

8. Vorlesung „Grundlagen der Produktgestaltung“ Inhalt und Termine, WS 2007/2008

Kapitel 1 Einführung

- 21.10. 1. Einführung
- 28.10. 2. Beispiel „Intelligentes Herbizid“, Miniprojekt „Produkt-Analyse“

Kapitel 2 Grundlegende Prinzipien

- 04.11. 3. Film „Produkt-Gestaltung“
- 11.11. 4. Film „Produkt-Gestaltung“
- 18.11. 5. Film „Produkt-Gestaltung“, Grenzflächen, Benetzung, Kapillardruck,
- 25.11. 6. Innovationsmanagement
- 02.12. 7. Rollenspiel

09.12. 8. Konzeptuelle Produktgestaltung

Kapitel 3 Beispiel „Kristallisation“

- 16.12. 9. Thermodynamisches Gleichgewicht
- 13.01. 10. Kristallographie, Habitus
- 20.01. 11. Keimbildung, Wachstum, Partikelgrößenverteilung
- 27.01. 12. Auslegung und Betrieb von Kristallisatoren,

Kapitel 4 Beispiel „Kolloidale Systeme“

- 03.02. 13. Eigenschaften und Anwendungen von kolloidalen Systemen, Stabilität
- 10.02. 14 Wechselwirkungen, DLVO-Theorie, Aggregation

login: *student* pwd: *materialien_tvt*

Konzeptuelle Produktgestaltung

- **Einführung**
konzeptuelles Verständnis von Produktgestaltung
- **Verbackung**
Rekristallisation von laktosehaltigen Pulvern
- **Benetzung**
Reaktivsprühtrocknung
- **Vergrößerung**
Flash-Kristallisation

2

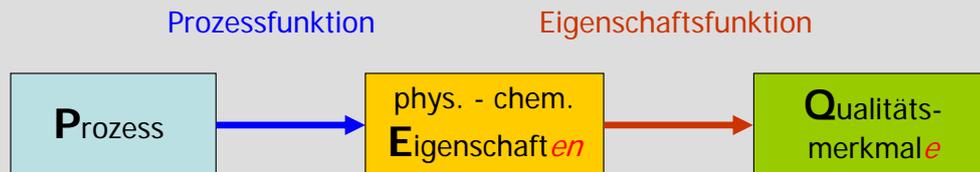
Products are not sold for what they are, but for what they do.

Dieser Satz macht deutlich, wodurch der Markterfolg eines Produktes erreicht wird. Es sind die Qualitätsmerkmale des Produktes und nicht seine Inhaltsstoffe. Nach ISO 9000 ist die Qualität eines Produktes daran zu messen, wie es festgelegte und vorausgesetzte Erfordernisse erfüllt. Qualität wird also daran gemessen, was der Kunde oder Verbraucher wünscht. In diesem Sinne ist mit Endverbraucher-Produkten immer auch eine große Zahl an Qualitätsparametern verbunden. Im Falle von Lebensmitteln reichen diese vom Preis, der Marke, der Emotion und der Verpackung über die Anwendungs- und Verarbeitungseigenschaften eines Produktes bis zum Nährwert, zu gesundheitlichen Aspekten und insbesondere zu den sensorischen Erlebnissen.

Für den Produktentwickler ergibt sich hier die Schwierigkeit, dass er die Messmethoden für diese Qualitätsmerkmale nicht festlegen kann. Vielmehr bestimmt der Kunde das Messverfahren. In der Regel misst er weder die Partikelgröße, die Viskosität, die Porosität, die Dichte, den Phasenanteil, die Zusammensetzung noch beispielsweise die Konzentration von Aromastoffen. Je näher der Kunde am Endverbraucher ist, um so mehr entscheidet dessen nicht-physiko-chemischen „Messmethoden“. Erfahrungsbasiert stellt er eine Staubigkeit, ein Mundgefühl oder einen Geschmack fest und beurteilt danach die Qualität des Produktes.

Für den Produktgestalter ist dies zunächst eine schwierige Situation, denn Messmethoden, die nicht auf physiko-chemischen Grundlagen basieren, können nur schwer zu einer verständnisgetriebenen Produktentwicklung herangezogen werden. Aus diesem Grund hat sich das im folgenden dargestellte konzeptuelle Verständnis von Produktgestaltung entwickelt. Dass es sich bewährt, soll in den obigen drei Beispielen erläutert werden.

konzeptuelle Darstellung von Produktgestaltung

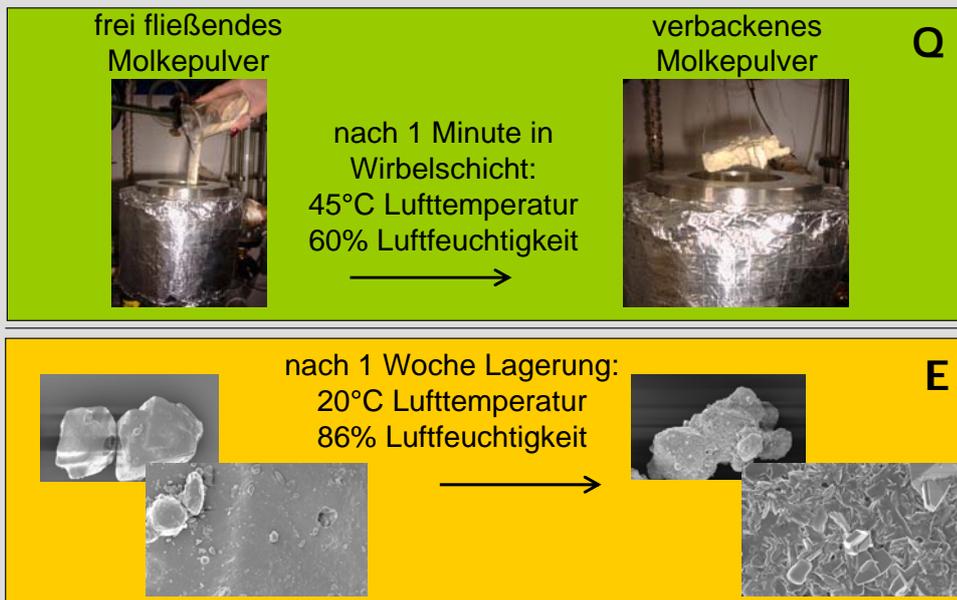


3

Das in der Abbildung dargestellte konzeptuelle Verständnis verlangt die klare Trennung zwischen den Qualitätsmerkmalen eines Produktes, also seiner Funktion, seiner anwendungs- und verarbeitungstechnischen Eigenschaften, seiner sensorischen Eigenschaften einerseits und zwischen seinen physikalisch-chemischen Eigenschaften wie beispielsweise seiner molekularen Zusammensetzung, seinem Phasenverhältnis, seinem Fließverhalten, seiner Struktur, seiner Partikelgröße oder beispielsweise seiner Oberflächenbeschaffenheit andererseits. Diese quantitativ bestimmbar GröÙen können nun mittels eines Verständnisses des Herstellprozesses gezielt eingestellt werden. Der Zusammenhang zwischen dem Prozess, also der Verfahrensweise (absatzweise, kontinuierlich, Chemie, ...), der Produktionsanlage (Apparatetypen, -verschaltung, -auslegung, ...), der Betriebsbedingungen (Temperatur, Druck, Konzentration, ...) und den mit diesem Prozess erreichten physikalisch-chemischen Produkteigenschaften soll Prozessfunktion genannt werden. Des Weiteren ist es üblich, den funktionalen Zusammenhang zwischen diesen Eigenschaften und der Produktqualität als Eigenschaftsfunktion zu bezeichnen. Wie die folgenden Beispiele zeigen, kann dieses konzeptuelle Verständnis in konkreten Produktentwicklungen nachvollzogen werden.

