin unter Beobachtung steht.

Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Im Lauf des „Motte und Schafwolle“-Projekts konnte eine – auch unter Hitzebelastung stabile – im Mottentest wirksame Mottenmischung gefunden werden. Sie besteht aus fünf pflanzlichen und zwei mineralischen Komponenten, die sich synergistisch – u.a. in der Kombination von physikalischem Fraßschutz, der Hemmung von für die Verdauung der Wolle nötigen Keratinasen und einer starken Repellentwirkung – gegenseitig ergänzen. Neben Neem und Kieselerde, zweier im Forschungsbereich bekannter Antifeedants, wurden die Wurzel eines Korbblütlers, eines Moschuskrautgewächses und eines Kreuzblütlers, die Samen eines Lippenblütengewächses und das ätherische Öl einer tropischen Graswurzel für den neu entwickelten Mottenschutz ausgewählt. Die nötigen Rohstoffe liegen in großen Mengen für eine spätere kommerzielle Nutzung vor und sind zum überwiegenden Teil für den heimischen Anbau geeignet. In Ergänzung zur insektenabwehrenden Wirkung sind die ausgewählten Pflanzen auch antimikrobiell wirksam und führen so zu einem Schutz des Schafwollämmstoffs gegen bakteriellen Befall und Schimmelwachstum.

Für eine großtechnische Applikation wurden einige Optionen ausgearbeitet, die in weiteren Versuchen auf ihre Anwendbarkeit und Verfahrenskosten hin untersucht werden sollen. So kommen neben dem klassischen Sprüh- oder Tauchverfahren auch das Einbringen von zerkleinertem Pflanzenmaterial, das Einfilzen von mit Mottenschutz gefüllten Nanofasern (aus Keratin oder Bioplastik wie Polymilchsäure) und das Aufbringen eines geschmolzenen Biokunststoff-Mottenextrakt-Gemischs mittels Walzen auf das Vlies in Frage. Als wichtige Faktoren sind hier die benötigte Rohstoffmenge, Kosten und Energiebedarf der jeweiligen Verfahren, Fixierung der Wirkstoffe an der Schafwolle und ein gewisser Retardierungseffekt (für eine Langzeitwirkung im Dämmstoff) zu nennen.

Im anwendungstechnischen Versuch wurde ein Versuchsformteil mit dem neuen Mottenschutz ausgerüstet und in ein Musterhaus eingebaut, um zu überprüfen, ob ein Mottenbefall nach dem Einbau erfolgreich unterbunden wird. Die Ergebnisse können aufgrund der Jahreszeit – im Winter ist ein Motteninfestation sehr unwahrscheinlich – erst im Sommer ausgewertet werden.

Die Probleme bei der Herstellung des Formteils mit der einfachsten Applikationstechnik – dem schichtweisen Einbringen von zerkleinertem Pflanzenmaterial und den als Pulver vorliegenden mineralischen Komponenten mit Wasserglas als Fixierungsmittel zwischen die Filzlagen der Wolle – legen nahe, dass weitere Anwendungstests mit den erwähnten Applikationstechnologien durchgeführt werden müssen, die auf Grund ihres arbeitsaufwändigen und kostspieligen Rahmens nicht möglich waren. So wäre die Nutzung von trockenen, zerkleinerten Teilen der Mottenschutzpflanzen zwar sowohl als Trockenverfahren als auch wegen des Wegfallens der Extraktionstechnologie, von Vorteil. Bisher konnte allerdings noch keine ausreichende Haftung der Partikel erreicht werden und ein Upscaling auf eine voll-automatische Applikation scheint aufgrund des Standes der Technik bei der Herstellung von Wollfilz nur schwer möglich.

Um dennoch eine schnelle Umsetzung der neuen Mottenmischung für Schafwollämmstoffe – und andere Wollprodukte im Haushalt – zu ermöglichen und damit die Schafhaltung und schafwollverarbeitende Betriebe in Europa zu erhalten (die ohne Alternative auf Grund des Mitin-Verbots auf Nicht-EU-Standorte ausweichen würden) werden auch nach Abschluss dieses Projekts – ergänzt mit neuen Partnern – weitere Forschungsvorhaben durchgeführt.

SUMMARY

Motivation, content and methods

Renewable insulating materials offer many advantages in the field of sustainable economy, above all they contribute to the improvement of occupants' well being in a qualified and measurable way. Thus they are characterised by being CO₂-neutral and requiring considerably less energy for the transformation from raw material to insulating material. Furthermore, they add to a healthy living climate due to their ability to absorb humidity. Sheep's wool as an insulation material is unsurpassed regarding its humidity buffering effect. Further advantages of these animal insulating materials are the poor inflammability (even without the use of flame retardants fire class B2) and the elimination of pollutants from the air by means of absorbing and binding harmful substances to the keratin fibre. Due to these special product attributes many building owners are willing to pay prices higher than those of other insulating materials.

The only disadvantage of sheep's wool is the danger of moth infestation (clothes moth – *Tineola biselliella*), which makes it indispensable to equip the raw material with moth repellents. The substance most commonly used for this purpose is Sulcoforon (as contained in MITIN products of the CIBA company), which, being an organic halogen compound, is an avoidable danger to both health and environment and is inconsistent with the requirements of "eco-designed" products when it comes to environmental construction and house building. Mitin is a noxious substance (and its toxicity has not been clarified to this day) that accumulates in biological matrices (for it is very unlikely to be biodegradable) and in case of fire leads to the formation of dioxins, who are well-known for their enormous toxicity.

The disadvantages of conventional moth repellents in sheep's wool and the pending ban on Mitin FF all over the European Union (commencing in July 2006) make it necessary to quickly develop a harmless but effective moth prophylaxis. The substances researched so far, such as Neem tree extracts, cannot guarantee a satisfactory defence against the keratin-digesting moth larva due to their lack in temperature stability. In the course of the research project "Moth & Sheep's Wool", international literature was searched for phytochemical alternatives that have insect repelling effects, the results were evaluated, tested, examined and optimised. The programme contained screening examination, formulation development and state of the art experiments where the clothes moth was exposed in different ways (ovicide, antifeedants, keratin degradation repressing, hormone interfering) to extracts from (mainly local) plants.

Data gained from relevant literature could only be employed in parts for the selection of plants for analysis that consequently were examined for extractions and tests for moth repelling effects, other plants were screened with regard to specific ingredients. Extracts that were effective when tested on moths were subsequently exposed to heat and tested again. The results of these experiments led to the formulation of a plant extract mixture that for potentialisation was supplemented with mineral components. In addition the antimicrobial efficiency of the plants used was put to the test. A formed component was fabricated for the long running test and integrated into a clay passive house as an insulating panel, where it continues to be monitored.

Results and Conclusions

In the course of the “Moth and Sheep’s Wool”-project a composition that was effective when tested on moths and stable despite exposure to heat could be found. It consists of five herbal and two mineral components that complement one another synergistically, as for example in the combination of physical antifeedants, the blocking of keratinases necessary for digesting the wool and a strong repelling effect. In addition to neem and silica – two well-known antifeedants – the roots of a composite plant, an adoxacea and a cruciferous plant, the seeds of a lamiacea and the essential oil of a tropical grass root were chosen. The raw materials needed are available in great quantities for later business application, most of them are also suitable for local cultivation. In addition to the insect repelling effect the chosen plants are effectively antimicrobial and thus also protect sheep’s wool against bacterial infestation and mould growth.

Several options for industrial application have been developed and will be tested for applicability and operation costs. Thus – beside the classical spray and dipping method – inserting of hackled plant material, felting of nanofibre (made of keratin or bioplastic such as polylactic acid) filled with moth repellent and application of a molten combination of bioplastic and moth extract through milling are to be considered. Important factors are the amount of raw material needed, costs and energy demand of the relevant procedure, the fixation of the agent on the wool and a certain retardation effect (for long term effect in insulation materials). During the application technology test a formed component was equipped with the new moth repellent and integrated into a show house to verify the successful prevention of moth infestation. Due to the season – moth infestation is very unlikely in winter – the results cannot be analysed until summer.

The problems that were encountered when producing the formed component with the simplest available application technique – inserting hackled plant material and powdered mineral components in layers between wool layers, using sodium silicate as an immobilisation material – suggest that further application tests using the mentioned application technologies, that were impossible due to their labour-intensive and expensive setting, are indispensable. The use of dry, hackled parts of moth repelling plants would be advantageous as a dry process and because of the omission of extraction technology. Yet so far it has been impossible to achieve adequate adhesion of the particles, and upscaling to a fully automated application seems impossible with state of the art technology for the production of felt from wool.

To achieve a fast realisation of the new moth composition for sheep’s wool insulating materials and other household wool products and thus conserve sheep breeding and sheep’s wool processing in Europe (who, without an alternative, would evade to non-EU-locations owing to the ban on Mitin) further research will be carried out after the completion of this project with new partners.

INHALTSVERZEICHNIS

1	EINLEITUNG	1
1.1	Bauen und Dämmen – Energie als Schlüsselfaktor	1
1.2	Bauen mit nachwachsenden Rohstoffen	2
1.3	Wirtschaftliche und ökologische Bedeutung des Schafes	4
1.4	Motivation für das Projekt in Bezug auf die Ausschreibung „Haus der Zukunft“	7
1.5	Arbeitsschritte im Projekt	9
1.6	Pflanzliche und mineralische Wirkstoffe zur Mottenabwehr	9
1.7	Partner im Projekt	10
1.8	Aufbau der Arbeit	12
2	METHODEN UND DATEN	13
2.1	Literaturrecherche und Pflanzenauswahl	13
2.1.1	Erste Pflanzen-Auswahl (Extraktion 1 und 2)	13
2.1.2	Optimierte Pflanzen-Auswahl (Extraktion 3)	18
2.1.3	Auswahl für Formteilherstellung	18
2.2	Extraktion	18
2.2.1	Extraktion 1 und 2	18
2.2.2	Modifizierte Extraktion 3	20
2.3	Hitzebelastung	24
2.4	Mottentests (inkl. Mottenzucht)	24
2.5	Herstellung des Dämmstoff-Bauteils	25
2.5.1	Durchführung	26
2.5.2	Expertengespräch	27
2.6	Schimmel- und Brandschutz	28
2.7	Wirtschaftliche Überlegungen	28

3	PROJEKTIINHALT	29
3.1	Gute Argumente zur Innovation	29
3.2	Schafwolle	31
3.3	Das Schadstoff-Adsober-Phänomen	32
3.4	Der Rohstoff Schafwolle	33
3.5	Lokalausweis in einer Schafwollwäscherei	36
3.6	Die Kleidermotte	38
3.6.1	Tineola biselliella – Lebensgewohnheiten	38
3.6.2	Abwehrstrategien	45
3.7	Mitin – Toxizität und Raumbelastung	46
3.7.1	Stand der Technik bei Dämmstoffausrüstung	46
3.7.2	Mitin FF	47
3.8	Neem – „Biopestizide aus Pflanzen“	50
3.8.1	Neem als Mottenschutz	52
3.8.2	Herstellungsaufwand	53
3.8.3	Zertifizierung	53
3.9	Zulassungshürden für Biopestizide	56
3.10	Partner	58
3.11	Bestimmungen zu Dämmstoffen	61
3.11.1	Schafwollämmstoff-Qualitätsanforderungen	61
3.11.2	Die natureplus Vergabekriterien	62
3.12	Wirkstoffauswahl	64
3.12.1	Wärmeverhalten bei Naturstoffen	64
3.13	Mottentests	67
3.14	Applikation der Mottenmischung	67
3.14.1	Tauchverfahren	68
3.14.2	Sprühverfahren	68
3.14.3	Einfilzen von Nanofasern	68
3.14.4	Einbringen von Pflanzenpartikeln	69
3.14.5	Biokunststoffpartikel	69

4	ERGEBNISSE UND SCHLUSSFOLGERUNGEN	70
4.1	Extraktion	70
4.1.1	Extraktion 1	70
4.1.2	Extraktion 3	71
4.2	Mottentestergebnisse	72
4.2.1	Mottentests 1 und 2 (ohne Hitzebehandlung)	72
4.2.2	Mottentest 3 und 4 (inkl. Hitzebehandlung)	77
4.3	Übersicht über ausgewählte Pflanzen und mineralische Wirkstoffe	79
4.4	Dämmstoff-Bauteil	83
4.4.1	Charakterisierung der Schafwollämmplatte	84
4.4.2	Applikationsverfahren	85
4.4.3	Expertengespräch	85
4.5	Hemmung von Mikroorganismen	88
4.5.1	Lippenblütler	88
4.5.2	Kreuzblütler	88
4.5.3	Tropisches Gras	89
4.6	Brandschutz	89
4.7	Wirtschaftliche Überlegungen	89
4.7.1	Rohstoff	89
4.7.2	Kosten für Verarbeitung	90
4.7.3	Kosten für die Zertifizierung	91
4.7.4	Schafwollpreis	91
4.7.5	Markt	92
4.8	Schlussfolgerungen	93
5	AUSBLICK	94
6	LITERATUR	96
7	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	100
8	TABELLENVERZEICHNIS	101
9	ANHANG	102

1 EINLEITUNG

1.1 Bauen und Dämmen – Energie als Schlüsselfaktor

Die Bauwirtschaft verschlingt rund 40 Prozent unserer natürlichen Ressourcen. Auch der Energiebedarf in diesem Sektor ist außerordentlich hoch. Wir Europäer verbringen 90 Prozent des Lebens in Innenräumen und bei empfindsamen Menschen können schon minimale Konzentrationen von Wohngiften die Gesundheit beeinträchtigen. Dazu kommt, dass die Häufigkeit von Allergien in den vergangenen Jahrzehnten stark zugenommen hat. Gerade Kinder leiden häufig schon sehr früh an einer Allergie oder zeigen durch eine atopische Erkrankung, wie Neurodermitis erhöhte Bereitschaft, eine Allergie zu entwickeln. Deshalb sind „eco-designte“, mitweltverträgliche Bau- und Einrichtungsmaterialien richtungsbestimmend für die Wohn-gesundheit und eine zukunftsfähige Entwicklung.

Ein einmal gewählter Dämmstoff begleitet uns ein Leben lang. Umso wichtiger ist die richtige Auswahl eines absolut unbedenklichen, sozialverträglichen und wirtschaftlichen Materials. Nachhaltig in jeder Phase des Produktlebenszyklus (Erzeugung – Verarbeitung – Nutzung – Recycling/Re-Design) sind daher die Anforderungen an zeitgemäße Isolationswerkstoffe. Hinter der Idee des Dämmstoffes für das wohngesunde Haus steht die nachhaltige Strategie des verminderten Energieverbrauches und somit eine weitere wirkungsvolle ökologische Maßnahme, die nicht nur die eigene Gewinn-Verlust-Rechnung verbessert, sondern auch dem Schutz nachfolgender Generationen dient.

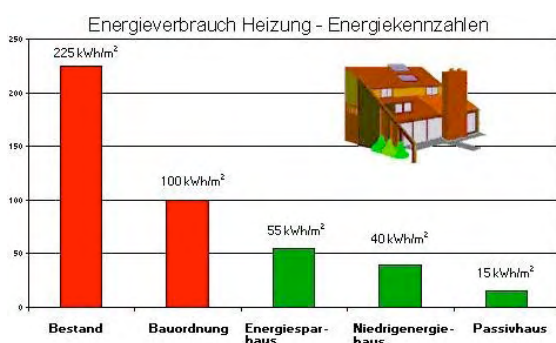


Abbildung 1 Energieverbrauch Heizung – Energiekennzahlen

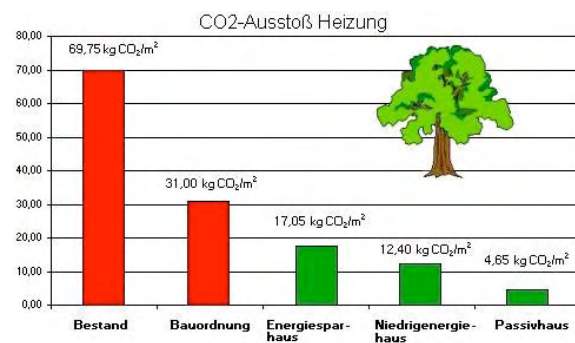


Abbildung 2 CO₂-Ausstoß Heizung (Quelle: alpor)

Wärmedämmmaßnahmen haben eine massive CO₂-Reduktion zur Folge. Jeder Bauherr und Mieter sollte sich dieser ökologischen Verantwortung bewusst sein.

Mit effizienten Hoch-Wärmedämmsystemen für das Einfamilienhaus-, Niedrigenergie- und Passivhaus leistet jeder einen großen Beitrag zur Verminderung der Umweltbelastung durch Luftschadstoffe und zur Treibhausgasreduktion, wie den Abbildungen 1 und 2 zu entnehmen ist.

Passiv-Haus: Entwicklung geht weiter

Fest steht, dass sich der Passivhaus-Standard mit seiner sensationellen Performance im Bereich der Ressourcen- und Geldbeutelersparnis sowie des bisher unbekannteren Wohnkomforts auf breiter Basis durchsetzen wird. Die Frage ist gegenwärtig, wie schnell das geschieht: Wenn die Qualität der Gebäude auf dem erforderlichen hohen Niveau gehalten werden kann, steht diesem Standard eine phantastische Erfolgsgeschichte bevor.

Andernfalls erlebt die Entwicklung einen mehr oder weniger starken Dämpfer, um nach der Lernphase von einigen Jahren wieder fortgesetzt zu werden. Grundsätzlich aufzuhalten ist diese technische Innovation sicher nicht. Kompetenz über alles, lautet die Zauberformel, um auf dem Weg nicht unnötig Zeit zu verlieren.

Quelle: Christof Drexel und Reinhard Weiss
www.drexel-weiss.at
www.passivehouse.at
www.hausderzukunft.at

1.2 Bauen mit nachwachsenden Rohstoffen

Bauprodukte aus der Land- und Forstwirtschaft, aus dem "erneuerbaren Füllhorn der Biosphäre", erfüllen in besonderem Maße die Forderung nach Energieeinsparung, Klimaschutz und Ressourcenschonung: Zur Herstellung von Holztragwerken und Lehm-Passivbauten oder von Dämmstoffen aus Zellulose, Holzfasern, Hanf, Flachs oder Schafwolle wird nur ein Bruchteil der Primärenergie verbraucht, die vergleichbare Produkte aus Stahl, Mineralwolle oder Erdölprodukten von der Rohstoffgewinnung bis zum Einbau des fertigen Produkts benötigen. Außerdem verhalten sich die Naturprodukte „klimaneutral“, denn das bei ihrer Entsorgung (Kompostierung oder Verbrennung) freiwerdende CO₂ haben sie zuvor beim Wachstum der Atmosphäre entzogen. Lehm, Holz, Dämmstoffe aus Naturfasern, Bodenbeläge aus Naturfasern und Anstriche aus natürlichen Ölen und Wachsen sorgen für ein gesundes Raumklima, da sie diffusionsoffen sind, Feuchte ausgleichen und keine Schadstoffe in die Luft abgeben. Nicht nur ökologisch und unter Gesundheitsaspekten sind die Baustoffe aus nachwachsenden Rohstoffen den meisten konventionellen Baustoffen überlegen, sondern sie verfügen außerdem noch über handfeste bautechnische und bauphysikalische Vorteile.

Beispiel Dämmstoffe

Bei sachgerechtem Einsatz zeigen Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen kaum Unterschiede zu konventionellen Produkten.

- Zelluloseflocken und Holzweichfaserplatten etwa sind hinsichtlich des sommerlichen Wärmeschutzes der marktbeherrschenden Mineralwolle deutlich überlegen.
- Die Fähigkeit der Naturprodukte, in erheblichen Mengen Feuchte aufzunehmen und wieder abzugeben (Feuchtepufferwirkung), kann sogar helfen, Bauschäden zu vermeiden: Neu entwickelte Wärmedämmverbundsysteme (WDVS) unter Verwendung von Holzfaserwerkstoffen verringern gegenüber Systemen mit Polystyrol den unerwünschten biologischen Bewuchs auf gedämmten Fassaden.
- Erste Forschungsergebnisse des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik (IBP) in Holzkirchen (D) deuten darauf hin, dass Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen bislang bei der Einstufung in Wärmeleitfähigkeitsgruppen zu schlecht beurteilt wurden, ein Wettbewerbsnachteil, den es in Zukunft aufzuheben gilt (KLUTTIG und ERHORN, 2004).

Bei den Baustoffen aus erneuerbaren Ressourcen wird gegenwärtig nicht mehr nur puristisch gedacht: Durch Kombination mit Naturprodukten optimiert inzwischen auch die etablierte Baustoffindustrie die Ökobilanz und die technischen Eigenschaften ihrer Baustoffe (z. B. verstärken Naturfasern Zementbaustoffe). Neuentwicklungen aus nachwachsenden Rohstoffen sorgen dafür, dass das Produktsortiment immer breiter wird und so den Anforderungen des Marktes zunehmend entgegen kommt. In Verbindung mit den genannten Eigenschaften der Naturprodukte und dem erklärten Willen aller maßgeblichen Institutionen, das nachhaltige Bauen zu fördern, ist zu erwarten, dass der bislang noch zu geringe Marktanteil zukünftig kräftig wachsen wird.

Vorteile der Schafwolle auf einen Blick

- Dämmt hervorragend und reduziert Heizkosten auf ein Minimum
- Hält "ewig", und dämmt nach Jahrzehnten noch immer wie am ersten Tag
- Ist preiswert: Anschaffungskosten amortisieren sich in einem überschaubaren Zeitraum
- Erreicht beste schalltechnische Werte aufgrund der hohen Rohdichte
- Schont die Umwelt, da natürlicher und nachwachsender Rohstoff
- Ist gut verträglich. Professionelle Schafwollämmungen werden regelmäßig Güte- und Qualitätsüberwachungen unterzogen
- Macht Schutzmaßnahmen überflüssig, kann bedenkenlos und einfach verarbeitet werden
- Kann recycelt oder einfach durch fachgerechte Kompostierung entsorgt werden

1.3 Wirtschaftliche und ökologische Bedeutung des Schafes



Abbildung 3 Schafherde im Glocknergebiet (Quelle: Zehetner)

Schon seit Jahrtausenden ist das Schaf Wegbegleiter und Hausgenosse des Menschen. Schafwolle ist das geschorene Haarkleid der Schafe, sie zählt zu den ältesten textil genutzten Fasern, besonders Filze hieraus gehören zu den ursprünglichsten Werkstoffen. Bereits in der mittleren Steinzeit haben sich unsere Vorfahren in Ägypten und China in Wollfilze gehüllt. Bei den Ägyptern wurde die Wollmanufaktur bereits in großem Umfang betrieben.

Bis ins 19. Jahrhundert war Wolle ein kostbares Material und das Tragen von Wollkleidung ein Privileg wohlhabender Bürger. Erst seit Schafwolle aus Australien und Neuseeland nach Europa importiert wird und in ausreichender Menge zur Verfügung steht, ist das wärmende Material auch für den Rest der Bevölkerung erschwinglich.

Ökologische Rasenmäher

Darüber hinaus spielen Schafe eine wichtige Rolle bei der ökologischen Landschaftspflege. Beim Weidegang verfestigen sie mit ihren Hufen den Boden, gleichzeitig wird natürlicher Dünger eingearbeitet. An schwer zugänglichen Stellen oder großen Flächen übernehmen sie die Funktion des "Rasenmähers". Ein landwirtschaftlich bedeutender Vorteil des Schafes gegenüber anderen Weidetieren ist seine sprichwörtliche „goldene Klaue“. Ihre anatomische Besonderheit führt zu einer besonders schonenden Beweidung.

Außerdem vertreiben die Tiere durch ihr ständiges Getrappel Schädlinge wie Wühlmäuse. Schafe sind ökologischer als jeder Rasenmäher. Auf Deichen fördert das Abgrasen deren Festigkeit. Da manche geschützten Flächen nur zu bestimmten Zeiten abgeweidet werden dürfen, sind Schafe dafür die idealen Kandidaten. Sie verhindern die Verbuschung der Landschaft und wirken sogar dem Absinken des Grundwasserspiegels entgegen, da die kräftigeren Wurzeln, die durch regelmäßiges Beweiden entstehen, besser die Feuchtigkeit halten.

Wie neue Untersuchungen des Bundesamtes für Umwelt, Wald und Landschaft aus der Schweiz zeigen, beeinträchtigt eine angepasste Schafdichte die Artenvielfalt wenig. Sie kann sich sogar – je nach Höhenlage – über das Verhindern der Verbuschung vorteilhaft auswirken. (BUWAL 2004) Die Herausforderung für die heutigen Schäfer und Almbesitzer liegt laut BUWAL-Expertise darin, die jeweils optimale – und nicht maximale – Schafbeweidung zu definieren, so wie es die Altvorderen in vielen Regionen der Alpen über Jahrhunderte gemacht haben

Fleisch und Käse im Aufwind, Preisdruck bei Wolle

Fleisch stellt heute den Hauptnutzen eines Schafes dar. Vor allem Lammfleisch ist beim Kunden beliebt, Hammel- oder Bockfleisch wird deutlich weniger gekauft. Große Konkurrenz kommt für die europäischen Züchter aus Neuseeland und Australien. Die Massenhaltung dort lässt den heimischen Markt immer unrentabler werden.

Noch deutlicher als beim Fleisch zeigt sich das bei der Wolle. Ein Kilo Schafwolle ist heute schon für 50 Cent zu bekommen, das deckt nicht einmal die Arbeitskosten eines Schafschers. Aus diesem Grund kreuzt man inzwischen bei Züchtungen immer häufiger sogenannte Haarschafe ein - die besitzen statt eines dichten Wollkleides ein ziegenähnliches Fell. Dadurch verringert sich der Wollanteil, und die Kosten sinken.

Vom lebenden Schaf geschorene Wolle hat nach der Reinigung ein geringes spezifisches Gewicht, trotzdem ist die Substanzfestigkeit sehr hoch. Heute, im 21. Jahrhundert spielt diese Naturfaser noch immer eine wichtige Rolle in der Textilindustrie. Darüber hinaus gewinnt die Schafwolle in den letzten Jahren auch bei Herstellung nachhaltiger Dämmstoffe wieder zunehmend an Bedeutung.

Hoffnung für Allergiker

Neben dem Fleisch rückt mittlerweile ein weiteres Schafprodukt, nämlich die Milch, in den Fokus des Verbraucherinteresses. Erzeugnisse aus Schafmilch gewinnen in den letzten Jahren immer mehr an Bedeutung. Schafmilch wird nicht nur zur Käseherstellung verwendet, sondern kann auch für Allergiker eine Alternative darstellen. Im Mittelpunkt des Interesses stehen dabei

vor allem die sogenannten Null-Allele in der Schafmilch. Dabei handelt es sich um nicht vorhandene Ausprägungen bestimmter Gene. Allergiker, die auf ein bestimmtes Allel überempfindlich reagieren, können daher die Milch eines anderen Schafes, das diese Ausprägung nicht hat, bedenkenlos trinken.

Wollschädling Kleidermotte

Tineola bisselliella ist ein weit verbreiteter Textilschädling der Insektenordnung der Schmetterlinge (Lepidoptera, Familie: Tineidae), dessen Larven zu den wenigen Tierarten gehören, die in der Lage sind Keratin zu verdauen (was sonst vor allem bei Pilzen vorkommt). Die Entwicklung der Kleidermotte führt vom Ei über Larve und Puppe zum Imago, das keine Nahrung mehr aufnimmt.



Abbildung 4 Imago der Kleidermotte



Abbildung 5 Larve der Kleidermotte

Durch die Ernährung mit Schafwolle (die aus Keratin besteht), geht bei einem Befall durch Kleidermottenlarven Dämmmaterial verloren. Daher ist ein wirksamer Schutz durch abschreckende oder für Motten (aber nicht für Säugetiere) giftige Substanzen, bzw. eine „Verwirrung“ der Imagines zum Verhindern der Paarung und damit der Eiablage für die Nutzung von Schafwolle als Dämmmaterial unabdingbar.

1.4 Motivation für das Projekt in Bezug auf die Ausschreibung „Haus der Zukunft“



Abbildung 6 „Haus im Schafspelz“

Als einziger Dämmstoff tierischer Herkunft wird Schafwolle eingesetzt. Beinahe ein Viertel aller alternativen Dämmprodukte bestehen aus diesem heimischen Rohstoff. Wolle wird zu Matten, Zöpfen und Filzstreifen verarbeitet und sowohl als Wärmedämmung als auch als Trittschalldämmung verwendet. Ebenso wird eine breite Palette an Raumtextilien aus Schurwolle auf dem Markt angeboten.

Die raumklimatischen Vorteile der Schafwolle sind in der erhöhten Wasserabsorptionskapazität begründet, wenn Konstruktionen mit hydrophilen Materialien und Dampfbremsen anstatt mit Dampfsperren geschützt sind. Dieser Effekt wird durch Nutzung des hydrophilen Charakters der natürlichen Fasern und der Verringerung der Feuchtigkeitsbarrieren zwischen Raumluft und Dämmstoff erreicht und ist wissenschaftlich schon einige Jahre bewiesen.

