

Arbeitswirtschaftliche Untersuchungen von Mähbooteinsätzen in Stillgewässern

Albert Stoll, Holger Bayer

Die Mahd von Unterwasserpflanzen ist eine Gewässerunterhaltungsmaßnahme und ein Teilbereich der mechanischen Landschaftspflege. Stehende Gewässer werden im Wesentlichen aus Gründen der Freizeitnutzung, des Naturschutzes, der Fischerei und der Erhaltung der Schiffbarkeit gemäht und entkrautet. Hochspezialisierte Fahrzeuge kommen für diese Aufgabe zum Einsatz. Der weiteren Nutzung des Mähgutes wird eine wachsende Bedeutung zugesprochen. Zur Abschätzung der Arbeitsverfahrenskosten stehen nur wenige Daten zur Verfügung. Diese Arbeit soll erste Kennwerte zu Arbeitszeiten, Fahrgeschwindigkeiten und Flächenleistungen für verschiedene Mähverfahren liefern.

Schlüsselwörter

Mähboot, Amphibienfahrzeug, Gewässerunterhaltung, Arbeitszeit

Die Gewässerpflege ist ein Teilbereich der Landschaftspflege beziehungsweise der Gewässerunterhaltung, welche im Wasserhaushaltsgesetz geregelt ist (WHG 2009). Sie sieht eine Unterhaltungsverpflichtung durch den Eigentümer, unter anderem im Hinblick auf Wasserabfluss, Ufererhaltung, Erhaltung der Schiffbarkeit sowie Erhaltung und Förderung der ökologischen Funktionsfähigkeit, vor. Daraus lassen sich vielfältige Nutzungsinteressen aus den Bereichen Hochwasser- und Naturschutz, Schifffahrt, Freizeit und Tourismus, Energiewirtschaft und Fischerei ableiten. Bundes- und Landesbehörden, Kommunen, Wasserverbände und Dienstleister nennen folgende Gründe für die Mahd und Entkrautung für stehende Gewässer (RÖHL 2017):

- Schwimm- und Badenutzung – Private und öffentliche Betreiber von Freibädern erhalten die Wasserqualität und reduzieren die Gefahr von Badeunfällen durch das Freihalten der Schwimmfläche.
- Schifffahrt – Viele Gewässer werden für den Bootssport aber auch die Berufsschifffahrt genutzt. Insbesondere im Hafenbereich oder im Einmündungsbereich von Bächen und Flüssen kann es zu vermehrtem Wasserpflanzenaufwuchs kommen. Hier besteht die Forderung nach freien Wasserzonen, damit sich die Schiffsschrauben durch Unterwasserpflanzen nicht festsetzen.
- Freizeit- und Erwerbsfischerei – Sie fordern gepflegte Gewässer mit geringem Wasserpflanzenaufkommen.
- Naturschutz – Zurückdrängung gebietsfremder Arten.

Das Mähgut wird derzeit überwiegend kompostiert. Im Rahmen des Projektes AquaMak des Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UFZ), des Deutschen Biomasse-Forschungszentrum (DBFZ) und der Hochschule für Wirtschaft und Umwelt Nürtingen-Geislingen (HfWU) wird die Nutzung u. a. als Substrat für Biogasanlagen untersucht (STINNER et al. 2017).

Für die Mahd in Gewässern wurden in den vergangenen Jahren Wasserfahrzeuge von dafür spezialisierten Herstellern weiterentwickelt und es wurden neue Konzepte vorgestellt. Eine Übersicht über aktuelle verwendete Wasserfahrzeuge hat BAYER (2016) zusammengestellt. Diese Maschinen werden oft von Unternehmen betrieben, die sich auf die Gewässerunterhaltung spezialisiert haben (WANNAGS 2012, ZIMMERLING 2014). Die Wasserpflanzenmahd aus der Sicht eines Praktikers beschreiben MOELLER und ZEHNSDORF (2017).

Für die Gewässerpflege gibt es nur wenige Kenndaten zu Mähbooten (ACKERMANN et al. 2006). Daher war das vorrangige Ziel den Arbeitszeitaufwand von Mähverfahren in Stillgewässern gegliedert in einzelne Zeitkategorien bei regulär stattfindenden Einsätzen unter üblichen Randbedingungen zu ermitteln. Zusätzlich sollten weitere Merkmale wie zum Beispiel typische Fahrgeschwindigkeiten und der Kraftstoffverbrauch festgehalten werden. Diese Kennwerte sollen dazu dienen, Modellrechnungen durchzuführen oder konkrete neue Einsätze abzuschätzen. Die Ergebnisse basieren auf Untersuchungen von BAYER (2016).

