

Julius Kühn-Institut, Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Institut für Biologischen Pflanzenschutz, Darmstadt

Färberwaid (*Isatis tinctoria* L.): Perspektiven einer vielseitigen Nutzpflanze

Woad (*Isatis tinctoria* L.): Prospects of a useful crop

Renate Kaiser-Alexnat

Zusammenfassung

Der Färberwaid ist eine alte Kulturpflanze, die im mittelalterlichen Europa zur Gewinnung des blauen Farbstoffs Indigo angebaut wurde. Mit der Einführung des billigeren Naturindigos aus Asien ging der Anbau von Färberwaid im 17. Jahrhundert jedoch immer mehr zurück. Das endgültige Aus kam mit der Entwicklung der Indigosynthese durch die chemische Industrie gegen Ende des 19. Jahrhunderts. Doch in der heutigen Zeit gewinnt der Färberwaid wieder an Bedeutung. Aufgrund einer Vielzahl wertbestimmender Eigenschaften wird er nicht nur als Indigo-Lieferant wieder entdeckt, sondern findet auch wegen vielfältiger weiterer Nutzungsmöglichkeiten Beachtung.

Ein charakteristisches Merkmal der Cruciferae – zu denen auch der Färberwaid gehört – ist der Gehalt an Glucosinolaten. Der enzymatische Abbau von Glucosinolaten wird durch das Enzym Myrosinase katalysiert. Beim Abbau der Glucosinolate entstehen chemische Verbindungen mit zum Teil herbizider, fungizider, bakterizider, nematozider und insektizider Wirkung.

Im Rahmen der vorgestellten Untersuchungen wurde die allelopathische Wirkung verrottender Waideschötchen im Hinblick auf eine potentielle Nutzung für die Beikrautregulierung überprüft. Dazu wurde untersucht, ob die Waideschötchen eine hemmende Wirkung auf die Keimung und Jungpflanzenentwicklung ausgewählter Problemunkräuter sowie im Ackerboden enthaltene Unkrautsamen haben und welche Aufwandmengen dazu erforderlich sind. Als Quintessenz bleibt festzuhalten, dass die keimhemmende Wirkung der Waideschötchen bestätigt werden konnte. Die Aufwandmengen zur Erzielung dieser Wirkung waren bei der angewandten Applikationsform – der Einarbeitung von Waid-Schötchen-Mehl in den Boden – jedoch so hoch, dass eine praktische Anwendung – insbesondere unter Feldbedingungen – als nicht praktikabel erscheint. Es wird allerdings diskutiert, ob die keimhemmende Wirkung durch eine veränderte Aufarbeitung der Waideschötchen – bei gleichzeitig veränderter Applikation – für ausgewählte Anwendungsbereiche doch noch interessant werden könnte.

Stichwörter: Färberwaid, *Isatis tinctoria* L., Schötchen, Keimhemmung, Unkrautsamen, Acker-Kratzdistel (*Cirsium arvense* L.), Krauser Ampfer (*Rumex crispus* L.), Gemeine Quecke (*Agropyron repens* L.), Glucosinolate, Glucosinolat-Myrosinase-System, Allelopathie

Abstract

Woad is an ancient cultivated plant that was grown in the medieval Europe to produce the blue dye stuff indigo. For a long

time woad was the only source for dyeing textiles blue in Europe. Due to the import of cheaper natural indigo from Asia, produced from *Indigofera* species, the cultivation of woad decreased during the 17th century. Finally, the indigo synthesis was developed by the chemical industry, and as a result the cultivation of woad stopped completely at the end of the 19th century. However, nowadays woad is gaining significance increasingly. Due to a multitude of precious characteristics it is not only being re-discovered as a supplier of natural indigo – but it also attracts interest because of further manifold utilization potentials.

A characteristic feature of *Cruciferae* – to which woad belongs – is the content of glucosinolates. The enzymatic procession of glucosinolates is catalyzed by the enzyme myrosinase. As a result of glucosinolate degradation, chemical compounds with herbicidal, fungicidal, bactericidal, nematocidal, and insecticidal effects were described.

Within the presented examinations, the allelopathic effect of decomposed woad fruit – the silicles – was verified with respect to a potential use for weed control. Thus it was tested whether the fruit of woad have an inhibitory effect on the germination and early plant development of selected weeds as well as which application rate is needed. As a result it can be concluded, that the germination inhibitory effect of the fruit of woad was confirmed. However, with the used application method – mix-up of woad-fruit-powder into the soil – the required application rate was very high. Thus a practical use – especially under field conditions – is irrelevant. However, the usage of the germination inhibitory effect is discussed under modified preparation and application techniques.

Key words: Woad, *Isatis tinctoria* L., fruit, silicles, germination inhibition, weed seeds, creeping thistle (*Cirsium arvense* L.), curled dock (*Rumex crispus* L.), common couch (*Agropyron repens* L.), glucosinolate, glucosinolate-myrosinase-system, allelopathy

Einleitung

Geschichte und Entwicklung

Der Färberwaid (*Isatis tinctoria* L.) ist eine alte Kulturpflanze, die im mittelalterlichen Europa zur Gewinnung des blauen Farbstoffs Indigo angebaut wurde. In Deutschland hat der Anbau von Färberwaid vor allem in Thüringen eine lange Tradition. Als des „Thüringer Landes goldenes Vlies“ begründete er im Mittelalter den Reichtum dieser Region. Das trockene und

warme Klima des Thüringer Beckens mit seinen kalkhaltigen, tiefgründigen Böden begünstigte die Erzeugung von Färberwaid mit hoher Qualität. Aber auch die zentrale Lage des Thüringer Beckens mit seiner Anbindung an wichtige Handelsstraßen in Ost-West- und Nord-Süd-Richtung hat den Anbau von Färberwaid in Thüringen begünstigt.

Lange Zeit war der Färberwaid die einzige Quelle zum Blaufärben von Textilien in Europa. Mit der Einführung des billigeren Naturindigos aus Asien, der aus *Indigofera*-Arten gewonnen wird, ging der Anbau von Färberwaid im 17. Jahrhundert jedoch immer mehr zurück. Das endgültige Aus kam mit der Entwicklung der Indigosynthese durch die chemische Industrie gegen Ende des 19. Jahrhunderts.

Doch in der heutigen Zeit gewinnt der Färberwaid wieder an Bedeutung. Zu Beginn der 80er Jahre entdeckte der Neudietendorfer Malermeister Wolfgang Feige die traditionsreiche Pflanze neu. Angeregt durch den Waidbauern im Wappen seiner Heimatstadt begann er die Geschichte des Färberwaid zu erforschen und suchte nach Alternativen für eine Nutzung in der heutigen Zeit. Als Ergebnis dieser und weiterer Untersuchungen konnten eine Reihe von Produkten auf der Basis von Färberwaid entwickelt werden, so dass der Färberwaid inzwischen wieder flächenmäßig angebaut wird (vgl. KAISER-ALEXNAT, 2007).

