

## **Was macht(e) Terbutylazin zum Basiswirkstoff der chemischen Unkrautbekämpfung im mitteleuropäischen Maisanbau? Eine Nutzenbetrachtung**

*Why has Terbutylazine become the basic component of weed control in maize cropping of Central Europe? A benefit assessment*

Martin Schulte\*, Magnus Steinheuer, Bert Düfer & Thomas Räder  
Syngenta Agro GmbH, Am Technologiepark 1-5, D-63477 Maintal  
\*Korrespondierender Autor, martin.schulte@syngenta.com

DOI: 10.5073/jka.2012.434.039

### **Zusammenfassung**

Der Herbizidwirkstoff Terbutylazin wurde in der Saison 2011 im deutschen Maisanbau auf etwa 86 % aller Maisanbauflächen zur Unkrautbekämpfung eingesetzt. Der anhaltende Markterfolg dieses mittlerweile 45 Jahre alten Wirkstoffs lässt sich mit der Summe wichtiger anwendungstechnischer Eigenschaften, aber auch dem verantwortungsvollen Umgang erklären. Zu charakteristischen Wirkstoffeigenschaften zählen ein breites Wirkungsspektrum, überlegene Residualaktivität, Anwendungsflexibilität vom Vor- bis zum späten Nachauflauf, hervorragende Maisverträglichkeit, geringe Bodenmobilität, wahrnehmbare Wirkungsgeschwindigkeit sowie Eignung als Partner für andere Wirkstoffe. Dank seiner Kombinationsfähigkeit hat Terbutylazin seine Bedeutung im Maisanbau seit seiner Einführung unverändert behalten, obwohl dort stets mit dem ubiquitären Auftreten triazinresistenter Unkraut-Biotypen gerechnet werden muss. In einem Deutschland und Österreich umfassenden Unkrautmonitoring mit Wirksamkeitsprüfung in den Jahren 2008 und 2009 wurde neben der Wirkungsbreite von Terbutylazin auch die Wirksamkeit einer Mischung mit dem 4-HPPD-Hemmer Mesotrione gegen triazinresistente Unkraut-Biotypen vergleichend belegt. 4-HPPD-Hemmer werden neben Photosystem-II-Hemmern als Mischpartner bevorzugt, weil sie mit Terbutylazin einen physiologischen Synergismus eingehen. Die Ausnutzung dieser Eigenschaft erlaubt eine Aufwandmengen-Reduktion. Mittels gezielter Nachauflauf-Anwendung optimierter Mischpräparate wird neben einer erhöhten Wirkungssicherheit auch eine auffällige Steigerung der Wirkungsgeschwindigkeit erreicht. Kombinationen aus Terbutylazin und residual wirksamen Gräserpartnern bieten den Vorteil einer umfassenden Bekämpfung der Unkraut- und Ungrasflora in Mais mit nur einmaliger Überfahrt. Terbutylazin erfasst auch Unkräuter, die sich mit anderen maisspezifischen Herbizidwirkstoffen nicht zufriedenstellend bekämpfen lassen. Aus Gründen des vorbeugenden Grundwasserschutzes wird seit 1991 ein gezieltes Wirkstoffmanagement für Terbutylazin durch Hersteller und Zulassungsinhaber betrieben. Es sieht eine Beschränkung des Einsatzes auf die Kultur Mais, eine Anwendung ausschließlich in Mischpräparaten im Frühjahr, eine maximale Aufwandmenge von 750 g/ha und den Verzicht des Einsatzes auf grundwassersensiblen Flächen (z. B. im offen liegenden Jurakarst) vor. Diese Maßnahmen haben sich als überaus erfolgreich erwiesen; bei ihrer konsequenten Einhaltung kann Terbutylazin auch künftig als der zentrale Basiswirkstoff der chemischen Unkrautbekämpfung in Mais mit den entsprechenden Vorteilen für die Anwender Verwendung finden.

**Stichwörter:** Blattwirkung, Bodenwirkung, Dauerwirkung, Wirkstoffmanagement

### **Summary**

Terbutylazine was used for weed control in German maize cropping in 2011 on nearly 86 % of total maize acreage. The ongoing success of this 45 year old herbicide can be explained by the various features for its use in maize as well as by responsible handling and care. Characteristic features of terbutylazine are a broad controlled weed spectrum, superior residual activity, application timing flexibility from pre- to late post-emergence, excellent crop tolerance, low soil mobility, perceivable speed of efficacy and suitability as partner for other active ingredients. Thanks to its combinability, terbutylazine has maintained its importance in maize cropping, although the ubiquitous occurrence of triazine-resistant biotypes always has to be expected. In a weed monitoring in Germany and Austria in the 2008 and 2009 field season, the broad controlled weed spectrum and the efficacy of terbutylazine in mixture with the 4-HPPD-inhibitor mesotrione on triazine-resistant weed biotypes have been proven comparatively. 4-HPPD-inhibitors are preferred mixture partners due to their physiological synergism in combination with terbutylazine. This feature enables a reduction of use rate of both terbutylazine and mixture partner. Targeted post-emergence application of optimized pre-mixture herbicides achieves enhanced reliability and a noticeable increase of speed of efficacy. Combinations of terbutylazine and residual graminicides offer the advantage of an all-embracing control of grass and broad-