Vorgehen bei der Verfahrensbeobachtung

Die Einsätze wurden durch eine Beobachtungsperson begleitet. Die Fahrwege und Fahrgeschwindigkeiten der Maschinen wurden mit einem GPS-Empfänger erfasst. Um die Einsatzzeit sekundengenau den verschiedenen Zeitkategorien zuordnen zu können, wurde eine wasserdichte Miniatur-Videokamera auf der Maschine montiert und auf das Arbeitswerkzeug gerichtet. Zusätzlich wurde der Einsatz vom Ufer mit einer Videokamera gefilmt. Alle Geräte wurden auf die GPS-Zeit synchronisiert. Die verwendeten Geräte sind in Tabelle 1 beschrieben. Die Maschinenführer wurden zum Umgang mit den Maschinen, der Wartung und zum Kraftstoffverbrauch befragt. Die Erntemengen wurden durch Vermessen der Sammelbehälter, wie Lkw-Ladepritsche, Mulde und Anhänger, und deren Füllungsgrad ermittelt.

Tabelle 1: Verwendete Geräte zur Erfassung der Arbeitszeiten

Gerät	Hersteller und Typ	Erfasste Daten
GPS-Empfänger	Canmore GT730 GPS-Logger Garmin Oregon 450 (als Redundanz)	Datenformat .gpx Erfassungsfrequenz 1 Hz
Videokamera	Panasonic HCV777	Datenformat .MTS (Advanced Video Codec High Definition, ACVHD-Format)
Miniatur-Videokamera	GoPro Hero 3+	Datenformat .mp4

Jeder Einsatz wurde anschließend in Anlehnung an die „Zeitkategorien“ des Kuratoriums für Technik und Bauen in der Landwirtschaft (KTBL) analysiert (WINKLER 2014, KTBL 2016). Dazu wurden vorrangig die Videoaufnahmen der Miniatur-Videokamera verwendet und vollständig gesichtet. Die Zeitabschnitte wurden in ein vorkonfiguriertes Excel-Tabellenblatt manuell eingetragen. Die GPS-Daten lagen als gpx-Datei vor und wurden in eine Auswertedatei importiert. Durch einen automatisierten Abgleich mit jedem Zeitabschnitt wurden die dazugehörigen Fahrgeschwindigkeiten aus den GPS-Daten extrahiert. Für Situationen, in denen die Bilder der Miniatur-Videokamera nicht aussagekräftig genug waren, wurde auf die Daten der Videokamera zurückgegriffen, mit welcher der Einsatz vom Ufer gefilmt wurde.

Tabelle 2 zeigt die verwendeten Zeitkategorien mit einer kurzen Erklärung. Die Hauptzeit ist durch das Mähen und Sammeln gekennzeichnet. Die durchschnittliche Fahrgeschwindigkeit während der Hauptzeit ist ebenfalls angegeben. Zum Wenden zählen auch Fahrten innerhalb der bearbeiteten Fläche, zum Beispiel zur Entladestelle am Ufer. Die in der Zeitkategorie „Wenden“ auftretenden Fahrgeschwindigkeiten wurden als Positionierungsgeschwindigkeit definiert. Kraftstoff kann zu Betriebsmitteln zählen; somit müssten Tankvorgänge zur Zeitkategorie „Versorgen“ zählen. Andererseits dient das Tanken dem Erhalt der Funktionsfähigkeit der Maschine und wäre dann eine Rüstzeit. Daher wurden Tankvorgänge der Rüstzeit zugeschlagen. Wegezeiten sind die Zeiten, die benötigt werden, um zum Arbeitsort bzw. zum Ausgangsort zurückzukehren. Bei den vorliegenden Untersuchungen entstanden keine Wegezeiten, da die Boote bereits am Arbeitsort waren. Für das Mähboot mit Mähammelkorb und das Mähboot mit Ladefläche konnten allerdings Fahrgeschwindigkeiten ermittelt werden, wie sie typischerweise während Wegezeiten zwischen Arbeits- und Ausgangsort auftreten würden.

