



O B S T

Fachzeitschrift für die Fruchtsaft-Industrie, die Gemüsesaft-Industrie, die Fruchtwein-Industrie,
für die Hersteller von fruchtsafthaltigen Getränken und die Früchte- und Gemüseverwertung

www.fluessiges-obst.de



**Dünnschicht-UV-Technologie zur
Desinfektion von Flüssigzucker**

Dünnschicht-UV als Schlüssel-technologie zur sicheren Desinfektion von Flüssigzucker

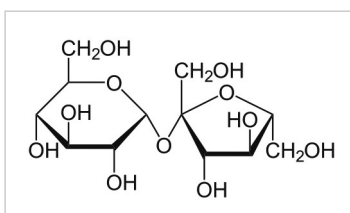
| Desinfektion | Dünnschicht-UV-Technologie | Flüssigzucker | Saccharose | UV-C-Strahlen |

Flüssigzucker ist ein zentraler funktionaler Rohstoff in der Getränkeherstellung. Als standardisierte, pumpfähige Süßungskomponente wird er in Softdrinks, Fruchtsaftgetränken, sirupbasierten Erfrischungsgetränken und Biermischgetränken in großen Mengen verarbeitet. Trotz seiner hohen Osmolarität ist Flüssigzucker jedoch keineswegs mikrobiologisch stabil. Insbesondere osmotolerante Hefen, Schimmelpilze und hitzestabile Sporen können lange überleben und stellen ein signifikantes Produktrisiko dar.

Mit der Dünnschicht-UV-Technologie steht inzwischen ein Verfahren zur Verfügung, das diese Herausforderungen effizient adressiert – ohne thermische Belastung, ohne chemische Zusätze und bei gleichzeitiger Gewährleistung hoher Produktqualität.⁽¹⁾ Der vorliegende Beitrag beleuchtet die wissenschaftlichen Grundlagen, den technischen Aufbau sowie die nachgewiesene Leistungsfähigkeit dieses Verfahrens im industriellen Einsatz.

Reichhaltiger Flüssigzucker oder „rich simple syrup“ entsteht durch Rückverdünnung von kristallinem Haushalts- oder Kristallzucker mit Wasser im Verhältnis 2:1 und besteht zu fast 100 % (mindestens 99,96 %) aus Saccharose. Das Saccharose-Mischungsverhältnis resultiert in einen Brix-Gehalt von 66–67 °Brix (°Bx). 66 °Brix entsprechen 66 Gramm Saccharose (Zucker) in 100 Gramm einer wässrigen Lösung.

Saccharose ist ein Zweifachzucker (Disaccharid). Das Molekül besteht chemisch aus einer Verbindung eines Moleküls Glucose (Traubenzucker) und einem Molekül Fructose (Fruchtzucker).



Grafik:
Strukturformel Saccharose,
gemeinfrei
© Wikimedia Commons

Saccharose wird industriell aus den Pflanzen Zuckerrübe oder Zuckerrohr gewonnen. Obwohl aus Pflanzen gewonnen, ist raffinierter Haushaltszucker ein reines Kohlenhydrat und enthält keine nennenswerten Mengen an Nährstoffen, Vitaminen oder Mineralstoffen.

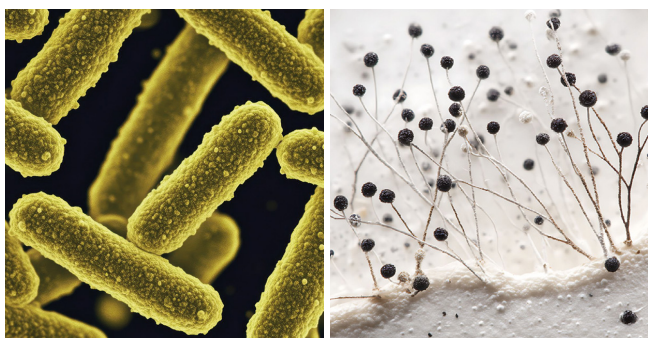


Zuckerrüben, Zuckerrohr, Haushaltszucker und Zuckersirup (im Uhrzeigersinn)