Biologie und Anbau

Der Färberwaid gehört zur Familie der Kreuzblütler (Cruciferae bzw. Brassicaceae). Er ist winterannuell und zweijährig. Obwohl seine Ansprüche an Klima und Boden sehr gering sind, bevorzugt er gegen Winde und Spätfröste geschützte Lagen sowie warm-trockene, leichte bis mittlere, tiefgründige, humose Böden. Der Waid ist frosthart und braucht für die Keimung ca. 2 bis 4°C. Bei Aussaat im Spätherbst – ab Ende Oktober – bzw. im zeitigen Frühjahr – von Anfang März bis Mitte April – bleibt er im ersten Anbaujahr in der vegetativen Phase mit zahlreichen Blättern, die in einer grundständigen Blattrosette angeordnet sind. Aufgrund seiner guten Regenerationsfähigkeit ist der Färberwaid im ersten Jahr mehrschnittig nutzbar. Der erste Schnitt der Waidblätter sollte nach Bestandesschluss etwa Ende Juni bis Anfang Juli erfolgen. Folgeschnitte sind alle 5 bis 7 Wochen möglich, so dass in der Regel drei Schnitte im Jahr erfolgen können. Die Erträge liegen bei 150 bis 250 dt/ha Frischmasse. Für die Blätter haben sich Spezialmaschinen aus dem Gemüse- bzw. Kräuteraanbau, z. B. die Spinat- oder Petersilienerntetechnik bewährt (BIERTÜMPFEL et al., 2004; KAISER, 1993).

Nach dem Winter schosst der Färberwaid im zweiten Anbaujahr zu Vegetationsbeginn und bildet viele 1 bis 1,8 Meter hohe Stängel. Anfang bis Mitte Mai entwickeln sich zahlreiche gelbe Blüten, die in doldigen Rispen angeordnet sind und aus denen als Früchte die Schötchen hervorgehen. Die überwiegend einsamigen Schötchen sind hängend, verfärben sich zur Reife schwarz-violett und bleiben geschlossen. Die Samenreife setzt etwa 6 bis 7 Wochen nach der Blüte ein. Die Schötchen werden mit dem Mährescher geerntet und die eingeschlossenen Samen mit Dreschmaschinen oder Reibern gewonnen. Der Samenertrag liegt bei ca. 2 bis 4 dt/ha. Die Samen enthalten ca. 30 bis 35 % Öl, das in seiner Zusammensetzung dem ursprünglichen Rapsöl gleicht (BIERTÜMPFEL et al., 2004; KAISER, 1993).

Beim Thüringer Zentrum Nachwachsende Rohstoffe der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft wurde ein modernes Anbauverfahren entwickelt, sodass eine effiziente und umweltgerechte pflanzliche Erzeugung des Färberwaid gewährleistet ist (THÜRINGER LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT, 2003).

Für den Färberwaid gibt es keine zugelassenen Sorten, sodass in den vergangenen Jahren ein heterogenes Genotypenge-

misch unter dem Namen „Thüringer Waid“ angebaut wurde. Durch die seit 1991 beim Thüringer Zentrum Nachwachsende Rohstoffe der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft in Dornburg durchgeführten Züchtungsarbeiten wurde jedoch verbessertes Pflanzenmaterial hinsichtlich Ertrag und agrotechnischer Eigenschaften selektiert (BIERTÜMPFEL et al., 2003). Dabei spielen - unabhängig von der Nutzungsrichtung – vor allem agronomisch relevante Parameter wie Blattertrag, Regenerationsvermögen nach der Blatternte sowie Blattstellung und Blattbearbeitung eine Rolle. Bisherige züchterische Arbeiten mit Färberwaid weisen auf eine außerordentlich große Variabilität dieser Merkmale hin (KAISER-ALEXNAT, 1994; KRAUSSE und KLIEM, 1994; SPATARO et al., 2007).

Verarbeitung und Nutzung

Für den Färberwaid gibt es aufgrund einer Vielzahl wertbestimmender Eigenschaften sehr vielfältige Nutzungsmöglichkeiten (FISCHER, 1997; KAISER-ALEXNAT, 2007):

Aufgrund der verstärkten Nachfrage nach Produkten, die aus natürlichen Materialien hergestellt sind, nimmt das Interesse an Naturfarbstoffen wieder zu. Und so gibt es inzwischen auch wieder Interessenten für Blaufärbungen mit Indigo aus dem Färberwaid. In der Waidpflanze liegt der Indigo nicht als blauer Farbstoff vor, sondern in Form der wasserlöslichen, farblosen Indigovorstufe Isatan B. Erst durch Hydrolyse und anschließende Oxidation entsteht der wasserunlösliche Blaufarbstoff Indigo, der zur so genannten Küpenfärbung verwendet wird.

Eine bereits im griechischen Altertum bekannte Nutzungsmöglichkeit des Waid ist die Verwendung als Arzneipflanze. In der traditionellen chinesischen Medizin finden die Blätter und Wurzeln als Aufguss äußerlich bei Schwellungen, Hautrötungen, Ausschlägen und Hautgeschwüren sowie als Gurgellösung bei Rachenentzündungen Verwendung.

Aktuelle Untersuchungen befassen sich mit der pharmazeutischen Nutzung des Färberwaid, wobei vor allem die krebs- und entzündungshemmende Wirkung Beachtung findet (HAMBURGER, 2002; HAMBURGER, 2005; MINGZHU und BANGYUAN, 1983).

Die Waidblätter werden aber auch für die Herstellung von Holz- und Bautenschutzmitteln verwendet, wobei die hemmende Wirkung des Waidblattsafte auf verschiedene Pilze und Insekten genutzt wird (BUGGE und HEINER, 1995; SEIFERT und UNGER, 1994). Dazu müssen die von den Landwirten frisch angelieferten Waidblätter sofort verarbeitet werden, damit die wertbestimmenden Inhaltsstoffe des Waidssafte nicht durch irreversible Prozesse verloren gehen. In einem mehrwöchigen Fermentationsprozess bilden sich die gewünschten chemischen Verbindungen. Nach einer Stabilisierungsphase wird der abgepresste Waidssaft schließlich als Rohstoffgrundlage zur Herstellung der genannten Produkte eingesetzt.

Glucosinolat-Myrosinase-System und biologische Wirkung

Ein charakteristisches Merkmal der Cruciferae – zu denen auch der Färberwaid gehört – ist der Gehalt an Glucosinolaten. Die Glucosinolate oder Senfölglykoside sind Verbindungen des Sekundärstoffwechsels von Pflanzen. Die höchsten Gehalte sind in den Familien Resedaceae, Capparidaceae und Cruciferae zu finden. Vereinzelt kommen Glucosinolate aber auch in anderen Familien - wie z. B. Euphorbiaceae oder Limnanthaceae vor (BROWN et al., 1991; FENWICK et al., 1983). Bislang wurden rund 120 verschiedene Glucosinolate beschrieben, die eine gemeinsame Grundstruktur haben und sich nur im Aglukonrest unterscheiden. Dieser weist eine Alkyl-, Alkenyl-, Aryl- oder Indolyl-Struktur auf und ist für die physiologische Wirkung entscheidend (WATZL, 2001). Die Zusammensetzung der Glucosinolate ist genetisch bedingt und variiert in Abhängigkeit

vom Pflanzenorgan, wobei vor allem die Samen einen hohen Gehalt an Glucosinolaten aufweisen (zit. nach BELZ, 1998). Welche Derivate beim Abbau der Glucosinolate entstehen, ist stark von Faktoren wie Temperatur, pH-Wert, Lagerung und Konservierungsverfahren abhängig. So werden bei neutralem pH-Wert vermehrt Isothiocyanate gebildet, bei saurem pH-Wert sind es hauptsächlich Nitrile (FAHEY et al., 2001; WATZL, 2001).

