

Aus dem Department für
Nutztiere und
öffentliches Gesundheitswesen in der Veterinärmedizin
der Veterinärmedizinischen Universität Wien
(Departmentsprecher: Univ.-Prof. Dr. med. vet. Michael HESS)
Abteilung für Hygiene und Technologie von Lebensmitteln
(Leiter: o. Univ. Prof. Dr. med. vet. Frans J.M. Smulders)

**Erzeugung und Charakterisierung von „elektrolytisch oxidierenden
Wasser“ und Auswirkungen auf die Farbe von Fleisch und
Fleischerzeugnissen**

Diplomarbeit

Veterinärmedizinische Universität Wien

vorgelegt von

Lisa Sövegjarto

Wien, im Februar 2020

Betreuer

Ao Univ.-Prof. Dr. med. vet. Peter Paulsen

Department für Nutztiere und öffentliches Gesundheitswesen in der Veterinärmedizin der
Veterinärmedizinischen Universität Wien, Institut für Lebensmittelsicherheit,
Lebensmitteltechnologie und öffentliches Gesundheitswesen in der Veterinärmedizin,
Abteilung für Hygiene und Technologie von Lebensmitteln

Begutachter/in

Dr. med. vet. Beatrix Stessl

Department für Nutztiere und öffentliches Gesundheitswesen in der Veterinärmedizin der
Veterinärmedizinischen Universität Wien, Institut für Lebensmittelsicherheit,
Lebensmitteltechnologie und öffentliches Gesundheitswesen in der Veterinärmedizin,
Abteilung für Lebensmittelmikrobiologie

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Fragestellung	1
1.1	Elektrolytische Zersetzung von Wasser und Salzlösungen	1
1.2	Eigenschaften von Hypochlorit bzw. Natriumhypochlorit	1
1.3	Rechtliche Aspekte der Verwendung von Hypochlorit als Desinfektionsmittel	2
1.4	Direkte Anwendung auf Lebensmitteloberflächen	2
1.5	Elektrolytisch oxidierendes Wasser (EOW)	3
1.5.1	Wirkung auf Bakterien, Viren und Pilze	3
1.5.2	EOW und Pestizide	3
1.5.3	Einschränkungen der antibakteriellen Wirkung von EOW	4
1.5.4	Wirkungen auf Geräte- und Lebensmitteloberflächen	4
1.5.5	Rechtliche Vorgaben bei der Anwendung: Biozidprodukt und Zulassungen/Registrierungen	5
1.6	Fragestellung	6
1.6.1	Kann ein handelsübliches, für Haushalte und für das Kleingewerbe angebotenes, System (Toucan III) EOW mit antibakteriell wirksamen Aktivchlormengen erzeugen?	6
1.6.2	Sind EOW Rückstände an den Oberflächen von Fleisch oder Fleischerzeugnissen als Farbänderung wahrnehmbar?	6
2	Material und Methoden	8
2.1	Material	8
2.1.1	Herstellung des EOW	8
2.1.2	Messung des pH-Wertes	8
2.1.3	Messung der Leitfähigkeit	8
2.1.4	Bestimmung des Aktivchlorgehaltes	8
2.1.5	Farbmessung an EOW-exponierten Oberflächen	9
2.2	Versuchsablauf	9
2.2.1	Ermittlung der verwendbaren NaCl Konzentrationen zur EOW Erzeugung und Messung von pH, Leitfähigkeit und Aktivchlorgehalt unmittelbar nach Herstellung	9
2.2.2	Stabilität der EOW Lösungen nach 24- und 48stündiger Lagerung	10
2.2.3	Farbmessung an EOW-exponierten Oberflächen	10
2.3	Statistik	11
3	Ergebnisse	12
3.1	Vorversuche	12

3.1.1	Zur Elektrolyse verwendbare Salzkonzentrationen	12
3.1.2	Verhältnis der NaCl Konzentration zu pH-Wert und Leitfähigkeit des EOW	12
3.1.3	Aktivchlorgehalt in EOW	13
3.2	Leitfähigkeit und pH-Wert von EOW nach 24- und 48-stündiger Lagerung.....	15
3.2.1	Mit entionisiertem Wasser hergestelltes und in Glasflaschen gelagertes EOW ..	15
3.2.1.1	Lagerung bei +20°C	15
3.2.1.2	Lagerung bei +2°C	16
3.2.2	Mit Leitungswasser hergestelltes und in Glasflaschen gelagertes EOW	17
3.2.2.1	Lagerung bei +20°C	17
3.2.2.2	Lagerung bei +2°C	18
3.2.3	Mit entionisiertem Wasser hergestelltes und in Kunststoff-Sprühflaschen gelagertes EOW, Lagerung bei +2°C und +20°C über 48h.....	19
3.2.4	Mit Leitungswasser hergestelltes und in Kunststoff-Sprühflaschen gelagertes EOW, Lagerung bei +2°C und +20°C über 48h	20
3.3	Farbänderung nach Einwirkung von EOW auf Oberflächen von Fleisch und Fleischerzeugnissen.....	21
3.3.1	Vorversuche	21
3.3.1.1	Farbänderungen nach Einwirkung von EOW auf Wurstaufschnitt	21
3.3.1.2	Farbänderungen nach Einwirkung von EOW auf Schweinefleisch	22
3.3.2	Vergleich der Farben von Fleisch und Fleischerzeugnissen vor und nach der Behandlung mit EOW _{0,2%} und EOW _{0,4%} bzw. den Kontroll-Lösungen.....	23
3.3.2.1	Rindfleisch	23
3.3.2.2	Hühnerbrustfleisch	26
3.3.2.3	Beinschinken.....	29
4	Diskussion	32
4.1	Charakterisierung des mit Gerät Toucan III erzeugten EOW	32
4.2	Auswirkung der Aufbringung von EOW auf die Farbe von Fleisch und Fleischoberflächen	33
5	Zusammenfassung	35
6	Summary	36
	Abkürzungsverzeichnis	37
	Literaturverzeichnis	38
	Abbildungsverzeichnis	41
	Tabellenverzeichnis	44

1 Einleitung und Fragestellung

1.1 Elektrolytische Zersetzung von Wasser und Salzlösungen

Wenn elektrischer Strom durch Wasser geleitet wird, kommt es zu einer Zerlegung der Wassermoleküle in Wasserstoff und Sauerstoff (Latscha u. Kazmaier 2016). Bei der Anwesenheit von Salzen – was schon bei normalem Leitungswasser der Fall ist – können weitere Reaktionsprodukte gebildet werden. Dieses Verfahren bildet die Grundlage vieler technologischer Prozesse. Sehr bekannt ist die Herstellung von Laugen aus Erdalkalimetallsalzen („Chloralkali-Elektrolyse“). Z.B. wird durch elektrolytische Zersetzung von NaCl Natronlauge und Chlor(gas) gebildet. Am Minuspol (Kathode) werden Wasserstoffgas und Hydroxidionen gewonnen. Dies führt zu einer alkalischen Lösung, die im Wesentlichen aus Natriumhydroxid besteht und ein niedriges Oxidations-Reduktionspotenzial besitzt. Am Pluspol (der Anode) werden Chlorionen zu elementarem Chlor oxidiert, dadurch ist die Lösung im Bereich der Anode sauer und besitzt ein hohes Oxidations-Reduktionspotential. Es können auch andere Erdalkalimetall-Salze zu Hydroxiden umgesetzt werden, z.B. Kaliumchlorid KCl zu Kaliumhydroxid KOH (Minz u. Schliebs 1978). Bei diesen Verfahren ist eine Trennung der Hydroxide von Cl_2 nötig, um zu verhindern, dass Cl_2 zu Hypochlorit reagiert und damit die Ausbeute von Cl_2 verringert. Während Hypochlorsäure (HOCl) bzw. Natrium-Hypochlorit (NaOCl) bei dieser Prozessführung ein unerwünschtes Reaktionsprodukt ist, zielt die Herstellung von „elektrolytischen oxidierendem Wasser“ (EOW) genau auf dieses Reaktionsprodukt ab.

1.2 Eigenschaften von Hypochlorit bzw. Natriumhypochlorit

Wässrige Lösungen von Natriumhypochlorit sind stark oxidierende Verbindungen und werden als Bleich- und Desinfektionsmittel verwendet. Ein Beispiel ist der Einsatz zur Wurzelkanalspülung in der Zahnmedizin (Raab 2010). Die HOCl hat einen bakteriziden Effekt, sie hemmt Enzymaktivitäten, die für das mikrobielle Wachstum wesentlich sind, schädigt die Membran und DNA und kann die Membrantransportkapazität der Zellen verschlechtern (Han et al. 2018). Die antibakterielle Wirksamkeit von Hypochlorit (ClO) wird durch Proteine in der Umgebung und niedrigen Temperaturen verringert (Bessemers 2003). Während bei „sauberen“ Oberflächen Lösungen mit 30–85 mg Aktivchlor (Natriumhypochlorit,

NaClO)/I antibakteriell wirksam sind, sind auf proteinbelasteten Oberflächen Lösungen mit 100–400 mg/l nötig (Bessems 2003). Das macht deutlich, dass vor einer Desinfektion in Lebensmittelbetrieben eine Reinigung, d.h. eine Entfernung von Grobschmutz, Fett- und Eiweißrückständen, durchgeführt werden muss (Bauer u. Smulders 2015, Heeschen u. Zschaler 2015). Gram-negative Bakterien sind empfindlicher als Gram-positive Bakterien und Bakteriensporen (Rolle u. Mayr 2007).

Im Handel werden für Hypochloritlösungen auch Eigennamen verwendet: „Eau de Labarraque“ oder „Dakin´sche Lösung“ (Neumüller 1985). Diese Lösungen enthalten max. 12,5–13 % wirksames Chlor („Aktivchlor“) (Neumüller 1985, IFA 2019). Ca. 10%ige alkalische Lösungen sind lagerfähig (Bessems 2003). Bei Erhitzung kann es zur Freisetzung von Chlorgas kommen, bei der Reaktion mit Aminen oder Ammoniak zur Bildung von Monochloraminen (IFA 2019). Hypochlorit ist gewässerschädigend und kann beim Menschen akute (Verätzungen der Schleimhäute an Auge, Atmungstrakt und Verdauungstrakt) und chronische Effekte (Sensibilisierung) hervorrufen (IFA 2019).

1.3 Rechtliche Aspekte der Verwendung von Hypochlorit als Desinfektionsmittel

(Natrium-)Hypochlorit fällt in den Regelungsbereich der Biozidverordnung (Verordnung (EU) Nr. 528/2012). Es sind also Umwelt- und Arbeitsschutzaspekte zu berücksichtigen.

1.4 Direkte Anwendung auf Lebensmitteloberflächen

Waschungen oder Spraybehandlungen mit chlorhaltigen Lösungen können die Oberflächenkeimzahlen auf Fleischoberflächen deutlich verringern (Lund et al. 2002). In den USA ist die Verwendung chlorhaltiger Spül- bzw. Tauchlösungen bei der Geflügelschlachtung zulässig. In einer Stellungnahme der EFSA (2005) wurden die Effekte und möglichen Nachteile chlorhaltiger Spray- oder Tauchlösungen evaluiert. Dem grundsätzlich antimikrobiellen Effekt steht aber die Gefahr gegenüber, dass bei Einführung solcher antibakteriellen Behandlungen die vorgeschriebenen Hygienemaßnahmen weniger beachtet werden. Aus den bis 2005 verfügbaren Daten zur Behandlung von Geflügelschlachtkörpern mit Chlordioxid ergaben sich für die EFSA keine Sicherheitsbedenken (EFSA 2005).

1.5 Elektrolytisch oxidierendes Wasser (EOW)

Die Herstellung von EOW ist somit ein Sonderfall der Chloralkali-Elektrolyse. Bei Anwesenheit von NaCl als Desinfektionsmittel wird HOCl bzw. NaOCl gebildet, bei anderen Salzen entsprechend andere Reaktionsprodukte.

Im Vergleich mit anderen Desinfektionsmitteln ist die Herstellung von EO-Wasser günstiger, da nach einer Erstinvestition in einen EO-Wassergenerators im laufenden Betrieb nur mehr Wasser, Salz und Elektrizität benötigt wird (Huang et al. 2008). Die Generatoren müssen aber ausreichende Produktionskapazität haben und es muss sichergestellt werden, dass weder Chlorgas noch Wasserstoff während der Herstellung frei werden (Wang et al. 2016). EOW wurde auch erfolgreich in Rohrleitungen von Milchsystemen getestet und wäre damit auch für cleaning in place (CIP) geeignet (Huang et al. 2008).

1.5.1 Wirkung auf Bakterien, Viren und Pilze

Es wird angenommen, dass die keimtötende Aktivität von EOW auf der Wirkung von HOCl beruht. Forscher wiesen auch darauf hin, dass EOW eine antivirale Wirkung auf durch Blut übertragene pathogene Viren, Hepatitis B-Viren, Hepatitis C-Viren und HI-Viren, hat. Es zeigt bei Hepatitis B allerdings eine bessere Wirkung als reines Natriumhypochlorit (Huang et al. 2008). Zu den möglichen Mechanismen, die der EOW Desinfektion gegen durch Blut übertragene Viren zugrunde liegen, könnten die Inaktivierung von Oberflächenproteinen, die Zerstörung der Virushülle, die Inaktivierung von für Enzyme kodierenden viralen Nukleinsäuren und die Zerstörung von viraler RNA gehören (Huang et al. 2008).

Die Wirkung auf bestimmte Toxine wurde ebenfalls getestet (Huang et al. 2008). Dabei zeigte sich, *Staphylococcus aureus* durch EOW abgetötet wurde, jedoch die Enterotoxine stabil blieben. Weiters inaktiviert EOW *Aspergillus parasiticus* und beseitigt die Mutagenität von Aflatoxinen durch das aus HOCl stammende OH-Radikal (Huang et al. 2008, Ding et al. 2019)

1.5.2 EOW und Pestizide

Gemüse und Obst („fresh products“) werden oft mit Leitungswasser gewaschen, um Verunreinigungen, wie Pestizide, zu entfernen. Leitungswasser hat aber eine schlechte

Effizienz, da einige Pestizide hydrophob sind. Chlor hingegen erscheint wirksam gegenüber Pestiziden wie Diazinon, Cyprodinil und Phosmet. Es wurde hierfür zum Beispiel Spinat für 15 Minuten in EOW mit 120 mg/l Chlor getaucht und der Gehalt an Pestiziden verringerte sich je nach Pestizid um 43,8–85,7 % (Qi et al. 2017).

1.5.3 Einschränkungen der antibakteriellen Wirkung von EOW

Hauptnachteil von EOW ist, dass es schnell seine antibakterielle Aktivität verliert, wenn nicht kontinuierlich durch Elektrolyse H^+ , HOCl und Cl_2 nachproduziert werden (Huang et al. 2008). Wie auch bei anderen Desinfektionsverfahren ist die Wirkung bei rauen, schwer zu reinigenden Oberflächen begrenzt (Wang et al. 2016). Mit steigender Temperatur sinkt zwar der Aktivchlorgehalt (Wang et al. 2016), was aber bei Anwendungen in Fleischgewinnungs- oder Fleischverarbeitungsbetrieben kein Nachteil wäre (Hricova et al. 2008).

1.5.4 Wirkungen auf Geräte- und Lebensmitteloberflächen

Neutrales EOW ist nicht thermisch und wenig korrosiv bei Zubehör und Geräten und führt zu keinen Farbveränderungen. Bei saurem EOW sind korrosive Effekte stärker ausgeprägt (Han et al. 2018). Das Waschen von Trauben und Erdbeeren mit EOW führte zu keinen Änderungen der Konsistenz (Qi et al. 2017). Neutrales EOW führt zu weniger Irritationen bei Kontakt mit der Haut, saures EOW zu stärkeren Reizungen (Qi et al. 2017).

