

Vergleich eines Triplexmähers mit Akku-Antrieb vs. Verbrenner-Motor unter wirtschaftlichen und ökologischen Gesichtspunkten

Steffen, P., bearbeitet von K.G. Müller-Beck

Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wurden die wichtigsten Unterschiede beim Einsatz von Pflegemaschinen auf Golfplätzen mit Verbrenner-Motoren im Vergleich zu Akku-Antrieben untersucht. Nebst einem intensiven Literaturstudium wurde dabei anhand einer Feldstudie der Triplex-Mäher einmal mit Akku und einmal mit Verbrenner-Motor getestet. Sowohl bei der Feldstudie als auch beim Literaturstudium wurde der Fokus auf die finanzielle und auch auf die ökologische Nachhaltigkeit gesetzt. Obschon die Akku-Motoren noch nicht in allen Punkten die herkömmlichen Verbrenner Motoren übertreffen, sprechen die Vorteile ganz klar für den Einsatz von Akku-Motoren auf Schweizer Golfplätzen. Der große Vorteil eines Akku-Mähers ist die rasche Kosteneinsparung nach dem vierten Betriebsjahr in Bezug auf die variablen Kosten, solange das Akku-Paket während der Laufleistung nicht ersetzt werden muss. Ebenso der CO₂-Fußabdruck der nach einem Betriebsjahr erheblich niedriger liegt als bei den herkömmlichen Verbrennermotoren. Bei der Bearbeitung des Themas wurde zudem deutlich, dass die Entwicklung der Akku-Motoren rasant vorangeht und die Schwächen fortlaufend ausgemerzt werden. Die hohen Herstellungskosten unter teilweise wenig nachhaltigen Bedingungen bleiben vorerst noch eines der größten Mankos der Akkus-Motoren.

Im Hinblick auf die Bedeutung des Nachhaltigkeitsaspektes für die Zukunft kann klar gesagt werden, dass sich ein, zumindest teilweiser oder fortlaufender, Umstieg auf Akku-betriebene Mäher für den Einsatz auf Golfplätzen lohnen kann.

Summary

In the present study, the most important differences in the use of maintenance machines on golf courses with

combustion engines compared to battery drives were investigated. In addition to an intensive literature study, the Triplex-mower was tested in a field study, once with a battery and once with an internal combustion engine. Both, the field study and the literature study, focused on financial and environmental sustainability. Although the battery motors do not yet surpass the conventional combustion engines in all points, the advantages speak clearly for the use of battery motors on Swiss golf courses. The major advantage of a battery-powered mower is the rapid cost savings after the fourth year of operation in terms of variable costs, as long as the battery pack does not need to be replaced during its service life. Also is the carbon footprint, which after one year of operation is significantly lower than that of conventional internal combustion engines. While working on the topic, it also became clear that the development of battery motors is progressing rapidly and that weaknesses are being continuously eradicated. For the time being, the high manufacturing costs under partly unsustainable conditions remain one of the biggest shortcomings of battery motors.

Einleitung

Die Thematik der Umweltfreundlichkeit hat den Golfsport längst erreicht. Im Greenkeeping gibt es zahlreiche Kriterien, die im Sinne der Nachhaltigkeit täglich berücksichtigt werden (Umbau, extensive Wiesenpflege, Pflanzenschutz, Düngung). Der Fortschritt hat auch bei den Maschinen nicht Halt gemacht. Die Golfer fahren schon lange mit Bleisäure-Batterie-E-Carts über die Golfplätze, während die Greenkeeper erst in den letzten Jahren auf akkuangetriebene Maschinen gewechselt haben. Immer mehr Golfplätze und Sportplätze benutzen neu Hybrid- oder sogar Akkumaschinen. Sei es beim Transportfahrzeug, beim Triplexmäher, Handmäher, Fadenmäher oder Gebläse.

In der für diesen Beitrag zugrundeliegenden HGK-Facharbeit wurde eine Literatur- und Feldstudie bei der Neuanschaffung eines Triplexmähers für den Einsatz auf dem Golfplatz Andermatt in der Schweiz vorgenommen. Dabei ging es um den Vergleich eines Triplexmähers mit Dieselmotor vs. Akkuantrieb, wobei insbesondere die Nachhaltigkeit (CO₂-Bilanz), sowie die Wirtschaftlichkeit berücksichtigt wurden.

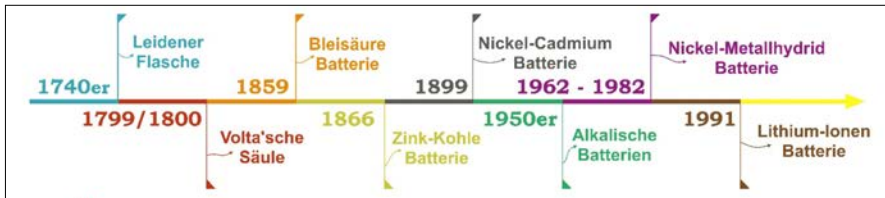
Situationsbeschreibung Batterien

In der Landwirtschaft, im Forst, Gartenbau oder dem Greenkeeping sind die akkubetriebenen Kleingeräte auf dem Markt im Vormarsch. Bei Maschinen, die mit hohen Widerständen oder mit langen Laufzeiten zu betreiben sind, wird nach wie vor der Verbrenner bevorzugt. Zurzeit gibt es die ersten Elektro-Traktoren, jedoch mit unbefriedigender Laufzeit und gleichzeitig kommen die ersten autonomen Traktoren auf den Markt. Bei einer zu großen Batterie ist der ökologische Vorteil nicht vorhanden, da sie einen zu großen Herstellungsfußabdruck aufzeigt. Mit einem Lithium-Ionen-Zellen-Akku kann der Strom der eigenen Solaranlage direkt gespeichert werden. Dabei soll beachtet werden, wie der Akku hergestellt, aufgeladen und wieder entsorgt wird (BUTZNER, 2017 a).

