

**Messung und Beeinflussung der Konsistenz  
von Teigen aus Roggenmehl**

**Von der Naturwissenschaftlichen Fakultät  
der Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover**

**zur Erlangung des Grades  
Doktor der Naturwissenschaften**

**Dr. rer. nat.**

**genehmigte Dissertation**

**von**

**M. Sc. Mun-Yong Kim**

**geboren am 26. Januar 1975 in Puan, Korea**

**2007**

**Referent: Prof. Dr. Walter Freund**

**Korreferent: Prof. Dr. Harald Rohm**

**Tag der Promotion: 15. 02. 2007**

## Messung und Beeinflussung der Konsistenz von Teigen aus Roggenmehl

Ebenso wie der Weizen gehört der Roggen in Deutschland zu den Brotgetreidearten. Die Verwendung von Roggen ist ein wesentlicher Grund für die Vielfalt im deutschen Brotsortiment. Die Wasserbindung im Roggenteig und die sich daraus ergebende Teigausbeute ist ein sehr wesentliches Merkmal für die Beurteilung eines Mehles. Der Bestimmung der Wasseraufnahmefähigkeit bei einer bestimmten Teigkonsistenz kommt daher aus kalkulatorischen, technologischen und qualitativen Gründen große Bedeutung zu. Die Wirkung der Quellstoffe bzw. deren Einfluss auf das Wasserbindevermögen bei der Teigbereitung ist derzeit kaum exakt erfassbar. Aus diesem Grund wurde in Zusammenarbeit mit einem bedeutenden Hersteller von Messgeräten eine Messeinheit entwickelt, die sowohl die Fließeigenschaften, als auch die Veränderungen über einen Zeitraum mit mechanischer Beeinflussung aufzeichnen kann. Mit dieser Methode können, ähnlich wie bei Weizenteigen, Standards gesetzt werden, die die Wasserbindung von Roggenmehlen charakterisieren.

In dieser Arbeit wurde die Verwendbarkeit des Planetenmischers P 600 für Messung und Beeinflussung der Konsistenz von Teigen aus Roggenmehl getestet. Weiterhin wurden Einflüsse von Prozess- (Temperatur-, Drehzahl-, Einwaagen- und Wasserzugabegeschwindigkeitsvariante) und Rezepturparametern (Unterschiedliche Roggenmahlerzeugnisse, Sauerteig, Milchsäure, Hefe, Salz, Enzyme und Mehlmischungen aus Roggen und Weizen) auf die Wasseraufnahme und Abbau von Roggenmehlinhaltsstoffen durch den Zusatz von Enzymen zur Steigerung der Brotqualität untersucht. Die neue Untersuchungsmethode wurde bei der Durchführung des Sauerteig- und Milchsäurebackversuchs zur Festlegung der Schüttwassermenge eingesetzt. Mit Hilfe des P 600 wurden Roggenteige unter standardisierten Bedingungen aus 600 g Mehl (angepasst auf 14 % Mehlfeuchte) hergestellt und ihre Teigkonsistenz während der Misch- und Knetphase registriert.

Um hochwertige Roggenbrote herstellen zu können, bedarf es stets gleichmäßiger Teigeigenschaften mit einer durchschnittlichen Teigkonsistenz von 6,0 Nm nach Beendigung des Misch- und Knetvorganges. Mit dem P 600 ist es möglich, die hierfür erforderliche Wasseraufnahme zu ermitteln. Auf der Basis dieser Analysenwerte wurden Roggenbrote hergestellt, bei denen insbesondere Qualitätsmerkmale wie eine gleichmäßige und gut gelockerte Krume und ein ausreichendes Volumen den Beweis liefern sollten, dass die ermittelte Wasseraufnahme im P 600 als Grundlage für die Festlegung der Teigausbeute von Roggenteigen dienen kann. Ferner lieferte ein Vergleich von Roggenbrotenerkenntnissen darüber, welchen Einfluss Enzyme auf die Teigeigenschaften und letztlich auf die Qualitätskriterien wie Form, Lockerung, Porengleichmäßigkeit usw. haben. Mit der neuen Methode wurde in den Backversuchen eine gute Übereinstimmung zwischen apparativ und sensorisch von Fachleuten ermittelter Wasseraufnahme festgestellt.

**Schlagwörter:** Roggenteig, Teigkonsistenz, Planetenmischer P 600, Roggenbrote, Wasseraufnahme

## **The Measurement and the Influence on the Dough Consistency from Rye Flour**

Just like wheat rye belongs to the breadgrain types in Germany. The use of rye is a substantial reason for the variety in the German bread assortment. The water binding in the rye dough and the resulting dough yield is a very substantial characteristic for the evaluation of flour. The determination of the water absorption ability on a certain dough consistency has therefore for calculatory, technological and qualitative reasons great importance. The effect of the swelling substances and/or their influence on the water binding capacity during the dough preparation is currently hardly accurately ascertainable. Therefore cooperation with an important manufacturer of measuring instruments was established in order to develop an analyzer, which is able to register both the current flow characteristics and changes due to mechanical influence during a period. With this method, standards, which characterize for example the water binding of rye dough, could be set similarly to wheat doughs.

In this study the applicability of planetary mixer P 600 was tested for the measurement and the influence on dough consistency from rye flour. Furthermore the influences of process (variant of temperature, speed, sample weight, and water addition rate) and recipe parameters (different rye milling products, sourdough, lactic acid, yeast, salt, enzymes, and mixtures of rye and wheat flour) on the water absorption and the degradation of rye flour constituents by addition of enzymes were examined in order to increase the bread quality. The new analytical method was used to determine the amount of added water in the sourdough and lactic acid baking test. The rye dough was manufactured from 600 g flour (adjusted to 14 % flour moisture content) under standardized conditions with the P 600 and during the mixing and kneading phase the consistency was measured.

In order to be able to manufacture high-quality rye breads, it requires after the mixing and kneading procedure always even dough characteristic with an average consistency of 6.0 Nm. Using the P 600 it is possible to determine the required water absorption. On the basis of these analysis values rye breads were manufactured in particular quality criteria's like an even and well loosened crumb and sufficient volume to proof that the determined water absorption in the P 600 could serve as basis for the definition the dough yield of rye doughs. Furthermore a comparison of rye breads gave knowledge of the effect of enzymes on dough characteristics and finally on quality criteria such as form, crumb loosening, pore uniformity, etc.. Using the new method a good correlation between mechanistically and sensory water absorption determined by specialists, could be shown in the baking tests.

**Keywords:** rye dough, dough consistency, planetary mixer P 600, rye breads, water absorption



|           |  |    |
|-----------|--|----|
| <b>1</b>  | <b>EINFÜHRUNG</b> .....  | 1  |
| 1.1       | Einleitung.....  | 1  |
| 1.2       | Problemstellung.....   | 3  |
| 1.3       | Zielsetzung.....   | 5  |
| <b>2</b>  | <b>THEORETISCHE GRUNDLAGEN</b> .....   | 7  |
| 2.1       | FUNKTIONELLE EIGENSCHAFTEN DER INHALTSSTOFFE VON ROGGENMAHLERZEUGNISSEN..... | 7  |
| 2.1.1     | Kohlenhydrate.....   | 11 |
| 2.1.1.1   | Stärke.....  | 12 |
| 2.1.1.2   | Freie Zucker.....  | 16 |
| 2.1.1.3   | Ballaststoffe.....   | 16 |
| 2.1.1.3.1 | Monomere Phenolcarbonsäuren in Roggenballaststoffe.....                      | 19 |
| 2.1.1.3.2 | Dehydrodiferulasäuren in Roggenballaststoffe.....                            | 20 |
| 2.1.1.3.3 | Pentosane (Arabinoxylane).....   | 21 |
| 2.1.1.3.4 | Lignin.....  | 26 |
| 2.1.1.3.5 | Fructane und Raffinose.....  | 27 |
| 2.1.1.3.6 | Cellulose und Mixed-linked $\beta$ -Glucane.....                             | 28 |
| 2.1.2     | Protein.....   | 30 |
| 2.1.3     | Lipide.....  | 32 |
| 2.1.4     | Enzyme.....  | 34 |
| 2.1.4.1   | Amylasen.....  | 36 |
| 2.1.4.1.1 | $\alpha$ -Amylase.....   | 37 |
| 2.1.4.1.2 | $\beta$ -Amylase.....  | 38 |
| 2.1.4.1.3 | Amylasen aus genetisch modifizierten Organismen.....                         | 38 |
| 2.1.4.1.4 | Amyloglucosidasen bzw. Glucamylasen.....                                     | 39 |
| 2.1.4.2   | Proteinasen.....   | 39 |
| 2.1.4.3   | Hemicellulase (ink. Xylanase, Pentosanase) .....                             | 40 |
| 2.1.4.4   | Lipase (Esterase) und Lipoxygenase (Lipoxydase).....                         | 43 |
| 2.1.4.6   | Andere Enzyme.....   | 45 |
| 2.1.5     | Gelbildung bei der Teigherstellung.....                                      | 46 |
| 2.1.6     | Änderungen der Mehlinhaltsstoffe während der Roggenbrotherstellung.....      | 47 |
| 2.1.6.1   | Eiweißabbau im Sauerteig.....  | 47 |
| 2.1.6.2   | Änderungen der Ballaststoffe während der Roggen-                             |    |

|           |  |    |
|-----------|--|----|
|           | brotherstellung.....   | 48 |
| 2.1.6.3   | Fructanabbau im Verlauf der Brotherstellung.....                                 | 50 |
| 2.1.6.4   | Dimerisierungsgrad der Ferulasäure im Verlauf der Roggenbrotherstellung.....     | 52 |
| 2.2       | RHEOLOGIE DER ROGGENTEIGE.....   | 53 |
| 2.2.1     | Rheologie/ Rheometrie.....   | 55 |
| 2.2.1.1   | Rheologie.....   | 56 |
| 2.2.1.2   | Haptik und Kinästhetik.....  | 56 |
| 2.2.1.3   | Makrorheologie oder phänomenologische Rheologie.....                             | 59 |
| 2.2.1.4   | Deformation.....   | 60 |
| 2.2.1.5   | Modelle idealer rheologischer Grundeigenschaften.....                            | 61 |
| 2.2.1.6   | Modelle für komplizierte rheologische Eigenschaften .....                        | 62 |
| 2.2.2     | Einfluss des Wassers auf Rheologie.....  | 64 |
| 2.2.3     | Rheologie von Roggenteigen.....  | 65 |
| 2.2.3.1   | Konsistenz.....  | 65 |
| 2.2.3.2   | Die sensorische Beurteilung der Konsistenz.....                                  | 66 |
| 2.2.3.3   | Zeitunabhängig nichtnewtonsches Fließverhalten .....                             | 67 |
| 2.2.3.3.1 | Pseudoplastisches Fließverhalten.....  | 67 |
| 2.2.3.3.2 | Dilatanz.....  | 67 |
| 2.2.3.3.3 | Viskoplastisches Fließverhalten.....   | 68 |
| 2.2.3.3.4 | Strukturplastisches Verhalten.....   | 68 |
| 2.2.3.4   | Rheologische Eigenschaften der Roggenteige.....                                  | 68 |
| 2.2.3.4.1 | Einige grundlegende Bemerkungen zur rheologische Eigenschaft.....                | 69 |
| 2.2.3.4.2 | Die Struktur von plastischen Stoffen.....  | 70 |
| 2.2.4     | Rheologische Methoden.....   | 71 |
| 2.2.4.1   | Bestimmung der Verkleisterungseigenschaften der Stärke mit dem Amylographen..... | 71 |
| 2.2.4.2   | Bestimmung der Fallzahl als Maß für die Alpha-Amylase-Aktivität .....            | 73 |
| 2.2.4.3   | Roggen - Viskositäts - Test (RVT) .....  | 74 |
| 2.2.4.4   | Oberflächenklebrigkeit - Test.....   | 75 |
| 2.2.4.5   | Rheotestogramm - Quellkurve.....   | 76 |
| 2.2.4.6   | RVA Messungen an Mehlsuspensionen.....   | 76 |

|             |   |           |
|-------------|---|-----------|
| 2.2.4.7     | Quellkurve nach Drews.....  | 76        |
| 2.2.4.8     | Laufzahl.....   | 77        |
| 2.2.4.9     | Wasseraufnahme von Roggentypenmehlen im<br>Brabender Farinographen.....             | 77        |
| 2.2.5       | Wasseraufnahme und Teigviskosität.....  | 79        |
| <b>3</b>    | <b>MATERIAL UND METHODEN.....</b>   | <b>84</b> |
| 3.1         | ROHSTOFFE, GERÄTE, MATERIALIEN UND ZUTATEN..  | 84        |
| 3.1.1       | Mehlinhaltsstoffe und -eigenschaften .....  | 84        |
| 3.1.2       | Wasser.....   | 87        |
| 3.1.3       | Weitere Rohstoffe/ Zutaten.....   | 87        |
| 3.1.4       | Geräte und Maschinen.....   | 87        |
| 3.1.5       | Materialien (Chemikalien) .....   | 88        |
| 3.1.6       | Enzyme.....   | 89        |
| 3.1.6.1     | Alphamalt TTC, Alphamalt H 8043.....  | 90        |
| 3.1.6.2     | Alphamalt LP 12066.....   | 90        |
| 3.1.6.3     | Veron HF, Veron Spezial.....  | 91        |
| 3.1.6.4     | Grindamyl Max-LIFE E16, Grindamyl A 10000.....                                      | 91        |
| 3.2         | UNTERSUCHUNGSMETHODEN.....  | 92        |
| 3.2.1       | Bestimmung der Feuchtigkeit.....  | 92        |
| 3.2.2       | Bestimmung des Mineralstoffgehaltes.....  | 93        |
| 3.2.3       | Bestimmung der Fallzahl als Maß für die Alpha-Amylase-<br>Aktivität .....           | 93        |
| 3.2.4       | Bestimmung der Verkleisterungseigenschaften der Stärke<br>mit dem Amylographen..... | 93        |
| 3.2.5       | Wasseraufnahme von Roggentypenmehlen im Brabender<br>Farinographen.....             | 94        |
| 3.2.6       | Untersuchung des Säuregrades .....  | 94        |
| 3.2.7       | Statistische Methoden.....  | 94        |
| 3.2.7.1     | Arithmetisches Mittel (Mittelwert oder Durchschnittwert)....                        | 95        |
| 3.2.7.2     | Varianz .....   | 96        |
| 3.2.7.3     | Standardabweichung (STABW).....   | 96        |
| 3.2.7.4     | Varianzanalyse (Analysis of Variance, ANOVA)  | 97        |
| 3.2.7.4.1   | Einführung in die inferenzstatistische Hypothesenprüfung..                          | 98        |
| 3.2.7.4.1.1 | Hypothese.....  | 99        |

|               |  |            |
|---------------|--|------------|
| 3.2.7.4.1.1.1 | Nullhypothese ( $H_0$ ).....   | 99         |
| 3.2.7.4.1.1.2 | Alternativhypothese ( $H_1$ ).....   | 99         |
| 3.2.7.4.1.2   | Formulierung von statistischen Hypothesen.....   | 100        |
| 3.2.7.4.1.3   | $\alpha$ -Niveau.....  | 101        |
| 3.2.7.4.1.4   | Ein- oder zweiseitige Testung.....   | 101        |
| 3.2.7.4.1.5   | Fehler beim Hypothesentesten.....  | 102        |
| 3.2.7.4.2     | Effektkodierung.....   | 102        |
| 3.2.7.4.3     | F-Test und F-Wert (F-Value, ANOVA equivalent to the t-Value).....                          | 103        |
| 3.2.7.4.4     | p-Wert ( $Pr > F$ , significant Probability).....  | 103        |
| 3.2.7.4.5     | Duncan-Test.....   | 104        |
| 3.2.7.4.6     | Statistische Auswertung.....   | 104        |
| 3.3           | PLANETENMISCHER TYP P 600.....   | 107        |
| 3.3.1         | Antrieb.....   | 108        |
| 3.3.2         | Knet-, Rühr- und Mischwerkzeuge.....   | 110        |
| 3.3.3         | Rühr- und Knetkessel.....  | 111        |
| 3.3.4         | Temperatursteuerung.....   | 111        |
| 3.4           | DIE EXPERIMENTELLEN BACKVERSUCHE.....  | 113        |
| 3.4.1         | Grundrezeptur und Teigbereitung des Sauerteiges.....                                       | 113        |
| 3.4.2         | Säuregradmessung des ausgereiften Sauerteiges.....   | 114        |
| 3.4.3         | Enzymvormischungen.....  | 115        |
| 3.4.4         | Grundrezeptur, Teigbereitung, Teigaufarbeitung und Backprozess.....                        | 116        |
| 3.4.4.1       | Teigausbeute.....  | 116        |
| 3.4.4.2       | Knetzeit, Kesselruhe und Teigruhe.....   | 117        |
| 3.4.4.3       | Teigaufarbeitung und Stückgare.....  | 117        |
| 3.4.4.4       | Vorbereitung der Teiglinge für den Backprozess.....  | 117        |
| 3.4.4.5       | Backprozess.....   | 118        |
| 3.4.5         | Säuregradmessung der Brote.....  | 118        |
| 3.4.6         | Bestimmung des Gebäckvolumens.....   | 118        |
| 3.4.7         | Bestimmung von Form, Lockerung, Porengleichmäßigkeit, Krumenelastizität und Geschmack..... | 119        |
| <b>4</b>      | <b>UNTERSUCHUNGEN UND ERGEBNISSE.....</b>  | <b>120</b> |
| 4.1           | GRÜNDE FÜR DIE FESTLEGUNG DER VERSUCHS-  |            |

|         |   |     |
|---------|---|-----|
|         | PARAMETER.....  | 120 |
| 4.1.1   | Werkzeug: Knethaken.....                                    | 120 |
| 4.1.2   | Tropftrichter .....   | 121 |
| 4.1.3   | Einwaage: 600 g .....                                       | 121 |
| 4.1.4   | Schüttwasser: 450 ml .....                                  | 121 |
| 4.1.5   | Drehzahl: 63 m <sup>-1</sup> (rpm).....                     | 121 |
| 4.1.6   | Wasser- und Knetkesseltemperatur: 25 °C.....                | 121 |
| 4.1.7   | Endkonsistenz: 6 Nm.....                                    | 122 |
| 4.1.8   | Zeit der Mehltemperierung und -vormischung: 1 min.....      | 122 |
| 4.1.9   | Wasserzugabezeit: 2 min .....                               | 122 |
| 4.1.10  | Teigbildungszeit: 1 min .....                               | 122 |
| 4.1.11  | Abschaben der Teigreste: 1 min.....                         | 123 |
| 4.1.12  | Knetzeit: 10 min.....                                       | 123 |
| 4.2     | UNTERSUCHUNGEN ZUM EINFLUSS DER PROZESS-<br>PARAMETER.....  | 124 |
| 4.2.1   | Einfluss der Temperaturvariante .....                       | 124 |
| 4.2.1.1 | Vorversuch.....   | 124 |
| 4.2.1.2 | Untersuchungen.....   | 125 |
| 4.2.2   | Einfluss der Drehzahlvariante .....                         | 126 |
| 4.2.2.1 | Vorversuch.....   | 126 |
| 4.2.2.2 | Untersuchungen.....   | 127 |
| 4.2.3   | Einfluss der Einwaagenvariante .....                        | 128 |
| 4.2.3.1 | Vorversuch I.....   | 128 |
| 4.2.3.2 | Vorversuch II.....  | 129 |
| 4.2.3.3 | Untersuchungen.....   | 130 |
| 4.2.4   | Einfluss der Wasserzugabegeschwindigkeitsvariante.....      | 131 |
| 4.2.4.1 | Vorversuch.....   | 131 |
| 4.2.4.2 | Untersuchungen.....   | 132 |
| 4.3     | UNTERSUCHUNGEN ZUM EINFLUSS DER REZEPTUR-<br>PARAMETER..... | 133 |
| 4.3.1   | Einfluss der unterschiedlichen Roggenmahlerzeugnisse.....   | 134 |
| 4.3.1.1 | Einfluss der Mehle von verschiedenen Mühlen .....           | 134 |
| 4.3.1.2 | Einfluss der Mehle von verschiedenen Typenzahlen.....       | 135 |
| 4.3.2   | Einfluss von 30 % Sauerteig-, 2 % Hefe- und 2 % Salz-       |     |

|           |   |     |
|-----------|---|-----|
|           | zugabe .....  | 136 |
| 4.3.2.1   | Einfluss der Mehle von verschiedenen Mühlen .....                       | 136 |
| 4.3.2.2   | Einfluss der Mehle von verschiedenen Typenzahlen.....                   | 137 |
| 4.3.3     | Einfluss der Zusatzvariante (Milchsäure, Sauerteig, Hefe und Salz)..... | 138 |
| 4.3.4     | Einfluss der Mehlmischungsvariante aus Roggen und Weizen.....           | 140 |
| 4.3.5     | Einfluss von Enzymen.....   | 142 |
| 4.3.5.1   | Vorversuch.....   | 142 |
| 4.3.5.2   | Untersuchungen bei 25 °C.....   | 143 |
| 4.3.5.3   | Untersuchungen bei 40 °C.....   | 144 |
| 4.4       | DIE EXPERIMENTELLEN BACKVERSUCHE.....                                   | 146 |
| 4.4.1     | Sauerteigbackversuch der Roggenmehle (II, III, V und X).....            | 146 |
| 4.4.1.1   | Grundrezeptur.....  | 146 |
| 4.4.1.2   | Darstellung und Erläuterung der Ergebnisse.....                         | 147 |
| 4.4.1.2.1 | Sauerteige.....   | 147 |
| 4.4.1.2.2 | Teigeigenschaften.....  | 147 |
| 4.4.1.2.3 | Roggenbrote.....  | 147 |
| 4.4.2     | Sauerteigbackversuch der Roggenmehle (V, VII, VIII und IX).....         | 150 |
| 4.4.2.1   | Grundrezeptur.....  | 150 |
| 4.4.2.2   | Darstellung und Erläuterung der Ergebnisse.....                         | 150 |
| 4.4.2.2.1 | Sauerteige.....   | 150 |
| 4.4.2.2.2 | Teigeigenschaften.....  | 151 |
| 4.4.2.2.3 | Roggenbrote.....  | 151 |
| 4.4.3     | Milchsäurebackversuch der Roggenmehle (V, VII, VIII und IX).....        | 153 |
| 4.4.3.1   | Grundrezeptur.....  | 153 |
| 4.4.3.2   | Darstellung und Erläuterung der Ergebnisse.....                         | 153 |
| 4.4.3.2.1 | Sauerteige.....   | 153 |
| 4.4.3.2.2 | Teigeigenschaften.....  | 154 |
| 4.4.3.2.3 | Roggenbrote.....  | 154 |
| 4.4.4     | Sauerteigbackversuch des Roggenmehls IV mit                             |     |

|           |  |            |
|-----------|--|------------|
|           | Enzymzusätzen.....   | 156        |
| 4.4.4.1   | Grundrezeptur.....   | 156        |
| 4.4.4.2   | Darstellung und Erläuterung der Ergebnisse.....            | 156        |
| 4.4.4.2.1 | Sauerteige.....  | 156        |
| 4.4.4.2.2 | Teigeigenschaften.....                                     | 157        |
| 4.4.4.2.3 | Roggenbrote.....   | 158        |
| <b>5</b>  | <b>DISKUSSION DER ERGEBNISSE</b> .....                     | <b>161</b> |
| 5.1       | EINFLUSS DER PROZESSPARAMETER.....                         | 161        |
| 5.1.1     | Temperaturvariante.....                                    | 161        |
| 5.1.2     | Drehzahlvariante.....                                      | 162        |
| 5.1.3     | Einwaagenvariante.....                                     | 163        |
| 5.1.4     | Wasserzugabegeschwindigkeitsvariante.....                  | 163        |
| 5.2       | EINFLUSS DER REZEPTURPARAMETER .....                       | 163        |
| 5.2.1     | Unterschiedliche Roggenmahlerzeugnisse.....                | 163        |
| 5.2.2     | 30 % Sauerteig-, 2 % Hefe- und 2 % Salzzugabe .....        | 165        |
| 5.2.3     | Zusatzvariante (Milchsäure, Sauerteig, Hefe und Salz)..... | 166        |
| 5.2.4     | Mehlmischungsvariante aus Roggen und Weizen .....          | 167        |
| 5.2.5     | Enzyme.....  | 167        |
| 5.3       | BACKVERSUCHE.....  | 170        |
| 5.3.1     | Teigausbeute und Teigeigenschaften.....                    | 170        |
| 5.3.2     | Volumenausbeute.....                                       | 172        |
| 5.3.3     | Krumenelastizität.....                                     | 173        |
| <b>6</b>  | <b>SCHLUSSFOLGERUNGEN</b> .....                            | <b>175</b> |
| <b>7</b>  | <b>ZUSAMMENFASSUNG</b> .....                               | <b>186</b> |
| <b>8</b>  | <b>LITERATURVERZEICHNIS</b> .....                          | <b>192</b> |
| <b>9</b>  | <b>ANHANG</b> .....  | <b>203</b> |
| 9.1       | ANALYSEDATEN DES VERWENDETEN ROGGEN-<br>MEHLS I.....       | 203        |
| 9.2       | EINFLUSS DER TEMPERATURVARIANTE.....                       | 205        |
| 9.2.1     | Vorversuch.....  | 205        |
| 9.2.2     | Untersuchungen.....  | 206        |
| 9.3       | EINFLUSS DER DREHZAHLVARIANTE.....                         | 209        |
| 9.3.1     | Vorversuch.....  | 209        |

|        |  |     |
|--------|--|-----|
| 9.3.2  | Untersuchungen.....  | 211 |
| 9.4    | EINFLUSS DER EINWAAGENVARIANTE.....                              | 214 |
| 9.4.1  | Vorversuch I.....  | 214 |
| 9.4.2  | Vorversuch II.....   | 216 |
| 9.4.3  | Untersuchungen.....  | 218 |
| 9.5    | EINFLUSS DER WASSERZUGABEGESCHWINDIG-<br>KEITSVARIANTE.....      | 221 |
| 9.5.1  | Vorversuch.....  | 221 |
| 9.5.2  | Untersuchungen.....  | 223 |
| 9.6    | EINFLUSS DER UNTERSCHIEDLICHEN ROGGEN-<br>MAHLERZEUGNISSE.....   | 226 |
| 9.7    | EINFLUSS VON 30 % SAUERTEIG-, 2 % HEFE- UND<br>SALZZUGABE.....   | 235 |
| 9.8    | EINFLUSS DER ZUSATZVARIANTE.....                                 | 243 |
| 9.9    | EINFLUSS DER MEHLMISCHUNGSVARIANTE AUS<br>ROGGEN UND WEIZEN..... | 246 |
| 9.10   | EINFLUSS VON ENZYMEN.....  | 250 |
| 9.10.1 | Vorversuch.....  | 250 |
| 9.10.2 | Untersuchungen bei 25 °C.....                                    | 253 |
| 9.10.3 | Untersuchungen bei 40 °C.....                                    | 258 |
| 9.11   | SPEZIFIKATIONEN VON ENZYMEN.....                                 | 263 |
| 9.12   | PRODUKTSPEZIFIKATION VON ROGGENMEHL RM<br>997 VC1.....           | 270 |