Wenn EOW zum Waschen von Lebensmitteln verwendet wird oder EOW Reste unbeabsichtigt auf Lebensmittel gelangen, können grundsätzlich Rückstände von Hypochlorit am Lebensmittel verbleiben und mit Lebensmittelbestandteilen reagieren. Bei Fleisch kann es zur Denaturierung des Myoglobins kommen, was zu einer Farbänderung führt (Mancini u. Hunt 2005, Lawrie u. Ledward 2006, Suman u. Joseph 2014). Die Farbänderungen können auf verschiedene Weise gemessen und beschrieben werden. Ein übliches Verfahren ist die Reflexionsspektrometrie mit der Charakterisierung des reflektierten Lichts als Rot-Grün (a^*), Gelb-Blau (b^*) und Helligkeit (L^*) ($L^*a^*b^*$ Farbraum, Mancini u. Hunt 2005). Aus diesen Messungen lassen sich weitere Werte ableiten, z.B. der Delta-E-Wert. Der Delta-E-Wert (ΔE -Wert) bezeichnet das Maß für den Abstand zweier Farben. Ein Wert von 1 bezeichnet jenen Farbabstand, den das menschliche Auge nicht mehr wahrnehmen kann, Werte von 1–3

werden als geringe, solche von 3–6 als mittlere und Werte >6 als große Farbunterschiede wahrgenommen (Prändl et al. 1988, Häßler 2018).

Sowohl bei rohem als auch bei gepökeltem erhitztem Fleisch kommt es durch die Globin-Denaturierung zu einer Verringerung des Rot-Tons (a^*). Die Proteindenaturierung führt zu einem verminderten Wasserhaltevermögen (Lawrie u. Ledward 2006) und Flüssigkeitsaustritt an der Oberfläche, was die Lichtreflexion und damit den L^* Wert erhöht. Da die Chlorverbindungen in einer Lösung aufgebracht werden, ist immer mit der Bildung eines Wasserfilms an der Oberfläche zu rechnen, was den L^* Wert weiter erhöht.

Zu beachten ist, dass Chlor mit Harnstoff, Kreatinin oder Aminosäuren unter Bildung von Monochloraminen reagieren kann. Im Falle einer Chlorierung von Aminosäuren stellen aromatische Aminosäuren das bevorzugte Ziel dar. Für Geflügelfleisch stellte die EFSA fest, dass die Konzentration an freien aromatischen Aminosäuren und von solchen Aminosäuren in Peptidform sehr gering ist (EFSA 2005).

1.5.5 Rechtliche Vorgaben bei der Anwendung: Biozidprodukt und Zulassungen/Registrierungen

Aktivchlor, welches durch Elektrolyse aus Natriumchlorid erzeugt wird, wird „*in situ*“ erzeugt. Biozid Wirkstoffe werden „*in situ*“ („vor Ort erzeugt“) genannt, wenn sie aus einer oder mehreren Vorläufersubstanzen am Anwendungsort erzeugt werden. Jedes „*in situ*“ hergestellte Biozid fällt unter die Biozid Verordnung (Verordnung (EU) Nr. 528/2012) und darf nur verwendet werden, wenn die Wirkstoffe und Vorläufersubstanzen genehmigt und zugelassen sind. Vorläufersubstanzen müssen seit 1. September 2015 im Artikel 95 registriert sein. Die Bereitstellung auf dem Markt und die Verwendung von Biozid Produkten wird in der genannten Verordnung (EU) Nr. 528/2012 geregelt. Natriumhypochlorit bzw. das daraus freigesetzte Aktivchlor ist eine genehmigte Verbindung (Durchführungsverordnung (EU) 2017/1273).

Da Natriumhypochlorit bei Zusatz von Säure Chlor(gas) freisetzen kann, unterliegt es besonderen Kennzeichnungsvorschriften („CLP-Verordnung“; Verordnung Nr. 1272/2018 Anhang II, 1. Teil, Abschnitt 1.2.2). Aktivchlor-haltige Publikumsprodukte ab 1% Chlor tragen den Warnhinweis: „nicht zusammen mit anderen Reinigern verwenden“; ab Chlorgehalten von 5% ist der EU-Satz: EU-H031 „Entwickelt bei Berührung mit Säuren giftige Gase“

vorgesehen. Der deutsche Industrieverband für Hygiene und Oberflächenschutz (2018) empfiehlt, schon ab 1% Chlorgehalt den EU-Satz EU-H031 an der Verpackung anzubringen.

EOW ist in Japan seit 2002 als Lebensmittelzusatzstoff zugelassen. Die Anwendung von EOW in der Lebensmittelindustrie der USA wurde von der US Environmental Protection Agency (EPA) erlaubt (Huang et al. 2008).

1.6 Fragestellung

1.6.1 Kann ein handelsübliches, für Haushalte und für das Kleingewerbe angebotenes, System (Toucan III) EOW mit antibakteriell wirksamen Aktivchlormengen erzeugen?

Unterschiedliche Studien zeigten, dass EOW eine bakterielle Wirksamkeit hat. Getestet wurden dabei z.B. *Campylobacter jejuni*, *Staphylococcus aureus* und *Salmonella Enteritidis* auf den unterschiedlichsten Oberflächen. Dabei wurden Aktivchlormengen im Bereich von 43–86,3 mg/l verwendet und es zeigte sich bei den unterschiedlichsten Bakterien eine antibakterielle Wirksamkeit (Huang et al. 2008).

Daraus ergab sich die erste Fragestellung, nämlich ob das Gerät Toucan III EOW mit Aktivchlorkonzentrationen von mehr als 43 mg/l erzeugen kann. Ausgehend von dieser Frage sollte untersucht werden, ob die Aktivchlorkonzentration auch bei längerer Lagerung von EOW erhalten bleibt oder absinkt. Zum Zeitpunkt der Durchführung der Studie lag außer der Bedienungsanleitung noch kein Datenblatt zum Gerät vor.

1.6.2 Sind EOW Rückstände an den Oberflächen von Fleisch oder Fleischerzeugnissen als Farbänderung wahrnehmbar?

Studien zu Obst und Gemüse zeigten, dass Waschungen in EOW keine signifikanten Farbveränderungen bewirken: Wenn Spinat, Fisolen und Trauben mit EOW mit Aktivchlorkonzentrationen von 70–120 mg/l gewaschen wurden, ergaben sich keine signifikanten Farbveränderungen (Hang et al. 2017). In der EU sind im Bereich Fleisch und Fleischerzeugnisse Abspülungen mit Wasser nur am Schlachtkörper (VO EG Nr. 853/2004), bei der Abkühlung von Brühwurst- und Kochwurstzeugnissen nach der Brühung bzw.

Kochung sowie bei der Rohschinkenproduktion möglich (Prändl et al. 1988). Die Anwendung von EOW zum Abspülen von Lebensmitteloberflächen wäre daher nicht möglich, aber es könnten unbeabsichtigt EOW Reste auf Produkte gelangen. Die natürlichen Chlorgehalte von Fleisch (400–800 mg/kg; McCance u. Widdowson 1993; Souci et al. 2000) und von Fleischerzeugnissen (>1000 mg/kg; Souci et al. 2000) sind höher als durch Chlorbehandlung zu erwartenden Rückständen (EFSA 2005). Demnach ist die Bestimmung des Chlorgehaltes zur Feststellung von EOW Rückständen nicht zielführend. EOW könnte aber auf die Hämproteine wirken bzw. das Wasserhaltevermögen beeinflussen (siehe Abschnitt 1.5.4) und damit Farbveränderungen hervorrufen. Daraus ergab sich die Fragestellung, ob es nach EOW-Exposition von frischem Fleisch und gepökelten Fleischerzeugnissen zu instrumentell messbaren Farbveränderungen kommt, d.h. signifikanten Verringerungen des Rottons a^* , der Helligkeit L^* , bzw. zu Änderungen des Delta-E-Wertes um mehr als 6 Einheiten.

2 Material und Methoden

2.1 Material

2.1.1 Herstellung des EOW

Zur Herstellung des elektrolytisch oxidierenden Wassers wurde das Gerät Toucan III (Firma Centrego, Frome, UK) verwendet. Es wurde im Versuch mit entionisierten und Leitungswasser gearbeitet. Weiters wurde zur Herstellung des EOW Natriumchlorid p.a. (Carl Roth GmbH + Co. KG, Karlsruhe, Deutschland) verwendet. Die Einwaage des verwendeten NaCl erfolgte mit der Analysenwaage FX-2000 (Lenz, Wien).

2.1.2 Messung des pH-Wertes

Die pH-Wert Bestimmung wurde mit dem Gerät Testo 205 (Testo AG, Lenzkirch, D) durchgeführt. Kalibriert wurde das Messgerät mit den pH Pufferlösungen 4,01 und 7,00, welche ebenfalls von der Firma Testo stammen.

2.1.3 Messung der Leitfähigkeit

Zur Messung der Leitfähigkeiten wurde das Leitfähigkeitsmessgerät LF 96 (WTW, Weilheim, D) verwendet. Die Kalibrierung erfolgte mit einem technischen Leitfähigkeitsstandard (WTW).

2.1.4 Bestimmung des Aktivchlorgehaltes

Die Bestimmung des Aktivchlorgehaltes fand indirekt über die Jodometrie statt (Wildbrett 1995). Es wird dabei der Jodgehalt indirekt bestimmt. Das nach Ansäuerung der Natriumhypochloritlösung aus KJ gebildete J_2 wird mittels Natriumthiosulfat bis zur Entfärbung titriert.

Zur Aktivchlorbestimmung wurden 100 ml Probenflüssigkeit mit 5 ml einer 5%igen KJ Lösung (Merck, Darmstadt, D) und 10 ml Säure versehen (Salzsäure p.a. 2N oder Schwefelsäure p.a. 2N; Sigma Aldrich, St. Louis, USA) und 1 Minute stehen gelassen. Dann wurde unter

Rühren mit 0,01N Natriumthiosulfatlösung (Fluka, Buchs, CH) bis zur Aufhellung der Lösung titriert und nach Zugabe von 1 ml 2%iger Stärkelösung (Merck, Darmstadt, D) bis zur Entfärbung titriert (Titriergerät Metrohm, Herisau, Schweiz). Der Aktivchlorgehalt in mg/l ergab sich durch Multiplikation des verwendeten Natriumthiosulfatvolumens (ml) mit 0,3545.

2.1.5 Farbmessung an EOW-exponierten Oberflächen

Die Farbmessung erfolgte mit dem Farbmessgerät Phyma Codec 400 (6500K, 10°Apertur) der Firma Phyma aus Gaaden (Österreich). Die EOW Exposition erfolge durch Eintauchen der Proben in aus 0,2%iger NaCl Lösung ($\text{EOW}_{0,2\%}$) oder aus 0,4%iger NaCl Lösung ($\text{EOW}_{0,4\%}$) hergestelltem EOW. Zur Kontrolle dienten in Leitungswasser, in 0,2%ige NaCl Lösung oder 0,4%ige NaCl Lösung eingetauchte Proben. Vom Gerät wurden der Rotton a^* , der Gelbton b^* und die Helligkeit L^* ausgegeben sowie der Delta-E-Wert berechnet.

2.2 Versuchsablauf

2.2.1 Ermittlung der verwendbaren NaCl Konzentrationen zur EOW Erzeugung und Messung von pH, Leitfähigkeit und Aktivchlorgehalt unmittelbar nach Herstellung

Zuerst wurde getestet, bei welchen Konzentrationen das Gerät Toucan III noch eine Elektrolyse durchführen kann. Laut Hersteller des Toucan III soll bei 1 Liter Wasser 1 g NaCl verwendet werden. Dafür wurde 1 Liter Wasser abgemessen und in den Toucan III eingefüllt, die jeweilige NaCl Menge wurde mit einem Löffel untergerührt und der Startknopf wurde gedrückt. Anschließend begann die Elektrolyse, wobei es zu einer Blasenbildung kam. Nach 5 Minuten gab der Toucan III ein Signal. Die Elektrolyse war zu Ende und die Lösung fertig. Der Versuch wurde mit entionisiertem Wasser und Leitungswasser durchgeführt. Die verwendeten NaCl Mengen reichten von 0 g NaCl/l bis 7,5 g NaCl/l.

Unmittelbar nach der Herstellung der EOW Lösung wurde mit dem Testo 205 der pH-Wert und mit dem Leitfähigkeitsmessgerät LF96 die Leitfähigkeit gemessen.

Weiters wurde auch unmittelbar nach der Herstellung der Lösung der Aktivchlorgehalt bestimmt. (s. Abschnitt 2.1.4).

2.2.2 Stabilität der EOW Lösungen nach 24- und 48stündiger Lagerung

Um die Stabilität der Lösung zu testen, wurden der pH-Wert und auch die Leitfähigkeit nach 24- und 48stündiger Lagerung der Lösungen gemessen. Die Lagerung erfolgte in Glasflaschen einerseits bei Tageslicht und einer Raumtemperatur von +20°C, als auch lichtgeschützt und unter Kühlung (+2°C). Auch die Stabilität der EOW bei Aufbewahrung in den mit dem Gerät mitgelieferten Kunststoff-Sprühflaschen wurde überprüft. Der Aktivchlorgehalt wurde ebenfalls nach 24- und 48stündiger Lagerung bestimmt.

2.2.3 Farbmessung an EOW-exponierten Oberflächen

Es wurde getestet, ob es bei Lebensmitteln bei einer Exposition gegenüber einer EOW Lösung aus entionisiertem Wasser zu einer Farbveränderung kommt. Untersucht wurden ein in Scheiben geschnittenes, gepökeltes Brühwusterzeugnis (Wiener Extra geräuchert; Radatz, Wien), ein in Scheiben geschnittenes Kochpökelwarenerzeugnis (Beinschinken, Berger, Sieghartskirchen), sowie frisches Fleisch (Schweinefleisch, Hühnerbrüste und Beiried vom Rind; REWE).

Es wurden zwei orientierende Versuche („Vorversuche“) durchgeführt:

A) Extrawurst in Scheiben: Für 1 Minute wurden $\frac{1}{4}$ der Scheibe in Wasser, $\frac{1}{4}$ der Scheibe in EOW aus 0,2%iger NaCl Lösung und $\frac{1}{4}$ der Scheibe in EOW aus 0,4%iger NaCl Lösung getaucht. $\frac{1}{4}$ der Scheibe blieb als Kontrolle unbehandelt. Anschließend erfolgte die Farbmessung, wobei die Helligkeit, der Rotton als auch der Gelbton gemessen wurden.

B) Schweinefleisch: Beim Schweinefleisch wurde die Farbmessung vor der Exposition durchgeführt. Anschließend wurden die Stücke für 1 Minute in EOW aus 0,2%iger NaCl Lösung getaucht und die Farbmessung wiederholt.

Ausgehend von den Ergebnissen der orientierenden Versuche wurden Farbmessungen bei Beinschinken, Rindfleisch (Beiried) und Hühnerbrüsten vorgenommen („Hauptversuch“). Zuerst erfolgte eine Farbmessung vor der Exposition. Anschließend wurde je ein Stück für 1 Minute in Wasser, in 0,2% NaCl Lösung, in 0,4% NaCl Lösung, in EOW aus 0,2%iger NaCl Lösung und in EOW aus 0,4% NaCl Lösung getaucht und anschließend wurde eine weitere Farbmessung durchgeführt.

2.3 Statistik

Die pH- und die Leitfähigkeitswerte wurden unter Berücksichtigung der Faktoren NaCl Konzentration und Lagerungsdauer mittels einer zweifaktoriellen Varianzanalyse untersucht. Die Analysen erfolgten getrennt nach Wasserqualität und Lagerungstemperatur.