leaved weed flora in maize by one pass only. Terbutylazine is also effective against weeds not controlled adequately by other maize-selective herbicides. For reasons of preventative ground water protection, since 1991 a targeted management of the active ingredient terbutylazine is carried out by manufacturers and registration holders. It envisages a limitation of terbutylazine usage in maize only, one use per season in mixture with other active ingredients in spring only, and a maximum use rate of 750 g/ha. For treatments in areas with vulnerable groundwater situations (e. g. in open exposed Jurassic Karst formations) other herbicides than terbutylazine containing products are strongly recommended. These measures have been demonstrated to be successful; in case of consequent compliance with these stewardship measures terbutylazine can be continuously used as basic active ingredient in chemical weed control in maize for the future, maintaining all the advantages of this active substances for agriculture in Europe.

**Keywords:** Duration of activity, foliar activity, management of active ingredient, residual activity

## 1. Einleitung

Mit Terbutylazin steht der Landwirtschaft für die Unkrautbekämpfung in Mais ein seit nahezu drei Jahrzehnten bewährter Wirkstoff mit einer zuverlässigen Wirksamkeit auf ein breites Spektrum einjähriger Unkräuter und ausgewählter Ungräser zur Verfügung. Die weltweite Erstpublikation von Terbutylazin erfolgte im Jahre 1966, die erste deutsche Zulassung eines Terbutylazin-Präparats in Mais wurde 1983 für GARDOPRIM® 500 FLÜSSIG erteilt. Der Wirkstoff zeichnet sich durch seine außerordentlich hohe Kulturverträglichkeit in Mais, seine rasche Blattwirkung und ganz wesentlich durch seine hervorragende Bodenwirkung auch auf nach der Applikation keimende Unkrautarten aus.

Ziel der vorliegenden experimentellen Untersuchungen war die Überprüfung der Vorkommenshäufigkeit triazinsensitiver und -resistenter Unkrautpopulationen in Mais und die Wirksamkeit ihrer Bekämpfung durch Terbutylazin und kommerzielle Mischpräparate. Damit sollte eine Abschätzung der Bekämpfungssicherheit des Maisunkrautpektrums mittels Terbutylazin-Präparaten vorgenommen werden.

## 2. Material und Methoden

### 2.1 Herbizide

Die geprüften herbiziden Wirkstoffe in Gewächshaus- und Feldversuchen wurden als formulierte Handelsware appliziert, Terbutylazin als Suspensionskonzentrat mit 500 g/l Wirkstoff, die Fertigformulierung CALARIS® 400 SC als Suspensionskonzentrat mit 330 g/l Terbutylazin und 70 g/l Mesotrione

### 2.2 Gewächshaus- und Feldversuche

Die vergleichende Prüfung der Wirksamkeit von Terbutylazin im Vor- und Nachauflauf erfolgte in den Forschungseinrichtungen der Syngenta AG im Rahmen von Routinecharakterisierungen neuer Wirkstoffe an einer Standardauswahl von Pflanzen, die in Kunststoffwannen in biologisch aktiven mineralischen Ackerboden (Herkunft „Stein/Möhlin“, Lehm, 21 % T, 31 % U, 44 % S, pH 7,5, 2,32 % C<sub>org</sub>, Kationenaustauschkapazität 19,05 meq/100 g) eingesät wurden. Für die Voraufbauanwendung wurden gestaffelte standardisierte Aufwandmengen unmittelbar nach der Saat der Testpflanzen mit praxisüblicher Sprühapplikation in 500 l/ha Wasser als Trägermedium auf die Bodenoberfläche appliziert; die analoge Nachauflaufapplikation fand gleichzeitig an etwa drei Wochen früher ausgesäten Pflanzen statt. Die Einsaaten wurden anschließend im Gewächshaus bei Umgebungstemperatur (15-20 °C Tagestemperatur für Arten gemäßiger, 18-25 °C für Arten wärmerer Klimate) kultiviert und regelmäßig nach Bedarf gegossen. Die Biomasseentwicklung des Aufwuchses wurde ca. drei Wochen nach der Behandlung im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle visuell bonitiert.

