

Milchsicherheit und Wärmebehandlungen: die Effizienz des ALP-Tests mit CDR FoodLab®

Dr. Simone Pucci – Laborleiter des CDR Chemielabors "Francesco Bonicolini"

P2622

1. Einführung und biochemische Bedeutung der alkalischen Phosphatase (ALP)

In der Milchwirtschaft ist die alkalische Phosphatase (ALP) nicht lediglich ein endogenes Enzym, sondern stellt die **zentrale analytische Grundlage** für die Validierung der mikrobiologischen Sicherheit dar. Als intrinsischer **Zeit-Temperatur-Indikator** dient ALP als biochemischer Marker, dessen Inaktivierung den Erfolg der Wärmebehandlung anzeigt, die öffentliche Gesundheit schützt und die Einhaltung gesetzlicher Vorgaben sicherstellt.

Definition und Enzymkinetik

Alkalische Phosphatase ist ein Enzym, das natürlicherweise in der Rohmilch verschiedener Tierarten vorkommt, darunter **Rind, Schaf und Ziege**. Ihre biochemische Funktion besteht in der Spaltung von Phosphatgruppen in alkalischem Milieu, bei einem optimalen pH-Wert von **8 bis 10**. Die strategische Bedeutung der ALP als Prozessindikator liegt in ihrer **Thermoresistenz**, die etwas höher ist als die der für die menschliche Gesundheit kritischsten nicht sporenbildenden Pathogene. Hinsichtlich der Hitzebeständigkeit weist die thermische Inaktivierungskurve der alkalischen Phosphatase eine kinetische Eigenschaft auf, die sich die Milchwirtschaft als Prozessindikator zunutze gemacht hat: Ihre Denaturierungstemperatur liegt nämlich knapp über derjenigen der nicht sporenbildenden pathogenen Mikroorganismen, die für die menschliche Gesundheit am kritischsten sind. Dazu zählt insbesondere *Mycobacterium tuberculosis*, das historisch als Referenzorganismus zur Festlegung der Mindestparameter für die Behandlung herangezogen wurde, sowie vor allem *Coxiella burnetii*, der Erreger des Q-Fiebers, der heute allgemein als der hitzeresistenteste nicht sporenbildende Pathogen in Rohmilch anerkannt ist. Das Grundprinzip der „**Sicherheitsmarge**“ beruht genau auf dieser biochemischen Besonderheit: Da ALP etwas höheren Zeit-Temperatur-Kombinationen standhält als diese Bakterien, gewährleistet ihre vollständige Inaktivierung, dass die Zielbelastung durch Pathogene wirksam eliminiert wurde. Dabei ist hervorzuheben, dass ein negativer ALP-Test den spezifischen Nachweis für die Zerstörung vegetativer bakterieller Formen darstellt, jedoch nicht die Abwesenheit sporenbildender

Mikroorganismen garantiert, die strengere Wärmebehandlungen wie UHT erfordern. Dennoch stellt der Test den rechtlichen und technischen Nachweis dar, dass die in den Vorschriften festgelegten Mindestparameter der Pasteurisierung, 72 °C für 15 Sekunden oder 63 °C für 30 Minuten, erreicht wurden, und bestätigt damit die mikrobiologische Sicherheit der in Verkehr gebrachten Frischmilch.

2. Kontrolle der Wärmebehandlungen im Produktionsprozess

Die Pasteurisierung stellt in einer Anlage den **kritischen Kontrollpunkt (CCP)** schlechthin dar. Eine ineffiziente Steuerung dieses Parameters beeinträchtigt nicht nur die Sicherheit, sondern setzt das Unternehmen auch finanziellen Risiken aus, die sich aus logistischen Engpässen und Produktrückrufen ergeben können.

