

Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft (BBA), Fachgruppe Anwendungstechnik, Braunschweig

Pyranin – ein fluoreszierender Farbstoff für applikationstechnische Versuche

Pyranine – a fluorescent tracer dye for experiments on application techniques

Andreas Herbst und Hans-Jürgen Wygoda

Zusammenfassung

Seit Jahren wird für applikationstechnische Versuche (Belags- oder Abdriftmessungen) in der Bundesrepublik der Fluoreszenzfarbstoff Brillantsulfoflavin eingesetzt. Dieser Farbstoff scheint jedoch auf Grund der in letzter Zeit stark schwankenden Qualität nicht länger verwendbar zu sein. Es wurde deshalb ein Screening verfügbarer Farbstoffe durchgeführt, bei dem sich Pyranin 120 % als brauchbar erwies. Es wurden daraufhin mit dieser Substanz umfangreiche Versuche zum Fluoreszenzspektrum, zum Zusammenhang zwischen Konzentration und Fluoreszenz, zur Abwaschbarkeit von verschiedenen Oberflächen, zur Lagerfähigkeit der Proben und zur Lichtstabilität durchgeführt. Es konnte dabei nachgewiesen werden, dass sich der Farbstoff für Belags- und Abdriftmessungen, bei denen Kunststoffoberflächen als Kollektoren benutzt werden, ohne wesentliche Einschränkungen eignet. Bei der Belagsmessung auf Filterpapier oder bestimmten Pflanzenblättern im Freiland sind jedoch Probleme hinsichtlich der Lichtstabilität zu erwarten, die je nach Versuchsfrage und -bedingungen im Vorversuch abgeklärt werden sollten.

Stichwörter: Belagsmessung, Abdriftmessung, Farbstoff, Fluoreszenz

Abstract

For many years the fluorescent tracer dye Brillantsulfoflavine has been used for experiments on application techniques as spray deposit or drift measurements in Germany. Recently this tracer dye appears to be not sufficient any more due to the unsteady quality. This is why a screening of several dyes was done which resulted in a possible suitability of Pyranine 120%. Therefore an extensive program was conducted to test the spectral properties, the correlation of concentration and fluorescence, the solubility from several surfaces, the shelf life and the decay in UV light. The suitability of the tracer dye for measurements with plastic materials as collectors could be proven without major restrictions. If the tracer is used with filter paper or plant leaves outdoors, problems with UV light decay may occur which should be clarified with respect to the test conditions.

Key words: Spray deposit measurements, spray drift measurements, tracer dye, fluorescence

Einleitung

Bei applikationstechnischen Versuchen geht es oft darum, Spritzbeläge oder Abdriftsedimente auf natürlichen oder künstlichen

Zielflächen im Freiland oder Windkanal zu bestimmen. Ein wichtiges Verfahren hierfür ist die Fluorometrie. Dabei wird die Spritzflüssigkeit mit einem fluoreszierenden Farbstoff markiert, der nach der Applikation mit einer definierten Menge eines Lösungsmittels, in der Regel destilliertem Wasser, vom Zielobjekt abgewaschen wird. Die Konzentration des Farbstoffes wird anschließend mit einem Fluorometer quantifiziert. Die Messung beruht auf dem Effekt, dass diese Farbstoffe bei Anregung mit Licht einer bestimmten Wellenlänge (Exzitationswellenlänge) Licht einer anderen Wellenlänge (Emissionswellenlänge) aussenden. Die Leistung dieser ausgesandten Strahlung wird gemessen und ist proportional zur Konzentration des Farbstoffes in der Lösung.

Seit Jahren wird für derartige Untersuchungen in der Bundesrepublik Deutschland der Fluoreszenzfarbstoff Brillantsulfoflavin (BSF) eingesetzt. So wurden beispielsweise die bundesweiten Messprogramme zur Bestimmung der Abdriftewerte (GANZELMEIER et al., 1995) zum überwiegenden Teil mit diesem Farbstoff durchgeführt. Darüber hinaus wird zur Quantifizierung von Spritzbelägen auf Pflanzenteilen mitunter auf den Farbstoff Natriumfluoreszin zurückgegriffen (KOCH et al., 2003). Diese Substanz neigt jedoch besonders auf hellen, reflektierenden Oberflächen dazu, unter Einfluss des Sonnenlichtes sehr schnell an Fluoreszenzintensität zu verlieren.

In letzter Zeit zeigen die vom Hersteller angebotenen BSF-Chargen eine sehr geringe Lichtstabilität, d. h. während der Bestrahlung im Fluorometer wird die Fluoreszenzintensität abgebaut, und es kann sich kein stabiler Messwert einstellen. Dadurch ist die Verwendbarkeit dieses Farbstoffes zumindest für bestimmte Fluorometertypen in Frage gestellt.

Es wurde deshalb nach alternativen Fluoreszenzfarbstoffen gesucht. Dabei sollten neben der messtechnischen Eignung folgende Anforderungen eingehalten werden:

- Der Farbstoff soll gut wasserlöslich und mit Wasser vollständig von verschiedenen Oberflächen, wie Kunststoff, Filterpapier und Pflanzenteilen, abwaschbar sein.
- Die Fluoreszenzintensität soll auch bei Sonneneinstrahlung nicht abfallen.
- Aus Gründen des Anwender- und Umweltschutzes soll die Substanz ungiftig, nicht gesundheitsschädlich und umweltneutral sein. Es sollte sich möglichst um einen Lebensmittel-farbstoff handeln.