|          |  |    |
|----------|--|----|
| Abb. 1:  | Anteile der Monosaccharide Galactose, Mannose, Glucose, Xylose und Arabinose in den Polysacchariden aus löslichen (links) und unlöslichen (rechts) Roggenballaststoffen. Rhamnose und Fucose wurden nur in Spuren detektiert.....        | 17 |
| Abb. 2:  | Strukturen von Dehydrodiferulasäuren (DFS); c - cyclic; nc - non-cyclic; dc - decarboxylated.....  | 20 |
| Abb. 3:  | Ausschnitt aus der Struktur der Arabinoxylane.....   | 21 |
| Abb. 4:  | Schematische Darstellung der radikalischen Dimerisierung von Ferulasäure.....  | 22 |
| Abb. 5:  | Strukturmodell für Arabinoxylane aus Roggen.....   | 23 |
| Abb. 6:  | Monolignole.....   | 27 |
| Abb. 7:  | Abbau von Hemicellulose durch Xylanase.....  | 30 |
| Abb. 8:  | Übersicht zu den pentosanabbauenden Enzymen des Getreidekorns.....   | 42 |
| Abb. 9:  | Gelbildung bei der Teigherstellung.....  | 46 |
| Abb. 10: | Fructangehalte in Roggenvollkornmehl (Vkmehl), in Teigen nach Kneten und nach der Gare und in Broten, hergestellt mit Teigsäuerungsmittel (TSM), Detmolder Einstufensauer (DES) und Berliner Kurzsauer (BKS) (M = Mehl, S = Schrot)..... | 51 |
| Abb. 11: | Physikalische Phänomene und sensorische Empfindungen von Licht und Textureigenschaften.....  | 55 |
| Abb. 12: | Sensorische Qualitätsmerkmale von Lebensmitteln.....   | 57 |
| Abb. 13: | Einleitung der Lebensmittel nach rheologischen Eigenschaften.....  | 63 |
| Abb. 14: | Fließkurven und Viskositäts-/Schergeschwindigkeits-Diagramme nicht-NEWTON'scher Lösungen. 1. pseudoplastisch; 2. dilatant; 3. viskoplastisch; 4. strukturplastisch.....  | 67 |
| Abb. 15: | Mechanische Modelle zur Veranschaulichung der rheologische Eigenschaften von Flüssigkeit, Festkörper, plastischen und viskoplastischem Material.....   | 69 |
| Abb. 16: | Arbeitsschema - Roggen - Viskositäts - Test.....   | 74 |
| Abb. 17: | Einteilung der RVT-Durchfluss-mengen.....  | 75 |
| Abb. 18: | Einfluss der Roggenmehlqualität auf die Wasseraufnahme im Brabender Farinographen.....   | 80 |
| Abb. 19: | Darstellung der Enzymwirkung in Roggenteigen.....  | 82 |

|          |   |     |
|----------|---|-----|
| Abb. 20: | Darstellung der Enzymwirkung in Roggenteigen.....   | 83  |
| Abb. 21: | Planetenmischer P600.....   | 107 |
| Abb. 22: | Gesamter Antrieb.....   | 108 |
| Abb. 23: | Kupplung.....   | 108 |
| Abb. 24: | Wellen/ Kegelräder.....   | 108 |
| Abb. 25: | Rotor, Planetenrad, Nutstein und Abstreifer.....  | 109 |
| Abb. 26: | Rotorwelle und Sonnenrad.....   | 109 |
| Abb. 27: | K-Rührer.....   | 110 |
| Abb. 28: | Kenwood-Knethaken.....  | 110 |
| Abb. 29: | Brotkrumen der verwendeten Roggenmehle.....   | 149 |
| Abb. 30: | Brotkrumen der verwendeten Roggenmehle.....   | 152 |
| Abb. 31: | Brotkrumen der verwendeten Roggenmehle.....   | 155 |
| Abb. 32: | Brotkrumen des verwendeten Roggenmehls mit Enzymzusätzen<br>.....                             | 160 |
| Abb. 33: | Beispiel für die Ergebnisse zur Bestimmung der Wasseraufnahme<br>von Roggenmehl mit P600..... | 185 |

|          |   |    |
|----------|---|----|
| Tab. 1:  | Inhaltsstoffe von Roggenmahlerzeugnissen.....   | 8  |
| Tab. 2:  | Technologische Unterschiede zwischen Weizen und Roggen .....  | 9  |
| Tab. 3:  | Übersicht über die technologisch wichtigen funktionellen Eigenschaften der Weizenproteine und Roggenschleimstoffe aus dem Endosperm .....   | 10 |
| Tab. 4:  | Tabellarische Übersicht über die technologisch wichtigen funktionellen Eigenschaften der Weizen- und Roggenstärke.....                      | 14 |
| Tab. 5:  | Konzentration an freien Zuckern im Roggen (ganzes Korn).....  | 16 |
| Tab. 6:  | Beispiele für Ballaststoffe.....  | 18 |
| Tab. 7:  | Inhaltsstoffe von Roggentypmehlen und Wasserbindung der Pentosane.....  | 25 |
| Tab. 8:  | Gehalt an Pentosanen im Roggen aus zwei Anbaugebieten.....  | 25 |
| Tab. 9:  | Ligningehalt im Roggen.....   | 27 |
| Tab. 10: | Fructan- und Raffinosegehalte im Vollkorn des Roggens.....  | 28 |
| Tab. 11: | Cellulose und $\beta$ -Glucangehalt im Roggen.....  | 30 |
| Tab. 12: | Eigenschaften verschiedener Getreideenzyme.....   | 35 |
| Tab. 13: | Enzymwirkungen auf den Teig und die Backwaren.....  | 36 |
| Tab. 14: | Zunahme der wasserlöslichen Stickstoffsubstanz im Sauerteig.....  | 47 |
| Tab. 15: | Ballaststoffgehalt und -beschaffenheit in Roggenvollkorn, imitiertem Sauerteig, Teig nach dem Kneten, Teig nach der Gare und Brotkrume..... | 49 |
| Tab. 16: | Abbau der Fructane während der Reife von Anstellgut und Sauerteig.....  | 50 |
| Tab. 17: | Ermittelte Mengen und Dimerisierungsgrad der Ferulasäure während der Roggenbrotherstellung.....   | 52 |
| Tab. 18: | Klassifikation von Textureigenschaften nach der Größe der einwirkenden Kraft.....   | 58 |
| Tab. 19: | Makrorheologische Klassifizierung nach Hauptgruppen .....   | 59 |
| Tab. 20: | Deformationsarten .....   | 60 |
| Tab. 21: | Übersicht über drei ideale einfache Modellkörper .....  | 61 |
| Tab. 22: | Mechanische Modelle idealer Körper und deren Deformationsverhalten.....   | 62 |
| Tab. 23: | Inhaltsstoffe von Roggenmehlen.....   | 84 |
| Tab. 24: | Analysendaten der verwendeten Roggenmehle - I.....  | 85 |

|          |   |     |
|----------|---|-----|
| Tab. 25: | Analysendaten der verwendeten Roggenmehle - II.....               | 85  |
| Tab. 26: | Analysendaten des verwendeten Weizenmehls.....                    | 86  |
| Tab. 27: | Verwendete Geräte/ Maschinen Teil I.....                          | 87  |
| Tab. 28: | Verwendete Geräte/ Maschinen Teil II.....                         | 88  |
| Tab. 29: | Materialien für pH-Wert- und Säuregradbestimmung.....             | 89  |
| Tab. 30: | Mögliche Entscheidung beim Hypothesentesten.....                  | 102 |
| Tab. 31: | Grundrezeptur Sauerteig.....                                      | 113 |
| Tab. 32: | Verwendete Höchstmengen der Enzympräparate in den Brotteigen..... | 115 |
| Tab. 33: | Grundrezeptur Roggenbrotteig.....                                 | 116 |
| Tab. 34: | Sensorische Beurteilungskriterien.....                            | 119 |
| Tab. 35: | Analysedaten des verwendeten Roggenmehls I.....                   | 120 |
| Tab. 36: | Einfluss der Temperaturvariante.....                              | 125 |
| Tab. 37: | Einfluss der Temperaturvariante.....                              | 126 |
| Tab. 38: | Einfluss der Drehzahlvariante.....                                | 127 |
| Tab. 39: | Einfluss der Drehzahlvariante.....                                | 128 |
| Tab. 40: | Einfluss der Einwaagenvariante.....                               | 129 |
| Tab. 41: | Einfluss der Einwaagenvariante.....                               | 130 |
| Tab. 42: | Einfluss der Einwaagenvariante.....                               | 131 |
| Tab. 43: | Einfluss der Wasserzugabegeschwindigkeitsvariante.....            | 132 |
| Tab. 44: | Einfluss der Wasserzugabegeschwindigkeitsvariante.....            | 133 |
| Tab. 45: | Einfluss der Mehle von verschiedenen Mühlen.....                  | 134 |
| Tab. 46: | Einfluss der Mehle von verschiedenen Typenzahlen.....             | 135 |
| Tab. 47: | Einfluss von 30 % Sauerteig-, 2 % Hefe- und 2 % Salzzugabe.....   | 137 |
| Tab. 48: | Einfluss von 30 % Sauerteig-, 2 % Hefe- und 2 % Salzzugabe.....   | 138 |
| Tab. 49: | Einfluss der Zusatzvariante.....                                  | 140 |
| Tab. 50: | Einfluss der Mehlmischungsvariante aus Roggen und Weizen.....     | 142 |
| Tab. 51: | Einfluss von Enzymen.....   | 143 |
| Tab. 52: | Einfluss von Enzymen bei 25 °C.....                               | 144 |
| Tab. 53: | Einfluss von Enzymen bei 40 °C.....                               | 145 |
| Tab. 54: | Grundrezeptur Roggenbrotteig.....                                 | 146 |
| Tab. 55: | pH-Wert und Säuregrad der verwendeten Sauerteige.....             | 147 |
| Tab. 56: | Ergebnisse der Backversuche.....                                  | 148 |
| Tab. 57: | Grundrezeptur Roggenbrotteig.....                                 | 150 |

---

|          |  |     |
|----------|--|-----|
| Tab. 58: | pH-Wert und Säuregrad der verwendeten Sauerteige.....                            | 150 |
| Tab. 59: | Ergebnisse der Backversuche.....   | 151 |
| Tab. 60: | Grundrezeptur Roggenbrotteig.....  | 153 |
| Tab. 61: | pH-Wert und Säuregrad der verwendeten Sauerteige.....                            | 153 |
| Tab. 62: | Ergebnisse der Backversuche.....   | 154 |
| Tab. 63: | Grundrezeptur Roggenbrotteig.....  | 156 |
| Tab. 64: | pH-Wert und Säuregrad der verwendeten Sauerteige.....                            | 157 |
| Tab. 65: | Ergebnisse der Backversuche - I.....   | 159 |
| Tab. 66: | Ergebnisse der Backversuche - II.....  | 159 |
| Tab. 67: | Verwendete Geräte/ Maschinen.....  | 179 |
| Tab. 68: | Exaktes Probengewicht unter Berücksichtigung des Feuchtigkeits-<br>gehaltes..... | 180 |

|                    |  |
|--------------------|--|
| AE                 | Amylogramm-Einheiten                                     |
| ANOVA              | Analysis of Variance (Varianzanalyse)                    |
| Ara                | Arabinose  |
| Ara/Xyl-Verhältnis | Arabinose/Xylose-Verhältnis                              |
| AX                 | Arabinoxylan   |
| BE                 | Brabender-Einheiten                                      |
| BKS                | Berliner Kurzsauer                                       |
| BS                 | Ballaststoff   |
| DES                | Detmolder Einstufensauer                                 |
| DFRC-Methode       | Derivatization Followed by Reductive Cleavage-Method     |
| DFS                | Diferulasäuren   |
| DFS                | Dehydrodiferulasäure                                     |
| DG                 | Dimerisierungsgrad                                       |
| DP                 | Durchschnittlicher Polymerisationsgrad                   |
| EK                 | Endkonsistenz  |
| FFS                | Freie Fettsäure  |
| FOS                | Fructo-Oligo-Saccharide                                  |
| FS                 | Ferulasäure  |
| Gal                | Galactose  |
| Glc                | Glucose  |
| GLC-FID            | Gas-Liquid-Chromatography with Flame Ionization Detector |
| GMO                | Genetisch modifizierte Organismen                        |
| HMW                | High Molecular Weight                                    |
| HoPS               | Homopolysaccharide                                       |
| ICC-Standard       | International Association for Cereal Chemistry           |
| ISO-Norm           | International Standard Organisation-Norm                 |
| i.Tr.              | In der Trockenmasse                                      |
| KA                 | Konsistenzabfall   |
| KM                 | Konsistenzmaximum  |
| kNm                | Kilonewtonmeter  |
| LBS                | Lösliche Ballaststoffe                                   |
| LMW                | Low Molecular Weight                                     |
| M                  | Mehl   |
| Man                | Mannose  |

|                |   |
|----------------|---|
| min            | Minute  |
| Nm             | Newtonmeter ( $\text{m}^2\text{kgs}^{-2}$ )                           |
| NSP            | Nicht-Stärke-Polysaccharide   |
| PCS            | Phenolcarbonsäure   |
| pCS            | p-Cumarsäure  |
| PSL            | Pufferstammlösung   |
| RPM            | Revolutions per Minute  |
| RVA            | Rapid Visco Analyzer  |
| RVT            | Roggen-Viskositäts-Test   |
| S              | Schrot  |
| SA             | Sinapinsäure  |
| SD (DG)        | Standardabweichung des Dimerisierungsgrades                           |
| SDS-PAGE       | Sodium Dodecyl (Lauryl) Sulfate-polyacrylamide Gel<br>Electrophoresis |
| STABW          | Standardabweichung  |
| TA             | Teigausbeute  |
| TEZ            | Teigentwicklungszeit  |
| TS             | Trocken-Substanz  |
| TSM            | Teigsäuerungsmittel   |
| TT             | Teigtemperatur  |
| UBS            | Unlösliche Ballaststoffe  |
| Vkmehl         | Vollkornmehl  |
| WA             | Wasseraufnahme  |
| WL             | Wasserlöslich   |
| WUL            | Wasserunlöslich   |
| XOS            | Xylo-Oligo-Saccharide   |
| XPS            | Xylo-Polysaccharide   |
| Xyl            | Xylose  |
| $\dot{\gamma}$ | Schergefälle  |
| $\tau$         | Schubspannung   |
| $\eta$         | Viskosität  |

# 1 Einführung

## 1.1 Einleitung

Ebenso wie der Weizen gehört der Roggen in Deutschland zu den Brotgetreidearten. Roggenmählerzeugnisse werden mit oder auch ohne den Zusatz von zerkleinertem Weizen zu Brot verarbeitet. Die Verwendung von Roggen ist ein wesentlicher Grund für die Vielfalt im deutschen Brotsortiment. Mit dem Zusatz von mehr als 50 % Roggen zum Teig verändern sich die Verarbeitungseigenschaften der Teige erheblich.

Während Weizenteige durch die Ausbildung eines Klebnetzes<sup>1</sup> ein viskoelastisches Verhalten zeigen, erkennt man bei Roggenteigen plastische Eigenschaften. Diese Veränderungen der Teigstruktur haben erhebliche Auswirkungen auf die weiteren Verarbeitungsschritte, auf die Auswahl der zu verwendeten Maschinen, auf die Gärzeiten und auf den Backprozess.

Die Untersuchungen am Weizen wurden in den letzten 200 Jahren in aller Welt wissenschaftlich mit großer Intensität durchgeführt. Insbesondere die rheologischen Methoden konnten zu einem weltweiten Standard entwickelt werden, weil nicht nur in Europa, sondern auch in Nordafrika, Westasien, Australien, Nord- und Südamerika die Verarbeitung von Weizen durch entsprechende Forschung begleitet wurde.

Beim Roggen beschränkte man sich bisher auf die Untersuchung der Enzymaktivität, in Anlehnung an entsprechende Untersuchungen beim Weizen. Die Charakterisierung der Backeigenschaften von Roggenmählerzeugnissen wurde mittels des Amylographen und des Fallzahlgerätes bestimmt. Anhand dieser Analysen konnte man eine zu hohe Enzymaktivität auf die Stärke ausschließen und somit einen Hinweis erhalten, ob aus dem Rohstoff ein Brot mit akzeptabler Verzehreseignung hergestellt werden konnte. Damit war den Bäckern zwar schon geholfen, doch ihnen blieb noch ein weites Feld an Empirie, um aus dem wenig beschriebenen Rohstoff ein von den Kunden akzeptiertes Brot herzustellen. Als Beispiel seien hier die exakten Untersuchungen der Wasseraufnahme oder der Dehnungseigenschaften der Weizenteige genannt.

Bis in die 80er Jahre überließ die Wissenschaft es den Praktikern, mit welcher Wassermenge ein Teig aus einem bestimmten Roggenmehl hergestellt werden konnte. Mit den Untersuchungen der Weizenteige beschäftigte sich die Wissenschaft

---

<sup>1</sup> vgl. Wieser und Kieffer 2001, S. 19



schon viel früher, ein erstes Gerät zur Bestimmung der Wasseraufnahme von Mehlen von Hankóczy, entwickelt im Jahre 1912, ein weiteres zum Prüfen von Teigen im Jahre 1920, den Extensographen konstruierte Brabender 1936.<sup>2</sup> Durchgesetzt und weltweite Anerkennung gefunden hatte der von Hankóczy und Brabender schon im Jahre 1933 auch in seiner heutigen Form entwickelte Farinograph, sowie die von Brabender allein gebauten Extensograph und Amylograph.<sup>3</sup>

Der Grund für die fehlende wissenschaftliche Bearbeitung der Analyse von Roggen liegt wohl auch in der regionalen Verarbeitung. Roggen wird hauptsächlich in Mittel-, Nord- und Osteuropa zu Brot verarbeitet. Der Bedarf an weiteren Informationen wurde in diesen Gebieten nur selten formuliert. Allein Drews beschäftigte sich ausführlich in seinen Forschungen mit dem Roggen.

Es gab viele Theorien über die Teigbildung beim Roggen, doch konkret untersucht wurden sie selten. „Roggenteige unterscheiden sich von Weizenteigen dadurch, dass kein durchgehendes Klebergerüst gebildet werden kann, obwohl Roggeneiweiß dem Weizenkleber chemisch nicht unähnlich ist und in gereinigter Form ebenfalls viskoelastisch ist. Roggen enthält wesentlich mehr Schleimstoffe als Weizen. Roggenteilchen umgeben sich sofort mit einer dicken Schleimschicht. Beim Quellen der Roggenmehlpartikel entstehen zwar Kleberfäden aber mit weniger Proteinflächen als bei Weizen. Aus Analogiegründen nimmt man an, dass dies auch beim Roggenteig die Hauptursache für seine rein plastischen Eigenschaften ist. Die Mehlinhaltstoffe sind bei Roggenteig homogener vermischt, als bei Weizen, obwohl der Teig weniger geknetet wird. Es bilden sich keine getrennten Protein-, Stärke- und Wasserphasen. Dies liegt daran, dass die Entmischung von Kleber und Stärke durch die hohe Viskosität der löslichen Phase nicht erfolgt. Diese ist so dickflüssig, dass Wasser auch durch Ultrazentrifugieren nicht abgetrennt werden kann.“<sup>4</sup>

So blieb beispielsweise die Möglichkeit, die Wasseraufnahme der Roggenmahlerzeugnisse festzulegen, bis zu den Untersuchungen von Brümmer<sup>5,6</sup> unbeachtet. Er erarbeitete einige Methoden, die der Praxis helfen sollten, doch sie blieben in der praktischen Umsetzung der Produktion von Roggenbackwaren von geringer Bedeutung.

---

<sup>2</sup> vgl. Rothe et al. 1973, S. 270

<sup>3</sup> vgl. Hampel 1953, S. 35

<sup>4</sup> vgl. Kieffer 2004, S. 19

<sup>5</sup> vgl. Brümmer 1987, S. 310

<sup>6</sup> vgl. Brümmer 1988, S. 272

## 1.2 Problemstellung

Schäfer konnte schon in den 70er Jahren ein rheologisches Optimum für Verarbeitung von Weizenteigen auf der Grundlage der Erfahrungen mit dem Farinographen und dem Extensographen formulieren. „Das rheologische Optimum (RO) ist derjenige physikalische Zustand eines Teiges, der bei gegebenen Verarbeitungsbedingungen zu optimalen Gebäckqualitäten führt.“<sup>7</sup>

Übertragen ließen sich diese Gedanken auf die Roggenverarbeitung nicht, weil den Roggenteigen die viskoelastischen Eigenschaften fehlen. Es ist also bis heute nicht möglich, die Roggenteige hinsichtlich ihrer Fließeigenschaften zu definieren, selbst wenn man die Forschungen von Brümmer berücksichtigt.

Bisher wurde die Wasseraufnahme der Roggenmahlerzeugnisse nach einem Vorschlag von Brümmer mit dem für Weizenteige international akzeptierten Farinographen geprüft. Der Knetter des Farinographen mit den doppelten Knetschaufeln ist aber für visko-elastische Teige ausgelegt. Gemessen wird der Widerstand des Teiges gegen die Knetwerkzeuge.<sup>8</sup> Allerdings bleibt dabei die Adhäsion des Teiges gegen die Knetterwand unberücksichtigt. Die dabei auftretenden Kräfte können das Ergebnis hinsichtlich der Wasseraufnahme deutlich beeinflussen, wie von Weipert<sup>9</sup> schon herausgestellt. Da die plastischen Roggenteige eine, im Vergleich zu den Weizenteigen, wesentlich höhere Klebrigkeit aufweisen, sind deshalb systembedingt Einschränkungen bei der Umsetzung in die Praxis zu beachten. Die Beurteilung dieses Analysensystems durch Freund<sup>10</sup> kann wie folgt zusammen gefasst werden:

- Die Methode von Brümmer eignet sich gut zur Bestimmung der Wasseraufnahme.
- Es können aber Teigbrücken auftreten, die eine reproduzierbare Bestimmung der optimalen Wassermenge erschweren.
- Reinigung des Kneters zwischen den Untersuchungen ist sehr aufwendig.
- Der Farinograph ist ein Gerät, das visko-elastische Eigenschaften von Weizenteigen sehr gut messen, aber weniger gut plastische Merkmale von Roggenteigen aufzeigen können.

---

<sup>7</sup> vgl. Schäfer 1972, S. 565

<sup>8</sup> vgl. Freund 1995, S. 248

<sup>9</sup> vgl. Weipert 1993, S. 320

<sup>10</sup> vgl. Freund et al. 2005 a

Obwohl die Methode von Brümmer schon vor mehr als zehn Jahren publiziert wurde, konnte sie sich nicht in der Praxis durchsetzen. Mangels Alternativen wurden aber trotzdem Roggenteige hinsichtlich ihrer Festigkeit, nicht zur Ermittlung der Wasseraufnahme, im Farinographen geprüft.<sup>11</sup>

Aus dem Bereich der Prüfung von Kunststoffen stammt der Planetenmischer P 600. Dieser Planetenmischer, auch als Knetter<sup>12</sup> einsetzbar, ist für Produkte mit plastischem Verhalten entwickelt worden. Der Planetenmischer kann, ebenso wie der Messknetter für Weizenteige, an das Messsystem des Farinographen angeschlossen werden und registriert die Veränderungen unter der mechanischen Belastung. Da Roggenteige, rheologisch gesehen, als „plastisch“ eingestuft werden müssen, ist es sinnvoll, diesen Mischer hinsichtlich der Eignung für die Konsistenzmessung zu prüfen.

Die Roggenmahlerzeugnisse in den vergangenen Jahren zeichneten sich durch eine niedrige Enzymaktivität aus. Diese, aus züchterischer Sicht gewollte Änderung, hatte negative Wirkungen auf die Brotqualität. Die Backwaren sind weniger gut gelockert, die Krume bleibt engporig und die Alterung schreitet sehr schnell voran. Um den Mangel zu beheben, können den Roggenteigen Enzyme zugesetzt werden. Weiterhin können die Gebäckeigenschaften durch lange Quellungszeiten positiv beeinflusst werden. Die in den letzten Jahren festgestellte geringe Enzymaktivität von Roggenmahlerzeugnissen wirkt sich auch auf das Abbauverhalten von unlöslichen Pentosanen zu löslichen Pentosanen aus. Gerade der hohe Anteil der unlöslichen Pentosane führt zu einer unbefriedigenden Gebäckqualität.<sup>13</sup>

Brümmer<sup>14, 15</sup> hat einen Vorschlag unterbreitet, wie die Wasseraufnahme von Roggenmahlerzeugnissen ebenfalls mit dem Farinographen ermittelt werden kann. Diese Untersuchungen zeigten, dass mit dem für Weizenteige entwickelten Knetter bei Ringversuchen gute Übereinstimmungen erzielt werden konnten. Die Konsistenz wurde aber nicht auf 500 Farinogrammeinheiten (FE) wie beim Weizen festgelegt, sondern für den Sauerteigbackversuch sollte diejenige Wassermenge genommen werden, die man bei den Roggenteigen für 300 FE 10 Minuten nach Knetbeginn benötigte. Die Methode, Roggenteige im Farinographen zu untersuchen, konnte auch dann angewandt werden, wenn die Konsistenz der Teige, beispielsweise mit

---

<sup>11</sup> vgl. Freund 2005 b

<sup>12</sup> Definition: Der Knetter verwendet zum Kneten und Anteigen. Als Kneten bezeichnet man die Mischverfahren, bei denen die zu mischenden Stoffe bzw. die entstehende Mischung in zähflüssigem bis teigigem Zustand vorliegen (vgl. Ignatowitz 2003, S. 212)

<sup>13</sup> vgl. Meuser und Suckow 1986, S. 332

<sup>14</sup> vgl. Brümmer 1987, S. 310

<sup>15</sup> vgl. Brümmer 1988, S. 272

unterschiedlichen Zusätzen, nicht nur sensorisch, sondern mit einem Messsystem verglichen werden musste.

### 1.3 Zielsetzung

Die Wasserbindung im Roggenteig und die sich daraus ergebende Teigausbeute ist ein sehr wesentliches Merkmal für die Beurteilung eines Mehles. Der Möglichkeit der Bestimmung der Wasseraufnahmefähigkeit bei einer bestimmten Teigkonsistenz kommt daher aus kalkulatorischen, technologischen und qualitativen Gründen große Bedeutung zu. Die Wirkung der Quellstoffe bzw. deren Einfluss auf das Wasserbindevermögen bei der Teigbereitung ist derzeit kaum exakt erfassbar. Aus diesem Grund sollte in Zusammenarbeit mit einem bedeutenden Hersteller von Messgeräten eine Messeinheit entwickelt, die sowohl die aktuellen Fließ-eigenschaften, als auch die Veränderungen über einen Zeitraum mit mechanischer Beeinflussung aufzeichnen kann. Mit dieser Methode könnten, ähnlich wie bei Weizenteigen, Standards gesetzt werden, die beispielsweise die Wasserbindung von Roggenteig charakterisieren kann. Der Planetenmischer Typ P 600 ist eigentlich zur Untersuchung der Eigenschaften von Pulvern wie z. B. der Flüssigkeitsabsorption und der Höhe der Weichmacheraufnahme, aber auch zur Viskositätsbestimmung fließfähiger Massen konstruiert worden. Bei den Untersuchungen bzw. Messungen eines Mediums ist das auftretende Drehmoment Ausdruck des rheologischen Verhaltens. Drehmomentsänderungen bei der Untersuchung, d. h. während des Misch- und Knetvorgangs, können durch folgende Faktoren hervorgerufen werden:<sup>16</sup>

- Plastifiziervorgänge
- Aufheizen der Probe durch Dissipation<sup>17</sup> (Energiedissipation)
- Destruktion<sup>18</sup> bzw. Destruktionsvorgänge der Probensubstanz als Folge thermischer und/ oder mechanischer Belastung
- Vernetzungs- bzw. Strukturierungsprozesse mit/ ohne Zugabe reaktiver Substanzen oder als Folge thermischer und mechanischer Belastungen<sup>19</sup>

Diese Möglichkeiten der Auswertung von viskosen bzw. plastischen Medien waren Anlass, die Eignung des P 600 für die Wasseraufnahme bei Roggenteigen zu testen.

