



top agrar  
SERIE

## FACHWISSEN PFLANZENBAU

Teil 19 von 27

► Wirkstoffaufnahme

△ Wassertropfen halten sich auf der Kutikula von Blättern nicht und perlen einfach ab – wie bei diesem Weizenblatt. Spritzbrühetropfen müssen hingegen gut verlaufen und eintrocknen.

Foto: Schlüter

# Wie gelangen Wirkstoffe in die Pflanze?

Pflanzenschutzmittel auf Pflanzen zu bringen, ist nicht unbedingt schwer. Damit sie darauf aber haften bleiben und dann ins Blatt diffundieren, bedarf es Fingerspitzengefühl.

### UNSER AUTOR

Prof. Dr. Klaus Schlüter,  
ehemals FH Kiel

**P**flanzenschutz – konventionell und biologisch – soll Schäden an Kulturpflanzen durch Krankheiten und tierische Schädlinge verhindern. Eine weitere wichtige Funktion ist, Un-

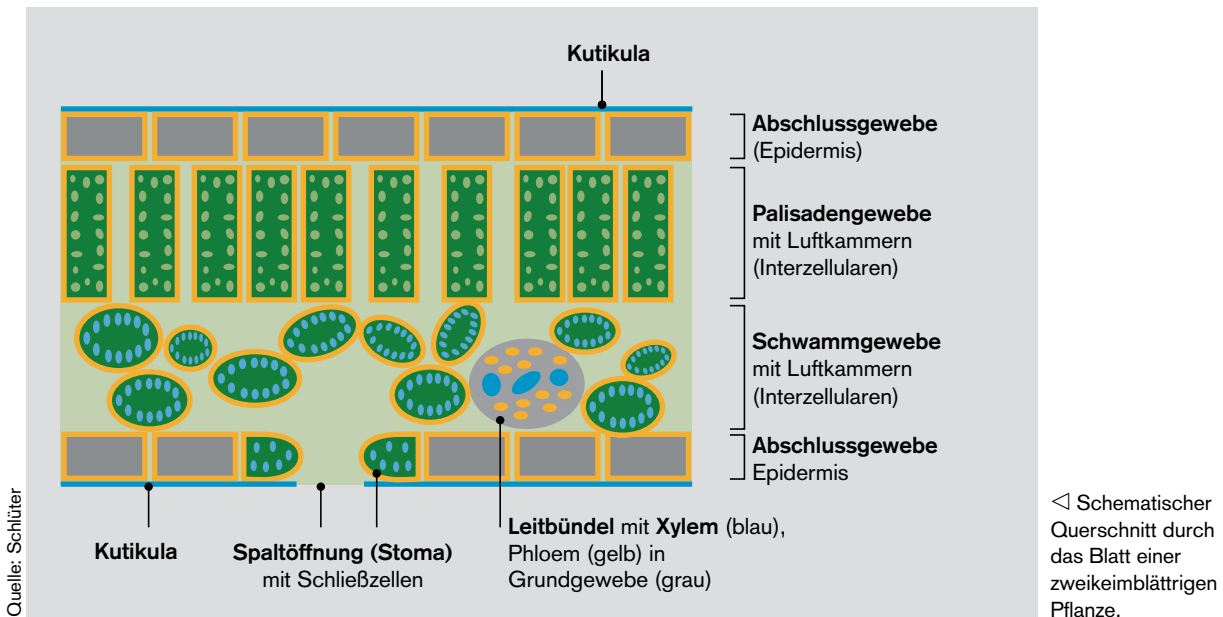
kräuter und Ungräser mit chemisch-synthetischen Wirkstoffen zu unterdrücken. So haben die Herbizide 2022 gut 50 % der ausgebrachten jährlichen Wirkstoffmenge in Deutschland ausgemacht.

