

Matthias Budde und Lutz Damerow

Der Einfluss thermischer Strahlung auf Blätter und pilzliche Schaderreger

Da die Anzahl an verfügbaren Pflanzenschutzmitteln sinkt und Energiekosten gleichzeitig steigen, müssen Alternativen zur Bekämpfung von Unkraut und Schaderregern gesucht werden. Die Bestrahlung von Blattgewebe und pilzlichen Schaderregern mit gebündelter Infrarotstrahlung wurde dabei als Lösungsansatz untersucht. In den Testreihen stellte sich heraus, dass sich Blattgewebe bereits durch eine kurzzeitige Erhitzung mittels Strahlung beschädigen lässt. Allerdings hat eine nicht-letale Erhitzung der Blätter keinen Einfluss auf bereits etablierte Schaderreger.

Schlüsselwörter

Apfel, Infrarot-Bestrahlung, Pilzbekämpfung

Key words

Apple, infrared irradiation, fungal abatement

Abstract

Budde, Matthias and Damerow, Lutz

Influence of thermal radiation on leaves and fungal pathogens

Landtechnik 68(6), 2013, pp. 411–414, 3 figures, 4 references

In terms of the decreasing number of pesticides and rising energy costs, it is necessary to search for alternatives to control weeds and pests. The irradiation of leaf tissue and fungal pathogens with bundled infrared radiation could be a solution here. It turned out in the test series that young leaf tissue can be damaged already with a short heating by radiation, however, a non-lethal heat does not affect already established pests.

aufgrund ihrer Effektivität hierbei eine entscheidende Rolle, dazu zählt auch der Einsatz von Lasern als thermische Strahlungsquelle [1; 2]. Diese können zielgenau angewendet werden und bewirken aufgrund der hohen Energiedichte und Wärmewirkung eine Verdampfung des Wassers im Pflanzengewebe. Dadurch wird eine partielle Gewebeerstörung – bei höherer Dosierung auch ein Absterben der Pflanzen – herbeigeführt. Das Verfahren ist allerdings technisch aufwendig und hat einen hohen Energiebedarf.

Eine einfachere Methode ist die Erwärmung mittels Infrarotstrahlung. Bereits im Jahr 1969 wurde nachgewiesen, dass eine kurzzeitige Erwärmung von pflanzlichem Material auf 57 °C zu letalen Gewebeerstörungen führt [3]. Bisherige Erwärmungsversuche mit Pflanzen wurden allerdings meistens mithilfe eines Heißwasserbades durchgeführt, wodurch eine sehr schnelle und vor allem vollständige Behandlung der Pflanze erfolgte. Dass eine kurzzeitige Erhitzung eine positive Wirkung auf die Resistenz gegenüber Schaderregern haben kann, zeigten unter anderem Versuche an Gerste. So führte eine Erwärmung auf 50 °C während einer Minute zu induzierter Resistenz gegenüber Mehltau (*Blumeria Graminis* f. sp. *Hordei*) [4].

In der vorliegenden Studie wurde versucht, mit möglichst geringem Energie- und Materialaufwand, pflanzliches Gewebe zu erwärmen. In ersten Testreihen wurde geprüft, ob eine nicht-letale Bestrahlung, die lediglich eine für das von Schaderregern befallene Blattgewebe tödliche Wirkung hat, einen Einfluss auf pilzliches Wachstum nehmen kann.