---

<sup>16</sup> vgl. Brabender 1999, S. 18

<sup>17</sup> Definition: Dissipation bezeichnet den Übergang einer Energieform in Wärmeenergie (vgl. Drosdowski et al. 1996, S. 219)

<sup>18</sup> Definition: Destruktion = zersetzend, zerstörend (vgl. Drosdowski et al. 1996, S. 210)

<sup>19</sup> vgl. Brabender 1999, S. 18

Folgende Fragen sind zu stellen:

- Durch welchen Prozessparameter, z.B. Temperatur, Drehzahl, Einwaage oder Wasserzugabegeschwindigkeit ist diese beeinflussbar?
- Wie wirken sich Veränderungen von Rezepturparameter, z.B. Unterschiedliche Roggenmahlerzeugnisse, Sauerteig, Milchsäure, Hefe, Salz, Enzyme oder Mehlmischungen aus Roggen und Weizen aus?

Das rheologischen Optimum ist eng verknüpft mit dem enzymatischen Optimum und muss zu diesem in einem ausgewogenen Verhältnis stehen. Mit dem P 600 ist es möglich, die hierfür erforderliche Wasseraufnahme zu analysieren. Mit dem P 600 wird die Wasseraufnahme zum Erreichen des rheologischen Optimums eines Roggenmahlerzeugnisses ohne und mit Enzymzusätzen ermittelt. Auf der Basis dieser Analysenwerte wurden Roggenbrote hergestellt, bei denen insbesondere Qualitätsmerkmale wie eine gut gelockerte Krume und ein ausreichendes Volumen den Beweis liefern sollen, dass die ermittelte Wasseraufnahme im P 600 als Grundlage für die Festlegung der Teigausbeute von Roggenteigen dienen kann. Ferner sollte ein Vergleich der Roggenbrote untereinander erste Erkenntnisse darüber liefern, welchen Einfluss Enzyme auf die Teigeigenschaften und letztlich auf die Qualitätskriterien wie Form, Lockerung, Porengleichmäßigkeit usw. haben.

Zusammengefasst können die Zielsetzungen für diese Arbeit wie folgt formuliert werden:

- Untersuchungen der Eignung des P 600 zur Messung und Beeinflussung der Konsistenz von Teigen aus Roggenmehl
- Untersuchungen zum Einfluss der Prozess- und Rezepturparameter auf die Wasseraufnahme
- Untersuchungen des Abbaus von Roggenmehlinhaltsstoffen durch Enzyme zur Steigerung der Brotqualität

## 2 Theoretische Grundlagen

Die Erläuterungen zu den theoretischen Grundlagen sollen zu einem besseren Gesamtverständnis der in der Einleitung formulierten Thematik beitragen. Sie beziehen sich auf Themengebiete, die bei der Zielumsetzung dieser Arbeit von Relevanz sind. Dazu zählen:

- Funktionelle Eigenschaften der Inhaltsstoffe von Roggenmahlerzeugnissen
- Rheologie der Roggenteige

Die Erläuterungen der funktionellen Eigenschaften der Inhaltsstoffe von Roggenmahlerzeugnissen und rheologischer Grundbegriffe dienen dem Zweck, die Funktionsweise des Planetenmischers P 600 zum einen besser zu verstehen und zum anderen die Messergebnisse hinsichtlich der Einsatzmöglichkeit des Planetenmischers für die Messung und Beeinflussung der Konsistenz von Teigen aus Roggenmehl besser analysieren zu können. Somit bedarf es ferner auch einer genaueren Betrachtung der Teig rheologie. Hier sollen Faktoren genannt werden, die Einfluss auf die Konsistenzeigenschaften von Teigen ausüben. Es finden Aspekte Berücksichtigung, die grundsätzlich die Teig rheologie - unabhängig von dem verwendeten Roggenmahlerzeugnis - beeinflussen, aber auch Umstände, die speziell auf die rheologischen Eigenschaften von Roggenteigen einwirken.

### 2.1 Funktionelle Eigenschaften der Inhaltsstoffe von Roggenmahlerzeugnissen

Die funktionellen Eigenschaften der Inhaltsstoffe bestimmen den Verwendungszweck (Brot-, Futter-, Industriegetreide u.a.) und die Prozessparameter in der Herstellung eines Produktes. „Die Qualitätsmerkmale von Getreide und Mahlprodukten können außerordentlich breit variieren. Sie resultieren aus unterschiedlichen funktionellen Eigenschaften einer oder mehrerer Komponenten sowie ihren Wechselbeziehungen untereinander. Nur in wenigen Fällen lässt sich das Verhalten auf einen einzelnen Inhaltsstoff zurückführen. Die gezielte Einflussnahme erfordert vertiefte Kenntnisse

über die Struktur/Eigenschaftsbeziehungen der Inhaltsstoffe sowie über die Reaktionsmechanismen.“<sup>20</sup>

Weipert<sup>21</sup> beschrieb, dass die für das Backverhalten der Mahlerzeugnisse und den Ablauf des Backprozesses wichtigen Eigenschaften mit der Tatsache eng verbunden sind, dass die Korninhaltsstoffe Quellstoffe (Proteine und Pentosane) und Stärke, das im Backprozess optimiert angebotene Wasser mengenmäßig und zeitlich bzw. in Abhängigkeit von der Temperatur unterschiedlich binden, umverteilen und halten können. Da es sich dabei um das Wasserbindevermögen dieser Stoffe und somit um eine direkte Einflussnahme auf die Viskosität und die übrigen rheologischen Eigenschaften der Teige, der Zwischenprodukte und des Endproduktes Gebäck handelt, ist das Backverhalten im Ganzen als ein rheologisches Problem zu betrachten.

Inhaltsstoffe von Roggenmahlerzeugnissen sind in Tab. 1 zusammengefasst.<sup>22</sup>

**Tab. 1: Inhaltsstoffe von Roggenmahlerzeugnissen**<sup>23</sup>

| Roggen      | Wasser (%) | Total Nitrogen | Protein (N x 5,8) | Protein (N x6,25) | Fett (%) | Kohlenhydrat (%) | Ballaststoff (%) | Mineralstoff (%) |
|-------------|------------|----------------|-------------------|-------------------|----------|------------------|------------------|------------------|
| Type 815    | 14,3       | 1,11           | 6,44              | 6,94              | 1,03     | 71,0             | 6,50             | 0,70             |
| Type 997    | 14,6       | 1,18           | 6,86              | 7,39              | 1,14     | 67,9             | 8,62             | 0,85             |
| Type 1150   | 13,6       | 1,43           | 8,31              | 8,96              | 1,30     | 67,8             | 8,00             | 0,98             |
| Type 1370   | 13,4       | 1,43           | 8,27              | 8,91              | 1,42     | 66,7             | 9,00             | 1,19             |
| Type 1800   | 14,3       | 1,73           | 10,00             | 10,80             | 1,50     | 58,8             | 13,9             | 1,54             |
| Ganzes Korn | 13,7       | 1,52           | 8,82              | 9,51              | 1,70     | 60,7             | 13,2             | 1,90             |

Die funktionellen Eigenschaften der Inhaltsstoffe von Roggenmahlerzeugnissen, insbesondere die seiner Hauptkomponenten Stärke, Protein und Pentosan, bewirken seine spezifische Mahl- und Backfähigkeit. „Polysaccharide und Eiweiße sind die wichtigsten Korninhaltsstoffe aller Getreidearten. Vereinfacht lassen sich die funktionellen Eigenschaften aller Inhaltsstoffe auf die Quellung und Wasserbindung reduzieren, wobei im Korn und in der weiteren Verarbeitung seiner Mahlprodukte Veränderungen des viskosen Zustandes entstehen.“<sup>24</sup> Bolling und Weipert<sup>25</sup> berichteten, dass an der Ausprägung des viskosen Verhaltens die Art, die Sorte und die Umweltbedingungen in der Vegetationsphase primär, sowie die technologischen Maßnahmen im Verarbeitungsprozess sekundär beteiligt sind. Der Roggen

<sup>20</sup> vgl. Klingler 1995, S. 121

<sup>21</sup> vgl. Weipert 1993, S. 310

<sup>22</sup> vgl. Souci et al. 2000, S. 563

<sup>23</sup> vgl. Souci et al. 2000, S. 563

<sup>24</sup> vgl. Weipert und Brümmer 1988, S. 90

<sup>25</sup> vgl. Bolling und Weipert 1977, S. 307

unterscheidet sich dabei von allen anderen Getreidearten und insbesondere vom Weizen in einer Reihe von Merkmalen, die sich vereinfacht in zwei Punkten zusammenfassen lassen:

- Roggen ist backfähig, hat aber andere Ursachen für seine Backfähigkeit als Weizen
- Roggen verfügt über eine kurze und unzureichende Keimruhe und ist deshalb stark auswuchsgefährdet

Die qualitativen und quantitativen Wechselwirkungen der Korninhaltsstoffe lassen sich schematisch darstellen (Tab. 2), wobei auf die funktionellen Eigenschaften ein besonderes Augenmerk gelegt wird. Beim Roggen, dessen Proteine zu einem hohen Teil wasserlöslich sind, tragen die Pentosane die Hauptlast der Wasserbindung, sowohl im Korn als auch im Teig und in der Brotkrume.

**Tab. 2: Technologische Unterschiede zwischen Weizen und Roggen<sup>26</sup>**

| <b>Merkmale</b>                                      | <b>Weizen</b>           | <b>Roggen</b>                 |
|--|-------------------------|-------------------------------|
| <b>Quellstoffe [%]</b>                               |                         |                               |
| Kleber (Protein)                                     | 7 – 13                  | 7 - 13                        |
| Pentosane  | 6 - 7                   | 7 - 9                         |
| <b>Wasserbindung der Quellstoffe</b>                 | ca. 2 fach<br>(Protein) | ca. 6 – 8 fach<br>(Pentosane) |
| <b>Lösliche Stoffe</b>                               | wenig<br>7 - 9          | viel<br>13 - 16               |
| <b>Stärkeverkleisterung [°C]</b>                     | später<br>60 - 88       | früher<br>56 - 68             |
| <b>Enzymatische Angreifbarkeit der Inhaltsstoffe</b> | klein                   | groß                          |
| <b>Auswuchsgefährdung</b>                            | klein                   | groß                          |
| <b>Mehltype mit dem höchsten Anteil</b>              | 550                     | 1150                          |
| <b>pH – Wert der Teige</b>                           | schwach sauer<br>5 - 6  | sauer<br>4 – 4,5              |

Weipert<sup>27</sup> beschrieb, dass es in den ersten kalten Phasen des Brotherstellungsprozesses hauptsächlich die Quellstoffe, die das Schüttwasser binden, sind, wobei unter Eintrag der mechanischen Knetenergie ein Teig entsteht. Diese funktionellen Eigenschaften der Quellstoffe - Wasserbindung, Quellung, Teigbildung - sind beim Weizen und Roggen unterschiedlich ausgeprägt. Die Weizenproteine bilden beim Kneten den Kleber oder Gluten, der hauptsächlich aus

<sup>26</sup> vgl. Weipert und Brümmer 1988, S. 91

<sup>27</sup> vgl. Weipert 1993, S. 311



der wasserunlöslichen Komponente der Reserveproteine Gliadin und Glutenin besteht. Der Kleber wird als ein amorphes zufallsgeordnetes Polymer bezeichnet, bei dem die Fraktion Gliadin für das viskose und die Fraktion Glutenin für das elastische Verhalten verantwortlich gemacht werden. Beim Kneten bilden sie Netz- und Strangstrukturen und dünne Filme, in denen die Stärkekörner eingebettet sind und die Gashaltung bewirken. Die zur Kohlenhydratfraktion gehörenden Quellstoffe Pentosane bzw. Schleimstoffe des Roggens zeichnen sich durch eine wesentlich höhere Wasseraufnahmefähigkeit als der Weizenkleber aus, wobei sie die Fähigkeit der Wasserbindung bei der Erhitzung nicht einbüßen. Darauf basiert die höhere Teigausbeute, saftigere Krume und längere Frischhaltung der Roggengebäcke. Eine tabellarische Gegenüberstellung der funktionellen Eigenschaften der Weizen- und Roggenquellstoffe ist in Tab. 3 nach Holas und Hampel<sup>28</sup> wiedergegeben. Ihre Bedeutung liegt vorwiegend in der kalten Phase der Brotherstellung.

**Tab. 3: Übersicht über die technologisch wichtigen funktionellen Eigenschaften der Weizenproteine und Roggenschleimstoffe aus dem Endosperm<sup>29</sup>**

| Eigenschaften                               | Weizenkleber  | Roggenpentosane   |
|---|---|---|
| <b>Wasserbindung</b>                        | Hoch, 2 fach  | Sehr hoch, 6 - 8 fach   |
| <b>Rheologische Eigenschaften</b>           | Dehnbare viskoelast. Substanz, Strang-, Netz- und Filmbildung | Hochviskose, schwachelast. Nicht dehnbare Substanz              |
| <b>Klebrigkeit</b>                          | Nicht klebend an der Oberfläche                               | Klebend an der Oberfläche                                       |
| <b>Gashaltung</b>                           | Hoch, da viskoelastisch                                       | Niedriger, da nur viskos und klebrig                            |
| <b>Anfälligkeit auf enzymatischen Abbau</b> | Anfällig  | Stärker anfällig  |
| <b>Ergebnis des enzymatischen Abbaues</b>   | Minderung der Viskoelastizität, Freiwerden von Wasser         | Minderung der Viskosität und Klebrigkeit, Freiwerden von Wasser |
| <b>Reaktion auf Erhitzung</b>               | Koagulieren und Freiwerden von Wasser                         | Kein Koagulieren, Abfall in Viskosität, Wasserbindung hoch      |
| <b>Reaktion auf Abkühlen</b>                | Irreversible Koagulation                                      | Anstieg in Viskosität<br>Wasserbindung erhöht                   |
| <b>Menge und Beschaffenheit</b>             | Sorten- und umweltabhängig                                    | Sorten- und umweltabhängig                                      |

<sup>28</sup> vgl. Holas und Hampel 1973, S. 53

<sup>29</sup> vgl. Holas und Hampel 1973, S. 53

### 2.1.1 Kohlenhydrate

Der Begriff „Kohlenhydrate“ umfasst Monosaccharide (Glucose, Fructose, Galactose u.a.), Disaccharide (Maltose, Saccharose, Lactose u.a.), Trisaccharide (Raffinose u.a.), Oligosaccharide, Dextrine und Polysaccharide (Stärke, Cellulose, Pentosane, Fructane, Lignin,  $\beta$ -Glucane). Neben den „reinen“ Kohlenhydraten kommen in kleinen Mengen auch komplexe Verbindungen wie Glycolipide (Galactoglyceride) vor, außerdem Glycoproteine unbekannter Struktur. Letztere sind aufgrund ihrer funktionellen Eigenschaften (Grenzflächenaktivität) technologisch besonders interessant.

Klinger<sup>30</sup> beschrieb, dass die wichtigsten Eigenschaften der polymeren Kohlenhydrate die Wasserbindung in Teigen und Massen sind, außerdem die Strukturausbildung, beispielsweise in Form einer Gebäckkrume. Es lassen sich Brote mit einer Krumenstruktur ohne Kleberprotein herstellen, nicht aber ohne Stärke. Bei der Teigbereitung binden die Pentosane trotz des kleinen Massenanteils (um 2,5 %) rund 25 % des Schüttwassers. Den größten Teil (ca. 50 %) immobilisieren die Stärkekörner aufgrund ihrer großen Oberfläche. Eine möglichst große Schüttwassermenge ist bei der Teigherstellung notwendig, um in der Backphase einen hinreichend hohen Verkleisterungsgrad der Stärke zu erreichen, weil er die Brotfrischhaltung mitbestimmt. Zur Wasserbindung im Teig trägt auch der Anteil druckmodifizierter (beschädigter) Stärke im Mehl bei, der sich auf die Frischhaltung von Backwaren günstig auswirkt.

Im Falle von Roggenteigen sind die spezifischen Schleimstoffe, insbesondere die Pentosane, die teigbildende Komponente. Bei der Herstellung hefegelockerter Backwaren ist die enzymatische Abbaubarkeit der polymeren Kohlenhydrate ein wichtiger Faktor, weil die hydrolytischen Prozesse das viskose Verhalten und die Bildung vergärbare Zucker mitbestimmen. Die Wechselbeziehungen zwischen den Enzymen und Stärke- sowie Pentosaneigenschaften haben bei der Roggenverarbeitung einen höheren Stellenwert als bei der Weizenverarbeitung. Das hängt mit der fehlenden Klebermatrix im Roggenteig zusammen. Außerdem ist zu berücksichtigen, dass die Stärke und Pentosane des Roggens enzymatisch schneller abgebaut werden als im Falle des Weizens, weil sie leichter quellen. Aufgrund der stofflichen Veränderungen der polymeren Substanzen entsteht unter den Bedingungen des Backens aus einem Teig eine schmackhafte Backware mit Kruste

---

<sup>30</sup> vgl. Klingler 1995, S. 134

und Krume. Die Krumenbeschaffenheit hängt in hohem Maße von Verkleisterungsverhalten der Stärke sowie von der amylolytischen Aktivität ab. Je niedriger die Verkleisterungstemperatur ist, umso schneller und weiter wird die Stärke abgebaut. Im Falle extrem hoher Amylaseaktivitäten wie im Falle von Auswuchsmehl kommt es zum Abbacken der Kruste. Mehle, deren Stärke um 70 °C und höher verkleistert, zeigen trockenbackende Eigenschaften. Damit hergestellte Gebäcke haben einen vergleichsweise geringeren Lockerungsgrad, ein kleines Volumen und altern rasch. Für die Bildung der Geschmacks-, Aroma- sowie Farbstoffe sind die niedermolekularen Kohlenhydrate bedeutend.

#### 2.1.1.1 Stärke

Roggenstärke setzt sich aus etwa 25 % Amylose und 75 % Amylopektin zusammen. „Die Stärkekörner lassen sich dabei überwiegend in 2 Typen unterteilen: größere linsenförmige Körper mit einem Durchmesser von etwa 40 µm (A-Typ), und die kleineren mehr kugelförmigen B-Typ mit einem durchschnittlichen Durchmesser von etwa 10 µm. Daneben gibt es aber auch zwar wechselnde, aber nicht zu vernachlässigende Anteile von mittelgroßen Stärkekörnern, die also vom Durchmesser her zwischen A- und B-Typen liegen.“<sup>31</sup> Dreisörner<sup>32</sup> fand einen beachtlichen und so noch nicht beschriebenen Anteil dieser mittelgroßen Stärkekörner und weist diesen eine besondere technologische Funktionalität zu. Bei seinen Arbeiten zu den Grundlagen der Frischhaltung von Roggenbrot wurden dann aktuell auch die bisherigen Kenntnisse zum Roggenprotein neben den Veränderungen der Stärkekörner im allgemeinen und speziell bezogen auf ihren Durchmesser angerissen. Das genaue Verhältnis von A- zu B-Typ der Stärkekörner ist bei Roggen noch nicht weiter untersucht worden. Während beim Weizen etwa 90 % der Stärkekörner zum B-Typ gehören, scheint der Anteil dieser kleineren Stärkekörner beim Roggen geringer, aber immer noch dominant zu sein. Dies könnte auch für die Auswuchsresistenz Bedeutung besitzen, da die kleineren Stärkekörner vom B-Typ, aber auch die mittelgroßen Typen, wegen ihrer größeren spezifischen Oberfläche intensiver von Enzymen, z.B. von Amylasen, angegriffen werden können als größere Körner. Trotz des zahlenmäßigen höheren Anteils ist aber der Volumen- und Gewichtsanteil der kleineren Stärkekörner, bezogen auf die Gesamtmasse, relativ klein.

---

<sup>31</sup> vgl. Brümmer 2005, S. 103

<sup>32</sup> vgl. Dreisörner 2002

Brümmer<sup>33</sup> berichtete, dass der enzymatische Abbau der Stärke überwiegend durch das Zusammenwirken endo- und exogener Hydrolasen wie Alpha- und Beta-Amylasen erfolgt. In vergleichbarer Weise wirken auch Pentosanasen auf die Pentosane. Dazu können z.B. besonders beim Lagern auf dem Feld Amylasen von den auf den Ähren und Körnern vorhandenen Schimmelpilzen und Bakterien wirksam werden. Besonders die durch Alpha-Amylase gebildeten Dextrine können dann einem weitergehenden Abbau durch Beta-Amylase bzw. Amylo-Glucosidasen ausgesetzt sein. Die während der Keimung neu gebildete Alpha-Amylase, die in der Literatur als Malz- oder Keimungs-Amylase bezeichnet wird, ist ein wichtiger, die Verarbeitungsqualität beeinflussender Faktor. Während der Keimung steigt ihre Konzentration laufend an und erreicht bei latentem oder sogar sichtbarem Auswuchs die höchsten Werte. Weitergehende Abbaumöglichkeiten ergeben sich dann während der Erwärmung/Verkleisterung der Roggenstärke vorrangig bei Anwesenheit von ausreichend Wasser und nicht zu stark abgesenkten pH-Werten, wie sie z.B. bei Fallzahl- und Amylogrammbestimmungen herrschen. Auch bei einer Trocknung tritt eine Temperaturerhöhung ein, jedoch unter vermindertem Feuchtigkeitseinfluss. Durch dieses Tempern ist eine Art „Kornhärtung“, also eine verminderte Neigung zur Verkleisterung oder Verzögerung der Verkleisterung festgestellt worden. Somit kommt dem Korn-Wassergehalt in Bezug auf die Enzymwirksamkeiten große Bedeutung zu. Bei Kornfeuchten von 30 - 40 % scheinen sie am intensivsten zu sein und zu werden wohl unter 20 % weitgehend minimiert. Somit wurde die Alpha-Amylase als ein wichtiges Merkmal zur Beurteilung der Verarbeitungsqualität von Roggen angesehen. Allerdings ist deren Bestimmung aufwendig und auch diese Messung erfolgt bei starkem Wasserüberschuss, häufig auch durch den Einsatz eines Fremdsubstrates, z.B. angefärbter Stärke. Die Bestimmung von Enzymaktivitäten weicht somit noch weiter von den grundsätzlichen Bedingungen der Brotherstellung ab als z.B. die Fallzahl- oder Amylogrammmethode. Entscheidender als vorhandene absolute Enzymaktivitäten sind aber technologisch bedingte Enzymwirksamkeiten.

Eine tabellarische Gegenüberstellung der funktionellen Eigenschaften der beiden Stärken, wie sie sich als ein Teil der Weizen- und Roggenmahlerzeugnisse darstellen, liegt in Tab. 4 nach Weipert<sup>34</sup> vor.

---

<sup>33</sup> vgl. Brümmer 2005, S. 103

<sup>34</sup> vgl. Weipert 1993, S. 313

**Tab. 4: Tabellarische Übersicht über die technologisch wichtigen funktionellen Eigenschaften der Weizen- und Roggenstärke<sup>35</sup>**

| Eigenschaften                                       | Weizenstärke  | Roggenstärke  |
|---|---|---|
| <b>Mechanische Schädigung</b>                       | Vorhanden, bei harter Kornstruktur groß   | Gering, da überwiegend weiche Kornstruktur  |
| <b>Größe und Form der Stärkekörner</b>              | $\bar{x}$ 19,1 $\mu\text{m}$<br>Überwiegend linsenförmige A-Stärkekörner<br>Sphärische B-Stärke vorhanden       | $\bar{x}$ 23,5 $\mu\text{m}$<br>linsenförmige A-Stärkekörner<br>Sphärische B-Stärke kaum vorhanden              |
| <b>Anfälligkeit auf enzymatischen Abbau</b>         | Anfällig  | Stärker anfällig  |
| <b>Auswuchsgefährdung durch Präsenz der Enzyme</b>  | Gering, sorten- und umweltabhängig  | Gering, sorten- und umweltabhängig  |
| <b>Ausmahlung</b>                                   | T 550 (Mineralstoffgehalt 0,6 %) wenig Randpartien  | T 997/1150 (Mineralstoffgehalt 1 %) viel Randpartien  |
| <b>Ergebnis des enzymatischen Abbaus der Stärke</b> | Verminderung der Gelviskosität, Freiwerden von Wasser, erhöhter Maltosegehalt, Bräunung, weiche, klebrige Krume | Verminderung der Gelviskosität, Freiwerden von Wasser, erhöhter Maltosegehalt, Bräunung, weiche, klebrige Krume |
| <b>Reaktion auf kalte Rehydrierung</b>              | Quellen, Annealing (Härten)   | Quellen, Annealing (Härten)   |
| <b>Reaktion auf Erhitzung</b>                       | Verkleisterung bei ausreichender Wassermenge<br>Gelbbildung später (68 - 88 °C)                                 | Verkleisterung bei ausreichender Wassermenge<br>Gelbbildung früher (56 - 68 °C)                                 |
| <b>Reaktion auf Abkühlung und Lagerung</b>          | Viskositätserrhöhung und Retrogradation   | Viskositätserrhöhung und Retrogradation   |
| <b>pH der Teige (Verarbeitung)</b>                  | Schwach sauer   | Sauer   |
| <b>Menge und Beschaffenheit</b>                     | Umweltabhängig  | Stärker umweltabhängig  |

Weipert<sup>36</sup> beschrieb, dass unter den Getreideinhaltsstoffen die Stärke eine besondere Stellung genießt, sie ist einerseits mengenmäßig am stärksten vertreten und erfährt andererseits im Prozess die stärksten und tiefsten Veränderungen. Eine der wichtigsten funktionellen Eigenschaften der Stärke ist ihr Quellungsvermögen in kaltem Zustand und ihre Desintegration (pasting) und Verkleisterung beim Erhitzen. In beiden Fällen wird das angebotene Wasser aufgenommen. Eine vollständige Verkleisterung erfolgt nur bei ausreichendem Wasserangebot. Im Verlauf verliert die Stärke ihre molekulare Ordnung innerhalb des Stärkekornes, was sich im Verlust der kristallinen Struktur, der Lichtbrechung u.a. widerspiegelt. Der Desintegration folgt die Verkleisterung (gelatinization), wobei nunmehr Phänomene wie Ausschütten des Stärkekorninhaltes und vollständige Zerstörung des Stärkekornes erfolgen. Die abgekühlte und abgelagerte verkleisterte Stärke kann im Laufe der Zeit ihre amorphe

<sup>35</sup> vgl. Weipert 1993, S. 313

<sup>36</sup> vgl. Weipert 1993, S. 311

Struktur gegen die kristalline durch Assoziation der Molekülketten austauschen. Für das Backverhalten ist es wichtig festzustellen, dass der enzymatische Abbau einer Stärke erst nach dem Erreichen der Verkleisterung erfolgen kann. In Bezug auf die Verkleisterungseigenschaften unterscheiden sich die reine Weizen- und Roggenstärke kaum. Die empirisch festgestellten und oft niedergeschriebenen Unterschiede im Backverhalten des Weizens und Roggens ergeben sich aus den artgebundenen Unterschieden in den funktionellen Eigenschaften der Korninhaltsstoffe und der unterschiedlichen Reaktionen der Weizen- und Roggenpflanze auf die Umweltbedingungen. Dabei soll geringere die Auswuchsresistenz des Roggens mit allen Konsequenzen, die sich für die Verarbeitung daraus ergeben, herausgestellt werden. Die Aufgabe der Stärke ist es, das durch die Proteinkoagulation im Backprozess freigewordene Wasser zu binden. Je größer der amylolytische Abbau der Stärke, umso weniger ungeschädigte Stärke bleibt für diese Aufgabe übrig. Die mechanische Schädigung beschleunigt und begünstigt die Wasseraufnahme, aber auch die Amyolyse, falls eine höhere Aktivität der Alpha-Amylase vorliegt.