Die Vorteile eines solchen konzeptuellen Verständnisses von Produktgestaltung liegen auf der Hand. Es ermöglicht ein strukturiertes, auf physiko-chemischen Zusammenhängen aufbauendes, wissensbasiertes Vorgehen.

Beispiel 1: Verbackung und Rekristallisation von Molkepulver

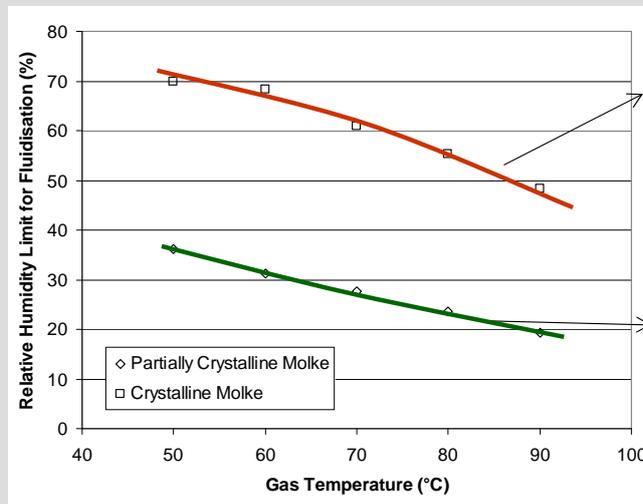


4

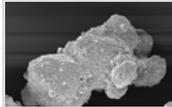
Qualitätsproblem: Laktosehaltige Pulver, wie sie aus der Sprühtrocknung von Molke oder Molkepermeat hervorgehen, neigen bei Kontakt mit Luftfeuchtigkeit zur Verbackung. Für dieses Qualitätsproblem sollte im Rahmen eines Forschungsvorhabens Abhilfe gefunden werden.

Aus der Literatur war bekannt, dass die Verbackung von Molkepulver daher rührt, dass dieses Pulver nach der Sprühtrocknung amorph vorliegt. Amorphe Molke ist hygroskopisch. Durch Wasseraufnahme aus der Luft wird sie klebrig. Auf der Suche nach einer Lösung für das Verbackungs-Problem wurde die Hypothese aufgestellt, dass Molkepulver, in der die enthaltene Laktose kristallin erstarrt ist, nicht zur Verbackung neigt, da sie keine Hygroskopizität aufweist. In der Abbildung wird gezeigt, dass diese Hypothese tatsächlich tragfähig ist. Setzt man nämlich ein amorphes Molkepulver unter moderaten Bedingungen für längere Zeit einer Atmosphäre mit kontrollierter Feuchte aus, so wandelt sich die amorph erstarrte Laktose in kristalline Laktose um.

Qualitätsmerkmal - Fluidisierbarkeit



Kristallisierte Molke



Teilkristalline Molke



5



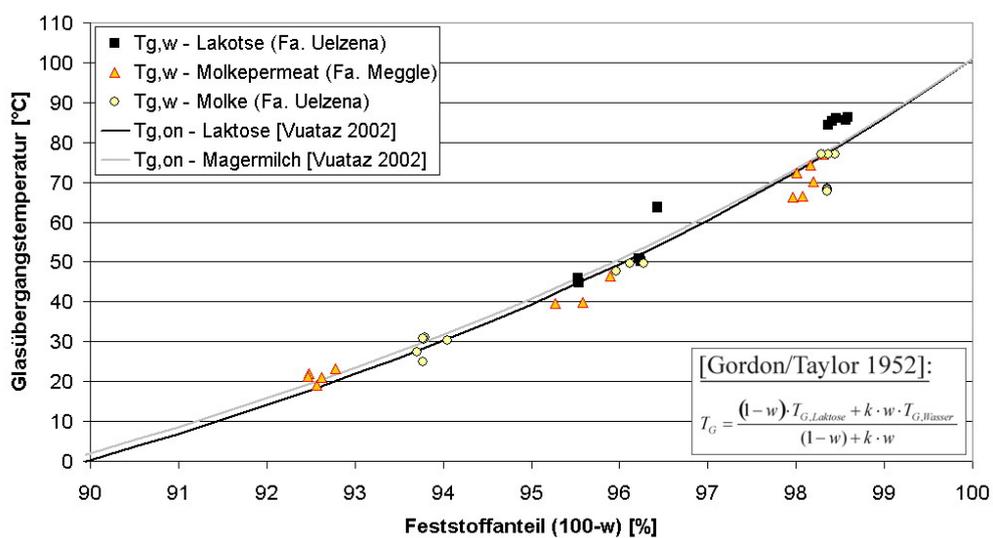
Qualitätsmerkmal + Eigenschaftsfunktion: Grenze der Fluidisierbarkeit von amorph erstarrtem und von rekristallisiertem Molkepulver

Die kristallisierte Molke weist ein deutlich besseres Fluidisationsverhalten als die nicht behandelte Molke auf. Dieser Zusammenhang konnte reproduzierbar in einer Wirbelschichtapparatur quantifiziert werden. Die in der Abbildung eingetragenen Linien zeigen die Grenze der Fluidisierbarkeit von Molke auf. Diese Grenze liegt für nicht rekristallisiertes Molkepulver deutlich unterhalb der Grenze von rekristallisiertem Molkepulver..

Die Abbildung zeigt also einerseits eine Messmethode für „Qualität“ (hier: Verbackungsneigung) auf. Andererseits repräsentiert diese Abbildung auch eine Eigenschaftsfunktion, nämlich den Zusammenhang zwischen der physikalisch-chemischen Eigenschaft „Kristallinität“ und der Produktqualität „Verbackungsneigung“.

Soll auf der Basis dieser Eigenschaftsfunktion nun ein Prozess erarbeitet werden, der die gewünschte physikalisch-chemische Eigenschaft „Kristallinität“ hervorbringt, so muss man sich mit dem Zusammenhang zwischen Prozessparametern und der Kristallinität, also mit der Prozessfunktion beschäftigen.

