

Getreideverarbeitung 4.0: (Laufzeit: 2022 - 2024)

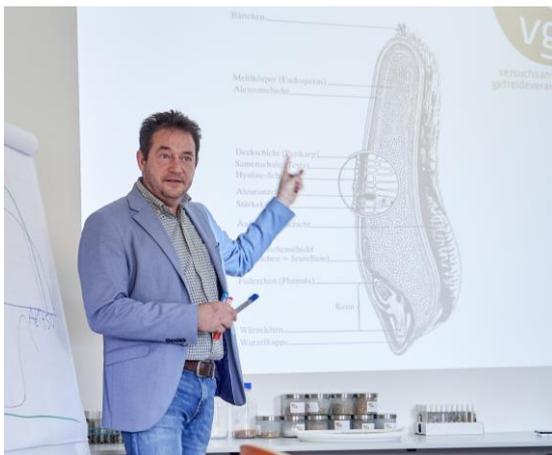
Autor*innen: Lisa Staubmann, Christian Kummer, Paul Rudelstorfer, Andrea Dorr, Harald Trinkl

Einleitung

Energieintensive Produktionsbetriebe wie Bäckereien und Mühlen sehen sich immer mehr mit Herausforderungen wie steigenden Energie- und Gaspreisen konfrontiert. Die hohen laufenden Kosten, gepaart mit einem Mangel an Fachpersonal, führen dazu, dass Konkursgefahr droht und damit die Existenz vieler Betriebe gefährdet ist. Zusätzlich herausfordernd ist die Konkurrenz durch industrielle Großbäckereien, die Teiglinge für Discounter, Tankstellen und Backshops im Eilverfahren produzieren und damit weiteren Preisdruck auf kleine und mittelständische Anbieter ausüben [1]. Um mit den Preisen mithalten zu können, wird daher oftmals bei der Qualität eingespart.

Das strategische ACR-Projekt Getreideverarbeitung 4.0 der Institute vg (Versuchsanstalt für Getreideverarbeitung), GET (Güssing Energy Technologies) und KMFA (KMU-Forschung Austria) tritt diesem negativen Trend mit digitaler Technologie entgegen und sucht innovative, technologische Lösungen.

Abbildung 1 Christian Kummer, Geschäftsführer der vg



Erstmals werden alle teigrheologischen Parameter, die für die Herstellung von Brot und Backwaren ausschlaggebend sind, systematisch erhoben, auf einer Plattform gesammelt und den Betrieben – von den Mühlen bis zu den Backstuben – digital zur Verfügung gestellt. Dieser entwickelte „digitale Rheologe“ kann auf Basis der Daten zeitnah simulieren, wie sich bestimmte Veränderungen, beispielsweise bei den Eigenschaften und Inhaltsstoffen des Getreides, am Verfahren oder an der Rezeptur, auf den Teig auswirken. So werden flexible Anpassungen an unterschiedliche Mehlgüten, Innovationen und eigene neue Produktentwicklungen möglich und die Verarbeitung wird in einer Weise automatisiert, sodass das eigentliche Handwerk bestmöglich unterstützt, aber nicht ersetzt wird. Gleichzeitig werden dem Kunden durch den digitalen Rheologen individuell abgestimmte Handlungsempfehlungen bereitgestellt, um Teigeigenschaften gezielt zu verbessern und wichtige Parameter wie die Gärstabilität zu erhöhen. Diese neue, technische Lösung ermöglicht nachhaltig Qualität zu sichern, effizient Ressourcen und Energie zu sparen und die

Wettbewerbsfähigkeit der Betriebe zu steigern. Somit wird dem Bäckereigewerbe erlaubt, den Flexibilitätsanforderungen kostenminimierend nachzukommen.

Projektziele

Ziel des Projektes war die Erstellung einer Plattform „digitaler Rheologe“, zugänglich für Bäckereien und Mühlen, die Abweichungen hinsichtlich Mehlqualitäts- und Produktionsparametern erheben kann. Darüber hinaus simuliert ein auf umfangreichen Versuchen basierendes Modell die Auswirkungen auf die Teig rheologie und auf das Endprodukt. Damit wird den Kunden ein Premiumgebäck mit Langzeitführung angeboten, indem alle teigrheologisch relevanten Einflüsse im Backprozess berücksichtigt und an Veränderungen angepasst werden. Dazu zählen unter anderem Anpassungen in der Mehlqualität hinsichtlich Wasseraufnahme, Dehnbarkeit, Knetverhalten, Teigentwicklung und Stabilität. Den Bäckereien und Mühlen (hauptsächlich KMU) wird dadurch ein Wettbewerbsvorteil und eine optimierte, effiziente und wirtschaftliche Produktentwicklung ermöglicht.

Vor Projektbeginn konnten die Bäckereien und Mühlen bereits auf sogenannte rheologische Berichte zugreifen, auf Basis jener sie ihre Produktionsprozesse an die jeweiligen Getreideeigenschaften anpassten. Allerdings war die Verfügbarkeit der Berichte ausschließlich analog und mit zeitlicher Verzögerung möglich. Mit dem Projekt wurde erreicht, dass die analysierten Daten durch den digitalen Rheologen in Echtzeit verarbeitet werden und automatisiert Lösungen angeboten werden. Die Betriebe müssen auf diese Weise nicht mehr auf Verdacht die Verarbeitung anpassen, sondern können gezielt jene Anpassungen an die jeweilige Mehlqualität durchführen, wie beispielsweise Änderung der Wasserzugabe oder Zusatz von Mehlbehandlungsmitteln, die zu dem gewünschten Ergebnis führen.