Zur Farbauswertung der EOW-Behandlung von Extrawurstscheiben wurde eine einfaktorielle Varianzanalyse mit der Behandlung (keine, Tauchen in Wasser, Tauchen in EOW_{2%}, Tauchen in EOW_{0,4%}) als unabhängigem Faktor und jeweils L*, a* und b* als abhängigem Faktor durchgeführt. Bei der Farbauswertung von mit EOW_{0,2%} behandeltem Schweinefleisch wurden Farbmessungen vor und nach der Behandlung gemacht und ein t-Test durchgeführt.

Beim Hauptversuch (Rind-, Hühnerfleisch und Beinschinken) wurde ebenfalls die Art der Behandlung als unabhängiger Faktor und jeweils L*, a* und b* als abhängiger Faktor mittels Varianzanalyse untersucht.

Der Mittelwertvergleich erfolgte mittels Fishers LSD, mit 0,05 als Signifikanzschwelle für p. Die Berechnungen wurden mit dem Programm StatGraphics 3 berechnet (Statistical Graphics Corp., USA).

3 Ergebnisse

3.1 Vorversuche

3.1.1 Zur Elektrolyse verwendbare Salzkonzentrationen

Getestet wurde, bei welchen Salzkonzentrationen das Gerät noch eine Elektrolyse durchführen kann. Dabei lag für entionisiertes Wasser das Maximum bei 7 g NaCl/l. Bei einer Salzkonzentration von 7,5 g konnte das Gerät keine Elektrolyse mehr durchführen. Im Versuch mit Leitungswasser lag das Maximum bei 4 g NaCl/l (Tab. 1).

Tabelle 1: Kochsalzkonzentrationen, bei denen das Gerät die Elektrolyse durchführte (entionisiertes Wasser bzw. Leitungswasser)

	Entionisiertes Wasser	Leitungswasser
0 g NaCl/l	+	+
0,5 g NaCl/l	+	
0,75 g NaCl/l	+	
1 g NaCl/l	+	+
1,25 g NaCl/l	+	
1,5 g NaCl/l	+	
2 g NaCl/l	+	+
3 g NaCl/l	+	
4 g NaCl/l	+	+
5 g NaCl/l	+	
6 g NaCl/l	+	
7 g NaCl/l	+	
7,5 g NaCl/l	-	

Legende	
+	Elektrolyse fand statt
-	keine Elektrolyse fand statt
leeres Feld	diese Konzentration wurde nicht getestet

3.1.2 Verhältnis der NaCl Konzentration zu pH-Wert und Leitfähigkeit des EOW

Die Korrelation zwischen Leitfähigkeit und NaCl Konzentration beträgt 1,000 und zeigt einen positiven linearen Zusammenhang. Die Korrelation zwischen pH-Wert und NaCl Konzentration ist mit einem Wert von 0,701 schlechter. Dafür zeigt die Korrelation zwischen pH-Wert und der logarithmierten NaCl Konzentration mit einem Wert von 1,000 einen linearen Zusammenhang (Tab. 2).

Tabelle 2: Verhältnis der NaCl Konzentration zu pH-Wert und Leitfähigkeit (LF) des EOW

NaCl g/l	pH	LF (mS/cm)		pH	NaCl g/l (log)
0,0001	5,69	0,01728		5,69	-4
1	8,37	1,75		8,37	0
2	8,6	3,39		8,6	0,30103
3	8,72	4,91		8,72	0,477121
4	8,82	6,57		8,82	0,60206
5	8,92	8,11		8,92	0,69897
6	8,95	9,57		8,95	0,778151
7	8,97	11,22		8,97	0,845098
Korrelationskoeffizient r	0,710	1,000			1,000
r ²	0,504	0,999			1,000

3.1.3 Aktivchlorgehalt in EOW

Bei der Messung des Aktivchlorgehaltes zeigte sich ein linearer Zusammenhang zwischen dem steigenden Zusatz und dem gemessenen Aktivchlor nach Elektrolyse. Dabei zeigt sich, dass im Durchschnitt ca. 10% des Chlors in der Lösung zu Aktivchlor umgesetzt werden (Tab. 3).

Tabelle 3: Aktivchlorgehalte in EOW (entionisiertes Wasser) nach Ansäuern mit Salzsäure

NaCl g/l	Cl g/l (errechnet)	Verbrauchte Maßlösung (0,01m), ml	mg Aktivchlor/10ml	g Aktivchlor/l
0,5	0,30	1,042	0,369	0,037
2	1,21	3,700	1,312	0,131
4	2,43	6,160	2,184	0,218
4	2,43	6,650	2,358	0,236
6	3,64	9,200	3,262	0,326

Bei der Verwendung von Schwefelsäure statt Salzsäure zum Ansäuern wurden ebenfalls ca. 10% des Chlors in Aktivchlor umgewandelt (Tab. 4).

Tabelle 4: Aktivchlorgehalte in EOW (entionisiertes Wasser) nach Ansäuern mit Schwefelsäure

NaCl g/l	Cl g/l (errechnet)	Verbrauchte Maßlösung (0,01m), ml	mg Aktivchlor/10ml	g Aktivchlor/l
0,5	0,30	1,004	0,356	0,036
2	1,21	3,520	1,248	0,125
4	2,43	6,452	2,287	0,229
6	3,64	9,459	3,353	0,335

Der Gehalt an Aktivchlor in den Lösungen wurde auch nach 24 und 48 Stunden gemessen und blieb auch bei einer Lagerung bei 2 °C konstant. Die Werte an Aktivchlor reichten von 0,126 g bis 0,132 g pro Liter (Tab. 5).

Tabelle 5: Ergebnisse der Aktivchlorbestimmung aus EOW (Leitungswasser, 2 g NaCl/l) nach Ansäuern mit Salzsäure nach 24h und 48h Lagerung bei +2°C

Zeit (h)	Verbrauchte Maßlösung (0,01m), ml	mg Aktivchlor/10ml	g Aktivchlor/l
0	3,635	1,288	0,129
0	3,577	1,268	0,127
24	3,631	1,287	0,129
24	3,565	1,264	0,126
48	3,733	1,323	0,132
48	3,469	1,230	0,123

3.2 Leitfähigkeit und pH-Wert von EOW nach 24- und 48-stündiger Lagerung

3.2.1 Mit entionisiertem Wasser hergestelltes und in Glasflaschen gelagertes EOW

3.2.1.1 Lagerung bei +20°C

In der ohne NaCl Zusatz hergestellten Lösung ($\text{EOW}_{0\%}$) waren die pH-Werte unmittelbar nach der Herstellung im Bereich von 4,77 und stiegen auf etwa 5,2 (Abb. 1), bei den mit NaCl Zusatz hergestellten EOW Lösungen waren die anfänglichen pH-Werte im Bereich 8,7–9,1 und sanken nach 48 Std. auf 8,4–8,9.

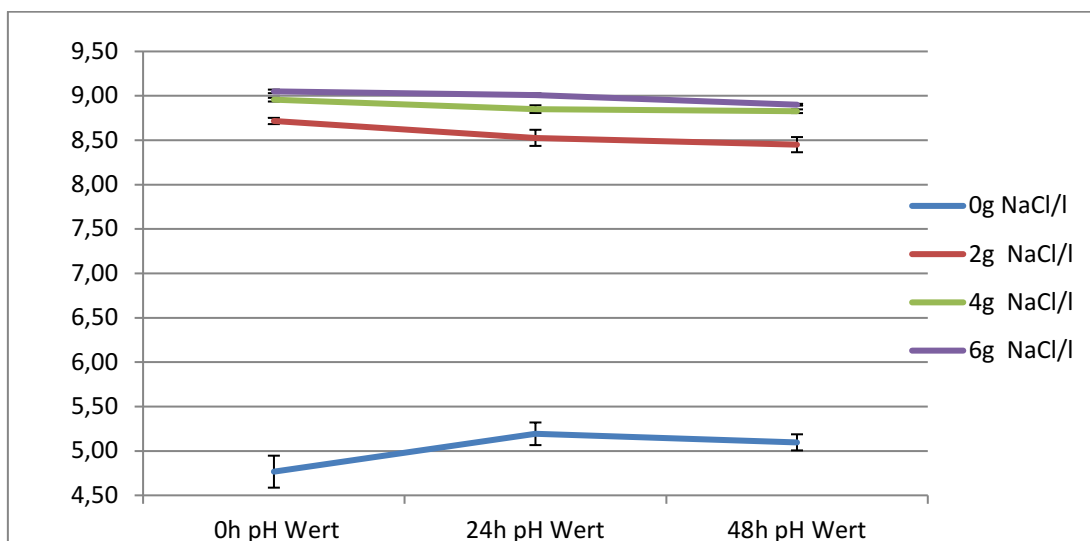


Abbildung 1: pH-Werte in aus entionisiertem Wasser hergestelltem EOW, Lagerung bei +20°C über 48h (n=3).

Die verwendete NaCl Konzentration hatte einen signifikanten Einfluss auf den pH-Wert. Die pH-Werte für $\text{EOW}_{0\%}$ und $\text{EOW}_{0,2\%}$ unterschieden sich signifikant voneinander und von $\text{EOW}_{0,4\%}$ und $\text{EOW}_{0,6\%}$. Die pH-Werte von $\text{EOW}_{0,4\%}$ und $\text{EOW}_{0,6\%}$ unterschieden sich nicht

voneinander. Die NaCl Konzentrationen hatten ebenfalls einen signifikanten Einfluss auf die Leitfähigkeitswerte der EOW-Lösungen (Tab. 6). Während der Lagerung kam es zu keinen statistisch signifikanten Änderungen der Leitfähigkeit.

Tabelle 6: Leitfähigkeit (mS/cm) in aus entionisiertem Wasser hergestelltem EOW, Lagerung bei +20°C über 48h (n=3)

	0h mS/cm	24h mS/cm	48h mS/cm
0 g NaCl/l	0,02 ± 0,00	0,02 ± 0,00	0,02 ± 0,00
2 g NaCl/l	3,29 ± 0,01	3,29 ± 0,01	3,30 ± 0,01
4 g NaCl/l	6,54 ± 0,03	6,52 ± 0,03	6,51 ± 0,03
6 g NaCl/l	9,52 ± 0,02	9,45 ± 0,04	9,46 ± 0,05

3.2.1.2 Lagerung bei +2°C

In der ohne NaCl Zusatz hergestellten Lösung (EOW_{0%}) waren die pH-Werte unmittelbar nach der Herstellung im Bereich von 4,74 und stiegen auf etwa 5,18. Bei den mit NaCl Zusatz hergestellten EOW Lösungen waren die anfänglichen pH-Werte im Bereich von 8,75–9,07 und sanken nach 48h Std. auf 8,31–8,82 (Abb. 2).

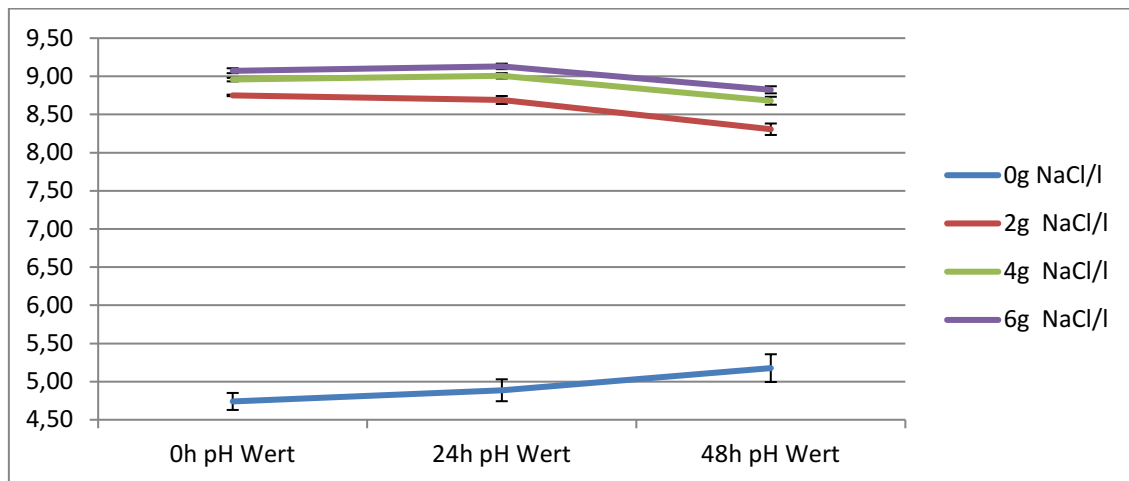


Abbildung 2: pH-Werte in aus entionisiertem Wasser hergestelltem EOW, Lagerung bei +2°C über 48h (n=3).

Die verwendete NaCl Konzentration hatte einen signifikanten Einfluss auf den pH-Wert, die pH-Werte für EOW_{0%} und EOW_{0,2%} unterschieden sich signifikant voneinander und von EOW_{0,4%} und EOW_{0,6%}. Die pH-Werte von EOW_{0,4%} und EOW_{0,6%} unterschieden sich

voneinander nicht. Die NaCl Konzentrationen hatten ebenfalls einen signifikanten Einfluss auf die Leitfähigkeitswerte der EOW-Lösungen (Tab.7). Während der Lagerung kam es zu keiner statistisch signifikanten Änderung der Leitfähigkeit.

Tabelle 7: Leitfähigkeit (mS/cm) in aus entionisiertem Wasser hergestelltem EOW, Lagerung bei +2°C über 48h (n=3)

	0h mS/cm	24h mS/cm	48h mS/cm
0 g NaCl/l	0,02 ± 0,00	0,02 ± 0,00	0,04 ± 0,03
2 g NaCl/l	3,36 ± 0,06	3,34 ± 0,08	3,34 ± 0,08
4 g NaCl/l	6,52 ± 0,03	6,49 ± 0,02	6,52 ± 0,03
6 g NaCl/l	9,50 ± 0,03	9,45 ± 0,02	9,45 ± 0,03

3.2.2 Mit Leitungswasser hergestelltes und in Glasflaschen gelagertes EOW

3.2.2.1 Lagerung bei +20°C

In der ohne NaCl Zusatz hergestellten Lösung (EOW_{0%}) waren die pH-Werte unmittelbar nach der Herstellung im Bereich von 7,09 und stiegen auf etwa 7,39 (Abb. 3). Bei den mit NaCl Zusatz hergestellten EOW Lösungen waren die anfänglichen pH-Werte im Bereich 8,14–8,46 und stiegen nach 48 Std. auf 8,28–8,59.

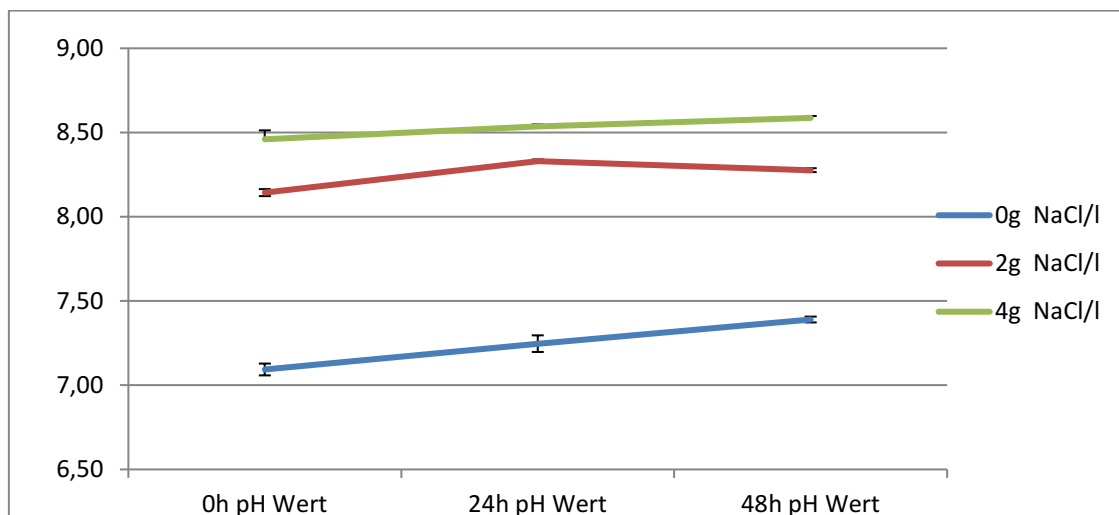


Abbildung 3: pH-Werte in aus Leitungswasser hergestelltem EOW, Lagerung bei +20°C über 48h (n=3).

