

1 OFCA “Online – Food – Component – Analyzer”

Zur Sicherung einer hohen Qualität und einer korrekten Dosierung ist die Überwachung und Optimierung von Parametern wie Protein, Fett und diverser weiterer Inhaltsstoffe nötig und sollten daher streng kontrolliert werden. Um den dabei auftretenden Laborkaufwand, den Probennahmefehler und unnötige Prozessdauer stark zu reduzieren, kann die Messung direkt im Produktionsprozess erfolgen. In Zusammenarbeit mit Prof. Dr. Ing. Joachim Reichert, der Firma Inotec GmbH und dem Ingenieurbüro Joachim Hofmann wurde mit dem OFCA “Online – Food – Component – Analyzer” das aus der Laboranalytik sehr bekannte Verfahren, die NIR – Spektroskopie, für die Produktionsabläufe in der Fleischindustrie entwickelt. Chemische Inhaltsstoffe, wie z.B. Fette (auch einzelne Fettsäuren, Ranzigkeit), Eiweiß, Kollagen (auch einzelne Aminosäuren), Wasser etc. können direkt über die MolekülabSORptionen gleichzeitig bestimmt werden. Der OFCA “Online – Food – Component – Analyzer” kann zur qualitativen Bestimmung der Inhaltsstoffe Fett, Wasser, Eiweiß, BEFFE und BE online (während der Produktion), gleichzeitig, berührungslos, zerstörungs- und verlustfrei in frischen, gefrorenen oder teilweise gefrorenen Materialien eingesetzt werden. Desweiteren kann auch die mikrobiologische Gesamtkeimzahl des Fleischmaterials gemessen werden (GKZ).

Diese Messergebnisse werden sofort zur

- Prozesskontrolle und Protokollierung d.h. Überprüfung der Qualitätsvorgaben und Rückverfolgbarkeit der Endprodukte oder / und zur
- Produktoptimierung, d.h. Herstellung von Produkten mit konstanter Qualität durch die gezielte Zugabe bestimmter Komponenten direkt im Produktionsprozess, eingesetzt.

Die Vorteile dieser Methoden liegen in einer Kostenersparnis für den Hersteller sowie einer gleichbleibenden Produktqualität und Sicherheit für den Verbraucher. In der heutigen Zeit ist es sehr wichtig sofort eine sehr hohe Informationsdichte über die produzierten Lebensmittel zu erhalten – dies ist mit dem OFCA “Online – Food – Component – Analyzer” möglich.

2 Messverfahren

Der OFCA “Online – Food – Component – Analyzer” nutzt das indirekte Messverfahren um diverse Substanzen in Lebensmitteln durch Reflexion zu bestimmen. Das Messsystem OFCA “Online – Food – Component – Analyzer” besteht aus dem NIR Diodenarray - Spektrometer, einem Industrierechner, dem Messkopf mit Lichtquelle und Messoptik und der Windows - Software.

Das Fleisch wird vor der Reflexionssonde - dem Messkopf - positioniert und von der eingebauten Präzisions-Lichtquelle mit Licht im nahen Infrarot-Bereich bestrahlt. Die Inhaltsstoffe des Fleisches haben in bestimmten Wellenlängenbereichen eine für sie charakteristische Absorptionsbande (Moleküle im Fleisch werden angeregt und ein Teil der Energie wird absorbiert), so werden Teile dieses Lichtes reflektiert und von der Messoptik erfasst und mittels Lichtleitkabel zum Spektrometer transportiert. Das NIR Diodenarray - Spektrometer bildet den Kern des Messsystems (Bild 4 und 5). Besonders Diodenarray – Spektrometer zeichnen sich im Vergleich zu



