

WASSERGEHALT IN DER BUTTERPRODUKTION

Prozessoptimierung mit
Mikrowellentechnologie



Einleitung

In der modernen Milchverarbeitung ist Präzision längst mehr als ein Qualitätsmerkmal – sie ist ein zentraler wirtschaftlicher Faktor. Besonders deutlich wird das bei der Butterherstellung, bei welcher der Wassergehalt fein ausbalanciert werden muss. Je nach Produktionsbedingungen und Prozessparametern kann der Wassergehalt zwischen 15% und 17% schwanken. Gesetzlich erlaubt sind jedoch maximal 16 %. Liegt der Wassergehalt darüber, darf das Produkt nicht verkauft werden.

Aus Sorge, diese Grenze zu überschreiten, setzen viele Hersteller den Zielwert vorsorglich tiefer an, häufig bei 15 % bis 15,5 %. Doch diese Sicherheitsspanne geht zulasten der Wirtschaftlichkeit: Schon ein geringer Wasserabfall führt zu mehr Fett im Produkt und damit zu Gewinneinbußen. Gleichzeitig kann ein zu niedriger Wassergehalt die Butterqualität beeinträchtigen, etwa durch mangelnde Streichfähigkeit oder eine unerwünschte Konsistenz.

Es wird also deutlich, dass eine zuverlässige kontinuierliche Wassergehaltmessung direkt in der Produktionslinie eine entscheidende Rolle spielt. Nur so kann die Wasserzugabe automatisch geregelt und die Butterherstellung in Echtzeit optimiert und somit gleichbleibende Qualität bei maximaler Effizienz erzielt werden.

In dieser Untersuchung bewerten wir den praktischen Einsatz des MicroPolar LB 566, eines modernen Mikrowellenmesssystems zur Bestimmung des Wassergehalts in Butter. Das System ermittelt den Wassergehalt präzise und zerstörungsfrei mit Mikrowellentechnik und wurde speziell für die Inline-Integration in Molkereiprozesse entwickelt. Ziel ist es,

den Herstellern eine optimale Möglichkeit zu bieten, den Ertrag zu steigern, die Produktqualität zu sichern und gesetzliche Vorgaben zuverlässig einzuhalten.

Messprinzip Mikrowellentechnik

Die Mikrowellen-Transmissionstechnik ist eine zuverlässige und seit Jahren etablierte Methode zur schnellen Bestimmung des Wassergehalts in Milchprodukten wie bspw. Butter. Das Kernprinzip dieser Methode ist die Wechselwirkung elektromagnetischer Wellen mit den dielektrischen Eigenschaften des Produkts. Da Butter überwiegend aus Fett und Wasser besteht, macht sich das Verfahren den großen Kontrast zwischen der hohen Dielektrizitätskonstante und dem Verlustfaktor von Wasser gegenüber Fett zunutze, um Feuchteänderungen präzise zu erfassen.

Das MicroPolar LB 566 nutzt die simultane Auswertung von Phasenverschiebung und Dämpfungsveränderung der durch das Medium transmittierter Mikrowellen, um den Wassergehalt in Echtzeit und zerstörungsfrei zu quantifizieren.

Die Messgenauigkeit und Reproduzierbarkeit konventioneller Sensoren kann beeinträchtigt werden, bspw. durch ionische Störungen (verursacht durch den Salzgehalt im Produkt) oder Kontaktprobleme. Dies ist beim Mikrowellensystem MicroPolar LB 566 nicht der Fall. Denn dieses arbeitet in einem Frequenzbereich, in welchem die Leitfähigkeit sehr geringen Einfluss auf die Messgenauigkeit und Reproduzierbarkeit nimmt. Zudem ist dieses System mit einem speziellen Sensor ausgestattet, welcher Kontaktproblemen optimal entgegenwirkt.



Installation und Funktionsweise

Das MicroPolar LB 566 ist für Inline-Anwendungen konzipiert und gewährleistet repräsentative Messungen über den gesamten Querschnitt des Produktstroms. Das robuste Design und die Multifrequenztechnologie ermöglichen stabile und zuverlässige Messungen, die nicht von Faktoren wie Farbe, Viskosität, inhomogener Zusammensetzung oder Salzgehalt beeinflusst werden.