Risikoprävention, interspezifische Variabilität und regulatorische Grenzwerte

Eine strenge Überwachung der ALP dient in erster Linie den Anforderungen des Gesundheitsschutzes. Sie wirkt als grundlegende Barriere zur Vermeidung der Übertragung von Krankheitserregern, die für schwere auf den Menschen übertragbare Erkrankungen verantwortlich sind (Zoonosen), und gewährleistet die Sicherheit des Endprodukts. Die Wirksamkeit dieser Kontrolle setzt jedoch ein genaues Verständnis der interspezifischen Variabilität voraus. Die Ausgangswerte der ALP unterscheiden sich je nach Tierart erheblich: Schafmilch weist eine anfängliche enzymatische Aktivität auf, die etwa dreimal höher ist als die von Kuhmilch, während Ziegenmilch bis zu fünfmal niedrigere Werte zeigt. Folglich kann ein standardisierter analytischer Ansatz ohne gezielte artspezifische Kalibrierung irreführend und aus kommerzieller Sicht unsicher sein.

Diese biologische Komplexität wird durch strenge gesetzliche Parameter ergänzt. Für Kuhmilch liegt der internationale Sicherheitsgrenzwert bei 350 mU/L (Milliunits pro Liter). Wird dieser Wert überschritten, weist der Test unmittelbar auf eine unzureichende Pasteurisierung oder auf eine Rekontamination mit Rohmilch nach dem Prozess hin. Die Empfindlichkeit dieses biochemischen Markers ist so hoch, dass selbst minimale Anteile unbehandelter Milch zwischen 0,02 % und 0,1 % nachgewiesen werden können, wodurch die

gesamte Produktionslinie vor Kreuzkontamination geschützt wird.

Das Phänomen der „Reaktivierung“ (Enzymreaktivierung)

Ein komplexes biochemisches Phänomen, das Qualitätskontrolllabore vor besondere Herausforderungen stellt, ist die Reaktivierung der ALP. Diese Anomalie tritt häufig bei fettreichen Produkten wie Sahne oder bei Milch auf, die einer UHT-Behandlung unterzogen und anschließend bei Temperaturen über 30 °C gelagert wurde, insbesondere in Anwesenheit von Magnesiumsalzen. Ein Branchenakteur muss in der Lage sein, einen tatsächlichen Ausfall des Pasteurisators von einem Reaktivierungsphänomen oder vom Vorhandensein mikrobieller ALP zu unterscheiden, die von hitzeresistenten Bakterien gebildet wird. In diesem Zusammenhang folgt die Analyse zwei unterschiedlichen Ansätzen. Der Repasteurisierungstest, der im Labor bei 63 °C für 30 Minuten durchgeführt wird, ermöglicht die Isolierung mikrobieller ALP: Da diese hoch hitzestabil ist, nimmt ihre Aktivität nach der Behandlung nicht signifikant ab, im Gegensatz zur nativen ALP der Milch, die zerstört wird. Zur Unterscheidung zwischen residualer ALP, die auf eine fehlgeschlagene Pasteurisierung zurückzuführen ist, und reaktivierter ALP wird der Magnesium-Aktivierungstest eingesetzt. Dabei wird die Zunahme der Enzymaktivität unter kontrollierten Bedingungen verglichen, wodurch ein falsch positives Ergebnis oder ein tatsächlicher technischer Fehler im System sicher ausgeschlossen werden kann. Es ist daher offensichtlich, dass die Überwachung der alkalischen Phosphatase für Sicherheit und regulatorische Konformität von entscheidender Bedeutung ist. Die Echtzeitsteuerung zahlreicher Variablen erfordert eine analytische Reaktionsfähigkeit, die traditionelle Labormethoden, die häufig zeitaufwendig und komplex sind, nur schwer gewährleisten können. Um effiziente *Positive-Release-Prozesse* umzusetzen und Engpässe während der Lagerung zu vermeiden, ist es daher unerlässlich, analytische Lösungen einzusetzen, die die Genauigkeit des offiziellen Labors direkt an den Produktionsstandort übertragen können.

