



# Glaukom: ökologischer Vergleich von Einweg- und Mehrwegmesskörpern für die Applanations-tonometrie nach Goldmann

Daniel Maga<sup>1</sup> · Claudia Mariela Maga<sup>2</sup> · Eva Rühl<sup>3</sup> · Bettina Hohberger<sup>3</sup><sup>1</sup> Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT, Oberhausen, Deutschland<sup>2</sup> Klinik für Augenheilkunde – Universitätsklinikum Essen, Essen, Deutschland<sup>3</sup> Augenklinik, Universitätsklinikum Erlangen, Erlangen, Deutschland

## Zusammenfassung

**Hintergrund:** Die Messung des intraokularen Druckes (IOD) nach Goldmann stellt den Goldstandard für die Tonometrie in der Glaukomdiagnostik dar. Der Einsatz von Mehrweg- anstelle von Einwegmesskörpern hat hierbei das Potenzial, Umweltwirkungen zu reduzieren und einen positiven Beitrag zur Circular Economy zu leisten.

**Ziel der Arbeit:** Das Ziel dieser Studie war es, den ökologischen Mehrwert von Mehrweg- im Vergleich zu Einwegmesskörpern für die Applanations-tonometrie nach Goldmann zu analysieren, um das Potenzial zur Reduktion der Umweltwirkungen in Krankenhäusern und Arztpraxen zu quantifizieren.

**Material und Methoden:** Zur Bewertung der potenziellen Umweltwirkungen der Verwendung von Einweg- und Mehrwegmesskörpern für die Applanations-tonometrie nach Goldmann wurde eine Ökobilanz in Anlehnung an die ISO-Normen 14040/44 durchgeführt. Die produktspezifischen Treibhausgaseinsparungen wurden anschließend exemplarisch für eine Glaukomsprechstunde am Universitätsklinikum Erlangen sowie für Gesamtdeutschland skaliert.

**Ergebnisse und Diskussion:** Die Ergebnisse zeigen, dass sich durch den Wechsel von Einweg- zu Mehrwegmesskörpern 44 % der mit den Messkörpern assoziierten Treibhausgasemissionen einsparen lassen. Absolut betragen die Treibhausgaseinsparungen 5,6 g CO<sub>2</sub>-Äq. pro IOD-Messung. Für das Universitätsklinikum Erlangen ergeben sich pro Jahr 117 kg CO<sub>2</sub>-Äq. Einsparungen und für Deutschland bis zu 22 t CO<sub>2</sub>-Äq. bzw. Treibhausgasemissionen von 212 Passagierflügen von Berlin nach Rom. Zudem hat die Analyse gezeigt, dass Mehrwegmesskörper durch den Reinigungsaufwand in einigen Umweltwirkungskategorien zu Mehrbelastungen führen. Besonders relevant sind hier die Desinfektionsflasche und die Tücher, die zum Trocknen der Mehrwegmesskörper verwendet werden. In Summe ist ein Wechsel von Einweg- auf Mehrwegmesskörper aus Umweltsicht sinnvoll.

### Schlüsselwörter

Ökobilanz · LCA · Nachhaltigkeit · Intraokularer Druck · Glaukom

### Zusatzmaterial online

Zusätzliche Informationen sind in der Online-Version dieses Artikels (<https://doi.org/10.1007/s00347-026-02384-1>) enthalten.

Teile dieses Beitrages werden in dem Buch *Nachhaltigkeit in der Augenheilkunde* veröffentlicht.

Die Autoren E. Rühl und B. Hohberger teilen sich die Letztautorenschaft.



QR-Code scannen & Beitrag online lesen

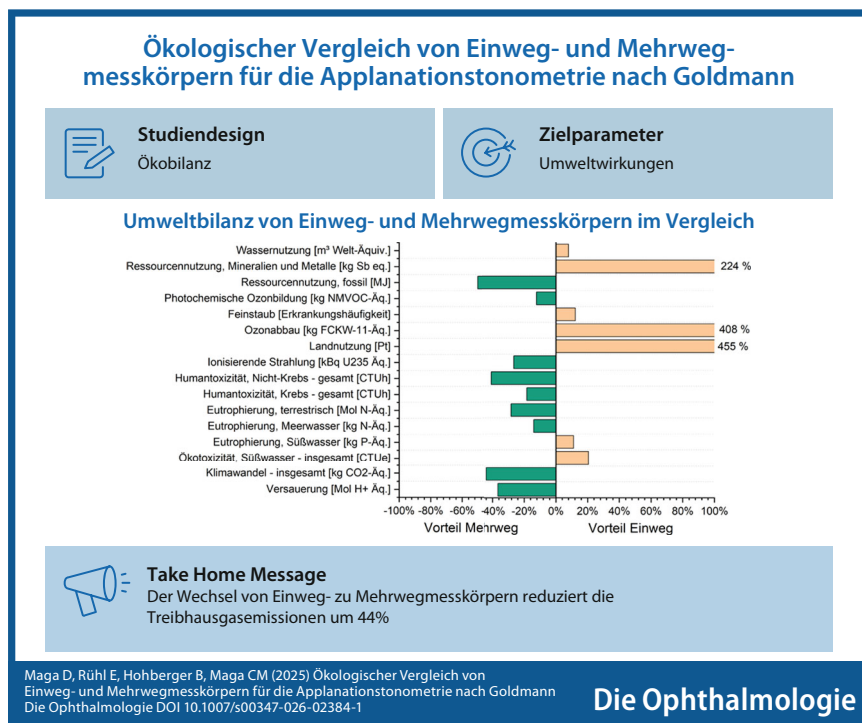
## Highlights

### Hintergrund und Fragestellung

Die Glaukomerkrankung stellt in den Industrienationen eine der häufigsten Ursachen (6,6 %) für eine irreversible Erblindung dar und wird zu den Volkskrankheiten gerechnet [3]. Die komplexe Pathogenese der Erkrankung ist bis auf den heutigen Tag nicht vollständig geklärt. Man kennt neben dem pathologisch erhöhten intraokularen Druck (IOD), dem Hauptrisikofaktor der Erkrankung, weitere Risiko-

dition dar und wird zu den Volkskrankheiten gerechnet [3]. Die komplexe Pathogenese der Erkrankung ist bis auf den heutigen Tag nicht vollständig geklärt. Man kennt neben dem pathologisch erhöhten intraokularen Druck (IOD), dem Hauptrisikofaktor der Erkrankung, weitere Risiko-

## Graphic abstract



faktoren, die multifaktoriell zu dem Krankheitsgeschehen beitragen. Die Hauptstrategie der Therapie zielt darauf ab, den IOD auf ein individuell angepasstes Druckniveau zu senken. Damit kommt dem IOD eine zentrale Rolle in der Glaukomdiagnostik und Therapie zu. Die Goldmann-Applanationstonometrie (GAT) stellt in der Versorgung von Glaukompatienten den Goldstandard zur Messung des IODs dar. Hierbei kann auf verschiedene Messkörper (Einweg vs. Mehrweg) zurückgegriffen werden. Im Gegensatz zu den Einwegmesskörpern, die für den Einmalgebrauch konzipiert sind, können die Mehrwegmesskörper erneut verwendet werden. Bedenkt man, dass bei den 40- bis 80-Jährigen weltweit ca. 2,5–3,5 % an Glaukom erkranken [29, 37] und allein in Deutschland geschätzt knapp 1.000.000 Menschen (Referenzjahr 2022) mit Glaukom diagnostiziert wurden [36], kommt dem Aspekt der Nachhaltigkeit in der Tonometrie bei Glaukompatienten eine bedeutende Rolle zu. Aktuelle Hochrechnungen gehen sogar davon aus, dass die Glaukomerkrankung zukünftig noch mehr an Bedeutung gewinnen wird [36].

