

Insekten- und spinnenschonende Mähtechnik im Grünland – Überblick und Evaluation

Lea von Berg, Jonas Frank, Manuela Sann, Oliver Betz, Johannes L. M. Steidle, Stefan Böttinger

Wiesen und Weiden (Grünland) sind vom Menschen geschaffene Agrarflächen, die unterschiedlich – intensiv bis extensiv – bewirtschaftet werden. In Deutschland finden sich etwa ein Drittel dieser Flächen als Dauergrünland. Je nach Nutzungsintensität und -form stellt Dauergrünland einen wichtigen Lebensraum vieler Tier- und Pflanzenarten dar und kann entscheidend zum Erhalt biologischer Diversität beitragen. In dieser Literaturrecherche legen wir besonderes Augenmerk auf die Mahd und deren Auswirkungen auf Gliederfüßer (Arthropoden), einer ökologisch bedeutsamen Tiergruppe. Die Mahd trägt durch verschiedene Faktoren indirekt zum allgemeinen Arthropodenrückgang bei, wirkt aber vor allem auch direkt durch das Abtöten von Arthropoden im Mähwerk. Es werden unterschiedliche Mähwerke aus technischer Sicht beleuchtet und deren Wirkung auf die Arthropodenfauna von Grünflächen evaluiert. Zudem stellen wir bereits existierende arthropodenschonende Alternativen zur konventionellen Mähtechnik vor und diskutieren deren Potenzial. Wissenschaftliche Studien zeigen, dass unabhängig von der untersuchten Arthropodengruppe Balkenmähwerke und insbesondere Doppelmesserbalken eine geringere Mortalität verursachen als Rotationsmähwerke. Aufbereiter und Schlegelmähwerke verursachen die höchsten Schädigungen. Die konsequente Verwendung sogenannter Insektenscheuchen oder modifizierter Rotationsmähwerke könnte mit geringen wirtschaftlichen Einbußen vermutlich zu einer verminderten Arthropodenmortalität beitragen.

Schlüsselwörter

Insektenschonendes Mähen, Insektensterben, landwirtschaftliche Grünlandnutzung, Mähtechniken

Bis Ende der 90er-Jahre gab es kaum Literatur zu den Auswirkungen verschiedener Mähgeräte auf die Grünlandfauna und deren traktorbedingte Schädigung (TYLER et al. 1998, OPPERMAN und CLASSEN 1998). In den darauffolgenden Jahren rückte die Bedeutung des Grünlandes für den Erhalt und die Förderung von Biodiversität immer stärker in den Fokus (OPPERMAN und CLASSEN 1998, HUMBERT et al. 2010c). Um die bisherigen Unsicherheiten über die mahdbedingte Schädigung insbesondere von Insekten zu beleuchten, wurden mehrere Untersuchungen mit dem Ziel durchgeführt, Verluste der Grünlandfauna zu erfassen und praxisorientierte Empfehlungen zur Schonung der Flora und Fauna zu erstellen (FLURI et al. 2000, OPPERMAN und KRISMANN 2001, VICKERY et al. 2001, ROBINSON und SUTHERLAND 2002, HUMBERT et al. 2009, HUMBERT et al. 2010c). Die praktische Umsetzung einer tierschonenden Mahd stellt in Deutschland mit einem Dauergrünlandanteil von ca. 28,5 % (Stand 2020, UMWELTBUNDESAMT 2021) der landwirtschaftlichen Fläche eine Herausforderung dar. Aber gerade Grünlandflächen wie Streuobstwiesen oder magere Trockenrasen sind durch die strukturelle Vielfalt und die zeitlich gestaffelten Blühabfolgen besonders wertvolle, vom Menschen geschaffene Lebensräume für viele Vogelarten, Amphibien sowie wirbellose Tiere wie Spinnen und Insekten (VAN

DE POEL und ZEHEM 2014). Letztere haben in den vergangenen Jahren besonders viel Aufmerksamkeit erweckt, v.a. durch die Studien von HALLMANN et al. (2017) und SEIBOLD et al. (2019), die auf den massiven Rückgang der Arten- und Individuenzahlen in diesen Gruppen hingewiesen haben. Heute liefern mehrere Studien Belege dafür, dass ein Großteil der auf landwirtschaftlichem Grünland lebenden Arthropoden bei der Mahd direkt verletzt und/oder getötet wird (OPPERMANN und KRISMANN 2001, HUMBERT et al. 2010c, BETZ et al. 2022, STEIDLE et al. 2022). Zudem weisen Studien immer öfter auf die indirekten Folgen hin, welche z.B. durch eine hohe Mahdintensität entstehen (TSCHARNTKE et al. 2021, BLÜTHGEN et al. 2022).

Wir stellen hier den aktuellen Stand naturverträglicher und arthropodenschonender Mähetechniken vor und zeigen die damit verbundenen Herausforderungen und Entwicklungsperspektiven auf. Besonderes Augenmerk legen wir auf die Evaluierung und Validierung aktuell auf dem Markt befindlicher insekten- und spinnenfreundlicher Mähetechniken. Im Zentrum steht dabei die Frage, ob der Schutz biologischer Vielfalt und der Erhalt intakter Grünlandökosysteme bei Verwendung effektiver Mähetechnik erfolgen kann.

Informationen zu den Grundlagen der verschiedenen Mähetechniken wurden Fachartikeln und aktuellen Lehrbüchern entnommen. Weitere Informationen über aktuelle Mähetechniken entstammen öffentlich verfügbaren Produktinformationen der Hersteller. Dabei zeigte sich, dass es nur wenige wissenschaftlich publizierte Daten über die direkte Schädigung von Arthropoden durch die bei der Mahd verwendete Mähetechnik gibt und die Publikationen schwer miteinander vergleichbar sind. So wurden nicht nur Artikel in unabhängig begutachteten wissenschaftlichen Zeitschriften, sondern auch Abschlussarbeiten an Hochschulen, Zeitungsartikel oder Online-Berichte, Buchbeiträge, Berichte von Umweltbehörden sowie Patente bei der Recherche berücksichtigt.

Mähetechnik – Überblick heute verwendeter Geräte

Grundlagen ausgewählter Mähetechniken

Für das Mähen von Grünland werden in der Praxis zwei verschiedene Schnittprinzipien verwendet, wobei man zwischen Scherenschnitt und freiem Schnitt unterscheidet (FEHR et al. 2016). Beim Scherenschnitt wird das Grünstück entweder entlang einer feststehenden Gegenschneide (Fingerbalkenmäherwerk) oder bewegten Gegenschneide (Doppelmessermäherwerk) geführt und geschnitten (EICHORN 1999). Bei beiden Bauarten bewegen sich die Messer oszillierend. Für einen sauberen Schnitt ist eine mittlere relative Geschwindigkeit von mindestens $2,5 \text{ m s}^{-1}$ zwischen Schneide und Gegenschneide notwendig (SCHAEFER 1966). In der Grünlandbewirtschaftung spielen oszillierende Mäherwerke mit Scherenschnitt seit Jahrzehnten nur noch eine untergeordnete Rolle (CLAUS 1988). Gründe hierfür sind der höhere Wartungsaufwand durch den Verschleiß der Messer, die hohe Anfälligkeit für Defekte, sowie die rund doppelt so hohen Gesamtkosten (inklusive Arbeiterledigungskosten je Hektar) im Vergleich zu heute üblichen Rotationsmäherwerken (SCHÖN 1998, SAURMA-JELTSCH et al. 2020). Trotz dieser Nachteile stehen vor allem Doppelmessermäherwerke im Fokus umweltschonender Mähetechnik, da wissenschaftliche Untersuchungen ihre im Vergleich zu Rotationsmäherwerken geringeren Schädigungsraten belegen (siehe Abschnitt Auswirkung verschiedener Mähetechniken auf Insekten und Spinnen).

Die heute gängigen Rotationsmäherwerke schneiden das Grünland mit einem freien Schnitt (CLAUS 1988, SCHÖN 1998, EICHHORN 1999), bei dem im Gegensatz zum Scherenschnitt keine Gegenschneide vorhanden ist. Dafür werden Schnittgeschwindigkeiten von ca. 80 m s^{-1} benötigt um die Trägheits- und Biegekräfte des Halms als Gegenkräfte für den Schnitt nutzen zu können (KEMPER et al. 2014). Rotationsmäherwerke zeichnen sich im Vergleich zu oszillierenden Mäherwerken durch eine höhere Arbeitsgeschwindigkeit und größere Flächenleistung aus (SCHÖN 1998). Rotationsmäherwerke werden nach Lage der Rotationsachse und des Antriebs unterschieden. Von oben angetriebenen Trommelmäherwerke und von unten angetriebenen Scheibenmäherwerke haben eine senkrechte Rotationsachse. Schlegelmäherwerke hingegen werden in der Regel seitlich angetrieben und haben eine horizontale Rotationsachse quer zur Fahrtrichtung. Die in landwirtschaftlichem Grünland selten verwendeten Sichelmäher mit meist nur einem um die senkrechte Achse rotierenden Messer werden hier nicht weiter betrachtet. In der Landwirtschaft werden Mäherwerke vor allem für die Halmguternte eingesetzt, bei welcher der Bestand abgeschnitten und abgelegt wird, wofür Doppelmesser-, Scheiben- und Trommelmäherwerke gut geeignet sind. In der Kommunaltechnik hingegen soll das Mahdgut nach dem Schnitt häufig weiter zerkleinert werden, daher werden in diesem Bereich hauptsächlich die für Zerkleinerung konzipierten Schlegelmäherwerke verwendet.