Die verwendete NaCl Konzentration hatte einen signifikanten Einfluss auf den pH-Wert. Die pH-Werte für EOW_{0%}, EOW_{0,2%} und EOW_{0,4%} unterschieden sich signifikant voneinander. Die NaCl Konzentrationen hatten ebenfalls einen signifikanten Einfluss auf die Leitfähigkeitswerte der EOW-Lösungen (Tab. 8). Während der Lagerung kam es zu keinen statistisch signifikanten Änderungen der Leitfähigkeit.

Tabelle 8: Leitfähigkeit (mS/cm) in aus Leitungswasser hergestelltem EOW, Lagerung bei +20°C über 48h (n=3)

	0h mS/cm	24h mS/cm	48h mS/cm
0 g NaCl/l	0,34 ± 0,01	0,34 ± 0,01	0,34 ± 0,01
2 g NaCl/l	3,62 ± 0,03	3,61 ± 0,03	3,62 ± 0,03
4 g NaCl/l	6,73 ± 0,01	6,75 ± 0,02	6,74 ± 0,02

3.2.2.2 Lagerung bei +2°C

In der ohne NaCl Zusatz hergestellten Lösung (EOW_{0%}) waren die pH-Werte unmittelbar nach der Herstellung im Bereich von 7,04 und stiegen auf etwa 7,21 (Abb. 4). Bei den mit NaCl Zusatz hergestellten EOW Lösungen waren die anfänglichen pH-Werte im Bereich 8,15–8,48 und blieben nach 48 Std. auf 8,20–8,48.

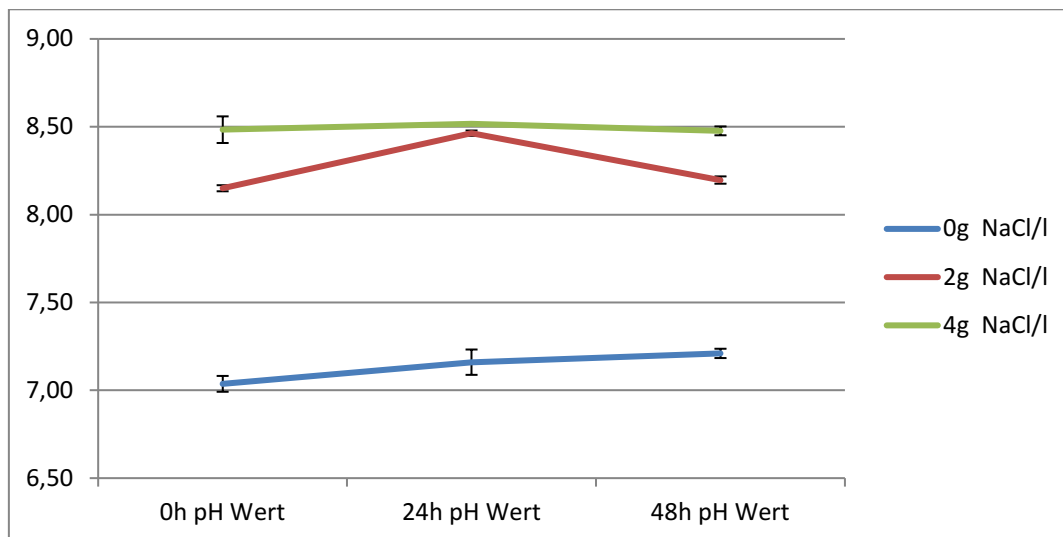


Abbildung 4: pH-Werte in aus Leitungswasser hergestelltem EOW, Lagerung bei +2°C über 48h (n=3)

Die verwendete NaCl Konzentration hatte einen signifikanten Einfluss auf den pH-Wert, die pH-Werte für EOW_{0%}, EOW_{0,2%} und EOW_{0,4%} unterschieden sich signifikant voneinander, mit Ausnahme der Messung nach 24h, wo die Werte für EOW_{0,2%} und EOW_{0,4%} nicht signifikant verschieden waren. Die NaCl Konzentrationen hatten ebenfalls einen signifikanten Einfluss auf die Leitfähigkeitswerte der EOW-Lösungen (Tab.9). Während der Lagerung kam es zu keinen statistisch signifikanten Änderungen der Leitfähigkeit.

Tabelle 9: Leitfähigkeit (mS/cm) in aus Leitungswasser hergestelltem EOW, Lagerung bei +2°C über 48h (n=3)

	0h mS/cm	24h mS/cm	48h mS/cm
0 g NaCl/l	0,34 ± 0,01	0,34 ± 0,00	0,34 ± 0,01
2 g NaCl/l	3,63 ± 0,02	3,63 ± 0,03	3,62 ± 0,04
4 g NaCl/l	6,72 ± 0,02	6,73 ± 0,03	6,73 ± 0,04

3.2.3 Mit entionisiertem Wasser hergestelltes und in Kunststoff-Sprühflaschen gelagertes EOW, Lagerung bei +2°C und +20°C über 48h

Die Lagerung in den Kunststoff-Sprühflaschen zeigte keinen Unterschied zu der Lagerung in Glasflaschen. Bei der Aufbewahrung der EOW Lösung in Kunststoff-Sprühflaschen bei 2°C über 48 Stunden kam es zu keiner Änderung des pH-Wertes und der Leitfähigkeit (Tab. 10).

Tabelle 10: pH-Wert und Leitfähigkeit (LF, mS/cm) in aus entionisiertem Wasser hergestelltem EOW, Lagerung in Kunststoff-Sprühflaschen bei +2°C, 48h (n=1)

Lagerung +2°C	0h		24h		48h	
	pH-Wert	LF mS/cm	pH-Wert	LF mS/cm	pH-Wert	LF mS/cm
2 g NaCl/l	8,34	3,32	8,33	3,31	8,34	3,32

Bei der Lagerung bei 20°C kam es zu einem Absinken des pH um 0,1 Einheiten (Tab. 11).

Tabelle 11: pH-Wert und Leitfähigkeit (LF, mS/cm) in aus entionisiertem Wasser hergestelltem EOW, Lagerung in Kunststoff-Sprühflaschen bei +20°C, 48h (n=1)

Lagerung +20°C	0h		24h		48h	
	pH-Wert	LF mS/cm	pH-Wert	LF mS/cm	pH-Wert	LF mS/cm
2 g NaCl/l	8,35	3,32	8,46	3,32	8,25	3,31

3.2.4 Mit Leitungswasser hergestelltes und in Kunststoff-Sprühflaschen gelagertes EOW, Lagerung bei +2°C und +20°C über 48h

Die Lagerung in den Kunststoff-Sprühflaschen zeigte keinen Unterschied zu der Lagerung in Glasflaschen. Bei der Aufbewahrung der EOW Lösung in Kunststoff-Sprühflaschen bei 2°C über 48 Stunden kam es zu einem Anstieg des pH-Wertes um ca. 0,06 Einheiten (Tab. 12).

Tabelle 12: pH-Wert und Leitfähigkeit (LF, mS/cm) in aus Leitungswasser hergestelltem EOW Lagerung in Kunststoff-Sprühflaschen bei +2°C, 48h (n=1)

Lagerung +2°C	0h		24h		48h	
	pH-Wert	LF mS/cm	pH-Wert	LF mS/cm	pH-Wert	LF mS/cm
2 g NaCl/l	8,25	3,77	8,22	3,74	8,31	3,75

Auch bei der Lagerung bei 20°C kam es zu keiner Änderung des pH-Wertes und der Leitfähigkeit (Tab. 13)

Tabelle 13: pH-Wert und Leitfähigkeit (LF, mS/cm) in aus Leitungswasser hergestelltem EOW, Lagerung in Kunststoff-Sprühflaschen bei +20°C, 48h (n=1)

Lagerung +20°C	0h		24h		48h	
	pH-Wert	LF mS/cm	pH-Wert	LF mS/cm	pH-Wert	LF mS/cm
2 g NaCl/l	8,16	3,72	8,16	3,77	8,17	3,71

3.3 Farbänderung nach Einwirkung von EOW auf Oberflächen von Fleisch und Fleischerzeugnissen

3.3.1 Vorversuche

3.3.1.1 Farbänderungen nach Einwirkung von EOW auf Wurstaufschnitt

Der Vergleich der Farbmessungen der unterschiedlichen Proben ergab keine signifikanten Unterschiede. Die durchschnittlichen a^* und b^* Werte waren aber bei den $\text{EOW}_{0,4\%}$ Proben am Niedrigsten, gefolgt von den $\text{EOW}_{0,2\%}$ und den in Wasser getauchten Proben. Die Helligkeit L^* liegt im Bereich 70,9–71,9, der Rotton im Bereich 13–13,4 und der Gelbton b^* im Bereich 7,8–8,3 (Abb.5).

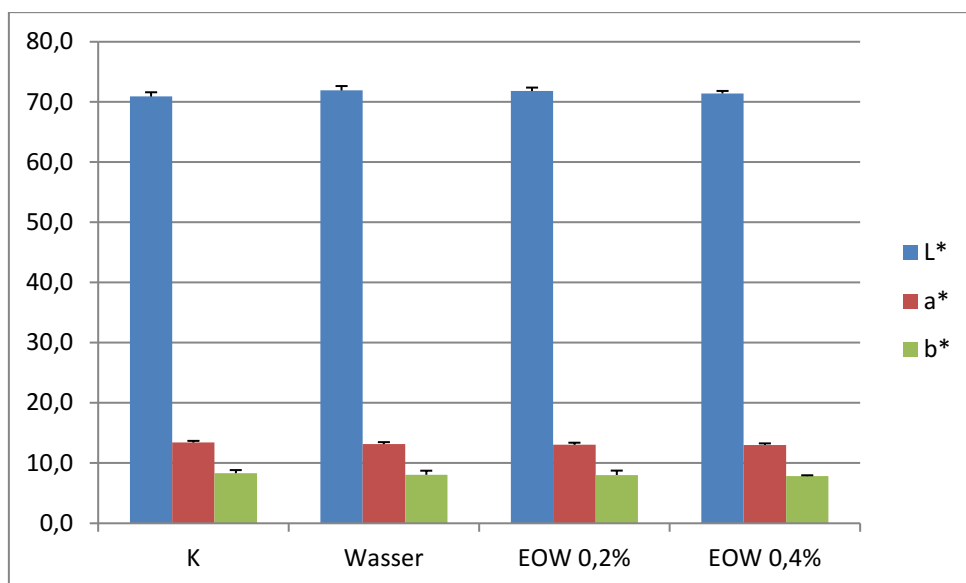


Abbildung 5: Farbe von in EOW getauchtem Wurstaufschnitt (Extra, $n=6$)

K.. Kontrolle (unbehandelt); Wasser.. 1 min. in Wasser getaucht; EOW 0,2%.. 1 min in aus 0,2%iger NaCl hergestelltem EOW getaucht; EOW 0,4%.. 1 min. in aus 0,4%iger NaCl hergestelltem EOW getaucht; L^* .. Helligkeit, a^* .. Rotton, b^* .. Gelbton.

3.3.1.2 Farbänderungen nach Einwirkung von EOW auf Schweinefleisch

Der Vergleich der Farbmessungen bei Schweinefleisch vor und nach Eintauchen in $\text{EOW}_{0,2\%}$ für 1 Minute ergab keine signifikanten Unterschiede für die Helligkeit L^* ($p=0,34$), den Rotton a^* ($p=0,64$) und den Gelbton b^* ($p=0,60$) (Abb. 6).

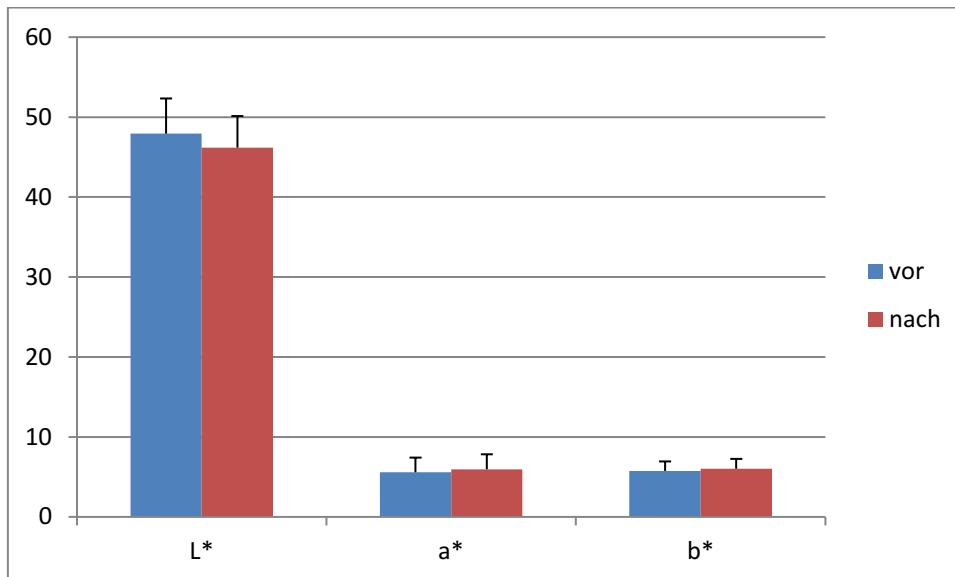


Abbildung 6: Farbe von in EOW getauchtem Schweinefleisch ($n=11$); L^* .. Helligkeit, a^* .. Rotton, b^* .. Gelbton; Blau/Rot.. vor/nach der Exposition in $\text{EOW}_{0,2\%}$

3.3.2 Vergleich der Farben von Fleisch und Fleischerzeugnissen vor und nach der Behandlung mit EOW_{0,2%} und EOW_{0,4%} bzw. den Kontroll-Lösungen

3.3.2.1 Rindfleisch

Die Ergebnisse der Farbmessungen vor und nach Behandlung von Beiriedscheiben mit 3 cm Dicke sind in den Abb. 7–11 dargestellt. Während die Helligkeit L^* sich bei keiner der Behandlungen statistisch signifikant unterschied, waren nach dem Eintauchen in 0,2%ige und 0,4%ige Kochsalzlösungen statistisch signifikante Verringerungen des Rottons a^* und des Gelbttons b^* nachweisbar, und nach dem Eintauchen in Wasser eine statistisch signifikante Verringerung des Rottons a^* . Nach dem Eintauchen in aus 0,2%iger Kochsalzlösung hergestelltem EOW war eine statistisch signifikante Verringerung des Rottons a^* und nach Eintauchen in aus 0,4%iger Kochsalzlösung hergestelltem EOW war eine statistisch signifikante Verringerung des Gelbttons b^* nachweisbar. Die Delta-E-Werte betrugen beim Eintauchen in Wasser und 0,2%ige bzw. 0,4%ige NaCl Lösung 4,38; 3,0 und 2,4. Die Delta-E-Werte betrugen beim Eintauchen in aus 0,2%iger bzw. 0,4%iger NaCl Lösung hergestelltem EOW waren 7,9 und 1,4.