Mit dem Green Deal haben die EU und ihre Mitgliedstaaten die Verpflichtung an-

genommen, die Netto-Treibhausgasemissionen in der EU bis zum Jahr 2030 um mindestens 55 % gegenüber 1990 zu senken und bis 2050 klimaneutral zu werden. Zudem sollen die biologische Vielfalt und die Ökosysteme geschützt werden, Luft-, Wasser- und Bodenverschmutzung verringert und die Kreislaufwirtschaft ausgebaut werden. Nach Pichler et al. [23] verursachte das deutsche Gesundheitswesen im Jahr 2019 ca. 6 % der gesamten Treibhausgasemissionen, was ca. 0,8 t CO<sub>2</sub>-Äquivalenten pro Person entspricht. Der Einsatz von Mehrweglösungen kann zur Reduktion von Umweltwirkungen und zur Stärkung der Kreislaufwirtschaft beitragen.

In der Ophthalmologie werden, wie im gesamten Gesundheitswesen, aus Gründen wie z. B. der Vermeidung von Kontaminationsrisiken, hauptsächlich Einwegprodukte eingesetzt. So entfallen bei Medizinprodukten ca. 90 % der erzeugten Abfälle auf Einwegprodukte [27]. Die Umstellung von Einweg- auf Mehrwegprodukte in der Medizin hat das Potenzial, Umweltwirkungen zu reduzieren [16, 26]. Zudem haben Studien gezeigt, dass Einwegprodukte wie beispielsweise die persönliche Schutzkleidung, Abdeckungen, Verbrauchsmaterialien und Werkzeuge in einigen klinischen

Räumen, wie z. B. Operationssälen, bis zu 80 % der Treibhausgasemissionen verursachen [25]. Eine generelle Aussage zur Umweltfreundlichkeit von Mehrwegprodukten ist jedoch nicht möglich, da oftmals die Rahmenbedingungen, wie z. B. die Nutzungshäufigkeit, der Reinigungsaufwand etc., darüber entscheiden, ob Mehrweglösungen aus ökologischer Sicht zu bevorzugen sind. Zudem fehlen LCA-Studien zu ophthalmologischen Verbrauchsmaterialien.

Ziel dieser Studie ist, mittels Ökobilanzierung zu analysieren, inwieweit die Verwendung von Mehrweg- anstelle von Einwegmesskörpern für die Applanationstonometrie nach Goldmann [11] zur Reduzierung der Umweltwirkungen in Krankenhäusern und Arztpraxen in Deutschland beitragen kann.

## Material und Methoden

### Ziel und Untersuchungsrahmen der Ökobilanz

Als Bewertungsmethode wurde eine Ökobilanz in Anlehnung an die ISO-Normen 14040/44 durchgeführt [7, 8]. Diese besteht aus den 4 Schritten: 1) Festlegung von Zielstellung und Untersuchungsrahmen, 2) Erstellung einer Sachbilanz (die Datenerhebung), 3) die Wirkungsabschätzung (Bewertung der potenziellen Umweltwirkungen) sowie 4) die Interpretation der Ergebnisse.

Das vorrangige Ziel bestand darin, die potenziellen Umweltwirkungen von Einweg- und Mehrwegmesskörpern für die Applanationstonometrie nach Goldmann zu quantifizieren und zu vergleichen. Darüber hinaus sollen ökologische Hotspots identifiziert werden, also die Frage beantwortet werden, welche Prozesse zum größten Anteil zu den Umweltwirkungen beitragen. Zudem sollen aus den Ergebnissen Empfehlungen abgeleitet werden.

### Untersuchungsraum

Für die vergleichende Bewertung der Nutzung von Einweg- bzw. Mehrwegmesskörpern zur Messung des IODs mittels Applanationstonometrie nach Goldmann wurden nicht alle für die IOD-Messungen notwendigen Prozesse bilanziert, da sich v. a. zwischen den beiden Varianten die Art



**Abb. 1** ◀ a Untersuchungsraum der bilanzierten Prozesse für die einzelne Messung des IODs mittels Einwegmesskörper. b Untersuchungsraum der bilanzierten Prozesse für die einzelne Messung des IODs mittels Mehrwegmesskörper

des Messkörpers unterscheidet. Der wesentliche Unterschied zwischen der Nutzung von Mehrweg- und Einwegmesskörpern besteht darin, dass der Mehrwegmesskörper nach jeder Nutzung desinfiziert werden muss und der Einwegmesskörper nach jeder Nutzung entsorgt wird. Die **Abb. 1a, b** zeigen die in der Bilanzierung berücksichtigten Prozesse.

Die Nutzung von Produkten, die in beiden Varianten der Messung des IODs identisch verwendet werden, gehen nicht in die Analyse ein; dazu zählen: Oberflächenanästhetikum, Fluoreszenzteststreifen, Natriumchlorid, Wattestäbchen, Zellen, Desinfektionsmittel zur Händedesinfektion, Desinfektionstücher zur Desinfektion der Spaltlampe und die Funktionseinheit.

### Funktionelle Einheit

Um einen fairen Vergleich zwischen 2 Verfahren oder Produkten zu ermöglichen, werden in Ökobilanzen sog. funktionelle Einheiten definiert. Die funktionelle Einheit quantifiziert den „Nutzen eines Produktsystems für die Verwendung als Vergleichseinheit“ [7]. Der Nutzen in dieser Fallstudie besteht darin, dass für die Messung des IODs ein Messkörper zur Verfügung gestellt wird, der sowohl die technischen Anforderungen als auch die hygienischen Anforderungen erfüllt. Neben der Bereitstellung der Messkörper müssen diese einschließlich der Verpackungen entsorgt werden.

Die funktionelle Einheit wird daher definiert als: „Herstellung und Entsorgung eines Messkörpers (Einweg oder Mehrweg) für die einzelne Messung des IODs mittels Applanationsstometrie“. Im Fall der Mehrwegmesskörper kann die Herstellung des Messkörpers durch die Desinfektion des Messkörpers ersetzt werden.

### Auswahl Wirkungskategorien

Für die Berechnung der potenziellen Umweltauswirkungen werden die vom Product- and Organization-Environmental Footprint (PEF) ausgewählten Wirkungsabschätzungsmethoden (EF Version 3.1) verwendet [10]. Diese *Wirkungsabschätzungsmethoden werden von der Europäischen Kommission und der Gemeinsamen Forschungsstelle empfohlen, um die Umweltleistung eines Produkts während seines gesamten Lebenszyklus zu messen* [9].

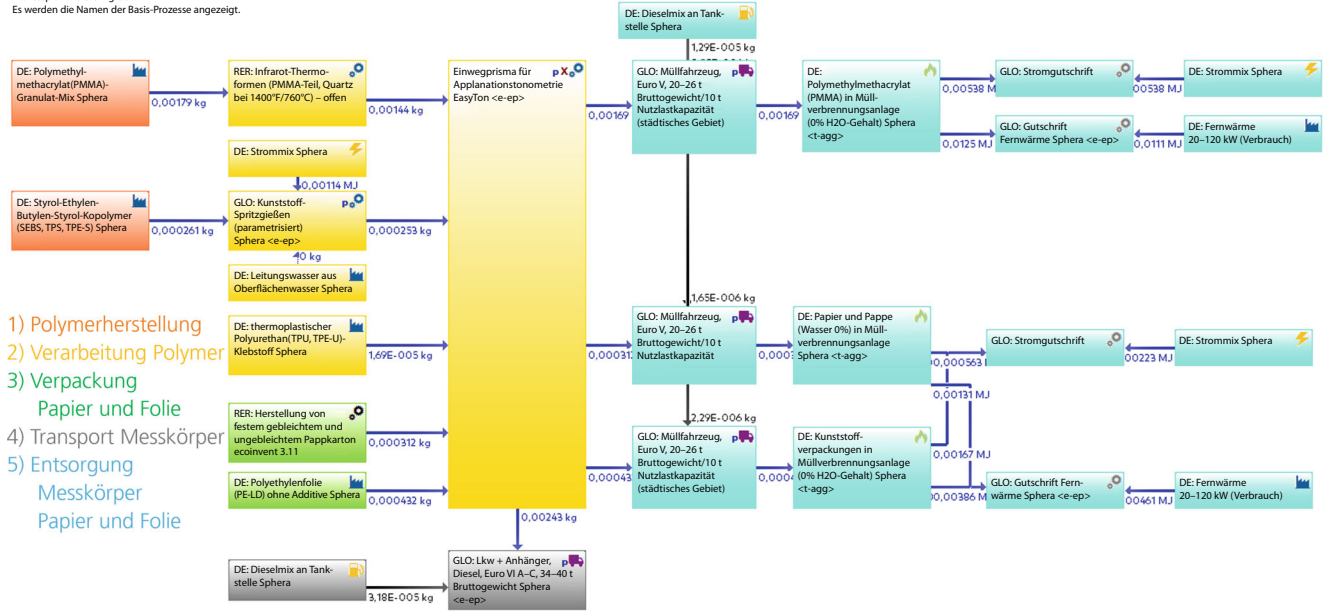
### Datenerhebung (Sachbilanz)