Balkenmäherwerke

Oszillierende Mäherwerke wie der Finger- oder Doppelmesserbalken zeichnen sich unter anderem durch einen sauberen Schnitt, geringen Leistungsbedarf und leichte Bauweise aus (SCHÖN 1998, FEHR et al. 2016). In der Grünlandmahd werden bevorzugt Doppelmessermäherwerke verwendet (EICHHORN 1999), bei denen sowohl die Schneide als auch die Gegenschneide bewegt werden. Dies führt zu einem besseren Massenausgleich als beim Fingerbalkenmäherwerk, bei dem sich lediglich die Schneide bewegt. In der Folge sind am Doppelmessermäherwerk höhere Messergeschwindigkeiten möglich, was wiederum höhere Arbeitsgeschwindigkeiten ermöglicht (MEINERS et al. 2009a). Außerdem sind beim Kontakt mit Steinen die zwei bewegten Messer des Doppelmessermäherwerks besser in der Lage, diese wegzuschleudern als die Schneide des Fingerbalkenmäherwerks, bei dem Steine eher eingeklemmt werden und zum Blockieren des Messers führen (MEINERS et al. 2009a).

Rotationsmäherwerke – Scheibenmäherwerke

Rotationsmäherwerke sind den Doppelmessermäherwerken in Bezug auf ihre Störungsanfälligkeit weit überlegen. Dies ist vor allem auf die Halterungen zurückzuführen, in welchen die Klingen beweglich befestigt sind. Die Klingen können so Hindernissen in beschränktem Maße ausweichen (SCHÖN 1998). Allerdings haben Rotationsmäherwerke im Vergleich zu Balkenmäherwerken ein höheres Gewicht und einen größeren Leistungsbedarf (SCHÖN 1998). Dies liegt daran, dass die Mähscheiben mit hoher Drehzahl rotieren müssen, um die für den freien Schnitt benötigten Klingengeschwindigkeiten von bis zu 80 m s^{-1} zu erreichen. Beispielsweise erfordert ein Mähscheibendurchmesser von 500 mm eine Scheibenrotation von ca. 50 s^{-1} , damit an den Außenseiten der Klingen eine Geschwindigkeit von 80 m s^{-1} erreicht werden kann. Da bei modernen Geräten auf einer Mähscheibe zwei Klingen gegenüberliegend montiert sind, liegt die Frequenz, mit der eine der beiden Klingen einen Grashalm an einem beliebigen Punkt auf der Umlaufbahn schneidet im vorliegenden Beispiel bei 100 s^{-1} . In den Überlappungszonen, in denen sich die Schnittbereiche von zwei Mähscheiben decken, verdoppelt sich die Schnittfrequenz daher noch einmal entsprechend auf 200 s^{-1} (Abbildung 1). Hohe Schnittfrequen-

zen führen daher zu Mehrfachschnitten des Grüngutes. Der Mähbalken eines Scheibenmähwerks gleitet gewichtsentlastet auf Kufen über die Fläche (FEHR et al. 2016, HENSEL 2019). Die Schnitthöhe wird über die Neigung des Mähbalkens oder den Anbau spezieller Kufen verändert (HENSEL 2019).

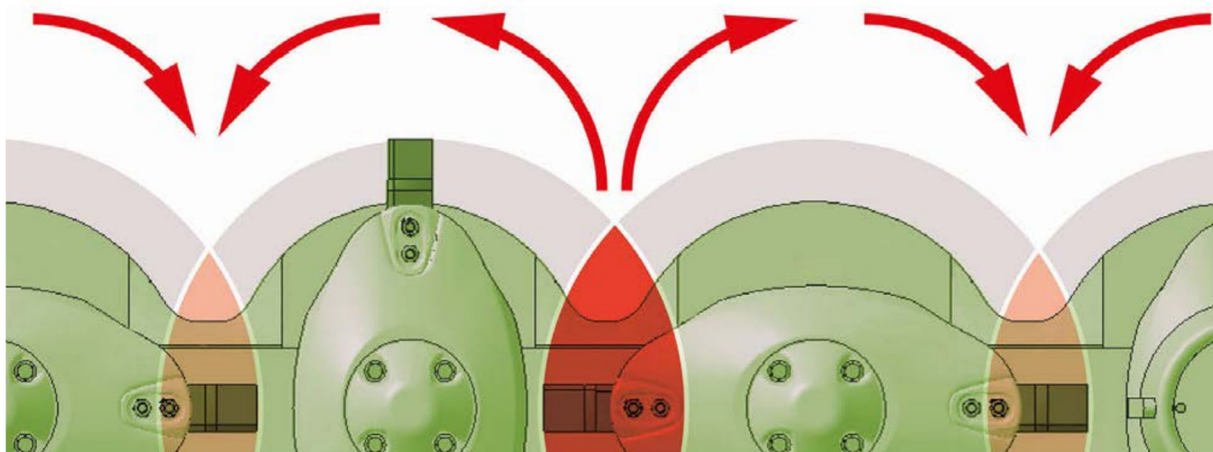


Abbildung 1: Aufsicht auf die Überlappungszonen am KRONE EasyCut Mähbalken; rote Pfeile zeigen die Drehrichtung der Scheiben, orangene Zone = Überlappungsbereich, in dem sich die Klappen nach hinten bewegen und roter Bereich = Überlappungsbereich, in denen sich die Klappen nach vorne bewegen (MASCHINENFABRIK BERNHARD KRONE GMBH & Co. KG 2022).

Aufbereiter an Rotationsmähwerken

Aufbereiter können sowohl an Trommel- als auch Scheibenmähwerken angebaut werden. Die Funktion des Aufbereiters besteht darin, das Mahdgut zu knicken, zu quetschen und zu spleißen, wodurch die stabilisierende und verdunstungshemmende Wachsschicht (Kutikula) der Pflanzenhaut verletzt und der Wasseraustritt beschleunigt wird (DERNEDDE 1969, SCHÖN 1998, EICHHORN 1999). Dadurch trocknet das Mahdgut schneller und der Ernteprozess wird verkürzt (DERNEDDE 1969). In Rotationsmähwerken wird der Aufbereiter hinter dem Mähbalken angebaut und übernimmt das Mahdgut direkt im Anschluss an den Schnitt. Je nach Zusammensetzung des Schnittgutes werden verschiedene Typen von Aufbereitern eingesetzt. Für halmreiche Grünlandbestände mit hohen Grasanteilen wird die Verwendung eines Zinkenaufbereiters empfohlen (SCHÖN 1998, CLAAS 2022, MASCHINENFABRIK BERNHARD KRONE 2022). Dieser besteht aus einem Zinkenrotor, welcher das Mahdgut an einer Reibplatte oder mehreren Gegenmessern vorbeiführt. Dabei werden die Halme geknickt, gespleißt und angeschlagen. Die Intensität der Aufbereitung kann durch die Position der Reibplatte beziehungsweise der Gegenmesser und durch die Drehzahl des Rotors angepasst werden. Für blattreiche Bestände mit hohen Anteilen von Klee oder Leguminosen werden Walzenaufbereiter verwendet (SCHÖN 1998, CLAAS 2022, MASCHINENFABRIK BERNHARD KRONE 2022). Das Mahdgut wird dabei zwischen zwei profilierten Walzen hindurchgeführt und gequetscht. Die Intensität der Aufbereitung kann durch den Abstand zwischen den Walzen angepasst werden. Diese Art der Aufbereitung ist schonender für das Mahdgut, da ein Abtrennen einzelner Pflanzenteile vermieden wird (MASCHINENFABRIK BERNHARD KRONE 2022).

Rotationsmäherwerke – Schlegelmäherwerke

Schlegelmäherwerke beziehungsweise -mulcher unterscheiden sich in ihrer Funktionsweise von Scheiben- und Balkenmäherwerken. Letztere schneiden das Gras und legen es ab, sodass der Halm nur abgetrennt, aber nicht weiter zerkleinert wird. Der Einfluss der Messer bleibt hier auf den Schnitthorizont beschränkt, der in etwa der Dicke der Messerklingen entspricht (SCHÖN 1998). Ein Schlegelmäher ist hingegen konzipiert, um den gesamten Pflanzenbestand mehrfach zu zerkleinern, anzuschlagen und zu quetschen. Dazu rotiert eine horizontale mit Messern oder Schlegeln bestückte Welle mit einer Drehzahl von bis zu $38,34 \text{ s}^{-1}$ (RUX 1999), wobei die an der Welle frei aufgehängten Messer eine lineare Geschwindigkeit von 45 bis 65 m s^{-1} erreichen können (KUHNS MASCHINEN-VERTRIEB 2021). Die Rotation der Welle erfolgt meist entgegen der Fahrtrichtung. Aufgrund der Geometrie wird ein ausreichend hoher Bestand das erste Mal auf Höhe der Welle von einem Messer geschnitten. Je nach Bestands- und Schnitthöhe kann der erste Kontakt auch später erfolgen, da Pflanzenteile, die unterhalb der Welle liegen erst im Laufe der Überfahrt schrittweise abgeschnitten werden. Von der Drehbewegung der Messer beziehungsweise Schlegel wird das Mahdgut über oder unter der Welle durchgeführt und abschließend hinter dem Rotor über die gesamte Arbeitsbreite abgelegt. Auf dem Förderweg über die Welle führt der Kontakt mit der Abdeckung des Rotors zur weiteren Aufbereitung des Grünguts (RUX 1999). Das abgeschlegelte Pflanzenmaterial verbleibt in der Regel als Mulch zur Gründüngung auf der Fläche. Wird das Mahdgut nach der Zerkleinerung abgesaugt spricht man von einem Saugmäher. Die freie Aufhängung der Messer führt dazu, dass sie bei Kontakt mit einem Hindernis abgelenkt werden, wodurch der Schlegelmäher unempfindlich gegen Schläge und harte Widerstände ist. Schlegelmäherwerke eignen sich daher besonders für die Mahd von Brachen und Straßenrandstreifen (MEINERS et al. 2009b). Die Höhenführung und Schnitthöhenverstellung erfolgt über Stützräder, Gleitkufen oder Stützwalzen (MEYER 1998).