Eigenschaftsmerkmal - thermodyn. Gleichgewicht

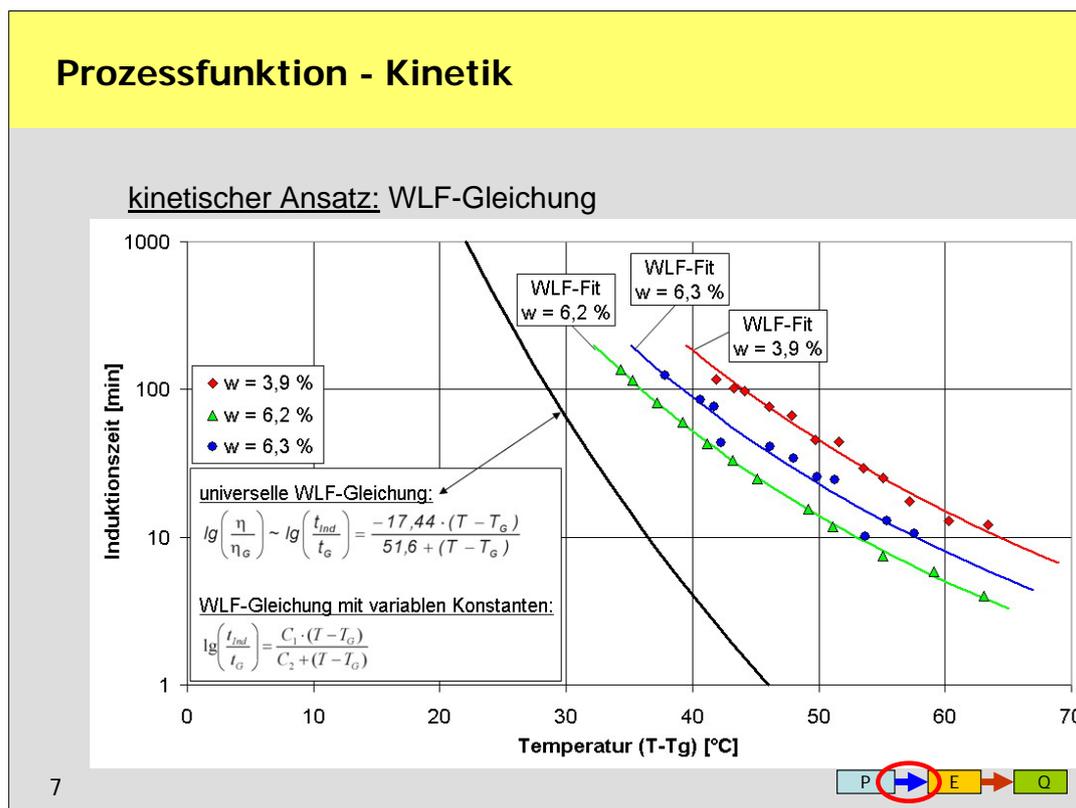


6



Soll auf der Basis dieser Eigenschaftsfunktion nun ein Prozess erarbeitet werden, der die gewünschte physikalisch-chemische Eigenschaft „Kristallinität“ hervorbringt, so muss man sich mit dem Zusammenhang zwischen Prozessparametern und der Kristallinität, also mit der Prozessfunktion beschäftigen.

Prozessfunktion - Kinetik



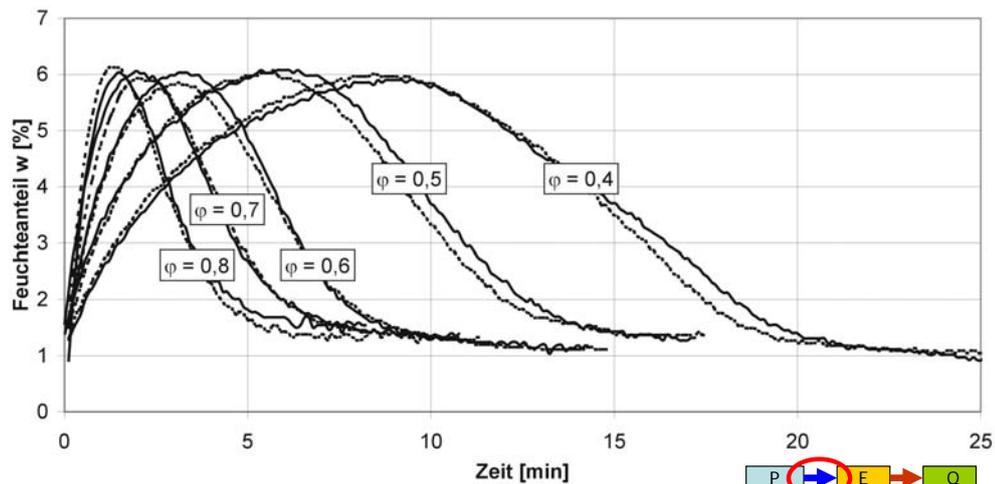
Prozessfunktion: Induktionszeit von amorph erstarrtem Molkepulver als Funktion der Temperatur(-überhöhung über die Glasübergangstemperatur T_g) und der Produktfeuchte w .

Hierbei stellt sich beispielsweise die Frage, wie lange es dauert, bis unter gegebenen Prozessbedingungen die Rekristallisation der im Molkepulver amorph vorhandenen Laktose einsetzt. Dieser Zusammenhang kann mit Hilfe eines Differential Scanning Calorimeters (DSC) festgestellt werden. Der Zusammenhang ist in obiger Abbildung dargestellt. Abhängig von der Prozesstemperatur (gemessen als Differenz zur Glasübergangstemperatur T_g) und von der Produktfeuchte, w , wurde die Induktionszeit, also die Zeit, die bis zum Einsetzen der Kristallisation vergeht, bestimmt. Es ergibt sich eine Prozessfunktion. Man erkennt, einen reproduzierbar gemessenen Zusammenhang zwischen der Induktionszeit und den beschriebenen Prozessparametern. Für solche Vorgänge wurde von William-Landel-Ferry die so genannte universelle WLF-Gleichung entwickelt. Man erkennt, dass diese Gleichungsform hier im vorliegenden Fall zwar weiterhin genutzt werden kann. Jedoch muss sie mit variablen Parametern geschrieben und an die Messwerte angepasst werden (WLF-Fit).

Prozessfunktion - Kristallisationszeit

→ Messung von Sorptions-, Induktions- und Kristallisationszeiten bei verschiedenen rel. Luftfeuchten φ und Temperaturen T.