Bild 1: Fleischmischer



Bild 2: Mischer mit Fleischstücken



Bild 3: Messsonde im Mischer



Bild 4: Spektrometer mit Industrierechner - Vorderansicht

anderen Technologien durch eine große Robustheit und eine extrem kurze Messzeit aus. Mit der Entwicklung von InGaAs – Diodenzeilen, die im nahen Infrarot eine hohe Empfindlichkeit und gutes Signal-Rausch-Verhältnis besitzen, stehen seit einiger Zeit Diodenarrays für den NIR – Bereich zur Verfügung. In diesem Spektrometer wird die Intensität dieses Lichtes Wellenlängen bezogen gemessen, es wird im Wellenlängenbereich von 970nm bis 1700nm an 512 Punkten gemessen. Diese in elektrische Signale gewandelte und skalierte Lichtintensität wird mittels mathematischer Modelle, die aus Referenzmessungen und einer PLS – Kalibrierung abgeleitet wurden, verrechnet und ergeben so die Messwerte für die Inhaltsstoffe Fett, Wasser, Eiweiss, BEFFE und BE. Es werden mit dem OFCA “Online – Food – Component – Analyzer” ca. 10 Messungen pro Sekunde durchgeführt. Die Software errechnet den Einzelmesswert, den kumulierter Mittelwert, die Standardabweichung und eliminiert Messungen ohne Produkt. Optional erfolgt mittels linearer Optimierung eine direkte Berechnung von Ausgleichsmaterialien für die Prozessoptimierung. Das Messsystem kann via verschiedener Schnittstellen (z.B. RS-232, Ethernet, Profibus) mit andern Systemen kommunizieren. So ist eine Integration des OFCA “Online – Food – Component – Analyzers” in eine SPS oder in ein Netzwerk möglich



Bild 5: Spektrometer mit Industrierechner - Rückansicht

Es gibt unterschiedliche Varianten zur Positionierung des Fleisches vor dem Messkopf. Der Messkopf kann z. B.

1. In eine Mischerwand integriert werden (kurzer Messabstand). Der Sensor befindet sich hinter einer Spezialglasscheibe und ist so kontaktfrei zum Mischgut. Die Reinigung der Glasscheibe erfolgt durch einen Kunststoffabstreifer. (Bild 6 und 7)
2. Auf einer Transportschnecke (ca. 250 mm Messabstand) montiert werden. (Bild 8)

Entscheidend ist der konstante Abstand zwischen Fleisch und Messkopf.

Durch den Einsatz eines Multiplexers können mehrere Messköpfe an ein Spektrometer angeschlossen werden.

Bedingt durch die Messung der Lichtreflektion wird hauptsächlich an der Fleischoberfläche gemessen. Die besten Messergebnisse werden mit nicht zu grob gewolftem Fleisch erreicht. Zusatzmaterialien wie z.B. Gewürze beeinflussen das Messergebnis, da diese nicht in den mathematischen Modellen enthalten sind. Es sollte nur Fleisch gemessen werden!