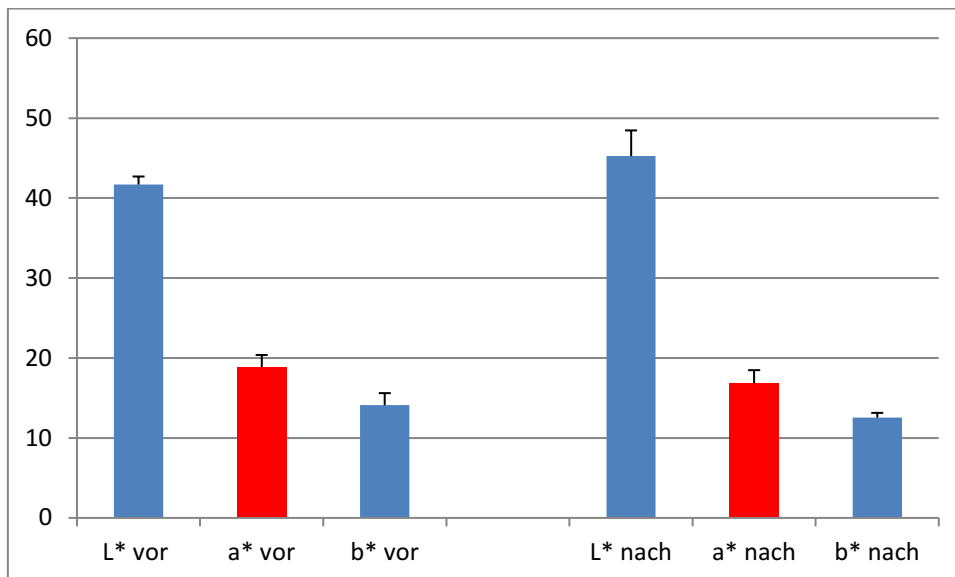


Abbildung 7: Farbwerte (L^* , a^* , b^*) von Rindfleisch vor und nach einminütiger Immersion in Wasser, 20°C ($n=5$); statistisch signifikante Unterschiede ($p<0,05$) der L^* bzw. a^* oder b^* Werte werden durch rot gefärbte Säulen angezeigt; L^* .. Helligkeit, a^* .. Rotton, b^* .. Gelbton

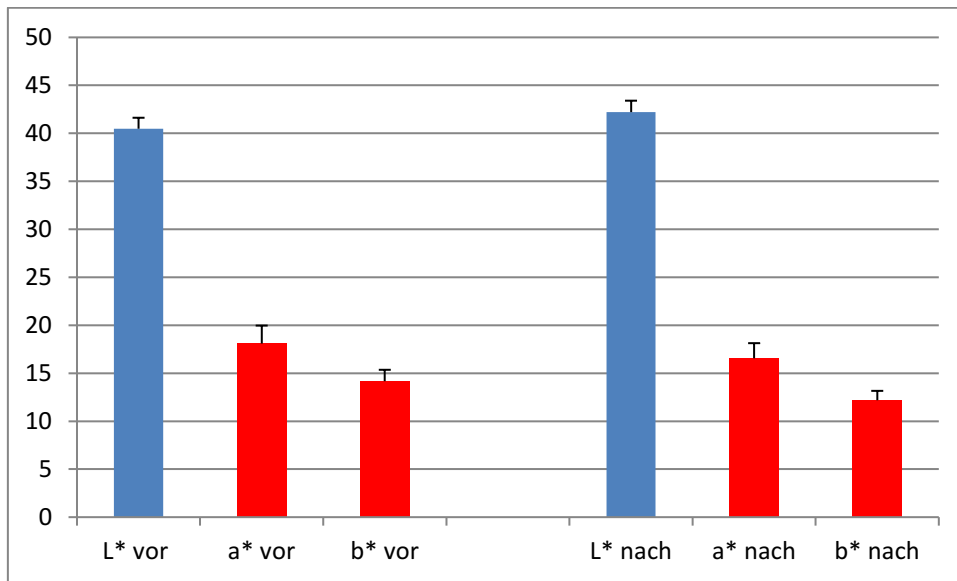


Abbildung 8: Farbwerte (L^* , a^* , b^*) von Rindfleisch vor und nach einminütiger Immersion in 0,2%iger NaCl Lösung, 20°C ($n=5$); statistisch signifikante Unterschiede ($p<0,05$) der L^* bzw. a^* oder b^* Werte werden durch rot gefärbte Säulen angezeigt; L^* .. Helligkeit, a^* .. Rotton, b^* .. Gelbton

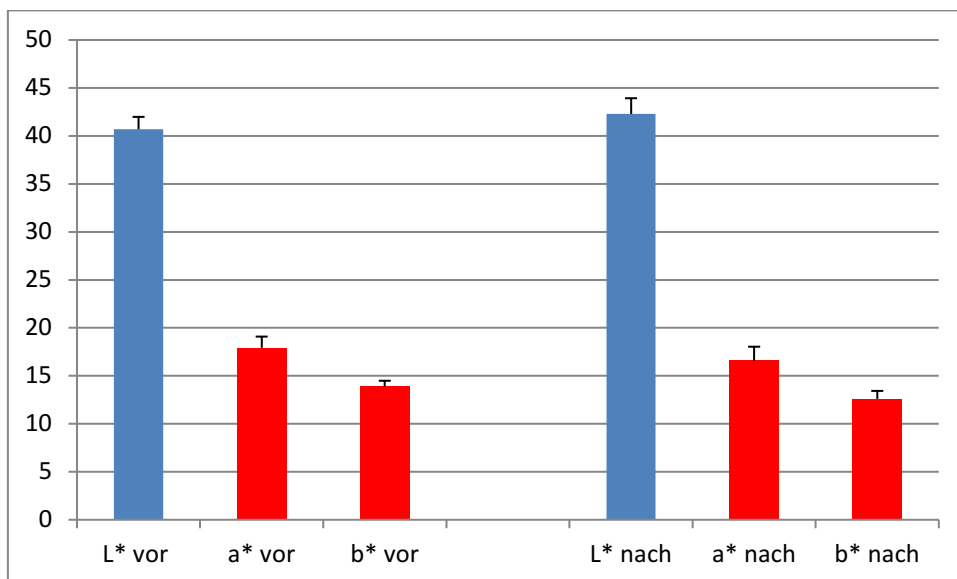


Abbildung 9: Farbwerte (L^* , a^* , b^*) von Rindfleisch vor und nach einminütiger Immersion in 0,4%iger NaCl Lösung, 20°C ($n=5$); statistisch signifikante Unterschiede ($p<0,05$) der L^* bzw. a^* oder b^* Werte werden durch rot gefärbte Säulen angezeigt; L^* .. Helligkeit, a^* .. Rotton, b^* .. Gelbton

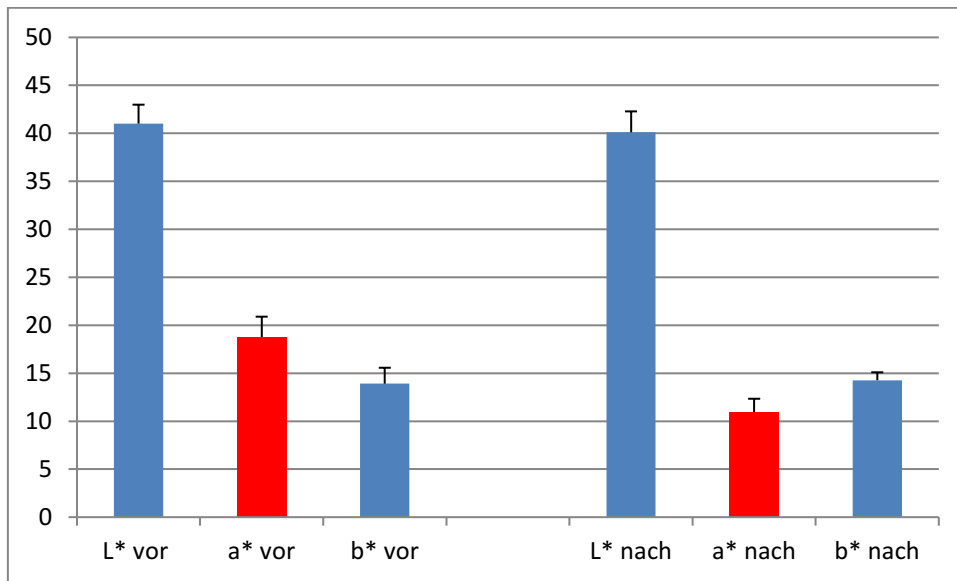


Abbildung 10: Farbwerte (L^* , a^* , b^*) von Rindfleisch vor und nach einminütiger Immersion in $EOW_{0,2\%}$, 20°C ($n=5$); statistisch signifikante Unterschiede ($p<0,05$) der L^* bzw. a^* oder b^* Werte werden durch rot gefärbte Säulen angezeigt; L^* .. Helligkeit, a^* .. Rotton, b^* .. Gelbton

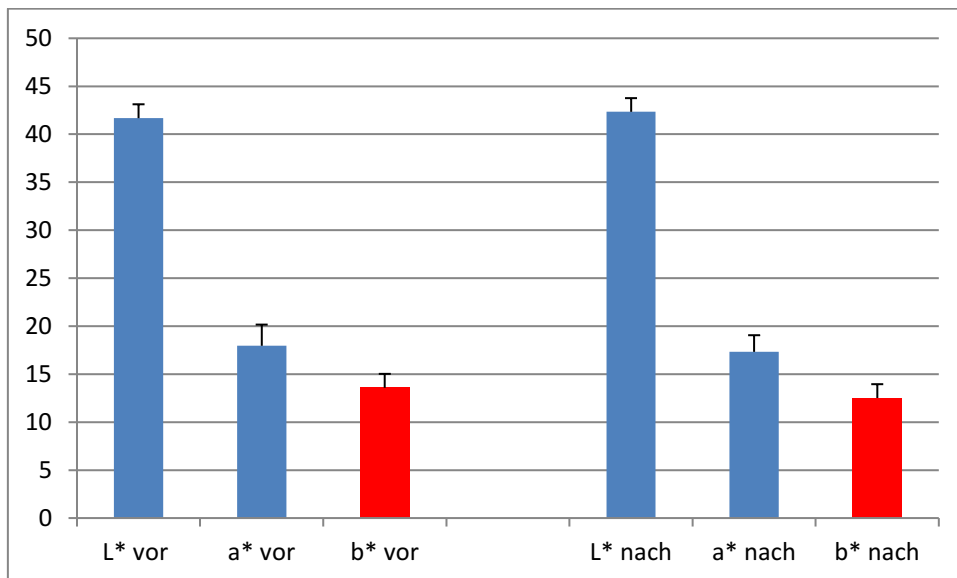


Abbildung 11: Farbwerte (L^* , a^* , b^*) von Rindfleisch vor und nach einminütiger Immersion in $EOW_{0,4\%}$, 20°C ($n=5$); statistisch signifikante Unterschiede ($p<0,05$) der L^* bzw. a^* oder b^* Werte werden durch rot gefärbte Säulen angezeigt; L^* .. Helligkeit, a^* .. Rotton, b^* .. Gelbton

3.3.2.2 Hühnerbrustfleisch

Die Ergebnisse der Farbmessungen vor und nach Behandlung von Hühnerbrust mit 3–4 cm Dicke sind in den Abb. 12–16 dargestellt. Nach dem Eintauchen in Wasser, in 0,2%ige und in 0,4%ige Kochsalzlösungen sowie in $\text{EOW}_{0,2\%}$ waren keine statistisch signifikanten Änderungen von L^* , a^* und b^* nachweisbar. Nach dem Eintauchen in aus 0,4%iger Kochsalzlösung hergestelltem EOW war eine statistisch signifikante Verringerung des Rottons a^* nachweisbar. Die Delta-E Werte betrugen beim Eintauchen in Wasser und in 0,2%ige bzw. 0,4%ige NaCl Lösung 4,3; 1,8 und 1,4. Die Delta-E-Werte betrugen beim Eintauchen in aus 0,2%iger bzw. 0,4%iger NaCl Lösung hergestelltem EOW waren 1,2 und 1,3.

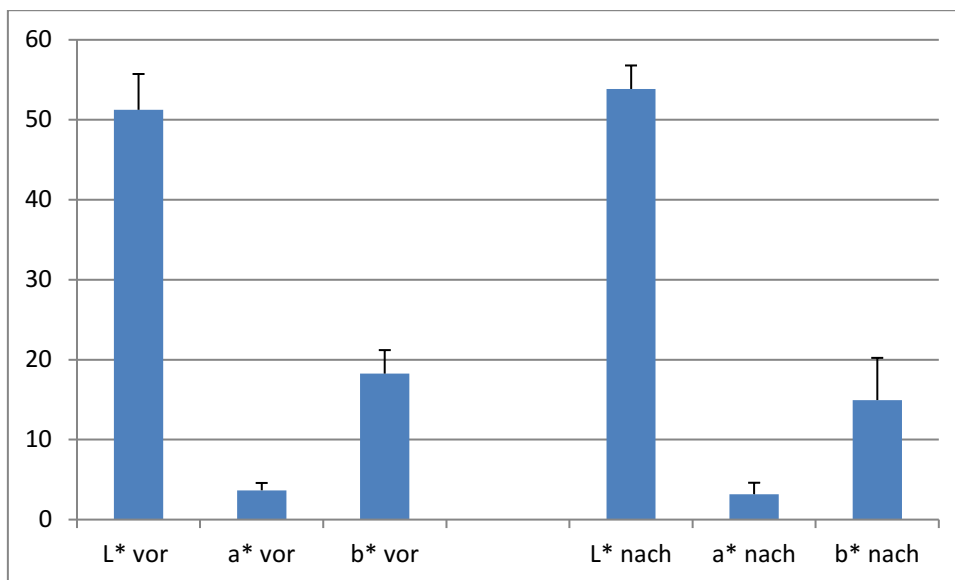


Abbildung 12: Farbwerte (L^* , a^* , b^*) von Hühnerbrust vor und nach einminütiger Immersion in Wasser, 20°C ($n=5$); statistisch signifikante Unterschiede ($p < 0,05$) der L^* bzw. a^* oder b^* Werte werden durch rot gefärbte Säulen angezeigt; L^* .. Helligkeit, a^* .. Rotton, b^* .. Gelbton

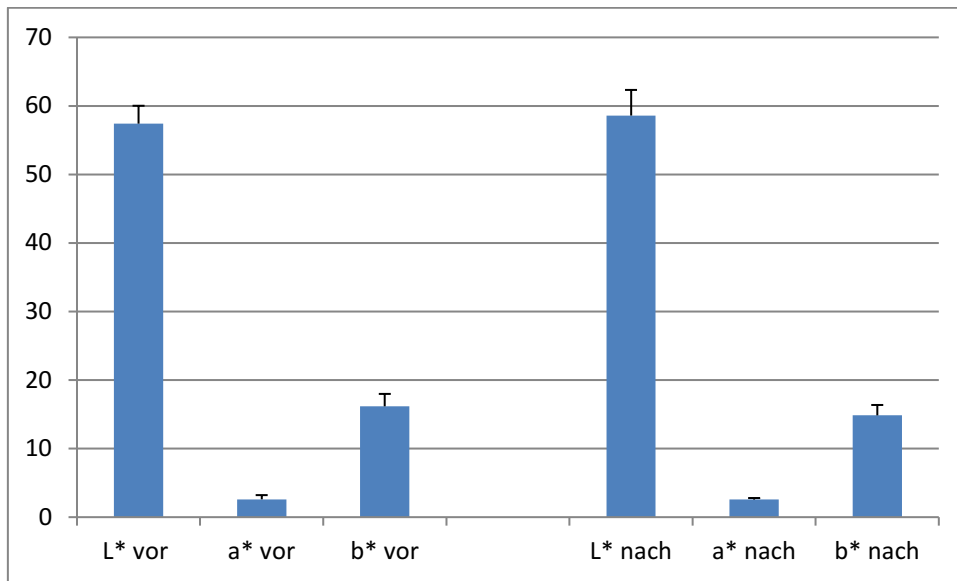


Abbildung 13: Farbwerte (L^* , a^* , b^*) von Hühnerbrust vor und nach einminütiger Immersion in 0,2%iger NaCl Lösung, 20°C ($n=5$); statistisch signifikante Unterschiede ($p<0,05$) der L^* bzw. a^* oder b^* Werte werden durch rot gefärbte Säulen angezeigt; L^* .. Helligkeit, a^* .. Rotton, b^* .. Gelbton