Tabelle 2: Verwendete Zeitkategorien

Kategorie ¹⁾	Beschreibung ¹⁾	Entsprechendes Ereignis bei Mähbooteinsätzen
Hauptzeit	planmäßige, unmittelbar der Erfüllung der Arbeitsaufgabe dienende Tätigkeit	<ul style="list-style-type: none"> - Mähen und Verladen von Wasserpflanzen - Aufschieben und Sammeln von Pflanzen im Gewässer
Wenden	i. d. R. das Wenden des Arbeitsgerätes am Feldende	<ul style="list-style-type: none"> - Fahrtrichtungswechsel am Ende einer Arbeitsspur - Positionierung des Fahrzeugs an Hindernissen - Fahrten zwischen Bunkerentladestelle und letzter Position einer Arbeitsfahrt (Mähen und Laden) innerhalb der bearbeiteten Fläche.
Versorgen	Befüllen des Arbeitsgerätes mit Betriebsmitteln und Entleeren des Behälters mit dem Erntegut	<ul style="list-style-type: none"> - Zeit zum Entleeren des Sammelkorbes oder der Ladefläche an der Abladestelle (Boot steht)
Verlustzeit	störungsbedingte Unterbrechungen	<ul style="list-style-type: none"> - Blockierung von Werkzeugen und Fördereinrichtungen am Mähboot durch Fremdkörper
Wartezeit	arbeitsablaufbedingte Unterbrechung, z. B. bei Teilarbeiten in einer Prozesskette	<ul style="list-style-type: none"> - arbeitsorganisatorische Abstimmungsgespräche zwischen Prozessbeteiligten - Warten auf andere Prozessbeteiligte (hier Entfernen von Schwemmholz)
Rüstzeit	Arbeitsgerät funktionsfähig machen und erhalten	<ul style="list-style-type: none"> - Kraftstoff und Öle nachfüllen - Arbeitsgeräte montieren und in Arbeitsstellung bringen
Wegezeit	Zeiten für Fahrten zum Arbeitsort bzw. für Fahrten zum Ausgangsort	<ul style="list-style-type: none"> - keine Erfassung

¹⁾ Definition gemäß WINKLER (2014).

Beschreibung der Gewässer und der eingesetzten Wasserfahrzeuge

Die Daten wurden bei regulär stattfindenden Einsätzen unter üblichen Arbeitsbedingungen aufgenommen. Die Mähfahrzeuge wurden in verschiedenen Stillgewässern an insgesamt 6 Standorten eingesetzt (Tabelle 3). Die Gewässer 1 und 5 wurden gemäht, damit sich Schiffsschrauben nicht mit Unterwasserpflanzen festsetzen. Die Uferbereiche waren mit senkrechten Mauern befestigt. Die zu mähenden Bereiche wurden ufer- und seeseitig mit Pfählen abgegrenzt. Innerhalb der Mähfläche gab es keine Hindernisse. Der Aufwuchs der zu entfernenden Unterwasserpflanzen war bei Gewässer 1 mit 16 m³/ha im Vergleich zu Gewässer 5 mit 63 m³/ha gering.

Tabelle 3: Beschreibung der gemähten Gewässer

	Gewässer					
	1	2	3	4	5	6
	Größe der Fläche					
	0,3 ha	0,6 ha	2,8 ha	0,2 ha	0,32 ha	1,0 ha
Grund der Maßnahme	Freihalten der Fahrrinne für Schiffe	Schwimm-/Badenutzung	Schwimm-/Badenutzung	Vermeidung von Sukzession/Verlandung	Freihalten der Fahrrinne für Schiffe	Angelfischerei
Hindernisse	Ufermauer, Pfähle	keine	keine	6 „Inseln“ Ø 3m	einseitige Begrenzung durch Pfähle	keine
Bewuchs, ca.	16 m ³ /ha	5 m ³ /ha	k. A. ¹⁾	75 m ³ /ha	63 m ³ /ha	k. A. ¹⁾

¹⁾ Menge nicht bestimmbar, da sie nicht abtransportiert wurde.

Die Gewässer 2 und 3 sind Freibäder und wurden gemäht, um die Gefahr von Badeunfällen zu reduzieren und den Gästen eine gute Wasserqualität zu bieten. Diese Flächen waren lediglich durch Uferbereiche abgegrenzt, zu denen aber ein ausreichender Abstand beim Wenden eingehalten wurde. Der Aufwuchs im Gewässer 2 war mit 5 m³/ha sehr locker. Im Gewässer 3 wurden die gemähten Unterwasserpflanzen lediglich an der zum offenen See liegenden Grenze des Mähbereichs im Wasser abgelegt. Sie wurden von dort durch Wind und Strömung weitergetrieben. Eine quantitative Bestimmung des Aufwuchses war somit nicht möglich. Der Aufwuchs wurde durch den Mitarbeiter aber als sehr dicht eingestuft. Das Gewässer 4 liegt in einem Park. Hier sollte durch das Mähen der Verlandung und Sukzession entgegengewirkt werden. Innerhalb der zu mähenden Fläche liegen 6 kreisförmige Hindernisse mit einem Durchmesser von 3 m. Der Bewuchs war mit 75 m³/ha sehr dicht. Gewässer 6 wird zur Angelfischerei genutzt und sollte durch die Mahd als solches erhalten werden. Im Gegensatz zu den anderen hier beschriebenen Gewässern waren überwiegend Röhrichte und nur ein geringer Anteil an Unterwasserpflanzen zu mähen. Das gemähte Material wurde im Böschungsbereich der gewässerabgewandten Seite des Damms mit einem Bagger verteilt. Dadurch war auch hier eine Mengenbestimmung nicht möglich.