Theoretische Berechnungen zum Vergleich der potenziellen Schadwirkung verschiedener Mähetechniken auf Arthropoden

Aus den Funktionsweisen von Doppelmesser-, Scheiben- und Schlegelmäherwerk ergeben sich unterschiedliche theoretische Gefährdungspotenziale für Insekten und andere Arthropoden. Dafür wird die Fläche berechnet, die von den Klingen eines Mähwerks in einer Sekunde überstrichen beziehungsweise beeinflusst wird. Das Gefährdungspotenzial für die Kleintierfauna steigt dabei mit der Größe der überstrichenen Fläche. Die Mähwerke werden in der Aufsicht betrachtet, es wird also nur die auf den Boden projizierte Bewegung der Klingen ermittelt, nicht das von den Klingen durchfahrene Volumen. Um das Schädigungspotenzial zu ermitteln, ist nur die überstrichene Fläche (pro Zeiteinheit) durch die Messer relevant, die Bewegung tragender Teile wird nicht berücksichtigt.

Zunächst wird die beeinflusste Fläche A_E berechnet (Tabelle 1). Diese beschreibt die Fläche, die von einer Klinge während einer Umdrehung oder eines Hubs überstrichen wird. Anschließend wird die Fläche A_E mit der Zahl der Klingen multipliziert, die im jeweiligen Mähwerk für die Bearbeitung einer Arbeitsbreite von 3,05 m vorhanden sind. Um die überstrichene Fläche je Sekunde zu ermitteln, wird die vom jeweiligen Mähwerk benötigte Rotationsdrehzahl oder Hubfrequenz berücksichtigt. Alle vorgestellten Maschinen wurden beispielhaft für ihre Bauart ausgewählt. Die Berechnungen für das Doppelmessermäherwerk basieren auf Angaben aus SCHÖN (1998) und dem ESM System Bidux (KERTENS MASCHINENFABRIK 2022). Das Doppelmessermäherwerk hat eine Klingenteilung von 84 mm auf

dem Ober- und Untermesser. Um näherungsweise die benötigte Arbeitsbreite von 3,05 m zu erreichen, werden jeweils 36 Klingen oben und unten benötigt. Die Arbeitsbreite beträgt in diesem Fall 3,024 m. Eine Klinge ist 60 mm lang. Beim Doppelmessermähwerk ergibt sich die beeinflusste Fläche A_E der Seitwärtsverschiebung einer Klinge um den Hub sowie der Länge der Klinge (Abbildung 2). Die Werte für das Scheibenmähwerk wurden an einem Pöttinger NOVACAT 305 H (ALOIS PÖTTINGER MASCHINENFABRIK 2007, Abbildung 2) erhoben, welches am Institut für Agrartechnik der Universität Hohenheim zur Verfügung stand. Die beeinflusste Fläche A_E ist hier die kreisförmige Umlaufbahn einer Klinge über dem Boden. Das Mähwerk hat eine Arbeitsbreite von 3,05 m, die durch sieben sich teilweise überlappende Mähscheiben erreicht wird. Die Daten für das Schlegelmähwerk basieren auf einem Gerät der Baureihe RM der Firma Kuhn (KUHN MASCHINEN-VERTRIEB 2021). Schlegelmähwerke werden in den Arbeitsbreiten 2,80 m (mit 32 Schlegeln) oder 3,20 m (mit 36 Schlegeln) angeboten. Um die Arbeitsbreite auf die gewünschten 3,05 m anzupassen, wurde eine Schlegelzahl von 34 gewählt. Beim Schlegelmähwerk beschreibt die beeinflusste Fläche A_E den Bereich, den ein Schlegel am Boden überstreicht, wenn die Rotationsbewegung aus der Draufsicht betrachtet wird. Die Fläche A_E setzt sich folglich aus dem Durchmesser des Rotors inklusive der Schlegel und der Arbeitsbreite eines einzelnen Schlegels zusammen (Abbildung 2). Die Fläche A_E beschreibt die maximal mögliche beeinflusste Fläche, die nur dann erreicht wird, wenn der Bestand bis auf die Höhe der rotierenden Welle aufgewachsen ist. Bei niedrigeren Beständen fällt die beeinflusste Fläche entsprechend kleiner aus.

Tabelle 1: Berechnung der überstrichenen Fläche je Sekunde als Maß für die potenzielle Gefährdung der Kleintierfauna im Grünland für drei verschiedene Mähwerktypen: Doppelmesser-, Scheiben- und Schlegelmähwerk. Die beeinflusste Fläche A_E je Hub oder Umdrehung wird mit der Hub- beziehungsweise Drehfrequenz des jeweiligen Mähwerktypen zur beeinflussten Fläche je Sekunde verrechnet. Diese Fläche wird anschließend durch die von der Arbeitsbreite je Sekunde überstrichene Fläche geteilt. Man erhält ein Verhältnis der von den Klingen beeinflussten Fläche je Sekunde zu der von der Arbeitsbreite überstrichenen Fläche je Sekunde (n.a. = nicht angegeben).

	Doppelmesser- mähwerk (Abbildung 2a)	Scheibenmähwerk (Abbildung 2b)	Schlegelmähwerk (Abbildung 2c)
Arbeitsbreite	3.024 mm	3.050 mm	3.050 mm
Schnittbreite einer Klinge	60 mm	50 mm	115 mm
Durchmesser Rotor inkl. Schlegel/Klingen	n.a.	520 mm	650 mm
Hub	42 mm	n.a.	n.a.
Beeinflusste Fläche A_E je Hub oder Umdrehung	0,0025 m ²	0,0738 m ²	0,0748 m ²
Anzahl Klingen beziehungsweise Schlegel	72	14	34
Drehzahl	n.a.	50 1/s	28,34 1/s
Einzelhubfrequenz	50 s ⁻¹	n.a.	n.a.
Beeinflusste Fläche	9,072 m ² s ⁻¹	51,653 m ² s ⁻¹	72,009 m ² s ⁻¹
Fahrtgeschwindigkeit	2,22 m s ⁻¹	3,33 m s ⁻¹	2,22 m s ⁻¹
Vom Mähwerk überstrichene Fläche bei entsprechender Fahrtgeschwindigkeit	6,713 m ² s ⁻¹	10,157 m ² s ⁻¹	6,771 m ² s ⁻¹
Verhältnis beeinflusster Fläche je Sekunde (Klingen) zu bearbeiteter Fläche je Sekunde (Arbeitsbreite)	1,351	5,085	10,635

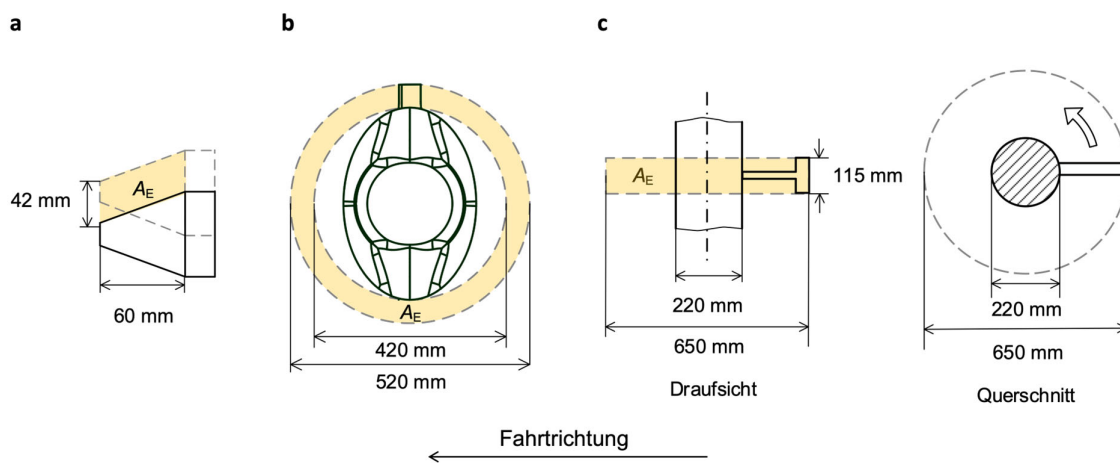


Abbildung 2: Draufsicht auf ein a) Doppelmessermähwerk und b) Scheibenmähwerk sowie Draufsicht und Querschnitt eines c) Schlegelmähwerks mit der in gelb markierten Fläche A_E , die von einem Messer während eines Hubs beziehungsweise einer Umdrehung beeinflusst wird

Die Klinge des Doppelmessermähwerks überstreicht pro Hub eine deutlich kleinere Fläche A_E als die Klängen der beiden Rotationsmähwerke je Umdrehung. Anschließend wird die Fläche A_E mit der Anzahl der benötigten Klängen sowie mit der Drehzahl beziehungsweise Hubfrequenz der Klängen zur beeinflussten Fläche je Sekunde multipliziert. Bei SCHAEFER (1966) wird eine Doppelhubfrequenz von 25 s^{-1} für die Messer eines Doppelmesserbalkens angegeben. Ein Doppelhub entspricht dabei der Vor- und Rückbewegung eines Messers. Für die Berechnung der überstrichenen Fläche je Sekunde wird diese Frequenz auf den Einzelhub umgerechnet, entspricht also 50 s^{-1} . Die Fläche, die von den Klängen des Doppelmessermähwerks pro Sekunde überstrichen wird, ist mit 9 m^2 deutlich kleiner als beim Scheibenmähwerk mit 52 m^2 oder dem Schlegelmähwerk mit 72 m^2 , da bei Letzterem mehr Klängen mit größeren Drehzahlen bewegt werden.