In Übersicht 1 wird die Entwicklung der Batterie zur Stromspeicherung seit fast 300 Jahren aufgezeigt (BUTZNER, 2017 b).

Der Trend zeigt nach BASLER et al. (2020), dass die Batterien immer leichter, stärker (KWh) und günstiger werden. In den letzten zehn Jahren sind die Preise um fast zwei Drittel gesunken und dürften sich bis 2035 nochmals halbieren. Wichtige Einflussfaktoren sind höhere Energiedichte durch effizientere Fertigungsprozesse, verbesserte Zellchemie und CO₂-ärmerer Strom bei der Herstellung.

*) Auszug aus der praxisbezogenen Aufgabe (Hausarbeit) für die Fortbildungsprüfung zum Geprüften Head-Greenkeeper Golfplatzpflege an der DEULA Rheinland, 2023



Übers. 1: Die Geschichte der Batterie-Entwicklung (BUTZNER, 2017 b).

Lithium-Ionen-Akku	Bleisäure-Batterie
- Anschaffungskosten	- Kapazität (ungefähr 4mal schwerer und größer als Lithium-Ionen-Akku).
- Aufladen und Benutzen braucht Steuerungscomputer	- Kann normalerweise nur mit 30%-50% der Nennkapazität verwendet werden.
+ Mehr Ladezyklen (fast das 10-fache)	+ Anschaffungskosten
+ Batteriedichte-Gewicht-Kapazität	+ Braucht kein spezielles Ladesystem
	+ Bessere Startleistungen bei kalten Temperaturen
	+ weniger Probleme bei Tiefenentladung

Tab. 1: Vergleich der Speichermedien.

In den meisten Fällen wird heute die Bleisäure-Batterie als Starter benutzt und die Lithium-Batterie als Antrieb.

CO₂-Bilanz des Akkus

Damit ein Akku die bessere Ökobilanz als der Verbrenner hat, sind mehrere Faktoren erforderlich. Grundsätzlich stößt der Akku im Betrieb kein CO₂ aus, doch muss berücksichtigt werden, wo der Strom herkommt und wie die Batterie hergestellt wurde. In der Schwedischen Ökobilanz-Studie haben Mia Romare und Lisbeth Dahllhof bestehende Datensätze analysiert. Sie kamen zu dem Ergebnis, dass die Produktion für jede Kilowattstunde Speicherkapazität 350 bis 650 Megajoule (umgerechnet 97 bis 180 kWh) an Energie verschlingt. Dies würde 150 bis 200 kg CO₂ verursachen. Diese Studie von 2017 wurde 2019 von Lisbeth Dallhöf und Erik Emilsson aktualisiert. Da die Technologie der Batterieherstellung, wie auch die Recyclingstandards und der Strommix für die Batterie-Herstellung verbessert werden konnten, konnte für ein kWh von 150 bis 200 kg CO₂ auf 61 bis 106 kg CO₂ gesenkt werden (LEIVA, 2020).

Eine vergleichende Studienauswertung des Institut Energie und Umweltforschung Heidelberg (IFEU) weist eine große Bandbreite von 39 bis 275 kg CO₂ pro kWh aus. Die Mehrheit der Angaben befindet sich zwischen 100 bis 200 kg CO₂ pro 1 kWh (MEYER et al., 2019).

Entscheidend für die Bewertung des Akkus ist die Frage, mit welchem Strom der Akku wieder aufgeladen wird. Da es in Europa meist einen Strommix mit nur einem gewissen Anteil an Grünem Strom gibt, wird der Break-even bei Fahrzeugen um 50.000 km liegen. Die Studie von (IFEU) macht deutlich, dass die Batterie-Nutzung über 50% der Klimabilanz ausmacht.