Als Basis der Bewertung potenzieller Umweltwirkungen dienen Massen- und Energiebilanzen des zu untersuchenden Systems. Diese schließen die Extraktion von Rohstoffen, Material- und Energiebedarfe sowie Emissionen in Luft, Boden und Wasser ein. Der Materialbedarf wurde mithilfe einer Präzisionswaage quantifiziert. Für einen Großteil der Massen- und Ener-

gieflüsse wurden von der DEKRA geprüfte LCA-Datensätze der Sphera MLC-Datenbank verwendet [28]. Diese enthalten bereits die Information, wie viel Treibhausgase beispielsweise bei der durchschnittlichen Erzeugung von 1 kWh Strom oder bei der Erzeugung von 1 kg Plexiglas (PMMA) entstehen.

Das Gewicht aller Produkte wurde mittels Feinwaage (Firma KERN & SOHN GmbH [Balingen, Deutschland], Model ABJ 120-4NM) unter standardisierten Bedingungen erhoben. Der in dieser Studie untersuchte Einwegmesskörper der Marke EasyTon (Frastema Ophthalmics Easyopht Group S.r.l., Varese, Italien) hat ein Gewicht von 1,69 g und besteht zu 85% aus Plexiglas (PMMA) und zu 15% aus einem thermoplastischen Elastomer (TF9FMA). Für die Bilanzierung des Einwegmesskörpers wurden zudem Verarbeitungsverluste sowie Aufwendungen in der Verarbeitung der Kunststoffe zum Messkörper berücksichtigt. Als Klebstoff wurde ein thermoplastisches Polyurethan angenommen. Der Einwegmesskörper wird in einer Verpackung aus Papier (0,31 g) und Kunststoffolie (0,43 g) verpackt und via Lkw von Solbiate Olona (Italien) nach Erlangen (620 km) transportiert. Nach dessen Nutzung werden sowohl der Messkörper als auch die Verpackung über den Restmüll entsorgt. Es wird angenommen, dass beide in einer Müllverbrennungsanlage mit

Einwegmesskörper für die Applanationstonometrie  
 Prozessplan: Referenzgrößen  
 Es werden die Namen der Basis-Prozesse angezeigt.



**Abb. 2** ▲ Ökobilanzmodell zur Bilanzierung der Herstellung und Entsorgung eines Einwegmesskörpers für die einzelne Messung des IODs mittels Applanationstonometrie. DE Deutschland, GLO Welt, RER Europa

Energierückgewinnung verbrannt werden. Der erzeugte Strom und die Fernwärme werden dem System gutgeschrieben. Das heißt, dass der erzeugte Strom den deutschen Strommix substituiert und die erzeugte Wärme den deutschen Fernwärmemix ersetzt. Eine Zusammenfassung der verwendeten Daten befindet sich im Anhang in Tabelle A-1. Das Ökobilanzierungsmodell einschließlich der Massen- und Energieflüsse sowie der verwendeten LCA-Datensätzen ist in **Abb. 2** dargestellt (eine höhere Auflösung der Abbildung befindet sich im Anhang in Abbildung B-1).

Der bilanzierte Mehrwegmesskörper wurde von der Firma Haag-Streit aus der Schweiz bezogen [12]. Als empfohlene Nutzungsdauer gibt der Hersteller 2 Jahre an. Es wird angenommen, dass ein Mehrwegmesskörper im Durchschnitt ca. 500-mal wiedergenutzt wird, bis er entsorgt wird. Der Hersteller macht keine genauen Aussagen zum verwendeten Material des Messkörpers. Aufgrund der optischen Qualität (Transparenz) und Langlebigkeit trotz der Beanspruchung durch Desinfektionsmittel nehmen wir an, dass es sich um ein Hochleistungsthermoplasten wie Polysulfon handelt. Der Messkörper hat ein Gewicht von 1,7 g. Der Mehrwegmesskörper ist in einer Polyethy-

lenterephthalat(PET)-Verpackung (25,5 g) mit Papiereinleger (7,7 g) verpackt und wird von Kölniz (Schweiz) nach Erlangen via Lkw transportiert. Nach jeder Nutzung wird der Messkörper mit einem Desinfektionsschaum desinfiziert und zur Trocknung in eine Polypropylen(PP)-Kunststoffschale (2000 Nutzungen) mit einem Papiertuch (1,2 g) gelegt. Beim Desinfektionsschaum handelt es sich um Tristel Duo OPH [32]. Es werden pro Desinfektion 3 Hübe des Schaums verwendet, was 1,6 g entspricht. Der Schaum wird aus 2 Komponenten hergestellt: einer Basislösung, die Zitronensäure enthält (5,26 %), und einer Aktivatorlösung, die Natriumchlorit (0,5 %) enthält [31]. Beim Betätigen des Schäumers werden beide Komponenten miteinander vermischt und erzeugen Chlordioxid (ClO<sub>2</sub>), das desinfizierend wirkt. Zudem enthalten die Lösungen Tenside, welche die Schaumbildung begünstigen. Tristel Duo wird in einer 132 g schweren zweigeteilten Hartpolyethylen(HDPE)-Flasche ausgeliefert. Insgesamt enthält die Flasche 250 ml Lösungen, was 310 Hüben bzw. 103 Desinfektionen entspricht. Insgesamt entstehen HDPE-Abfälle durch die Tristel Duo-Flasche, Papierabfälle durch das Tuch, PP-Abfälle durch die Kunststoffschale, Abfälle durch den Messkörper am Ende seines Lebenszyklus sowie PET- und

Papierabfälle durch die Verpackung des Mehrwegmesskörpers. Eine Zusammenfassung der verwendeten Daten befindet sich im Anhang in Tabelle A-2. Die **Abb. 3** zeigt das Ökobilanzmodell für die Mehrwegmesskörper, welches in der Software „LCA for Experts“ erstellt wurde (eine höhere Auflösung der Abbildung befindet sich im Anhang in Abbildung B-2).