Bei der Verwendung von Schafwolle als Dämmmaterial im Hausbau besteht das Problem, dass der Wärmespeicher ohne Insektenschutzrüstung häufig von Textilschädlingen, wie beispielsweise der Kleidermotte (*Tineola biselliella*), befallen wird. Derzeit werden am Markt hochwirksame Chemikalien für den Mottenschutz angeboten, die jedoch mit den bekannten Nachteilen solcher Substanzen behaftet sind. Gerade für ein Naturprodukt, wie die Schafwolle, wäre es sinnvoll, wenn an Stelle von chemisch synthetischen Substanzen, aus der Natur stammende, schädlingsabwehrende Wirkstoffe eingesetzt werden könnten.

Mitin FF



Abbildung 7 Mitin FF (Hersteller CIBA)

Im Normalfall werden die Wollprodukte mit dem halogenorganischen Harnstoffderivat MITIN FF (oder auch mit synth. Pyrethroiden) gegen Mottenbefall ausgerüstet. Die Argumente, die synthetischen Mottengifte würden nur in geringen Mengen und applikationstechnisch so aufgebracht, dass sie sich keinesfalls vom Produkt lösen könnten, erweisen sich bei genauerer Prüfung als fragwürdig. Rückstände von MITIN FF, aber auch von Pyrethroiden u.a. Bioziden, werden bei Hausstaub-Analysen mit Wollteppichen regelmäßig festgestellt und stehen im Verdacht zur vermeidbaren Indoor-Pollution einen nicht unwesentlichen Beitrag zu leisten. (TICHENOOR et al., 1990; HANCOCK et al., 1997; BONWICK et al, 1996; OBEN-LAND, 1998)

Gemeinsam mit anderen Autoren vertreten wir die Auffassung, dass ein Naturprodukt wie Schafwolle nicht durch chlorchemische Verbindungen „denaturiert“ werden sollte (ÖKOTEST Sonderheft Bauen, Wohnen 1996: Bauratgeber Dämmstoffe, EcoCasa in D-69151 Neckargmünd: www.ecocasa.de, Alchimea Naturwaren D-66450 Bexbach, www.alchimea.de).

Schafwoll­dämmstoffe seien nur dann empfehlenswert, „wenn die Wolle aus artgerechter Tierhaltung stammt und dem Dämmstoff keine Insektizide zugegeben werden“, beschreibt die weltweit agierende Umweltorganisation Greenpeace den umweltwissenschaftlichen Aktionsrahmen. (Quelle: Das Clean Construction-Projekt in <http://archiv.greenpeace.de>)

Die Suche nach Auswegen aus einer zu einseitig auf chemische Wirkstoffe ausgerichteten Bekämpfungsstrategie führte in letzter Zeit zu einer verstärkten Hinwendung auf biologische Verfahren zur wirksamen Kontrolle der Motte. Nach der Recherche umweltfreundlicher und sicher zu handhabender Verfahren zur Vermeidung des Mottenbefalls von Schafwolle wurden von uns verschiedenartige Pflanzenextrakte gescreent und im Praxistest optimiert, um so für

das „Haus der Zukunft“ sowohl im Neubau als auch bei der Althausanierung eine nachhaltige Systemlösung zur Wärmedämmung mit einem regional verfügbaren Naturdämmstoff zur Verfügung zu haben.

1.5 Arbeitsschritte im Projekt

1. Zusammenstellung einer Liste von (nach Möglichkeit heimischen) Pflanzen, deren Inhaltsstoffe zur Abwehr von Motten auf Wolle geeignet erscheinen
2. Extraktion bzw. Anreicherung der Wirkstoffe nach Plausibilitätskriterien
3. Entwicklung einer geeigneten Rezeptur mit Mottenschutz-Wirkung auf pflanzenchemischer und mineralischer Basis
4. Wirksamkeitsprüfung von Pflanzenextrakten gegen Motten im Labor
5. Entwicklung geeigneter Applikationspräparate & -methoden für Schafwollvliese (unter Berücksichtigung der Hilfsmittel und Brandeigenschaften)
6. Wirksamkeitsprüfung an praxisgerechten Bauteilen (eingebaute Dämmvliese, Belastungstests)
7. Zusammenfassung der im Labor- bzw. Kleinchargenmaßstab erarbeiteten Ergebnisse als Datengrundlage für Upscaling und (Einzel-)Zertifizierung

1.6 Pflanzliche und mineralische Wirkstoffe zur Mottenabwehr

Zur Mottenabwehr bestehen grundsätzlich verschiedene Strategiemöglichkeiten. So können die verschiedenen Entwicklungsformen gehemmt werden. Ovicide Substanzen töten Eier ab, Fraßgifte verhindern die Verpuppung der Larven und damit die Verwandlung zu adulten Motten. Imagines können unter anderem mittels hoher Dosen von Sexualpheromonen an der Verpaarung gehindert werden. Auch eine Anlockung und Infektion mit spezifischen Krankheitserregern ist bei Larven und Imagines möglich.

Eine optimale Strategie muss an das teilweise abgeschlossene System bei in Hauswände eingebauten Dämmstoffen und die Ansprüche an die Stabilität der Wirkstoffe (zeitliche und Temperaturstabilität) angepasst sein.

Pflanzliche Wirkstoffe, die aus der heimischen Flora gewonnen werden können stellen aus mehreren Gründen eine den synthetischen Präparaten überlegene Variante dar. Neben einer Stärkung der Landwirtschaft und der Vorteile der Nutzung nachwachsender Rohstoffe kann beim Einsatz natürlicher Abwehrstoffe, die auf die spezifische Biologie der Insekten wirken, das Gesundheitsrisiko für Mensch und Säugetiere minimiert werden. Wie das Beispiel des Neembumes zeigt, kann bei einer klugen Auswahl der Pflanzen ein Schutz von „Nützlingsinsekten“ gewährleistet werden.

Mineralische Substanzen haben sich als gute Kombination zu pflanzlichen Wirkstoffen herausgestellt. Sie stellen mit ihrer guten Verfügbarkeit und wegen ihrer gesundheitlichen Unbedenklichkeit eine wichtige Ergänzung in der in diesem Projekt entwickelten Mottenschutzmischung dar. Die gezielte Kombination von flüchtigen Substanzen, die der Abschreckung von adulten Motten dienen (und damit die Eiablage verhindern) und fraßhemmenden bzw. für Larven giftigen wenig flüchtigen und stabileren Substanzen, die den Materialverlust einschränken und einen fortschreitenden Befall des Dämmstoffes verhindern, ermöglicht einen verlässlichen Mottenschutz für viele Jahre. Dabei ist auf eine optimierte Applikation der Wirkstoffe zu achten, um einen retardierenden Effekt der Freisetzung der Substanzen zu erzielen.

1.7 Partner im Projekt



Villgrater Naturprodukte Josef Schett KG ist Herstellerin von Schafwollprodukten wie Dämmstoffplatten und Matratzen.

Öztaler Schafwoll Zentrum Regensburger GmbH betreibt eine Schafwollwaschanlage in Umhausen.



Hagspiel Naturbaustoffe GmbH entwickelt Dämmstoffe, Naturfarben und Bodenbeläge aus natürlichen Rohstoffen.



Die Firma **BioInnova Verbundbauteile GmbH** entwickelte und produzierte in Heiligenkreuz (Bgl.) seit 2002 Dämmprodukte.



Im o.ö. Waizenkirchen stellt die traditionsreiche Wollweberei **ISOLENA** u.a. Schalldämmbahnen aus 100% Schafschurwolle her.



Bei **Trifolio-M GmbH** in Lahnau (Hessen, D) werden bioaktive Pflanzenwirkstoffe gewonnen und in standardisierter Form vertrieben.



BION, Verein zur Erforschung bioaktiver Naturstoffe und ihrer ökologischen Bedeutung am Institut für Botanik der Universität Wien



Ecolabor, akkreditiertes Prüf- und Forschungslabor in Stainz (Stmk.)



natur&lehm-Gründer Roland Meingast hat den modernen Lehm-Bau in Österreich etabliert und ist in mehrere Forschungsprojekte u.a. auch für das „Haus der Zukunft“ involviert.

1.8 Aufbau der Arbeit

Nach einer Beschreibung der verwendeten Methoden zur Datenerhebung und Versuchsdurchführung (Kapitel 2) werden die Problemstellungen und Lösungsansätze, die Motivationsgründe für die Entwicklung neuer Mottenschutzmittel, sowie die Bedingungen am Dämmstoffmarkt beschrieben (Kapitel 3). Danach werden die Ergebnisse des „Motte und Schafwolle“-Projekts und ableitbare Schlussfolgerungen diskutiert (Kapitel 4). In Kapitel 5 erfolgt schließlich ein Ausblick, der zukünftige Fragestellungen und geplante, weitere Forschungspakete beschreibt.

Anmerkung: Die meisten Bestandteile der ermittelten Mottenmischung werden in diesem Bericht nur in Form ihrer Pflanzenfamilien (z.B. Korbblütler) bzw. als Metalloxid genannt.

2 METHODEN UND DATEN

2.1 Literaturrecherche und Pflanzenauswahl

Die Literaturrecherche bezüglich der Inhaltsstoffe und Aktivitäten verschiedener Pflanzen wurde mit dem Programm SciFinder® Scholar (www.cas.org/SCIFINDER/SCHOLAR) durchgeführt. SciFinder Scholar bezieht Daten aus Datenbanken des Chemical Abstracts Service (CAS) sowie der MEDLINE® Datenbank von der US National Library of Medicine. Zusätzlich wurden Informationen mit der Suchmaschine Google Scholar und Scirus (www.scholar.google.com, www.scirus.com/srsapp/) erhoben und Pflanzeninhaltsstoffe über „DR. DUKE'S PHYTOCHEMICAL AND ETHNOBOTANICAL DATDBASES“ (www.ars-grin.gov) erhoben.

2.1.1 Erste Pflanzen-Auswahl (Extraktion 1 und 2)

In Tabelle 1 bis 3 sind wichtige Kriterien wie Verfügbarkeit, bekannte Inhaltsstoffe sowie beschriebene Bioaktivitäten von 20 Pflanzenarten aufgelistet, die wegen bekannter insektizider Wirkungen für die erste Versuchsphase ausgewählt wurden. Dabei wurden interessante Bioaktivitäten einerseits bereits in Vorarbeiten an der Abteilung für Vergleichende und Ökologische Phytochemie des Instituts für Botanik an der Universität Wien erfasst, andererseits wurden chemosystematische Kenntnisse und Literaturhinweise als Entscheidungskriterien für die Arten-Selektion herangezogen.

Erste Hinweise auf toxische Wirkweisen bei Larven der Kleidermotte liegen für *Chelidonium majus* vor dessen Alkaloide eine reversible Hemmung der Acetylcholinesterase (AChE) bewirken. Dabei konnte bereits für ein Alkaloid aus *Lycopodium varium*, das ebenfalls als AChE Inhibitor wirkt, eine deutliche Toxizität auf die Larven nachgewiesen werden (AINGE, 2002). Zudem beeinflussen viele synthetische Insektizide wie Organophosphate und Carbamate die Aktivität der Acetylcholinesterase in Insekten (WEINS und JORK, 1996).

Generell kommt den Protease-Inhibitoren heute große Bedeutung in der Integrierten Schädlingsbekämpfung (IPM, Integrated Pest Management) zu, wobei bekannte Protease-Inhibitoren vorwiegend aus den Pflanzenfamilien der Leguminosen, Solanaceae und Gramineae isoliert wurden (LAWRENCE and KOUNDAL, 2002).

Nach der Erhebung der verfügbaren Literatur wurde im Hinblick auf vielversprechende Inhaltsstoffe und Hinweise auf insektenabwehrende oder insektizide Wirkung eine Auswahl an Pflanzen getroffen, die im Anschluss extrahiert und getestet wurden.

Arten	Vorkommen und Verfügbarkeit	Inhaltsstoffe	biologische Aktivität	Familie	Bemerkungen
1 <i>Peucedanum officinale</i> Wurzel	Mitteleuropa; Rote Liste, allerdings gut kultivierbar	ätherisches Öl, Furocumarine (Peucedanin, Xanthotoxin), Polyacetylene	Furocumarine - insektizide Aktivität , antifeedant, Phototoxizität, Polyacetylene - kontakttoxische auf <i>Spodoptera littoralis</i>	Apiac.	
2 Mahagonigewächs Stammrinde	tropisch (SO-Asien), raschwüchsiger Baum	Flavagine, Bisamide, Lignane	Flavagine - hohe insektizide Aktivität gegen <i>Spodoptera littoralis</i>	Meliac.	
3 Krautige Kletterpflanze	tropisch (SO-Asien)	Alkaloide, Stilbene, Tocopherole	Alkaloide - hohe insektizide Aktivität gegen <i>Spodoptera littoralis</i>	Stemonac.	
4 <i>Tanacetum balsamita</i> Kraut	Heimat Südwest-Asien, als Volksarzneipflanze bei uns kultiviert+C5	ätherisches Öl (Thujon als Hauptkomponente), Sesquiterpenlaktone (Sesquiterpenketone), Polyacetylene	Thujon - Toxizität als als Kontakt-Acarizid gegenüber der Spinnmilbe, <i>Tetranychus urticae</i> sowie neurotoxisch; ä.Ö. - antimikrobiell; Sesquiterpenlaktone - antibakteriell sowie Bitterstoffe	Asterac.	als Medizinalpflanze Anwendg. als Anthelminthikum (Thujon), äußerlich auch gegen Krätze, Flöhe und Läuse eingesetzt;
5 <i>Sambucus nigra</i> Blätter	Mitteleuropa	cyanogene Glykoside, Lektine	Lektine - insektive Eigenschaften , toxisch, in geringen Konzentrationen mitogen	Caprifoliac.	traditionell Anwend. bei Diabetes
6 <i>Artemisia dracunculus</i> Kraut	Gewürzpflanze, weltweit kultiviert	ätherisches Öl, Flavonoide, lineare sowie aromatische Acetylene (Capillen) und Polyacetylene (Dehydrofalcarinon), Isocumarine (Capillarin) sowie Cumarine, Alkamide	Isocumarine - antifungale Wirkung; Alkamide - insektizide Aktivität gegen dem Reiskäfer, <i>Sitophilus oryzae</i> und dem Getreidekapuziner <i>Rhizopertha dominica</i>	Asterac.	Estragon
7 <i>Juglans regia</i> Blätter	Kulturbaum	ätherisches Öl, Naphthochinone (Juglon), Gerbstoffe (Tannin)	ä.Ö. - antifungal; Naphthochinone - antifungal, insektizid und antifeedant	Juglandac.	Walnuß; in der Volksmedizin als Hautheilmittel verwendet (Bl., grüne Frü, reife Nüsse), die Blätter werden auch als Mottenschutz verwendet. (Verfärbung d. Naphthochinone).

Tabelle 1 Ausgewählte Pflanzen zur Anwendung in Biotests mit Larven der Kleidermotte, *Tineola bisselliella*.

Arten	Vorkommen und Verfügbarkeit	Inhaltsstoffe	biologische Aktivität	Familie	Bemerkungen
8 <i>Ruta graveolens</i> Kraut	heimisch im mediterranen Raum, kultiviert in Europa und Asien	ätherisches Öl, Furocumarine, Quinolin-, Furoquinoline, Quinolon- und Acridon-Alkaloide, Limonoide, Flavonoide	ä.Ö. - insektizide Aktivität gegen den Getreidekapuziner <i>Rhizopertha dominica</i> und Reismehlkäfer <i>Tribolium castaneum</i> ; Furocumarine und Alkaloide - antifungal, Acridone - antimikrobiell und antifungal, cytotoxisch; lineare Furocumarine - antiproliferativ, photosensibilisierend	Rutac.	Wein-Raute in der Volksmedizin verwendet (als leichtes Sedativum, Spasmolytikum, Diuretikum)
9 <i>Artemisia absinthium</i> Kraut	Europa + Asien (in trockenen Gebieten)	ätherisches Öl (Thujon), Bitterstoffe, Lignane	ä.Ö. (Thujon) - Toxizität als Kontakt-Acarizid gegenüber der Spinnmilbe, <i>Tetranychus urticae</i>	Asterac.	Absinth
10 <i>Hypericum perforatum</i> Kraut	in Mitteleuropa häufig	Phloroglycin-Derivate, Flavonoide, Anthrochinone (Hypericin), Xanthonderivate, Gerbstoffe		Hypericac.	Antidepressivum
11 <i>Rhus typhina</i> Kraut	Heimat: Nordamerika, häufiger Zierstrauch oder auch Baum in Gärten und Parks	Gerbstoffe, Ellagsäure		Anacardiac.	Als besonders giftig gilt der milchige Saft der Pflanze
12 <i>Lavandula officinalis</i> , <i>syn. L. angustifolia</i> Lavendelkraut, Hidcoete blue	Mitteleuropa	ätherisches Öl, Cumarine, Triterpene, Zimtsäure-Derivate, Flavonoide	Inhaltsstoffe mit repellent Wirkung auf Adulte der Kleidermotte, Tineola bisselliella , ä.Ö. - antibakteriell, antifungal, karminativ, sedative, antidepressiv	Lamiac.	Anwendung bei Verbrennungen und Insektenstichen
13 <i>Artemisia vulgaris</i> Kraut	Europa	ätherisches Öl, Polyacetylene, östrogene Flavonoide, Cumarine	ä.Ö. - antimikrobielle und antifungale Wirkung, sowie Mosquito repellent Aktivität (v.a. Terpinen-4-ol), insektizide Wirkung, Polyacetylene - kontakttoxisch auf <i>Spodoptera littoralis</i>	Asterac.	Beifuss

Tabelle 2 Ausgewählte Pflanzen zur Anwendung in Biotests mit Larven der Kleidermotte, *Tineola bisselliella*. (Fortführung der Tabelle 1)

Arten	Vorkommen und Verfügbarkeit	Inhaltsstoffe	biologische Aktivität	Familie	Bemerkungen
14 <i>Melilotus officinalis</i> Kraut	Europa	Cumarine, Flavonoide, Triterpen Glykoside, cyanogene Glykoside	Extrakte - antiinflammatorisch (Cumarine);	Fabac.	Echter Steinklee
15 <i>Lycopersicum esculentum</i> Kraut	Kulturpflanze	Steroidalkaloide (Tomatin), Steroidsaponine, Karotinoide, Flavonoide (Rutin, Naringenin, Kämpferol, Quercetin)	Gesamtextrakt - repellent W. auf die Blattlaus <i>Pentalonia nigronervosa</i> aber gering toxisch; Tomatin - antifungal, schwache Aktivität gegen Bakterien, auf Mollusken abtötend und teratogen, herzwirksame Wirkung,	Solanac.	Tomatin bindet selektiv an Cholesterol und führt in cholesterolhaltigen Membranen zur Lyse bzw. Permeabilität, enteral aufgenommen allerdings schwach toxisch
16 <i>Chelidonium majus</i> Kraut und Wurzel	Urheimat: Asien, aber in Ö. alteingebürgert (Kulturbegleiter)	Alkaloide (Sanguinarin, Chelidonin), Saponine, Flavonoide	Alkaloide: Inhibition der Acteylcholinesterase	Papaverac.	Warzenkraut, in der Volksmedizin Verwendung gegen Warzen
17 18 <i>Quassia amara</i> (TRF-002) Rinde	neotropisch	Indolalkaloide, Bitterstoffe (Quassinoide)	Blattextrakte - antimalaria Aktivität; Quassinoide - insektizide Wirkung; Quassamarin - antileukemisch	Simaroubac.	Bitterholz; Rindenextrakte werden in der Volksmedizin zur Behandlung von Magengeschwüren verwendet
19 <i>Heracleum sphondylium</i> Kraut	Europa, West- und Nordasien	ätherisches Öl, lineare Furocumarine, Flavonoide	ä.Ö. - antimikrobielle Wirkung; Furocumarine - antifeedant gegen den Kartoffelkäfer, <i>Leptinotarsa decemlineata</i> und Eulenfalter, <i>Mythimna unipuncta</i>	Asterac.	Bärenklau
20 <i>Tagetes patula</i> Kraut	Heimat in Mittelamerika, häufige Zierpflanze in unseren Gärten	ätherisches Öl, Flavonoide, Thiophene	Gesamtextrakte - antifungal, Thiophene - Aktivität gegen Moskito Larven sowie nematozid, ä.Ö. der Blüten - Aktivität gegen Moskitos (Larven und Adulte); Phototoxizität	Asterac.	Tagetes

Tabelle 3 Ausgewählte Pflanzen zur Anwendung in Biotests mit Larven der Kleidermotte, *Tineola bisselliella*. (Fortführung der Tabelle 2)

2.1.2 Optimierte Pflanzen-Auswahl (Extraktion 3)

Die Ergebnisse der ersten 2 Versuchsdurchführungen (Literaturrecherche, Extraktionen und Mottentests) führten zu der Auswahl für den 3. Test. Dabei wurden einige neue Pflanzen und ergänzend mineralische Stoffe eingesetzt, die in aktuellen Literaturrecherchen gefunden worden waren. Um die Antimottenwirkung zu optimieren, wurden auch Wirkstoffmischungen getestet. Dabei wurde besonders auf eine mögliche Ergänzung und Synergie der Abwehrmechanismen geachtet.

2.1.3 Auswahl für Formteilherstellung

Die Auswahl der Pflanzen und mineralischen Wirkstoffe für die Herstellung des Formteils aus Schafwollfilz wurden anhand der Mottentests getroffen. So führten die Ergebnisse der Literaturrecherche und der in Versuchen belegten Antimottenwirkung zur Erstellung einer optimalen Wirkstoffmischung.

2.2 Extraktion

2.2.1 Extraktion 1 und 2

Pflanzenmaterial

Generell wurde das Pflanzenmaterial in getrockneter und geschnittener Form von Fa. Galke / Gittelde bezogen.

Das Kraut von *Rhus typhina* und *Lycopersicum esculentum* wurde aus eigenen Kulturen frisch geerntet. *Lavendel Hidcote blue* stammt aus Kulturen von Fa. Benary / Kittsee. Die Wuzel eines heimischen Korbblütlers wurde uns dankenswerterweise vom Landwirtschaftlichen Versuchszentrum der stmk. Landesregierung Wies (Ing. Helmut Pelzmann) zur Verfügung gestellt. Das frische Pflanzenmaterial wurde rasch und schonend im Warmluftstrom bei max. 55°C getrocknet und für die anschließende Extraktion zerkleinert.

Die tropischen Pflanzen wurden im Rahmen zweier botanischer Exkursionen (1998 und 2000) von Prof. Harald Greger in Thailand gesammelt. Das Pflanzenmaterial von

Peucedanum officinale entstammt dem botanischen Garten der Universität Wien. Die Extraktion des getrockneten Pflanzenmaterials erfolgte mit Methanol bei Raumtemperatur. Nach fünf Tagen wurde der Extrakt filtriert, am Rotavapor eingeengt und die verbleibende wässrige Phase mit Chloroform/Wasser ausgeschüttelt. Die lipophile Chloroform-Phase wurde anschließend zur Trockene gebracht und in Methanol aufgenommen. Entsprechende Konzentrationen dieser methanolischen Lösungen kamen in den Biotests mit Larven der Kleidermotte, *Tineola bisselliella*, zur Anwendung.

Standardextraktion

Die allgemeinen Extraktionsbedingungen (Extraktionsdauer, pH-Wert, Temperatur und die Lichtverhältnisse während der Extraktion) werden für die Versuche folgendermaßen gewählt: Lagerung der fertigen Extrakte standardmäßig bei Raumtemperatur und Lichtverhältnissen im Labor;

Ethanol -Extraktion

- ➔ **Extraktionsdauer: 1 Woche**
- ➔ **pH-Wert des nativen Extraktionsmediums**
- ➔ Raumtemperatur
- ➔ Lichtverhältnisse des Labors
- ➔ Extraktionsmedium: Ethanol 96%
- ➔ Pflanzenmaterial / Lösemittelverhältnis (Masse / Volumen): 1:6
- ➔ Aufarbeitung der Extrakte: Abpressen des Pflanzenmaterials, Filtration über Faltenfilter

➔ **Urextrakt flüssig**

Die Flüssigextrakte sind generell braun bis dunkelgrün und klar und haben abgesehen von dem dominierenden Ethanolgeruch einen pflanzentypischen (meist krautig-„medizinischen“) teilweise sehr feinen, aromatischen Geruch.

Die flüssigen Urextrakte aus der ethanolischen Extraktion des Pflanzenmaterials nach Standardbedingungen werden mittels Vakuumdestillation im Rotavapor zur Trockene eingeengt.

→ Trocknung mind. 20min bei etwa 55mbar und max. 55°C

→ **Trockenextrakte**

Die eingeeigneten Extrakte sind generell pastös bzw. sehr zäh, dunkel-grünbraun, teilweise fast schwarz und haben typischen (meist krautig- „medizinischen“) Geruch.

Herstellung der Versuchs-Filzstücke (für Mottentests)

Rechteckige Filzstückchen (Fläche 9 cm², Dicke 3 mm, durchschnittliches Gewicht 360 mg) wurden in Glaspetrischalen mit 2,8 ml der ethanolischen bzw. methanolischen Extraktlösungen imprägniert, wodurch eine Sättigung und homogene Tränkung des Filzes erreicht wurde. Die Extrakte wurden in zwei Wiederholungen mit jeweils drei Konzentrationen (0,1 bis 200 mg/g Filz) getestet. Als Kontrolle dienten nur mit Lösungsmittel behandelte Stücke.

Die pestizidfreien, ausschließlich mit Seife behandelten und sorgfältig ausgewaschenen Filze wurden freundlicherweise von Herrn Robert Preisler von der Textilwerkstatt Obermühle (www.obermuehle.at) zur Verfügung gestellt.

2.2.2 Modifizierte Extraktion 3

Pflanzenmaterial

Korbblütler-Wurzel: Lieferung 3 Wurzelstöcke frisch von Hrn. Pelzmann
(Landwirtschaftliches Versuchszentrum Wies, Stmk.)

Mottenkräuter-Mischung: getrocknet, Mischung von Fa. Galke (Bestandteile bekannt)

Lippenblütler-Samen: Fa. Kottas Kräuterhaus

Kreuzblütler-Wurzel: getrocknet, Fa. Kottas Kräuterhaus

Moschuskrautgewächs-Wurzel: getrocknet, Fa. Galke

Das getrocknete Pflanzenmaterial wurde mit Ausnahme der Korbblütler-Wurzel direkt in der erworbenen Form für die Herstellung des Uretrakts mittels Ethanol verwendet. Zuvor wurden die Pflanzenteile zerkleinert (Moulinette-Küchenmaschine). Das Korbblütler-Material

wurde grob gereinigt, getrocknet, sauber gebürstet, in ca. 2 cm lange Stücke zerkleinert, gemahlen (Moulinette-Küchenmaschine) und anschließend für eine Ethanol-Extraktion sowie zur Optimierung der Ausbeute eine Soxleth-Extraktion mit Petrolether verwendet.

Extraktion

Aufgrund der leichteren (und damit für eine spätere Anwendung auch preiswerteren) Durchführbarkeit und dem Vermeiden von (gesundheitlich) bedenklichen Lösungsmitteln wurde hier mit Ethanol extrahiert (Ausnahme: Extraktion d. Korbbblütlerwurzel im Soxhlet) und der Aufreinigungsschritt mit Chloroform weggelassen. Es ist also zu vermuten, dass ein gewisser Anteil der gewonnenen Extrakte aus Fettsubstanzen besteht, die in der zuvor durchgeführten Extraktion entfernt worden waren.

Ethanol-Extraktion

Jeweils ca. 50g des zerkleinerten Pflanzenmaterials wurden in einem 1l Becherglas mit 500ml 96%igem Ethanol aufgefüllt und für 48 Stunden bei Raumtemperatur auf einem Magnetrührer durchmischt. Anschließend wurden die Proben für 24 Stunden zum Absetzen der Feststoffe ohne Rühren stehen gelassen. Die Bechergläser wurden mit Parafilm verschlossen, um das Verdampfen des Alkohols zu verhindern.

70g der zerkleinerten Estragon-Wurzel wurden mit 420ml 96%igem Ethanol ohne Rühren für 8 Tage extrahiert, anschließend wurde dieser Vorgang mit dem Wurzel-Rückstand ein zweites Mal wiederholt und die zwei Extrakte vereinigt. Die Pflanzenextrakte wurden optisch beschrieben.



Abbildung 8 **Extraktion** der Moschuskrautgewächs-Wurzel, Lippenblütlersamen, Mottenkräuter-Mischung (Fa. Galke) und Kreuzblütlersamen

Soxleth-Extraktion

70 g der zerkleinerten Estragonwurzel wurden mit 900 ml Petrolether für 2 Stunden (mit 2 Durchläufen) bei 60-65° C extrahiert. Anschließend wurden 30 ml Ethanol zugegeben.