Indem der digitale Rheologe die Unsicherheit aus den Produktionsprozessen nimmt, ergeben sich auch vielfältige Vorteile für den Klimaschutz und die Wirtschaftlichkeit der Betriebe: Es entstehen weniger Abfälle und die Energiekosten sinken, je präziser die Prozesse und ihr Energieinput geplant werden können. Digital verstärkt, hat das traditionelle Back- und Mühlengewerbe auch wieder verbesserte Chancen gegenüber dem Wettbewerb.

Projektergebnisse

Die Leistungserhebung der Statistik Austria zeigt, dass in Österreich rd. 120 Mahl- und Schälmmühlen mit rd. 3.300 Mitarbeiter*innen sowie rd. 1.850 Bäckereien mit 29.400 Beschäftigten tätig sind. Mehr als 60 % der Mühlen und Bäckereien verfügen über maximal 9 Mitarbeiter*innen und zählen daher zu Kleinstbetrieben [2].

Um den Bedürfnissen der kleinen und mittelgroßen Bäckereien, Mühlen und Verarbeitungsbetriebe hinsichtlich der Verwendung des digitalen Rheologen zu entsprechen, hat die KMU Forschung Austria zunächst eine Befragung der Kund*innen der Versuchsanstalt für Getreideverarbeitung im Zeitraum von November 2022 bis Jänner 2023 mithilfe des Online Umfragetools LimeSurvey durchgeführt. LimeSurvey ist ein Open Source Tool zur Erstellung von Online-Umfragen, das vielfältige Fragemöglichkeiten beinhaltet. Bei der Kund*innenbefragung kamen größtenteils geschlossene Fragen mit konkreten Antwortkategorien mit Einfach- oder

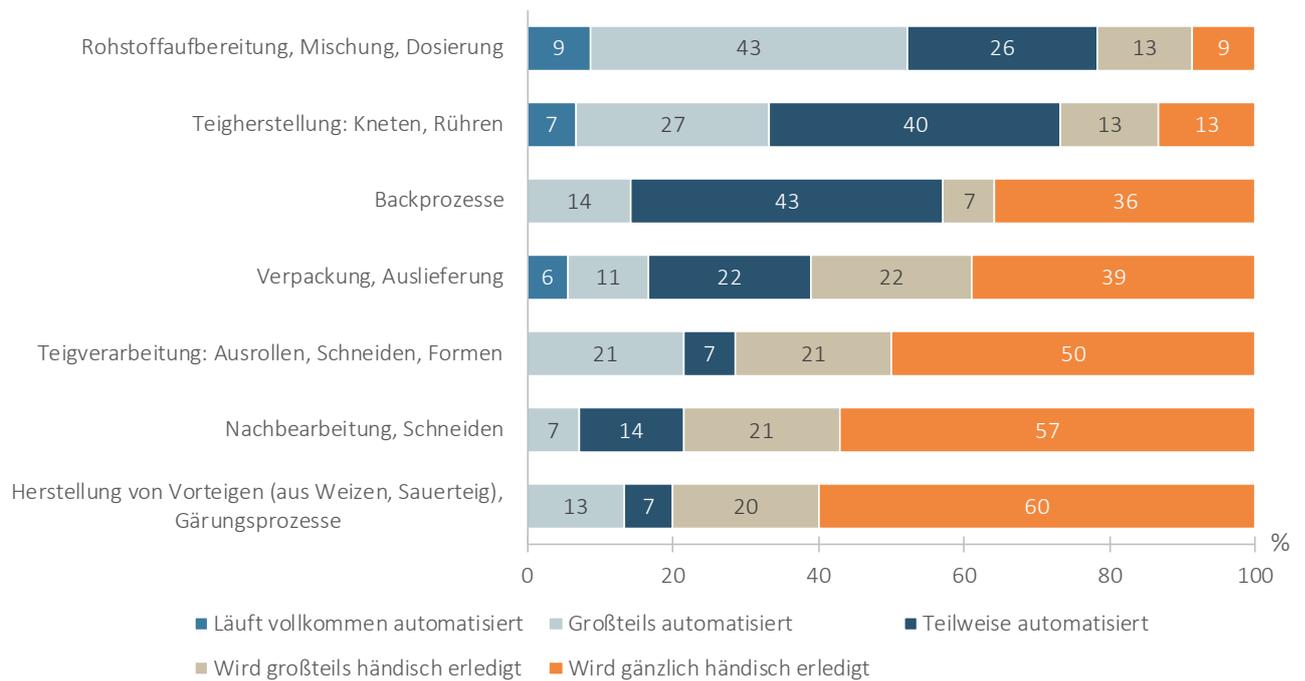
Mehrfachauswahlmöglichkeiten zum Einsatz. Zusätzlich wurde mit einigen offenen Fragen die Möglichkeit geboten, die Antworten zu spezifizieren und Wünsche zur Ausgestaltung des neuen Werkzeugs des digitalen Teigtheologen zu äußern. Insgesamt konnten 32 Fragebögen von Mühlen, Bäckereien und Produktionsbetrieben einer statistischen Analyse unterzogen werden. Die Auswertung der Befragungsergebnisse erfolgte mit Hilfe statistischer Verfahren der empirischen Sozial- und Wirtschaftsforschung.

Das Geschäftsjahr 2022 ist gut verlaufen, rd. zwei Drittel der befragten Müller*innen und Bäcker*innen sind mit ihrer Umsatzentwicklung zufrieden. Zu den Gewinnbringern in den Bäckereien zählt in erster Linie Brot und Mühlen können vor allem durch ihr Angebot an Weizenmehl lukrative Gewinne generieren. Zu den wichtigsten Kundengruppen der Bäckereien und Mühlen gehören gewerbliche Kund*innen bzw. Geschäftskunden genauso wie Privatkunden. Die Kundinnen und Kunden legen aus Sicht der Unternehmer*innen vor allem auf den Geschmack ihrer Produkte und den Einsatz spezieller Rohstoffe Wert. Sie beobachten auch eine starke Bindung und eine hohe Zufriedenheit von Seiten ihrer Kundschaft.