Um eine präzise Wassergehaltsmessung zu ermöglichen, wird eine Berthold FlowCell direkt in die Buttermaschine integriert. Die FlowCell ist EHEDG-zertifiziert und kompatibel mit Clean-in-Place (CIP)-Bestimmungen. Das Antennendesign in der FlowCell wurde speziell für hochpräzise Molkereianwendungen entwickelt. Ihre Struktur ist so konzipiert, dass interne elektromagnetische Reflexionen und Störungen minimiert werden und so maximale Messgenauigkeit und Reproduzierbarkeit ermöglicht wird. Ein spezielles hygienisches Mikrowellenkabel sorgt für eine sichere und kontaminationsfreie Verbindung zwischen der FlowCell und dem LB 566-Gerät.

Die integrierten Antennen und das FlowCell-Design ermöglichen eine vollständige Mikrowellendurchdringung des Butterstroms und stellen sicher, dass die Messungen repräsentativ für den gesamten Produktquerschnitt sind. Das Ergebnis sind zuverlässige Echtzeitdaten für eine effektive Prozesssteuerung.

Das System lässt sich mit minimalen Modifikationen einfach an bestehende Rohrleitungen montieren. Die Bedienung erfolgt vor Ort mit einer benutzerfreundlichen Oberfläche, die eine einfache Inbetriebnahme und Kalibrierung ermöglicht.

Sollten die dielektrischen Eigenschaften unterschiedlicher Buttersorten zu stark variieren, kann für jede Variante eine separate Kalibrierkurve hinterlegt werden. Das MicroPolar LB 566 kann bis zu vier separate Kalibrierkurven intern hinterlegen. Über die serielle Schnittstelle können beliebig viele Kalibrierdatensätze dem Gerät mitgeteilt werden. Ferner kann über einen einfachen digitalen Steuereingang das System automatisch in den jeweils passenden Kalibrierdatensatz wechseln.



*Abbildung 1
Qualitätskontrolle mit der
LB 566 und einer DN100
FlowCell bei der Butterherstellung
vor der Verpackung*

Fallstudie zur Systembewertung

Zur Erstellung einer belastbaren Kalibrierkurve wurden Referenzmessungen mittels eines üblichen Standard-Labormessgerätes (bspw. Near Infrared) durchgeführt und mit den Mikrowellen-Feuchtwerten des MicroPolar LB 566 abgeglichen. Die Kalibrierung basiert immer auf der Erfassung von Butterproben mit Wassergehalt im Soll-Bereich. In dem hier beschriebenen Fall wurde die Kalibrierung sowohl mit mildgesäuerter Butter als auch Süßrahmbutter durchgeführt.