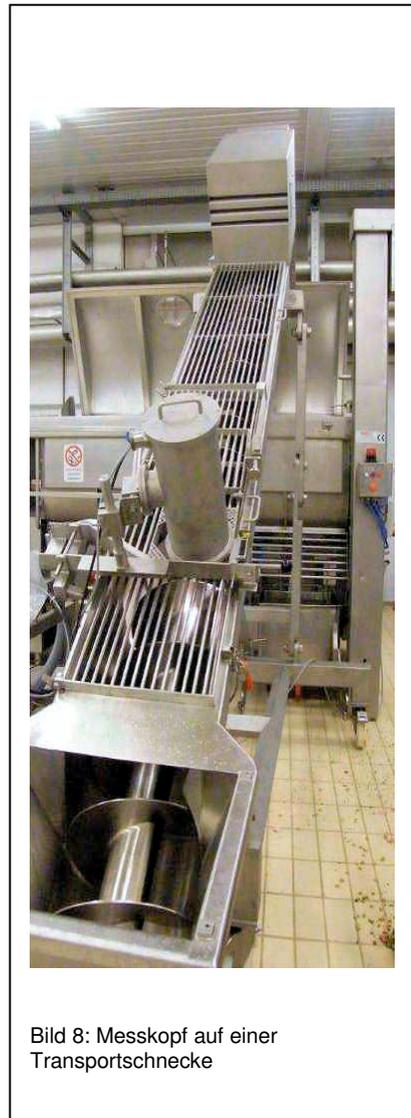


Bild 8: Messkopf auf einer Transportschnecke



Bild 6: Messkopf am Mischer befestigt



Bild 7: Mischerinnenseite mit Abstreifer zur Reinigung der Spezialglasscheibe

3 Anwendungen

1. Fertig- bzw. Endmischungen von Brüh-, Koch- und Rohwurstprodukten, mit Zugaben verschiedener Fleischarten und –sorten (auch von gefrorenen oder teilweise gefrorenen Materialien), Wasser (Eis), Zutaten und Zusätzen (auch Schwartenemulsionen) etc. (Bild 9)
2. Herstellung von Hackfleischprodukten mit Zugaben verschiedener Fleischarten und –sorten (auch von gefrorenen oder teilweise gefrorenen Materialien).
3. Standards mit konstanten Fett-, Eiweiss- und Bindegewebsgehalt für Brüh-, Koch- und Rohwurstherstellung.
4. Tiernahrungsherstellung



Bild 9: Herstellung eines Fleischbräts im Mischer

4 Kalibrierung

Bei der Kalibrierung des Messsystems wird der Mathematische Zusammenhang zwischen den aufgenommenen Spektren und den Inhaltsstoffen (Chemometrische Routinen). Kostenfreie Lieferung von Basiskalibrierungen (z.B. für Schweine- und Rindfleisch).

Angepasste Kalibrierungen: Für jedes Spektrometer sind die Basiskalibrierungen anzupassen. Hierzu werden ca. 20 Spektren und chem. Analysen der zu bestimmenden Komponenten benötigt.

Neue Kalibrierungen: Hierfür werden ca. 50 Spektren und chem. Analysen der zu bestimmenden Komponenten benötigt.

Die Messgenauigkeit ist Abhängig von der Homogenität, der Stückgröße und vor allem der Genauigkeit der Referenzmethode.

Referenzmethoden nach § 64 des LFGB ergeben für Fleischerzeugnisse eine Messunsicherheit für Fett und Wasser von $\pm 0,5$ bis $0,7$ %; Eiweiss und Bindegewebe von $\pm 0,3$ bis $0,5$ %.

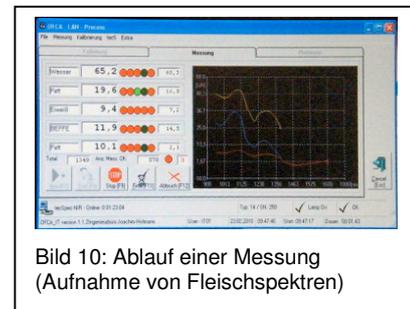


Bild 10: Ablauf einer Messung (Aufnahme von Fleischspektren)

5 Wartung

Der OFCA “Online – Food – Component – Analyzer” ist 24 Stunden an 365 Tagen in Betrieb. Eine hohe Messgenauigkeit bei diesen Laufzeiten unter Produktionsbedingungen ist nur bei ausreichender Wartung realisierbar.

Meßergebnisse haben gezeigt, dass z.B. eine Erniedrigung der Referenz durch Altern der Glühlampe in der Messsonde um 2 % Reflektion einen durchschnittlichen Messfehler von ca. 1% Fett ergibt. Dies sind Argumente für eine fachgerechte Verifizierung des Messsystems nach 3 Monaten!

6 Produktionsverfahren

Für eine Montage des Messkopfes auf einer Transportschnecke können 2 verschiedene Varianten zum Einsatz kommen:

1. Vermessung von Einzelstandards (Lieferanten Verifizierung)
2. Vermessung von Mischstandards (schnelle Befüllung der Mischer oder Kutter)

Bei einer Montage des Messkopfes in einem Mischer können nur Mischstandards vermessen werden. Hier kann aber der Vermischungsgrad der Fleischstandards bestimmt werden.

Für eine Produktoptimierung ist die Erfassung der Gewichte der Fleischstandards zwingend notwendig.

