

Trocknung und Karamellisierung von Milchkonzentraten mit einem Kontakt-Scheiben-Trockner

Experimentelle Untersuchungen mit dem Allgaier CDry®

Autoren (Thomas Rupp*, Mathias Trojosky*, Marcel Wettring*
Martin Hinderlich**, Reinhard Kohlus***)

*Allgaier Process Technology GmbH

**Hochschule Neubrandenburg

***Universität Hohenheim

Einleitung

Der CDry ist ein dampfbeheizter Scheibentrockner, der nach dem Prinzip der Kontakt Trocknung arbeitet. Durch die große Wärmeübertragungsfläche auf engem Raum und die robuste Betriebsweise, hat er sich in den vergangenen Jahren zur Trocknung von feststoffbeladenen Flüssigkeiten in der Feinchemie, Pigment-, Keramik- und Düngemittelindustrie bis hinein in die Abwassertechnik bewährt [1-5].

Als CDry food ist er in einer Ausführung für Lebensmittelanwendungen erhältlich. Die Weiterentwicklung des Trockners verwendet ausschließlich Werkstoffe, die für den Lebensmittelkontakt zugelassen sind. Die Konstruktion ist durch die Anwendung der aktuellen EHEDG Guidelines vollumfänglich hygienegerecht und leicht reinigbar gestaltet. Um Stillstandszeiten der Anlage zu minimieren, kann der Prozessraum und das Rohrsystem am CDry food automatisiert mittels Cleaning in Place (CIP) gereinigt werden.

In Zusammenarbeit mit der Hochschule Neubrandenburg, dem Institut für Lebensmittelverfahrenstechnik und Pulvertechnologie der Universität Hohenheim, sowie mehreren Industriepartnern, wurden im Rahmen einer Masterarbeit ausführliche Versuchsreihen zur Trocknung von Magermilch- und Vollmilchkonzentraten durchgeführt. Durch die gezielte Kombination von Temperatur und Verweilzeit kann bei der Trocknung von Milch mit dem CDry ein sehr breites Spektrum an Pulvereigenschaften erzeugt werden. Mit den Versuchen wurden die Zusammenhänge zwischen Prozessparametern und Pulvereigenschaften untersucht und mit marktüblichen sprüh- und walzengetrockneten Pulvern verglichen. Die Milchtrocknung dient damit als ein Beispiel für die vielfältigen Verwendungsmöglichkeiten des Allgaier Kontakt-Scheiben-Trockners CDry in der Lebensmittelindustrie.

Stichworte: Milch, Trocknung, Karamellisierung, CDry, Scheibentrockner, Kontakt Trocknung, Verdampfung, Restfeuchte, Freifettanteil, Schmutzbild

Inhalt

1	Etablierte Verfahren zur Milchtrocknung	3
1.1	Sprühtrocknung	3
1.2	Walzentrocknung	3
2	Der CDry als innovative Alternative	4
2.1	Funktionsweise	4
2.2	Vielfältige etablierte Einsatzbereiche	7
2.3	Lebensmittelkonforme, hygienegerechte Ausführung	9
3	Versuche zur Trocknung und Karamellisierung von Milchkonzentraten	10
3.1	Versuche mit rekonstituierter Magermilch	11
3.1.1	Wärmebildaufnahmen	11
3.1.2	Maximale Produkttemperatur während der Trocknung	12
3.1.3	Restfeuchte	13
3.1.4	Schüttdichte	15
3.1.5	Löslichkeit	17
3.1.7	HMF Gehalt	20
3.2	Versuche mit rekonstituierter Vollmilch	21
3.2.1	Schmutzbild	21
3.2.2	Freifettanteil	22
3.3	Versuche mit Molkenkonzentrat	23
3.3.1	Einfluss der Trocknung auf die Keimbelastung	23
4	Zusammenfassung und Ausblick	25
5	Referenzen	26

1 Etablierte Verfahren zur Milchtrocknung

1.1 Sprühtrocknung

Milchpulver ist das in der Lebensmittel- und Futtermittelindustrie mengenmäßig weltweit am meisten gehandelte Produkt [6]. Die am weitesten verbreitete Technologie zur Milchpulverherstellung ist die Sprühtrocknung. Bereits im Jahr 2000 wurden in Deutschland 99,5 % des hergestellten Magermilchpulvers mittels Sprühtrocknung erzeugt [7]. Als konvektives Trocknungsverfahren bietet die Sprühtrocknung den Vorteil, dass die Trocknung produktschonend ist und auf hohe Durchsatzleistungen ausgelegt werden kann. Es gibt jedoch auch einige spezifische Nachteile. Der hohe Bedarf an Prozessluft mit meist noch hohen Ablufttemperaturen, setzt leistungsstarke, groß dimensionierte Anlagenperipherie (z. B. Ventilatoren, Filter) voraus und führt zu erheblichen Energieverlusten, während eine Kreisgasführung oder Wärmerückgewinnung sehr aufwändig ist. Zudem sind Milchpulver, welche mittels Sprühtrocknung hergestellt werden, in ihrer Charakteristik untereinander sehr ähnlich und es gibt kaum Möglichkeiten, Pulver individuell zu gestalten. Die runde Partikelform und die Trocknungskinetik im Luftstrom führen zudem zu einem Einschluss des Milchfettes innerhalb der Partikel und damit zu einem geringen Freifettanteil [8]. In der Süßwarenindustrie, insbesondere der Schokoladenindustrie, werden verstärkt karamellierte Milchpulver mit hohem Freifettanteil gewünscht, da diese Eigenschaften den Geschmack und den Schmelz der Schokolade verbessern [9]. Um vergleichbare Röstaromen im sprühgetrockneten Pulver zu erhalten, muss dieses nachträglich und aufwändig karamellisiert werden oder es wird dem Standard-Milchpulver ein Anteil Karamellpulver zugemischt.

1.2 Walzentrocknung

Bevor sie von der Sprühtrocknung fast vollständig verdrängt wurde, war die Walzentrocknung eine weit verbreitete Technologie zur Milchtrocknung [10, 11]. Nach wie vor hat die Walzentrocknung als eine Form der Kontaktrocknung auch für die Lebensmittelindustrie Bedeutung. Viele der Walzentrockner am Markt sind jedoch veraltet und entsprechen nicht mehr den aktuellen Anforderungen an eine hygienegerechte oder eine leicht zu reinigende (CIP-fähige) Maschinengestaltung. Auch der Grad der Prozessautomatisierung entspricht häufig nicht mehr dem Stand der Technik. Weitere Nachteile von Walzentrocknern sind die große Aufstellfläche sowie die Limitierung des Wärmedurchganges durch die dickwandigen Hohlzylinder. Zudem sind die langen Abkratzmesser häufig schwierig zu justieren sowie verschleißintensiv. Die Walzen sind in der Regel zur Umgebung freiliegend statt in einem geschlossenen Prozessraum untergebracht und deshalb problematisch in Bezug auf eine komplett hygienegerechte Produktion.

2 Der CDry als innovative Alternative

2.1 Funktionsweise

Der CDry ist eine neuartige Methode der Kontakttrocknung, welche die Themen optimaler Reinigbarkeit, Hygiene und Digitalisierung aufgreift. Auf ein sich drehendes und im Innern hohles Scheibenbündel wird mittels sogenannter „feed pipes“ die zu behandelnde Flüssigkeit im Überschuss beidseitig auf alle Scheiben aufgegeben. Bild 1 (links) zeigt diesen Prozess an einer Versuchsanlage mit einem Scheibendurchmesser von 540 mm. Die Flüssigkeit läuft von den Scheiben in den darunter liegenden Zirkulationstank ab und hinterlässt auf den Scheibenoberflächen den zu trocknenden Flüssigkeitsfilm. Die zu trocknenden Flüssigkeiten können sowohl unbehandelt aufgegeben werden als auch durch eine Fermentation vorbehandelt oder durch eine Eindampfung, Umkehrosmose oder Ultrafiltration aufkonzentriert sein. Wie bei jeder Trocknung gilt auch für den CDry, dass eine Vorkonzentrierung der Flüssigkeiten zur Verringerung der notwendigen Wasserverdampfung führt und für dessen effiziente Betriebsweise in den meisten Fällen sinnvoll ist. Während das Lösemittel, in diesem Anwendungsfall Wasser, durch die mittels Satttdampf von innen erfolgende Beheizung des Scheibenbündels verdampft, trocknet der Feststoff auf den Scheibenoberflächen auf und wird bis zur gewünschten Restfeuchte entwässert.



Bild 1 und 2: Trocknung von Milchkonzentrat mit dem CDry 501 lab

Nach einer Scheibenumdrehung wird der getrocknete Feststoff von den Seitenflächen der Scheiben abgeschabt (Bild 2 rechts) und fällt in einen Produktausfallschacht zur Sammlung oder zum Abtransport und zur Weiterverarbeitung. Die einfach einzustellenden Messer zum Abschaben des Trockengutes von der Scheibe sind konstruktionsbedingt kurz. Sie justieren sich durch eine bewegliche Aufnahme bei einem geringen voreingestellten Anpressdruck durch Federwirkung selbst, sodass sie jederzeit optimal an der Scheibe anliegen und den getrockneten Feststoff zuverlässig und verschleißarm abschaben. Bild 3 zeigt das generelle Verfahrensschema eines Trocknungsprozesses mit dem CDry.

Der gewünschte Trockengrad des gewonnenen Feststoffes kann über die Drehzahl der Scheiben und den Dampfdruck der Scheibenbeheizung stabil und reproduzierbar eingestellt werden. Da die im Überschuss auf die heißen Scheiben gegebene Flüssigkeit in den Zirkulationstank abläuft und rezirkuliert wird, besteht systembedingt kein Risiko eines Flüssigkeitsdurchbruches in das Trockengut. Der Füllstand im Zirkulationstank wird kontinuierlich überwacht und bei Bedarf aufgefüllt. Durch einen optionalen Wärmeübertrager zur Kühlung der Flüssigkeit im Kreislauf können temperaturempfindliche Produkte schonend zirkuliert oder aber gezielt vorgewärmt werden.