Material und Methoden

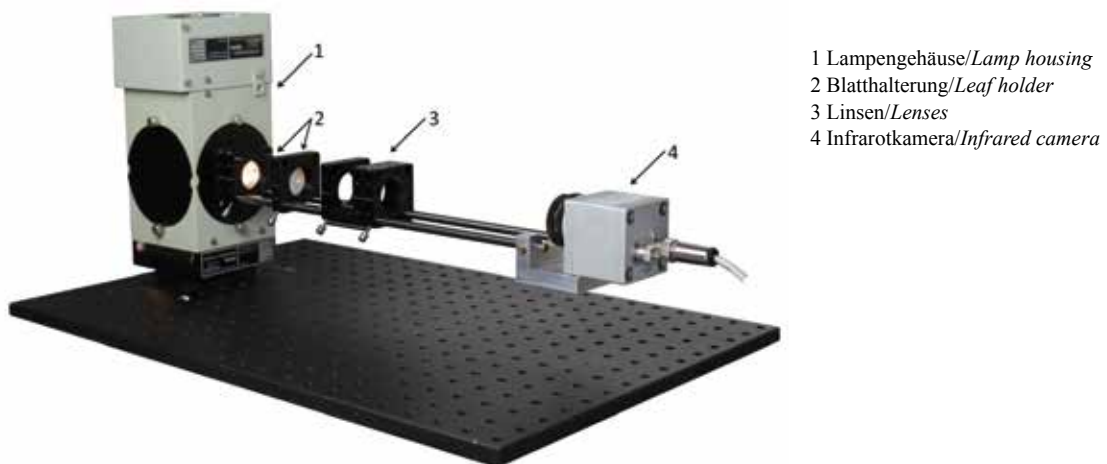
Zur Bestrahlung des pflanzlichen Gewebes wurden zwei verschiebbare Sammellinsen und eine Blatthalterung an ein Lampengehäuse angebracht. Zur Erwärmung des Gewebes wurden

■ Im Rahmen von Precision Farming und aus Gründen des Umweltschutzes sind in den vergangenen Jahren neue, nicht-chemische Strategien zur gezielten Unkrautbekämpfung entwickelt worden. Die thermische Unkrautbekämpfung spielt

verschiedene Halogenglühlampen mit einem hohen Infrarotstrahlungsanteil verwendet. Der Temperaturverlauf des erhitzten Blattgewebes wurde mit einer Infrarotkamera (Optris® PI) aufgenommen und ausgewertet, die mit einer Aufnahme rate von 50 Bildern je Sekunde genaue Aussagen über das Temperaturverhalten der Versuchspflanzen ermöglichte (**Abbildung 1**). Innerhalb des Versuchsaufbaues konnte die Blattemperatur durch Verschieben der Sammellinsen reguliert werden, die Veränderung der Leistungsaufnahme der Glühlampe wurde mithilfe eines Transformators eingestellt. Die auf das Blatt

auffretende Strahlungsleistung wurde durch einen Laserpowermeter bestimmt, der Anteil der Infrarotstrahlung an der Gesamtstrahlung wurde mit einem Spektrometer gemessen. Des Weiteren wurde der Wasseranteil der Blätter gravimetrisch bestimmt und es wurde eine Blattdickenmessung durchgeführt. Um die auftretende Schädigung aufgrund der unterschiedlichen Temperaturen zu differenzieren, wurden die bestrahlten Blätter mithilfe eines Binokulars fotografiert, vermessen und direkt nach der Behandlung, nach 24 und 48 h sowie nach einer Woche visuell bewertet.

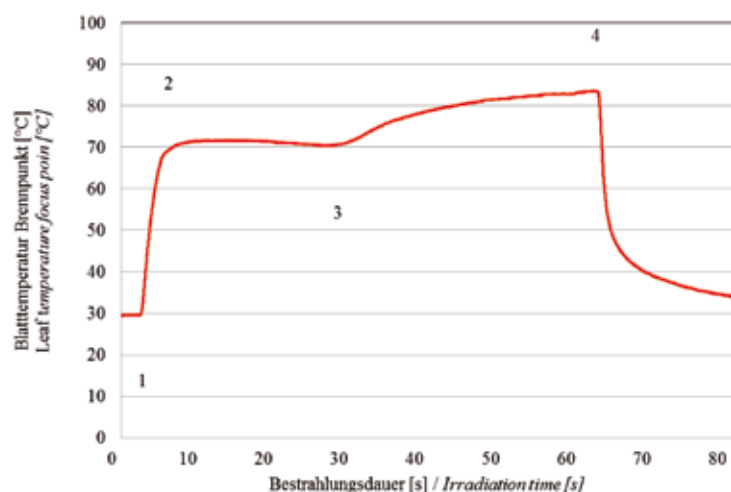
Abb. 1



- 1 Lampengehäuse/Lamp housing
- 2 Blatthalterung/Leaf holder
- 3 Linsen/Lenses
- 4 Infrarotkamera/Infrared camera

