

Optimale Mischung von Mehlen

Mehl ist nicht einfach Mehl. Das Gipfeli braucht eine andere Mehlmischung als das Vollkornbrot oder der Butterzopf. So steht der Obermüller vor dem Problem, wie er die verschiedenen Mehlfraktionen einer Mühle so miteinander mischt, dass er die von den Kunden gewünschten Produktzusammensetzungen erreichen; aber auch seinen Gewinn maximieren kann. Für dieses nicht triviale Optimierungsproblem wurde ein Tool entwickelt, das dem Obermüller erlaubt, interaktiv die Mischung unterschiedlicher Mehle optimal zu planen.

Prof. Dr. Jürg P. Keller | juerg.keller1@fhnw.ch

Beschreibung

Wie bei vielen anderen Konsumgütern ist man sich beim Mehl kaum bewusst, welche perfektionierte Technik in der Herstellung steckt. „Den Spreu vom Weizen zu trennen“ wird als Redewendung auf vieles andere übertragen. Da man dies heute sehr gründlich macht, entstehen in modernen Mühlen bis über 70 verschiedene Fraktionen unterschiedlicher Zusammensetzungen. Proteingehalt, Aschegehalt, Gluten, Feuchte und auch die Farbe des Mehls charakterisieren die verschiedenen Fraktionen und auch die Zusammensetzung der gewünschten Endprodukte. Müllereibetriebe müssen Mehle unterschiedlicher Zusammensetzungen liefern können. Diese werden aus den verschiedenen Fraktionen zusammengemischt. Damit alles Mehl möglichst optimal verkauft werden kann, müssen die Mischungen optimal zusammengestellt werden.

Die heutigen Methoden erlauben das Optimieren von Mehlen aufgrund einer Grösse, nämlich dem Aschegehalt. Natürlich hat es im Mehl keine Asche, aber wenn Mehl zu Analysezwecken verbrannt wird, so entsteht ein Ascherest. Die Menge wird durch verschiedene Faktoren bestimmt, gibt aber hauptsächlich den Gehalt an Mineralstoffen wieder. Müssen mehrere Grössen in der Optimierung berücksichtigt werden, so übersteigt das Problem die menschlichen Fähigkeiten. Das Mischproblem ist ein wohlbekanntes Schulbuchproblem der Linearen Programmierung und kann mit einem Computerprogramm schnell gelöst werden. Allerdings hat man damit das Problem der Auswahl von Fraktionen auf das Problem der Formulierung des Optimierungsproblems verschoben. Damit Obermüller dies können, sie sind meist keine Mathematiker, brauchen sie eine geeignete Benutzeroberfläche.

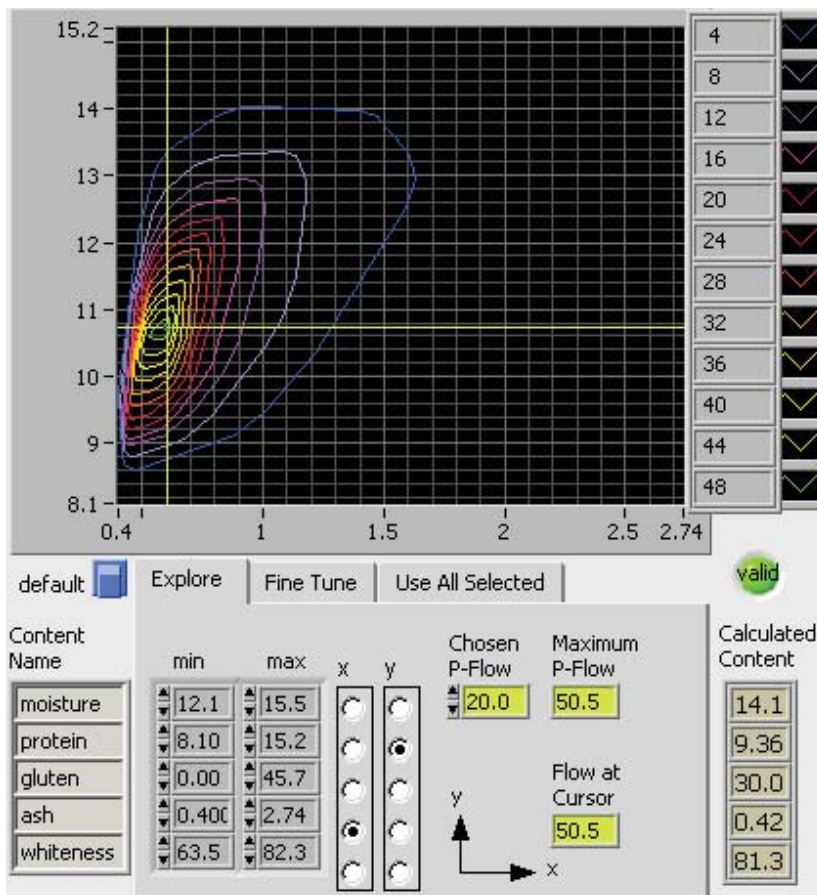
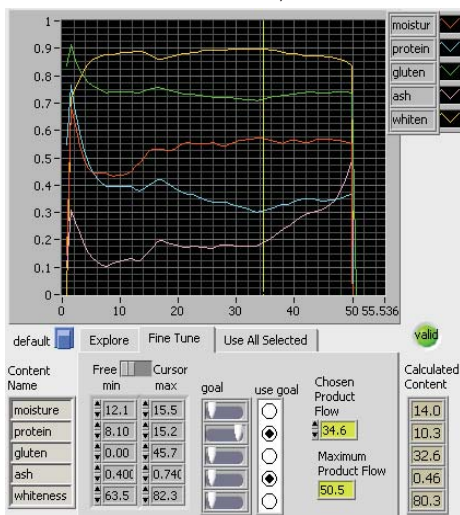