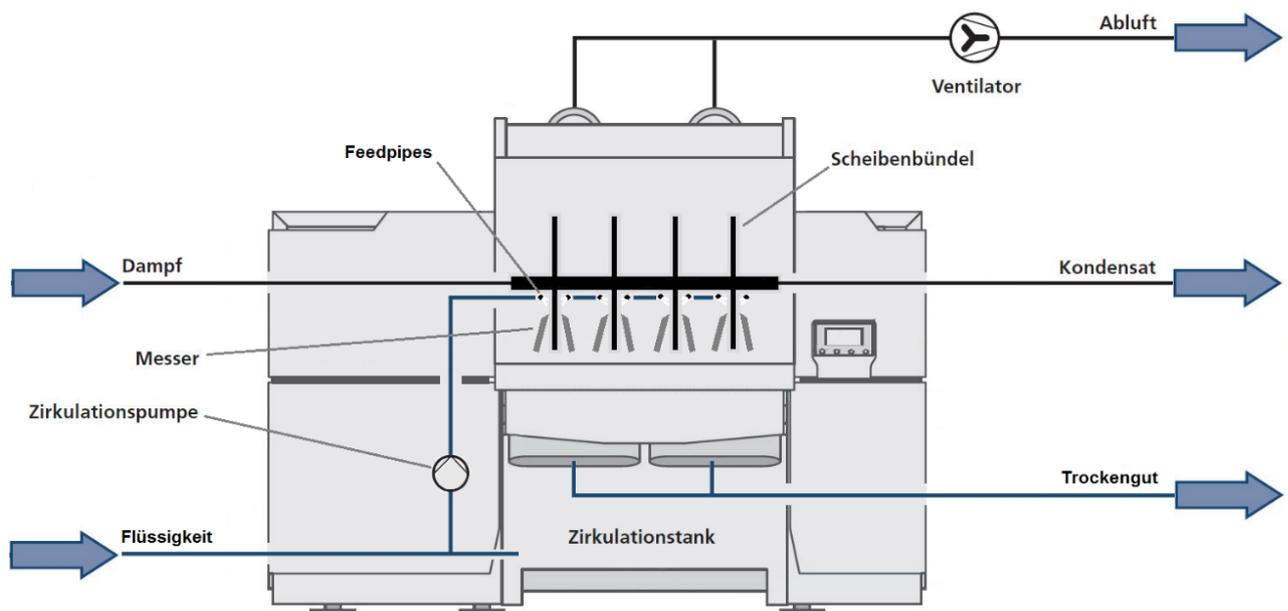


Bild 3: Verfahrensschema einer CDry Trocknungsanlage

Je nach Produktverhalten entsteht als Trockengut ein granulätähnliches Produkt, ein feines Pulver oder ein folienartiges Trockengut (Bild 4).



Bild 4: Beispiele von Trockengütern die mit dem CDry hergestellt wurden (v.l.: Rübenpektin / Bierhefe / Proteinsuspension)

Die verdampfte Flüssigkeit wird mittels eines Abluftventilators durch einen einstellbaren, vergleichsweise geringen Luftstrom, welcher an der Frontseite des Trockners im Normalfall aus der Umgebung angesaugt wird, mit hoher Wasserdampfbeladung abgeführt. Nur falls bei der Trocknung staubförmige Güter entstehen, werden mit der Abluft geringe Mengen des zu trocknenden Feststoffes abgeführt. Sehr häufig entstehen jedoch bei der Trocknung von Lebensmittelprodukten folienartige Trockengüter, wodurch die abgezogenen Trocknerbrüden praktisch staubfrei sind.

Abhängig von den jeweiligen Eigenschaften der zu behandelnden Produkte stehen sowohl für die beheizten Scheiben des Trockners, als auch für die Messer zum Abschaben der Trockenstoffe, unterschiedliche Werkstoffe zur Verfügung. Die Scheiben werden in der Regel aus Edelstahl gefertigt. Zum Schutz vor korrosiven oder abrasiven Medien wird die Oberfläche der Trocknungsscheiben optional mit einem passenden Oberflächenschutz durch Coating oder durch Härten versehen. Für die Schaber stehen verschiedene Edelstahl-, Kunststoff- oder Keramik-Werkstoffe zur Verfügung. Aufgrund ihrer speziellen, schlanken Bauform und der dünnen Wandstärke der einzelnen Scheiben wird ein sehr guter Wärmedurchgang ermöglicht, wodurch die nötige Wärmeübergangsfläche für die Trocknung minimiert wird. Die Aufstellfläche („foot print“) der CDry Apparate ist durch die kompakte Bauform der Scheibenbündel vergleichsweise gering und trägt zu einer einfachen Montage, sowie einer flexiblen Aufstellmöglichkeit der Anlage bei.

Da der Prozessraum drucklos betrieben wird, kann die Trocknung über eine große mit Sicherheitsglas abgedeckte Maschinenfront jederzeit vollständig überwacht werden. Über die nach oben, motorisch öffnende Frontscheibe erfolgt auch der einfache Zugriff auf das Scheibenpaket und die Schaber für Wartungs- oder Reinigungszwecke.

Für die Beheizung des CDry wird Satttdampf bis max. 3,5 bar(g) verwendet, was einem Absolutdruck von 4,5 bar(abs) bzw. 0,45 MPa und damit einer Satttdampftemperatur von 148°C entspricht. Eine energetisch optimale Betriebsweise der Trocknung mit Niederdruckdampf, wie er in vielen Produktionsstätten preiswert anfällt, ist damit möglich.

2.2 Vielfältige etablierte Einsatzbereiche

Der CDry kann für eine Vielzahl verschiedener flüssiger Produkte aus nahezu allen Bereichen der Industrie eingesetzt werden [1, 4, 5]. Er löst viele der üblichen Probleme von Kontakt Trocknern und weist ein besonders robustes Betriebsverhalten auf. In den vergangenen Jahren wurden eine Vielzahl von Referenzanlagen in unterschiedlichen Bereichen und insbesondere in der chemischen Industrie, der Pigmentherstellung, der Abwassertechnik, keramischen Industrie bis hin zur Futtermittelindustrie installiert. Je nach Bedarf und spezieller Anwendung sind Trocknermodelle mit Wasser-Verdampfungsleistungen bis zu 4 Tonnen je Stunde verfügbar.

Die Allgaier Process Technology GmbH produziert und vermarktet die CDry Technology weltweit. Die komplette Technik entspricht den europäischen CE-Konformitäts-Kriterien und Sicherheitsvorschriften und kann für den US-Markt nach ANSI geliefert werden. Das äußere Design wurde in seiner neuen, sehr ansprechenden und modernen Form zum ersten Mal auf derACHEMA 2018 in Frankfurt vorgestellt (Bild 5 und 6). Außerdem entsprechen die Anlagensteuerung und die Prozessvisualisierung den aktuellen Ansprüchen. Im Rahmen desACHEMA Innovation Award konnte mit der Neuentwicklung eine Platzierung in der Short-List erreicht werden.



Bild 5: Intelligente Anlagensteuerung über das intuitiv bedienbare Touchpanel zum Abrufen und Ändern der aktuellen Maschinen- und Prozessparameter.

Für besonders temperaturempfindliche Anwendungen kann das Scheibenpaket auch mittels Dampf im Vakuumbereich von 0,4 bis 1 bar(abs.) beheizt werden, wodurch Oberflächentemperaturen der Scheiben < 100 °C möglich werden. Dadurch ist auch die effiziente Trocknung besonders temperaturempfindlicher Produkte möglich, wie sie besonders häufig in der Lebensmittelindustrie vorkommen.

Bei der Konzeption des Allgaier CDry wurde darauf geachtet, dass die Trocknungsanlagen als weitgehend komplette Aggregate geliefert werden können, wodurch der Montageaufwand auf der Baustelle minimiert wird und die Trocknungsanlagen kompakt und platzsparend aufgestellt werden können.



Bild 6: Industrieller CDry in Chemieausführung - ab Herbst 2020 auch in Hygienic Design für die Lebensmittelindustrie erhältlich.

2.3 Lebensmittelkonforme, hygienegerechte Ausführung

Aufgrund des großen Interesses aus der Lebensmittelindustrie und den positiven Versuchsergebnisse im Allgaier-Technikum wurde ein Entwicklungsprojekt mit dem Namen „CDry - Fit for Food“ gestartet. Innerhalb dieses Entwicklungsprojektes wurde der CDry auf den aktuellen Standard der Maschinenrichtlinie für Nahrungsmittelmaschinen gehoben. Dafür wurde unter großem Entwicklungsaufwand die gesamte Konstruktion unter Umsetzung der Guidelines der European Hygienic Engineering and Design Group (EHEDG) hygienegerecht gestaltet.

Der Allgaier-Scheibentrockner ist damit der einzige bekannte, am Markt befindliche Scheibentrockner dieser Bauart weltweit, welcher die anspruchsvollen Hygieneanforderungen der Lebensmittelindustrie erfüllt. Die folgende Zusammenfassung listet die Details des Allgaier Scheibentrockners auf, welche zur Erfüllung der Hygienevorschriften auf den Standard nach EHEDG angehoben wurden:

- Hygienegerechte Zufuhr- und Kreislaufpumpe für die zu trocknende Flüssigkeit.
- Ausführung sämtlicher produktberührter Teile aus Edelstahl 1.4404.
- Ausführung der produktberührenden Oberflächen mit $Ra \leq 0,8 \mu m$ (Hygieneklasse H3) sowie Ausführung der Ecken mit einem Mindestradius von 3mm zur einfachen Reinigung.
- Selbstentleerendes und CIP-fähiges Rohrleitungssystem, hygienegerechte Verschraubungen und Flanschverbindungen.
- Lebensmitteltaugliche, besonders abriebfeste Oberflächenbehandlung der Trocknerscheiben.
- Schnellwechselmechanismus der Main Scraper (Hauptmesser, die das Trockengut von den Scheiben abkratzen) für eine sehr kurze Rüstzeit.
- Lebensmittelzugelassene Dichtungsmaterialien (nach EG1935/2004, FDA 21 CFR), sowie Konstruktion der Dichtungen nach den Vorgaben der EHEDG mit Kraftnebenschluss, Zentrierung und definierter Pressung der Dichtungen direkt am Produktbereich.
- Ausschließliche Verwendung zugelassener Schmiermittel nach NSF H1 und FDA 21 CFR im ganzen Trockner.
- Komplet geschlossener Prozessraum mit der Option zur Zuführung vorkonditionierter Zuluft über einen frontseitigen Stutzen.
- Prozessraum ausgeführt mit doppelwandiger Isolierung
- Die große Frontscheibe besitzt drei definierte Positionen: Produktions-, Wartungs-, und Reinigungsstellung.
- Optional integriertes CIP-System zur Reinigung des Prozessraums bestehend aus einer Kombination von verschiedenen Sprühdüsen zur Vermeidung von Sprühschatten und Abtrennung des Trockenbereichs.
- Anlagensteuerung mit an die Lebensmittelherstellung angepassten, automatisierten An- und Abfahr-Routinen.
- Vollständige Dokumentation und Rückverfolgbarkeit aller verwendeter Bauteile nach den in der Lebensmittelindustrie geforderten Standards.

3 Versuche zur Trocknung und Karamellisierung von Milchkonzentraten

Aufgrund der Möglichkeit, den thermischen Energieeintrag durch die Kontaktrocknung variabler und gegenüber der Sprühtrocknung intensiver zu gestalten, kann eine gezielte Aromatisierung von Milchpulvern erreicht werden. Zudem wird das Milchfett im Gegensatz zur Sprühtrocknung nicht im kugelförmigen Partikel eingeschlossen, sondern liegt aufgrund der Flockenstruktur als freies Fett vor [8]. Die Struktur von kontaktgetrocknetem Milchpulver wirkt sich positiv z.B. auf die sensorischen Eigenschaften von Schokolade aus und sorgt für einen verringerten Energiebedarf beim Conchieren [12].