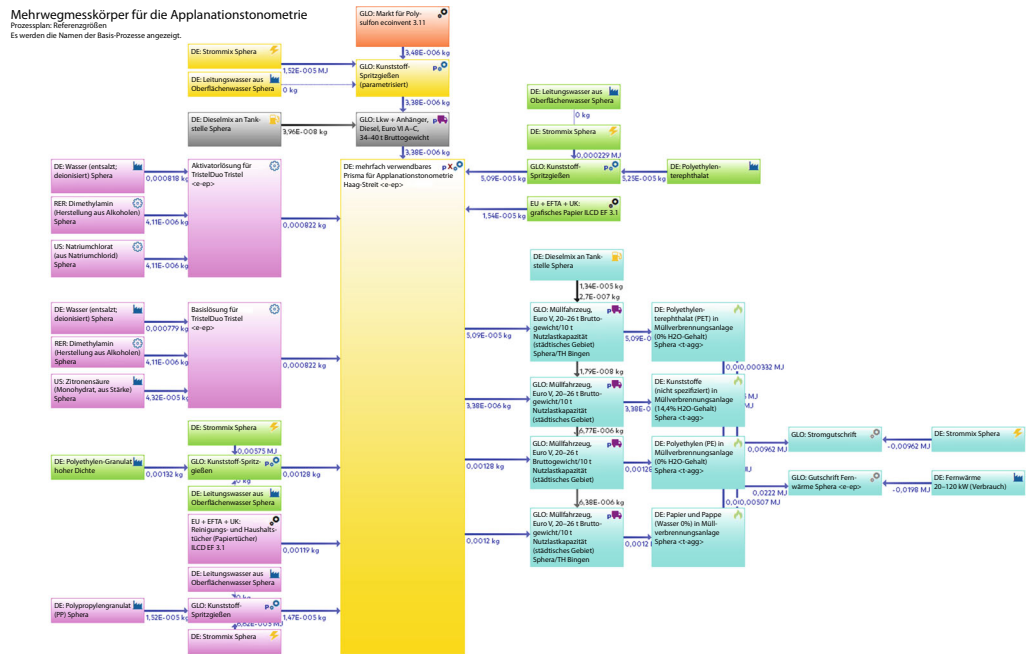
### Datenerhebung zur Anzahl der Messungen des IODs nach Goldmann

Die Erfassung der Patientenanzahl in der Glaukomsprechstunde der Augenklinik des Universitätsklinikums Erlangen erfolgte im Zeitraum von Kalenderwoche (KW) 44 im Jahr 2023 bis KW 31 im Jahr 2024. Berücksichtigt wurde die Anzahl an Patienten über 18 Jahren, welche einen Termin in der ambulanten Glaukomsprechstunde wahrnahmen. Die Messung des IODs erfolgte in der Sprechstunde applanatorisch. Die Anzahl der Messungen wurde linear auf ein Jahr hochskaliert.

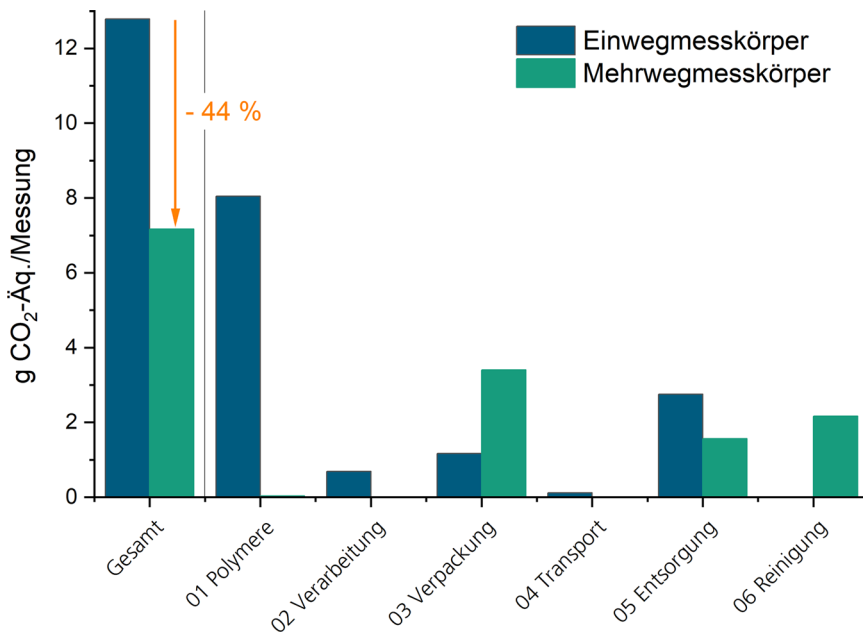
### Ergebnisse der Umweltwirkungsabschätzung

Beim Einwegmesskörper entstehen im Lebenszyklus pro IOD-Messung ca. 12,8 g

- 1) Polymerherstellung
- 2) Verarbeitung Polymer
- 3) Verpackung
  - HDPE-Flasche für Desinfektionsschaum
- 4) Transport
- 5) Entsorgung
  - Messkörper
  - HDPE-Flasche für Desinfektionsschaum
  - Zellstoffpfeletuch
- 6) Reinigung
  - Desinfektionsschaum
  - Zellstoffpfeletuch
  - Kunststoffschale



**Abb. 3** ▲ Ökobilanzmodell zur Bilanzierung der Herstellung und Entsorgung eines Mehrwegmesskörpers für die einzelne Messung des IODs mittels Applanationstonometrie. *DE* Deutschland, *GLO* Welt, *EU* Europa, *US* USA, *UK* Vereinigtes Königreich, *EFTA* European Free Trade Association (Europäische Freihandelsassoziation)



**Abb. 4** ▲ Vergleich der Treibhausgasemissionen von Einweg- und Mehrwegmesskörpern pro funktioneller Einheit

CO<sub>2</sub>-Äq. (Abb. 4). Der Großteil der Treibhausgasemissionen (68%) entsteht bei der Herstellung und Verarbeitung der Polymere zum Messkörper. Weitere 9% entstehen bei der Herstellung der Verpackung und 22% bei der Entsorgung des Messkörpers und der Verpackung. Der Transport des

Messkörpers macht nur 1% der Treibhausgasemissionen aus.

Der Mehrwegmesskörper verursacht pro Messung ca. 7,2 g CO<sub>2</sub>-Äq. Durch die 500-fache Wiedernutzung des Mehrwegmesskörpers verursachen die Herstellung, der Transport und die Entsorgung des Messkörpers 0,5% der Treibhausgasemissionen.

Dafür verursachen die Herstellung und Entsorgung der Tristel Duo-Flasche ca. 69% der Treibhausgasemissionen. Die Herstellung des Kosmetiktuchs und des Desinfektionsschaums sind für 30% der Treibhausgasemissionen verantwortlich.

Auch in den anderen Wirkungskategorien zeigt sich, dass im Fall des Einwegmesskörpers die Herstellung der Polymere die Umweltwirkungen dominiert (rote Säulen in Abb. 5). In einigen Umweltwirkungskategorien wie Eutrophierung (Süßwasser), Landnutzung und Ozonabbau verursacht der Papieranteil der Verpackungen einen Großteil der Umweltwirkungen. Die thermische Verwertung des Messkörpers und dessen Verpackung führen abgesehen von den Wirkungskategorien Klimawandel und Wassernutzung zu Entlastungen der Umweltwirkungen. Diese entstehen dadurch, dass die in der Müllverbrennungsanlage erzeugte Energie den deutschen Strom- und Fernwärmemix ersetzt. Der Transport des Messkörpers spielt aus Umweltsicht keine Rolle.