Der Farbstoff Pyranin erfüllt weitgehend diese Kriterien. Pyranin ist ein grün-gelbes pulverförmiges Natriumsalz (Handelsname: Pyranin 120 %, Colour Index: Solvent Green 7) und wird beispielsweise für Textmarker oder zum Färben von Geschirrspülmitteln und Shampoos verwendet. Es ist laut Sicherheitsdatenblatt (LANXESS, 2004) mit bis zu 300 g/l in Wasser löslich, be-

sitzt keine Gefahrenbezeichnung und erfordert lediglich die beim Umgang mit Stäuben allgemein üblichen Maßnahmen.

Erste messtechnische Vorversuche zeigten aussichtsreiche Ergebnisse. Zur eingehenden Prüfung der Eignung dieses Farbstoffes für applikationstechnische Versuche wurden deshalb umfangreiche Tests vorgenommen. Im Einzelnen wurden Versuche zum Fluoreszenzspektrum, zum Zusammenhang zwischen Konzentration und Fluoreszenz, zur Abwaschbarkeit von verschiedenen Oberflächen, zur Lagerfähigkeit der Proben und zum Fluoreszenzabbau durch Sonnenlicht durchgeführt.

Material und Methoden

Die Messungen wurden an Pyranin 120 % (Fa. Simon & Werner, Artikel-Nr. 101325, Chargenr. CHT90148) durchgeführt. Als Messgerät diente ein Spektralfluorometer SFM 25 der Fa. Kontron mit Durchflusssküvette mit 1,5 mm Schichtdicke. Bei den meisten Versuchen wurden künstliche oder natürliche Zielobjekte verwendet und eine Pyraninlösung darauf mit einer Flachstrahldüse XR 110-015 bei 3 bar appliziert. Unmittelbar nach der Applikation wurde für jedes Objekt die Belagsmasse mit einer Laborwaage auf 1 mg genau bestimmt. Nach anschließender Trocknung des Spritzbelages bzw. nach entsprechender Lagerung der Objekte wurde dann der Farbstoff mit definiertem Volumen destillierten Wassers abgewaschen und diese Proben mit dem Fluorometer analysiert. Als Bezugswert diente dabei eine um den Faktor 100 verdünnte Probe der applizierten Farbstofflösung. Anschließend wurde für jede Probe die Wiederfindungsrate W als Prozentsatz der fluorometrisch ermittelten V_m von der durch Wägung bestimmten Spritzflüssigkeitsmenge V berechnet:

$$W = \frac{V_m}{V} 100\% \quad (1)$$

Die Pyraninkonzentration in der Spritzflüssigkeit wurde jeweils so eingestellt, dass in Abhängigkeit von Zielobjektfläche und Volumen der verwendeten Waschflüssigkeit die Farbstoffkonzentration in den Proben bei den verschiedenen Zielobjekten etwa gleich war. Die verwendeten Zielobjekte werden in Tabelle 1 charakterisiert.

Fluoreszenzspektrum

Zur Ermittlung der optimalen Exzitations- und Emissionswellenlängen wurden am Fluorometer systematisch jeweils für beide Bereiche ein Wellenlängenspektrum für eine Probe mit einer Farbstoffkonzentration von 5×10^{-6} vermessen. Zunächst wurde durch einen Vorversuch die notwendige Detektorspannung zu 220 V und das ungefähre Emissionsmaximum bei etwa 505 nm bestimmt. Bei dieser Wellenlänge wurde anschließend die Exzitationswellenlänge im Bereich von (300–500) nm variiert. Bei der Exzitationswellenlänge, bei der die maximale Fluoreszenz auftrat, wurde dann die Emissionswellenlänge im Bereich von (400–600) nm verändert und die zugehörigen Fluoreszenzmesswerte aufgezeichnet. Diese Messungen wurden sowohl mit Wasser als auch mit dem Pflanzenschutzmittel Jewel Top in 2%iger Konzentration vorgenommen.

Zusammenhang zwischen Farbstoffkonzentration und Fluoreszenzmesswert

Im Allgemeinen gilt in der Fluorometrie für den Zusammenhang zwischen der Farbstoffkonzentration C und dem entsprechenden Messwert FL :

$$\frac{FL}{C} = const. \quad (2)$$

Um zu überprüfen, ob dieser Zusammenhang über den gesamten für applikationstechnische Versuche relevanten Wertebereich für Pyranin erfüllt wird, wurden verschiedene Verdünnungsreihen des Farbstoffes in Wasser hergestellt. Die Pyraninkonzentration wurde dabei in drei Bereichen von $2,4 \times 10^{-9}$ bis $7,8 \times 10^{-8}$, $3,9 \times 10^{-8}$ bis $1,25 \times 10^{-6}$ und $6,25 \times 10^{-7}$ bis 2×10^{-5} jeweils in 6 Stufen variiert und der zugehörige Fluoreszenzmesswert mit 5 Wiederholungen erfasst. Indem diesen Konzentrationsbereichen die Detektorspannungen 375 V, 260 V bzw. 195 V zugeordnet wurden, konnte jeweils die Empfindlichkeit des Fluorometers voll ausgenutzt werden. Auch diese Messungen wurden mit Wasser und Jewel Top durchgeführt.