Zum Einsatz kamen drei verschiedene Bauformen von Mähfahrzeugen (Tabelle 4). Typ 1 war ein flach bauendes, kompaktes Mähboot mit einem Dieselmotor mit 36 kW Antriebsleistung und Schraubenantrieb. Das Boot war mit einem 3-fach hydraulisch verstellbaren und schwenkbaren Frontausleger ausgestattet, der das Arbeitswerkzeug bis zu 3 m unter die Wasseroberfläche absenken konnte. An diesem Ausleger können verschiedene Werkzeuge angebaut werden. Für die Einsätze in Gewässer 1 und 3 war ein 2 m breiter und in Gewässer 2 ein 3 m breiter Mähammelkorb montiert. Der Messerbalken wurde hydraulisch angetrieben.

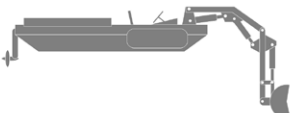

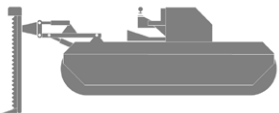
Typ 2 war ein Mähammelboot mit einem Dieselmotor mit 51 kW Antriebsleistung und Schraubenantrieb. Das Boot verfügte über einen horizontalen 1,4 m breiten Messerbalken und zwei seitlich dazu angeordnete, senkrecht stehende 1,4 m hohe Messerbalken. Das geschnittene Mähgut gelangte auf ein Schrägförderband und wurde auf einer ca. 7 m² großen Ladefläche gesammelt. Der Fahrerstand war seitlich neben der Ladefläche angeordnet, sodass der Maschinenführer neben dem Steuern des Bootes auch das Mähgut auf der Ladeplattform verteilen konnte.

Die Bootstypen 1 und 2 müssen mit einem Kran zu Wasser gelassen werden. Im Gewässer 1 konnte das Herausheben des Bootes dokumentiert werden, bei Gewässer 5 das Einsetzen ins Wasser, da

eine längere Einsatzzeit in diesem Gebiet zu Ende ging bzw. startete. Bei allen anderen Beobachtungen waren die Boote aufgrund längerer Einsätze bereits im Wasser. Die benötigten Kranzeiten werden bei der Auswertung ausgewiesen, bei den Rüstzeiten jedoch nicht berücksichtigt, da die Kranarbeiten nicht durchgängig bei allen Einsätzen stattfanden.

Typ 3 war ein schwimmfähiges Raupenfahrzeug. Dank des Raupenfahrwerks kann an Land mit geringem Bodendruck gefahren werden. Im Wasser arbeiten die Raupen als Paddel, die für den Vortrieb und die Steuerung sorgen. Als Auftriebskörper dienen Aluminiumgehäuse. An einen hydraulisch betätigten Auslegerarm können über ein Schnellwechselsystem verschiedene Anbaugeräte montiert werden. Für die hier untersuchte Mahd kam ein Messerbalken mit 2,2 m Arbeitsbreite und einem zentriert darüberliegenden senkrechten Messerbalken von 1,4 m Höhe zum Einsatz. Anschließend wurde das Mähwerkzeug gegen einen 3,5 m breiten Schilfrechen ausgetauscht, mit dem das geschnittene und im Wasser schwimmende Material gesammelt und ans Ufer geschoben wurde. Das Fahrzeug konnte selbstständig vom Transportanhänger und über eine flache Uferböschung ins Gewässer fahren.

Tabelle 4: Untersuchte Mähboot-Fahrzeuge

Merkmal	Typ 1: Mähboot mit Mäh-sammelkorb	Typ 2: Mähboot mit Ladefläche	Typ 3: Amphibischer Geräteträger
			
Bauform	flach bauendes Mähboot, vorne und tief liegender Führerstand (sitzend), hydraulischer, 3-fach verstellbarer und schwenkbarer Frontausleger, Messerbalken mit Sammelkorb	flach bauendes Mähboot, seitlicher und mittiger Führerstand (stehend), absenkbares Längsförderband mit U-förmigen Messerbalken, Ladefläche ca. 7 m ²	schwimmfähiges Raupenfahrzeug, Raupen als Paddelband, zentraler Führerstand (sitzend), hydraulischer Frontausleger, T-förmiger Messerbalken oder Schilfrechen
Abmessungen L x B x H	4,0 m x 1,80 m x 0,80 m	6 m x 2,30 m x 1,5 m	4,7 m x 2,1 m x 2,1 m
Arbeitsbreite	2,0 m / 3,0 m	1,4 m	2,2 m / 3,5 m
Schnitttiefe	3,0 m	1,4 m	1,4 m
Gewicht	2,0 t	2,1 t	1,4 t
Antrieb	Dieselmotor	Dieselmotor	Dieselmotor
Leistung	36 kW / 49 PS	51 kW / 70 PS	33 kW / 45 PS
Eingesetzt in Gewässer	1, 2, 3	4, 5	6

