Wissenschaftsförderung
der Deutschen Brauwirtschaft e.V.

# 01IF21814N

## „Entwicklung eines Prozessvorhersage- sowie Optimierungstools für eine störungsfreie Kieselgurfiltration von Bier mittels NIR-Fingerprintings“


**Forschungseinrichtung I:** Technische Universität München
School of Life Sciences
Forschungsdepartment Life Science Engineering
Lehrstuhl für Brau- und Getränketechnologie
Institutsleiter: Prof. Dr. Thomas Becker
Projektleiter: Dipl.-Ing. Christoph Neugrodda

**Koordinierung:** Wissenschaftsförderung der Deutschen Brauwirtschaft e.V., Berlin
Dr. Erika Hinzmann



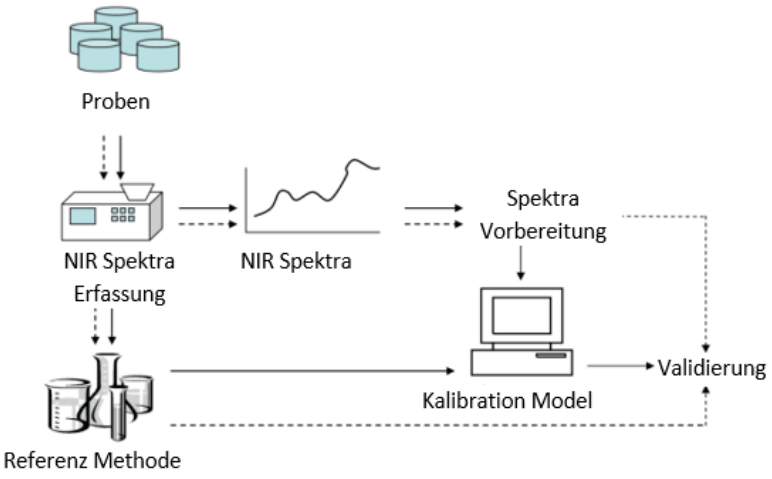
**Laufzeit:** 01. 07. 2021 – 31. 08. 2024
**Förderung durch das BMWK aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages**


**Ausgangssituation:**
In den vergangenen Jahrzehnten wurde Bier fast ausschließlich mit Kieselgur filtriert. Allein in Deutschland wurden 2024 82,6 Mio. hl Bier gebraut, wobei derzeit pro Hektoliter filtriertem Bier der Verbrauch von Kieselgur zwischen 90–300 g liegt. Die Filterleistung ist dabei von einem wechselseitigen Zusammenspiel aus der chemischen Zusammensetzung des Bieres und dem angewandten Prozessregime abhängig und kann über den verwendeten Kieselgureinsatz (Art und Menge) beeinflusst werden. Eine unzureichende Filterleistung resultiert meist nicht nur in höheren Filterhilfsmittelmengen, sondern bewirkt letztendlich eine Unterbrechung des Filtrationsprozesses. Derzeit treten Störungen im Filtrationsprozess aufgrund von Rohstoff- und saisonalen, betriebsbedingten Schwankungen in der Praxis häufig auf. Diese Ausfallzeiten könnten erheblich minimiert werden, wenn dem Brauer ein Analysentool zur Verfügung stünde, welches die zu erwartende Filtrierbarkeit des Bieres schnell und einfach im Praxisgebrauch vorhersagen könnte.

**Forschungsziel:**
Ziel des Forschungsvorhabens ist daher die Entwicklung eines Prozessvorhersage- sowie Optimierungstools zur frühzeitigen Vorhersage der erwarteten Bier-Filtrierbarkeit bei der Kieselguranschwemmfiltration mittels spektroskopischer Methoden. Die Methodenentwicklung zur Erfassung mannigfaltiger Variationen der Praxisapplikationen fand an Industrieproben statt. Das erstellte Vorhersagetool wurde danach anhand von gezielt hergestellten

Bieren im Pilotmaßstab verifiziert und anschließend im industriellen Maßstab die Belastbarkeit des aufgestellten Tools sowie der frühestmögliche Zeitpunkt der Vorhersage getestet. Abschließend sollte die Entwicklung einer Schnellvorhersage-Methodik und Übertragung auf eine praxistaugliche mobile NIR-Messeinheit erfolgen. Dies erlaubt den KMU Brauereien Filterhilfsmittelmengen prozessangepasst zu steuern und somit anfallende Anschaffungs- und Entsorgungsmengen sowie Kosten (Nachhaltigkeitsaspekt) deutlich zu reduzieren.

