

Hans Jürgen Hellebrand, Karl-Heinz Dammer, Horst Beuche und Werner B. Herppich, Potsdam-Bornim, sowie Kerstin Flath, Kleinmachnow

# Infrarotbildverfahren im Pflanzenschutz

*Pilzbefall, der die Temperatur der Pflanzenoberflächen ändert, kann unter Laborbedingungen mit Infrarotkameras im thermischen Bereich (MIR) erkannt werden. Unter Feldbedingungen verhindern Temperaturschwankungen im Bestand das Erkennen infizierter Pflanzen. Kameras im Spektrum Nahes Infrarot (NIR) ergeben in Verbindung mit Bandpassfiltern unterschiedliche Intensitätsverteilungen der reflektierten Strahlung. Die Auswertung der spektralen Intensitätsverhältnisse verbessert die Differenzierung. Mit NIR lassen sich Inhaltsstoffe der Oberflächenzellen erfassen, mit der Thermografie die Transpirationsrate.*

Prof. Dr. rer. nat. habil. H.J. Hellebrand, Dr.-Ing. H. Beuche, Dr. agr. habil. K.-H. Dammer und Dr. rer. nat. W. B. Herppich sind Mitarbeiter des Institutes für Agrartechnik Bornim e.V., Max-Eyth-Allee 100, 14469 Potsdam; e-mail: [jhellebrand@atb-potsdam.de](mailto:jhellebrand@atb-potsdam.de).  
Dr. agr. Kerstin Flath ist Mitarbeiterin des Institutes für Pflanzenschutz in Ackerbau und Grünland der BBA, Außenstelle Kleinmachnow, Stahnsdorfer Damm 81, 14532 Kleinmachnow.  
**Referierter Beitrag der LANDTECHNIK, die Langfassung finden Sie unter LANDTECHNIK-NET.com.**

## Schlüsselwörter

Thermografie, NIR-Spektren, Infrarotkameras, Pflanzendifferenzierung, Mehltau, Gelbrost

## Keywords

Thermography, NIR spectra, infrared imagery, plant discrimination, powdery mildew, stripe rust

## Literatur

Literaturhinweise sind unter LT 05310 über Internet <http://www.landwirtschaftsverlag.com/landtech/lo-cal/fliteratur.htm> abrufbar.

Die Bildverarbeitungstechnik hat in den letzten Jahrzehnten als leistungsfähiges Werkzeug zahlreiche Anwendungsfelder erobert. Die Differenzierung nach Nutz- und Beipflanzen mit Hilfe von Grau-Bildverarbeitungstechniken („monospektrale“ Bildverarbeitung) gilt nun prinzipiell als gelöst [1 bis 19], versagt aber in der Regel bei dichtem Bestand. Deshalb wird der multispektralen Bildauswertung das größere Potenzial für technische Lösungen zugesprochen.

### Diskriminieren von Pflanzen

Zahlreiche Arbeiten belegen die Eignung spektroskopischer Methoden im VIS- und NIR-Bereich für die Ermittlung von Pflanzenkrankheiten und Beipflanzen [7, 20 bis 28]. Da die Struktur der Oberflächenzellen und deren Inhaltsstoffe die NIR-Reflexion beeinflussen, werden NIR-Verfahren favorisiert. Die Thermografie erfasst die Eigenstrahlung des untersuchten Objektes im MIR. Pflanzen mit unterschiedlicher Was-

serabgabe (Transpirationsrate) weisen infolge der erforderlichen Verdampfungswärme für die Transpiration unterschiedliche Oberflächentemperaturen auf. Sollte der Befall von Pflanzen diese Transpirationsrate ändern, müsste der Befall thermografisch messbar sein.

### Thermografische Messungen

Deshalb wurde in Laborexperimenten die Ausprägung des Befalls von Weizenpflanzen (*Triticum aestivum*, Sorte „Kanzler“) analysiert, die mit Mehltau (*Blumeria* [syn. *Erysiphe*] *graminis* DC. f. sp. *tritici* March.) und mit Gelbrost (*Puccinia striiformis* West.) infiziert wurden. Während beim Rostbefall die Temperaturdifferenzen zwischen gesunden und infizierten Pflanzen fast immer unterhalb  $\pm 0,1$  K lagen, hatten mit Mehltau befallene Pflanzenteile Temperaturunterschiede zu gesunden Pflanzen von bis zu  $0,9$  K. In der Regel nahm zuerst die Temperatur befallener Pflanzenblätter ab. Im