Ergebnisse

Tabelle 5 zeigt die Ergebnisse der Einsätze mit dem Mähboot mit Mähsammelkorb (Typ 1). In Gewässer 1 konnten aufgrund des dichten Bewuchses immer nur kurze Abschnitte gemäht werden, bis der Sammelkorb gefüllt war. Aus diesem Grund sind der Hauptzeitanteil mit 38 % und die Arbeitsgeschwindigkeit mit 0,9 km/h bei diesem Gewässer am kleinsten und der Anteil der Fahrten zwischen Abladestelle und Mähort am größten. Das Mähgut aus Gewässer 1 wurde in eine am Kran hängende Mulde abgeladen. Da diese nur geringfügig breiter war als der Sammelkorb, musste das Boot zeitaufwendig und mithilfe einer zweiten Person mit Bootshaken an die Mulde rangiert werden.

Im Gegensatz dazu konnte bei Gewässer 2 der Sammelkorb an einer Uferwiese in weniger als der Hälfte der Zeit entladen werden. Allerdings war hier eine zweite Person nötig, um das Mähgut von Hand mit einer Heugabel auf einen Anhänger zu verladen. Der lockere Aufwuchs ließ längere Mähfahrten bei höheren Geschwindigkeiten zu.

In Gewässer 3 wurde das Mähgut nicht aus dem Wasser gehoben, sondern mit dem Mähsammelkorb geschoben. Somit konnte trotz dichtem Bewuchs über 200 m mit einer mittleren Geschwindigkeit von 2,8 km/h gefahren werden, bis der Sammelkorb am seeseitigen Randbereich während des Wendens entleert wurde. Für den gesamten Einsatz war nur eine Person nötig. Der Verladevorgang in Gewässer 1 dauerte mit einem stationären Hafenkran 14 Minuten.

In Gewässer 2 war das Boot sofort einsatzbereit. Es entstanden in beiden Fällen keine weiteren Rüstzeiten. In Gewässer 3 musste aufgrund der vergleichsweise großen Einsatzfläche einmal aus zwei 20-l-Kanistern nachgetankt und nach Arbeitsende der Mähkorb gereinigt werden. Der Kraftstoffverbrauch wurde bei allen Einsätzen mit dem Mähboot zwischen 6 und 8 l/h angegeben.

Tabelle 5: Merkmale zur Einsatzanalyse des Mähbootes mit Mähsammelkorb (Typ 1)

Merkmal	Einheit	Gewässer 1	Gewässer 2	Gewässer 3
Beschreibung des Einsatzgebietes				
Größe der Fläche	ha	0,3	0,6	2,8
Bewuchs	m ³ /ha	16	5	k. A.
Zeitanteile und Kennwerte				
Hauptzeit	%	38	69	74
Wenden	%	40	21	14
Versorgen	%	17	10	-
Wartezeit	%	5	-	6
Rüstzeit	%	-	-	7
Durchschnittliche Arbeitsgeschwindigkeit	km/h	0,9	3,1	2,8
Durchschnittliche Positionierungsgeschwindigkeit	km/h	3,3	4,8	-
Durchschnittliche Überführungsgeschwindigkeit	km/h	-	-	6,5
Durchschnittliche Zeit für Entladevorgang	s	94	40	-
Zeit für Bootsverladung Kran	min	14	-	-
Flächenleistung (ohne Rüstzeiten)	ha/h	0,12	0,64	0,72
Anzahl der Arbeitskräfte		2	2	1

Das Mähboot mit Ladefläche (Typ 2) wurde bei zwei Einsätzen beobachtet. Die Auswertung ist in Tabelle 6 zusammengefasst. Gewässer 4 war sehr dicht bewachsen und es mussten Hindernisse umfahren werden. Damit war eine Fahrgeschwindigkeit von nur 0,5 km/h möglich. Der Fahrkurs konnte so angelegt werden, dass die Positionierungsfahrten zwischen Mäh- und Abladeort im Vergleich zu Gewässer 5 etwas kürzer gehalten werden konnten.

Der Aufwuchs in Gewässer 5 war deutlich geringer und die Mähfläche konnte ungehindert befahren werden. Die Fahrgeschwindigkeit war 1,0 km/h. Allerdings war die Gewässerfläche 5 sehr weitläufig und unübersichtlich und es sollte davon nur ein kleiner Teil gemäht werden. Daher hatte der Auftraggeber den Mähbootfahrer am Einsatzort eingewiesen, was in der arbeitsorganisatorischen Wartezeit deutlich wird. Zusätzlich musste Schwemmholz entfernt werden. Beides führte zu einem vergleichsweise hohen Zeitanteil für die Wartezeit von 18 %. Das angeschwemmte Holz führte zusätzlich zu Störungen am Förderband und damit zu Verlustzeiten.