**Ergebnisse:**
Im ersten Schritt erfolgte die stoffliche Charakterisierung (nasschemisch) verschiedener Praxisproben und die entsprechende Aufnahme der NIR-Spektren im Labor. Die chemische Analyse zeigte signifikante negative Korrelationen zwischen der Filtrationsleistung und der Viskosität, der β-Glucankonzentration, der molaren Massenanteilen zwischen 50 – 100 kDa, der molaren Masse der Arabinoxylane und der Arabinoxylanmolekülgröße. Basierend auf diesen Ergebnissen kann geschlossen werden, dass der Konzentrationswert der Arabinoxylane kein geeigneter Indikator ist, da der Einfluss auf die Filtrierbarkeit vielmehr auf der molaren Masse und nicht auf der Konzentration basiert. Bereits diese Ergebnisse liefern den Brauereien Ansatzpunkte, ihren Prozess während des Maischverfahrens zu optimieren, da hierüber die molare Masse und Größe der Arabinoxylane und damit die Filtrierbarkeit positiv beeinflusst werden kann.
Weiterhin wurde ein erstes Kalibrierungsmodell zur Vorhersage der Filtrationsleistung mittels multivariater Datenanalyse erstellt. Hierfür wurden NIR-Spektren sämtlicher Proben in 1- und 0,5 mm Küvetten mit und ohne Wasser als Hintergrundmessung vermessen. Daneben wurden die Fspez-Werte (Filtrationsleistung) der Biere bestimmt. Daraus konnte nun durch multivariate Datenanalyse eine Bestimmung des Fspez-Wertes mit einem $R^2$ = 0,78 erstellt werden. Nach der statistischen Auswertung konnte die Modellierung des NIR-Prognosemodells abgeschlossen werden.
Der Algorithmus des Modelles und das NIR-Gerät steht dem Lehrstuhl weiterhin zur Verfügung, so dass die Verbesserung des Modelles fortlaufend geschieht. Dadurch soll langfristig auf die teureren Filtertests verzichtet werden können.




Grundlegenden Schritten für die Entwicklung eine NIR-Kalibrierung

Um systematisch verfahrenstechnische Einzelfaktoren auf die Filtrationsleistung aufzuklären, wurden anschließend 64 Biere im Pilotmaßstab (60 l Anlage) hergestellt und analysiert. Die Variationen der Biere umfassten zwei Eiweißgehalte sowie zwei Lösungsgrade des Malzes, zwei untergärige Anstellhefen mit unterschiedlichem physiologischem Zustand (gut & schlecht gemessen mittels Intrazellulären pH-Wert (ICP-Methode)) sowie eine warme (15