Bei den Mehrwegmesskörpern zeigt sich ein anderes Bild. Hier dominiert in den meisten Umweltwirkungskategorien die Reinigung der Messkörper (v. a. durch das Tuch) und die Herstellung der Tristel Duo-Flasche die Umweltwirkungen. Die

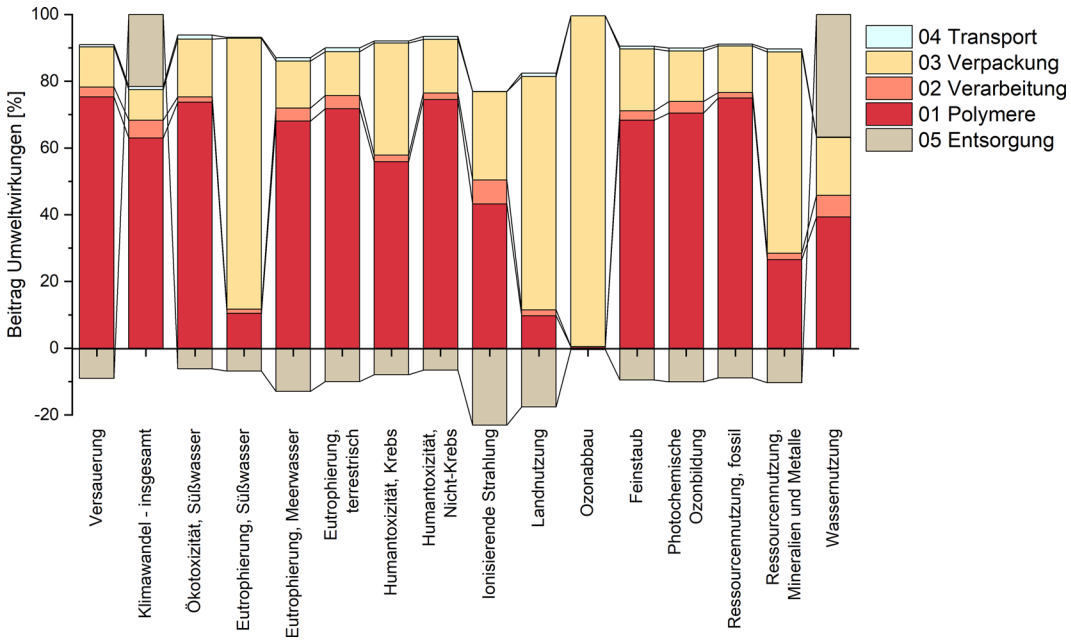


Abb. 5 ◀ Beitragsanalyse der potenziellen Umweltwirkungen von Einwegmesskörpern

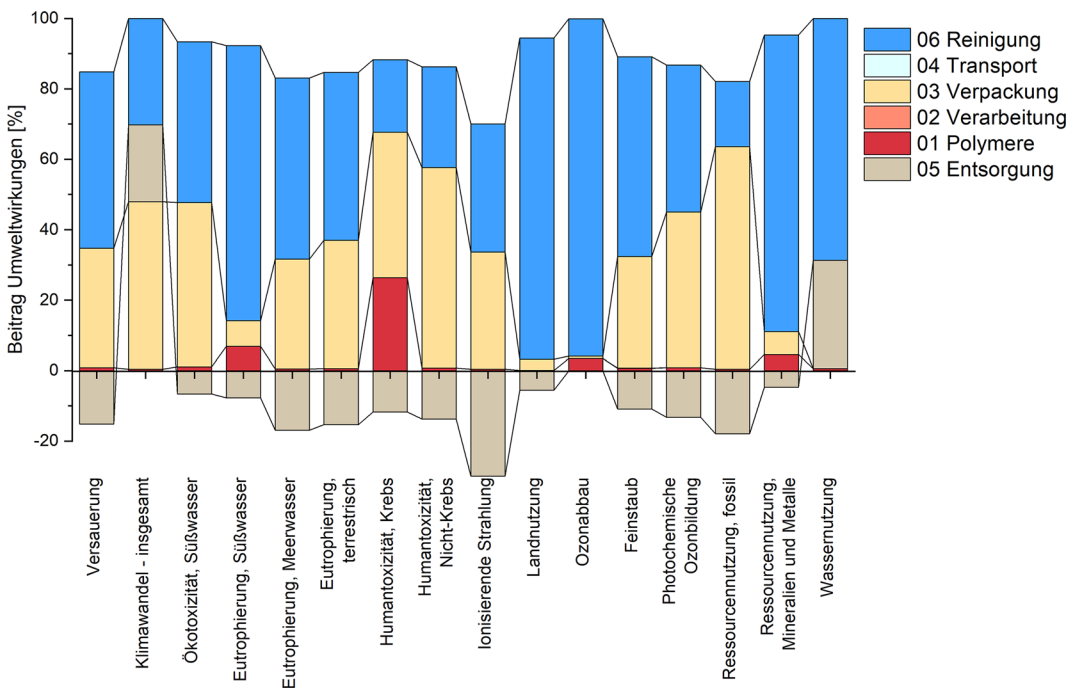


Abb. 6 ◀ Beitragsanalyse der potenziellen Umweltwirkungen von Mehrwegmesskörpern

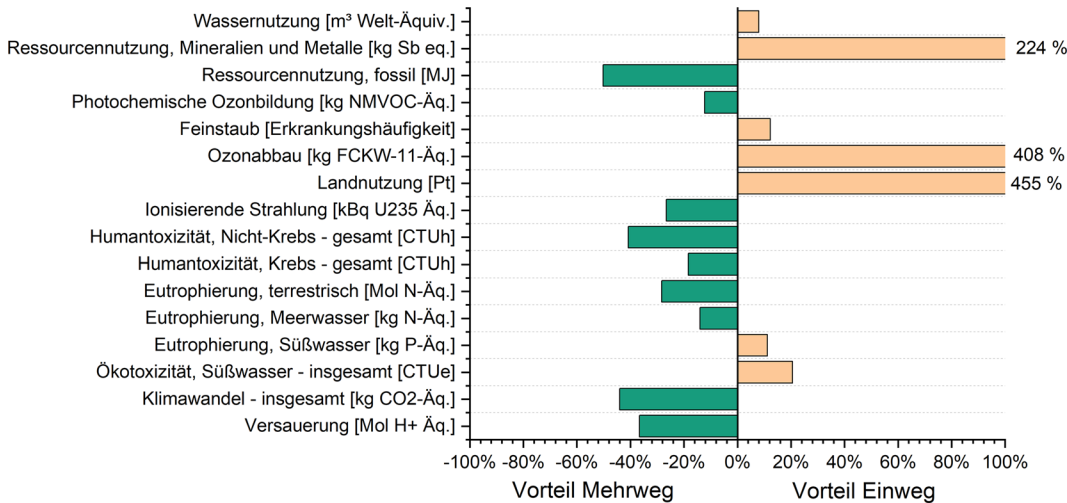
Herstellung des Desinfektionsschaums, welches in „Reinigung“ inkludiert ist, trägt nur geringfügig (<5%) zu den Umweltwirkungen bei. Potenzielle ökotoxische Wirkungen durch Abbauprodukte des Desinfektionsschaums (Chlordioxid) wurden in der LCA nicht berücksichtigt. Die Herstellung des Polymers für die Herstellung des Mehrwegmesskörpers trägt zu knapp einem Drittel der humantoxischen Wirkungen (karzinogen) bei. Ansonsten trägt der Messkörper nur geringfügig zu

den analysierten Umweltwirkungen bei (Abb. 6).

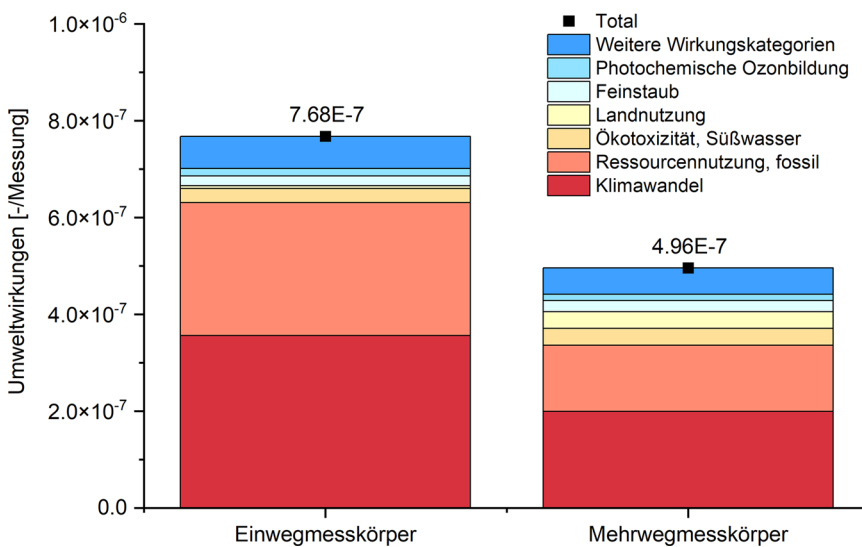
Der Vergleich der Umweltwirkungen zwischen Mehrweg- und Einwegmesskörpern (Abb. 7) zeigt, dass die Mehrwegmesskörper geringere Umweltwirkungen aufweisen in den Kategorien Versauerung, Klimawandel, Eutrophierung (Meerwasser, terrestrisch), Humantoxizität, photochemische Ozonbildung und fossile Ressourcennutzung, wohingegen die Einwegmesskörper Vorteile aufweisen in den Kategorien

Ökotoxizität, Eutrophierung (Süßwasser), Landnutzung, Ozonabbau, Feinstaub, Ressourcennutzung (Mineralien und Metalle) und Wassernutzung.