Abbildung 1: Produktmengen in Funktion der Komponentenkonzentrationen

Mischprobleme mit mehreren Inhaltsstoffen verhalten sich aufgrund starker Wechselwirkungen nicht immer so, wie man denkt. So hat der Obermüller kaum Informationen, was überhaupt möglich ist und wie sich die manchmal etwas flexible Spezifikation eines Produkts auf die Möglichkeit, andere Produkte zu mischen, auswirkt. Damit diese Aufgabe von einem Obermüller gelöst werden kann, wurde dazu ein interaktives Tool entwickelt. Die Idee ist, dass der Obermüller zuerst sein wertvollstes Produkt spezifiziert und danach fortlaufend die immer weniger wertigen Produkte. Zur Spezifikation stehen ihm zwei Analyseansichten zur Verfügung. In der ersten, dargestellt in Abbildung 1, hat der Obermüller die Möglichkeit zu untersuchen, welche Produktmengen er mit welchen Spezifikationen erreichen kann. Er kann auswählen, welche Inhaltsstoffkonzentrationen er für die Abbildung verwenden will und kann sich so ein Bild über die Sensitivität der Spezifikationen auf die mögliche Produktmenge verschaffen. So ist in Abbildung 1 zu erkennen, dass er eine maximale Menge mischen kann, wenn der Aschegehalt bei 0.6 und der Proteingehalt um 10.8 liegt. Ebenso kann er erkennen, dass er für einen Proteingehalt um 12 nur eine Menge von 24 erreichen kann und der Aschegehalt zwischen 0.4 und 0.6 liegen muss. Aufgrund dieser Analyse werden ihm die Wechselwirkungen zwischen den verschiedenen Inhaltsstoffen klar und es wird ihm erleichtert, sinnvolle Spezifikationen für die Mischungen festzulegen.

Sind die Spezifikationen klar, kann er zur Darstellung für den Feinschliff wechseln. Diese ist in Abbildung 2 für zwei verschiedene Spezifikationen dargestellt. Für ein Produkt bestehen Freiheitsgrade zur Erzeugung einer Mischung, sobald nicht die Maximalmenge spezifiziert wird. Darum sind in Abbildung 2 die Konzentrationen in Funktion der Produktmenge dargestellt. Für die Ausnutzung der entstehenden Freiheitsgrade kann der Obermüller Ziele festlegen. So ist in der Abbildung 2 links das Ziel festgelegt worden, dass der Proteingehalt maximiert werden soll, in der Abbildung 2 rechts,



dass dieser minimiert wird. Anhand der Kurvenverläufe erkennt nun der Obermüller, dass er für eine Produktmenge von 35 statt der maximalen 50 schon ein betreffend dem Aschegehalt deutlich besseres Mehl mischen kann. Damit alle Konzentrationen auf der gleichen Graphik dargestellt werden können, wurden die Achsen so linear skaliert, dass 0 der unteren Grenze und 1 der oberen Grenze entspricht. Für den Proteingehalt ergibt sich ein Unterschied von $0.05 * 7.1$ (Bereich) zwischen dem Szenario links und rechts.

Dem Obermüller wird auch gezeigt, welche der verschiedenen Fraktionen zur Mischung der Produktströme verwendet werden. Dies ist in Abbildung 3 dargestellt.

