

Karin Hassenberg, Werner B. Herppich und Ulrike Praeger

# Chlordioxid zur Reduktion von humanpathogenen Mikroorganismen bei der Salatwäsche

Der Markt für abgepackte verzehrfertige Frischsalate ist in den vergangenen Jahren stark gewachsen. Für die Herstellung von mikrobiologisch unbedenklichen Produkten wurde der Zusatz von Chlordioxid ( $\text{ClO}_2$ ) zum Waschwasser auf sein Potenzial zur Minimierung relevanter humanpathogener Mikroorganismen getestet. Dabei wurden auch wichtige Parameter der Produktqualität, wie z. B. Farbe und Inhaltsstoffe, berücksichtigt. Eine  $\text{ClO}_2$ -Behandlung ermöglicht es, die Konzentration von Mikroorganismen im Waschwasser um 5 bis 6 log-Einheiten zu reduzieren, abhängig vom chemischen Sauerstoffbedarf (CSB-Wert). Farbe und Vitamin-C-Gehalt der Salatblätter werden von der Behandlung nicht beeinflusst. Demnach ist  $\text{ClO}_2$  zur Hygienisierung von Salatwaschwasser geeignet.

eingereicht 9. April 2014

akzeptiert 6. Juli 2014

## Schlüsselwörter

Chlordioxid, Schnittsalat, Hygiene, Mikrobiologie

## Keywords

Chlorine dioxide, fresh cut lettuce, sanitation, microbiology

## Abstract

Hassenberg, Karin; Herppich, Werner B. and Praeger, Ulrike

Chlorine dioxide for the reduction of human pathogens in lettuce washing process

Landtechnik 69(4), 2014, pp. 185–189, 2 figures, 2 tables, 14 references

During recent years, the consumption of prepackaged ready-to-eat salads has strongly increased. To facilitate the production of microbiological safe fresh-cut products, the potential of chlorine dioxide for decontamination of iceberg lettuce during washing and its effects on external and internal quality parameters of the produce were investigated.  $\text{ClO}_2$  application results in 5 to 6 log reduction of microorganisms in the washing water, depending on its chemical oxygen

demand (COD). Colour parameters and vitamin C content of leaves were not affected by chlorine dioxide washing. Therefore, chlorine dioxide is an appropriate sanitizer to minimize human pathogens in lettuce washing water.

■ Die Beliebtheit von abgepackten Schnittsalaten hat in den vergangenen Jahren rasant zugenommen, sodass diese Produkte immer stärker nachgefragt werden. Die Zunahme des Verzehrs wird auf 10 bis 20 % pro Jahr geschätzt [1; 2]. Abnehmer sind sowohl private Haushalte als auch Großkunden wie Kantinen, Krankenhäuser und Restaurants. Der Verbraucher entscheidet beim Kauf von abgepackten Schnittsalaten nach sensorischen Kriterien wie dem frischen und knackigen Aussehen des Salates; von größerer Bedeutung ist jedoch der mikrobielle Befall dieser frischen, leichtverarbeiteten Produkte. Weltweit wird von einer steigenden Anzahl an lebensmittelverursachten Krankheitsausbrüchen berichtet, von denen ein nicht unerheblicher Anteil durch humanpathogene Mikroorganismen auf Gemüse verursacht wurde [3]. Besonders dramatisch war die Krankheitswelle 2011 in Deutschland, verursacht durch einen Shigatoxin produzierenden *Escherichia-coli*-Stamm (STEC). Damals waren insgesamt 3785 Erkrankte und 45 Tote zu verzeichnen [4].

Der Produktionsprozess für verzehrfertige Schnittsalate ist sehr einfach: Das Gemüse wird sortiert, geschnitten, gewaschen, getrocknet und in Kunststofffolien verpackt. Um eine hohe Qualität der Produkte bis zum Ende der Mindesthaltbarkeitsdauer (MHD) zu gewährleisten, hat die Deutsche Gesellschaft für Hygiene und Mikrobiologie (DGHM) Richt- und

Tab. 1

Richt- und Warnwerte für abgepackte Mischsalate der DGHM (2007)