In Feldversuchen der Jahre 2008 und 2009 wurde Terbutylazin auf 188 Standorten in Maisanbaugebieten in Deutschland und Österreich vergleichend mit anderen Wirkstoffen und Herbizidmischungen auf Wirksamkeit gegen triazinresistente und -sensitive Unkrautbiotypen geprüft. Die Versuche waren hierzu mit ein- bis vierfacher Wiederholung und einer Parzellengröße von

mindestens 15 m<sup>2</sup> angelegt, um sowohl das Unkrautaufreten (Häufigkeit) als auch die Wirksamkeit verschiedener Herbizid-Behandlungen erfassen zu können. Minderwirkungen reiner Terbutylazin-Behandlungen sollten dabei auf Verdachtsfälle triazinresistenter Biotypen hinweisen. Die Herbizid-Applikation erfolgte im Nachauflauf der Unkräuter und Ungräser schwerpunktmäßig zum Mais-Stadium BBCH 12-14 und (bei Auftreten) Schadhirsens-Stadium BBCH 11-13. Zur Erfassung der Wirkungsgrade wurde die Reduktion des Unkrautaufwuchses im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle visuell bonitiert.

### 3. Ergebnisse

#### 3.1 Wirkungsbreite und zeitliche Anwendungsflexibilität

Terbutylazin besitzt sowohl bei Wurzelaufnahme aus dem Boden als auch nach Blattaufnahme ein sehr hohes Wirkungspotenzial auf ein breites annuelles Artenspektrum. Dikotyle reagieren gewöhnlich empfindlich, während unter den Gräsern nur die Bekämpfung pooider Arten mit höheren Aufwandmengen möglich ist; die dem Mais verwandten Hirsen sind unempfindlich (Tab. 1). Unter den Ackerbaukulturen verhalten sich nur Mais und Sorghum ausreichend physiologisch selektiv, wengleich einige großsamige Kulturen eine hinreichende Positionselektivität aufweisen können. Diese begründet weltweite Zulassungen zum Voraufauf-Einsatz z. B. in Kartoffel, Sonnenblumen oder Lupinen, aber auch im Obst- und Weinbau.

**Tab. 1** Wirksamkeit von 500 und 1000 g/ha Terbutylazin unter Gewächshausbedingungen nach Vor- und Nachauflaufapplikation auf ein Standard-Testpflanzenpektrum bedeutsamer annueller Arten im mitteleuropäischen Ackerbau (% visuelle Reduktion Biomasse, Bonitur ca. 21 Tage nach Applikation, Mittel aus acht Gewächshaus-tests).

**Tab. 1** Efficacy of 500 and 1000 g/ha terbutylazine under greenhouse conditions after pre- and post-emergent application, using key annual species occurring in Central European cropping (% visual biomass reduction, assessment ca. 21 days after application, mean from eight greenhouse tests).

Aufwandmenge	Voraufauf-Applikation		Nachauflauf-Applikation	
	500 g/ha	1000 g/ha	500 g/ha	1000 g/ha
Gerste	75	97	45	63
Weizen	73	92	43	73
Mais	0	5	3	4
Sojabohne	37	75	64	89
Raps	100	100	88	98
Zuckerrüben	100	100	100	100
<i>Alopecurus myosuroides</i>	90	98	78	98
<i>Avena fatua</i>	97	100	61	86
<i>Bromus tectorum</i>	85	100	71	90
<i>Lolium perenne</i>	80	98	44	71
<i>Setaria faberi</i>	22	30	28	33
<i>Sorghum halepense</i> (aus Samen)	3	7	5	10
<i>Digitaria sanguinalis</i>	20	42	15	18
<i>Echinochloa crus-galli</i>	32	47	31	41
<i>Cyperus esculentus</i>	5	20	9	23
<i>Abutilon theophrasti</i>	82	98	51	69
<i>Amaranthus retroflexus</i>	87	87	76	80
<i>Chenopodium album</i>	83	83	68	74
<i>Polygonum convolvulus</i>	100	100	93	95
<i>Sinapis arvensis</i>	100	100	96	100
<i>Stellaria media</i>	100	100	90	99
<i>Galium aparine</i>	68	92	71	75
<i>Veronica persica</i>	100	100	89	95

Die herbizide Wirksamkeit von Terbutylazin auf annuelle Arten im Voraufauf erweist sich unter Standardbedingungen im Gewächshaus mehrheitlich als etwas höher als im Nachauflauf, was insbesondere für flachkeimende pooider Ungräser deutlich wird. Großsamige Arten, die aus größerer Tiefe keimen und auflaufen können, werden im Voraufauf mit den heute zum Einsatz kommenden

Aufwandmengen von 750 g/ha und weniger nicht immer ausreichend bekämpft. Der Nachaufauf-einsatz zeigt sich gegen solche Arten als wirkungssicherer. Aufgrund der geringen innerpflanzlichen Translokation, die nach Aufnahme über Wurzel oder Blatt ausschließlich akropetal im Xylem erfolgt, verhält sich Terbutylazin wie ein Kontaktwirkstoff, der auf kleinere Pflanzen eine höhere Wirksamkeit gewährleistet als auf größere. Die Aufnahmemöglichkeit über Blatt und Boden zusammen mit der hohen physiologischen Selektivität verleiht Terbutylazin in Mais eine hohe zeitliche Anwendungsflexibilität vom Vor- bis zum fortgeschrittenen Nachaufauf.

