Effiziente Experimente

Anwenderfreundliche Software für die statistische Versuchsplanung

Dr. E. Glimm, Dr. U. Römisch*

Hoher Preisdruck und entsprechend schmale Gewinnmargen zwingen die Hersteller der Ernährungsindustrie zur ständigen Optimierung ihrer Produktionsprozesse. Gleichzeitig muss die sensorische Qualität der Produkte gesichert und verbessert werden. Durch effizientes Experimentieren nach Methoden der statistischen Versuchsplanung können diese beiden Zielstellungen in Einklang gebracht werden. Diese Methodik wird beispielsweise bei der Herstellung von Tilsiter Käse eingesetzt.

In dem konkreten Fall sollte der notwendige Materialverbrauch bei der Käseherstellung gesenkt werden. Hierzu wurde neben anderen Prozessabschnitten das Salzen untersucht. Es galt, den Einfluss von Salzbadparametern wie NaCl-Gehalt, pH-Wert, Temperatur und Salzdauer auf den Masseverlust sowie auf die Zunahme der Trockenmasse zu ermitteln. Dabei waren Qualitätsstandards entsprechend der Käseverordnung einzuhalten. Die Ergebnisse der sensorischen Prüfungen wurden durch eine Gesamtpunktzahl angegeben (Tabelle). Ziel der Untersuchung war es, die Kombination der Einflussgrößen zu ermitteln, bei der die Masseabnahme minimal wird bei möglichst hoher sensorischer Bewertung des Käses.

Zur Planung und Auswertung der Versuche setzte man die von Aicos entwickelte Software Stavex ein, ein speziell für die Versuchsplanung im Labor und der Produktion ausgelegtes Statistikprogramm. Stavex schlägt gemäß den Anwendervorgaben Versuchspläne vor und wertet die Ergebnisse im Anschluss aus.

Einfluss- und Zielgrößen

Variable	Einflussgröße	Einheit	Wertebereich	
S	NaCl-Gehalt	%	18	22
pH	pH-Wert	-	4,8	5,4
T	Temperatur	°C	15	18
D	Salzdauer	h	20	44
Variable	**Zielgröße**	**Einheit**		
Y_1	Masseabnahme	kg		
Y_2	Trockenmasse-zunahme	%		
Y_3	Sensorische Gesamtpunktzahl	-		

Tabelle: Einfluss der Salzbadparameter auf Masseverlust und Trockenmassezunahme

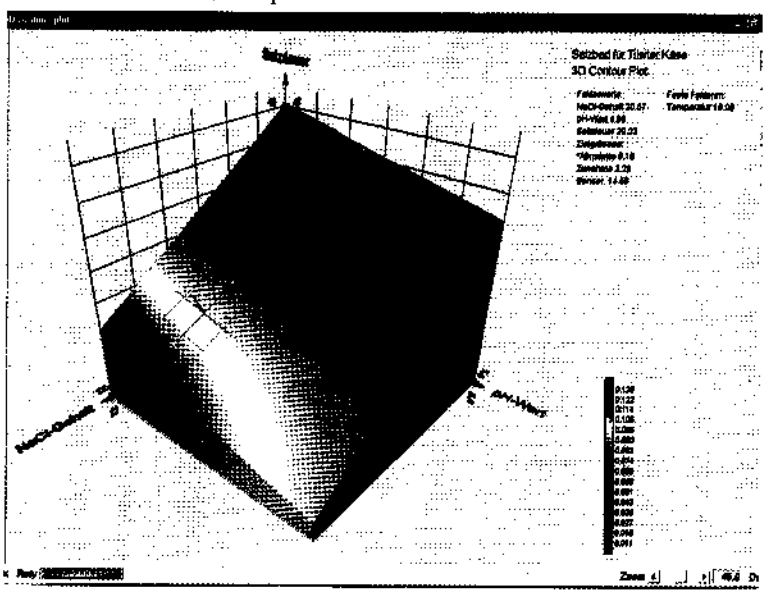


Bild 1: Masseabnahme in Abhängigkeit von NaCl-Gehalt, pH-Wert und Salzdauer. Das „Fadenkreuz" erlaubt es, die vorhergesagten Werte der Zielgröße für verschiedene Faktoreinstellungen zu ermitteln.