Filtration

Die Extrakte wurden über ein Faltenfilter abfiltriert und mit etwas Ethanol (ca. 50 ml) nachgewaschen.

→ **Urextrakt flüssig**

Die Urextrakte wurden im 50-60° C warmen Wasserbad am Rotavapor (je nach Menge zum Teil in zwei Schritten) bis zum trockenen Zustand bzw. so weit wie möglich (keine Veränderung mehr über 45 min) eingeeengt. Das Gewicht wurde bestimmt und daraus die Konzentration des gelösten Pflanzenmaterials im ursprünglichen Extrakt und die Ausbeute bestimmt

→ **Trockenextrakte**

Wie auch beim ursprünglichen Extraktionsverfahren waren auch hier die entstandenen Trockenextrakte pastöse, harzige „Flüssigkeiten“.

Herstellung der Applikationslösungen (für Mottentests)

Die Trockenextrakte wurden in je 10 ml pro g Pflanzenextrakt aufgenommen, um eine Konzentration von 100 mg/ml zu erhalten. Zusätzlich wurden Lösungen mit 10 mg/ml, sowie Ethanol-Lösungen von Metalloxid und Kieselerde hergestellt. Die Menge bzw. Konzentration der mineralischen (möglichen) Wirkstoffe wurde im Nachhinein über Gewichtszunahme des Schafwollfilzes bestimmt. Die Kontrollsubstanzen (Mitin FF von CIBA und NeemAzal-U der Firma Trifolio) wurden auf 10 mg Wirkstoff pro ml Ethanol verdünnt.

Herstellung der Schafwollfilzstücke

Pestizidfreie, ausschließlich mit Seife behandelte und sorgfältig ausgewaschene Filze wurden von Fa. Isolena bezogen. Vom Schafwollfilz wurden ca. 3*3 cm große und 3 mm dicke Stücke abgeschnitten und mit einer Feinwaage auf 1 mg genau abgewogen. Nur Stücke mit einer Masse zwischen 320 und 400 mg wurden verwendet.

Applikation der Extrakte

Pro Woll-Teststück wurden mittels Kolbenhubpipette 2,8 ml der Applikationslösung aufgebracht, bzw. bei Mischproben je 2,8 ml der einzelnen Extrakte, wobei das Ethanol zwischen den einzelnen Applikationen im Trockenschrank bei 50° C abgedampft wurde.



Abbildung 9 Schafwollfilz-Stücke nach Applikation der Extrakte

2.3 Hitzebelastung

Aus der bisherigen Baupraxis ist unter Stabilität neben möglichst geringer Flüchtigkeit der Rezeptur insbesondere die Wärmebelastbarkeit ein wichtiger Parameter. Da der Pflanzen- bzw. Wurzelextrakt aus sehr viel verschiedenen Komponenten besteht, sind Erkenntnisse nur über reproduzierbare Versuche zu gewinnen.

Eine theoretische Abschätzung über die „Labilität“ der extrahierten Komponenten ist zwar aufgrund der teilweise bekannten Inhaltsstoffe möglich, doch diese Abschätzung kann die experimentellen Ergebnisse keinesfalls ersetzen. Im Gegenteil: Wie so oft in der extraktiven Naturstoffchemie, gilt auch hier der praxisnahe Grundsatz: Learning by doing.

Um eine Hitzebeanspruchung der Extrakte zu simulieren, wurden die Wollstücke des 3. und 4. Mottentests (Extraktion 2 und 3) für 120 Stunden bei 60°C im Trockenschrank gelagert.

2.4 Mottentests (inkl. Mottenzucht)

Zum Aufbau der Zucht wurden Versuchstiere von der JOANNEUM RESEARCH Forschungsgesellschaft mbH, Institut für Nachhaltige Techniken und Systeme, bereitgestellt.

Die Kleidermottenzucht erfolgte in vollkommener Dunkelheit unter kontrollierten Bedingungen bei 25 °C und 65-70 % relativer Luftfeuchtigkeit. Als Zuchtsubstrat wurden, dem Rat von Dr. Edmund Hummel (Trifolio-M GmbH) folgend, in Hefe/Cholesterin Suspension getränkte und anschließend bei 55°C getrocknete Hühnerfedern verwendet. Obwohl die Kleidermottenlarven Keratin als Hauptnahrungstoff verwenden und verdauen können (TITSCHACK, 1922), benötigen sie für die Entwicklung als essenzielle Zusatzstoffe Vitamine, v.a. aus der Vitamin B-Gruppe (WUDTKE, 2002). Hefe diente hier als Vitamin B-Lieferant, wodurch zusätzlich die Eiablage stimuliert wird (TRAYNIER, 1994).

Als Zuchtbehälter wurden gut ventilierte Plastikboxen (10x25 cm) verwendet. Zur Eiablage wurden die frisch geschlüpften Falter alle 8 Tage aus den Zuchtboxen abgefangen und in Boxen mit frischem Nährsubstrat transferiert. Dabei legten die Falter die Eier lose auf das Substrat. Nach ca. 4 Tagen schlüpften die Larven und begannen sofort mit der

Nahrungsaufnahme. Parallel dazu wurde die Eiablage auf Wolle, behandelt mit der Hefe-Cholesterin-Nährlösung, in Plexiglaszylindern durchgeführt.

Für die Versuche wurden 24-28 Tage alte Larven mit einem Gewicht von 0,6 bis 1,0 mg verwendet. Nach dem Abdampfen des Lösungsmittels von den Schafwollfilzstücken unter dem Abzug (mind. 12. Stunden) bei Raumtemperatur, wurden die Filzstückchen in die Versuchsarenen überführt und pro Testansatz 15 Larven eingezählt. Die Versuche liefen 14 Tage lang unter kontrollierten Bedingungen (im Dunkeln, bei 25 °C und 65-70 % relativer Luftfeuchtigkeit). Die Auswertung erfolgte einerseits durch Bestimmung der Überlebensrate im Vergleich zu den Kontrolltieren, andererseits durch Ermittlung der Wachstumsraten bezogen auf das Gewicht der Versuchstiere zu Versuchsbeginn.

Die Grundlage für diese Bioassay-Methode bildet die „International Standard ISO 3998“ (siehe Anhang). Die Kriterien für die Wirksamkeitsbeurteilung von Mottenabwehrmitteln sind dabei der Gewichtsverlust des Filzstückes (durch Fraß), Menge an sichtbarem Kot, der Zustand der Larven (lebend oder tot) und eventuelle Verpuppung der Versuchstiere.

Die Durchführung der ersten 3 Mottentests erfolgte bei BION Verein zur Erforschung bioaktiver Naturstoffe und ihrer ökologischen Bedeutung (Wien), der abschließende Test mit Wirkstoffmischungen bei ECOLABOR (DI Franz Neubauer; Stainz).

2.5 Herstellung des Dämmstoff-Bauteils

Da sich die möglichen Applikationsarten für Pflanzenextrakte als zu aufwändig für schnelle Vortests herausgestellt haben, wurde bei der Fa. Isolena (Alexander Lehner) ein Versuchsfarmteil hergestellt, in den Pflanzenteile und mineralische Wirkstoffe der optimalen Mischung in Schichten eingebracht wurden.

Da sich ein Einfilzen der Partikel als nicht praktikabel herausstellte (feine Teile blieben nicht haften, grobe Partikel führten zum Nadelbruch), wurde eine pastöse Masse aus Pflanzenmaterial mit Wasserglas hergestellt, die zwischen die Filzschichten aufgebracht wurde.

Durch die Verwendung kleiner Pflanzenteile als Mottenschutzsubstanz kann auf sehr einfache Weise eine Retardation der Wirkstoffe erreicht werden.

2.5.1 Durchführung

Herstellung der Mottenschutzmischung

Die genaue Zusammensetzung der Pflanzenmischung (siehe Abb.10), von der 140 g hergestellt wurden, ist Tabelle 4 zu entnehmen.



Abbildung 10 **Mottenschutzmischung** (zerkleinerte und vermengte Bestandteile)

Das Pflanzenmaterial wurde in einer Kenwood Küchenmaschine zerkleinert, anschließend wurden das Neem-Pulver (Fa. Trifolio; 17% Azadirachtin in Harnstoff), Kieselerde, Metalloxid und ätherisches Graswurzel-Öl (bezogen von Fa. Primavera Life GmbH), das in einer kleinen Menge Ethanol gelöst worden war, zugemischt. Die mineralischen Wirkstoffe stellen einerseits eine Ergänzung zu den organischen Mottenabwehr-Stoffen dar, zusätzlich sind sie wichtige Elemente des Brandschutzes.

Bestandteil	Menge (g)	% d. Mischung
Korbblütlerwurzel	40	28,4
Moschuskraut-wurzel	20	14,2
Lippenblütlersamen	30	21,3
Kreuzblütlerwurzel	20	14,2
Neem Azal-U	10	7,1
Graswurzel-Öl	1	0,7
Kieselerde	10	7,1
Metalloxid	10	7,1

Tabelle 4 Zusammensetzung der entwickelten Mottenschutzmischung

Applikation am Wollfilz

Die Mottenmischung wurde bei Fa. Isolena in Schichten zwischen den einzelnen Filzlagen der Versuchsdämmstoffmatte eingebracht.

Im ersten Versuch wurde das trockene Pflanzensubstrat auf die Filzlagen gestreut, die anschließend vernadelt wurden. Da der Feinanteil der Mischung nicht an der Wolle haften blieb und die groben Anteile zu Nadelbruch führten, wurde diese Applikationsmethode nicht weiter verfolgt.

Im zweiten Versuch wurde das trockene Pflanzensubstrat nach dem Aufstreuen auf der Filzschicht mit Wasserglas (in Wasser gelöst) besprüht, um eine Haftung an der Wolle und der Filzlagen aneinander zu gewährleisten. Die Benetzung der Mottenmischung mit Wasserglas war allerdings zu ungleichmäßig, wodurch weder ein Anhaften am Filz, noch eine Fixierung der einzelnen Lagen aneinander bewirkt werden konnte.

Daher wurde zur Herstellung des Versuchsteils schließlich eine Masse aus Pflanzmischung, Wasserglas und Wasser gemischt, die zur Verklebung der Filzschichten verwendet wurde. Die Grammatur des Schafwollvlieses betrug 350 g/m^2 mit einer etwas geringeren Verdichtung als ursprünglich geplant ($< 30 \text{ kg/m}^3$).

2.5.2 Expertengespräch

Die erzeugte Dämmstoffplatte wurde in das Versuchslehmhaus in Tattendorf eingebaut. Wegen der Jahreszeit (Winter) war kein Motten-Belastungstest möglich, der Bauteil wurde aber verwendet um ein Expertengespräch mit Roland Meingast (natur&lehm) durchzuführen. Dabei wurden Stellungnahmen zur Schafwollproblematik (Vorteile, Ansprüche, Marktchancen, u.a.) aufgezeichnet und für den Projektbericht zusammengefasst.

2.6 Schimmel- und Brandschutz

Da sich zwei Pflanzen der optimalen Mottenschutzmischung in der Literatur als stark schimmel- und bakterienhemmenden herausgestellt haben, kann davon ausgegangen werden, dass eine ausreichende Beständigkeit gegeben ist (für nähere Erläuterungen siehe Kapitel 4).

Auch die Information über Brandschutz erfolgte über Literatur, ohne dass praktische Versuche durchgeführt werden mussten.

2.7 Wirtschaftliche Überlegungen

Die Daten für eine erste Einschätzung der wirtschaftlichen Faktoren im Zusammenhang mit dem neuen Mottenschutzmittel wurden aus den Versuchsergebnissen entnommen, im Gespräch mit Experten erhoben sowie im Internet und Uni-Bibliotheken recherchiert. So wurden die Ausbeuten aus den Versuchsextraktionen für die Berechnung der nötigen Pflanzenmengen herangezogen. Preise für den Rohstoff wurden Angeboten der Fa. Galke entnommen und Angaben über den Dämmstoffmarkt und die Einsatzmöglichkeiten von Schafwolle von Alexander Lehner (Fa. Isolena) und Roland Meingast (Fa. natur&lehm), ergänzt mit Internetrecherchen in die Ausarbeitung des Projektberichtes miteinbezogen.

3 PROJEKTIINHALT

Anliegen des vorliegenden Projektes ist, über den in unseren Breiten nicht heimischen Rohstoff Neem hinaus günstigerweise regional verfügbare Pflanzen zu finden, deren Extrakte auch in applizierter Form nachweislich mottenwirksam sind. Die Zertifizierung der mit den neu entwickelten Extrakten präparierten Schafwollvliese wird als wichtiges – über dieses Projekt hinausgehendes - Ziel angestrebt.

3.1 Gute Argumente zur Innovation

- Ersetzen des Problemstoffs Mitin FF
- Praxistauglicher und ökologisch verträglicher Mottenschutz (Hauptschädling der Wolle); Neben den baustofftechnischen Notwendigkeiten (Bauordnungen/Normen/ Euroklassifizierung) gilt dabei als Zielsetzung die Vermeidung möglicher Risiken durch die Einwirkung chemischer Stoffe für Mensch und Umwelt
- Möglicherweise günstige „Nebenwirkungen“: Wirkung gegen Hausstaubmilben, gegen Schimmel, Raumklima-Verbesserung
- Heimische Pflanzen werden bei der Selektion bevorzugt regionale Verfügbarkeit, Vermeidung von langen (Übersee-)Transportwegen, Förderung der heimischen Landwirtschaft durch vermehrte Inkulturnahme
- Erreichung „offizieller Empfehlungen“ betreffend Verzicht problematischer Substanzen (entsprechend: Land Vorarlberg / Energieinstitut Vorarlberg: „Ökologischer Wohnbau 2002 und 2003, Anhang A: Ökologischer Maßnahmenkatalog“, Ausgabe Dezember 2001“ S.4/13 „Vermeidung umweltbelastender Materialien“: keine halogenhaltigen Materialien /halogenierte Kohlenwasserstoffe für diverse Bauteile; unter Umständen kann die Nichteinhaltung zum Verlust der Förderung nach Ökostufe 1 u. 2 führen)

-
- Erhaltung / Eröffnung von Marktanteilen
Die Forschungsarbeiten zielen darauf ab, die Produktpalette aus der Schafwolle durch eine protektive Systemlösung zu erweitern, um den Markt mit funktionell hochwertigen und auch qualitativ weiterentwickelten Dämmstoffprodukten versorgen zu können. Es geht insbesondere um die Erhaltung der ohnehin mühsam erlangten Marktanteile.
 - Entlastung der Prozesswässer in der Schafwollverarbeitung (Kläranlagen!) und der Menschen beim Handling (Arbeitsschutz)
 - Verbesserung der Recyclierfähigkeit, Verringerung von Entsorgungsproblemen insbesondere betreffend Kompostierung
 - Möglicherweise Grundlage für Mottenschutzmittel in anderen Bereichen (Stoffe, Matratzen...)

3.2 Schafwolle



Dämmstoffe aus Schafwolle zählen zu den anerkannten biogenen Dämmprodukten, die Produktpalette reicht von loser Stopfwolle und gedrehten Dämmzöpfen, Vliesen unterschiedlicher Stärke und Stabilität bis zu dichten Trittschallmatten.

Ebenso vielfältig sind die Anwendungsbereiche: Zum Ausstopfen von kleinen Zwischenräumen und Ritzen, für die Isolation von Wänden, Dächern und Fußböden, als Hohlraumfüllung und Abdichtung, als Trittschalldämmung, für Deckenauflage und Akustikdecken, für Außenwand-, Kern- und Innendämmung, Decken- und Dachdämmung zwischen Tragkonstruktionen.

Naturbelassene Schafwolle ist ein hochwertiger Naturdämmstoff, der prinzipiell allen ökologischen und baubiologischen Anforderungen gerecht wird. Bei extensiver Landwirtschaft und artgerechter Tierhaltung – insbesondere in der Region – ist eine umweltgerechte Gewinnung des Rohstoffs gegeben. Ökologische Nachteile ergeben sich unter Umständen aus langen Transportwegen für die Rohstoffbereitstellung je nach Herkunftsland (Australien, Neuseeland, GUS)

Die Materialbeständigkeit bei bauphysikalisch sicherem Bauteilaufbau und sorgfältigem Einbau wird von den Herstellern versichert. Schafwolle unterhält einen permanenten Austausch mit der sie umgebenden Luft. Sie ist stark hygroskopisch und kann bis zu 33% ihres Gewichts an Feuchtigkeit aufnehmen und wieder abgeben, ist auch UV- und frostbeständig ohne an Dämmwirkung zu verlieren. Dadurch schafft Schafwolle ein bisher unerreichtes Raumklima und macht dampfdiffusionsoffene Bauteile erst möglich. Schafwolle entzündet sich bei ca. 560°C.

3.3 Das Schadstoff-Adsorber-Phänomen

Außerdem nimmt Schafwolle in der Raumluft befindliches Formaldehyd u.a. Schadstoffe auf, bindet sie dauerhaft und entfernt die Gefahrstoffe weitgehend aus belasteten Räumen. Das wurde durch umfangreiche Untersuchungen des Kölner eco-Umweltinstituts 1998 bestätigt. Laborversuche zeigen, dass der Einbau von Schafwoll-Dämmstoff bereits nach zwei Stunden die Formaldehydkonzentration um mehr als 80 Prozent reduzieren kann.

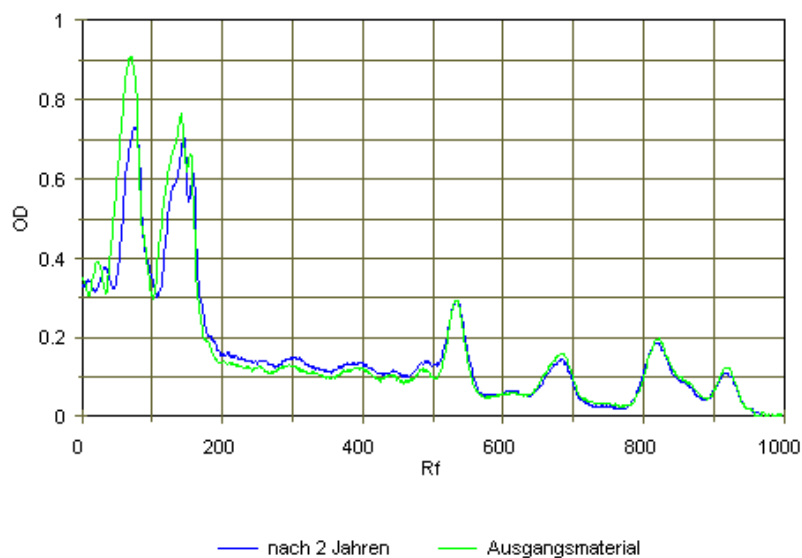


Abbildung 11 Densitometrische Vermessung der elektrophoretischen Fraktionierungsmuster extrahierter Proteine von Schafwolle vor und nach 2jähriger Exposition in einem Formaldehyd und Lösemittel belasteten Wohnraum (Quelle: www.amnos.de)

Auch die Langzeitaufnahme zeigt keine nennenswerte Verringerung der Aufnahmekapazität.

Schadstoff	Konzentration vorher	Konzentration nachher
Formaldehyd	0,164 ppm	0,02 ppm
Toluol	1,110 mg/m ³	0,07 mg/m ³
Ethylbenzol	0,055 mg/m ³	0,02 mg/m ³
VOC's	1,4 mg/m ³	0,45 mg/m ³

Tabelle 5 Schadstoffkonzentrationen vor u. nach Einbringen von Woll-Absorbervlies in einen Wohnraum

Die Werte nach der Einbringung des Absorbervlieses, periodisch nachgemessen und bestätigt. Vertiefungen des Phänomens erfolgten auch im **Deutschen Wollforschungs-Institut** der RWTH Aachen 1998.

3.4 Der Rohstoff Schafwolle



Abbildung 12 Schröcken - Schafherde im Arlberggebiet (Quelle: www.aeiou.at)

Das Interesse der Landwirtschaft wird durch die Fragen beherrscht, ob und in welchem Ausmaß die Rohstoffbereitstellung und eventuell die Vorverarbeitung für Dämmprodukte aus nachwachsenden Rohstoffen wirtschaftlich sind. Daher sind einerseits die Rohstoffpreise und andererseits die Kosten für Anbau, Pflege, Ernte, Wäsche, Verarbeitung und Lagerung, sowie die Haltungskosten der Tiere und der Wollertrag für die Bauern von Interesse.

Die ökonomischen Ertragsverhältnisse Fleisch/Wolle haben sich gegenüber früheren Zeiten umgekehrt (1 kg Wolle entsprach um 1800 dem Wert von 8 kg Fleisch, 1kg Fleisch ist i. J. 1998 wertmäßig ident mit 8 kg Wolle (MURPHY ET AL., 1999)). Die Hersteller beurteilen die Preisentwicklung für den Schafwollmarkt als unsicher, sofern nicht besondere Umstände wie z.B. ein giffreier und wirksamer Mottenschutz diesen Trend wieder umkehren helfen. Die Ursachen für den Preisverfall der letzten Jahre liegen in der hohen Wollproduktion in Australien und Neuseeland, am Wettbewerb mit importierter Baumwolle und anderen Dämmstoffen, ganz abgesehen von synthetischen Fasern.

Vom Fell zum Vlies

Das Schaffell besteht aus den äußeren, steifen und groben Haaren, die als Schutz gegen die Witterung dienen, sowie aus den inneren, weichen und feinen Haaren, die die Körperwärme regulieren. Die eigentliche Schafwolle wird aus den inneren Haaren gewonnen. Charakteristisch für das flauschige Material ist die schuppige Außenschicht des Haares und seine Kräuselung, die je nach Rasse sehr unterschiedlich ist. Je gleichmäßiger die Faserstruktur, umso besser ist die Qualität der Wolle.



Abbildung 13 Schafschur am Waldviertler Edelhof

In Mitteleuropa werden die Schafe in der Regel einmal im Jahr, von April bis Mitte Juni, geschoren. Das geschorene Fell der Schafe nennt man auch Vlies. Die beste Wolle wächst auf dem Rücken und an den Seiten. Im Durchschnitt liefert jedes Schaf je nach Rasse und Alter heute 3,5 Kilogramm Wolle. Durch die Züchtungen der letzten Jahrhunderte hat sich die Menge ungefähr verdreifacht.

Obwohl die Erzeugung und Gewinnung von Wolle kostspieliger ist und auch mehr Zeit in Anspruch nimmt, als die Massenproduktion industrieller Fasern und Dämmstoffe, wird in einer Informationsschrift des Internationalen Wollsekretariats unter dem Titel "Schurwolle lebt" die Meinung vertreten, dass "auch heute auf dieses Naturprodukt nicht verzichtet

werden könne". Betont werden die Zusammensetzung und der besondere Aufbau der Wollfaser die dieser eine Reihe nützlicher und angenehmer Eigenschaften verleiht, wie sie sonst keine andere Faser in sich vereint. Schafwolle in Kontakt mit dem menschlichen Körper fördert nicht nur gesunden Schlaf und kuschelweiche Wärme ohne Schwitzen (entscheidend ist die umgebende Wollmenge, deshalb gibt es z.B. auch "Sommer- und "). Sie sorgt zudem für eine natürliche Temperaturregelung sowie eine hervorragende Feuchtigkeitsaufnahme bzw. -abgabe.

Die schuppenartige Struktur der Wollfasern ist von einer hauchdünnen Schicht umspannt, welche bewirkt, dass Wassertropfen von der Faser abperlen. Während des Wollwachstums produzieren Talgdrüsen das körpereigene Fett Lanolin, das jedes Wollhaar umhüllt und die Haare aneinander bindet, sodass keine Feuchtigkeit auf die Haut gelangt. Lanolin wird auch als Kosmetikprodukt und in der Heilkunde verwendet. Das Wollfett Lanolin hat heilende Wirkung, und die elektrostatische Aufladung der Schafwolle ist immer gleich.

Dämmstoffe aus Schafwolle zählen zu den hochwertigsten biogenen Isolationsmaterialien und haben wegen ihrer hohen Dämmwerte ein sehr gutes Image. Für Schafwolle stellt sich bei einem Steigen der Nachfrage auch die Frage der regionalen Verfügbarkeit des Rohstoffes. Derzeit beziehen heimische Hersteller die Wolle noch zum Großteil aus Österreich.

Damit sich das „Haus im Schafspelz“ als sicherer Platz zum Wohlfühlen und als Fixpunkt einer nachhaltigen Bauweise etablieren kann, müssen Alternativen zu den gesundheitsbedenklichen Mineralfasern und den ökologisch nachteiligen Schaumkunststoffen praxiskonform entwickelt und zu wirtschaftlich annehmbaren Bedingungen im Baustoffhandel angeboten werden. „Natürliche Dämmstoffe sind nicht nur gesünder, sondern auch besser“ – diese an sich richtige Behauptung soll durch das vorliegende Forschungsvorhaben einmal mehr untermauert werden.

Es ist unsere Absicht, die Entwicklung, Herstellung und Vermarktung nachhaltiger Systemlösungen auch im Einklang mit der notwendigen Imagebildung und professionellem Public-Opinion-Making zu fördern und forcieren. Neue Technologien, eine globalisierte Wirtschaft, Wissen als Kapital und gestiegene Anforderungen an die Transparenz unternehmerischer Aktivitäten erfordern verstärkt die Aufnahme und Beachtung gesellschaftlicher und ökologischer Umfeldanforderungen. Die Durchführung dieses Forschungsprojekts im HAUS DER ZUKUNFT verstärkt den notwendigen Trend im Themenfeld der nachwachsenden

Rohstoffe und leistet hier auch einen Beitrag zur mittel- und langfristigen Zukunftsfähigkeit von Unternehmen und Organisationen.

3.5 Lokalausweis in einer Schafwollwäscherei

Lage

Die Schafwollwaschanlage in Umhausen im Ötztal (www.schafwolle.com), ca. 60 km westlich von Innsbruck, ist die erste in Österreich, die Anlage wurde 1999 in Betrieb genommen.

Woll-Waschkapazität

Auf der Anlage kann jährlich im Einschichtbetrieb die Wolle von ca. 150.000 Schafen, das entspricht ca. 300.000 kg Wolle, gewaschen werden.

Wasserhaushalt

Das Umhausener Wasser ist weich und kalkfrei. Gewaschen wird mit Seife und Tensiden. Durch die angeschlossene Wasseraufbereitung wird ein Teil des Prozess- bzw. Spülwassers in den Waschkreislauf zurückgeführt.

Problembereich Schlamm

Die Schafwolle wird zwar vom anhaftenden Schmutz befreit, doch mangels eines ausreichend dimensionierten Klär- und Lüftungsbeckens lässt die Belebung des Klärschlammes zu wünschen übrig. Die nachträglich eingebaute "Ultrafiltrationsanlage" bietet keine ausreichende Problemlösung. Die biologische Reinigung sollte nach dem Prinzip der Schlammbelebung bei geringer Belastung des Schlammes arbeiten. Dadurch könnte die Gesamtproduktion vom Schlamm verringert und die Schlammqualität verbessert werden.

Energie

Die Energie zur Beheizung des Wollwaschwassers und zur Trocknung der gewaschenen Wolle liefert eine Bioheizanlage (Holzpellets).

Mottenschutz-Applikation



Abbildung 14 Applikationstechnik für die Ausrüstung der gewaschenen Schafwolle mit MITIN FF

Das Mottenschutzmittel wird nach dem Spülen über ein Düsensystem auf das Schafwollvlies aufgebracht und anschließend kurz bei 60°C getrocknet

Resume des Lokalaugenscheins

Sollte das Projekt „Motte & Schafwolle“ mit einem positiven Projektergebnis abschließen und sollten die Hürden der Zertifizierung des neuen Biopestizids übersprungen werden, ist auch das Öztaler Schafwollzentrum an einer Zusammenarbeit mit der Projektgruppe stark interessiert.

3.6 Die Kleidermotte

3.6.1 *Tineola biselliella* - Lebensgewohnheiten

Die Kleidermotte *Tineola biselliella* Hummel (Ordnung Lepidoptera, Familie Tineidae) zählt zu den bekanntesten Textilschädlingen und ist heute durch anthropogenen Einfluss kosmo-



politisch verbreitet. Neben dem Befall von Kleidungsstücken, Teppichen und gepolsterten Möbeln frisst die Kleidermotte auch Felle, Fischmehl und Trockenfleisch. Die natürlichen Nährsubstrate für die Motte sind Pollen, Haare, Federn, Felle und tote Insekten. Im Freiland findet man die Kleidermotte etwa in Vogelnestern und an Fellresten mumifizierter Tierleichen.

Die eigentlichen Fraßschädlinge sind die Mottenraupen, während die Imagines keine Nahrung aufnehmen. Dabei benötigen die Raupen für ihre optimale Entwicklung neben dem geeigneten Substrat Temperaturen zwischen 15-30°C, die Feuchtigkeitsansprüche sind jedoch gering.