Bsp.: Laktose bei T = 60 °C



8

Prozessfunktion - Zusammenhang der Umwandlungszeit von amorph erstarrtem Molkepulver als Funktion der Luftfeuchte bei 60 °C

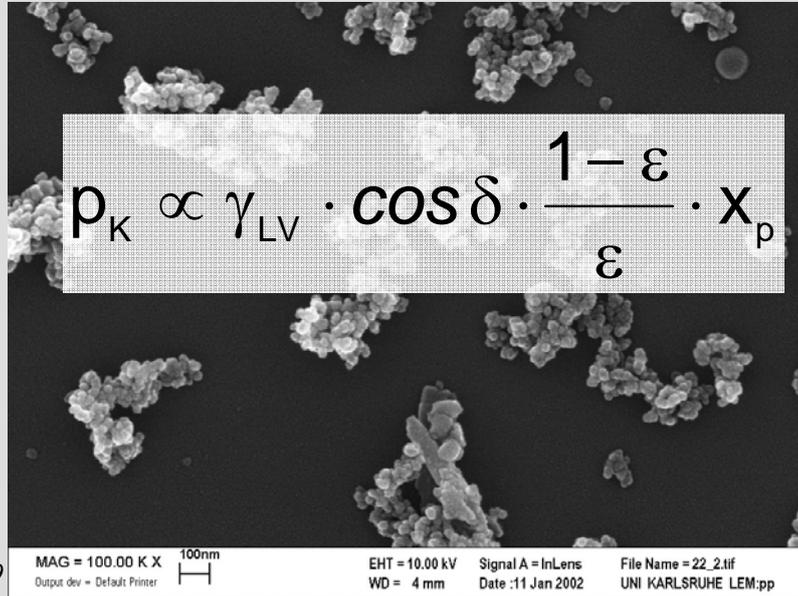
Zusätzliche Information über den Zusammenhang zwischen Kristallinität und Prozessparametern erhält man, wenn man mit geeigneter Messtechnik den gesamten Umwandlungsprozess verfolgt. Für diesen Zweck wurde hier eine Sorptionswaage benutzt, mit welcher die Feuchtaufnahme aus der Luft und die sich bei einsetzender Rekristallisation daran anschließende Feuchteabgabe verfolgt werden kann. Auch hier interessiert die Abhängigkeit dieses Vorganges von den eingestellten Prozessparametern, also die Prozessfunktion.

Aus dieser **Abbildung** ist ersichtlich, dass die Umwandlung mit zunehmender Luftfeuchte schneller erfolgt.

Die in den vorherigen Abbildungen dargestellten Abhängigkeiten erlauben nunmehr die wissensbasierte Gestaltung des Produktes „Molkepulver“. Wäre bei diesem Beispiel nicht konsequent das dargestellte konzeptuelle Verständnis von Produktgestaltung angewendet worden, so hätte man beispielsweise Experimente zur Fluidisierbarkeit von amorph erstarrtem Molkepulver als Funktion von Prozessparametern durchgeführt. Der Erkenntnisgewinn wäre rein phänomenologischer Art und damit nicht skalierbar und auch nicht auf andere Bedingungen übertragbar.

Beispiel 2: Benetzung: Reaktivsprühtrocknung

Aufgabe: Hydrophobisierung von SiO₂-Pulver



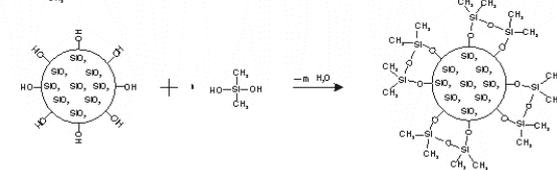
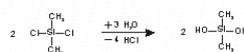
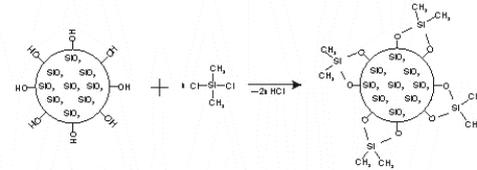
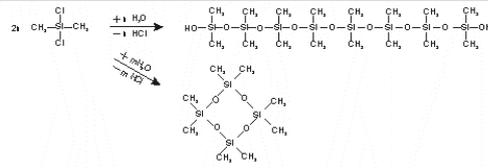
Um gewünschte Eigenschaften zu erzielen, werden Produkten Zuschlagstoffe hinzugefügt. Ein häufig eingesetzter Zuschlagstoff ist Siliziumdioxid (SiO₂, E 551). Dieser Zuschlagstoff ist weitgehend inert und wird im Lebensmittelbereich deshalb als begrenzt zugelassener Zusatzstoff geführt. SiO₂ ist ein Pulver, dessen Teilchen von Natur aus hydrophil sind. Aus diesem Grund lässt sich SiO₂ bereitwillig in wässrige Medien einarbeiten. Falls dieser Zusatzstoff aber in eine Ölphase eingearbeitet werden soll, so muss er hydrophobisiert werden.

Prozessfunktion – Reaktionsschemata von DCDMS

DCDMS in Wasser führt zu spontaner Polykondensation.

DCDMS reagiert direkt mit den Silanolgruppen ohne H_2O .
 → hohen Temperaturen ($T > 500\text{ °C}$) werden benötigt.

DCDMS wird durch H_2O aktiviert (hydrolysiert) und reagiert dann mit den Silanolgruppen.
 → Trocknungszeit des Tropfens ist entscheidender Parameter.

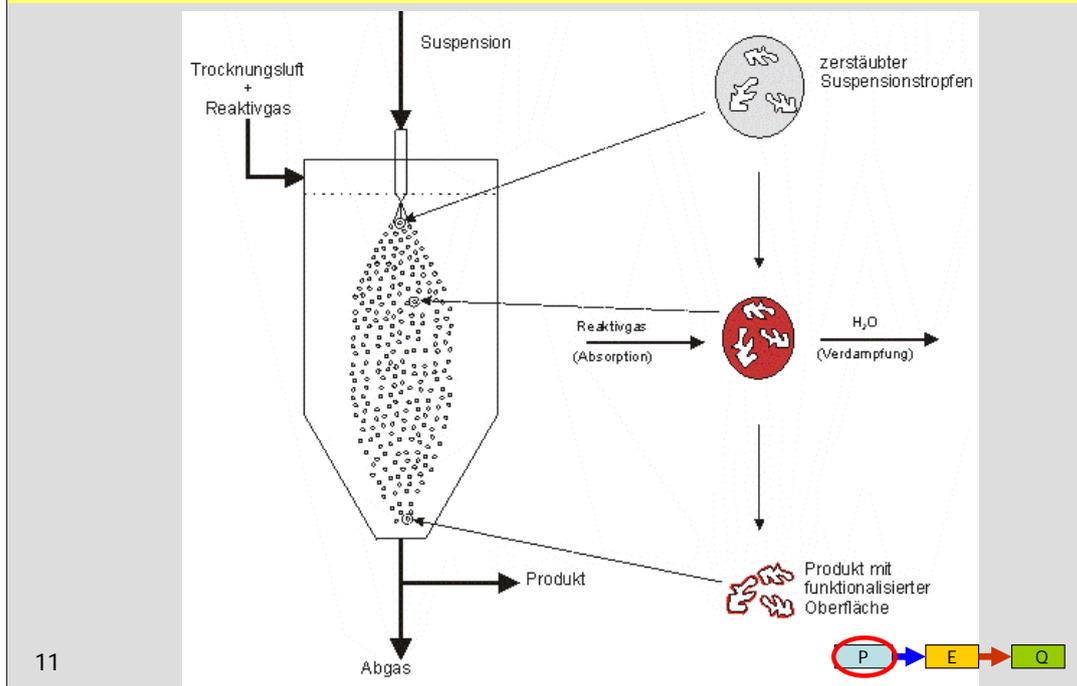


10



Zur Hydrophobisierung muss die Oberfläche der Partikel funktionalisiert werden. Dies kann dadurch geschehen, dass man die Oberfläche der Partikeln mit beispielsweise Dichlordimethylsilan (DCDMS) unter Wasseraufnahme und bei gleichzeitiger Salzsäure-Abspaltung reagieren lässt. Damit diese Reaktion stattfinden kann, muss das DCDMS entweder mit der SiO_2 -Oberfläche bei hoher Temperatur ($> 500\text{ °C}$) in Kontakt gebracht werden, oder aber es muss in Wasser zunächst hydrolysiert werden. Dieser letzte Reaktionsweg kann beispielsweise in einem Sprühtrocknungsverfahren realisiert werden.