### WASSER PERLT AB

Damit alle Präparate sicher wirken können, muss beim Applizieren der Spritzbrühetropfen ein guter Kontakt

zur Pflanze hergestellt werden. Für die biologische Wirkung ist entscheidend, wie sich die Wirkstoffe anschließend auf oder in der Pflanze verteilen. Wichtig ist dabei die Struktur der Pflanzenoberfläche. Diese ist von einer komplexen Kutikula überzogen (meist als Wachsschicht bezeichnet). Wasser perlt daran mehr oder weniger stark ab, Spritzbrühetropfen müssen dagegen

## ÜBERSICHT 1: BLATTAUFBAU ZWEIFEIMBLÄTTRIGER PFLANZEN WIE Z. B. RAPS



möglichst gut verlaufen und eintrocknen. Die Wirkstoffe dringen dann entweder in das Gewebe ein oder bleiben auf der Wachsschicht als Kristalle liegen. Zusatzstoffe wie z.B. Netzmittel bewirken, dass sich Tropfen auf der Pflanzenoberfläche ausbreiten und Haftmittel verkleben feste Wirkstoffe mit dem Blatt. So lässt sich eine hohe Bioverfügbarkeit erreichen – also die Geschwindigkeit und der Umfang der Wirkstoffaufnahme bis zu dem Ort, an dem die biochemische Wirkung im Schadorganismus erfolgt.

Nachfolgend beschreibt der Beitrag, warum für die Aufnahme der Pflanzenschutzwirkstoffe der Blattaufbau ebenso entscheidend ist wie der Randwinkel des Tropfens und eine gequollene Kutikula.

### Die Serie

Die Autoren der Serie „Fachwissen Pflanzenbau“ stellen Zusammenhänge im Pflanzenbau kurz und knackig (wieder) her. Der aktuelle Themenblock heißt „Pflanzenschutz und Wachstumsregler“. Schon erschienen sind „Boden“, „Bodeneingriff“, „Pflanzenphysiologie“ sowie „Fruchtfolge, Zwischenfrüchte, Kulturen“. Alle Beiträge sammeln wir online unter [www.topagrar.com/wissen-pflanzenbau](http://www.topagrar.com/wissen-pflanzenbau)

## BLÄTTER „VERSTEHEN“

### Grundlagen des Blattaufbaus

Die Blätter der ein- und zweikeimblättrigen Pflanzen unterscheiden sich im Feinbau. Daher lagern sich Wirkstoffe unterschiedlich an und durchdringen die Blätter auch auf verschiedene Art und Weise.

#### ZWEIFEIMBLÄTTRIGE PFLANZEN

Blätter der dikotylen (zweikeimblättrigen) Nutzpflanzen wie z.B. Raps, Kartoffel, Zuckerrübe, Leguminosen, Obst oder Gemüse besitzen auf beiden Blattseiten ein lebendes Abschlussgewebe (siehe Übersicht 1). Dieses wird auch als Epidermis bezeichnet. Direkt darauf liegt die aus Kutin und Wachsen zusammengesetzte Kutikula, die mit der Zellwand verwachsen ist. Ihre Bestandteile sind dachziegelartig miteinander verwoben (siehe Zusatzinfo „Witterung beeinflusst“ auf Seite 80). So verhindern sie, dass Wasser verdunstet. Manche Blätter tragen auf der Oberfläche feine Härchen oder spezielle Wachskristalle, wodurch die Kutikula eine unregelmäßige Oberfläche bekommt.

Mitten im Blatt findet die Photosynthese statt: Dem Licht zugewandt und deshalb auf der Blattoberseite liegt das Palisadengewebe mit einer besonders großen Anzahl an Chloroplasten, dar-

unter folgt das Schwammgewebe. Chloroplasten wandeln Lichtenergie in chemische Energie um und binden Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>) aus der Luft. So können Pflanzen alle für sie lebenswichtigen Stoffe synthetisieren. Palisaden- und Schwammgewebe sind von Luftkammern (Interzellularen) für den Gasaustausch durchzogen.

