

Tropfbewässerungs- verfahren unter Umweltaspekten



www.alb-bayern.de/bef24

Bewässerungsforum Bayern, Verfasser:

Dr.-Ing. Mathias Effenberger
Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft

Foren der ALB Bayern e. V.

Die ALB Bayern e. V. ist ein offiziell anerkannter, gemeinnützig tätiger, eingetragener Verein mit Mitgliedern aus Landwirtschaft, Wissenschaft, Beratung und den landwirtschaftlichen Organisationen. Weiterhin sind die staatliche Verwaltung, Firmen sowie Dienstleistungsunternehmen aus Industrie, Handel, Gewerbe sowie dem Umweltbereich vertreten.

Die ALB unterstützt die Landwirtschaft mit Wissensvermittlung in den Themenbereichen Bauen in der Landwirtschaft, Bewässerung, Biogas und Landtechnik. Hierzu handelt sie als neutraler Mittler und Bindeglied zwischen landwirtschaftlicher Praxis, Forschung, Umwelt, staatlicher Verwaltung, Gewerbe und Industrie.

Für umfassende Informationen zur umweltschonenden und effizienten Anwendung in der Praxis

werden zu den einzelnen Tätigkeitsbereichen Foren mit folgenden Aufgaben organisiert:

- ▶ Zusammenführen des aktuellen Wissensstandes,
- ▶ Reflektieren mit allen an der Thematik Beteiligten,
- ▶ Erarbeiten/Bekanntmachen konsensfähiger Lösungen.

Foren der ALB Bayern e. V.:

- ▶ BauForum Bayern (BaF),
Leitung: Jochen Simon, LfL
- ▶ Bewässerungsforum Bayern (BeF)
Leitung: Dr. Martin Müller, ALB
- ▶ Biogas Forum Bayern (BiF),
Leitung: Dr. Martin Müller, ALB
- ▶ Landtechnik Forum (LaF),
Leitung: Dr. Markus Demmel, LfL

Partner



Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft, Forsten und Tourismus



Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz

Impressum

Herausgeber Arbeitsgemeinschaft Landtechnik und Landwirtschaftliches Bauwesen in Bayern e. V. (ALB), Vöttinger Straße 36, 85354 Freising

Telefon 08161 / 887-0078

Telefax 08161 / 887-3957

E-Mail info@alb-bayern.de

Internet www.alb-bayern.de

1. Auflage 06/2025

© ALB Alle Rechte vorbehalten

Titelfoto ALB

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Einleitung	4
2. Die Methode der Ökobilanzierung	4
3. Untersuchungsrahmen für den Vergleich der Bewässerungsverfahren	5
4. Betrachtete Umweltwirkungen	7
5. Umweltwirkungen der Tropfbewässerungssysteme	9
6. Mehrweg- vs. Einweg-Tropfschläuche	10
7. Fazit	13

1. Einleitung

In Deutschland wurde in den zurückliegenden zehn Jahren im Vergleich zu den langjährigen mittleren Verhältnissen eine verstärkte Frühjahrstrockenheit und nachfolgend eine starke Austrocknung der Böden im Sommer beobachtet. Im Zuge des fortschreitenden Klimawandels ist hierzulande häufiger mit zeitlich ausgedehnten Dürreperioden zu rechnen. In Bayern betrifft dies vor allem die nördlichen und östlichen Landesteile. In Kulturen, die empfindlich auf Trockenstress reagieren, wird dort häufiger eine Bewässerung notwendig sein, um Trockenphasen zu überbrücken. Insbesondere der Kartoffelanbau ist für eine verlässliche Ertragsbildung und gute Qualität auf eine gleichmäßige und bedarfsgerechte Wasserversorgung angewiesen.

Gleichzeitig kann es in den von Dürre besonders betroffenen Gebieten auch zu einer saisonalen Knappheit in der Wasserversorgung kommen. In solchen Fällen bietet die Tropfbewässerung den Vorteil von wesentlich geringeren

Verdunstungsverlusten im Vergleich zu Beregnungsverfahren. Bei der Abwägung der erheblichen Kosten der Tropfbewässerung gegenüber den Ertragssteigerungen schneidet bei einjährigen Kulturen der Einsatz von dünnwandigen Tropfschläuchen, die nur einmal verwendet werden ("Einwegschläuche"), deutlich günstiger ab als die Verwendung von mehrfach verwendbaren Schläuchen, die jeweils nach der Ernte sorgfältig geborgen und bis zur nächsten Saison eingelagert werden müssen ("Mehrwegschläuche"). Ob der Kostenvorteil von Einwegschläuchen mit nachteiligen Umweltwirkungen einhergeht, wurde in Zusammenarbeit mit der ALB im Bewässerungsforum Bayern und im Rahmen einer Abschlussarbeit im Master-Studiengang "Sustainable Resource Management" an der Technischen Universität München mittels der Methode der Lebenszyklusanalyse / Ökobilanzierung untersucht. In diesem Beratungsblatt werden die Annahmen und Ergebnisse dieser Studie für Praktiker aufbereitet.

2. Die Methode der Ökobilanzierung

Die Ökobilanzierung ist eine wissenschaftlich anerkannte Methode, mit welcher die Umweltwirkungen entlang des gesamten Lebensweges eines Produktes (bzw. eines Verfahrens samt den hierfür erforderlichen Ressourcen) von der Herstellung über die Anwendung bis hin zur Entsorgung untersucht werden. Die korrekte Bezeichnung lautet daher "Lebenszyklusanalyse" (engl. "Life cycle assessment" - LCA), meist wird jedoch der Begriff "Ökobilanz" verwendet, um auf die Ergebnisse der Analyse zu fokussieren. Die Vorgehensweise bei der Erstellung einer Lebenszyklusanalyse wurde in internationalen Normen festgelegt, damit das Ergebnis auch von Fachleuten interpretiert werden kann, die nicht an der Studie beteiligt waren. Sollen die Bilanzierungsergebnisse geschäftliche Verwendung finden, ist eine vorherige unabhängige Begutachtung der Studie vorgeschrieben. In

wissenschaftlichen Kreisen erfolgt dies in der Regel im Rahmen der Rezension der entsprechenden Fachbeiträge vor der Veröffentlichung.