Prozess - Reaktivsprühtrocknung

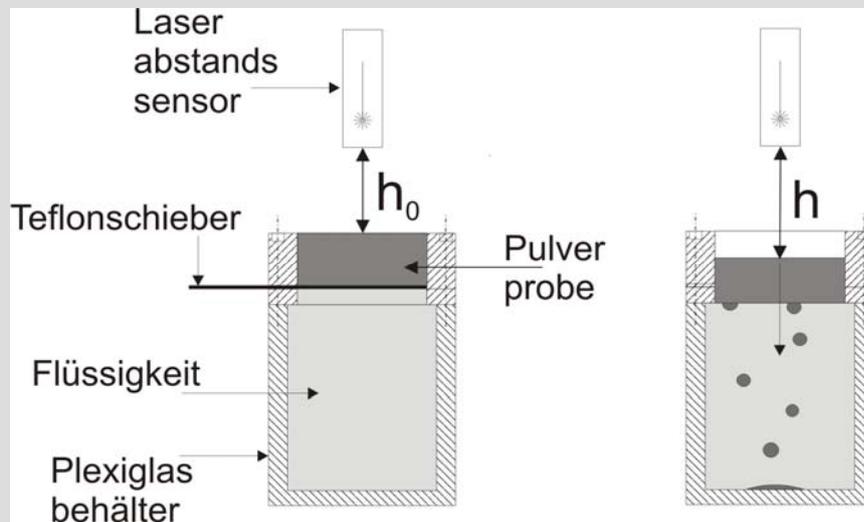


Prozess - Reaktivsprühtrocknung zur Funktionalisierung von Sprühprodukten

Bei einer Reaktivsprühtrocknung zur Hydrophobisierung von SiO_2 fügt man verdampftes DCDMS der Trocknungsluft bei, bevor man es im Sprühtrockner mit der versprühten SiO_2 -Suspension in Kontakt bringt. Während die zerstäubten Suspensionstropfen trocknen, wird das Reaktivgas von den Tropfen absorbiert. In der kurzen zur Verfügung stehenden Zeit bis zur vollständigen Trocknung kann das absorbierte DCDMS hydrolysieren und mit der Partikeloberfläche reagieren. Nahe liegende Prozessparameter sind in diesem Fall die relative Feuchte der Luft, φ , und die Luftzahl, I . Die Luftzahl quantifiziert die Zahl an zur Verfügung gestellten DCDMS-Molekülen bezogen auf die Zahl an OH-Gruppen auf der Partikeloberfläche.

Produktqualität - Messmethode

LVT-Univ. Karlsruhe (TH)



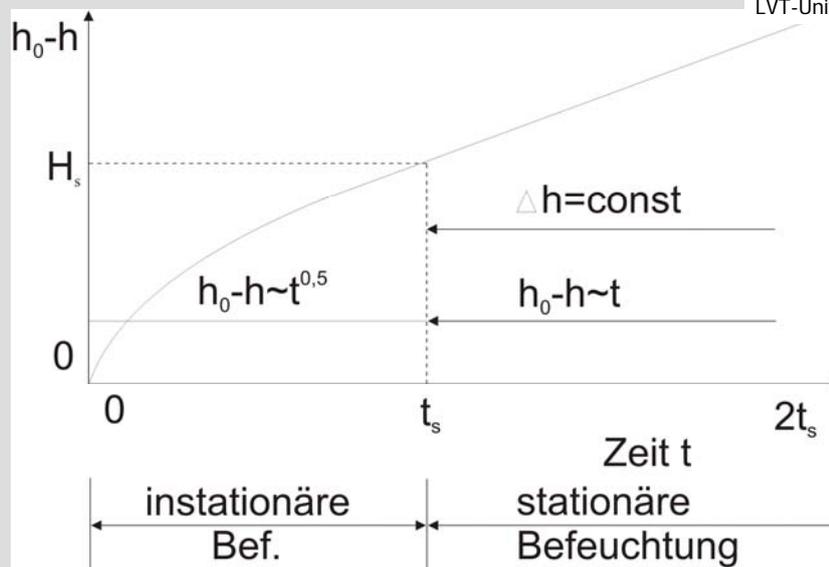
12



Zur quantitativen Bestimmung der Produktqualität (Hydrophobisierung, d.h. Benetzbarkeit in wässrigem Dispersionsmedium) eignet sich ein „Pulver-Einsinktest“.

Produktqualität - Messmethode

LVT-Univ. Karlsruhe (TH)

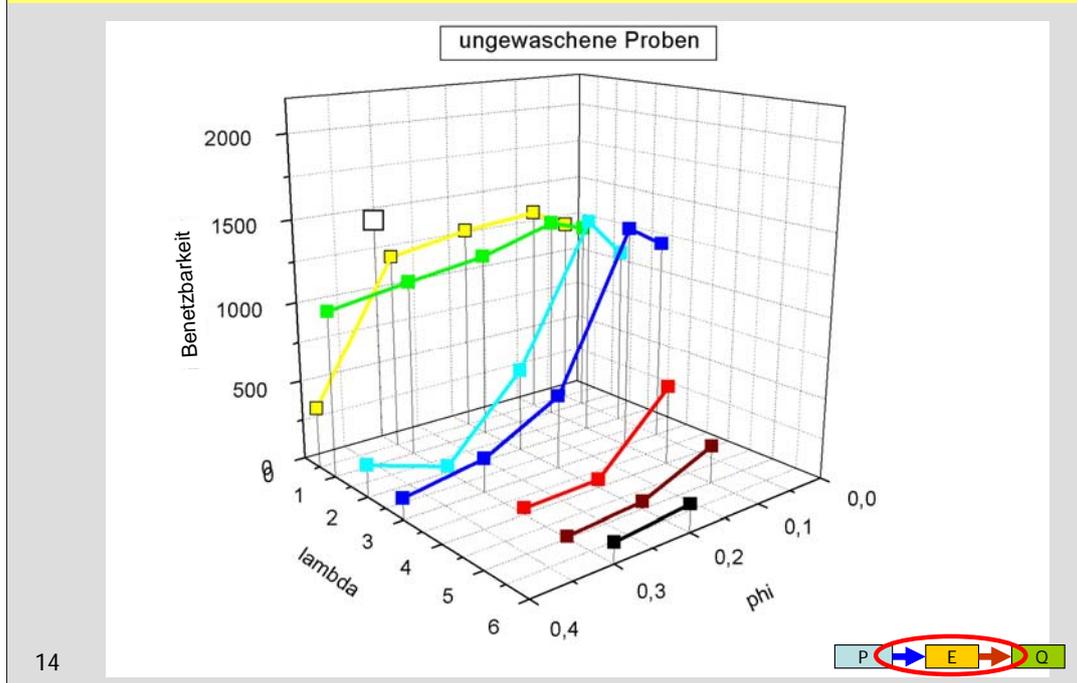


13



Prinzipieller Messverlauf „Einsinktest“. Als Benetzbarkeit wird die Fläche unter der Einsinkkurve interpretiert. Bei guter Benetzbarkeit ergibt sich eine große Fläche. Bei schlechter Benetzbarkeit ergibt sich eine kleine Fläche.