Um auch in Zukunft ihre Kundinnen und Kunden zufriedenzustellen, arbeiten die befragten Müller*innen und Bäcker*innen laufend an der weiteren Optimierung ihrer Produkte. Dazu führt der Großteil externe Produktprüfungen durch, und auch teigrheologische Prüfungen wie Farino- und Extensogramme kommen häufig zum Einsatz. Ein weiterer wichtiger Faktor ist die Qualität der Rohstoffe. Die Unternehmer*innen sind vor allem mit der Qualität der Mehle und des Sauerteigs sehr zufrieden. Diese ermöglichen den einzigartigen Geschmack ihrer Produkte und sind für den Erfolg ihrer Unternehmen ausschlaggebend.

Um ein erfolgreiches, effizientes Arbeiten zu ermöglichen, halten Digitalisierung und Automatisierung in den Bäckereien stärkeren Einzug. Zahlreiche Arbeitsschritte laufen in den befragten Unternehmen bereits automatisch ab (siehe Abbildung 2). Dies betrifft vor allem die Aufbereitung, Mischung und Dosierung der Rohstoffe, die mehrheitlich vollkommen oder zumindest teilweise automatisiert erfolgt. Die Teigherstellung läuft bei knapp drei Viertel der befragten Betriebe automatisch oder zumindest teilweise automatisiert ab und auch bei den Backprozessen ist der Automatisierungsgrad schon relativ hoch. Eine händische Bearbeitung ist hingegen noch häufig bei der Herstellung von Vorteigen, bei der Nachbearbeitung der Produkte, der Teigverarbeitung sowie bei der Verpackung und Auslieferung der Waren erforderlich. Darüber hinaus verfügt der Großteil der befragten Unternehmen über Websites und eigene Social-Media-Kanäle. Auch Bestellungen werden zunehmend online über eigene Online-Shops oder Online-Bestellsysteme bzw. Online- Einkaufs-/und Vertriebsplattformen abgewickelt.

Abbildung 2 Automatisierte Arbeitsschritte, Anteile der Unternehmer*innen in %



Die Unternehmen stehen auch weiteren Digitalisierungsschritten aufgeschlossen gegenüber: In Zukunft planen knapp 60 % der befragten Müller*innen und Bäcker*innen, verstärkt digitale Arbeitshilfen und Instrumente zu nutzen. Dies betrifft auch die entwickelte digitale teigrheologische Simulation. 42 % der Inhaber*innen von Bäckereien und Mühlen glauben, dass sie davon profitieren würden, 37 % sind diesbezüglich noch unsicher und lediglich rd. ein Fünftel sieht im Unternehmen dafür keine Einsatzmöglichkeiten. Jene Unternehmer*innen, für die eine Anwendung der digitalen teigrheologischen Simulation vorstellbar erscheint, wünschen sich in erster Linie, dass das Tool eine einwandfreie Nachvollziehbarkeit von der Rohware zum Endprodukt ermöglicht (siehe Abbildung 3). Auch eine genaue Datenaufbereitung samt statistischen Auswertungsmöglichkeiten sowie Echtzeitdaten durch einen Anschluss an das Analyselabor der vg sind für die befragten Kund*innen hilfreich. Außerdem soll der digitale Rheologe die Simulation eines Endprodukts aufgrund der Mehlqualität und der Verfahrenstechnik, also die teigrheologische Simulation, übernehmen.

Abbildung 3 Funktionen, die dieses Werkzeug besitzen sollte, Anteile jener Unternehmer*innen, für die dessen Einsatz vorstellbar erscheint, in % (Mehrfachnennungen möglich)



Für die Arbeit mit dem digitalen Instrument zur teigrheologischen Simulation wünscht sich die Mehrheit der befragten Unternehmer*innen eine Webbrowser Anwendung. Außerdem soll die Bedienung des digitalen Rheologen einfach und leicht verständlich sein, damit dieser unkompliziert in die tägliche Arbeitspraxis integriert werden kann. Dies wurde von der vg als klarer Arbeitsauftrag verstanden, ein digitales Tool zu entwickeln, das die wichtigsten Teigparameter einbezieht und schnell, einfache Aussagen für den Teigentwicklungsprozess liefert.

Um ausreichend Daten zur Verfügung zu haben, wurden im Labor der Versuchsanstalt für Getreideverarbeitung Versuche mit Weizenmehl-Proben (hauptsächlich Type 700) durchgeführt, um den Einfluss verschiedener Input-Parameter auf teigrheologische Eigenschaften zu untersuchen. Die für das Projekt relevanten Messgeräte sind der Extensograph und der Farinograph, die unter anderem Aussagen zu Kneteigenschaften, Teigentwicklung, Stabilität, Gärverhalten, Wasseraufnahme und Dehnbarkeit bzw. Dehnwiderstand liefern.

Abbildung 4 Projektleitung Lisa Staubmann am Farinograph



Im Farinographen (Brabender GmbH und Co KG) wird die Wasseraufnahme (%), die Teigentwicklungszeit (min) und die Teigstabilität (min) während des Knetprozesses bei

einer Konsistenz von 500 Farinoeinheiten (FE) ermittelt. Mittels Extensograph (Brabender GmbH und Co KG) wird die Dehnbarkeit (mm), der Dehnwiderstand bei 50 mm (Brabender Einheiten, BE), und die Fläche unter der Kurve als Energie (cm²) eines Teiges nach 45, 90 und 135 Minuten Garzeit bei 30 Grad Celsius gemessen [3].