°C) und eine kalte (8 °C) Gärung. Die daraus resultierenden Jungbiervariationen wurden anschließend über zwei verschiedene Zeiträume (2 & 4 Wochen) gelagert und final mit einem Kieselguranschwemmfilter filtriert.
Aus diesen Daten wurde die Gewichtung der einzelnen Faktoren auf die Filtrierbarkeit des Bieres ermittelt und das entwickelte Modell durch Vermessung der produzierten Biere validiert. Die untersuchten Prozessschritte waren Pfannevoll-, Ausschlagwürze, Jungbier, unfiltriertes Bier nach 2 & 4 Wochen Lagerung. Die Ergebnisse zeigten, dass insbesondere die β-Glucankonzentration signifikant mit der Filtrationsleistung korreliert. Die Arabinoxylankonzentration hingegeben nicht. Der Vergleich der verschiedenen getesteten Prozessparameter zeigte, dass die Malzmodifikation und die Lagerzeit der Biere den größten Einfluss auf die Filtrationsleistung der produzierten Proben hatten.
Das nächste Ziel war, die Filtrationsleistung des Biers so früh wie möglich im Produktionsprozess vorhersagen zu können. Hierzu wurden die NIR-Spektren der verschiedener Prozesszeitpunkte (Malz – Pfannevoll – Ausschlagwürze – Jungbier – Lagerbier (2 und 4 Woche) der 64 Biere im Pilotmaßstab aufgenommen und der Fspez-Wert des Bieres vorhergesagt. Die Validierung im Pilotmaßstab (über alle Sude) lag bei einer Vorhersagegenauigkeit von 56 %, dies ist als niedrig anzusehen. Auch konnte dieser Wert erst ab dem Lagerbier in der 2. Woche erreicht werden. Bei den vorherigen Prozesspunkten lag die Vorhersagbarkeit deutlich niedriger (< 30 %). Wenn nur die Sude mit Malzen mit einem hohen Proteingehalt genutzt wurden, lag die Vorhersagegenauigkeit verbessert bei 75 % zum Zeitpunkt der 2. Woche der Lagerung.
Die angestrebte Integration eines tragbaren NIR-Systems zur schnellen Vorhersage in der Praxis erwies sich als nicht umsetzbar, da die Kalibrierung nicht stabil genug war und innerhalb der Projektlaufzeit kein Modell entwickelt werden konnte. Dieser Ansatz soll nun in weiteren Arbeiten verfolgt werden.
Alternativ konnte aber eine Methode basierend auf Zentrifugenlaborfilter entwickelt werden, um hiermit die Filtrationsleistung auf Basis des verwendeten Malzes abzuschätzen. Für die Methode wird im Rahmen der Routinemalzanalyse ein Labormaischverfahren (hier zeigte sich das Iso65°-Verfahren als bestgeeignet) durchgeführt und das aus dem Endvergärungsgrad gewonnene Jungbier in einen gewogenen Zentrifugenfilter gegeben. Dieser wird bei einer festgelegten Umdrehungszahl und für eine bestimmte Zeit zentrifugiert und über das Gewicht des Filtrates und im Vergleich mit einem Referenzwert eines Malzes mit guter Filtrationsleistung kann auf die Filtrationsleistung des Malzes geschlossen werden.
Die Methode wurde bei mehreren Malzen und den resultierenden Bieren getestet und zeigte eine deutlich höhere Vorhersagekraft als das NIR-System mit der Filtrationsleistung der Biere in der Praxis. Die Methode wird am Institut weiter angewendet, da sie eine Vorhersage aus dem Malz ermöglicht und im Rahmen von Routinemalzanalysen eingesetzt werden kann.

**Wirtschaftliche Bedeutung:**
Die erzielten Forschungsergebnisse ermöglichen den Brauereien, mögliche Filtrationsprobleme frühzeitig zu erkennen und durch entsprechende betrieblich Maßnahmen zu minimieren. Dies führt dazu, dass der Einsatz von Kieselgur als Filterhilfsmittel prozessangepasst minimiert werden kann, bei gleichzeitig verbesserten Filterstandzeiten. Gerade KMU-Brauereien, die einen geringeren Automatisierungsgrad und damit einhergehend höheren Personalaufwand besitzen, benötigen eine einfache und schnelle Möglichkeit den Kieselgurverbrauch zu minimieren, um so nicht nur Kosten zu senken, sondern auch unter dem Nachhaltigkeitsaspekt die Umwelt zu schonen.
Im Rahmen des Vorhabens wurden die wesentlichen Grundlagen für die Entwicklung eines NIR-Prognosemodels erarbeitet, eine praxistaugliche mobile NIR-Messeinheit konnte jedoch noch nicht innerhalb der Laufzeit entwickelt werden. Weitergehende Arbeiten hierfür sind