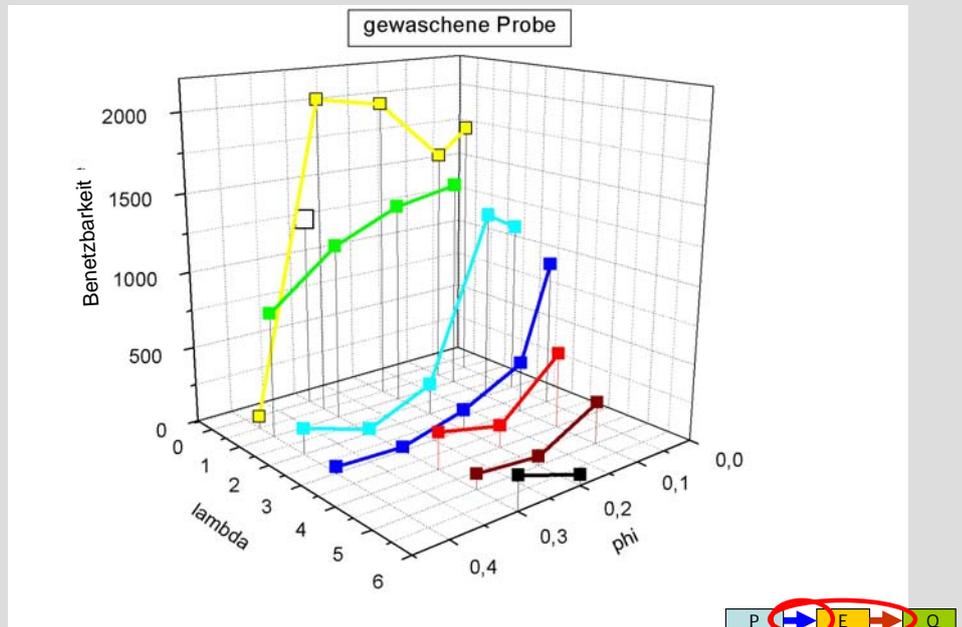
Prozess-/Eigenschaftsfunktion - Reaktivsprühtrocknung



Prozess- + Eigenschaftsfunktion Die Benetzbarkeit von behandeltem Pulver hängt von den Prozessparametern Luftzahl, l , und relative Luftfeuchte, φ , ab.

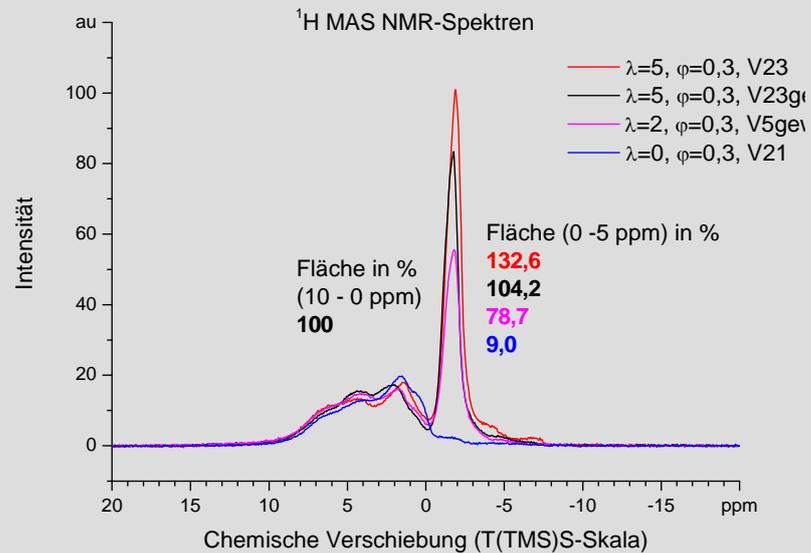
Die Abbildung zeigt, dass es tatsächlich einen eindeutigen Zusammenhang zwischen den Prozessparametern und der Produktqualität gibt. Mit zunehmender Luftzahl und mit zunehmender Luftfeuchte nimmt die Benetzbarkeit des Pulvers in einem wässrigen Dispersionsmedium ab, da die Hydrophobisierung des Pulvers zunimmt. Dieser Zusammenhang ist rein phänomenologisch und im Sinne einer wissensbasierten Produktgestaltung nicht aussagekräftig, denn über die Hintergründe dieses Befundes können nur Vermutungen angestellt werden.

Prozess-/Eigenschaftsfunktion - Reaktivsprühtrocknung



Nicht kovalent gebundenes DCDMS müsste durch Waschen des Pulvers entfernt werden können. In obiger Abbildung ist zu erkennen, dass die Hydrophobizität (schlechte Benetzbarkeit) auch nach der Waschung erhalten bleibt. Dies erhärtet die Vermutung, dass das DCDMS kovalent auf den SiO₂-Oberflächen gebunden ist.

Prozessfunktion/Eigenschaft - Reaktivsprühtrocknung



16

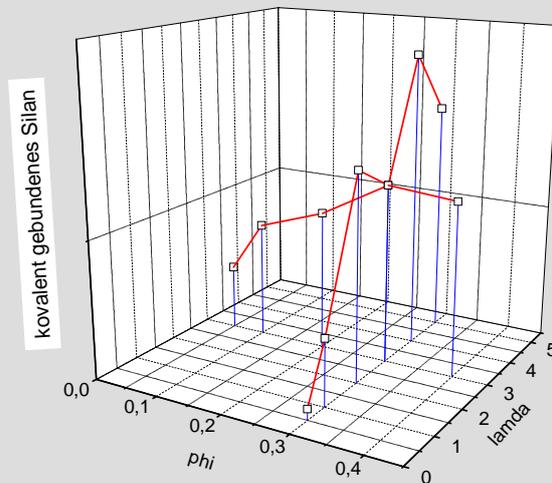
*Protonen – Magic Angle Spinning – Nuclear Magnetic Resonance



Die physikalisch-chemische Eigenschaft, die die Hydrophobisierung des Pulvers bewirkt, ist die Konzentration an auf der Pulveroberfläche kovalent gebundenem DCDMS. Kovalent gebundenes DCDMS kann mittel 1H-MAS-NMR[1] bestimmt werden.