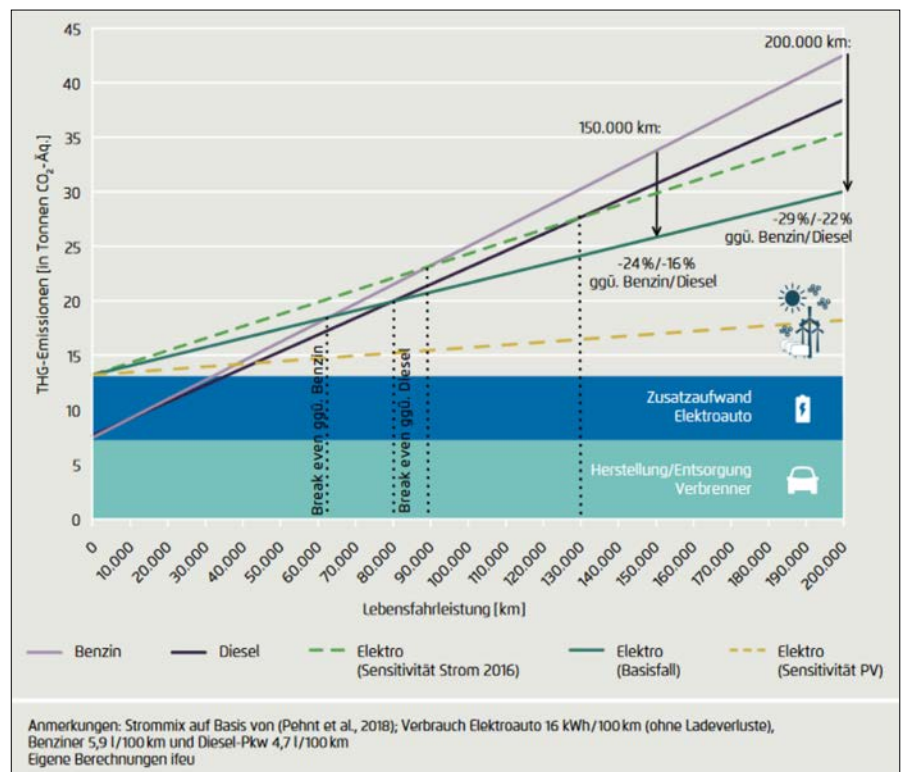


Abb. 1: Treibhausgasemissionen für die Lebensfahrleistung in Abhängigkeit von der Antriebs-Variante (MEYER et al., 2019).

Die Darstellung (Abbildung 1) zum Break-even zeigt, dass die Anfangsbelastung eines Akku-Fahrzeugs zwar höher ist, aber mit längerer Nutzung wieder unter den Dieselerwartungswert sinkt.

Dabei wurde mit drei verschiedenen Stromvarianten gerechnet. Eine sensitiv (also DE Strommix von 2016), eine Basis und eine rein mit Ökostrom. Der Break-even-Wert würde hier zwischen dem Basis-Strom und Diesel bei 80.000 km liegen.

Lithium-Akkus

Je nach Rohstoff-Verwendung lassen sich die Akkus in vier verschiedene Gruppen einteilen:

- Nickel-Mangan-Kobalt (NMC),
- Nickel-Kobalt-Aluminiumoxid (NCA),
- Manganoxid (LMO) und
- Eisenphosphat (LFP).

Die letztgenannte Variante wird von den Herstellern am häufigsten genutzt.

Je nach Art des Rohstoffeinsatzes und Herstellungsverfahrens müssen sehr unterschiedliche Daten bei der Bewertung von Emissionswerten und ökologischen Daten berücksichtigt

werden. Zur weiteren Betrachtung wurden aussagekräftige Werte je nach Studienlage ausgewählt. Der Einfluss auf die CO₂-Bilanz der Batterie ist für den Anwender sehr variabel, denn eine Reihe von Einflussparametern müssen beachtet werden (Strommix, Ladezyklen, Wartung, Ladetechnik, Recycling).

Zielvorstellung Golfplatz Andermatt

Der Golfplatz Andermatt Swiss Alps liegt zwischen 1.440 und 1.510 Meter über Meeresspiegel. Hierbei handelt es sich um einen 18-Löcher Par-72-Championship Course. Die Golf-saison beginnt im Mai und endet im Oktober. Die Kampagne „Andermatt Responsible“ sorgt für einen klimaverträglichen und nachhaltigen Tourismus. Nach der Philosophie der Andermatt Swiss Alps-Gruppe soll ein möglichst niedriger Ressourcenverbrauch erzielt, wenig Abfall produziert und ein geringer CO₂-Fußabdruck erreicht werden.

Folgende Beispiele sind hier zu nennen:

- Klimaneutraler Strom (92 % Wasserkraft und 8 % Sonnenenergie, Wind, Biomasse)
- Das Swiss House „Clubhaus“ wird mit Holzschnitzel geheizt.
- Verzicht auf PET-Flaschen.
- 40 % des Golfplatzes sind Ersatz- oder Ausgleichsflächen.
- Verzicht auf die Lackierung bei den Abschlagtees.

Im Gegensatz dazu ist der Maschinenpark derzeit noch komplett mit Verbrenner-Motoren ausgestattet.

Swiss Golf – Nachhaltigkeit

Seit 2018 fördert der Golfverband Swiss Golf das Thema Nachhaltigkeit. Durch das Programm OnCourse, mit der GEO-Zertifizierung, wird ein Instrument zur Prüfung und transparenten Darstellung der Nachhaltigkeitsentwicklung für die Golfplätze angeboten (SWISS GOLF, 2022). Im Jahre 2020 wurde der Golfplatz Andermatt Swiss Alps nach den GEO-Richtlinien zertifiziert. Durch diese Zertifizierung wurde der Golfplatz für die Fragen der Nachhaltigkeit sensibilisiert und im Sinne einer Optimierung in diesem Bereich unterstützt.

Berechnungsbeispiele der CO₂-Bilanz für Triplex-Mäher

Für die HGK-Facharbeit wurde bei dem Model-Versuch mit zwei identischen Triplex-Rasenmähern gerechnet (STEFFEN, 2023). Hierzu wurden Daten des Verbrenner-Motors (Toro 3420) und des Akku-Antriebs (Toro 3370) für die Berechnungen herangezogen. Für die Herstellungsdaten wurde nur auf den Antriebsmotor Bezug genommen. Fahrgestell, Verkleidung usw. sind bei beiden Fahrzeugen identisch. Zur Ermittlung des CO₂-Verbrauchs bei der Herstellung von Verbrenner-Motoren wurde auf Werte aus der Studie der Kogkuin University Tokio zurückgegriffen (KAWAMOTO et al., 2019).