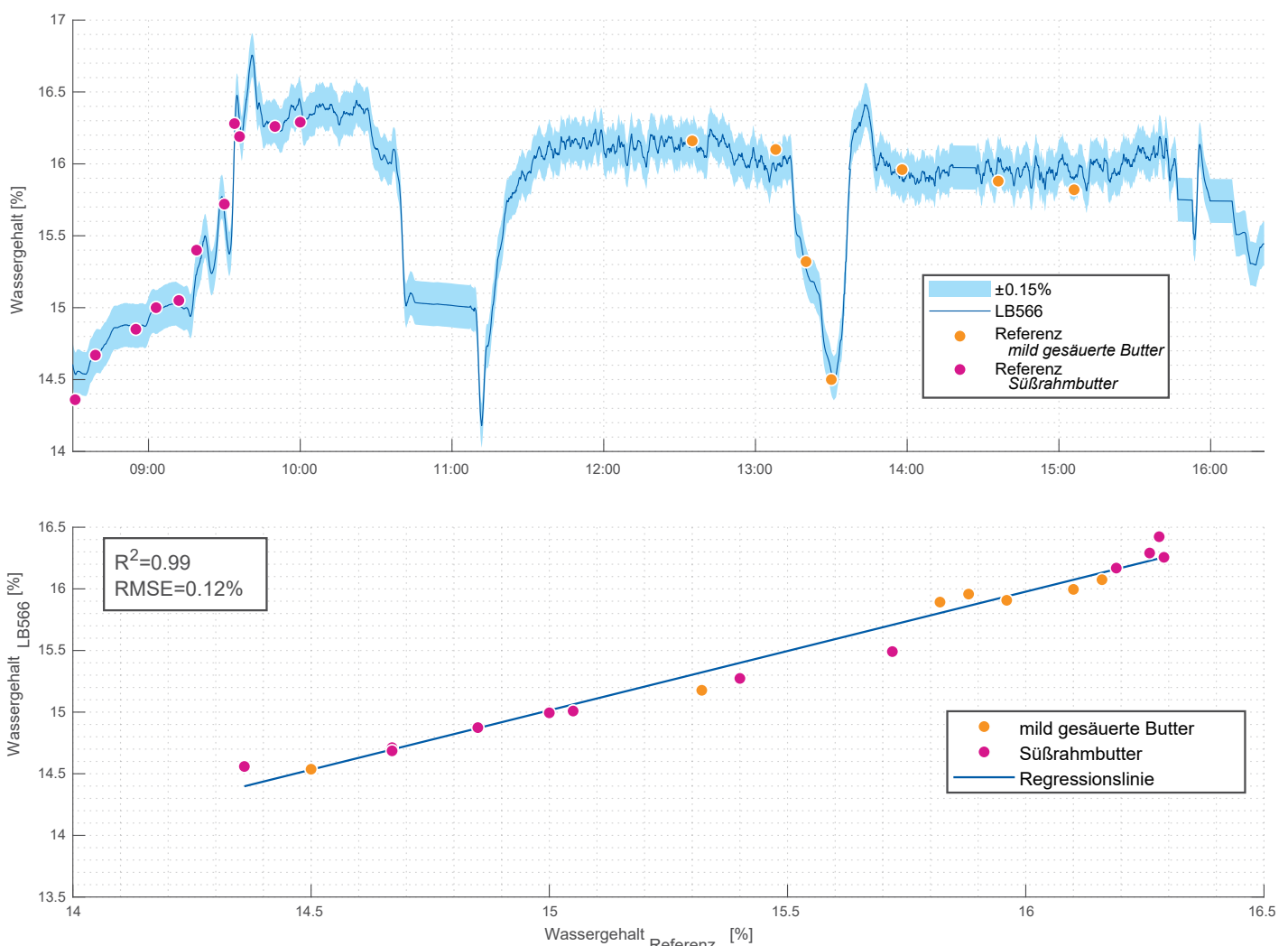
In der oberen Grafik (Abbildung 1) ist der kontinuierliche Verlaufsabschnitt der Feuchtemessung dargestellt, währenddem die Kalibrierungsproben entnommen wurden. Die blau dargestellten Werte repräsentieren die Echtzeitmessung des LB 566, während die eingefügten Farbpunkte die zugehörigen Laborreferenzen markieren. Die blaue Schattierung zeigt die Messunsicherheit von $\pm 0,15\%$, innerhalb derer sich fast alle

Referenzwerte befinden – ein deutlicher Hinweis auf die hohe Messstabilität des Systems unter realen Produktionsbedingungen.

Die untere Grafik zeigt die Regressionsanalyse der Kalibrierung: Mit einem Bestimmtheitsmaß von $R^2 = 0,9867$ belegt sie die exzellente Übereinstimmung von den Messwerten des LB 566 mit den Laborwerten. Die maximale Abweichung liegt bei lediglich $\pm 0,12\%$, womit das System die typischen Anforderungen an industrielle Inline-Wassergehaltmessung in jedem Fall erfüllt.

Bemerkenswert ist zudem, dass zwischen den beiden Buttersorten kein signifikanter Versatz in der Messcharakteristik festgestellt werden konnte – die Kalibrierpunkte beider Sorten folgen der gleichen Regressionsgeraden. Das zeigt, dass leichte pH-Wertunterschiede keine nennenswerten Einflüsse auf die Messergebnisse haben. Dies erleichtert die Anwendung über verschiedene Produktqualitäten hinweg.

Abbildung 2 Kalibrierungsergebnisse und Analyse



Validierung des LB 566 über mehrere Wochen

Zur Bewertung der Langzeitstabilität und Praxistauglichkeit wurde das System zusätzlich über einen Zeitraum von mehreren Wochen unter realen Produktionsbedingungen validiert. Für Abbildung 3 wurden Messwerte von vier unterschiedlichen, zufällig ausgewählten Tagen ausgewertet. Die Tagesverläufe umfassen sowohl unterschiedliche Butterchargen als auch Produktionspausen, Wasserzugaben und Reinigungszyklen.