1. Mikrobiologische Risikoeinstufung von Flüssigzucker

Auch wenn hohe Zuckerkonzentrationen (> 60 °Bx) die Wasseraktivität reduzieren, sind bestimmte Mikroorganismen an diese Umweltbedingungen hervorragend angepasst. Zu den technologisch relevanten Kontaminanten zählen:

- Osmotolerante Hefen wie *Dekkera bruxellensis*, die in Süßmedien überleben und Fermentationsprozesse auslösen können.
- Hitzestabile Schimmelpilze wie *Paecilomyces variotii* bzw. *Byssochlamys spectabilis*, deren Ascosporen Temperaturen bis zu 100 °C tolerieren und im Endprodukt auskeimen können.



Bakterien, Köpfchenschimmel (v. l. n. r.)

© KI/AdobeStock

- Thermotolerante Bakteriensporen, v. a. *Alicyclobacillus acidoterrestris*, ein strikt aerobes, säuretolerantes Bakterium, das in Getränkegrundstoffen massive Qualitätsbeeinträchtigungen (z. B. „Phenol-Fehl-aroma“) verursachen kann.

Beim Transport, bei längerer Lagerung und insbesondere beim Ausmischen durch Verdünnen entstehen Prozesssituationen, in denen eine Kontaminationsausbreitung begünstigt wird. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit einer effektiven und reproduzierbaren Desinfektionsmethode im Zuckerhandlung.

2. Grenzen thermischer Verfahren

Thermische Pasteurisation wird in vielen Bereichen der Lebensmitteltechnologie erfolgreich eingesetzt. Für Flüssigzucker weisen diese Verfahren jedoch mehrere systemische Limitationen auf:

Thermische Verfahren wie KZE oder Pasteurisation haben eine unzureichende Wirkung gegenüber Sporenbildnern. Hitzetolerante Schimmelpilz-Ascosporen und *Alicyclobacillus*-Sporen werden bei praxisüblichen Temperaturen nur unvollständig inaktiviert.

Ferner können thermische Verfahren zu ungewollten Qualitätsbeeinträchtigungen führen. Erhöhte Temperaturen begünstigen Farbbildung, Karamellisierung, Maillard-Reaktionen und die Bildung unerwünschter

Nebenprodukte wie z. B. Furan⁽³⁾ und 5-HMF (Hydroxymethylfurfural)⁽⁴⁾.

Die Pasteurisation erfordert energieintensive Aufheiz- und Wiederrückkühlprozesse und führt zu einem erhöhten Energieverbrauch. Damit wird deutlich, dass für Flüssigzucker ein nicht-thermisches, energieeffizientes und dennoch hochwirksames Verfahren zielführend ist.

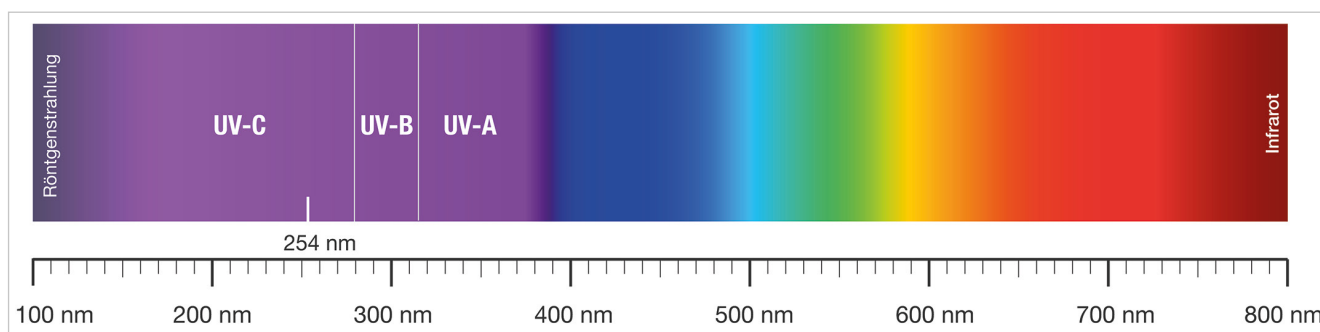
3. Dünnschicht-UV-Technologie: Prinzip und Reaktor-design

