



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz

Deutscher Verein des
Gas- und Wasserfaches e.V.



➔ www.dvgw-forschung.de

Erarbeitung eines DIN-Norm-Entwurfs für UV-LED-basierte Desinfektionsgeräte in der öffentlichen Trinkwasseraufbereitung (DINoLED)

Kurzfassung

Dr. Jutta Eggers
TZW: DVGW - Technologiezentrum Wasser, Karlsruhe

Herausgeber

DVGW Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e. V.

Technisch-wissenschaftlicher Verein

Josef-Wirmer-Straße 1–3

53123 Bonn

T +49 228 91885

F +49 228 9188990

info@dvgw.de

www.dvgw.de

**Erarbeitung eines DIN-Norm-Entwurfs für
UV-LED-basierte Desinfektionsgeräte in der
öffentlichen Trinkwasseraufbereitung
(DINoLED)**

Kurzfassung

Februar 2024

DVGW-Förderkennzeichen W 202105

Bundesministerium für Wirtschaft und
Klimaschutz Förderkennzeichen 03TN0024A

1 Einleitung

Das Projekt „Erarbeitung eines DIN-Norm-Entwurfs für UV-LED-basierte Desinfektionsgeräte in der öffentlichen Trinkwasseraufbereitung“ (DINoLED) wurde im Rahmen der Förderrichtlinie WIPANO (Wissens- und Technologietransfer durch Patente und Normen) beantragt.

Durch die gemeinsame Projektbearbeitung wurde die Zusammenführung von Entwicklungs- und Forschungsergebnissen der industriellen Partner (Xylem Services GmbH, ams OSRAM GmbH und Opsytec Dr. Gröbel GmbH) mit denen von deutschen Forschungseinrichtungen und Prüfstellen (Ferdinand-Braun-Institut, Physikalisch-Technische Bundesanstalt und TZW: DVGW-Technologiezentrum Wasser) durchgeführt. Zusätzlich wurde über Workshops der deutsche und internationale Industrie- und Forschungsbereich bezüglich UV-LEDs mit in die Erstellung der Prüfnorm einbezogen bzw. informiert.

Die entstandenen Normentwürfe wurden im Anschluss an die Projektlaufzeit dem Normungsausschuss Desinfektionsverfahren NA 119-07-15 AA zur Verfügung gestellt. Durch das Weiterarbeiten im Rahmen der DVGW-DIN Normungsgremien und letztendlich angestrebte Inkrafttreten der DIN Prüfnorm gelingt der Wissenstransfer von vorher vorhandenen und im Projekt aufgebautem Wissen in die Allgemeinheit.

2 Voraussichtlicher Nutzen

UV-LED werden bereits in Kleingeräten zur Wasserdesinfektion eingesetzt und bieten aufgrund ihres niedrigeren Energieverbrauchs und ihrer Lebensdauer ein enormes Potential für die Wasserdesinfektion. In Deutschland ist die Anwendung der UV-LED Technik zur Trinkwasserdesinfektion durch gesetzliche Vorgaben und technische Regeln jedoch beschränkt. Dies verhindert bislang noch den Einsatz dieser Technik in der Trinkwasserbranche.

Durch die europäische RoHS-Richtlinie besteht dringender Handlungsbedarf Leuchtmittel mit Quecksilberinhalt zu ersetzen, mit hoher Relevanz speziell für den Bereich der Wasserentkeimung. Der fortlaufende Einsatz von Quecksilberdampflampen ist zurzeit nur durch Berufung auf Ausnahmeregelungen möglich. Betroffen davon ist die gesamte nationale, wie europäische Trinkwasserbranche, die die UV-Technik zur Trinkwasserdesinfektion nutzt.

Die Erarbeitung einer entsprechenden Norm stellt somit die Grundvoraussetzung für die Entwicklung, Typprüfung, Zulassung und Markteinführung von Geräten für die Trinkwasserdesinfektion mit UV-LEDs als UV-Strahlungsquellen dar. Sie wurde bisher nicht zuletzt durch die große Anzahl an offenen, spezifischen Fragestellungen hinsichtlich der neuartigen UV-LEDs, dem zu erwartenden Anlagendesign und der spezifisch festzulegenden Überwachungsmöglichkeiten für LED-basierte Geräte verhindert.