Für die Fahrtgeschwindigkeit während des Mähens werden 8 km h^{-1} für Doppelmesser- und Schlegelmähwerk angenommen und 12 km h^{-1} für das Scheibenmähwerk. Je Sekunde überstreicht ein Mähwerk mit einer Arbeitsbreite von $3,05 \text{ m}$ bei Scheiben und Schlegelmähwerk und $3,024 \text{ m}$ beim Doppelmessermähwerk eine von der Fahrtgeschwindigkeit abhängige Fläche. Diese Fläche beschreibt die tatsächlich gemähte bzw. bearbeitete Fläche und kann zu der von den Klängen in einer Sekunde überstrichenen Fläche ins Verhältnis gesetzt werden. Dieses Verhältnis gibt an wie viel die von den Klängen in einer Sekunde überstrichene Fläche größer ist als die vom Mähwerk in derselben Zeit bearbeitete Fläche. Die von den Mähwerken je Sekunde bearbeiteten, bzw. gemähten Flächen betragen $7 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ für das Doppelmesser- und Schlegelmähwerk und $10 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ für das Scheibenmähwerk. Abschließend wird das Verhältnis von bearbeiteter Fläche je Sekunde zur von den Klängen beeinflussten Fläche je Sekunde errechnet. Für das Doppelmessermähwerk beträgt das Verhältnis $1,3$. Das heißt, die Klängen des Mähwerks überstreichen je Sekunde nur etwas mehr Fläche als vom Mähwerk je Sekunde bearbeitet wird. Beim Scheibenmähwerk ist die von den Klängen überstrichene Fläche je Sekunde ungefähr fünfmal größer und beim Schlegelmähwerk zehnmal größer als die vom Mähwerk bearbeitete bzw. gemähte Fläche je Sekunde. Das Doppelmessermähwerk scheint daher für Arthropoden wie Insekten das am wenigsten schädliche Mähwerk zu sein, da die Bewegung der Messer über dem Boden vergleichsweise gering ist.

Bei diesem Vergleich werden allerdings verschiedene Parameter vernachlässigt, die in der Praxis erheblichen Einfluss auf Arthropoden haben können. Zum einen wird die Gutführung in der Maschine nach dem Schnitt nicht berücksichtigt. So wird das Mahdgut im Schlegelmähwerk noch viele weitere Male geschnitten und zerkleinert. Zum anderen entwickeln rotierende Mähwerke aufgrund der hohen Drehzahlen einen Sog, der Arthropoden aktiv in die Klängen saugen kann. Das hier vorgestellte Modell ist daher vor allem als Annäherung zu verstehen, die zeigen soll, wie sich aus den konstruktiven Unterschieden der Mähwerkstypen unterschiedliche Gefährdungspotenziale für Insekten und Spinnen ergeben. Eine finale Beurteilung der Schadwirkung auf Arthropoden ist mit dem vorgestellten Modell nicht möglich und nur in Feldversuchen zu erreichen.

Auswirkung verschiedener Mähtechniken auf Insekten und Spinnen – dokumentierte Schädigung

In unserer Literaturrecherche konnten wir eine Vielzahl von Arbeiten ausmachen, die sich mit der Wirkung diverser Mähtechniken, aber auch mit dem gesamten Ernteprozess und der damit verbundenen Schädigung von Insekten und Spinnen beschäftigt haben. Um die Bedeutung einer arthropodenschonenden Mähtechnik herauszustellen, geben wir im Folgenden einen Überblick über die Ergebnisse einiger grundlegender Studien zu den mahdbedingten Schädigungsraten verschiedener Arthropodengruppen. Die Schädigungsraten beziehen sich je nach Studie auf den Anteil der durch die Mahd verletzten oder getöteten Individuen (beziehungsweise Modellkörper) an der sich vermeintlich auf der Grünfläche befindlichen Gesamtpopulation (HEMMANN et al. 1987, WILKE 1992, LÖBBERT 2001, OPPERMANN und KRISMANN 2001, HUMBERT et al. 2010a, HUMBERT et al. 2010b, BETZ et al. 2022, STEIDLE et al. 2022) beziehungsweise auf den Anteil der verletzten im Vergleich zu den nicht verletzten Arthropoden im Mahdgut (FLURI et al. 2000, HECKER et al. 2022). Die indirekten negativen Folgen der Mahd wie zum Beispiel die mikroklimatischen Veränderungen werden nicht berücksichtigt. Grundsätzlich ist die Bewertung der vorhandenen Literatur und die Entwicklung daraus resultierender Empfehlungen mit gewissen Herausforderungen verbunden. Die meisten Studien unterscheiden sich im Hinblick auf die untersuchte Mähtechnik, den methodischen Ansatz zur Bestimmung der Schädigung von Arthropoden und in Bezug auf die Arthropodengruppe. Dies erschwert einen Vergleich zwischen den Studien, bildet aber gleichzeitig ein breites Spektrum ab. Darüber hinaus wurden die meisten Studien nicht mit einer ausreichend hohen Anzahl an Replikaten durchgeführt, und es fehlen standardisierte Langzeitstudien auf definierten Flächen. Schließlich unterliegen ökologische Untersuchungen generell vielen Unbekannten wie zum Beispiel Wettereinflüssen oder jahreszeitlichen Schwankungen von Populationsdichten von Arthropoden (HUMBERT et al. 2009, VAN DE POEL und ZEHEM 2014).

Die erste Studie zur Bestimmung von Schädigungsraten unterschiedlicher Mähtechnik wurde bereits in den 1980er-Jahren durchgeführt (HEMMANN et al. 1987). Dabei wurde die Schadwirkung von Messerbalken, Schlegelmähwerk und Saugmäher auf Wanzen und Mehlkäfer getestet. Diese wurden fünf bis zehn Minuten vor dem Mähen auf 3 x 2,7 m großen Probeflächen ausgebracht. Unmittelbar nach der Mahd wurden die verbliebenen Insekten gezählt. Je nach Gruppe (adulte Wanzen, Wanzenlarven und Mehlkäfer) wurden unterschiedliche Schädigungsraten festgestellt. Insgesamt war der Anteil an getöteten beziehungsweise verletzten Individuen beim Balkenmäher mit durchschnittlich 28,4 % am geringsten, während die Schädigungsraten des Saugmähers mit durchschnittlich 46,5 % und des Schlegelmähwerk mit durchschnittlich 62,8 % deutlich darüber lagen. Für adulte Wanzen

waren die negativen Auswirkungen beider Mähtechniken mit 84–88 % getöteter oder verletzter Individuen am höchsten (Tabelle 2).

Tabelle 2: Zusammenfassung der Literaturlauswertung zu prozentualen mahdbedingten Schädigungsraten verschiedener Arthropodengruppen bei der Mahd mit unterschiedlichen Mähwerken. Unter Rotationsmähwerken sind alle in der Literatur als Scheiben-, Trommel-, oder Kreiselmähwerk bezeichneten Mähwerke zusammengefasst. Der gesamte Ernteprozess beinhaltet das Mähen sowie die nachfolgenden Prozesse Zetten, Schwaden, Ballenpressen oder das Aufladen des Schnittguts. A = Aufbereiter; B = Balkenmähwerk; R = Rotationsmähwerk.