Im Allgaier-Technikum wurden ausführliche Versuchsreihen zur Trocknung von Magermilch- und Vollmilchkonzentraten mit dem Scheiben-Kontakt-Trockner CDry 501 lab durchgeführt [13]. Innerhalb dieser Versuche wurden die Einflüsse der Scheibentemperatur, der Verweilzeit sowie der Vorkonzentrierung des zu trocknenden Milchkonzentrates auf die Pulvereigenschaften untersucht. Ausgewertet wurden die Einflüsse verschiedener Prozessparameter auf für die Lebensmittelindustrie relevanten Pulvereigenschaften wie Restfeuchte, Schüttdichte, Löslichkeit und Farbe.

Der HMF-Gehalt und die Farbveränderungen im Trockenprodukt lassen Rückschlüsse auf die Intensität der bei der Trocknung abgelaufenen Maillard- bzw. Karamellierungsreaktion zu.

An den hergestellten Vollmilchproben wurden zudem der Freifettanteil, der Gesamtfettgehalt sowie das Schmutzbild bestimmt. Anhand eines Molkenkonzentrats wurde der Einfluss der Trocknung auf die Keimbelastung im Pulver untersucht.

An dieser Stelle möchten wir uns sehr herzlich bei der Universität Hohenheim und der Hochschule Neubrandenburg für die Unterstützung des Projektes und die vielfältige Unterstützung bei den Analysen bedanken. Zudem gilt unser besonderer Dank unseren Industriepartnern für die Unterstützung des Projektes durch die Bereitstellung von Referenzproben und Analysemöglichkeiten:

- HOCHDORF Swiss Nutrition AG
- Deutsches Milchkontor GmbH
- Wheyco GmbH
- Milchwerke Schwaben eG
- Almil AG Bützower Dauermilchwerke

3.1 Versuche mit rekonstituierter Magermilch

3.1.1 Wärmebildaufnahmen

Eine gleichmäßige Wärmeverteilung auf der Trocknungsscheibe während der Trocknung ist für eine homogene Restfeuchte im Trockenprodukt essenziell. Zudem ermöglicht die Aufnahme der Wärmeverteilung Rückschlüsse auf die Hitzebelastung während der Trocknung. Zur Darstellung der Wärmeverteilung auf den Trocknerscheiben wurden, nach Kalibrierung des Emissionskoeffizienten, Wärmebildaufnahmen bei verschiedenen Heizdampfdrücken und Scheibendrehzahlen gemacht. Exemplarisch wird in Bild 7 die Wärmeverteilung bei der Trocknung von 36-prozentigem Magermilchkonzentrat gezeigt.

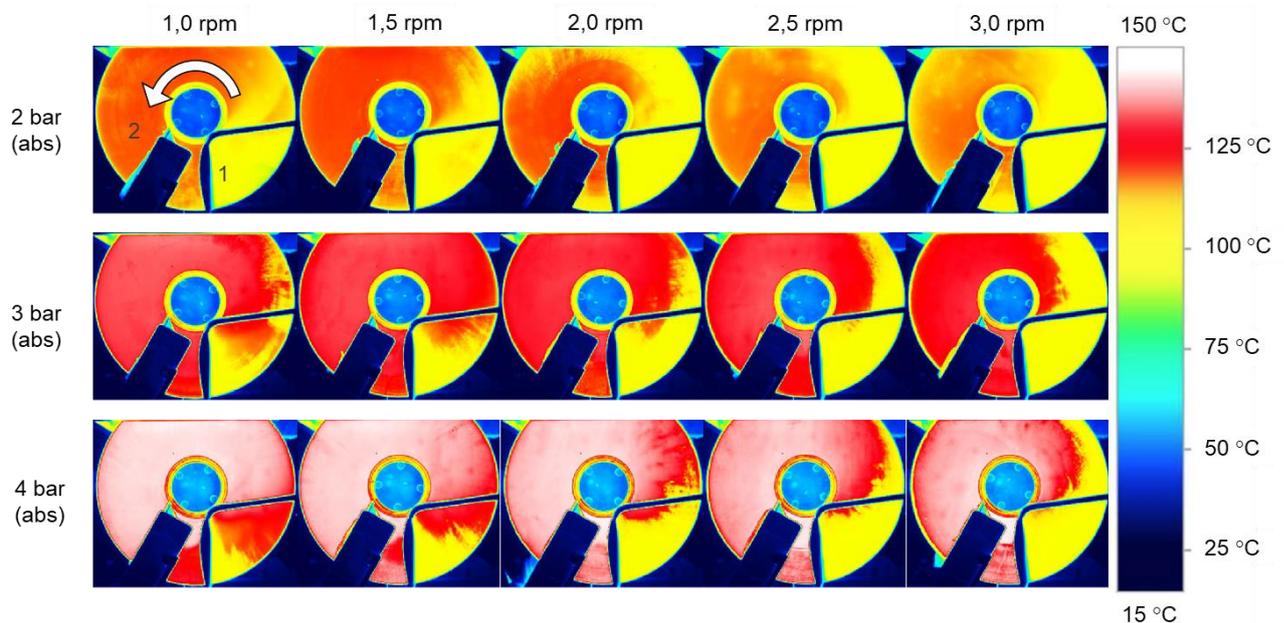


Bild 7: Wärmebildaufnahmen des am CDry 501 lab getrockneten 36-prozentigem Magermilchkonzentrat in Abhängigkeit von Druck und Drehzahl.

Auf der Position 1 (Bild 7, oben links) wird das Produkt mit ca. 25°C auf die Trocknungsscheibe aufgetragen. Es ist deutlich zu erkennen, dass im Bereich direkt nach dem Auftragen der Flüssigkeit, die niedrigsten Temperaturen auftreten. Durch das Erwärmen der Flüssigkeit und der anschließenden Wasserverdampfung, wird der Scheibe im Bereich nach dem Auftragen der Flüssigkeit am stärksten gekühlt. Im Verlauf der Rotation (gegen den Uhrzeigersinn) steigt die Produkttemperatur an und das Trockengut verliert an Feuchte. Nachdem das freie Wasser verdampft ist, erwärmt sich das Produkt auf die gewünschte oder zugelassene Produktendtemperatur, welche in Relation zur gewünschten Produktfeuchte steht. Die Oberflächentemperatur der Scheibe liegt etwas unterhalb der Satttdampfetemperatur des verwendeten Heizdampfes. Die Trocknungsfrent ist deutlich zu erkennen und bildet sich am Randbereich zunächst etwas weiter aus als im inneren Bereich der Scheibe. Bis zu dem Punkt, an dem das Trockengut von den Messern abgetragen wird, hat sich die Produktfeuchte über dem Radius ausgeglichen. Bei Industrieanlagen mit größeren Scheibendurchmessern (900 und 1300mm) tritt dieser Effekt in den Hintergrund. Wegen der kurzen Verweilzeit des Produktes auf der beheizten Scheibe bis zum Abschaben, nimmt das Produkt nicht die maximale

Temperatur der Scheibenoberfläche an. Die Verdunstung der Feuchte bewirkt eine Kühlung des Produktes, solange es noch feucht ist und damit eine Limitierung auf die maximal zugelassene Feststofftemperatur (Bild 7 oben links, Position 2).

Aus den Wärmebildaufnahmen in Bild 7 ist zu erkennen, dass die auftretenden Produkttemperaturen mit steigendem Heizdampfdruck zunehmen. Ebenso sind die Auswirkungen der Scheibendrehzahl auf die Temperaturverläufe ersichtlich. Je geringer die Drehzahl der Scheibe ist, desto früher trocknet das Gut auf der Scheibe ab und umso eher im Rotationsverlauf erwärmt sich die Oberfläche.

Diese Darstellung belegt anschaulich, dass die thermische Beanspruchung des Produktes durch die Auswahl des Heizdampfdrucks und der Scheibendrehzahl präzise eingestellt werden kann. Der Allgaier CDry kann sowohl produktschonend trocknen als auch mit hohem thermischem Eintrag gezielt höhere Produkttemperaturen erreichen.

3.1.2 Maximale Produkttemperatur während der Trocknung

Ergänzend zu den Wärmebildaufnahmen wurden die maximal und kurzzeitig auftretenden Produkttemperaturen bei der Trocknung untersucht. Diese sind vor allem für thermisch sensible Produkte, jedoch auch für die gezielte Hitzebeanspruchung von Bedeutung. Die maximalen Temperaturen wurden unmittelbar vor dem Abschaben mit einem Infrarotpyrometer aufgenommen.

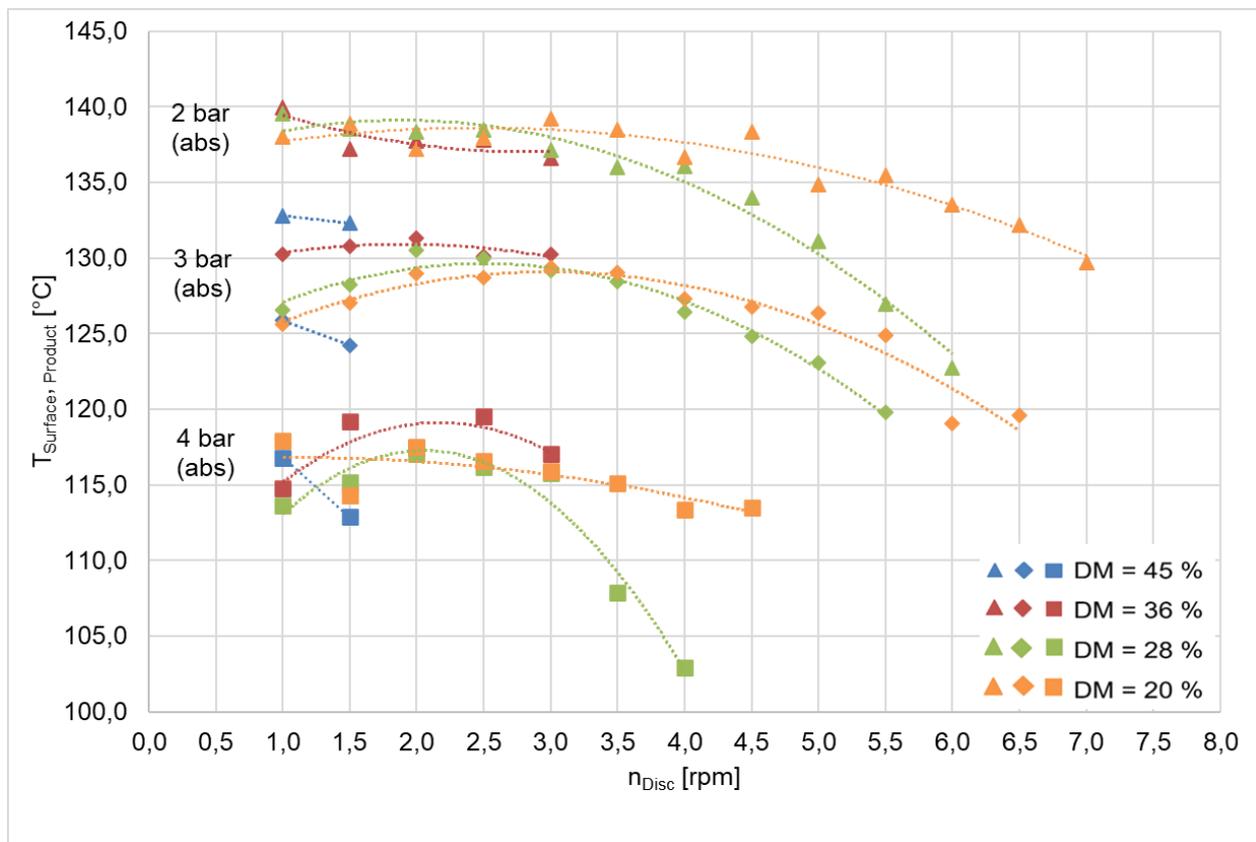


Diagramm 1: Maximale, zum Ende der Trocknung kurzzeitig auftretende Produkttemperatur