Zudem flüchten die Raupen vor Licht und fressen an dunklen, geschützten Stellen, wie etwa bei befallenen Teppichen an deren Unterseite. Die Imagines sind bezüglich der Lichteinwirkung generell unempfindlich, allerdings suchen die Weibchen zur Eiablage dunkle Stellen auf.

Normalerweise bringt die Kleidermotte nur eine Generation jährlich hervor, in geheizten Räumen kann jedoch ein Anstieg auf bis zu vier erfolgen. Dabei kann unter optimalen Bedingungen ein Mottenweibchen bei vier Generationen bis zu 470.000 Nachkommen hervorbringen (WUDKTE, 2002). Wenn allerdings die Umweltbedingungen für die Raupen zu kalt oder zu trocken werden, können sie in einen Ruhezustand eintreten, wodurch die Entwicklungsdauer auf bis zu 2 Jahre verlängert werden kann.

Beschreibung

Die Falter besitzen eine Flügelspannweite von 12–16 mm, der Körper ist 5–9 mm lang. Sie sind goldgelb bis silbrig gefärbt und besitzen einen kräftigen gelben Kopfhaarbusch. Die Flügel sind beschuppt und mit Besenhaaren am hinteren Rand der Vorder- und Hinterflügel bewimpert. Auch die Ober- und Unterseite des Thorax ist fein beschuppt. (s. Abb. 15 und 16) Die Mundwerkzeuge sind stark zurückgebildet, sodass jede Nahrungsaufnahme unmöglich ist. Die Weibchen sind generell größer als die Männchen und fliegen insbesondere vor der Eiablage durch ihr erhöhtes Gewicht kaum. Fliegende Falter sind meistens Männchen. Ein gutes Unterscheidungsmerkmal stellen die abdominalen Haarbüschel der Männchen dar, die bei dem weiblichen Tier fehlen.



Abbildung 15 Kleidermotte, *Tineola bisselliella*, Falter (Olympus SZH10 Stereomikroskop)



Abbildung 16 Kleidermotte, *Tineola bisselliella*, Falter (Olympus SZH10 Stereomikroskop)

Die Larven sind gelblichweiß mit brauner Kopfkapsel und können bis zu 10 mm Körperlänge erreichen. Der mit Nahrung gefüllte Darmkanal scheint allerdings durch den Körper, sodass je nach gefressener Nahrung eine andere Gesamtfärbung vorliegt. Am Unterkiefer münden die Spinndrüsen mit denen feine Gespinste an den Fraßstellen gebildet werden. Der Thorax weist drei Beinpaare auf, wobei das letzte Glied eine unpaare Krallen trägt (Abb. 20). Am Abdomen befinden sich weitere beinartige Körperanhänge mit Hakenkränzen an der Sohle: die Bauchfüße an den Abdominalsegmenten 3-9 (Abb. 21) und die Nachschieber am letzten Abdominalsegment (Abb. 22).



Abbildung 17 Kleidermotte, *Tineola bisselliella*, Larve, 20-24 Tage alt (Olympus SZH10 Stereomikroskop)



Abbildung 18 Kleidermotte, *Tineola bisselliella*, Larve, 34-38 Tage alt (Olympus SZH10 Stereomikroskop)

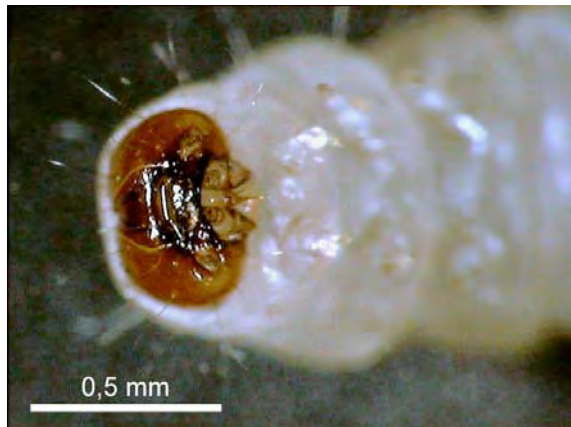


Abbildung 19 Kleidermotte, *Tineola bisselliella*, Larve (Olympus SZH10 Stereomikroskop)

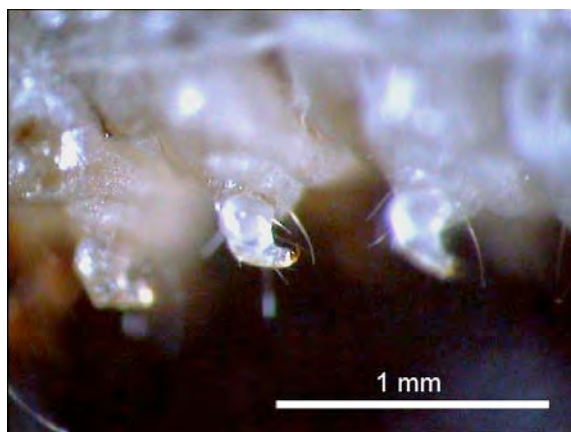


Abbildung 20 Kleidermotte, *Tineola bisselliella*, Larve, Beinpaare des Thorax mit unpaarer Krallen (Olympus SZH10 Stereomikroskop)

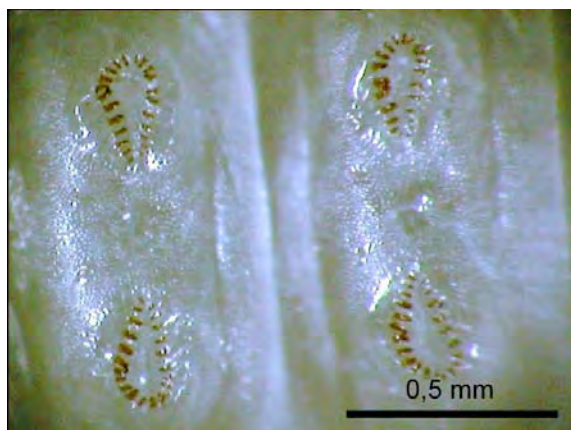


Abbildung 21 Kleidermotte, *Tineola bisselliella*, Larve, Bauchfüße am Abdomen mit Hakenkranz (Olympus SZH10 Stereomikroskop)

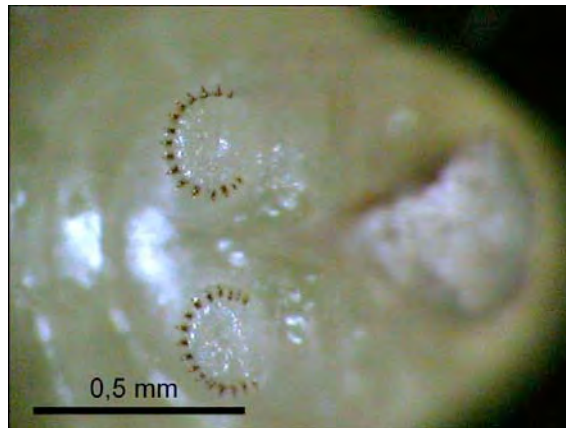


Abbildung 22 Kleidermotte, Larve, Nachschieber am 10. Abdominalsegment (Aufnahme mit Olympus SZH10 Stereomikroskop)

Fortpflanzung und Entwicklungszyklus

Die Entwicklung der Kleidermotte führt über vier Stadien: Ei, Larve, Puppe und Imago. Die männlichen Falter sind sofort nach dem Schlüpfen geschlechtsreif. Das Zusammenfinden von männlichen und weiblichen Tieren wird einerseits durch artspezifische Aggregations- und Sexualpheromone, andererseits durch Geruchskomponenten geeigneter Larven-Habitate sichergestellt. Die von den Männchen abgeschiedenen Pheromone (Hexadecansäuremethylester und z-9-Hexadecensäuremethylester) wirken sowohl auf männliche als auch auf unverpaarte Weibchen anziehend und führen somit dazu, dass sich die Motten „versammeln“. Von den Weibchen produzierte Pheromone (E,Z-2,13-Octadecadienal und E,Z-2,13-Octadecadienol; siehe Abb.23 und 24) dienen dem Anlocken von Männchen (TAKACS ET AL., 2001).

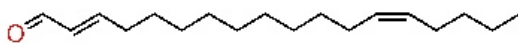


Abbildung 23 E,Z-2,13-Octadecadienal
(Quelle: www.pherobase.com)



Abbildung 24 E,Z-2,13-Octadecadienol
(Quelle: www.pherobase.com)

Bestimmte Geruchsstoffe (vor allem kurzkettige, gesättigte Aldehyde), die beim biologischen Abbau von tierischem Material entstehen, dienen den Weibchen als Signale für geeignete Eiablageplätze. Auch die männlichen Tiere werden von diesen Kairomonen angelockt (TAKACS ET AL., 2001), wobei beide Geschlechter Substrat bevorzugen, das aus Fell- und Hautresten besteht. Wegen der Anlockung beider Geschlechter ist zu vermuten, dass es direkt an den geeigneten Eiablageplätzen, wo sich später auch die Larven ernähren, zur Paarung kommt. Interessanterweise orientiert sich auch der Larvalparasit *Apanteles carpatus* (eine Schlupfwespe) an den gleichen Kairomonen, um so zu den Larven zu finden, die er für die Entwicklung benötigt.

Die Weibchen beginnen nach der Kopulation, 0,6 mm kleine Eier lose, einzeln oder in Gruppen an rauen Oberflächen, Vertiefungen oder Falten abzulegen. Die Dauer der Eiablage schwankt in Abhängigkeit von der Temperatur von 2 bis zu 24 Tagen, wobei tiefere Temperaturen eine Verlängerung der Periode bewirken. Die Anzahl der abgelegten Eier ist ebenfalls von der Temperatur, aber auch von der Qualität und Quantität der Nahrung abhängig und reicht von 50 bis 250 Stück.

Die Motteneier sind von Perlmutter-ähnlicher, weiß opalisierender Farbe, unregelmäßig geformt und auf dunkler Unterlage mit bloßem Auge zu erkennen. Ihre Entwicklungszeit ist temperaturabhängig. Bei niedrigen Temperaturen (unter 8°C) können die Eier sogar bis zu einem Jahr inaktiv ruhen, um bei ansteigenden Temperaturen ihre Entwicklung wieder fortzusetzen. Bei mittleren Temperaturen von 20–25°C schlüpfen jedoch bereits nach sieben bis zwölf Tagen die weniger als 1 mm kleinen Larven, die für ihre Fortbewegung sofort einen seidenförmigen Faden spinnen (WUDTKE, 2002). Sobald die Larven ein geeignetes Nahrungssubstrat erreichen, legen sie sogenannte Fraßköcher bzw. Fraßgespinste an, in denen sie geschützt leben. Diese werden aus dem Seidenfaden gesponnen und mit Kot sowie abgebissenen Teilchen des Nährsubstrates bedeckt, wodurch sie dessen Farbe annehmen und leicht übersehen werden. Nach mehreren Häutungen (4–10), die jeweils mit einem Wachstumsschub verbunden sind, spinnen die ausgewachsenen Larven einen Kokon, um sich zu verpuppen.

Bei günstigen Umweltbedingungen verpuppen sich die Raupen bereits nach vier bis fünf Wochen. Hingegen bei widrigen Bedingungen wie schlechtem Nahrungsangebot werden die Tiere deutlich in ihrer Entwicklung gehemmt. So können die Raupen auf ungünstiger Nahrung mitunter jahrelang fressen ohne zu wachsen oder sich zu verpuppen – dabei wurden bis zu 40 Häutungen beobachtet. Besondere Bedeutung kommt in der Larvalentwicklung der Aufnahme von Vitaminen, v.a. der Vitamin B-Gruppe, zu.

Interessanterweise fehlen diese weitgehend in der Keratin-Nahrung (CHAPMAN, 1983), und auf reinem Keratin, wie etwa ungefärbter, ungebleichter, entfetteter Wolle, erreichen die Raupen selbst nach jahrelangem Fressen nicht das Puppenstadium (WUDTKE, 2002). In der Regel nehmen die Larven diese notwendigen Zusatzstoffe aus Flecken oder Schweiß- und Urinresten in Stoffen, Mehl, Fleisch oder toten Insekten auf. Generell ist die Raupenentwicklung stark von Feuchtigkeit, Populationsdichte, Nahrungsangebot sowie Temperatur abhängig, wobei mit Temperaturzunahme auch ein Anstieg der Entwicklungsgeschwindigkeit erfolgt. Sinkt die Temperatur auf 10°C ab, so wird die Entwicklung gehemmt, und bei längerer Einwirkung von minus 8°C sterben sogar alle Stadien ab.

Bei der Kleidermottenlarve findet man ein komplexes Gemisch aus Peptidasen und Proteinasen. Sowohl Metalloproteinasen (Metall-Chelator-sensitiv; benötigen Metallionen um Aktivität zu zeigen) als auch Serin-Proteinasen wurden isoliert und beschrieben. Die Fähigkeit Keratin zu verdauen ist unter den Tiergruppen eine sehr seltene Eigenschaft (WARD, 1975 und 1976). Manche Proteinase von *Tineola* werden durch Zinkionen gehemmt (WARD, 1975). Die Haare der Schafwolle werden zunächst von den Larven in kleine Stücke zerbissen, anschließend findet die Verdauung im Darm der Tiere statt. Dabei wird zuerst die Cuticula-Schicht (die kaum zerlegt wird) vom Haarcortex gelöst, dann wird der Cortex teilweise verdaut. Wegen dieses unvollständigen Abbaus des Futters finden sich in den Ausscheidungen der Mottenlarven 25% unverdaute und unvollständig verdaute Haarteile. Der restliche Teil der Wolle wird bis zu den fibrillären Grundstrukturen zerlegt (HAMMERS et al., 1987).

Die Puppenkokons werden im Fraßsubstrat angelegt, wo der Falter unbeschädigt aus dem Material schlüpfen kann. Diese Kokons oder auch Puppenköcher werden aus Teilchen des Substrates und dem Spinnfaden gebaut, sind ca. 1 cm lang, an beiden Seiten geschlossen und dichter als die Fraßröhre. Sie dienen der Puppe als Schutz und verhindern zu große Feuchtigkeitsverluste durch Verdunstung. In Abhängigkeit von der Temperatur beträgt die Puppenruhe 10 bis 44 Tage (TITSCHACK, 1922), wobei kühlere Temperaturen die Entwicklungsdauer wiederum verlängern.

Die Gesamtentwicklungsdauer der Kleidermotte vom Ei bis zum Schlüpfen des Falters beträgt unter günstigen Bedingungen zwischen 8 und 10 Wochen, wobei die Weibchen im Durchschnitt etwas längere Entwicklungszeiten aufweisen. Die obere und untere Temperaturgrenze für die vollständige Entwicklung liegen bei 15 und 30 °C.

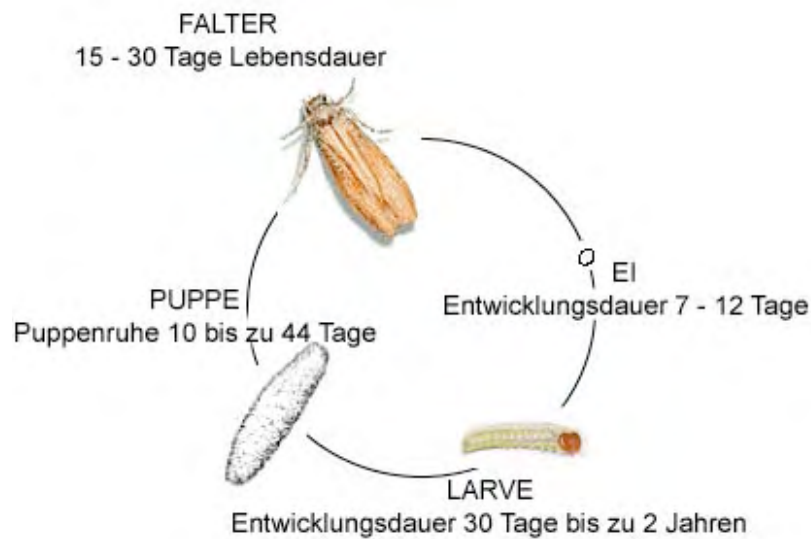


Abbildung 25 Entwicklungszyklus der Kleidermotte *Tineola bisselliella*

3.6.2 Abwehrstrategien

Es gibt verschiedene Strategien um zu verhindern, dass Material von Insekten befallen wird. Dabei ist es grundsätzlich möglich, entweder die Paarung (Mating Disruption mit hohen Pheromonkonzentrationen) bzw. Eiablage zu verhindern (durch Abschreckung der Imagines) oder die Entwicklung der Larven zu unterbinden (z.B. über Fraßgifte oder Fraßhemmer). Außerdem können die erwachsenen Tiere mit Fallen beseitigt werden (Anlockung mit Pheromonen oder Kairomonen). Die Insekten bleiben dann entweder an Klebestreifen hängen oder werden mit spezifischen Pathogenen infiziert. Aus dem Bereich des Pflanzenschutzes gibt es bereits viele Erfahrungswerte.

In diesem speziellen Fall des Schafwoll-Dämmmaterials und der Kleidermotte gibt es allerdings einige erschwerende Umstände. So handelt es sich bei Dämmstoffen um ein größtenteils abgeschlossenes System, in dem keinerlei Befall toleriert werden kann (anders als das auf dem Feld der Fall ist), in das von außen nicht begutachtet werden kann und das aber gleichzeitig von Motten, die sich in der Umgebung befinden aufgesucht wird. Nach dem Einbau des Dämmstoffes ist keine Manipulation mehr daran möglich. Daher müssen Repellents (Nachteil: Flüchtigkeit) und Fraßgifte eine hohe Stabilität (auch bei Hitze) aufweisen und auf den Keratinfasern zurückgehalten und mit einer gewissen Retardation freigesetzt werden. Ein sorgfältiger Waschprozess muss außerdem verhindern, dass eine Anlockung der Motte über Kairomone (durch mikrobiellen Abbau organischen Materials) erfolgt.

Neben der abschreckenden Wirkung und dem Abtöten von Larven durch Wirkstoffe, die auf die Wolle appliziert werden wären ein Fangen mittels Pheromonfallen (Männchen durch Sexualhormone, unverpaarte Weibchen durch Aggregationshormone) im mit Wolle isolierten Haus und die Anlockung befruchteter Weibchen mit Alternativhabitaten (Anlockung mit Kairomonen) und anschließendem Abtöten (Klebefallen oder Infizieren mit Pathogenen) möglicherweise sinnvolle, ergänzende Maßnahmen, die aber für die Bewohner einen gewissen Aufwand bedeuten. So müssen Pheromonfallen nach spätestens einem Jahr ausgetauscht werden.

In den Untersuchungen für dieses Projekt wurden pflanzliche Repellents und Fraßgifte mit mineralischen Stoffen kombiniert, die das Fressen der Schafwolle erschweren (physikalischer Schutz durch scharfkantige Kristalle; Kieselerde) und hemmend auf Keratinasen (Metalloxid) wirken sollen (WARD, 1975).

3.7 Mitin – Toxizität und Raumbelastung

3.7.1 Stand der Technik bei Dämmstoffausrüstung

Als Naturfaser-Ausrüstmittel gegen Brand, Schimmel und Schädlingsbefall finden sich in den Herstellerunterlagen Angaben wie: Borate, Phosphate, Tonerdehydrat, Borsäure, Ammoniumphosphat, Fungotannin, Borax, Eulan, Mitin FF = Sulcofuron. In der Fachliteratur finden sich Hinweise, dass der Zusatz von Borsalz (Polybor) Dämmstoffe aus natürlichen Fasern vor Schädlingsbefall und Schimmelpilz schützen soll und dass mit Natriumoctoborat auch eine ausreichende Brandschutzausrüstung (Brandklasse B2) erreicht wird. Obwohl von Polybor keine unverhältnismäßig hohe physiologische Gefährdung zu erwarten ist, gibt es gegen eine Borausrüstung doch Vorbehalte aus ökotoxischer Sicht. Da Borsäure als "Totalherbizid" gilt (ROTH: Wassergefährdende Stoffe), ist insbesondere die Pflanzentoxizität zu bedenken, die v.a. dann zum Hindernis wird, wenn die problemlose Wiederverwertung und Kompostierung der Dämmstoffe aus Schafwolle als zusätzliches Verkaufsargument herangezogen wird.

Nach mechanischer „Öffnung“ (Entfernung der groben Schmutzteile) und intensiver Waschbehandlung wird die nur mehr gering lanolinhaltige Schafwolle normalerweise mit Mitin FF und Borsalz gegen Motten und zur Verbesserung der Flammwidrigkeit ausgerüstet. Für Mitin-imprägnierte Wolle geben die Hersteller eine Garantie gegen Schädlingsfraß.

3.7.2 Mitin FF

Nach Prüfung aller verfügbaren Daten stellt die Anwendung von Mitin-FF das gravierendste umweltrelevante Problem bei der Schafwollausrüstung dar. Mitin FF oder auch Sulcofuron wird von CIBA (ehemals Novartis bzw. Ciba-Geigy) hergestellt und als insektizides Ausrüstungsmittel gegen Mottenfraß u. a. in Wollteppichen, Naturfaserbodenbelägen und Schafwoll-Dämmungen eingesetzt.

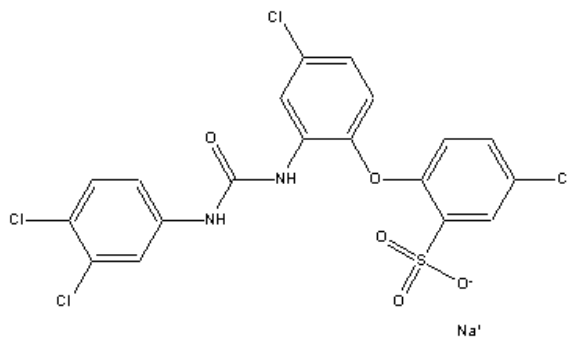
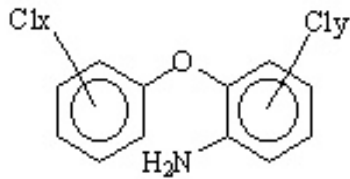


Abbildung 26 Sulcofuron/Mitin FF

Es handelt sich um das Natriumsalz von 5-Chlor-2-(4-chlor-2-(3,4-dichlorphenyl)amino-carbonylamino)phenoxy)-benzol-sulfonsäure, also um eine organische Chlorverbindung mit zumindest vier aromatischen Chloratomen in der Reinsubstanz.

Grundsätzlich ist die Stoffgruppe der halogenierten Aromaten – und Mitin FF ist per definitionem eine aromatische Chlorverbindung – nicht erst seit der Chemiekatastrophe von Seveso 1976 als dioxinrelevant einzustufen. Bei einer Risikoabschätzung müssen der Metaboliten-Anteil sowie die höher und an anderen Positionen chlorierten Isomere im technischen Sulcofuron bedauerlicherweise unberücksichtigt bleiben, da in der Literatur keinerlei Hinweise dazu gefunden werden.

In Anbetracht der Verbreitung der strukturverwandten Polychloraminodiphenylether (PCAD) und Polychlorsulfonamidmethyleneether (PCSD) in Wohn-Innenräumen besteht bezüglich der Toxizität dieser Substanzgruppe erheblicher Forschungsbedarf (OBENLAND et al., 1998). PCSDs und PCADs (in den EULAN-Präparaten von BAYER AG enthalten) und deren Derivate wurden in Abwasser- und Fischproben nachgewiesen (WELS, 1979), was die unzureichende Abbaubarkeit dieser Substanzen zeigt. (Quelle: ARGUK Umweltlabor, www.arguk.de/infos/eulanpubl.htm). Das Mottenschutzmittel Mitin FF ist giftig für Wasserorganismen und baut sich nur sehr langsam ab.



Polychloro-2-aminodiphenylether

Abbildung 27 Struktur der PCSDs (Quelle: www.arguk.de/infos/eulanpubl.htm)

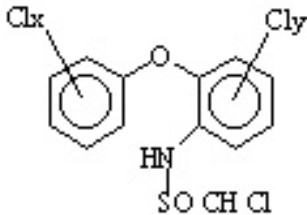


Abbildung 28

Polychloro-2-(chloromethylsulfonamid)-
diphenylether

Abbildung 29 Struktur der PCADs (Quelle: www.arguk.de/infos/eulanpubl.htm)

Abbildung 30

Aus umweltwissenschaftlicher Sichtweise wirft Mitin-FF mehrere Fragen auf, darunter z.B. die potenzielle Bildung von Chlorphenyliden bzw. Dioxinen im Falle eines Brandes oder auch aus den Metaboliten beim biologischen Abbau. Wegen ihrer Persistenz werden chlororganische Verbindungen im Fettgewebe von Lebewesen besser eingelagert als analoge, nicht chlorhaltige Verbindungen. Auf den perfekten Abbau der Chloaromaten sind unsere Zellen und Organe nicht eingestellt. Chlorverbindungen richten daher im Stoffwechsel Schaden an – sie wirken als Gift. Diese Zusammenhänge sind unbestritten. Selbst eine industriennahe Studie kommt zu dem Fazit: "Die Einführung von Chlor in organische Moleküle ist nahezu regelhaft mit einer Verstärkung des toxischen Wirkpotentials verbunden." (HENSCHLER, 1994)

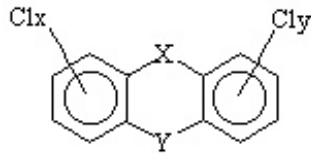


Abbildung 31 Polychlorierte Dibenzazoxine (Dioxin-Typus) entstehen bei der Verbrennung von Chlorphenyliden (Quelle: www.arguk.de/infos/eulanpubl.htm) (X,Y = O,N,S,C oder Leerstelle)

Bisher ist ungeklärt, welche technischen Verunreinigungen im Endprodukt Mitin-FF enthalten sind; es muss jedoch aus verfahrenstechnischer Logik mit weiteren umweltbelastenden halogenorganischen Verbindungen gerechnet werden. Darüber hinaus wurde bei der Untersuchung von Hausstaub-Proben auf Pestizidbelastungen vom deutschen Ingenieurbüro (Oetzel Umweltanalytik in Kassel) erst vor kurzem eine häufiger auftretende, charakteristische Substanzgruppe entdeckt. In Versuchen zur Identifizierung der Bestandteile wurden diese mittels gaschromatographisch/massenspektrometrischer Analysen als mögliche Mitin-FF Komponenten erkannt. Demnach ist anzunehmen, dass diese Wirkstoffe auch in Hausstaub-Proben anzutreffen sind. Da in den untersuchten Wohnungen bei den Bewohnern auch die typischen MCS-(Multiple Chemical Sensivity) Symptome auftraten, kann ein Zusammenhang mit Mitin-FF zumindest nicht ausgeschlossen werden. Wir vertreten daher die Auffassung, dass für einen ökologisch hochwertigen Naturbaustoff wie Schafwolle dringend ein Mottenschutzsystem gefunden und angewendet werden sollte, das zeitgemäßen Umwelt- und Nachhaltigkeitskriterien entspricht.

3.8 Neem – „Biopestizide aus Pflanzen“



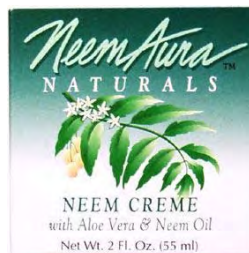
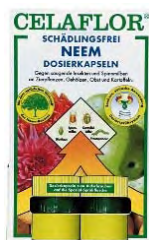
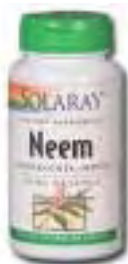
Der in den tropischen Regionen der Erde beheimatete Neembaum (*Azadirachata Indica*) wird von den Bewohnern dieser Länder seit Generationen als vielseitige und umfassend wirkende Pflanze geschätzt.

Jeder Bestandteil, das Holz, die Rinde, die Äste, die Blätter und insbesondere die Samen verfügen über wertvolle Inhaltsstoffe, die in der Landwirtschaft und anderen Bereichen der Lebenskultur seit mehr als 2000 Jahren eingesetzt werden.

Schon die alten Sanskrit-Schriften berichten von der Bedeutung dieses "heiligen Wunderbaums".

Abbildung 32 5 Jahre alter Neem-Baum in Managua (Nicaragua)

Neemsamenprodukte sind nicht nur für den Mensch, Säugetier und Fische ungiftig, ihr Einsatz gilt darüber hinaus als Nützlings-schonend und ist ökologisch unbedenklich (ISMAN, 2005).



