

Abteilung Pflanzliche Erzeugung

Gustav-Kühn-Straße 8, 04159 Leipzig

Internet: <http://www.smul.sachsen.de/lfulg>

Bearbeiter: Martin Hänsel
E-Mail: martin.haensel@smul.sachsen.de
Tel.: 0341 9174-154; Fax: 0341 9174-111
Redaktionsschluss: 30.06.2011

Striegeln gegen Unkraut

Inhaltsverzeichnis

1. Einfaches Gerät für schwierige Aufgabe.....	2
2. Voraussetzungen im Pflanzenbau	3
3. Aspekte der Technik.....	4
3.1 So arbeiten Striegelzinken.....	4
3.2 Federung und Führung des Striegels.....	5
3.3 Strichabstand und Zinkenstärke.....	8
3.4 Arbeitsgeschwindigkeit und Arbeitstiefe.....	9
4. Den Striegel einstellen	10
5. Den besten Einsatztag wählen.....	12
6. Striegeln in den Kulturen	12
6.1 Getreide	13
<i>Wintergetreide</i>	14
<i>Sommergetreide</i>	16
6.2 Körnerleguminosen	17
6.3 Mais	20
7. Alternativen zum Striegel: Sternstriegel, Rotary Hoe und Rollstriegel.....	22
8. Striegel weiterhin mit Innovationspotenzial	26
9. Literatur	27

1. Einfaches Gerät für schwierige Aufgabe

Striegeln zur Unkrautregulierung mit einem hohen Wirkungsgrad erfordert umfangreiches Wissen und Erfahrung im Umgang mit dieser Technik. Jeder Arbeitsgang findet in einer spezifischen Situation auf dem Feld statt. Die vielfältige Kombination der Faktoren Bodenzustand, Unkrautbestand, Kulturpflanzenzustand und Witterung, die die Arbeitsweise des Striegels maßgeblich beeinflussen, lässt keine rezeptartige Bedienung des Striegels zu.

Im optimalen Wirkungsbereich dieser Feldarbeit werden nicht nur Unkräuter beseitigt, sondern es werden auch die Kulturpflanzen in einem gewissen Umfang beeinträchtigt oder beschädigt. Gerade diese Schädigung muss möglichst genau bekannt sein, um den Striegeleinsatz optimieren zu können. Jede Kulturpflanzenart hat dabei auch eine spezifische Fähigkeit sich nach Störungen durch den Striegel zu regenerieren und die entstandenen Schäden zu kompensieren. Selbst verschiedene Sorten einer Kulturpflanzenart reagieren unterschiedlich auf den Striegeleinsatz. Nur über dieses Wissen ist eine hohe Selektivität zwischen Unkraut und Kultur beim Striegeln zu erreichen. Die Arten der Schäden an den Kulturpflanzen entsprechen dabei denen an den Unkräutern. Entwurzeln, Abbrechen oder Verschütten der Pflanzen kommen vor. Jeder Kulturpflanzenbestand kompensiert Pflanzenschäden oder Pflanzenverluste in einer besonderen Art und Weise.

Das Striegeln erfordert über dies die genaue Artenkenntnis von keimenden Unkräutern, Wissen über deren Verletzlichkeit beim Striegeln, Erfahrungen über die Entwicklungsgeschwindigkeit der Wildpflanzen und deren Konkurrenzkraft gegenüber dem jeweiligen Kulturpflanzenbestand. Während es für die Bestimmung der Unkrautkeimlinge bewährte Literatur gibt, ist man in den anderen Punkten weitestgehend auf den Ausbau des eigenen Erfahrungsschatzes angewiesen.

Der Erfolg des Striegeln hängt zusätzlich wesentlich davon ab, ob diesem Arbeitsgang die erforderliche Zeit zugeordnet wird. Striegeln muss mit hoher Priorität in die Arbeitswirtschaft eingebunden werden, um erfolgreich sein zu können. Dabei müssen zeitliche Überschneidungen, insbesondere mit dem Bergen von Feldfutter und der mechanischen Unkrautregulierung von zum Beispiel Mais, eingeplant werden. Personal- und Maschinenkapazitäten stoßen hier leicht an ihre Grenzen und können eine Ursache für geringe Unkrautbekämpfungserfolge sein.

Die große Herausforderung für den Anwender auf dem Feld beim Striegeln ist, ohne weitere Hilfsmittel in kürzester Zeit zu entscheiden, ob sich das Verhältnis der Unkrautreduzierung zu negativen Einflüssen auf die Kultur betriebswirtschaftlich im optimalen Bereich bewegt. Letztlich bleibt trotz guter Kenntnislage in vielen Kulturen eine Unsicherheit bezüglich des wirtschaftlichen Erfolges der Unkrautregulierung bestehen, denn auch der nicht vorhersehbare Witterungsverlauf steuert ganz wesentlich die Konkurrenzsituation der Pflanzen auf dem Feld.

In jedem Fall muss der individuelle Striegeleinsatz auf seine Zweckmäßigkeit an Ort und Stelle genau geprüft werden.

Das eigentliche Fahren mit dem optimal eingestellten Striegel gehört eher zu den einfacheren Feldarbeiten, vor allem wenn Leitspuren vorhanden sind und keine Wechsel der Bodenarten auf dem Schlag auftreten. Bei überschaubarem Aufwand an Technik liefert das Striegeln sofort offensichtliche Erfolge bei großer Flächenleistung.

Die Agrarforschung in Europa und Nordamerika befasste sich in jüngster Zeit verstärkt mit dieser Form der mechanischen Unkrautregulierung. Der Eingriff dieses Feldarbeitsgangs auf Unkraut und Kultur erhielt dadurch deutlich mehr Transparenz, so dass die Steuerung dieses Vorganges präziser werden dürfte. Gleichzeitig wurden Entwicklungsimpulse der Landwirte zur Mechanik der Striegel vom Maschinenbau aufgegriffen und zur Marktreife gebracht. Dagegen hat der Einzug der Elektronik beim Striegeln nur in den ersten Schritten und unspezifisch stattgefunden, zum Beispiel beim präzisen Anschlussfahren mittels GPS-Lenkhilfen. Vorstellbare spezielle Entwicklungen wie elektronische Einstellassistenz oder Erfolgskontrolle werden wohl aus Kostengründen noch nicht aufgegriffen.

Bei den vorliegenden Ausführungshinweisen zum Striegeln werden vorwiegend neue Erkenntnisse aus der Forschung für die landwirtschaftliche Praxis zur Umsetzung aufbereitet. Die Untersuchungen zeigen, dass für viele Feldkulturarten die strengen Einsatzgrenzen des Striegels bezüglich spezieller Entwicklungsstadien aufgegeben werden können. Neben wissenschaftlichen Ergebnissen fließen

langjährige Erfahrungen aus der Feldarbeit auf guten und besten Ackerbaustandorten in Sachsen in die Ausführungen ein. Feldversuche mit den notwendigen Wiederholungen und Datenerhebungen fanden dabei sowohl auf Kleinparzellen von Versuchsstationen als auch auf Schlägen mit 5 ha bis 10 ha Größe statt. Dabei kamen verschiedene Striegel und deren verwandte Geräte mit Arbeitsbreiten von 3 m bis 12 m zum Einsatz. Die Kulturen Getreide, Körnerleguminosen und Mais standen dabei im Mittelpunkt. Zu Sand- und Tonböden liegen jedoch keine eigenen Erfahrungen vor, das ist auf jeden Fall bei der Umsetzung der folgenden Hinweise zu beachten. Auch für besonders steinhaltige Standorte müssten die Ergebnisse noch überprüft werden.

Die Striegelarbeit wurde bei den eigenen Versuchen in den Sommerkulturen an der Entwicklung der Art Weißer Gänsefuß (*Chenopodium album*) orientiert. Daneben traten folgende Unkrautarten verbreitet auf: Knöterich- und Kamillearten (*Polygonum* spec. bzw. *Matricaria* spec.), Rote Taubnessel (*Lamium purpureum*), Acker-Hellerkraut (*Thlaspi arvense*), Gemeiner Erdrauch (*Fumarium officinalis*), Hirtentäschelkraut (*Capsella bursa-pastoris*), Amarantharten (*Amaranthus* spec.) und Vogelmiere (*Stellaria media*). Gräser, einschließlich Hirsearten, waren hinsichtlich der Anzahlen und des Kulturinflusses unbedeutend. Die besonders schlecht unter Kontrolle zu haltenden Wickenarten (*Vicia* spec.) oder der Ackersenf (*Sinapis arvensis*) und Hederich (*Raphanus raphanistrum*) traten auf den Testflächen lediglich selten auf und beeinflussten deswegen die Ergebnisse nicht. Diese Arten verlangen einen deutlich erweiterten Regulierungsansatz. Sie entziehen sich der direkten Wirkung des Striegels weitestgehend aufgrund robuster Jugendstadien. Auch gegen etablierte ausdauernde Unkrautarten, wie die Acker-Kratzdistel (*Cirsium arvense*) oder die Quecke (*Elymus repens*) kann der Striegel auf Grund seiner Arbeitsweise nichts ausrichten.

2. Voraussetzungen im Pflanzenbau

Unkraut effektiv zu regulieren ist ein Schlüssel zum Erfolg im ökologischen Pflanzenbau. Dabei ist der Striegel aber nur ein Instrument innerhalb einer Kette von Maßnahmen, um Unkräuter auf dem Feld insgesamt unter Kontrolle zu halten. Die verschiedenen Kulturarten sind unterschiedlich stark auf eine mechanische Unkrautregulierung angewiesen. Während in konkurrenzstarken Kulturen, wie zum Beispiel Winterroggen, auf das Striegeln oft auch ohne Nachteile verzichtet werden kann, bzw. wirtschaftliche Vorteile des Striegeln kaum zu erwarten sind, ist das Striegeln beispielsweise in Mais unbedingt eine Grundlage des erfolgreichen Anbaus. Allerdings hat Striegeln nicht das Potenzial, handwerklich schlecht angelegte oder auf ungeeigneten Standorten stehende Kulturen sicher zu führen.