Vereinfacht dargestellt läuft eine Lebenszyklusanalyse stets so ab, dass zunächst festgelegt wird, welche Fragestellung zu einem Produkt bzw. Verfahren beantwortet werden soll, welche Umweltwirkungen betrachtet werden und wie zu diesem Zweck der Untersuchungsrahmen abgesteckt wird. Zentral ist zudem die Festlegung der "funktionalen Einheit" als Bezugsgröße für die Bilanzierung der Umweltwirkungen.

Der Lebensweg des Produkts wird mittels eines "Stoffstrommodells" beschrieben, in dem alle verwendeten Stoffströme sowie die eingesetzte Energie abgebildet und auf die funktionale Einheit bezogen werden - möglichst anhand

originalen Informationen ("Primärdaten"), ergänzt durch Daten aus Datenbanken. Diesen Schritt bezeichnet man als "Sachbilanz".

Auf Basis der Sachbilanz wird eine Abschätzung der Umweltwirkungen vorgenommen, indem alle Schadstoffemissionen, welche entlang des Produktzyklus entstehen, in den ausgewählten Wirkungskategorien zusammengefasst werden: zum Beispiel wird für die Wirkungskategorie "Globales Erwärmungspotenzial" der gesamte Ausstoß an CO₂-Äquivalenten berechnet. Die

Berechnung der Wirkungsindikatoren stellt methodisch einen Zwischenschritt dar, denn hier werden noch nicht die potenziellen Schäden, sondern deren Ursachen quantifiziert, umgerechnet in Äquivalente einer wohlbekanntem Indikatorsubstanz. Danach kann eine bestimmte Bewertungsmethode gewählt werden, um die letztendlichen Schädwirkungen auf wichtige Schutzgüter zu quantifizieren, z. B. "Menschliche Gesundheit", "Ökosystemqualität" und "Ressourcenverbrauch", und schließlich zu einem Schadensindikator zusammenzufassen.

3. Untersuchungsrahmen für den Vergleich der Bewässerungsverfahren

Das Funktionsprinzip der Tropfbewässerung zu Kartoffeln sowie eine Bewertung des Verfahrens hinsichtlich Ertragseffekten, Arbeitsaufwand und Kosten sind im [Beratungsblatt bef10 – Tropfbewässerung zu Kartoffeln](#) zu finden. Im Folgenden wird vertieft auf diejenigen Unterschiede zwischen den Verfahren eingegangen, die für die Ökobilanzierung relevant sind.

Festgelegt als funktionale Einheit für den ökobilanziellen Vergleich wurde ein Hektar eines

Kartoffelfeldes, der mit Tropfbewässerung unter Verwendung von Ein- oder Mehrwegschläuchen bewässert wird. Welche Prozesse und Verfahrensschritte in die Lebenszyklusanalyse eingeschlossen wurden, ist in Abb. 1 skizziert. Die ausgewählte funktionale Einheit ist der einjährige Anbau von Kartoffeln auf einem Hektar mit Bewässerung. Nicht in den Lebenszyklus eingeschlossen wurden Ersatzteile, die Einlagerung der Vorrichtungen zur Bewässerung und der Wartungsaufwand für die Maschinen / Anlagen.

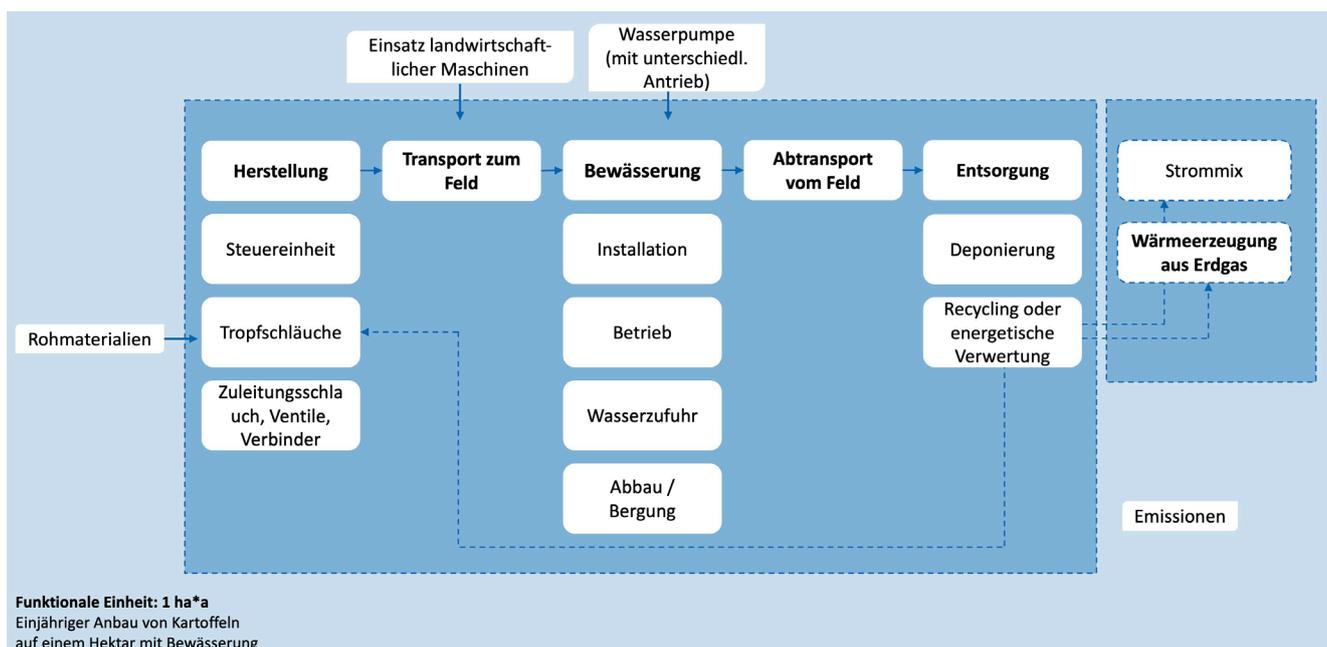


Abb. 1: Systemdarstellung für das Bewässerungsverfahren mit Tropfbewässerung (Einweg-/Mehrweg-Tropfschläuche).