Weipert und Brümmer<sup>37</sup> beschrieben, dass in den funktionalen Eigenschaften sich die Roggenstärke von der Weizenstärke in einigen Merkmalen unterscheidet. Die Roggenstärke verkleistert bei niedrigeren Temperaturen und ist darüber hinaus weniger resistent gegenüber dem enzymatischen Abbau. Diese beiden Merkmale stehen mit der Korngrößenverteilung der Roggenstärke in Einklang, da die kleinkörnige Stärke eine stärker ausgeprägte Resistenz gegenüber enzymatischem Abbau aufweist als die großkörnige. Damit ist gleichzeitig der diastatische Zustand des Roggenkornes bzw. der Roggenmahlprodukte angesprochen, der als eine komplexe Eigenschaft sehr stark von der Umwelt beeinflusst werden kann.

Popper<sup>38</sup> berichtete, dass native, im Mehl vorhandene Stärke während der Teigvorbereitung nur bedingt hydratisiert, da sie zum größten Teil als kompaktes Stärkekörnchen vorliegt. Nur die Stärke der Körnchen, die durch den Mahlvorgang beschädigt ist, wird vom Wasser erreicht und kann deshalb in der verhältnismäßig kalten Umgebung des Teigsystems aufquellen.

„Beim Anteigen, also Anrühren des Mehles mit Wasser, bleibt zunächst die organisierte Struktur des Stärkekornes erhalten, auch erkennbar an dem unveränderten Röntgendiagramm; die Quellung, d.h. die Wasseraufnahme, ist

---

<sup>37</sup> vgl. Weipert und Brümmer 1988, S. 95

<sup>38</sup> vgl. Popper 2001, S. 287

begrenzt. Insgesamt absorbiert die intakte Stärke des Mehles nur etwa 30 % ihres Gewichtes an Wasser. Durch den Mahlprozess korrodierte Stärkekörner nehmen allerdings mehr Wasser auf als intakte.“<sup>39</sup> Klingler<sup>40</sup> beschrieb, dass native Stärken in kaltem Wasser unlöslich sind. Sie quellen unter diesen Bedingungen nur wenig und sind enzymatisch schlecht abbaubar. Die Wassersorption bei Raumtemperatur beruht auf der sehr großen Oberfläche der Stärkekörner. Die spezifische Wasserbindung der Stärke liegt bei 0,6 g/g.

### 2.1.1.2 Freie Zucker

In Tab. 5 ist der Gehalt an freien Zuckern im Roggen zusammengestellt. Daraus ist ersichtlich, dass die zur Reduktion verfügbare Menge an freier Fructose im Mehl gering ist. Weitere Fructose liegt gebunden in Form von Sucrose und Fructane vor.<sup>41</sup> Die Bedeutung der freien Zucker für die rheologischen Eigenschaften der Teige von Roggenmahlerzeugnissen tritt sowohl mengenmäßig als auch in technologischer Hinsicht hinter der Polysaccharide (Stärke, Pentosane,  $\beta$ -Glucan usw.) zurück. Freie Zucker sind vor allem wegen ihrer Vergärbarkeit und Beteiligung an der Geschmacks- sowie Farbstoffbildung wichtig.

**Tab. 5: Konzentration an freien Zuckern im Roggen (ganzes Korn)<sup>42</sup>**

|                 | Menge (%)   |
|-----------------|-------------|
| <b>Glucose</b>  | 0,05 - 0,1  |
| <b>Fructose</b> | 0,05 - 0,07 |
| <b>Sucrose</b>  | 1,16 - 1,75 |
| <b>Maltose</b>  | Spuren*     |

\* nimmt im Laufe der Lagerung zu

### 2.1.1.3 Ballaststoffe

Die Ballaststoffe sind keine einheitlich zusammengesetzte Substanz, sondern ein Konglomerat aus unterschiedlichen Stoffgruppen. Sie werden auch mit Begriffen wie Unverdauliches, Faserstoffe oder „Dietary Fiber“ bezeichnet. „Die Ballaststoffe bestehen aus essbaren Pflanzenteilen oder analogen Kohlenhydraten, die gegenüber der Verdauung und Absorption im menschlichen Dünndarm resistent sind und im Dickdarm teilweise oder vollständig fermentiert werden. Die Ballaststoffe

<sup>39</sup> vgl. Rohrlach 1969, S. 104

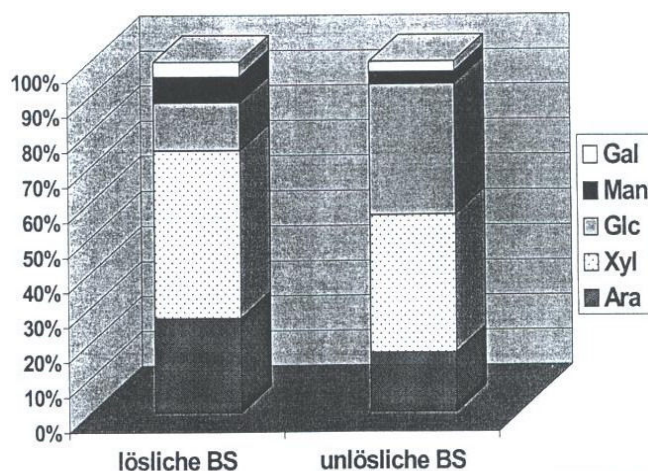
<sup>40</sup> vgl. Klingler 1995, S. 129

<sup>41</sup> vgl. Brandt und Hammes 2001, S. 341

<sup>42</sup> vgl. Brandt und Hammes 2001, S. 341

beinhalten Polysaccharide, Oligosaccharide, Lignin und assoziierte Pflanzensubstanzen. Die Ballaststoffe unterstützen gesundheitsfördernde Prozesse wie die Senkung des Cholesterinspiegels und/oder die Regulierung des Blutzuckerspiegels und/oder besitzen abführende Eigenschaften.“<sup>43</sup> Die Roggenmahlerzeugnisse enthalten einen hohen Anteil an Ballaststoffe. „Auch die Fructangehalte sind im Roggen mit 4 % bedeutend höher als in Weizen und den anderen Getreidearten.“<sup>44</sup> Fretzdorff und Welge<sup>45</sup> berichteten, dass Roggen-Vollkornbrot ein guter Lieferant für Ballaststoffe ist, es besitzt laut Ernährungstabellen fast 9 % Gesamt-Ballaststoffe (ohne Fructan).

Bunzel und Steinhart<sup>46</sup> haben gezeigt, dass die Monomerenzusammensetzung der Kohlenhydrate der löslichen und unlöslichen Roggenballaststoffe die zuvor genannten Verhältnisse für Getreideballaststoffe widerspiegelt. Die Bestimmung der Monomeren erfolgte in Form ihrer Alditolacetate mittels GLC (Gasflüssigkeitschromatographie) - FID (Flammenionisationsdetektion) nach saurer Hydrolyse und Derivatisierung. Sowohl in den löslichen Ballaststoffen als auch in den unlöslichen Ballaststoffen dominieren die Bausteine der Arabinoxylane, die Arabinose und die Xylose (Abb. 1).



**Abb. 1: Anteile der Monosaccharide Galactose, Mannose, Glucose, Xylose und Arabinose in den Polysacchariden aus löslichen (links) und unlöslichen (rechts) Roggenballaststoffen. Rhamnose und Fucose wurden nur in Spuren detektiert<sup>47</sup>**

Die Glucoseeinheiten in den unlöslichen Ballaststoffen stammen wohl überwiegend aus Cellulose, die in den löslichen Ballaststoffen aus mixed-linked- $\beta$ -Glucanen. Während Mannose und Galactose in geringen Anteilen vorliegen, wurden nur Spuren

<sup>43</sup> vgl. DeVries 2001, S. 112

<sup>44</sup> vgl. Fretzdorff und Welge 2003, S. 3

<sup>45</sup> vgl. Fretzdorff und Welge 2003, S. 147

<sup>46</sup> vgl. Bunzel und Steinhart 2002, S. 282

<sup>47</sup> vgl. Bunzel und Steinhart 2002, S. 281



an Rhamnose und Fucose detektiert. Die ermittelten Arabinose/Xylose Verhältnisse der Arabinoxylane sind mit 0,56 (Löslichen Ballaststoffen) bzw. 0,43 (Unlöslichen Ballaststoffen) unauffällig und entsprechen den für Getreideballaststoffe erwarteten Verhältnissen.

„Legt man welche Definition zu Grunde, dann gehören sowohl unlösliche als auch lösliche Ballaststoffe zu den Gesamt-Ballaststoffen (Tab. 6). Die unlöslichen Ballaststoffe verfügen über zahlreiche funktionelle Vorteile und sind somit eine wertvolle Rohstoffquelle bei der Entwicklung neuer Produkte. Das multifunktionelle Konzept kombiniert Gesundheitsaspekte und moderne Ernährungsformen. In den westlichen Industrieländern ist die Ballaststoffe-Anreicherung von Lebensmitteln der wichtigste funktionelle Lebensmitteltrend. Die meisten Entwicklungen gab es im Bereich der löslichen Ballaststoffe mit ihren speziellen funktionellen Wirkungen und dem prebiotischem Effekt. Seit mehr als zehn Jahren sind die unlöslichen Ballaststoffe im Markt und werden bei zahlreichen Lebensmittelentwicklungen berücksichtigt.“<sup>48</sup>

**Tab. 6: Beispiele für Ballaststoffe**<sup>49</sup>

| Wasserunlösliche Ballaststoffe | Wasserlösliche Ballaststoffe  |
|--------------------------------|-------------------------------|
| Cellulose                      | β-Glucane                     |
| Xylo-Polysaccharide            | Fructo-Oligo-Saccharide (FOS) |
| Resistente Stärke              | Xylo-Polysaccharide (XPS)     |
| Lignin                         | Xylo-Oligo-Saccharide (XOS)   |

Klingler<sup>50</sup> berichtete, dass die technologische Bedeutung der Ballaststoffe bei der Be- und Verarbeitung von Lebensmitteln viel länger bekannt als ihr diätetischer Wert ist. Für die funktionellen Wirkungen sind die physikalischen und chemischen Eigenschaften maßgebend, beispielsweise das Quellverhalten, Adsorptionsvermögen und der Ionenaustausch. Nach bisherigen Erkenntnissen sind bestimmte physiologische Wirkungen wie die Verkürzung der Transitzeit der Nahrung und die Zunahme des Stuhlvolumens als gesichert anzusehen. Einige Ballaststoffe, beispielsweise aus Hafer und Gerste, sind in der Lage, den Cholesterin- und Blutzuckerspiegel zu senken.

Großen Anteil an der Aufklärung der in Roggenmahlerzeugnissen vorhandenen Ballaststoffen haben Bunzel und Steinhart.<sup>51</sup> Sie konnten mit ihren Untersuchungen einen wesentlichen Beitrag zum Erkennen der Wirksamkeit der einzelnen

<sup>48</sup> vgl. Sieg 2003, S. 365

<sup>49</sup> vgl. de Schutter 2003, S. 239

<sup>50</sup> vgl. Klingler 1995, S. 64

<sup>51</sup> vgl. Bunzel und Steinhart 2002, S. 281

Ballaststoffe leisten. Die Roggenballaststoffe setzen sich aus folgenden Komponenten zusammen:

- Monomere Phenolcarbonsäuren in Roggenballaststoffen
- Dehydrodiferulasäuren in Roggenballaststoffen

In der Literatur werden folgende Inhaltsstoffe zu den Ballaststoffen gezählt:<sup>52</sup>

- Pentosane (Arabinoxylane)
- Lignin
- Fructane und Raffinose
- Cellulose und Mixed-linked  $\beta$ -Glucane

#### *2.1.1.3.1 Monomere Phenolcarbonsäuren in Roggenballaststoffen*

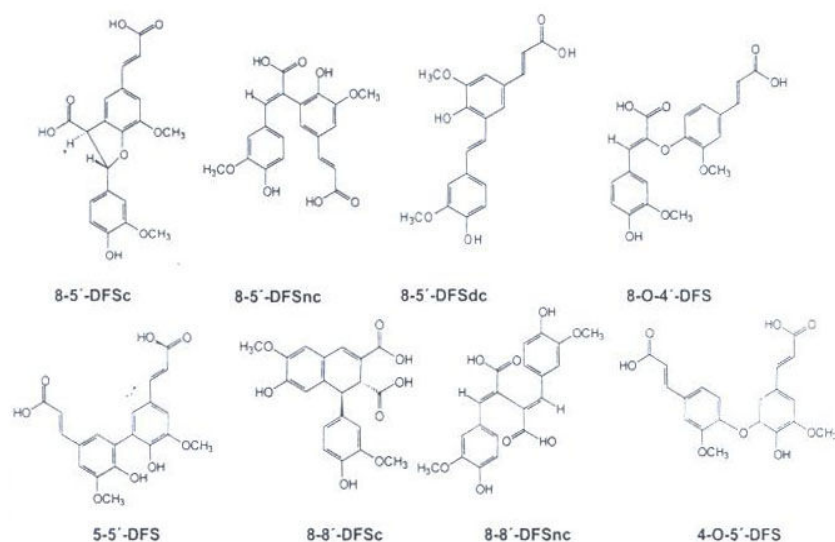
Phenolcarbonsäuren (PCS) wie Ferulasäure (FS), p-Cumarsäure (pCS) und Sinapinsäure (SA) sind Produkte des allgemeinen Phenylpropan-Stoffwechsels der Pflanzen. Bunzel und Steinhart<sup>53</sup> fanden, dass dominierende alkaliextrahierbare Phenolcarbonsäure in löslichen Ballaststoffen und unlöslichen Ballaststoffen aus Roggen Ferulasäure ( $6949 \pm 506 \mu\text{g g}^{-1}$  UBS bzw.  $1504 \pm 177 \mu\text{g g}^{-1}$  LBS (n=3)) ist. Die Gehalte an p-Cumarsäure ( $366 \pm 74 \mu\text{g g}^{-1}$  UBS bzw.  $17 \pm 2 \mu\text{g g}^{-1}$  LBS (n=3)) und Sinapinsäure ( $89 \pm 22 \mu\text{g g}^{-1}$  UBS bzw.  $16 \pm 4 \mu\text{g g}^{-1}$  LBS (n=3)) liegen deutlich unter den Ferulasäure-Gehalten (alle Angaben beziehen sich auf Asche- und Restprotein-korrigierte Ballaststoffe). Ferulasäure findet sich als Minorkomponente in allen Getreidesorten. Sie ist Bestandteil der Arabinoxylane, die den größten Teil der sog. Pentosane ausmachen, als welche man die Nicht-Stärke-Polysaccharide in Getreiden bezeichnet. Die Bindung der Ferulasäure scheint ausschließlich an Arabinoxylane zu erfolgen. Hinweise auf die Assoziation zu anderen Polysacchariden liegen nicht vor. Die physiologischen Eigenschaften von Ballaststoffen stehen im engen Zusammenhang mit der chemischen Struktur ihrer Komponenten. Phenolcarbonsäuren, z.B. Ferulasäure, stellen nur Minorkomponenten in den Ballaststoffen dar, können jedoch aufgrund ihrer Eigenschaften Crosslinks auszubilden, großen Einfluss auf die physikochemischen Eigenschaften der Ballaststoffkomponenten haben.

<sup>52</sup> vgl. Bunzel und Steinhart 2003, S. 188

<sup>53</sup> vgl. Bunzel und Steinhart 2002, S. 282

### 2.1.1.3.2 Dehydrodiferulasäuren in Roggenballaststoffen

Bunzel und Steinhart<sup>54</sup> berichteten, durch die Bindung von Ferulasäure an Arabinoxylane bieten sich mehrere Mechanismen, Arabinoxylanketten miteinander zu koppeln. Aufgrund der Bifunktionalität der Ferulasäure (Carboxyl- und phenolische Hydroxylgruppe) besteht die Möglichkeit, zwei Arabinoxylanketten mit Hilfe monomerer Ferulasäure über eine Ester- und eine Etherbindung zu verknüpfen. Bei den bisherigen Strukturuntersuchungen konnten jedoch keinerlei Hinweise auf eine Etherbindung zwischen Ferulasäuren und Polysacchariden gefunden werden, so dass zwei andere Mechanismen wahrscheinlicher sind. a) Kopplung über photochemisch gebildete Dimere der Ferulasäure, b) Kopplung über radikalisch gebildete Dehydrodiferulasäuren (DFS) unter Nutzung zellwandgebundener Peroxidase und H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. In dem alkalischen Hydrolysat der unlöslichen Roggenballaststoffe wurde das gesamte Spektrum der Dehydrodiferulasäuren, das nach radikalischer Kopplung erwartet wurden, nachgewiesen (8-5'-, 8-O-4'-, 5-5', 8-8'- und 4-O-5'-gebundene Strukturen, Abb. 2).



**Abb. 2: Strukturen von Dehydrodiferulasäuren (DFS); c - cyclic; nc - non-cyclic; dc - decarboxylated<sup>55</sup>**

Auch die löslichen Roggenballaststoffe enthalten mit Ausnahme der 4-O-5'-gebundenen Dehydrodiferulasäuren das gesamte Spektrum an Dehydrodiferulasäuren. Die Gehalte für die Summe der Dehydrodiferulasäuren in den Hydrolysaten der unlöslichen Ballaststoffe und löslichen Ballaststoffe aus Roggen betragen  $3647 \pm$

<sup>54</sup> vgl. Bunzel und Steinhart 2002, S. 284

<sup>55</sup> vgl. Bunzel und Steinhart 2002, S. 283

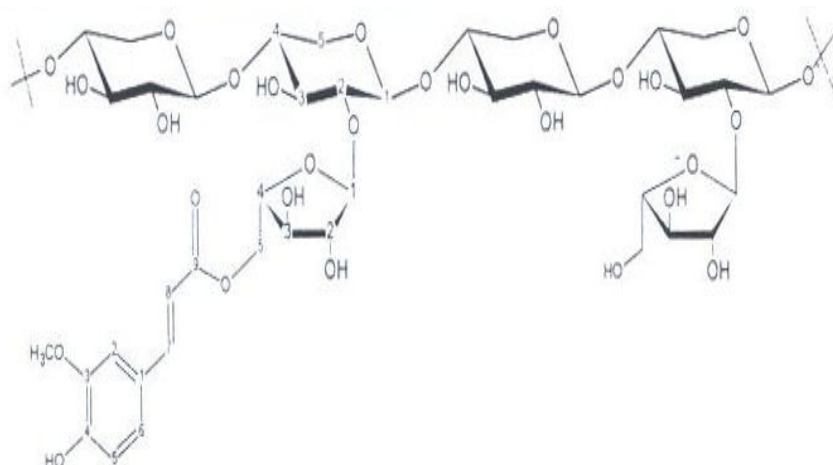
132  $\mu\text{g g}^{-1}$  UBS bzw.  $83 \pm 8 \mu\text{g g}^{-1}$  LBS ( $n=3$ ). Unter Berücksichtigung der Ferulasäuregehalte ergibt sich daraus, dass Ferulasäure in den unlöslichen Ballaststoffen zu einem deutlich höheren Anteil in dimerisierter Form vorliegt als in den löslichen Ballaststoffen.

Wird zusätzlich der Arabinoxylangehalt der löslichen Ballaststoffe und unlöslichen Ballaststoffe berücksichtigt, können folgende Aussagen getroffen werden:

- die Arabinoxylane der unlöslichen Ballaststoffe aus Roggen sind häufiger mit Ferulasäure substituiert als die der entsprechenden löslichen Ballaststoffe,
- die Arabinoxylane der unlöslichen Ballaststoffe aus Roggen sind ca. 39 mal häufiger über Diferulasäurebrücken miteinander verbunden als die der entsprechenden löslichen Ballaststoffe.

### 2.1.1.3.3 Pentosane (Arabinoxylane)

Pentosane sind vorwiegend aus Xylose und Arabinose aufgebaute, wasserlösliche und -unlösliche Polymere. Der lösliche Anteil beträgt beispielsweise im Roggenmehl ca. 40 % des Gesamtpentosangehalts. „Arabinoxylane bestehen aus linearen (1→4)- $\beta$ -D-Xylopyranosyl-Ketten, die in O-2- oder O-3-Stellung mit  $\beta$ -L-Arabinofuranosyl-Resten glykosidisch substituiert sein können.“<sup>56</sup> „Ferulasäure liegt in den Arabinoxylanen als Ester an der O-5-Stellung der L-Arabinofuranose gebunden vor.“<sup>57</sup> „Ein Ausschnitt aus der Struktur der Arabinoxylane ist in Abb. 3 dargestellt.“



**Abb. 3: Ausschnitt aus der Struktur der Arabinoxylane**<sup>58</sup>

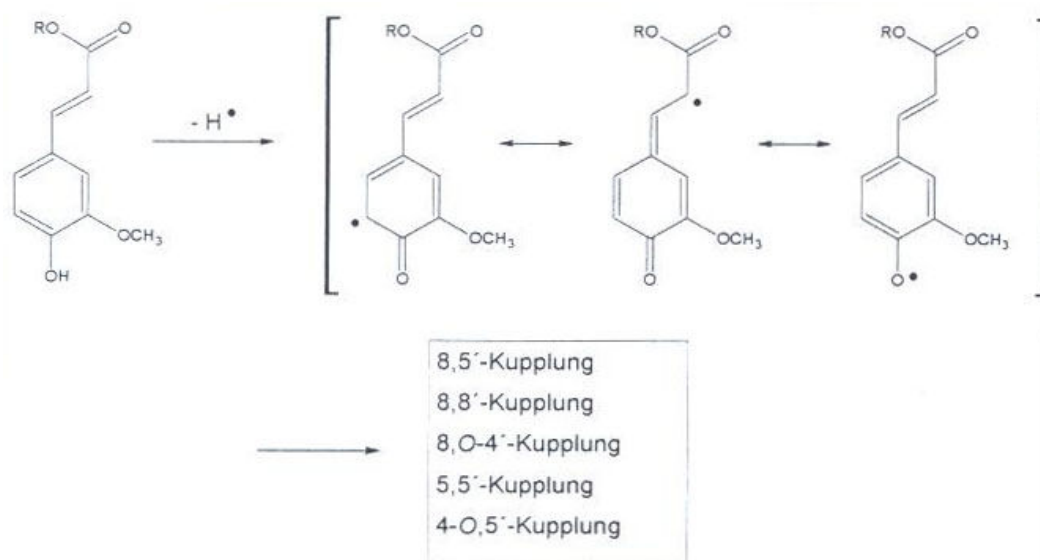
Der Ferulasäure kommt eine wichtige funktionelle Eigenschaft zu, denn sie kann

<sup>56</sup> vgl. Theander et al. 1993, S. 135

<sup>57</sup> vgl. Ishii 1997, S. 111

<sup>58</sup> vgl. Piber 2004, S. 207

über oxidative Dimerisierung Cross-Links zwischen zwei Arabinoxylan-Ketten ausbilden und auf diese Weise zu einer Verfestigung der Gelstruktur der Pentosane beitragen. Da das dabei intermediär gebildete Ferulasäure-Radikal drei mesomere Grenzstrukturen mit dem einsamen Elektron an Position 8,5 und O-4 besitzt, welches in Abb. 4 dargestellt ist, ergeben sich bei der radikalischen Dimerisierung eine Reihe von verschiedenen Isomeren von Dehydrodiferulasäuren (DFS), die zum größten Teil in Getreide bereits nachgewiesen werden konnten.<sup>59,60</sup> „In einer Reihe von Untersuchungen konnte bereits gezeigt werden, dass Arabinoxylane einen großen Einfluss auf den Prozess der Teig- und Brotherstellung aus Weizen- und Roggenmehlen haben. Der Zusatz von Arabinoxylanen zum Mehl hat zum einen starke Auswirkungen auf die rheologischen Eigenschaften der Teige (wie z.B. die Verlängerung der Teigstabilität beim Kneten); zum anderen bewirken Arabinoxylane eine Vergrößerung des Brotvolumens und führen zu einer Verzögerung der Retrogradation.“<sup>61,62,63,64</sup> Diese Ergebnisse legen die Vermutung nahe, dass Arabinoxylane während der Teig- und Brotherstellung chemische Reaktionen durchlaufen, welche die Teig- und Broteigenschaften beeinflussen.