Bei beiden Einsätzen wurde die Ladeplattform des Bootes von einem am Ufer stehenden Lkw mit Ladekran und Zweischalengreifer geräumt. Aufgrund des hohen Mähgutaufkommens in Gewässer 4 haben die Entladevorgänge 24 % der Gesamtzeit in Anspruch genommen. Das Abladen und zu Wasser lassen des Bootes ging mit 9 min schneller als das Herausheben und Verladen des Mähbootes mit Mähstammkorb (Typ 1), obwohl in beiden Fällen die Randbedingungen sehr ähnlich waren. Die Zeitdifferenz lässt sich mit dem unterschiedlichen Zeitaufwand beim Sichern bzw. Entsichern des Boots auf dem Trailer erklären. Rüstzeiten sind beim Einsatz in Gewässer 4 durch Reinigungsarbeiten und durch Nachfüllen von Hydrauliköl entstanden. Der Kraftstoffverbrauch betrug bei beiden Einsätzen 3 l/h.

Tabelle 6: Merkmale zur Einsatzanalyse des Mähbootes mit Förderband und Ladefläche (Typ 2)

Merkmal	Einheit	Gewässer 4	Gewässer 5
Beschreibung des Einsatzgebietes			
Größe der Fläche	ha	0,2	0,32
Bewuchs	m ³ /ha	75	63
Zeitanteile und Kennwerte			
Hauptzeit	%	53	38
Wenden	%	20	25
Versorgen	%	24	16
Verlustzeit	%	-	2
Wartezeit	%	-	19
Rüstzeit	%	3	-
Durchschnittliche Arbeitsgeschwindigkeit	km/h	0,5	0,8
Durchschnittliche Positionierungsgeschwindigkeit	km/h	0,7	1
Durchschnittliche Überführungsgeschwindigkeit	km/h	-	4,8
Durchschnittliche Zeit für Entladevorgang	s	416	384
Zeit für Bootsverladung Kran	min		9
Flächenleistung (ohne Rüstzeiten)	ha/h	0,06	0,10
Anzahl der Arbeitskräfte		2	2

Die Gewässer 1 und 5 waren hinsichtlich ihrer Nutzung und ihrer räumlichen Gegebenheiten vergleichbar. Der Aufwuchs war bei Gewässer 5 aber deutlich größer. Gewässer 1 wurden mit dem Mähboot mit Mäh-sammelkorb und Gewässer 5 mit dem Mähboot mit Lade-fläche gemäht. Tabelle 7 zeigt die Ergebnisse ohne Berücksichtigung von Zeiten für das Rüsten, das Warten und für Störungen. Trotz des größeren Aufwuchses hat das Mähboot mit Lade-fläche einen größeren Anteil an der Hauptzeit. Durch die Lade-plattform musste das Boot weniger zur Entladestation fahren und hat damit weniger unproduktive Positionierungs- und Wendeanteile. Die Zeiten zum Entladen sind trotz unterschiedlicher Erntemengen bei beiden Einsätzen etwa gleich. Dies ist durch die geringere Aufnahmekapazität und das zeitaufwendige Rangieren an die Mulde beim Arbeitsboot mit Mäh-sammelkorb zu erklären.

Tabelle 7: Vergleich von Gewässer 1 (Mahd mit Mähboot mit Mäh-sammelkorb) und Gewässer 5 (Mahd mit Mähboot mit Lade-fläche)

Merkmal	Einheit	Mähboottyp	
		Gewässer 1	Gewässer 5
		Mähboot mit Mäh-sammelkorb (Typ 1)	Mähboot mit Lade-fläche (Typ 2)
Beschreibung des Einsatzgebietes			
Größe der Fläche	ha	0,3	0,32
Bewuchs	m ³ /ha	16	63
Zeitanteile und Kennwerte			
Hauptzeit	%	40	49
Wenden	%	42	31
Versorgen	%	18	20
Durchschnittliche Arbeitsgeschwindigkeit	km/h	0,9	0,8
Durchschnittliche Positionierungsgeschwindigkeit	km/h	3,3	1
Durchschnittliche Zeit für Entladevorgang	s	94	384
Flächenleistung (ohne Rüstzeiten)	ha/h	0,12	0,10
Anzahl der Arbeitskräfte		2	2

Für die Mahd von Gewässer 6 kam ein amphibischer Geräteträger zum Einsatz. Das Mähen und Sammeln erfolgte in zwei getrennten Arbeitsgängen (Tabelle 8). Aufgrund der günstigen Form des Gewässers mit etwa kreisförmiger Uferlinie und ohne Hindernissen, wurde beim Mähen nur 5 % der Gesamtzeit für das Wenden und Positionieren benötigt. Die Verlustzeit entstand durch das Ansprechen der Scherbolzensicherung der Mähbalkenaufhängung, die an Land wieder in Betrieb gesetzt werden musste. Die Rüstzeit setzte sich aus der Zeit für das Abladen der Maschine vom Trailer und dem Anbau des Messerbalkens zusammen.