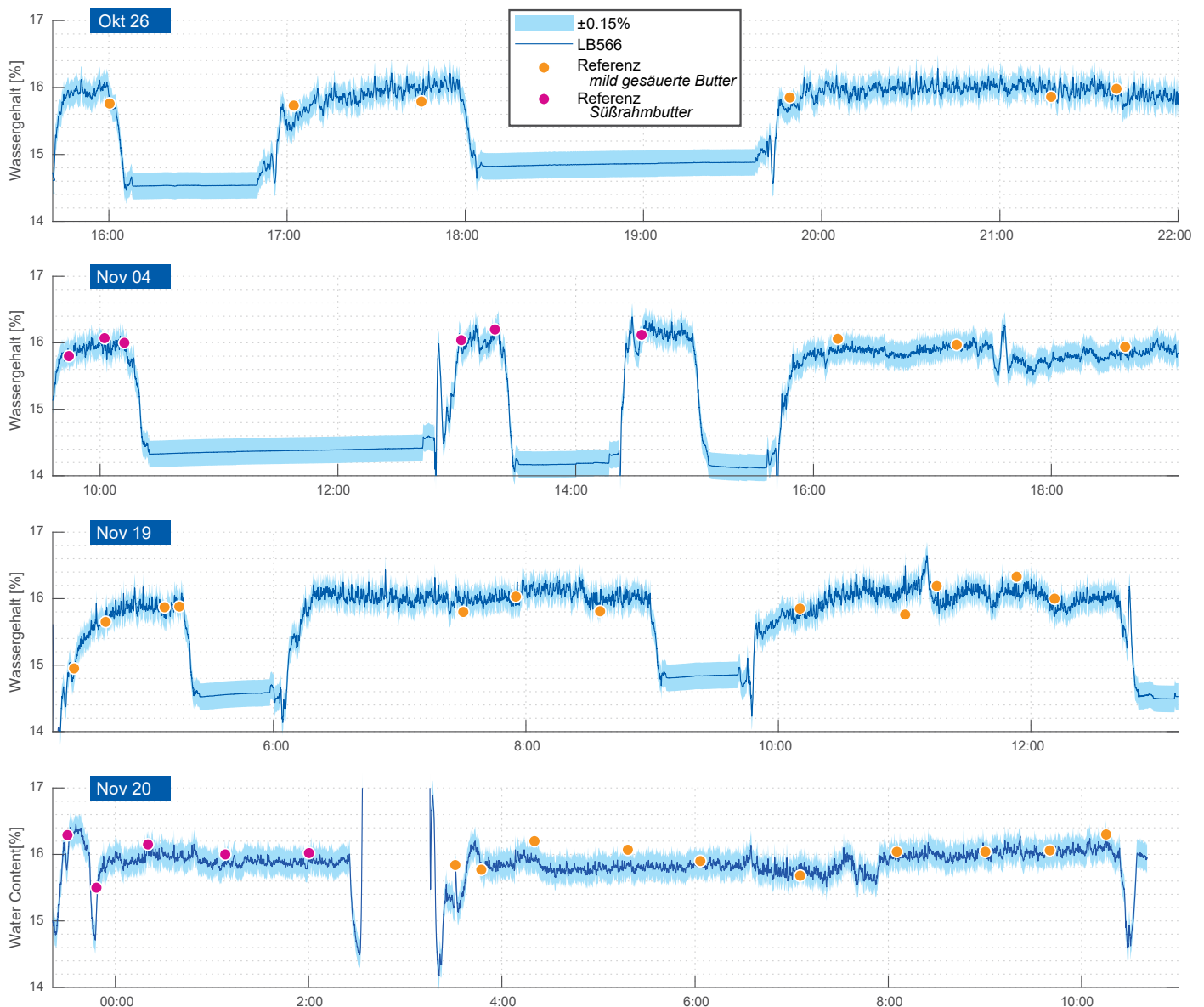
Die kontinuierlichen Messkurven zeigen deutlich, dass das MicroPolar LB 566 auch über längere Zeiträume hinweg reproduzierbare und stabile Wassergehaltswerte liefert. Alle gemessenen Tagesverläufe (siehe Abbildung 3) weisen eine hohe Reproduzierbarkeit auf

– auch bei zwischenzeitlichen Prozessunterbrechungen oder Produktschwankungen.