Der UV-C-Bereich umfasst die kurzwelligeren Strahlen des Lichtes zwischen ca. 100 und 380 Nanometer (nm). Der UV-Bereich unterteilt sich in die folgenden Bereiche – mit aufsteigender Wellenlänge: UV-C (100 nm – 280 nm), UV-B (280 nm – 315 nm), UV-A (315 nm – 380 nm); (Grafik siehe unten).

Die UV-C-Strahlen haben die kürzeste Frequenz und sind somit am energiereichsten. Die Wellenlänge der UV-C-Strahlung deckt sich weitgehend mit dem Absorptionsmaximum der DNA, was hier einen photochemischen Prozess auslöst. Genau hier setzt die UV-Dünnschicht-Technologie an, indem gezielt durch UV-C-Strahlung bei 254 nm Mikroorganismen inaktiviert werden. Diese Wellenlänge führt zu irreversiblen Schäden an der DNA, die die Replikationsfähigkeit der Zellen unterbinden.⁽²⁾ Die UV-C-Strahlung bei 254 nm wirkt auch auf hitzestabile Sporen, gegen die thermische Verfahren nur eingeschränkt effektiv sind.

Konventionelle UV-Reaktoren scheitern häufig bei Medien mit geringer UV-Transmission (UVT), wie sie bei 60–67 °Brix typisch ist.⁽⁵⁾ Die DULCODES LP TL löst dieses Problem durch ein optimiertes Reaktordesign:

- Eine definierte Dünnschichtkonstruktion (22,5 mm Optikstrecke)
- Turbulente Strömungsführung zur gleichmäßigen Bestrahlung



Der UV-Bereich unterteilt sich in die folgenden Bereiche : UV-C (100 nm – 280 nm), UV-B (280 nm – 315 nm), UV-A (315 nm – 380 nm)

© Prominent

- Spezielle Niederdruck-UV-C-Lampen mit hohem Wirkungsgrad
- CIP-Fähigkeit durch hygienisches Reaktordesign
- Validierte Dosen von typischerweise 1.300–1.700 J/m² ⁽⁶⁾

Die UV-Dünnschichtanlage verarbeitet je nach Auslegung 2 bis 36 m³/h Flüssigzucker auf Saccharose-Basis und erfüllt europäische und amerikanische Hygienestandards. Die UV-Dünnschichtanlage ist auf eine effektive, mikrobiologische Keimreduzierung von 4 Logstufen ausgelegt. Um diese Leistung zu erreichen, sollte Flüssigzucker mit einer UVT(254 nm) von mind. 20 %/cm zur Anwendung kommen. Flüssigzucker aus Saccharose kann unbedenklich mit 254 nm behandelt werden und trägt nicht zur Furanbildung bei, da eine Invertierung erst später nach dem Ausmischen bei der pH-Wertabsenkung im Fertiggetränk erfolgt.

Die UV-C-Behandlung eignet sich nur bedingt für High Fructose Corn Syrup (HFCS), auf Deutsch oft Fruktose-Glukose-Sirup oder Isoglukose, ein kostengünstiger, aus Maisstärke gewonnener Flüssigzucker. Fruktose wird für die Furanbildung während der UV-C-Behandlung verantwortlich gemacht. Die Furanbildung wird bei saurem pH-Wert gefördert, jedoch in Gegenwart von Ascorbinsäure

unterdrückt. Die Furansynthese wird stark von der Absorption der behandelten Lösung beeinflusst, wobei ein steigender Absorptionskoeffizient zu einer verringerten Furanbildung führt. Die Bildung von Furan in mit HFCS gesüßten Fruchtsäften bei UV-Behandlung ist eindeutig nachgewiesen. ^{(7) (8)}

Das Verbringen in die Bundesrepublik Deutschland und das Inverkehrbringen von mit ultravioletten Strahlen behandeltem Invertflüssigzucker ist an einen maximalen Fruktosegehalt von 1,5 % im Produkt zum Zeitpunkt der UV-Bestrahlung und an eine maximale UV-Dosierung von 80 mJ/cm² gekoppelt. ⁽⁹⁾

4. Leistungsfähigkeit im Vergleich zur thermischen Pasteurisation

Studien und industrielle Validierungen zeigen deutliche Unterschiede (siehe Tabelle 1).