Abbildung 5 links Farinograph, rechts Extensograph von Brabender GmbH und Co KG

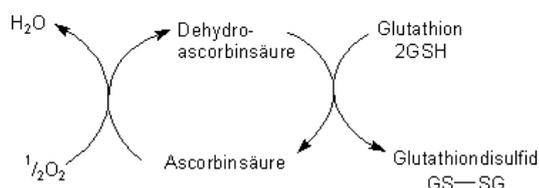


Im Zuge des Projektes wurden Versuchsreihen durchgeführt, die sich durch ihre Garzeit bzw. -temperatur, Knetgeschwindigkeit und Wasserzugabe von den Standardmethoden für den Extensographen bzw. Farinographen (ICC Standard Nr. 114/1 [4] und ICC Standard Nr. 115/1 [5]) unterscheiden. Dabei wurde der Einfluss der unterschiedlichen Parameter analysiert und ausgewertet. Eine hohe Wasserzugabe kann sich beispielsweise positiv auf die Dehnbarkeit eines Teiges auswirken. Die Teigausbeute gibt das Verhältnis zwischen der im Teig verwendeten Menge an Schütfflüssigkeit (z.B. Wasser) und der Menge an Getreideerzeugnissen wieder. Je höher die Teigausbeute, umso wirtschaftlicher kann ein Brot hergestellt werden, da mehr Wasser gebunden [6]. Im Zuge des Projektes wurden Teigausbeuten von bis zu 170 bei einer Konsistenz von 500 Farinoeinheiten (FE) erreicht.

Des Weiteren wurde der Einfluss des Mehlbehandlungsmittels Ascorbinsäure auf durch Wanzenstich geschädigte Mehlproben untersucht. In der Branche ist eine Behandlung durch Zugabe von 1 – 3 g Ascorbinsäure pro 100 kg Mehl üblich. Die erlaubte Einsatzmenge ist nach dem quantum satis-Prinzip auf EU-Ebene geregelt [7].

Ascorbinsäure dient dem Schutz vor dem Verlust der Proteinstabilität, indem sie auf das klebererweichend wirkende, natürlicherweise im Mehl vorkommende Glutathion wirkt [8]. Ascorbinsäure wird bereits zu Beginn des Knetvorganges unter Mitwirkung der mehleigenen Enzyme Ascorbat-Oxidase und Glutathion-Dehydrogenase zu Dehydroascorbinsäure (DHAS) oxidiert. Als Oxidationsmittel dient der beim Kneten eingearbeitete Luftsauerstoff. Glutathion wird zu Glutathiondisulfid oxidiert und verliert damit seine klebererweichende Wirkung [9]. Die Reaktionsgleichung ist in Abbildung 6 ersichtlich.

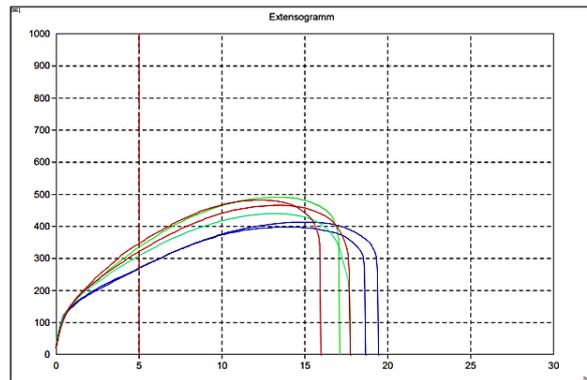
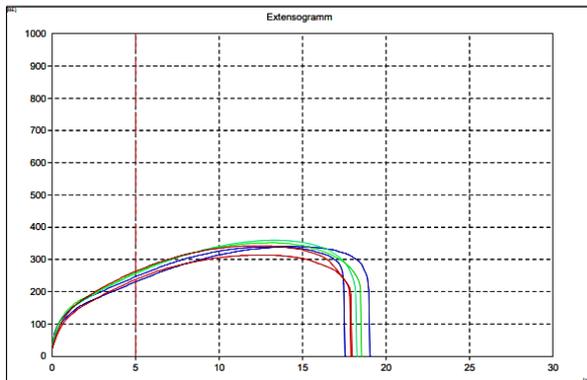
Abbildung 6 Redoxreaktion Ascorbinsäure/Glutathion: Ascorbinsäure wird zu Dehydroascorbinsäure oxidiert und Gutathion wird zu Glutathiondisulfid oxidiert [10]



Je nach Erntebedingungen (Boden, Wetter, Kultivierungsmaßnahmen, etc.) reagieren Getreideprodukte stärker oder weniger stark auf den Zusatz von Ascorbinsäure. Oftmals reichen bereits 0.5 g Ascorbinsäure auf 100 kg Mehl (siehe Abbildung 7) aus, um die Teigeigenschaften, Gärstabilität und Gärtoleranz zu verbessern, manchmal zeigt aber auch eine Dosierung von 1 g Ascorbinsäure nur einen schwachen Effekt. Durch den digitalen Rheologen können Prognosen genauer getroffen werden aufgrund der Einbeziehung zusätzlicher Ernteergebnisse und Analyseparameter.