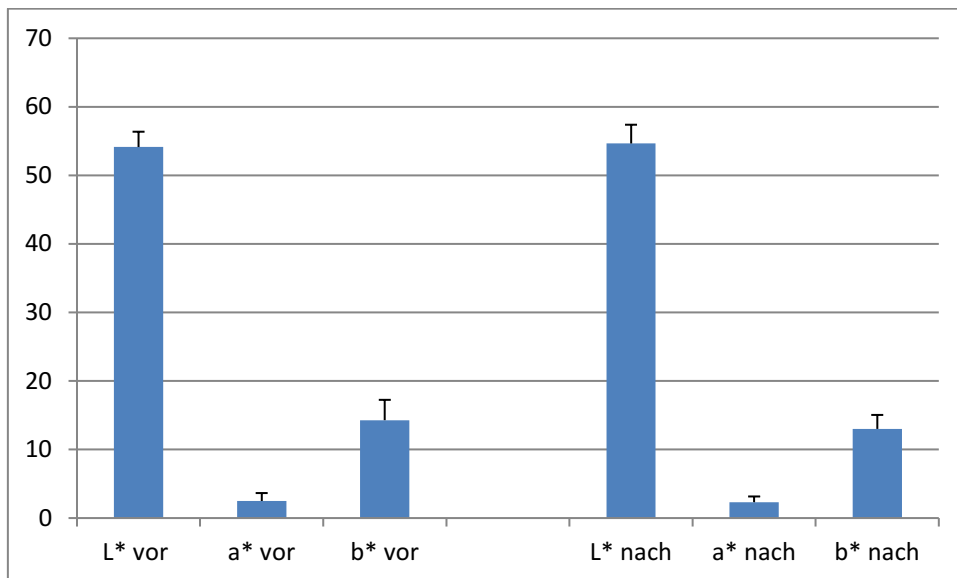


Abbildung 14: Farbwerte (L^* , a^* , b^*) von Hühnerbrust vor und nach einminütiger Immersion in 0,4%iger NaCl Lösung, 20°C ($n=5$); statistisch signifikante Unterschiede ($p<0,05$) der L^* bzw. a^* oder b^* Werte werden durch rot gefärbte Säulen angezeigt; L^* .. Helligkeit, a^* .. Rotton, b^* .. Gelbton

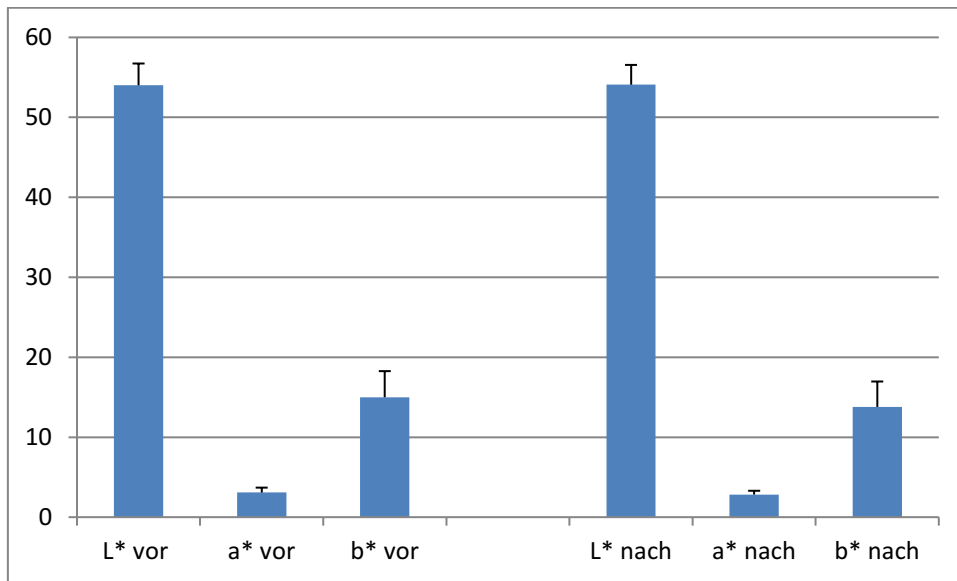


Abbildung 15: Farbwerte (L^* , a^* , b^*) von Hühnerbrust vor und nach einminütiger Immersion in $EOW_{0,2\%}$, 20°C ($n=5$); statistisch signifikante Unterschiede ($p<0,05$) der L^* bzw. a^* oder b^* Werte werden durch rot gefärbte Säulen angezeigt; L^* .. Helligkeit, a^* .. Rotton, b^* .. Gelbton

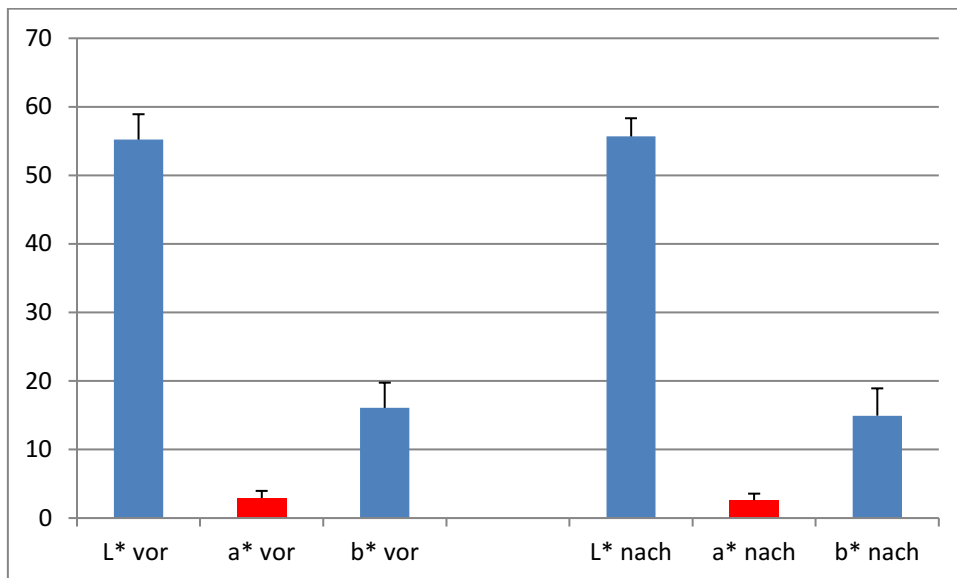


Abbildung 16: Farbwerte (L^* , a^* , b^*) von Hühnerbrust vor und nach einminütiger Immersion in $EOW_{0,4\%}$, 20°C ($n=5$); statistisch signifikante Unterschiede ($p<0,05$) der L^* bzw. a^* oder b^* Werte werden durch rot gefärbte Säulen angezeigt; L^* .. Helligkeit, a^* .. Rotton, b^* .. Gelbton

3.3.2.3 Beinschinken

Die Ergebnisse der Farbmessungen vor und nach Behandlung von Beinschinken sind in den Abb. 17–21 dargestellt. Nach dem Eintauchen in 0,2%ige und 0,4%ige Kochsalzlösung sowie $\text{EOW}_{0,2\%}$ und $\text{EOW}_{0,4\%}$ waren keine statistisch signifikanten Änderungen von L^* , a^* und b^* nachweisbar. Nach dem Eintauchen in Wasser war eine statistisch signifikante Verringerung des Rottons a^* nachweisbar. Die Delta-E-Werte betrugen beim Eintauchen in Wasser und 0,2%ige bzw. 0,4%ige NaCl Lösung 0,74; 1,0 und 2,5. Die Delta-E-Werte betrugen beim Eintauchen in aus 0,2%iger bzw. 0,4%iger NaCl Lösung hergestelltem EOW waren 0,38 und 0,32.

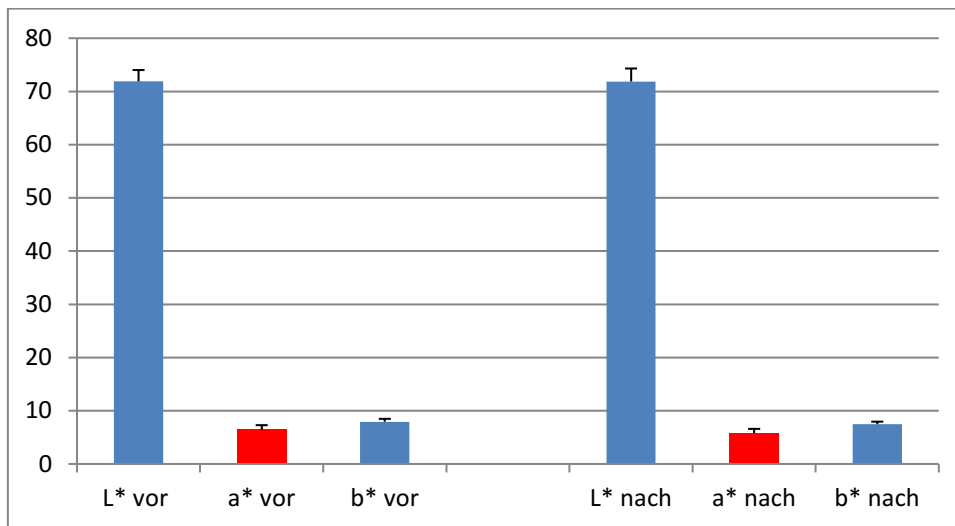


Abbildung 17: Farbwerte (L^* , a^* , b^*) von Beinschinken vor und nach einminütiger Immersion in Wasser, 20°C ($n=5$); statistisch signifikante Unterschiede ($p<0,05$) der L^* bzw. a^* oder b^* Werte werden durch rot gefärbte Säulen angezeigt; L^* .. Helligkeit, a^* .. Rotton, b^* .. Gelbton

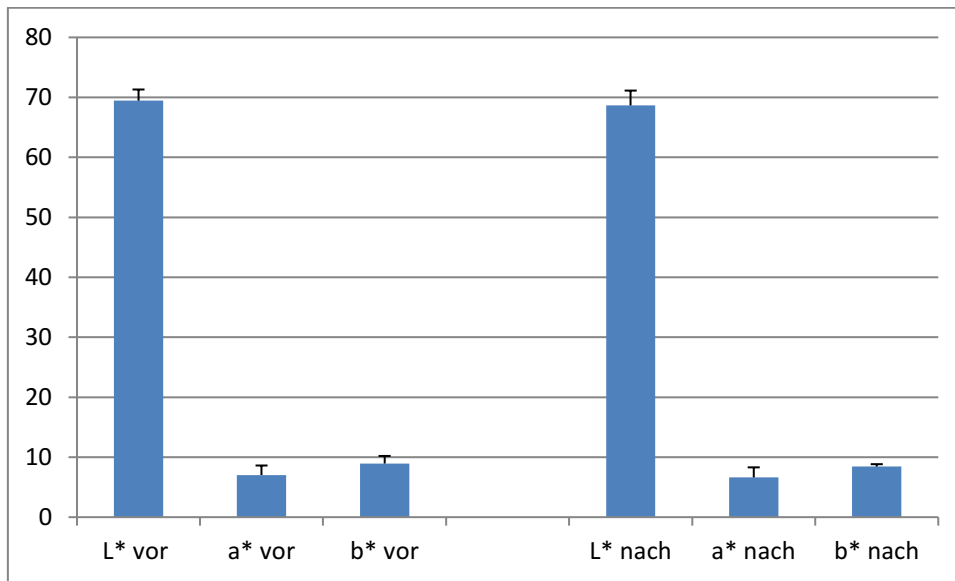


Abbildung 18: Farbwerte (L^* , a^* , b^*) von Beinschinken vor und nach einminütiger Immersion in 0,2%iger NaCl Lösung, 20°C ($n=5$); statistisch signifikante Unterschiede ($p<0,05$) der L^* bzw. a^* oder b^* Werte werden durch rot gefärbte Säulen angezeigt; L^* .. Helligkeit, a^* .. Rotton, b^* .. Gelbton

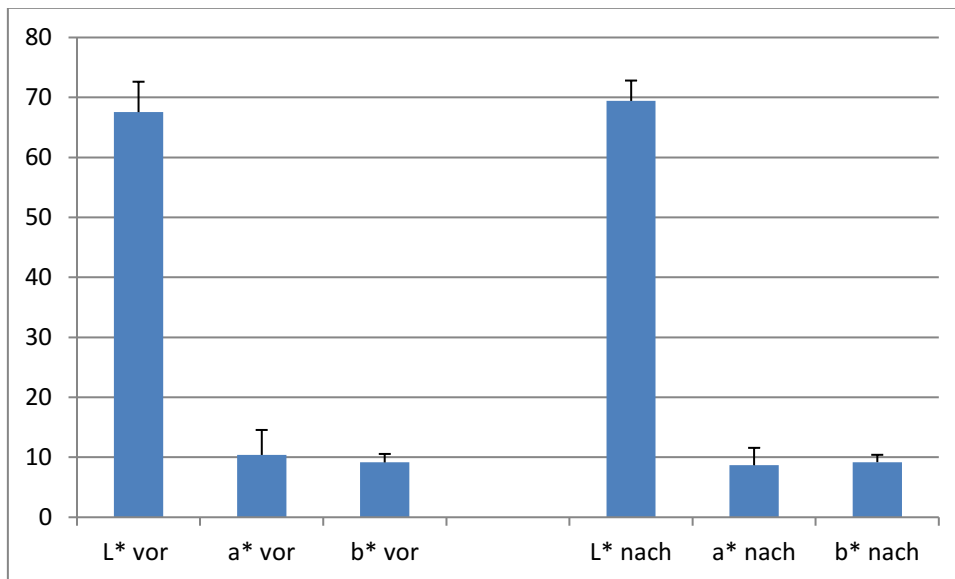


Abbildung 19: Farbwerte (L^* , a^* , b^*) von Beinschinken vor und nach einminütiger Immersion in 0,4%iger NaCl Lösung, 20°C ($n=5$); statistisch signifikante Unterschiede ($p<0,05$) der L^* bzw. a^* oder b^* Werte werden durch rot gefärbte Säulen angezeigt; L^* .. Helligkeit, a^* .. Rotton, b^* .. Gelbton