Sachbilanz und Wirkungsabschätzung für die zu vergleichenden Bewässerungsverfahren wurden mittels der kommerziellen Software "LCA for Experts" (Sphera Solutions, Leinfelden-Echterdingen, DE) erstellt. Für die Modellierung der Herstellungsprozesse der zur Bewässerung benötigten Maschinen und Anlagen wurden entsprechende Firmenangaben ausgewertet. Anbau und Bewässerung wurden auf Basis der Webanwendung "Verfahrensrechner Pflanze" des KTLB

e.V. (<http://www.ktbl.de/webanwendungen/verfahrensrechner-pflanze>) modelliert, ergänzt durch Informationen, die aus Experteninterviews gewonnen wurden. Zusätzlich benötigte Daten wurden der LCA-Datenbank Ecoinvent, Version 3.6 (ecoinvent, Zürich, CH) entnommen. Eine Übersicht der wichtigsten Annahmen und Spezifikationen für die Ökobilanzierung zeigt Tab. 1.

Tab. 1: Für die Ökobilanzierung verwendete Annahmen und Spezifikationen der Tropfbewässerungssysteme (Quellen: Experteninterviews, eigene Berechnungen nach KTBL-Feldarbeitsrechner, Angaben folgender Unternehmen: BAUER, Casella, Hüdig, Metzer, NETAFIM, Rivulis, RM).

	Tropfbewässerung mit...	
	Einwegschläuchen	Mehrwegschläuchen
Bewässerungsmenge je Saison, m ³	1.296	
Bewässerungszeit je Saison, h	65	
Maschinen zum Verlegen der Schläuche	Ackerschlepper mit Anbaugerät zum Verlegen bzw. Bergen der Tropfschläuche	
Maschineneinsatz für Installieren/Aufbauen, Umsetzen, Abbauen je nach Verfahren, h	5,5	11,1
Dieselbedarf für Feldarbeiten, L	14,0	25,4
Anzahl der Bewässerungsvorgänge je Saison	18	
Wasserdurchfluss, m ³ / h	20*	
Systemdruck, bar	0,5-5	
Pumpenleistung, kW	35	
Energiebedarf für Pumpenbetrieb je m ³ Wassergabe:		
Diesel, L	0,045	
Elektr. Strom, kWh	0,15	
Komponenten des Bewässerungssystems	Steuerungseinheit mit Sandfilter, Überdruckventil, Druckschalter; 13.400 m Einweg-Tropfschlauch (LLDPE) mit Verbindern (PVC), 100 m Querleitung (PP), Dieselmotor getriebene Wasserpumpe	identisch bis auf Mehrweg-Tropfschlauch (HDPE)
Nutzungsdauer, a:		
Tropfschlauch	1	5
Steuerungseinheit	20	
Verbinder	5	
Zuleitungsschlauch und Abschlussventil	10	

*) Durchfluss der einzelnen Tropfer: 0,7 – 3,5 L / h

Die Tropfbewässerungssysteme bestehen im Wesentlichen aus verschiedenen Kunststoffen. Unterschiede hinsichtlich der Ökobilanz für die Herstellung und Entsorgung der beiden Varianten von Tropfschläuchen ergeben sich aus der Materialauswahl und Nutzungsdauer. Hierfür wurde angenommen, dass die Mehrwegschläuche zu 100 Prozent aus hochverdichtetem Polyethylen (HDPE), die Einwegschläuche zu 100 Prozent aus linearem PE niedriger Dichte (LLDPE) bestehen. Der Aufwand an Rohmaterial für die Herstellung ist für die Mehrweglösung wesentlich höher als für die Einweglösung: Die

größere Wandstärke in Verbindung mit der höheren Dichte von HDPE ergibt für die Mehrwegschläuche eine spezifische Masse, die mit 0,0552 kg je Meter knapp sechsmal höher ist als diejenige für die Einwegschläuche (0,0094 kg je Meter). Zuleitung, Verbinder und Ventile sind prinzipiell identisch und können unabhängig von der Art der Tropfschläuche wiederverwendet werden (Vergleiche Tab. 1). Erheblichen Einfluss auf das Ergebnis der Ökobilanzierung nehmen zudem die Art und Weise der Entsorgung der verschiedenen Komponenten bzw. Materialien, wie in Tab. 2 erläutert.

Tab. 2: Annahmen zur Wiederverwendung bzw. Entsorgung der verschiedenen Materialien am Ende der Nutzungsdauer.

Rohmaterial	Annahmen zur Wiederverwendung bzw. Entsorgung
Aluminium	Müllverbrennung mit teilweiser Wiedergewinnung für das Recycling
LLDPE / HDPE	Müllverbrennung mit Kraft-Wärme-Kopplung bzw. teilweises Recycling zur Herstellung neuer Tropfschläuche
Polyvinylchlorid (PVC)	Müllverbrennung mit Kraft-Wärme-Kopplung
Polypropylen (PP)	Müllverbrennung mit Kraft-Wärme-Kopplung
Elektro- und Elektronikkomponenten (EEK)	Manuelle Demontage, anteiliges Recycling (Metallteile) bzw. Müllverbrennung

¹⁾ Für die erzeugte elektrische Energie bzw. Wärme wurde angenommen, dass eine äquivalente Energiemenge aus dem deutschen Strommix bzw. aus Erdgas ersetzt wird.

²⁾ Gemäß Herstellerangaben wurde ein Massenanteil von 60 % Rezyklat bei der Herstellung neuer Tropfschläuche angenommen.

4. Betrachtete Umweltwirkungen

Ausgangspunkt der vorliegenden Studie war die Frage, ob die Verwendung von Einwegschläuchen, die hinsichtlich Anschaffungskosten, Arbeitsaufwand und Funktionssicherheit deutliche Vorteile gegenüber der Mehrweglösung aufweisen, auch unter Umweltaspekten vertretbar ist. Für die Ökobilanzierung wurden daher basierend auf dem Studium der Literatur diejenigen Wirkungskategorien ausgewählt, die als maßgeblich für die Umweltbelastung durch die Verwendung von Kunststoffen im Allgemeinen und landwirtschaftliche Anwendungen im Besonderen erachtet werden. Diese sind in Tab. 3 aufgelistet, einschließlich der jeweiligen

Wirkungsindikatoren und deren Einheiten. Des Weiteren wurde eine aggregierte Bewertung der Schadwirkung auf die menschliche Gesundheit nach der Methode ReCiPe 2016 v1.1 (H/H) vorgenommen.