Table 1: Guidance and warning levels for prepackaged mixed lettuce from the DGHM (2007)

|   | Richtwert/Guidance level                              | Warnwert/Warning level                              |
|---|---|---|
| Aerobe mesophile Koloniezahl/Aerobic mesophilic colony counts | $5 \times 10^7$ KbE $g^{-1}/CFU g^{-1}$ <sup>1)</sup> | —   |
| <i>Salmonella</i> spp.  | —   | Nicht nachweisbar in 25 g<br>not detectable in 25 g |
| <i>E. coli</i>  | $1 \times 10^2$ KbE $g^{-1}/CFU g^{-1}$               | $1 \times 10^3$ KbE $g^{-1}/CFU g^{-1}$             |
| <i>L. monocytogenes</i>                                       | —   | $1 \times 10^2$ KbE $g^{-1}/CFU g^{-1}$             |
| Hefen/Yeasts  | $1 \times 10^5$ KbE $g^{-1}/CFU g^{-1}$               | —   |
| Schimmelpilze/Moulds  | $1 \times 10^3$ KbE $g^{-1}/CFU g^{-1}$               | $1 \times 10^4$ KbE $g^{-1}/CFU g^{-1}$             |

<sup>1)</sup> kbE: koloniebildende Einheit/CFU: colony-forming unit.

Warnwerte für relevante Mikroorganismen bei abgepackten Schnittsalaten herausgegeben (Tabelle 1).

Die Produzenten von Ready-to-eat-Salaten sollen die Einhaltung dieser Werte bis zum Ende der Mindesthaltbarkeit gewährleisten, haben aber keinen Einfluss mehr auf das Produkt bzw. dessen Lagerbedingungen, wenn dieses den Produktionsstandort verlassen hat. Unterbrechungen in der Kühlkette dieser empfindlichen Produkte resultieren in erheblichen Verderb- und Wegwerfraten. Es wird geschätzt, dass die vermeidbaren und teilweise vermeidbaren Lebensmittelabfälle aus Haushalten in Deutschland zu 26 % aus Gemüse bestehen [5].

Das Risiko für mikrobiellen Befall von Schnittsalaten macht die Einführung neuer, nachhaltiger und produktschonender Hygienisierungsverfahren notwendig. In den vergangenen Jahren wurden daher verschiedene Desinfektionsmittel auf ihre Eignung als Zusatz im Waschprozess getestet. Neben chemischen Methoden wie dem Einsatz von ozontem Wasser, Chlor, Wasserstoffperoxid oder organischen Säuren (z. B. Zitronen-, Milch- oder Essigsäure) wurden physikalische Methoden wie UV-C-Bestrahlung, gepulstes Licht oder Behandlung mit Hochdruck untersucht [4; 6; 7]. Allerdings waren die untersuchten Methoden in ihrer Wirkung limitiert [z. B. 5; 8] oder/und verursachten Produktschädigungen wie Texturveränderungen und Verbräunung [1; 9; 10; 11]. Auch erscheint die technische Umsetzung oft problematisch, und zwar aufgrund der chemischen Eigenschaften des Desinfektionsmittels (z. B. Korrosivität bei Ozon und Essigsäure) und weiterer Einflussfaktoren wie Temperatur und Wasserturbulenzen. Dies gilt nicht zuletzt auch für Verunreinigungen mit oxidierbaren Stoffen, die die antimikrobielle Wirkung von ClO<sub>2</sub> verringern, was durch den chemischen Sauerstoffbedarf (CSB-Wert) charakterisiert wird [12; 13; 14]. Der Einfluss des CSB-Wertes auf den Hygienisierungserfolg bei der Wäsche von Schnittsalaten wurde jedoch bislang nicht systematisch untersucht und beschrieben.

Ziel der Untersuchungen war es, die Eignung von Chlordioxid (ClO<sub>2</sub>) in der Salatwäsche zu testen, um unerwünschte Mikroorganismen im Prozess zu eliminieren. Die Versuche

zur Hygienisierungswirkung von ClO<sub>2</sub> im Modellwaschwasser wurden mit CSB-Werten von 350 und 1000 durchgeführt, da ein CSB-Wert von 350 nach eigenen Untersuchungen einem durchschnittlichen Wert im Waschwasser eines Produktionsbetriebes von Schnittsalaten entspricht. Ein CSB-Wert von 1000 hingegen stellt einen Störfall dar, der z. B. durch den Ausfall der Frischwasserzufuhr auftreten kann.