3. ALP-Analyse mit dem CDR FoodLab® System

Das **CDR FoodLab®-System** ermöglicht es, die Genauigkeit der offiziellen Fluorimetrie durch einen schnellen und intuitiven Ansatz direkt an die Produktionslinie zu übertragen, optimiert für jede Art von Anwender. Diese Lösung zur Bestimmung der **alkalischen Phosphatase** überwindet die

Komplexität herkömmlicher Methoden und beseitigt operative kritische Punkte durch den Einsatz vorbefüllter, gebrauchsfertiger Reagenzien. Die Analyse ist in nur **25 Minuten** abgeschlossen und ermöglicht die **gleichzeitige Bearbeitung mehrerer Proben**. Dadurch wird die Analysenzeit weiter verkürzt, und Ergebnisse können ohne spezialisiertes Personal oder aufwendige Kalibrierungen erhalten werden. Das Gerät arbeitet in einem **Messbereich von 0,1 bis 7 U/L**, mit einer **feinen Auflösung von 0,01 U/L** und einer **Wiederholbarkeit von 0,12 U/L**. Diese Vielseitigkeit macht das System zu einer vollständigen analytischen Plattform: Ein effizientes ALP-Monitoring kann gleichzeitig mit der Kontrolle weiterer wichtiger chemischer Parameter integriert werden und bietet dem Anwender so einen umfassenden Überblick über die Qualität des Rohmaterials und die Integrität des Produktionsprozesses.

Über ALP hinaus: Integriertes Screening mit CDR FoodLab®

Auf derselben Analyseplattform können folgende Parameter überwacht werden:

- **Peroxidase (POD)**: entscheidend für den Nachweis einer Überpasteurisierung. Ein **positives POD-Ergebnis** ist das Ziel: Es zeigt, dass die Milch keiner übermäßigen Wärmebelastung ausgesetzt wurde, wodurch ihr Nährwert und ihre Proteine erhalten bleiben.
- **Furosine/Fructosyl-Lysin**: ein wichtiger Indikator für Wärmebehandlung und Frische. Ein niedriger Furosingehalt gewährleistet, dass keine übermäßigen Wärmebehandlungen erfolgt sind und kein rekonstituiertes Milchpulver zugesetzt wurde, wodurch die Integrität essenzieller Aminosäuren sichergestellt wird.
- **Milchsäure**: ein Marker der Primärhygiene. Ein niedriger Milchsäuregehalt belegt die Qualität des Rohmaterials, das anschließend der Wärmebehandlung unterzogen wird.
- **Harnstoff** und **Ammoniak**: Indikatoren für die Tiergesundheit und die Futtereffizienz, wesentlich für die Überwachung der vorgelagerten Lieferkette.

4. Schlussfolgerungen

Zusammenfassend bleibt die **Überwachung der alkalischen Phosphatase** ein entscheidender Faktor für die Validierung von Wärmebehandlungen und den Schutz der öffentlichen Gesundheit in der Milchwirtschaft. Die technologische Weiterentwicklung, wie sie durch das **CDR FoodLab® -System** umgesetzt wird, zeigt, dass es

heute möglich ist, die wissenschaftliche Strenge offizieller Methoden mit der Geschwindigkeit und Flexibilität moderner Produktionslinien zu verbinden. Darüber hinaus ermöglicht die Erweiterung des Screenings über ALP hinaus auf derselben Plattform, durch die Integration der Echtzeitanalyse von **Peroxidase**, **Furosine** (**Fructosyl-Lysin**), **Milchsäure**, **Harnstoff** und **Ammoniak**, dem Betrieb, über einfache Konformitätsprüfungen hinauszugehen. Die Qualitätskontrolle ermöglicht es, den Nährwert der Rohstoffe zu schützen, betriebliche Prozesse zu optimieren und die Verbrauchersicherheit zu erhöhen.

Bibliografie / Literaturverzeichnis

Punoo, HA (2018). Validation of Milk Product Pasteurization by Alkaline Phosphatase Activity. *Concepts of Dairy & Veterinary Sciences*, 1(3), 78-89. Lupine Publishers. DOI: 10.32474/CDVS.2018.01.000113

Cornell University Department of Food Science. (2022). *Alkaline Phosphatase (ALP) Testing for Milk Pasteurization*. Dairy Foods Science Notes (Version 11-07). Cornell University, Ithaca, NY.