**Abb. 4: Schematische Darstellung der radikalischen Dimerisierung von Ferulasäure<sup>65</sup>**

Ralph und Mitarbeiter<sup>66</sup> berichteten, dass die polysaccharid-gebundene Ferulasäure

<sup>59</sup> vgl. Ng et al. 1997, S. 459

<sup>60</sup> vgl. Bunzel et al. 2001, S. 653

<sup>61</sup> vgl. Delcour et al. 1991, S. 72

<sup>62</sup> vgl. Michniewicz 1992, S. 251

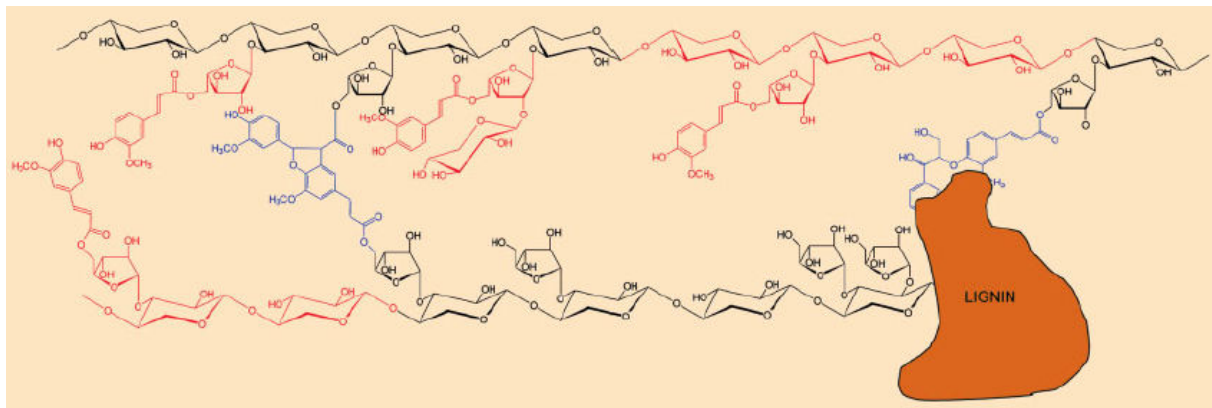
<sup>63</sup> vgl. Gama 2000, S. 503

<sup>64</sup> vgl. Labat et al. 2002, S. 185

<sup>65</sup> vgl. Piber 2004, S. 207

<sup>66</sup> vgl. Ralph et al. 1998, S. 209

eine weitere Cross-link Funktion einnehmen kann. Es werden mehrere Mechanismen diskutiert, wie Polysaccharide in der Zellwand an Lignin gebunden werden. Hierbei beziehen die wahrscheinlich wichtigsten Mechanismen die Phenolcarbonsäuren in die Bindung zwischen Polysaccharid und Lignin ein. Entsprechend liegen in Getreideballaststoffen Lignin-Arabinoxylan-Komplexe vor, die Bindung zwischen Lignin und Arabinoxylan erfolgt über die Ferulasäure. Die folgende Abb. 5 zeigt ein Strukturmodell für Arabinoxylane aus Roggen.



Rot: Isolierte und identifizierte Ferulasäure-Arabinoxylan-Fragmente.

Blau: Identifizierte Ferulasäureverbindungen, die als Cross-links zwischen Arabinoxylansträngen sowie zwischen Arabinoxylansträngen und Lignin fungieren können.

**Abb. 5: Strukturmodell für Arabinoxylane aus Roggen<sup>67</sup>**

Brümmer<sup>68</sup> berichtete, dass die Pentosane insgesamt etwa zu 7 - 10 % im Korn enthalten sind. Eine Steigerung der Pentosangehalte ist zukünftig noch denkbar. Sie zählen wie das Protein mit zu den (Roggen)-Schleimstoffen, gelten jedoch nicht wie das Protein als Reserveinhaltsstoff. Zumindest die unlöslichen Pentosane sind Bestandteil der Zellwände. Es ist noch zu klären, wie sich speziell das Verhältnis der löslichen Pentosane (Zellinhaltsstoff) zu unlöslichen Pentosanen (Zellwandbestandteil) darstellt. Durchschnittlich sind je nach Standort, also klimabedingt, entweder 25 - 30 % oder 30 - 38 % des Gesamtpentosangehaltes löslich. Höhere Anteile an unlöslichen Pentosanen führen zu steigenden Mehl-Fallzahlen, während höhere Anteile an löslichen Pentosanen nicht direkt die Fallzahlen, wohl aber die Amylogramm-Maximum-Werte zu beeinflussen scheinen. Ihre Angreifbarkeit ist auch schon bei Teigtemperaturen ausgeprägt und deswegen ist ihre Bestimmung technologisch gesehen angebracht.

<sup>67</sup> vgl. Bunzel und Steinhart 2003, S. 193

<sup>68</sup> vgl. Brümmer 2005, S. 104

Holas und Hampf<sup>69</sup> beschrieben, im Gegensatz zum Eiweiß, das als Reservestoff umweltbedingt im Gehalt stark variieren kann (7 - 13 % und Mehr) ist der Gehalt an dem Gerüststoff Pentosan relativ konstant und schwankt zwischen 7 und 9 %. Nach heutigen Vorstellungen bestehen Pentosane aus einer Hauptkette Xylosen mit Seitenketten aus Arabinose, wobei es weitere reaktionsaktive Stellen gibt, an denen andere Stoffe, wie z.B. Eiweiß, gebunden werden können. So entstandene Quell- und Schleimstoffe zeichnen sich durch ein sehr hohes Wasserbindevermögen (bis zum achtfachen des eigenen Gewichtes) aus, durch das oxidative Gelieren und somit durch Bildung von hochviskosen aber unelastischen Substanzen.

Entsprechend ihres Aufbaugrades und der Enzymaktivität dokumentieren sich die Abbaubereitschaft und der Abbaugrad der Pentosane in der Relation der wasserlöslichen Pentosane zum Gesamtpentosan. In trockenen Jahren zeichnen sich Roggenpentosane durch einen niedrigen löslichen Anteil von etwa 15 - 20 % aus, der in nassen Jahren auf 22 - 26 % ansteigen kann. Weiterhin muss man nach Drews<sup>70</sup> zwischen den

- löslichen Endospermpentosanen, die Hauptbestandteil des viskosen Roggenschleims sind
- den stark quellfähigen und wasserbindenden unlöslichen Endospermpentosanen und
- den Pentosanen der Schale, deren Quellfähigkeit und Wasserbindung hinter der unlöslichen Endospermpentosane zurückbleibt

unterscheiden. Während die unlöslichen Pentosane in erster Linie eine hohe Wasserbindung im Korn und im Teig bringen und somit die Teigausbeute erhöhen, sind es die löslichen bzw. die während der Teigführung löslich werdenden Pentosane, die die Teiglockerung, die Krumenweichheit und das Gebäckvolumen fördern.

Die Zusammenhänge zwischen dem Gehalt der Korninhaltsstoffe, dem löslichem Anteil der Pentosane und der Wasserbindung einiger handelsüblicher Roggenmehle sind in Tab. 7 nach Weipert und Brümmer<sup>71</sup> wiedergegeben.

---

<sup>69</sup> vgl. Holas und Hampf 1973, S. 53

<sup>70</sup> vgl. Drews 1966a, S. 102

<sup>71</sup> vgl. Weipert und Brümmer 1988, S. 93

**Tab. 7: Inhaltsstoffe von Roggentyptenmehlen und Wasserbindung der Pentosane<sup>72</sup>**

| Merkmale  | Mehltype |      |      |      |      |
|---|----------|------|------|------|------|
|   | 815      | 997  | 1150 | 1370 | 1740 |
| <b>Stärke</b> [%] i.Tr.                                 | 75,7     | 74,1 | 71,7 | 69,3 | 62,8 |
| <b>Protein</b> (N x 6,25) [%] i.Tr.                     | 9,6      | 10,1 | 10,6 | 11,2 | 12,4 |
| <b>Gesamt Pentosane</b> [%] i.Tr.                       | 3,8      | 4,3  | 4,8  | 5,2  | 6,5  |
| <b>Wasserl. Pentosane</b> [%] i.Tr.                     | 1,4      | 1,5  | 1,6  | 1,7  | 1,9  |
| <b>Anteil der wasserlösl. Pentosane von Gesamt</b> [%]  | 37       | 35   | 33   | 33   | 29   |
| <b>Wasserlösl. Substanzen</b> [%]                       | 12,1     | 12,6 | 13,8 | 14,7 | 16,5 |
| <b>Viskosität des Wasserextraktes (Auslaufzeit)</b> [s] | 15,9     | 16,2 | 16,4 | 17,5 | 19,3 |
| <b>Wasserbindevermögen</b> [g je 100 g Mehl]            | 113      | 117  | 123  | 133  | 148  |
| <b>Wasserbindevermögen</b> [g je g Gesamtpentosan]      | 29,7     | 27,2 | 25,6 | 25,6 | 22,8 |
| <b>Quellstoff-/Stärke-Verhältnis</b>                    | 19,9     | 17,2 | 14,9 | 13,3 | 9,7  |

Daraus ist zu erkennen, dass die Endosperm-pentosane eine höhere Wasserbindung besitzen und die hohe Wasseraufnahme der dunklen Mehltypen in erster Linie durch die Menge der Pentosane hervorgerufen wird. „Die große Bedeutung der unlöslichen und löslichen Pentosanfraktionen für die Textur der Roggengebäcke wurde erst kürzlich wieder diskutiert, wobei der lösliche Anteil bzw. das Löslichwerden der Pentosane eine verbessernde Wirkung gezeigt hat.“<sup>73</sup> Der Anteil an löslichen Pentosanen ist zusammen mit der gesamten NSP (Nichtstärkepolysaccharide)-Fraktion aus 2 unterschiedlichen Anbauversuchen in Mecklenburg-Vorpommern<sup>74</sup> und in Sachsen-Anhalt<sup>75</sup> in der Tab. 8 dargestellt.

**Tab. 8: Gehalt an Pentosanen im Roggen aus zwei Anbaugebieten<sup>76</sup>**

|                                      | Pentosane |               |
|--------------------------------------|-----------|---------------|
|                                      | gesamt    | wasserlöslich |
| <b>Stölcken et al.</b> <sup>77</sup> | 6,7       | 1,7           |
| <b>Strobel et al.</b> <sup>78</sup>  | 8,5       | 2,8           |

<sup>72</sup> vgl. Seibel und Weipert 2001, S. 186<sup>73</sup> vgl. Meuser und Suckow 1986, S. 332<sup>74</sup> vgl. Stölcken et al. 1996, S. 241<sup>75</sup> vgl. Ströbel et al. 2001, S. 221<sup>76</sup> vgl. Böhme 2003, S. 225<sup>77</sup> vgl. Stölcken et al. 1996, S. 241<sup>78</sup> vgl. Strobel et al. 2001, S. 221



Die Quellstoffe und darunter insbesondere die Pentosane, üben durch ihre schnelle und mengenmäßig stark ausgeprägte Quellung und Wasserbindung einen Schutz für die Stärkekörner gegenüber enzymatischem Abbau aus. In einem pentosanreichen Produkt ist die Wirkung der Amylasen geringer. Die Pentosane koagulieren bei den höheren Temperaturen im Backprozess nicht, halten das gebundene Wasser in der Brotkrume und tragen zur Frischhaltung der Gebäcke bei. Betrachtet man das Backverhalten als ein rheologisches Problem, in dem die Wasserbindung und somit die Viskosität der Teige in der kalten und heißen Phase des Backprozesses eine hervorragende Rolle spielt, so kommt dem mengenmäßigen Verhältnis der Quellstoffe und der Stärke eine entscheidende Bedeutung zu. Ein Quellstoff zu Stärkeverhältnis von 1:16 wurde von Weipert und Zwingelberg<sup>79</sup> als optimal angesehen. Weipert und Zwingelberg<sup>80,81</sup> haben festgestellt, dass im Falle von Auswuchs und Stärkebeschädigung die Vorteile in einem quellstoffreicheren Mehl liegen, womit erneut auf die schützende Wirkung der Pentosane hingewiesen wurde. „Die unlöslichen Pentosane sind im Roggenteig hauptsächlich für die Wasserbindung, für seine Formbarkeit und sein Gashaltevermögen verantwortlich.“<sup>82,83</sup> Ein verstärkter enzymatischer Abbau der Roggenpentosane im Teig führt zu einer Beeinträchtigung der Wasserbindung durch die Quellstoffe und damit zu weichen, nachlassenden Roggenteigen.

#### 2.1.1.3.4 Lignin

Lignin ist definiert als „ein polymeres Naturprodukt, das durch enzymatisch initiierte Dehydrogenierungs-Polymerisation dreier primärer Vorstufen, Coniferyl-, Sinapyl- und *p*-Cumarylalkohol (Abb. 6) entsteht.“<sup>84</sup> Diese Vorstufen werden häufig nach ihrem aromatischen Kern auch als Guaiacyl (G)-, Syringyl (S)- und *p*-Hydroxyphenyl (H)-Einheiten bezeichnet und sind Produkte des Phenylpropan-Stoffwechsels. „Peroxidasen und/oder Oxidasen reagieren mit diesen Vorstufen und dem sich entwickelnden Ligninmolekül zu Einelektronen-oxidierten, resonanzstabilisierten Produkten. Diese bilden durch komplexe Kopplungsreaktionen sowohl Ether- (Alkyl-O-Aryl, Aryl-O-Aryl) als auch C-C-Bindungen. Das Verhältnis der H-, G- und S-Einheiten in Polymer sowie viele Strukturkennzeichen hängen von der botanischen

<sup>79</sup> vgl. Weipert und Zwingelberg 1979, S. 34

<sup>80</sup> vgl. Weipert und Zwingelberg 1980, S. 97

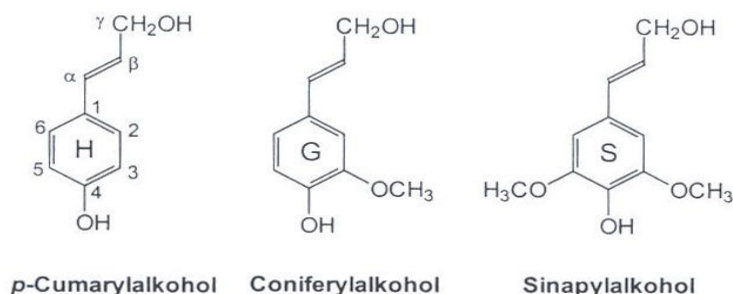
<sup>81</sup> vgl. Weipert und Zwingelberg 1980, S. 314

<sup>82</sup> vgl. Weipert 1972, S. 181

<sup>83</sup> vgl. Weipert 1983, S. 229

<sup>84</sup> vgl. Sarkanen und Ludwig 1971

Herkunft, dem betrachteten Pflanzenteil und -gewebe sowie der Lokalisierung in der Pflanzenzellwand ab.<sup>85</sup> Lignin in Gräsern wird zu dem H-G-S-Typ gerechnet, wobei die H-Einheiten normalerweise eine untergeordnete Rolle spielen.



**Abb. 6: Monolignole<sup>86</sup>**

Bunzel und Steinhart<sup>87</sup> berichteten, dass zur Überprüfung, ob Roggenballaststoffe Ligninstrukturen enthalten, die DFRC-Methode (Derivatization Followed by Reductive Cleavage-Method) auf unlösliche Ballaststoffe aus Roggen angewendet wurde. Die DFRC-Methode ist eine Methode zur Strukturuntersuchung von Ligninen, mit der selektiv  $\alpha$ - und  $\beta$ -Arylether gespalten werden. Mit Hilfe dieser Methodik wurden in Roggenballaststoffen eindeutig Ligninstrukturen (über  $\beta$ -O-4-Bindungen gebundene Ligninmonomere) nachgewiesen. Eine Kopplung von Polysacchariden an Lignin über Phenolcarbonsäure ist möglich. Die folgende Tab. 9 nach Shewry und Bechtel zeigt die Ligningehalte im Roggen.

**Tab. 9: Ligningehalt im Roggen<sup>88</sup>**

|        | Menge (% TS)      |
|--------|-------------------|
| Lignin | 3,0 <sup>89</sup> |

#### 2.1.1.3.5 Fructane und Raffinose

Fructane gehören zu den löslichen Ballaststoffen, wurden aber als solche bisher wenig gewürdigt. Pontis<sup>90</sup> berichtete, dass Fructane, auf Saccharose aufbauende Polymere aus Fructose, im Pflanzenreich weit verbreitet sind. Außer in Asteraceen (z.B. Topinambur, Chicory) und Liliaceen (Zwiebeln, Porree) werden in Gräsern, und somit auch in Getreide Fructane gefunden. Sie können in allen Pflanzenteilen

<sup>85</sup> vgl. Besle et al. 1994, S. 171

<sup>86</sup> vgl. Bunzel und Steinhart 2002, S. 283

<sup>87</sup> vgl. Bunzel und Steinhart 2002, S. 285

<sup>88</sup> vgl. Lindhauer 2005, S. 170

<sup>89</sup> vgl. Shewry und Bechtel 2001, S. 115

<sup>90</sup> vgl. Pontis 1989, S. 148

vorkommen. Man unterscheidet drei Fructantypen, die sich durch ihre Fructosyl-Fructose-Bindungen unterscheiden: Inulin enthält  $\beta$ -(2-1)-Bindungen und Levan (Phlein)  $\beta$ -(2-6)-Bindungen, im Graminan kommen beide Bindungstypen vor, sie sind ein verzweigtes Fructan. Wahrscheinlich dienen Fructane den Pflanzen als Anti-Stressfaktoren, z.B. gegen Kälte. „Fructane sind wie andere Polysaccharide des Getreidekorns,  $\beta$ -Glucane oder Pentosane, die Ballaststoffe zuzurechnen, weil sie in der Magen-Darmpassage von körpereigenen Enzymen nicht abgebaut werden.“<sup>91</sup> Allerdings werden sie im Dickdarm von der Darmflora fermentiert. Nichtverdauliche Oligosaccharide (bis Durchschnittlicher Polymerisationsgrad 20) werden als Prebiotica bezeichnet. Raffinose, ein Trisaccharid aus Galaktose, Glucose und Fructose, gehört zu den Prebiotica. Fretzdorff und Welge<sup>92</sup> fanden 4,2 %TS im Roggenvollkorn an Fructangehalt und 0,09 %TS an Raffinosegehalt (Tab. 10).

**Tab. 10: Fructan- und Raffinosegehalte im Vollkorn des Roggens<sup>93</sup>**

|                  | Musterzahl | Mittlerer Gehalt (%TS) | Bereich der Gehalte (%TS) |
|------------------|------------|------------------------|---------------------------|
| <b>Fructan</b>   | 25         | 4,2                    | 3,6 – 5,0                 |
| <b>Raffinose</b> | 10         | 0,09                   | 0,06 – 0,13               |

#### 2.1.1.3.6 Cellulose und Mixed-linked $\beta$ -Glucane

Cellulose ist - chemisch gesehen – ein  $\beta$ -1,4-Glucan, das hauptsächlich in den Schalengewebe vorkommt und teilweise mit Lignin durchgesetzt ist. „Das am häufigsten in der Natur vorkommende Pflanzenpolysaccharid, die Cellulose, ist ein (1  $\rightarrow$  4)-verknüpftes  $\beta$ -D-Glucan. Die in Wasser unlösliche Cellulose besteht aus etwa 5,000 Einheiten in der Primärwand und aus bis zu 15,000 Einheiten in der Sekundärwand. Die Polymerstränge können sich durch zwischenmolekulare H-Brücken zu kristallinen Bereichen zusammenlagern. In der Zellwand sind die so entstehenden Mikrofibrillen in andere Zellwandbestandteile eingebettet. Der Celluloseanteil in den Zellwänden des Endosperms (Mehlkörper) von Getreiden beträgt 10 - 15 %, kann aber auch bis zu 30 % der Zellwand darstellen. In den äußeren Schichten des Getreidekorns ist durch den höheren Anteil an Zellen mit Sekundärwand der Celluloseanteil erhöht.“<sup>94</sup> Cellulose ist Hauptbestandteil pflanzlicher Zellwände, nicht wasserlöslich und für den Menschen unverdaulich.

<sup>91</sup> vgl. Anon 2001, S. 112

<sup>92</sup> vgl. Fretzdorff und Welge 2003, S. 3

<sup>93</sup> vgl. Fretzdorff und Welge 2003, S. 3

<sup>94</sup> vgl. Bunzel und Steinhart 2003, S. 190

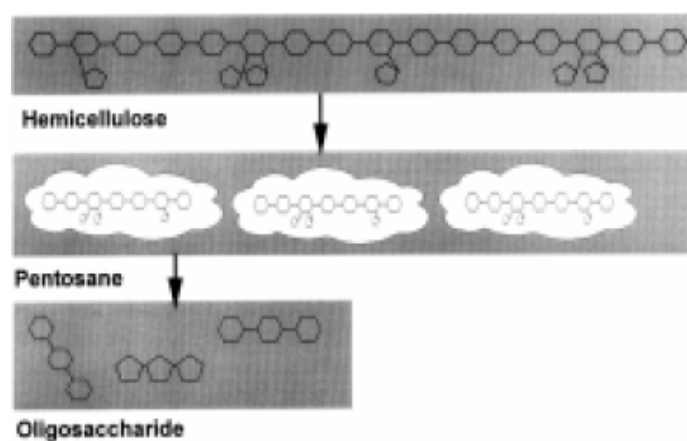
Generell konnten  $\beta$ -Glucane bislang in der Zellwand von Pilzen, Bakterien und Pflanzen nachgewiesen werden, wobei die  $\beta$ -verknüpfte Form in Pilzen vorherrschend ist. Sie sind dort mit Proteinen, Lipiden sowie anderen Kohlenhydraten eng verbunden. „Das Vorkommen von mixed-linked  $\beta$ -Glucanen ist nach bisherigen Kenntnissen auf die Gräser begrenzt. Vor allem in den Zellwänden von Hafer- und Gerstekaryopsen stellen mixed-linked  $\beta$ -Glucane die dominierenden Polysaccharide dar. Im Unterschied zur Cellulose besteht ihre Kette nur zu ca. 70% aus (1  $\rightarrow$  4)-gebundenen  $\beta$ -D-Glucopyranoseeinheiten, die durch (1  $\rightarrow$  3)-gebundene  $\beta$ -D-Glucopyranoseeinheiten (30 %) unterbrochen werden. Die (1  $\rightarrow$  4)-gebundenen  $\beta$ -D-Glucopyranoseeinheiten bilden hauptsächlich Cellotriosyl- und Cellotetraosyl-einheiten aus. Durch die (1  $\rightarrow$  3)-Bindungen erhält die Polysaccharidkette eine unregelmäßige Form. Dies führt zu einer besseren Löslichkeit und Hydrolysierbarkeit im Vergleich zur Cellulose. Mixed-linked  $\beta$ -Glucane können sehr viskose Lösungen bilden. Dies wird mit der Eigenschaft von Ballaststoffen aus Hafer in Verbindung gebracht, den Cholesterinspiegel zu senken.“<sup>95</sup>  $\beta$ -Glucanen sind dadurch in ihrer Konformation flexibler, das streckbar und verknäulbar ist und sich daher in Wasser löst.

Seibel und Weipert<sup>96</sup> schrieben, dass Cellulose und  $\beta$ -Glucane ebenso wie Pentosane Bestandteile der Zellwände der Getreidekörner sind und als unverwertbare Ballaststoffe bezeichnet werden. Die Möglichkeit, dass diese Kohlenhydrate die Gebäckqualität von Roggenprodukten beeinflussen könnten, war bisher vernachlässigt worden, bis die Backindustrie mit Kleie angereicherte Brote zur Gesundheitsförderung anbot. Cellulose und  $\beta$ -Glucane tragen zur Stabilität der angrenzenden Endospermzellen bei. Diese beeinflussen die Mahleigenschaften der Körner. Beim Backen binden sie zusätzliches Wasser, aber sie stören die Kohärenz des Teiges und der Brotkrume. Die Zellwände können zersetzt werden durch die Aktivität der Pentosanase, Cellulase, Hemicellulase,  $\beta$ -Glucanase und andere als Ergebnisse der Wetterschäden oder durch die kontrollierte Behandlung, um die Körner leichter zerreiben zu können. Das führt zu verbesserten Krumeneigenschaften. Das Desintegrationsmodell der Hemicellulose zu Oligosacchariden und zu Pentosanen ist beschrieben worden (Abb. 7).

---

<sup>95</sup> vgl. Bunzel und Steinhart 2003, S. 192

<sup>96</sup> vgl. Seibel und Weipert 2001, S. 168, Eigene Übersetzung



**Abb. 7: Abbau von Hemicellulose durch Xylanase<sup>97</sup>**

Die folgende Tab. 11 zeigt Cellulose und  $\beta$ -Glucangehalt im Roggen.

**Tab. 11: Cellulose und  $\beta$ -Glucangehalt im Roggen**

|                                  | Menge (% TS)             |
|----------------------------------|--------------------------|
| <b>Cellulose</b>                 | 2,6 <sup>98</sup>        |
| <b><math>\beta</math>-Glucan</b> | 2,3 <sup>99</sup>        |
|                                  | 1,2 - 2,9 <sup>100</sup> |

### 2.1.2 Protein

Wenn man Roggenmehl mit Wasser anteigt, bildet sich, im Gegensatz zum Weizen, kein Kleber. Bei der stofflichen Zusammensetzung gibt es an sich nur geringfügige Abweichungen zum Weizen, jedoch bestehen spezifische Unterschiede bei den funktionellen Eigenschaften der Inhaltstoffe. Das trifft vor allem auf die Roggenproteine zu, die keinen Kleber bilden bzw. sich nicht als Kleber auswaschen lassen. Klinger<sup>101</sup> berichtete, dass Roggenproteine gegenüber den Weizenproteinen einen höheren Albumin- und kleineren Glutelinanteil haben. Die funktionellen Eigenschaften der Roggenproteine sind - wie auch die der übrigen Getreidearten - im Vergleich zu den Weizenproteinen technologisch wenig interessant. Roggenproteine quellen unbegrenzt, sie binden wenig Wasser und haben keine elastischen Eigenschaften. Die Frage, ob mit Roggengliadin und -glutelin eine Kleberbildung möglich ist, wird teilweise kontrovers diskutiert. Dies vor allem deshalb, weil sich aus einem Roggenteig zwar kein Kleber auswaschen, jedoch mit einem Tetra-Benzolgemisch ein kleberähnliches Protein isolieren lässt, außerdem benetzte

<sup>97</sup> vgl. Kniel und Prochatzki 2000, S. 5

<sup>98</sup> vgl. Shewry und Bechtel 2001, S. 115

<sup>99</sup> vgl. Shewry und Bechtel 2001, S. 115

<sup>100</sup> vgl. Lindhauer 2005, S. 170

<sup>101</sup> vgl. Klingler 1995, S. 126

Roggenmehlteilchen unter dem Mikroskop eine Proteinnetzstruktur erkennen lassen. Die einzelnen Teilchen sind allerdings von einer Quellstoffschicht umgeben, die offenbar die Aggregation der Proteine verschiedener Teilchen verhindert. Es wird deshalb heute zum überwiegenden Teil angenommen, dass die löslichen und kaltquellenden polymeren Kohlenhydrate, insbesondere die im Roggen in höherer Konzentration vorkommenden Pentosane, die Kleberbildung in Roggenteigen verhindern. Die Hypothese wird durch die Tatsache gestützt, dass ein entsprechender Pentosanzusatz zum Weizenteig gleichermaßen die Kleberbildung stört.

Weipert<sup>102</sup> berichtete, dass Roggeneiweiß unter normalen Bedingungen keinen Kleber bildet, obwohl es die kleberbildenden Fraktionen Gliadin und Glutenin besitzt. Die Ursachen dafür wurden von Golenkov<sup>103</sup> in einem anderen Verhältnis aller Eiweißfraktionen und in der Anwesenheit der Schleimstoffe gesehen. Nach der Entfernung der Schleimstoffe ist die Gewinnung eines Roggenklebers möglich, wobei dieser von allgemein weicher Struktur und wesentlich weniger elastisch ist als der des Weizens.