Die Leitbündel bestehen aus Xylem (transportiert Wasser von der Wurzel zum Blatt) und Phloem (transportiert Fotosyntheseprodukte wie Zucker vom

### SCHNELL GELESEN

**Im Blattaufbau** unterscheiden sich ein- und zweikeimblättrige Pflanzen – das wirkt sich auf die Wirkstoffanlagerung aus.

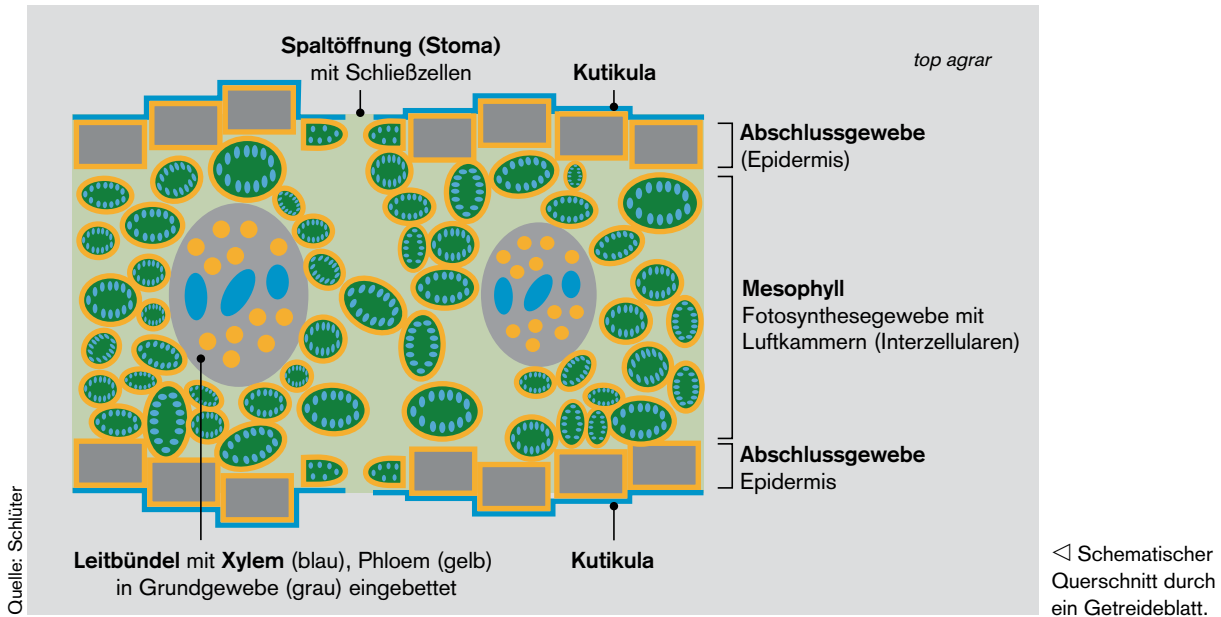
**Damit Spritzbrühetropfen** auf der Blattoberfläche gut haften, müssen sie einen kleinen Randwinkel aufweisen.

**Wachskristalle und Haare** auf der Kutikula erschweren zusätzlich, dass Tropfen auf dem Blatt haften bleiben.

**Durch eine gequollene Kutikula** können Wirkstoffe schneller in die Pflanze diffundieren.

**Während flüssige Wirkstoffe** zügig in das Blatt gelangen, lagern sich feste zunächst auf verschiedene Art und Weise an der Blattoberfläche ab.

**ÜBERSICHT 2: BLATTAUFBAU VON EINKEIMBLÄTTRIGEN WIE GETREIDE UND GRÄSERN**



Blatt in die Pflanze). Bei Dikotylen verlaufen sie netzartig und unregelmäßig durch das Blatt, so ergeben sich kurze Transportwege. Die Spaltöffnungen mit speziellen Schließzellen für den Gasaustausch liegen zum großen Teil auf der Blattunterseite.