Gleichzeitig soll die Produktqualität durch die Behandlung nicht beeinträchtigt werden. Daher wurden Untersuchungen durchgeführt, die es ermöglichen, das Potenzial von Chlordioxid zur Desinfektion von Salatwaschwasser abzuschätzen. Zur Beurteilung der Behandlungseffekte auf das Produkt wurden exemplarisch Farbmessungen an Eisbergsalat nach der Behandlung und während der Lagerung sowie Vitamin-C-Bestimmungen nach einer Chlordioxidbehandlung durchgeführt.

### Material und Methoden

Die Inaktivierungsversuche für die relevanten Mikroorganismen wurden in künstlich erzeugtem Salatwaschwasser durchgeführt. Um dieses herzustellen, wurde aus einem Eisbergsalat der Strunk entfernt und der verbleibende Kopf in Stücke von ca. 2 cm x 2 cm geschnitten und mit einem Stabmixer fein püriert. Das Püree wurde durch ein Teesieb gedrückt und der erhaltene Saft durch Filtration (PE Filter, Porengröße 330 µm) von den restlichen Feststoffen befreit. Aus dem resultierenden Saft wurde der CSB photometrisch (Spektralphotometer CADAS 200, Dr. Lange, Berlin, Deutschland; Thermostat LT 200, 2 Stunden bei 148 °C, Küvettentest LCK 014, beides Hach Lange, Berlin, Deutschland) ermittelt und durch Verdünnen mit Leitungswasser auf den gewünschten Wert eingestellt.

Chlordioxid wurde aus dem Zwei-Komponenten-Produkt der Firma Dr. Kücke (Hannover, Deutschland) hergestellt. Entsprechend der Vorschrift wurden 250 ml DK-DOX aktiv (Komponente 1) durch Mischen mit 3,85 g DK-DOX Komponente 2 aktiviert. Das Fertigprodukt erreicht seine volle Aktivität nach 24 h Reaktionszeit bei 30 °C. Die Chlordioxid-Konzentration wurde photometrisch (Spektralphotometer DR 2800; Küvettentest LCK 310, beides Hach Lange, Berlin, Deutschland) be-

stimmt und die benötigte Konzentration durch Verdünnung der Stammlösung mit Leitungswasser eingestellt.

Die für die Versuche benötigten Mikroorganismen *Escherichia coli* (DSMZ 19206), *Listeria monocytogenes* (DSMZ 20600) und *Salmonella enterica* (DSMZ 17058) wurden als Kryokultur (Carl Roth GmbH, Karlsruhe, Germany) bei  $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$  gelagert. Für die Versuche wurde jeweils eine Kryokugel in 5 ml Nährbouillon (Carl Roth GmbH, Karlsruhe, Deutschland; *E. coli* und *S. enterica*) bzw. Hirn-Herz-Bouillon (Carl Roth GmbH, Karlsruhe, Deutschland; *L. monocytogenes*) für 24 h bei  $37\text{ }^{\circ}\text{C}$  inkubiert. Anschließend wurde die optische Dichte der Bakteriensuspension bei einer Wellenlänge von 600 nm (BioPhotometer plus, Eppendorf, Hamburg, Deutschland) gemessen. Dann wurde die Hauptkultur entsprechend der optischen Dichte mit Nährbouillon bzw. Hirn-Herz-Bouillon inokuliert und für 18 h bei  $38\text{ }^{\circ}\text{C}$  geschüttelt (170 rpm), um eine Bakteriensuspension von etwa  $10^9\text{ KbE ml}^{-1}$  zu erzeugen. Die Zellzahl wurde mittels Multisizer™ 3 Coulter Counter® (Beckman Coulter, Krefeld, Deutschland) ermittelt und die Suspension entsprechend der Versuchsparameter verdünnt, sodass die Keimzahlen zu Versuchsbeginn bei etwa  $10^6\text{ KbE ml}^{-1}$  lagen. Parallel zu den behandelten Proben wurde eine Kontrollvariante mitgeführt.

Die Inaktivierungsversuche wurden jeweils in 50 ml Falcons (Sarstedt, Nümbrecht, Deutschland) durchgeführt. Dazu wurden eine definierte Menge Salatsaft und die Bakteriensuspension vorgelegt und anschließend das benötigte Volumen an  $\text{ClO}_2$ -Lösung hinzugefügt ( $c(\text{ClO}_2) = 0, 10, 20$  und  $30\text{ mg l}^{-1}$ ). Der Inhalt wurde einmal durchmischt. Die Inaktivierung wurde nach einer Reaktionszeit von 1 bzw. 2 min durch Zugabe einer äquivalenten Menge Natriumthiosulfat-Pentahydrat (AppliChem, Darmstadt, Deutschland) gestoppt. Die Wirkung der Behandlung wurde durch Keimzahlbestimmung im Spatelverfahren ermittelt. Dazu wurden von der Kontrollvariante und den behandelten Proben Verdünnungsreihen in Ringerlösung (Merck, Darmstadt, Deutschland) angelegt und ausplattiert (Nähragar, Carl Roth GmbH, Karlsruhe, Germany, 24 h bei  $37\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Das Detektionslimit lag bei  $100\text{ KbE ml}^{-1}$ .