Nach KAWAMOTO et al. (2019) werden bei der Herstellung eines Dieselmotors für den Mittelklassewagen demnach 1.539 kg CO₂ freigesetzt. Bei der Produktion einer 35,8 kWh Batterie entstehen dagegen 6.337 kg CO₂.

Mit dem Mäher-Datenblatt des Toro 3370 (Akku-Triplex) wird eine kWh Angabe von 10,77 kWh publiziert, hierzu gibt es acht Batterie-Elemente mit 48 V und gesamthaft 213,6 Ah.

Bei den Prototypen von Jacobsen auf dem Golfplatz Fricktal kann mit 9,6 kWh gerechnet werden (48 V 200 Ah), ein Batterie-Element. Der neue Jacobsen Eclipse 360 ELITE wird mit 12,2 kWh ausgeliefert (48 V 250 Ah).

Auf der Basis der Schweden-Studie 2019 und der Auswertung vom Heidelberg-Institut (IFEU), kann der Wert von 177 kg CO₂ pro kWh auf 100 kg umgerechnet werden (MEYER et al.). 10,77 kWh x 100 kg CO₂ = 1.077 kg CO₂. Um einen Vergleichswert herzustellen, werden die 1.539 kg CO₂ bei einem Mittelklasse-Auto auf einen kleineren Motor hinuntergebrochen. 35,8 kWh (Mittelklasse-Auto): 10,77 kWh (Akku-Größe Vergleichsmodell) = 3,32 Faktor.

1.539 CO₂ : 3,32 = 463 kg CO₂. Dieser Wert macht Sinn, da ein Triplex-Motor ein Drittel im Vergleich zu einem Mittelklassewagen wiegt. Bei einem Mittelklassewagen werden die Durchschnittsmotoren zwischen 150-200 kg liegen, ein Triplex-Motor wiegt 72 kg.

Auf dieser Grundlage ergibt sich, dass bei der Herstellung eines Akkumotors im Vergleich zum Verbrenner über die doppelte Menge CO₂ freigesetzt wird. Damit der Break-even-Wert berechnet

werden kann, muss die Verbrauchenergie hinzugerechnet werden. In der Feldstudie wurde ein Durchschnittswert von 2 kWh für eine Stunde Mähen ermittelt. Durch die Messung direkt an der Steckdose, kann der Ladeverlustwert, der im Durchschnitt um die 15 % liegt, ausgeschlossen werden. Der verglichene Verbrenner-Motor hat 13,4 kW = 18,2 PS. Beim Gebrauch wird pro Liter Diesel 2,65 kg CO₂ freigesetzt. Bei einem Durchschnittsverbrauch von 1,6 Liter Diesel auf die Stunde wird in diesem Fall 4,2 kg CO₂ freigesetzt. Der Akku stößt grundsätzlich kein CO₂ mehr aus. Es kommt nun darauf an, mit welchem Strom der Akku geladen wird.

Break-even-Wert Akkuantrieb unter Berücksichtigung der Stromlieferanten

Hierfür könnten alternative Szenarien durchgerechnet werden.

In der Facharbeit wurden vier verschiedene Varianten dargestellt:

- Ökostrom aus erneuerbarer Energie,
- Durchschnitts-Strommix Schweiz,
- Durchschnitts-Strommix Deutschland,
- Vergleichswert Dieselmotor.

Beispiel erneuerbare Energie

Ökostrom kann selbst hergestellt werden. Auf dem Golfplatz Winterberg und Fricktal, wo die Feldversuche stattfanden, wird schon heute mit eigenen Photovoltaikanlagen Strom produziert. Auf dem Golfplatz Andermatt Swiss Alps wird mit 100 % erneuerbarer Energie durch den lokalen Stromlieferanten gearbeitet (EWU STROMDEKLARATION, 2020).

Allerdings darf man auch hier keinen 0 % CO₂-Wert annehmen. Nur wenn der Ausstoß beim Verbrennen der Energie gemessen würde, ergibt sich ein 0-Wert. Da aber bei der Herstellung oder beim Aufbau einer solchen Anlage auch CO₂-Werte anfallen, muss mit einem kleinen CO₂-Anteil gerechnet werden.

Einige Beispiele:

- 2,7 g CO₂/kWh bei Ökostrom aus Wasserkraftwerk,

- 8,8 g CO₂/kWh bei Ökostrom aus Windenergie Land,
- 55,7 g CO₂/kWh bei Ökostrom aus Photovoltaik.

Hierzu muss beachtet werden, dass diese Werte variieren können. Je mehr Strom eine solche Anlage produziert, je niedriger werden die Werte. Beim Triplex-Mäher wird mit 10 % des konventionellen Strommix gerechnet (WEISSBACH, 2021).

Beispiel Diesel-Verbrennermotor

Für den CO₂-Ausstoß von ein Liter Diesel variieren die Angaben von 2,61 kg CO₂/l bis 2,67 kg /l. In der Regel wird mit dem Wert, von 2,65 kg CO₂/l Diesel gerechnet. Dabei sind die Herstellungs-, sowie die Transportemissionen nicht berücksichtigt. Unter Einbeziehung dieser Daten ergibt sich nach HOEKSTRA (2020) ein Wert von 3,31 kg CO₂ pro Liter Diesel. Für den Durchschnittsverbrauch von 1,6 Liter Diesel ergibt sich somit ein angepasster Wert für den Ausstoß von 5,3 kg CO₂ pro h.