Bestrahlungsaufbau mit Lampengehäuse, Sammellinsen, Blatthalterung und Infrarotkamera (Foto: M. Budde)
 Fig. 1: Experimental Setup with light housing, collecting lenses, leaf holder and infrared camera

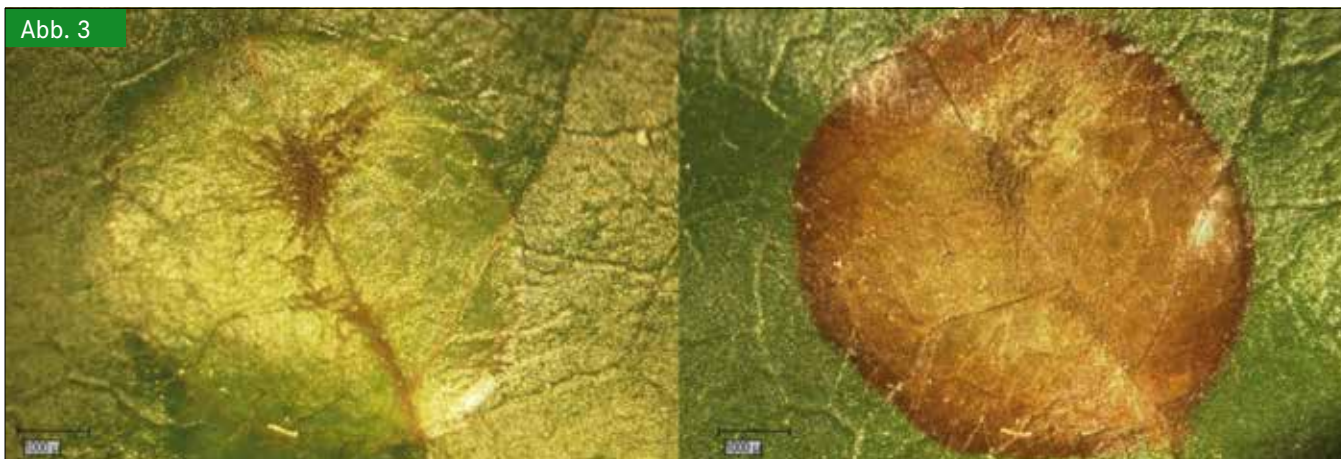
Abb. 2



- 1 Einschalten der Strahlungsquelle/Engaging of the radiation source
- 2 Verdunstung setzt ein/Evaporation starts
- 3 Zellwasser ist verdunstet/Cell water is evaporated
- 4 Ausschalten der Strahlungsquelle/Deactivating of the radiation source

Temperaturverlauf der Erwärmung eines Apfelblattes bei 40 Watt Lampenleistung
 Fig. 2: Temperature pattern of the heating of an apple leaf at 40 Watt bulb power

Abb. 3



Junges Apfelblatt mit Apfelschorf; erwärmt auf eine letale Temperatur; fotografiert direkt nach der Erwärmung (links) und eine Woche später (rechts)

Fig. 3: Young apple leaf with applescab; heated to a lethal temperature; shot directly after heating (left) and one week later (right)

Die Auswirkung der Bestrahlung wurde an Apfelstecklingen der Sorte Jonagold getestet, die mit Apfelmehltau (*Podosphaera leucotricha*) sowie Apfelschorf (*Venturia inaequalis*) inokuliert waren. Die Blätter hatten eine durchschnittliche Interkostalgewebedicke von 0,26 mm und einen Wasseranteil von 71 %.