„Die Ursache wird in vom Weizen abweichenden Aminosäuresequenzen und Thiol-/Disulfidstrukturen der Speicherproteine vermutet, die den Aufbau gleichwertiger homomolekularer Glutelinaggregate nicht zulassen. Gesamtaminosäuresequenzen von Roggenproteinen liegen im Gegensatz zu Weizenproteinen bisher nicht vor, aber aufgrund bekannter Aminosäurezusammensetzungen, Molekulargewichte und Partialesequenzen geht man davon aus, dass folgende Speicherproteintypen von Roggen und Weizen homolog sind: HMW-Secaline/HMW-Untereinheiten von Glutenin,  $\omega$ -Secaline/ $\omega$ -Gliadine und  $\gamma$ -40k-Secaline/ $\gamma$ -Gliadine. Die  $\alpha$ -Gliadine und LMW-Untereinheiten des Weizens fehlen beim Roggen, dafür kommen dafür kommen  $\gamma$ -75k-Secaline hinzu. Diese haben eine zu den  $\gamma$ -40k-Secalinen und den  $\gamma$ -Gliadinen homologe N-terminale Sequenz, aber ein höheres Molekulargewicht und einen größeren Anteil an Glx und Pro.“<sup>104</sup>

Aus Roggenmehl der Sorte Danko wurden von Gellrich und Mitarbeiter<sup>105</sup> die Osborne-Fractionen isoliert und durch SDS-PAGE<sup>106</sup> charakterisiert. Roggenspeicherproteine sind in wesentlich höherem Maße alkohollöslich als Weizenspeicherproteine: ca. 90 % der  $\gamma$ -75k-Secaline sowie ein Teil der HMW-

---

<sup>102</sup> vgl. Weipert 1985, S. 291

<sup>103</sup> vgl. Golenkov 1960, S. 156

<sup>104</sup> vgl. Shewry 1987, S. 421

<sup>105</sup> vgl. Gellrich et al. 2001, S. 277

<sup>106</sup> Anmerkung: SDS-PAGE ist Abkürzung für Sodiumdodecylsulfat-Polyacrylamid-Gelelektrophorese

Secaline sind bereits in der Prolaminfraktion zu finden. Durch präparative RP-HPLC wurden aus den Osborne-Fractionen Einzelproteine isoliert und anhand von N-terminalen Sequenzen und Molekulargewichten charakterisiert. Ein aus der Prolaminfraktion isoliertes  $\gamma$ -75k-Secalin wurde mit drei verschiedenen Enzymen hydrolysiert. Durch die Trypsinhydrolyse wurde C-terminale Domäne in Peptide gespalten, während die N-terminale Domäne intakt blieb. Durch die Sequenzierung der Peptide konnte die C-terminale Domäne des isoliertes  $\gamma$ -75k-Secalins fast vollständig aufgeklärt werden. Es wurde eine Sequenzübereinstimmung von 81 % im Vergleich zu den  $\gamma$ -Gliadinen des Weizens gefunden. Alle acht Cysteinreste sowie vier beim Weizen bekannten intramolekularen Disulfidbindungen konnten nachgewiesen werden. Damit sind die C-terminalen Domänen der  $\gamma$ -75k-Secaline und  $\gamma$ -Gliadine homolog. Die N-terminale Domäne des  $\gamma$ -75k-Secalins ist wesentlich länger (36 kDa) als bei  $\gamma$ -Gliadinen (18 kDa) und unregelmäßiger aufgebaut. In Position 12 ist ein zusätzlicher Cysteinrest vorhanden, der vermutlich hauptsächlich mit demselben Cysteinrest anderer  $\gamma$ -75k-Secaline intermolekulare Disulfidbindungen ausbildet. Disulfidbindungen dieses Cysteinrests mit HMW-Secalinen konnten bisher noch nicht nachgewiesen werden.

Spicher und Nierle<sup>107</sup> berichteten, dass die Löslichkeit der Eiweiße sich hingegen deutlich in der Teigausbeute, in der Teigbeschaffenheit, vor allem in der Krumenelastizität im Brotherstellungsprozess und nicht zuletzt im Säuerungsvermögen widerspiegelt. Das letztere ist für die Lockerung und den Geschmack der Gebäcke von Bedeutung, da am Ende der Sauerteiggärung die Eiweiße bekanntlich zu über 90 % wasserlöslich sind.

Die Roggenproteine haben im Vergleich zum Weizenkleber, der das Doppelte seines Eigengewichtes an Wasser binden kann, ein geringeres Wasserbindevermögen.

### 2.1.3 Lipide

Unter dem Begriff „Lipide“ werden Fette und Fettbegleitstoffe zusammengefasst. Lipide sind in Wasser unlöslich, können aber in Äther, Benzin, Benzol, Tetrachlorkohlenstoff und warmen Alkohol aufgelöst werden. Sie sind emulgierbar. Emulgatoren unterstützen die Verteilung der Lipide in Wasser.

Klingler<sup>108</sup> beschrieb, dass der Anteil von Lipiden bei den Getreidemahlerzeugnissen gering ist, trotzdem haben sie erhebliche funktionelle Wirkungen. Man kann bei den

---

<sup>107</sup> vgl. Speicher und Nierle 1984, S. 386

<sup>108</sup> vgl. Klingler 1995, S. 135

Getreidelipiden aus chemischer sowie funktioneller Sicht zwischen polaren und komplexen sowie apolaren bzw. neutralen Lipiden unterschieden, die ungleichmäßig auf Gewebeteile des Getreides und auch innerhalb des Endosperms verteilt sind. Die freien, polaren Lipide sind teilweise über hydrophile Wechselwirkungen mit Gliadin und Glutenin vergesellschaftet. Im Fettsäurespektrum der Getreidelipide dominieren die ungesättigten Fettsäuren, die leicht - autokatalytisch oder enzymatisch - oxidierbar sind. Die Aktivierungsenergie ist umso niedriger, je mehr isolierte Doppelbindungen die Fettsäure hat. Als primäre Oxidationsprodukte entstehen Fettsäureperoxide, die verschiedenen Sekundärreaktionen unterliegen. Sie haben beispielsweise auf Proteine und auch Carotine eine mittelbare Wirkung in der Weise, dass sie die Kleberproteine beim Weizen stabilisieren und Carotine zu farblosen Verbindungen oxidiert werden (biochemische Bleichung). Die Lipide des Mehls beeinflussen zwar die Verarbeitungseigenschaften, beherrschen sie aber nicht. Während der Mehllagerung wird ein Anstieg des Gehalts freier Fettsäuren (FFS) und eine Verbesserung der Backergebnisse beobachtet. Letzteres wird vor allem der Oxidation von SH-Gruppen während der Mehllagerung sowie der Teigbereitung durch Fettsäureperoxide und dem Luftsauerstoff zugeschrieben. Der typische Oxidationsgeruch alter Mehle hängt vor allem mit dem Anteil freier Fettsäuren, den Fettsäureperoxiden und Produktion aus Sekundärreaktionen zusammen. Die Anteile gebundener und freier Lipide im Mehl und Teig sind unterschiedlich groß. Bei der Teigherstellung nehmen die gebundenen Lipide in Abhängigkeit des Sauerstoffgehaltes und der Knetenergie zu. Die polaren Lipide erhöhen oberhalb einer Mindestkonzentration die Volumenausbeute, während apolare diesbezüglich diametral wirken.

„Das Gesamtlipid des Roggens ist ca. 1,5 - 2 % i.Tr., das dem des Weizens, der Gerste und Triticale ähnlich ist.“<sup>109</sup> Hulse und Laing<sup>110</sup> berichteten, dass die Gesamtfettsäuren aus  $16,5 \pm 1,2$  % Palmitinsäure (C16:0),  $0,6 \pm 0,1$  % Stearinsäure (C18:0),  $15,6 \pm 1,6$  % Ölsäure (C18:1),  $55,6 \pm 2,3$  % Linolsäure (C18:2),  $10,4 \pm 1,7$  % Linolensäure (C18:3) und  $1,3 \pm 0,3$  % Eicosensäure (C20:1) bestehen.

Von Mano und Mitarbeitern<sup>111</sup> durchgeführte Analyse von Glycerolipiden bestätigten, dass die untersuchten Roggenproben 1,6 - 1,9 % Gesamtlipid enthielten, von dem mehr als 40 % Triacylglycerole (TAG) waren. Mindestens wurden 13 Typen TAG separiert. Die Haupttypen (in abnehmenden Reihenfolge) waren Trilinolein,

<sup>109</sup> vgl. Shewry und Bechtel 2001, S. 86, Eigene Übersetzung

<sup>110</sup> vgl. Hulse und Laing 1974, Eigene Übersetzung, zitiert bei Shewry und Bechtel 2001, S. 86

<sup>111</sup> vgl. Mano et al. 1991, S. 280, Eigene Übersetzung, zitiert bei Shewry und Bechtel 2001, S. 86



Oleoyllinoleoyllinolenin, Palmitoyldilinolein, Oleoyldilinolein und Dilinoleoyllinolenin. Die Hauptglykolipide waren Diglycosyldiacylglycerol (DGDG) und Monoglycosyldiacylglycerol (MGDG), die aus sechs molekularen Spezies bestanden. Dilinolein (LL) war das reichlich vorhandenste, gefolgt (in abnehmender Reihenfolge) vom Palmitoyllinolein (PL), Oleoyllinolein und Linoleoyllinolenin. Die Hauptphospholipide waren Phosphatidylcholin (PC), Phosphatidylethanolamin (PE) und Phosphatidylinosit (PI), die aus mindestens neun molekularen Spezies bestanden. Im Phosphatidylcholin (PC) und Phosphatidylethanolamin (PE) bestanden die Hauptspezies aus LL und PL; PL alleine machte mehr als 40% der Gesamtmenge im Phosphatidylinositol (PI) aus.

„Die Stärkelipide des Roggens enthalten hauptsächlich freie Fettsäuren (23 % C16:0; 41 % C18:1; 35 % C18:2) und Lysophosphatidylcholin (46 % C16:0; 0,1 % C18:0; 42 % C18:1 und 10 % C18:2).“<sup>112,113</sup>

Die Einflüsse der Getreidelipide auf die Stärke und ihre Eigenschaften sind bei der Mehlerverarbeitung wegen ihres geringen Gehalts weniger bedeutend. Grundsätzlich können sie die Verkleisterungstemperatur erhöhen, außerdem mit den Stärkepolymeren Komplexe bilden, die sich auf die Frischhaltung von Backwaren vorteilhaft auswirken. Zugesezte Fette verzögern oberhalb einer Grenzkonzentration die Gärung, verkürzen die Teigstruktur, machen die Krume zarter und verbessern die Frischhaltung.

#### 2.1.4 Enzyme

Die derzeit untersuchten Enzyme des Roggens sind Amylasen, Proteinase, Lipasen, Lipoxigenasen und Hemicellulase bzw. Xylanasen. Alle Enzyme haben eine funktionelle Wirkung auf die Eigenschaften von Roggenteigen. Die Wirkung der Enzyme spielt sowohl bei der Züchtung als auch bei der Herstellung von Backwaren eine große Rolle. Bisher wurde in erster Linie der enzymatische Abbau der Stärke in den Überlegungen verankert. Dieses führte zu dem züchterischen Ziel, die stärkeabbauende Wirkung zu verringern, damit der Anteil der Roggenpartien, die den Anforderungen an einen Brotroggen entsprechen, gesteigert werden kann. „Brotroggen wird durch eine Mindestamylogrammviskosität von 200 Amylogrammeinheiten und einer Mindestmaximumtemperatur von 63 °C definiert.“<sup>114</sup>

<sup>112</sup> vgl. Acker und Becker 1971, Eigene Übersetzung, zitiert bei Shewry und Bechtel 2001, S. 86

<sup>113</sup> vgl. Acker und Becker 1972, Eigene Übersetzung, zitiert bei Shewry und Bechtel 2001, S. 86

<sup>114</sup> vgl. Freund 1995, S. 38

Somit war das züchterische Ziel festgelegt, diese Werte bei der Auswahl der neuen Sorten zu überschreiten.

Dabei wurden aber die Wechselwirkungen hinsichtlich Frischhaltung und Enzymaktivität der weiteren Enzyme wahrscheinlich aus den Augen verloren. In der praktischen Bäckereitechnologie zeigt sich, dass die neuen Roggensorten zwar eine hohe Auswuchsfestigkeit aufweisen, also eine geringe Alpha-Amylasen-Aktivität, aber nicht den für die Frischhaltung der Backwaren so wichtigen Abbau der Stärke aufweisen. Weil Stärke der Hauptbestandteil von Roggenmehl ist, spielen stärkeabbauende Enzyme die Schlüsselrolle für die Backeignung. Roggenmehl kann wesentliche Mengen an Enzymen enthalten, die Protein, Pentosan, Hemicellulose und Cellulose abbauen. In den meisten Mehlen tragen sie zusammen mit den Amylasen zu den Backeigenschaften bei. Jedoch sind die Amylasen im Roggenmehl der bedeutsamste Faktor, entsprechend der Bedeutung der Stärke.

Weipert<sup>115</sup> beschrieb, dass die Auswirkung enzymatischer Aktivitäten auf die Teigkonsistenz zunächst einmal von der Anfälligkeit der Getreideinhaltsstoffe bezüglich der Enzymeinwirkung abhängt.

Rohrlich<sup>116</sup> beschrieb, dass die Wirksamkeit der Enzyme erst initiiert wird, wenn die Roggenmahlerzeugnisse mit Wasser zu einem Teig vermischt werden. Aber auch dann verlaufen die enzymatischen Prozesse relativ langsam und begrenzt, solange die Temperaturbedingungen nicht dem Optimum der einzelnen Enzyme entsprechen. Dann aber entwickeln sie ihre Aktivität, die im allgemeinen erst unter dem Einfluss der Ofenhitze etwa oberhalb 60 °C zum Stillstand kommt. Die folgende Tab. 12 nach Klingler<sup>117</sup> zeigt Eigenschaften verschiedener Getreideenzyme, z.B. Temperatur- und pH-Optima sowie Aktivatoren.

**Tab. 12: Eigenschaften verschiedener Getreideenzyme<sup>118</sup>**

| Enzym               | Temperatur | pH-Optimum | Aktivatoren |
|---------------------|------------|------------|-------------|
| <b>α-Amylase</b>    | 55 - 65 °C | 5,0 - 6,0  | Calcium     |
| <b>β-Amylase</b>    | 50 - 60 °C | 5,0 - 6,0  |             |
| <b>Proteinase</b>   | 30 - 40 °C | 4,5 - 6,0  | Cystein     |
| <b>Lipase</b>       | 35 - 45 °C | 7,0 - 8,0  | Albumin     |
| <b>Lipoxigenase</b> | 25 - 35 °C | 6,0 - 7,0  |             |
| <b>Pentosanase</b>  | 55 - 65 °C | 5,0 - 6,0  |             |

<sup>115</sup> vgl. Weipert 1993, S. 312

<sup>116</sup> vgl. Rohrlich 1969, S. 104

<sup>117</sup> vgl. Klingler 1995, S. 138

<sup>118</sup> vgl. Klingler 1995, S. 138

In Hinblick auf die Verarbeitung von Roggenmahlzeugnissen sind besonders folgende Enzyme von Bedeutung:

- Amylasen
- Protease (Proteinase)
- Hemicellulase (ink. Xylanase, Pentosanase)
- Lipase (Esterase) und Lipoxygenase (Lipoxydase)
- Andere Enzyme

Ziel ist es mit Hilfe dieser Enzyme u. a. die Verarbeitungstoleranz von Teigen trotz nicht immer einheitlicher Rohstoffeigenschaften auf die heute maschinengestützten Aufarbeitungsprozesse anzupassen und stets zu einer Optimierung der Gebäcke beizutragen. In der folgenden Tab. 13 nach Kniel<sup>119</sup> sollen mögliche Wirkungsweisen einiger Enzyme in Bezug auf die Teig- und Gebäckherstellung dargestellt werden:

**Tab. 13: Enzymwirkungen auf den Teig und die Backwaren<sup>120</sup>**

| Wirkung                               | Schlüsselenzyme                       |
|---------------------------------------|---------------------------------------|
| <b>Teigentwicklung</b>                | Xylanasen, Glucoseoxidase, Peroxidase |
| <b>Trockene, nicht klebende Teige</b> | Xylanasen                             |
| <b>Gärstabilität, Gärtoleranz</b>     | Xylanasen                             |
| <b>Gebäckvolumen</b>                  | Amylasen, Xylanasen                   |
| <b>Gebäckfarbe, Geschmack</b>         | Amylasen, Proteasen, Peptidasen       |
| <b>Frischhaltung</b>                  | Amylasen, Xylanasen, Lipasen          |

#### 2.1.4.1 Amylase

Die Amylasen werden nach ihrer Wirkung in Endo- und Exoamylasen unterteilt. Sie nehmen auf dem Gebiet der Getreideverarbeitung eine Schlüsselstellung ein. „Die Amylase ist in der Lage, Amylose und Amylopektin im Innern des Moleküls anzugreifen und sie zunächst in kleinere Teile und schließlich in kurze Dextrine und verzweigtes Grendextrin zu zerlegen. Die gegenwärtige Meinung zur Wirkung von Amylasen gegen das Altbackenwerden besagt, dass a) kleine Fragmente von Amylose und Amylopektin eine geringere Tendenz zur Kristallisation aufweisen und b) kurzkettige Dextrine andere Bereiche des Stärkemoleküls stören, so dass die Kristallisation zu einem gewissen Grad verhindert wird. Da die meisten Amylasen nur

<sup>119</sup> vgl. Kniel 2000, S. 20

<sup>120</sup> vgl. Kniel 2000, S. 20

auf hydratisierte Stärke einwirken, ist die Wirkung dieser Enzyme während der Teigbereitung und der Stehzeit stark eingeschränkt; somit auch eine jegliche Auswirkung auf das Altbackenwerden.<sup>121</sup>

Weipert<sup>122</sup> beschrieb, dass die Amylasen, vornehmlich die  $\alpha$ - und  $\beta$ -Amylase, die langkettigen Stärkemoleküle in den 1,4-glucosidischen Bindungen spalten und zu Dextrinen und Maltose abbauen, wodurch insbesondere das Wasserbindevermögen der gequollenen und verkleisterten Stärke merklich abnimmt. Das Ergebnis ist der Viskositätsabfall einer Stärke-Wasser-Suspension bzw. eines Geles und letztlich eine weiche, unelastische und beim Kauen klebende und ballende Brotkrume.

Amylasen werden aus folgenden Organismen gewonnen: Getreide (Malz), Bakterien, Pilzen, alle haben verschiedene Temperaturoptima beim Einsatz zur Herstellung von Backwaren.

#### 2.1.4.1.1 $\alpha$ -Amylase

$\alpha$ -Amylasen spalten  $\alpha$ -1,4-glycosidische Bindungen im Innern der Stärkemoleküle, so dass Gemische reduzierender Zucker (Glucose, Maltose, Maltotriose bzw. Maltooligomere) sowie  $\alpha$ -Grenzdextrine entstehen. Bedingt durch den endogenen Spaltungsmechanismus fällt die Viskosität von Stärkelösungen bzw. -kleistern schnell ab. „Die  $\alpha$ -Amylase aus Getreide trägt zur Vermeidung des Altbackenwerdens bei, weil sie eine größere Hitzestabilität besitzt als Pilzamy lasen. Daher ist sie immer noch aktiv, wenn zumindest Teile der Stärke bereits verkleistert sind. Dennoch reicht die Endtemperatur des Backvorgangs aus, um das Enzym vollständig zu inaktivieren. Die Pilz- $\alpha$ -Amylasen überstehen die steigenden Temperaturen nicht lange genug, um gelatinierte Stärke hydrolysieren zu können: Ihre Stabilitätskurve zeigt bei Temperaturen über 55 °C einen steilen Abfall, obwohl Stärke als das Substrat sogar eine stabilisierende Wirkung auf Amylase ausübt. Eine Alternative stellt eine neuartige Amylase aus einem nicht genetisch modifizierten Pilz dar, einem *Rhizopus oryzae*-Stamm. Im Gegensatz zu anderen Pilzamy lasen ist dieses Enzym in der Lage, selbst nicht-gelatinierte Stärke teilweise zu hydrolysieren und so ihre Neigung zur Rekristallisation zu verringern. Seine Wirkung auf die Krumenweichheit liegt zwischen der des Glycerin-Monostearats, eines Monoglyzerids, das sich für diesen Zweck am besten eignet, und der einer sehr effektiven GMO (Genetisch modifizierte Organismen)-Amylase.

---

<sup>121</sup> vgl. Popper 2001, S. 287

<sup>122</sup> vgl. Weipert 1993, S. 309

Die in der Getreideindustrie benötigte Amylase mit großer Hitzebeständigkeit wird am häufigsten aus Mikroorganismen der Familie der Bacillaceae gewonnen. Da jedoch selbst nach 20 min bei 95 °C noch eine Restaktivität vorhanden ist, wird beim Einsatz im Brot nicht nur die gewünschte Wirkung gegen das Altbackenwerden erreicht, sondern leider auch eine allmähliche Verflüssigung der Krume während der Lagerung. Dennoch werden ähnliche bakterielle  $\alpha$ -Amylasen eingesetzt, um die Weichheit der Krume zu verbessern, wenn auch nur in Verbindung mit Pilz- $\alpha$ -Amylasen und in sehr geringen Konzentrationen, so dass eine Verflüssigung der Krume weitestgehend vermieden wird.<sup>123</sup>

Die  $\alpha$ -Amylaseaktivität in Mehlen ist für alle Verwendungsbereiche von Bedeutung, weil sie die rheologischen Eigenschaften von Teigen und Massen wesentlich beeinflusst. Außerdem besteht ein direkter Zusammenhang zwischen der  $\alpha$ -Amylaseaktivität und der Gärgeschwindigkeit hefegelockerter Teige, außerdem zur Geschmacks- bzw. Aromastoffbildung sowie der Frischhaltung der Gebäcke. Die Enzymaktivität lässt sich über Temperatur/Zeit-Verhältnisse sowie bestimmte Zusätze wie Salze und Säuren bzw. den pH-Wert steuern. Native Stärken werden von Amylasen allerdings nur sehr langsam abgebaut.

#### 2.1.4.1.2 $\beta$ -Amylase

$\beta$ -Amylasen wirken im Unterschied zu  $\alpha$ -Amylasen kaum viskositätssenkend, sondern verzuckernd. Sie spalten  $\alpha$ -1,4-glycosidische Bindungen vom nichtreduzierenden Ende der Stärkemoleküle (Exomechanismus) ab. „ $\beta$ -Amylase verfügt über eine gewisse Fähigkeit, die Retrogradation von Amylopektin zu verhindern. Das Enzym verringert die Länge der Außenketten (oder A-Ketten) innerhalb des Moleküls, die gemeinsam mit Teilen der B-Ketten für die Bildung kristalliner Strukturen verantwortlich sind.“<sup>124</sup> Lineare Moleküle (Amylose) werden quantitativ zu Maltose hydrolysiert, während aus verzweigten Molekülen (Amylopektin) außerdem  $\beta$ -Grenzdextrine entstehen, weil das Enzym  $\alpha$ -1,6-Bindungen nicht überspringen kann.

#### 2.1.4.1.3 Amylasen aus genetisch modifizierten Organismen

Für eine länger andauernde Weichheit der Krumen sind allem Anschein nach Amylasen mittlerer Hitzestabilität am besten geeignet. „Die Amylasen können durch

<sup>123</sup> vgl. Popper 2001, S. 287

<sup>124</sup> vgl. Popper 2001, S. 287

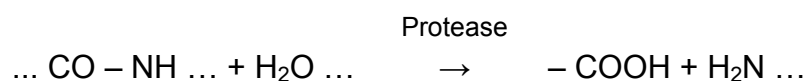
genetische Veränderung gewöhnlicher Mikroorganismen gewonnen werden. Die Fähigkeit einiger dieser Enzyme, kurzkettige Maltodextrine zu erzeugen, scheint vorteilhaft und könnte auf dieselben Mechanismen zurückzuführen sein, wie bei den  $\beta$ -Amylasen.<sup>125</sup> Kragh und Mitarbeiter<sup>126</sup> gehen dagegen davon aus, dass auch eine Exo-Amylase, die keine Maltose erzeugt, die Retrogradation verzögern kann - vermutlich eine Folge der Entfernung der A- von den B-Ketten.<sup>127</sup>

#### 2.1.4.1.4 Amyloglucosidasen bzw. Glucamylasen

Amyloglucosidasen bzw. Glucamylasen spalten  $\alpha$ -1,4- als auch  $\alpha$ -1,6-glycosidische Bindungen der Stärke, so dass sowohl aus linearen als auch aus verzweigten Molekülen ausschließlich Glucose entsteht. Die Amyloglucosidase hat für die technische Stärkeverzuckerung eine große Bedeutung erlangt.

#### 2.1.4.2 Proteasen (Proteinasen)

Die Proteasen sind neben den Amylasen die wohl am meisten untersuchten hydrolytisch wirkenden Enzyme. In der systematischen Nomenklatur reiht man sie C-N-Hydrolysen ein, weil sie im Eiweißmolekül die Peptidbindung spalten. „Die Proteasen (C-N-Hydrolysen) werden in Proteinase, die hochmolekulare Proteine spalten, und in Peptidasen, die Peptide hydrolysieren, unterteilt, außerdem nach dem Wirkungsmechanismus in Endo- und Exopeptidasen. Die proteolytischen Enzyme des Getreides werden aufgrund ihrer Spaltungsspezifität dem Papaintyp zugeordnet. Ihre Aktivität lässt sich mit Hilfe von Reduktionsmittel erhöhen und mittels Oxidationsmitteln hemmen. Das hängt mit dem Vorkommen von Cystin im aktiven Zentrum des Enzyms zusammen.



Die Proteinaseaktivität ist im gesunden Getreide und in daraus hergestellten Mahlprodukten vergleichsweise gering. Für die Getreide – und Mehlerarbeitung kann das optimale Enzymniveau sehr unterschiedlich sein, abhängig von der

<sup>125</sup> vgl. Diderichsen und Christiansen US Patent Application 4, 598, 048

<sup>126</sup> vgl. Kragh et al. WO 99/50399

<sup>127</sup> Anmerkung: A-Ketten sind mit dem reduzierenden Ende mit dem restlichen Molekül verbunden. Die B-Ketten, sind ebenfalls über eine glykosidische Bindung mit einer anderen Kette verbunden, tragen aber im Gegensatz zu den A-Ketten weitere Seitenketten (vgl. Keßler 2006, S. 4)

Kleberqualität und der Art der herzustellenden Produkte. Bei der Verarbeitung kleberstarker Mehle beschleunigt die Zugabe von Proteinasen die Teigentwicklung, macht die Teige dehnbarer und nachgiebiger, außerdem die Backwaren aromareicher. Die Überdosierung des Enzyms verursacht fließende Teige mit klebenden Eigenschaften. Im Falle der Keksherstellung verhindern Proteinasen das „Schnurren“ der Teige.<sup>128</sup>

Die Proteinasen des Roggens scheinen, denen des Weizens ähnlich zu sein dadurch, werden sie in der Kleie konzentriert und sind extrahierbar bei pH 4,5 - 7. Breyer und Hertel<sup>129</sup> zeigten mit einem synthetischen Substrat ( $\alpha$ -benzoyl-DL-arginine-4-nitro-anilide; BAPA), dass optimale Aktivität bei 50 °C und pH 8 vorhanden ist. Madl und Tsen<sup>130</sup> jedoch benutzten Hämoglobin als Substrat und berichteten über ein pH-Optimum von 4,45.