Kalkulatorische Abschreibung (Stand: 04.02.2022)

Zur wirtschaftlichen Beurteilung der beiden Mäher-Varianten (Verbrenner/Akku) wurden betriebswirtschaftliche Rechnungen durchgeführt, die hier exemplarisch dargestellt sind. Hierzu wurden die Vorgaben aus den DEULA-Lehrgängen berücksichtigt.

Bei der Betrachtung der Werte wurden folgende Daten für den Triplex-Mäher zugrundegelegt:

- Anschaffungspreis lt. Hako Schweiz Feb. 2022.
- Jahres-Betriebsstunden bei einem Triplex-Mäher liegen bei 300 h.
- Die Nutzungsdauer liegt bei 10 Jahren.
- Der Restwert liegt bei 5 %.
- Der Zinssatz liegt bei 2 %.

Ab wann wird der Akku-Triplex rentabler?

Die Rentabilitätsberechnung wurde in der Facharbeit auf der Basis von vier verschiedenen Preis-Daten berechnet:

Kalkulatorische Abschreibung			Verbrenner	AKKU	
			3420	3370	
Anschaffungspreis	A	Fr.	75230	79100	Hako
Nutzungsdauer nach Zeit	N	Jahre	10	10	
Restwert	R	Fr.	3762	3955	
Jahresleistung	Lj	h.	300	300	
Leistungsvorrat	L	h.	3000	3000	
Nutzungsdauer nach Leistung	n=L/Lj	Jahre	10	10	
Auslastungsschwelle	L/N	h/Jahr	300	300	
Zinssatz	i	%	2	2	
Kraftstoffverbrauch	Kv	ltr/kWh/h	1.6l	2 kWh	Feldstudie
Kraftstoffkosten	Kk	Fr./ltr./kWh	2.25	0.21	
Fixe Kosten					
Abschreibung	((A-R)/N)	Fr./Jahr	7146.8	7514.5	
Verzinsung	((A+R)/2 x i/100)	Fr./Jahr	789.9	830.6	
Unterbringung 1	7.5m ² bei 14 Fr.	Fr./Jahr	1260	1260	
Versicherung 2	1 % von A	Fr./Jahr	752.3	791	
Reperatur 3	5% von A	Fr./Jahr	3761.5	3955	
Allg. Geschäftskosten (Gemeinkosten) 4	2 % von A	Fr./Jahr	1504.6	1582	
Betriebssteuern und -lasten (Gemeinkosten) 5	1.5% von A	Fr./Jahr	1128.5	1186.5	
Gesamte fixe Kosten		Fr./Jahr	16343.6	17119.6	
Variable Kosten					
Kraftstoff	K=Kv x Kk) x Lj	1.6l /h	1080	126	
Schmierstoff 6	Tabelle 8	Fr./Jahr	135	6.7	
Gesamte variable Kosten	V	Fr./Jahr	1215	132.7	
Gesamtkosten					
	G=F+V	Fr./Jahr	17558.60 Fr	17252.30Fr	
Kosten pro Stunde					
	G/ Lj	Fr./h	58.55 Fr	57.50 Fr.	
	1 2.5mx3m= 7.5m ²	14 Fr./m ² im Monat			
	2 0.5 % - 1 % von A	Beiträge Haftpflicht, Feuerversicherung, Rechtschutz			
	3 5-10% von A/Jahr oder 100% von A während Nutzungsdauer				
	4 A<50'000 Fr =3-3.5% A>50'000Fr=2-3% von A	Kosten: Büro, Porto, Telefon			
	5 A<50'000Fr.=2-2.5% A> 50'000Fr= 1-1.5				
	6 Nach (Tab. 11)	1350.9 : 10 Jahre/66.6 : 10 Jahre			

Tab: 2: Vergleich der Abschreibungskosten für Akku und Verbrenner gemäß betrieblichem Rechnungswesen/Formular zur Berechnung von Maschinen (PALETTA, 2022), eigene Berechnung.

- Grundlage zwei Dieselpreise (aktueller Preis und der Dieselpreis 2018).
- Strommix-Preis der Schweiz mit 15 % Ladeverlust.
- Strommix EWU (Elektrizitätswerk Ursern).

Wenn die beiden Anschaffungspreise der Triplex-Mäher verglichen werden, Dieselmotor 75.230 Fr. (Toro 3420) und der Akku 79.100 Fr. (Toro 3370), besteht eine Differenz von 3.870 Fr. (Stand: 14.02.2022 Hako Schweiz).

Der Verbrenner-Triplex verbraucht 1,6 l Diesel pro Stunde. Das ergibt einen Verbrauchswert von 2,78 Fr. pro h im Jahr 2018 und im Jahr 2022 von 3,60 Fr. pro h. Mit eingerechneten Ölpreisen für Antrieb 2018 3,23 Fr. und 2022 4,05 Fr.

Die Stromkosten in der Schweiz liegen bei 21,2 Rp./kWh im Jahr 2022. (EIDGENÖSSISCHE ELIKTRIZITÄTSKOMMISSION, 2022)

Der erneuerbare Strom vom Elektrizitätswerk Ursern liegt im schweizer Durchschnitt. Wenn der Netznutzungsgundtarif von 12 Fr. monatlich mit einem Durchschnittswert von 4.500 kWh im Jahr gerechnet wird, ergibt dies ein Wert von 21,1 Rp./kWh (EWU STROMTARIFE, 2022).

Das heißt, wenn der Akku-Triplex in der Feldstudie pro Stunde Mäharbeit 2 kWh braucht, kommt man auf 42,2 Rp. pro Stunde Mähen. Zuzüglich Öl-Kosten, die kaum etwas ausmachen, käme der Wert bei 42,23 Rp. zum Tragen.