### 3.2 Wirksamkeitsprüfungen beim Unkrautmonitoring 2008-2009

Obwohl der Alleineinsatz von Terbutylazin in der Praxis wegen des Auftretens triazinresistenter Unkrautbiotypen seit mehr als 25 Jahren nicht mehr üblich ist, zeigten 500 g/ha Terbutylazin im Nachaufauf auch ohne Mischpartner auf der überwiegenden Mehrzahl der Standorte eine unverändert hohe Wirksamkeit. Die im Rahmen des Deutschland und Österreich umfassenden Unkrautmonitorings der Jahre 2008 und 2009 mit der Nachaufaufbehandlung von Terbutylazin erzielten Bekämpfungsgrade lagen auf vielen Arten im Bereich der ausreichenden bis sehr guten Wirksamkeit (Tab. 2). Unter den auftretenden Ungräsern wies nur *Poa annua* eine nennenswerte Empfindlichkeit gegen Terbutylazin auf, während unter den dikotylen Arten überwiegend perennierende wie *Convolvulus arvensis* und *Calystegia sepium* nicht ausreichend bekämpft wurden. Die beobachteten hohen Bekämpfungsgrade von *Cirsium arvense* und *Rumex obtusifolius* erklären sich möglicherweise durch die Behandlung von aus Samen auflaufenden Pflanzen im Mais.

**Tab. 2** Bekämpfungserfolge von 500 g/ha Terbutylazin und einer Mischformulierung aus 495 g/ha Terbutylazin und 105 g/ha Mesotrione im Nachaufauf in Mais (Medianwerte und Streuung über die Versuchsjahre 2008-2009, % visuelle Reduktion Biomasse; Auswertung 14-42 Tage nach Applikation; nur Arten mit  $n > 1$ ; n: Anzahl Versuchsergebnisse).

**Tab. 2** Post-emergent weed control and crop tolerance of 500 g/ha Terbutylazine and a premix formulation containing 495 g/ha terbutylazine and 105 g/ha mesotrione (median values and variation 2008-2009, % visual biomass reduction; evaluation 14-42 days after application; only species with no. of results  $> 1$ ; n: no of trials).

Art	n	Terbutylazin 500 g/ha			Terbutylazin 495 g/ha + Mesotrione 105 g/ha				
		Median	Mittelwert	Min	Max	Median	Mittelwert	Min	Max
<i>Elymus repens</i>	15	30,0	47,7	0	100	50,0	46,7	0	100
<i>Alopecurus myosuroides</i>	18	10,0	34,2	0	100	72,5	53,0	0	100
<i>Apera spica-venti</i>	5	50,0	52,0	0	100	85,0	75,0	40	100
<i>Digitaria</i> spp.	18	20,0	43,1	0	100	45,0	52,7	0	100
<i>Echinochloa crus-galli</i>	98	25,0	35,9	0	100	95,0	84,1	0	100
<i>Equisetum arvense</i>	6	25,0	33,0	0	98	45,0	51,7	0	100
<i>Lolium</i> spp.	7	42,5	42,5	0	100	44,5	55,1	10	96
<i>Poa annua</i>	34	80,0	67,3	0	100	98,0	78,7	0	100
<i>Setaria</i> spp.	26	27,5	38,8	0	100	77,3	64,4	0	100
<i>Anagallis arvensis</i>	3	100	100	100	100	100	96,7	90	100
<i>Amaranthus</i> spp.	27	98,0	78,4	0	100	100	98,8	80	100
<i>Atriplex</i> spp.	26	85,0	73,6	27,5	100	100	97,3	80	100
<i>Bidens tripartita</i>	2	50,0	50,0	0	100	100	100	100	100
<i>Capsella bursa-pastoris</i>	30	100	96,5	0	100	100	96,4	0	100
<i>Centaurea cyanus</i>	4	99,0	94,5	80	100	100	100	100	100
<i>Chenopodium</i> spp.	161	80,0	75,9	0	100	100	98,8	75	100
<i>Cirsium arvense</i>	14	100	75,6	0	100	100	92,1	0	100
<i>Convolvulus arvensis</i> , <i>Calystegia sepium</i>	18	25,0	43,1	0	100	85,0	67,3	0	100