Tab. 3: Betrachtete Wirkungskategorien ("Umweltwirkungen") mit jeweiligen Indikatoren und Einheiten (Äq = Äquivalent; für weitere Erläuterungen zu den Indikatoren und deren Einheiten siehe Text).

Wirkungskategorie	Indikator	Einheit
Eutrophierung von Gewässern	Phosphoreintrag in Gewässer	kg P-Äq
Feinstaubbildung	Feinstabeintrag in die Luft	kg PM _{2,5} -Äq
Globales Erwärmungspotenzial	Strahlungsantrieb an der Erdoberfläche	kg CO ₂ -Äq. (GWP100)
Ozonbildung: Wirkung auf die menschliche Gesundheit	Eintrag ozonbildender Substanzen in die Luft	kg NO _x -Äq
Ozonbildung: Wirkung auf terrestrische Ökosysteme	Eintrag ozonbildender Substanzen in die Luft	kg NO _x -Äq
Ökotoxizität	Eintrag giftiger Substanzen in die Böden	kg 1,4-DCB
Versauerung	Säureeintrag in die Böden	kg SO ₂ -Äq
Verbrauch metallischer Ressourcen	Erzabbau	kg Cu-Äq
Verbrauch fossiler Ressourcen	Gewinnung fossiler Rohstoffe	kg Öl-Äq

Die Wirkungskategorie "Eutrophierung von Gewässern" bildet das Risiko ab, dass es durch den Eintrag von Nährstoffen - im Hinblick auf Süßwasserkörper vor allem von Phosphat, daher der Indikator Phosphor (P)-Äquivalent - zu einem übermäßigen Wachstum von Phytoplankton kommt. In stehenden Gewässern führt dies zu einer verstärkten Trübung, so dass am Grund wachsende Wasserpflanzen absterben können. Durch den mikrobiellen Abbau der zunehmenden Menge an abgestorbener Biomasse kommt es zu einer starken Sauerstoffzehrung und schließlich zum Absterben höherer Lebewesen. Zusätzlich bewirken sauerstoffarme Verhältnisse eine Freisetzung von Phosphat aus dem Sediment und somit eine Verstärkung des Eutrophierungsprozesses. Im Extremfall kommt es zum sogenannten "Umkippen" des Gewässers und damit zu einem Zusammenbruch der ursprünglichen Lebensgemeinschaft.

Feinstaub, der hier durch die Menge an Partikeln (engl. "Particulate Matter" - PM) mit einem Durchmesser von weniger als 2,5 Mikrometern (kg PM_{2,5}-Äq) charakterisiert wird, stellt eine Gefahr für die menschliche Gesundheit dar, da er in die Lunge eindringen kann.

Die Emission von Treibhausgasen erhöht den Strahlungsantrieb an der Oberfläche der Atmosphäre und führt hierdurch zur globalen Erwärmung. Als Indikator wird die emittierte Menge an CO₂-Äquivalenten verwendet, berechnet als globales Erwärmungspotenzial über einen Zeitraum von 100 Jahren (engl. "Global Warming Potential" - GWP100).

Erhöhte Konzentrationen von Ozon haben eine direkte schädigende Wirkung auf Lebewesen, welche getrennt im Hinblick auf die menschliche Gesundheit bzw. die Integrität von terrestrischen Ökosystemen bewertet wird. Als Indikator dient die Emission an Stickoxid (NO_x)-Äquivalenten, da Ozon über komplizierte photochemische Prozesse aus Stickoxiden und weiteren Substanzen in der Luft gebildet wird.

Terrestrische Ökotoxizität bezeichnet den Eintrag von giftigen Substanzen, die in Böden nicht oder nur sehr langsam abgebaut werden. Hierdurch können die dort lebenden Organismen direkt geschädigt werden oder es kann zu einem Eintrag dieser Substanzen in die Nahrungskette und zu einer Schädigung höherer Organismen kommen. Als Indikator wird die äquivalente Menge an 1,4-Dichlorbenzol (DCB) angegeben.

In Bezug auf hier im Fokus stehende Kunststoffprodukte ist anzumerken, dass dieser Wirkungsindikator lediglich diejenigen Emissionen abbildet, die bei der Herstellung der Kunststoffe freigesetzt werden. Etwaige schädliche Wirkungen durch den Eintrag von Kunststoffpartikeln ("Mikroplastik") in den Ackerboden sind Gegenstand intensiver Forschung, können jedoch nach dem aktuellen Stand des Wissens in der Ökobilanzierung noch nicht adäquat abgebildet werden. Diese Wirkungen blieben daher außerhalb des Untersuchungsrahmens dieser Studie.

Die anthropogene "Versauerung" von Böden bezeichnet den Prozess der Absenkung des

pH-Wertes in den oberen Bodenschichten durch den Eintrag saurer Reagenzien: vor allem schweflige und Schwefel-Säure aus der Luft sowie salpetrige und Salpeter-Säure aus der Luft bzw. aus ammoniumhaltigen Düngemitteln. Als Indikator wird die emittierte Menge an Schwefeldioxid (SO₂)-Äquivalenten berechnet.

Der Verbrauch an mineralischen bzw. fossilen Rohstoffen, die nicht erneuerbar sind, wird durch den erforderlichen Erzabbau bzw. die Gewinnung von Rohöl, ausgedrückt in Kupfer (Cu)- bzw. Öl-Äquivalenten, charakterisiert.

5. Umweltwirkungen der Tropfbewässerungssysteme

Die Ergebnisse der berechneten spezifischen Umweltwirkungen, wie in Kapitel 4 erläutert, sind in Tab. 4 zusammengefasst. Daran kann man ablesen, welche potenziell schädlichen

Emissionen entstehen, wenn ein Hektar Kartoffelfeld über eine Anbausaison mit den in Tab. 1 spezifizierten Verfahren bewässert wird.