[1] Protonen – Magic Angle Spinning – Nuclear Magnetic Resonance

Prozessfunktion - Reaktivsprühtrocknung

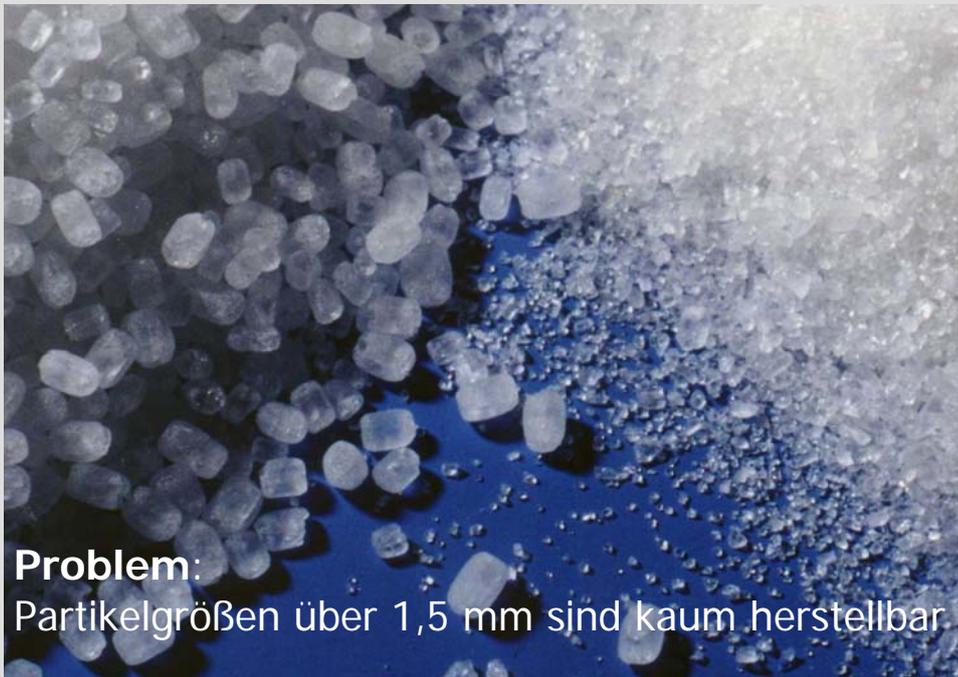


17



Trägt man das Ergebnis einer solchen Bestimmung als Funktion der Luftzahl, λ , und der relativen Luftfeuchte, ϕ , auf, so erhält man die Prozessfunktion, also den Zusammenhang zwischen der physikalisch-chemischen Produkteigenschaft und dem Prozess. Mittels dieses gemessenen Zusammenhangs kann man sich sicher sein, dass die durch die Reaktivsprühtrocknung angestrebte Hydrophobisierung nicht durch DCDMS-Polykondensat hervorgerufen wird, welches keine chemische Bindung an die Partikeloberfläche aufweist. Solches Polykondensat würde im Anwendungsfall nicht auf der Partikeloberfläche verbleiben, sondern sich im Dispersionsmedium lösen. Die Partikel würden dann ihre ursprünglich hydrophilen Oberflächeneigenschaften wieder annehmen.

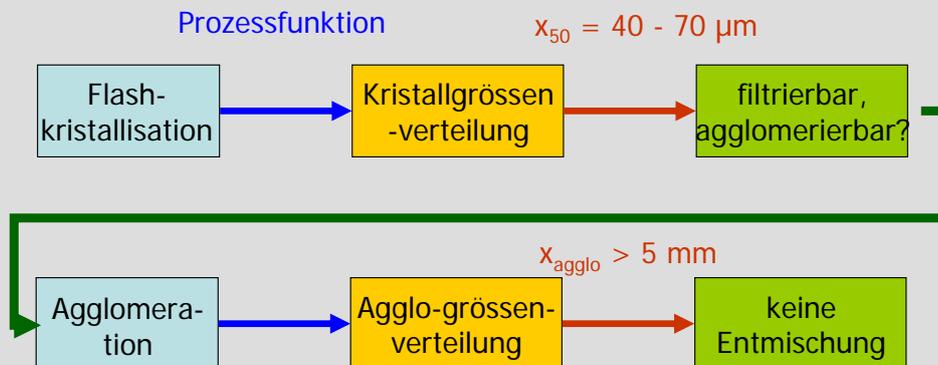
Beispiel 3: Vergrößerung - Flashkristallisation



18

Kristallisation aus Lösungen ist ein häufig anzutreffender Verfahrensschritt. Aus verschiedenen Gründen kann es sinnvoll sein, zu verlangen, dass das Kristallinat besonders grob erhalten wird. Diesem Wunsch steht die hohe mechanische Belastung entgegen, dem große Kristalle während der Kristallisation im Kristallisator ausgesetzt sind. Diese mechanische Beanspruchung führt zu Abrieb der Kristalle und verhindert, dass eine gewisse Kristallgröße überschritten wird. Für die meisten Stoffsysteme liegt diese Grenze zwischen 1 und 2 mm mittlerer Kristallgröße. Will man diese Limitation überwinden, so ist es notwendig, neue Verfahrenswege zu gehen.

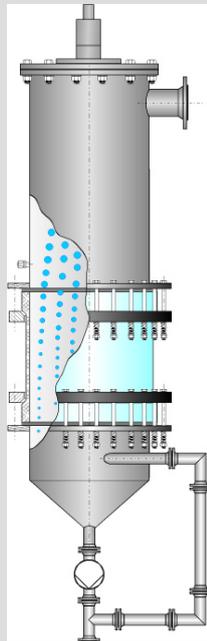
Prozess



19

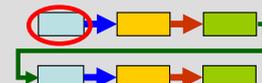
Ein solcher neuer Verfahrensweg ist die „Flash-Kristallisation“. In diesem Verfahrensschritt wird die Kristallgrößenverteilung so eingestellt, dass das entstehende Produkt sowohl filtrierbar wie auch agglomerierbar ist. Im Agglomerationschritt wird dann die Agglomeratgrößenverteilung entsprechend den Kundenanforderungen (hier: „keine Entmischung!“) eingestellt.

Flashkristallisator



Aufteilung des Prozesses in voneinander unabhängige Prozess-Schritte!