Aufgezeigt werden 2 Produktionsverfahren mit Optimierungsrechnung für eine Mischerinstallation:

1. Die Produktion mit der Optimierung auf eine feste Endmenge (z.B. gemischtes Hackfleisch)
 2. Die Produktion mit der Optimierung auf eine offene Endmenge (z.B. Schweinehackfleisch)
- Die Verrechnung erfolgt nach dem Prinzip der linearen Optimierung auf einen minimalen Preis, bei Einhaltung aller Vorgaben wie z.B. maximaler Fettgehalt, minimaler BEFFE - Gehalt und maximaler Wassergehalt.

6.1 Feste Endmenge

Es wird auf eine feste Endmenge optimiert.

Beschreibung Es wird mit ca. 70 bis 90% der Soll-Endmenge begonnen (die eingesetzten Fleischstandards können individuell festgelegt werden), dann erfolgt die Korrekturanalyse und die Optimierung.

Es ist immer ein Ausgleich (d.h. ein zweites Befüllen, sowie Mischen und Messen) nötig.

Kann mit den gewählten Grenzen keine Lösung gefunden werden, so werden alle Grenzwerte schrittweise vergrößert bzw. verkleinert. Die erste mögliche Lösung wird angezeigt.

- Anwendung**
- Produkt mit einem exakten Mischungsverhältniss
 - Feste Chargenmengen
 - Immer die vom Rohstoffeinsatz optimale Lösung
 - Produktion im Mischer

Produktionsablauf im Mischer

Vorgaben	Soll – Endmenge	1000kg
	Fettgrenzen	min. 19%
		max. 20%
1.Befüllen	SII	450kg
	SIII	450kg
	Anfangsmenge	900kg ≙ 90%
1.Mischen		150 sec
1.Messung	Fett	18,5%
2.Befüllen (Ausgleich)	SII	80kg
	SIII	20kg
	Ausgleichsmenge	100kg ≙ 10%
2.Mischen		100 sec
2.Messung	Fett	19,1%
Auftrag OK	Endmenge	1000kg ≙ 100%

6.2 Endmengenüberschreitung

Es wird auf eine variable Endmenge optimieren.

Beschreibung Hier wird mit 100% der Soll - Endmenge begonnen.
Nach der Korrekturanalyse ist bei Einhaltung der vorgegebenen Grenzwerte das Produkt fertig (d.h. das zweite Befüllen, sowie Mischen und Messen entfallen). Dies ist vom Rohstoffeinsatz nicht die optimalste Lösung.

Werden die Grenzwerte nicht eingehalten, wird optimiert (d.h. ein Ausgleich mit dem zweiten Befüllen, sowie Mischen und Messen sind nötig). Es wird bis zum Erreichen der angegebenen Überschreitung (z.B. 120%) die günstigste Lösung (Minimum des Preises) gesucht und angezeigt.

Anwendung

- Zeit optimalste Lösung
- Keine festen Chargenmengen
- Produktion im Mischer über eine Schnecke

Produktionsablauf im Mischer

Vorgaben	Soll – Endmenge Fettgrenzen	Szenario 1	Szenario 2
		1000kg min. 18% max. 19%	1000kg min. 18% max. 19%
1.Befüllen	SII SIII Anfangsmenge	500kg 500kg 1000kg ≙ 100%	500kg 500kg 1000kg ≙ 100%
1.Mischen		150 sec	150 sec
1.Messung	Fett	18,5%	17,5%
2.Befüllen (Ausgleich)	SIII Ausgleichsmenge		50kg 50kg ≙ 10%
2.Mischen			100 sec
2.Messung	Fett		18,1%
Auftrag OK	Endmenge	1000kg ≙ 100%	1050kg ≙ 105%

7 Produktionsbeschreibung

Das Diagramm 1 zeigt die Schwankungen des Fettgehaltes von ausgewählten Standards währen der Tagesproduktion auf einer Transportschnecke gemessen.