Die weitere Bearbeitung des Normungsprojekts erfolgt im DVGW-DIN Gemeinschaftsbereich NA 119-07-15-02 (PK UV-Desinfektion). Bei erfolgreichem Inkrafttreten in voraussichtlichen wenigen Jahren haben alle Projektpartner mögliche wirtschaftliche Anschlussmöglichkeiten. Beispielsweise den Verkauf von LEDs, Desinfektionsreaktoren, Sensorik, Kalibrierdienste und Typprüfungen.

Wissenschaftlich werden die Ergebnisse der fertigen Norm voraussichtlich zeitnah in anderen Ländern übernommen. Auch im Projektzeitraum wurden von verschiedenen Interessengruppen wie der International Ultraviolet Association (IUVA) oder figawa bereits nach Input für interne Anwenderpapiere gebeten.

Ökologisch ermöglicht eine wissenschaftlich-technische akkurate Prüfnorm den Einsatz der in naher Zukunft voraussichtlich merklich energieeffizienteren LEDs, bzw. Reaktorbauformen. Dies wird langfristig zu einem verbesserten CO₂-Fußabdruck der öffentlichen Wasserversorgung führen.

3 Motivation – Rechtliche Anforderungen an die UV-Behandlung von Trinkwasser in der öffentlichen Trinkwasserversorgung

In Deutschland schreibt die amtliche „Liste der Aufbereitungsstoffe und Desinfektionsverfahren gemäß § 20 Trinkwasserverordnung“ vor (TrinkwV), dass für die UV-Bestrahlung von Trinkwasser ausschließlich geprüfte UV-Desinfektionsgeräte eingesetzt werden dürfen, für die nach DVGW Arbeitsblatt W 294-2 oder DIN 19294-1 (DIN 19294-1, 2020) eine Desinfektionswirksamkeit von mindestens 400 J/m² (bezogen auf 254 nm) nachgewiesen wurde. Bei dieser Fluenz wird, nach aktuellem Stand des Wissens, die für eine sichere Desinfektion erforderliche Reduktion von wasserrelevanten Krankheitserregern um mindestens 4 log-Stufen (99,99 %) erreicht (DVGW Arbeitsblatt W 294-1, 2006).