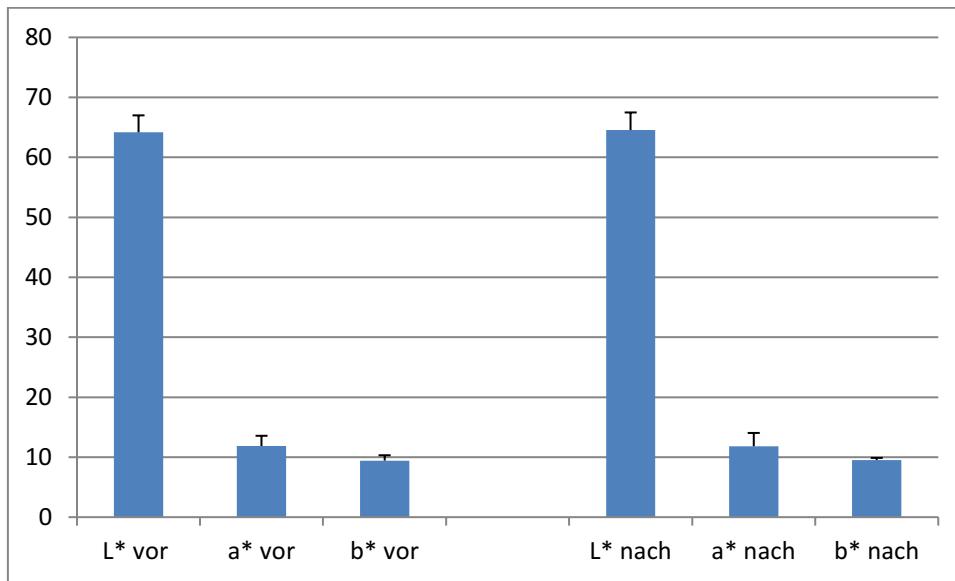


Abbildung 20: Farbwerte (L^* , a^* , b^*) von Beinschinken vor und nach einminütiger Immersion in $EOW_{0,2\%}$, 20°C ($n=5$); statistisch signifikante Unterschiede ($p<0,05$) der L^* bzw. a^* oder b^* Werte werden durch rot gefärbte Säulen angezeigt; L^* .. Helligkeit, a^* .. Rotton, b^* .. Gelbton

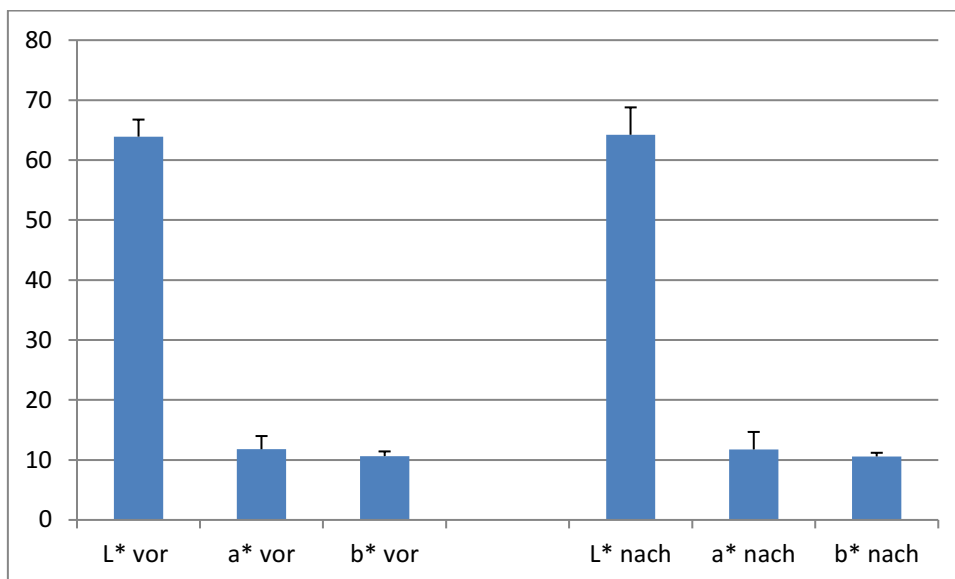


Abbildung 21: Farbwerte (L^* , a^* , b^*) von Beinschinken vor und nach einminütiger Immersion in $EOW_{0,4\%}$, 20°C ($n=5$); statistisch signifikante Unterschiede ($p<0,05$) der L^* bzw. a^* oder b^* Werte werden durch rot gefärbte Säulen angezeigt; L^* .. Helligkeit, a^* .. Rotton, b^* .. Gelbton

4 Diskussion

4.1 Charakterisierung des mit Gerät Toucan III erzeugten EOW

Durch den Einsatz von Toucan III konnte in einer 0,2%igen Kochsalzlösung (Leitungswasser oder entionisiertes Wasser) ein Aktivchlorgehalt von 130 mg/l erzeugt werden, der deutlich höher lag als der im Datenblatt angegebene Gehalt von 60–75 mg/l.

Die Aktivchlorgehalte (123–132 mg/l) in der Lösung blieben über 48 Stunden bei der Lagerung in Glasflaschen unverändert. Der pH-Wert lag, wie im Datenblatt angegeben, im Bereich von 8–8,5 bei aus Leitungswasser und bei 9 bei aus entionisiertem Wasser hergestelltem EOW. Während einer zweitägigen Lagerung in Glasgebinden bei +2°C im Dunkeln und bei Raumtemperatur (indirektes Licht) kam es in einigen Fällen zu Änderungen (Absinken um bis zu 0,5 Einheiten), während bei der Lagerung in den mitgelieferten Kunststoffflaschen die pH-Änderungen im Bereich von 0,1 Einheiten blieben. Die deutlicheren pH Änderungen bei der Lagerung in Glasflaschen könnte durch eine Interaktion des EOW mit den Mineralien (Na, Ca, Mg, Al) des Glases bedingt sein (Neumüller 1981). Die hergestellte Lösung hatte aber unter allen Lagerungsbedingungen über 48 Std. Aktivgehalte über den Angaben des Datenblattes (Centrego 2019). Zur Bewertung der Ergebnisse und des Versuchsdesigns muss angemerkt werden, dass das Produktdatenblatt zum Zeitpunkt der Versuchsdurchführung noch nicht vorlag und mit den Angaben der Bedienungsanleitung gearbeitet wurde. Insofern wurden auch die nur im Datenblatt (Centrego 2019) genannten zusätzlichen Herstellungsweisen - 0,2%ige Kochsalzlösung 2 x 5 min. behandeln bzw. eine Zugabe von Zitronen- oder Essigsäure - nicht untersucht. Letztere hätte den Vorteil, dass aus Natriumhypochlorit Chlordioxid gebildet wird (EFSA 2005). Statt der im Datenblatt gewählten Vorgangsweise zur Erhöhung der Wirksamkeit der Lösung wurde in der vorliegenden Arbeit die Kochsalzzugabe auf bis zu 6 g/l erhöht, wodurch sich der Aktivchlorgehalt auf bis zu 320 mg/l erhöhen ließ.

4.2 Auswirkung der Aufbringung von EOW auf die Farbe von Fleisch und Fleischoberflächen

In Vorversuchen ergaben sich keine statistisch signifikanten Farbänderungen bei einem gepökelten Erzeugnis (Extrawurst, 1 min. Immersion in Wasser, oder in aus 0,2%iger und aus 0,4%iger NaCl hergestelltem EOW) und bei einer Probe von frischem Schweinefleisch (1 min. Immersion in aus 0,2%iger NaCl hergestelltem EOW). Im Hauptversuch wurden neben Wasser und aus 0,2%iger und aus 0,4%iger NaCl hergestelltem EOW auch 0,2- und 0,4%ige Kochsalzlösung als Tauchlösungen verwendet. Die Dauer der Immersion betrug immer 1 Minute, bei 20 °C. Statistisch signifikante Änderungen der Helligkeit (L^*) ergaben sich bei keiner Probe und bei keiner Behandlungsart. Bei den Hühner- und Schinkenproben war nur bei je einer Behandlungsart (EOW_{4%} bzw. Wasser) der a^* Wert signifikant niedriger, während keine signifikanten Änderungen des b^* Wertes gemessen wurden. Dementsprechend waren die Delta-E-Werte bei der Hühnerbrust im Bereich von 1,2–1,8 (Salzlösungen oder EOW) und bei 4,3 nach Eintauchen in reinem Wasser. Die größere Änderung des Delta-E-Wertes nach Eintauchen in Wasser ist durch den höheren osmotischen Druck des Fleisches erklärbar. Bei der Beinschinkenprobe waren die Delta-E-Werte in einem ähnlichen Bereich (0,32–2,5; mit dem Maximalwert bei 0,4% NaCl). Bei der Rindfleischprobe war bei 4 der 5 Behandlungsarten (Wasser, 0,2% NaCl, 0,4% NaCl, EOW_{0,2%}) eine signifikante Verringerung des Rotttons a^* und bei 3 Behandlungsarten (0,2% NaCl, 0,4% NaCl, EOW_{0,4%}) eine signifikante Verringerung des Gelbttons b^* nachweisbar. Es war dabei nicht unerwartet, dass rote Muskulatur empfindlicher im Sinn einer Verringerung des Rotttons reagiert. Die Delta-E-Werte waren im Bereich 1,4–7,9 und damit tendenziell höher als bei den anderen Proben. Eine „deutliche“ Farbabweichung von Delta-E >6 (Häßler 2018) ergab sich nur bei in EOW_{0,2%} getauchtem Rindfleisch. Es wurden zwar immer Mehrfachuntersuchungen vorgenommen, dabei handelte es sich aber immer um Teilproben einer Einheit, sodass die Ergebnisse nur insofern verallgemeinert werden können, dass der Kontakt von Fleisch oder Fleischerzeugnissen mit EOW zu Farbänderungen führen kann, die aber nicht immer von den KonsumentInnen erkennbar sind und die in dem Bereich sind, der auch bei Kontakt mit Wasser oder Kochsalzlösungen zu erwarten wäre.

Die Tauchbehandlung stellte den „worst case“ einer Kontamination mit dem Desinfektionsmittel dar. Zu beachten wäre die Aufnahme von Chlor und damit die Erhöhung des Chlorgehaltes im Lebensmittel. Bei der Anwendung von Chlorverbindungen als Sprüh-

oder Tauchbehandlung ergaben sich keine relevanten Erhöhungen des Chlorgehalts im Lebensmittel (EFSA 2005). In den gegenständlichen Versuchsreihen betrug die Gewichtszunahme (Flüssigkeitsaufnahme) der Probe immer unter 5 % (EOW_{0,4%} mit 230 mg/l Aktivchlor). Wenn man im gleichen Anteil Chlor im Lebensmittel einlagern würde, wären das bei einer 50 g schweren Fleischprobe 1,15 mg Chlor, bei einem natürlichen Hintergrundgehalt von 20–40 mg/50g, was einer Erhöhung um 5,8–2,9% entspräche. Ob die Anwendung im Lebensmittelbereich oder im Haushalt sinnvoll bzw. nötig ist, wäre in weiteren Untersuchungen zu klären. Das Gerät konnte aber aus Leitungswasser und Kochsalz mit geringstem Aufwand innerhalb weniger Minuten Lösungen mit in der Fachliteratur als antibakteriell wirksam angegebenen Aktivchlorgehalten herstellen, wobei diese Lösungen zumindest 2 Tage stabil waren. Trotz der generellen Einschränkungen bei Chlorverbindungen als Desinfektionsmittel im Lebensmittelbereich birgt die Einfachheit der Herstellung ein gewisses Potential, das in einem nächsten Schritt untersucht werden sollte. Da die Aktivchlorgehalte immer unter 0,1% lagen, ergaben sich für die hergestellten EOW Lösungen keine besonderen Kennzeichnungsanforderungen nach der Verordnung (EG) Nr. 1272/2008.

5 Zusammenfassung

In dieser Arbeit wurde das Potential, hinsichtlich des Farberhalts von Fleisch und Fleischerzeugnissen, eines für die Desinfektion in Gewerbebetrieben bestimmten Kleingeräts zur Erzeugung von Natriumhypochloritlösungen untersucht. Nach dem Prinzip der Chloralkali-Elektrolyse wird aus Kochsalzlösungen „elektrolytisch oxidierendes Wasser“ (EOW) hergestellt. Das Gerät besteht aus einem Wasserbehälter mit Elektroden, der auf einen Basisteil mit der Stromversorgung aufgesetzt wird. Das Gerät konnte in einer 0,2%igen Kochsalzlösung Aktivchlorgehalte von 130 mg/l erzeugen, in entionisiertem Wasser konnte bei einer Kochsalzzugabe von 0,6 g/l ein Aktivchlorgehalt von 320 mg/l erreicht werden. Die Aktivchlorgehalte in der Lösung blieben über 48 Stunden bei der Lagerung in Glasflaschen im Wesentlichen unverändert. Der pH-Wert war im Bereich von 8–8,5 bei aus Leitungswasser hergestelltem EOW und im Bereich von 9 bei aus entionisiertem Wasser hergestelltem EOW. Bei der Lagerung des EOW kam es in Kunststoffflaschen nur zu geringen Änderungen (-0,1) des pH-Werts und in Glasflaschen zum Teil zu einem Absinken um bis zu 0,5 Einheiten.

Um eine Kontamination von Lebensmitteln mit EOW zu simulieren, wurden Fleisch und Fleischerzeugnisse (Extrawurst und Beinschinken) eine Minute lang in EOW und Kontrolllösungen (Wasser, Kochsalzlösungen) getaucht. Beim Vergleich der Farbmessungen, vor und nach Immersion, ergaben sich bei Rindfleisch Verringerungen des Rottons a^* und/oder des Gelbttons b^* , sowohl bei Behandlung mit EOW, als auch bei den Kontrollproben, bei rohem Hühnerfleisch und Beinschinken waren keine Farbänderungen messbar. Kontakt von Fleisch oder Fleischerzeugnissen mit EOW kann zu Farbänderungen führen, die aber nicht immer von den KonsumentInnen erkennbar sind. Trotz der generellen Einschränkungen bei Chlorverbindungen als Desinfektionsmittel im Lebensmittelbereich birgt die Einfachheit der Herstellung von Natriumhypochlorit aus Wasser und Kochsalz ein gewisses Potential.

6 Summary

Generation and characterization of „electrolytic oxidising water“ and effects of the application on meat and meat products

The potential of a small-scale device for production of sodiumhypochlorite solutions was studied. The device is intended for disinfection purposes in small-scale enterprises. It is based on the principle of chloro-alkaline electrolysis and produces „electrolyzed oxidising water“ (EOW) from NaCl solutions. The device consists of a water reservoir with electrodes and a base unit with the power supply. It was possible to produce 130 mg/l active chlorine from a 0.2% NaCl solution: In de-ionized water with 0.6% NaCl, 320 mg/l active chlorine were produced. Active chlorine contents remained stable over a 48hrs storage period in glass bottles. In EOW from tap water, pH-value ranged from 8–8.5, whereas it was around 9 in EOW from de-ionized water. The pH-value remained stable for EOW stored in plastic bottles (-0.1 units), but declined in EOW stored in glass bottles, up to -0,5 units.

Inadvertent contamination of meat and meat products with EOW was simulated by immersion treatment of one minute. Water and NaCl solutions served as controls. Colour was measured before and after treatment. In fresh beef, decrease of redness a^* and yellowness b^* were observed after EOW and control treatments. In contrast, colour of chicken breast and cooked sliced ham was practically not affected by immersion treatment. It is concluded that contact with EOW may lead to colour changes in meat and meat products, but in a similar magnitude as by contact with water or saline. Although such changes can be noticed with the naked eye, it is not unlikely that they would not be detected by consumers. Despite general limitations of the use of chlorine compounds as disinfectants in the food industry, the simplicity of generating sodiumhypochlorite from water and table salt within few minutes bears some potential.

