

Der Einsatz von Chlor als Dekontaminationsmittel in der Geflügelverarbeitung: Eine umfassende Kritik

1. Einleitung

Geflügelfleisch ist eine wesentliche Proteinquelle in globalen Lieferketten. Dennoch birgt seine Produktion mikrobiologische Herausforderungen, die sowohl die Lebensmittelsicherheit als auch die Gesundheit der Verbraucher gefährden können. Traditionell wurden chlorbasierte Dekontaminationsmethoden in der Geflügelindustrie eingesetzt, um bakterielle Kontaminationen zu kontrollieren. Diese Methoden, insbesondere die Verwendung von Natriumhypochlorit (Chlor), haben aufgrund ihrer anfänglichen Einfachheit und geringen Kosten weite Verbreitung gefunden.

Trotz dieser weiten Verbreitung steht der Einsatz von Chlor zunehmend in der Kritik, insbesondere hinsichtlich seiner Effektivität, Gesundheitsrisiken und Auswirkungen auf die Fleischqualität. Noch bedeutsamer ist die wachsende Evidenz für die Entwicklung von Chlorresistenzen bei Bakterien sowie die Bildung von karzinogenen Nebenprodukten, was Fragen zur langfristigen Sicherheit und Eignung aufwirft. In diesem Dokument werden diese Bedenken ausführlich erörtert, die Einschränkungen der chlorbasierten Dekontaminationsmethoden hervorgehoben und ein detaillierter Vergleich zu Bio-G-Active, einer innovativen und deutlich überlegenen Alternative, vorgenommen.

2. Chlor als Dekontaminationsmittel: Wirkmechanismus

Chlor bildet in Wasser gelöst hypochlorige Säure (HOCl), ein starkes antimikrobielles Mittel, das durch die Störung der Zellfunktionen von Bakterien wirkt. Dies umfasst:

- **Denaturierung von Proteinen:** Chlor spaltet die Peptidbindungen in bakteriellen Proteinen, was zu einem Funktionsverlust und letztlich zum Zelltod führt.
- **Zerstörung der Zellmembranen:** Hypochlorige Säure dringt in die Zellwände von Bakterien ein und verursacht oxidative Schäden, die zum Auslaufen von Zellinhalten führen.
- **Inaktivierung von Enzymen:** Enzyme, die für den bakteriellen Stoffwechsel und die Replikation notwendig sind, werden deaktiviert, was das Bakterienwachstum stoppt.

Trotz dieser Mechanismen hängt die Effektivität von Chlor stark von mehreren Faktoren ab, darunter:

- **pH-Wert:** Chlor ist bei niedrigeren pH-Werten am wirksamsten, da ein größerer Anteil an un-ionisierter hypochloriger Säure vorliegt. Bei höheren pH-Werten steigt der Anteil von Hypochlorit-Ionen (OCl^-), die als Desinfektionsmittel deutlich weniger wirksam sind.

pH-Abhängigkeit der Chloreffektivität

Die antimikrobielle Wirkung von Chlor ist stark vom pH-Wert abhängig, da dieser das Verhältnis seiner aktiven Formen in Lösung bestimmt. Bei niedrigen pH-Werten (zwischen 4 und 7) liegt Chlor hauptsächlich als hypochlorige Säure (HOCl) vor, die besonders wirksam gegen Bakterien ist. Mit steigender Alkalität ($\text{pH} > 7,5$) wandelt sich jedoch ein zunehmender Anteil in Hypochlorit-Ionen (OCl^-) um, die eine deutlich geringere desinfizierende Wirkung haben. Ab einem pH-Wert von 8,5 liegt fast das gesamte Chlor als Hypochlorit vor, wodurch die bakterizide Wirkung erheblich nachlässt. Dies stellt insbesondere in der Geflügelverarbeitung ein Problem dar, da sich der pH-Wert des Prozesswassers durch organische Belastung und alkalische Substanzen verändern kann. Die Notwendigkeit einer präzisen pH-Kontrolle führt zu zusätzlichem chemischem Aufwand und erhöht die Komplexität der Anwendung.