Tab. 4: Gegenüberstellung der kumulierten bzw. aggregierten Umweltwirkungen aufgrund des Einsatzes der alternativen Verfahren zur Tropfbewässerung von einem Hektar Kartoffelfeld über eine Anbausaison; Annahmen: 5 Jahre Nutzungsdauer der Mehrwegschläuche, teilweises Recycling metallischer Werkstoffe, ausschließlich thermische Verwertung von Kunststoffen; dieselgetriebene Bewässerungspumpe; weitere Annahmen gemäß Tab. 1; für die Wirkungsabschätzung wurde die gängige Methode ReCiPe 2016 v1.1 Midpoint (H) bzw. ReCiPe 2016 v1.1 (H/H), ohne biogenen C angewandt.

Wirkungskategorie	Indikatoreinheit	Tropfbewässerung Mehrwegschläuche	Tropfbewässerung Einwegschläuche
Eutrophierung von Gewässern	kg P-Äq.	-0,02	-0,02
Feinstaubbildung	kg PM2.5-Äq	1,0	0,8
Globales Erwärmungspotenzial	kg CO ₂ -Äq. (GWP100)	989	834
Ozonbildung: Wirkung auf die menschliche Gesundheit	kg NO _x -Äq.	3,0	2,3
Ozonbildung: Wirkung auf terrestrische Ökosysteme	kg NO _x -Äq.	2,9	2,3
Terrestrische Ökotoxizität	kg 1,4-DCB-Äq.	5.290	4.590
Terrestrische Versauerung	kg SO ₂ -Äq.	2,3	1,9
Verbrauch metallischer Ressourcen	kg Cu-Äq.	4,9	3,9
Verbrauch fossiler Ressourcen	kg Öl-Äq.	328	272
Schutzgut			
Menschliche Gesundheit	Gewichtete Personen-Äq.	39.900	33.500

Rund drei Viertel der aggregierten Umweltbelastung sind auf die Herstellung, Lieferung und Entsorgung der Tropfbewässerungssysteme zurückzuführen (Abb. 2: ausgefüllte blaue Säulen). Auf den diesbezüglichen Unterschied von Einweg- und Mehrwegschläuchen ΔC in Abb. 2) wird ausführlich in Kapitel 6 eingegangen.

In Abb. 2 orange umrandet (jeweils zweite Säule von links) ist die Umweltbelastung aufgetragen, welche auf den Transport, das Verlegen und das Bergen der Tropfbewässerungssysteme zurückgeht: diese ist für die wiederverwendbaren

Tropfschläuche etwa doppelt so hoch wie für die Einwegschläuche (Vergleiche Tab. 1), für die Gesamtbilanz jedoch nicht ausschlaggebend. Von erheblicher Bedeutung für die nutzungsbedingten Umweltwirkungen und das ökobilanzielle Ergebnis insgesamt ist hingegen die Bereitstellung der Pumpenergie: gegenüber einer dieselgetriebenen Pumpe lassen sich mit einer aus dem Stromnetz versorgten elektrischen Pumpe die nutzungsbedingten Umweltwirkungen um knapp 90 Prozent (Vergleiche Abb. 2: ΔA) bzw. die gesamten Umweltwirkungen um rund ein Fünftel verringern.

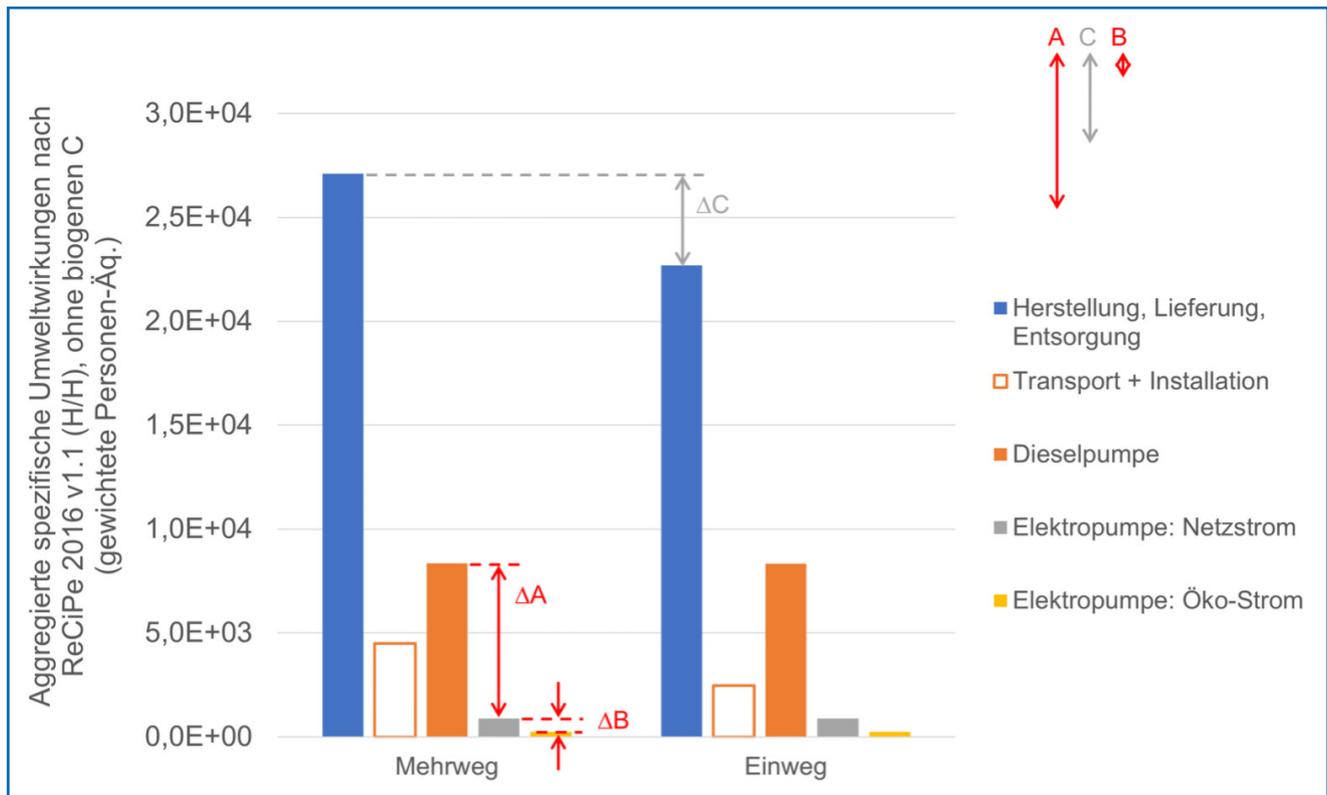


Abb. 2: Gegenüberstellung der herstellungsbedingten und der nutzungsbedingten aggregierten Umweltwirkungen für die beiden Alternativen der Tropfbewässerung (Mehrwegschläuche bei fünfmaliger Verwendung oder Einwegschläuche) für drei verschiedene Szenarien der Bereitstellung von Pumpenergie; die Doppelpfeile rechts oben dienen als Hilfestellung zum Größenvergleich.