Abbildung 7 Extensogramm eines Weizenmehls Type 700, links: ohne Ascorbinsäurezusatz, rechts: Zugabe von 0,5 g Ascorbinsäure auf 100 kg Mehl

Messung nach 45/90/135 Minuten Wasseraufnahme:	57,6 %			Messung nach 45/90/135 Minuten Wasseraufnahme:	57,8 %		
Abstehtzeit [min]:	45	90	135	Abstehtzeit [min]:	45	90	135
Energie [cm ²]:	88	93	85	Energie [cm ²]:	109	112	111
Dehnwiderstand [BE]:	240	258	252	Dehnwiderstand [BE]:	272	324	335
Dehnbarkeit [mm]:	184	185	181	Dehnbarkeit [mm]:	192	176	170
Maximum [BE]:	340	356	328	Maximum [BE]:	406	466	474
Verhältniszahl:	1,3	1,4	1,4	Verhältniszahl:	1,4	1,8	2,0
Verhältniszahl(Max.):	1,8	1,9	1,8	Verhältniszahl(Max.):	2,1	2,7	2,8
Bemerkungen:	Gerät 87			Bemerkungen:	+0,5g Ascorbinsäure 100% Gerät 87		



Mithilfe der erhaltenen Messergebnisse, die in einem Datenmanagement-Tool zusammengeführt wurden, wurde ein Modell entwickelt, auf dessen Basis der digitale Rheologe die Prognosen für gezielte Maßnahmen zur Verbesserung der Teigqualität erstellt.

In einem nächsten Schritt konnte ein Prototyp des digitalen Rheologen entwickelt werden. Die Laboranlagen (wie Extensograph, Farinograph, ...) der vg mussten zuerst in das EDV-System eingebunden werden. Dafür wurden die vorhandenen Schnittstellen genutzt, um die in der Versuchsdurchführung erhaltenen Analyseergebnisse zu extrahieren und in einem Datenmanagement-Tool zusammenzuführen. Diese wurden für die Modellierung zur Entwicklung des digitalen Rheologen ausgewertet und laufend importiert. Die Auswertung basiert auf kontinuierlich gesammelten Messdaten der verschiedensten Versuchsreihen, die im Laufe des Projektes laut Versuchsplan durchgeführt wurden.

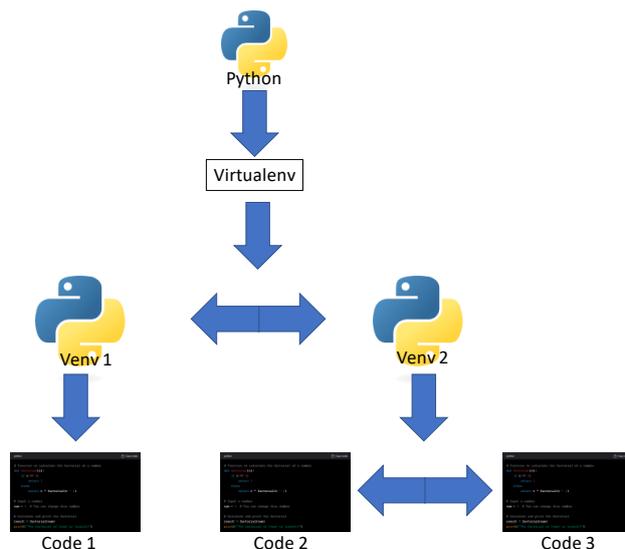
Als zentraler Speicherort für die Messergebnisse wurde eine MariaDB – Datenbank bestimmt. Die Analyseergebnisse wurden in separaten Tabellen in der Datenbank gespeichert und sind über den Auftrag mit den jeweiligen Kunden verbunden. Die für das Projekt relevantesten Messgeräte sind der Extensograph und der Farinograph, welche Dateien mit der Endung .exd und .fad erzeugen. Diese Dateien wurden mit dem Tool MBD to CSV-Converter von WhiteTown eingelesen und mittels Skript in csv-

Dateien umgewandelt, um sie mit der ODCB-Schnittstelle bearbeiten zu können. Die generierten Dateien werden mit der Python-Bibliothek „csv“ in das Programm und anschließend in die Datenbank importiert.

Alle Analyseergebnisse einer Probe wurden in der Datenbank als Timeserie gespeichert und miteinander verknüpft. In einer zusätzlichen Table wurden die Erkenntnisse aus der Versuchsdurchführung als mathematische Regel gespeichert. Diese Regeln können auf neue Messdaten angewandt werden und so die Empfehlungen für eine verbesserte Teigqualität generieren. Die Regeln sind beliebig erweiterbar und bieten so die Möglichkeit, auf zukünftige Entwicklungen unmittelbar reagieren zu können.

Python hat sich zu einer der weitverbreitetsten Programmiersprachen entwickelt. Einer der großen Stärken ist die Vielzahl von Packages, welche die Funktionsweise von Python erhöhen. Um auszuschließen, dass installierte Packages sich gegenseitig behindern, wurden Virtual Environments verwendet (siehe Abbildung 8). Damit wird eine eigene Python-Umgebung geschaffen, in der alle benötigten Packages installiert werden. Im vorliegenden Fall waren das Django 4.2.8, beautifulsoup4 4.12.2 und django-bootstrap-v5 1.0.11.