- **Organisches Material:** Das Vorhandensein von organischem Material im Prozesswasser, wie Blut, Fett und Proteine, verringert die Wirksamkeit von Chlor erheblich. Chlor reagiert mit organischem Material und bildet chlorierte organische Verbindungen, von denen viele schädliche Nebenprodukte sind.
- **Kontaktzeit:** Eine ausreichende Expositionszeit ist erforderlich, damit Chlor seine bakterizide Wirkung entfalten kann. Aufgrund praktischer Einschränkungen in der Geflügelverarbeitung sind die Kontaktzeiten jedoch oft zu kurz, was die Wirksamkeit mindert.

3. Einschränkungen der Chloreffektivität und bakterielle Resistenz

Trotz seines langjährigen Einsatzes wird die Wirksamkeit von Chlor als Dekontaminationsmittel zunehmend infrage gestellt. Mehrere Studien haben gezeigt, dass die durch Chlor erzielte bakterielle Reduktion inkonsistent ist und häufig unter den akzeptablen Standards der Lebensmittelsicherheit liegt. Häufige Krankheitserreger wie *Salmonella* und *Campylobacter* werden durch die typischen Chlorkonzentrationen in der Geflügelverarbeitung nur moderat reduziert, und selbst bei höheren Konzentrationen sind die Ergebnisse suboptimal.

3.1 Inkonsistente Reduktionen

Mehrere Studien haben gezeigt, dass die durch Chlor erzielte bakterielle Reduktion zwischen $0,5 - 1,5 \log \text{cfu/cm}^2$ liegt, was unzureichend ist, um die Lebensmittelsicherheit zu gewährleisten (KOTULA et al., 1967; WABECK et al., 1968). Die Variabilität der Reduktionen kann auf folgende Faktoren zurückgeführt werden:

- **Unterschiede in der bakteriellen Belastung:** Hohe anfängliche bakterielle Belastungen sind schwieriger zu reduzieren, und die Wirksamkeit von Chlor nimmt mit zunehmender mikrobieller Belastung ab.
- **Umgebungsbedingungen:** Temperatur und organische Belastung im Prozesswasser beeinflussen die Leistung von Chlor erheblich. Wenn Chlor in Wasser mit hoher organischer Belastung eingebracht wird, führt die Bildung von chlorierten

Nebenprodukten wie Trihalomethanen (THMs) zu einer drastischen Reduktion des verfügbaren freien Chlors, das für eine effektive Desinfektion erforderlich ist.

3.2 Chlorresistente Bakterien

Der besorgniserregendste Aspekt des langfristigen Chloreinsatzes ist die Entwicklung von Resistenzen bei bestimmten Bakterienstämmen. Mehrere Bakterienspezies, darunter gramnegative Krankheitserreger wie *Escherichia coli* und *Salmonella*, haben Mechanismen entwickelt, um in chlorbehandelten Umgebungen zu überleben. Diese Mechanismen umfassen:

- **Biofilmbildung:** Bakterien innerhalb von Biofilmen sind vor der Wirkung von Chlor abgeschirmt. Die Biofilmmatrix schützt die inneren Zellen, sodass eine Standardchlorierung nicht ausreicht, um die Bakterien zu durchdringen und abzutöten (MEAD & THOMAS, 1973).
- **Efflux-Pumpen:** Einige Bakterien haben Efflux-Pumpen entwickelt, die Chlor und andere schädliche Substanzen aktiv aus der Zelle pumpen, sodass sie auch in chlorreichen Umgebungen überleben können.
- **Veränderungen in der Membranstruktur:** Bestimmte Bakterien haben ihre äußere Membranstruktur modifiziert, um zu verhindern, dass Chlor in die Zellen eindringt, was die Wirksamkeit verringert (LeCHEVALLIER et al., 1988).

Diese adaptiven Reaktionen verringern nicht nur die Wirksamkeit von Chlor, sondern erhöhen auch das Risiko einer Kreuzkontamination in Geflügelbetrieben, in denen chlorresistente Stämme von einem Schlachtkörper auf den anderen übertragen werden können.