Für jeden Messbereich wurde aus den Anzeigewerten am Fluorometer die Farbstoffkonzentration mit Hilfe der o. g. Beziehung berechnet und der Zusammenhang zwischen den Mittelwerten der eingestellten C und der gemessenen Konzentration C_m mit Hilfe von Regressionsanalysen mit dem Ansatz

$$C = aC_m \quad (3)$$

separat quantifiziert. Anschließend wurde mittels t-Test (Irrtumswahrscheinlichkeit $a = 5\%$) geprüft, ob der Regressionskoeffizient a statistisch mit dem Wert 1 übereinstimmt.

Lösbarkeit des Farbstoffes von verschiedenen Oberflächen

Die gute Wasserlöslichkeit des Farbstoffes ist eine wichtige positive Eigenschaft. Sie gewährleistet jedoch nicht unbedingt eine gute Abwaschbarkeit von den Zielobjekten, da möglicherweise Teile des Farbstoffes durch Oberflächenkräfte, durch Einlagerung in das Material oder chemische Reaktionen gebunden werden können. Dies sollte durch Abwaschversuche mit verschiedenen Materialien abgeklärt werden. Dazu wurden jeweils 5 Stück der in Tabelle 1 aufgeführten Objekte verwendet.

Lagerfähigkeit der behandelten Objekte

Bei diesem Versuch wurden als Zielobjekte Petrischalen, Filterpapier und Roggenblätter verwendet. Die Objekte wurden auf die gleiche Weise behandelt wie bei der Ermittlung der Abwaschbarkeit. Nach der Applikation wurden jeweils 10 Objekte für 48 h, 96 h bzw. 192 h bei etwa 20 °C unter Lichtabschluss gelagert, analysiert und anschließend die relative Abweichung A der Wiederfindungsraten vom Anfangswert W_0 berechnet:

$$A = \left(\frac{W}{W_0} \right) 100\% \quad (4)$$

Tab. 1. Charakteristik der Zielobjekte

Zielobjekt	Material	Fläche/ cm ²	Volumen Wasch- flüssig- keit/ml	Waschprozedur
Petrischale (Greiner bio-one, Produkt-Nr. 639102)	Polystyrol	149,6	40	10 min Schüttler
Kunststoffplatte schwarz	PVC	30	30	10 min Schüttler
Kunststoffplatte weiß	PVC	30	30	10 min Schüttler
Filterpapier (Macherey & Nagel, Artikel-Nr. 100615003)		30	20	1 min Ultraschall- bad
Roggenblätter			10	10 min Ultra- schallbad

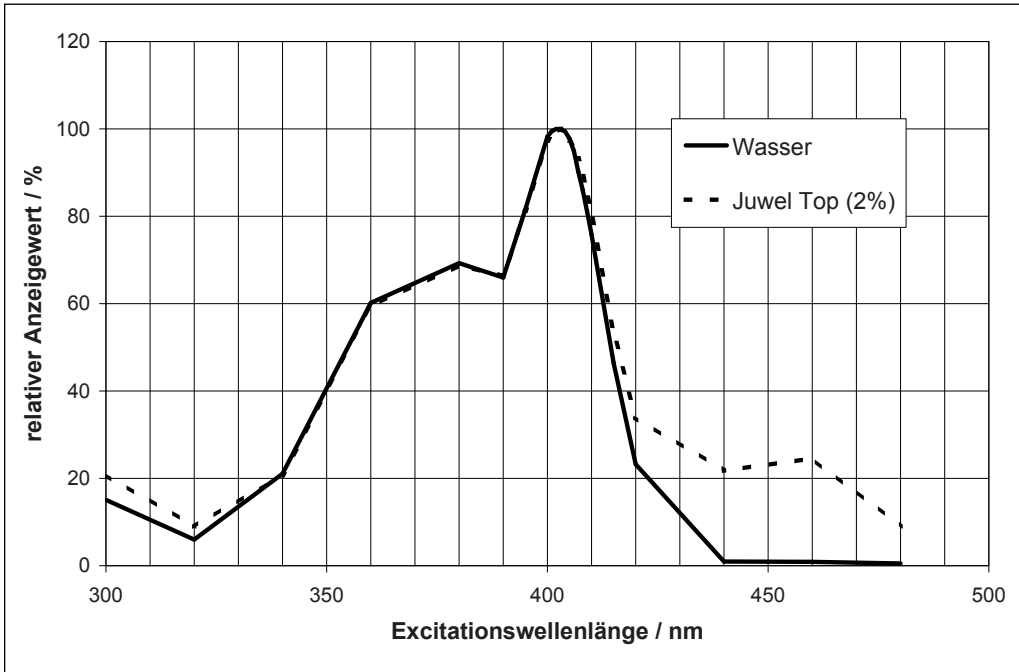


Abb. 1. Relative Fluoreszenzintensität in Abhängigkeit von der Exzitationswellenlänge für Pyranin in Wasser und in Wasser mit 2 % Juwel Top.