Dank ihrer vielseitigen, positiven bioaktiven Eigenschaften dienen Produkte aus dem Samen des Neembaums dem Menschen wie auch der Pflanzen- und Tierwelt. Für ersteren findet Neem in Körperpflegeprodukten wie Seifen, Shampoos und Zahnpasta Anwendung und ist nicht nur Ayurveda-Kundigen vorbehalten. Für Landwirtschaft und Gartenbau ist es die universelle, pflanzenkräftigende und krankheitsabwehrende Wirkung von Neem, welche dieses Naturprodukt in vielen Kulturen dieser Erde attraktiv macht (BISWAS et al., 2002). So verwenden die Bauern tropischer Länder Neemsamen und Neemsamenerzeugnisse – wie

Neempresskuchen oder Neemöl – nicht nur zur Anreicherung des Bodens, sondern auch als Wasserextrakt zur Vertreibung und Abwehr von Schadinsekten wie Schmetterlingsraupen, Käferlarven, Heuschrecken, Zikaden, Blattminierern, Blattläusen und Wanzen.

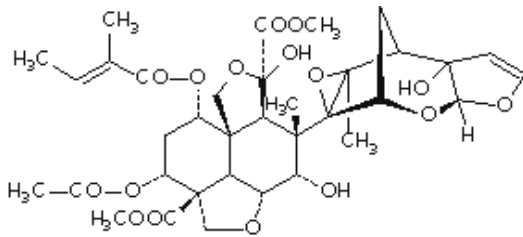


Abbildung 33 Azadirachtin, der Hauptwirkstoff und die analytische Leitsubstanz des Neemsamens

Extrakte, die aus Neem gewonnen werden, sind in ihrer Zusammensetzung sehr variabel, je nachdem, ob sie aus den Blättern, Früchten, Wurzeln oder Blüten hergestellt wurden, je nach Standort des Baumes, der Jahreszeit oder dem Extraktionsverfahren. Das native Neemöl ist eine gelbliche, stark riechende und bitter schmeckende Flüssigkeit, die auch gegen Pilze und Phytopathogene eingesetzt wird. In der Literatur werden mindestens 34 Inhaltsstoffe beschrieben. Die erhältlichen Textilschutzmittel werden zum größten Teil aus dem Neem-Presskuchen extrahiert. Zu den wichtigsten Komponenten der Neemextrakte gehören Azadirachtin (0,2-0,6% d. Samens; ISMAN, 2005), Salanine, Nimbin und Quercetin. Azadirachtin und auch einige andere Inhaltsstoffe der Neemextrakte gehören zu der großen Gruppe der Terpene, Quercetin ist ein Flavonoid, Nimbin ist einer der Bitterstoffe in Neemöl.

Ansatzpunkt des Azadirachtins ist die chemische Strukturverwandtschaft mit dem Verpupphormon Ecdysteron (β -Ecdison) der Schädlinge. Die Substanz stört die Chitin-synthese, entweder durch direkte Erniedrigung des Ecdysterontiters oder durch Störung des neuroendokrinen Regelkreises. Neemextrakte, die Azadirachtin enthalten, verhindern die Larvenentwicklung und Verpuppung von Insekten und weisen Fraßschädlinge ab. Die direkte toxische Wirkung auf die adulten Formen ist dabei geringer, die Schädlinge werden nicht sofort getötet. Die Substanz wird schnell abgebaut und hat eine geringere Toxizität für Nützlinge als andere Insektizide.

3.8.1 Neem als Mottenschutz

Während der letzten 20 Jahre wurden viele wissenschaftliche Untersuchungen zur Erforschung der biochemischen und pharmakologischen Wirkungen von Neem durchgeführt. Neem-Inhaltsstoffe werden gegen eine Vielzahl von Erkrankungen und Beschwerden angewendet, u.a. gegen Rheuma, Arthritis, Tumore, Geschwüre sowie bei Diabetes und zur Senkung des Blutdruckes (BISWAS et al., 2002). Darüber hinaus wird Neem-Öl zur Abwehr von Insekten wie z.B. Motten in Wollteppichböden und neuerdings auch zur Milbenbekämpfung in Matratzen eingesetzt.

NeemAzal-T/S von der Fa. Trifolio-M GmbH in Lahnau gilt als "das leistungsstarke biologische Insektizid". NeemAzal®-T/S Produkte sind in zahlreichen Gartencentern und Baumärkten unter der Bezeichnung "Schädlingsfrei – Neem" erhältlich. Das Präparat enthält konzentriertes Neemöl als bioziden Wirkstoff, Zusatzstoffe sind Emulgator und Wasser als Lösemittel.

Neemprodukte auf Basis des Wirkstoffes NeemAzal® sind aufgrund der entwicklungshemmenden Eigenschaften hervorragend geeignet, um Textilschädlinge wie Kleidermotten oder Pelz- und Teppichkäferlarven wirkungsvoll und umweltverträglich zu bekämpfen. Die Produktreihe *Neem pro®* Tex wurde speziell für dieses Einsatzgebiet entwickelt. Für Dämmstoffe aus Schafwolle sind allerdings die Einbauhinweise zu beachten.

Einbauhinweise

Keine Hitzeeinwirkung über 65°C! (Die relative Thermolabilität ist der Grund, warum die ansonsten höchst effektive Mottenschutzrüstung auf Neembasis den Ansprüchen als hitzeresistentes Dämm-Material im Hausbau nicht genügt.)

Nutzungsphase

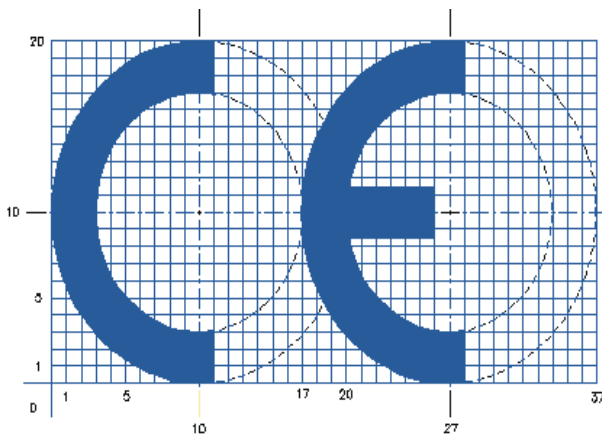
Biozide Wirkstoffe der Neemöl/extrakte wirken selektiv auf ein Hormonsystem, da sie nur bei Insekten wirken und sind damit für Säuger toxikologisch unbedenklich. Zusätzlich erzeugen sie eine fraßhemmende und abschreckende Wirkung.

3.8.2 Herstellungsaufwand

Der Neembaum ist relativ leicht zu kultivieren. 1. Ernte nach 5 J. Zur Gewinnung des Samenöls werden zuerst die Früchte entkernt, anschließend die Kerne gepresst und weiter als Heißwasserextrakt aufbereitet. Konkurrenzprodukte sind Mitin FF und Permethrin.

3.8.3 Zertifizierung

Neemextrakte werden zwar als Mottenschutzmittel eingesetzt, doch liegt das Problem der weiteren Verbreitung am Markt an der Zertifizierung der Wirksamkeit in der auf der Schafwolle applizierten Form. Von den Herstellern werden derzeit Schafwollvliese ausschließlich auf Kundenwunsch mit Neem ausgerüstet, jedoch ohne (zertifizierte) Garantie für den verlässlichen Schutz vor Mottenbefall.



CE-Zeichen die bisherigen nationalen Normungen (Ö-Norm) und Bauproduktzulassungen ersetzen sollen.

Die Bestrebungen, künftig aus 25 europäischen Staaten einen einheitlichen Wirtschaftsraum zu gestalten, werden begleitet von Harmonisierungsmaßnahmen, mit denen nationale Gesetze/Verordnungen in europaweit einheitliche Regelwerke überführt werden sollen. Im Baubereich betrifft dies im Wesentlichen die Bauproduktenrichtlinie, die mit dem europäischen

Mit der Einführung harmonisierter Normungen kommt auf die im Baubereich tätigen Klein- und Mittelständischen Unternehmen (KMU) eine Vielzahl von Veränderungen zu, die vor allem zu neuen Haftungs- und Gewährleistungswagnissen führen. Produkte, die mit dem CE-Zeichen in den Verkehr kommen, sind damit nicht zwangsläufig auch zur nationalen Verwendung freigegeben. Stattdessen muss die Übereinstimmung mit den nationalen Regeln in jedem Einzelfall geprüft und verantwortet werden. Dies hat zur Folge, dass Produkte mit dem neuen europäischen CE-Kennzeichen in den Mitgliedsländern zwar in Verkehr gebracht werden, aber aufgrund nationaler Gesetze z. B. im Baubereich nicht verarbeitet werden dürfen.

Nach dem gegenwärtigen Stand gilt, dass bei Mitgliedsstaaten, deren Standards nicht harmonisierungsfähig sind, das CE-Zeichen allein nicht ausreicht, um im nationalen Bereich die Brauchbarkeit von Produkten zu gewährleisten. Somit werden künftig sowohl bei der Planung, Ausschreibung und Ausführung von Baumaßnahmen in Bezug auf die Materialauswahl weit mehr Kenntnisse und Sorgfaltspflichten erforderlich sein, um die Haftungsgefahr in vertretbaren Grenzen zu halten.

Die Grundsatzfragen lauten:

- Wie werden die Inhaltsstoffe von Bauprodukten durch die künftige EU-Bauproduktenrichtlinie gekennzeichnet?
- Welche Rohstoffe werden durch die Aufbereitung zu „Gefährliche Substanzen“ im Sinne der nationalen Chemikaliengesetze bzw. nach Maßgabe der in Ausarbeitung befindlichen EU-Chemikalienharmonisierung?
- Auf welchem Wege kann sichergestellt werden, dass die nationalen und internationalen Bemühungen zum Schutz der Ressourcen, um die Minimierung der Treibhausgase sowie zur allgemeinen Umorientierung des Wirtschaftens auf nachwachsende Rohstoffe nicht durch übermäßige bürokratische Hürden vereitelt werden, oder gar die Entwicklung und Vermarktung von Bauprodukten aus nachwachsenden Rohstoffen zu blockieren drohen?
- Wem nützen die aufwendigen Registrierungen von Gefahrstoffen, wenn diese den Verbrauchern anschließend nicht konsequent mittels der Produktinformationen offengelegt werden?

Das die Bauproduktenrichtlinie tangierende Registrierungsverfahren der EU-Chemikaliengesetzgebung sieht nach den diversen Anpassungen vor, dass generell alle Stoffe – ungeachtet der Rohstoffquelle – ab 1 Tonne Jahreseinsatzmenge bis 2012 zu erfassen und zu registrieren sind. Die Harmonisierung des Chemikaliengesetzes und die Bestrebungen mehr Transparenz im Gesundheits- und Verbraucherschutz für Gefahrstoffe zu schaffen, sind sehr zu begrüßen. Grundlage sollte dabei allerdings die Volldeklaration aller Inhaltsstoffe auf den Produktbeschreibungen sein, um so die Konsumenten zu Entscheidungen zu befähigen, mit welchen gefährlichen Produkten und Substanzen sie sich umgeben wollen; zugleich sollte deutlich auf mögliche Risiken hingewiesen werden. Im Zusammenhang mit pestizidhaltigen Bauprodukten ist festzuhalten, dass gefährliche Substanzen nicht dadurch ungefährlich werden, dass man sie nach der EU Bauprodukterichtlinie „regulierte Substanzen“ nennt.

Die im EU-Weißbuch zur „Strategie für eine nachhaltige Chemikalienpolitik“ aufgeführten Lösungsansätze bedürfen weiterer Korrekturen, denn bislang sind die Unterscheidungen der Gefährlichkeit von chemischen Stoffen noch wenig geordnet. Mit der POP und CMR-Definition sind zunächst die gefährlichsten Stoffe herausgestellt worden. Darüber hinaus werden jedoch sensibilisierende Stoffe mit erbgutverändernden und krebserzeugenden Stoffen gleichgestellt. Diese Einordnungen gilt es weiter zu verfeinern, damit die geforderte Substitution von besonders gefährlichen Stoffen nicht behindert wird.

Das vorgesehene Prüf- und Registrierungsverfahren für Produkte und Substanzen aus dem Bereich der nachwachsenden Rohstoffe ist in der derzeitigen Fassung kontraproduktiv. Dies lässt sich aus den Kostenstrukturen für die „Basisbeschreibung“ herleiten. Nach den Angaben im Weißbuch belaufen sich diese Kosten für eine Prüfung von Stoffen von 10 kg bis 1 Tonne Jahresmenge auf ca. 85.000 Euro. Notwendige Aufwendungen in diesem Umfang werden die vielen Klein- und Mittelständischen Produktionsunternehmen (KMU), die sich der Verwendung von Substanzen aus nachwachsenden Rohstoffen verschrieben haben, in ihrer wirtschaftlichen Existenz gefährden.

Trotz vieler Lippenbekenntnisse zu Innovationen und Umweltschutz haben Neuentwicklungen in diesem Bereich noch kaum eine Chance. Die EU-Registrierungsverfahren haben sich für die KMUs zu einem Innovationshemmnis für nachhaltige Konzepte und Produkte entwickelt, da immer wieder die gleichen Instrumente der Bewertung und Einstufung wie bei den großtechnischen, chemisch-synthetischen Stoffen und Verfahren herangezogen wurden mit der Folge, dass diese Innovationen in andere Handelzonen transferiert und nur umgesetzt werden.

Wirklich innovative Ideen und neue biologische Methoden zur Schädlingsbekämpfung konnten sich in Europa bislang noch kaum gegen die klassischen Pestizide durchsetzen. Die Prüfung neuer mikrobiologischer Mittel ist wegen strenger Sicherheitsauflagen der Behörden äußerst aufwendig und kostspielig. Die Kosten für die Zulassung übersteigen bei weitem die Gewinnaussichten, die ein biologisches Produkt in der Regel verspricht. Und da eine Vielzahl von Behörden Sicherheitsnachweise für Mensch und Umwelt anfordern kann, sind die Gesamtkosten für die Genehmigung kaum kalkulierbar.

Gegen die innovationsfeindliche Praxis spricht ein sehr überzeugendes Argument: Naturstoffe zeigen grundsätzlich einen anderen Bildungsmechanismus und Gesteigungsprozess als petrochemische Synthetika, dies wird aus ihrer evolutionären Genesis von vier Mrd. Jahren deutlich. Da natürliche Rohstoffquellen großen und herkunftsabhängigen Schwankungen unterworfen sind, müsste laut Gesetz jede einzelne Produktionsstätte und Charge erfasst und registriert werden.

Aus naturstoffchemischer Sicht wären deshalb für nachwachsende und nachhaltige Rohstoffe Ausnahmeregelungen zwingend geboten. Dies gilt in gleicher Weise für die REACH-Entwürfe (Registration, Evaluation and Authorization of Chemicals) zur europäischen Chemikalienpolitik. Hier ist darauf hinzuwirken, dass jene Naturstoffe, die ja im weiteren Sinne als Kulturstoffe auch den Menschen schon seit vielen Generationen in Haus, Hof und Garten problemlos begleiten von einer Registrierungspflicht ausgenommen werden.

3.9 Zulassungshürden für Biopestizide

Diese Forderung stützt sich auf einen realen Hintergrund: Der Internationale Verband der Hersteller biologischer Schutzmittel IBMA (International Biocontrol Manufacturers Association) beklagt vehement die Benachteiligung seiner Produkte, insbesondere durch die strengen bürokratischen und teuren Zulassungsregeln für alte und neue Produkte in der EU. Die eingeforderten Hürden führen zu absurden Folgen, etwa dass die Zulassungskosten die erwarteten Umsätze weit übersteigen. „Die große Mehrheit unserer Mitgliedsfirmen ist klein oder sehr klein, sie können sich deshalb keine eigenen Registrierungsspezialisten leisten. Das Einreichen eines Registrierungsdossiers ist deshalb ein Albtraum für sie“, klagt IBMA-Vizepräsident Bernard Blum. Sein Verband verhehlt nicht, auf welch wackligen Beinen viele Mitglieder stehen: Von den weltweit rund 250 Herstellern biologischer Mittel sind über 90 Prozent klein, viele erzielen einen Jahresumsatz von unter einer Million US-Dollar mit nur einem oder zwei Nischenprodukten. Fast drei Viertel der im Zeitraum 1970 bis 1995 neu gegründeten Biofirmen mussten wieder schließen.

Im Gegensatz zu den langjährigen politischen Lippenbekenntnissen, chemische Pestizide würden durch sanfte biologische Methoden ersetzt, verhinderten die europäischen Pestizid-Regulierungen geradezu, dass Pflanzenschutzprodukte für den biologischen und integrierten

Anbau auf den Markt kamen. Auch deshalb liegt weltweit der Anteil biologischer Mittel im Pflanzenschutzgeschäft dzt. noch unter zwei Prozent.

Als großen Fehler bezeichnet der IBMA die EU-Vorschriften, chemisch-synthetische Stoffe nach den gleichen Kriterien zu beurteilen wie natürlich vorkommende, lebende Mikroorganismen, also Viren, Bakterien oder Pilze. Letztere dienen de facto nicht der Vernichtung, sondern sie regeln ein natürliches Gleichgewicht und zeigen daher ein wesentlich besseres Risikoprofil. Bernard Blum spitzt das Problem europäischer Regulierungswut wie folgt zu: „Mit Blick auf ihre Stoffwechselprodukte und ihre Ökotoxizität würden bei den geltenden und geplanten Registrierungsregeln menschliche Wesen gar nicht zugelassen.“ (SCHUH, 2004)

Vorbild USA

Experten vertreten die Auffassung, das undurchdringliche Regulierungsdickicht der EU ließe sich durch Lichten der Vorschriften und Schaffen einer zentralen Zulassungsbehörde nach amerikanischem Vorbild überwinden. In der Tat benötigt die US-Umweltbehörde EPA für die Zulassung von Biopestiziden oft weniger als ein Jahr. Ein gemeinsames Forschungsprojekt von Staat und Industrie hat in den vergangenen 20 Jahren die Zulassung von mehr als 300 Biomitteln für kleinere Anwendungsgebiete ermöglicht.

3.10 Partner



Villgrater Naturprodukte Josef Schett KG

Josef Schett, innovativer Bauer und Unternehmer aus Innervillgraten, der 25 bis 30 Prozent der in Österreich anfallenden Schafwolle zu den verschiedensten Produkten (Textilien, Bettwaren, Dämmstoffe u.a.m.) verarbeitet, wollte ursprünglich im Projekt „Motte & Schafwolle“ als Unternehmenspartner dabei sein. Aufgrund der langen Entscheidungsphase – von der ersten Einreichung bis zur Beauftragung vergingen beinahe 20 Monate – hat sich die VILLGRATER NATUR leider nicht zur Mitarbeit entschließen können. Nachdem Herrn Schett von den guten Projektergebnissen berichtet wurde, hat er großes Interesse für die Umsetzung der Resultate im Bereich seiner Produktpalette bekundet.

Öztaler Schafwoll Zentrum Regensburger GmbH

Ebenso verhält es sich mit dem **Öztaler Schafwoll Zentrum Regensburger GmbH**. Ursprünglich wollte Josef Regensburger, der in Umhausen eine optimierbare Schafwoll-Waschanlage betreibt, als Partner im „Motte und Schafwolle“-Projekt dabei sein. Es waren dort auch einige Praxistests geplant. Doch die langen Vorlaufzeiten und der damals noch ungewisse Ausgang hat den Unternehmer dazu bewogen, sein Engagement zurückzuziehen. Mittlerweile ist ein positives Projektergebnis sichtbar und auch das Öztaler Schafwoll-Zentrum signalisiert hohes Interesse an den Resultaten.



Hagspiel Naturbaustoffe GmbH entwickelt Dämmstoffe, Naturfarben und Bodenbeläge aus natürlichen Rohstoffen. Auch die einst vorhandene Bereitschaft dieser Firma aus Vorarlberg zur Projektmitarbeit konnte aufgrund der langen Vorlaufzeit nicht zum Einsatz gekommen.

BioInnova

Die Firma **BioInnova Verbundbauteile GmbH** entwickelte und produzierte in Heiligenkreuz (Bgl.) seit 2002 Dämmprodukte (Faserhanf mit Stützfasern, tw. in Kombination mit Schafwolle) in einem Gewichtsbereich von 25 kg bis 150 kg pro m³ bis hin zum Baustein für Passivenergiehäuser, vom 200 Gramm pro m² leichten Begrünungsvlies bis hin zum 2000 Gramm schweren technischen Nadelvlies. Im Jahr 2005 musste der Betrieb Konkurs anmelden, die technischen Anlagen im Wert von ca. 12 Mio. EUR wurden vom Masseverwalter nach Polen verkauft. Damit ist leider ein weiterer wichtiger Industriepartner aus dem Projekt herausgefallen.

ISOLENA[®] Schafwollämmung

Im o.ö. Waizenkirchen stellt die traditionsreiche Wollweberei **ISOLENA** u.a. Schalldämmbahnen aus 100% Schafschurwolle in Breite, Länge und Stärke gemäß Kundenwunsch her. Bei der Fertigung wird ein Trägerfilz aufgenadelt, der die Montage in jeder Lage ermöglicht und ein Abrutschen der Dämmbahnen verhindert. Auf diese Weise entstehen ideale Dämmbahnen für Dachschräge und Wand sowie zur effizienten Akustikdämmung, weiters zur Dämmung von Boden und Deckenkonstruktionen. Ing. Alexander Lehner, bei ISOLENA für Produktion und Technik zuständig, hat für die Praxistests des Projektes alle notwendigen Voraussetzungen geschaffen, Produktmuster mit unseren Rezepturen beaufschlagt und die Testmaterialien zur Prüfung und Begutachtung zur Verfügung gestellt.

Trifolio-M GmbH HERSTELLUNG UND VERTRIEB HOCHREINER BIOSUBSTANZEN

Bei **Trifolio-M GmbH** in Lahnau (Hessen, D) werden bioaktive Pflanzenwirkstoffe gewonnen und in standardisierter Form vertrieben (unter anderem Neem-Extrakte), die auch im Projekt „Motte und Schafwolle“ eine wichtige Rolle spielen. Der GF von Trifolio-M, Dr. Hubertus Kleeberg, und der äußerst kundige Enthymologe Dr. Edmund Hummel haben uns bei der Suche nach mottenwirksamen Formulierungen mit wissenschaftlicher Expertise unterstützt. Darüber hinaus wurden unterschiedliche Neem-Formulierungen zur Verfügung gestellt.

Die aufwendigen und aussagekräftigen Mottentests gemäß ISO 3998-1977 (E) wurden außer Haus durchgeführt, das Versuchsdesign und die Variationen wurden vorher gemeinsam erörtert und festgelegt.



Die ersten Durchläufe über die Anti-Motten-Wirksamkeit sind in dankenswerter Weise von **BION, Verein zur Erforschung bioaktiver Naturstoffe und ihrer ökologischen Bedeutung** am Institut für Botanik der Universität Wien durchgeführt worden. Das Versuchsdesign aufgebaut und betreut hat Frau Mag. Elisabeth Kaltenegger. Die Organisation erfolgte durch Frau Dr. Brigitte Brem und Dr. Wolfgang Harand.



In weiterer Folge hat **Ecolabor**, ein akkreditiertes Prüf- und Forschungslabor in Stainz (Stmk.) unter der Leitung von DI Franz Neubauer mit großem Engagement die Mottentests fortgeführt und wertvolle Beiträge zu den Ergebnissen des Forschungsprojektes geleistet.



natur&lehm-Gründer Roland Meingast hat den modernen Lehm-Bau in Österreich etabliert. Innerhalb weniger Jahre gelang es ihm mit seinem Team, den Lehm-Bau durch Fertig-Lehm-Baustoffe, durch Rationalisierung der Verarbeitung und geeignete moderne Konstruktionen wirtschaftlich und technisch konkurrenzfähig mit dem Stand moderner Bautechnik zu machen. Das war die Voraussetzung für die Renaissance des Lehmbaus in Österreich.

Das Lehm-Passiv-Bürohaus von natur&lehm in Tattendorf (siehe Abb. 34) ist ein Schaugebäude für die Anwendung von Lehm als Baustoff und Prototyp für das Bauen mit Lehm (mit Baumodulen von natur & lehm). Der Vorteil der von natur & lehm entwickelten Lehm-Vliestechnik, die hier angewendet wurde ist, dass die Gebäudehülle damit diffusionsoffen bleibt. Bei diesem System sind keinerlei synthetische Folien oder Kleber notwendig, auch nicht für den Einbau der Passivhausfenster. In diesem hoch wärmegeprägten Passivhaus

ohne konventionelle Heizung gibt es nur noch einen geringfügigen Restwärmebedarf an wenigen Tagen im Jahr. Dieser wird durch eine Bioäthanol-Nachheizung mit erneuerbarer Energie abgedeckt. (Infos unter www.lehm.at)



Abbildung 34 Ausschnitt der natur&lehm-Bürohausfront in Tattendorf (Quelle: www.lehm.at)

3.11 Bestimmungen zu Dämmstoffen

3.11.1 Schafwollämmstoff-Qualitätsanforderungen

Der Dämmstoffmarkt besteht zum größten Teil aus genormten Produkten. Für einige wenige, bewährte und gebräuchliche Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen existieren bereits Normen, zum Beispiel für Korkerzeugnisse und Holzfaserplatten. Viele Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen sind jedoch dzt. noch nicht genormt und müssen für alle Anwendungsbereiche Einzelnachweise liefern.

Am Österreichischen Institut für Bautechnik (OIB) wurde vor einigen Jahren begonnen, für die nicht über die Normungsschiene laufenden Dämmstoffe wie Flachs und Schafwolle ein „Common Understanding of the Approval Procedure“ (CUAP) zu erstellen. Mittlerweile gibt es bereits für Dämmstoffe des Unternehmenspartners BIOINNOVA die Europäische Technische Zulassung des OIB, wobei die jeweilige Europäische technische Zulassungsnummer (z.B. ETA-02/0008) angegeben wird. Die Produkte von Bioinnova bestehen in der Regel aus einer Kombination von Hanf und Schafwolle, sie wurden vor ihrer Inverkehrsetzung vom OIB in vielerlei Hinsicht geprüft.

Die Europäische technische Zulassung (ETZ) sieht u.a. folgende Spezifikationen für natürliche Dämmstoffe vor, die ihrerseits durch großteils Normen (EN) nachzuweisen sind:

- Beschreibung des Produktes und des Verwendungszwecks
- Anwendungsbereich (z.B. Wand, Dach, Decke oder Boden)
- Zusammensetzung und Herstellverfahren
- Abmessungen
- Rechtwinkligkeit (EN 824)
- Rohdichte (EN 1602)
- Wasseraufnahme (EN 1609)
- Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl
- Formbeständigkeit bei definierten Temperatur- und Feuchtebedingungen (EN 1604)
- Zugfestigkeit parallel zur Plattenebene (EN 1608)
- Strömungswiderstand (EN 29 053)
- Wärmeleitfähigkeit (EN 12667)
- Brandverhalten (EN 13501-1)

Der Nachweis und die Beurteilung der Resistenz gegen Insektenbefall erfolgt nach der internationalen Norm ISO 3998, die auch bei der Versuchsplanung unserer Mottentests Berücksichtigung fand.

3.11.2 Die natureplus Vergabekriterien



natureplus ist der Internationale Verein für zukunftsfähiges Bauen und Wohnen e.V. in Deutschland. Der Verein fördert den Umwelt- und Gesundheitsschutz im Bauwesen und die Verbraucherinformation hinsichtlich umweltverträglicher und gesundheitlich unbedenklicher Bauprodukte, Baustoffe und Einrichtungsgegenstände. Zu diesem Zweck verleiht er Produkten, die "strengen Kriterien betreffend Umwelt, Gesundheit und Funktionalität genügen", das Qualitätszeichen natureplus.

Vergaberichtlinie 0103 - Dämmstoffe aus Schafwolle

Die wichtigsten Vergabekriterien werden hier auszugsweise *kursiv* wiedergeben und kurz kommentiert. *Voraussetzung für die Auszeichnung eines Produktes mit dem Qualitätszeichen natureplus bildet die Einhaltung der Basiskriterien. Das Produkt muss die Anforderungen der Produktgruppen-Vergaberichtlinie 0100 „Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen“ erfüllen.*

Gebrauchstauglichkeit

Das Produkt muss unter den Bedingungen eines fachgerechten Einbaus gemäß ISO Norm 3998 gegen Schadinsekten dauerhaft beständig sein. Der Nachweis ist durch Vorlage entsprechender Untersuchungen und Gutachten zu führen. Leicht lösliche oder nicht an den Schnittkanten wirksame Mittel (z.B. Borate) als Fraßschutz werden nicht anerkannt.

Einsatzstoffe

Das Produkt muss mindestens zu 90 % des Handelsgewichts (17 % Feuchtegehalt) aus nachwachsenden Rohstoffen bestehen. Synthetische Stützfasern sind nicht zugelassen.