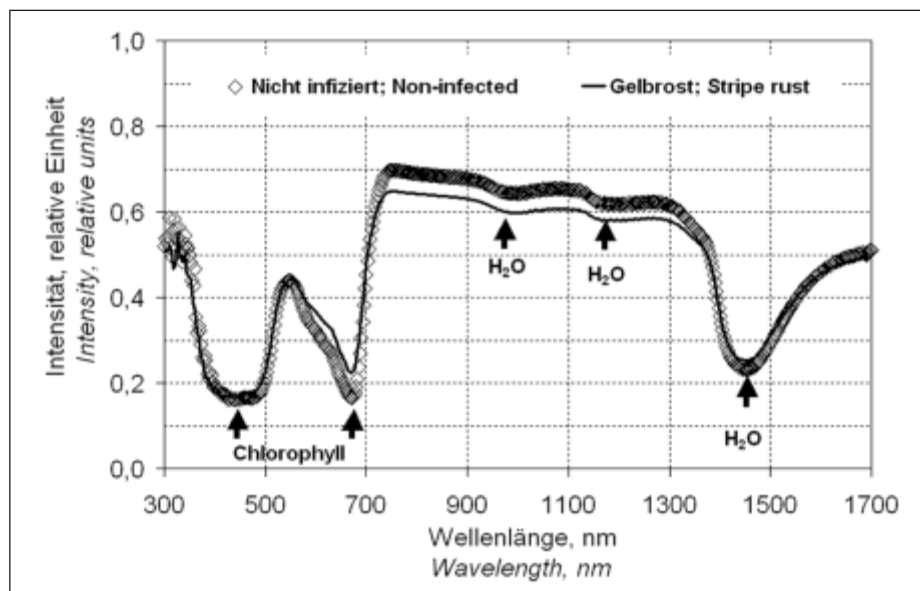


Bild 1: Spektrale Reflexion im VIS- und NIR-Bereich von gesunden und mit Gelbrost (*Puccinia striiformis* West.) infizierten Weizenpflanzenblättern (*Triticum aestivum*, Sorte „Kanzler“; Mittelwerte von jeweils 20 Spektren). Auf charakteristische Absorptionsbande (Chlorophyll und  $H_2O$ ) weisen Pfeile.

Fig. 1: VIS and NIR reflection spectra of healthy wheat plants (*Triticum aestivum*, variety „Kanzler“) and leaves of plants, infected by stripe rust (*Puccinia striiformis* West.). Each given spectrum is the mean of 20 individual spectra. Arrows indicate characteristic wavelengths (chlorophyll and  $H_2O$ ).

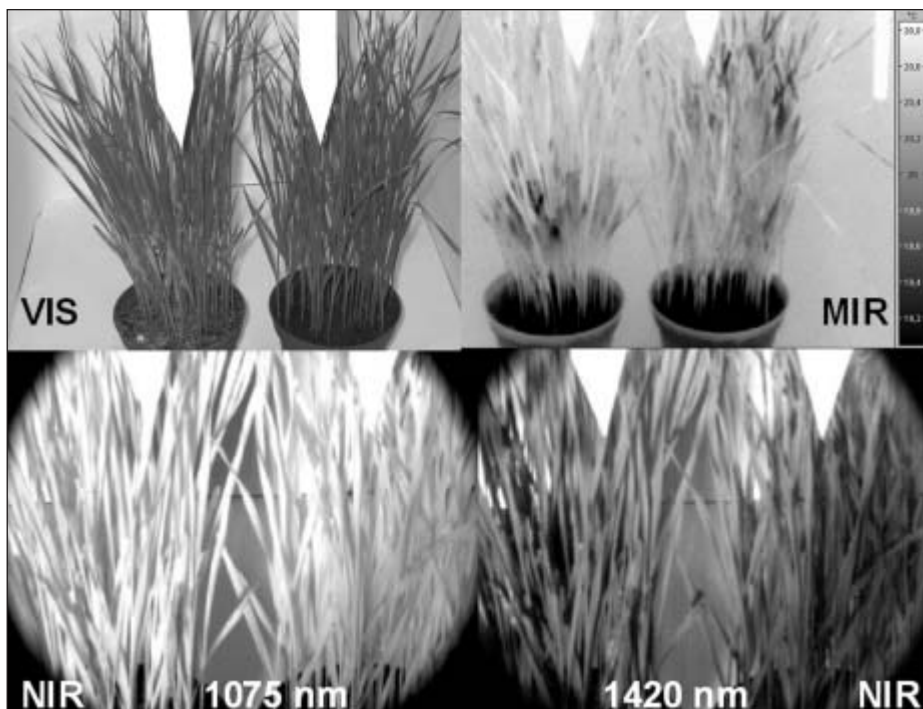
weiteren Verlauf traten an einzelnen, nicht befallenen Blättern infizierter Pflanzen höhere Temperaturen auf. Damit ist die Befallserkennung problematisch, da je nach Befallstadium unterschiedliche Effekte auftreten. Die Versuche unter Feldbedingungen zeigten eine zweite Schwierigkeit. Der Pflanzenbestand auf dem Feld weist natürliche Temperaturschwankungen bis zu mehreren Kelvin auf. Obwohl einige befallene Pflanzen mit Hilfe der Thermografie zu erkennen sind, können kommerzielle Wärmebildsysteme als Einzellösung keine geeigneten Informationen für den Pflanzenschutz bereit stellen.