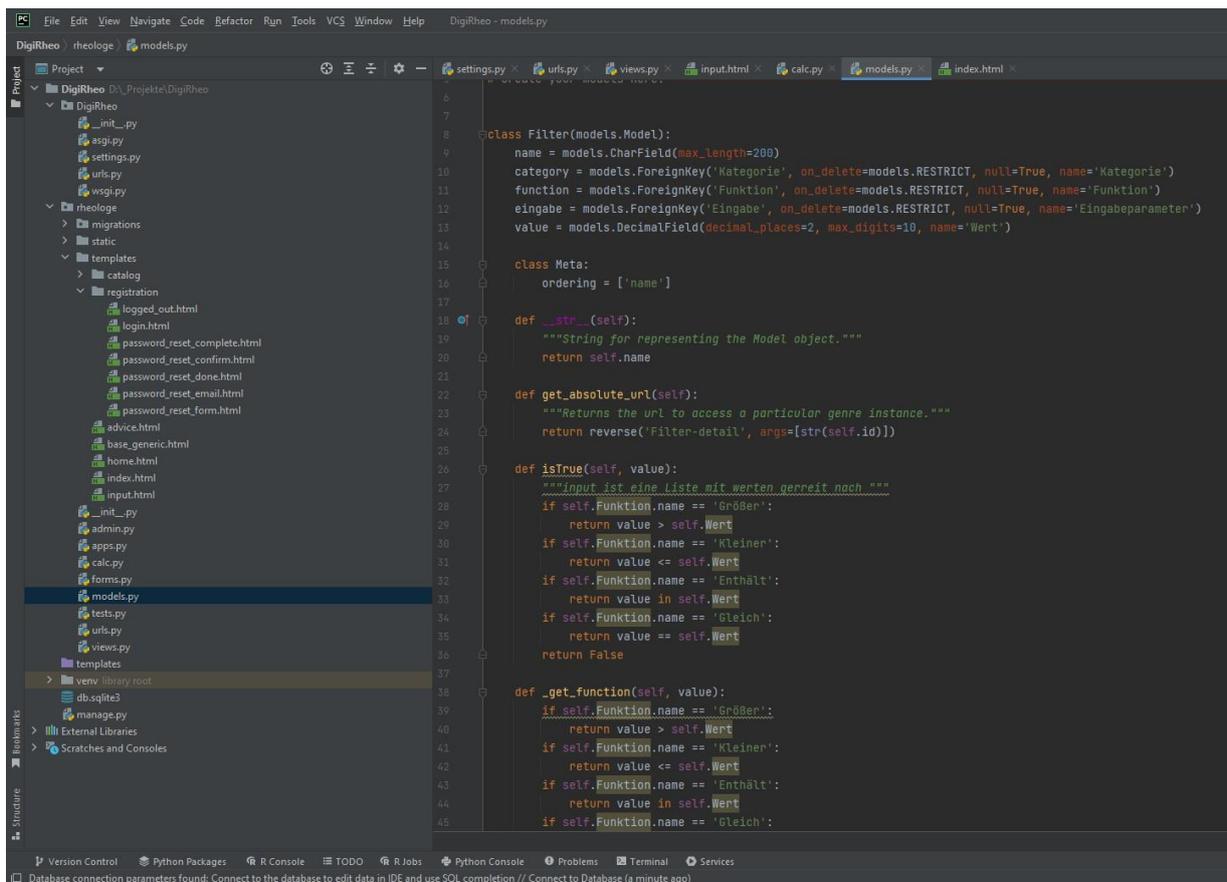
Abbildung 8 Python Virtual Environments



Django ist ein Framework für Python, welches integriert einen Webserver, Datenbankzugriff und Visualisierungen bietet. Das Python-Skript, `manage.py`, dient dazu, das Programm zu steuern, wie beispielsweise den Server zu starten, neue Datenbankobjekte zu erstellen oder Benutzer anzulegen. Im Ordner des Hauptprogrammes liegt einerseits die `settings.py`, welche die Einstellungen des Djangoservers beinhaltet, als auch die `url.py`. In dieser Datei werden die Domains und Subdomains eingetragen, auf die der Server reagieren soll.

In der Datei `admin.py` werden jene Datenbankobjekte eingetragen, welche über die Administrationsseite des Servers verändert werden dürfen. Die Definition der Datenbankobjekte erfolgt über die Datei `models.py`, wo Objekte automatisch angelegt werden und über eine eigene Schnittstelle im Programmcode zur Verfügung stehen (siehe Abbildung 9).