Insekten- und Spinnengruppen	Schädigungsrate in %						Veröffentlichung
	Balkenmähwerk	Rotationsmähwerk	Rotationsmähwerk mit Aufbereiter	Schlegelmähwerk	Saugmäher	gesamter Ernteprozess	
Heuschrecken (Orthoptera)							
Diverse Heuschrecken-Arten	6	30					WILKE (1992)
Diverse Heuschrecken-Arten						75	(KIEL 1999), zitiert in HUMBERT et al. (2009)
Diverse Heuschrecken-Arten	9	21	34			80	OPPERMANN und KRISMANN (2001)
Zweifarbige Beißschrecke (<i>Bicolorana bicolor</i>)						42	WAGNER (2004)
Gemeiner Grashüpfer (<i>Pseudochorthippus parallelus</i>)		59					GARDINER (2006)
Diverse Heuschrecken-Arten (Nymphen)		21					GARDINER (2006)
Diverse Heuschrecken-Arten	13	21	57			66 (B) – 84 (R+A)	HUMBERT et al. (2010a)
Käfer (Coleoptera)							
Mehlkäfer (<i>Tenebrio molitor</i>)	16			60	30		HEMMANN et al. (1987)
<i>Epicauta occidentalis</i>	4		21				BLODGETT et al. (1995)
Wanzen (Heteroptera)							
Baumwollwanze (<i>Dysdercus intermedius</i> ; Imagines)	52			88	84		HEMMANN et al. (1987)
Baumwollwanze (<i>Dysdercus intermedius</i> ; Larven)	17			41	26		HEMMANN et al. (1987)
Div. Wanzen-Arten				29			STEIDLE et al. (2022)
Schmetterlinge (Lepidoptera)							
Baumwoll-Kapseleule (<i>Helicoverpa armigera</i> ; Raupen)	18	16		77			(LÖBBERT et al. 1994), zitiert in HUMBERT et al. (2009)
Großer Kohlweißling (<i>Pieris brassicae</i> ; Raupen)	20	37	69				HUMBERT et al. (2010b)

Fortsetzung der Tabelle nächste Seite

Insekten- und Spinnengruppen	Balkenmähwerk	Rotationsmähwerk	Schädigungsrate in %			gesamter Ernteprozess	Veröffentlichung
			Rotationsmähwerk mit Aufbereiter	Schlegelmähwerk	Saugmäher		
Hautflügler (Hymenoptera)							
Honigbiene (<i>Apis mellifera</i>)		5	35				FLURI et al. (2000)
Div. Hautflügler-Arten				55			STEIDLE et al. (2022)
Andere							
Diverse Zikaden-Arten (Cicadina)				48			STEIDLE et al. (2022)
Diverse Spinnen-Arten (Araneae)				49			STEIDLE et al. (2022)
Diverse Insekten- und Spinnenarten	25	25			33		KRAUT (1995)
Diverse Insekten- und Spinnenarten		52	70				HECKER et al. (2022)
Diverse Fliegen-Arten (Diptera)				59			STEIDLE et al. (2022)
Larven verschiedener holometaboler Insekten-Arten				73			STEIDLE et al. (2022)
Wachsmodelle							
Wachsmo- dell (Spinnen/Laufkäfer)	4	12			55		(LÖBBERT et al. 1994), zitiert in HUMBERT et al. (2009)
Wachsmo- dell (Raupen)	11	17	28				HUMBERT et al. (2010b)

Auch LÖBBERT (2001) verglich unterschiedliche Schlegelmähwerke mit einem Scheiben- und einem Doppelmessermähwerk. Hier wurden allerdings statt lebender Arthropoden Modellkörper verwendet, die in ihren physikalischen Eigenschaften Laufkäfern beziehungsweise Spinnen ähnelten. Diese wurden auf dem Boden, in Schnitthöhe (5 oder 10 cm) oder in 20 cm Höhe ausgebracht. Ähnlich wie bei HEMMANN et al. (1987) wurden beim Balkenmäher die geringsten Schäden ermittelt. Bei einer Schnitthöhe von 10 cm lagen diese teilweise sogar unter 10 %. Das Scheibenmäherwerk beschädigte in etwa 30 % der Modellkörper, während bei den verschiedenen Schlegelmähwerken je nach Modellkörper und Ausbringungshöhe Schädigungsraten von 50 bis über 90 % festgestellt wurden (Tabelle 2).

Gleich mehrere Studien befassten sich mit der Wirkung von Messerbalken und Rotationsmähwerken auf Heuschrecken. WILKE (1992) berichtete Schädigungsraten von nur 6 % der Heuschrecken durch Doppelmesserbalken, wohingegen getestete Kreiselmäherwerke 28–30 % der Heuschrecken töteten (Abbildung 3). Ähnliche Ergebnisse erzielten OPPERMAN und KRISMANN (2001). Der Messerbalken zeigte sich auch hier mit lediglich 9 % Schädigung als schonendere Variante, während vom Kreiselmäherwerk 21 % der Heuschrecken getötet wurden. Die zusätzliche Verwendung eines Aufbereiters mit dem Rotationsmäherwerk erhöhte die Verluste auf 34 % (Tabelle 2).



Abbildung 3: Durch die Mahd mit einem Rotationsmäherwerk geschädigte Sumpfschrecke *Stethophyma grossum* (© T. Kimmich)

Eine Studie zu Honigbienen von FLURI et al. (2000) lieferte ähnliche Ergebnisse (Tabelle 2). So wurden bei der Mahd mit einem Rotationsmäherwerk ohne Aufbereiter lediglich 5 % der Honigbienen getötet beziehungsweise verletzt, während es mit einem Aufbereiter 35 % waren. Hochgerechnet auf einen Hektar blühender Wiese ergaben sich dadurch Verluste von 2.000 Honigbienen ohne Aufbereiter beziehungsweise 9.000 bis 25.000 mit Aufbereiter.

In einer Studie von HECKER et al. (2022) wurde die Wirkung von Aufbereitern auf unterschiedlichste Arthropoden-Gruppen untersucht. Dabei zeigten 70 % der im Mahdgut enthaltenen Arthropoden nach der Mahd mit einem Rotationsmäherwerk plus Aufbereiter Schädigungen (gequetschter Thorax oder Abdomen), wohingegen im Mahdgut von Flächen, die ohne Aufbereiter gemäht wurden, nur 52 % der Tiere solche Schädigungen aufwiesen (HECKER et al. 2022).

Die bisher umfangreichsten Untersuchungen zur Mahd in Zusammenhang mit Insektenfauna wurden von Agroscope durchgeführt (HUMBERT et al. 2010b, HUMBERT et al. 2010a, Tabelle 2). Hier wurde neben Balken-, Trommel- und Scheibenmäherwerken auch die Schadwirkung eines Aufbereiters auf lebende Insekten (Heuschrecken und Schmetterlingsraupen) sowie auf verschiedene große Wachsmodele erfasst. Dabei ergaben sich mit dem handbetriebenen Balkenmäher Schäden zwischen durchschnittlich ca. 11 % bei den Wachsmodele bis ca. 20 % bei den Raupen (HUMBERT et al. 2010b). Beim Mähen mit dem Trommelmäherwerk wurden im Schnitt 17,2 % der Wachsmodele beschädigt und je nach Position der Raupen in der Vegetation etwa 40 % getötet. Die Verwendung eines zusätzlichen Aufbereiters erhöhte diese Mortalität auf bis zu 70 % (HUMBERT et al. 2010b). Auch bei Heuschrecken war der Balkenmäher mit 13 % getöteter Tiere das schonendste Mäherwerk. Ein Aufbereiter am Trommelmäherwerk erhöhte die Schädigungsraten deutlich von 21% auf durchschnittlich 57 % (HUMBERT et al. 2010a). Für Heuschrecken wurden die Schädigungsraten für dem Mähen nachfolgenden Prozesse Zetten, Schwaden, Ballenpressen und Aufladen erhoben. Dabei ergaben sich Mortalitäten von durchschnittlich 27 % durch Zetten und Ballenpressen und von bis zu 51 % durch Zetten und Schwaden gemeinsam (HUMBERT et al. 2010a). Durch den gesamten Ernteprozess ergaben sich je nach Mäherwerk errechnete Gesamtsterberaten von durchschnittlich 66 % (Balkenmäherwerk) beziehungsweise 84 % (Trommelmäherwerk mit Aufbereiter; Tabelle 2, Abbildung 4). Insgesamt deuten diese Arbeiten darauf hin, dass die dem Mähen folgenden Prozesse höhere Schäden verursachen können als das Mähen selbst (HUMBERT et al. 2010a).

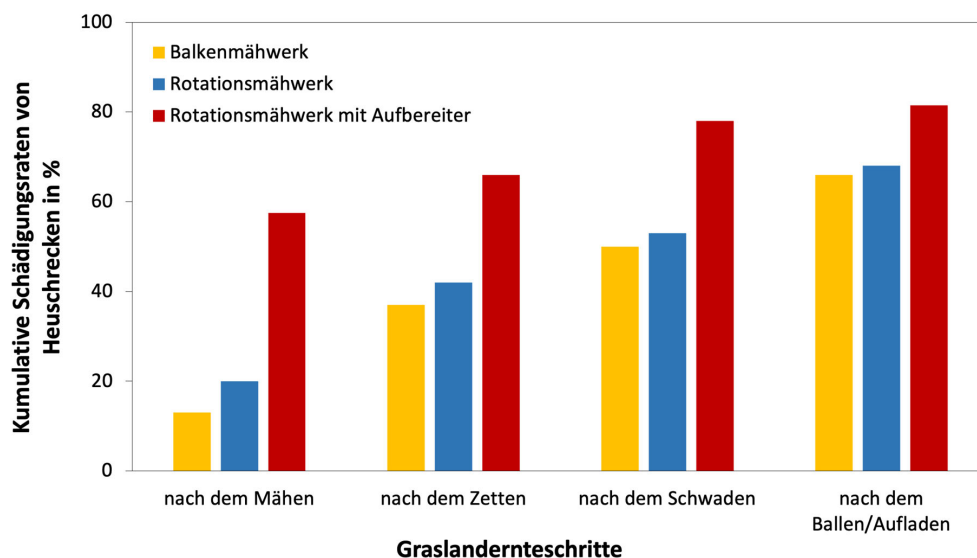


Abbildung 4: Kumulative prozentuale Schädigungsraten von Heuschrecken im Grünland nach verschiedenen Ernteschritten mit unterschiedlichen Mähwerken. Die Werte wurden für den gesamten Ernteprozess aus Einzelüberlebensraten der jeweiligen Schritte errechnet (HUMBERT et al. 2010a) und anschließend in Schädigungsraten umgerechnet.