Tabelle 8: Merkmale zur Einsatzanalyse des amphibischen Geräteträgers beim Mähen und anschließendem Sammeln (Typ 3)

Merkmal	Einheit	Gewässer 6	
		Mähen	Sammeln
Beschreibung des Einsatzgebietes			
Größe der Fläche		1,0 ha	
Bewuchs		k. A.	
Zeitanteile und Kennwerte			
Hauptzeit	%	77	83
Wenden	%	5	3
Versorgen		-	-
Verlustzeit	%	11	-
Wartezeit	%	2	2
Rüstzeit	%	4	11
Durchschnittliche Arbeitsgeschwindigkeit	km/h	1,3	2,3
Durchschnittliche Positionierungsgeschwindigkeit	km/h	1,2	2,0
Durchschnittliche Überführungsgeschwindigkeit ¹⁾	km/h	3,9	3,9
Flächenleistung (ohne Rüstzeiten)	ha/h	0,29	0,51
Anzahl der Arbeitskräfte		1	2

¹⁾ Bei Fahrt auf Land.

Für den zweiten Arbeitsgang wurde der Messerbalken ab- und der Schilfrechen angebaut. Zu dieser Rüstzeit kam noch das Aufladen der Maschine auf den Trailer hinzu. Das Mähgut wurde gesammelt, indem es mit dem Schilfrechen ans Ufer geschoben wurde. Der Fahrkurs wurde so gewählt, dass bei jeder Fahrt bereits in unmittelbarer Nähe des Abladeplatzes mit dem Sammeln begonnen und geendet werden konnte. Damit war der Anteil der unproduktiven Wende- und Positionierungsfahrten klein. Das Mähgut wurde mit einem Mobilbagger ans Ufer geschoben und im Böschungsbereich auf der gewässerabgewandten Seite des Damms zur Verrottung verteilt. Dafür war während des Sammelvorgangs eine zweite Person auf dem Bagger nötig. Im Gegensatz zum Messerbalken war beim Sammeln kein Werkzeug in größerer Wassertiefe. Damit konnte auch schneller gefahren werden. Der Kraftstoffverbrauch für das Mähen und Sammeln betrug im Mittel 11 l/h.

Schlussfolgerungen

Bei den Untersuchungen hat sich beim Mähboot mit Mäh-sammelkorb (Typ 1) der bewegliche Frontausleger für das schnelle Entleeren des Mähgutes vorteilhaft erwiesen. Es ist keine zusätzliche Maschine für das Entladen nötig. Damit reicht eine Arbeitskraft aus. Soll das Mähgut am Ufer für den Abtransport gesammelt werden, muss die Mulde einen ausreichend großen Öffnungsquerschnitt haben, um die Rangierzeiten gering zu halten. Bei großen Flächen mit viel aus dem Wasser zu entfernenden Aufwuchs, führt die geringe Ladekapazität des Sammelkorbes zu häufigen Fahrten zur Abladestelle. Unter diesen Bedingungen eignet sich daher das Mähboot mit Förderband und Ladefläche (Typ 2) besser. Durch die höhere Ladekapazität sind weniger Fahrten zur Abladestelle notwendig. Das Mähgut kann mit einem Greifer an einem Lkw-Ladekran vom Boot auf die Ladepritsche verladen

werden. Allerdings sind für dieses Verfahren ein entsprechendes Transportfahrzeug und eine weitere Arbeitskraft vorzuhalten. Auf dem Boot sind bei dichtem Aufwuchs zwei Arbeitskräfte nötig.

Der Vorteile des amphibischen Geräteträgers (Typ 3) beruhen auf dem einfachen Einsetzen in das Gewässer ohne weitere Hilfsmittel. Voraussetzung ist lediglich eine befahrbare Uferböschung. Der Geräteträger bietet eine ausgezeichnete Übersicht auf das Arbeitswerkzeug. Bei dem Einsatz wurde das Gewässer in zwei Arbeitsschritten gemäht und geräumt. Zwar hätte der Geräteträger für eine einmalige Befahrung auch mit einem Mäh-sammelkorb bestückt werden können, bei der Größe des Gewässers wären aber hohe unproduktive Zeitanteile für Fahrten zu der einzig möglichen Ab-ladestelle entstanden. das Mähen und Sammeln konnte im zweistufigen Verfahren jeweils effektiv durchgeführt werden, was sich durch hohe Hauptzeitanteile zeigte. Der Geräteträger eignet sich wei-terhin besonders für Arbeiten, bei denen häufig zwischen Land und Wasser gewechselt werden muss. Beispiele hierfür sind Regenrückhaltebecken, kleinere, nahe beieinanderliegende Stillgewässer, die nacheinander angefahren werden. Bei diesem Fahrzeugtyp ist von einer eingeschränkten Manövrier-barkeit bei Wind und Strömung auszugehen.