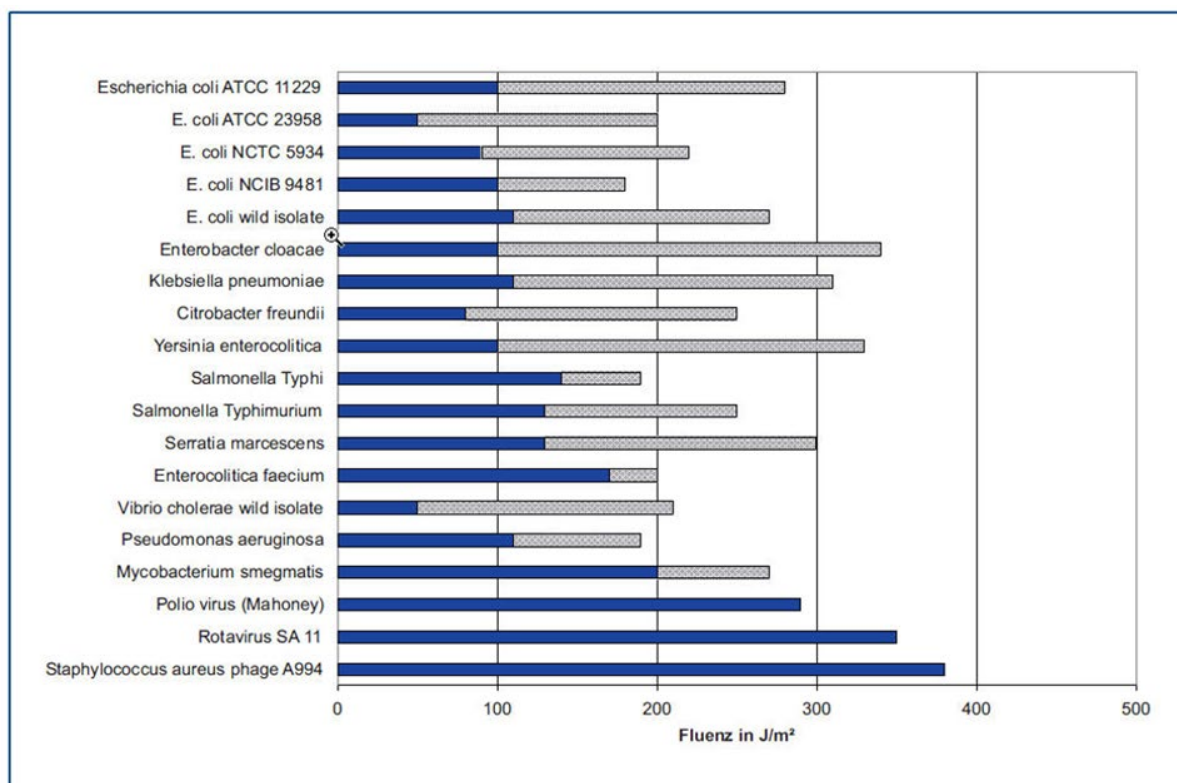


Abbildung 1.1: Inaktivierung von trinkwasserrelevanten Mikroorganismen mit Strahlung von 253,7 nm (mit und ohne Photoreaktivierung) um 4 log-Stufen (Hoyer 1996).

Die grundsätzlichen Anforderungen an UV-Geräte wie auch an das zu desinfizierende Wasser sind in der DVGW-Arbeitsblattreihe „UV-Geräte zur Desinfektion in der Wasserversorgung“ (DVGW Arbeitsblatt W 294-2, 2006) festgelegt. Diese definiert neben den Anforderungen an die Prüfung von UV-Desinfektionsgeräten auch Anforderungen an den Betrieb der Geräte. Die Reihe gliedert sich in folgende drei Teile:

Teil 1: legt die „Anforderungen an Beschaffenheit und Funktion von UV-Desinfektionsanlagen sowie deren Betrieb“ und Überwachung im Bereich der Wasserversorgung.

Teil 2: „Prüfung von Beschaffenheit, Funktion und Desinfektionswirksamkeit“ legt die geräte- und steuerungstechnischen Anforderungen an UV-Desinfektionsgeräte und die entsprechenden Prüfungsmodalitäten fest.

Teil 3: beschreibt die „Anforderungen an Messfenster und Sensoren zur radiometrischen Überwachung von UV-Geräten“ (DVGW Arbeitsblatt W 294-3, 2006).

Das österreichische „Arbeitsblatt zur Baumusterprüfung von UV-Reaktoren für den Einsatz zur Trinkwasserdesinfektion“ (ÖNORM M 5873-1&2, 2001) ist in großen Teilen bereits übereinstimmend mit den DVGW Arbeitsblättern W 294, Teil 1-3. Hier wurde in den Jahren 2012 bis 2019 eine Harmonisierung herbeigeführt, welche in Deutschland als DIN-Normen (DIN 19294-1, 2020), (DIN 19294-3, 2020) veröffentlicht wurden.

Sowohl das DVGW Arbeitsblatt W 294, Teil 2 als auch die überarbeitete Version DIN 19294, Teil 1 wurden spezifisch für Plasmalampen als Strahlungsquelle erarbeitet. Für UV-LED Desinfektionsgeräte sind sie nur zum Teil anwendbar was bedeutet, dass diese Technologie in Deutschland derzeit nicht zur Desinfektion von Trinkwasser eingesetzt werden kann.

4 Planung und Ablauf des Vorhabens

Das Projekt „Erarbeitung eines DIN-Norm-Entwurfs für UV-LED-basierte Desinfektionsgeräte in der öffentlichen Trinkwasseraufbereitung“ (DINoLED) wurde im Rahmen der Förderrichtlinie WIPANO (Wissens- und Technologietransfer durch Patente und Normen) beantragt.

Die Zusammenstellung und Planung des Projektes und der Partner entwickelte sich dabei natürlich aus den Diskussionen im Rahmen der Normungsarbeiten zu konventionellen UV-Desinfektionsgeräten. Die Förderrichtlinie ermöglichte dabei grundlegende Arbeiten durchzuführen und Messprogramme zu entwickeln.

Als Ergebnis einer WIPANO Förderung war dabei ein Normentwurf vorgeschrieben. Dieser wurde durch die fachliche und redaktionelle Überarbeitung der im PK UV erstellten Prüfnormen für UV-Desinfektionsgeräte mit Quecksilber-Lampen erarbeitet.

Die eingehende Darstellung des Abschlussberichtes beschreibt zusammengefasst die von den Partnern durchgeführten Arbeiten. Ergebnisse wurden in regelmäßigen Treffen, Workshops und redaktionellen Sitzungen in den Prüfnormentwurf mit dem Arbeitstitel „E DIN 19294-5“ (Anforderung und Prüfung des UV-Desinfektionsgerätes) sowie „E DIN 19294-6“ (Anforderung und Prüfung des radiometrischen Referenzmessgerätes) eingearbeitet.