Die UV-Dünnschichtanlage erreicht Keimreduktionen von ≥ 4 Log-Stufen, auch bei Sporenbildnern. ⁽¹³⁾ Die thermische Pasteurisation erreicht im gleichen Medium häufig nur ~ 1 Log und versagt bei Sporen. Die sensorischen Parameter wie Farbe, Geruch und Geschmack bleiben bei der UV-C Behandlung unverändert. Der Energie-

Kriterium	UV-Desinfektion (DULCODES LP TL)	Thermische Pasteurisierung
Wirkprinzip	UV-C-Strahlung (254 nm)	Erhitzen auf >80 °C
Keimreduktion	Log 10 ⁴ sehr hoch (>99,99 %) inkl. Sporen	Log 10 ¹ mäßig, eingeschränkt bei Sporen
Produktqualität	unverändert in Geruch, Geschmack, Farbe – keine Nebenprodukte	Risiko von Furanbildung, Karamellisierung
Energieverbrauch	sehr gering	sehr hoch
Chemikalieneinsatz	nein	nein
Wartungsaufwand	gering (Lampenwechsel)	hoch (Entkalkung, Dichtungen)
Investitionskosten	mittel	hoch
Prozesseintegration	einfach, inline-fähig	platzintensiv
Nachhaltigkeit	hoch strombasiert, keine Abwässer	gering

Tabelle 1: Vergleich der UV-Desinfektion und thermischen Pasteurisation

verbrauch bei der UV-C-Anwendung im Vergleich zur thermischen Behandlung sinkt um bis zu 90 %, da keine Heiz- und Kühlprozesse notwendig sind.

Die CO₂-Emissionen reduzieren sich bei der thermischen Behandlung von ca. 2,1 kg auf 0,1 kg pro Tonne Produkt durch die Anwendung von UV-C. Dies ist ein wichtiger und entscheidender Vorteil in nachhaltigkeitsorientierten Produktionsketten.

Damit wird die Dünnschicht-UV-Technologie zu einer deutlich effizienten und ökologisch vorteilhaften Alternative.

5. Validierung und Qualitätsnachweise

In unabhängigen Laborreihen und Praxistests wurden folgende Mikroorganismen getestet:

Mikroorganismus	Log-Reduktion
<i>Dekkera bruxellensis</i>	1,32E+05
<i>Aspergillus niger</i>	1,29E+04
<i>Byssochlamys spectabilis</i> Mit Hitzeschock zur Aktivierung der Sporen	1,09E+04
<i>Alicyclobacillus acidoterrestris</i> Mit Hitzeschock zur Aktivierung der Sporen	1,40E+05

Tabelle 2: Ergebnisse der mikrobiologischen Laboruntersuchung

Die erreichten Log-Reduktionen lagen jeweils im Bereich von 10⁴–10⁵, was die hohe mikrobiologische Effizienz des Verfahrens unter realen Prozessbedingungen belegt.

Ein integrierter UV-Intensitätssensor gewährleistet die kontinuierliche Überwachung der Desinfektionswirksamkeit und ermöglicht eine vollständige Prozessdokumentation – ein entscheidender Faktor für Qualitätssicherung und Audits.