Die Ergebnisse der Einsätze stellen Ergebnisse von Einzeluntersuchungen dar und können daher nicht ohne Weiteres verallgemeinert werden. Da die Rahmenbedingungen in der Landschaftspflege in der Regel sehr unterschiedlich sind, wäre die Erfassung einer größeren Anzahl von Einsätzen wün-schenswert. Im Rahmen dieser Untersuchung konnte dies jedoch aufgrund des großen Zeitaufwan-des zur Datenerfassung und der eingeschränkten Möglichkeiten der automatisierten Datenerhebung nicht durchgeführt werden. Durch die hier vorgenommene detaillierte Analyse der Einsätze konn-ten dennoch Merkmale wie Fahrgeschwindigkeiten beim Arbeiten und Wenden bzw. Positionieren, Bunker-Entladezeiten und Rüstzeiten ermittelt werden. Mit diesen Merkmalen können Modellrech-nungen durchgeführt werden, um die Gesamtzeiten für andere Gewässergrößen und -formen sowie Pflanzenaufwuchsmengen abzuschätzen. Die Ergebnisse dieser Modellrechnungen dienen dann als Orientierung bei der Planung von neuen Einsätzen.

Literatur

- Ackermann, I.; Baals, C.; Hundsdorfer, H.; Kraut, D.; Rothenburger, W.; Sauer, N. (2006): Landschaftspflege 2005. Darmstadt, 5. überarbeitete Auflage
- Bayer, H. (2016): Arbeitseinsatz von aquatischen Mähfahrzeugen in der Landschaftspflege im Zusammenhang naturschutzfachlicher Zielkonflikte. Bachelor-Thesis Hochschule für Wirtschaft und Umwelt Nürtingen-Geislingen
- KTBL (2016): Betriebsplanung Landwirtschaft 2016/17. Darmstadt, 25. Auflage
- Moeller, L.; Zehndorf, A. (2017): Wasserpflanzenmäh aus der Sicht des Praktikers. Tagung AquaMak – Aquatische Makrophyten – Ökologisch und ökonomisch optimierte Nutzung, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung, Leipzig, 30.-31.03.2017
- Röhl, M. (2017): Biomassepotenziale submerser Makrophyten in Deutschland - Synergien und naturschutzfachliche Zielkonflikte einer möglichen Nutzung. Tagung AquaMak – Aquatische Makrophyten – Ökologisch und ökonomisch optimierte Nutzung, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung, Leipzig, 30.-31.03.2017
- Stinner, W.; Moeller, L.; Wedwitschka, H.; Roth, S.; Brummer, V.; Röhl, M.; Herbes, C.; Zehndorf, A. (2017): Wasserpflanzen als Substrat für Biogasanlagen - praxisgerechte Silierung und Vergärung. Tagung AquaMak – Aquatische Makrophyten – Ökologisch und ökonomisch optimierte Nutzung, Helmholtz-Zentrum für Umwelt-forschung, Leipzig, 30.-31.03.2017
- Wannags, S. (2012): Mit Mähboot und Amphibienfahrzeug. Flächenmanager 2(1), S. 48–49
- WHG (2009): Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts (Wasserhaushaltsgesetz - WHG) vom 31.07.2009

Winkler, B.; Frisch, J. (2014): Weiterentwicklung der Zeitgliederung für landwirtschaftliche Arbeiten. Bornimer Agrartechnische Berichte 83, S. 14–21

Zimmerling, D. (2014): Mähen und reinigen am und im Wasser. Flächenmanager 4(2), S. 60–63

Autoren

Prof. Dr.-Ing. Albert Stoll ist Leiter des Instituts für Technik an der Hochschule für Wirtschaft und Umwelt Nürtingen-Geislingen, Schelmenwasen 8, 72622 Nürtingen, albert.stoll@hfwu.de.

Holger Bayer war Student im Studiengang Landschaftsplanung und Naturschutz an der Hochschule für Wirtschaft und Umwelt Nürtingen-Geislingen und ist jetzt Mitarbeiter im Gewässerkompetenzteam bei der Planstatt Senner in Überlingen. Zusätzlich ist er Betreuer für Vertragsnaturschutzflächen im Landkreis Ravensburg.

Danksagung

Die Untersuchungen wurden vom Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL) gefördert.