**EINKEIMBLÄTTRIGE PFLANZEN**

Zu den Nutzpflanzen mit einem Keimblatt (Monokotyle) gehören vor allem Getreide, Mais und Gräser. Diese haben einen relativ einheitlichen Blattaufbau (Übersicht 2). Die beidseitige Epidermis ist mit einer stark wasserabweisenden Kutikula abgegrenzt. Oft liegen darauf kristalline Wachscheidungen, die diesen Effekt verstärken (s. Zusatzinfo „Witterung beeinflusst“ auf Seite 80).

In der Blattmitte von Gräsern und Getreide befindet sich das gleichmäßig strukturierte Fotosynthesegewebe mit zahlreichen Chloroplasten (Mesophyll). Die Leitbündel mit Xylem und Phloem verlaufen in Längsrichtung, sodass die Blätter im Querschnitt eine wellige Oberfläche aufweisen. Nur bei Mais und anderen C<sup>4</sup>-Pflanzen ist jedes Leitbündel zudem von einer Hülle spezialisierter Zellen umgeben. Diese trennen die Prozesse der C<sup>4</sup>-Fotosynthese räumlich und fixieren CO<sub>2</sub>, bevor es während der Fotosynthese zu Kohlenhydraten aufgebaut wird.

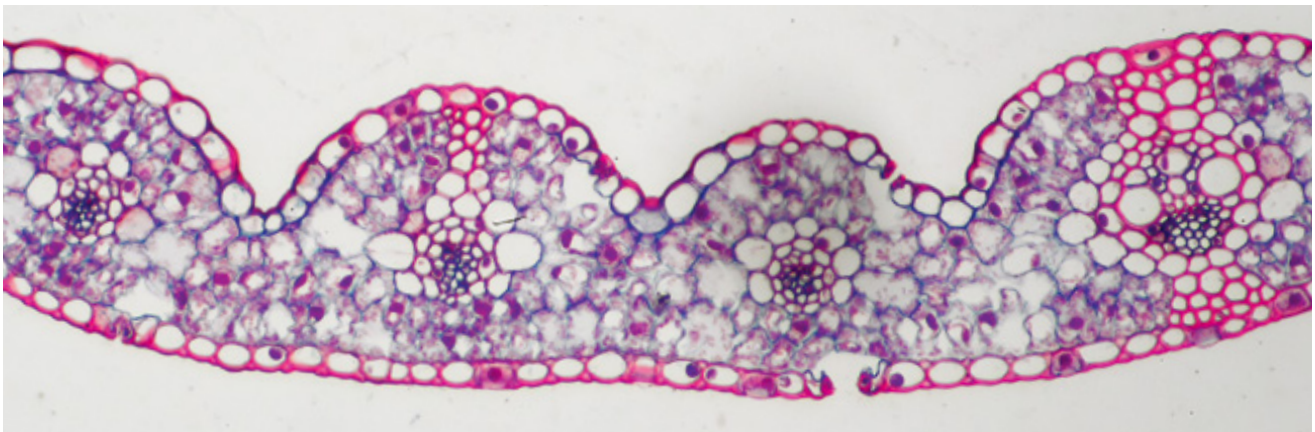
Anders als bei Dikotylen sind die länglichen, schmalen Spaltöffnungen bei Gräsern und Getreide gleichmäßig auf der Ober- und Unterseite verteilt.

**SPRITZBRÜHE AUFBRINGEN**

**So haften die Tropfen an den Blättern**

Ob die Spritzbrühetropfchen optimal auf der Pflanze haften, beeinflussen verschiedene Faktoren. Besonders wichtig sind dabei