Die Ergebnisse zeigen, dass sich der Heizdampfdruck sowie die Scheibendrehzahl stark auf die maximal auftretenden Produkttemperaturen auswirken. Die Oberflächentemperaturen der Scheiben liegen aufgrund der geringen Wandstärken der Trocknungsscheiben jeweils knapp unterhalb des Heizdampfdrucks. Mit abnehmendem Druck sowie auch mit steigender Scheibendrehzahl und damit geringerer Kontaktzeit zwischen Produkt und heißer Trocknungsscheibe nimmt die maximale Produkttemperatur ab. Die Vorkonzentrierung der Milch hat dagegen kaum einen Einfluss auf die maximale Temperatur gezeigt. Bei höheren Drehzahlen wirkt die höhere Viskosität des Konzentrates durch die stärkerer Vorkonzentrierung eine weiter erhöhte Schichtdicke und damit eine unvollständige Trocknung die sich in einer abnehmenden Produkttemperatur zeigt.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass im CDry die Hitzeeinwirkung auf das Produkt durch die Kombination von Temperatur und Verweilzeit reproduzierbar eingestellt werden kann. Damit können gezielt temperaturbeeinflusste Produkteigenschaften erzeugt werden. Dies eröffnet der Lebensmittelindustrie interessante Möglichkeiten, Pulver mit individuellen Charakteristika zu entwickeln und damit Endprodukte (diverse Schokoladen, Milchgetränke, Joghurts etc.) in ihrer Sensorik gezielt zu beeinflussen.

3.1.3 Restfeuchte

Die Restfeuchte im Pulverprodukt ist ein sehr wichtiges Kriterium, welches je nach Einsatzzweck des Pulvers in einem sehr engen Bereich spezifiziert wird, zudem ist es ein wichtiger Einflussfaktor auf die Verderblichkeit und Lagerstabilität des Pulvers. Insbesondere beim Einsatz in oleophilen Systemen wie Schokoladen, ist eine sehr geringe Restfeuchte erwünscht, da das Milchpulver die Haupteintragsquelle von Wasser darstellt und dies die Viskosität und die notwendige Conchierdauer auf unerwünschter Weise erhöht [14]. Werden die Milchpulver dagegen in wässrigen Systemen eingesetzt, spielt der Wassergehalt eine eher untergeordnete Rolle. Üblich und für eine gute Lagerstabilität gewünscht sind Produktfeuchten im Bereich von 1,5 bis 5% [15].

Die Restfeuchten, der mit dem CDry getrockneten Milchpulver, wurden mittels einer Infrarotfeuchtwage ermittelt. Für die Feuchtebestimmung wurden ca. 5,0 g der hergestellten Trockenmilchprodukte grob zerkleinert und auf Aluminiumprobenschalen verteilt. Die Trocknung erfolgte bei einer eingestellten Temperatur von 102°C. Als Abschaltkriterium wurde eine Massedifferenz $\leq 1 \text{ mg}/140 \text{ s}$ gewählt.

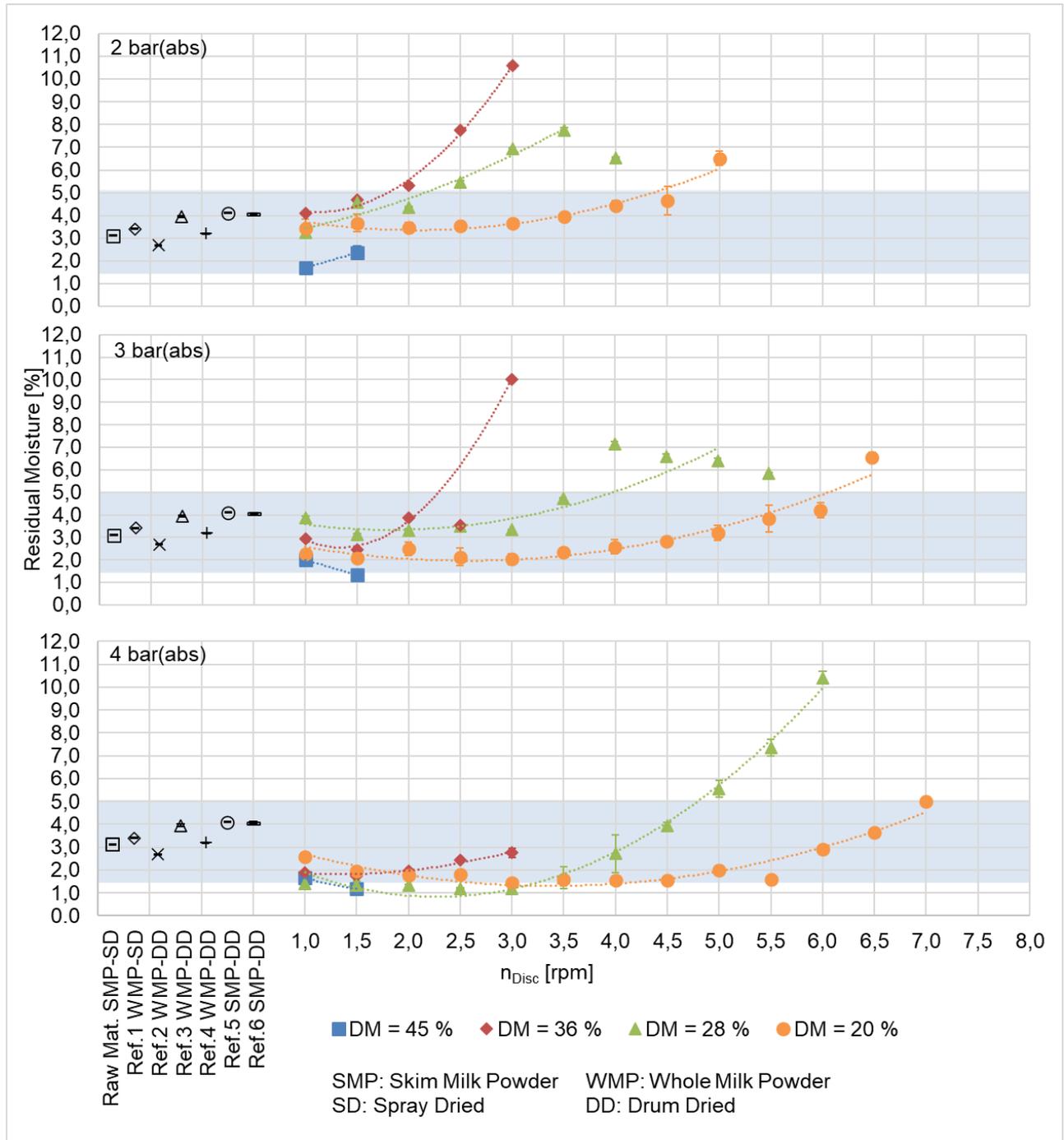


Diagramm 2: Restfeuchten der am CDry getrockneten Magermilchkonzentrate und Referenzproben

Der im Diagramm blau markierte Bereich zeigt den Bereich der Restfeuchte an, der bei der Herstellung von handelsüblichen Milchpulvern angestrebt wird (1,5-5,0 %). Neben den Ergebnissen der am CDry hergestellten Produkten, sind außerdem die Referenzproben am Markt gehandelter Milchpulver im Diagramm dargestellt. Es konnten Einflüsse vom Dampfdruck, von der Scheibengeschwindigkeit und vom Feststoffgehalt der Konzentrate auf die Restfeuchte der hergestellten Trockenprodukte ermittelt werden. Übergreifend ist in allen

drei Diagrammen zu erkennen, dass die mit dem CDry hergestellten Proben den Bereich der marktüblichen Vergleichsproben erreichen. Darüber hinaus kann die Restfeuchte wahlweise gezielt unter- oder überschritten werden – je nach Einstellung von Heizdampfdruck und Scheibendrehzahl. Die Diagramme zeigen über alle Konzentrationsstufen und Heizdampfdrücke hinweg, dass eine Erhöhung der Scheibendrehzahl und der daraus resultierenden Verringerung der Verweilzeit erwartungsgemäß eine Erhöhung der Restfeuchte bewirkt. Ebenso bewirkt die Erhöhung des Heizdampfdrucks eine Verringerung der Restfeuchte. Der erwünschte Trockengrad der hergestellten Produkte kann reproduzierbar eingestellt werden.

3.1.4 Schüttdichte

Die Schüttdichte ist neben der Restfeuchte ein weiterer wichtiger Parameter, der großen Einfluss auf die nachfolgende Verarbeitbarkeit des Pulvers hat. Beim Anmischen von Schokoladengrundmassen oder wässrigen Milchpulverlösungen ist eine hohe Schüttdichte grundsätzlich technologisch vorteilhaft. Bei höheren Schüttdichten liegen kleinere Partikel vor, welche sich schneller und gleichmäßiger in anderen Matrices verteilen und auflösen. Ebenso ist für den Transport eine möglichst hohe Schüttdichte erstrebenswert, da in diesem Fall das Transportvolumen geringer ausfällt [15].

Zur Bestimmung der Schüttdichten der mit dem CDry hergestellten Milchpulver wurden diese zunächst mittels einer Feinmühle zerkleinert. Für eine optimale Vergleichbarkeit wurden die Proben sowie die Referenzproben gesiebt und die Partikelfraktion $100\ \mu\text{m} < x < 300\ \mu\text{m}$ analysiert. Das erfolgte, um eine Vergleichbarkeit mit den Beispielproben vom Markt bzw. deren üblichen Partikelgrößen zu ermöglichen. Die Untersuchung der Schüttdichten erfolgte mittels eines Schüttdichtenmessgeräts, in dem die Pulverprobe mittels einer Vorrichtung in ein Gefäß mit definiertem Volumen überführt und abgezogen wird. Nach dem Ermitteln der überführten Pulvermasse erfolgte die Berechnung der Schüttdichte.