Der enzymatische Abbau der Glucosinolate wird durch ein Enzym katalysiert, das als Myrosinase bezeichnet wird. Die Myrosinase ist in verschiedenen pflanzlichen Geweben vorhanden und liegt membrangebunden vor (BJÖRKMAN, 1976). Da die Glucosinolate räumlich getrennt von der Myrosinase in den Vakuolen gespeichert sind, findet der enzymatische Abbau erst dann statt, wenn das pflanzliche Gewebe mechanisch beschädigt wurde und somit die räumliche Trennung zwischen den in der Vakuole lokalisierten Glucosinolaten und der membrangebundenen Myrosinase aufgehoben wird (RASK et al., 2000).

Beim Abbau von Glucosinolaten entstehen chemische Verbindungen, die phytotoxische und antimikrobielle Aktivität besitzen (BIALY et al., 1990; BROWN und MORRA, 1995). BROWN und MORRA (2005) beschrieben zahlreiche Untersuchungen in denen eine herbizide, fungizide, bakterizide, nematozide und insektizide Wirkung der Glucosinolate bzw. deren Abbauprodukte – z. T. auch gegenüber landwirtschaftlich bedeutenden Krankheiten und Schädlingen – nachgewiesen wurde. Auch die höhere Anfälligkeit von glucosinolatfreiem Raps, die nach der Sortenumstellung beobachtet wurde, weist auf eine entsprechende Wirksamkeit der Glucosinolate hin. Die Pflanzen selbst nutzen das Glucosinolat-Myrosinase-System zur Verteidigung gegen Fraßfeinde (BONES und ROSSITER, 1996).

Beim Färberwaid konnten bislang fünf verschiedene Indolylglucosinolate – Glucobrassicin, Neoglucobrassicin, 1-Sulfolucobrassicin, 5-Hydroxyglucobrassicin und 5-Methoxyglucobrassicin – isoliert werden (zit. nach HARTLEB, 1994). Neben den Indolverbindungen wurden beim Färberwaid aber auch aliphatische Glucosinolate wie Glucoraphanin, Gluconapin, Progoitrin und Epiprogoitrin gefunden (ELLIOT und STOWE 1971a; FRÉCHARD et al., 2001; GALLETI et al., 1999; GALLETI et al., 2006; OBERTHÜR, 2004).

SEIFERT und UNGER (1994) beschrieben Tryptanthrin, Indolyl-3-Acetonitril und *p*-Cumarsäure-Methylester als Verbindungen mit insektizider und fungizider Wirkung beim Färberwaid. Die relativ hohe Konzentration an Indolyl-3-Acetonitril (IAN) verbunden mit der beachtlichen fungiziden und insektiziden Wirkung deuten daraufhin, dass Indolyl-3-Acetonitril die Leitsubstanz für die holzschützenden Eigenschaften des Waidblattsaftes ist (HARTLEB, 1994). ELLIOT und STOWE (1971b) ziehen als Möglichkeit in Betracht, dass beim Färberwaid Indolyl-3-Acetonitril beim Abbau von Indolylglucosinolaten unter Einwirkung von Myrosinase entsteht. Auch VETTER und FOLTYS DE GARCIA (2006) gehen davon aus, dass sich in der lebenden Pflanze nur Vorstufen von Indolyl-3-Acetonitril befinden. Erst nach mechanischer Zerstörung der Zellstrukturen werden sie durch das in der Zellwand befindliche Enzym Myrosinase in saurem Milieu (pH 4 bis 5) in größeren Mengen zu Indolyl-3-Acetonitril umgesetzt.

PFANNMÖLLER et al. (2001) prüften Blattextrakte des Färberwaides auf ihre Wirkung gegenüber den wichtigsten samenbürtigen Schaderregern des Weizens (*Septoria nodorum*, *Fusarium culmorum*, *Microdochium nivale*, *Tilletia caries*). Dabei zeigte sich, dass mit fermentierter Brühe des Färberwaides hohe Wirkungsgrade gegenüber den geprüften Krankheitserregern erzielt wurden, wobei sich die Wirkung mit zunehmendem Waidanteil kontinuierlich erhöht. Die Waidextrakte sind darüber hinaus auch gut pflanzenverträglich (FÖRSTER et al., 2005). Beim Institut für Biologischen Pflanzenschutz des Julius Kühn-Instituts in Darmstadt konnte weiterhin die Wirksamkeit

von Blattextrakten des Färberwaides gegenüber samenbürtigen Pilzen der Möhre (*Alternaria radicina*, *Alternaria dauci*) nachgewiesen werden (Schmitt, persönliche Mitteilung).

Allelopathie und keimhemmende Wirkung

Das Phänomen der gegenseitigen Beeinflussung zwischen Pflanzen ist schon lange bekannt. Bereits im 1. Jh. v. Chr. erwähnte Plinius in seiner „Historia naturalis“ den hemmenden Einfluss von Walnussbäumen. Heute weiß man, dass dieser Effekt auf der Wirkung des von Juglans-Arten freigesetzten Juglons beruht, das das Wachstum bzw. die Keimung zahlreicher Pflanzenarten sehr stark hemmt. Der Begriff Allelopathie wurde 1937 von dem Physiologen Hans Molisch geprägt, wobei er darunter die reziproken biochemischen Wechselwirkungen zwischen jeglichen pflanzlichen Organismen einschließlich niederer Pflanzen verstand. Die Pflanze, von der die allelopathische Wirkung ausgeht, wird als Donorpflanze (Donor) und diejenige die darauf reagiert als Rezipientpflanze (Rezeptor, Akzeptor) bezeichnet. Für die allelopathisch wirksamen Verbindungen werden verschiedene Begriffe – wie beispielsweise Allelochemical, Allelochemic, Allelopathika, Allelopathics, Phytotoxin und Phytochemical – verwendet, wobei es sich in der Regel um niedermolekulare sekundäre Pflanzeninhaltsstoffe handelt, deren Synthese und Freisetzung in Abhängigkeit vom Alter der Pflanzen und dem Pflanzenorgan variiert. Aber auch genotypische und umweltbedingte Einflussfaktoren sind an der Bildung von Allelopathika beteiligt (vgl. BELZ, 1998).