Validierungsergebnis:

Die parallelen Laborreferenzwerte liegen fast vollständig innerhalb des definierten Toleranzbereichs des Systems von $\pm 0,15\%$. Dies zeigt, dass die anfängliche Kalibrierung nicht nur kurzfristig, sondern auch unter wechselnden Produktionsbedingungen langfristig gültig bleibt – ohne dass eine Neukalibrierung erforderlich ist. Es wurde im Laufe mehrerer Wochen keine signifikante Drift oder systematische Fehler beobachtet. Diese Ergebnisse zeigen deutlich die hohe Langzeitstabilität des Messsystems.

Abbildung 3 Ergebnisse der Validierung



Wirtschaftliche Einsparungen

Die Abbildung 4 veranschaulicht das kumulierte Einsparpotenzial durch eine Feuchteoptimierung von 0,1 % (entspricht 1 kg Fett/Tonne) bei einem Fettpreis von 6 €/kg. Auf der Y-Achse sind die Einsparungen in Tsd. € aufgetragen, die sich über zwölf Monate ergeben. Betrachtet werden dabei zwei unterschiedliche Produktionsmengen: eine kleinere Molkerei mit einem Jahresvolumen von 10.000 Tonnen und eine größere mit 30.000 Tonnen pro Jahr.

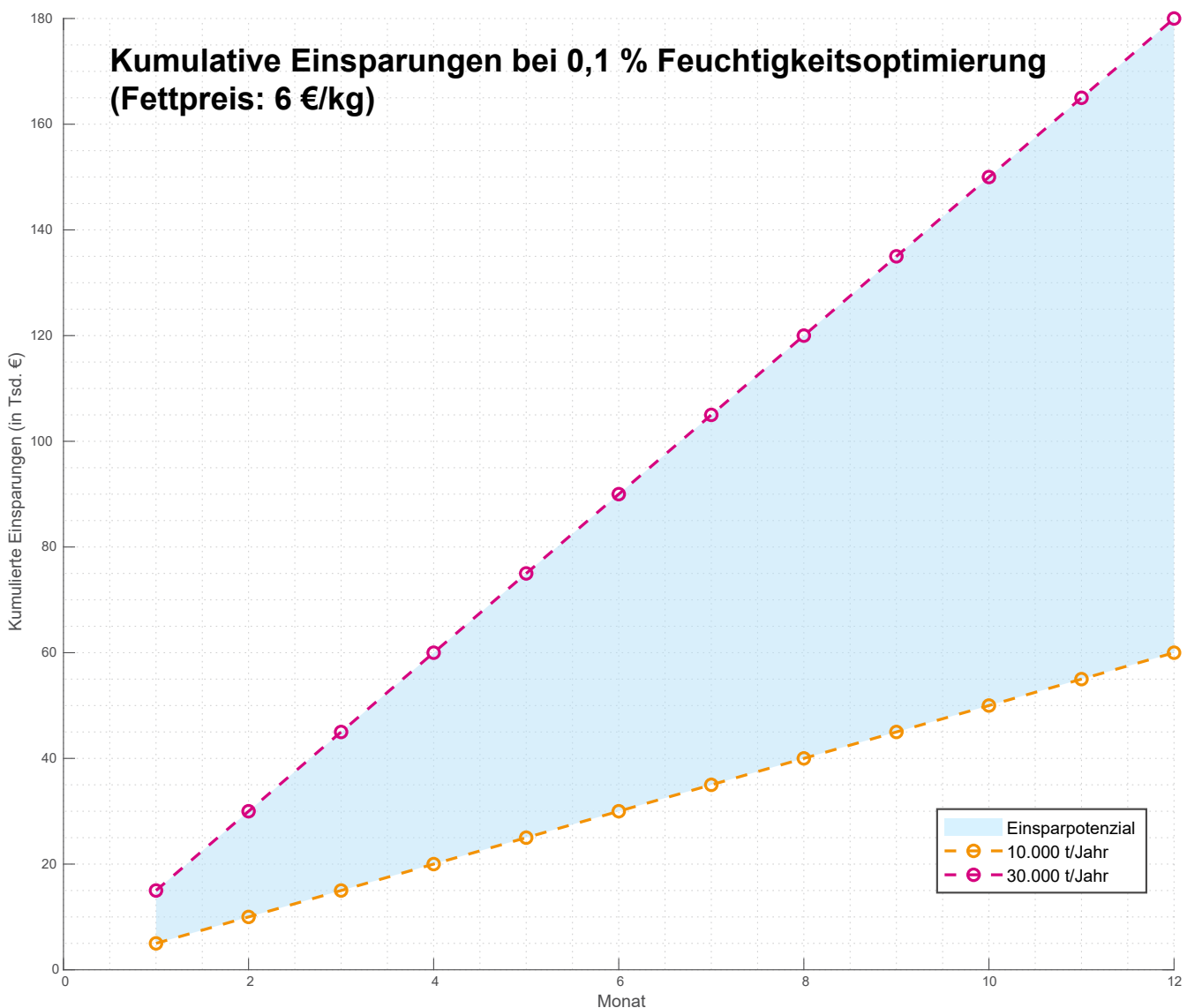
Bereits bei einer Jahresproduktion von 10.000 t ergibt sich ein Einsparpotenzial von rund 60.000 €, bei 30.000 t sind es bis zu 180.000 €. Dank der hohen