Halogenorganische Verbindungen – außer Sulcofuron als Schutzausrüstung gegen Fraßinsekten – sind nicht zugelassen. Der Anteil von Sulcofuron ist auf 0,5 % des Handelsgewichts (17 % Feuchtegehalt) flüssige Zubereitung bzw. 1 % in fester Form begrenzt. Mittels Qualitätssicherung ist sicherzustellen, dass die Dosiervorgaben des Herstellers des Mottenschutzmittels eingehalten werden. Der labortechnische Nachweis ist durch den Hersteller vorzulegen. Das Produkt wird einer Prüfung auf Antimon, Bor und EOX gemäß Abschnitt 3 unterzogen und muss die dort angegebenen Grenzwerte einhalten.

Kommentar: Sulcofuron = Mitin FF, wird als Mottenschutz von natureplus für das Naturprodukt Schafwolle empfohlen, weil dzt. keine taugliche Alternative besteht. Die wissenschaftlich-seriöse Abschätzung der Nutzen-Risiko-Bilanz von Mitin FF wird unter Fachleuten kontrovers diskutiert. Es trifft zu, dass es sich bei Schafwolle um eine tierische Faser handelt, die gegen Motten geschützt werden muss. Andererseits bestehen ernstzunehmenden Bedenken gegen das Fraßgift Sulcofuron, die von mehreren Autoren und auch vom Projekt-Team geteilt werden. Nähere Erläuterungen dazu unter 3.3 „Mitin und Raumbelastung“ Umwelt- und Gesundheitsbelastung durch herkömmliche Mottenschutz-ausrüstung.

3.12 Wirkstoffauswahl

Ein *ideales* Mottenschutzmittel zeichnet sich durch eine akut-larvizide Wirkung und Langzeit-Stabilität (auch bei Temperaturen von bis zu 80° C) aus. Neben diesen stabilen Substanzen sind außerdem flüchtige Wirkstoffe von Vorteil, die eine Repellentwirkung besitzen, um die weiblichen Motten von der Eiablage im Dämmstoff abzuhalten. Die eingesetzten Substanzen dürfen weder für Mensch und Säuger noch für Gewässer oder die Umwelt allgemein bedenklich sein.

Als Rohstoffe für die Gewinnung der Wirkstoffe sollen heimische, gut verfügbare bzw. kultivierbare Pflanzen mit möglichst geringem Extraktionsaufwand (nach den Prinzipien der sanften Chemie) zum Einsatz kommen.

Weitere wichtige Eigenschaften des Dämmstoffes, wie Brandschutz oder Resistenz gegen mikrobiellem Befall dürfen durch das Mottenschutzmittel nicht verschlechtert werden. Ideal wäre eine Verbesserung dieser Parameter durch Pflanzenextrakte.

Außerdem ist die nötige Haftung der Substanzen an der Schafwollfaser zu gewährleisten. Daher muss der Applikationsprozess in optimierter Weise erfolgen. Dabei wäre der Einsatz eines Sprühverfahrens für geringe Wirkstoffverluste ideal.

Auch eine möglichst geringe Farbgebung durch die Mottenschutzextrakte und eine Verbesserung des Raumklimas im mit dem betreffenden Schafwollvlies isolierten Haus sind wichtige Entscheidungsfaktoren.

3.12.1 Wärmeverhalten bei Naturstoffen

Bei einem Extrakt aus Naturstoffen stellt sich die Situation bei weitem komplexer dar. Zunächst handelt es sich um organische Moleküle, die sich in Methanol gelöst haben und die sodann in Chloroform/Wasser ausgeschüttelt und angereichert wurden. Es sind somit die eher fettlöslichen Bestandteile der Pflanze bzw. Wurzel, die mit den Molekülen des Lösemittels lockere „Brückenbindungen“ eingehen.

Die Selektionskriterien unseres Screenings favorisieren bekanntlich Pflanzen, die Inhaltsstoffe mit einer insektiziden Wirkung enthalten. Für die Pflanze sind diese Stoffe ein natürlicher Schutz vor Fressfeinden. Sekundärmetaboliten agieren jedoch nicht nur als Biopestizide im weiteren Sinne, viele dieser Stoffe zeigen gleichzeitig auch pharmakologische z.B. antibiotische Wirkungen. Bekannte Vertreter dieser Gruppe sind Alkaloide, Steroide und

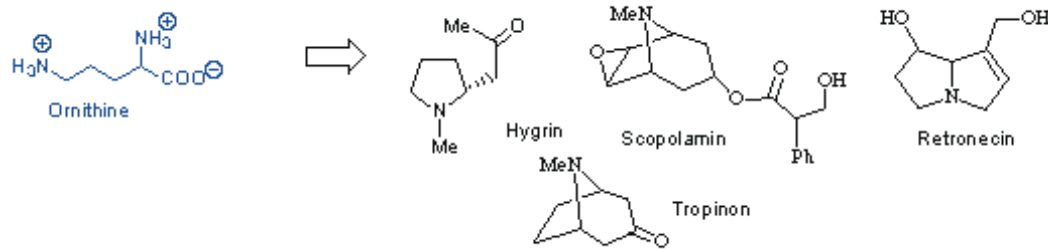
Terpenoide. Sie unterscheiden sich stark in ihrer Struktur, Flüchtigkeit und Stabilität und werden oft als Gemisch eng verwandter Substanzen in der Pflanze produziert.

Man kennt inzwischen über fünftausend verschiedene Antibiotika, und immer noch werden pro Jahr über dreihundert neue gefunden. Sie werden zur Bekämpfung von Bakterien benötigt, die von Natur gegen vorhandene Antibiotika resistent sind oder durch Mutationen Resistenzen erlangt haben.

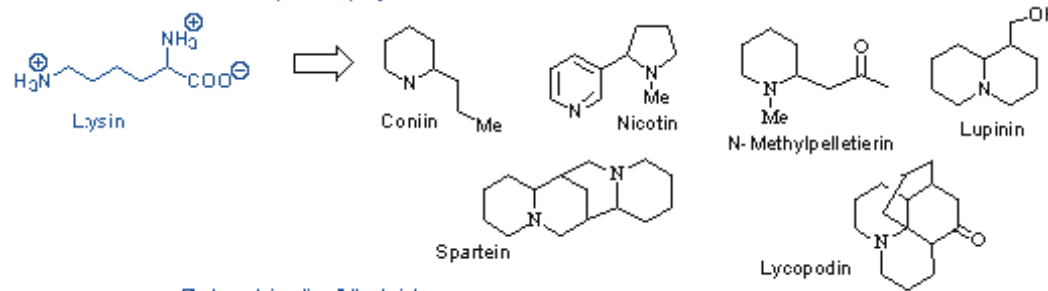
Beim Erwärmen eines Naturstoffextrakts ist zu beachten, dass durch Hinzufügen kinetischer Energie sehr bald auch chemische Reaktionen auftreten können. Bei starker Hitze werden sich die Moleküle aufspalten und neue Verbindungen eingehen. Wenn sich etwa das Aroma des Naturstoffes dabei verändert, kann es sich um das Austreten flüchtiger Stoffe (z.B. Aldehyde, Ketone, Terpene etc.) handeln, die schon vorher vorhanden waren. Die olfaktorische Wahrnehmung könnte aber auch die Folge einer Umlagerung und Abspaltung sein.

Eine chemische Reaktion? In Wahrheit sind es unzählige (siehe Abb.33). Doch mithilfe phytochemischer Kenntnisse können wir zumindest theoretisch versuchen, die thermochemischen Abläufe auf einige wesentliche Stoffgruppen zu beschränken. Gleichzeitig müssen wir zugestehen, dass unser Wissen hier noch in den Kinderschuhen steckt: Erst wenige der beim Erwärmen ablaufenden Reaktionen wurden bei Naturstoffextrakten bisher beschrieben und aufgeklärt. Es scheint, als gebe die Natur nur widerwillig ihre Geheimnisse preis. Doch für den überzeugten Naturstoffchemiker ist die Kunst des Umgangs mit den Biosphären-erzeugnissen kein Mysterium auf Dauer, man kann sie erlernen.

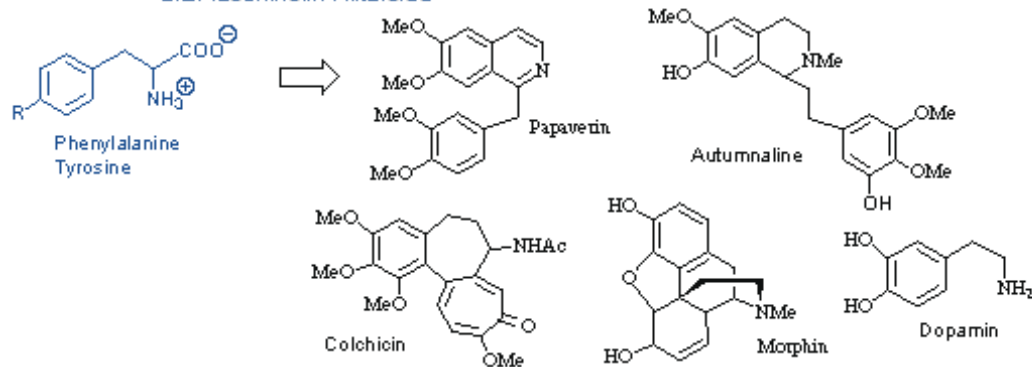
z.B. Pyrrolidin, Pyrrolizidin und Tropan-Alkaloide



z.B. Piperidin, Pyridin und Chinolizidin-Alkaloide



z.B. Isochinolin-Alkaloide



z.B. Indol-Alkaloide

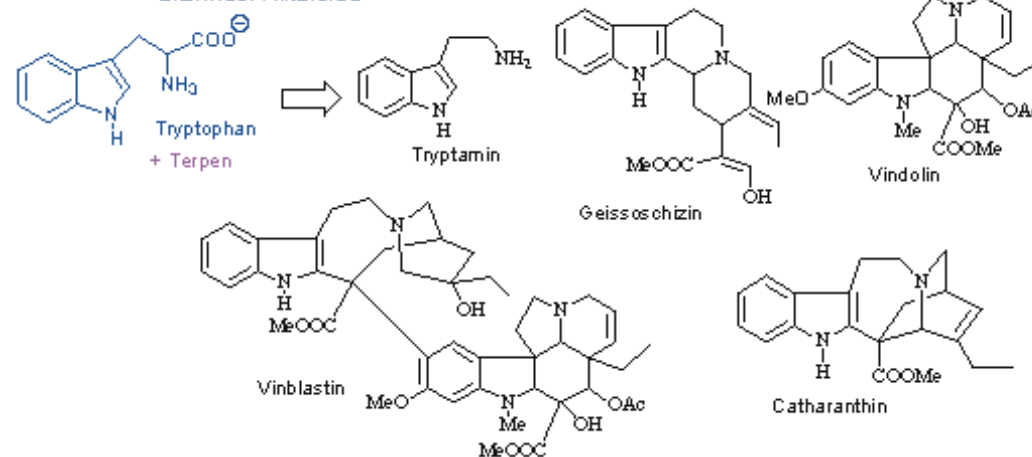


Abbildung 35 Beispiele für Reaktionswege von Naturstoffen unter Wärmeeinwirkung

3.13 Mottentests

Um die Wirkung von Substanzen auf Mottenlarven zu testen, werden standardisierte Bioassays (nach ISO 3998) durchgeführt. Mottenlarven werden dabei auf mit dem zu testenden Mittel behandelten Schafwollfilzstückchen für eine definierte Zeit gehalten. Danach werden der Zustand der Larven, eventuelle Verpuppungen, Gewichtsverluste der Filze und Kotmengen erhoben.

Wirksame Mottenschutzmittel werden im Anschluss in Form von Probebauteilen nach dem Einbau in ein Gebäude getestet. Hier kann festgestellt werden, ob ein Mottenbefall auftritt. Dabei kommen sowohl Repellents (Abschreckung der adulten Motten) als auch Fraßhemmer und -gifte zur Wirkung.

3.14 Applikation der Mottenmischung

Um eine dauerhafte Schutzwirkung gegen Motten (und Mikroorganismen) zu gewährleisten müssen die Wirkstoffe (als Extrakt oder Pflanzenpartikel gleichmäßig verteilt) an der Schafwolle anhaften. Nur durch eine leichte Fixierung an der Faser kann verhindert werden, dass Material aus dem Vlies verloren geht und gleichzeitig ein gewisser Retardierungseffekt erzielt wird. Die Prozessparameter sind dabei so zu wählen, dass die Wirksamkeit der Pflanzensubstanzen nicht unterbunden wird. Der gleichmäßigen Verteilung und Fixierung der Substanzen am Wollfilz kommt auch im Hinblick auf die natureplus-Kriterien eine wichtige Bedeutung zu, da gefordert wird, dass der Mottenschutz weder leicht löslich noch an Schnittkanten unwirksam sein darf.

Die unterschiedlichen Verfahren, die zur Anwendung kommen können, unterscheiden sich stark in wirtschaftlicher Hinsicht, Menge an „Abwasser“ und der Prozesskomplexität. Daher ist es für den Erfolg einer späteren Kommerzialisierung entscheidend, eine kostengünstige und optimierte Variante zu entwickeln. Allerdings sind weitere arbeits- und kostenintensive Praxisversuche an Maschinen (im größeren Maßstab) nötig, um die Durchführbarkeit in allen Details auszutesten.

Trockene oder Verfahren, bei denen sehr geringe Mengen an Wasser benötigt werden, sind aus abwassertechnischen Gründen anderen Prozessen vorzuziehen. Wichtige Kriterien, die bei der Applikation einzubeziehen sind, sind die nötige Wirkstoffmenge pro Wollmenge, ein

möglicher Verlust in späteren Schritten, ein mögliches Eindringen der Substanzen in die Fasern und die Konzentration des Mottenschutzmittels im Abwasser.

Im Folgenden werden die verschiedenen Applikationsoptionen mit Vor- und Nachteilen beschrieben.

3.14.1 Tauchverfahren

Diese Methode, die vor allem bei der Behandlung von Woll-Garnen mit Mitin eingesetzt wird, bringt einige Nachteile mit sich. So werden große Flüssigkeitsmengen in die Wolle eingebracht, die anschließend in einem Trockenschritt wieder entfernt werden müssen. Daher ist dieses Verfahren nicht für den neuen Mottenschutzextrakt geeignet.

3.14.2 Sprühverfahren

Bei Sprühverfahren können Flüssigkeiten (z.B. alkoholische Extrakte der Mottenschutzmittel) in exakter Dosierung sehr gut gleichmäßig zwischen Filzschichten verteilt werden. Bei einem optimierten Prozess können die nötigen Flüssigkeitsmengen auf ein Minimum reduziert werden. Des Weiteren fallen nur sehr geringe Mengen an organisch belastetem Abwasser an.

3.14.3 Einfilzen von Nanofasern

Beim sogenannten Electrospinning (Elektrospinnen) können aus Proteinen und Kunststoffen Hohlfasern mit einem Durchmesser zwischen 1 und 100 nm hergestellt werden. Dabei werden die Polymere in einem Spinnbad durch Kapillaren in einem Hochspannungsfeld zu Fasern umgelagert. Zur Zeit wird diese Technologie im medizinischen Bereich für die Herstellung von künstlichen Geweben und in Kombination mit Enzymen für bioaktive Strukturen eingesetzt. Durch eine Einlagerung der Mottenschutzwirkstoffe (in Form von Extrakten) in die Hohlfasern, wodurch eine Retardation bewirkt wird, und ein Einfilzen dieser Strukturen in das Schafwollvlies könnte eine gleichmäßige Verteilung und eine lange Wirksamkeitsdauer erzielt werden. Als Polymere können bei dieser Anwendung sowohl Keratin (das Material der Schafwolle) als auch Polymilchsäure (ein Biokunststoff) eingesetzt werden.

Um eine Machbarkeit dieser Methode zu überprüfen und genaue wirtschaftliche Überlegungen anstellen zu können sind im Anschluß an das Projekt Versuche mit Prof. Dr. Andreas Greiner von Philipps-Universität Marburg geplant.

3.14.4 Einbringen von Pflanzenpartikeln

Beim Einarbeiten zerkleinerter Pflanzenpartikel in den Wollfilz kann der Extraktionsschritt der Wirkstoffe eingespart werden. Außerdem wird so auf einfache Weise eine Retardation der Wirkstoffe erreicht. Optimal stellt sich das Einfilzen von trockenem Material dar, da keinerlei Abwassermengen entstehen und kein Trocknungsschritt angeschlossen werden muss. Die durchgeführten Versuche zeigten allerdings umfassende Schwierigkeiten bei der praktischen Durchführung (siehe Kap.2.5.1 – „Methoden und Daten“ und 4.3.6 – „Ergebnisse und Schlussfolgerungen“ für genauere Erklärungen).

In einem alternativen Verfahren kann eine Masse aus zerkleinertem Pflanzenmaterial in einer wässrigen Lösung von Wasserglas zwischen die einzelnen Vlieschichten aufgebracht werden, wodurch allerdings ein Trockenschritt nötig wird.

3.14.5 Biokunststoffpartikel

Ein weiteres mögliches Verfahren zur Applikation von Mottenschutz-Pflanzenextrakten ist das Aufbringen von erweichtem, sehr feinem Biokunststoffgranulat, das zuvor mit den Wirkstoffen vermengt wurde, mittels Walzen auf die einzelnen Vlieslagen (mit anschließendem Vernadeln der Schichten). Versuche mit Polymilchsäurepulver (Glasübergangstemperatur zwischen 50 und 80° C) sind in Planung, da die Konstruktion von geeigneten Auftragwalzen sehr kosten- und zeitintensiv ist.

4 ERGEBNISSE UND SCHLUSSFOLGERUNGEN

4.1 Extraktion

Bei den ersten Versuchen wurden eine Extraktion mit Methanol und ein anschließender Aufreinigungsschritt mit Chloroform eingesetzt. Im Hinblick auf Gesundheit, Umweltschutz, und eine möglichst einfache Durchführbarkeit bei einem späteren Upscaling wurde in der Folge eine ethanolische Extraktion gewählt.

4.1.1 Extraktion 1

EXTRAKT	Urextrakt-Gehalt	Trockenextrakt-Ausbeute
	mg/ml	%
Artemisia dracunculus / Estragonkraut	13,9 mg/ml	5,1 %(w/w)
Lavandula angustifolia / Lavendelblüten	23,5 mg/ml	8,6 %(w/w)
Tanacetum balsamita / Balsamkraut	15,3 mg/ml	5,2 %(w/w)
Juglans regia / Walnussblätter	21,9 mg/ml	8,2 %(w/w)
Ruta graveolens / Gartenrautekraut	11,1 mg/ml	4,3 %(w/w)
Artemisia vulgaris / Beifußkraut	6,8 mg/ml	2,3 %(w/w)
Artemisia absinthum / Wermutkraut	16,2 mg/ml	5,6 %(w/w)
Sambucus nigra / Holunderblätter	16,4 mg/ml	5,6 %(w/w)
Melilotus officinalis / Steinklee Kraut	9,8 mg/ml	3,4 %(w/w)
Hypericum perforatum / Johanniskraut	16,3 mg/ml	6,8 %(w/w)
Lycopersicon esculentum / Tomatenkraut	8,3 mg/ml	3,0 %(w/w)
Rhus typhina / Essigbaumblätter und Blüten	27,0 mg/ml	10,9 %(w/w)
Lavendel Kraut Hidcote blue	19,3 mg/ml	6,4 %(w/w)

Tabelle 6 Extraktausbeuten aus trockenem Pflanzenmaterial

Die Ausbeuten lagen zwischen 2,3 (Artemisia vulgaris) und 10,9% (Rhus typhina).

4.1.2 Extraktion 3

Extrakt	Konz. (mg/ml)	Ausbeute (Massen%)	opt. Beschreibung
Korbblütler-Wurzel	3,9	4,8	bernsteinfarben, zähe Flüssigkeit
Mottenkräuter-Mischung (Galke)	13,3	13,2	dunkelgrün, vollständig getrocknet
Moschuskrautgewächs- Wurzel	6,2	6,2	rot-orange, zähe Flüssigkeit
Lippenblütler-Samen	6,5	6,5	orange, fest und zähe Flüssigkeit
Kreuzblütler-Wurzel	8,9	8,9	rot-orange, zähe Flüssigkeit

Tabelle 7 **Urextrakt** (Konzentration und Ausbeute; Konz.: mg gelöstes Pflanzenmaterial pro ml Ethanol/Petrolether; Ausbeute: mg gelöstes Pflanzenmaterial pro mg eingesetztes Pflanzenmaterial; opt. Beschreibung: Farbe und Zustand (fest/flüssig))

Die Ausbeuten bei den Extrakten lagen zwischen 4,8 (Korbblütlerwurzel) und 13,2% (Mottenkräuter-Mischung, Fa. Galke).

4.2 Mottentestergebnisse

4.2.1 Mottentests 1 und 2 (ohne Hitzebehandlung)

Mottentest 1

	mg Extrakt/ g Filz	Überlebens- rate [%]	Gewichtszunahme ^a	
			[mg]	[%]
<i>Peucedanum officinale</i> Wurzel	10	100	0,3 (± 0,3)	32 (± 3)
	50	100	0,05 (± 0,05)	9 (± 12)
	100 ^b	87 (± 7)	0,0	0 (± 0)
	200 ^b	53	0,0	0 (± 0)
<i>Mahagonigewächs, baumförmig</i> Stammrinde	1	67	0,0	0
	5 ^b	0		
	10 ^b	0		
<i>tropische Kletterpflanze, krautig</i> Wurzel	0,1 ^b	20	0,5	53 (± 5)
	0,5 ^b	0		
	1 ^b	0		
<i>Tanacetum balsamita</i> Kraut	10	87 (± 9)	1,2 (± 0,2)	159 (± 27)
	100 ^b	53 (± 22)	0,2 (± 0,2)	20 (± 24)
	200 ^b	40 (± 27)	0,1 (± 0,1)	9 (± 13)
<i>Sambucus nigra</i> Blätter	10	100	1,5 (± 0)	173 (± 2)
	100	100	1,3 (± 0,1)	155 (± 11)
	200	100	0,7 (± 0)	82 (± 8)
<i>Artemisia dracunculus</i> Kraut	10	100	1,7 (± 0,2)	226 (± 40)
	100	100	1,1 (± 0,1)	138 (± 13)
	200	65 (± 25)	0,1 (± 0,1)	6 (± 8)
<i>Juglans regia</i> Blätter	10	100	1,4 (± 0,2)	194 (± 43)
	100	100	0,8 (± 0,1)	116 (± 25)
	200	76 (± 12)	0,6 (± 0)	83 (± 8)
<i>Ruta graveolens</i> Kraut	10	100	0,9 (± 0,2)	117 (± 44)
	100 ^b	100	0 (± 0)	0 (± 0)
	200 ^b	100	0 (± 0)	0 (± 0)
<i>Artemisia absinthium</i> Kraut	10	100	1,2 (± 0,1)	154 (± 18)
	100	100	0,8 (± 0,2)	105 (± 8)
	200	76 (± 12)	0,7 (± 0,2)	71 (± 9)
<i>Hypericum perforatum</i> Kraut	10	100	1,4 (± 0,1)	195 (± 59)
	100	100	1 (± 0,1)	114 (± 6)
	200	100	0,8 (± 0,2)	99 (± 3)
<i>Rhus typhina</i> Kraut	10	100	1,2 (± 0)	163 (± 39)
	100	100	0,7 (± 0,2)	88 (± 38)
	200	100	0,6 (± 0,1)	80 (± 10)

Tabelle 8 Toxische und wachstumshemmende Wirkungen der Pflanzenextrakte sowie der Referenzsubstanzen Mitin FF und Neem pro[®] Tex akut auf 24-28 Tage alte Larven der Kleidermotte, *Tineola bisselliella*, Versuchsdauer 14 Tage.

^a Ermittlung der Wachstumsrate bezogen auf das Gewicht der Versuchstiere zu Versuchsbeginn

^b kaum Fraßspuren am Filz

^c mg Neem/g Filz

	mg Extrakt/ g Filz	Überlebens- rate [%]	Gewichtszunahme ^a	
			[mg]	[%]
Lavendel Kraut	10	100	1,7 (± 4)	234 (± 34)
Hidcote blue	100	100	1,9 (± 0,2)	112 (± 12)
	200	100	0,4 (± 0)	46 (± 7)
<i>Artemisia vulgaris</i>	10	100	1,8 (± 0,6)	256 (± 39)
Kraut	100	100	1,5 (± 0,2)	200 (± 18)
	200	100	0,9 (± 0,1)	122 (± 8)
<i>Melilotus officinale</i>	10	100	2,0 (± 0,4)	273 (± 58)
Kraut	100	100	1,6 (± 0,1)	192 (± 7)
	200	100	1,0 (± 0,2)	129 (± 25)
<i>Lycopersicum esculentum</i>	10	100	2,0 (± 0,1)	231 (± 35)
Kraut	100	100	1,9 (± 0,1)	199 (± 21)
	200	100	1,6 (± 0,1)	213 (± 1)
<i>Chelidonium majus</i>	10	100	1,5 (± 0,3)	130 (± 32)
Wurzel	100	100	0,5 (± 0,1)	62 (± 10)
	200	100	0,2 (± 0,)	22 (± 8)
<i>Chelidonium majus</i>	10	100	1,6 (± 0,5)	230 (± 47)
Kraut	100	100	1,1 (± 0,3)	158 (± 14)
	200	100	0,5 (± 0)	67 (± 11)
<i>Quassia TRF-002</i>	10	100	1,4 (± 0)	184 (± 31)
	100	87 (± 0)	0,3 (± 0,1)	36 (± 9)
	200 ^b	50 (± 17)	0,2 (± 0,1)	31 (± 16)
<i>Heracleum sphondylium</i>	10	100	1,8 (± 0,3)	276 (± 49)
Kraut	100	83 (± 10)	0,7 (± 0,2)	75 (± 17)
	200	86 (± 9)	0,3 (± 0,1)	45 (± 15)
<i>Tagetes patula</i>	10	100	1,4 (± 0,1)	219 (± 1)
Kraut	100	100	0,5 (± 0,1)	100 (± 15)
	200	90 (± 3)	0,3 (± 0,1)	42 (± 12)
Mitin FF	25 ^b	3 (± 3)	0,0	0
Neem pro [®] Tex akut	0,3 ^c	49 (± 14)	0,9	131 (± 28)
	0,6 ^c	40 (± 8)	0,5	103 (± 20)
	2,0 ^{b, c}	22 (± 2)	0,3	33 (± 19)
	3,7 ^{b, c}	0		
	5,7 ^{b, c}	0		
	57 ^{b, c}	0		
Kontrolle		100	1,7 (± 0,5)	225 (± 45)

Tabelle 9 Toxische und wachstumshemmende Wirkungen der Pflanzenextrakte sowie der Referenzsubstanzen Mitin FF und Neem pro[®] Tex akut auf 24-28 Tage alte Larven der Kleidermotte, *Tineola bisselliella*, Versuchsdauer 14 Tage.

^a Ermittlung der Wachstumsrate bezogen auf das Gewicht der Versuchstiere zu Versuchsbeginn

^b kaum Fraßspuren am Filz

^c mg Neem/g Filz

Generell konnte bei den Extrakten mit toxischer Wirkung parallel zur erhöhten Mortalität der Versuchstiere auch eine Dosis-abhängige Reduktion der Fraßschäden an den Filzstückchen beobachtet werden. Die Abbildungen 34 und 35 zeigen das Testsubstrat, das mit unterschiedlichen Konzentrationen von Neem pro[®] Tex akut (Abb. 34) bzw. *Tanacetum balsamita* (Abb. 35) behandelt wurde.

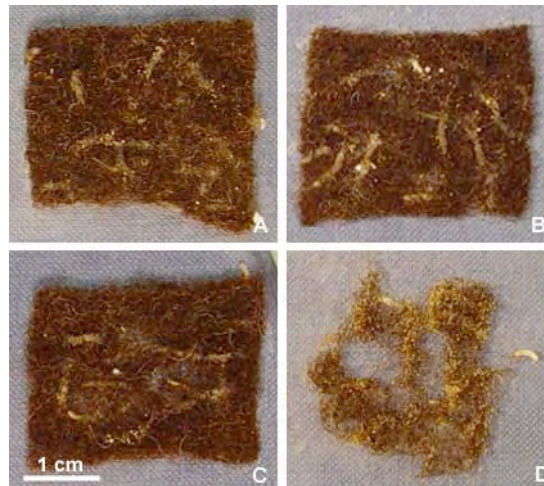


Abbildung 36 Versuch mit *Neem pro*[®] Text akut, Auswertung nach 14 Tagen.