Art	n	Terbutylazin 500 g/ha				Terbutylazin 495 g/ha + Mesotrione 105 g/ha			
		Median	Mittelwert	Min	Max	Median	Mittelwert	Min	Max
<i>Euphorbia heterophylla</i>	4	87,5	86,3	70	100	100	100	100	100
<i>Fumaria officinalis</i>	2	87,5	87,5	75	100	99,5	99,5	99	100
<i>Galeopsis</i> spp.	5	99,0	76,8	0	100	99,0	90,8	65	100
<i>Galium aparine</i>	31	50,0	49,3	0	100	99,0	94,2	70	100
<i>Galinsoga</i> spp.	14	100	93,8	50	100	100	98,9	90	100
<i>Geranium</i> spp.	24	80,0	70,9	0	100	98,5	86,9	0	100
<i>Lamium</i> spp.	41	100	86,3	0	100	100	99,6	90	100
<i>Matricaria</i> spp.	59	45,0	50,5	0	100	100	94,0	40	100
<i>Mercurialis annua</i>	6	82,5	65,8	0	100	99,5	94,8	80	100
<i>Myosotis arvensis</i>	8	100	99,6	98	100	100	94,9	65	100
<i>Papaver</i> spp.	6	99,0	73,8	10	100	99,8	99,6	99	100
<i>Plantago major</i>	2	95,0	95,0	90	100	100	100	100	100
<i>Polygonum aviculare</i>	42	72,5	58,1	0	100	100	95,4	60	100
<i>Polygonum convolvulus</i>	77	75,0	58,8	0	100	99,0	93,0	40	100
<i>Polygonum lapathifolium</i>	28	75,0	65,8	0	100	100	96,2	60	100
<i>Polygonum amphibium</i>	5	50,0	56,0	0	100	100	99,6	99	100
<i>Polygonum persicaria</i>	27	90,0	71,3	0	100	100	95,0	55	100
<i>Rumex</i> spp.	2	92,5	92,5	85	100	99,5	99,0	99	100
<i>Senecio vulgaris</i>	4	87,5	73,8	20	100	100	100	100	100
<i>Sinapis arvensis</i>	3	90,0	63,3	0	100	99,0	66,3	0	100
<i>Solanum nigrum</i>	48	90,0	76,4	0	100	100	97,3	67	100
<i>Sonchus</i> spp.	3	100	99,7	99	100	100	99,7	99	100
<i>Stellaria media</i>	80	100	86,3	0	100	100	98,5	0	100
<i>Thlaspi arvense</i>	30	100	83,3	0	100	100	96,5	0	100
<i>Urtica urens</i>	3	90,0	70,0	20	100	98,5	97,8	95	100
<i>Veronica</i> spp.	20	100	97,3	80	100	100	99,3	95	100
<i>Viola</i> spp.	45	99,0	76,5	0	100	100	91,3	0	100
Ausfall-Getreide	8	5,0	38,8	0	100	50,0	50,0	0	100
Ausfall-Raps	13	90,0	74,8	0	100	100	90,2	0	100
Durchwuchs-Kartoffel	8	50,0	52,0	0	99	79,0	82,9	0	100

Wirkungsgrade von Terbutylazin von im Schnitt 80 % oder weniger gegen Keimlinge empfindlicher annueller Arten deuten im Regelfall auf Mischpopulationen mit Anteilen triazinresistenter Biotypen hin. Nachgewiesen wurde das Auftreten solcher Biotypen in Mitteleuropa unter anderem für *Amaranthus hybridus*, *Amaranthus lividus*, *Amaranthus retroflexus*, *Atriplex patula*, *Bidens tripartita*, *Chenopodium album*, *Chenopodium ficifolium*, *Chenopodium polyspermum*, *Epilobium tetragonum*, *Erigeron canadensis*, *Galinsoga ciliata*, *Matricaria chamomilla*, *Poa annua*, *Polygonum aviculare*, *Polygonum convolvulus*, *Polygonum lapathifolium*, *Senecio vulgaris*, *Solanum nigrum*, *Sonchus asper*, *Stellaria media* (HEAP, 2011; <http://www.weedscience.org>).

Die mit 500 g/ha Terbutylazin erzielten unzureichenden Wirksamkeitsergebnisse mit Streuungen von 0 bis 100 % und niedrigen Median- oder Mittelwerten legen vor dem oben geschilderten Hintergrund einen Triazinresistenzverdacht unter den geprüften Arten für Populationen folgender Arten nahe: *Amaranthus* spp., *Atriplex* spp., *Bidens tripartita*, *Chenopodium* spp., *Matricaria* spp., *Polygonum aviculare*, *P. convolvulus*, *P. lapathifolium*, *Polygonum persicaria*, *Solanum nigrum*, *Poa annua* und *Stellaria media*. *Thlaspi arvense* weist bei einer hohen Anzahl an Ergebnissen niedrige Mittelwerte bei höheren bis sehr hohen Medianwerten auf, sodass hier punktuell