Der Färberwaid wurde vermutlich von Einwanderern in den Osten der USA eingeführt um dort als Farbstoff-Lieferant angebaut zu werden. Inzwischen hat der Färberwaid sich jedoch im Westen der USA wild verbreitet und wird dort vor allem auf Weideflächen als Problemkraut angesehen. Er breitet sich sogar auf Feldern aus, die bereits mit anderen Unkräutern überwuchert waren. Dies ist möglich, weil der Färberwaid durch sein starkes, schnelles Wachstum und seine großblättrigen Rosetten benachbarte, langsamer wachsende Pflanzen überschattet. Außerdem geben die Früchte des Färberwaides – die Schötchen – bei der Verrottung im Boden wasserlösliche, allelopathische Substanzen frei, die eine keimhemmende Wirkung – nicht nur auf Samen von Unkräutern und Kulturpflanzen, sondern auch auf die Keimung der Waid Samen selbst – haben (EVANS und DEWEY, 1994; YOUNG und EVANS, 1971).

Fragestellung

Die keimhemmende Wirkung verrottender Waid Schötchen könnte im Hinblick auf eine potentielle Nutzung zur Beikrautregulierung von Bedeutung sein. Daher wurde in den vorliegenden Untersuchungen die allelopathische Wirkung verrottender Waid Schötchen überprüft. Dazu wurde zunächst untersucht, ob die Waid Schötchen eine hemmende Wirkung auf Keimung und Jungpflanzenentwicklung ausgewählter Problemkräuter wie Acker-Kratzdistel (*Cirsium arvense* L.), Krauser Ampfer (*Rumex crispus* L.) und Gemeine Quecke (*Agropyron repens* L.) sowie im Ackerboden enthaltenen Unkrautsamen haben und welche Aufwandmengen erforderlich sind. Weiterhin wurde geprüft, ob die Waid Schötchen auch die Keimung ausgewählter Kulturpflanzen beeinflussen.

Material und Methoden

Die Waid Schötchen stammten von einem flächenmäßigen Anbau des Färberwaides auf dem Landgut Kornhochheim in Neudietendorf in Thüringen. Die Untersuchungen wurden nicht mit ganzen Schötchen, sondern einem Mehl aus den Schötchen durchgeführt, weil sonst neben den Unkräutern auch die Samen des Färberwaides gekeimt wären. Um das Mehl herzustellen,

wurden zunächst grobe Stängelstücken manuell entfernt, um dann die Waid-Schötchen mit einer IKA-Universalmühle M20 (Siebgröße 0,75) zu einem feinen Mehl zu verarbeiten, das im Folgenden als Waid-Schötchen-Mehl (WSM) bezeichnet wird. Das so gewonnene Waid-Schötchen-Mehl wurde in Pflanzeerde oder Ackerboden vom Darmstädter Versuchsfeld eingearbeitet.

Bei den Untersuchungen mit Waid-Schötchen-Mehl-Extrakt (WSE) wurde eine Testflüssigkeit aus 186 g Waid-Schötchen-Mehl und 2860 ml Wasser plus 100 ml Äthanol (96 %) hergestellt. Diese Mischung wurde zunächst eine halbe Stunde aufgekocht, dann eine Stunde ziehen lassen und nach dem Abkühlen zunächst grob und dann fein filtriert.

Nach dem Ansetzen der Versuche wurden die Pflanzschalen in einem Gewächshaus bei ca. 21°C unter Lampen gehalten und nach Bedarf gegossen.

Versuch 1: Um festzustellen, ob das Waid-Schötchen-Mehl eine hemmende Wirkung auf die Keimung und Jungpflanzenentwicklung der Acker-Kratzdistel, dem Krausen Ampfer und der Gemeinen Quecke sowie Unkrautsamen im Ackerboden hat, wurden je 250 g Pflanzeerde ohne Waid-Schötchen-Mehl und 250 g Pflanzeerde mit 18 g Waid-Schötchen-Mehl in Pflanzschalen (weiße Plastikschalen; 16 x 12 x 5,5 cm; Volumen ca. 1000 cm³, Boden ohne Löcher) gefüllt. Die Pflanzeerde für die Varianten mit Waid-Schötchen-Mehl wurde für alle Pflanzschalen zusammen angesetzt, um die Streuung zwischen den Pflanzgefäßen möglichst gering zu halten. Für jede Pflanzschale wurden 0,15 g Distelsamen, 4,5 g Ampfersamen, 3 g Queckensamen und 100 g Ackerboden eingesetzt. Das abgewogene Saatgut bzw. der Ackerboden wurden gleichmäßig auf die Oberfläche der Pflanzeerde verteilt und oberflächlich eingearbeitet.

Versuch 2: Im nächsten Versuch wurde die hemmende Wirkung von Waid-Schötchen-Mehl auf die Keimung und Jungpflanzenentwicklung von im Ackerboden enthaltenen Unkrautsamen untersucht. Dazu wurde je eine Pikierschale mit Ackerboden – eine ohne Waid-Schötchen-Mehl und eine mit 250 g eingearbeitetem Waid-Schötchen-Mehl - angesetzt.

Versuch 3: Um die hemmende Wirkung von Waid-Schötchen-Mehl auf die Keimung und Jungpflanzenentwicklung von im Ackerboden enthaltenen Unkrautsamen wiederholt zu untersuchen und gleichzeitig zu ermitteln welche Aufwandmengen für eine Keimhemmung erforderlich sind, wurde je eine Pflanzschale (wie bei Versuch 1) mit 600 g fein gesiebtem Ackerboden befüllt. Als Kontrolle wurde eine Pflanzschale ohne Waid-Schötchen-Mehl und für die Behandlungsvarianten weitere fünf Pflanzschalen mit steigenden Mengen Waid-Schötchen-Mehl (5 g, 10 g, 15 g, 20 g und 25 g) angesetzt.

Versuch 4: In einem weiteren Versuch wurde erneut die hemmende Wirkung von Waid-Schötchen-Mehl auf die Keimung und Jungpflanzenentwicklung von im Ackerboden enthaltenen Unkrautsamen untersucht, wobei diesmal höhere Aufwandmengen eingesetzt wurden. Auch für diesen Versuch wurden je 600 g fein gesiebten Ackerbodens in Pflanzschalen (wie bei Versuch 1) gefüllt und neben einer Pflanzschale ohne Waid-Schötchen-Mehl die jeweilige Menge Waid-Schötchen-Mehl (25 g, 50 g, 75 g und 100 g) eingearbeitet.

Versuch 5: Weiterhin wurde die hemmende Wirkung von Waid-Schötchen-Mehl auf Keimung und Jungpflanzenentwicklung des Krausen Ampfers und der Gemeinen Quecke untersucht. Dazu wurden je 250 g Pflanzeerde ohne Waid-Schötchen-Mehl bzw. mit Waid-Schötchen-Mehl (ca. 90 g pro Pflanzschale) vorbereitet und darin Samen des Krausen Ampfers (3 g) bzw. der Gemeinen Quecke (0,45 g) eingebracht, indem das Saatgut gleichmäßig auf der Pflanzeerde verteilt und mit ca. 1 cm Pflanzeerde bzw. Pflanzeerde-WSM-Mischung bedeckt wurde.