1. Zerstäubung der Eduktlösung
2. Abdampfen des Lösungsmittels
3. Keimbildung
4. Kristallwachstum

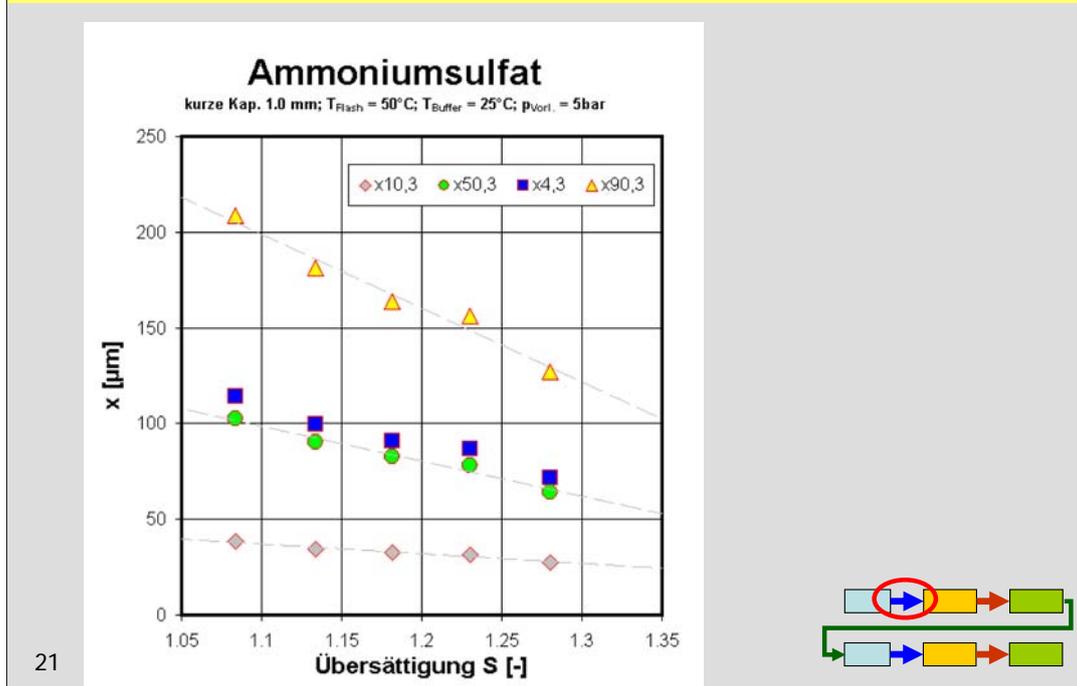


20

Bei der Flash-Kristallisation wird die zu kristallisierende Lösung überhitzt, bevor sie in den Kristallisator eingedüst wird. Je nach Druck- und Temperaturverhältnissen „flasht“ das überhitzte Lösungsmittel (meist Wasser) ab. Die Tropfen werden aufkonzentriert und kühlen entsprechend dem Druck im Kristallisator auf ihre Siedetemperatur ab. Somit kommt es zu einem sehr schnellen Aufbau der Übersättigung. Die Höhe der Übersättigung hängt vom Löslichkeitsverhalten des gelösten Stoffes, dessen ursprünglicher Konzentration in der Lösung und von der Überhitzung der Lösung bezüglich der Siedetemperatur ab.

Dieser schnelle Übersättigungsaufbau ist erwünscht, denn so sind mittlere Kristallgrößen unterhalb 100 μm zu erreichen, die es erlauben, das entstehende Kristallisat in einem nachfolgenden Agglomerator/Granulator zu festen Granulaten mit fast beliebiger Granulatgröße auch deutlich über 2 mm Granulatgröße formen. Man erhält damit, wie gewünscht, das grobe kristalline Produkt [24].

Flashkristallisation - Prozessfunktion



Prozessfunktion - Mittlere Partikelgrößen $x_{50,3}$ und $x_{4,3}$ als Funktion der bei der Flash-Kristallisation eingestellten Übersättigung. $x_{10,3}$ und $x_{90,3}$ markieren die Breite der erhaltenen Kristallgrößenverteilungen. Bei zu geringer Übersättigung kommt es zu keiner Keimbildung. Bei zu hoher Übersättigung verstopft die Düse.

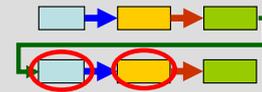
Erhält man mit einem solchen Kristallisationsprozess eine Partikelgröße, die oberhalb etwa $10\ \mu\text{m}$ liegt, so lässt sich das Kristallinat vor der Granulation mit konventionellen Methoden auch waschen und aus der Suspension mittels Filtration oder Zentrifugation abtrennen.

Dieser neue Prozess zur Gestaltung von kristallinen Produkten ist durch mehrere Prozessfunktionen zu charakterisieren. Eine hiervon ist der Zusammenhang zwischen der Übersättigung und der sich ergebenden Partikelgröße, siehe obige **Abbildung**. Wie zu erwarten, sinkt die mittlere Partikelgröße mit zunehmender Übersättigung. Sie liegt aber genau in dem für die technologische und wirtschaftliche Durchführbarkeit des Prozesses geforderten Größenbereich zwischen 10 und $100\ \mu\text{m}$.

Prozess: (Labor-)Agglomerator und Agglomerate



22



Phys.-chem. Eigenschaft - *Durch Flash-Kristallisation erzeugte Ammoniumsulfat-Kristalle (links) und daraus durch Granulation hergestellte sehr grobe kristalline Partikel.*

Aus Sicht der nachfolgenden Prozessschritte wären Eigenschaftsfunktionen des durch Flashkristallisation erhaltenen Produktes beispielsweise der Filterwiderstand der Suspension, die Auswaschbarkeit von Verunreinigungen und schließlich die erzielbaren Granulatfestigkeiten. Aus Sicht des Kunden kommen hierzu Qualitätsanforderungen, die sich aus der Anwendung eines solchen Produktes beim Kunden ergeben (Redispergierbarkeit, Mischbarkeit mit anderen Granulaten, Oberflächenbeschaffenheit, ...).

Zusammenfassung

konzeptuelle Betrachtung von Produktgestaltungs-Aufgaben

führt zu

Innovationshöhe
Reduzierung time-to-market

durch

Systematisierung
Schnittstellendefinitionen
abgrenzbare Arbeitspakete
zielgerichtetes Vorgehen

23

Produktgestaltung ist als Kunden-Lieferanten-Beziehung zu verstehen. Der Lieferant ist der Hersteller einer gewissen physikalisch-chemischen Eigenschaft des Produktes. Der Kunde beurteilt dieses Produkt aber nicht nach seinen physikalisch-chemischen Eigenschaften, sondern nach seinen anwendungstechnischen Eigenschaften und danach, in welchem Grad es die antizipierte Funktion erfüllt. Wie das letzte der drei Beispiele besonders deutlich macht, kann der Kunde der nächste Prozessschritt sein. Dann beurteilt er die Qualität eines aus der vorherigen Prozessstufe (Lieferant) kommenden Produktes nach seinen verarbeitungs-technischen Eigenschaften. Im dritten Beispiel war dies unter anderem der Filterwiderstand der in der Flash-Kristallisation erzeugten Suspension.

Besonders anspruchsvoll werden die Aufgaben in der Produktgestaltung dann, wenn der Kunde auch Endverbraucher des Produktes ist. Dann sind Entscheidungskriterien, nach denen die Qualitäten eines Produktes beurteilt werden, häufig nicht-technischer Art. Sie sind zwar schwer zu quantifizieren. Für den Erfolg eines Produktes sind sie jedoch die alles entscheidende Größe.

Verfahrenstechnische Wege zur Produktqualität lassen sich durch ein konzeptuelles Verständnis der Zusammenhänge systematisieren. Anstelle einer phänomenologisch geprägten Kenntnis über die notwendigen Prozessgrößen für die Herstellung einer gewissen Produktqualität wird durch dieses konzeptuelle Verständnis eine wissensbasierte Vorgehensweise bei der Produktgestaltung möglich.