Wirtschaftlichkeit amortisiert sich das System selbst für kleine Molkereien meist innerhalb weniger Monate – typischerweise nach etwa drei Monaten.

Diese Grafik macht deutlich: Eine nur minimale Anpassung des Wassergehalts steigert den Deckungsbeitrag erheblich und unterstreicht den Mehrwert präziser, automatisierter Wassergehaltsmessung mit dem MicroPolar LB 566.

Zudem überzeugt das MicroPolar LB566 durch seine Langlebigkeit: Ein Betriebsdauer von 15 Jahren unter normalen Einsatzbedingungen ist keine Ausnahme, sondern eher die Regel.

Abbildung 4 Wirtschaftliches Einsparpotenzial



Gesamtvorteile im Überblick

Die Verwendung des Berthold-Mikrowellensystems LB 566 zur Überwachung des Wassergehalts in der Butterproduktion bietet mehrere wichtige Vorteile. Es ermöglicht eine kontinuierliche Prozessüberwachung und ermöglicht eine schnelle Reaktion auf Qualitäts-

abweichungen. Gleichzeitig sorgt es für einen effizienten Ressourceneinsatz und eine zuverlässige Prozesskontrolle, was zu einer gleichbleibenden Qualität und optimierter Effizienz führt.

Abbildung 5 Zusammenfassung der wichtigsten Vorteile



Autoren

Rachid El Korch

Forschungs- und Entwicklungsingenieur für Mikrowellensysteme, Berthold Technologies GmbH & Co. KG

Hugo Balcazar

Produktmanager für Mikrowellensysteme, Berthold Technologies GmbH & Co. KG



DIE EXPERTEN FÜR PROZESSMESSTECHNIK

Berthold Technologies steht für exzellentes Know-how, hohe Qualität und Zuverlässigkeit. Der Kunde steht bei unserer Lösung immer im Mittelpunkt.

Mit unserem vielfältigen Produktportfolio, unserem enormen Fachwissen und unserer langjährigen Erfahrung entwickeln wir gemeinsam mit unseren Kunden passende Lösungen für neue, individuelle Messaufgaben in den unterschiedlichsten Branchen und Anwendungen.

Wir sind für Sie da – weltweit!

Bertholds Ingenieure und Servicetechniker sind immer vor Ort, wenn sie gebraucht werden. Unser globales Netzwerk sichert Ihnen im Bedarfsfall eine schnelle und vor allem sehr kompetente Unterstützung. Wo auch immer Sie sich befinden, unsere hoch qualifizierten Experten und Spezialisten stehen bereit und sind in kürzester Zeit bei Ihnen, um mit der idealen Lösung selbst die schwierigsten Messaufgaben zu meistern.

Berthold Technologies GmbH & Co. KG

Calmbacher Straße 22 · 75323 Bad Wildbad · Germany
+49 7081 1770 · industry@berthold.com · www.berthold.com