Weipert<sup>131</sup> beschrieb, dass die Proteolyse (enzymatischer Eiweißabbau) von einer Gruppe von Proteasen vorgenommen wird, die Getreideproteine spezifisch und differenziert zu kurzkettigen Molekülen und Aminosäuren abbauen. Auch hier wird das Wasserbindevermögen der Proteinfraction der Mahlprodukte vermindert, was letztlich zur Viskositätssenkung und zum Verlust der Formbeständigkeit der Teige führt. Diese Erkenntnis ist wichtig für die Beurteilung der Viskositätssenkung der Roggenteige während des Knetens und der Reifung.

#### 2.1.4.3 Hemicellulase (ink. Xylanase, Pentosanase)

Hemicellulasen können im Mehl vorhandene Pentosane zerlegen. „Es gibt zwei Arten von Pentosanen, die eine ist löslich in Wasser, die andere nur in schwach alkalischer Lösung. Eine teilweise Hydrolyse des unlöslichen erzeugt lösliches Pentosan, das Gele mit hoher Wasserbindungskapazität bilden kann. Eine weitere Hydrolyse des nun löslichen Pentosans setzt wiederum Wasser frei. Die Erhöhung der Wasserbindungskapazität bewirkt einen trockeneren Teig. Heutzutage sind Hemicellulasen die wahrscheinlich wichtigsten Backenzyme, wenn es um das Erreichen eines großen Backvolumens geht. Ursprünglich nur eine unerkannte Nebenwirkung bestimmter Enzympräparate, sind sie jetzt in reiner und standardisierter Form erwerbbar. Im Allgemeinen bekommt Brot mit einem größeren Volumen auch eine weichere Krumenstruktur. Der Vorgang des Altbackenwerdens

---

<sup>128</sup> vgl. Klingler 1995, S. 141

<sup>129</sup> vgl. Breyer und Hertel 1974, S. 13

<sup>130</sup> vgl. Madl und Tsen 1973, S. 215

<sup>131</sup> vgl. Weipert 1993, S. 309

fängt also bei einem höheren Weichheitsgrad an. Selbst wenn die Schnelligkeit des Altbackenwerdens (das Abfallen der Weichheitskurve) nicht durch Pentosanasen beeinflusst wird, ist die letztendliche Weichheit größer als bei Brot mit geringerem Volumen. Eine größere Anzahl von Poren bei gleich bleibendem Volumen sorgt für eine große innere Oberfläche. Deshalb werden die Zellwände dünner, was zu einem geringeren Widerstand beim Zusammendrücken führt und damit zu einer verbesserten Weichheit.“<sup>132</sup> Yin und Walker<sup>133</sup> berichteten, dass nach Hinzufügen von Pentosanen, die man durch Trennung von handelsüblichem Kleber gewinnt, ein deutlicher Abfall der Schnelligkeit eintritt, mit der die Krume während der Lagerung fest wird. Später entdeckten van Eijk und Hille<sup>134</sup> im Brot eine Korrelation von Pentosanase-Zusatz und freiem Pentosan, das vermutlich aus dem Pentosan-Kleber-Netz freigesetzt wurde. Eine Wirkung der Pentosanasen auf die Krumenweichheit ist daher anzunehmen.

„Es scheint bislang keine Berichte über den Einfluss der veränderten Wasserabsorptionskapazität von Pentosan auf die Lagerfähigkeit zu geben, obwohl zumindest theoretisch eine aufgrund der Aktivität der Enzyme gesteigerte Verfügbarkeit von Wasser auch die Schnelligkeit des Altbackenwerdens verringern müsste.“<sup>135</sup>

Dörfer<sup>136</sup> berichtete, dass Pentosanabbauende Enzyme (Xylanasen) in jeder Getreidecaryopse enthalten sind. Diese Enzyme finden sich in aktiver und inaktiver Form in der Aleuronschicht des Getreidekorns. Als typische Keimungsenzyme werden sie erst mit Beginn des Keimungsgeschehens aktiv und wirken am Abbau der Zellwände des Endosperms mit. Das Xylanase-System der Getreidecaryopse besteht aus vier substratspezifischen Enzymen, die am Abbau des hochmolekularen Arabinoxylans bis hin zu den monomeren Zuckern beteiligt sind (Abb. 8).

---

<sup>132</sup> vgl. Popper 2001, S. 287

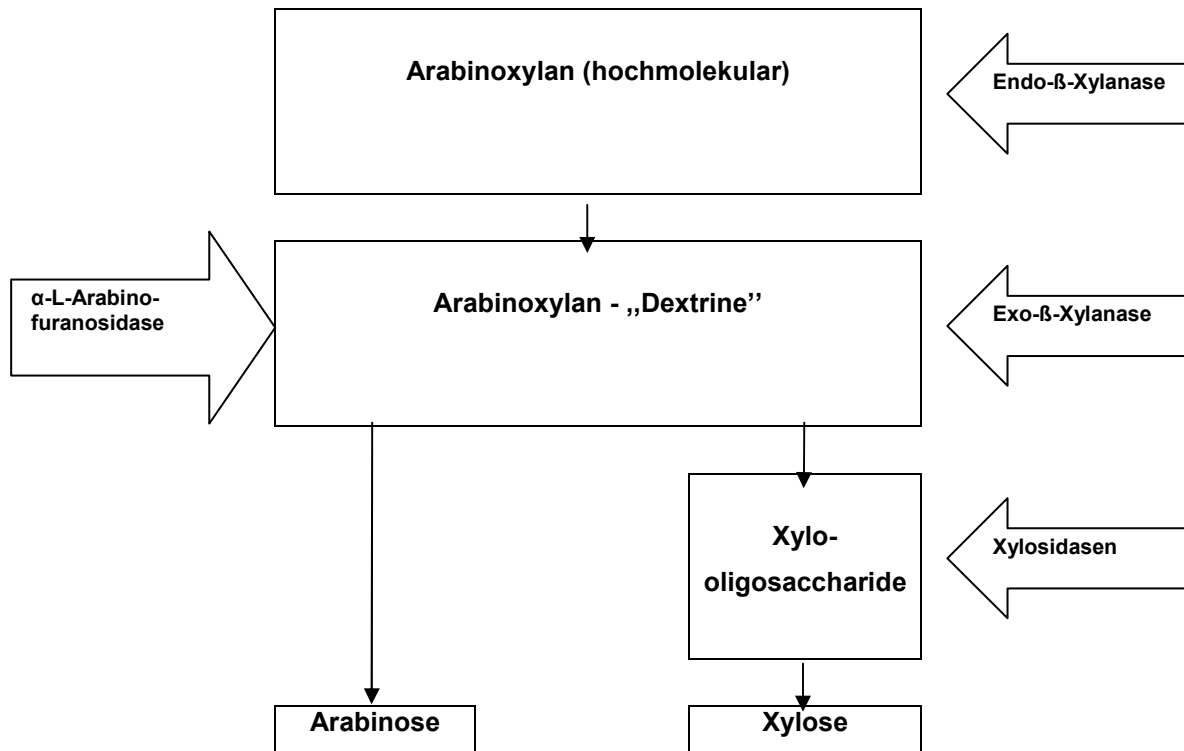
<sup>133</sup> vgl. Yin und Walker 1992, S. 592

<sup>134</sup> vgl. Van Eijk und Hille 1995, S. 131

<sup>135</sup> vgl. Popper 2001, S. 287

<sup>136</sup> vgl. Dörfer 2001, S. 154





**Abb. 8: Übersicht zu den pentosanabbauenden Enzymen des Getreidekorns<sup>137</sup>**

Den größten Einfluss auf die Teigbeschaffenheit hat die Endo-β-Xylanase, die das polymere Arabinoxylan im mittleren Molekülbereich spaltet und dadurch die Viskosität deutlich senkt. Die Aktivität der getreideeigenen Xylanasen ist bei auswuchsfreien Roggen sehr niedrig und technologisch unproblematisch. Problematisch kann dagegen ein mikrobieller Befall mit sogenannten Feld- und/oder Lagerpilzen sein, deren Enzyme die Getreideinhaltsstoffe möglicherweise bei der Verarbeitung schädigen. Die Quellkurven der xylanasereichen Roggenmehle zeigten einen 2 - 3 fach größeren Abbau, verglichen mit den unauffälligen Mehlen. Die hohe Xylanase-Aktivität der betroffenen Mehle kann nicht das Ergebnis eines Auswuchsgeschehens sein, da die Fallzahlen und die α-Amylase-Aktivitäten darauf keinen Hinweis geben. Ursache der hohen Xylanase-Aktivität könnte ein Befall der Roggenähre durch Feldpilze sein. Die biochemische Charakterisierung der Enzyme (speziell der Xylanase) der betroffenen und der unauffälligen Roggenmuster könnte diese Vermutung erhärten. Zur analytischen Erfassung solcher Roggenmehle kann nach den vorgestellten Methoden die aktuelle Endo-β-Xylanase-Aktivität des Roggens ermittelt werden. Für das Mühlen- oder Bäckereilabor erscheint die Aufnahme einer Quellkurve mit Hilfe eines einfachen Rheometers zur Identifizierung

<sup>137</sup> vgl. Dörfer 2001, S. 154

problematischer Roggenmehle mit überhöhter Xylanase-Aktivität (Pentosanase-Aktivität) leichter realisierbar als die Bestimmung der Xylanase-Aktivität.

Weipert<sup>138</sup> beschrieb, dass die Pentosanasen und Glucosanasen die Enzyme sind, die die Hemicellulose und Pentosane (Arabinoxylan, Arabinogalactan) zu kurzkettigen Oligo- und Polysacchariden abbauen, wobei neben der Glucose noch die Xylose und Arabinose mit unterschiedlichen Löslichkeits- und Viskositätsverhalten entstehen. Die Wirkung dieser Enzyme macht sich ebenfalls im verminderten Wasserbindevermögen bzw. verminderter Viskosität der Teige, insbesondere der Roggenteige, bemerkbar.

Klingler<sup>139</sup> beschrieb, dass eine scharfe Abgrenzung der Pentosanasen von den Hemizellulasen nicht möglich ist. Als Folge der enzymatischen Spaltung der Pentosane entstehen Molekülbruchstücke und teilweise niedermolekulare Saccharide, außerdem sinkt die Konsistenz von Mehl/Wasser Suspensionen, Massen und Teigen. Zu hohe Pentosanaseaktivitäten führen wegen der abnehmenden Wasserbindung zu nachlassenden bis fließenden Teigen. Ein Pentosanasezusatz zu enzymarmen Roggen- und Schrotteigen vermindert die Nachquellung und verlängert die Frischhaltung der Gebäcke.

#### 2.1.4.4 Lipase (Esterase) und Lipoxygenase (Lipoxydase)

Die Lipase gehört in die Gruppe der Hydrolasen. Sie ist eine Esterase, da sie Glycerinester der Fettsäuren spaltet. Bei Trennung der Esterbindung entstehen unter Wasseraufnahme Glycerin und freie Fettsäuren. Popper<sup>140</sup> hat angegeben, dass Lipase im Mehl vorhandene bzw. zugesetzte Lipide in freie Fettsäuren und Di- oder Monoglyzeride umwandelt. Fettsäuren, besonders langkettige gesättigte Fettsäuren, können mit dem Stärkemolekül in Wechselwirkung treten und, wie auch die Mono- und Diglyzeride, das Altbackenwerden verzögern. Leider ist die Verwendung von Lipasen nicht risikolos: Einige freie Fettsäuren besitzen einen strengen Geruch, und nicht nur die Verwendung von Butterfett (auch als Bestandteil von Milchpulver) kann ein starkes und unangenehmes Fehl aroma der Backware verursachen. Da die Mühle selten einen Einfluss auf die Verwendung des Mehles hat, ist der Einsatz von Lipase als Mehlbehandlungsenzym nicht zu empfehlen. Rohrlich<sup>141</sup> berichtete, dass die Lipase für den Verarbeitungsprozess im negativen Sinne von Bedeutung ist. Am

---

<sup>138</sup> vgl. Weipert 1993, S. 309

<sup>139</sup> vgl. Klingler 1995, S. 143

<sup>140</sup> vgl. Popper 2001, S. 287

<sup>141</sup> vgl. Popper 2001, S. 287

Backprozess z.B. ist zwar ihre Beteiligung nicht unmittelbar gegeben, umso weniger als sie durch die hierbei auftretende Temperatur inaktiviert wird. Sie ist aber verantwortlich für die Fettsäureoxidation und für das Auftreten freier Fettsäuren, die in den Backwaren einen ranzigen Geschmack hervorrufen können.

Die Lipoxygenase katalysiert die Oxidation mehrfach ungesättigter Fettsäuren wie Linolsäure, Linolensäure und Arachidonsäure sowie ihre Ester, wobei Hydroperoxide entstehen. Lipoxygenasen (z.B. aus der Sojabohne) haben eine positive Auswirkung auf die Teigeigenschaften und Krumenstruktur von Weizenteigen. Ein komplexes Modell von Chung und Pomeranz<sup>142</sup> schlägt als eine mögliche Erklärung die Loslösung freier Lipide aus Kleber-Lipid-Komplexen vor, die daraufhin mit Stärke in Wechselwirkung treten könnten. Ein anderer Ansatz erklärt die Krumenerweichung durch die Oxidation von Lipiden, da gesättigte Lipide dem Altbackenwerden stärker entgegenwirken.

Shewry und Bechtel<sup>143</sup> beschrieben, dass Lipoxygenasen vom Interesse wegen ihrer Effekte auf die rheologischen Eigenschaften der Weizenteige sind, vermutlich über die Oxidation der Sulfhydrylgruppen. In vivo spielen sie eine Rolle in der Antwort zum Verwunden und zur Infektion über den Octadecanoid-Signalweg.

Fretzdorff und Jördens<sup>144</sup> verglichen die Aktivitäten, die Substratbesonderheiten und andere Eigenschaften der Lipoxygenasen in einem Umfang der Getreide einschließlich Roggen. Linol- und Linolensäuren wurden als Substrate angenommen, und das Roggenenzym wurde durch Calcium und Magnesium aktiviert aber durch die Ethylenediaminetetraessigsäure (EDTA) des Chelatbildners gehemmt. Es wurde auch stark durch Quecksilberchlorid gehemmt und labil zur Denaturierung bei 70 °C. Eine genau geschilderte Kennzeichnung dieses Enzyms ist nicht berichtet worden.

Weipert<sup>145</sup> beschrieb, dass die Lipasen und Lipoxygenasen die freien Fettsäuren aus dem Kornfett abspalten und über deren Oxidation zum Ranzigwerden der Mahl- und Backprodukte führen. Da die korneigenen, wie auch die zugesetzten Fette mit Eiweiß und Stärke die Viskosität der Teige verändernde Komplexe bilden, kann neben der Menge und Beschaffenheit die Aktivität der diese Stoffe abbauenden Enzyme von Einfluss auf die Viskositätsverhältnisse während des Backens und somit auf die Qualität des Endproduktes sein.

---

<sup>142</sup> vgl. Rohrlach 1969, S. 111

<sup>143</sup> vgl. Shewry und Bechtel 2001, S. 110, Eigene Übersetzung

<sup>144</sup> vgl. Fretzdorff und Jördens 1986, S. 437

<sup>145</sup> vgl. Weipert 1993, S. 309

Klingler<sup>146</sup> berichtete, dass die Bedeutung der Lipoxygenase bei der Teig- und Brotherstellung vor allem darin zu sehen ist, dass über die Hydroperoxide aus der Fettoxidation SH-Gruppen von Proteinen und Peptiden oxidiert werden. Folgen davon sind eine stabilere Teigstruktur und eine höhere Knettoleranz. Dieses Erkenntnis bezieht sich aber in erster Linie auf Weizenteige.

#### 2.1.4.5 Andere Enzyme

Außer den besprochenen Enzymen, deren Bedeutung für die Getreide- und Mehlerverarbeitung erkannt und mehr oder weniger deutlich ist, sind auch solche nachgewiesen worden, die einen Einfluss auf das Altbackenwerden von Brot haben könnten. Si<sup>147</sup> berichtete, dass die Phospholipase die Neigung zum Altbackenwerden durch die Bildung von Lyso-Phospholipiden aus endogenen oder zugesetzten Phospholipiden verringert. Pullulanase (auch Pullulan-6-Glucanohydrolase), ein Entzweigungsenzym aus der Gruppe der Amylasen, greift die  $\alpha$ -1,6-Bindungen im Amylopektin an (wazu  $\alpha$ - und  $\beta$ -Amylase nicht in der Lage sind). Dies soll die Bereitschaft zur Rekristallisation verringern; einige andere Autoren konnten allerdings keinerlei positiven Auswirkungen feststellen. „Andererseits könnte ein Verzweigungsenzym, d.h. ein Enzym, das längere, verzweigte Moleküle aufbauen kann, indem es Glucose-Untereinheiten an ein vorhandenes Fragment knüpft, auch in der Lage sein, die Struktur von Stärke so zu verändern, dass eine geordnete Rekristallisation unmöglich wird.“<sup>148</sup>

„HoPS (Homopolysaccharide) bestehen aus einem Monosaccharide und werden durch Glucosyl- oder Fructosyltransferasen (Glycosyltransferasen) aus Saccharose oder Raffinose gebildet. Die beim Spalten von Saccharose oder Raffinose freigesetzte Energie wird zum Aufbau der Polysaccharide genutzt. Glycosyltransferase besitzen neben einer Glycosyltransferase- auch eine Hydrolase-Aktivität. Somit spaltet eine Fructosyltransferase die Saccharose in Glucose und Fructose sowie in Glucose und Fructan und/oder Fructooligosaccharide (FOS).“<sup>149</sup>

Fretzdorff<sup>150</sup> berichtete, dass für den Phytinsäure-Abbau während der Brotherstellung die Einflussgrößen recht genau bekannt sind. Da die roggeneigene Phytase die Phytinsäure enzymatisch abbaut, spielen die Faktoren, pH-Wert, Temperatur und Zeit, eine wichtige Rolle.

---

<sup>146</sup> vgl. Klingler 1995, S. 142

<sup>147</sup> vgl. Si 1995

<sup>148</sup> vgl. Popper 2001, S. 287

<sup>149</sup> vgl. Korakli et al. 2005, S. 91

<sup>150</sup> vgl. Fretzdorff 2005, S. 287

### 2.1.5 Gelbildung bei der Teigherstellung

Die oxidative Gelierung der löslichen Pentosane verbessert die Teig- und Backeigenschaften der Mehle. Die Ferulasäurereste der Arabinoxylanfraktion sind oxidierbar und können Diferulasäurebrücken bilden. Durch die oxidative Vernetzung entstehen aus löslichen Pentosanen unlösliche Gele.

Schwedt <sup>151</sup> beschrieb, dass aus Pentosen (Arabinose, Xylose) aufgebaute Polysaccharide, so genannte Pentosane, bis 3 % im Weizen- und bis zu 8 % im Roggenmehl enthalten sind. Im Weizenmehl finden sich vorwiegend unlösliche lineare Arabinoxylane, die auch einen Protein-Teil aufweisen. Die Pentosan-Ketten werden durch eine phenolische Oxidation über Ferulasäure und Diferulasäure mit Protein-Ketten vernetzt, wodurch die Gelierbarkeit und die Viskosität gesteigert werden. Die unlöslichen Arabinoxylane können das 7 bis 10 fache ihres Gewichts an Wasser anlagern. Sie beeinflussen dadurch günstig die Saftigkeit des Gebäcks. In Abb. 9 ist die Vernetzung von Pentosan- und Protein-Ketten durch die Ferulasäure über eine primäre Alkohol-Gruppe der Arabinose und eine Thiol-Gruppe des Cysteins gezeigt. Ebenfalls dargestellt ist die Vernetzung über die Diferulasäure. Pentosane können auch mit Kleber-Proteinen reagieren; entstehen aber in Gegenwart oxidierender Substanzen wie Peroxyde kovalente Bindungen der Ferulasäure mit Cystein, so wird die Ausbildung eines Klebnetzwerkes verhindert.

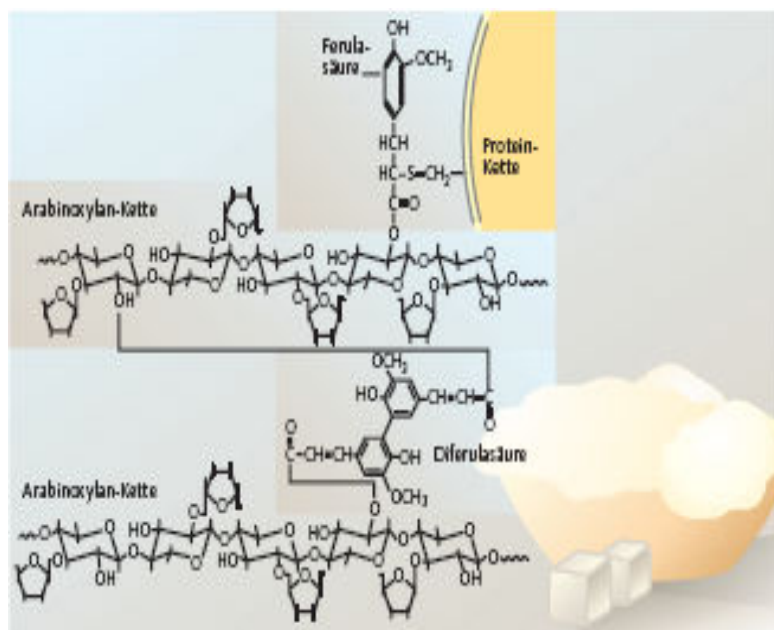


Abb. 9: Gelbildung bei der Teigherstellung<sup>152</sup>

<sup>151</sup> vgl. Schwedt 2005, S. 8

<sup>152</sup> vgl. Schwedt 2005, S. 8

## 2.1.6 Änderungen der Mehlinhaltsstoffe während der Roggenbrotherstellung

### 2.1.6.1 Eiweißabbau im Sauerteig

Roggenproteine sind zu einem größeren Teil wasserlöslich (35 - 45 %), gegenüber etwa 10 % des Weizenproteins, das sich im Wasser löst. Rohrich<sup>153</sup> berichtete, dass die im Verlaufe der Sauerteiggärung zunehmende Löslichkeit des Mehlproteins sich eindeutig am Stickstoffgehalt der wässrigen Teigextrakte (Tab. 14) zeigt. Während im ungesäuerten Mehlteig nur etwa 40 % des Rohproteins in Lösung gehen, steigt die lösliche Menge im Sauerteig unabhängig von der Bakterienart auf etwa 80 % nach 9 Std. an, der pH-Wert ist dabei von 5,5 auf etwa 4,0 gesunken. Bei längerer Säurenentwicklung, die einen weiteren pH-Abfall auf 3,7 verursacht, tritt keine Steigerung der Eiweißlöslichkeit mehr ein. Die Löslichkeitssteigerung ist jedoch weder auf die zunehmende Säuremenge allein, noch auf Wirkung der Mehlproteasen zurückzuführen. Wird nämlich Roggenmehl mit einem Milchsäure-Essigsäure-Gemisch in einem dem Sauerteig entsprechenden Verhältnis angerührt und im Gärschrank bebrütet, so beträgt die Menge an löslichem Eiweiß nach 18 Std. auch nur ca. 40 % des Gesamtproteins.

Spicher und Nierle<sup>154</sup> untersuchten die proteolytische Aktivität im Verlaufe der Sauerteiggärung. Eine Proteolyse geht von den Milchsäurebakterien des Sauerteiges aus. Diese gibt sich daran zu erkennen, dass der Gehalt des Sauerteiges an Aminosäuren im Verlauf der Sauerteiggärung zunimmt. Die im Verlauf der Sauerteiggärung im Spektrum der Aminosäuren des Mehles resp. Sauerteiges auftretenden Veränderungen betreffen insbesondere den Gehalt an Leucin, Phenylalanin, Methionin, Tyrosin, Lysin und Isoleucin. Dabei geht von *Latobacillus plantarum* eine größere Proteolyse aus als von *L. brevis* ssp. *Lindneri* oder gar *L. fructivorans*.

**Tab. 14: Zunahme der wasserlöslichen Stickstoffsubstanz im Sauerteig<sup>155</sup>**

| Zeit Std. | Teig aus <i>L. plantarum</i>   |                |     |                                   | Teig aus <i>L. brevis</i>      |                |     |                      | Mehlteig mit Milchsäure und Essigsäure |
|-----------|--------------------------------|----------------|-----|-----------------------------------|--------------------------------|----------------|-----|----------------------|--|
|           | Bakterien (10 <sup>6</sup> /g) | Säuregrad (ml) | pH  | Lösliches Eiweiß (%) <sup>*</sup> | Bakterien (10 <sup>6</sup> /g) | Säuregrad (ml) | pH  | Lösliches Eiweiß (%) | Lösliches Eiweiß (%)                   |
| 0         | 63                             | 7,5            | 5,5 | 40                                | 69                             | 4,5            | 5,5 | 40                   | 31                                     |
| 3         | 197                            | 8,2            | 5,2 | 62                                | 384                            | 6,0            | 5,0 | 50                   | 42                                     |
| 6         | 437                            | 11,7           | 4,3 | 75                                | 1153                           | 9,1            | 4,5 | 68                   | -                                      |
| 9         | 745                            | 13,4           | 3,9 | 77                                | 1734                           | 12,0           | 4,1 | 78                   | -                                      |
| 12        | 1214                           | -              | 3,8 | -                                 | 1988                           | 14,3           | 3,9 | 80                   | -                                      |
| 18        | -                              | -              | 3,6 | 78                                | -                              | 17,9           | 3,7 | 78                   | 41                                     |

<sup>\*</sup>Bezogen auf Gesamteiweiß

<sup>153</sup> vgl. Rohrich 1966, S. 109

<sup>154</sup> vgl. Spicher und Nierle 1983, S. 310

<sup>155</sup> vgl. Rohrich 1966, S. 109

### 2.1.6.2 Änderungen der Ballaststoffe während der Roggenbrotherstellung

Roggenballaststoffgehalt verändert sich im Verlauf der Brotherstellung. Boskov Hansen und Mitarbeiter<sup>156</sup> untersuchten Ballaststoffgehalt und -beschaffenheit in Roggenvollkorn, imitiertem Sauerteig, Teig nach dem Kneten, Teig nach der Gare und Brotkrume, und die Ergebnisse sind in der Tab. 15 dargestellt. Sie fanden 19,3 g/100 g i.Tr. Gesamt-Ballaststoffgehalt im Roggenvollkorn. Im „imitiertem Sauerteig“ und den anderen Teigproben war der Gesamtgehalt von Ballaststoffen um ungefähr 4 g /100 i.Tr. reduziert, und es änderte sich nicht signifikant im Laufe des Backverfahrens. Der Anteil an wasserlöslichen Ballaststoffen im Vollkorn betrug um 4,4 g /100 i.Tr., änderte sich nicht signifikant im Laufe des Backprozesses. Dieser Anteil entspricht etwa 23 % der Gesamt-Ballaststoffe. Der relative Anteil von wasserlöslichen Ballaststoffen war in „imitiertem Sauerteig“ und den Teigproben um etwa 31 % erhöht, während die Gesamtanteile von Ballaststoffen geringer waren. Der Haupt-Ballaststoffbestandteil im Vollkorn war Arabinoxylan mit einer Gesamtmenge von 10,6 g/100 g i.Tr., davon 27 % wasserlöslich. Die relative Menge von wasserlöslichem Arabinoxylan stieg auf etwa 40%, in „imitiertem Sauerteig“ an, im Teig nach dem Kneten und nach der Gare und im Brot, während des Anteils von wasserunlöslichem Arabinoxylan sich verminderte. Der Anteil der Arabinose und Xylose verringerte sich vom Vollkorn auf die Teigproben und die Abnahme war in der wasserunlöslichen Fraktion der Ballaststoffe. Die Arabinose/Xylose Verhältnisse der Gesamtmenge, des wasserunlöslichen und wasserlöslichen Arabinoxylan waren 0,62, 0,63 beziehungsweise 0,62 im Vollkorn und während des Backprozesses traten keine bedeutenden Änderungen mehr auf. Die Menge der Glukosemonomeren am Gesamt-Ballaststoffgehalt verringerte von 4,5 g/100 g i.Tr. im Vollkorn bis 3,5 g/100 i.Tr. in den Teigproben. Während des Backens wurde eine kleine, aber bedeutende Zunahme des Anteils der Glukosemonomeren von 0,6 g/von 100 g i.Tr. beobachtet.