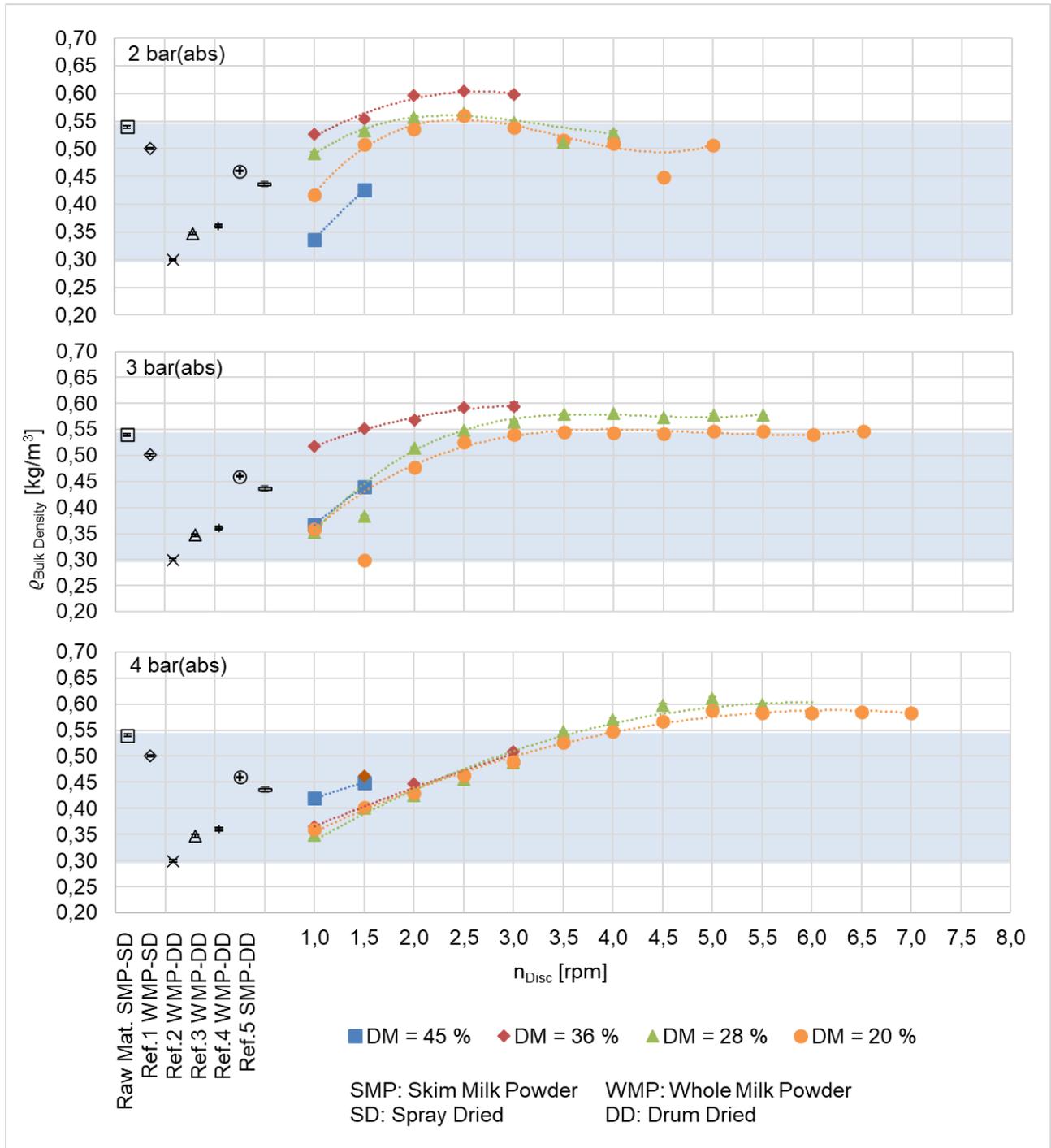


Diagramm 3: Schüttdichten der getrockneten Magermilchkonzentrate und Referenzproben.

Der blau markierte Bereich zeigt auch hier wieder den Bereich, in dem marktübliche Vergleichsprodukte liegen. Bei den Referenzproben zeigt sich, dass sprühtrocknete Pulver aufgrund der homogenen Partikelform [8] und Partikelgrößenverteilung höhere Schüttdichten als walzengetrocknete Pulver aufweisen. Bei den walzengetrockneten Referenzproben hatten Vollmilchpulver eher geringere Schüttdichten als Magermilchpulver. Es zeigte sich, dass die Scheibendrehzahl einen Einfluss auf die Schüttdichte hat. Die

Vorkonzentrierung und der Dampfdruck haben dagegen keinen Einfluss auf die Schüttdichte. Der CDry bietet gegenüber Konkurrenztechnologien also auch hier Vorteile: Bei allen dargestellten Dampfdrücken kann die Schüttdichte mit Hilfe der Drehzahl sehr variabel eingestellt werden. Durch die Auswahl der entsprechenden Drehzahleinstellung können typische Schüttdichten von sprüh- und walzengetrocknetem Pulver sowohl erreicht als auch leicht höhere Schüttdichten erzielt werden.

3.1.5 Löslichkeit

Abhängig von der Weiterverarbeitung und dem Einsatzzweck des Pulvers ist die Löslichkeit eine weitere wichtige Produkteigenschaft. Wird das Pulver innerhalb der weiteren Verarbeitung in Wasser aufgelöst, sorgt eine gute Löslichkeit für eine vollständige Rehydratation. In Anwendungen, in denen das Milchpulver innerhalb von fettbasierten Emulsionen eingesetzt wird, beispielsweise bei Schokoladenprodukten, ist die Löslichkeit dagegen von eher untergeordneter Bedeutung.

Die Löslichkeit der hergestellten Milchpulver wurde anhand der Methodik von Bassler [11, 16] analysiert. Bei dieser Messung werden Pulver mit temperiertem Wasser gelöst und zentrifugiert. Der Überstand wird entfernt, mit temperiertem Wasser aufgefüllt und erneut zentrifugiert. Der „Insolubility Index“ ist ein Kennwert zur Löslichkeit von Pulvern in Wasser und wird als das Volumen des Sediments in Milliliter [ml] nach dem Zentrifugieren angegeben. Zur optimalen Vergleichbarkeit mit den Referenzproben wurden auch hier nur die Partikelfractionen $100 \mu\text{m} < x < 300 \mu\text{m}$ untersucht.

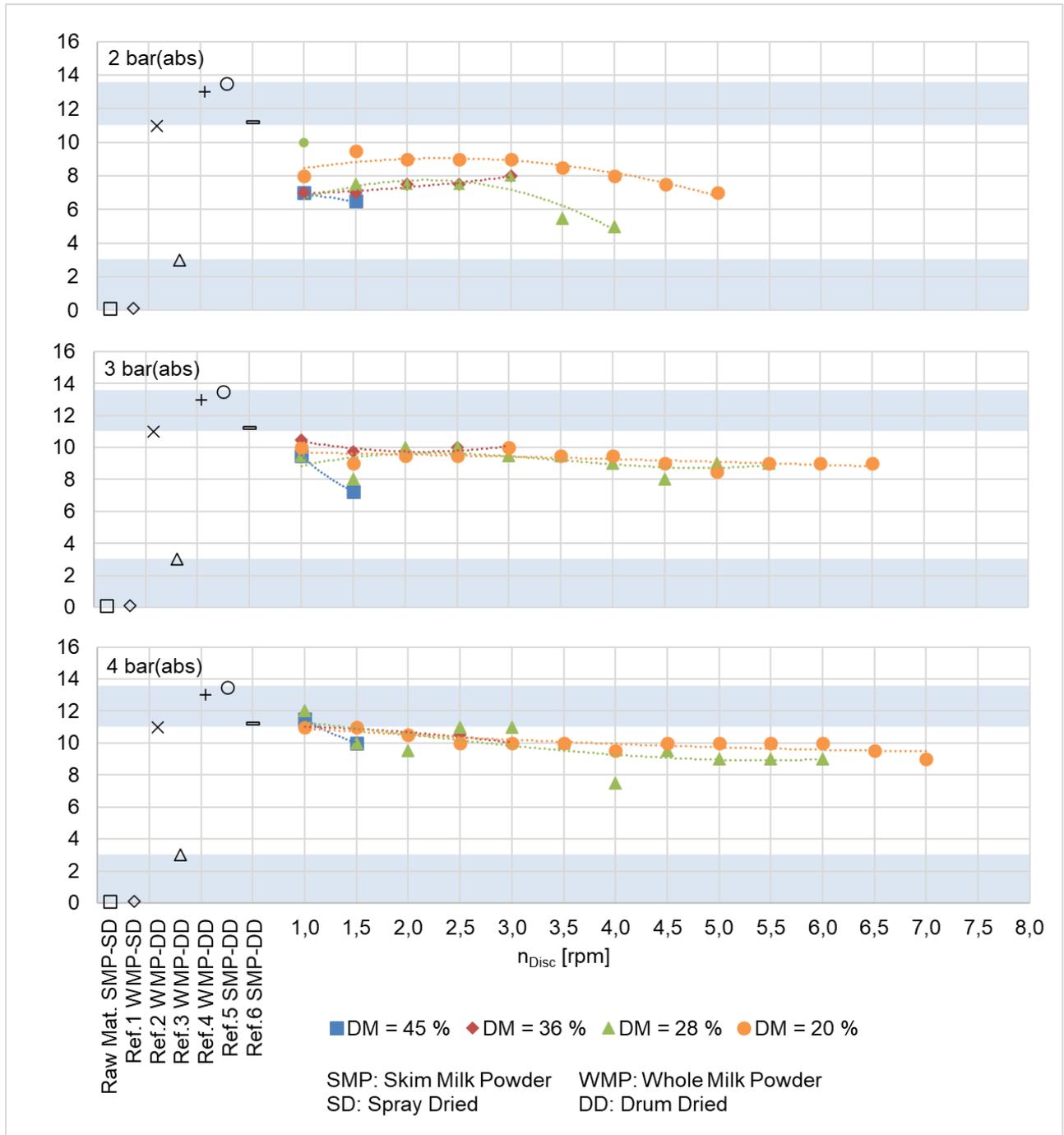


Diagramm 4: Löslichkeiten der getrockneten Magermilchkonzentrate und Referenzproben.

Bei den Referenzproben zeigt sich die Tendenz, dass die sprühgetrockneten Pulver eine bessere Löslichkeit besitzen als walzengetrocknete Milchpulver. Die Löslichkeit der mit dem CDry getrockneten Pulverproben ist eher im Bereich von walzengetrockneten Milchpulvern einzuordnen. Jedoch kann die Löslichkeit durch eine Erhöhung der Drehzahl, vor allem bei niedrigen Dampfdrücken, gegenüber den walzengetrockneten Referenzpulvern deutlich verbessert werden.