Fluoreszenzabbau durch Sonnenlicht

Bei der Untersuchung der Lichtstabilität wurde eine 0,3%ige Farbstofflösung wie oben beschrieben appliziert. Anschließend wurden jeweils 10 Petrischalen mit Deckel bzw. jeweils 10 der anderen Zielobjekte in mit Deckel versehenen Petrischalen für 10 min, 20 min, 30 min, 60 min und 120 min intensivem Sonnenlicht ausgesetzt; die Versuche wurden im Juni/Juli bei wolkenlosem bis locker bewölktem Himmel jeweils zwischen 10 Uhr und 15 Uhr durchgeführt. Bei der Auswertung der Ergebnisse wurden nach Gleichung (4) die Wiederfindungsraten auf den Anfangswert bezogen, der sich ohne Lichteinstrahlung ergeben hatte. Die Ergebnisse wurden einer Varianzanalyse unterzogen und die Grenzdifferenz für den multiplen t-Test (Irrtumswahrscheinlichkeit $\alpha = 5\%$) berechnet.

In einem weiteren Versuch sollte auch untersucht werden, wie der Abbau der Fluoreszenz in einer Farbstofflösung erfolgt. Dazu wurde

die Kalibrierlösung bis zu 192 h jeweils im Licht und unter Lichtabschluss gelagert und alle 48 h der Fluoreszenzwert gemessen.

Ergebnisse

Fluoreszenzspektrum

Die Zusammenhänge zwischen Fluoreszenzintensität und Exzitations- bzw. Emissionswellenlänge sind in den Abbildungen 1 und 2 für die Pyraninlösungen mit Wasser und Juwel-Top-Spritzflüssigkeit dargestellt.

In beiden Fällen liegen die Maxima der Messwerte bei der Exzitationswellenlänge von 402 nm und bei der Emissionswellenlänge von 504 nm. In unmittelbarer Umgebung der Maxima ändern sich die Messwerte nur unwesentlich, deshalb wurden für die weiteren Messungen die gerundeten Werte 405 nm und 505 nm verwendet.

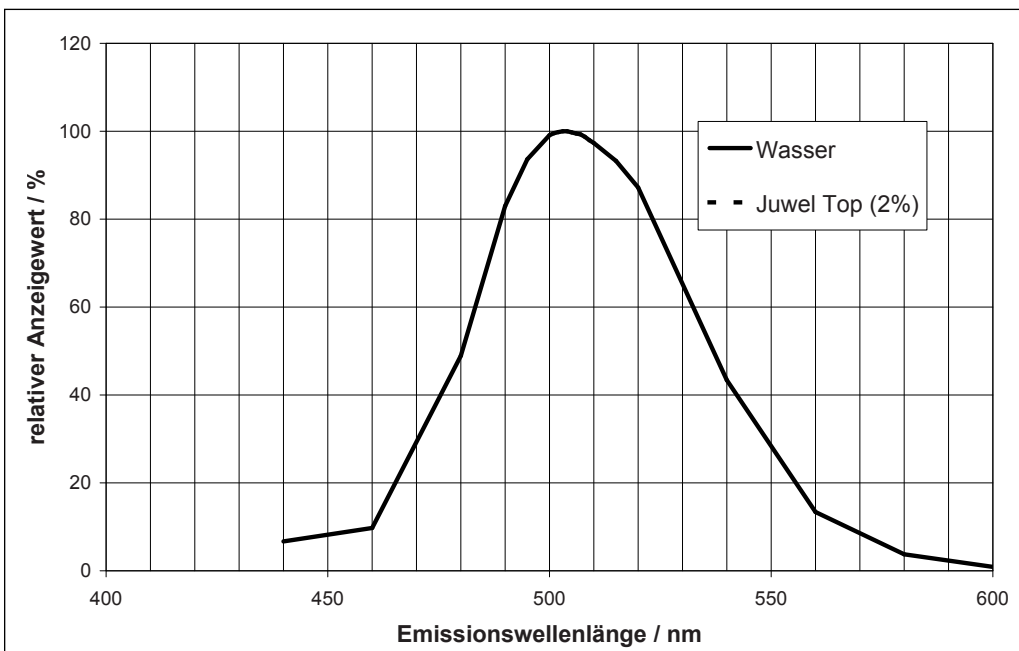


Abb. 2. Relative Fluoreszenzintensität in Abhängigkeit von der Emissionswellenlänge für Pyranin in Wasser und in Wasser mit 2 % Juwel Top.

Abb. 3. Korrelation der gemessenen mit der angesetzten Konzentration von Pyranin in Wasser.