Der Stromtarif wird einerseits durch den Verbrauch kWh gerechnet, andererseits durch die Netznutzung. Das heißt, je nachdem, von wo und mit welchem Strom beliefert wird, kann es Preisschwankungen geben. Erstaunlich war, dass zwischen konventionellem und erneuerbarem Strom keine großen Preisunterschiede liegen bzw. sogar gleiche Preise vorlagen, weil es lokaler Strom war und weniger Netzgebühren bezahlt werden mussten.

Kosten Service 3420 Triplex Dieselmotor						
Preise Stand 15.3.2022				Gesamt Preis	Mechaniker	Gesamtpreis mit Mechaniker
Motorenöl	Alle 150 h	Menge:	3.7 l		20 min	
		Kosten 1l	4.90 Fr.	18.13 Fr.		
		Filter	6.90 Fr.	6.90 Fr.		
				25.03 Fr.	9.52 Fr.	34.55 Fr.
Luft	Alle 300 h	Luftfilter	21.05 Fr.		5min	
				21.05 Fr.	2.38 Fr.	23.43 Fr.
Kraftstoff	Alle 800 h	Kraftstofffilter	13.45 Fr.		5 min	
				13.45 Fr.	2.38 Fr.	15.83 Fr.
Hydrauliköl	Alle 800 h	Menge	25.7 l		30 min	
		Kosten 1l	4.00 Fr.	102.80 Fr.		
		Filter	23.55 Fr.	23.55 Fr.		
				126.35 Fr.	14.28 Fr.	140.63 Fr.
Kraftstoff + Hydrauliköl						156.46 Fr.
Kühlerwasser	Alle 2000h	Menge	4.6 l		30 min	
		Kosten	3.90Fr 1/1 gemisch			
				17.94Fr.	14.28Fr.	32.22Fr.
Mechaniker 4800Fr./ 168h. = 28.57 Fr.						
	150	300	800	2000	Gesamt	
Bei 1000h	6x34.55 Fr. = 207.30 Fr.	3x15.83 Fr. = 47.49 Fr.	1x156.46 Fr. = 156.46Fr	---		411.25 Fr.
Bei 3000h	20x34.55 Fr. = 691 Fr.	10x15.83 Fr. = 158.30Fr	3x156.46 Fr. = 469.38 Fr.	1x32.22 Fr. = 32.22 Fr.		1350.90 Fr
Bei 5000h	33x34.55 Fr. = 1140.15 Fr.	16x15.83 Fr. = 253.28 Fr.	6x156.46 Fr. = 938.76 Fr.	2x32.22 Fr. = 64.44 Fr.		2396.63 Fr
Kosten Service 3370 Triplex AKKU						
Getriebeöl	Alle 800	Menge:	1.2 l		30 min	
		Kosten 1l	6.60 Fr.	7.92 Fr.	14.28 Fr.	22.20 Fr.
Bei 1000h			1x22.20 Fr. = 22.20 Fr.			22.20 Fr.
Bei 3000h			3x22.20 Fr. = 66.60 Fr.			66.60 Fr.
Bei 5000h			6x22.20 Fr.= 133.20 Fr.			133.20 Fr.

Tab. 3: Vollservice-Rechnung nur in Bezug auf den Antrieb für die Mäher-Varianten (Akku/Verbrenner), eigene Berechnung.

Bei der Betrachtung der variablen Kosten, unter Einbeziehung der Anschaffungspreise, wird deutlich, dass nach dem vierten Betriebsjahr, bei jährlich 300 Stunden, der Akku bereits günstiger wird. Nach 10 Jahren würden rund 8.000 Franken eingespart werden.

Durch die erhöhten Fixkosten beim Akku gegenüber des Verbrenners wird ersichtlich, dass umso mehr Betriebsstunden der Akku gebraucht wird (Variable Kosten), desto größer ist die Kosteneinsparung gegenüber dem Verbrenner-Motor.

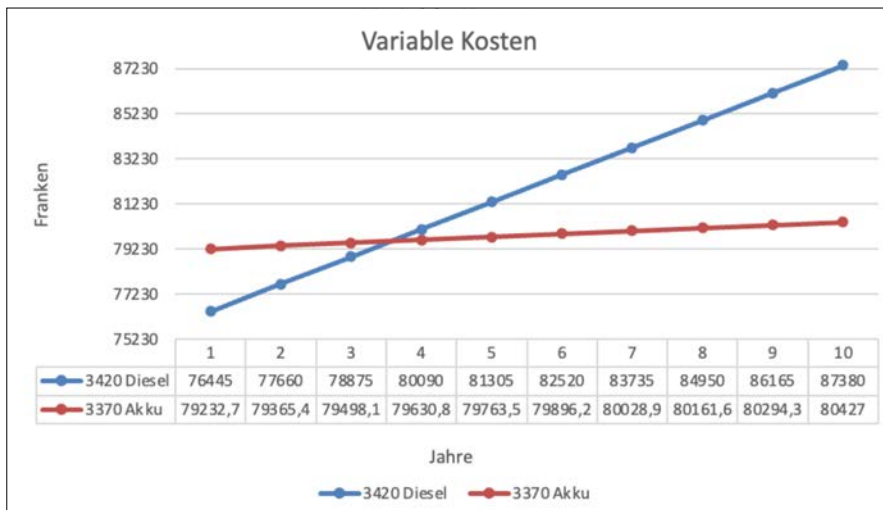


Abb. 2: Vergleich der variablen Kosten für die Antriebsvarianten Diesel/Akku.