- A** 3,7 mg Neem/g.
- B** 2 mg Neem/g.
- C** 0,6 mg Neem/g.
- D** 0,3 mg Neem/g

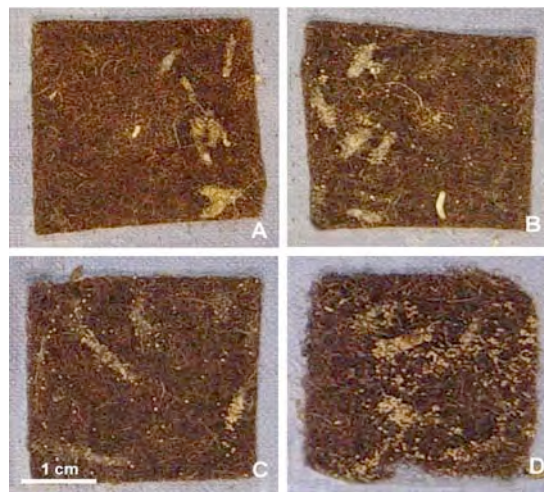


Abbildung 37 Versuch mit *Tanacetum balsamita*, Auswertung nach 14 Tagen.

- A** 200 mg Extrakt/g.
- B** 100 mg Extrakt/g.
- C** 10 mg Extrakt/g.
- D** Kontrolle (nur mit EtOH behandelt).

Die Extrakte ausgewählter heimischer, aber auch tropischer Pflanzen zeigten in den Biotests gegenüber 24–28 Tage alten Larven der Kleidermotte, *Tineola bisselliella*, stark unterschiedliche Wirkungen. Die Tabellen 8 und 9 beinhalten die detaillierten Ergebnisse der Tests mit Überlebensraten sowie der Gewichtszunahme der Versuchstiere.

Als besonders toxisch erwiesen sich die tropischen Pflanzen mit einer 100%igen Mortalität bei Konzentrationen von nur 5 mg Extrakt/g Filz bzw. 0,5 mg Extakt/g Filz (Tabelle 8). Damit erreichten sie durchaus vergleichbar starke (Probe 2) bzw. sogar stärkere (Probe 3) Aktivitäten als die Referenzsubstanzen Mitin FF (100 % Mortalität bei 25 mg/g Filz) bzw. Neem pro[®] Tex akut (100 % Mortalität bei 3,7 mg NeemAzal[®]/g Filz). Die Proben heimischer Pflanzen hingegen zeigten eine deutlich differenziertere Wirkweise: Während bei *Artemisia dracuncululus*, *Juglans regia* und *Heracleum sphondylium* erst bei höheren Konzentrationen eine Abnahme der Überlebensraten beobachtet wurde, wirkten *Tanacetum balsamita* und *Peucedanum officinale* bereits bei geringeren Konzentrationen toxisch. Weiters kam es bei einigen Proben zu einer deutlichen Hemmung der Wachstumsraten. Dabei sind v.a. *Ruta graveolens* und *Chelidonium majus* (Wurzel) hervorzuheben – hier konnten die Versuchstiere während der gesamten Versuchsdauer nicht an Gewicht zulegen. Bei *Ruta graveolens* wiesen dabei die Filzstückchen nach 14 Tagen kaum Fraßspuren auf, folglich liegt hier mit hoher Wahrscheinlichkeit eine starke antifeedant-Wirkung vor. Im Gegensatz dazu wurde bei *Chelidonium majus* der Filz doch deutlich zerfressen. Die fehlende Gewichtszunahme lässt eine chronisch-toxische Wirkweise gegenüber der Mottenlarven vermuten.

Mottentests 2

	mg Extrakt/ g Filz	Überlebens- rate	Gewichtszunahme		Wachstumsrate ^d
		[%]	[%]	[mg]	
Tanacetum vulgare Wurzeln	10	100	203 (± 4)	1,79 (± 0,20)	92 (± 4)
	50	77 (± 3)	67 (± 50)	0,59 (± 0,41)	32 (± 25)
	100 ^a	57 (± 3)	8 (± 5)	0,08 (± 0,05)	3 (± 2)
Tanacetum vulgare Körbchen	10	100	172	1,56	83
	50	100	108	0,93	52
keine Wh aufgr. niedr.A.	100	100	69	0,56	33
Tanacetum balsamita Kraut	10	80 (± 13)	185 (± 15)	1,81 (± 0,05)	74 (± 2)
	50	77 (± 10)	78 (± 56)	0,82 (± 0,61)	30 (± 21)
	100 ^a	43 (± 10)	10 (± 1)	0,10 (± 0,02)	4 (± 1)
Heracleum sphondylium Blätter	10	100	227	1,88	110
	50	100	223	1,81	108
keine wh aufgr. niedr.A.	100	100	194	1,76	94
Heracleum sphondylium Wurzel H.	10	97 (± 3)	155 (± 11)	1,49 (± 0,15)	70 (± 1)
	50 ^a	70 (± 23)	0	0	0
	100 ^a	40 (± 20)	0	0	0
Ruta graveolens Kraut	10	77 (± 10)	129 (± 3)	1,11 (± 0,01)	52 (± 4)
	50 ^c	87 (± 7)	0	0	0
	100 ^c	87 (± 7)	0	0	0
	50 ^e	20	38	0,2	13
	100 ^e	7	0	0	0
Heimischer Korbblütler OT	10	100 (± 0)	133 (± 24)	1,21 (± 0,21)	62 (± 9)
	50 ^a	43 (± 3)	0	0	0
AR-1013	100 ^a	57 (± 3)	0	0	0
Heimischer Korbblütler altes Rhizom	10	70 (± 10)	0	0	0
	50 ^b	0	0	0	0
AR-1013	100 ^b	0	0	0	0
Tagetes patula Kraut	10	93 (± 7)	281 (± 68)	1,98 (± 0,74)	115 (± 41)
	50	83 (± 3)	140 (± 17)	0,89 (± 0,09)	55 (± 1)
	100	87 (± 0)	23 (± 6)	0,17 (± 0,07)	9 (± 4)
Chelidonium majus CO2-Extrakt	10	100 (± 0)	175 (± 26)	1,13 (± 0,11)	68 (± 1)
	50	100 (± 0)	95 (± 7)	0,71 (± 0,06)	37 (± 2)
	100	90 (± 10)	60 (± 14)	0,40 (± 0,01)	23 (± 3)
Kontrolle		94 (± 4)	243 (± 26)	1,99 (± 0,3)	100 (± 10)

Tabelle 10 Toxische und wachstumshemmende Wirkungen lipophiler Pflanzenextrakte (CHCl₃-Phase) auf 24-28 Tage alte Larven der Kleidermotte, *Tineola bisselliella*, Versuchsdauer 14 Tage.

^a kaum Fraßspuren am Filz, Kot

^b keine Fraßspuren, kein Kot

^c kaum Fraßspuren, Darmkanal der Raupen weiß!!

^d bezogen auf die Kontrolle

^e Versuchsdauer 3 Wochen!

Wie in Tabelle 10 zu sehen ist, bewirkte der heimische Korbblütler eine sehr starke Hemmung der Larven, von denen keine überlebte.

4.2.2 Mottentest 3 und 4 (inkl. Hitzebehandlung)

Um die Hitzebeständigkeit der Wirkstoffe zu testen, wurde nach einer Hitzebehandlung erneut die Antimottenwirkung überprüft.

Mottentest 3

Der im 2. Mottentest so erfolgreich eingesetzte heimische Korbblütler, *Aglaia odorata* und ein Mahagonigewächs wurden im Mottentest untersucht.

	mg Extrakt/ g Filz	Überlebens- rate	Gewichtszunahme	
			[%]	[mg]
<i>Aglaia odorata</i> Rhizom	1	47 (± 27)	4 (± 4)	0,02 (± 0,02)
	5	10 (± 10)	0	0
	10	0	0	0
<i>Mahagonigewächs</i> Wurzeln	0,1	3 (± 3)	0	0
	0,5 ^a	0	0	0
	1 ^a	0	0	0
Heimischer Korbblütler altes Rhizom	50	7 (± 7)	12 (± 12)	0,08 (± 0,08)
	100 ^a	0	0	0
Kontrolle		90 (± 3)	333 (± 3)	1,43 (± 0,02)

Tabelle 11 Toxische und wachstumshemmende Wirkungen lipophiler Pflanzenextrakte (CHCl₃-Phase) nach Hitzebehandlung der imprägnierten Filzstücke auf 24-28 Tage alte Larven der Kleidermotte, *Tineola bisselliella*, Versuchsdauer 14 Tage.

^a keine Fraßspuren, kein Kot

Hier konnte erfreulicherweise gezeigt werden, dass der Wurzelextrakt des heimischen Korbblütlers die Hitzebehandlung gut verträgt. Ähnliche gute Ergebnisse liegen für den tropischen Zimmerbuchsbaum (*Aglaia odorata*) und das im ersten Zwischenbericht erwähnte Mahagonigewächs aus SO-Asien vor.

Mottentest 4

Probe	Pflanzen- extrakt (mg/g Filz)	Überlebens- rate (%)	Gewichts- abnahme Filz (mg)	Kot (nach 2 Wochen)
Korbblütlerwurzel	390	47	20,1	wenig
	15	53	72,2	wenig
Mottenkräuter-Mischung Fa. Galke	370	67	71,3	mittel
	15	80	98,9	mittel
Moschuskrautgewächs- Wurzel	410	40	45,2	wenig
	1	53	80,2	mittel
Lippenblütler-Samen	1620	7	15,7	kein
	25	80	65,9	mittel
Kreuzblütler-Wurzel	500	20	25,5	wenig
	30	33	36,5	wenig
Neem Azal-U	425	13	27,9	sehr wenig
Mitin FF	715	0	13,2	kein
Ko+Mo+Kr+Li	190	27	18,6	wenig
Kieselerde	290	87	67,2	ja
Metalloxid	85	87	45,0	wenig
Ke+MeO	340	80	51,0	wenig
Oregano	50	80	67,9	wenig
N+Ko+O+Ke+MeO	750	0	72,5	wenig
Kr+N+O+MeO+Ke	900	0	70,6	wenig
Mm+N+MeO+Ke	845	0	57,8	wenig
Ethanol	0	73	55,2	viel
Kontrolle 1		87	75,7	
Kontrolle 2		93	83,3	
Kontrolle 3		80	100,6	
Kontrolle 4		93	105,7	

Tabelle 12 Ergebnisse des Mottentests 4 (Pflanzenextrakt: aufgebrauchte Pflanzensubstanz; Überlebensrate: Anteil der nach 2 Wochen lebenden Larven; Gewichtsabnahme Filz: gefressenes Schafwollmaterial; Kot: am Ende des Versuchs feststellbare Larven-Kotspuren – zeigt, dass Schafwolle gefressen und verdaut wurde; Ko: Korbblütlerwurzel; Mo: Moschuskrautgewächs-Wurzel; Kr: Kreuzblütlerwurzel; Li: Lippenblütler-Samen; Ke: Kieselerde; MeO: Metalloxid; N: NeemAzal-U; O: Oregano; Mm: Mottenmischung;)

Tabelle 12 fasst die Ergebnisse des Mottentests zusammen. Es konnte eine starke Wirkung mancher Extrakte festgestellt werden, die in diesem Versuchsansatz zur erleichterten Auswertung in sehr hohen Konzentrationen eingesetzt worden waren. Sowohl der Lippenblütler- als auch der Kreuzblütlerextrakt konnten die Überlebensrate der Mottenlarven auf unter 20% senken (bei einer sehr hohen Konzentration von 1,6 bzw. 0,5 g Pflanzensubstanz pro g Filz). Die Mischung aus Korbblütler, Moschuskrautgewächs, Kreuzblütler und Lippenblütler ergab schon bei einer relativ viel geringeren Dosierung (50 mg/g je „Wirkstoff“) eine Überlebensrate von nur 27% und einen Fraß von nur 18,6 mg Filz (weniger als bei Neem Azal-U bei 425 mg/g Filz).

Der Einsatz einer Mischung dieser Pflanzenextrakte, in Kombination mit Neem und den mineralischen Testsubstanzen (0% Überlebensrate) erscheint daher am aussichtsreichsten.

Die geringe Wirkung des Korbblütlerextrakts im Vergleich mit vorangegangenen Tests könnte daran liegen, dass der Extrakt einige Monate vor dem Einsatz im Mottenversuch hergestellt worden war. Bei der höheren eingesetzten „Wirkstoffmenge“ wurde der Fraß deutlich reduziert.

Da bei der Herstellung der Pflanzenextrakte kein Aufreinigungsschritt mit Chloroform durchgeführt wurde, ist zu bedenken, dass in diesen Versuchen, anders als bei den vorangegangenen Versuchen, auch Lipide mitappliziert wurden. Daher ist der Einsatz größerer Mengen an Extrakt für eine vergleichbare Wirkung nötig.

4.3 Übersicht über ausgewählte Pflanzen und mineralische Wirkstoffe

Korbblütler

Verwendeter Teil: Wurzel

Dieser Korbblütler ist eine heimische Pflanze, die in zwei Sorten erhältlich ist, die sich im Gehalt an ätherischem Öl und dessen Zusammensetzung unterscheiden. Er findet eine weite Verbreitung als Heil- und Gewürzpflanze. Als Standort eignen sich sonnige, warme und feuchte Orte ohne Staunässe.



Abbildung 38 Korbblütlerwurzel

In der Naturheilkunde wird diese Pflanze bei Magenschwäche und Blähungen und als Öl bei rheumatischen Beschwerden eingesetzt. Die wichtigsten Inhaltsstoffe sind Methylchavicol, Phellandren, Ocimen, Gerbstoffe und Bitterstoffe. Dehydrofalcariindiol (und verwandte Substanzen), Methylchavicol und Eugenol bewirken eine Hemmung von Mikroorganismen (DUKE, 1992).

Moschuskrautgewächs

Verwendeter Teil: Wurzel

Diese Pflanze wurde früher in der Volksmedizin als harn- und schweißtreibendes Mittel eingesetzt. Aufgrund ihrer in höherer Dosis giftigen Glucoside wird sie heute nicht mehr eingesetzt.



Abbildung 39 Moschuskrautgewächs-Wurzel

Diese mehrjährige, krautige Pflanze, die 0,5 bis 2 m hoch wächst, gehört zur Familie der Moschuskrautgewächse (Adoxaceae) und bevorzugt nährstoffreiche, mäßig feuchte Böden.

Lippenblütler

Verwendeter Teil: Samen

Diese Pflanze kommt in einigen verschiedenen Formen vor, von denen nur ein Typ, mit einem hohen Anteil an Perillaldehyd kulinarisch genutzt wird. Dem ätherischen Öl dieser Pflanze, die zu den Lippenblütengewächsen (Lamiaceae) gehört, werden gesundheitsfördernde Wirkungen zugeschrieben. Die Samen enthalten 400 bis 800 ppm Perillaldehyd (HARBORNE und BAXTER, 1983), ihr Hauptwirkstoff gegen Mikroorganismen, und weisen einen hohen Gehalt an Apigenin auf.



Abbildung 40 Lippenblütlersamen

Die Blätter, die stark nach Minze riechen, zeichnen sich durch einen süßen Geschmack aus und werden als Gewürz verwendet. Alle Pflanzenteile finden eine weite naturmedizinische Anwendung.

Kreuzblütler

Verwendeter Teil: Wurzel

Bei dieser Pflanze handelt es sich um einen Vertreter der Kreuzblütengewächse, der als Heil- und Gewürzpflanze eingesetzt wird. Sie bildet eine bis zu 1,2 m hohe Staude mit einer bis zu 60 cm langen Wurzel und wächst bevorzugt auf nährstoffreichen Böden.



Abbildung 41 Kreuzblütlerwurzel

Als wichtigsten Wirkstoff enthält sie Allylthiocyanat, das den stechenden Geruch verursacht, wenn die Wurzel zerschnitten wird. Heute finden Extrakte der Wurzel dieser

Pflanze bei Grippe und Harnwegsinfekten als auch als kreislaufanregendes Mittel Verwendung.

Tropisches Gras

Verwendeter Teil: ätherisches Öl aus Wurzeln

Diese Pflanze ist ein tropisches Gras (Poaceae), das bis zu 1,5 m hoch wächst und aufgrund seines tiefen, stark ausgebildeten Wurzelsystems in einigen asiatischen Ländern zur Verringerung der Bodenerosion eingesetzt wird.



Der eingesetzte Wirkstoff enthält vorzugsweise das ätherische Öl der Wurzeln einer tropischen Grasart, die in Asien und Afrika weit verbreitet ist. Das Öl ist stark viskos, dunkelbraun bis oliv-farben getönt und verströmt einen tiefen, erdig-holzigen Duft mit deutlich wahrnehmbaren süß-betörenden Oberton. In Summe wirkt der olfaktorische Eindruck balsamisch, maskulin und harmonisierend. Die Verwendung des Öls in Parfumerie und Kosmetik als Basisnote und Fixativum ist überliefert.

Abbildung 42 Tropische Graswurzel

Humantherapeutisch wirkt das Graswurzel-Tonikum in doppelter Weise auf das Nervensystem: beruhigend und stärkend zugleich. Es löst Depressionen und nervöse Spannungen, fördert den Kreislauf und regt die Bildung von roten Blutkörperchen an. Einerseits stimulieren die Wirkstoffe die Potenz beider Geschlechter, andererseits erleichtern sie das Einschlafen. Ein deutlicher Hinweis auf die multifunktionelle Qualität ist auch der nachgewiesene dermatologische Erfolg des Tonikums bei Überfunktion der Talgdrüsen; die Wirkung wird gleichzeitig als antiseptisch und leicht adstringierend beschrieben – idealtypisch für fette Haut und Akne (CURTIS 1996).

Die vorzügliche Eignung des Graswurzel-Extraktes als langwirkendes Insekten-Repellent lässt sich ethnobotanisch dokumentieren, naturstoff-chemisch ist diese Qualität vor allem auf die bemerkenswerten Sesquiterpen-Anteile der Formulierung zurückzuführen (BURFIELD, REEKIE 2005). Sesquiterpene zeichnen sich durch relativ hohe Molgewichte, hohe Siedepunkte bzw. geringe Flüchtigkeit aus. Im Gegensatz zu den meisten ätherischen Ölen, die bekanntlich auf dem Wasser schwimmen, ist die Dichte unseres hochkonzentrierten tropischen Grasextraktes größer als eins. Zur Abrundung der Effektivität des Phyto-

Repellents seien auch noch seine hervorragend pilzhemmenden Eigenschaften erwähnt (DIKSHI und HUSSAIN, 1984) (GANGRADE et al., 1991) (HAMMER et al., 1999).

Neem (Azadirachta indica)

Verwendeter Teil: Samenextrakt (Neem Azal-U, Fa. Trifolio)

Für eine ausführliche Beschreibung siehe Kapitel 3.8 („Neem – Biopestizide aus Pflanzen“). Auf den Einsatz dieses bewährten Extraktes wurde angesichts der aus der Literatur bekannten, ausgesprochen guten Wirksamkeit gegen Motten, nicht verzichtet. Die fehlende Temperturstabilität wird durch die anderen Ingredientien „ausgeglichen“.

Kieselerde

Kieselerde besteht neben Spuren von Eisen, Calcium, Magnesium, Phosphor und Aluminium zu über 90% aus Siliziumoxid und wird unter anderem als Nahrungsmittelergänzung eingesetzt. Diese Substanz weist weder toxikologische noch umwelttoxikologische Wirkungen auf.

Metalloxid

Dieser Mineralstoff wird in vielen Anwendungen als weißer Farbstoff verwendet. Er hat eine antiseptische Wirkung, was neben UV-absorbierenden Eigenschaften den Einsatz in kosmetischen Präparaten begründet. Wegen seines umweltgefährdenden Potentials sind Vorkehrungen bei der Verarbeitung zu treffen.

4.4 Dämmstoff-Bauteil

Nachdem ein Bauteil mit eingefilterter Mottenschutzmischung hergestellt worden war, wurde er versuchsweise im Lehm-Passivhaus in Tattendorf (natur&lehm) eingebaut. Zuvor wurde ein Expertengespräch mit Roland Meingast, einem Fachmann auf dem Gebiet der nachwachsenden Baustoffe, durchgeführt. Nach einer Beschreibung des Versuchsteils wird im Folgenden die Beurteilung von Herrn Meingast zu Schafwolle und Mottenschutz im Bereich der Dämmstoffe wiedergegeben.

4.4.1 Charakterisierung der Schafwollämmplatte

Auf den folgenden zwei Abbildungen (Abb.41 und 42) ist der Aufbau des Versuchsteils dargestellt.

Abbildung 43 zeigt die für den Anwendungstest in den Boden integrierte Versuchsdämmstoffplatte (Lehm-Passivhaus von natur&lehm in Tattendorf).



Abbildung 43 Filzschicht mit applizierter Mottenmischung



Abbildung 44 Versuchsdämmstoffplatte in Seitenansicht (Mottenmischung zwischen den Filzlagen zu sehen)



Abbildung 45 Versuchsteil als Bodendämmstoff

4.4.2 Applikationsverfahren

Das Einfilzen trockenen Pflanzenmaterials stellte sich als in dieser Form nicht durchführbar heraus, da kleine Partikel nicht am Filz haften blieben und feste Bestandteile zu Nadelbruch an der Maschine führten. Die Optimierung der Mahltechnologie ist daher eine wichtige Voraussetzung, um die Anwendbarkeit dieser „Extraktions-freien“ Methode genauer zu untersuchen. Eine Fixierung der Pflanzenteile am Filz kann mit Wasserglas erfolgen. Weitere Mottentests werden zeigen, ob ein schichtweises Ausbringen der Partikel auch die Wolle in den Schichten zu schützen vermag.

Für die alternativen Applikationsmethoden sind arbeitsaufwändige und kostenintensive Versuche geplant, die in diesem Projekt nicht durchgeführt werden konnten. Vielversprechend stellen sich das Sprühverfahren und das Einfilzen von mit Mottenmischung gefüllten Nanofasern dar, wobei die zweite Methode umfangreicher Kostenabschätzungen bedarf. Die erforderlichen Mengen an Extrakt und Nanofasern sind bisher nicht abschätzbar.

4.4.3 Expertengespräch

Die Befragung wurde unter besonderer Berücksichtigung des Stellenwerts der Schafwolle im Vergleich zu anderen Naturmaterialien, der Produktentwicklung im Bereich der Dämmstoffe, der Einschätzung der Marktchancen und Risiken und der Handhabung beim Einbau durchgeführt.



Abbildung 46 Roland Meingast mit dem Versuchsbauteil (mit integrierter Mottenschutzmischung)

„Zum ökologischen Bauen gehören nachwachsende Dämmstoffe“

Schafwolle findet als Dämmstoff besonders dann Einsatz, wenn hohe Anforderungen an Feuchtebeständigkeit und Verrottungswiderstand gestellt werden. Daher handelt es sich unter anderem um einen idealen Dämmstoff bei der Sanierung von Altbauten. Neben der Feuchtetoleranz ist die schlechte Brennbarkeit (im Verhältnis zu anderen Naturstoffen) ein großer Vorteil der Schafwolle. Aufgrund des relativ hohen Preises der Schafwolle scheinen also besonders diese Spezialanwendungen interessante Einsatzfelder zu eröffnen, wenn andere Naturdämmstoffe aufgrund ihres Eigenschaftsprofils nicht zur Anwendung gebracht werden können. Die Kombination mit Schilf, das ebenfalls sehr gut für den Einsatz in der Innendämmung im Altbaubereich geeignet ist, könnte besonders gute, ganz neue Eigenschaftsprofile ergeben (Kombiplatte als Putzträger).

Das schichtweise Einarbeiten von zerkleinertem Antimotten-Pflanzenmaterial in den Dämmfilz (in Kombination mit Wasserglas) erscheint Herrn Meingast eine elegante Applikationsmethode zu sein, wenn die technische und wirtschaftliche Durchführbarkeit gegeben ist. Des Weiteren sind keine Störungen im Dämmstoffsystem durch das zugefügte Pflanzenmaterial zu befürchten. Beim Einarbeiten von mit Wirkstoffen gefüllten Nanofasern könnten hingegen hohe Kosten entstehen, die diese Technologie unrentabel machen würden.

Der Mottenschutz stellt für Roland Meingast (neben der Preisproblematik) die größte Herausforderung beim Einsatz von Schafwollämmstoffen dar, was die Wichtigkeit dieses

Projektes unterstreicht. Da Mitin von den Ökologie-bewussten Kunden abgelehnt wird, und das damit verbundene Imageproblem gelöst werden muss, kann Schafwolle erst mit einem neuen und unbedenklichen Mottenschutz im gesamten Potential ausgeschöpft werden. Dafür können neben fachgerechten Kursen für interessierte Anwender auch weitreichende Imagekampagnen helfen.

Der Einbau von Schafwollvliesen lässt sich in Form von Rollen sehr einfach verlegen (und ist in dieser Form auch im Versuchshaus in Tattendorf im Fußboden im Einsatz). Einblasen, ein preisgünstigeres Verfahren das bei Zellulosedämmstoffen angewendet wird, stellt bei Schafwolle keine praktikable Alternative dar, da die Filzstruktur zerkleinert werden müsste, wodurch eine Verschlechterung der Eigenschaften zu erwarten wäre.

Aufgrund der Feuchteunempfindlichkeit von Schafwolle und durch die Mottenschutzmischung zusätzlich gehemmt Schimmelwachstum (siehe nächstes Kapitel) könnte dieser Rohstoff in Zukunft eine Alternative (mit erhöhtem Wärmedämmwert) zu Perlit bei erdbodenberührtem Fußbodenaufbau (bei der Sanierung von vorindustriellen Bauten) werden. Dabei wird das Isolationsmaterial auf eine kapillARBrechende Schicht (zB. Blähglasschotter) aufgebracht. Die hohe Wasserdampfkonzentration in der Dämmschicht verhindert hier den Einsatz anderer nachwachsender Rohstoffe.

Im Bezug auf Schafe und Schafwolle in Österreich unterstreicht Roland Meingast die Bedeutung der Erhaltung der Trockenrasen durch Schafzucht und den Zusammenhang dieser Biotope mit Tourismus und Arterhaltung bzw. -diversität (z.B. Orchideen). Ein weiterer Grund, dass der erneuerbare Rohstoff Schafwolle andere nicht-nachwachsende Dämmstoffe ersetzen sollte.

4.5 Hemmung von Mikroorganismen

Um Verkeimungen von Dämmstoffen zu verhindern ist der Nachweis von Hemmung von Pilz- und Bakterienbewuchs wichtig. Da Schafwolle zu den besonders feuchtigkeitstoleranten Dämmstoffen gehört, stellt bei herkömmlichen Filzen das für den Brandschutz eingesetzte Borat einen ausreichenden Schutz dar.

Für zwei Pflanzen und ein verwendetes ätherisches Öl der neuen Mottenmischung gibt es Nachweise der bakterien- und pilzhemmenden Wirkung in der Literatur zu finden.

Die verschiedenen Wirkstoffklassen in diesen Pflanzen sind bei der Wahl von Extraktionsmitteln zu bedenken. Außerdem unterscheiden sie sich hinsichtlich ihrer (Temperatur-) Stabilität.

4.5.1 Lippenblütler

Das ätherische Öl dieser Pflanze wurde mehrmals auf seine keimhemmende Wirkung untersucht und ergab positive Ergebnisse. Die fungistatische (bzw. bei höheren Konzentrationen fungizide) Wirkung wird auf ein Anlagern der terpenoiden Bestandteile an die Zellwände der Pilzhyphen zurückgeführt, wodurch ein weiteres Wachstum verhindert wird (INOUYE et al., 2000; INOUYE et al., 2003). Bestandteile wie Perillaldehyd (60,8% des ätherischen Öls), Limonen (18,9%) und Perillasäure wurden auch als Einzelstoffe erfolgreich auf ihre antimikrobielle Wirkung hin untersucht. Dabei ist besonders hervorzuheben, dass eine breite Wirkung gegen gram-positive, gram-negative Bakterien, Pilze und Hefen erzielt werden kann. Sogar pathogene Keime (*E. coli*, *S. aureus*, Streptococci) werden gehemmt (Einsatz in der Medizin). (INOUYE et al., 2001; KIM et al., 1995)

4.5.2 Kreuzblütler

Die Wurzeln dieses Gewächses weisen eine antibiotische Wirkung auf. Neben anderen Substanzen ist das auf Allyl-Isothiocyant (400-2500 ppm) und Salicylsäure (15 ppm) zurückzuführen (DUKE, 1990). In Experimenten wurde z.B. eine Wirkung gegen *Bacillus subtilis*, *E. coli* und gegen die Hefe *Saccharomyces cerevisiae* bewiesen. Durch die Ausprägung von Chitin-spezifischen Peroxidasen beim (frischen) Meerrettich werden außerdem Pilze (mit Zellwand aus Chitin) gehemmt (MAKSIMOV et al., 2003).

4.5.3 Tropisches Gras

Das ätherische Öl dieses tropischen Grases besteht aus verhältnismäßig schwer flüchtigen Sesquiterpenen, die u. a. für die hervorragende pilzhemmende Wirkung verantwortlich gemacht werden (HAMMER et al., 1999).