Weitere zuvor nicht oder nur selten in Bezug auf Mahdverluste untersuchte Arthropodengruppen wurden bei einer Studie zum Einfluss eines herkömmlichen Schlegelmähwerkes für die Kommunaltechnik einbezogen (BETZ et al. 2022, STEIDLE et al. 2022). Dabei zeigten sich je nach Gruppe Schädigungsraten von bis zu 73 % (Tabelle 2).

Bekannte von der Mahd betroffene Insektengruppen

Die durch die Bewirtschaftung durch den Menschen geschaffenen Grünlandökosysteme stellen einen wichtigen Lebensraum für viele Insekten und andere Arthropoden dar (VAN DE POEL und ZEHM 2014, BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ, BAU UND REAKTORSICHERHEIT 2015, KREMER 2020). Zu den bekanntesten blütenbesuchenden Gruppen zählen Bienen und Wespen (Hymenoptera, Abbildung 5a), Fliegen (Diptera, Abbildung 5b) und Schmetterlinge (Lepidoptera, Abbildung 5c). Viele dieser Vertreter weisen wenig mobile Entwicklungsstadien auf (z.B. Schmetterlingsraupen und Larven von Pflanzenwespen) und sind daher besonders durch die Mahd gefährdet (FLURI et al. 2000, BETZ et al. 2022, STEIDLE et al. 2022). Auch verschiedene Käferarten sind als Blütenbesucher, Pflanzenfresser oder wie zum Beispiel der Zottige Bienenkäfer (*Trichodes alvearius* Fabricius 1972, Coleoptera, Abbildung 5d) als Räuber auf Grünlandflächen anzutreffen (WILLNER 2013). Die größte Aufmerksamkeit im Zusammenhang mit Schädigung durch Grünlandmahd erhielten bisher Heuschrecken (Orthoptera, Abbildung 5e; OPPERMAN und KRISMANN 2001, WAGNER 2004, GARDINER 2006, HUMBERT et al. 2010a). Für sie sind nicht nur direkte Schädigungen bei der Mahd, sondern auch Verluste aufgrund eines durch die Mahd veränderten Mikroklimas gut dokumentiert (GARDINER und HASSALL 2009). Aber auch die Pflanzensaft saugenden Wanzen und Zikaden (Hemiptera, Abbildung 5f) sind Bewohner beziehungsweise Besucher von Grünlandflächen und demnach von häufiger Mahd betroffen (HEMMANN et al. 1987, STEIDLE et al. 2022).



Abbildung 5: Ausgewählte Vertreter bekannter Insektengruppen: a) Hummel (*Bombus* sp., Hymenoptera) beim Pollensammeln, b) Großer Wollschweber (*Bombylius major*, Diptera) auf Kriechendem Hahnenfuß (*Ranunculus repens*), c) Imago und Raupe des Schwalbenschwanzes (*Papilio machaon*, Lepidoptera), d) Zottiger Bienenkäfer (*Trichodes alvearius*, Coleoptera), e) Grashüpfernympe (*Chorthippus* sp., Orthoptera), f) Streifenwanze (*Graphosoma italicum*, Heteroptera), a) – d) © Lea von Berg, e) – f) © Florian Weber

„Arthropodenfreundliche“ Mähtechniken

Obwohl die arthropodenschädigende Wirkung der Mahd, wie oben dargestellt, bereits bekannt ist, gibt es bislang nur wenige Versuche, diese Wirkung durch die Entwicklung alternativer Techniken zu vermeiden. Gemeinsam ist den meisten dieser Ansätze, dass es kaum ökologische Begleituntersuchungen gibt, welche ihre Wirksamkeit belegen. Für die landwirtschaftliche Bewirtschaftung von Grünland stellen bisher nur moderne Doppelmesserbalken oder vor dem Mähwerk angebrachte Insektenscheuchen schonende Alternativen dar (ZIEGER 2021). So verwendete der Naturschutzbund Deutschland e.V. (NABU) in Gärtringen–Nufringen (Baden-Württemberg) für die Bewirtschaftung ökologisch wertvoller Grünlandflächen einen dem Mähwerk vorgelagerten Bügel als Insektenscheuche, um Insekten und andere Arthropoden zur Flucht zu veranlassen (HOTZ 2013). Eine unveröffentlichte Begleitstudie konnte die schonende Wirkung bestätigen (OPPERMANN et al. 2012). Das in den letzten Jahren gestiegene politische und öffentliche Interesse für den Schutz von Arthropoden und den Erhalt biologischer Vielfalt führte dazu, dass eine Reihe von Firmen Varianten dieser mutmaßlich ersten Insektenscheuche entwickelten und in ihre Mähwerken integrierten, wie zum Beispiel herabhängende Zinken, Ketten und Planen (MEISSNER 2020, ZIEGER 2021).

Eine alternative Form von Insektenscheuchen entwickelte die Fischer Maschinenbau GmbH & Co KG. Bei ihrem EcoCut sollen Arthropoden mit einem horizontalen Gebläse vor dem Mähwerk mit einer Luftgeschwindigkeit von 150 bis 260 m s⁻¹ (laut Patent) schonend aus der Vegetation entfernt werden.

Ein sogenannter Bienenwabentest ergab für diese Methode eine Schutzwirkung von bis zu über 90 % (BEUTEL und REBER 2020, MEYER 2020). Was sich nach einem vielversprechenden Ansatz anhört, erscheint wissenschaftlich jedoch wenig fundiert, da im „Bienenwabentest“ nur die Wirkung auf Honigbienen an Bienenwaben untersucht wurde. Der Effekt, den die Scheuche in natürlicher Vegetation auf wildlebende Arthropoden hat, kann mit dieser Methode nicht erfasst werden.

Eine vielversprechende Art arthropodenschonender Mähtechnik entwickelte die Firma MULAG Fahrzeugwerk (Heinz Wössner GmbH & Co. KG) und brachte sie in Form des Böschungsmähkopfes ECO 1200 für die Mahd von Straßenrändern auf den Markt. Die zentrale Neuerung dieses Mähkopfes besteht in einer veränderten Luftführung und einer Abdeckung der Schneideebene zum Boden, die das Ansaugen von Arthropoden auf dem Boden verhindert und dadurch Arthropodenverluste verringert (MEISSNER 2020). Zusätzlich besitzt das Gerät als Insektenscheuche eine verstellbare Abstreifvorrichtung aus LKW-Plane, eine erhöhte Schnitthöhe von 10 bis 15 cm, schmale Klingen sowie eine sehr schmale Auflagefläche auf dem Boden. Tierökologen verglichen den ECO 1200 mit dem herkömmlichen Mähkopf MK 1200 des gleichen Herstellers. Je nach Arthropodengruppe verursachte der MK 1200 Mahdverluste zwischen 29 und 73 % (Tabelle 2). Beim ECO 1200 konnten für Spinnen, Wanzen, Zikaden und holometabole Larven keine signifikanten Mahdverluste zwischen ungemähter Kontrollwiese und mit dem ECO 1200 gemähter Wiese festgestellt werden (BETZ et al. 2022, STEIDLE et al. 2022). Für Fliegen und Hautflügler verminderte sich die Schädigungsrate von 59 beziehungsweise 55 % auf 34 beziehungsweise 40 % (BETZ et al. 2022, STEIDLE et al. 2022). Der ECO 1200 stellt somit trotz Rotationsmähwerk eine arthropodenschonende Alternative für die Kommunaltechnik dar. Weitere durch unterschiedlichste Modifikationen oder Scheuchen ausgestattete Mähwerke sind vor allem für die Grünpflege in der Kommunaltechnik erhältlich (ZIEGER 2021). Allerdings gibt es für deren Wirksamkeit keinen Nachweis.

Schlussfolgerungen

Die Wiesenbewirtschaftung durch Mahd ist essentiell, um das Ökosystem Wiese zu erhalten, da nur so die dauerhafte Offenhaltung der Fläche garantiert werden kann (HUMBERT et al. 2010c, KREMER 2020). Gleichzeitig stellt diese Art der Bewirtschaftung eine Gefahr für wiesenbewohnende Wirbeltiere bis hin zu Arthropoden dar (HUMBERT et al. 2010c, SEIBOLD et al. 2019). Unterschiede im Ausmaß der Arthropodenverluste bei der Mahd lassen sich durch die verschiedenen Bau- beziehungsweise Funktionsweisen der einzelnen Mähwerke erklären (Tabelle 1). Die kreisförmigen Umlaufbahnen der Klingen und hohen Drehzahlen von Scheiben- und Schlegelmähwerken führen dazu, dass ein Großteil der bewirtschafteten Fläche mit den Klingen in Kontakt kommt. Somit überstreichen Scheiben- beziehungsweise Schlegelmähwerke pro Sekunde vier- bis sechsmal mehr Fläche als ein Balkenmähwerk mit gleicher Arbeitsbreite (Tabelle 1). Die Wahrscheinlichkeit, dass Arthropoden erfasst werden, ist demnach deutlich höher als bei einem Balkenmähwerk. Zusätzlich wird die potenzielle Schädigung von Rotationsmähwerken durch die Verwendung von Aufbereitern und den entstehenden Sog erhöht, der Arthropoden vom Boden in die Schnittebene saugen kann.