3.1.6 Farbmessung

Die Messung der Farbe der hergestellten Pulver sind besonders im Hinblick auf eine stattfindende Hitzebeanspruchung und Karamellisierungsreaktion sowie der Bewertung derer Intensitäten von großem Interesse. Die Farbe von Milchpulvern spielt in der Praxis in solchen Anwendungen eine Rolle, bei denen die Farbe eine bedeutsame Eigenschaft darstellt, beispielsweise beim Einsatz in weißen Instantdrinks oder weißer Schokolade oder aber auch beim Einsatz in gebräunten Produkten wie Eiscreme oder Pralinen.

Die Farbmessungen erfolgten mittels eines L*a*b-Farbmessgerätes und der entsprechenden Farbmessvorrichtung für pulverförmige Proben. Exemplarisch ist hier der L-Wert verschiedener Magermilchkonzentraten in Abhängigkeit von der Drehzahl dargestellt. Auch hier wurden Partikel von $100 \mu\text{m} < x < 300 \mu\text{m}$ untersucht.

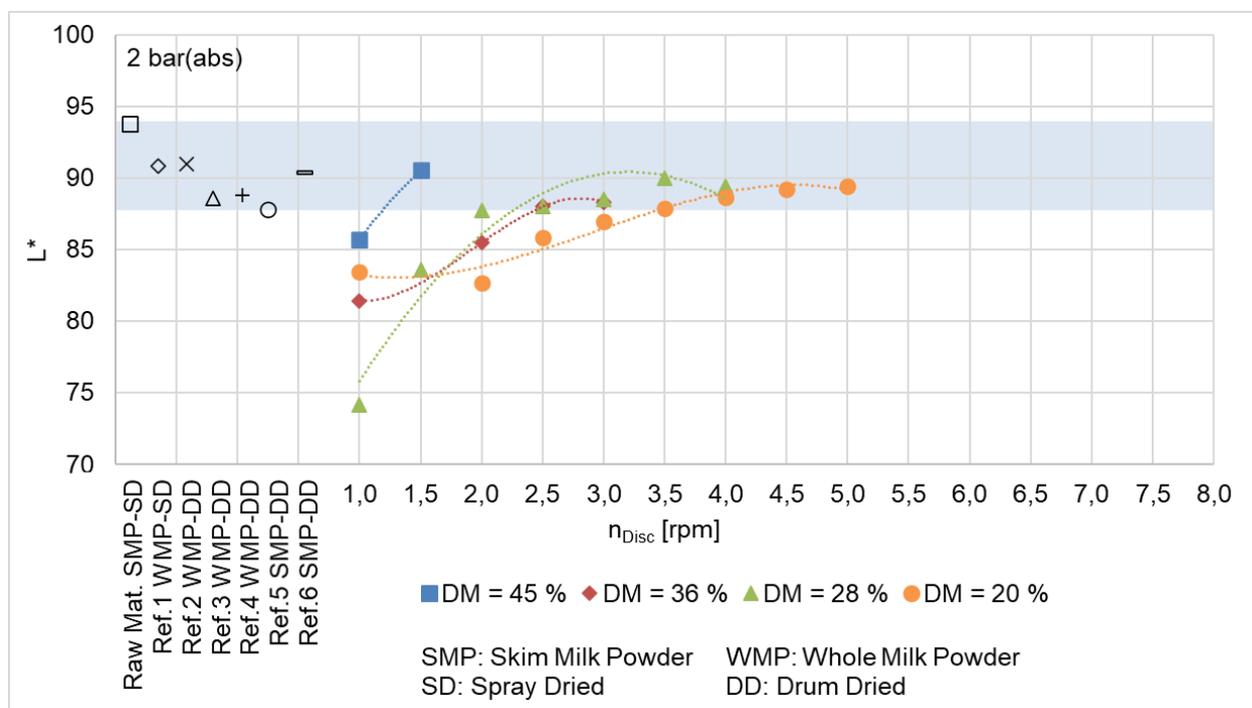


Diagramm 5: Helligkeiten (L-Wert) der am CDry getrockneten Magermilchkonzentrate und Referenzproben.

Die Untersuchungen zeigen, dass sich die Scheibendrehzahl auf die Helligkeit der hergestellten Pulver auswirkt, während sich die Vorkonzentrierung eher gering auswirkt. Bei hohen Scheibendrehzahlen, also kurzer Trocknungsdauer, zeigt sich, dass das entstehende Produkt nur geringfügig dunkler als der Rohstoff ist. Der Unterschied ist bemerkenswert gering, wenn man bedenkt, dass das Trockengut wegen der Herstellung der rekonstituierten Milchkonzentrate aus zunächst schon sprühgetrocknetem Pulver mehrfacher Hitzebelastung ausgesetzt war. Bei hohen Drehzahlen gibt es, abgesehen vom Rohstoff, keinen Unterschied zwischen den CDry-Produkten und den Referenzproben. Eine stärkere Bräunung des Pulvers tritt insbesondere bei niedrigen Drehzahlen auf. Somit kann die Helligkeit des Pulvers gezielt mit Hilfe der Drehzahl beeinflusst werden. Da die Farbveränderungen im Pulver zum Großteil durch entstehende Produkte der Maillard-Reaktion verursacht werden [17], belegt dies, dass mit dem CDry eine gezielte Bräunung und Karamellisierung der Milchpulver erreicht werden kann.

3.1.7 HMF Gehalt

Neben der Farbveränderung ist der Gesamtgehalt an 5-Hydroxymethyl-Furfural (HMF) ein wichtiger chemischer Marker, der die Hitzebeanspruchung von Milchpulver abbildet. Zudem ist HMF innerhalb der Maillard-Reaktion ein guter Marker der voranschreitenden Aromatisierung sowie der erreichten Karamellisierung der Milchproteine und Milchzucker während der Trocknung [18]. Das Bundesinstitut für Risikobewertung sieht in seiner Stellungnahme von 2011 kein besonders ausgeprägtes toxisches Potential in HMF, da es in großen Mengen unter anderem auch in Trockenfrüchten und Kaffee vorkommt. Da jedoch die Studienlage zu einer möglichen Kanzerogenität von HMF international divergierend ist, wird in sensiblen Produkten wie beispielsweise Babynahrung ein möglichst geringer HMF-Gehalt angestrebt [19]. Hinzu kommt der Verlust des Gehaltes der essenziellen Aminosäure Lysin infolge der Maillard-Reaktion.

Die Bestimmung des gesamt HMF-Gehaltes erfolgte nach der HPLC-DAD Methode von Hurtado et al. [20] mit einer geringfügigen Modifikationen nach Tritscher [21]. Da die Probenkapazität begrenzt war, wurden nur Proben ausgehend von einem Magermilchrekonstitutat mit 36% TS, welches bei 2 bar(abs) und 1-3 Scheiben-Umdrehungen pro Minute getrocknet wurde, untersucht.

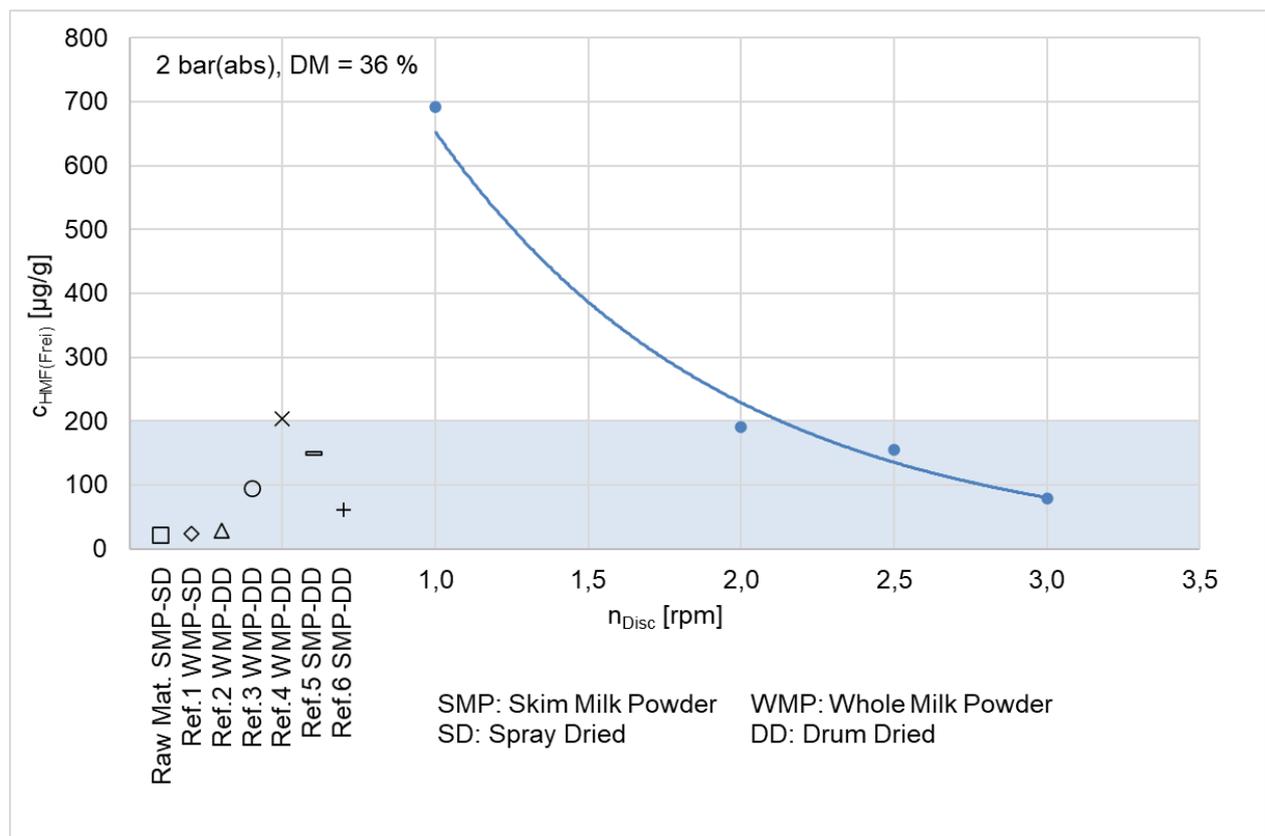


Diagramm 6: HMF-Gehälter der am CDry getrockneten Magermilchkonzentrate und Referenzproben.