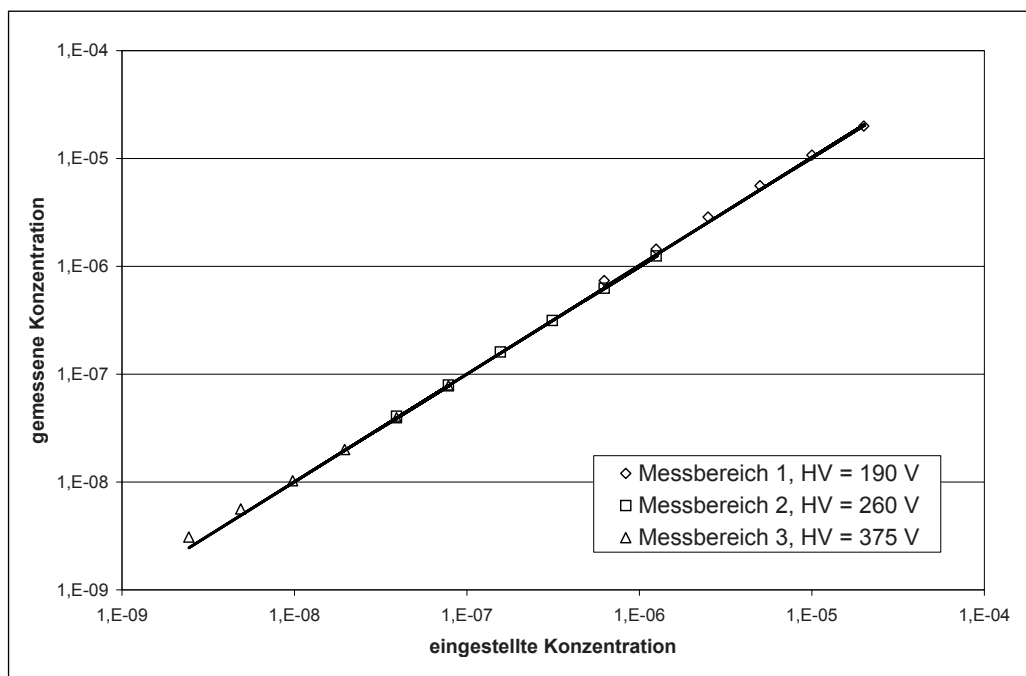
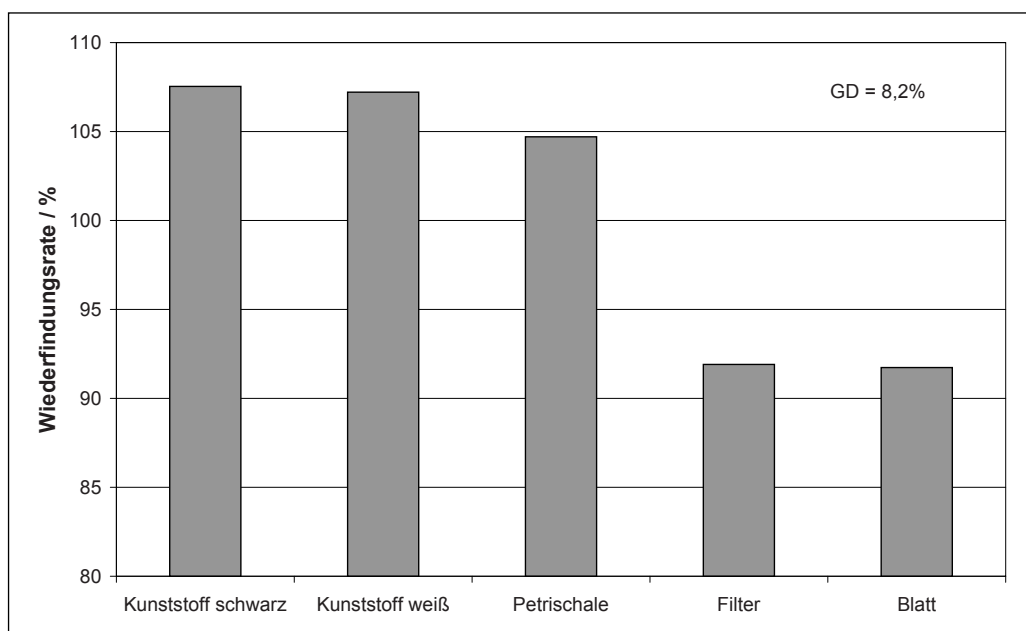


Abb. 4. Wiederfindungsrate bei verschiedenen Zielobjekten.



Zusammenhang zwischen Farbstoffkonzentration und Fluoreszenzmesswert

Der Zusammenhang zwischen Farbstoffkonzentration und Fluoreszenzintensität ist über den gesamten untersuchten Konzentrationsbereich linear. Dies trifft sowohl für die Pyraninlösung mit Wasser als auch mit dem Pflanzenschutzmittel zu. Die mit Hilfe

dieses linearen Zusammenhanges bestimmten Farbstoffkonzentrationen zeigen kaum Abweichungen von den eingestellten. Das in Abbildung 3 dargestellte Bild zeigte sich auch für die Spritzflüssigkeit mit 2% Jewel Top.

Wie die Koeffizienten der Ausgleichsgeraden zeigen (Tab. 2), gibt es auch keine Unterschiede zwischen den Messbereichen,

Tab. 2. Regressionskoeffizienten des Zusammenhanges zwischen eingestellter und gemessener Pyraninkonzentration ($t(5;0,05) = 2,571$; für alle $t < t(5;0,05)$ konnte keine signifikante Abweichung des Regressionskoeffizienten a vom Wert 1 festgestellt werden)

Spritzflüssigkeit	Messbereich	Koeff. a	Konfidenzintervall für a ($\alpha = 5\%$)		t für $a = 1$	Bestimmtheitsmaß
			a_{\min}	a_{\max}		
Wasser	1	1,0220	0,9762	1,0679	1,2352	0,9969
	2	1,0220	0,9970	1,0064	0,9149	1,0000
	3	1,0017	0,9889	1,0201	0,7363	0,9996
Jewel Top (2%)	1	1,0141	1,0019	1,0262	2,3690	0,9980
	2	1,0015	0,9946	1,0083	0,4349	0,9994
	3	1,0066	0,9958	1,0173	1,2454	0,9984