Triazinresistenzverdacht nicht auszuschließen ist. Eine geringe Anzahl an Ergebnissen bei Streuungen zwischen 0 und 100 % und sehr hohen Mittel- und Medianwerten erlaubt keine Aussage über die Ursache der Minderwirkung. Für *Convolvulus arvensis*, *Calystegia sepium* und *Cirsium arvense* wie auch Ausfall-Kulturen kann eine geringe grundlegende Empfindlichkeit (*baseline sensitivity*) gegen Terbutylazin angenommen werden. Um den Triazinresistenzverdacht zu bestätigen, wurden von einer begrenzten Anzahl von Fundorten an Arten mit Minderwirkung zusätzlich PCR-Analysen des psbA-Gens durchgeführt (nicht dargestellt). Dieses Gen codiert das D1-Bindeprotein im Reaktionszentrum des Photosystems II und ist für eine veränderte Bindensite für Triazin-Herbizide verantwortlich. Sie ergaben in 35 % der untersuchten Stichproben eine Mutation, die eine Wirkort-Triazinresistenz verursachen kann. Betroffene Arten waren *Chenopodium album*, *Solanum nigrum* und *Polygonum convolvulus* (SCHULTE und RÄDER, 2010).

Für die höhere Wirksamkeit und Wirkungssicherheit der Fertigmischung aus Terbutylazin und Mesotrione gegen die Mehrzahl der geprüften Arten (ersichtlich an der geringeren Variation) sind neben dem zweiten, auch triazinresistente Biotypen erfassenden Wirkungsmechanismus, zusätzlich additive und synergistische Effekte der Summe zweier Wirkstoffe zu berücksichtigen (SCHULTE et al., 2002).

## 4. Diskussion

### 4.1 Einsatzgründe

Ein Terbutylazin vergleichbares Wirkungsspektrum auf Unkräuter und Ungräser mit Blatt- und überlegener Boden- und Dauerwirkung weist kein anderer der bekannten maisselektiven Herbizidwirkstoffe auf. Das in Tabelle 2 gezeigte Wirkungsspektrum von Terbutylazin enthält mit *Geranium* spp., *Veronica* spp., *Papaver* spp. und *Urtica urens* annuelle Arten, die mit anderen maisselektiven Herbizidwirkstoffen nicht oder nur ungenügend bekämpft werden können.

Die hohe Wirkungsdauer bis zum Reihenschluss des Maises aufgrund der herbiziden Bodenaktivität von Terbutylazin wurde wiederholt in vergleichenden Feldversuchen mit gestaffelter Einsaat von Unkräutern nach Voraufaufapplikation des Herbizids nachgewiesen (SCHULTE und HAAS, 2004). Diese wichtige Eigenschaft von Terbutylazin findet sich auch in Kombinationspräparaten und Tankmischungen. Aufgrund dessen eignet sich Terbutylazin unter den maisselektiven Herbizidwirkstoffen am besten zur Unkrautbekämpfung mit nur einmaliger Überfahrt, da er eine überlegene Dauerwirkung gegen alle empfindlichen dikotylen Arten mit einer hohen Maisspezifität und breitem Wirkungsspektrum auch im Nachaufauf verbindet.

Der Anteil der Herbizidbehandlungen mit nur einmaliger Überfahrt nahm in den letzten Jahren in Deutschland stets zwischen 88 % und 92 % der Maisanbaufläche ein (Tab.3). Auch in Unkrautbekämpfungssystemen mit herbizidresistenten Maissorten und komplementären, nur blattwirksamen Breitbandherbiziden kann Terbutylazin aufgrund seiner Residualwirkung wesentliche ergänzende Bekämpfungsleistungen beitragen (STELLING et al., 2000). Wichtige Gründe für die langjährige Anwendung von Terbutylazin als Basiskomponente der chemischen Unkrautbekämpfung in Mais lassen sich damit wie folgt auflisten:

- Außerordentlich hohe Wirkungsbreite einschließlich einiger Ausfallkulturen und mit anderen Wirkstoffen schwierig bekämpfbarer annueller Arten,
- Dauerwirkung auf alle nach der Behandlung auflaufende annuelle Arten,
- Hohe zeitliche Anwendungsflexibilität aufgrund Boden- und Blattwirkung,
- Hervorragende Maisverträglichkeit in Hybridsorten und den allermeisten Inzuchtlinien.