Versuch 6: Um zu überprüfen inwieweit auch die Keimung und Jungpflanzenentwicklung ausgewählter Kulturpflanzen

durch Waid-Schötchen-Mehl beeinträchtigt wird, wurden je 250 g Pflanzeerde in Pflanzschalen eingewogen, wobei für jede getestete Kulturpflanzenart eine Kontrolle ohne Waid-Schötchen-Mehl und eine behandelte Variante mit Waid-Schötchen-Mehl (ca. 90 g pro Pflanzschale) angesetzt wurde. Dann wurden in die Pflanzschalen jeweils die gleichen Saatgutmengen der verschiedenen Kulturpflanzen – 1 g Raps, 25 Körner Mais und je 50 Körner Roggen, Weizen, Hafer und Gerste – eingebracht, indem das Saatgut gleichmäßig auf die Pflanzeerde verteilt und mit ca. 1 cm Pflanzeerde bzw. Pflanzeerde-WSM-Mischung bedeckt wurde.

Versuch 7: Zusätzlich wurde untersucht, ob das Extrakt aus Waid-Schötchen-Mehl eine hemmende Wirkung auf Keimung und Jungpflanzenentwicklung von im Ackerboden enthaltenen Unkrautsamen hat. Dazu wurden 600 g fein gesiebter Ackerboden in jede Pflanzschale eingewogen. Anschließend wurde die Bodenoberfläche mit einem Glas-Labor-Sprüher - bei der Kontrolle mit Wasser und bei den Behandlungsvarianten mit je 5 ml, 10 ml, 15 ml, 20 ml bzw. 25 ml des Extraktes - auf den zuvor gegossenen Boden gesprüht.

Versuch 8: Und schließlich wurde auch die Wirkung des Waid-Schötchen-Mehl-Extraktes auf die Jungpflanzenentwicklung ausgewählter Unkräuter - Acker-Kratzdistel, Krauser Ampfer und Gemeine Quecke - untersucht. In den Kontrollen wurden die Jungpflanzen mit einer Flüssigkeit ohne Waid-Schötchen-Mehl-Extrakt (715 ml Wasser plus 25 ml Ethanol) und in den Behandlungsvarianten mit dem Waid-Schötchen-Mehl-Extrakt besprüht.

Ergebnisse

Versuch 1: Beim ersten Versuch wurde untersucht, ob das Waid-Schötchen-Mehl eine hemmende Wirkung auf die Keimung und Jungpflanzenentwicklung ausgewählter Problemkräuter wie Acker-Kratzdistel, Krauser Ampfer und Gemeine Quecke sowie Unkrautsamen im Ackerboden hat. Nach 14 Tagen waren zwischen den Kontrollen ohne Waid-Schötchen-Mehl und den Behandlungsvarianten mit Waid-Schötchen-Mehl keine Unterschiede zu beobachten (Abb. 1). Doch nach fünf Wochen war bei der Bodenvariante eindeutig erkennbar, dass in der Kontrolle viele Unkrautsamen gekeimt waren, während die Behandlung mit Waid-Schötchen-Mehl die Keimung der Unkrautsamen gehemmt hatte.

Versuch 2: Im nächsten Versuch wurde die Wirkung von Waid-Schötchen-Mehl auf die Keimung und Jungpflanzenentwicklung von im Ackerboden enthaltenen Unkrautsamen untersucht. Im Gegensatz zur Variante mit Waid-Schötchen-Mehl liefen bei der Kontrolle ohne Waid-Schötchen-Mehl bereits nach wenigen Tagen Unkräuter auf. Nach 3 Wochen waren in der Kontrolle viele Unkräuter gekeimt, während in der Behandlungsvariante mit Waid-Schötchen-Mehl die Keimung der Unkrautsamen sehr stark gehemmt war (Abb. 2 links). Innerhalb von 4 bis 5 Wochen traten auch in der behandelten Variante vereinzelt Unkräuter auf und nach 6 Wochen zeigte das Franzosenkraut einen Wachstumsschub (Abb. 2 rechts), der vermutlich auf die Zufuhr organischer Masse in Form von Waid-Schötchen-Mehl zurückzuführen ist.

Versuch 3: Zur Überprüfung der keimhemmenden Wirkung von Waid-Schötchen-Mehl auf Unkrautsamen im Ackerboden und zur Ermittlung der erforderlichen Aufwandmengen wurde ein weiterer Versuch durchgeführt. Bei der höchsten Dosis (25 g WSM in 600 g Ackerboden) wurde nach 4 Wochen eine Reduktion der Keimung beobachtet (Abb. 3).

Versuch 4: Bei einem weiteren Versuch mit höheren Aufwandmengen keimten weder in der Kontrolle noch in einer der Behandlungsvarianten (25 g, 50 g, 75 g bzw. 100 g Waid-Schötchen-Mehl) Unkrautsamen, sodass dieser Versuch nach einigen Wochen eingestellt wurde.

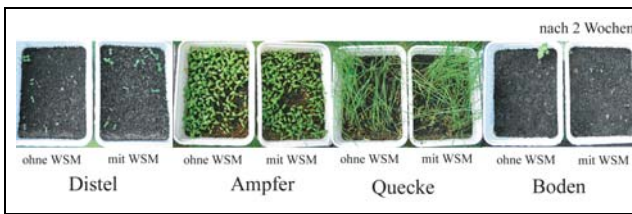


Abb. 1. Wirkung von Waid-Schötchen-Mehl auf Keimung und Jungpflanzenentwicklung ausgewählter Unkräuter.

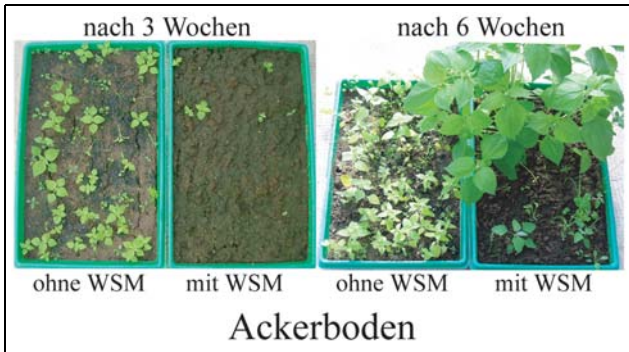


Abb. 2. Wirkung von Waid-Schötchen-Mehl auf Keimung und Jungpflanzenentwicklung von im Ackerboden enthaltenen Unkrautsamen.

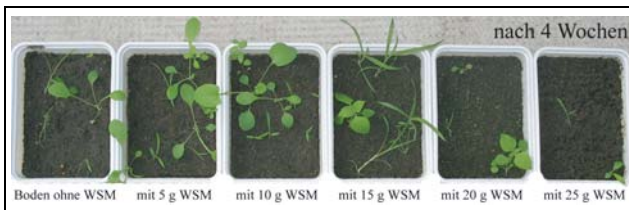


Abb. 3. Wirkung von Waid-Schötchen-Mehl auf die Keimung von im Ackerboden enthaltenen Unkrautsamen.