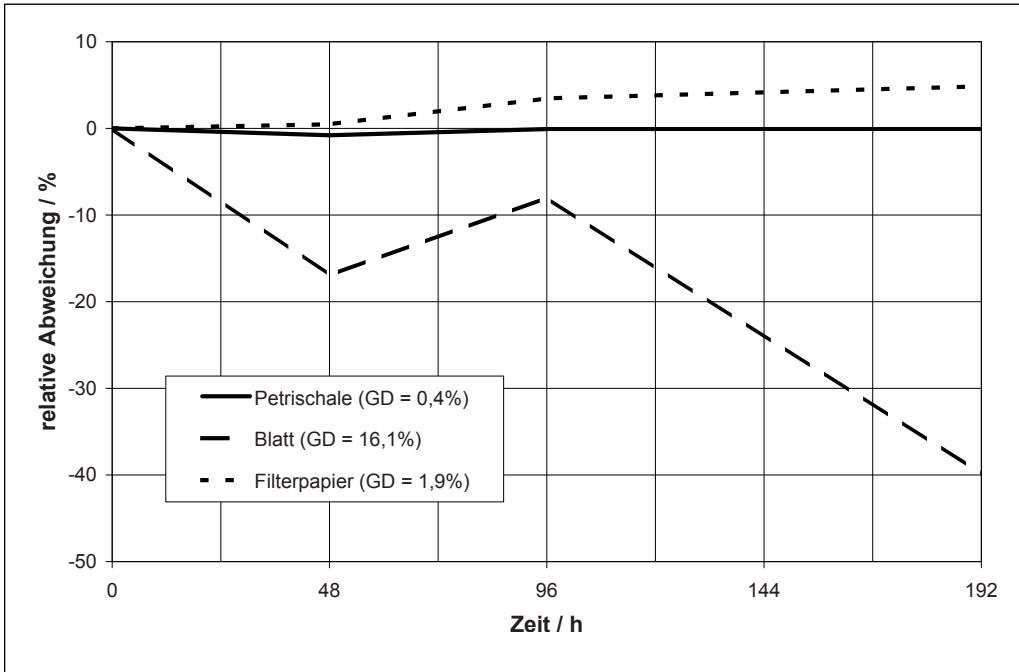


Abb. 5. Relative Abweichung der Fluoreszenzintensität vom Ausgangswert in Abhängigkeit von der Lagerdauer der behandelten Zielobjekte bei Raumtemperatur unter Lichtabschluss.

die durch unterschiedliche Werte der Detektorhochspannung eingestellt wurden. Die Koeffizienten weichen statistisch auch nicht vom Wert 1 ab.

Lösbarkeit des Farbstoffes von verschiedenen Oberflächen

Der Farbstoff Pyranin lässt sich mit den verwendeten Methoden sehr gut von allen Oberflächen lösen (Abb. 4).

Wie zu erwarten, trifft dies besonders auf die inerten Kunststoffoberflächen zu. Bei Filterpapier und Roggenblättern ist die Wiederfindungsrate signifikant niedriger, liegt aber noch in einem akzeptablen Bereich.

Lagerfähigkeit der behandelten Objekte

Die Lagerung der Proben unter Lichtabschluss bei Raumtemperatur ergab keinen Abfall der Fluoreszenzintensität innerhalb von

8 Tagen bei den künstlichen Zielobjekten (Abb. 5). Beim Filterpapier ergab sich sogar eine leichte Erhöhung der Messwerte bei längerer Lagerung, die zwar statistisch signifikant, sachlich jedoch eher unbedeutend ist. Ein deutlicher Abfall der Wiederfindungsraten war jedoch bei Roggenblättern zu verzeichnen.

Fluoreszenzabbau durch Sonnenlicht

In Abbildung 6 ist die prozentuale Abweichung der Wiederfindungsraten vom Anfangswert für die verschiedenen Zielobjekte dargestellt. Es sind deutliche Unterschiede zwischen den Zielobjekten festzustellen und ein zum Teil erheblicher Abbau der Fluoreszenz durch den Einfluss des Sonnenlichtes.

Wie an den Kunststoffkollektoren zu erkennen ist, spielt offenbar die Farbe eine Rolle. Bei dem helleren Material ist ein relativ deutlich stärkerer Abbau der Fluoreszenz nachzuweisen.