erforderlich und in Vorbereitung. Alternativ stellte sich aber die parallel neu entwickelte Zentrifugenfiltermethode als direkt praxistauglich heraus. Hiermit kann direkt aus dem verwendeten Malz die spätere Filtrationsleistung im Vergleich zu einem Malz mit guten Filtrationsleistung prognostiziert werden. Damit ist eine Vorhersagbarkeit direkt aus dem Rohstoff Malz möglich. Diese Methode ist besonders KMU tauglich, da sie mit geringem Aufwand und Kosten direkt nach Projektende implementiert werden kann, und hierdurch frühzeitig Maßnahmen erfolgen können, die in einer direkten Leistungssteigerung der Filtration resultieren.
Ein weiteres wesentliches Ergebnis ist, dass die molaren Masse der Arabinoxylane einen maßgeblichen Einfluss auf die Filtrationsleistung hat. Die molare Masse der Arabinoxylane kann über den Maischprozess gezielt beeinflusst werden und hierdurch auch die Filtrationsleistung direkt erhöht werden.
Die im Vorhaben erfolgte Aufklärung und frühzeitige Vorhersage der Filtrationsleistung bei der Kieselgurfiltration hilft Filterprobleme frühzeitig zu erkennen. Neben einer Anpassung des Maischprozesses könnte über Malzmischungen die Filtrationsleistung erhöht werden oder kritische Malz-Chargen könnten gesteuert für die Herstellung von infiltrierten Bieren (Kellerbier) verwendet werden. Es resultieren verlängerte Filter-Standzeiten bei gleichbleibend hoher Bierqualität, was zu einer Steigerung der Rentabilität führt. Darüber hinaus ist eine Adaption der Ergebnisse auf die Verwendung anderer alternativer Filterhilfsmittel (fibrillierte Cellulose, Perlite, Viskosefasern) in einer Anschwemmfiltration möglich.
Weitergehende Arbeiten für eine Verbesserung der Vorhersagetools im Zusammenhang mit der NIR-Spektroskopie sind an der Forschungseinrichtung geplant. So ist ein ZIM-Projekt in Vorbereitung, bei dem ein NIR-Sensor im Gärtank genutzt werden soll.

**Veröffentlichungen**

Tagungen und Kongresse:

Chrysovalantis Karatairis, Ist Arabinoxylan das neue β-Glucan? 56. Technologisches Seminar, 19.–20. März 2024, Freising.

Chrysovalantis Karatairis, Characterization of Arabinoxylan and β-glucan Molar Mass in Bottom-fermented Beers: Relevance Towards Filtration Performance, World Brewing Congress 17. - 20. August 2024, Minneapolis.

Publikationen:

Chrysovalantis Karatairis, Christoph Neugrodda, Thomas Becker, Macromolecular physical characteristics in German unfiltered bottom-fermented beers and their impact on pre-coat filtration performance. Journal of the Institute of Brewing, 2025, eingereicht.

Weitere Veröffentlichungen sind in Vorbereitung.

Weitere Informationen:

Technische Universität München
School of Life Sciences
Forschungsdepartment Life Science Engineering
Lehrstuhl für Brau- und Getränketechnologie
Weihenstephaner Steig 20, 85354 Freising
Telefon: +49 8161 71-3528
Fax: +4908161 71-3900
E-Mail: thomas.becker@wzw.tum.de
Web: http://wzw.tum.de/bgt/

Wissenschaftsförderung der Deutschen Brauwirtschaft e.V.
Neustädtische Kirchstr 7A, 10117 Berlin
Tel.: +49 30 209167-19,
Fax: +49 30 209167-97
E-Mail: hinzmann@brauer-bund.de
Web: http://www.wifoe.org

INDUSTRIELLE GEMEINSCHAFTSFORSCHUNG

Gefördert durch:

Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Wissenschaftsförderung
der Deutschen Brauwirtschaft e.V.

Dieses Projekt der Forschungsvereinigung Wissenschaftsförderung der Deutschen Brauwirtschaft e.V. (Wifö) wurde im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.