Versuch 5: Da der Krause Ampfer und die Gemeine Quecke bedeutende Unkräuter sind, wurde weiterhin untersucht, ob das Waid-Schötchen-Mehl auch eine hemmende Wirkung auf die Keimung und Jungpflanzenentwicklung dieser beiden Problemunkräuter hat. Drei Wochen nach Versuchsansatz waren in den behandelten Varianten weder beim Ampfer noch bei der Quecke Keimlinge zu beobachten, während die Samen in den Kontrollen aufgelaufen waren (Abb. 4).

Versuch 6: Wenn das Waid-Schötchen-Mehl eine hemmende Wirkung auf die Keimung von Unkrautsamen im Ackerboden hat, dann stellt sich hinsichtlich einer potentiellen Nutzung zur Beikrautregulierung die Frage, inwieweit auch die Keimung und Jungpflanzenentwicklung ausgewählter Kulturpflanzen beeinträchtigt wird. Schon eine Woche nach der Aussaat zeigte sich bei allen Kulturpflanzen in den Varianten mit Waid-Schötchen-Mehl eine deutliche Keimhemmung. Die Roggensamen hatten eine schlechte Keimfähigkeit. Dennoch war auch beim Roggen die Tendenz der Keimhemmung mit Waid-Schötchen-Mehl zu beobachten. Der Weizen wurde vom Waid-Schötchen-Mehl am wenigsten beeinträchtigt. Die Keimung war eine Woche nach der Aussaat zwar etwas verzögert, doch nach einer weiteren Woche war nur noch eine geringfügige Verzögerung der Entwicklung beim Weizen zu beobachten (Abb. 5).

Versuch 7: Das oberflächlich auf den Boden gesprühte Waid-Schötchen-Mehl-Extrakt hatte in keiner Behandlungs-

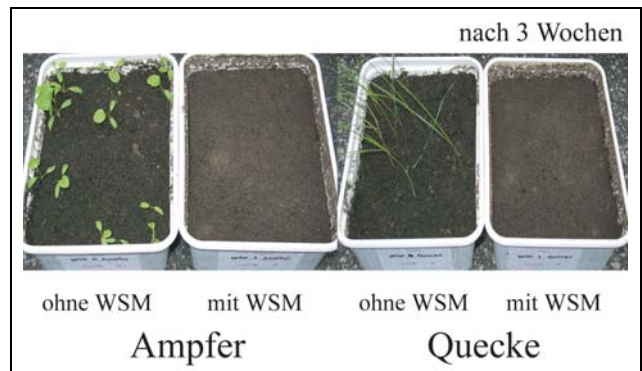


Abb. 4. Wirkung von Waid-Schötchen-Mehl auf Keimung und Jungpflanzenentwicklung von Krausem Ampfer und Gemeiner Quecke.

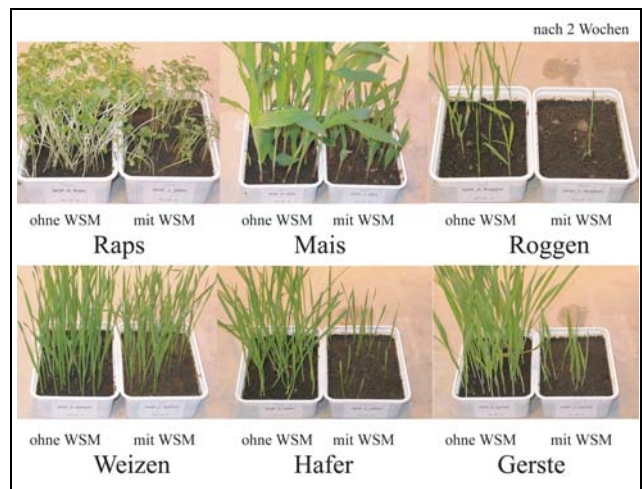


Abb. 5. Wirkung von Waid-Schötchen-Mehl auf Keimung und Jungpflanzenentwicklung ausgewählter Kulturpflanzen.

riante – weder mit 5 ml noch mit 10 ml, 15 ml, 20 ml bzw. 25 ml WSE - eine hemmende Wirkung auf Keimung und Jungpflanzenentwicklung von im Ackerboden enthaltenen Unkrautsamen.

Versuch 8: Das Waid-Schötchen-Mehl-Extrakt zeigte nach zwei Wochen auch keine hemmende Wirkung auf die Entwicklung von Jungpflanzen der Acker-Kratzdistel, des Krausen Ampfers und der Gemeinen Quecke.

Diskussion

Der Färberwaid war bis Ende des 17. Jahrhunderts in einigen Gebieten Mitteleuropas eine bedeutende Kulturpflanze und wird heute vereinzelt wieder angebaut. Die Früchte des Färberwaid – die Schötchen – entlassen bei der Verrottung wasserlösliche, allelopathische Substanzen mit keimhemmender Wirkung. Diese Wirkung wurde nicht nur bei den Samen von Unkräutern und Kulturpflanzen, sondern auch bei den Waiden selbst beobachtet (EVANS und DEWEY, 1994; YOUNG und EVANS, 1971).

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchungen wurde die allelopathische Wirkung verrottender Waid-Schötchen im Hinblick auf eine potentielle Nutzung für die Beikrautregulierung überprüft. Dazu wurde untersucht, ob die Waid-Schötchen eine hemmende Wirkung auf die Keimung und Jungpflanzenent-

wicklung ausgewählter Problemunkräuter wie Acker-Kratzdistel (*Cirsium arvense* L.), Krauser Ampfer (*Rumex crispus* L.) und Gemeine Quecke (*Agropyron repens* L.) sowie im Ackerboden enthaltenen Unkrautsamen haben und welche Aufwandmengen erforderlich sind. Als Fazit bleibt festzuhalten, dass die keimhemmende Wirkung der Waideschötchen bestätigt werden konnte.

Aufgrund von Beobachtungen im Rahmen des BML-Forschungsprojektes „Screening von Farbstoff-liefernden Pflanzen“ liegen weitere Hinweise für eine Bestätigung der keimhemmenden Wirkung von Waideschötchen vor. Der in 1991 durchgeführte Anbau verschiedener Waidherkünfte führte 1992 zur Entwicklung von Samenträgern. Nur von einzelnen Pflanzen wurden Schötchen geerntet, während die restlichen Samenträger auf dem Feld verblieben. Im Herbst liefen die ausgefallenen Samen des Waides auf. Auf den mit Waidjungpflanzen bestandenen Parzellen wurden nur wenige andere Wildpflanzen beobachtet, obwohl ein großes Potential an Wildpflanzensamen im Ackerboden vorhanden sein musste, wie auf den benachbarten Flächen festzustellen war (Walther, persönliche Mitteilung).

Da die Waidesamen im Praxisanbau samt Schötchen mit dem Mährescher geerntet werden und erst für die neue Aussaat mit Dreschmaschinen oder Kleereibern aus den Schötchen gewonnen werden, ist die allelopathische Wirkung verrottender Waideschötchen in den Waidanbaugebieten bisher nicht beobachtet worden.