Erfolgreich kann das Striegeln nur sein, wenn die Aufgaben zur vorbeugenden Unkrautregulierung erledigt sind. Dazu gehört vor allem eine Fruchtfolge, die in der Lage sein muss, eine Ausbreitung von ausdauernden Wildpflanzen zu verhindern. Mit dem regelmäßigen Anbau von Kleearten oder Luzerne in der Fruchtfolge wird nicht nur die Ausbreitung von Disteln begrenzt sondern auch für ein konkurrenzstarkes Wachstum der Kulturpflanzen gesorgt. Etablierte Distel- und Queckenbestände lassen sich nämlich nicht durch den Striegel beeinflussen und letztlich hilft ein früher Bestandesschluss der Kulturpflanzen allgemein, Unkraut wirksam zu unterdrücken.

Aussaattiefe und Oberflächenstruktur des Saatbettes stehen in einem äußerst engen Zusammenhang mit dem Erfolg beim Striegeln. Wobei gerade zu flaches Säen jegliches Striegeln von Jungpflanzen ausschließt. Striegeln ist ein Prozess, der vorwiegend auf Gestaltunterschiede von jungen Kultur- und Wildpflanzen aufbaut. Die Saattiefe der Kultur trägt in dieser Hinsicht wesentlich zu einer Differenzierung bei. Die Ablage des Saatgutes muss dabei tiefer sein als die Arbeitstiefe des Striegels. Keimendes Saatgut und Keimlinge, die von den Striegelzinken aus dem Bodenverband auch nur gelockert werden, neigen nämlich zum Austrocknen und Absterben. Eine Saattiefe von 3 – 4 cm bietet erfahrungsgemäß eine gute Basis zum Striegeln. Pflanzenarten, die diese tiefe Aussaat nicht zulassen, können deswegen erst gestriegelt werden, wenn sie im Boden fest verwurzelt sind. Der effektive Zeitpunkt zur Unkrautregulierung ist damit allerdings meist schon verstrichen, so dass grundlegende andere Strategien der Unkrautbekämpfung erforderlich werden, oder ein höherer Anteil an Unkraut akzeptiert werden muss. Zuckerrüben, Raps und Lein gehören zu dieser Gruppe. Laufen alle Kulturpflanzen zeitgleich auf und durchlaufen gleichmäßig ihre Jugendentwicklung, ergeben sich wirklich frühe spezifische Termine für das Striegeln. Bei einem „verzettelten“ Aufgang muss mit dem ersten Striegeleinsatz auf die Nachzügler gewartet werden, um die Pflanzenverluste zu minimieren. Ein gleichmäßig tiefes Saatbett mit einem abgesetzten Saathorizont ist somit eine wichtige Voraussetzung für eine optimale Unkrautregulierung mit dem Striegel.

Kräftige Kulturpflanzenkeimlinge aus Saatgut mit hohem Tausendkorngewicht überstehen das Striegeln mechanisch besser als feingliedrige Pflanzen aus kleinen Samenkörnern. Insbesondere Körnerleguminosen lassen sich deswegen gut striegeln. Kulturen mit guter Kompensationsfähigkeit der Ertragsausprägung bei unterschiedlich hohen Bestandesdichten bieten gleichfalls gute Voraussetzungen für das Striegeln. Die Getreidearten mit hohen Bestockungsraten gehören hier hinzu. Körnererbsen gleichen Bestandesverluste über den Hülsenansatz und das Tausendkorngewicht aus. Mais kompensiert dagegen Bestandesauflichtungen schlecht.

Die Kulturpflanzenverluste sollten beim Striegeln erfahrungsgemäß insgesamt nicht über 15 % ansteigen, sonst ist auch mit größeren ungleich verteilten Bestandeslücken zu rechnen, so dass sich an diesen Stellen Unkräuter konkurrenzlos ausbreiten können.

Günstige Bedingungen für den Striegelerfolg bietet trockenes, sonniges Wetter am gesamten Arbeitstag. Dies fördert ein schnelles Abtrocknen freigelegter Unkrautkeimlinge (Abbildung 1). Bei Frostgefahr in der Nacht nach dem Striegeln muss auf die Arbeit unbedingt verzichtet werden, weil leichte Verletzungen die Frostresistenz der Kulturen deutlich herabsetzen können.



Abbildung 1: Gute Voraussetzungen zum Striegeln: feiner, ebener, trockener Boden und sonniges Wetter.

3. Aspekte der Technik

3.1 So arbeiten Striegelzinken

Das grundlegende Verständnis zur Arbeitsweise von Striegelzinken bei der Unkrautregulierung erleichtert alle Entscheidungen beim Striegeleinstellen aber auch beim Kauf eines Gerätes. Für das weitere Einsatzgebiet des Striegels, die Pflege des Grünlandes, sind andere Auswahlkriterien ausschlaggebend.

Striegelzinken sind Werkzeuge für eine gleichmäßig flache Bodenbearbeitung in einem lockeren oder nur leicht abgesetzten Boden. Die Striegelzinken verfügen über keine Schneiden für eine gleichmäßige und flächendeckende primäre Lockerung abgesetzter Böden wie zum Beispiel der Pflug oder Grubberschare. Lediglich leichte Bodenkrusten lassen sich mit diesen relativ dünnen und nachgiebigen Striegelzinken noch aufbrechen. Notfalls muss zum Krustenbrechen vor dem Striegeln eine leichte Egge oder eine Ackerwalze eingesetzt werden.

Ein Striegelzinken räumt bei der Arbeit eine V-förmige Rille im Boden aus und schiebt bzw. wirft dabei das lockere Bodenmaterial zur Seite (Abbildung 2). Die Ausprägung dieses Vorganges wird mit zunehmender Arbeitsgeschwindigkeit stark gefördert. Wasser im Boden dämpft dagegen die Auswurfweite (MANUWA & ADEMOSUN 2007). Andere Faktoren wie Arbeitswinkel und Zinkenstärke im üblichen veränderbaren Rahmen beeinflussen diesen Vorgang weit weniger stark, wie Versuche in einem Bodenlabor zeigten (BECHERER & HÄNSEL 2007). Bei einer Vorfahrtgeschwindigkeit von 8 km/h kann mit Wurfweiten von Bodenpartikeln bis über 20 cm durch nur einen Zinken gerechnet werden. Die im Boden gezogene Rille öffnet sich dabei zumindest kurzfristig um ein mehrfaches der Zinkenbreite, bevor nachrutschendes Material oder nachfolgende benachbarte Zinken den kleinen Graben zum Teil wieder auffüllen. Keimende Pflanzen können so direkt von Striegelzinken ausgerissen, seitlich indirekt mit dem Bodenmaterial weggeschleudert oder durch das aufgeworfene Bodenmaterial verschüttet werden. Auch die Kombinationen dieser Vorgänge sind natürlich möglich. Ein komplettes Zinkenfeld ist so dicht mit Zinken bestückt, dass die Bodenpartikel oder Keimlinge auch mehrfach angestoßen und umgelagert werden können. Die entwurzelten, verschütteten oder verletzten Pflanzen sterben aus Wasser-, Nährstoff- oder Lichtmangel leicht ab oder verlieren durch regenerative Prozesse Entwicklungszeit. Kultur- und Wildpflanzen unterliegen diesem grundlegenden Vorgang grundsätzlich gleichermaßen. Unterschiede bei Gestalt, Entwicklungszeiten, Regeneration von Pflanzen und der Lage von Keimhorizonten bieten aber Ansätze, mit dem Striegel Unkraut selektiv in den Kulturen zu bekämpfen.

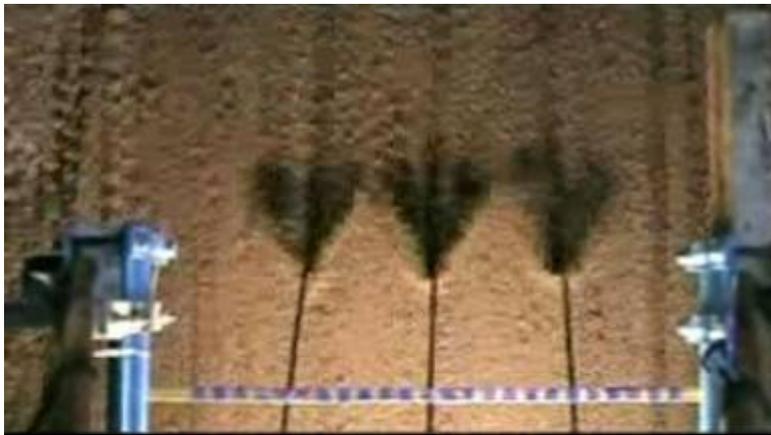


Abbildung 2: Flugbild von Bodenmaterial als Schattenwurf beim Striegeln mit Zinken bei einem Strichabstand von 18 cm, 6 km/h Arbeitsgeschwindigkeit und 30 mm Arbeitstiefe im Labor-Bodenkanal.

3.2 Federung und Führung des Striegels

Die einheitlich flache aber lückenlose Bodenbearbeitung beim Striegeln zur Unkrautregulierung verlangt eine zentimetergenaue Anpassung der Zinken an das Bodenrelief. Dies wird über die Federung und Führung des gesamten Striegelsystems realisiert. Die kleinste Untereinheit ist dabei das Anpassungsvermögen des einzelnen Zinkens. Im Falle von Zinken mit Schenkelfedern (Prinzip von Sicherheitsnadeln oder Wäscheklammern) verfügen lange dünne Zinken dabei über größere Federwege bei niedrigen Federraten als kurze dicke Zinken. Für präzises Striegeln im lockeren Boden, zum Beispiel im Jugendstadium in Sommerkulturen, eignen sich daher die langen, schlanken Exemplare besser als die kräftigen. Auf festen Bodenoberflächen tendieren die weichen Zinken jedoch dazu, unter Druck seitlich weit auszuweichen. Sie folgen dann teilweise vorhandenen Vertiefungen im Boden, zum Beispiel Schrumpfrissen oder einer früheren Striegelstrichspur, so dass mehrere Zinken zeitweise hintereinander auf einer Linie durch den Boden laufen. In Dammkulturen neigen seitlich flexible Zinken zum Abgleiten an den Dammlanken. Damit wird die Dammkrone nicht mehr ausreichend gestriegelt. Optimal sind daher Zinkensysteme mit niedrigen Federraten in Kombination mit hoher seitlicher Steife.