6. Regulatorischer Rahmen

In Deutschland ist die Verwendung ultravioletter Strahlung zur Haltbarmachung von Lebensmitteln bisher nur genehmigungsfrei für die Entkeimung von bestimmten Trinkwässern, Oberflächen von Obst- und Gemüseerzeugnissen und Hartkäse bei der Lagerung sowie zur Entkeimung von Luft und Oberflächen und der damit verbundenen indirekten Einwirkung auf Lebensmittel erlaubt. ⁽¹⁰⁾



Die UV-Anlage DULCODES LP TL ist eine energieeffiziente Lösung zur Desinfektion von Flüssigzucker. © ProMinent

Eine UV-C-Behandlung flüssiger Lebensmittel wie Säfte, Milch, Wein oder Flüssigzucker etc. kann aber zugelassen bzw. genehmigt werden, wenn entsprechende Analysen zur Einschätzung der Unbedenklichkeit vorliegen. Für Saccharose-Flüssigzucker liegen ausreichende Ergebnisse beim Anlagenbauer ProMinent vor.

Rechtgrundlagen für die Ausnahmegenehmigung sind das Lebensmittel- und Futtermittelgesetzbuch LFGB § 8 und 68 i.d.F. vom 06.05.2024 ⁽¹¹⁾ sowie die Lebensmittelbestrahlungsverordnung § 3 und 4 (LMBestV) i. d. F. 15.02.2019. ⁽¹²⁾

Eine Ausnahmegenehmigung kann ausschließlich vom Betreiber beim Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (BVL) in Berlin beantragt werden. Eine schlüssige Begründung ist dem Antrag beizufügen: z. B.

- Reduzierung von Energiekosten beim Wechsel von thermischer Behandlung zur UV-C-Dünnschichttechnologie
- Reduzierung von CO₂-Emissionen und Beitrag zur Klimaneutralität
- Eliminierung der Wettbewerbsbeschränkungen innerhalb des Europäischen Binnenmarktes
- Stärkung der Wettbewerbsfähigkeit im internationalen Umfeld
- Verbesserung der Produktqualität

Das BVL prüft den Antrag und leitet diesen zur internen Stellungnahme an das Max Rubner-Institut (MRI) nach Karlsruhe. Für das MRI ist die Ermittlung des Abtötungs-

potentials von Mikroorganismen durch eine UV-C-Behandlung im Vergleich zu alternativen Verfahren bei zum Beispiel thermophilen Sporenbildnern wie (*Alicyclobacillus acidoterrestris*) in Flüssigzucker von besonderer Bedeutung. Fragen zur Ermittlung der Dosimetrie, zur Verfahrens- und Anlagenauslegung beantwortet der Anlagenbauer ProMinent. Ferner bewertet das MRI den Einfluss einer UV-C-Behandlung auf Inhaltsstoffe, Mikroflora und die mögliche Bildung toxikologisch relevanter Substanzen.

Bei Vorliegen aller Unterlagen und Nachweis der Unbedenklichkeit kann das BVL eine Ausnahmegenehmigung nach § 68 LFGB erlassen, die vorerst auf drei Jahre befristet ist. Eine Verlängerung kann beantragt werden. Aus der Ausnahmegenehmigung ergeben sich Betreiberpflichten und Nebenbestimmungen.

Die Kennzeichnungspflicht nach der Lebensmittelbestrahlungsverordnung gemäß § 3 Absatz 1 ist bei der UV-C Behandlung von Flüssigzucker nicht anzuwenden, da nur getrocknete aromatische Kräuter und Gewürze der Kennzeichnungspflicht unterliegen.

Anlagenbetreiber müssen in ihrem Unternehmen eine Person benennen, die für die Einhaltung aller der für die Anwendung des Verfahrens erforderlichen Bedingungen verantwortlich ist (§ 4 Lebensmittelbestrahlungsverordnung).

Auf die Ausnahmegenehmigung darf weder im Rahmen der Werbung noch der Kennzeichnung verwiesen werden.

7. Schlussfolgerung

Die Dünnschicht-UV-Technologie stellt einen klaren wissenschaftlich-technologischen Fortschritt für die hygienische Behandlung von Flüssigzucker dar. Sie

- bietet höchste mikrobiologische Sicherheit, auch gegenüber Sporen;
- erhält Produktqualität ohne thermische Nebenreaktionen;
- senkt Energie- und Betriebskosten signifikant;
- unterstützt die CO₂-Reduktionsziele moderner Getränkebetriebe;
- ist prozesssicher, validiert, dokumentationsfähig und flexibel integrierbar.