4. Gesundheitsrisiken durch den Einsatz von Chlor in der Lebensmittelverarbeitung

4.1 Bildung schädlicher Nebenprodukte

Eines der größten Bedenken beim Einsatz von Chlor in der Geflügelverarbeitung ist die Bildung toxischer Nebenprodukte, darunter Trihalomethane (THMs) und chlorierte organische Verbindungen. Wenn Chlor mit organischem Material auf den Geflügelkarkassen reagiert, entstehen eine Reihe schädlicher Verbindungen, wie:

- **Chloroform:** Ein bekanntes Karzinogen, das häufig in der Haut und dem Fett von Geflügel nach der Behandlung mit chloriertem Wasser nachgewiesen wird. Die Konzentrationen von Chloroform im Geflügel übersteigen bei weitem die zulässigen Grenzwerte für Trinkwasser (ROBINSON et al., 1981). Der langfristige Verzehr von chloroformkontaminiertem Geflügel ist mit Leber-, Nieren- und Nervenschädigungen verbunden.
- **Chlorwasserstoffe:** Diese Verbindungen, die durch die Reaktion von Chlor mit Fetten und Proteinen entstehen, sind nicht nur mutagen, sondern verbleiben auch in der Umwelt und tragen zur langfristigen toxischen Exposition der Verbraucher bei (NOLLER, 1960).

- **Mutagene Substanzen:** Studien haben gezeigt, dass chloriertes Wasser, insbesondere bei Wiederverwendung oder Filterung, mutagene Substanzen enthält, die genetische Mutationen verursachen und das Risiko von Krebs erhöhen. Diese Mutagene können bei Konzentrationen von nur 100 ppm nachgewiesen werden (MASRI, 1986).

Die durch diese Verbindungen verursachten Risiken sind erheblich, insbesondere angesichts der strengen Vorschriften zur Lebensmittelsicherheit und zum Einsatz von chemischen Zusatzstoffen. Im Gegensatz zu Trinkwasser, bei dem die zulässigen Werte für chlorierte Nebenprodukte streng überwacht werden, fehlen in der Geflügelverarbeitung ähnliche Kontrollen, was dazu führt, dass schädliche Mengen an THMs und anderen Nebenprodukten unbemerkt in die Nahrungskette gelangen.

4.2 Atemwegs- und Schleimhautreizungen

Arbeiter in Geflügelverarbeitungsbetrieben sind häufig Chlordämpfen und Aerosolen ausgesetzt, insbesondere in Bereichen, in denen chloriertes Wasser zum Kühlen und Waschen von Karkassen verwendet wird. Chlor kann bereits bei moderaten Konzentrationen zu Reizungen der Augen, Nase und des Rachens führen.

Bei höheren Konzentrationen (z. B. 50 ppm) verursachen die Dämpfe schwere Atembeschwerden, die von chronischem Husten bis zu Atemnot reichen (THOMSON et al., 1979). Langfristige Exposition kann zu dauerhaften Schäden der Atemwege führen und das Risiko von berufsbedingten Lungenerkrankungen erhöhen.

4.3 Metallkorrosion und Geräteschäden

Die korrosive Wirkung von Chlor stellt erhebliche Herausforderungen für die Verarbeitungsanlagen in der Geflügelverarbeitung dar. Der Einsatz von Chlor, insbesondere bei niedrigeren pH-Werten, führt zur schnellen Zersetzung von Edelstahlmaschinen.

Diese Korrosion verkürzt nicht nur die Lebensdauer teurer Ausrüstungen, sondern erhöht auch das Risiko einer Kontamination, da Metallpartikel und abgenutzte Materialien mit dem Geflügel in Kontakt kommen (SCHLIESSER & STRAUCH, 1981).

5. Negative Auswirkungen auf die Fleischqualität

5.1 Sensorische Beeinträchtigung

Chlor kann insbesondere bei höheren Konzentrationen eine Reihe negativer sensorischer Effekte auf Geflügelfleisch verursachen, darunter:

- **Off-Flavors:** Bei Chlorkonzentrationen über 60 ppm entwickelt Geflügelfleisch häufig einen ausgeprägten chemischen Geruch und einen chlorähnlichen Geschmack, was seine Attraktivität für den Verbraucher erheblich verringert (DIXON & POOLEY, 1961).
- **Texturveränderungen:** Chloriertes Wasser kann die Proteinstruktur von Geflügel verändern, was zu unerwünschten Texturveränderungen führt, darunter erhöhte Zähigkeit und Feuchtigkeitsverlust.