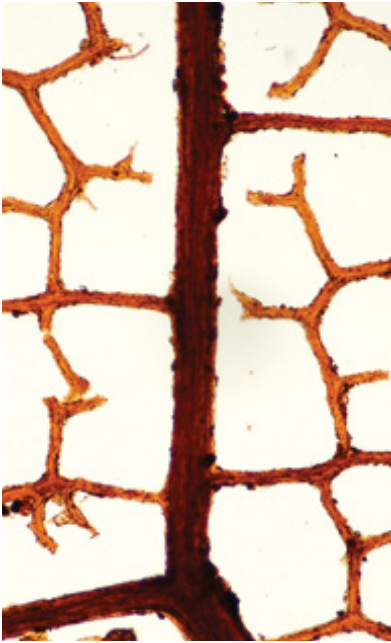
- die Blattstellung, ob horizontal (z. B. Raps, Rüben, Gemüse) oder vertikal (Getreide, Mais, alle Gräser),
- der wasserabstoßende Effekt der Blattoberfläche sowie
- die Struktur der Blattoberfläche (Wachskristalle, Blatthärchen; siehe Übersicht 3).



△ Mikroskopischer Querschnitt durch ein Weizenblatt, die Leitbündel verursachen eine wellige Oberfläche.



# Erteilt Feld- verweis



Fotos: Schlüter

△ Die Leitbündel der Dikotylen verlaufen netzartig durch das Blatt.

Eine Vielzahl von Kulturpflanzen ist aufgrund ihrer speziellen Oberfläche von reinen Wassertropfen schlecht zu benetzen. Dazu gehören u.a. Getreide, Gräser, Mais, Raps, Kohlgemüse, Soja, Leguminosen, Wein und Kernobst. Die dadurch schlechte Anhaftung verhindert, dass sich Spritzbrühetropfen ausbreiten und lässt sie bei grobtropfiger Applikation sogar abrollen. So erreicht der Wirkstoff seine Zielfläche nicht und geht verloren.

Mit einem großen Randwinkel zwischen Spritzbrühetropfen und Blatt bleiben die Tropfen fast kugelförmig. Für eine gute Benetzung muss deshalb

ein möglichst kleiner Randwinkel erzielt werden (siehe Übersicht 4, S. 80).

Bei manchen Pflanzenarten ragen aus der Kutikula auch markante Wachskristalle hervor, sodass eine unregelmäßige Oberfläche entsteht. Auf dieser können die Spritzbrühetropfen nicht zerfließen. Ein bekanntes Beispiel dafür, dass Tropfenanlagerung und Wirkstoffaufnahme durch Wachskristalle erheblich eingeschränkt sind, ist das Ackerfuchsschwanzgras. Die Folge sind Unterdosierung und Wirkungsverlust sowie eine beschleunigte Resistenzbildung der Schadorganismen.

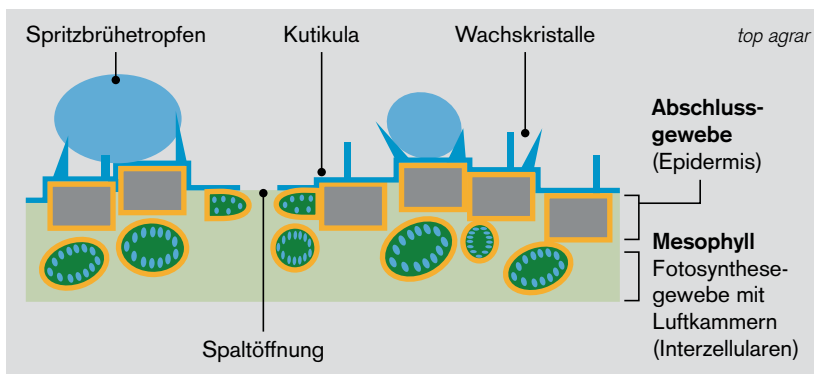
Um die Benetzung zu verbessern, sind deshalb spezielle Additive erforderlich. Diese sind entweder schon in der Formulierung enthalten oder werden beim Anmischen der Spritzbrühe zugefügt. Darüber hinaus gibt es eine Vielzahl sogenannter Zusatzstoffe für die Spritzbrühe, die genau wie Wirkstoffe geprüft und zugelassen werden müssen. Diese Stoffe sollen – je nach Pflanzenart, Präparat, Wasserqualität und Witterung – die Tropfenanlagerung und die Wirkstoffaufnahme weiter verbessern.