6. Mehrweg- vs. Einweg-Tropfschläuche

Die Ergebnisse der vorgestellten Ökobilanz für die Herstellung, Lieferung und Entsorgung von wiederverwendbaren bzw. Einweg-Tropfschläu-

chen folgen dem typischen, in der Literatur beschriebenen Profil von Kunststoffprodukten: die Umweltwirkungen sind geprägt vom Material-

einsatz je Produktzyklus in Verbindung mit der Nutzungsdauer. Ein Produktzyklus entspricht im vorliegenden Fall der funktionalen Einheit, also dem einjährigen Anbau von Kartoffeln auf einem Hektar mit Bewässerung. Im Folgenden wird die spezifische Umweltbelastung durch die Herstellung und Entsorgung der Mehrwegschläuche mit derjenigen der Einwegschläuche verglichen. Hieraus lässt sich ableiten, wie oft die Mehrwegschläuche wiederverwendet werden müssen, um deren deutlich höheren Materialaufwand ökologisch zu rechtfertigen. Des Weiteren wird betrachtet, welchen Einfluss hierbei die Entsorgungswege für die Tropfschläuche haben.

In Abb. 3 ist das Verhältnis ausgewählter spezifischer Umweltwirkungen von Mehrweg- und Einwegschläuchen in Abhängigkeit von der Nutzungsdauer der Mehrwegschläuche dargestellt. Für eine gewöhnliche Nutzungsdauer

der Mehrwegschläuche von fünf Jahren, d. h. eine viermalige Wiederverwendung nach der Anschaffung und ersten Nutzung, ist das Verhältnis größer eins (siehe senkrechten roten Pfeil in Abb. 3). Dies bedeutet, dass die Mehrwegschläuche umgerechnet pro Jahr eine höhere Umweltbelastung verursachen als die Einwegschläuche. Im Fachjargon würde man sagen, dass bei fünfmaliger Verwendung das Mehrwegsystem noch nicht ökologisch effizient ist. Um Gleichheit bei den schädlichen Umweltwirkungen mit den Einwegschläuchen zu erzielen, müssten im Durchschnitt aller Anwendungen die Mehrwegschläuche rund sechs Mal verwendet werden. Bei siebenmaliger Verwendung, welche laut Erfahrungswerten eines Herstellers bei entsprechend sorgfältiger Bergung und Reinigung praktisch möglich ist, wird Verhältnis der spezifischen Umweltwirkungen von Mehrweg- und Einwegschläuchen deutlich kleiner eins.