Ergebnisse

In den Bestrahlungsversuchen zeigte sich ein linearer Zusammenhang zwischen der eingestellten Leistung der Halogenlampe und der Blattoberflächentemperatur. Unterschiede im Leistungs-/Temperatur-Verhältnis traten aufgrund unterschiedlicher Blattdicken und Wassergehalte auf. Aus jeder eingestellten Leistung der Halogenlampe resultiert ein maximaler Temperaturwert, der von der Blattdicke und der Größe der bestrahlten Fläche abhängig ist. Wenn das Temperaturmaximum für die eingestellte Leistung erreicht ist, befinden sich Temperaturnachwirkung und -abgabe im Gleichgewicht und eine zuvor bestimmte Temperatur kann, teilweise mit kleinen manuellen Korrekturen, gehalten werden. Auf diese Weise können ausgewählte Blattflächen für einen definierten Zeitraum einer festgelegten Temperatur ausgesetzt werden, was ab einer Blattoberflächentemperatur von ca. 55 °C zu partiellen Gewebeerstörungen und zur Ausbildung von Nekrosen führt. Das bei einer Zelldenaturierung freiwerdende Wasser verdunstet und bewirkt eine örtliche Kühlung des zerstörten Gewebes. Während einer Bestrahlung bildet sich ein charakteristischer Temperaturverlauf (**Abbildung 2**).

Wird ein Blattfleck für 10 Sekunden mit wechselnden Leistungen erwärmt, so ergibt sich eine Temperatur-/Leistungs-korrelation von $R^2 = 0,98$. Werden verschiedene Blätter der gleichen Pflanze mit der gleichen Blattoberflächentemperatur bestrahlt, so ergibt sich bis zum Punkt der Gewebeerstörung, bei dem die Blattoberflächentemperatur über 57 °C beträgt, ebenfalls ein Temperatur-/Leistungs-Zusammenhang von $R^2 = 0,98$. Ist der kritische Punkt der Gewebeerstörung überschritten, verändert sich der Verlauf der Temperatur (**Abbildung 2**), aufgrund des Wasseraustritts aus den zerstörten Zellen, bis das Wasser verdunstet

ist. Nach dem Abschalten der Strahlungsquelle kühlt das Gewebe sehr schnell wieder auf Raumtemperatur ab. Die wasser-gefüllten Blattadern kühlen allerdings langsamer als das umgebende Gewebe ab.

Zellen, die durch eine zu hohe Temperatur zerstört wurden, regenerieren sich nicht mehr. Das beschädigte Gewebe fällt durch den Wasserverlust in sich zusammen. Auf den bestrahlten Flächen zeichnet sich die Form der Glühwendel der Halogenlampe ab. Im Laufe der ersten Stunden nach einer Gewebeerstörung färbt sich der äußere Rand der bestrahlten Blattflächen bräunlich. Diese Färbung wandert langsam vom äußeren Rand nach Innen zur Spotmitte. Binnen 24 Stunden sind die durch Strahlung beschädigten Flächen bereits gut durch eine Aufhellung zu erkennen. Die Langzeitbeobachtung zeigt, dass sich die zerstörten Blattflächen örtlich scharf abgrenzen und sich nicht ausbreiten (**Abbildung 3**).

Eine für Blätter und Schadpilze nicht-letale Erwärmung auf 50 °C zeigte mit einer Einwirkdauer von bis zu einer Minute jedoch keinen Erfolg. Die Schadpilze wurden weder geschädigt noch sichtlich in ihrem Wachstumsverhalten beeinflusst.

Eine letale Erhitzung des Pflanzengewebes auf 80 °C für bis zu 30 Sekunden zeigte bei Apfelmehltau ebenfalls keine Wirkung. Dagegen färbten sich einige der behandelten Apfelschorfflächen von Braun nach Dunkelgrün, und bei einigen Apfelschorfblättern kam es sogar zum Absterben von Blattflächen.

Diskussion

Es konnte gezeigt werden, dass es mithilfe von Infrarotstrahlung möglich ist, pflanzliches Gewebe hinreichend präzise zu erhitzen. Eine Blattfläche von 3 mm² konnte durch eine Strahlungsleistung von 0,5 W bereits innerhalb weniger Sekunden letal beschädigt werden. Somit ist es auch mit geringem Energieaufwand möglich, Pflanzengewebe letal zu schädigen. Eine nicht-letale Bestrahlung von befallenem Gewebe hat allerdings keinen sichtbaren Effekt auf die verwendeten Pilze. Es konnte

weder eine Veränderung noch eine Wachstumsdepression der Schaderreger festgestellt werden.