Geeignete Versuchspläne

Zur Bearbeitung der Problemstellung muss der Benutzer zunächst Zielgrößen und Einflussfaktoren, letztere mit entsprechendem Wertebereich (Faktorstufen), eingeben. Es sind qualitative und quantitative Einflussfaktoren und Zielgrößen erlaubt. Im vorliegenden Fall sind alle Größen quantitativ. Weiterhin kann für die Zielgrößen jeweils eine Optimierungsrichtung (Maximierung, Minimierung, Sollwertoptimierung) angegeben werden. Hier sind eine minimale Masseabnahme und natürlich eine möglichst hohe sensorische Punktzahl erwünscht. Für komplexere Experimente stehen weitere Optionen zur Verfügung, z.B. die Spezifikation von Mischfaktoren, faktorübergreifende Einschränkungen sowie die Blockung von Versuchen.

Auf der Basis dieser Vorgaben ermittelt die Software geeignete Versuchspläne. Ein wichtiges Kriterium ist dabei die Anzahl der spezifizierten Faktoren: Je weniger Faktoren auftreten, umso genauer kann bei festem Stichprobenumfang der Einfluss von einzelnen Faktoren untersucht werden. Die Software schlägt daher im Falle sehr vieler Faktoren ein so genanntes Screening, bei wenigen Faktoren eine Optimierung vor. Das Screening erlaubt eine grobe Einschätzung der Faktorwirkung, die Optimierung dagegen ermöglicht es, eine optimale Einstellung der Faktorwerte zu bestimmen. Als dritte Möglichkeit bietet die so genannte Modellierung einen Mittelweg, der vor allem der Untersuchung von Wechselwirkungen zwischen den Faktoren dient.

Im konkreten Fall liegen vier Faktoren vor, und die Untersuchung der Wechselwirkungen ist von besonderem Interesse. Daher wird der Vorschlag einer Modellierung akzeptiert. Aus der Liste der vorgeschlagenen Versuchspläne wurde ein so genannter vollständiger faktorieller Plan mit 16 Versuchen ausgewählt. Die Nutzer entschieden sich dafür, diesen Plan insgesamt dreimal durchzuführen, so dass insgesamt 48 Versuchsergebnisse für 16 Kombinationen der Faktorstufen ermittelt wurden.

Auswertung und Interpretation

Die Auswertung der Versuche erfolgt in Form eines übersichtlichen und verständlichen Analysereports im HTML-Format und wird durch zahlreiche Grafiken illustriert. Der Benutzer erhält die signifikanten Effekte der Einflussfaktoren auf die Zielgrößen, die Regressionsfunktionen und die Versuchsbedingungen, bei denen die Zielgrößen ihr Optimum erreichen, angezeigt. Die Software bietet zahlreiche weitere Hilfsmittel zur Bewertung der Analyse: Maßzahlen für die Modellgüte, Ausreißeruntersuchung und die Prüfung von Modellvoraussetzungen. Im Falle einer Modellierung führt die Software eine automatische Faktorselektion durch: Faktoren, die sich als unwesentlich erweisen, werden aus dem Regressionsmodell entfernt.

In der hier durchgeführten Untersuchung zeigt sich für die Masseabnahme, dass alle Faktoren von Bedeutung sind. Außerdem gibt es Wechselwirkungen zwischen den folgenden Faktorpaaren: NaCl-Gehalt/pH-Wert, NaCl-Gehalt/Temperatur, pH-Wert/Salzdauer, Temperatur/Salzdauer. Eine geringe Abnahme ist bei niedrigem NaCl-Gehalt und pH-Wert sowie hoher Temperatur und Salzdauer zu verzeichnen.

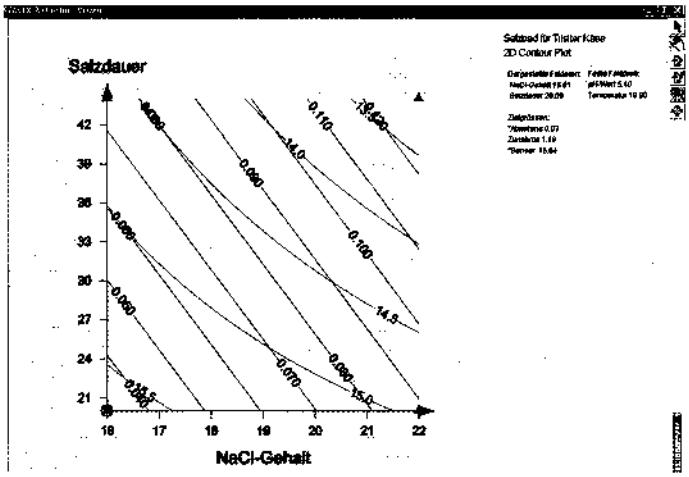


Bild 2: Masseabnahme (blaue Linien) und sensorische Prüfung (rote Linien) in Abhängigkeit von NaCl-Gehalt und Salzdauer. Diese Darstellung mit übereinander gelegten Höhenlinien ermöglicht die gleichzeitige Beurteilung mehrerer Zielgrößen.