Farbmessungen wurden an einzelnen Eisbergsalatblättern durchgeführt, die für 1 bzw. 2 min in wässrigem  $\text{ClO}_2$  mit Kon-

zentrationen von 10, 20 bzw.  $30\text{ mg l}^{-1}$  gewaschen, mit Wasser abgespült und trocken getupft wurden. Anschließend wurden die Blätter für 5 Tage bei  $4\text{ }^{\circ}\text{C}$  in geschlossenen Tüten gelagert und täglich gemessen (Konica Minolta CM-2600d, portables Kugel-Spektralphotometer). Jede Probe wurde fünfmal gemessen.

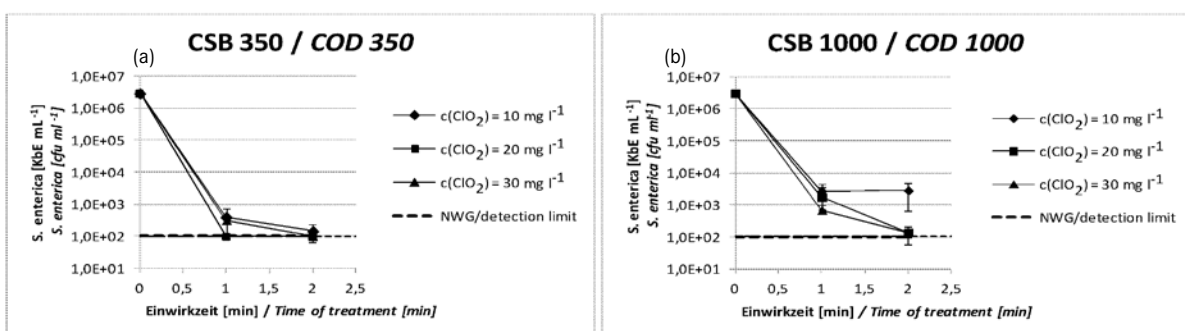
Der Vitamin-C-Gehalt in Romanasalat wurde nach 1- bzw. 2-minütigem Waschen in  $\text{ClO}_2$ -haltigem Wasser ( $c(\text{ClO}_2) = 0, 10, 20$  und  $30\text{ mg l}^{-1}$ ) mit dem Testset Reflectoquant (Merck, Darmstadt, Deutschland) gemäß den Angaben des Herstellers ermittelt. Für jede Probe wurden 3 bis 4 Salatblätter verwendet, die zu einer Mischprobe vermengt wurden. Aus den Blättern wurde jeweils die Mittelrippe herausgetrennt, eine Blatthälfte wurde für die Kontrolle verwendet, die zweite Hälfte für die Behandlungsvariante. Die Proben wurden in mundgerechte Stücke geschnitten (ca.  $2\text{ cm} \times 2\text{ cm}$ ) und mit Wasser (Kontrolle) bzw.  $\text{ClO}_2$ -haltigem Wasser gewaschen. Anschließend wurden die Proben mit Leitungswasser abgespült und vorsichtig mit einem Küchenpapier trocken getupft. Die Kontrollen und die behandelten Proben wurden stets parallel für die Vitamin-C-Messung bearbeitet. Dazu wurden sie in flüssigem Stickstoff eingefroren und fein zermörsert. Das Mus wurde in einen Papierfilter gegeben, dann wurde das resultierende Filtrat in einem Multireaktionsgefäß ( $V = 2\text{ ml}$ , Roth, Karlsruhe, Deutschland) aufgefangen und dieses verschlossen. Für die Messung wurde die Probe jeweils mit destilliertem Wasser ( $v/v = 1 : 5$ ) verdünnt. Für jede Variante wurden drei Proben analysiert, jede Probe wurde dreimal gemessen.