Tabelle 1 zeigt die Unterschiede verschiedener Striegelzinken hinsichtlich ihrer Federcharakteristik. Dabei wird deutlich, dass es einigen Herstellern gelungen ist, Zinkenfedersysteme mit unterschiedli-

chem Ansprechverhalten in Quer- und Längsrichtung zu konstruieren: Weich in der Ebene der Fahrtrichtung, für einen guten Niveaueausgleich und hart quer zu Fahrtrichtung, um das seitliche Ausbrechen des Zinkens im Boden einzuschränken. Darunter erreichen die indirekt gefederten Systeme, mit Schraubenzugfedern, besonders günstige Werte in Bezug auf den Quotienten aus Längs- und Querstabilität. Lange Schraubenzugfedern lassen sich fein dosiert auch auf hohe Werte vorspannen, so dass selbst auf harten Bodenoberflächen genügend hohe Kräfte an der Zinkenspitze zur Verfügung stehen. Über ein Hebelsystem lässt sich zusätzlich die Zunahme der Federkraft bei der Auslenkung des Zinkens teilweise neutralisieren, so dass die Grundlage für eine gleichmäßige Zinkenbelastung mit wenig Abhängigkeit von der Auslenkung gegeben ist (Abbildung 3).

Tabelle 1: Beispiele zu Federraten unterschiedlicher Federzinken von Striegeln.

Hersteller	Federung	Anmerkung	Durchmesser		Federrate horizontal – längs [N/cm]	Federrate horizontal – quer [N/cm]
			[mm]	Länge [mm]		
Einböck	Direkt	Parallelogramm- führung des Zinkenfel- des optional	6,5	380	6,5	4,4
			7	490	2,9	2,9
			7	630	1,3	1,4
			8	490	4,6	4,3
			Gerader Zinken	8	490	4,7
Hatzenbichler	Direkt	Parallelogramm- Führung des Zinkenfel- des optional	6	400	1,9	2,6
			7	470	2,3	3,0
			8	470	3,5	4,7
Köckerling	Direkt	Parallelogramm- Führung	7	580	3,5	3,7
			8	450	3,0	2,7
Rabe	Indirekt	Zinkenquerschnitt rechteckig; Striegel- fertigung eingestellt	17x3	540	0,6	7,2*
Ralle	Direkt		6	380	1,7	2,8
			6	450	1,3	1,7
			7	450	2,5	3,3
			8	360	9,1	10,2
			8	430	4,6	6,6
			8	440	5,2	6,5
Regent	Direkt		7	440	2,6	3,5
			8	440	4,2	6,2
Reinert	Indirekt	Unterschiedliche Länge der Hebel im Federsystem	2,5	600	0,7	Nicht gefedert
			2,5	770	0,5	Nicht gefedert
			2,5	960	0,4	Nicht gefedert
Treffler	Indirekt	„Harte“ Zugfeder	8	520	0,4	7,1*
		„Weiche“ Zugfeder	8	520	0,3	7,1*

* Auslenkung quer nicht vorgesehen



Abbildung 3: Anhängungspunkte von Schraubenzugfedern in der Nähe des Drehpunktes von Striegelzinken zur Kompensation eines Teils der zunehmenden Federkraft bei der Zinkenauslenkung.

Striegelsysteme, die zu wenig anpassungsfähig sind, bearbeiten leicht vertiefte Fahrspuren der Zugmaschinen auf dem Feld nicht und lassen dort den Unkrautwuchs zu (Abbildung 4).



Abbildung 4: Bei zu geringer Boden Anpassung der Striegelzinken, wird die Fahrspur der Zugmaschinen nicht ausreichend bearbeitet, so dass sich grüne Fahrwege entwickeln, die dann in einem speziellen Arbeitsgang mit der Hacke bearbeitet werden müssen.

Bei der Arbeit auf harten Böden begrenzt letztlich das Gewicht der gesamten Striegelrahmenkonstruktion die Belastungsmöglichkeiten der Zinken, um den Boden aufzubrechen. Im Grenzbereich der maximalen Zinkenbelastung beginnt sich der Striegel während der Arbeit aufzuschwingen, die Tasträder verlieren dabei den Bodenkontakt. Der Striegel „schwebt“ nur noch auf den Zinken. An diesem Punkt ist die von den Maschinenherstellern vorgesehene Belastungsgrenze des Systems erreicht. Zusatzgewichte auf dem Striegelrahmen würden dann Materialbrüche provozieren.

Weitere Elemente zur Boden Anpassung des Striegels sind die Stütz- oder Tasträder. Diese tragen auch Teile des Gewichts des Striegels und sinken dabei mehr oder weniger tief in den Boden ein. Werden dabei Kulturpflanzen überrollt, muss mit Schäden an den Pflanzen durch Abbrechen oder Verschütten gerechnet werden, so dass bedeutsame Lücken in Kulturen mit weitem Reihenabstand, zum Beispiel Mais oder Sonnenblumen, entstehen können. Zur Anpassung an Kulturen in weiten Saatreihen müssen sich deswegen die Stützräder in einem weiten Bereich am Striegelrahmen quer zur Fahrtrichtung verschieben lassen. Die Reifenbreite sollte dazu deutlich unter dem engsten zu bearbeitenden Reihenabstand liegen. Die Anschlüsse der Saatreihen verlangen dazu eine große Prä-

zision, wenn die Striegelbreite nicht gleich der Säbreite ist. Getreide oder Körnerleguminosen mit engen Saatreihen kompensieren leichte Druckschäden der Tasträder.

Kartoffeln und andere Dammkulturen werden oft in schmalen Beeten von wenigen Spurbreiten des Traktors ausgepflanzt oder gesät. Dabei variieren die Beetabstände meist so stark, dass sich die Stützräder eines breiten Striegels über mehrere Beetabstände nicht mehr exakt zwischen den Dämmen führen lassen. Die Stützräder laufen dann auch auf den Dämmen, so dass eine präzise Arbeit unmöglich wird. Unter diesen Bedingungen arbeiten lediglich Striegel zufriedenstellend, die sich nur in der Spur der Zugmaschine über Räder abstützen. Die Arbeitsbreiten sind dann aber auf etwa 6 Meter eingeschränkt.

3.3 Strichabstand und Zinkenstärke

Striegel werden üblicherweise mit Strichabständen zwischen 25 mm und 40 mm gebaut. Versuche in Erbsen und Mais zeigten, dass diese gesamte Spanne für eine effektive Unkrautregulierung geeignet ist. Aber selbst bis 100 mm Strichabstand wurden noch deutliche Regulierungsergebnisse erzielt. Dabei kompensieren hohe Arbeitsgeschwindigkeiten größere Strichabstände (Abbildung 5).

Verbogene Zinken sind die Ursache von unterschiedlichen Zinkenabständen an Geräten in der Praxis. Krumme Zinken sollten auf jeden Fall auf das ursprüngliche Maß zurückgebogen oder ersetzt werden, um die Präzision des Striegels zu erhalten.

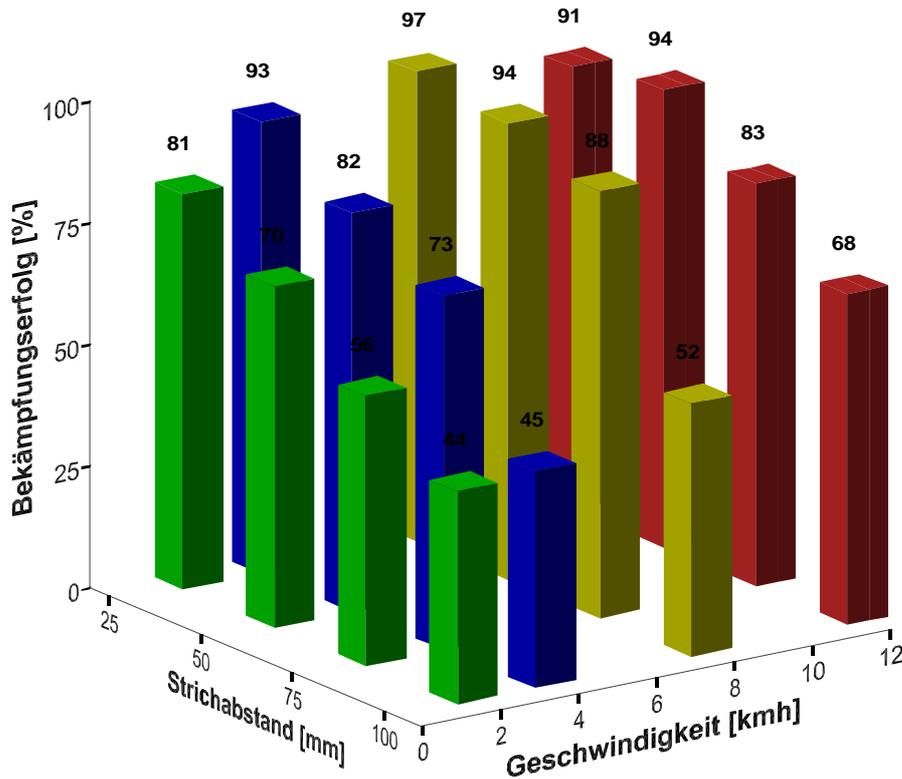


Abbildung 5: Unkrautbekämpfungserfolg als Mittelwert von drei einzelnen Arbeitsgängen in Erbsen in Abhängigkeit von der Arbeitsgeschwindigkeit und dem Strichabstand eines Striegels (SIEGEL 2006).

Die Variation der Zinkenstärke im Bereich zwischen 6 mm und 8 mm lässt keine Unterschiede in der Unkrautregulierung erwarten. In einem Versuch mit einem Boden im Labor konnten nur vergleichsweise geringe Einflüsse auf das Flugverhalten von Bodenteilchen durch verschiedene Zinkenstärken nachgewiesen werden. Die Wahl der Zinkenquerschnitte erfolgt vielmehr im Hinblick auf die Boden-anpassung oder den erforderlichen Kraftübertrag auf die Zinken.

Striegelzinken dürften beim Auftreffen auf junge Kulturpflanzen kaum seitlich abgelenkt werden, zum Beispiel von einer Maispflanze im 2-Blattstadium. Das ist auf Grund des weichen Pflanzengewebes so zu erwarten. Die Pflanzen werden vom Zinken eher seitlich weg- oder nach unten in den Boden gedrückt, was sich gerade bei Mais gut beobachten lässt.