## VERDUNSTUNG HILFT MIT

### Entscheidend ist der Randwinkel

Bei optimalen Bedingungen benetzen Spritzbrühetropfen die Blattoberfläche so, dass sich der gewünschte kleine Randwinkel ergibt (siehe Übersicht 4). Durch die Verdunstung des

### ÜBERSICHT 3: KUTIKULA MIT WACHSKRISTALLEN



Quelle: Schlüter

△ Auf der Kutikula von Gräsern liegen häufig Wachskristalle – das verschlechtert die Tropfenanlagerung.

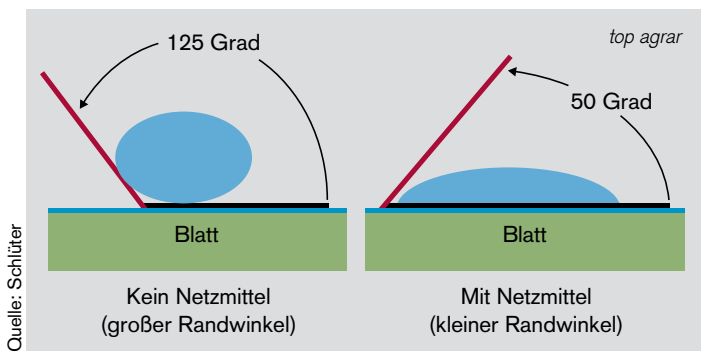
### TRIBUN® 75 WG

<b>Wirkstoff:</b>	Tribenuron-methyl 750 g/kg
<b>Position:</b>	Herbizid
<b>Stärken:</b>	Breites Wirkungsspektrum und großes Einsatzfenster
<b>Zugelassen in:</b>	Winterweichweizen, Wintergerste, Wintertriticale, Winterroggen, Sommerweizen, Sommergerste, Hafer
<b>Gegenspieler:</b>	Diverse einjährige Unkräuter, Acker-Kratzdistel (exkl. Ehrenpreis-Arten, Kletten-Labkraut)



Lesen und befolgen Sie stets die Gebrauchsanweisung auf dem Etikett. TRIBUN® 75 WG ist eingetragener Markenname der HELM AG. © 2023. Alle Rechte sind vorbehalten.

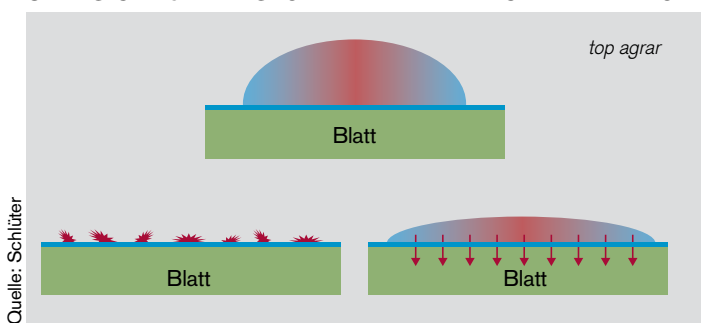
**ÜBERSICHT 4: SO WIRKEN NETZMITTEL AUF RANDWINKEL**



Quelle: Schlüter

◁ Durch einen großen Randwinkel (125°) werden Blätter schlecht benetzt. Mit Netzmitteln verringert sich der Winkel auf 50° und sorgt für eine gute Benetzung.

**ÜBERSICHT 5: WIRKSTOFFVERHALTEN NACH APPLIKATION**



Quelle: Schlüter

◁ Spritzbrühetropfen mit guter Spreitung (oben). Kristalline Wirkstoffe verbleiben auf der Kutikula (links), flüssige diffundieren hindurch in das Blatt (rechts).

Wassers trocknen die Tröpfchen ein. Entscheidend ist dabei, Verluste zu vermeiden, z.B. durch einen kurz nach der Spritzung fallenden Niederschlag. Die Geschwindigkeit der Wirkstoffanlagerung bzw. -aufnahme hängt von den chemischen Eigenschaften der Wirk-

stoffe und ihrer Formulierung ab. Aber auch die Wasserqualität und eventuelle weitere Zusätze spielen eine Rolle (siehe Übersicht 6).