Die zuverlässige Wirkung von Terbutylazin gegen ein breites Spektrum dikotyler Unkräuter und einiger Ungräser wird jedoch durch das Auftreten triazinresistenter Unkraut- und Ungrasbiotypen eingeschränkt. Geeignete Maßnahmen zum Resistenzmanagement minimieren die Gefährdung durch solche Biotypen. Zu diesem Zweck werden seit Bekanntwerden solcher Biotypen Triazin-Herbizide mit Wirkstoffen anderer Wirkmechanismen in Fertig- oder Tankmischungen kombiniert. In Deutschland wurden seit 1985 fertig formulierte Mischungen mit Photosystem-II-Hemmern

(Bromfenoxim, Bromoxynil, Pyridat, Bentazon) und seit 2006 mit Mesotrione angeboten (SCHULTE und HAAS, 2004). In den vorliegenden Untersuchungen belegen dies die mit der Mischung CALARIS® aus Terbutylazin und dem 4-HPPD-Hemmer Mesotrione erzielten Ergebnisse. Insbesondere gegen Arten, für die das Vorkommen triazinresistenter Biotypen nachgewiesen wurde, erreichte die Mischung im Einzelfall wie auch im Mittel stets deutlich höhere Bekämpfungsgrade als Terbutylazin im Alleineinsatz. Das Konzept der Zumischung von Wirkstoffen mit anderem Wirkungsmechanismus hat damit den Wert von Terbutylazin zur Unkrautbekämpfung über einen Zeitraum von mehr als 30 Jahren nach der erstmaligen Entdeckung der Triazinresistenz in Mitteleuropa unverändert erhalten. Auch residual nicht ausreichend von Terbutylazin erfasste, nach Behandlung auflaufende Schadpflanzen können mit Wirkstoffen anderen Mechanismen problemlos bekämpft werden. Ein möglicher Verlust an ökologischer Fitness könnte dafür verantwortlich sein, dass triazinresistente Biotypen gegenüber anderen Wirkstoffen noch empfindlicher reagieren.

Neben Photosystem-II-Hemmern werden seit ihrer Entdeckung und Zulassung in jüngerer Zeit 4-HPPD-Hemmer als Mischpartner für Terbutylazin bevorzugt, weil sie einen physiologischen Synergismus eingehen (SCHULTE et al., 2002). Die Ausnutzung dieser Eigenschaft erlaubt eine Aufwandmengenreduktion beider Wirkstoffe. Die auffällige Steigerung der Wirkungsgeschwindigkeit aufgrund dieses Synergismus ist ein vom Anwender geschätzter Nebeneffekt. Die derzeit in Deutschland und Österreich zur Bekämpfung dikotyler Unkräuter vertriebenen Fertigmischungen basieren allesamt auf den Mischpartnern Pyridat, Bentazon, Bromoxynil und Mesotrione. Aus Tabelle 2 ist ersichtlich, dass neben triazinresistenten dikotylen Arten auch Gräser nicht ausreichend von Terbutylazin erfasst werden. Da Gräser in der Regel vergesellschaftet mit breitblättrigen Unkräutern auftreten, haben sich in der landwirtschaftlichen Praxis Kombinationen aus Terbutylazin zuzüglich Mischpartnern gegen triazinresistente Unkrautbiotypen sowie residual oder blattwirksamen Gräserpartnern zur umfassenden Bekämpfung der Unkraut- und Ungrasflora in Mais mit nur einmaliger Überfahrt durchgesetzt.

#### 4.2 Wirkstoffmanagement

Ende 2011 bestanden in Deutschland neun gültige Zulassungen und vier Vertriebsweiterungen für Präparate mit dem Wirkstoff Terbutylazin zum Einsatz in Mais. Terbutylazinhaltige Herbizide wurden in der Saison 2011 in Deutschland auf nahezu 86 % der Maisanbaufläche zur Unkrautbekämpfung eingesetzt. Der über den Betrachtungszeitraum 2000 bis 2011 stetig mit dem Maisanbau zunehmende Einsatzumfang und der gestiegene Anteil der Terbutylazin-behandelten Anbaufläche belegen die vom Anwender geschätzte einzigartige Kombination der oben geschilderten Eigenschaften (Tab. 3). Auch der hohe Anteil der Einfach-Applikation (nur eine Überfahrt zur chemischen Unkrautbekämpfung) sowohl innerhalb der mit Terbutylazin-Präparaten behandelten als auch der insgesamt mit Herbiziden behandelten Maisfläche belegt, dass die Anbauer die Eigenschaft dieses Wirkstoffes, auch nach der Applikation auflaufende einjährige Unkräuter noch zu erfassen, intensiv nutzen.

**Tab. 3** Einsatz terbutylazinhaltiger Herbizide in Mais in Deutschland während der letzten 12 Jahre (Quellen: <sup>1</sup> KLEFFMANN GROUP und eigene Berechnungen, <sup>2</sup> Deutsches Statistisches Bundesamt).