Die Modelldiagnosen weisen auf ein insgesamt adäquates statistisches Modell hin.

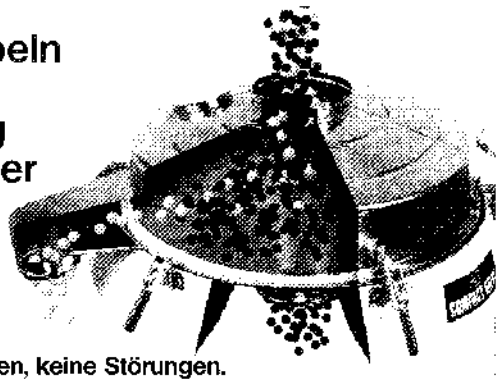
Für die Interpretation der Ergebnisse sind grafische Darstellungen sehr nützlich. Bild 1 zeigt die Masseabnahme in Abhängigkeit von drei der vier Faktoren, wobei der vierte Faktor (Temperatur) auf einen festen Wert (hier: 18,0 °C) gesetzt wird. Die Analyse der sensorischen Punktzahl zeigt ebenfalls einen signifikanten Einfluss aller Faktoren. In Bezug auf die Wechselwirkungen hat nur die Wechselwirkung zwischen Temperatur und Salzdauer keine Bedeutung. Erfreulich ist jedoch, dass sensorische Prüfung und Masseabnahme unter ähnlichen Bedingungen zu guten Ergebnissen kommen, wie Bild 2 zeigt: Salzdauer und NaCl-Gehalt sollten niedrig gewählt werden. Die Temperatur hat auf die Masseabnahme einen relativ geringen Einfluss. Nur der pH-Wert verhält sich in Bezug auf diese beiden Zielgrößen antagonistisch. Die Ergebnisse der Trockenmassezunahme ähneln denen der Masseabnahme.

dei 407

www.alcos.com

* TU Berlin

Verdoppeln Sie die Leistung mit halber Größe



Kein Verblinden, keine Störungen.
Die Russell Kompakt Siebmaschine...

- verbesserte Produktqualität • erhöhte Produktivität
- einfache Reinigung ohne Werkzeuge
- geringe Bauhöhe
- betriebs- und wartungsfreundlich

Nass- oder Trockenmatrial, eine Russell Kompakt Siebmaschine gewährleistet dauerhaft hohe Produktqualität bei reduzierten Produktionskosten.

Besuchen Sie unsere Webseite **www.russellfinex.com** oder rufen Sie uns an für weitere Informationen : Telefon **+32 15 275919**

Seit über 65 Jahren weltweit führend in Qualität, Leistung und Zuverlässigkeit.

Russell Finex N.V.
Zandvoorstraat 20
B-2800 Mechelen, Belgien
Tel. +32 (0) 15 27 59 19
Fax: +32 (0) 15 27 90 33
E-mail: info@russellfinex.be

RUSSELL

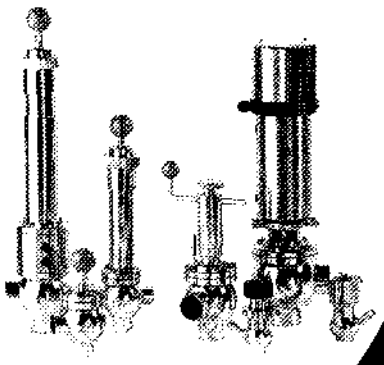
www.russellfinex.com

dei 013

nocado
Armaturen aus Edelstahl

Sicherheit durch Qualität

Membranventile



Zur hermetischen Abtrennung des Produktraumes

- Geringer Druckverlust
- Vorbildliche Entleerbarkeit
- Exzellente Reinigungsfähigkeit
- Druckfestigkeit bei jeder Strömungsrichtung
- Leckagekontrolle

Fordern Sie ausführliche Informationen an

nocado Armaturenfabrik GmbH & Co. KG
Kirchweg 3 · D-26629 Großefehn · Germany
Tel. +49 (0) 4943/202-0 · Fax +49 (0) 4943/202-189
www.nocado.de · info@nocado.de

dei 014