5.2 Wasseraufnahme und Rekontamination

Geflügel, das mit chloriertem Wasser behandelt wird, nimmt oft überschüssiges Wasser auf, was das Risiko einer Kreuzkontamination während der Verarbeitung erhöht.

In der EU erlauben Vorschriften eine Wasseraufnahme von bis zu 6 %, während in den USA bis zu 8 % zulässig sind (VO EWG 2967/76; TSAI et al., 1992). Dieses zurückgehaltene Wasser kann Restbakterien und Nebenprodukte beherbergen, was das Risiko einer Rekontamination erhöht, wenn die Karkassen die Verarbeitungsstraße durchlaufen.

6. Der Vorteil von Bio-G-Active: Eine sicherere und effektivere Lösung

Bio-G-Active stellt einen bedeutenden Fortschritt in der Lebensmittelsicherheitstechnologie dar. Im Gegensatz zu Chlor, das zahlreiche Nachteile aufweist, bietet Bio-G-Active eine Vielzahl von Vorteilen, ohne die damit verbundenen Gesundheitsrisiken oder Umweltbelastungen. Ein direkter Vergleich zwischen Chlor und Bio-G-Active zeigt die Überlegenheit von Letzterem in nahezu jeder Hinsicht:

6.1 Überlegene antimikrobielle Wirkung

Bio-G-Active hat eine überlegene antimikrobielle Wirksamkeit gegen ein breites Spektrum von Krankheitserregern gezeigt, einschließlich chlorresistenter Stämme. Seine einzigartige Formulierung ermöglicht es, in Biofilme einzudringen und Bakterien an ihrer Quelle zu zerstören, was es effektiver macht als Chlor bei der Reduktion von Bakterienbelastungen.

6.2 Keine schädlichen Nebenprodukte

Im Gegensatz zu Chlor produziert Bio-G-Active keine karzinogenen Nebenprodukte wie THMs oder Chloroform. Seine biologisch abbaubare Zusammensetzung stellt sicher, dass keine schädlichen Chemikalien auf dem Fleisch zurückbleiben, was es zu einer sichereren Option für Verbraucher und Umwelt macht.

6.3 Erhalt der Fleischqualität

Bio-G-Active bewahrt den Geschmack, die Textur und das Aussehen von Geflügelfleisch. Es verursacht nicht die Geschmacks- oder Texturverschlechterung, die mit Chlor verbunden ist, und stellt sicher, dass das Geflügel optisch und sensorisch ansprechend bleibt.

6.4 Arbeitssicherheit und Langlebigkeit der Ausrüstung

Bio-G-Active ist nicht reizend und stellt keine Risiken für die Arbeiter in den Verarbeitungsbetrieben dar. Es korrodiert auch keine Metalle, was die Wartungskosten senkt und die Lebensdauer der Verarbeitungsanlagen verlängert. Dies ist ein erheblicher Vorteil gegenüber Chlor, das die Ausrüstung beschädigt und die Betriebskosten erhöht.

7. Fazit

Der Einsatz von Chlor in der Geflügelverarbeitung wird zunehmend als unhaltbar angesehen, da seine begrenzte Wirksamkeit, die damit verbundenen Gesundheitsrisiken und die negativen Auswirkungen auf die Fleischqualität immer deutlicher werden.

Im Gegensatz dazu bietet Bio-G-Active eine sichere, effektive und umweltfreundliche Alternative, die die Schwächen von Chlor überwindet. Angesichts der sich entwickelnden regulatorischen Rahmenbedingungen und der wachsenden Verbrauchernachfrage nach sichereren Lebensmitteln ist Bio-G-Active bestens positioniert, um zur bevorzugten Lösung für die Gewährleistung der mikrobiologischen Sicherheit in der Geflügelverarbeitung zu werden – ohne die damit verbundenen Nachteile herkömmlicher chlorbasierter Methoden.

BGA Dictum GmbH

Mommsenstraße 7
10629 Berlin / Germany
+49 (0)30 8442891
post@bga-dictum.com
www.bga-dictum.com