**Tab. 3** Use of terbutylazine containing herbicides in Germany from 2000-2011.

	2000	2002	2004	2006	2008	2010	2011
Anzahl vertriebener Terbutylazin-Herbizide <sup>1</sup>	9	10	12	18	22	30	31
Mais-Anbaufläche <sup>2</sup> ['000 ha]	1'515	1'518	1'710	1'747	2'087	2'296	2'519
- davon mit Terbutylazin behandelt <sup>1</sup> [%]	61,1	62,9	68,5	71,1	80,0	84,8	85,9
- darin Anteil Einfachapplikationen <sup>1</sup> [%]	92	88	90	92	92	90	88
Anteil der Einfachbehandlungen an allen Maisherbizid-Anwendungen <sup>1</sup> [%]	90	88	90	92	92	90	88

Aus Gründen des vorbeugenden Grundwasserschutzes wird seit 1997 ein gezieltes Wirkstoffmanagement für Terbutylazin durch Hersteller und Zulassungsinhaber betrieben (KÜCHLER et al., 2002, 2003). Es sieht folgende Beschränkungen des Einsatzes vor:

- Nur in den Kulturen Mais und Sorghum,
- Anwendung ausschließlich in Mischpräparaten bis zum 15. Juli eines Jahres,
- Maximale Aufwandmenge von 750 g/ha je Saison,
- Verzicht auf den Einsatz in wassersensiblen Gebieten, z. B. im offen liegenden Jurakarst.

Diese Maßnahmen haben sich als überaus erfolgreich erwiesen, um das Risiko von Einträgen in Grund- und Oberflächengewässer auch vor dem Hintergrund der zunehmenden Maisanbaufläche zu minimieren. Rückblickend betrachtet ist durch das erfolgreiche Wirkstoffmanagement für Terbutylazin der Beleg erbracht, dass gezielte Produktentwicklung und Produktsteuerung einen nachhaltigen Produkterhalt erbringen kann. Bei der konsequenten Einhaltung dieses Wirkstoffmanagements kann Terbutylazin auch künftig als der zentrale Basiswirkstoff der chemischen Unkrautbekämpfung in Mais Verwendung finden - mit den genannten Vorteilen für die Anwendung in Mais.

### Literatur

- KLEFFMANN GROUP, 2000-2010: AMIS®CROP PROTECTION MAIS DEUTSCHLAND 2000-2010.
- KÜCHLER, T., H. RESSELER, B. DÜFER UND M. LEFÈVRE, 2002: MONITORING VON TERBUTHYLAZIN IN OBERFLÄCHENGEWÄSSERN AN ABSCHWEMMUNGSGEFÄHRDETEN MAISFELDERN ZUR ÜBERPRÜFUNG DER WIRKSAMKEIT VON ABSTANDSAUFLAGEN - ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK. MITTEILUNGEN AUS DER BIOLOGISCHEN BUNDESANSTALT **390**, 136.
- KÜCHLER, T., B. DÜFER, H. RESSELER, M. SCHULTE UND D. CORNES, 2003: TERBUTHYLAZINE IN MAIZE - A MODEL EXAMPLE OF PRODUCT STEWARDSHIP AND SAFE USE. THE BCPC INTERNATIONAL CONGRESS - CROP SCIENCE AND TECHNOLOGY, GLASGOW. ABSTRACTS, **VOL. 2**, 953-958.
- SCHULTE, M. UND H. U. HAAS, 2004: SYD 11'460 H - EINE INNOVATIVE LÖSUNG ZUR BEKÄMPFUNG VON UNKRÄUTERN UND UNGRÄSERN IN MAIS. JOURNAL OF PLANT DISEASES AND PROTECTION **SPECIAL ISSUE XIX**, 657-665.
- SCHULTE, M. UND T. RÄDER, 2010: SYNGENTA MAISUNKRAUTMONITORING 2008-2009 - NACHWEIS VON WIRKORTRESISTENZ GEGEN PS-II-HEMMER ANHAND VON BLATTPROBEN. TAGUNG DES DPG-AK HERBLOGIE, 17.2.2010, FRANKFURT/M-HOECHST.
- SCHULTE, M., W. RUEEGG UND P.B. SUTTON, 2002: SYNERGIE VON MESOTRIONE, S-METOLACHLOR UND TERBUTHYLAZIN IN DER BEKÄMPFUNGSTRATEGIE VON MAISUNKRÄUTERN. ZEITSCHRIFT FÜR PFLANZENKRANKHEITEN UND PFLANZENSCHUTZ **SONDERHEFT XVIII**, 785-793.
- STELLING, D., M. SCHULTE UND A. AMANN, 2000: STRATEGIEN DER UNKRAUTBEKÄMPFUNG MIT LIBERTY® IN LIBERTYLINK® MAIS. MITTEILUNGEN AUS DER BIOLOGISCHEN BUNDESANSTALT **376**, 154-155.