Betrachtung Ladezyklen

Die Ladezyklen des Akkus sind abhängig vom Gebrauch und der Pflege (wann und wie wird der Akku wieder geladen). Es gibt Werte von 500-800 Ladezyklen, über 1.000 bis hin bei größeren Paketen von 2.000-3.000 Ladezyklen. Bei den heutigen Technologien und größeren Paketen, welche in Autos verwendet werden, wie auch hier im Triplex, kann von 2.000-3.000 Ladezyklen ausgegangen werden. Doch diese werden bei dem Triplex-Mäher meist nicht gebraucht, da die Maschine mehrheitlich schon vorher ihre gewünschte Leistung erbracht hat.

Da eine Lithium-Batterie auch altert und pro Jahr 1 % Kapazität abgezogen werden muss (bei optimaler Pflege und Gebrauch, ansonsten 3-5 %), kann davon ausgegangen werden, dass nach 20 Jahren nur noch 80 % Akkukapazität vorhanden ist. Dies wird meist als Schwelle zum Wechsel eines neuen Akkus angegeben. Wird mit max. 2.000 möglichen Ladezyklen und verschiedenen Mähedauern pro Ladezyklus gerechnet, so wird ersichtlich, dass bei höherer Betriebsstunden-Zahl bzw. bei längerer Mähedauer pro Ladezyklus die Anzahl der Nutzungsjahre für den Akku steigt.

Es werden in dieser Darstellung mit 6.000 bis 16.000 h Leistungsvorrat eines Mähers gerechnet. In der Praxis liegt dieser Wert eher bei 3.000 bis 5.000 h. So kann also davon ausgegangen werden, dass ein Akkupaket eine Lebensleistung eines Triplex in Bezug auf die Ladezyklen und Alterung überlebt.

Bei Katastrophenverschleiß oder bei Alterung durch Abnahme der Ladekapazität unter 80 % könnten die Akkus ausgewechselt werden. Der Preis für das Auswechseln eines Akkus liegt bei 2.480,- Fr. pro Stück. Empfohlen wird, jeweils alle acht Pakete gleichzeitig auszutauschen. Dies ergibt einen Gesamtpreis von 19.840 Fr. Das bedeutet für die Rentabilität, dass der Mäher mit einem Akku-Paket seine Lebensleistung auch mit jährlich 300 h erreicht. Bei einer geforderten Lebensleistung von 5.000 h wäre diese nach 16 Jahren erreicht.

Allgemeine Bewertungskriterien

Durch den Elektroantrieb der Räder kann beim Akku-Mäher eine differenzierte Clip-Rate der einzelnen Mähein-

Mähvorgang h:	3	4	6	8
Ladezyklen 2.000x	6.000 h	8.000 h	10.000 h	16.000 h
Jahresdurchschnitt Betriebsstunden				
300 h	20 Jahre	26 Jahre	33 Jahre	53 Jahre
400 h	15 Jahre	20 Jahre	25 Jahre	40 Jahre
500 h	12 Jahre	16 Jahre	20 Jahre	32 Jahre
800 h	7.5 Jahre	10 Jahre	12.5 Jahre	20 Jahre

Tab. 4: Ladezyklen in Abhängigkeit von Jahres-Betriebsstunden.

heiten bei Kurvenfahrt (Abschlussrunde) verändert werden (Toro 3370). Dies sorgt für einen gleichmäßigeren Schnitt bei der Abschlussrunde. Die Problematik der Räderbelastung bei der Abschlussrunde bleibt trotzdem bestehen. Ein großer Vorteil des Elektromähers besteht darin, dass es keine Öl-Leckagen mehr gibt. Dies ist vorteilhaft für die Umwelt und für die Rasenqualität, da es keine Schäden geben kann.

Der Unterschied bei der Lärmbelastung bei der fahrenden Maschine ist erheblich. Der Akku-Triplex Toro 3370 hat einen gemäßigteren Wert von 55 dBA bei den Feldversuchen gezeigt. Dies ist gleich laut wie ein normales Gespräch. Wenn hingegen die Spindeln laufen, steigt der Wert auf 87 dBA. Beim Verbrennermotor liegt der Wert bei 98 dBA. Diese Werte variieren jedoch auf dem Rasen. Bei den technischen Werten gab es die erstaunliche Feststellung, dass der Akku-Triplex (Toro 3370) mit 738 kg sogar leichter ist als der Verbrenner Triplex (Toro 3420) mit 770 kg. Gerechnet wurde mit einer 11 Blatt Spindeleinheit am Mäher. Dies ist eine gute Entwicklung für die Verringerung der Verdichtung auf den Greens.

Beim Verbrennermotor besteht der große Vorteil, dass er stärkere Widerstandskräfte bei Spezialanbau-Einheiten liefert, wie z. B. für das Vertikutieren, Nachsäen, Aerifizieren, usw. Er kann bei längeren Einsätzen schnell aufgetankt werden und hat keine Wartezeit für das Aufladen des Akkus.

Bewertung zur Mäher-Anschaffung

Da der Maschinenpark vom Golfplatz Andermatt Swiss Alps über drei Triplex-Mäher verfügt, besteht die Möglichkeit, dass einer oder sogar zwei dieser Maschinen bei Neuanschaffungen auf Akkuantrieb umgestellt werden. Mindestens ein Triplex mit Verbrennermo-

tor wird nach wie vor für das Vertikutieren und Scarifying gebraucht, da diese Maßnahmen momentan noch nicht mit den Akku-Triplex getätigt werden können, da die Leistungsbereitstellung zu hoch ist.