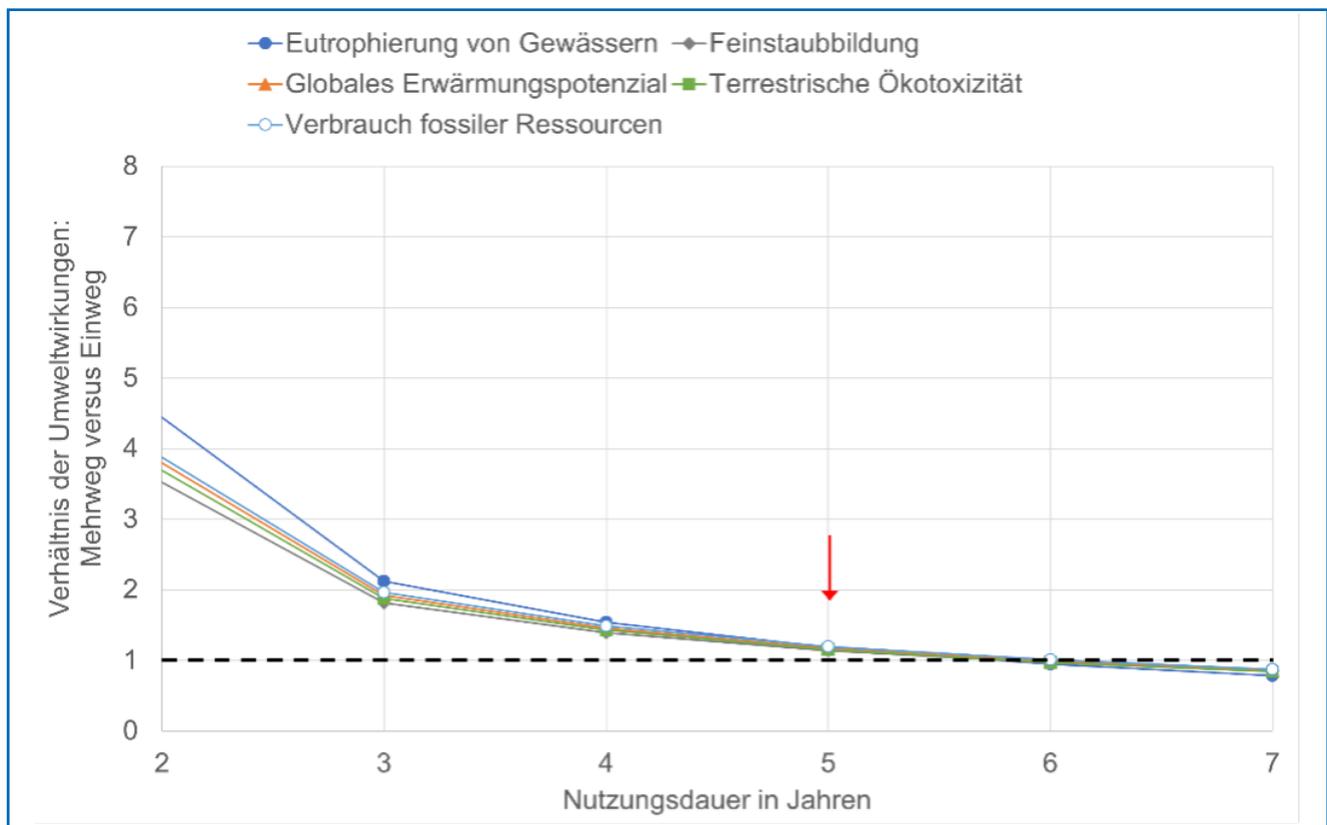


Abb. 3: Verhältnis der Umweltwirkungen der Mehrweg-Tropfschläuche gegenüber Einwegschläuchen in Abhängigkeit von der Nutzungsdauer für fünf verschiedene Wirkungskategorien; Annahme: Entsorgung der gesamten Masse an Polyethylen aus den Tropfschläuchen durch thermische Verwertung; der senkrechte rote Pfeil markiert die gewöhnliche Nutzungsdauer der Mehrwegschläuche von fünf Jahren.

Die Werte in Abb. 3 gelten für den Fall, dass die Tropfschläuche aus Polyethylen nach der Nutzung keinem Recycling, sondern einer energetischen Verwertung im Müllheizkraftwerk zugeführt werden. Für das Szenario eines anteiligen Recyclings des Polyethylens aus dem gebrauchten Schlauchmaterial zur Herstellung neuer Tropfschläuche ergibt sich für einzelne Umweltwirkungen eine deutliche Verbesserung des Ergebnisses für die Mehrwegschläuche. In Bezug auf die globale Erwärmung und die Ökotoxizität sind diese dann bereits bei fünfmaliger Verwendung umweltschonender als die Einwegschläuche. Für die aggregierte Umweltwirkung auf die menschliche Gesundheit ändert das Recycling jedoch das Ergebnis nicht wesentlich. Ein führender Hersteller berichtet über ein funktionierendes System für das Einsammeln und Recyceln von Einweg-Tropfschläuchen in Kalifornien. Hierzulande wird hingegen in der Regel das gebrauchte Tropfschlauchmaterial noch keinem

stofflichen Recycling zugeführt.

Anders als das Verhältnis der Umweltwirkungen von Mehrweg- und Einwegschläuchen verändert sich hingegen die absolute Umweltbelastung durch Herstellung und Entsorgung im Szenario eines direkten Recyclings des Abfall-Polyethylens aus den Tropfschläuchen sehr deutlich: diese wird jeweils in etwa halbiert (Abb. 4)! Für den hypothetischen Fall, dass die Mehrwegschläuche nach Wiederverwendung rezykliert würden, die Einwegschläuche hingegen nicht, ergäbe sich für Erstere eine deutlich günstigere Ökobilanz (Vergleiche Abb. 4: $\Delta D \gg \Delta C$). Ein weiterer interessanter Befund besteht darin, dass der Effekt des PE-Recyclings auf die Umweltbelastung durch das gesamte Produktsystem größer ist als derjenige einer Umstellung von einer dieselmotorgetriebenen auf eine elektrisch angetriebene Bewässerungspumpe ($\Delta D > \Delta A$).

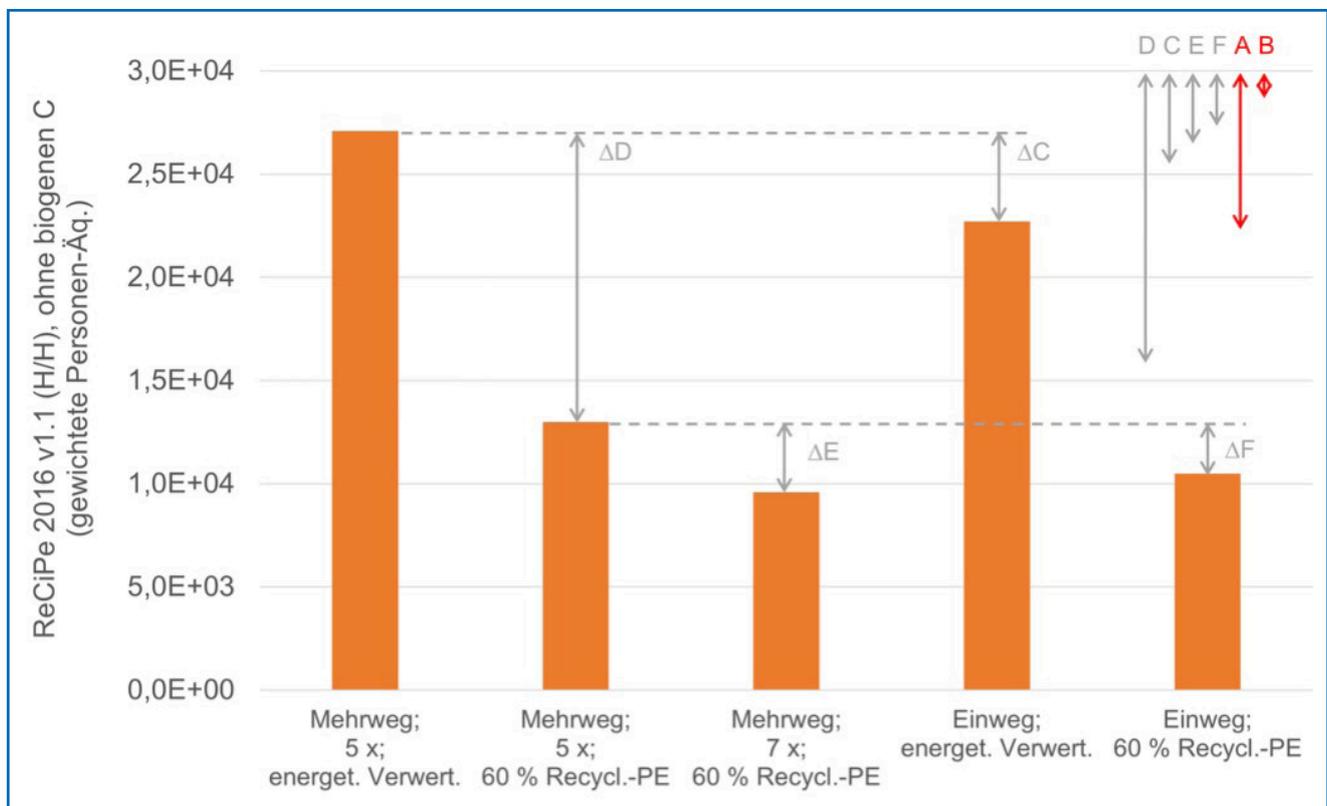


Abb. 4: Gegenüberstellung der herstellungsbedingten aggregierten Umweltwirkungen der Tropfschlauchsysteme für verschiedene Szenarien der Entsorgung sowie eine fünf- oder siebenmalige Verwendung der Mehrwegschläuche; die Doppelpfeile rechts oben dienen als Hilfestellung zum Größenvergleich (Vergleiche auch Abb. 2).