Die Dünnschicht UV-C-Anlage DULCODES LP TL der Firma ProMinent ist ein zentraler Baustein einer modernen, nachhaltigen und zukunftsorientierten Getränkeproduktion.

Literaturnachweis

- ⁽¹⁾ Maricel Keyser et al.; Ultraviolet radiation as a non-thermal treatment for the inactivation of microorganisms in fruit juice; Innovative Food Science & Emerging Technologies; Vol. 9, Issue 3, pp 348–354 (2008)
- ⁽²⁾ Benedikt Hirt et al.; Comparison and prediction of UV-C inactivation kinetics of *S. cerevisiae* in model wine systems dependent on flow type and absorbance; LWT Food Science and Technology, Vol.169, pp. 1–10 (2022)
- ⁽³⁾ Yun-Jeong Seok et al.; Furan in Thermally Processed Foods – A Review; Toxicological Research, Vol. 31, No. 3, pp. 241–253 (2015)
- ⁽⁴⁾ Valquiria Ros-Polski et al.; Effect of ultraviolet-C light treatment on Hydroxymethylfurfural (5-HMF) content in high fructose corn syrup (HFCS) and model syrups; Journal of Food Engineering; Vol. 179, pp 78–87 (2016)
- ⁽⁵⁾ Tatiana Koutchma et al.; Ultraviolet disinfection of juice products in laminar and turbulent flow reactors; Innovative Food Science & Emerging Technologies, Vol. 5, Issue 2, pp 179–189 (2004)
- ⁽⁶⁾ Adel Haji Malayeri et al.; Fluence (UV Dose) Required to Achieve Incremental Log Inactivation of Bacteria, Protozoa, Viruses and Algae International Ultraviolet Association www.iuva.org
- ⁽⁷⁾ Mahesh V. Bule et. al.; Furan formation during UV-treatment of fruit juices; Food Chemistry, Vol. 122, Issue 4, pp 937–942 (2010)
- ⁽⁸⁾ A. Elsinghorst, Rohan V. Tikekar; Generation of oxidative species from ultraviolet light induced photolysis of fructose; Food Chemistry, Vol. 154, pp. 276–281 (2014)
- ⁽⁹⁾ Bekanntmachung einer Allgemeinverfügung gemäß § 54 des Lebensmittel- und Futtermittelgesetzbuches (LFGB) für das Verbringen in die Bundesrepublik Deutschland und das Inverkehrbringen von mit ultravioletten Strahlen behandeltem Invertflüssigzucker (BVL 20/01/001) vom 31. Januar 2020; https://www.bvl.bund.de/DE/Arbeitsbereiche/01_Lebensmittel/04_AntragstellerUnternehmen/07_Allgemeinverfuegungen/01_Archiv_Uebersicht/03_Bestrahlung/lm_av2020_01_001_basepage.html?nn=13337858
- ⁽¹⁰⁾ Max Rubner-Institut Karlsruhe <https://www.mri.bund.de/de/institute/lebensmittel-und-bioverfahrenstechnik/forschungsprojekte/uv-c-behandlung/>
- ⁽¹¹⁾ Lebensmittel- und Futtermittelgesetzbuch <https://dejure.org/gesetze/LFGB>
- ⁽¹²⁾ Verordnung über die Behandlung von Lebensmitteln mit Elektronen-, Gamma- und Röntgenstrahlen, Neutronen oder ultravioletten Strahlen (Lebensmittelbestrahlungsverordnung – LMBestV) <https://www.buzer.de/LMBestV.htm>
- ⁽¹³⁾ Ayse Handan Baysal et. al.; UV-C light inactivation and modeling kinetics of *Alicyclobacillus acidoterrestris* spores in white grape and apple juices; Int. Journal of Food Microbiology 166, pp 494–498 (2013)



Autor:

Dr. Horst Born, Industry Development Manager Food & Beverage, ProMinent GmbH