Aus Videoaufnahmen des Striegelvorganges geht hervor, dass bei homogenen Bodenverhältnissen die Striegelzinken annähernd einer gerade Linien folgen. Ein sichtbares seitliches mehr oder weniger regelmäßiges Auslenken von Striegelzinken, eine Oszillation, konnte bisher in keinem Fall festgestellt werden (gilt für Zinken der verbreiteten Bauart wie in Abbildung 3). Eine Oszillation mit beobachtbarer Amplitude würde auch S-förmige Spuren der Zinken im Boden hinterlassen und damit eine Variation der Zinkenabstände nach sich ziehen, was eher ungünstig wäre. Nach den Zusammenhängen gemäß Abbildung 5, ließe sich nur ein leichtes seitliches Ausweichen der Zinken tolerieren.

Fabrikneue Striegelzinken weisen am Zinkenende meist eine scharfkantig endende Schnittfläche auf, die bei den ersten Arbeitsgängen zur vermehrten Abscherung von Kulturpflanzen beitragen kann. Manche Striegelhersteller brechen inzwischen diese Schnittkante vorsorglich. Um andernfalls schnell eine schonende Form des Zinkenendes zu erreichen, kann der Striegel auch auf dem Grünland oder in einem fest etablierten Getreidebestand „eingefahren“ werden, bis die Zinkenenden abgerundet sind.

3.4 Arbeitsgeschwindigkeit und Arbeitstiefe

Über die Arbeitsgeschwindigkeit wird die Intensität des Striegeln wesentlich mitbestimmt. Laborexperimente zeigten zwar den starken Einfluss dieses Parameters auf die Flugbahneigenschaften von Bodenteilchen (Abbildung 6). Auf dem Feld beeinflusst dieser Faktor den Unkrautregulierungserfolg aber weniger stark, weil das Maximum der Unkrautregulierung in vielen Fällen schon bei 6 km/h erreicht wird, dies zeigt Abbildung 5. Höhere Geschwindigkeiten verbessern dann nur noch die betriebswirtschaftlichen Rechnungen durch optimierte Arbeitszeiten. Häufig werden beim Striegeln schon in jungen Kulturen Geschwindigkeiten um 4 km/h bis 6 km/h gefahren. Die Kulturpflanzenschäden nehmen bei noch höheren Arbeitsgeschwindigkeiten nicht zwangsläufig zu, so dass es sich aus betriebswirtschaftlicher Sicht lohnt, hohe Arbeitsgeschwindigkeiten zu testen.



Abbildung 6: Dynamikunterschiede in der Bewegung von Bodenpartikeln beim Striegeln mit 3 cm Arbeitstiefe bei den Geschwindigkeiten 4 km/h (links) und 8 km/h. Die weißen Markierungen am Striegelzinken entsprechen 2,5 cm Länge. Die Wurfhöhe verdoppelt sich in diesem Fall mit der höheren Geschwindigkeit.

Über die Arbeitstiefe der Zinken werden die Regulierungserfolge und die Kulturverträglichkeit maßgeblich beeinflusst. Als ausreichende Arbeitstiefe können 2 cm bis 3 cm gelten. Unter insgesamt guten Bedingungen sind damit Regulierungserfolge gegen Unkrautkeimlinge von über 95 % erreichbar. Flacheres Arbeiten scheitert oft an der Unebenheit der Bodenoberfläche und es lässt auch zu wenig Bodenbewegung erwarten, um Unkraut zu beseitigen. Tiefere Einstellungen erhöhen in der Regel die Regulierungserfolge bei Keimlingen nicht weiter, sie gefährden die Kulturpflanzen oder die Saatgutab-

lage stärker und regen möglicherweise die Unkrautneukeimung stärker an, weil mehr Bodenvolumen aufgelockert wird. Ein genaues direktes Nachmessen der Arbeitstiefe beim Striegeln ist allerdings kaum im Feld praktikierbar, es gibt dafür keine präzisen Bezugspunkte.

Die Arbeitsintensität beim Striegeln sollte nicht unnötig hoch erfolgen. Denn die Komponenten Arbeitstiefe und Arbeitsgeschwindigkeit und Anzahl der Arbeitsgänge wirken mit steigender Ausprägung auch negativ auf den Bodenzustand ein, zum Beispiel auf eine Destabilisierung der Krümel und oder erhöhen die weitere Unkrautkeimung stark.

4. Den Striegel einstellen

Die Art und Weise Striegel einzustellen variiert je nach Gerätetyp leicht. Die folgenden Hinweise beziehen sich auf die verbreiteten Konstruktionstypen. Im Wesentlichen zu unterscheiden sind dabei Striegel mit Zinken aus Federstahl mit integrierten Schrauben-Schenkel-Federn im Bereich des oberen Schaftendes und Striegel mit indirekt gefederten Zinken, das heißt mit zusätzlichen Schraubenzugfedern, die mit dem Zinken meist einfach lösbar verbunden sind.

Zur Grundeinstellung wird der Striegel im Feldbestand auf die Stützräder abgesenkt und über den Oberlenker in eine waagrechte Position gebracht, so dass alle Zinken gleichmäßig tief in den Boden eingreifen können (Abbildung 7). Es empfiehlt sich dann die Arbeitstiefe primär über die Stützräder einzustellen, um den optimalen Winkel der Zinkenschäfte zur Bodenoberfläche einhalten zu können. Dieser Winkel wird je nach Gerätetyp über die zentralen Verstellhebel der Zinkenfelder (Abbildung 8) bei leichter Einfederung auf etwa 30° bis 45° eingestellt oder allein über das Niveau des gesamten Striegelrahmens (bei indirekt gefederten Zinken) festgelegt. Bei den meisten Geräten dürften die Verschleißenden der Zinken damit etwa senkrecht zur Bodenoberfläche stehen. Mit dieser Einstellung werden zwei Ziele erreicht: Es ergibt sich die weiteste Spanne der Bodenadaptation durch das Federverhalten jedes Zinkens. Zusätzlich wird die intensivste Bewegung der Bodenpartikel bei deren senkrechtem Aufprall auf den Zinken erreicht. Gerätetypische leichte Abweichungen von diesen Werten sind jedoch nicht entscheidend, weil die Zinkenneigung die Wurfbreite und -höhe nur gering beeinflusst. Für ein leichtes Nachstellen der Arbeitstiefe ist deswegen auch das Verschwenken der Zinken geeignet. Bei Maschinen ohne Verstellhebel an den Zinkenfeldern werden der Arbeitswinkel und die Arbeitstiefe nur über die Auszuglängen der Tasträder und die Federvorspannung variiert.



Abbildung 7: Grundeinstellung des Striegels: Rahmen waagrecht und Zinkenschäfte in einem Winkel von etwa 30° zur Bodenoberfläche, um eine umfangreiche Bodenangepassung zu gewährleisten. Bei diesem Striegeltyp mit indirekter Zinkenfederung ergibt sich der Zinkenstellwinkel aus dem Abstand des Rahmens über dem Boden.

Um die Übersicht beim Einstellen zu bewahren, ist es günstig, jeweils immer nur einen Parameter zu verändern und danach neu zu Testen. Auch unterschiedlich eingestellte Teilbreiten am Striegel helfen auf der Suche nach der besten Einstellung durch die direkten Vergleichsmöglichkeiten der Arbeitsqualität.



Abbildung 8: Einstellhebel für den Anstellwinkel der direkt gefederten Zinken mit fein abgestuftem Raster. Hier lässt sich die Arbeitstiefe justieren und der Arbeitswinkel des Zinkens grundlegend vorwählen. (Foto: U. Becherer)

Die Arbeitsgeschwindigkeit ist im Einstellprogramm am einfachsten zu variieren. Zum ersten Test der Striegeleinstellung kann mit einer geringen Geschwindigkeit von etwa 1 km/h bis 2 km/h die Arbeitstiefe auf einer kurzen Fahrstrecke überprüft werden. Es wird dabei beurteilt, ob die Zinkenenden die Ablage des Saatkorns verändern und ob Kulturpflanzen schon entwurzelt oder verschüttet werden. Zudem sollte sich eine lückenlose Bearbeitung der Bodenoberfläche ergeben. Selbst bei dieser langsamen Vorfahrt muss schon eine intensive Unkrautregulierung deutlich werden, falls erforderlich wird an Tasträdern und Einstellhebel nachjustiert. Auch der Oberlenker bietet noch Potenzial für leichte Korrekturen. Zum Beispiel können damit vor allem die letzten Zinkenreihen leicht be- oder entlastet werden.

5. Den besten Einsatztag wählen

Der Zeitpunkt des Striegeln richtet sich zunächst an der Unkrautentwicklung aus. Unkräuter können im Keimblattstadium zu über 90 % mit dem Striegel reduziert werden. Bei weiter entwickeltem Unkrautwuchs nimmt der Regulierungserfolg stark ab. Nach jedem Striegeln keimt, angeregt durch die Bodenbearbeitung, eine neue Generation von Unkräutern. Mit wiederholtem Striegeln lässt sich auch dieser Unkrautwuchs bekämpfen bis die Kulturen selbst konkurrenzstark sind. Vor allem in den frühen Wachstumsstadien lohnt es sich, den Wachstumsvorsprung der Feldkulturen mit dem Striegel zu sichern (DAVIES & WELSH 2001).

Für die Feldkulturen zeichnen sich Zeitabschnitte ab, in denen sie besonders empfindlich gegenüber der mechanischen Belastung beim Striegeln sind. Diese Zeitabschnitte mit schlechterer Möglichkeit zur Unkrautregulierung (Sperrzeiten) lassen sich überbrücken, indem die Arbeitsgänge mit dem Striegel vorausschauend zeitlich nah an diese Grenzen gelegt werden. Indes müssen einige dieser bisher gültigen Sperrzeiten für den Striegel differenzierter betrachtet, verkürzt oder sogar aufgehoben werden (siehe dazu Kapitel 6).

Steht eine Entscheidung zum Striegeln an, sollte unbedingt der mittelfristige Wetterbericht berücksichtigt werden. Einlaufende mehrtägige Schlechtwetterperioden mit wiederholten Niederschlägen ohne Chancen zur Unkrautregulierung können mit einem vorgezogenen Striegeltermin abgepuffert werden. Während der meist relativ kühlen Regenperioden verlangsamt sich aber auch die weitere Unkrautentwicklung, so dass selbst mehrere Wochen Nässe nicht den gesamten Kulturerfolg in Frage stellen müssen. Nach Niederschlagsereignissen sollten die Feldbedingungen allerdings umgehend auf Striegeltauglichkeit geprüft werden. Möglicherweise sind Krusten auf den Böden im leicht feuchten Zustand noch mit dem Striegel gut zu bearbeiten, bevor sie austrocknen und zu hart werden. Des Weiteren sollten die Hinweise zur Witterung aus Kapitel 2 beachtet werden.