Im Fall von Trade-offs zwischen Umweltwirkungen besteht der Wunsch, die Ergebnisse weiter zu verdichten, um die wesentlichen Umweltwirkungen zu identifizieren und um eine eindeutige Entscheidungsgrundlage zu generieren. Gemäß der Product Environmental Footprint (PEF)-Methode lassen sich die Ergebnisse auf



**Abb. 7** ◀ Vergleich der Umweltwirkungen von Mehrweg- und Einwegmesskörpern pro funktio-  
neller Einheit



**Abb. 8** ▲ Vergleich der Umweltwirkungen von Mehrweg- und Einwegmesskörpern nach Normierung  
und Gewichtung der Ergebnisse

die durchschnittlichen Umweltwirkungen eines europäischen Bürgers normieren und mittels Gewichtungsfaktoren, die die Relevanz der Umweltwirkungskategorien widerspiegeln, gewichten. Das Ergebnis sind dimensionslose Umweltpunkte, die aufsummiert werden können (■ **Abb. 8**).

Zu erkennen ist, dass die gesamten Umweltwirkungen einer Messung mit Mehrwegmesskörpern 35% geringer sind als die von Einwegmesskörpern. Die dominierenden Umweltwirkungen sind die Klimawirkung und der Verbrauch fossiler Ressourcen. Zudem tragen ökotoxikologische Wirkungen, Feinstaub, photochemische Ozonbildung („Sommersog“) und Landnutzung zu den gesamten Umweltwirkungen bei. Die anderen Wirkungskategorien verur-

sachen in Summe zwischen 4 und 7% der Umweltwirkungen. Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die Nutzung von Mehrwegmesskörpern klare Umweltvorteile gegenüber der Nutzung von Einwegmesskörpern aufweist.

### Ökobilanz für das Real-Life-Setting (Universitätsklinikum und Gesamtdeutschland)

In der Glaukomsprechstunde der Augenklinik des Universitätsklinikums Erlangen wurden im Untersuchungszeitraum von 39 Wochen im Durchschnitt 57 IOD-Messungen pro Tag mittels Applanationstonometrie nach Goldmann durchgeführt. Dies entspricht ca. 20.800 IOD-Messungen pro Jahr und einer Treibhausgasreduktion von

117 kg CO<sub>2</sub>-Äq. durch die Verwendung von Mehrwegmesskörpern. Diese Treibhausgasemissionseinsparungen entsprechen einer PKW-Fahrstrecke von 1018 km unter Berücksichtigung der durchschnittlichen CO<sub>2</sub>-Emission bei Fahrzeugzulassungen in Deutschland im Jahr 2021 (114,9 g CO<sub>2</sub>/km) [17].

Für Gesamtdeutschland wird angenommen, dass es sich um 979.455 Patienten mit Glaukomerkrankung handelt [15, 36]. Im Durchschnitt werden pro Patient und Jahr 4 IOD-Messungen durchgeführt. Unter der Annahme, dass im niedergelassenen Bereich für die IOD-Messung bei Glaukompatienten die Applanationstonometrie nach Goldmann anstelle der Non-Contact-Tonometrie (NCT) angewandt wird, entspräche dies 3,9 Mio. Messungen und Treibhausgaseinsparungen in Höhe von ca. 22 t CO<sub>2</sub>-Äq./Jahr oder 192.000 Pkw-km. In Flügen ausgedrückt, entspräche dies 212 Passagierflügen von Berlin nach Rom (bei einem durchschnittlichen Kerosinverbrauch einer A320/B737 von 33 kg pro Strecke und Passagier).

### Diskussion

Die Messung des IODs spielt in der Glaukomdiagnostik und Therapie eine zentrale Rolle. Sowohl für die Diagnosestellung als auch für die konservative oder chirurgische Therapieentscheidung und deren Monitoring wird die standardisierte Applanationstonometrie nach Goldmann verwendet. Angesichts der Bedeutung der Glaukomerkrankung als Volkskrankheit gewinnen auch Nachhaltigkeitskonzepte zuneh-

mend an Relevanz. Daher war es das Ziel der vorliegenden Studie, einen ökologischen Vergleich von Einweg- und Mehrwegmesskörpern zu erstellen und diese exemplarisch für eine Glaukomsprechstunde an einer Universitätsaugenklinik sowie anschließend für Gesamtdeutschland zu skalieren. Die ökologische Bewertung hat gezeigt, dass Mehrweg- im Vergleich zu Einwegmesskörpern Umweltwirkungen reduzieren können. Ein wesentlicher Grund dafür ist die vielfache Nutzung der Messkörper, sodass die Umweltwirkung der Herstellung und Entsorgung in Bezug auf eine IOD-Messung stark reduziert werden kann. Zur gleichen Erkenntnis kommt eine LCA-Studie zum Vergleich von Einweg- und Mehrwegmedizinprodukten in den USA [5]. In dieser Studie wurde ein Einsparpotenzial von 44% der Treibhausgase berechnet. Die absoluten Einsparungen der Treibhausgasemissionen lassen sich berechnen durch die spezifischen Einsparungen pro IOD-Messung (5,6 g CO<sub>2</sub>-Äq.) und der Anzahl der durchgeführten IOD-Messungen. Die geringen Treibhausgaseinsparungen resultieren aus den sehr geringen Gewichten der Messkörper von ca. 1,7 g. Der Wechsel von Einweg- zu Mehrwegmesskörpern ist aus Klimasicht dennoch ein Schritt in die richtige Richtung. Zudem besteht – entgegen nicht evidenzbasierter Meinungen – bei korrekt durchgeführter Desinfektion des Mehrwegmesskörpers mit chlorbasierten Oxidations-Desinfektionsmitteln kein erhöhtes Infektionsrisiko [13].

Die Analyse hat zudem gezeigt, dass bei den Mehrwegmesskörpern insbesondere die Desinfektionsmittelflasche und die Verwendung von Papiertüchern zum Trocknen der Messkörper nach Desinfektion umweltrelevant sind und in einigen Umweltwirkungskategorien zu Höherbelastungen im Vergleich zu Einwegmesskörpern führen. Daraus resultierende weiterführende Ansätze, die Umweltwirkungen zu reduzieren, wären daher größere Gebinde für den Desinfektionsschaum (besseres Material-zu-Volumen-Verhältnis) und die Reduktion der Papiertücher bei gemeinsamer Reinigung mehrerer Messkörper unter Berücksichtigung der Praktikabilität. Zudem wäre zu untersuchen, ob die individuelle Benetzung jedes einzelnen Messkörpers oder mehrerer Messkörper zusammen mit

dem Desinfektionsschaum bei gleicher Effektivität die Umweltwirkungen reduzieren könnte. Auch zu prüfen wäre, ob das separate Ablegen jedes einzelnen Messkörpers in einer PP-Kunststoffschale mit Tuch (wie in den obigen Berechnungen) tatsächlich erforderlich ist. Eine weitere Option wäre die Wiederaufbereitung und erneute Nutzung der Desinfektionsmittelflasche durch den Hersteller. Dazu müssten ein Take-back-System und ein Aufbereitungsprozess entwickelt werden. Zu beachten ist, dass auch andere Methoden zur Desinfektion verwendet werden, die im Rahmen dieser Studie nicht untersucht wurden.