Die auf Bau- und Funktionsweise der einzelnen Mähwerke beruhenden potenziellen Schädigungen von Insekten und Spinnen wurden bereits durch mehrere Studien bestätigt (HEMMANN et al. 1987, FLURI et al. 2000, LÖBBERT 2001, OPPERMAN und KRISMANN 2001, HUMBERT et al. 2010a). Dabei ist eine klare Steigerung der Schädigung vom Balkenmähwerk über Scheibenmähwerke ohne beziehungsweise mit Aufbereitern bis hin zu Schlegelmähwerken erkennbar. Darüber hinaus führen auch

die dem Mähen folgenden Grasernteprozesse zu hohen Verlusten (HUMBERT et al. 2010a; Tabelle 2, Abbildung 4).

Durch die Verwendung moderner Doppelmesserbalken und das Anbringen von Insektenscheuchen könnte die Schadwirkung auf wiesenbewohnenden Arthropoden reduziert werden (OPPERMANN et al. 2012, HOTZ 2013, BB-UMWELTECHNIK 2022). Um die Mahd mit Rotationsmäherwerken auf längere Sicht arthropodenschonender zu gestalten, kann zusätzlich auf modifizierte Mäherwerke mit geringerer Sogwirkung gesetzt werden, die vermutlich ein hohes Potenzial haben, Mahdverluste zu verringern beziehungsweise zu eliminieren (BETZ et al. 2022, STEIDLE et al. 2022). Kooperationsprojekte wie das Projekt „BioDivKultur“ (TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT 2022), in dem eine Verbesserung des Schutzes von Arthropoden auf offenen Grünflächen von Städten, Gewerbe und Landwirtschaft angestrebt wird oder das Projekt „InsectMow“ (UNIVERSITÄT HOHENHEIM und UNIVERSITÄT TÜBINGEN 2022), in dem insekten- und spinnenfreundliche Scheibenmäherwerke entwickelt und evaluiert werden, stellen vielversprechende Ansätze dar, um die biologische Vielfalt auf Grünlandflächen durch eine innovative Bewirtschaftungsform und -technik zu schützen und zu stärken.

Literatur

- BB-Umwelttechnik GmbH (2022): Warum ein Doppelmessermäherwerk? <https://doppelmessermäherwerk.de/warum-ein-doppelmessermaehwerk/>, Zugriff am 08.04.2022
- Betz, O.; Kimmich, T.; Csader, M.; Spinner, F.; Steidle, J.L.M. (2022): Einsatz von Mähmaschinen mit schonender Wirkung auf die biologische Vielfalt zur Pflege von Straßenbegleitflächen am Beispiel des Grünpflegekopfs ECO 1200 plus® von MULAG. Biodiversity-preserving mowing machines for the maintenance of roadside areas – the example of the MULAG ECO 1200 plus® mowing head. *Natur und Landschaft* 97(9/10), S. 455–461
- Blodgett, S.L.; Higgins, R.A.; Milliken, G.A. (1995): Blister Beetle (Coleoptera: Meloidae) Mortality Evaluated During Alfalfa Harvest. *Journal of Economic Entomology* 88(2), pp. 398–406, <https://doi.org/10.1093/jee/88.2.398>
- Blüthgen, N.; Staab, M.; Achury, R.; Weisser, W.W. (2022): Unravelling insect declines: can space replace time? *Biology Letters* 18(4)
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (2015): Indikatorenbericht 2014 zur nationalen Strategie zur biologischen Vielfalt, Berlin, 1. Aufl.
- Claas Vertriebsgesellschaft mbH (2022): DISCO. Front-, Heck- und gezogene Mäherwerke, Herzebrock
- Claus, H.G. (1988): Halmfuttermähen und Halmfutterwerbung. Mäh- und Aufbereitungsmaschinen. In: *Jahrbuch Agrartechnik*, Band 1. Hg. Matthies, H.J.; Meier, F., Frankfurt/Main, Maschinenbau-Verlag, S. 87–89
- Dernedde, W. (1969): Die Beschleunigung der Trocknung von Halmgut durch mechanische Aufbereitung. Dissertation, Georg-August-Universität Göttingen
- Eichhorn, H. (1999): Ernte von Grünfutter, Silofutter und Heu. Mäherwerke. In: *Landtechnik*. 136 Tabellen. Hg. Eichhorn, H., Stuttgart, Ulmer, 7. Aufl., S. 382–385
- Fehr, A.; Fischer, R.; Fleischlin, S.; Friese-Tapmeyer, J.; Friske, R.; Ganzmann, H.; Gscheidle, R.; Gscheidle, T.; Heider, U.; Hohmann, B.; Huber, G.; van Huet, A.; Keil, W.; Lohuis, R.; Mann, J.; Petersen, M.; Schlögl, B.; Steidle, B.; Wimmer, A. (2016): Raufutterernte. In: *Fachkunde Land- und Baumaschinentechnik*. Hg. Fehr, A.; Fischer, R. et al., Haan-Gruiten, Verlag Europa-Lehrmittel Nourney Vollmer GmbH & Co. KG, S. 671–679
- Fluri, P.; Frick, R.; Jaun, A. (2000): Bienenverluste beim Mähen mit Rotationsmäherwerken. Schweizerisches Zentrum für Bienenforschung (Mitteilung Nr. 39)
- Gardiner, T. (2006): The impact of Grassland Management on Orthoptera Populations in the UK. Dissertation, University of Essex
- Gardiner, T.; Hassall, M. (2009): Does microclimate affect grasshopper populations after cutting of hay in improved grassland? *Journal of Insect Conservation* 13(1), pp. 97–102, <https://doi.org/10.1007/s10841-007-9129-y>

- Fischer Maschinenbau GmbH & CO. KG (2020): EP2020081388W. Beutel, R.; Reber, D.
- Hallmann, C.A.; Sorg, M.; Jongejans, E.; Siepel, H.; Hofland, N.; Schwan, H.; Stenmans, W.; Müller, A.; Sumser, H.; Hörrn, T.; Goulson, D.; Kroon, H. de (2017): More than 75 percent decline over 27 years in total flying insect biomass in protected areas. *PLOS ONE* 12(10), e0185809, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0185809>
- Hecker, L.P.; Wätzold, F.; Yang, X.; Birkhofer, K. (2022): Squeeze it or leave it? An ecological-economic assessment of the impact of mower conditioners on arthropod populations in grassland. *Journal of Insect Conservation* 26(3), pp. 463–475, <https://doi.org/10.1007/s10841-022-00392-5>
- Hemann, K.; Hopp, I.; Paulus, H. (1987): Zum Einfluss der Mahd durch Messerbalken, Mulcher und Saugmäher auf Insekten am Straßenrand. *Natur und Landschaft* 62(3), S. 103–106
- Hensel, O. (2019): Futterernte: Langgutkette. In: *Verfahrenstechnik in der Pflanzenproduktion*. Hg. Köller, K.; Hensel, O., Stuttgart, Verlag Eugen Ulmer, S. 177–179
- Hotz, S. (2013): Beim Mähen Leben retten - amphibien- und insektenfreundliches Mähwerk. *Naturschutzinfo* (1), S. 21
- Humbert, J.-Y.; Ghazoul, J.; Richner, N.; Walter, T. (2010a): Hay harvesting causes high orthopteran mortality. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 139(4), pp. 522–527, <https://doi.org/10.1016/j.agee.2010.09.012>
- Humbert, J.-Y.; Ghazoul, J.; Sauter, G.J.; Walter, T. (2010b): Impact of different meadow mowing techniques on field invertebrates. *Journal of Applied Entomology* 134(7), pp. 592–599, <https://doi.org/10.1111/j.1439-0418.2009.01503.x>
- Humbert, J.-Y.; Richner, N.; Sauter, J.; Walter, T. (2010c): Wiesen-Ernteprozesse und ihre Wirkung auf die Fauna, Ettenhausen
- Humbert, J.-Y.; Ghazoul, J.; Walter, T. (2009): Meadow harvesting techniques and their impacts on field fauna. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 130(1-2), S. 1–8, <https://doi.org/10.1016/j.agee.2008.11.014>
- Kemper, S.; Lang, T.; Frerichs, L. (2014): Der überlagerte Schnitt im Scheibenmäherwerk - Ergebnisse aus Feldversuchen und Simulation. *Landtechnik* 69(4), S. 171–175, <https://doi.org/10.1515/lt.2014.570>
- Kersten Maschinenfabrik (2022): Produktkatalog Landwirtschaft, D-46459 Rees
- Kiel, E.-F. (1999): Heuschrecken und Mahd. Empfehlungen für das Pflegemanagement in Feuchtwiesengebieten. In: *LOeBF-Mitteilungen*, S. 63–66
- Kraut, D. (1995): Schädigung der Kleintierfauna durch Mäherwerke. *Landtechnik* 50(3), S. 138–139
- MULAG Fahrzeugwerk Heinz Wössner GmbH & CO. KG (2020): EP 3 841 862 A2, Meißner, U.
- Kremer, B.P. (2020): *Die Wiese*, Darmstadt, wbg Academic in Wissenschaftliche Buchgesellschaft (WBG), 2016. Aufl.
- Kuhn Maschinen-Vertrieb GmbH (2021): *RM Universalmulchgeräte - Produktinformation*, D-39291 Schoppsdorf-Genthin
- Löbber, M. (2001): Landschaftspflege. Bewertung technischer Verfahren unter besonderer Berücksichtigung der Wirbellosen-Fauna. *Landtechnik* 56 (SH1), S. 234–236, <https://doi.org/10.1515/lt.2001.2149>
- Löbber, M.; Kromer, K.-H.; Wieland, C.C. (1994): Einfluss von Mäh- und Mulchgeräten auf die bodennahe Fauna. In: *Forschungsberichte „Integrative Extensivierungs- und Naturschutzstrategien“*, S. 7–26
- Maschinenfabrik Bernhard Krone GmbH & Co. KG (2022): *EasyCut B. Mähkombinationen*, D-48480 Spelle
- Meiners, H.; Dietsche, S.; Lausen, G.; Rempfer, R. (2009a): Mäherwerke. In: *Land- und Baumaschinentechnik*. Hg. Meiners, H., Hamburg, Handwerk und Technik, 17. Aufl., S. 395–401
- Meiners, H.; Dietsche, S.; Lausen, G.; Rempfer, R. (2009b): Maschinen und Geräte zur Rasenpflege. In: *Land- und Baumaschinentechnik*. Hg. Meiners, H., Hamburg, Handwerk und Technik, 17. Aufl., S. 484–490
- Meyer, J. (1998): Verfahren der Landschaftspflege. In: *Landtechnik Bauwesen. Verfahrenstechniken - Arbeit - Gebäude - Umwelt*. Hg. Schön, H., München, BLV-Verlagsgesellschaft, 9. Aufl., S. 399–405
- Meyer, T. (2020): Schonende Flächenpflege liegt im Trend. *Eilbote-Online* 37
- Oppermann, R.; Claßen, A. (1998): Naturverträgliche Mähtechnik. *Moderne Mähgeräte im Vergleich*. Naturschutzbund NABU Baden-Württemberg e.V.
- Oppermann, R.; Johnen, S.; Bleil, R. (2012): Entwicklung eines faunaschonenden Mähgerätes - Begutachtung der Auswirkungen auf die Fauna. Institut für Agrarökologie und Biodiversität (IFAB), Mannheim, unveröffentlicht