Abbildung 9 Python-Code vom internen Datenmodell in models.py



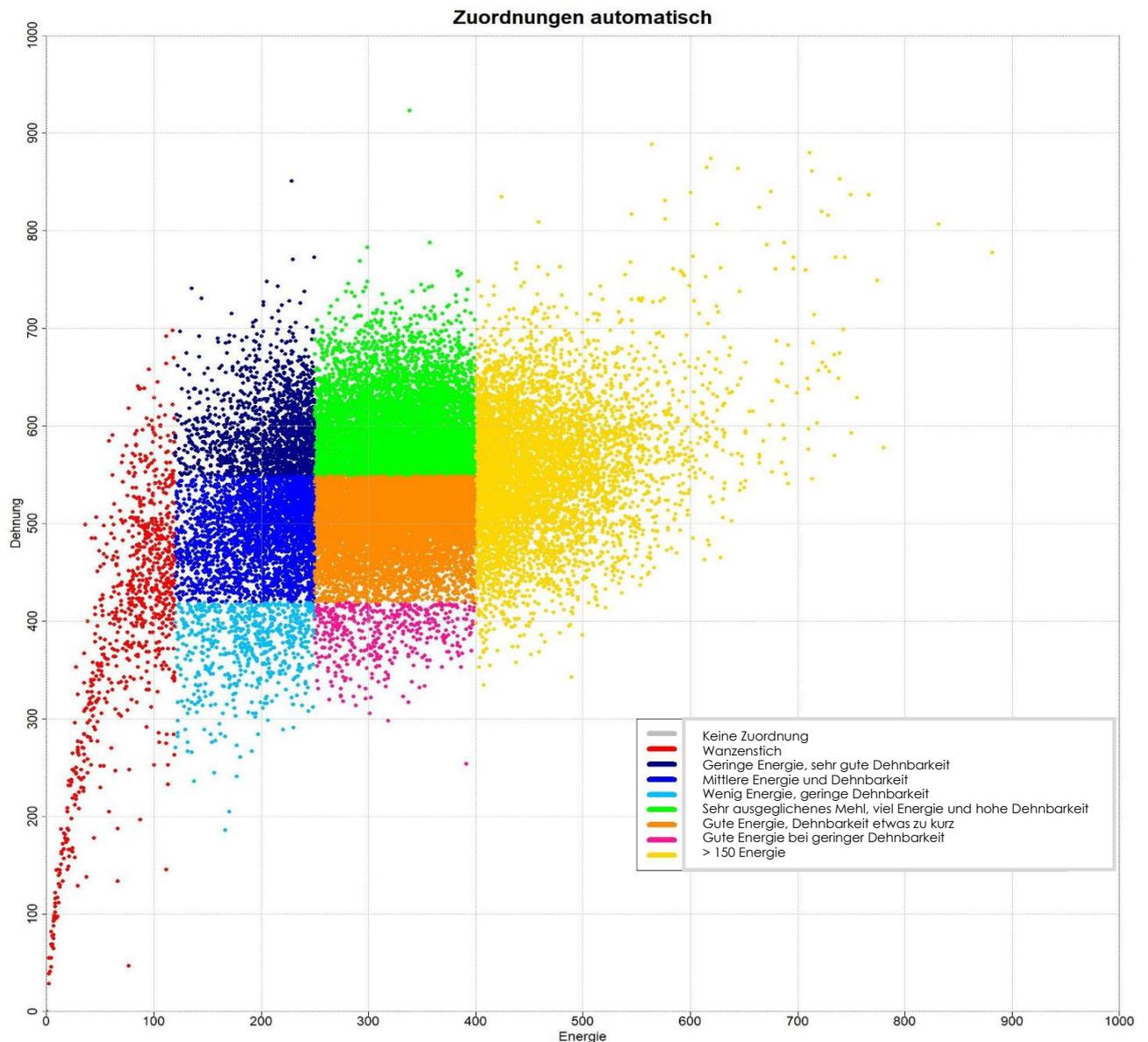
```
6
7
8 class Filter(models.Model):
9     name = models.CharField(max_length=200)
10    category = models.ForeignKey('Kategorie', on_delete=models.RESTRICT, null=True, name='Kategorie')
11    funktion = models.ForeignKey('Funktion', on_delete=models.RESTRICT, null=True, name='Funktion')
12    eingabe = models.ForeignKey('Eingabe', on_delete=models.RESTRICT, null=True, name='Eingabeparameter')
13    value = models.DecimalField(decimal_places=2, max_digits=10, name='Wert')
14
15    class Meta:
16        ordering = ['name']
17
18    def __str__(self):
19        """String for representing the Model object."""
20        return self.name
21
22    def get_absolute_url(self):
23        """Returns the url to access a particular genre instance."""
24        return reverse('Filter-detail', args=[str(self.id)])
25
26    def isTrue(self, value):
27        """input ist eine liste mit werten gerreit nach """
28        if self.Funktion.name == 'Größen':
29            return value > self.Wert
30        if self.Funktion.name == 'Kleinen':
31            return value <= self.Wert
32        if self.Funktion.name == 'Enthält':
33            return value in self.Wert
34        if self.Funktion.name == 'Gleich':
35            return value == self.Wert
36        return False
37
38    def _get_funktion(self, value):
39        if self.Funktion.name == 'Größen':
40            return value > self.Wert
41        if self.Funktion.name == 'Kleinen':
42            return value <= self.Wert
43        if self.Funktion.name == 'Enthält':
44            return value in self.Wert
45        if self.Funktion.name == 'Gleich':
```

Die Datei views.py stellt das Backend des Servers da, wo die Funktionen für die Generierung der einzelnen Seiten definiert werden.

Im Unterordner Templates befinden sich einzelne Vorlagen für die dargestellten Seiten. Es können normale HTML-Seiten als Template verwendet werden, wobei über eigene Django-Elemente auf Datenbanken und Funktionen des Backends zugegriffen werden kann. Im Ordner static werden statische Elemente, wie Bilder oder css-Dateien eingebunden.

Durch das Zusammenspiel all dieser Funktionen wird ein Server gestartet, welcher eine Website generiert und Dateninputs aufnimmt. Die eingegebenen Analysewerte aus teigrheologischen Untersuchungen werden an das Backend weitergegeben, welches die eigentlichen Berechnungen durchführt. Als Ergebnis wird eine Einordnung der Probe generiert und eine Empfehlung für die Weiterverarbeitung des Mehls gegeben. Diese wird im Frontend dem Kunden dann zur Verfügung gestellt.

Abbildung 10 Automatische Zuordnung in unterschiedliche Bereiche, basierend auf Messwerte der Parameter Dehnbarkeit und Energie



In Abbildung 10 ist die erste graphische Auswertung der beurteilten Ergebnisse ersichtlich. Jeder einzelne Punkt in dem Punktdiagramm entspricht einem Ergebnis von fast 30.000 untersuchten und beurteilten Proben. Mittels mathematischer Formeln wurden den einzelnen Ergebnissen zwei verschiedene Werte (hier X-Achse Energie und Y-Achse Dehnbarkeit) zugeordnet, um die Differenzierung ohne Doppelbelegung der Beurteilungen zu erreichen. Durch diese Aufteilung konnte ein Raster über die Punkte gelegt werden, um die Verteilung und Abgrenzung der Ergebnisse sichtbar zu machen. Damit wird die weitere Eingrenzung und Beurteilung vereinfacht, sodass auch die Versuche ohne Zuordnung noch besser kategorisiert werden können.

Conclusio und Ausblick

Mit dem Projekt Getreideverarbeitung 4.0 wurde die Grundlage zur Verwendung von digitalen Daten in der Produktentwicklung geschaffen, welche die Individualität und Innovation der Bäckerei- und Müllereibetriebe fördern. Durch den digitalen

Rheologen werden sowohl Mühlen als auch Bäckereien in die Lage versetzt, effizienter zu produzieren, Produktentwicklungen zu erleichtern und zu beschleunigen, sowie die Qualität der Erzeugnisse zu steigern. Dadurch ergeben sich nachhaltig Zeit- und Kosteneinsparungen, die an anderer Stelle sinnvoller investiert werden können.