4.6 Brandschutz

Schafwolle zeichnet sich durch eine verhältnismäßig schlechte Brennbarkeit aus. Der Brandschutz kann nötigenfalls (wenn Brandklasse B1 gefordert wird) mit Metalloxydhydraten (als Wasserabspalter im Brandfall) oder Boraten (hemmen Sauerstoffzutritt im Brandfall durch Krustenbildung), die gleichzeitig keimhemmend und mottenabwehrend wirken, verbessert werden. Die gleichmäßige Verteilung und Fixierung an den einzelnen Haaren im Vlies sind hier besonders wichtig, um einen guten Effekt zu erzielen.

Ein Nachteil der häufig eingesetzten Borate liegt in der gewässertoxischen Wirkung. Daher sind bei der Applikation Sicherheitsvorkehrungen zu treffen.

Die erwähnten Brandschutzmittel können (in Ergänzung zum mineralischen Anteil der Mischung) bei Bedarf – bei Anwendung eines Sprühverfahrens – in einem Prozess mit dem neu entwickelten Mottenschutzmittel auf den Schafwollämmstoff aufgebracht werden.

4.7 Wirtschaftliche Überlegungen

Um Erkenntnisse für eine Kommerzialisierung der neuen Mottenmischung zu gewinnen wurden erste Wirtschaftlichkeitsüberlegungen angestellt. Zu diesem Zweck wurden Daten über die pflanzlichen und mineralischen Rohstoffe, deren Verfügbarkeit und Kosten gesammelt, die Extraktions- und Applikationsmethoden verglichen und der Naturdämmstoffmarkt in Österreich im Bezug auf Mengen und Preise beleuchtet.

4.7.1 Rohstoff

Das benötigte Pflanzenmaterial für die neu entwickelte Mottenmischung ist in getrockneter Form das ganze Jahr verfügbar. Durch den heimischen Anbau (Ausnahme Neem) entfallen lange Transportwege, die Verfügbarkeit kann außerdem durch europäische Partner sichergestellt werden.

Beim Einsatz von 10% Pflanzenmaterial im Wollvlies (bzw. der Verwendung der Extrakte aus dieser Menge Rohstoff; entspricht ca. 5 g Extraktrockensubstanz pro kg Wolle bei einer Ausbeute von 5%) ist mit Materialkosten von ca. 0,7 Euro pro kg Wolle zu rechnen. Diesem Preis stehen ca. 0,4 Euro/kg beim Einsatz von Mitin gegenüber.

4.7.2 Kosten für Verarbeitung

Extraktion

Die Gewinnung von Pflanzenextrakten mit Ethanol als Lösungsmittel ist ein einfaches Verfahren, die im professionellen Einsatz eine Rückgewinnung des Alkohols ermöglicht.

Vor der eigentlichen Extraktion ist eine Zerkleinerung der Pflanzenteile in einer Mühle, im Anschluss eine Filtration zum Abtrennen der Pflanzenmatrix durchzuführen. Durch Eindampfen oder Verdunsten kann der Extrakt aufkonzentriert werden, nach dem Aufbringen auf die Schafwolle ist der Alkohol leicht zu entfernen (höhere Flüchtigkeit als Wasser).

Da keine giftigen Stoffe eingesetzt werden und eine Rückgewinnung möglich ist, kann dieses Verfahren kostengünstig durchgeführt werden.

Beim alternativen Einsatz von Pflanzenteilen im Dämmstoff ist das Mahlen zu einer optimalen Korngröße nötig. Die am besten geeignete Mahltechnologie muss in weiteren Versuchen ermittelt werden. Der Vorteil dieser Methode, nämlich die Anwendung eines trockenen, einstufigen Verfahrens ist preisgünstiger durchzuführen, als die Extraktion mit Ethanol. Allerdings stellt sich bei zerkleinerten Pflanzenteilen die Applikation der Wirkstoffe als komplizierter Prozess dar.

Applikation

Die Diversität der einsetzbaren Applikationstechnologien und das Fehlen von Versuchsdaten über Stoffströme bei den verschiedenen Prozessen lassen noch keine zuverlässigen Einschätzungen der Verfahrenskosten beim Aufbringen der Extrakte bzw. der Pflanzenmatrix auf den Naturdämmstoff zu. So ist außerdem anzunehmen, dass auch die nötigen Wirkstoffmengen, die nötig sind um einen sicheren Mottenschutz zu gewährleisten, und damit auch die Rohstoffmengen (und -kosten) mit der Applikationsart variieren. Aus dieser Wechselwirkung aus Rohstoff- und Prozesskosten kann erst bei Vorliegen konkreter Daten eine optimierte Variante gewählt werden.

Von Schafwollämmstoffherstellern wird der Einsatz von (farblosen) Extrakten in Form von Sprühverfahren mit einem sehr leicht flüchtigen Lösungsmittel (und daher kurzen Trocknungszeiten) als online-Prozess in der Fertigungsstraße bevorzugt (Alexander Lehner,

persönl. Mitteilung). In diesem Fall wird die Wolle direkt im Anschluss an das Waschen verarbeitet.

4.7.3 Kosten für die Zertifizierung

Die Zulassung von Bioziden wird in der EU in der Biozidlinie geregelt, wo die Ansprüche an Daten und Nachweise über die Sicherheit von neuen „Chemikalien“ für die Abwehr von Schadorganismen festgelegt sind.

Eine Zertifizierung kommt bei der Durchführung aller nötigen Toxizitätstests und Untersuchungen zur Charakterisierung der eingesetzten Substanzen auf ca. 2 Mio. Euro. Hierbei werden Informationen zu Toxizität und Ökotoxizität (Kurz- und Langzeit) gesammelt und physikalisch-chemische Charakterisierungen vorgenommen. Außerdem muss die Wirksamkeit der Substanz im Einsatzgebiet nachgewiesen werden. Tests auf Nützlingsschädigung können im Bereich der Dämmstoff entfallen, da kein direkter Kontakt zur Umwelt erfolgt.

Bei Substanzen, die bereits in Monografien beschrieben sind (pharmazeutische Inhaltsstoffe oder Lebensmittelzusatzstoffe), können große Teile der teuren Untersuchungen entfallen. Allerdings ist die Beurteilung von der Einschätzung der Registrierungsbehörden abhängig. Die Kosten für das Zulassungsverfahren (wenn bereits alle Daten über das neue Biozid vorliegen) betragen 80.000 bis 120.000 Euro (Dr. Hubertus Kleeberg, persönl. Mitteilung).

Da alle in der neu entwickelten Mottenmischung enthaltenen Pflanzen als Lebensmittel oder Heilmittel Verwendung finden und die mineralischen Bestandteile bereits in vielen Feldern eingesetzt werden, kann davon ausgegangen werden, dass die Zahl der nötigen Untersuchungen und die damit verbundenen Kosten für eine EU-Zertifizierung stark reduziert werden können.

4.7.4 Schafwollpreis

Der Vorteil der Feuchtetoleranz der Schafwolle im Einsatz als Dämmstoff rechtfertigt vor allem bei Spezialanwendungen, zum Beispiel bei der Althausanierung, einen höheren Preis als bei anderen Isoliermaterialien. Auch der „Ökofaktor“, also der Wunsch, einen nachwachsenden Rohstoff mit hervorragenden Klimaeigenschaften beim Hausbau einzusetzen, führt dazu, dass vom informierten Konsumenten ein Mehrpreis akzeptiert wird. Ein für Mensch und Umwelt ungiftiger Mottenschutz, der eine Garantie des Herstellers über die Mottensicherheit ermöglicht, verbessert die Umweltverträglichkeit und damit das Image der Schafwolle. Geringfügig höhere Preise sind daher für den Konsumenten tragbar.

Momentan liegt der Verkaufspreis für den Dämmstoff Wolle (aus Österreich) je nach Qualität in einem Bereich von 2,2 bis 2,6 Euro pro kg. Diese Werte lassen nur geringe Verteuerungen durch einen neuen Mottenschutz zu, gerade weil Schafwolle im obersten Preisbereich der Dämmstoffe angesiedelt ist. Laut Alexander Lehner von Fa. Isolena wären die hier errechneten Mehrkosten von ca. 0,5 Euro pro kg durch Verwendung von Pflanzenextrakten für Dämmstoffe nicht tragbar. Daher ist die Menge an Pflanzenrohstoff in weiteren Versuchen auf ein Minimum zu reduzieren und die Applikationstechnik durch Optimierung so kostengünstig wie möglich zu gestalten.

4.7.5 Markt

In Österreich werden zu Zeit ca. 260 t Schafwollämmstoff pro Jahr eingesetzt. Europaweit beläuft sich der Verbrauch auf 400 bis 500 t pro Jahr. Hier zeigt sich bei einem Verbot von Mitin also ein enormes Potential für das neue Mottenschutzmittel.

Zusätzlich können auch einige Tonnen anderer Schafwollprodukte (v.a. Matratzen) mit dem neuen, gesundheitsfreundlichen Mottenschutz versehen werden, wodurch sich die Absatzmöglichkeit erhöht. Außerdem ist die Nachfrage nach Schafwolle als Dämmstoff in Österreich und anderen Teilen der EU im steigen (Alexander Lehner, persönl. Mitteilung).

Um das Risiko einer Vermarktung des neuen Mottenmittels zu minimieren müssen umfangreiche Marktstudien durchgeführt werden, da herausgefunden werden muss, wie weit Preis erhöhungen von Käufern getragen werden.

4.8 Schlussfolgerungen

Die Aufgabe dieses Projekts war die Untersuchung von pflanzlichen Extrakten als Mottenschutz für Schafwollämmstoffe, um einen Ersatz für das gesundheitlich und umwelttoxikologisch bedenkliche Mitin FF zu finden, das in Kürze in der EU verboten sein wird. Ab Juli 2006 soll das „sulfonierte Harnstoffderivat“ auf Schafwollämmungen in Europa nicht mehr eingesetzt werden.

Wiederholt haben wir auf die Vorteile von Schafwolle als nachwachsendem Isolationsmaterial hingewiesen: sie bestehen vor allem in der Feuchtigkeitstoleranz, der Aufnahme von Schadstoffen aus der Raumluft und der im Verhältnis zu anderen Biodämmstoffen schlechten Brennbarkeit. Die bisher auf dem Markt befindlichen Mottenabwehr-Präparate (wie z.B. Neem) verfügen über keine ausreichende Temperaturstabilität bzw. Bindung an die Wolle, um einen dauerhaften, zuverlässigen Mottenschutz zu garantieren.

Die Extraktionen verschiedener (zum großen Teil heimischer) Pflanzen, Applikation auf Schafwollfilz, Temperaturbelastung der Proben und anschließender Tests auf Mottenabwehr führte zu einer neu entwickelten Antimottenmischung, der zur Erhöhung der Wirksamkeit zwei mineralische Synergisten beigegeben wurden. Die Pflanzensubstanzen führen weiters zu einem effektiven Schutz gegen bakteriellen und Pilzbefall.

Einige mögliche großtechnische Applikationsverfahren in der Theorie und eine der Methoden im Labormaßstab wurden systematisch untersucht. Der Einsatz von Sprühverfahren (wie auch zur Zeit bei Mitin FF in Anwendung) oder neue Methoden wie das Einfilzen von mit Mottenmischung gefüllter Nanofasern – die zu einem Retardierungseffekt der Wirkstoffe führen – erscheinen bisher als die aussichtsreichsten Prozesse.

Der steigende Bedarf an Schafwoll-Isolationsmaterial mit einem gleichzeitigen Verbot von Mitin FF ermöglicht ein hohes Potential für den neu entwickelten Mottenschutz bei einer späteren Vermarktung.

5 AUSBLICK

Bei den Untersuchungen in diesem Projekt hat sich herausgestellt, dass die Prozess-Technologie zur Herstellung und Applikation der neuentwickelten Mottenmischung in weiteren Versuchen optimiert werden muss, um ein konkurrenzfähiges Produkt auf dem Markt zu etablieren. Dabei müssen einerseits die Extraktionsverfahren bzw. Applikationstechnologien auf bzw. in der Wollmatrix optimiert und andererseits die Wirkstoffmengen auf Schafwollfilzen in der Weise dosiert werden, sodass für die Mottenschutz-Ausrüstung ein optimales Preis-Leistungsverhältnis erreicht wird. Vor der Markteinführung müssen noch Erkenntnisse über die verschiedenen Applikationsverfahren durch Versuche im Pilotmaßstab gesammelt werden. Dafür konnten einige neue Partner gefunden und weiterführender Untersuchungen geplant werden.

Das Interesse der alten und neuen Partner ist in Folge des drohenden Mitin-Verbots ab Juli 2006 in der EU erheblich verstärkt worden. Schafwollverarbeitende Betriebe müssen nun neue Wege finden, um ihre Produkte vor Motten zu schützen, oder sie weichen auf Wollwäschereien außerhalb des europäischen Raums aus, die weiterhin mit den bedenklichen Organhalogenverbindungen arbeiten.

Gemeinsam mit Kollegen aus Wissenschaft und Industrie soll nicht nur ein Motten-Präventions-System für Dämmstoffe aus Schafwolle, sondern in Folge auch für andere Wollprodukte etabliert werden. Denn die kuschelweiche, atmungsaktive und schadstoffabsorbierende Keratinfaser ist in vielerlei Produkten Teil unserer Alltagskultur. So sollen u.a. Teppiche und Matratzen, deren Mitin- bzw. Pyrethroidausrüstung zu einer vermeidbaren Wohnraumbelastung führt, mit innovativen, ganzheitlichen Methoden vor dem Wollschädling Kleidermotte geschützt werden. Dabei kommen ergänzend zu den beim Dämmstoff ausgesuchten Repellent-Strategien vor allem auch Mating Disruption und Fallensysteme auf Pheromonbasis in Frage.

Ein wichtiger Faktor bei dieser Thematik ist der Kontakt zu Woll-verarbeitenden Betrieben und Wollwäschereien, die den Mottenschutz nicht in erster Linie wegen des Befalls beim Endkunden einsetzen, sondern wegen der Lagerung im eigenen Unternehmen. Daher müssen die neuen Systeme auf die Anwendbarkeit in diesen Verarbeitungsbetrieben zugeschnitten werden.

Das nahende Mitin-Verbot wird von unserer Arbeitsgruppe ausdrücklich begrüßt, da die umweltgefährdenden und humantoxikologischen Eigenschaften (inkl. Akkumulierung in biologischen Systemen) gravierende Langzeit-Folgen befürchten lassen. Das Aus für den „chlor-chemischen Wolf im Schafspelz“ macht nun rasches Handeln erforderlich. Gemeinsam mit den wichtigen Schafwoll-Playern (Produzenten, Wäscherei, Ausrüster, Verarbeiter, Handel und Baubeteiligte) sollte verhindert werden, dass die Nutzung der heimischen Schafwolle ab Mitte 2006 zum Erliegen kommt. Denn wenn die Schafwoll-Dämmstoff-Produkte aus den Sortimenten der großen Baumärkte einmal verschwunden sind, dürfte eine neuerliche Listung erhebliche Schwierigkeiten bereiten.

Die guten Ergebnisse des Projektes „Motte & Schafwolle“ geben uns jedoch Grund zur Hoffnung, dass die hervorragenden Eigenschaften dieses traditionsreichen und zukunftsfähigen Naturmaterials beim Neubau und bei der Sanierung für das „wohngesunde Haus der Zukunft“ weiterhin einen wichtigen Baustein bilden. Denn dahinter steht die erfolgreiche Strategie des nachhaltigen Bauens bei optimaler Wärmedämmung, eine wirkungsvolle ökologische Maßnahme, die nicht nur die Gewinn-Verlust-Rechnung der Bauherren bzw. Mieter verbessert, sondern auch dem Schutz nachfolgender Generationen dient.

6 LITERATUR

- AINGE, G. D., LORIMER, S.D., GERARD, P.J., RUF, L.D., 2002: Insecticidal activity of huperzine A from the New Zealand clubmoss, *Lycopodium varium*. Journal of Agricultural and Food Chemistry 50, 491-494.
- BISWAS, K., CHATTOPADHYAY, I., BANERJEE, R. K., BANDYOPADHYAY, U., 2002: Biological activities and medicinal properties of neem (*Azadirachta indica*). Current Science 82, 11, 1336-1345.
- BONWICK, G.A., CRESSWELL, J.E., TYREMAN, A.L., BAUGH, P.J., WILLIAMS, J.H., SMITH, C.J., ARMITAGE, R., DAVIES, D.H., 1996: Production of murine monoclonal antibodies against sulcofuron and flucofuron by in vitro immunisation. J. Immunol. Methods 196, 2, 163-173.
- BURFIELD, T., REEKIE, S.-L., 2005: Mosquitoes, malaria and essential oils. International Journal of Aromatherapy 15, 1, 30-41.
- BUWAL, 2004, Abteilung Artenmanagement Sektion Jagd & Wildtiere: Schafberg Bulletin. Reinhard Schnidrig (Herausgeber)
- CHAPMAN, R.F., 1983: The insects. Structure and Function. London: Hodder and Stoughton, 71-73.
- CURTIS, S., 1996: Essential Oils: Neal's Yard Remedies. Auriern Press.
- CZAJKA, S., 1996: Neem: Ein Baum zwischen Tradition und Moderne. Pharmazeutische Zeitung 141, 21, 30-32.
- DE, M., DE, A. K., BANERJEE, A. B., 1999: Antimicrobial Screening of some Indian spices. Phytotherapy Research 13, 7, 616-618.
- DIKSHI, A., HUSAIN, A., 1984: Antifungal action of some essential oils against animal pathogens. Fitoterapia 55, 171-6.
- DUKE, J. A., 1990: A Field Guide to Medicinal Plants – Eastern and Central North-America. Houghton Mifflin Co.
- DUKE, J. A., 1992: Handbook of phytochemical constituents of GRAS herbs and other economic plants. Boca Raton, FL. CRC Press.
- DWI-Studie 1998: Aufnahme und Bindung von Innenraum-Schadstoffen durch Wolle (Keratinfaser) am Beispiel Formaldehyd.
- Energieinstitut Vorarlberg/Land Vorarlberg, 2001: *Vermeidung umweltbelastender Materialien*. In: Ökologischer Wohnbau 2002 und 2003, Anhang A: Ökologischer Maßnahmenkatalog. Ausgabe Dezember 2001, 4-13.

-
- GANGRADE, S.K., SHRIVASTAVA, R.D., 1991: In vitro antifungal effect of the essential oils. *Indian Perfumer* 35(1): 46-49.
- GARG, S., 1994: Antifertility activity of Neem (*Azadirachta indica*) extracts. *Indian Drugs* 31, 9, 401-404.
- HAMMER, K.A., CARSON, C.F., RILEY, T.V., 1999: Antimicrobial activity of essential oils and other plant extracts. *J Appl Microbiol* 86, 6, 985-90.
- HAMMERS, I., ARNS, W., ZAHN, H., 1987: Scanning Electron Microscopic Investigations of the Breakdown of Wool by Insect Larvae. *Textile Res. J.* 57, 401-406.
- HANCOCK, P.M., WHITE, S.J.G., BAUGH, P.J., 1997: Determination of the Mitins, Sulcofuron and Flucofuron, Using Liquid Chromatography Combined with Negative Ion Electrospray Ionisation Mass Spectrometry. *Rapid Commun. Mass Spectrom.* 11, 195-200.
- HARBORNE, J. B., BAXTER, H. (eds.), 1983: *Phytochemical Dictionary. A Handbook of Bioactive Compounds from Plants*, Taylor & Frost, London, 791.
- HENSCHLER, D., 1994: *Toxikologie chlororganischer Verbindungen*, VCH Weinheim.
- HOFER, A., 1985: *Stoffe 1. Textilrohstoffe, Garne, Effekte*. 6. Auflage, Frankfurt am Main: Deutscher Fachverlag GmbH, 107.
- INOUE, S., TSURUOKA, T., WATANABE, M., TAKEO, K., AKAO, M., NISHIYAMA, Y., YAMAGUCHI, H., 2000: Inhibitory effect of essential oils on apical growth of *Aspergillus fumigatus* by vapour contact. *Mycoses* 43, 1-2, 17-23.
- INOUE, S., TAKIZAWA, T., YAMAGUCHI, H., 2001: Antibacterial activity of essential oils and their major constituents against respiratory tract pathogens by gaseous contact. *Journal of Antimicrobial Chemotherapy* 47, 565-573.
- INOUE, S., ABE, S., YAMAGUCHI, H., ASAKURA, M., 2003: Comparative Study of antimicrobial and cytotoxic effects of selected essential oils by gaseous and solution contacts. *International Journal of Aromatherapy* 13, 1, 33-41.
- ISMAN, M. B., 2005: Botanical Insecticides, Deterrents, and Repellents in Modern Agriculture and an Increasingly Regulated World. *Annu. Rev. Entomol.* 51, 45-66.
- KIM, J., MARSHALL, M. R., WIE, C., 1995: Antibacterial activity of some essential oil components against five foodborne pathogens. *J. Agric. Food Chem.* 43, 11, 2839-2845.
- KLUTTIG, H., ERHORN, H., 2003: Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen an Niedrigenergiehäusern mit unterschiedlichem Dämmniveau und verschiedenen technischen Anlagen. *IBP-Mitteilungen* 424.
- LAWRENCE, P. K., KOUNDAL, K. R., 2002: Plant protease inhibitors in control of phytophagous insects. *Electronic Journal of Biotechnology* 1, 1-17.
- MAKSIMOV, I. V., CHEREPANOVA, E. A., Khairnullin, R. M., 2003: Chitin-specific peroxidases in plants. *Biochemistry (Mosc.)* 68, 1, 111-115.

- MURPHY, D.P.L., BOCKISCH, F.-J., SCHÄFER-MENUHR, A., 1999: Möglichkeiten und Chancen von heimischen nachwachsenden Rohstoffen zur Nutzung als Dämm-Material. Landbauforschung Völkenrode. Sonderheft 203.
- OBENLAND, H., MARAUN, W., KERBER, T., PFEIL, S., ANGLES-ANGEL, J., 1998: Eulan, W A, Eulan U: Wirkstoffe und Vorkommen in Hausstäuben. Zeitung für Umweltmedizin 1/1998, 24-26.
- Öko-Test: Da lachen ja die Milben. ÖKO-TEST Jahrbuch Gesundheit für 2004. Ökotestbericht zu Milbenvernichtungsmitteln.
- REMBOLD, H., OETZEL, H., 2004: Kontrolle der Hausstaubmilbe, *Dermatophagoides farinae*, durch Wirkstoffe aus dem Samen des Neembaums, *Azadirachta indica*. A.Juss. Allergo Journal 13, 269-273.
- ROTH, 1996: Wassergefährdende Stoffe , ecomed (1996:30)
- SCHUH, H., 2004: Kleingärtners Biowaffen. Mikroben, Pilze und Käfer sollen Pestizide ersetzen. Doch die biologische Schädlingsbekämpfung hat in Europa gegen die Bürokratie kaum eine Chance. DIE ZEIT 29.01.2004 Nr.6.
- SCOTT, I.M., KAUSHIK, N.K., 1998: The toxicity of Margosan-O, a product of neem seeds, to selected target and nontarget aquatic invertebrates. Archives of Environmental Contamination and Toxicology 35, 3, 426-431.
- SUNDARAM, K.M.S, 1996: Azadirachtin biopesticide: a review of studies conducted on its analytical chemistry, environmental behaviour and biological effects. Journal of Environmental Science and Health Part B, Pesticides, Food Contaminants, and Agricultural Wastes 31, 4, 913-948.
- TAKACS, S., GRIES, G., GRIES, R., 2001: Communication ecology of webbing clothes moth: 4. Identification of male- and female-produced pheromones. Chemoecology 11, 153-159.
- TAKACS, S., GRIES, G., GRIES, R., 2001: Communication ecology of webbing clothes moth: 1. Semiochemical-mediated location and suitability of larval habitat. J. Chem. Ecol. 27, 8, 1535-1546.
- TAKACS, S., GRIES, G., GRIES, R., 2001: Communication ecology of webbing clothes moth: 2. Identification of semiochemicals mediating attraction of adults to larval habitat. J. Chem. Ecol. 27, 8, 1547-1560.
- TICHENOR, B.A., SPARKS, L.A., WHITE, J.B., JACKSON, M.,D., 1990: Evaluating sources of indoor air pollution. J Air Waste Manage Assoc. 40, 4, 487-492.
- TITSCHACK, E., 1922: Beiträge zu einer Monographie der Kleidermotte, *Tineola bisselliella*. Sonderdruck aus der Zeitschrift für technologische Biologie, Band X Heft ½. Leipzig: Borntraeger.
- TRAYNIER, R.M., SCHUMACHER, R.K., LAU, D.M., 1994: Oviposition site selection by *Tineola bisselliella*, *Tinea spp.* (Lepidoptera: Tineidae) and *Anthrenus flavipes* (Coleoptera: Dermestidae). Journal of Stored Products Research 30. 321-329.

-
- WARD, C. W. 1975: Aminopeptidases in webbing clothes moth larvae. Properties and specificity of the major enzyme of low electrophoretic mobility. *International Journal of Biochemistry* 6, 11, 765-766.
- WARD, C.W., 1975: Resolution of proteases in the keratinolytic larvae of the webbing clothes moth. *Aust. J. Biol. Sci.* 28,1, 1-23.
- WARD, C.W., 1976: Properties of the major carboxypeptidase in the larvae of the webbing clothes moth, *Tineola bisselliella*. *Biochimica et Biophysica Acta – Enzymology* 429, 2, 564-572.
- WELS, D.E., 1979: The Isolation and Identification of Polychloro-2-(Chloromethylsulfonamide)-diphenylether isomers and their metabolites from EULAN WA NEU and fish tissue by gas-chromatography-mass spectroscopy, *Analytica Chimica Acta* 104, 253-266.
- WEINS, C., JORK, H., 1996: Toxicological evaluation of harmful substances by in situ enzymatic and biological detection in high-performance thin-layer chromatography. *Journal of Chromatography A* 750, 403-407.
- WIMMER, R. et al., 2001: Fördernde und hemmende Faktoren für den Einsatz Nachwachsender Rohstoffe im Bauwesen. Grundlagenstudie im „Haus der Zukunft“, BMVIT.
- WUDTKE A., 2002: Möglichkeiten des Methodentransfers vom Vorratsschutz zum Materialschutz – Bekämpfung von Museumsschädlingen am Beispiel der Kleidermotte *Tineola bisselliella* (Hum. 1823), Lepidoptera: Tineidae. Dissertation, Humboldt-Universität Berlin.

7 ABBILDUNGSVERZEICHNIS

	Seite
Abbildung 1	01
Abbildung 2	01
Abbildung 3	04
Abbildung 4	06
Abbildung 5	06
Abbildung 6	07
Abbildung 7	08
Abbildung 8	21
Abbildung 9	23
Abbildung 10	26
Abbildung 11	32
Abbildung 12	33
Abbildung 13	34
Abbildung 14	37
Abbildung 15	39
Abbildung 16	39
Abbildung 17	40
Abbildung 18	40
Abbildung 19	41
Abbildung 20	41
Abbildung 21	41
Abbildung 22	42
Abbildung 23	42
Abbildung 24	42
Abbildung 25	45
Abbildung 26	47
Abbildung 27	48
Abbildung 28	48
Abbildung 29	49
Abbildung 30	50
Abbildung 31	51
Abbildung 32	61
Abbildung 33	66
Abbildung 34	74
Abbildung 35	74
Abbildung 36	79
Abbildung 37	80
Abbildung 38	81
Abbildung 39	81

Abbildung 40	Tropische Graswurzel	82
Abbildung 41	Filzschicht mit applizierter Mottenmischung	84
Abbildung 42	Versuchsdämmstoffplatte in Seitenansicht	84
Abbildung 43	Versuchsteil als Bodendämmstoff	85
Abbildung 44	Roland Meingast mit dem Versuchsbauteil	86

8 TABELLENVERZEICHNIS

		Seite
Tabelle 1	Ausgewählte Pflanzen zur Anwendung in Biotests mit Larven der Kleidermotte (1)	15
Tabelle 2	Ausgewählte Pflanzen zur Anwendung in Biotests mit Larven der Kleidermotte (2)	16
Tabelle 3	Ausgewählte Pflanzen zur Anwendung in Biotests mit Larven der Kleidermotte (3)	17
Tabelle 4	Mottenschutzmischung	26
Tabelle 5	Schadstoffkonzentrationen vor u. nach Einbringen...	32
Tabelle 6	Extraktausbeuten aus trockenem Pflanzenmaterial	70
Tabelle 7	Urextrakt	71
Tabelle 8	Toxische und wachstumshemmende Wirkungen der Pflanzenextrakte...	72
Tabelle 9	Toxische und wachstumshemmende Wirkungen der Pflanzenextrakte...	73
Tabelle 10	Toxische und wachstumshemmende Wirkungen lipophiler Pflanzenextrakte...	76
Tabelle 11	Toxische und wachstumshemmende Wirkungen lipophiler Pflanzenextrakte...	77
Tabelle 12	Ergebnisse des Mottentest 4	78