## Ergebnisse

### Inaktivierung von Mikroorganismen in Salatwaschwasser

In **Abbildung 1** wird exemplarisch die Abhängigkeit der keimabtötenden Wirkung von  $\text{ClO}_2$  vom CSB-Wert, d. h. von der Verunreinigung des Wassers, bei *S. enterica* gezeigt. Während bei einem CSB-Wert von 350 und einer Einwirkzeit von 2 min eine Verminderung von *S. enterica* bis unter die Nachweisgrenze möglich ist, reichen die gleichen Versuchseinstellungen bei einem CSB-Wert von 1000 für eine Reduktion bis unter die Nachweisgrenze nicht aus. Alle untersuchten Varianten resultieren jedoch in einer signifikanten Reduktion des Bakteriums

Abb. 1



Einfluss der  $\text{ClO}_2$ -Konzentration auf die Keimzahl von *S. enterica* in Lösungen mit einem CSB von 350 (a) und 1000 (b),  $n = 3$ , Mittelwerte  $\pm$  StAbw, Nachweisgrenze (NWG):  $10^2\text{ KbE ml}^{-1}$

Fig. 1: Effects of  $\text{ClO}_2$  concentrations on *S. enterica* in solutions of COD 350 (a) and 1000 (b), respectively,  $n = 3$ , means  $\pm$  StAbw, detection limit:  $10^2\text{ CFU ml}^{-1}$

Tab. 2

Table 2: Einfluss der  $\text{ClO}_2$ -Konzentration auf die Keimzahl von *E. coli* und *L. monocytogenes* in Lösungen mit einem CSB von 350 und 1 000,  $n = 3$ , Mittelwerte  $\pm$  StAbw, Nachweisgrenze:  $10^2$  KbE  $\text{ml}^{-1}$

Table 2: Effect of  $\text{ClO}_2$  concentrations on *E. coli* and *L. monocytogenes* in solutions of COD 350 and 1 000, respectively,  $n = 3$ , means  $\pm$  SD, detection limit:  $10^2$  CFU  $\text{ml}^{-1}$

| $c(\text{ClO}_2)$ [ $\text{mg l}^{-1}$ ]   | CSB 350/COD 350                     |                                   |                                     | CSB 1000/COD 1000                   |                                     |                                     |
|--|-------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
|  | $t$ [min]                           |                                   |                                     |                                     |                                     |                                     |
|  | 0                                   | 1                                 | 2                                   | 0                                   | 1                                   | 2                                   |
| <i>E. coli</i> [KbE $\text{ml}^{-1}$ ]/ <i>E. coli</i> [CFU $\text{ml}^{-1}$ ]                   |                                     |                                   |                                     |                                     |                                     |                                     |
| 0  | $2 \cdot 10^6 \pm 5,3 \cdot 10^5$   |                                   |                                     | $2 \cdot 10^6 \pm 4,5 \cdot 10^5$   |                                     |                                     |
| 10   |                                     | $1 \cdot 10^2 \pm 1,7 \cdot 10^2$ | $< 10^2$                            |                                     | $4,1 \cdot 10^2 \pm 3,4 \cdot 10^2$ | $4,9 \cdot 10^2 \pm 1,1 \cdot 10^2$ |
| 20   |                                     | $< 10^2$                          | $< 10^2$                            |                                     | $< 10^2$                            | $5,7 \cdot 10^2 \pm 8,9 \cdot 10^2$ |
| 30   |                                     | $< 10^2$                          | $2,5 \cdot 10^2 \pm 4,1 \cdot 10^2$ |                                     | $< 10^2$                            | $< 10^2$                            |
| <i>L. monocytogenes</i> [KbE $\text{ml}^{-1}$ ]/ <i>L. monocytogenes</i> [CFU $\text{ml}^{-1}$ ] |                                     |                                   |                                     |                                     |                                     |                                     |
| 0  | $1,5 \cdot 10^6 \pm 7,4 \cdot 10^5$ |                                   |                                     | $6,9 \cdot 10^5 \pm 7,9 \cdot 10^5$ |                                     |                                     |
| 10   |                                     | $< 10^2$                          | $1,7 \cdot 10^2 \pm 2,8 \cdot 10^2$ |                                     | $< 10^2$                            | $1 \cdot 10^3 \pm 1,7 \cdot 10^3$   |
| 20   |                                     | $< 10^2$                          | $< 10^2$                            |                                     | $< 10^2$                            | $< 10^2$                            |
| 30   |                                     | $< 10^2$                          | $< 10^2$                            |                                     | $< 10^2$                            | $< 10^2$                            |

im Vergleich zur Kontrolle. Außerdem nimmt die keimreduzierende Wirkung erwartungsgemäß mit steigender  $\text{ClO}_2$ -Konzentration zu.