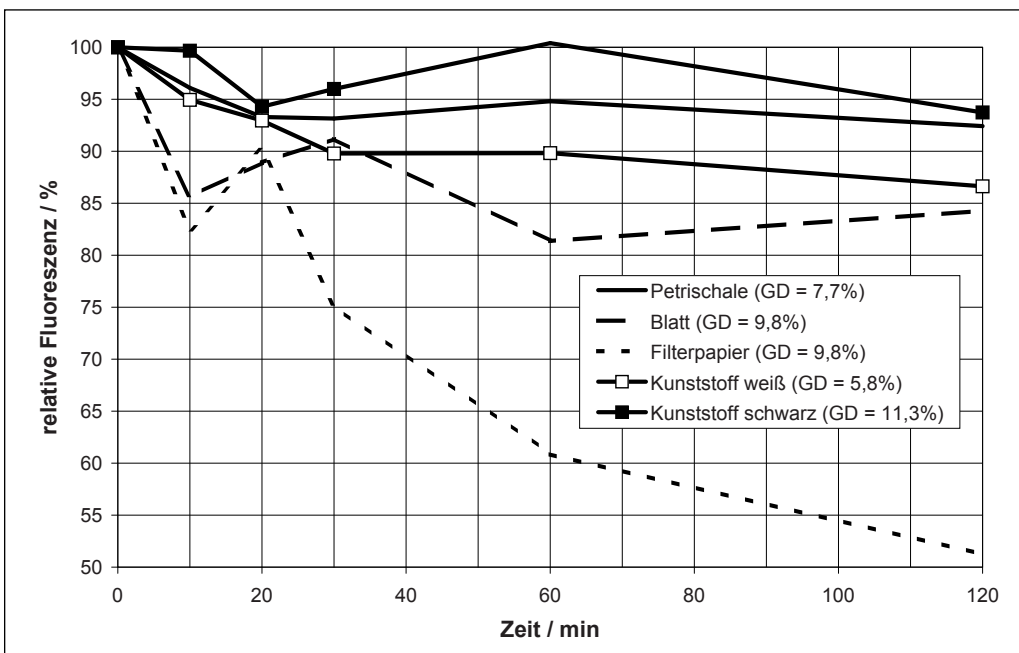
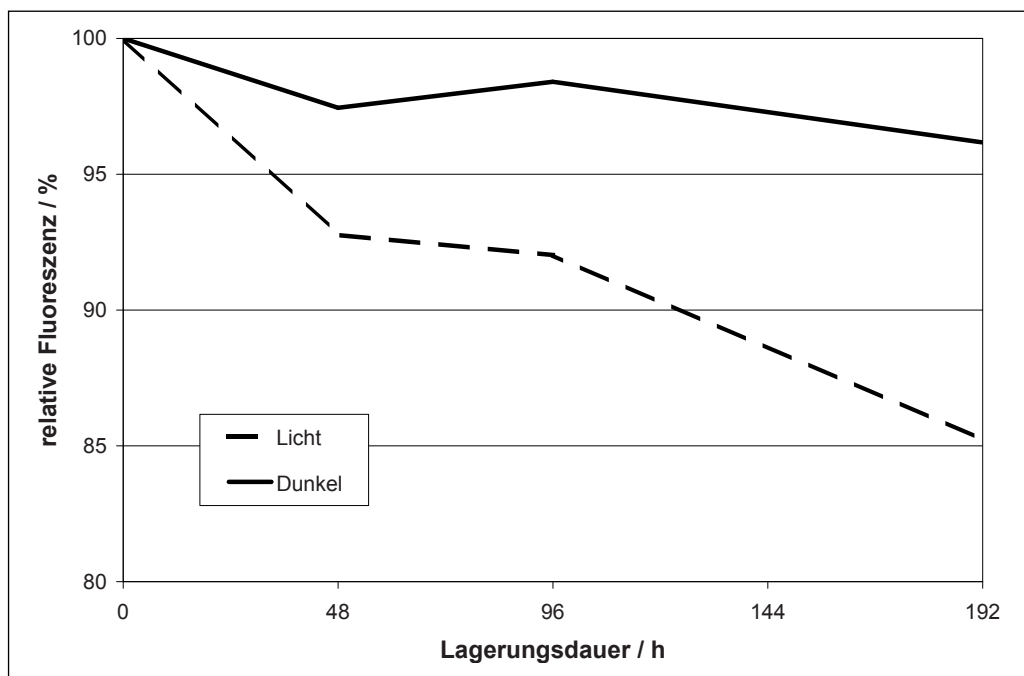


Abb. 6. Relative Fluoreszenzintensität in Abhängigkeit von der Dauer der Bestrahlung der behandelten Zielobjekte mit intensivem Sonnenlicht.

Abb. 7. Relative Fluoreszenzintensität in Abhängigkeit von der Lagerdauer von Pyraninlösung bei Raumtemperatur unter Lichtabschluss und bei Tageslicht.



Wird Pyranin in Lösung gelagert, wird die Fluoreszenz ebenfalls in gewissem Maße abgebaut (Abb. 7). Dieser Abbau fällt über 8 Tage jedoch vergleichsweise gering aus, wenn die Proben unter Lichtabschluss gelagert werden.

Diskussion

Die Ergebnisse der Untersuchungen bestätigten im Wesentlichen die ersten Eindrücke aus den Screening-Versuchen mit Pyranin.

Zunächst konnten die Kennwerte hinsichtlich der optimalen Wellenlängen für die Anregung und Messung der Emission für den Farbstoff festgestellt werden, und zwar unabhängig von der verwendeten Spritzflüssigkeit. Zwischen beiden Wellenlängen liegt mit etwa 100 nm eine Differenz, die für stabile Messungen völlig ausreichend ist. Die gefundenen Werte stimmen gut mit den in der Produktspezifikation genannten Wellenlängen für die Exzitation von (290–450) nm und für die Emission von 520 nm überein (BAYER, 2004). Der optimale Wert für die Exzitation ist vom pH-Wert der Lösung abhängig. Es ist jedoch anzunehmen, dass dieser Effekt bei applikationstechnischen Versuchen kaum eine Rolle spielt, da Substanzen, die den pH-Wert verändern könnten, wie beispielsweise die Inhaltsstoffe bestimmter PSM-Formulierungen, nur in unbedeutend geringer Konzentration in den Proben auftreten können.