Die Bearbeitungszeit war ursprünglich vom 01.05.2021 – 30.4.2023 geplant. Aufgrund Verzögerungen durch das Lieferkettenproblem im Zuge und Nachgang der SARS-CoV-2 Pandemie wurde eine kostenneutrale Verlängerung um 6 Monate bis zum 30.10.2023 beantragt und gewährt.

5 Stand der Wissenschaft und Technik vor Projektbeginn

Das Verfahren der UV-Bestrahlung zur Desinfektion von Trinkwasser hat in den letzten Jahrzehnten zunehmend an Bedeutung gewonnen und in immer stärkerem Maße wird die konventionelle Desinfektion mit Mitteln auf Chlorbasis durch UV-Behandlung ersetzt. Maßgeblich hierfür ist jedoch eine detaillierte Prüfung des Typs oder Baumusters des einzusetzenden Desinfektionsgerätes. Der Einsatz und die Prüfung dieser Geräte wird in Deutschland durch die Trinkwasserverordnung, spezifisch Paragraph 20 „Liste zulässiger Aufbereitungsstoffe und Desinfektionsverfahren gemäß § 20 TrinkwV“ vorgegeben.

Diese Liste beinhaltet die seit Jahrzehnten etablierten Geräte mit UV-Quellen auf Quecksilberbasis. Die national und international gewollte Minimierung von möglichen Quecksilberbelastungen (z.B. Minamata-Konvention 2013 und Europäische Quecksilberverordnung 2017/852), ist in diesem spezifischen Anwendungsgebiet bisher von fehlenden Alternativen beschränkt. Die immer weiter fortschreitende Entwicklung der UVC-LED Technologie lässt den Ersatz von quecksilberbasierter Lampentechnologie jedoch in naher Zukunft wahrscheinlich erscheinen. Hierfür ist, zumindest für die öffentliche Trinkwasserversorgung in Deutschland, jedoch die Aufnahme der Technologie in die § 20-Liste notwendig. Und hierfür wiederum eine angepasste Prüfnorm und die Sicherheit der Geräte zu gewährleisten.

Zu Projektbeginn gab es sowohl national als auch international verschiedene kleinskalige Ansätze um allgemeine Anforderungen an UV-LED basierte Desinfektionsgeräte zu erstellen. Diese wurden, teilweise auch mit Mitarbeit der Projektpartner, im Projektzeitraum vorangetrieben. Keiner der Ansätze hatte jedoch die Integration in das deutsche Trinkwasserverordnung als Ziel bzw. war detailliert und fachlich belastbar genug um die zu realisieren.

6 Ergebnisse des Projektes – Erstellung der Normentwürfe und Einbeziehung externer Parteien

a. Allgemeines

Neben den wissenschaftlich-technischen Arbeiten bestand das Verbundprojekt DInoLED zu einem großen Teil aus redaktionellen Arbeiten und Öffentlichkeitsarbeiten. Zum einen wurde ein Dokument erstellt das UVC-LEDs als UV-Quelle in Desinfektionsanlagen vorsieht. Zum anderen wurden bei vielen Gelegenheiten externe Parteien befragt oder informiert. Kapitel 6 im Abschlussbericht zeigt einen Auszug aus einer langen Liste von Präsentationen ausgehend von den Projektpartnern. Ebenso wurden zwei jeweils mehrtägige Workshops veranstaltet um Stakeholdern detaillierte Informationen zu vermitteln und fachliche Diskussionen zu führen. Im Folgenden werden mehrere Schwerpunkte der Arbeitspakete 6 bis 9 dargestellt.

b. Workshops

Im Laufe des Projektes wurden im Rahmen zweier Workshops Input von externen Parteien einbezogen werden. Hierzu wurden von den Projektpartnern Vorträge vorbereitet und in Blöcken über die Fortschritte im Projekt informiert. Anschließend an die Informationsblöcke sind Diskussionsblöcke durchgeführt worden.

- Workshop 1: 17. bis 19. Mai 2022, ca. 45 Online-Teilnehmer, Projektpartner in Person beim DVGW in Bonn
- Workshop 2: 9. und 10. Mai 2023, 30 Teilnehmern in Person, Veranstaltung im Hörsaal beim DVGW in Bonn

Zu beiden Workshops wurde sowohl national als auch international eingeladen wobei die Veranstaltungen selbst in Deutsch durchgeführt wurden. Aktiv wurde dabei auf verschiedene Bereiche zugegangen: Hersteller von LEDs, konventionellen Lampen und UV-Reaktoren sowie beispielsweise anderen Prüflaboren und Universitäten. Zusätzlich wurden die Workshops in Konferenzen frühzeitig erwähnt und Interessierte aufgerufen mit den DInoLED Partnern Kontakt aufzunehmen.