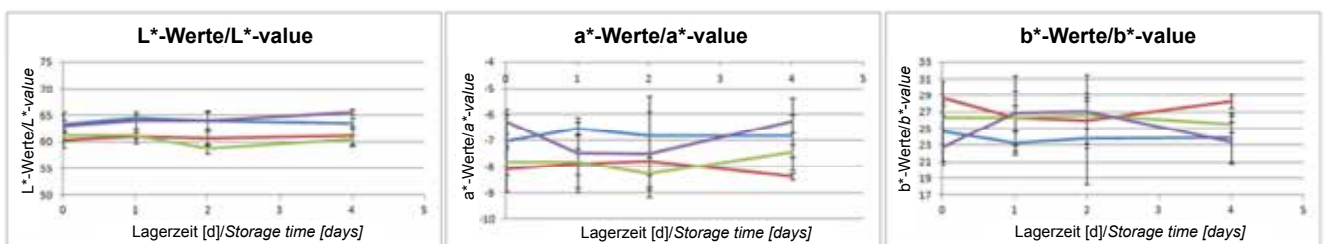
Die Ergebnisse für *E. coli* und *L. monocytogenes* ähneln denen von *S. enterica* stark (Tabelle 2). Für *E. coli* wurde ermittelt, dass bei einem CSB von 350 bei einer  $\text{ClO}_2$ -Konzentration von  $30 \text{ mg l}^{-1}$  und einer Einwirkzeit von 1 min bzw. bei  $10 \text{ mg l}^{-1}$  und 2 min Einwirkzeit eine Reduktion bis unter die Nachweisgrenze möglich ist – unbeachtet der Ausnahme bei  $c(\text{ClO}_2) = 30 \text{ mg l}^{-1}$  und  $t = 2 \text{ min}$ . Bei einem CSB-Wert von 1 000 konnte eine vollständige Reduktion bis unter die Nachweisgrenze erst bei einer  $\text{ClO}_2$ -Konzentration von  $30 \text{ mg l}^{-1}$  und einer Einwirkzeit von 2 min erreicht werden. Bei *L. monocytogenes* wurde sowohl bei einem CSB-Wert von 350 als auch bei 1 000 eine  $\text{ClO}_2$ -Konzentration von  $20 \text{ mg l}^{-1}$  und eine Einwirkzeit von 1 min benötigt, um das Bakterium bis unter die Nachweisgrenze zu reduzieren.

#### Einfluss der $\text{ClO}_2$ -Behandlung auf die Produktqualität

Die Farbe des Eisbergsalats wurde durch die Behandlung mit chlordioxidhaltigem Washwasser unabhängig von der  $\text{ClO}_2$ -Konzentration und Behandlungsdauer nicht signifikant verändert. Auch während einer fünftägigen Lagerung konnten keine signifikanten Abweichungen der Helligkeit ( $L^*$ ) sowie der Farbwerte  $a^*$  (rot-grün) und  $b^*$  (gelb-blau) von den Kontrollen beobachtet werden (Abbildung 2).

Für die Analysen des Vitamin-C-Gehaltes wurde Romana-salat verwendet, da dieser hohe Vitamin-C-Gehalte aufweist und Änderungen dieses wertgebenden Inhaltsstoffes gut nachweisbar sind. In Eisbergsalat dagegen konnte in den Wintermonaten wenig bzw. kein Vitamin C nachgewiesen werden. Zusätzlich mussten die natürlichen Schwankungen von Vitamin C innerhalb des Salatkopfes und der einzelnen Blätter in die Abschätzung einbezogen werden. In unseren Untersuchungen wurden durchschnittliche Abweichungen von ca. 8 % zwischen

Abb. 2



$L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ -Werte bei Eisbergsalat im Verlauf der Lagerung nach  $\text{ClO}_2$ -Behandlung (blau: Kontrolle, rot:  $10 \text{ mg l}^{-1} \text{ ClO}_2$ , grün:  $20 \text{ mg l}^{-1} \text{ ClO}_2$ , lila:  $30 \text{ mg l}^{-1} \text{ ClO}_2$ )