Abkürzungsverzeichnis

EOW	elektrolytisch oxidiertes Wasser
NaCl	Natriumchlorid
KCl	Kaliumchlorid
KOH	Kaliumhydroxid
NaOCl	Natiumhypochlorit
HOCl	Hypochlorsäure
H	Wasserstoff
DNA	Desoxyribonukleinsäure
LF	Leitfähigkeit
Cl	Chlor
min.	Minute
h	Stunde
g	Gramm
mg	Milligramm
l	Liter
ml	Milliliter
cm	Zentimeter
ms	Millisiemens
IFA	Institut für Arbeitsschutz
bzw.	beziehungsweise
z.B.	zum Beispiel
d.h.	das heißt

Literaturverzeichnis

Bauer A., Smulders F.J.M. (Hrsg., 2015) Tierproduktion und veterinärmedizinische Lebensmittelhygiene: ein synoptisches Lehrbuch. 2. Aufl. Wageningen: Academic Publishers.

Heeschen W., Zschaler R. 2015. Prozesshygiene. 2 Aufl.. Hamburg: Behr's Verlag

Rolle M., Mayr A. 2007. Medizinische Mikrobiologie, Infektions- und Seuchenlehre. 8. Aufl. Stuttgart: Enke Verlag, S. 55

Bessemis E. 2003. Desinfektionsmittel für die Lebensmittel- und Veterinärhygiene. Hamburg: Behr's Verlag, 75–80.

Centrego. 2019. Toucan Eco III Product Data Sheet. Unter www.centregold.com; letzte Einsichtnahme 16.2.2020.

Ding T., Oh D.H., Lui D. 2019. Electrolyzed water in food: Fundamentals and applications. Singapore: Springer

Durchführungsverordnung (EU) 2017/1273 der Kommission vom 14. Juli 2017 zur Genehmigung von aus Natriumhypochlorit freigesetztem Aktivchlor als alten Wirkstoff zur Verwendung in Biozidprodukten der Produktarten 1, 2, 3, 4 und 5. OJ L184, 13–14.

EFSA. 2005. Opinion of the Scientific Panel on food additives, flavourings, processing aids and materials in contact with food (AFC) on a request from the Commission related to treatment of poultry carcasses with chlorine dioxide, acidified sodium chlorite, trisodium phosphate and peroxyacids. The EFSA Journal, 297:1–27.

Häßler U. 2018. Unter: <https://wisotop.de/farbabstand-farben-vergleichen.php>; letzte Einsichtnahme 2.10.2019.

Hricova D., Stephan R., Zweifel C. 2008. Electrolyzed water and its application in the food industry. Journal of food protection, 71(9):1934–1947

Han D., Hung Y.C., Bratcher C.L., Monu E.A., Wang Y., Wang L. 2018. Formation of Sublethally Injured *Yersinia enterocolitica*, *Escherichia coli* O157:H7, and *Salmonella*

enterica Serovar Enteritidis Cells after Neutral Electrolyzed Oxidizing Water Treatments. Applied and Environmental Microbiology, 84(17):e01066-18.

Huang Y.R., Hung Y.C, Hsu S.Y., Huang Y.W., Hwang D.F. 2008. Application of electrolyzed water in the food industry. Food Control, 19:329–345.

IFA – Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung. 2019. Unter: [http://gestis.itrust.de/nxt/gateway.dll/gestis_de/001410.xml?f=templates\\$fn=default.htm\\$3.0](http://gestis.itrust.de/nxt/gateway.dll/gestis_de/001410.xml?f=templates$fn=default.htm$3.0); letzte Einsichtnahme 16.2.2020

Industrieverband Hygiene und Oberflächenschutz. 2018: Freiwillige Kennzeichnung „Aktivchlor“ – haltiger Produkte. Unter: <https://www.iho.de/themen/stellungnahmen/25-freiwillige-kennzeichnung-aktivchlor-haltiger-produkte>; letzte Einsichtnahme 16.2.2020.

Latscha H.P., Kazmaier U. 2016 .Chemie für Biologen. Berlin und Heidelberg: Springer.

Lawrie R.A., Ledward D.A. 2006. Lawrie`s Meat Science. 7th ed. Cambridge: Woodhead Publishing Limited and CRC Press LLC.

Lund B.M., Baird-Parker T.C. Gould G.W. 2000. The microbiological safety and quality of food. Berlin und Heidelberg: Springer.

Mancini R.A, Hunt M.C. 2005. Current Research in Meat Colour. Meat Science, 71:100–121.

McCance, Widdowson. 1993. The Composition of Foods. 5th ed. London: RSC.

Minz F.R., Schliebs R. 1978. Moderne Verfahren der Großchemie: Chlor und Natronlauge. Chemie in unserer Zeit, 12:135–145.

Neumüller, O.A. 1981. Römpps Chemie Lexikon. Achte Auflage. Stuttgart: Franckh`sche Verlagsbuchhandlung, Band 2, S. 1484–1490.

Neumüller O.A. 1985. Römpps Chemie Lexikon. Achte Auflage. Stuttgart: Franckh`sche Verlagsbuchhandlung, 2738-2739

Prändl O., Fischer A., Schmidhofer T., Sinell H.J. 1988. Fleisch: Technologie und Hygiene der Gewinnung und Verarbeitung. Stuttgart: E .Ulmer Verlag

Raab D. 2010. Die Bedeutung chemischer Spülungen in der Endodontie. Endodontie Journal 2, 22–23.

Souci S.W., Fachmann W., Kraut H. 2000. Composition and Nutrition Tables. Stuttgart: Medpharm Publ.

Suman S.P., Joseph P. 2014. Color and Pigment. In Dikeman M., Devine C. (eds.) Encyclopedia of Meat Sciences. 1st ed. Amsterdam: Elsevier, 244–251.

Qi H., Huang Q., Hung Y.C. 2017. Effectiveness of electrolyzed oxidizing water treatment in removing pesticide residues and its effect on produce quality. Food Chemistry, 239:561–568.

Wang X., Demirci A., Puri V.M. 2016. Electrolyzed Oxidised Water for Food and Equipment Decontamination. In: Lelieveld H.L.M. Holah J., Domagoj G. (eds.). Handbook of Hygiene Control in the Food Industry. 2nd ed. Amsterdam: Elsevier, 503–519.

Verordnung (EG) Nr. 528/2012 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 22. Mai 2012 über die Bereitstellung auf dem Markt und die Verwendung von Biozidprodukten. OJ L167, 1–123.

Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. Dezember 2008 über die Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung von Stoffen und Gemischen, zur Änderung und Aufhebung der Richtlinien 67/548/EWG und 1999/45/EG und zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 1907/2006. OJ L353, 1–1355.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: pH-Werte in aus entionisiertem Wasser hergestelltem EOW, Lagerung bei +20°C über 48h (n=3).....	15
Abbildung 2: pH-Werte in aus entionisiertem Wasser hergestelltem EOW, Lagerung bei +2°C über 48h (n=3).....	16
Abbildung 3: pH-Werte in aus Leitungswasser hergestelltem EOW, Lagerung bei +20°C über 48h (n=3).....	17
Abbildung 4: pH-Werte in aus Leitungswasser hergestelltem EOW, Lagerung bei +2°C über 48h (n=3).....	18
Abbildung 5: Farbe von in EOW getauchtem Wurstaufschnitt (Extra, n=6)	21
Abbildung 6: Farbe von in EOW getauchtem Schweinefleisch (n=11); L*.. Helligkeit, a*.. Rotton, b*.. Gelbton; Blau/Rot.. vor/nach der Exposition in EOW _{0,2%}	22
Abbildung 7: Farbwerte (L*, a*, b*) von Rindfleisch vor und nach einminütiger Immersion in Wasser, 20°C (n=5); statistisch signifikante Unterschiede (p<0,05) der L* bzw. a* oder b* Werte werden durch rot gefärbte Säulen angezeigt; L*.. Helligkeit, a*.. Rotton, b*.. Gelbton	23
Abbildung 8: Farbwerte (L*, a*, b*) von Rindfleisch vor und nach einminütiger Immersion in 0,2%iger NaCl Lösung, 20°C (n=5); statistisch signifikante Unterschiede (p<0,05) der L* bzw. a* oder b* Werte werden durch rot gefärbte Säulen angezeigt; L*.. Helligkeit, a*.. Rotton, b*.. Gelbton.....	24
Abbildung 9: Farbwerte (L*, a*, b*) von Rindfleisch vor und nach einminütiger Immersion in 0,4%iger NaCl Lösung, 20°C (n=5); statistisch signifikante Unterschiede (p<0,05) der L* bzw. a* oder b* Werte werden durch rot gefärbte Säulen angezeigt; L*.. Helligkeit, a*.. Rotton, b*.. Gelbton.....	24
Abbildung 10: Farbwerte (L*, a*, b*) von Rindfleisch vor und nach einminütiger Immersion in EOW _{0,2%} , 20°C (n=5); statistisch signifikante Unterschiede (p<0,05) der L* bzw. a*	

oder b^* Werte werden durch rot gefärbte Säulen angezeigt; L^* .. Helligkeit, a^* .. Rotton, b^* .. Gelbton25

Abbildung 11: Farbwerte (L^* , a^* , b^*) von Rindfleisch vor und nach einminütiger Immersion in $EOW_{0,4\%}$, $20^\circ C$ ($n=5$); statistisch signifikante Unterschiede ($p<0,05$) der L^* bzw. a^* oder b^* Werte werden durch rot gefärbte Säulen angezeigt; L^* .. Helligkeit, a^* .. Rotton, b^* .. Gelbton25

Abbildung 12: Farbwerte (L^* , a^* , b^*) von Hühnerbrust vor und nach einminütiger Immersion in Wasser, $20^\circ C$ ($n=5$); statistisch signifikante Unterschiede ($p<0,05$) der L^* bzw. a^* oder b^* Werte werden durch rot gefärbte Säulen angezeigt; L^* .. Helligkeit, a^* .. Rotton, b^* .. Gelbton26

Abbildung 13: Farbwerte (L^* , a^* , b^*) von Hühnerbrust vor und nach einminütiger Immersion in 0,2%iger NaCl Lösung, $20^\circ C$ ($n=5$); statistisch signifikante Unterschiede ($p<0,05$) der L^* bzw. a^* oder b^* Werte werden durch rot gefärbte Säulen angezeigt; L^* .. Helligkeit, a^* .. Rotton, b^* .. Gelbton27

Abbildung 14: Farbwerte (L^* , a^* , b^*) von Hühnerbrust vor und nach einminütiger Immersion in 0,4%iger NaCl Lösung, $20^\circ C$ ($n=5$); statistisch signifikante Unterschiede ($p<0,05$) der L^* bzw. a^* oder b^* Werte werden durch rot gefärbte Säulen angezeigt; L^* .. Helligkeit, a^* .. Rotton, b^* .. Gelbton27

Abbildung 15: Farbwerte (L^* , a^* , b^*) von Hühnerbrust vor und nach einminütiger Immersion in $EOW_{0,2\%}$, $20^\circ C$ ($n=5$); statistisch signifikante Unterschiede ($p<0,05$) der L^* bzw. a^* oder b^* Werte werden durch rot gefärbte Säulen angezeigt; L^* .. Helligkeit, a^* .. Rotton, b^* .. Gelbton28

Abbildung 16: Farbwerte (L^* , a^* , b^*) von Hühnerbrust vor und nach einminütiger Immersion in $EOW_{0,4\%}$, $20^\circ C$ ($n=5$); statistisch signifikante Unterschiede ($p<0,05$) der L^* bzw. a^* oder b^* Werte werden durch rot gefärbte Säulen angezeigt; L^* .. Helligkeit, a^* .. Rotton, b^* .. Gelbton28

Abbildung 17: Farbwerte (L^* , a^* , b^*) von Beinschinken vor und nach einminütiger Immersion in Wasser, $20^\circ C$ ($n=5$); statistisch signifikante Unterschiede ($p<0,05$) der L^* bzw. a^*

oder b^* Werte werden durch rot gefärbte Säulen angezeigt; L^* .. Helligkeit, a^* .. Rotton, b^* .. Gelbton 29

Abbildung 18: Farbwerte (L^* , a^* , b^*) von Beinschinken vor und nach einminütiger Immersion in 0,2%iger NaCl Lösung, 20°C (n=5); statistisch signifikante Unterschiede ($p < 0,05$) der L^* bzw. a^* oder b^* Werte werden durch rot gefärbte Säulen angezeigt; L^* .. Helligkeit, a^* .. Rotton, b^* .. Gelbton 30

Abbildung 19: Farbwerte (L^* , a^* , b^*) von Beinschinken vor und nach einminütiger Immersion in 0,4%iger NaCl Lösung, 20°C (n=5); statistisch signifikante Unterschiede ($p < 0,05$) der L^* bzw. a^* oder b^* Werte werden durch rot gefärbte Säulen angezeigt; L^* .. Helligkeit, a^* .. Rotton, b^* .. Gelbton 30

Abbildung 20: Farbwerte (L^* , a^* , b^*) von Beinschinken vor und nach einminütiger Immersion in EOW_{0,2%}, 20°C (n=5); statistisch signifikante Unterschiede ($p < 0,05$) der L^* bzw. a^* oder b^* Werte werden durch rot gefärbte Säulen angezeigt; L^* .. Helligkeit, a^* .. Rotton, b^* .. Gelbton 31

Abbildung 21: Farbwerte (L^* , a^* , b^*) von Beinschinken vor und nach einminütiger Immersion in EOW_{0,4%}, 20°C (n=5); statistisch signifikante Unterschiede ($p < 0,05$) der L^* bzw. a^* oder b^* Werte werden durch rot gefärbte Säulen angezeigt; L^* .. Helligkeit, a^* .. Rotton, b^* .. Gelbton 31

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Kochsalzkonzentrationen, bei denen das Gerät die Elektrolyse durchführte (entionisiertes Wasser bzw. Leitungswasser)	12
Tabelle 2: Verhältnis der NaCl Konzentration zu pH-Wert und Leitfähigkeit (LF) des EOW .	13
Tabelle 3: Aktivchlorgehalte in EOW (entionisiertes Wasser) nach Ansäuern mit Salzsäure	13
Tabelle 4: Aktivchlorgehalte in EOW (entionisiertes Wasser) nach Ansäuern mit Schwefelsäure.....	14
Tabelle 5: Ergebnisse der Aktivchlorbestimmung aus EOW (Leitungswasser, 2 g NaCl/l) nach Ansäuern mit Salzsäure nach 24h und 48h Lagerung bei +2°C	14
Tabelle 6: Leitfähigkeit (mS/cm) in aus entionisiertem Wasser hergestelltem EOW, Lagerung bei +20°C über 48h (n=3)	16
Tabelle 7: Leitfähigkeit (mS/cm) in aus entionisiertem Wasser hergestelltem EOW, Lagerung bei +2°C über 48h (n=3)	17
Tabelle 8: Leitfähigkeit (mS/cm) in aus Leitungswasser hergestelltem EOW, Lagerung bei +20°C über 48h (n=3).....	18
Tabelle 9: Leitfähigkeit (mS/cm) in aus Leitungswasser hergestelltem EOW, Lagerung bei +2°C über 48h (n=3).....	19
Tabelle 10: pH-Wert und Leitfähigkeit (LF, mS/cm) in aus entionisiertem Wasser hergestelltem EOW, Lagerung in Kunststoff-Sprühflaschen bei +2°C, 48h (n=1).....	19
Tabelle 11: pH-Wert und Leitfähigkeit (LF, mS/cm) in aus entionisiertem Wasser hergestelltem EOW, Lagerung in Kunststoff-Sprühflaschen bei +20°C, 48h (n=1)....	19
Tabelle 12: pH-Wert und Leitfähigkeit (LF, mS/cm) in aus Leitungswasser hergestelltem EOW Lagerung in Kunststoff-Sprühflaschen bei +2°C, 48h (n=1).....	20
Tabelle 13: pH-Wert und Leitfähigkeit (LF, mS/cm) in aus Leitungswasser hergestelltem EOW, Lagerung in Kunststoff-Sprühflaschen bei +20°C, 48h (n=1).....	20