Feste Wirkstoffe verbleiben nach dem Verdunsten des Wassers auf oder in der Wachsschicht. Sie können als Kristalle

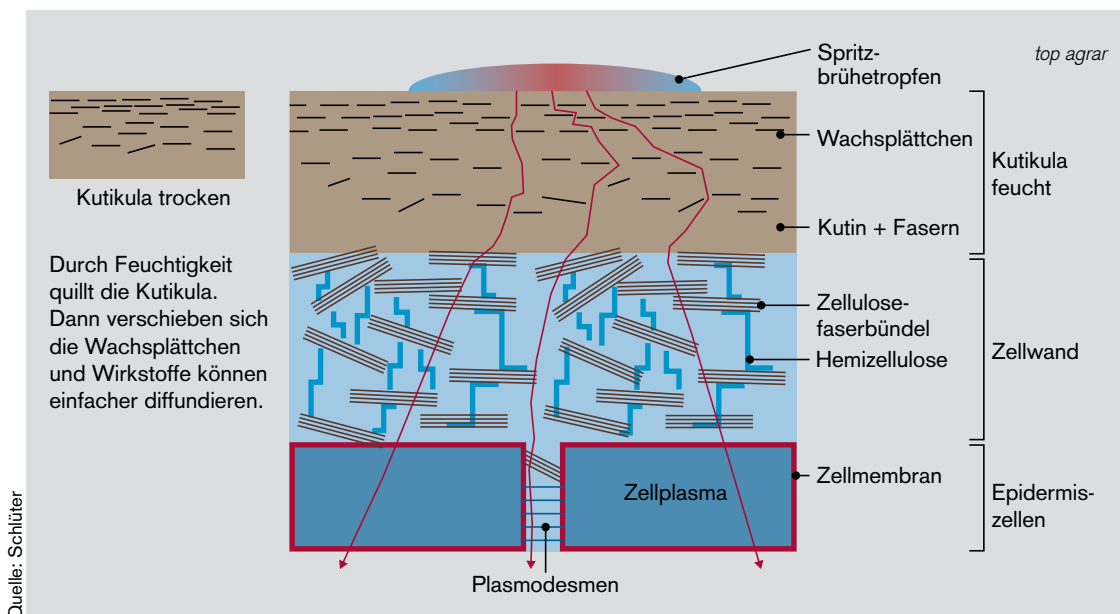
**WITTERUNG BEEINFLUSST**

**Schnelle Aufnahme bei gequollener Kutikula**

Bestimmte Pflanzenschutzwirkstoffe – insbesondere die systemischen – durchdringen aufgrund ihrer chemischen Eigenschaften die Kutikula (siehe Übersicht 6) und wandern in das Gewebe. Das ist möglich, weil sich zwischen den Wachsplättchen und dem Kutin geringe Mengen an Wasser befinden. Deshalb verläuft der Weg der Wirkstoffe zwischen den Plättchen hindurch.

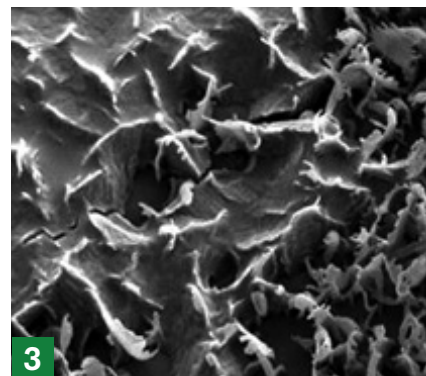
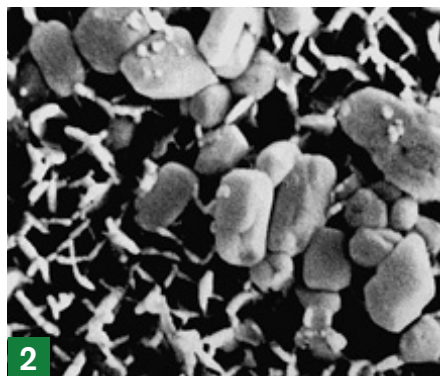
Die Kutikula liegt auf den Zellwänden der Epidermiszellen. Zellwände