Eine für Blätter letale Bestrahlung hatte ebenfalls keinen Effekt auf die Mehltaukolonien. Es kann allerdings davon ausgegangen werden, dass die Haustorien, die sich im zerstörten Gewebe befinden, ebenfalls durch die Strahlung betroffen sind und dass das nekrotisierte Gewebe dem Schadpilz nicht mehr als Nährgrundlage dient. Bei einigen wenigen, mit Apfelschorf befallenen Testblättern, kam es nach einer Erwärmung des Gewebes auf über 80 °C zu Verfärbungen der Sporulationsorgane und zum Absterben von Teilen der Blattflächen. Möglicherweise hat der mehrfache Streß durch die Schaderreger einerseits und die Zellsterörung aufgrund der Erhitzung andererseits zu einer Abstoßungsreaktion bei dem betroffenen Blatt geführt. Eine Zerstörung von Blattgewebe entzieht in jedem Fall einem obligat biotrophen Schaderreger, wie den hier verwendeten Pilzen, die Nahrungsgrundlage. Allerdings wird gleichzeitig eine Nahrungsgrundlage für nekrotrophe Schaderreger geschaffen.

Die Versuche richteten sich aufgrund mangelnder Detektierbarkeit nur auf sichtbare, also sich bereits in der Fruktifikationsphase befindliche Schadpilze. Pilzmycel, das nicht sichtbar auf der Blattoberfläche verteilt war, wurde dagegen nicht untersucht, da eine ganzflächige Behandlung von Nutzpflanzen weder möglich ist noch angestrebt wird. Zu betonen ist, dass sich um die örtlich erhitzte Stelle ein scharf abgrenzender Rand bildete, der sich nicht ausbreitete. Es kann also davon ausgegangen werden, dass lokale Behandlungen von Blättern ohne den Verlust des behandelten Blattes möglich sind.

Schlussfolgerungen

Eine Behandlung von infiziertem Pflanzengewebe ist mit der vorgestellten Methode nur dann sinnvoll, wenn der Schadpilz in einem frühen Entwicklungsstadium vollständig erkannt und abgetötet werden kann. Dies kann nach dem Stand der derzeitigen Technik noch nicht geleistet werden.

Die Beschädigung von pflanzlichem Gewebe durch Infrarotstrahlung hingegen ist simpel und mit geringem Energie-, Konstruktions- und Kostenaufwand möglich und stellt somit durchaus eine Alternative zu derzeit gängigen Methoden, wie z. B. der großflächigen Behandlung mit Gasbrennern, dar. In Verbindung mit einer automatischen Erkennungsmethode von Unkraut in frühen Wachstumsstadien kann eine gezielte Behandlung denkbar und sinnvoll sein.

Literatur

- [1] Gude, J. (2012): Wirksamkeit der Unkrautbekämpfung mittels Laser in Abhängigkeit verschiedener biologischer und technisch-physikalischer Parameter, Universität Bonn, Dissertation
- [2] Marx, C.; Barcikowski, S.; Hustedt, M.; Haferkamp, H.; Rath, T. (2012): Design and application of a weed damage model for laser-based weed control. *Biosystems Engineering*, 113(2), pp. 148-157
- [3] Daniell, J. W.; Chappell, W. E.; Couch, H. B. (1969): Effect of Sublethal and Lethal Temperatures on Plant Cells. *Plant Physiology* 44, pp. 1684-1689
- [4] Valletian-Bindschedler, L.; Schweizer, P.; Mosinger, E.; Metraux, J. P.; Bindschedler, L. (1998). Heat-induced resistance in barley to powdery mildew (*Blumeria graminis* f.sp. hordei) is associated with a burst of active oxygen species. *Physiological and Molecular Plant Pathology* 52(3), pp. 185-199

Autoren

Dipl.-Ing. agr. Matthias Budde ist wissenschaftlicher Mitarbeiter und **Dr.-Ing. Lutz Damerow** ist Oberingenieur am Institut für Landtechnik der Universität Bonn, Nussallee 5, 53115 Bonn, E-Mail: mbudde@uni-bonn.de