Fig. 2:  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ -values of iceberg lettuce during storage after  $\text{ClO}_2$  treatment (blue: control, red:  $10 \text{ mg l}^{-1} \text{ ClO}_2$ , green:  $20 \text{ mg l}^{-1} \text{ ClO}_2$ , purple:  $30 \text{ mg l}^{-1} \text{ ClO}_2$ )

den Blatthälften ermittelt. Dies berücksichtigend wurden nach der Chlordioxidbehandlung keine signifikanten Änderungen im Vitamin-C-Gehalt im zur Keimreduktion relevanten Konzentrationsbereich von 20 bis 30 mg l<sup>-1</sup> beobachtet.

### Schlussfolgerungen

Die Versuche zur Dekontamination von humanpathogenen Bakterien bei Salat wurden in künstlich erzeugtem Salatwaschwasser durchgeführt. Dies ist notwendig, da dem Waschwasser zugesetzte Hygienisierungsmittel auch mit Verunreinigungen im Wasser reagieren [13]. Das Dekontaminationsmittel wird dadurch aufgezehrt und steht für die Hygienisierung der Salatblätter nicht mehr zur Verfügung. Dies wiederum resultiert in einem deutlich erhöhten Bedarf an Dekontaminationsmittel. Die Verunreinigungen des Waschwassers müssen daher für eine erfolgreiche Wasserbehandlung unbedingt berücksichtigt werden. Die Versuche ergaben auch, dass bei einem CSB-Wert von 350 alle untersuchten Bakterien bis unter die Nachweisgrenze inaktiviert werden können. Bei *E. coli* und *L. monocytogenes* wird dafür eine ClO<sub>2</sub>-Konzentration von 20 mg l<sup>-1</sup> und eine Einwirkzeit von 1 min benötigt, bei *S. enterica* 20 mg l<sup>-1</sup> ClO<sub>2</sub> und 2 min Einwirkzeit.

Wird der CSB-Wert des Wassers auf 1000 erhöht, steigt die benötigte Einwirkzeit auf 2 min, um eine Inaktivierung von *E. coli* bzw. *L. monocytogenes* bis unter die Nachweisgrenze zu erhalten. Zusätzlich muss die ClO<sub>2</sub>-Konzentration bei *E. coli* auf 30 mg l<sup>-1</sup> erhöht werden. Bei *S. enterica* konnte hingegen keine Entkeimung bis unter die Detektionsgrenze erreicht werden. Das beste Ergebnis, eine 4-log-Reduktion, wurde hier bei einer ClO<sub>2</sub>-Konzentration von 20 mg l<sup>-1</sup> und 2 min Einwirkzeit gefunden.

Der Zusatz von ClO<sub>2</sub> ( $c(\text{ClO}_2)_{\text{max}} = 30 \text{ mg l}^{-1}$ ,  $t_{\text{max}} = 2 \text{ min}$ ) zum Waschwasser bei Schnittsalaten ist damit nach derzeitigem Wissensstand ein geeignetes Mittel, um die relevanten humanpathogenen Mikroorganismen im Wasser effektiv zu inaktivieren. Die Untersuchungen zur Qualitätsbestimmung des Salates nach ClO<sub>2</sub>-Behandlung zeigten, dass eine Dekontamination des Salatwaschwassers möglich ist, ohne die Farbe und den Vitamin-C-Gehalt des Salates zu beeinträchtigen. Geschmackstests müssen im Verlauf der weiteren Untersuchungen noch durchgeführt werden.

In zukünftigen Versuchsreihen muss außerdem noch geklärt werden, ob die Inaktivierung ebenso erfolgreich ist, wenn die Mikroorganismen auf der Salatoberfläche anhaften. Zusätzlich sind Untersuchungen nötig, die die Nachhaltigkeit der Behandlungsmethode bis zum Ende der Mindesthaltbarkeitsdauer belegen und in denen Rückstände des Dekontaminationsmittels bzw. dessen Abbauprodukte auf dem Produkt überprüft werden. Gegebenenfalls muss in einem weiteren Schritt über eine Nachbehandlung mit Leitungswasser diskutiert werden.

Bei einer zukünftigen technischen Umsetzung müssen die Arbeitsschutzaufgaben eingehalten werden. Eine Waschanlage sollte daher möglichst als geschlossenes System konzipiert sein und über ein Warn- und Absaugsystem für den Havariefall verfügen.