Aufgrund der vielen zu berücksichtigenden Parameter und der zahlreichen Prozessherausforderungen wurde im vorliegenden Projekt ein stark vereinfachtes Modell entwickelt, das sich auf die Mehltypen W 700 spezialisiert - anhand des Beispiels Kaisersemmel. In einem nächsten Schritt wäre es wichtig, dass der digitale Rheologe auch andere Produkte wie z.B. Baguette oder Hausbrot mit verschiedensten Mehlen abbilden kann und diese Daten aussagekräftig, in Echtzeit zur Verfügung gestellt werden. Weiterer Forschungsbedarf ergibt sich bezüglich der Einbeziehung weiterer Analysemethoden zur Weiterentwicklung des digitalen Rheologen. Durch beispielsweise Viskositätsmessungen mit dem Amylograph zur Analyse der Stärkeverkleisterung oder der Feuchtkleberbestimmung könnten die vorliegenden Ergebnisse hinsichtlich teigrheologischer Aussagen ergänzt und damit die individuellen Handlungsempfehlungen erweitert werden.

Mit dem digitalen Rheologen heben die Betriebe sich nicht nur vom Wettbewerb ab, sondern sichern sich auch einen Wettbewerbsvorteil, indem sie schneller auf Veränderungen der Ausgangsrohstoffe reagieren können. Der Klimawandel wird die Ernten in den nächsten Jahrzehnten maßgeblich verändern und so wird es entscheidend sein, darauf entsprechend zu reagieren, um die Versorgung mit Grundnahrungsmitteln wie Brot und Gebäck auch weiterhin nachhaltig zu sichern.

Literaturverzeichnis

- [1] A. Vorderwülbecke, I. Korflür und R. Löckener, „Branchenanalyse Brot- und Backwarenindustrie: Branchentrends und ihre Auswirkungen auf Beschäftigung und Arbeitsbedingungen, Study der Hans-Böckler-Stiftung,“ Hans-Böckler-Stiftung, Düsseldorf, 2018.
- [2] Statistik Austria, „Leistungs- und Strukturstatistik nach Kammersystematik,“ 2021.
- [3] S. Michel, F. Löschenberger, C. Ametz und H. Bürstmayr, „Genomic selection of parents and crosses beyond the native gene,“ *The Plant Genome*, 2021.
- [4] Internationale Gesellschaft für Getreidewissenschaft und -technologie, „ICC Standard Nr. 114/1 Untersuchungsmethode: Brabender Extensograph,“ bestätigt: 1972, akzeptiert: 1992.
- [5] Internationale Gesellschaft für Getreidewissenschaft und -technologie, „ICC-Standard Nr. 115/1 Untersuchungsmethode: Brabender Farinograph,“ bestätigt 1972, überarbeitet: 1992.
- [6] S. Claus, Lernfelder der Bäckerei, Gilde-Verlagsservice, 2017.
- [7] EU Kommission, „VERORDNUNG (EU) Nr. 1129/2011 DER KOMMISSION vom 11. November 2011 zur Änderung des Anhangs II der Verordnung (EG) Nr. 1333/2008 des Europäischen Parlaments und des Rates im Hinblick auf eine Liste der Lebensmittelzusatzstoffe der Europäischen Union,“ 2011.
- [8] C. M. Baratto, N. B. Becker, J. M. L. N. Gelinski und S. M. Silveira, „Influence of enzymes and ascorbic acid on dough rheology and wheat bread quality,“ *African Journal of Biotechnology Vol. 14 (46)*, 2015.
- [9] A. Amiri, M. Shahedi und M. Kadivar, „Structural properties of gluten modified by ascorbic acid and transglutaminase - International Journal of Food Properties, Vol. 20, No. 2, pp. 1588-1599,“ *International Journal of Food Properties Vol. 20*, 2017.
- [10] A. Gęgotek und E. Skrzydlewska, „Antioxidative and Anti-Inflammatory Activity of Ascorbic Acid,“ *Antioxidants Vol. 11*, 2022.
- [11] Bundesministerium für Gesundheit, „Österreichisches Lebensmittelbuch (Codex Alimentarius Austriacus),“ 2023. [Online]. Available: <http://lebensmittelbuch.at>. [Zugriff am 20.12.2023].

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Christian Kummer, Geschäftsführer der vg _____	1
Abbildung 2 Automatisierte Arbeitsschritte, Anteile der Unternehmer*innen in % _____	4
Abbildung 3 Funktionen, die dieses Werkzeug besitzen sollte, Anteile jener Unternehmer*innen, für die dessen Einsatz vorstellbar erscheint, in % (Mehrfachnennungen möglich) _____	5
Abbildung 4 Projektleitung Lisa Staubmann am Farinograph _____	5
Abbildung 5 links Farinograph, rechts Extensograph von Brabender GmbH und Co KG _____	6
Abbildung 6 Redoxreaktion Ascorbinsäure/Glutathion: Ascorbinsäure wird zu Dehydroascorbinsäure oxidiert und Gutathion wird zu Glutathiondisulfid oxidiert [10] _____	6
Abbildung 7 Extensogramm eines Weizenmehls Type 700, links: ohne Ascorbinsäurezusatz, rechts: Zugabe von 0,5 g Ascorbinsäure auf 100 kg Mehl _____	7
Abbildung 8 Phytion Virtual Environments _____	8
Abbildung 9 Python-Code vom internen Datenmodel in models.pyn _____	9
Abbildung 10 Automatische Zuordnung in unterschiedliche Bereiche, basierend auf Messwerte der Parameter Dehnbarkeit und Energie _____	10