Im Nachgang wurden die Workshop Unterlagen und konkrete Fragen an alle angemeldeten Teilnehmer versandt um eine aktive Mitarbeit zu erhalten. Vor allem nach dem zweiten Workshop gab es eine erfreuliche Menge an produktiver Rückmeldung. Diese wurden bis zum Projektende in der Projektgruppe diskutiert und in die Normerstellung einbezogen.

c. Arbeiten an den Normentwürfen

Abweichend von der anfänglichen Planung wurden zwei anstatt ein Normentwurf bearbeitet. Aufbauen auf der entweder veröffentlichenden oder schon im Entwurf-Status bestehenden Teile der DIN 19294 Reihe wurden folgende Arbeitstitel genutzt:

- E DIN 19294-5: Geräte zur Desinfektion von Wasser mittels Ultraviolettstrahlung — Teil 5: Geräte mit LEDs - Anforderungen und Prüfung
- E DIN 19294-6: Geräte zur Desinfektion von Wasser mittels Ultraviolettstrahlung — Teil 6: Referenzradiometer für Geräte mit LEDs - Anforderungen und Prüfung

Die Entwürfe umfassen dabei die Anforderungen an die Geräte, Komponenten und einzureichende Unterlagen im Zuge eine Typprüfung. Ebenso werden die durchzuführenden Prüfungen, Anforderungen an die Messgeräte und Inhalt der Dokumentation vorgeschrieben.

Beide Entwürfe sind als Anlagen zum Bericht in bereinigter Version enthalten. Die unbereinigten Versionen werden dem zuständigen DVGW-DIN Normungsgremium übergeben und dort weitergehend bearbeitet.

d. Noch weiter zu bearbeitende Themenkomplexe

Trotz umfangreichen Arbeiten bestehen zu Projektende Themenkomplexe die weiter untersucht und in einer letztlich gültigen Prüfnorm festgeschrieben werden. Dies sind im Allgemeinen auch die am weitersten von bestehenden Normen abweichenden technischen Grundlagen. Aufgelistet werden im Folgenden einzelne Diskussionspunkte:

- Überwachung der LEDs und Sicherstellung der Desinfektionswirksamkeit

Während in konventionellen UV-Reaktoren nur wenige UV-Quellen existieren, je nach Größe und Lampen-Technologie meist zwischen 1 und 10 Lampen, sind bei LEDs in größeren Reaktoren mehrere hundert UV-Quellen zu erwarten. Die Überwachung weniger Lampen erfolgt relativ simpel durch etablierte optische Sensoren und einer elektrischen Funktionsüberwachung. Beides wird bei LEDs ungleich komplexer. Im Normentwurf sind Ansätze für diese Punkte hinterlegt, müssen jedoch in den folgenden Jahren weiterverfolgt werden.

- Testorganismus

Während die Untersuchung von *Bacillus subtilis* und MS2 hochdetailliert durchgeführt wurde und Vor- und Nachteile dadurch wissenschaftlich hinterlegt werden, ist die Umstellung auf einen neuen Organismus ein nicht zu unterschätzender Aufwand. In diesem Bereich werden noch weitere Arbeiten und Diskussionen notwendig sein bis abschließende Entscheidungen getroffen werden.

- Einbeziehung der Emissionswellenlänge, Wellenlängen abhängige Empfindlichkeit

Die Forschungsergebnisse zeigen deutliche Abhängigkeit der spektralen Sensitivität von Mikroorganismen. Dies verursacht bei konventionellen UV-Desinfektionsgeräten wenig Probleme, da die spezifische Emissionswellenlänge entweder immer dieselbe (ND-Lampe bei 253,7 nm) oder sehr ähnlich (polychromatisches Spektrum bei MD-Lampen) ist. Dies ist bei LEDs nicht zu erwarten. Einzelne Emissionswellenlängen könnten zwischen 240 nm bis 290 nm variieren. Ebenso sind Änderungen im Laufe der Produktlebenszeit zu erwarten da LEDs noch einen schnellen Entwicklungszyklus haben.

Abschnitt 1.4.d im ausführlichen Abschlussbericht beschreibt die vorgeschlagenen Ansätze die Variationen verschiedener Parameter zu berücksichtigen und in konsistenten Faktoren zusammen zu fassen.