Die Aufwandmengen zur Erzielung der keimhemmenden Wirkung waren bei der angewandten Applikationsform – der Einmischung von Waid-Schötchen-Mehl in den Boden – so hoch, dass eine Anwendung zur Beikrautregulierung unter Freilandbedingungen nicht praktikabel erscheint.

Demgegenüber berichten EVANS und DEWEY (1994) von Untersuchungen, bei denen die Waideschötchen verschieden lange in Wasser eingeweicht wurden und mit diesem Wasser dann keimende Samen bewässert wurden. Auch der Wasserausgang hemmte die Keimung der Samen verschiedener Pflanzenarten, sodass die gewünschte Wirkung mit einer veränderten Aufarbeitung und Applikation ebenfalls erzielt wurde. Daher ist eine Nutzung der keimhemmenden Wirkung für ausgewählte Anwendungsbereiche – unabhängig von einer feldmäßigen, großflächigen Anwendung – denkbar.

Da nur die Schötchen – nicht aber die Samen – die allelopathischen Substanzen enthalten, könnten die bei der Saatgutaufbereitung anfallenden Rückstände zur Nutzung der keimhemmenden Wirkung eingesetzt werden.

Welche chemischen Substanzen für die keimhemmende Wirkung der Schötchen des Färberwaides verantwortlich sind ist bislang noch ungeklärt. Vermutlich beruht das keimhemmende Potential auf Glucosinolaten, bei deren Abbau die Allelopathika entstehen. Welche Glucosinolate im Fruchtgewebe des Färberwaides vorkommen und welche biologisch aktiven Verbindungen beim enzymatischen Abbau entstehen, bleibt noch zu klären.

Die Keimtests von VAUGHN und BOYDSTON (1997) könnten als eine Bestätigung dieser Hypothese angesehen werden, weil sie zeigten, dass Maiskeimlinge durch die Abbauprodukte von Glucosinolaten – insbesondere von Isothiocyanaten – beeinträchtigt werden. Auch BELLOSTAS et al. (2006) beobachteten mit verschiedenen Glucosinolatbauprodukten eine keimhemmende Wirkung gegenüber Samen von Weißem Senf (*Sinapis alba*) und Deutschem Weidelgras (*Lolium perenne*).

Da die Glucosinolate die Ausgangssubstanzen für herbizid, fungizid, bakterizid, nematozid und insektizid wirksame Abbauprodukte sind und deren Abbau durch das Enzym Myrosinase katalysiert wird, ist davon auszugehen, dass der Gehalt und die Zusammensetzung an Glucosinolaten sowie die Myrosinase-Aktivitäten die Schlüsselfaktoren für die Nutzung der biologischen Wirkung des Glucosinolat-Myrosinase-Systems sind.

Danksagung

Die Autorin bearbeitete von 1991 bis 1994 das BML-Forschungsprojekt „Screening von Farbstoff-liefernden Pflanzen“ (90NR033) am Institut für Rebenzüchtung Geilweilerhof in Siebeldingen. Im Rahmen dieses Projektes wurde ein umfangreiches Sortiment Farbstoff-liefernder Pflanzen angebaut. Bei der Evaluierung und züchterischen Bearbeitung der 53 angebauten Arten – mit insgesamt über 1000 Stämmen – wurde der Färberwaid als eine der bedeutendsten mitteleuropäischen Färbepflanzen-Arten besonders berücksichtigt. Aufgrund der potentiellen Bedeutung für den Pflanzenschutz, wurde die Arbeit mit dem Färberwaid am Institut für Biologischen Pflanzenschutz in Darmstadt kurzzeitig wieder aufgenommen.

Besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. Jürg HUBER, der den Anstoß zur Prüfung von Forschungsmöglichkeiten innerhalb der Thematik „Nachwachsende Rohstoffe“ gab. Für die vorgestellten Untersuchungen gab er wertvolle Anregungen. Auch Herrn Prof. Dr. Fritz WALTHER gebührt Dank, weil er sich im Rahmen des oben genannten BML-Forschungsprojektes mit der keimhemmenden Wirkung des Färberwaides beschäftigte und auf diese Weise den Anstoß für die vorliegenden Untersuchungen gab.

Dank gilt ganz besonders auch Familie FRIEBEL vom Landgut Kornhochheim in Neudietendorf, die größere Mengen Waideschötchen für die Versuche bereitstellte. Und schließlich geht ein Dank an den technischen Assistenten Simon FEIERTAG, der bei der Durchführung der Versuche mitwirkte.

Literatur

- BELLOSTAS, N., P.N. KUDSK, J.C. SØRENSEN, H. SØRENSEN, 2006: Glucosinolate hydrolysis products for weed control. Proceedings of the Joint Organic Congress, 30.-31.05.2006, Odense, Denmark.
- BELZ, R., 1998: Untersuchungen zum allelopathischen Potential von *Sinapis alba* L. und *Brassica rapa* L. var. *rapa* ssp. *oleifera* (DC.) METZG. Diplomarbeit, Universität Hohenheim, 88 S.
- BIALY, Z., W. OLESZEK, J. LEWIS, G.R. FENWICK, 1990: Allelopathic potential of glucosinolates (mustard oil glycosides) and their degradation products against wheat. *Plant and Soil* **129**, 277-281.
- BIERTÜMPFEL, A., A. VETTER, E. FOLTYS DE GARCIA, 2003: Ergebnisse der Züchtungsarbeiten zum Färberwaid. Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, <http://www.tll.de/ainfo/pdf/fwai0403.pdf>.
- BIERTÜMPFEL, A., G. WURL, G. REINHOLD, A. VETTER, 2004: Leitlinie zur effizienten und umweltverträglichen Erzeugung von Waid. Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, <http://www.tll.de/ainfo/pdf/waid0704.pdf>.
- BJÖRKMANN, R., 1976: Properties and function of plant myrosinases. In: VAUGHAN, J.G., A.J. MACLEOD, B.M.G. JONES (Eds.): *The biology and chemistry of the Cruciferae*. London, New York, San Francisco, Academic Press 1976, 191-205.
- BONES, A.M., J.T. ROSSITER, 1996: The myrosinase-glucosinolate system, its organisation and biochemistry. *Physiologia Plantarum* **97** (1), 194-208.
- BROWN, P.D., M.J. MORRA, 1995: Glucosinolate-containing plant tissues as bioherbicides. *J. Agric. Food Chem.* **43**, 3070-3074.
- BROWN, J., M.J. MORRA, 2005: Glucosinolate-containing seed meal as a soil amendment to control plant pests. Subcontract Report, <http://www.nrel.gov/docs/fy05osti/35254.pdf>, 99 S.
- BROWN, P.D., M.J. MORRA, J.P. MCCAFFREY, D.L. AULD, L. WILLIAMS, 1991: Allelochemicals produced during glucosinolate degradation in soil. *Journal of Chemical Ecology* **17** (10), 2021-2034.
- BUGGE, G., C. HEINER, 1995: Untersuchungen zur Wirksamkeit von Färberwaid (*Isatis tinctoria* L.) gegenüber holzzerstörenden Pilzen. *Forst und Holz* **50** (11), 353-354.
- ELLIOTT, M.C., B.B. STOWE, 1971a: Indole compounds related to auxins and goitrogens of woad (*Isatis tinctoria* L.). *Plant Physiology* **47** (3), 366-372.
- ELLIOTT, M.C., B.B. STOWE, 1971b: Distribution and variation of indole glucosinolates in woad (*Isatis tinctoria* L.). *Plant Physiology* **48** (4), 498-503.
- EVANS, J.O., S.A. DEWEY, 1994: Dyer's Woad. In: SHELEY, R.L., 1994: The identification, distribution, impacts, biology and management of noxious rangeland weeds. Scientific Contract Report, 187-197.
- FAHEY, J.W., A.T. ZALCMANN, P. TALALAY, 2001: The chemical diversity and distribution of glucosinolates and isothiocyanates among plants. *Phytochemistry* **56**, 5-51.