Für die Rentabilität wird es spannend sein, wie lange die Akku-Pakete auf den Golfplätzen in den Maschinen gefahren werden können. Auf jeden Fall ist der CO₂-Fußabdruck bei einem Akku-Triplex besser. Akku-angetriebene Triplexmäher könnten im Programm Andermatt Responsible berücksichtigt werden.

Literatur

- BASLER E. + PARTNER, 2020: Szenarien der Elektromobilität in der Schweiz. Peter de Haan, Silvan Rosser, Isolde Erny, Hendrik Clausdeinken. https://www.ebp.ch/sites/default/files/2020-02/2020-03-02_EBP_CH_EmobSzen_PKW_2020_def.pdf (aufgerufen am 26.02.2022).
- BUTZNER, J., 2017 a: Die CO₂-Bilanz von Batterien. <https://www.shine.eco/2017/03/15/schaden-batterien-unserer-umwelt-mehr-als-sie-nutzen-teil-1-die-co2-bilanz/> (aufgerufen am 25.02.2022).
- BUTZNER, J., 2017 b: Die Geschichte der Batterie. <https://www.shine.eco/2017/03/29/die-entwicklung-der-batterie/> (aufgerufen am 26.02.2022).
- EIDGENÖSSISCHE ELIKTRIZITÄTSKOMMISSION, 2022: Leicht ansteigende Strompreise 2022. <https://www.admin.ch/gov/de/start/dokumentation/medienmitteilungen.msg-id-85013.html> (aufgerufen am: 15.03.2022).
- ENERGIE WASSER LUZERN, 2022: Unser Angebot. <https://www.ewl-luzern.ch/privatkunden/energie/strom/angebote/> (aufgerufen am: 17.03.2022).
- EWU STROMTARIFE, 2022: Elektrizitätswerk Ursern. https://www.ew-ursern.ch/fileadmin/dateien/dokumente/Diverses/EWU_Tarife_2022_Energie_Netz.pdf (aufgerufen am: 17.03.2022).
- EWU STROMDEKLARATION, 2020: Elektrizitätswerk Ursern. https://www.ew-ursern.ch/fileadmin/dateien/dokumente/Diverses/Herkunftsdeklaration_Endkunden_EWU_2020.pdf (aufgerufen am: 12.03.2022).

HOEKSTRA, A., 2020: Die Herstellung von Benzin und Diesel verursacht mehr CO₂-Emissionen als wir dachten. <https://innovationorigins.com/de/die-herstellung-von-benzin-und-diesel-verursacht-mehr-co2-emissionen-als-wir-dachten/> (aufgerufen am: 14.03.2022).

KAWAMOTO, R. et al., 2019: Estimation of CO₂-Emissions of Internal Combustion Engine Vehicle and Battery Electric Vehicle Using LCA.

LEIVA, L., 2020: Wie stark belastet die Batterieherstellung die Ökobilanz von Elektroautos. <https://www.energie-experten.ch/de/wissen/detail/wie-stark-belastet-die-batterieherstellung-die-oekobilanz-von-elektroautos.html> (aufgerufen am 28.02.2022).

MEYER, K., H. HELMS, C. KÄMPER, K. BIE-MANN, U. LAMBRECHT und J. JÖHRENS, 2019: Agora Verkehrswende (2019): Klimabilanz von Elektroautos. Einflussfaktoren und Verbesserungspotenzial. https://www.agora-verkehrswende.de/fileadmin/Projekte/2018/Klimabilanz_von_Elektroautos/Agora-Verkehrswende_22_Klimabilanz-von-Elektroautos_WEB.pdf (aufgerufen am 28.02.2022)

PALETTA, M., 2022: Handout HGK-Lehrgang, DEULA Rheinland.

STEFFEN, P., 2023: Wirtschaftlicher und ökologischer Vergleich zwischen einem Verbrennermotor und einem akkuangetriebenen Triplex-Mäher. Head-Greenkeeper-Facharbeit, DEULA Rheinland.

SWISS GOLF, 2022: Der Golfplatz als CO₂-Speicher/SEBI- Analyse für vier weitere Clubs/Das Ziel heisst negativ.

<https://swissgolf.ch/de/news/artikel/173-der-golfplatz-als-co2-speicher/>

<https://swissgolf.ch/de/news/artikel/191-sebi-analyse-fuer-vier-weitere-clubs/>

https://www.utechag.ch/fileadmin/user_upload/Umweltberatungen/Swiss_Golf_Magazin_OEKobilanz_Golf.pdf (aufgerufen am 29.11.2022)

WEISSBACH A. und J. HAKENES, 2021: Ökostrom-Vergleich: echte Ökostromanbieter finden <https://www.co2online.de/energie-sparen/strom-sparen/strom-sparen-stromspartips/was-ist-echter-oekostrom/> (aufgerufen am: 12.03.2022)

Autor:

Patrik Steffen
Gepr. Head-Greenkeeper
Golfplatz Andermatt Swiss Alps
CH-6490 Andermatt
paedi.steffen@gmail.com

Bearbeitung:

Dr. Klaus G. Müller-Beck
Ehrenmitglied Greenkeeper Verband
Deutschland e.V.
48291 Telgte
klaus.mueller-beck@t-online.de