**ÜBERSICHT 6: SO DIFFUNDIEREN PFLANZENSCHUTZMITTEL DURCH DIE KUTIKULA**



Quelle: Schlüter

◁ Diffusion eines flüssigen Wirkstoffes durch die Kutikula in das Blattgewebe



△ Das Raster-Elektronenmikroskop zeigt, wie sich feste Wirkstoffe aus Pflanzenschutzmitteln an die Kutikula anlagern: 1) als große Wirkstoffkristalle; 2) als sehr kleine Wirkstoffkristalle; 3) als amorphe Ablagerung (strukturlos).

umhüllen lebende Pflanzenzellen fest und bestehen hauptsächlich aus Zellulosefaserbündeln. Diese sind mit Hemizellulose kreuz und quer vernetzt. Zwischen benachbarten Zellen findet sich außerdem eine Schicht aus Pektin. Zellwände sind aufgrund dieser Struktur von Wasser durchsetzt und ermöglichen so, dass Wirkstoffe sie bis zur angrenzenden Zellmembran der Epidermiszellen durchwandern können. Die Plasmodesmen zwischen den Epidermiszellen sind plasmatische Verbindungen zwischen lebenden Zellen. Sie transportieren verschiedene pflanzliche Stoffe.

Von der Epidermis aus wandern Wirkstoffe in die darunter gelegenen Zellschichten und verteilen sich entsprechend ihrer Eigenschaften. Details

dazu lesen Sie im nächsten Beitrag in der top agrar-Ausgabe 3/2023.

#### WICHTIG IST FEUCHTIGKEIT

Bei der Aufnahme von Pflanzenschutzmittelwirkstoffen spielt Feuchtigkeit eine besonders große Rolle, da sie unmittelbar auf die Struktur der Kutikula einwirkt (siehe Übersicht 6).

Bei trockener Witterung sind die Wachsplättchen in der Kutikula dicht gepackt und verhindern den Durchtritt von Wasser in beide Richtungen.

Länger anhaltendes, kühles und feuchtes Wetter bewirkt, dass die Kutikula durch Wassereinlagerung aufquillt – sie wird allerdings nicht „abgewaschen“, wie in der Praxis häufig formuliert. So können flüssige Wirkstoffe

schneller bis in die Zellen und Zellwände der Epidermis eindringen.

**Vorteil:** Blätter nehmen nach Tau oder Regen systemische Wirkstoffe sehr viel schneller und besser auf als bei trockenem Wetter. Das gilt für alle Anwendungsbereiche. Bedeutend ist das vor allem bei den Spezialpräparaten gegen Ungräser, da deren Wachskristalle auf der Blattfläche erschweren, dass sich Spritzbrühe anlagert.

**Nachteil:** Nachauflauf-Herbizide können Kulturpflanzen nach kühlfeuchter Witterung belasten oder gar schädigen, weil die Wirkstoffe sehr schnell in das Gewebe gelangen und nicht entgiftet werden.

Ihr Kontakt zur Redaktion:  
[friederike.mund@topagrar.com](mailto:friederike.mund@topagrar.com)

**FMC** | An Agricultural Sciences Company

# Der Wirkungssieger breit • schnell • sicher

**Omnera® LQM®**  
GETREIDEHERBIZID

Komplette Unkrautbekämpfung in Winter- und Sommergetreide.  
FMC-Beratungs-Hotline: 0800 362 362 3, [www.fmcagro.de](http://www.fmcagro.de)

Scannen  
& Video  
anschauen



Getreideherbizide  
von FMC - für  
Profis erforscht und  
entwickelt.