- FENWICK, G.R., R.K. HEANEY, W.J. MULLIN, 1983: Glucosinolates and their breakdown products in food and food plants. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* **18**, 123-301.
- FISCHER, F., 1997: Das blaue Wunder: Waid: Wiederentdeckung einer alten Nutz- und Kulturpflanze. Köln, vgs verlagsgesellschaft, 91 S.
- FÖRSTER, K., K. KUHN, W. DIEPENBROCK, 2005: Saatgutbehandlung mit pflanzlichen Extrakten – Forschungsansätze. Deutsche Phytomedizinische Gesellschaft e.V., Arbeitskreis Biologische Bekämpfung von Pflanzenkrankheiten, Abstract, 9.-10.03.2005, Kleinmachnow, http://www.dpg-bcpc-symposium.de/fileadmin/alte_Webseiten/ak/02/tagung2005.htm#16.
- FRÉCHARD, A., N. FABRE, C. PÉAN, S. MONTAUT, M.T. FAUVEL, P. ROLLIN, I. FOURASTÉ, 2001: Novel indole-type glucosinolates from woad (*Isatis tinctoria* L.). *Tetrahedron Letters* **42** (51), 9015-9017.
- GALLETI, S., J. BARILLARI, R. IORI, G. VENTURI, 2006: Glucobrassicin enhancement in woad (*Isatis tinctoria*) leaves by chemical and physical treatments. *Journal of the Science of Food and Agriculture* **86** (12), 1833-1838.
- GALLETI, S., O. LEONI, R. IORI, S. PALMIERI, 1999: Woad (*Isatis tinctoria* L.) leaves: a source of glucobrassicin. *Proceedings of the 6th Symposium on Renewable Resources*, 481-485.
- HAMBURGER, M., 2002: *Isatis tinctoria* - From the rediscovery of an ancient medicinal plant towards a novel anti-inflammatory phytopharmaceutical. *Phytochem. Rev.* **1**, 333-344.
- HAMBURGER, M., 2005: Färberwaid (*Isatis tinctoria*) - Die Wiederentdeckung einer entzündungshemmenden Arzneipflanze. *Phytotherapie* **1**, 24-27.
- HARTLEB, I., 1994: Inhaltsstoffe von *Isatis tinctoria* L. und *Verbascum songaricum* Schrenk. Dissertation, Universität Bayreuth, 137 S.
- KAISER, R., 1993: Dye plants, their cultivation and use in Germany. In: MARSHALL, G., K. SVOBODA (Eds.): *Proceedings of an EC workshop „The production and impact of specialist minor crops in the rural community“*. 27.-28.04.1993, Brüssel, Belgien, 75-83.
- KAISER-ALEXNAT, R., 1994: Screening von Farbstoff-liefernden Pflanzen. *Beiträge zur Waidtagung* **6**, 5-11.
- KAISER-ALEXNAT, R., 2007: Färberwaid (*Isatis tinctoria* L.). Internetseite des Julius Kühn-Instituts, Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen (JKI), http://www.jki.bund.de/cln_044/nn_806730/DE/Institute/BI/Themen/Faerberwaid.html.
- KRAUSSE, G.W., A. KLIEM, 1994: Die Variabilität des Färberwaides und Versuche zu dessen züchterischen Verbesserung. *Beiträge zur Waidtagung* **6**, 12-22.
- MINGZHU, M., Y. BANGYUAN, 1983: Progress in indirubin treatment of myelocytic leukemia. *J. Tradit. Chin. Med.* **3**, 245-248.
- OBERTHÜR, C., 2004: Indolische Sekundärmetabolite in *Isatis tinctoria* L. – Hautpenetration von Tryptanthrin und saisonale sowie prozessbedingte Veränderungen der Inhaltsstoffmuster. Dissertation, Friedrich-Schiller-Universität Jena, 163 S.
- PFANNMÖLLER, M., K. FÖRSTER, W. DIEPENBROCK, 2001: Wirkung von Waidextrakten auf samenbürtige Pilze. Deutsche Phytomedizinische Gesellschaft e.V., Arbeitskreis Biologische Bekämpfung von Pflanzenkrankheiten, Abstract, 27.-28.09.2001, Einbeck, http://www.dpg-bcpc-symposium.de/fileadmin/alte_Webseiten/ak/02/tagung2001.htm#11.
- RASK, L., E. ANDRÉASSON, B. EKBOM, S. ERIKSSON, B. PONTOPPIDAN, J. MEIJER, 2000: Myrosinase: gene family evolution and herbivore defense in Brassicaceae. *Plant Molecular Biology* **42** (1), 93-113.
- SEIFERT, K., W. UNGER, 1994: Insecticidal and fungicidal compounds from *Isatis tinctoria*. *Zeitschrift für Naturforschung* **49c** (1-2), 44-48.
- SPATARO, G., P. TAVIANI, V. NEGRI, 2007: Genetic variation and population structure in a Eurasian collection of *Isatis tinctoria* L. *Genetic Resources and Crop Evolution* **54** (3), 573-584.
- THÜRINGER LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT, 2003: Anbautelegramm für Waid (*Isatis tinctoria* L.). <http://www.tll.de/ainfo/pdf/waid0103.pdf>.
- VAUGHN, S.F., R.A. BOYDSTON, 1997: Volatile allelochemicals released by crucifer green manures. *Journal of Chemical Ecology* **23** (9), 2107-2116.
- VETTER, A., E. FOLTYS DE GARCIA, 2006: *Isatis tinctoria* – ein Beispiel für fungizide Wirkung pflanzlicher Inhaltsstoffe. Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, <http://www.tll.de/ainfo/pdf/waid0403.pdf>.
- WATZL, B., 2001: Glucosinolate. *Ernährungs-Umschau* **48** (8), 330-333.
- YOUNG, J.A., R.A. EVANS, 1971: Germination of Dyers Woad. *Weed Science* **19** (1), 76-78.

Zur Veröffentlichung angenommen: 6. Januar 2008

Kontaktanschrift: Dr. Renate Kaiser-Alexnat, Julius Kühn-Institut, Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen (JKI), Institut für Biologischen Pflanzenschutz, Heinrichstraße 243, 64287 Darmstadt, E-Mail: renate.kaiser-alexnat@jki.bund.de