Wie bereits erwähnt, kann aus den hier vorgestellten Ergebnissen keine Aussage über mögliche schädliche Umweltwirkungen durch den Eintrag von Plastikpartikeln in die Umwelt abgeleitet werden. Gegenüber der Berechnung besteht beim Verfahren der Tropfbewässerung prinzipbedingt ein wesentlich höheres Risiko des Eintrags von Kunststoffpartikeln in den Ackerboden: es werden Schläuche in sehr großen Längen verlegt, welche direkt mit dem Erdreich in Kontakt stehen. Insbesondere bei Maßnahmen zur Beikrautregulierung und bei

der Bergung der Tropfschläuche kann Kunststoff abgerieben oder abgeschert werden; es wird auch von Leckagen durch Verbiss berichtet. Beim Einsatz von Einwegschläuchen dürfte der Kunststoffeintrag tendenziell höher sein, da diese weniger stabil sind und bei deren Bergung in der Regel weniger sorgfältig vorgegangen wird. Welche Mengen an Kunststoffen auf diese Weise in die entsprechenden Anbauflächen eingetragen werden und ob hierdurch langfristig schädliche Umweltwirkungen auftreten, kann derzeit jedoch nicht seriös beurteilt werden.

7. Fazit

Im vorliegenden Beratungsblatt wird die Frage behandelt, ob die niedrigeren Anschaffungs- und Arbeitskosten der Verwendung von Einwegschläuchen bei der Tropfbewässerung mit nachteiligen Umweltwirkungen einhergehen. Zu diesem Zweck wurde eine detaillierte Lebenszyklusanalyse / Ökobilanzierung für das Verfahren der Tropfbewässerung durchgeführt. Die Berechnungen basieren auf dem Anbau von Kartoffeln, wurden jedoch in Bezug auf die Anbaufläche ausgewertet, so dass die prinzipiellen Aussagen zum Vergleich von Einweg- vs. Mehrweg-Tropfschläuchen unabhängig von der angebauten Kultur gelten.

Etwa ein Viertel der Umweltwirkungen der Tropfbewässerung wird durch den Bewässerungsvorgang verursacht, sofern eine dieselmotorgetriebene Pumpe zum Einsatz kommt. Kann eine elektrische Pumpe eingesetzt und ans Stromnetz angeschlossen werden, verringert sich die nutzungsbedingte Umweltbelastung um knapp 90 Prozent bzw. die gesamte Umweltbelastung des Produktsystems um rund ein Fünftel. Ebenfalls sehr deutlich wirken sich die Entsorgungswege für das gebrauchte Schlauchmaterial aus: für ein Szenario, in welchem das Abfall-Polyethylen anteilig zur Herstellung neuer Tropfschläuche rezykliert wird, halbiert sich in etwa die kumulierte Umweltbelastung durch Herstellung und Entsorgung der Tropfschläuche

gegenüber dem Fall einer ausschließlichen energetischen Verwertung der Kunststoffabfälle in einem Müllheizkraftwerk.

Der ökobilanzielle Vergleich von Einweg- vs. Mehrweg-Tropfschläuchen wird bei Annahme gleicher Entsorgungswege im Wesentlichen von zwei Faktoren geprägt: 1.) dem um ein Vielfaches höheren Materialeinsatz für die Mehrwegschläuche, da diese robuster ausgeführt sein müssen, und 2.) der Anzahl der Verwendungen der Mehrwegschläuche. Im Basisfall einer fünfmaligen Verwendung der Mehrwegschläuche ergibt sich ein leichter ökobilanzieller Vorteil der Einwegschläuche; bei sechsmaliger Verwendung der Mehrwegschläuche werden annähernd gleich große Umweltwirkungen wie beim Gebrauch von Einwegschläuchen erreicht, und erst eine siebenmalige Verwendung erzielt einen klaren ökobilanziellen Vorteil für das Mehrwegsystem.

In der Praxis kann die Skepsis gegenüber dem hohen Materialeinsatz an Kunststoffen und möglichen schädlichen Wirkungen durch den Eintrag von Plastikpartikeln in die Umwelt ein Argument gegen den Einsatz der Tropfbewässerung sein. Diesbezüglich lässt sich vermuten, dass beim Einsatz von Einweg-Tropfschläuchen der Kunststoffeintrag tendenziell höher ausfällt, da diese weniger stabil sind.

Zudem wird bei der Bergung von Einwegschläuchen in der Regel weniger sorgfältig vorgegangen. Welche Mengen an Kunststoffen tatsächlich in die entsprechenden Anbauflächen eingetragen werden und ob hierdurch langfristig schädliche Umweltwirkungen auftreten, kann auf dem derzeitigen Stand des Wissens nicht verlässlich beurteilt werden.

Die für Tropfbewässerung zu Kartoffeln ermittelten Ergebnisse lassen sich sinngemäß auf den Einsatz von Tropfbewässerung zu anderen einjährigen Flächenkulturen übertragen.

Zitiervorlage: Effenberger, M. (2025): Tropfbewässerungsverfahren unter Umweltaspekten. In: Bewässerungsforum Bayern, Ausgabe 1 - 06/2025, Hrsg. ALB Bayern e. V., www.alb-bayern.de/bef24, Stand [Abrufdatum]



Arbeitsgemeinschaft Landtechnik und
Landwirtschaftliches Bauwesen (ALB)
in Bayern e. V.
Vöttinger Straße 36, 85354 Freising

Telefon	08161 / 887-0078
Telefax	08161 / 887-3957
E-Mail	info@alb-bayern.de
Internet	www.alb-bayern.de