6. Striegeln in den Kulturen

Striegeln ist in fast allen landwirtschaftlichen Kulturen grundsätzlich möglich. Neuere Versuchsergebnisse lassen auf eine überwiegend positive Wirkung des Striegeln bei sachgerechter Anwendung in allen Ackerkulturen schließen (MANGERUD et al. 2007). Fehlschläge entstehen Erfahrungsgemäß bei zu flacher Saat, falschem Entwicklungszeitpunkt der Kulturen, klutigem Boden oder bereits zu großen Unkräutern.

Eindrucksvoll lässt sich die grundsätzliche Wirkung des Striegeln in Maisbeständen demonstrieren. Die Maispflanzen können in der Jugendentwicklung allein durch den Striegeleinsatz unkrautfrei gehalten werden (Abbildung 9). Mais entwickelt dann im Laufe der Zeit ein durchgehendes dichtes Blätterdach bis zur Ernte und unterdrückt so das verbliebene oder später keimendes Unkraut in der weiteren Vegetationszeit selbstständig. In anderen Kulturen, wie bei Körnerleguminosen und Kartoffeln, ergibt das Striegeln nicht immer derart augenscheinliche Erfolge bis zur Ernte, weil die lang anhaltende Konkurrenzkraft der Kulturen fehlt und sich in der Abreifephase Unkräuter wieder durchsetzen können.



Abbildung 9: Unbearbeitete Maisreihen innerhalb eines Bestandes, der mit zwei Arbeitsgängen gestriegelt wurde, machen die grundsätzliche Leistung des Striegels deutlich.

6.1 Getreide

Getreide lässt sich bei geeigneten Bodenverhältnissen in jedem Entwicklungsstadium striegeln. Kritische Ausmaße von Verschüttungen oder hohe Zahlen entwurzelter Getreidepflanzen müssen dabei jedoch je nach Getreideart unterschiedlich bewertet werden. Insbesondere das Zweiblattstadium ist für Pflanzenverluste beim Striegeln empfindlich (LEBLANC & CLOUTIER 2004). Kritischen Grenzen der physikalischen Belastung wurden jedoch für einige Getreidearten im Zweiblattstadium experimentell genauer ermittelt, so dass eine Unkrautregulierung selbst in dieser kritischen Zeit verantwortungsvoll ausgeführt werden kann.

Auch das Striegeln von jüngsten Getreidebeständen, etwa beim „Spitzen“ oder im Einblattstadium, ist grundsätzlich möglich. Es wurde früher traditionell ausgeführt und ist wirkungsvoll (MANGERUD et al. 2007). Die Pflanzenverluste sind aber gerade beim „Spitzen“ nur schwer einschätzbar, weil Schäden durch Abbrechen der Keime im Boden meist unsichtbar bleiben. Mit einer erhöhten Saatstärke von 10 % bis 15 % dürften aber genügend Reserven für ausgefallene Pflanzen vorhanden sein (Abbildung 10). Ein dichter Pflanzenbestand sichert ohnehin eine hohe Unkrautunterdrückung und ist deswegen bereits aus dieser Sicht empfehlenswert.



Abbildung 10: Winterweizenkeimlinge freigelegt beim Striegeln zum „Spitzen“ im Oktober.

Ab dem 3-Blattstadium gilt das Getreide beim Striegeln als robust. Erdbedeckung oder Entwurzeln kommt jedoch weiterhin vor, so dass eine Optimierung der Einstellgrößen am Striegel wichtig bleibt. Setzen allerdings zu diesem Zeitpunkt die Pflegemaßnahmen erst ein, so ist mit viel zu weit entwickelten Unkräutern zu rechnen, die sich kaum noch mit dem Striegel beeinflussen lassen. Damit vermindern sich auch die möglichen positiven Effekte des Striegeln auf den Kornertrag.

Wintergetreide

Wintergetreide, außer Wintergerste, zeigt sich grundsätzlich besonders konkurrenzstark gegenüber Unkraut, so dass in der Praxis häufig keine mechanische Unkrautregulierung durchgeführt werden muss. Allerdings ist immer mit Ausnahmejahren zu rechnen, in denen eine erhöhte Keimung von speziellen Unkrautarten auftreten kann, die dann zu bekämpfen sind. Derartige Fälle können zum Beispiel durch Kamille oder Weißer Gänsefuß mit Keimung im Frühjahr ausgelöst werden.

Die Ergebnisse einer Untersuchung zum Einsatz des Striegels in Winterweizen zeigen, dass bei den Unkräutern eine deutliche Reduktion der Unkrautdichte erreicht werden konnte (Tabelle 2) und die Unkrautkonkurrenz deutlich vermindert wurde. Trotz einer Bearbeitung des Weizens beim Spitzen und im Stadium des ersten Blattes kam es zu keinen gravierenden Pflanzenverlusten. Leichte Pflanzeneinbußen beim Weizen werden im weiteren Aufbau der Bestandesstruktur durch das Getreide selbst kompensiert.

Tabelle 2: Ergebnisse von zwei Arbeitsgängen mit dem Striegel in der Praxis bei Winterweizen, Aussaat 4. Oktober 2008. 1. Arbeitsgang beim Spitzten am 12.10., 2. Arbeitsgang bei einem voll entfaltenen Blatt am 19.10., Bonitur am 21.10.; drei randomisierte Wiederholungen ohne Blockbildung; Boden: ca. 45 Bodenpunkte; Region: Leipzig.

Boniturobjekt	Variante	Anzahl je m ²	Standardabweichung	Unterschied (T-Test bei $\alpha = 0,05$)
Weizenpflanzen	Unbehandelt	320	15	nicht signifikant
	Gestriegelt	290	32	
Unkrautpflanzen	Unbehandelt	240	28,7	signifikant
	Gestriegelt	56	25,1	

Die verfügbaren Zeitspannen für einen Striegeleinsatz sind nach dem Auflaufen des Wintergetreides im Herbst oft zu kurz oder fehlen völlig. Auch verschlämmen und verkrusten viele Böden über den Winter, so dass sich gerade bei trockener Witterung auch im Frühjahr mit dem Striegeln nichts mehr ausrichten lässt. Die Striegelzinken können dann den Boden nicht aufbrechen. Allerdings laufen gerade im Herbst die Unkräuter schnell und stark auf und werden als besonders ertragswirksam angesehen (Abbildung 11).

Leichte Böden bieten größere Striegelzeiträume im Herbst als schwere Böden. Günstige Arbeitsgelegenheiten bietet Winterroggen, der schon Ende September ausgesät wird. Striegelversuche von Winterroggen im Ein- und Zweiblattstadium auf Sandböden führten zwar zunächst zu Pflanzenverlusten von bis zu 82 %. Im Laufe der Zeit konnten die meisten verschütteten Jungpflanzen die Bodenoberfläche aber wieder erreichen. Die endgültigen Pflanzenverluste von maximal 27 % wirkten bei trockenen Wachstumsbedingungen nicht negativ auf den Ertrag (WILDENHAYN 1993). Beim Roggen sollte die maximal vertretbare Saattiefe für den Standort ausgenutzt werden, falls das Striegeln als Bestandteil der Kulturführung notwendig ist.

Der frühe Saattermin der Wintergerste, im September, bietet theoretisch noch gute Chancen für die Unkrautregulierung mit dem Striegel. Allerdings fehlen zu dieser Kultur gesicherte Angaben zum optimalen Striegeleinsatz. Später, mit beginnender Bestockung zeigte sich Wintergerste robust gegenüber dem Einsatz von zwei verschiedenen Striegeln bei verschiedenen Arbeitsgeschwindigkeiten und Zinkeneinstellungen. Erst eine Arbeitsgeschwindigkeit von 8 km/h oder stark vorwärts gerichtete Zinkenspitzen oder zu tiefes Arbeiten löste Pflanzenverluste von 23 % bis 59 % aus. Eine Striegelfahrt mit der Arbeitsgeschwindigkeit von 4 km/h, 3 cm Arbeitstiefe und ein senkrechter Aufstandswinkel der Zinken auf dem Boden hinterließ jedoch keine nachweisbaren Pflanzenverluste (BECHERER & HÄNSEL 2007).



Abbildung 11: Unkräuter überschreiten ihr Keimblattstadium teilweise sehr schnell, sodass das Striegeln selbst im Zweiblattstadium des Getreides zu spät sein kann (Rote Taubnessel in Winterweizen).

Sommergetreide

Sommergetreidebestände zeigen sich regelmäßig unkrautreich, so dass die mechanische Unkrautregulierung wirtschaftlich interessant wird. Dabei dürfen nicht nur die Ertragsdaten betrachtet werden, sondern auch der Besatz im Erntegut und die Befeuchtung des Korns beim Drusch durch die stark wasserhaltige Grünmasse des Unkrautes müssen mit kalkuliert werden. Sommergetreide bietet dazu meist gute Arbeitsbedingungen zum Striegeln. Nach den Winterfrösten sind die Böden in der Regel feinkrümelig strukturiert, dadurch kann das Verschütten der Unkrautkeimlinge gut gelingen. Die Bodenoberflächen trocknen außerdem mit steigenden Temperaturen bei zunehmender Tageslänge selbst nach Niederschlägen rasch wieder ab, woraus sich meist ausreichende Zeiträume der Befahrbarkeit ergeben.

Die Effekte des Striegeln auf Sommergerste können in Abhängigkeit der Sorte und der Stickstoffversorgung unterschiedlich ausfallen. Dabei besteht die Chance, bei knapper N-Versorgung, dass sogar nur die Bodenlockerung beim Striegeln die Kornerträge erhöht. Der Unkrautwuchs entwickelt sich in deutlicher Abhängigkeit der Konkurrenzkraft der Sorte und er lässt sich durch das Striegeln reduzieren (HANSEN et al. 2006).

Die Reaktion der Sommergetreidearten mit Ertragsrückgang auf Erdabdeckung beim Striegeln bei 2 bis 3 Blättern nimmt ab in der Reihenfolge: Gerste, Hafer, Weizen, Triticale. Im Zweiblattstadium kann etwa 10 % Überdeckung bei Sommergerste und Hafer und 20 % bei Sommerweizen und Sommertriticale als Schadgrenze gelten (nach GUNDERSEN et al. 2006).