### Literatur

- [1] Rico, D.; Martin-Diana, A. B.; Barat, J.; Barry-Ryan, C. (2007): Extending and measuring the quality of fresh-cut fruit and vegetables: a review. *Trends in Food Science & Technology* 18(7), pp. 373–386
- [2] Siddiqui, Md W.; Chakraborty, I.; Ayala-Zavala, J.F.; Dhua, R.S. (2011): Advances in minimal processing of fruits and vegetables: a review. *Journal of Scientific & Industrial Research* 70, pp. 823–834
- [3] Olaimat, A.N.; Holley, R.A. (2012): Factors influencing the microbial safety of fresh produce: a review. *Food Microbiology* 32, pp. 1–19
- [4] Goodburn, C.; Wallace, C.A. (2013): The microbiological efficiency of decontamination methodologies for fresh produce: a review. *Food Control* 32, pp. 418–427
- [5] Kranert, M.; Hafner, G.; Barabosz, J.; Schneider, F.; Lebersorger, S.; Scherhauser, S.; Schuller, H.; Leverenz, D. (2012): Ermittlung der wegwerfene Lebensmittelmengen und Vorschläge zur Verminderung der Wegwerfrate bei Lebensmitteln in Deutschland. [http://www.bmelv.de/SharedDocs/Downloads/Ernaehrung/WvL/Studie\\_Lebensmittelabfaelle\\_Langfassung.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](http://www.bmelv.de/SharedDocs/Downloads/Ernaehrung/WvL/Studie_Lebensmittelabfaelle_Langfassung.pdf?__blob=publicationFile), Zugriff am 9.4.2014
- [6] Joshi, K.; Mahendran, R.; Alagusundaram, K.; Norton, T.; Tiwari, B.K. (2013): Novel disinfectants for fresh produce. *Trends in Food Science & Technology* 34, pp. 54–61
- [7] Ramos, B.; Miller, F.A.; Brandão, T.R.S.; Teixeira, P.; Silva, C.L.M. (2013): Fresh fruits and vegetables – an overview on applied methodologies to improve its quality and safety. *Innovative Food Science & Emerging Technology* 20, pp. 1–15
- [8] Hassenberg, K.; Idler, C.; Molloy, E.; Geyer, M.; Plöchl, M.; Barnes, J. (2007): Use of ozone in a lettuce-washing process: an industrial trial. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 87, pp. 914–919
- [9] Kim, B.S.; Kwon, J.Y.; Kwon, K.H.; Cha, H.S.; Jeong, J.W. (2006): Antimicrobial effect of cold ozonated water washing on fresh-cut lettuce. *Acta Horticulturae* 699, pp. 235–242
- [10] Koseki, S.; Isobe, S. (2006): Effect of ozonated water treatment on microbial control and on browning of iceberg lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Journal of Food Protection* 69, pp. 154–160
- [11] Parish, M.; Beuchat, L.; Suslow, T.; Harris, L.; Garrett, E.; Farber, J.; Busta, F. (2003): Methods to reduce/eliminate pathogens from fresh and fresh-cut produce. *Comprehensive Reviews in Food Science & Food Safety* 2, pp. 161–173
- [12] Pascual, A.; Llorca, I.; Canut, A. (2007): Use of ozone in food industries for reducing the environmental impact of cleaning and disinfection activities. *Trends in Food Science & Technology* 18(1), pp. S29–S35
- [13] Ayyildiz, O.; Ileri, B.; Sanik, S. (2009): Impacts of water organic load on chlorine dioxide disinfection efficacy. *Journal of Hazardous Materials* 168, pp. 1092–1097
- [14] Wu, V.C.H. and B. Kim (2007): Effect of a simple chlorine dioxide method for controlling five foodborne pathogens, yeasts and molds on blueberries. *Food Microbiology* 24(7-8), pp. 794–800

### Autoren

**Dr. Karin Hassenberg, Dr. Werner B. Herppich** und **Dr. Ulrike Praeger** sind wissenschaftliche Mitarbeiter der Abteilung Technik im Gartenbau des Leibniz-Institutes für Agrartechnik Potsdam-Bornim e.V. (ATB), Max-Eyth-Allee 100, 14469 Potsdam (wissenschaftlicher Direktor: **Prof. Dr. R. Brunsch**), E-Mail: [khasenberga@atb-potsdam.de](mailto:khasenberga@atb-potsdam.de).