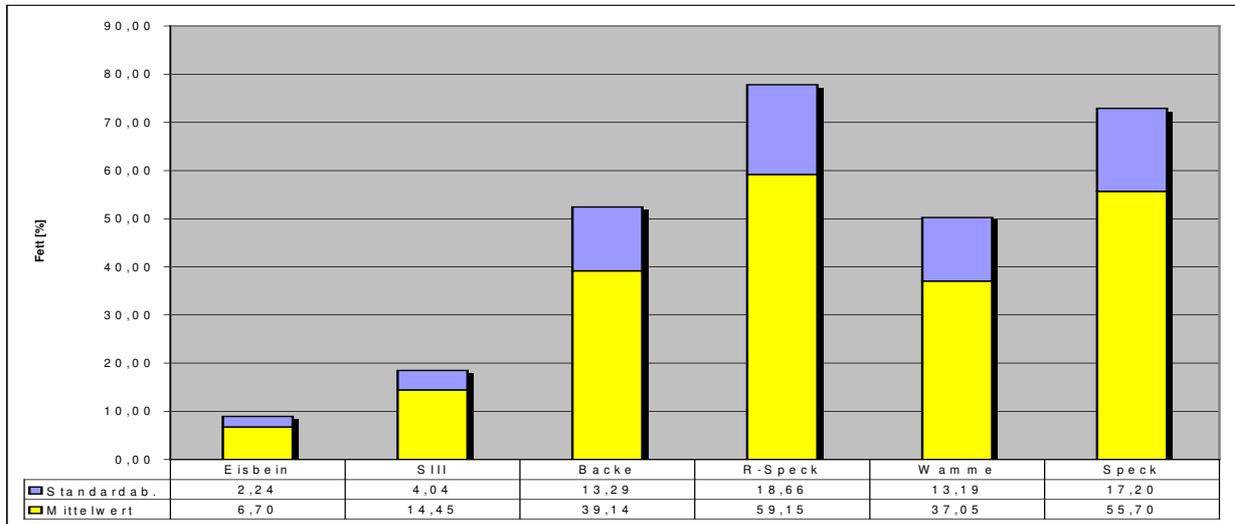


Diagramm 1

In diesem Diagramm 2 ist der Fettgehalt einer Batch – Produktion, gemessen auf einer Transportschnecke, aufgezeigt.