Das Striegeln von Sommerweizen zeigte in einem Versuch bei geringem Unkrautdruck keinen Einfluss auf den Kornertrag. Ein einzelner Arbeitsgang mit dem Striegel führte hier sogar zum vermehrten Unkrautbesatz. Der Aufbau konkurrenzfähiger Bestände im Hinblick auf Beschattungskraft der Sorte, Aussaatmenge, Nährstoffversorgung bildet oft eine ausreichende Grundlage zur Unkrautunterdrückung (KORR et al. 1996).

6.2 Körnerleguminosen

Körnerleguminosen wiesen auf einem Lössstandort im Vergleich zum Sommergerste und Sommerweizen eine geringere Konkurrenzkraft gegenüber Unkräutern auf (HÄNSEL 2007). Erbsen, Bohnen oder Lupinen geben vor allem einer Spätverunkrautung viel Entwicklungsraum, so dass teilweise massive technische Schwierigkeiten beim Mähdrusch durch den hohen Unkrautbesatz zu beobachten sind. Damit hat der Striegeleinsatz in diesen Kulturen potenziell eine hohe Bedeutung. Allerdings wurde den Körnerleguminosen bislang eine hohe Empfindlichkeit gegenüber mechanischen Belastungen, wie sie beim Striegeln auftreten, unterstellt.

Bei den Körnerleguminosen lassen mehrjährige Versuchsergebnisse am Standort Leipzig zur physikalischen Belastbarkeit von Jungpflanzen in den Stadien BBCH 09 bis 14 (Auflaufen bis Vierblattstadium) auf eine große Toleranz gegenüber Verschütten und sogar Sprossabriss schließen. Dazu wurden Erbsen, Ackerbohnen und Lupinen in unterschiedlicher Entwicklung auf kleinen Versuchspartikeln zu 100 % mit Boden verschüttet oder alle Sprosse abgetrennt. Aus der vollständigen Verschüttung konnten sich die Körnerleguminosenarten wieder umfangreich befreien, obwohl mit 5 l Wasser pro m² zusätzlich eine Verkrustung der Oberfläche induziert wurde. Die Erträge betragen nach dieser Behandlung zwischen 60 % und 122 % im Vergleich zur nichtbehandelten Kontrolle und schwankten dabei stark. Auf ein vollständiges Abtrennen des oberirdischen Sprosstteils reagierten die Leguminosen empfindlicher. Bohnen und Erbsen regenerierten zwar zumeist ihre Sprosse vollständig oder brachten sogar zwei neue Triebe hervor, aber es wurden nur noch 39 % bis 75 % des Ertrages der Kontrolle erreicht (Abbildung 12). Lupinen entwickelten nach dem Verlust des oberirdischen Sprosstteils dagegen überhaupt keine neuen Triebe mehr und starben komplett ab (Tabelle 3) (HÄNSEL 2011). Allerdings verlieren die Pflanzen während ihrer Regeneration nach Gewebeschäden Entwicklungszeit, so dass vor allem bei mehrfachen starken mechanischen Belastungen mit dem Striegel auch Ertragsrückgänge zu erwarten sind. Die hohe Toleranz von Gelber und Blauer Lupine gegen das Verschütten beim Striegeln hinsichtlich der Kornertragsbildung bestätigen auch die mehrjährigen Experimente in Dänemark von JENSEN (2000).

Für die frühe Entwicklungsphase der Körnerleguminosen lässt sich demnach die Strategie ableiten, den Striegeleinsatz allein an der Unkrautentwicklung zu orientieren. Ob sich Vorteile daraus gegenüber anderen Einsatzstrategien mit späterem Striegelbeginn ergeben wurde bisher nicht untersucht. Gegenüber unbehandelten Kontrollen konnten jedoch bei frühem Striegeleinsatz Erfolge in der Unkrautregulierung auch bis zum Zeitpunkt der Ernte nachgewiesen werden, meist blieb dabei die Unkrautregulierung ohne Wirkung auf den Kornertrag (vgl. Tabelle 4 und 5).

Spätere Arbeitsgänge in Erbsen zur Unkrautregulierung wirken offensichtlich schädigend. Sobald die Erbsenpflanzen beim Striegeln geknickt und flach gelegt werden, vermindert sich die Bestandeshöhe. Später mangelt es dann an der Druschhöhe, so dass sich die Kornverluste erhöhen.

Tabelle 3: Relative Kornerträge (%) von Körnerleguminosen nach unterschiedlicher physikalischer Schädigung in der Jugendentwicklung (unbehandelte Variante jeweils 100 %), Versuchsort: Leipzig.

Kultur		Erbse		Ackerbohne		Blaue Lupine	
Jahr		2006	2007	2007	2007	2007	2007
Sorte		Madonna	Harnas	Scirocco	Scirocco	Boruta	Boruta
Bodenart		tL	tL	tL	IU	tL	IU
Wiederholungen		4	4	4	3	5	3
Schädigung	BBCH						
Verschütten	12	101	78	88	77	122	59
Verschütten	14				66		76
Abschneiden	09	67					
Abschneiden	12	61	39	57			
Abbrennen	12	75	61	71			
GD (LSD), Alpha = 5%		24	18	23	20	28	36



Abbildung 12: Unterhalb des abgetrennten Haupttriebes entwickelt diese Erbse neue Seitentriebe. Die Regeneration benötigt jedoch Zeit, so dass mit Ertragseinbußen in Feldbeständen bei hohen Verletzungsraten zu rechnen ist.

Ein leichter Pflanzenausfall beim Striegeln lässt sich wie beim Getreide über höhere Saatstärken kompensieren. Versuchsdaten vom Lössstandort Roda zeigen darüber hinaus, dass aber eine drastische Erhöhung der Saatstärke von Erbsen in drei Stufen von 90, über 120, bis auf 150 Körner/m² weder Vorteile für die Ertragsbildung noch für die Unkrautregulierung ergaben, wenn 3 bis 4 Striegeleinsätze vorgenommen wurden und dadurch Pflanzenverluste auftraten (Tabelle 4).

Tabelle 4: Kornertragsbildung und Unkraubedeckung in druschreifen Beständen von Erbsen in Abhängigkeit von verschiedenen Bestandesdichten. Striegeln im Vor- und Nachauflauf an 4 Terminen 2003, an 3 Terminen 2004 und 2005, davon je ein Einsatz bei BBCH 11. Ertrag und visuell geschätzte Unkraubedeckung ohne signifikante Unterschiede. Standort: Roda, Löss; 4 Wiederholungen mit Blockanlage.

Aufgang 1/m ²	Ertrag dt/ha	Unkraubedeckung %
Versuchsjahr 2003		
101	15,3	23
114	15,3	16
145	14,4	16
Versuchsjahr 2004		
77	47,0	35
105	46,6	39
155	46,2	41
Versuchsjahr 2005		
90	35,4	6
103	34,2	2
151	34,0	2

Beim Striegeln wurde in einem Versuch im Lehr- und Versuchsgut in Köllitsch bei Erbsen in den Stadien „kurz vor Entfaltung der ersten Blattpaare“, „zwei Blattpaare entfaltet“ und „sechs Blattpaare entfaltet“ der Kulturpflanzenbestand nur beim ersten Termin um 16 % reduziert. Bei den weiteren Terminen traten keine Pflanzenverluste mehr auf. Mit 78 Pflanzen pro Quadratmeter wurde dennoch ein ausreichend dichter Bestand erhalten. Je Arbeitsgang sollte in der Praxis das Unkraut um 90 % reduziert werden (Tabelle 5). Eine positive Wirkung auf den Kornertrag von Erbsen ist jedoch selbst bei präzisiertem Striegeleinsatz mit wirksamer mechanischer Unkrautregulierung und hohem Unkrautbesatz nicht unbedingt verbunden. Häufig werden nur die Druschbedingungen durch einen verminderten Unkrautaufwuchs zu verbessert.

Tabelle 5: Effekt von insgesamt vier Arbeitsgängen beim Striegeln (BBCH 08, 12, 14, 16) auf Ertrag, Tausendkornmasse (TKM) und Unkraut bei Ernte in Körnererbsen im Jahr 2005 gegenüber einer nicht behandelten Kontrolle; Standort: Köllitsch. (Datenquelle: SIEGEL 2007).

Parameter	Variante	Mittelwert	Differenz	Signifikanz bei Alpha = 0,05
Ertrag [dt/ha]	Unbehandelt	25,7	+2 %	nicht signifikant (T-Test)
	Striegel	26,4		
TKM [g]	Unbehandelt	187	+4 %	signifikant (T-Test)
	Striegel	196		
Unkraut bei Ernte, Bedeckungsgrad [%]	Unbehandelt	20	-46 %	signifikant (U-Test)
	Striegel	11		

Auch bei der Ackerbohne stehen wegen einer robusten Jugendphase frühe Bearbeitungszeitpunkte zur Unkrautbekämpfung in Aussicht. Tiefgesäte Ackerbohnen sind zudem Standfest, so dass sogar noch bei hohen Beständen intensiv bearbeitet werden kann. Abknicken dürfen die Stängel beim Striegeln allerdings nicht (Abbildung 13).



Abbildung 13: Spätes Striegeln von Ackerbohnen in einem fortgeschrittenen Wachstumsstadium auf Löss mit großem Erfolg nach einer langen Phase mit Regenwetter.

6.3 Mais

Ein wirtschaftlich erfolgreicher Anbau von Mais ohne Maßnahmen zur Unkrautkontrolle ist nur in Ausnahmefällen möglich. Ertragsminderungen von 30 % bis 60 % durch ungestörten Unkrautwuchs sind für Mais in der Regel zu erwarten. Die Bestände müssen von Anfang an weitestgehend unkrautfrei gehalten werden, weil nur die Unkrautkeimlinge effektiv mit dem Striegel beseitigt werden können. Bis etwa zum 6-Blattstadium ist der Maisbestand frei von Wildpflanzen zu halten. Danach entwickeln die Maisbestände eine eigene ausreichende Konkurrenzkraft, die bis zur Ernte erhalten bleibt. Im sächsischen Flach- und Hügelland bedroht vor allem der Weiße Gänsefuß (*Chenopodium album*) die Maisbestände im Ökoanbau. Aber auch Knöterich- und Amarantarten können den Mais überwuchern. Auf diese drei Pflanzenarten ist unbedingt zu achten.