Zusätzlich anzumerken ist, dass die untersuchten Wirkungskategorien unterschiedlich belastbar sind. Gemäß Pant et al. bestehen höhere methodische Unsicherheiten in den Kategorien Landnutzung, Wassernutzung, Ressourcennutzung (fossil als auch Mineralien und Metalle), Ökotoxizität und Humantoxizität [22]. Dies sind tendenziell die Umweltwirkungskategorien, in denen Vorteile für die Einwegmesskörper berechnet wurden. Unsicherheiten bestehen auch bezüglich der Wiedernutzungsrate. Auch wenn die angenommene 500-fache Nutzung auf eine 100-fache Nutzung reduziert würde, würde dies die Ergebnisse nicht beeinflussen, da die Umweltwirkung der Herstellung pro Nutzungszyklus vernachlässigbar bleibt.

Der CO<sub>2</sub>-Fußabdruck wird weiterhin als ein relevanter Umweltindikator angesehen. Bedenkt man, dass sich der Klimawandel auf die Gesundheit der meisten Bevölkerungen auswirken und das Wohlbefinden von Milliarden von Menschen beeinflussen wird, wird deutlich, dass der Klimaschutz als prioritäres Ziel für das 21. Jahrhundert angesehen werden kann [4]. Die hohe Relevanz der Klimawirkung spiegelt sich auch in den normierten und gewichteten Ergebnissen wider. So verursacht der Klimawandel beim Einwegmesskörper 46% der Umweltwirkungen und beim Mehrwegmesskörper 40% der Umweltwirkungen [1, 6, 18, 20, 21, 31, 34–36]. Im Speziellen fallen in der Ophthalmologie bei Operationen große Mengen an CO<sub>2</sub>-Emissionen an [19, 34]. Am Beispiel der Kataraktoperation (z. B. Reduktion der Kunststoffe in Verpackungsmaterialien) [14, 18,

20, 30, 33, 35] und der intravitrealen Injektionen [2, 21, 24] konnten bereits Einsparungsoptionen identifiziert werden, die zu einer Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen beitragen könnten.

Sowohl für den chirurgischen als auch für den konservativen Bereich der Ophthalmologie bietet es sich an, einen Blick in das Positionspapier zur ökologischen Nachhaltigkeit zu werfen, welches neben einer Analyse zum Ist-Zustand auch konkrete Handlungsempfehlungen für Ophthalmologen in Deutschland beinhaltet [6].

Es wäre wünschenswert, wenn Strategien zur Erreichung der Klimaziele in allen Bereichen des alltäglichen Lebens, einschließlich in der Ophthalmologie, Einzug halten würden [1].

### Fazit für die Praxis

Die Umstellung von Einweg- auf Mehrwegmesskörper lässt sich einfach umsetzen und trägt zur Reduktion von Treibhausgasemissionen und Umweltwirkungen bei. Zudem besteht – entgegen nicht evidenzbasierter Meinungen – bei korrekt durchgeführter Desinfektion des Mehrwegmesskörpers mit chlorbasierten Oxidationsdesinfektionsmitteln kein erhöhtes Infektionsrisiko. Um einen möglichst großen positiven Beitrag zu leisten, sollte in den Krankenhäusern und Arztpraxen darauf geachtet werden, dass bei der Trocknung nach Desinfektion möglichst wenig Papier verbraucht wird. So lassen sich die Einsparungen weiter steigern und Trade-offs in anderen Umweltwirkungskategorien reduzieren.

Auch wenn die Fallstudie gezeigt hat, dass Mehrwegmesskörper nicht in allen untersuchten Umweltwirkungen Vorteile aufweisen, überwiegen insgesamt die Umweltvorteile, sodass ein Wechsel von Einweg- auf Mehrwegmesskörper aus Umweltsicht zu befürworten ist.

## Korrespondenzadresse



## Daniel Maga

Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT  
Osterfelder Str. 3, 46047 Oberhausen,  
Deutschland  
daniel.maga@umsicht.fraunhofer.de

**Förderung.** Open Access Funding wurde durch den DEAL der Fraunhofer Gesellschaft ermöglicht; BH wurde unterstützt von dem Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt (BMFTR, 01EO2105, iIMMUNE\_ACS).

**Funding.** Open Access funding enabled and organized by Projekt DEAL.

**Datenverfügbarkeit.** Die erhobenen Datensätze sind im Artikel zu finden.

## Einhaltung ethischer Richtlinien

**Interessenkonflikt.** D. Maga und C.M. Maga geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht. E. Rühl und B. Hohberger erhielten 2023 den 2. Preis des DOG pura Award – Ideenwettbewerb für Nachhaltigkeit in der Augenheilkunde, gestiftet von der Stiftung Auge.

Für diesen Beitrag wurden von den Autor/-innen keine Studien an Menschen oder Tieren durchgeführt. Für die aufgeführten Studien gelten die jeweils dort angegebenen ethischen Richtlinien.

**Open Access.** Dieser Artikel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden. Die in diesem Artikel enthaltenen Bilder und sonstiges Drittmaterial unterliegen ebenfalls der genannten Creative Commons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende nichts anderes ergibt. Sofern das betreffende Material nicht unter der genannten Creative Commons Lizenz steht und die betreffende Handlung nicht nach gesetzlichen Vorschriften erlaubt ist, ist für die oben aufgeführten Weiterverwendungen des Materials die Einwilligung des jeweiligen Rechteinhabers einzuholen. Weitere Details zur Lizenz entnehmen Sie bitte der Lizenzinformation auf <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>.

## Glaucoma: ecological comparison of disposable and reusable measuring bodies for applanation tonometry according to Goldmann

**Background:** The measurement of intraocular pressure (IOP) according to Goldmann is the gold standard for tonometry in glaucoma diagnostics. The use of reusable instead of disposable products has the potential to reduce the environmental impact and make a positive contribution to the circular economy.

**Objective:** The aim of this study was to analyze the ecological added value of reusable in comparison to disposable measuring devices for Goldmann applanation tonometry in order to quantify the potential reduction in environmental impact in hospitals and medical practices.

**Material and methods:** To assess the potential environmental impact of the use of disposable and reusable measuring instruments for applanation tonometry according to Goldmann, a life cycle assessment was conducted in accordance with ISO standards 14040/44. The product-specific greenhouse gas savings were then scaled as an example for a glaucoma consultation at Erlangen University Hospital and for Germany as a whole.

**Results and conclusion:** The results show that 44% of the greenhouse gas emissions associated with the measuring bodies can be saved by switching from disposable to reusable measuring bodies. In absolute terms, the greenhouse gas savings amount to 5.6 g CO<sub>2</sub>-eq. per IOP measurement. For the University Hospital Erlangen, this already results in savings of 117 kg CO<sub>2</sub>-eq. per year and up to 22 t CO<sub>2</sub>-eq. for Germany or greenhouse gas emissions equivalent to 212 passenger flights from Berlin to Rome. The analysis also showed that reusable measuring devices lead to additional pollution in some environmental impact categories due to the cleaning effort. In this context the disinfectant bottle and the wipes used for drying the measuring devices are particularly relevant. Overall, switching from disposable measuring devices to reusable measuring devices makes sense from an environmental perspective.