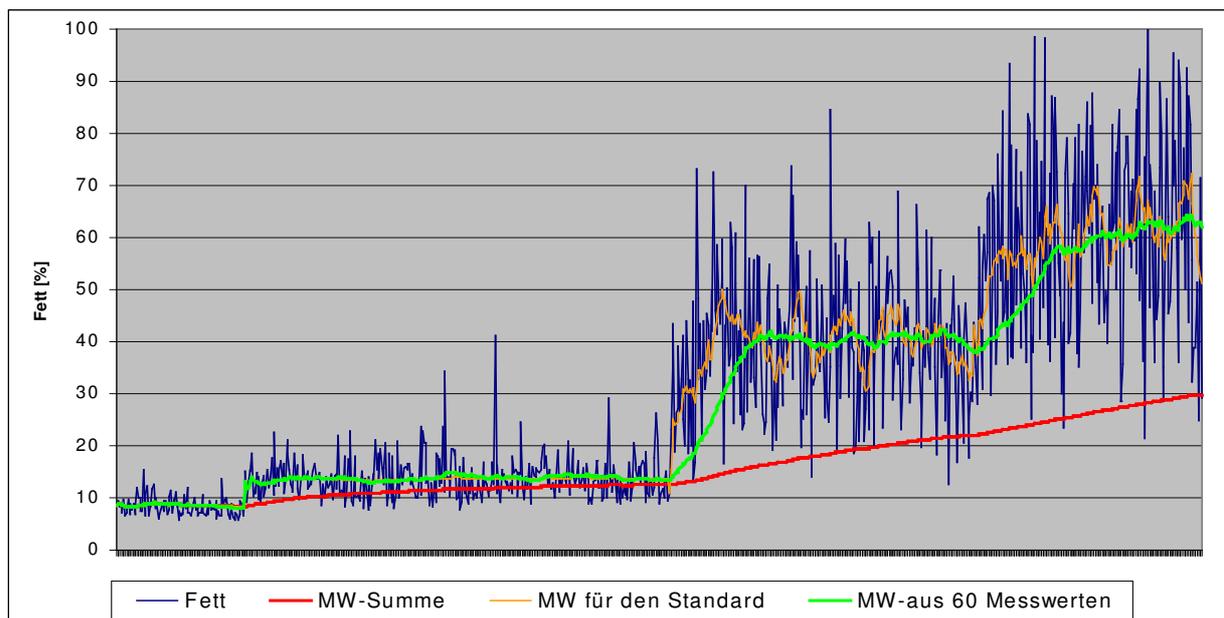


Diagramm 2 MW -> Mittelwert

Diese Messergebnisse zeigen wie wichtig eine online Messung für die

- Prozesskontrolle und Protokollierung d.h. Überprüfung der Qualitätsvorgaben und Rückverfolgbarkeit der Endprodukte ist oder zur
- Produktoptimierung d.h. Herstellung von Produkten mit konstanter Qualität durch die gezielte Zugabe bestimmter Komponenten direkt im Produktionsprozess, sein kann.

8 Kostenrechnung

Die folgende Tabelle zeigt zwei Beispielrechnung für die Fleischbrätproduktion:

1. Optimum mit eingetragenen Mengenbegrenzungen für alle verwendeten Fleischstandards
2. Optimum ohne Mengenbegrenzungen (Maximales Optimum)

Fleischbrät Produktion									
Optimum mit unteren Grenzen für Fleischstandards									
Standard	min. Menge	Menge IST	max. Menge	Preis	Wasser	Fett	Eiweiß	BEFFE	
SIII	20,0	22,18	100,0	1,90 €	66,7	15,5	19,1	15,7	
Wamme	10,0	67,82	100,0	0,60 €	47,5	38,4	13,7	10,4	
Speck	10,0	10,00	100,0	0,50 €	33,7	55,2	9,8	6,7	
Soll-Endmenge		100,0	min. Grenze						7,5
IST - Endmenge		100,0	IST	0,87838 €	50,4	35,0	14,5	11,2	
			max. Grenze			35,0			
Maximales Optimum									
Standard	min. Menge	Menge IST	max. Menge	Preis	Wasser	Fett	Eiweiß	BEFFE	
SIII	0,0	14,85	100,0	1,90 €	66,7	15,5	19,1	15,7	
Wamme	0,0	85,15	100,0	0,60 €	47,5	38,4	13,7	10,4	
Speck	0,0	0,00	100,0	0,50 €	33,7	55,2	9,8	6,7	
Soll-Endmenge		100,0	min. Grenze						7,5
IST - Endmenge		100,0	IST	0,79301 €	50,4	35,0	14,5	11,2	
			max. Grenze			35,0			
Original Rezeptur									
Standard	min. Menge	Menge IST	max. Menge	Preis	Wasser	Fett	Eiweiß	BEFFE	
SIII	0,0	41,89	100,0	1,90 €	66,7	15,5	19,1	15,7	
Wamme	0,0	29,73	100,0	0,60 €	47,5	38,4	13,7	10,4	
Speck	0,0	28,38	100,0	0,50 €	33,7	55,2	9,8	6,7	
Soll-Endmenge		100,0	min. Grenze						7,5
IST - Endmenge		100,0	IST	1,11621 €	51,6	33,6	14,9	11,6	
			max. Grenze			35,0			
Rechenfelder nicht änderbar									
Messfelder nicht änderbar									
Eingabefelder änderbar									

Tabelle 1 Beispielrechnung für die Fleischbrätproduktion

	Optimum mit unteren Mengen - Grenzen	Maximales Optimum
Gewinn/kg	0,23783 €	0,32320 €
Gewinn/t	237,83 €	323,20 €
20t/Tag	4.756,59 €	6.464,01 €
200Tage/Jahr	951.317,98 €	1.292.802,69 €

Durch den OFCA "Online – Food – Component – Analyzer" sind Kostenoptimierungen von bis zu **0,32€/kg** möglich. Dies entsprechen **323€/t** und bei einer Tagesproduktion von 20 Tonnen ergeben sich **6.464€/Tag** bzw. **1.292.802€/Jahr**.