Die Optimierung geht davon aus, dass die Mühle über Klappen verfügt, die ein Aufteilen des Stroms erlaubt. Nun ist dies in vielen Mühlen nicht möglich, d.h. die Klappen können nur so gestellt werden, dass eine Fraktion komplett einem Produkt zugeordnet wird. Mathematisch entsteht dadurch ein «Mixed Integer»-Problem, denn die Fraktionen müssen einem bestimmten Produkt, also Produkt 1 2 3 ..., zugeordnet werden. Dies ist rechnerisch viel anspruchsvoller und kann nicht in einem interaktiven Tool realisiert werden. Für die vorliegende Lösung wurde das Problem so gelöst, dass mittels Linearer Programmierung (LP) ein Optimum gesucht wird und dann mittels einfacher heuristischer Regeln eine geschaltete Lösung in der Nähe des Optimums gesucht wird. Ist n die Anzahl Inhaltsstoffe, so entstehen aufgrund der LP pro Produktstrom höchstens n aufgeteilte Fraktionen. Es müssen somit für eine Lösung n Schaltstellungen von Ventilen gefunden werden.

Für eine grosse Mühle in China konnte gezeigt werden, dass mit Hilfe einer Optimierung die Ausbeute um 2% verbessert werden kann. Finanziell bedeutet dies eine Amortisation der Entwicklungskosten innert weniger Monate. Falls die Optimierung in einer weiteren kommerziellen Mühleanwendung seinen Nutzen beweisen kann, soll das Tool als Produkt vermarktet werden.

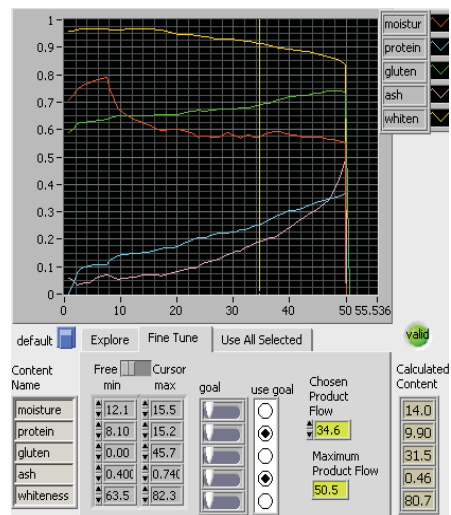


Abbildung 2: Fine-Tune: Konzentrationen in Funktion der Produktmenge

Für die Erstellung des Optimierungsprogramms mussten verschiedene Probleme gelöst werden. Es wurde ein - für das Problem besonders gut geeigneter - Algorithmus für das Mischproblem in der Literatur gesucht und in LabVIEW implementiert.

Im Vergleich zu in LabVIEW zur Verfügung stehenden Lösungen wird damit eine Reduktion der Rechenzeit um einen Faktor 3 bis 5 erreicht. Eine spezielle Herausforderung war die präzise Berechnung.

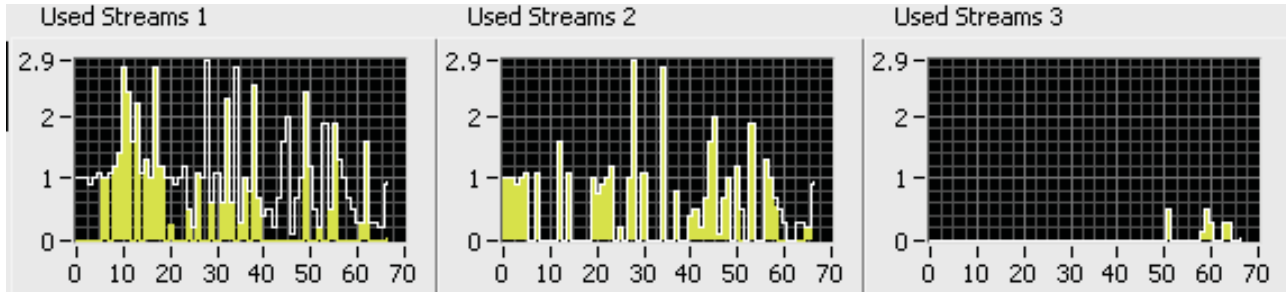


Abbildung 3: Verwendung der Fraktionen

Fachhochschule Nordwestschweiz
Hochschule für Technik

Systemtechnik (Automation)
Vollzeit und Berufsbegleitend

Inhalte: Industrielle Automatisierung, Robotik, Gebäudeautomation, Mess- und Diagnosesysteme, Sensorik und Aktorik, Mikrosystemtechnik

Zulassung: techn. Berufsmatura, Gymnasium, Techniker TS/HF, Aufnahmeprüfung oder andere gleichwertige Ausbildung

Infoabende in Brugg-Windisch (19 - 21 Uhr)
jeweils Montags:

30. Januar 2012	14. Mai 2012
5. März 2012	18. Juni 2012
2. April 2012	20. August 2012

peter.zysset@fhnw.ch; T +41 56 462 46 78

www.fhnw.ch/technik/st