Bei den Untersuchungen zum Zusammenhang zwischen Farbstoffkonzentration und Fluoreszenzintensität konnte nachgewiesen werden, dass über einen ausreichend großen Bereich mit einer linearen Abhängigkeit gerechnet werden kann. Damit wird beispielsweise bei Verwendung von Petrischalen ein Bereich des Spritzbelages von etwa (0,05–500) g Farbstoff pro ha abgedeckt. Für das verwendete Fluorometer ist mit einem Wert von etwa 2×10^{-9} das Minimum der praktisch auswertbaren Pyraninkonzentration in der Probe erreicht. Der für die Empfindlichkeit des Messgerätes maßgebliche Wert der Detektorhochspannung betrug bei dieser Messreihe 375 V. Bei einer weiteren Erhöhung wird der Messwert für reines destilliertes Wasser größer als Null. Nach oben hin ließe sich der effektive Messbereich durch Verdünnung der Proben beliebig erweitern.

Treten bei der Durchführung von applikationstechnischen Feldversuchen Arbeitsspitzen auf, die eine tagfertige Analyse

nicht gestatten, so können die behandelten Zielobjekte unter Lichtabschluss bedenkenlos über mindestens 8 Tage gelagert werden. Lediglich die Lagerung behandelter Blätter ist problematisch. Diese sollte jedoch ohnehin vermieden werden, da die meist notwendige Bestimmung des Flächeninhaltes der Blätter eine sofortige Aufbereitung der Proben erfordert.

Eine Alternative könnte sein, die durch Abwaschen der Blätter gewonnene Farbstofflösung zu lagern. Bei Pyranin in Lösung wird die Fluoreszenz kaum abgebaut, sofern die Lagerung unter Lichtabschluss erfolgt. Im Gegensatz dazu kommt es zu einem teilweise sehr deutlichen Abbau der Fluoreszenz, wenn Pyranin in Lösung oder die behandelten Zielobjekte dem Sonnenlicht ausgesetzt werden. Es spielt dabei offensichtlich auch eine Rolle, wie die Objekte gefärbt sind. Den deutlichsten Abbau durch Sonnenlicht gab es bei Filterpapier. Hier kann als Ursache nur die Oberflächenstruktur im Zusammenhang mit der Farbe vermutet werden, wodurch wahrscheinlich die Wirkung des Lichtes verstärkt wird. Auch auf Blättern kann es zum Abbau kommen, wobei wahrscheinlich auch Prozesse der Einlagerung des Farbstoffes in das Pflanzengewebe eine Rolle spielen. Dies würde auch den „Abbau“ der Fluoreszenz bei der Lagerung unter Lichtabschluss erklärbar machen. Wichtig ist, derartige Versuche mit einem fein verteilten Spritzbelag und somit unter praxisnahen Bedingungen vorzunehmen. Vorversuche mit einer Belegung der Zielobjekte mittels Pipette mit ein oder zwei großen Tropfen hatten zu vollkommen anderen Ergebnissen geführt.

Aus den Unterschieden im Abbau auf künstlichen Zielflächen und Blättern können sich erhebliche Probleme ergeben, wenn die gleichzeitige Messung von Spritzbelag im Bestand und Abdrift vorgesehen ist. Dies sollte bei der Planung der Versuche beachtet werden.

Insgesamt konnte nachgewiesen werden, dass sich der Farbstoff Pyranin für Belags- und Abdriftmessungen, bei denen Kunststoffoberflächen als Kollektoren benutzt werden, ohne wesentliche Einschränkungen eignet. Bei der Belagsmessung auf Filterpapier oder bestimmten Pflanzenblättern im Freiland kann es jedoch zu Problemen kommen, wenn die behandelten Zielobjekte länger als 10 min dem Sonnenlicht ausgesetzt sind. Dies sollte je nach Versuchsfrage und -bedingungen in einem Vorversuch abgeklärt werden.

Literatur

- BAYER, 2004: Pyranin 120 % – Eigenschaften und Einsatzgebiete. 2004.
- EU, 1996: Richtlinie 96/46/EG der Kommission vom 16. Juli 1996 zur Änderung der Richtlinie 91/414/EWG des Rates über das Inverkehrbringen von Pflanzenschutzmitteln. Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften Nr. L 214.
- GANZELMEIER, H., D. RAUTMANN, R. SPANGENBERG, M. STRELOKE, M. HERRMANN, H.-J. WENZELBURGER, H.-F. WALTER, 1995: Untersuchungen zur Abdrift von Pflanzenschutzmitteln. Mitt. Biol. Bundesanst. Land- Forstwirtschaft., **304**. 111 S.
- KOCH, H., P. WEISSER, M. LANDFRIED, 2003: Effect of drift potential on drift exposure in terrestrial habitats. Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd. **55** (9), 181–188.
- LANXESS, 2004: Sicherheitsdatenblatt Pyranin 120 % Nr. 136364/05. 30. September 2004.

Zur Veröffentlichung angenommen: 4. Dezember 2005

Kontaktanschrift: Dr. Andreas Herbst, Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Fachgruppe Pflanzenschutztechnik, Messeweg 11/12, 38104 Braunschweig