Mais zur Körner- oder Silagegewinnung wird im Ökologischen Landbau in der Regel mit einer Kombination von Arbeitsgängen mit dem Striegel und Hack- und Häufelgeräten gegen Unkraut bearbeitet. Damit lässt sich bei einem versierten Technikeinsatz die Unkrautkonkurrenz vor allem in der empfindlichen Jugendphase nahezu ausschalten. Die Pflegearbeit zwischen den Maisreihen einschließlich Häufeln, stellt nur die bekannten Anforderungen an die technische Ausführung, deswegen beschränken sich die folgenden Hinweise auf den Striegeleinsatz.

Bei warmem Wetter durchläuft der Mais schnell das Wachstum bis zum 3-Blattstadium, was die Unkrautregulierung erleichtert. Unter kühlen Witterungsbedingungen kann sich dagegen allein die Keimphase bis zum Auflaufen länger als vier Wochen hinziehen. Auch in der späteren Entwicklung kommt das Wachstum des Maises immer wieder bei Kälteeinbrüchen ins Stocken. Daraus entwickeln sich Pflegephasen mit 2 Monaten Dauer und mehr. Viele Unkrautarten sind weniger wärmebedürftig und können bei kühlem Wetter leichter einen Wachstumsvorsprung vor dem Mais erlangen. Allein das Hacken zwischen den Reihen reicht in dieser Zeit nicht aus, um die kleinen Maispflanzen vor der Unkrautkonkurrenz zu schützen. Insofern wird es in verschiedenen Jahren erforderlich sein, sogar im empfindlichen Ein- und Zweiblattstadium mit dem Striegel in den Maisbeständen zu arbeiten.

Die jungen Maispflanzen zeigen bis zum 3-Blatt-Stadium nach Sprossabriss oder Verschütten keine Regeneration, wie zum Beispiel Erbsen oder Bohnen. Die Intensität der Maispflege wird deswegen direkt am aktuellen Bestandesbild orientiert und muss behutsam erfolgen. Selbst beim Striegeln nur flachgelegte Maispflanzen verlieren erfahrungsgemäß an Vitalität und bleiben im Wachstum zurück. Ein Maisbestand sollte deswegen mechanisch möglichst wenig beansprucht werden. Vielfach werden deswegen in der Praxis nur Arbeitsgeschwindigkeiten von 1 bis 2 km/h ausgeführt. Maispflanzenverluste lassen sich trotzdem kaum vermeiden.

Umfangreiche Feldversuche auf einem Standort mit verschiedenen Arbeitsgeschwindigkeiten, Striegelmodellen und Zinkenabständen führten zu gesamten Verlusten von 15 % bis 27 % der Maispflanzen bei drei Arbeitsgängen zu den Entwicklungsstadien BBCH 11, 13 und 15 bei einem Regulierungserfolg von 90 % bis 100 % gemessen am Unkrautbedeckungsgrad des Bodens 26 Tage nach dem letzten Striegeleinsatz. Etwa 10 % der Maispflanzenverluste entstanden dabei beim ersten Arbeitseinsatz (nach Daten aus SIEGEL 2006).

Die Auswirkungen der Pflanzenverluste auf den Ertrag lassen sich für den Ökologischen Landbau nur grob aus konventionellen Versuchsdaten ableiten. Ausgehend von einem optimalen Körnermaisbestand mit 10 Pflanzen je m² auf einem guten Ackerbaustandort kann mit einem Ertragsverlust von etwa 2 % beim Verlust einer Pflanze auf dieser Flächeneinheit gerechnet werden. Weitere Pflanzenverluste führen zu progressiv steigenden Ertragseinbußen. Sie liegen bei einer Bestandesausdünnung um 4 Pflanzen je m² bei 14 %, wenn die weiteren Entwicklungsbedingungen optimal sind, das heißt, wenn zum Beispiel die Nährstoffversorgung oder das Unkrautwachstum nicht zu begrenzenden Faktoren werden. Dünnere Maisbestände in der Ausgangssituation, etwa mit 6 Pflanzen je m², reagieren schon mit 4 % Ertragsverlust bei einer Bestandesausdünnung um eine Pflanze je m². Eine Reduktion um zwei Pflanzen beim Striegeln lässt die Ertragserwartung weiter um 14 % schrumpfen (Datengrundlage aus der Anleitung zur Schadensschätzung bei Hagel in den USA, gültig für Bestände bis zum 10-Blatt-Stadium). Blattverluste oder -schäden im Jugendstadium werden dagegen erst ab 40 % zerstörter Blattfläche relevant, was beim Striegeln in diesem Ausmaß nicht auftritt. (Datenquelle: USDA 2005)

Mit den Pflanzenverlusten beim Striegeln von Mais gehen auch ungleichmäßigere Standardabweichungen einher. In Versuchen konnten Kornertragsverluste von 0 dt/ha bis 1,1 dt/ha bei Zunahme der Standardabweichung um 1 cm für die Pflanzenabstände ermittelt werden (LIU et al. 2004). Wobei eine Standardabweichung von 5 cm den kleinsten theoretisch erreichbaren Wert für die Bestandesgüte darstellt, wenn ein Feldaufgang von 90 % bis 95 % bei idealer Kornablage unterstellt wird. Die besten Feldresultate in der Praxis lagen bei langjährigen Untersuchungen auf konventionellen Schlägen in den USA (Indiana, Ohio) bei Standardabweichungen von 7,5 cm (3 Zoll). Am häufigsten wurden dagegen 10 cm bis 12,5 cm (4 – 5 Zoll) Standardabweichung festgestellt (NIELSEN 2001). Mithilfe dieser Werte lassen sich die eigenen (lückenhaften) Bestände hinsichtlich ihrer Pflanzenverteilung qualitativ einordnen.

Feldversuche belegen, dass der Mais im Ein- und Zweiblattstadium am empfindlichsten auf das Striegeln reagiert. Später, wenn der Mais drei Blätter entwickelt hat, bleiben die Pflanzenverluste bei den weiteren Arbeitsgängen insgesamt niedrig. Ziel sollte es sein, die empfindliche Zeit zu überbrücken. Leicht verkrustete Böden bieten nach längeren Niederschlagsperioden eine gute Chance, selbst noch weiter entwickeltes Unkraut jenseits des Keimblattstadiums mit dem Striegel zu bekämpfen. Dabei sind die Unkrautpflanzen fest in den kleinen Bodenschollen eingeklemmt und werden beim Ablösen der krustigen Schicht ent wurzelt (Abbildung 14).



Abbildung 14: Beim Aufbrechen und lockern einer dünnen Bodenkruste mit dem Striegel werden auch größere Unkräuter, die in die Bodenschollen eingeschlossen sind, noch aus dem Boden gezogen, wie hier im Mais mit drei Blättern.

7. Alternativen zum Striegel: Sternstriegel, Rotary Hoe und Rollstriegel

Alternativen zu den Striegeln mit einfachen gezogenen Zinken stellen die Maschinen mit rotierenden Werkzeugen mit den Bezeichnungen Turbo-Rollstriegel (Abbildung 15) und Sternstriegel (Abbildung 16) oder Rotary Hoe (Abbildung 17) dar. Bei diesen Gerätetypen sind die Bodenbearbeitungswerkzeuge zu Zinkenelementen sternförmig in einer Ebene angeordnet. Jedes dieser Elemente ist im Zentrum drehbar gelagert und wird passiv angetrieben. Die einzelnen Werkzeuge greifen mit der Rotation nacheinander in den Boden ein. Dabei ist die Arbeitsweise der Rotary Hoe und des Sternstriegels von der eines Striegels grundlegend verschieden. Deren Zinken werden nämlich in keiner Arbeitsphase durch den Boden gezogen, sondern sie stechen nur flach in den Boden ein und hebeln in bindigen Böden keil- bis kegelförmige Bodenstücke aus (Abbildung 17). Das flach wurzelnde Unkraut wird somit ausgegraben. Tief gesäte Kulturen werden dabei nur wenig beeinträchtigt. Es wird aber nicht die gesamte Bodenfläche in einem Arbeitsgang bearbeitet. Dafür sind die ausgearbeiteten Bodenstücke zu klein und die Dichte der Zinken ist dafür zu gering. Nach Angaben der Hersteller sind für einen hohen Unkrautregulierungserfolg deswegen vorwiegend zwei Überfahrten je Arbeitsgang zu empfehlen. Die Fahrtgeschwindigkeit sollte dabei allerdings deutlich über 10 km/h liegen, empfehlen die Hersteller. Das von den Zinken abfallende oder weg geschleuderte Bodenmaterial kann zusätzlich Unkrautkeimlinge verschütten. Bei leicht verkrustetem Boden genügt erfahrungsgemäß schon eine Überfahrt, um die Bodenoberfläche vollflächig aufzulockern, die Unkrautregulierungsquote ist dann bereits hoch.

Der Rollstriegel arbeitet im Grunde wie ein Striegel. Seine Werkzeugträger mit den einzelnen Zinken sind dazu schräg gegen die Fahrtrichtung mit 30° angestellt. Bei Rotation der Zinken werden die Werkzeuge auch ein Stück weit durch den Boden gezogen, so dass regelrecht gestriegelt wird. Es entstehen kurze Striegelstriche quer zur Fahrtrichtung. Eine schaufelnde Arbeit wie bei der Rotary Hoe findet nicht statt. Die Dichte der Zinken und Werkzeugträger am Rollstriegel ist in Verbindung mit dem Anstellwinkel hoch genug, um eine flache Bodenschicht in einem Arbeitsgang vollständig durchzuarbeiten.

In Feldversuchen wurden von beiden Gerätetypen Unkrautregulierungserfolge im Bereich von 90 % erzielt und somit vergleichbare Ergebnisse wie mit gezogenen Striegeln erreicht (Tabellen 6 und 7). Ein Vorzug beider Systeme ist, dass sie wenig zum Mitschleifen von Mulchmaterial, insbesondere Stroh, neigen und damit in der Regel ein störungsfreier Einsatz in Mulchsaaten möglich ist (Abbildung 18). Auch bereits los gehacktes Unkraut verfängt sich weniger in den rotierenden Werkzeugen.