### Messungen im NIR-Bereich

Im NIR liegen Spektralbereiche mit und ohne Wasserabsorption (*Bild 1*). Da durch den Befall mit Pilzen oder anderen Mikroorganismen Änderungen der Oberflächenstruktur auftreten können (Austrocknen und sonstige Zellveränderungen infolge kutikulaabbauender Enzyme sowie Ausbildung von Pilzgeflechten), wurden einerseits Spektren von gesunden und infizierten Pflanzenblättern gemessen und andererseits Infrarotbilder von gesunden und infizierten Pflanzen mit Bandpassfiltern, deren Wellenlängenbereiche innerhalb und außerhalb des Wasserabsorptionsbandes (um 1,4  $\mu\text{m}$ ) lagen, aufgenommen. Mit dieser Vorgehensweise wird der Wassergehalt der Oberflächenzellen erfasst [29, 30], mit der Thermografie die Verdunstungsrate.

Im Bereich außerhalb der Wasserabsorption nehmen die IR-Reflexionswerte befallener Pflanzenblätter geringfügig ab und im Wellenlängenbereich der Wasserabsorption etwas zu. Die Unterschiede sind gering und die sich weit überdeckenden Standardabweichungen der Mittelwerte befallener und gesunder Pflanzen verhindern eine sichere Diskriminierung. Da jedoch die Intensitätsveränderungen in Bereichen mit und ohne Wasserabsorption gegenläufig sind, verbessert die Verhältnisbildung die Differenzierungschancen. Das Verhältnis von Linienintensitäten im Bereich 1070 bis 1100 nm zum Bereich 1435 bis 1465 nm ist bei gesunden Pflanzen 5,78 ( $\sigma = 0,35$  bei 240 Werten) und bei mit Gelbost befallenen Pflanzen 4,68 ( $\sigma = 0,83$  bei 240 Werten).

Die NIR-Aufnahmen mit Filtern bei Wellenlängen von 1075 nm und 1420 nm sind unterschiedlich. Im Wasserabsorptionsband (1420 nm) erscheinen Pflanzenteile dunkler als mit dem 1075 nm-Filter (*Bild 2*). Die Unterschiede zwischen befallenen und gesunden Pflanzen hängen vom Blickwinkel ab und ändern sich im Versuchsablauf, so dass simple Auswertungsverfahren mit Intensitätsschwellen keine geeigneten Informa-



*Bild 2: Aufnahmen von Weizenpflanzen (Triticum aestivum, Sorte „Kanzler“), infiziert mit Mehltau (Blumeria [syn. Erysiphe] graminis DC. f. sp. tritici March.; linker Topf), und von nicht infizierten Weizenpflanzen (rechter Topf). Lufttemperatur 24,1°C, relative Luftfeuchtigkeit 52 %.*

*VIS: Aufnahme mit Digitalkamera*

*MIR: Aufnahme mit Thermographiekamera*

*NIR 1075: Aufnahmen mit NIR-Kamera und Bandpassfilter 1075  $\pm$  75 nm*

*NIR 1420: Aufnahmen mit NIR-Kamera und Bandpassfilter 1420  $\pm$  75 nm*

*Fig. 2: NIR Images of wheat plants (Triticum aestivum, variety „Kanzler“) infected by powdery mildew (Blumeria [syn. Erysiphe] graminis DC. f. sp. tritici March.; left pot) and of healthy wheat plants (right pot). Air temperature 24.1°C, relative humidity 52%*

*VIS: Digital camera image*

*MIR: Thermal image*

*NIR 1075: Image of NIR camera and band-pass filter 1075  $\pm$  75 nm*

*NIR 1420: Image of NIR camera and band-pass filter 1420  $\pm$  75 nm*

tionen für den Pflanzenschutz geben würden. Als Ausweg bietet sich die pixelweise Verrechnung von zwei oder mehr identischen NIR-Aufnahmen in unterschiedlichen Wellenbereichen an, da die Verhältnisbildung das Diskriminierungspotenzial im NIR-Bereich steigert.

### Ausblick

Multispektrale Aufnahmen im VIS/NIR Bereich stellen heute keine technische Hürde dar. Mit geeigneten Objektiven und Strahlteilern kann dieser Wellenlängenbereich erfasst werden. Als Beispiel sei die Unkrautkartierung genannt, bei der die Kombination aus VIS- und NIR-Bildverarbeitung verwendet wird [31 bis 35]. Für die synchrone Bildverarbeitung in Echtzeit im thermischen und NIR-Bereich müssen geeignete Bedingungen gewählt werden, damit sowohl im MIR- als auch im NIR-Bereich vergleichbare Messflächen zugrunde liegen. Da für die optische Abbildung unterschiedliche Materia-

lien (NIR: Glas und MIR: Germanium) verwendet werden, sind nach gegenwärtigem Kenntnisstand gemeinsame Objektive und Strahlteiler nicht möglich. Falls NIR- und MIR-Kameras zur Befallsdetektion in Echtzeit kombiniert werden sollen, kommt nur der Intensitätsvergleich sich überdeckender Bildausschnitte in Frage. Zusätzlich müsste im NIR-Bereich das verrechnete Bild aus unterschiedlichen Wellenlängenbereichen bestehen, denn die mit der NIR-Kamera direkt gemessene NIR-Intensitätsverteilung erweist sich ohne spektrale Verrechnung als weniger aussagefähig für die Diskriminierung von Pflanzen.