Die sprühtrockneten Referenzproben besitzen einen sehr geringen gesamt HMF-Gehalt, welcher unterhalb derer walzengetrockneter Pulver liegt. Dies bestätigt, dass die Sprühtrocknung tendenziell mit weniger Hitzebeanspruchung abläuft als die Walzentrocknung. Die HMF-Gehalte der CDry-Proben zeigen eine starke Abhängigkeit von der Drehzahl. Bei niedriger Drehzahl und damit längerer Trocknungsdauer zeigen sich hohe HMF-Gehalte. Dies zeigt, dass die CDry-Technologie die Möglichkeit bietet, hohe und sehr hohe thermische

Wirkungen auf das Pulver auszuüben und damit gezielt Aromen im Pulver zu erzeugen. Ebenso bietet der CDry aber auch die Möglichkeit, durch eine Erhöhung der Drehzahl und eine damit kürzere Trocknungsdauer sehr schonend zu trocknen. Oberhalb von zwei Umdrehungen pro Minute konnte kein Unterschied der HMF-Gehalte zu anderen walzengetrockneten Pulvern mehr festgestellt werden. Unter Einhaltung einer maximalen Restfeuchte von 5% konnten die Drehzahlen auf bis zu fünf Umdrehungen pro Minute gesteigert werden. Leider konnten diese Proben aufgrund der begrenzten Analysekapazität nicht untersucht werden. Basierend auf den drehzahlabhängigen Temperaturverteilungen (Bild 7) darf vermutet werden, dass die HMF-Konzentration mit steigender Drehzahl weiter absinken wird. Mit Hilfe der Drehzahl kann also sowohl schonend getrocknet werden als auch karamellisiertes Milchpulver hergestellt werden. Dies bietet Spezialitätenherstellern vielfältige Möglichkeiten zur Produktindividualisierung.

3.2 Versuche mit rekonstituierter Vollmilch

3.2.1 Schmutzbild

Das Schmutzbild ist bei der Beurteilung der Pulverqualität eine weitere entscheidende Eigenschaft. Verbrannte Partikel im Milchpulver oder den daraus hergestellten Produkten, stoßen insbesondere bei hellen Endprodukten auf Ablehnung beim Konsumenten und sind daher zu vermeiden oder auf ein Minimum zu reduzieren.

Die Ermittlung des Schmutzbildes erfolgte nach der American Dairy Product Institute (ADPI) Scorched Particle Method, bei der das Probenpulver gelöst, gereinigt und filtriert wird. Das Schmutzbild auf dem Filterpapier wird anhand von Referenzproben in Kategorien von A-D eingeordnet. Als Rohstoff diente ein rekonstituiertes 36-prozentiges Vollmilchkonzentrat.

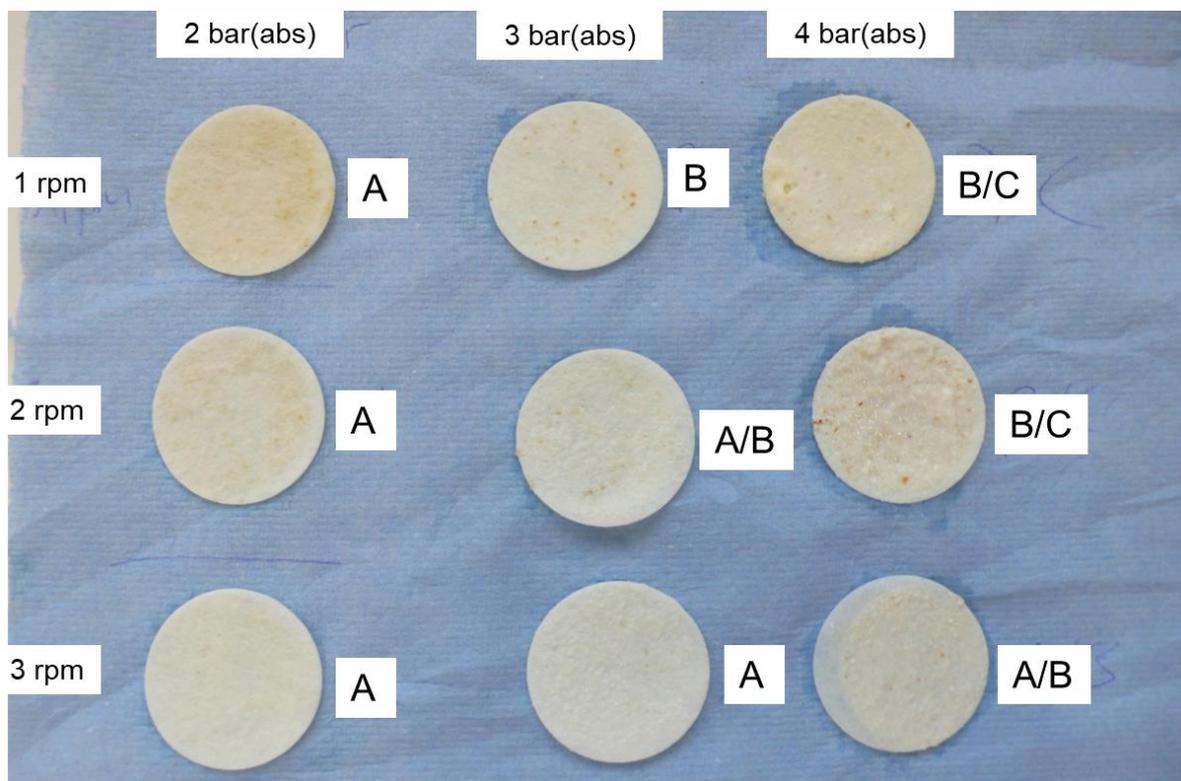


Bild 8: Schmutzbilder (ADPI-Methode) der am CDry getrockneten Vollmilchmilchkonzentrate

An den Ergebnissen zum Schmutzbild ist zu erkennen, dass mit höherem Heizdampfdruck und geringerer Scheibendrehzahl der Schmutzgrad tendenziell zunimmt. Die besten Ergebnisse werden erzielt, wenn bei niedrigen Dampfdrücken und hohen Drehzahlen getrocknet wird. In der Regel werden für sprühgetrocknete Pulver mindestens die Kategorie B und für kontaktgetrocknete Pulver mindestens die Kategorie C spezifiziert. Insgesamt befinden sich also alle Proben in einem für Kontaktrockner sehr guten Bereich. Dies ist vor allem den sehr effektiv arbeitenden Schabern am CDry food zu verdanken, welche das getrocknete Produkt zuverlässig von den Trocknerscheiben entfernen.

3.2.2 Freifettanteil

Der Freifettanteil spielt vor allem bei der Anwendung des Pulvers in Schokoladenprodukten eine große Rolle. Ein hoher Freifettanteil verbessert die sensorischen Eigenschaften des Pulvers und sorgt für einen geringeren Energieverbrauch beim Conchieren [12]. Da der allgemeine Trend am Markt verstärkt zu hochwertigen Schokoladenprodukten geht, kommt dem Freifettanteil ebenfalls eine steigende Bedeutung zu.

Der Anteil des freien Fettes wurde durch eine Extraktion mit Diethylether in der Soxhlet-Apparatur nach DIN 12602 und anschließender Abdestillation des Lösemittels ermittelt. Der Gesamtfettgehalt wurde nach der Methode von Röse-Gottlieb ermittelt. Untersucht wurde ein aus einem sprühgetrockneten Pulver rekonstituiertes Vollmilchkonzentrat mit einem Trockenmassegehalt von 36 %, welches mit dem CDry bei einem Heizdampfdruck von 4 bar(abs) getrocknet wurde.

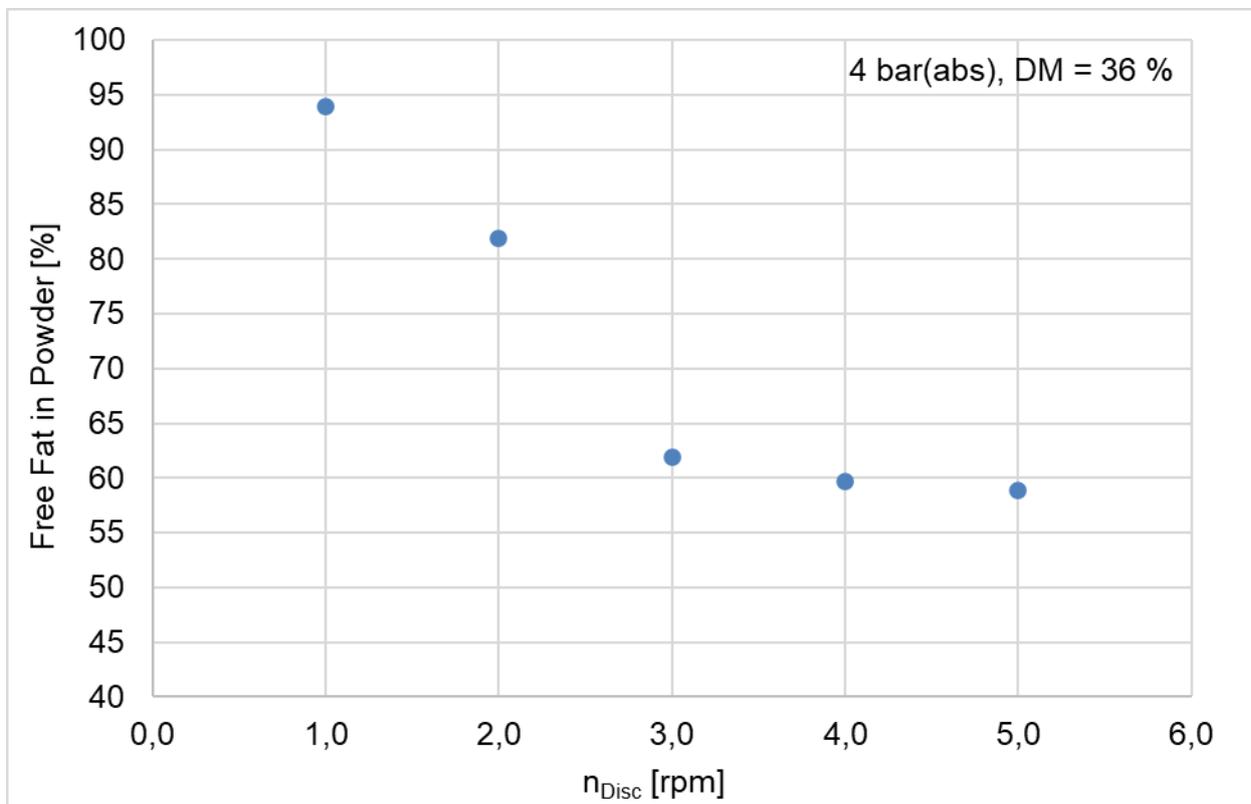


Diagramm 7: Freifettanteil der am CDry getrockneten Vollmilchkonzentrate in Abhängigkeit von der Scheibendrehzahl.

Der gesamte Fettanteil im Vollmilchpulver liegt bei ca. 26 % bezogen auf die Trockenmasse, während der freie Fettanteil zwischen 59,7 % und 93,3 % variierte. Der freie Fettanteil zeigt eine starke Abhängigkeit von der Drehzahl. Je höher die Drehzahl eingestellt wurde, desto niedriger war der Freifettanteil. Damit bietet sich vor allem für die Schokoladenindustrie eine sehr interessante Individualisierungsmöglichkeit für unterschiedlichste Endprodukte.