Verluste bei Kulturpflanzen müssen ähnlich wie bei den gezogenen Striegeln auch bei diesen Maschinen einkalkuliert werden.

Tabelle 6: Unkrautregulierung und -regeneration im Zeitverlauf bei Erbsen in Mulchsaat unter Einsatz der Rotary Hoe (Hersteller: Yetter Farm Equipment) bei BBCH 11 am 20. April 2010 nach zwei Arbeitsgängen (AG). Alle Unterschiede sind signifikant im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle (T-Test bei Alpha = 0,05). Der Erbsenertrag lag im Mittel bei 29,6 dt TM/ha, ohne signifikante Unterschiede zwischen den Varianten. Versuchsort: Köllitsch; 4 Wiederholungen.

Beobachtungstag	Unkrautverminderung	Beobachtete Größe
20. April (2 AG)	92 %	Anzahl
30. April	88 %	Anzahl
11. Mai	63 %	Anzahl
20. Juli	51 %	g TM

Tabelle 7: Unkrautreduktion in % in einem Erbsenbestand (BBCH 14) durch Bearbeitung mit Rotary Hoe und Rollstriegel jeweils in einem und zwei Arbeitsgängen (AG) am 07.09.2010 (Maschinentest ohne Ertragsermittlung bei der Kultur auf Getreidestoppel); nur 50 % der Unkräuter befanden sich im Stadium bis einschließlich erstes Laubblattpaar, vor der Behandlung entspricht 100 %; Verluste an Erbsenpflanzen traten in keinem Fall auf; Pflanzendichte: 78 je m²; Versuchsort: Köllitsch, n = 6, Tukey-Test.

Unkrautverminderung % „Regulierungserfolg“	Beobachtungstermin	
	07.09.10 (bearbeitet)	16.09.10
Kontrolle, ohne Bearbeitung	0 a*	-3 a
Rotary Hoe, 1 AG	66 c	48 b
Rotary Hoe, 2 AG	90 c	71 b
Rollstriegel, 1 AG	54 b	43 b
Rollstriegel, 2 AG	87 c	63 b

* unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede



Abbildung 15: Aufbau des „Turbo-Rollstriegels“ (Hersteller: Annaburger Nutzfahrzeug GmbH). Je zwei der sternförmigen Werkzeugträger bilden eine Einheit hinsichtlich der Boden Anpassung. Die Ebene der Zinken liegt schräg zur Fahrtrichtung, dabei arbeiten die Zinken nach dem Prinzip eines Striegels.



Abbildung 16: Aufbau eines „Sternstriegels“ (Hersteller: Hatzenbichler). Die Zinkenelemente rotieren in der gleichen Ebene wie die Traktorräder. (Foto: Ch. Rogge)



Abbildung 17: Die Zinken der „Rotary Hoe“ (Hersteller: Yetter Farm Equipment) oder des Sternstriegels stechen nacheinander in den Boden ein und hebeln beim Austritt aus dem Boden ein geringes Bodenvolumen aus. Das ausgestochene Material fällt bei der weiteren Rotation der Werkzeugelemente zurück auf den Boden. Trotz relativ dichter Werkzeuganordnung wird in der Regel keine vollflächige Bodenbearbeitung mit einem Arbeitsgang erreicht.



Abbildung 18: Der Rollstriegel neigt ähnlich wie die Rotary Hoe oder der Sternstriegel in Mulchsaaten nicht zu einem Mitschleppen von Getreidestoppeln oder anderem Mulchmaterial und eignet sich daher für den Einsatz in Mulchsaaten.

8. Striegel weiterhin mit Innovationspotenzial

Mit Blick auf die vorangegangenen Kapitel wird deutlich, dass der Striegel technisch, wie auch in seinem Anwendungsbereich, heute auf einer anderen Stufe steht als die einfache Netzege, die früher schon mit Pferdekraft zur Unkrautregulierung eingesetzt wurde. Mit der Ausweitung des Ökologischen Landbaus wird die Bedeutung des Striegelns weiter wachsen und der Wissensbedarf groß bleiben, denn die Weitergabe des traditionellen Wissens ist hier schon lange unterbrochen.

Trotz spürbarem Wissenszuwachs für den Arbeitsgang Striegeln in den vergangenen 10 Jahren, erscheint die erforderliche Arbeit an diesem Thema bei weitem noch nicht abgeschlossen zu sein. Insbesondere für die Praxis werden Hilfen für die Striegeleinstellung und Wirkungskontrolle benötigt, um auch dem weniger erfahrenen Anwender zum Erfolg zu verhelfen.

Auch technisch gesehen erscheint die Entwicklung der Striegeltechnik nicht abgeschlossen. An den Striegeln selbst fehlen zum Beispiel Mechanismen, die Hinweise auf die Arbeitstiefe liefern, ein besonders wichtiger Parameter für die Einstellung und Kontrolle der gesamten Arbeitsintensität. Auch eine elektronische Steuerung, um die Striegelzinken von den Kulturpflanzen fern zu halten, bietet einen innovativen Ansatz. Die Striegelzinken könnten dann knapp rechts und links neben den Kulturpflanzenreihen entlang gezogen werden, um zumindest in den empfindlichsten Entwicklungsstadien die Kulturen stärker zu schonen als bisher.

Die Pflanzenbauforschung muss noch Wissenslücken schließen. Daten fehlen allgemein zu den unterschiedlichen Standorten und insbesondere zur Reaktion von speziellen Unkrautarten auf die Behandlung mit dem Striegel. Teilweise gefährden nur einzelne Unkrautarten wie Klatsch-Mohn, Kornblume, Hederich, Gemeiner Hohlzahn oder Windhalm die Kulturpflanzenbestände. Alle wesentlichen Kulturarten sind hinsichtlich ihrer Verletzlichkeit beim Striegeln bei Weitem noch nicht abschließend abgehandelt, z. B. Sonnenblumen. Selbst die vorhandenen Ergebnisse brauchen vielfach eine Bestätigung für ihre Gültigkeit auf den unterschiedlichen Standorten. Falls Mulchsaaten auch im Ökologischen Landbau aus Bodenschutzgründen stärkere Impulse erhalten sollen, können die Hinweise zur mechanischen Unkrautregulierung nicht nur auf die hier im Kapitel 7 gemachten allerersten Angaben gestützt werden.

Grundlegend wichtig ist es, das Zukunfts- und Innovationspotential des (alt bekannten) Striegels an der aktuellen Erkenntnis- und Bedarfslage vorurteilsfrei immer wieder neu einzuordnen, um damit ausstehende Forschungsarbeiten in ihrer Umsetzung zu befördern.

9. Literatur

- BECHERER U., HÄNSEL M. (2007) Zur Intensität des Striegeleinsatzes gemessen an der Bodenbewegung unter Laborbedingungen und an einem Feldbestand von Wintergerste. Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft, Heft 9, S. 70-81
- DAVIES D., WELSH J. (2001) Weed control in organic cereals and pulses. Organic Cereals & Pulses, Chalcombe Publications, Lincoln, S. 77-114.
- GUNDERSEN H., RASMUSSEN J., NORREMARK M. (2006) Tolerance of cereals to post-emergence weed harrowing. AFPP – third international conference on non chemical crop protection methods; Lille, France; <http://orgprints.org/8082/1/8082.pdf>
- HÄNSEL M. (2011) Regeneration von Körnerleguminosen nach physikalischer Schädigung in der Jugendphase. In: Leithold, G.; Becker, K.; Brock, C.; Fischinger, S.; Spiegel, A.-K.; Spory, K.; Wilbois, K.-P. und Williges, U. (Hrsg.) (2011): Es geht ums Ganze: Forschen im Dialog von Wissenschaft und Praxis. Beiträge zur 11. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, Justus-Liebig-Universität Gießen, 15.-18. März 2011. Band 1: Boden, Pflanze, Umwelt, Lebensmittel und Produktqualität. S. 286-287.
- HÄNSEL M. (2007) Anbau von Erbsen, Sommerweizen und -gerste in Reinsaaten und in Gemengen. Zwischen Tradition und Globalisierung - 9. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, Universität Hohenheim, Stuttgart, Deutschland, 20.-23.03.2007
- HANSEN P., RASMUSSEN I., HOLST N. & ANDREASEN C. (2006) Tolerance of four spring barley (*Hordeum vulgare*) varieties to weed harrowing. Weed Research 47, S. 241-251.
- JENSEN R. (2000) Mechanical Weed Control In Lupin. 4th EWRS Workshop on Physical Weed Control, Elspeet, The Netherlands, 20-22 March
- KORR V., MAIDL F.-X. & FISCHBECK G. (1996) Auswirkungen direkter und indirekter Regulierungsmaßnahmen auf die Unkrautflora in Kartoffeln und Weizen. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft XV, 349-358.
- LEBLANC M., CLOUTIER D. (2004) The effect of blind harrowing using a flex-tine harrow or a rotary hoe combined with manure amendment on bread wheat yield. 6th EWRS Workshop on Physical and Cultural Weed Control, Lillehammer, Norway, 8-10 March
- LIU W., TOLLENAAR M., STEWART G., DEEN W. (2004) Within-row plant spacing variability does not affect corn yield. Agronomy Journal 96, S. 275-280.
- MANGERUD K., BRANDSÆTER L., WÆRNHUS K. (2007) Criteria for optimised weed harrowing in cereals. 14th EWRS Symposium, 17-21 June 2007, Hamar, Norway, S 82.
- MANUWA S., ADEMOSUN O. (2007) Draught and Soil Disturbance of Model Tillage Tines under Varying Soil Parameters. Agricultural Engineering International: the CIGR E-journal Vol. IX
- NIELSEN (2001) Stand Establishment Variability in Corn. AGRY -91-01, Dept. of Agronomy, Purdue University, West Lafayette, IN, 10 S.
- SIEGEL C. (2006) Die Wirkung des Unkrautstriegels in den Kulturen Körnererbse und Silomais bei unterschiedlichen Strichabständen und Geschwindigkeiten. Diplomarbeit, Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden, FB Landbau/Landespflege, 90 S.
- USDA (Hrsg.) (2005) Hybrid Seeds Loss Adjustment Standards Handbook. 99 S.
- WILDENHAYN, M. (1993) Getreide durch mechanische Unkrautbekämpfung geschädigt? Pflanzenschutz-Praxis (1), S. 12-15