- Oppermann, R.; Krismann, A. (2001): Naturverträgliche Mähtechnik und Populationssicherung. Ergebnisse eines Workshops am 24.10.2000 im Bundesamt für Naturschutz (BfN) in Bonn und Kurzfassung der Ergebnisse der E & E Voruntersuchung, Bonn
- Robinson, R.A.; Sutherland, W.J. (2002): Post-war changes in arable farming and biodiversity in Great Britain. *Journal of Applied Ecology* 39(1), S. 157–176, <https://doi.org/10.1046/j.1365-2664.2002.00695.x>
- Rux, S. (1999): Geräte und Verfahren zur Brachflächen- und Landschaftspflege. Mäh- und Mulchgeräte. In: *Landtechnik*. 136 Tabellen. Hg. Eichhorn, H., Stuttgart, Ulmer, 7. Aufl., S. 426–428
- Saurma-Jeltsch, A.-K.; Münchhausen, S. von; Häring, A.M.; Kucznik, K.; Hübschmann, F.; Kitzmann, B. (2020): Mehrkosten der Nutzung eines Doppelmessermähwerkes zur naturschutzgerechten Grünlandbewirtschaftung. Ergebnisse eines Praxisversuchs in Brandenburg
- Schaefer, J. (1966): Möglichkeiten und Grenzen bei der Verwendung von hydraulischen Schwingantrieben für Mähwerke. *Grundlagen der Agrartechnik* 16(1), S. 30–34
- Schön, H. (1998): Verfahrenstechnik der Futterernte, Futterkonservierung und Landschaftspflege. Mähverfahren. In: *Landtechnik Bauwesen. Verfahrenstechniken - Arbeit - Gebäude - Umwelt*. Hg. Schön, H., München, BLV-Verlagsgesellschaft, 9. Aufl., S. 334–340
- Seibold, S.; Gossner, M.M.; Simons, N.K.; Blüthgen, N.; Müller, J.; Ambarli, D.; Ammer, C.; Bauhus, J.; Fischer, M.; Habel, J.C.; Linsenmair, K.E.; Nauss, T.; Penone, C.; Prati, D.; Schall, P.; Schulze, E.-D.; Vogt, J.; Wöllauer, S.; Weisser, W.W. (2019): Arthropod decline in grasslands and forests is associated with landscape-level drivers. *Nature* 574(7780), pp. 671–674, <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1684-3>
- Steidle, J.L.M.; Kimmich, T.; Csader, M.; Betz, O. (2022): Negative impact of roadside mowing on arthropod fauna and its reduction with 'arthropod-friendly' mowing technique. *Journal of Applied Entomology* 146(5), pp. 465–472, <https://doi.org/10.1111/jen.12976>
- Technische Universität Darmstadt (2022): BioDivKultur Homepage. <https://biodivkultur.de/>, Zugriff am 12.05.2022
- Tscharntke, T.; Grass, I.; Wanger, T.C.; Westphal, C.; Batáry, P. (2021): Beyond organic farming - harnessing biodiversity-friendly landscapes. *Trends in ecology & evolution* 36(10), pp. 919–930, <https://doi.org/10.1016/j.tree.2021.06.010>
- Tyler, G.A.; Green, R.E.; Casey, C. (1998): Survival and behaviour of Corncrake *Crex crex* chicks during the mowing of agricultural grassland. *Bird Study* 45(1), pp. 35–50, <https://doi.org/10.1080/00063659809461076>
- Umweltbundesamt (2021): Indikator: Grünlandfläche. <https://www.umweltbundesamt.de/daten/umweltindikatoren/indikator-gruenlandflaeche#die-wichtigsten-fakten>, Zugriff am 01.04.2022
- Universität Hohenheim; Universität Tübingen (2022): InsectMow Homepage. <https://insectmow.uni-hohenheim.de/>, Zugriff am 12.05.2022
- van de Poel, D.; Zehm, A. (2014): Die Wirkung des Mähens auf die Fauna der Wiesen - Eine Literaturobwertung für den Naturschutz. *Anliegen Natur* 36(2), S. 36–51
- Vickery, J.A.; Tallowin, J.R.; Feber, R.E.; Asteraki, E.J.; Atkinson, P.W.; Fuller, R.J.; Brown, V.K. (2001): The management of lowland neutral grasslands in Britain: effects of agricultural practices on birds and their food resources. *Journal of Applied Ecology* 38(3), pp. 647–664, <https://doi.org/10.1046/j.1365-2664.2001.00626.x>
- Wagner, C. (2004): Passive dispersal of *Metrioptera bicolor* (Phillipi 1830) (Orthopteroidea: Ensifera: Tettigoniidae) by transfer of hay. *Journal of Insect Conservation* 8(4), pp. 287–296, <https://doi.org/10.1007/s10841-004-0404-x>
- Wilke, N. (1992): Beeinflussung von Heuschrecken durch Mahd und verschiedene Mahdsysteme in wechselfeuchten Wiesen norddeutscher Flussauen. Diplomarbeit, Technische Universität Braunschweig
- Willner, W. (2013): Taschenlexikon der Käfer Mitteleuropas. Die wichtigsten Arten im Porträt. Wiebelsheim, Quelle & Meyer
- Zieger, S. (2021): Technische Umsetzung insektenschonender Pflege von Weg- und Straßenrändern - Produktübersicht. Landschaftspflegeverband Göttingen e.V.

Autoren

M. Sc. Lea von Berg (wissenschaftliche Mitarbeiterin) und **Prof. Dr. Oliver Betz** (Leiter Evolutionsbiologie der Invertebraten) von der Universität Tübingen, Institut für Evolution und Ökologie, Auf der Morgenstelle 28E, D-72076 Tübingen; **M. Sc. Jonas Frank** (wissenschaftlicher Mitarbeiter) und **Prof. Dr.-Ing. Stefan Böttinger** (Leiter des Fachgebiets Grundlagen der Agrartechnik) von der Universität Hohenheim, Institut für Agrartechnik, Garbenstr. 9, D-70599 Stuttgart; **Dr. Manuela Sann** (wissenschaftliche Angestellte) und **Prof. Dr. Johannes Steidle** (Leiter des Fachgebiets Chemische Ökologie 190t) von der Universität Hohenheim, Institut für Biologie, Garbenstr. 30b, D-70599 Stuttgart; korrespondierender Autor: Stefan Böttinger, E-Mail: boettinger@uni-hohenheim.de

Danksagung

Das Projekt „InsectMow“ wird im Bundesprogramm Biologische Vielfalt (FKZ: 3520685A13) durch das Bundesamt für Naturschutz (BfN) mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV) gefördert. Zudem danken wir Florian Weber und Thomas Kimmich für die Bereitstellung einiger Bilder.