### Keywords

Life cycle assessment · LCA · Sustainability · Intraocular pressure · Glaucoma

## Literatur

- Birtel J, Heimann H, Hoerauf H et al (2022) Nachhaltigkeit in der Augenheilkunde: Adaptation an die Klimakrise und Mitigation. *Ophthalmologie* 119(6):567–576
- Birtel J, Hammer M, Feltgen N et al (2024) Intravitreale Injektionen: Nachhaltigkeit durch Reduktion von Klinikabfall. *Klin Monbl Augenheilkd* 241(10):1156–1162
- Bourne RRA, Taylor HR, Flaxman SR et al (2016) Number of People Blind or Visually Impaired by Glaucoma Worldwide and in World Regions 1990–2010: A Meta-Analysis. *PLoS One* 11(10):e0162229
- Costello A, Abbas M, Allen A et al (2009) Managing the health effects of climate change: *Lancet* and University College London Institute for Global Health Commission. *Lancet* 373(9676):1693–1733
- Deschamps J (2023) Comparative Carbon Footprint of Reprocessed Single Use Medical Devices
- Deutsche Ophthalmologische Gesellschaft, Berufsverband der Augenärzte Deutschlands e.V. (2023) Positionspapier und Handlungsempfehlungen für eine ökologisch nachhaltige Augenheilkunde. *Ophthalmologie* 120(1):52–68
- DIN Umweltmanagement – Ökobilanz – Anforderungen und Anleitungen (ISO 14044:2006 + Amd 1:2017 + Amd 2:2020); Deutsche Fassung EN ISO 14044:2006 + Amd 1:2017 + Amd 2:2020 13.020.10(14044). Beuth Verlag GmbH, Berlin
- DIN Umweltmanagement – Ökobilanz – Grundsätze und Rahmenbedingungen (ISO 14040:2006 + Amd 1:2020); Deutsche Fassung EN ISO 14040:2006 + A1:2020 13.020.10(14040). Beuth Verlag GmbH, Berlin
- European Commission (2021) Commission Recommendation (EU) 2021/2279 of 15 December 2021 on the use of the Environmental Footprint methods to measure and communicate the life cycle environmental performance of products and organisations
- European Commission (2022) Developer Environmental Footprint (EF). <https://eplca.jrc.ec.europa.eu/LCDN/developerEF.html>. Accessed 29.4.2024
- Goldmann H, Schmidt T (1957) Über Applanationstonometrie. *Ophthalmologica* 134(4):221–242
- Haag Streit (2024) Reusable Goldmann measuring prisms. <http://www.hs-fe.com/haag-streit-diagnostics/tonometry/tonometer-prisms>
- Junk AK, Chen PP, Lin SC et al (2017) Disinfection of Tonometers: A Report by the American Academy of Ophthalmology. *Ophthalmology* 124(12):1867–1875
- Kallay O, Sadad R, Zafzafi A et al (2024) Cataract surgery and environmental sustainability: a comparative analysis of single-use versus reusable cassettes in phacoemulsification. *BMJ Open Ophthalmol* 9(1)
- Kapetanakis VV, Chan MPY, Foster PJ et al (2016) Global variations and time trends in the prevalence of primary open angle glaucoma

- (POAG): a systematic review and meta-analysis. *Br J Ophthalmol* 100(1):86–93
16. Keil M, Viere T, Helms K et al (2023) The impact of switching from single-use to reusable healthcare products: a transparency checklist and systematic review of life-cycle assessments. *Eur J Public Health* 33(1):56–63
  17. Kraftfahrt-Bundesamt (2024) Pressemitteilung Nr. 01/2024. [https://www.kba.de/SharedDocs/Downloads/DE/Pressemitteilungen/DE/2024/pm\\_01\\_2024\\_fahrzeugzulassungen\\_12\\_2023.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=4](https://www.kba.de/SharedDocs/Downloads/DE/Pressemitteilungen/DE/2024/pm_01_2024_fahrzeugzulassungen_12_2023.pdf?__blob=publicationFile&v=4)
  18. McCance E, Steinbach I, Morris DS (2025) Comparative carbon footprinting study of reusable vs. disposable instruments in cataract surgery. *Eye (Lond)* 39(8):1481–1485
  19. Morris B, Tauber J, Rai A et al (2025) Waste and Greenhouse Gas Emissions Produced from Ophthalmic Surgeries: A Scoping Review. *Int J Environ Res Public Health* 22(51)
  20. Morris DS, Wright T, Somner JEA et al (2013) The carbon footprint of cataract surgery. *Eye (Lond)* 27(4):495–501
  21. Ong AY, Buckley TMW, Birtel J et al (2025) Towards greener intravitreal injections: the Oxford Eye Hospital experience. *Eye (Lond)* 39(13):2489–2491
  22. Pant R, Zampori L (2019) Suggestions for updating the organisation environmental footprint (OEF) method. Publications Office of the European Union, Luxembourg
  23. Pichler P-P, Jaccard IS, Hanewinkel L et al. (2022) Sachbericht zum Projekt Evidenzbasis Treibhausgasemissionen des deutschen Gesundheitswesens, Potsdam
  24. Power B, Brady R, Connell P (2021) Analyzing the Carbon Footprint of an Intravitreal Injection. *J Ophthalmic Vis Res* 16(3):367–376
  25. Rizan C, Lillywhite R, Reed M et al (2023) The carbon footprint of products used in five common surgical operations: identifying contributing products and processes. *J R Soc Med* 116(6):199–213
  26. Schulte A, Maga D, Thonemann N (2021) Combining Life Cycle Assessment and Circularity Assessment to Analyze Environmental Impacts of the Medical Remanufacturing of Electrophysiology Catheters. *Sustainability* 13(2):898–898
  27. Sousa AC, Veiga A, Maurício AC et al (2021) Assessment of the environmental impacts of medical devices: a review. *Environ Dev Sustain* 23(7):9641–9666
  28. Sphera (2024) Sphera Managed LCA Content. <https://lcadatabase.sphera.com/>
  29. Tham YC, Li X, Wong TY et al (2014) Global prevalence of glaucoma and projections of glaucoma burden through 2040: a systematic review and meta-analysis. *Ophthalmology* 121(11):2081–2090
  30. Thiel CL, Schehlein E, Ravilla T et al (2017) Cataract surgery and environmental sustainability: Waste and lifecycle assessment of phacoemulsification at a private healthcare facility. *J Cataract Refract Surg* 43(11):1391–1398
  31. Tristel (2024) High-level disinfectant foam for semi-critical medical devices used in ophthalmology. <https://tristel.com/ca-en/wp-content/uploads/sites/33/2023/10/TRI-DUO-699-1-Tristel-Duo-OPH-User-Guide-CA.pdf>
  32. Tristel (2024) High-Level-Desinfektionsschaum für ophthalmologische Medizinprodukte. <https://tristel.com/de-de/wp-content/uploads/sites/15/2020/12/Mkt-Bro-428-4-Tristel-Duo-OPH-Brochure-DE.pdf>
  33. Venkatesh R, van Landingham SW, Khodifad AM et al (2016) Carbon footprint and cost-effectiveness of cataract surgery. *Curr Opin Ophthalmol* 27(1):82–88
  34. Weisheit CK, Geerling G, Holz FG et al (2023) High-Impact Actions to Reduce the Carbon Dioxide Footprint in an Ophthalmic Operation Room: A Narrative Review. *Ophthalmologica* 246(3–4):169–173
  35. Wirbelauer C, Geerling G (2022) Ressourceneinsatz in der Kataraktchirurgie – Mehr Müll geht(n)immer. *Ophthalmologie* 119(6):561–566
  36. Wolfram C (2024) Die Epidemiologie des Glaukoms – eine altersassoziierte Erkrankung. *Klin Monbl Augenheilkd* 241(2):154–161
  37. Zhang N, Wang J, Li Y et al (2021) Prevalence of primary open angle glaucoma in the last 20 years: a meta-analysis and systematic review. *Sci Rep* 11(1):13762

**Hinweis des Verlags.** Der Verlag bleibt in Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutsadressen neutral.