3.3 Versuche mit Molkenkonzentrat

3.3.1 Einfluss der Trocknung auf die Keimbelastung

Die Keimbelastung im Pulver hat in Kombination mit der Feuchte bzw. der Wasseraktivität im Pulver einen sehr großen Einfluss auf die Lagerstabilität und die Haltbarkeit der Produkte [8]. Zudem ist je nach Anwendung, z.B. beim Einsatz in Babynahrung oder Wurstprodukten, eine hohe Ausgangskeimbelastung problematisch. Eine möglichst starke Reduktion der Keimbelastung durch den Trocknungsschritt ist damit sehr wünschenswert.

Zur Bestimmung der Keimzahlreduktion wurde ein Molkenkonzentrat mit ca. 10 % TS als Flüssigprodukt vor der Trocknung untersucht sowie auch das Pulver nach der Trocknung mit dem CDry. Getrocknet wurde bei 3 bar(abs) und bei 2 Scheibenumdrehungen pro Minute.

	Konzentrat vor Trocknung [KBE]	Pulver nach Trocknung [KBE]	Methode
Gesamtkeimzahl	2,3*10 ⁹	2*10 ³	MUVA-MET509 nach L00.0-88/1:2015-06, ASU gem. §64 LFGB
Thermophile Keime	< 10	< 10	MUVA-MET552 Rev. 3 2020-04(a)
Hefen	3,2*10 ⁴	< 10	MUVA-MET543 nach L01.00-37:1991-12. ASU gem. §64 LFGB (a)
Schimmelpilze	< 10	< 10	MUVA-MET543 nach L01.00-37:1991-12. ASU gem. §64 LFGB (a)

Aerobe Sporenbildner	$> 3 \cdot 10^7$	$< 10^3$	MUVA-MET526 nach VDLUFA M7.17.2:1993 (2. Erg) (a)
Coliforme Keime	$> 2 \cdot 10^7$	< 10	MUVA-MET533 nach L01.00-3:1987-03 ASU gemäß §64 LFGB (a)
Thermophile aerobe Sporenbildner	< 100	< 10	MUVA-MET595 nach VDLUFA M7.17.2: 1993 (2.Erg.) (a)

Tabelle 1: Keimzahlreduzierung durch die Trocknung von Molkenkonzentrat mit dem CDry.

Mit $2,3 \cdot 10^9$ KBE lag vor allem die Gesamtkeimzahl vor der Trocknung sehr hoch. Nach der Trocknung waren alle untersuchten Keimraten deutlich vermindert. Die Gesamtkeimzahl wurde um ca. 6 log-Stufen auf $2 \cdot 10^3$ KBE reduziert. Die Anzahl an Coliformen Keimen, welche beim Menschen schwere Magen-Darmerkrankungen auslösen können, war mit $> 2 \cdot 10^7$ KBE vor der Trocknung besonders hoch. Auch hier konnte eine zuverlässige Reduktion um ca. 7 log-Stufen erreicht werden. In Verbindung mit den geringen Restfeuchten kann somit eine mikrobiologische Stabilität der produzierten Pulver auch bei hohen Ausgangskeimzahlen erwartet werden. Da die erreichten Werte stark von der Produktzusammensetzung abhängen, können sie nicht ohne Weiteres auf andere Produkte oder auf andere, z.B. großtechnische Produktionsbedingungen übertragen werden, zeigen jedoch gut eine Tendenz auf.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Der Kontakt-Scheiben-Trockner CDry zur Trocknung von Flüssigkeiten, wurde von Allgaier auf der AICHEMA 2018 präsentiert und im Rahmen des AICHEMA Innovation Awards mit einer Platzierung in der Short List ausgezeichnet. Seit dem wurde der CDry in der chemischen Industrie erfolgreich etabliert.

Die innovative Technologie ist ab sofort vollumfänglich auch für die Nahrungsmittelindustrie verfügbar. Unter Beibehaltung der bewährten Funktionsprinzipien wurde der Trockner aufwändig und unter strikter Berücksichtigung der aktuellen Hygienic Design Guidelines der EHEDG für den Lebensmittelbereich weiterentwickelt.

Der CDry food erfüllt alle Anforderungen an eine moderne, sichere und leicht zu reinigende Trocknungsanlage für die Lebensmittelindustrie. In Zusammenarbeit mit dem Institut für Lebensmittelverfahrenstechnik und Pulvertechnologie der Universität Hohenheim, der Hochschule Neubrandenburg sowie mehreren Industriepartnern wurden ausführliche Versuchsreihen zur Trocknung von Magermilch- und Vollmilchkonzentraten durchgeführt. Innerhalb dieser Versuche wurden Einflüsse wie die Scheibentemperatur, die Scheibendrehzahl bzw. Trocknungsdauer sowie eine Vorkonzentrierung des zu trocknenden Milchkonzentrates auf die erzielten Pulvereigenschaften untersucht und ausgewertet. Ermittelt wurden die Einflüsse der genannten Prozessparameter auf für die Lebensmittelindustrie relevante Pulvereigenschaften wie Restfeuchte, Schüttdichte, Löslichkeit und Farbe. Der HMF-Gehalt und die Farbveränderungen im Trockenprodukt lassen Rückschlüsse auf die Intensität der bei der Trocknung ablaufenden Maillard- bzw. Karamellisierungsreaktionen zu. Die Untersuchungen der HMF-Gehalte bestätigen, dass je nach Einstellung der Prozessparameter mit dem CDry food sowohl schonend getrocknet als auch eine gezielte Karamellisierung und Aromatisierung des Milchpulvers erreicht werden kann. An den hergestellten Vollmilch-Pulverproben wurden zudem der Freifettanteil und das Schmutzbild bestimmt. Anhand der Trocknung eines Molkenkonzentrats wurde die Keimzahlreduzierung durch den Trocknungsprozess untersucht.

Die Untersuchungen zeigen, dass sich der CDry sehr gut zur Trocknung von milchbasierten Produkten eignet. Die im Milchbereich üblicherweise spezifizierten Eigenschaften können reproduzierbar eingestellt werden. Zudem gehen die erzielbaren Pulvereigenschaften über die mit konventionellen Verfahren erreichbaren Eigenschaften hinaus, was Produzenten vielfältige Individualisierungsmöglichkeiten der herzustellenden Pulver und Endprodukte bietet. Die Untersuchungen zur Milchtrocknung dienen als ein Beispiel für die vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten des CDry in der Lebensmittelindustrie.

5 Referenzen

1. M. Trojosky, Jahrestreffen ProcessNet Trocknungstechnik: Trocknung industrieller Abwässer mit dem CDry (Essen, 18.-20.3.2019).
2. M. Trojosky, Trocknung von Deponiesickerwasser mit dem CDry (Hannover, 2018).
3. M. Trojosky, Aufbereitung und Recycling: Trocknung von Deponiesickerwasser mit dem CDry (Freiberg, Sachsen, 2018).
4. M. Trojosky, AT Minerals Processing, 60 (2019).
5. M. Trojosky, F. Buchele, and M. Wettring, Entsorga, 38 (2019).
6. J. Sumner, International Journal of Dairy Technology 65, 3 (2012).
7. C. RAMIREZ, M. PATEL, and K. BLOK, Energy 31, 12 (2006).
8. E. Spreer, Technologie der Milchverarbeitung (Behr's Verlag, Hamburg, 2018) [ger].
9. A. Kilara and R. C. Chandan, Dairy ingredients for food processing (Wiley-Blackwell, Hoboken, N.J, 2011) [eng].
10. H. Deeth and M. J. Lewis, High temperature processing of milk and milk products (John Wiley & Sons, Chichester, UK, Hoboken, NJ, 2017) [eng].
11. Encyclopedia of dairy sciences, Ed. by J. W. Fuquay, P. F. Fox, and P. L. H. McSweeney (Elsevier; Academic Press, Amsterdam, London, 2011) [eng].
12. K. Zürcher, International Review for Sugar and Confectionery 1976, 29 (3) (1976).
13. M. Hinderlich: Trocknen und Karamellisieren von Milch auf dem dampfbeheizten Allgaier Scheibentrockner im Technikumsmaßstab (Neubrandenburg, 2019).
14. Beckett's industrial chocolate manufacture and use, Ed. by S. T. Beckett, M. S. Fowler, and G. R. Ziegler (Wiley Blackwell, Chichester, West Sussex, UK, 2017) [eng].
15. E. Scheruhn: Einfluss ausgewählter Milchpulvercharakteristika auf die rheologischen Eigenschaften von kakaobutterhaltigen Suspensionen vom Typ Milkschokolade (Berlin, 2000).
16. C.-L. Riedel, Nahrung 41, 6 (1997).
17. A. Biolatto, A. Sancho, G. Grigioni, M. Irurueta, N. Pensel, and R. Paez, Ciencia y Tecnología Alimentaria 5 (2007).
18. Advanced dairy science and technology, Ed. by T. J. Britz and R. K. Robinson (Blackwell, Oxford, 2008) [eng].
19. Bundesinstitut für Risikobewertung: 5-HMF-Gehalte in Lebensmitteln sind nach derzeitigem wissenschaftlichen Kenntnisstand gesundheitlich unproblematisch: Stellungnahme Nr. 030/2011 des BfR vom 15. Mai 2011 (2011).
20. S. Albalá-Hurtado, M. T. Veciana-Nogués, M. Izquierdo-Pulido, and M. C. Vidal-Carou, Journal of Agricultural and Food Chemistry 45, 6 (1997).
21. D. Tritschler: Quantifizierung der chemischen Veränderung der Milch bei der Hochtemperatur-Kurzzeiterhitzung (Hohenheim, 2019).

WASCHEN

TROCKNEN

KÜHLEN

SIEBEN

SORTIEREN



Allgaier Process Technology

Kompetenz ist unsere Stärke

Der Geschäftsbereich Process Technology stellt sich jeden Tag aufs Neue den komplexen Anforderungen des Marktes. Mit den Kernmarken Allgaier, Mogensen, Gosag und Mozer sowie einer weltweiten Präsenz in über 30 Ländern liefert dieser Bereich sowohl standardisierte als auch individuell angefertigte Systeme und Anlagen zum industriellen Waschen, Trocknen, Kühlen, Sieben und Sortieren.

Basierend auf der Erfahrung aus über 20.000 Versuchsreihen bedient der Allgaier-Konzern mit seinen maßgeschneiderten Produkten seine mehr als 8.000 Kunden aus verarbeitender Industrie in einer Vielzahl von Branchen wie Chemie und Pharma, Nahrungs- und Futtermittel, Abfall- und Recycling, Bergbau und Metallurgie sowie Biobrennstoffe, Holz, Keramik, Kunststoffe, Steine und Erden.

Wir sind Generalist und Spezialist mit einem hohen Maß an Wissen und Verständnis für die individuellen Anforderungen unserer Kunden.

ALLGAIER PROCESS TECHNOLOGY GMBH

Ulmer Straße 75
73066 UHINGEN
Deutschland
Telefon: +49 7161 301-175
Telefax: +49 7161 34268
www.allgaier-process-technology.com
process-technology@allgaier-group.com