<sup>156</sup> vgl. Boskov Hansen et al. 2002, S. 33, Eigene Übersetzung

**Tab. 15: Ballaststoffgehalt und -beschaffenheit in Roggenvollkorn, imitiertem Sauerteig, Teig nach dem Kneten, Teig nach der Gare und Brotkrume<sup>157</sup>**

| Komponente                       | Ballaststoffgehalt (g/100 g i.Tr.) |                          |                          |                          |                          |                              |
|----------------------------------|------------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|------------------------------|
|                                  | Roggenvollkorn                     | Imitierter Sauerteig     | Teig nach dem Kneten     | Teig nach der Gare       | Brotkrume                | P-Wert und Signifikanzniveau |
| <b>Total Ballaststoff</b>        |                                    |                          |                          |                          |                          |                              |
| Total Ballaststoff               | 19,3 ± 0,3 <sup>a</sup>            | 15,2 ± 0,3 <sup>b</sup>  | 15,3 ± 0,1 <sup>b</sup>  | 15,5 ± 0,1 <sup>b</sup>  | 15,9 ± 0,1 <sup>b</sup>  | 0,0001***                    |
| Total AX                         | 10,6 ± 0,1 <sup>a</sup>            | 8,7 ± 0,4 <sup>b</sup>   | 8,3 ± 0,1 <sup>b</sup>   | 8,6 ± 0,1 <sup>b</sup>   | 8,5 ± 0,1 <sup>b</sup>   | 0,0002***                    |
| Ara/Xyl-Verhältnis               | 0,62 ± 0,01                        | 0,63 ± 0,02              | 0,63 ± 0,01              | 0,63 ± 0,01              | 0,59 ± 0,01              | 0,4790*                      |
| Total NSP                        | 16,7 ± 0,3 <sup>a</sup>            | 13,4 ± 0,3 <sup>b</sup>  | 13,4 ± 0,1 <sup>b</sup>  | 13,6 ± 0,1 <sup>b</sup>  | 13,9 ± 0,1 <sup>b</sup>  | 0,0001***                    |
| Arabinose                        | 4,1 <sup>a</sup>                   | 3,4 <sup>b</sup>         | 3,2 <sup>b</sup>         | 3,3 <sup>b</sup>         | 3,2 <sup>b</sup>         | 0,0018**                     |
| Xylose                           | 6,6 <sup>a</sup>                   | 5,3 <sup>b</sup>         | 5,1 <sup>b</sup>         | 5,3 <sup>b</sup>         | 5,3 <sup>b</sup>         | 0,0001***                    |
| Mannose                          | 0,4                                | 0,4                      | 0,5                      | 0,5                      | 0,4                      | -                            |
| Galaktose                        | 0,6                                | 0,5                      | 0,5                      | 0,5                      | 0,5                      | -                            |
| Glucose                          | 4,5 <sup>a</sup>                   | 3,4 <sup>c</sup>         | 3,6 <sup>c</sup>         | 3,5 <sup>c</sup>         | 4,1 <sup>b</sup>         | 0,0002***                    |
| Uronsäure                        | 0,6                                | 0,5                      | 0,5                      | 0,5                      | 0,5                      | -                            |
| Klason Lignin                    | 2,6                                | 1,8                      | 1,9                      | 1,9                      | 2,0                      | -                            |
| Fructan                          | 6,2 ± 0,8 <sup>a</sup>             | 4,3 ± 0,1 <sup>b</sup>   | 4,6 ± 0,4                | 4,1 ± 0,2                | 3,4 ± 0,1 <sup>b</sup>   | 0,0076**                     |
|                                  |                                    |                          |                          |                          |                          |                              |
| <b>WL Ballaststoff</b>           |                                    |                          |                          |                          |                          |                              |
| WL Ballaststoff <sup>e</sup>     | 4,4 ± 0,1                          | 5,0 ± 0,1                | 4,8 ± 0,1                | 4,8 ± 0,2                | 4,9 ± 0,1                | 0,0657*                      |
| WL-Ballaststoff [%] <sup>f</sup> | 23 <sup>a</sup>                    | 33 <sup>a</sup>          | 31 <sup>a</sup>          | 31 <sup>a</sup>          | 31 <sup>a</sup>          | 0,0011**                     |
| WL-AX                            | 2,9 ± 0,1                          | 3,4 ± 0,2                | 3,3 ± 0,1                | 3,2 ± 0,3                | 3,5 ± 0,1                | 0,1041*                      |
| WL-AX [%] <sup>g</sup>           | 27 <sup>a</sup>                    | 39 <sup>a</sup>          | 40 <sup>a</sup>          | 37 <sup>a</sup>          | 41 <sup>a</sup>          | 0,0017**                     |
| Ara/Xyl-Verhältnis               | 0,63 ± 0,03 <sup>a</sup>           | 0,68 ± 0,11 <sup>a</sup> | 0,61 ± 0,01 <sup>a</sup> | 0,64 ± 0,09 <sup>a</sup> | 0,57 ± 0,03 <sup>a</sup> | 0,6330*                      |
| <b>WUL Ballaststoff</b>          |                                    |                          |                          |                          |                          |                              |
| WUL Ballaststoff                 | 14,8 ± 0,1 <sup>a</sup>            | 10,0 ± 0,1 <sup>d</sup>  | 10,4 ± 0,1 <sup>b</sup>  | 10,7 ± 0,1 <sup>b</sup>  | 11,0 ± 0,1 <sup>b</sup>  | 0,0001***                    |
| WUL-AX                           | 7,7 ± 0,1 <sup>a</sup>             | 5,2 ± 0,1 <sup>b</sup>   | 5,0 ± 0,1 <sup>b</sup>   | 5,4 ± 0,2 <sup>b</sup>   | 5,0 ± 0,1 <sup>b</sup>   | 0,0001***                    |
| Ara/Xyl-Verhältnis               | 0,62 ± 0,01                        | 0,61 ± 0,02              | 0,64 ± 0,01              | 0,65 ± 0,01              | 0,61 ± 0,01              | 0,4017*                      |
| WUL-NSP                          | 12,2 ± 0,1 <sup>a</sup>            | 8,2 ± 0,1 <sup>d</sup>   | 8,5 ± 0,1 <sup>b</sup>   | 8,8 ± 0,1 <sup>b</sup>   | 9,1 ± 0,1 <sup>b</sup>   | 0,0001***                    |
| Arabinose                        | 3,0 <sup>a</sup>                   | 2,0 <sup>b</sup>         | 2,0 <sup>b</sup>         | 2,1                      | 1,9                      | 0,0002***                    |
| Xylose                           | 4,8 <sup>a</sup>                   | 3,2 <sup>b</sup>         | 3,1 <sup>b</sup>         | 3,3                      | 3,1                      | 0,0001***                    |
| Mannose                          | 0,3                                | 0,2                      | 0,3                      | 0,3                      | 0,3                      | -                            |
| Galaktose                        | 0,4                                | 0,3                      | 0,3                      | 0,3                      | 0,3                      | -                            |
| Glucose                          | 3,5 <sup>a</sup>                   | 2,3 <sup>c</sup>         | 2,7 <sup>b</sup>         | 2,6 <sup>b,c</sup>       | 3,3 <sup>a</sup>         | 0,0001***                    |
| Uronsäure                        | 0,3                                | 0,2                      | 0,2                      | 0,2                      | 0,2                      | -                            |

Mittelwert ± STABW (n=2).

<sup>a, b, c, d</sup> Mittelwerte mit den gleichen Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant ( $P < 0,05$ ).

<sup>e</sup>WL-NSP, <sup>f</sup>WL-Ballaststoff/Gesamt-Ballaststoffgehalt (%), <sup>g</sup>WL-AX/Gesamt-Ballaststoffgehalt (%)

\* $P > 5,0$  % (nicht signifikant), \*\* $P = 0,1 - 1,0$  %, \*\*\* $P < 0,1$  %

AX: Arabinoxylan, Ara/Xyl-Verhältnis: Arabinose/Xylose-Verhältnis, NSP: Nicht-Stärke Polysaccharide, WL: Wasserlöslich, WUL: Wasserunlöslich, - nicht ermittelt.

<sup>157</sup> vgl. Boskov Hansen et al. 2002, S. 33



### 2.1.6.3 Fructanabbau im Verlauf der Roggenbrotherstellung

Im Verlauf der Roggenbrotherstellung wird Fructan abgebaut. Fretzdorff und Welge<sup>158</sup> berichteten, dass da Roggenvollkornbrot zur Ballaststoffaufnahme einen guten Beitrag leisten kann und Roggenvollkorn einen höheren Fructangehalt als Weizen besitzt, deshalb wurde der mögliche Fructanabbau während der Herstellung von Roggenvollkornbrot verfolgt. Es sollte der Einfluss von Sauerteigeinsatz und Feinheitsgrad des Mahlgutes geprüft werden. Im Vergleich wurde ein Brot aus Roggenvollkornmehl mit Teigsäuerungsmittel gebacken. Außerdem wurden zwei Vollkornmehl-Brote mit zwei verschiedenen Sauerteigführungen (Detmolder Einstufensauer und Berliner Kurzsauer) sowie zwei Vollkornmehl-Brote mit 50 % mittelfeinem Schrot mit denselben Sauerteigen hergestellt. Die weitere Herstellung der Brote war für alle Brote identisch. Die Fructangehalte wurden in den Mahlprodukten, dem Anstellgut, den Sauerteigen, den Teigen vor und nach Gare und in den Broten bestimmt. Die Bereitung des Anstellgutes und der Sauerteige ist der erste Schritt zur Herstellung von Roggenvollkornbrot. In den lang geführten Sauerteigen mit hoher Teigausbeute war der Fructanabbau recht erheblich (Tab. 16).

**Tab. 16: Abbau der Fructane während der Reife von Anstellgut und Sauerteig<sup>159</sup>**

|   | Anstellgut | Detmolder Einstufensauer | Berliner Kurzsauer |
|---|------------|--------------------------|--------------------|
| <b>Fructangehalt (%TS) vor der Reife</b>  | 3,91       | 3,83                     | 3,60               |
| <b>Fructangehalt (%TS) nach der Reife</b> | 2,06       | 2,01                     | 2,87               |
| <b>Prozentualer Abbau</b>                 | 47,3 %     | 40,5 %                   | 20,3 %             |

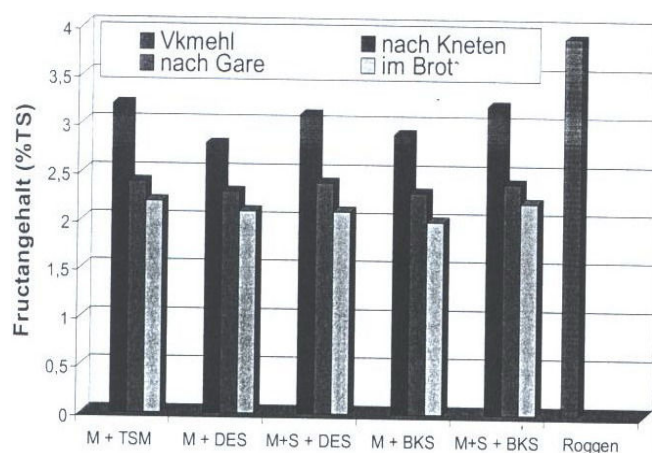
Im Berliner Kurzsauer (35 °C; 3 h) wurde nur halb soviel wie im lang geführten Detmolder Einstufensauer (26 °C; 16 h) abgebaut. Brandt und Hammes<sup>160</sup> zeigten mit der Weizensauerteig-Fermentation, dass Fructose durch Invertase der Hefe, *Candida humilis*, aus Fructan freigesetzt wurde.

Im Verlauf der Brotherstellung führte jeder Verfahrensschritt zu einem weiteren Abbau (Abb. 10), davon waren besonders die niedermolekularen Fructo-Oligosaccharide betroffen.

<sup>158</sup> vgl. Fretzdorff und Welge 2003, S. 148

<sup>159</sup> vgl. Fretzdorff und Welge 2003, S. 147

<sup>160</sup> vgl. Brandt und Hammes 2001, S. 341, zitiert bei Fretzdorff und Welge 2003, S. 149



**Abb. 10: Fructangehalte in Roggenvollkornmehl (Vkmehl), in Teigen nach Kneten und nach der Gare und in Broten, hergestellt mit Teigsäuerungsmittel (TSM), Detmolder Einstufensauer (DES) und Berliner Kurzsauer (BKS) (M = Mehl, S = Schrot)<sup>161</sup>**

Nach dem Kneten waren die Fructangehalte in Teigen ohne Backschrot niedriger als in denen mit Backschrot. Der größere Feinheitsgrad des Backschrots hat möglicherweise den Abbau verzögert. Diese Unterschiede waren aber nach der Gare ausgeglichen. Der Abbau allein in der Gare betrug zwischen 18 - 25 % und während der Backphase nochmals 10 bis 20 %. Die Gehalte in den Broten waren untereinander sehr ähnlich (2,0 - 2,2 %TS). Auch beim Abbaumuster zeigten sich keine Unterschiede. Der Einsatz von Sauerteigen hatte also bezüglich des Fructanabbaus keinen ungünstigen Einfluss im Vergleich zum Einsatz von Teigsäuerungsmitteln. Die Fructangehalte in den Roggenvollkornbroten waren höher als die Gehalte im Weizenvollkorn (auf Trockensubstanz bezogen). Der Gesamtabbau von Mahlprodukt zu Brot betrug etwas weniger als die Hälfte (44 - 50 %). Diese Ergebnisse bestätigen Resultate von Boskov Hansen und Mitarbeitern,<sup>162</sup> die für einen Backversuch mit Roggenvollkornmehl einen Fructanabbau von 45 % fanden, allerdings ausgehend von einem höheren Fructanniveau (von 6,2 %TS auf 3,4 %TS). Praznik und Mitarbeiter<sup>163</sup> fanden einen Verlust an Fructan von 33 % bei einem Mischbrot aus Roggen- und Weizenmehl mit 3 % Backhefe und 0,75 % getrocknetem Sauerteigstarter (bezogen auf Mehl, Gare 60 min, Backen 30 min bei 230 °C). Escriva und Martinez-Anaya<sup>164</sup> fanden bei Backversuchen mit Weizenmehl und Sauerteig, dass besonders die Fructo-Oligosaccharide (Durchschnittlicher Polymerisationsgrad 3 - 8) während der Fermentation abnahmen. Schon beim Kneten wurde Saccharose zu den Monosacchariden hydrolysiert, und Maltose wird

<sup>161</sup> vgl. Fretzdorff und Welge 2003, S. 149

<sup>162</sup> vgl. Boskov Hansen et al. 2002, S. 33, zitiert bei Fretzdorff und Welge 2003, S. 149

<sup>163</sup> vgl. Praznik et al. 2002, S. 151, zitiert bei Fretzdorff und Welge 2003, S. 149

<sup>164</sup> vgl. Escriva und Martinez-Anaya 2000, S. 286, zitiert bei Fretzdorff und Welge 2003, S. 149

durch die Amylasen freigesetzt. Während der Gare wurden Fructo-Oligosaccharide mit Polymerisationsgraden von DP (Durchschnittlicher Polymerisationsgrad) 3 bis 7 bevorzugt abgebaut und Unterschiede zwischen den Führungsarten wurden nicht festgestellt. Fructan hat somit keinen größeren direkten Einfluss auf die rheologischen Eigenschaften der Teige von Roggenmahlerzeugnissen.

#### 2.1.6.4 Dimerisierungsgrad der Ferulasäure im Verlauf der Roggenbrotherstellung

Der Dimerisierungsgrad der Ferulasäure verändert sich im Verlauf der Roggenbrotherstellung. „Die gefundenen Werte für Ferula- und Diferulasäuren, die während der Roggenbrotherstellung gefunden wurden, und die errechneten Dimerisierungsgrade sind in Tab. 17 dargestellt. Auch bei der Roggenbrotherstellung konnte keine signifikante Erhöhung des Dimerisierungsgrades festgestellt werden.“<sup>165</sup>

Der Dimerisierungsgrad (DG) der Ferulasäure errechnete sich entsprechend der Gleichung:

$$DG = m(\Sigma DFS) / [m(FS) + m(\Sigma DFS)] * 100 \%$$

(mit DG: Dimerisierungsgrad der Ferulasäure, m( $\Sigma$ DFS): Summe der Massen aller Diferulasäuren, m(FS): Masse an monomerer Ferulasäure).

**Tab. 17: Ermittelte Mengen und Dimerisierungsgrad der Ferulasäure während der Roggenbrotherstellung**<sup>166</sup>

|              | FS [ $\mu$ g/g] | DFS [ $\mu$ g/g] | DG [% (m/m)] | SD (DG) (n = 3) |
|--------------|-----------------|------------------|--------------|-----------------|
| Mehl         | 890,0           | 203,7            | 18,6         | 0,7             |
| Sauerstarter | 851,2           | 194,9            | 18,6         | 0,6             |
| Sauerteig    | 816,0           | 173,9            | 17,6         | 0,7             |
| Teig*        | 768,4           | 178,6            | 18,9         | 0,8             |
| Brot-Krume   | 850,5           | 193,0            | 18,5         | 0,6             |
| Brot-Kruste  | 864,6           | 203,1            | 19,0         | 0,7             |

FS: monomere Ferulasäure, DFS: Diferulasäuren, DG: Dimerisierungsgrad, SD (DG): Standardabweichung des Dimerisierungsgrades, \*: nach Gare

Piber<sup>167</sup> berichtete, dass die Ferulasäure eine wichtige funktionelle Eigenschaft zukommt, denn sie kann über oxidative Dimerisierung Cross-Links zwischen zwei Arabinoxylan-Ketten ausbilden und auf diese Weise zu einer Verfestigung der Gelstruktur der Pentosane beitragen.

<sup>165</sup> vgl. Piber 2004, S. 210

<sup>166</sup> vgl. Piber 2004, S. 208

<sup>167</sup> vgl. Piber 2004, S. 207

## 2.2 Rheologie der Roggenteige

Roggenteige sind rein plastisch<sup>168,169,170</sup> und sehr klebrig. Bode<sup>171</sup> berichtete, dass die Teigbildung durch Polysaccharide erfolgt, unter denen die löslichen Pentosane zweifellos die Hauptrolle spielen. Die Teige sind viskos bis plastisch, aber nicht elastisch wie ein Weizenteig. Wenn aus den beschädigten Stärkekörnchen lösliche Amylose austritt, dürfte sie eine ähnliche Wasserbindungscharakteristik aufweisen wie die Pentosane. Der tragbare Anteil an beschädigter Stärke und damit die Höhe der Wasseraufnahme sind also nicht durch den Faktor „Kleber“ limitiert.

„Die Roggenteige als Prüfobjekte der Teigrheologie sind komplizierte kolloidchemische Systeme, die die Menge und Beschaffenheit der Mehlinhaltstoffe erkennen lassen.“<sup>172</sup>

Brümmer<sup>173</sup> berichtete, dass die Roggenteige gut geknetet werden sollten, tendenziell eher etwas überknetet, und so weich, wie es die Teigeigenschaften erlauben, geführt werden.

Weipert<sup>174</sup> beschrieb, dass die funktionellen Eigenschaften der Roggenproteine und vor allem der Roggenpentosane der Mahlprodukte eine erhöhte Wasseraufnahme der Roggenteige bewirken. Roggenteige sind gekennzeichnet durch eine erhöhte Klebrigkeit an der Oberfläche, die von den Pentosanen und Dextrinen bewirkt wird.

Seibel und Weipert<sup>175</sup> beschrieben, wenn Roggenmehle mit Wasser angeteigt werden, zeigen die Hauptbestandteile des Roggenkornes - Stärke, Protein und Pentosan - spezielle Quellungseigenschaften, die dieses Roggenmahlerzeugnis für die Herstellung von Backwaren geeignet machen. Das Löslichkeit- oder Quellungsverhältnis dieser Bestandteile ist von größter Bedeutung. Roggen enthält Substanzen, die doppelt so wasserlöslich wie die des Weizens sind. Die höhere Löslichkeit liegt hauptsächlich an den höheren Anteilen an Pentosanen, Dextrinen, Zuckern und den wasserlöslichen Proteinen im Roggen. Die Menge der löslichen Substanzen ist für die Backeigenschaften besonders wichtig. Der Enzymgehalt und die Enzymaktivität sind ebenfalls besonders bedeutsam. Die enzymatisch verursachten Abbauprozesse haben deutliche Auswirkungen auf die Löslichkeit und die Quellfähigkeit der Quellstoffe. Die optimalen Verarbeitungseigenschaften eines

---

<sup>168</sup> vgl. Freund 1995, S. 40

<sup>169</sup> vgl. Klingler 1995, S. 176

<sup>170</sup> vgl. Wassermann 1975, S. 202

<sup>171</sup> vgl. Bode 2005, S. 212

<sup>172</sup> vgl. Weipert 1978, S. 281

<sup>173</sup> vgl. Brümmer 2005, S. 102

<sup>174</sup> vgl. Weipert 1993, S. 345

<sup>175</sup> vgl. Seibel und Weipert 2001, S. 189, Eigene Übersetzung

Teiges werden bestimmt von der Konsistenz, der Gärstabilität, des Formhaltevermögens des Teiges und der Backfähigkeit. Die optimale Teigfestigkeit ergibt sich aus der für jede Mehl-Partie zu ermittelnde optimalen Wasseraufnahme.

Weipert<sup>176</sup> berichtete, dass beim Roggen die Verhältnisse insofern anders sind, als die Pentosane der Kleberbildung im Wege stehen. Die größere Wasserbindefähigkeit der Pentosane erfordert eine höhere Zugußmenge und die höhere Konzentration der löslichen Stoffe im Teig wirken sich auf die Konsistenz aus. Eine intensive Knetung begünstigt die Löslichkeit der Roggenquellstoffe; die gelösten Stoffe unterliegen aber einem schnelleren enzymatischen Abbau. Allerdings werden die Roggenteige in der Regel gesäuert und bei niedrigem pH geführt. Diese Maßnahme beeinflusst das viskose Verhalten der Roggenteige ebenso wie die Zugabe von Kochsalz.

„Die Roggenquellstoffe und ihr Verhalten bei der Verarbeitung, z.B. zu Brot, können also bei den Schleimstoffen zum einen bestimmt sein durch hohe bzw. niedrige Pentosan- oder Proteingehalte, zum anderen durch deren hohe oder geringe Angreifbarkeit. In der Tendenz könnte z.B. ein Inhaltsstoff mengenmäßig relativ hoch, ein anderer relativ niedrig vorhanden sein und jeweils unterschiedliche Angreifbarkeiten (Löslichkeit) aufweisen. Eine derartige Abbaubereitschaft würde sich aber bei der Verarbeitung z.B. in den Teigeigenschaften zeigen, wenn nicht bereits im Sauerteig oder sonst über die Teigflüssigkeit ein korrigierender Ausgleich erfolgt. Trotz der in den letzten Jahren angestiegenen Teigausbeuten liegen meist noch normale Teigeigenschaften vor, das heißt, dass die Teige nicht zu stark erweichen. Andererseits muss aber eine ausreichende Viskositätserniedrigung gegeben sein, damit gute Broteigenschaften entstehen können. Die Betrachtung dieses Komplexes sollte die technologische Roggenforschung in der nahen Zukunft bestimmen, zumal einige Roggensorten sensibler als andere auf Überschüttung zu reagieren scheinen bzw. trotz hoher Fallzahlen auch einer stärkeren Teigerweichung unterliegen, wie Quellkurven oder der neue Roggen-Viskositätstest beweisen.“<sup>177</sup>

---

<sup>176</sup> vgl. Weipert 1978, S. 281

<sup>177</sup> vgl. Brümmer 2005, S. 104

## 2.2.1 Rheologie/ Rheometrie

Rheologie<sup>178</sup> ist die Wissenschaft von der Deformation einschließlich des Fließens fluider und fester Körper unter der Einwirkung mechanischer Kräfte. Sie ist eine Physikalische Disziplin, die in der gesamten Stoffwirtschaft und Werkschaffttechnik von der grundlegenden Bedeutung ist. Rheometrie<sup>179</sup> ist Messtechnik, die mit dem Erfassen von rheologischen Daten verbunden ist.

Muller<sup>180</sup> schlug vor, den Terminus Textureigenschaften aufgrund seiner doppelten Bedeutung zur Beschreibung sowohl exakter physikalischer als auch subjektiv wahrnehmbarer Eigenschaften durch zwei präzisere Begriffe zu ersetzen, um eine inhaltliche Begriffssplittung zu erreichen. Während die mechanische Disziplin Rheologie zur Charakterisierung physikalischer Lebensmitteleigenschaften dienen soll, behandeln Haptästhesie oder Haptik („απτικός“, den Tastsinn betreffend, „αισθεσις“, Empfindungsvermögen) bzw. Kinästhetik („κινεσις“, bewegen, muskelbezogene Kraffeindrücke) als psychologische Teilgebiete die sensorische Wahrnehmbarkeit mechanischer Materialeigenschaften. Zur weiteren Erläuterung zog Muller<sup>181</sup> Parallelen zur Betrachtung von Licht. Die Optik behandelt physikalische Eigenschaften wie Reflexion oder Refraktion und deren Analytik. Der sensorische Bereich setzt sich hingegen mit den Erscheinungsformen von Licht unter Berücksichtigung psychophysiologischer Aspekte der menschlichen Empfindbarkeit gegenüber diesem Stimulus auseinander (Abb. 11).

| Licht                   |                             | Textur                      |                             |
|-------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| ↙                       | ↘                           | ↙                           | ↘                           |
| Optik<br>(physikalisch) | Erscheinung<br>(sensorisch) | Rheologie<br>(physikalisch) | Erscheinung<br>(sensorisch) |
| Reflexion               | Größe                       | Elastizitätsmodul           | Mundgefühl                  |
| Refraktion              | Farbe                       | Schermodul                  | Härte                       |
| Wellentheorie           | Form                        | POISSON'sche Zahl           | Zähigkeit                   |
|                         | Helligkeit                  | Viskosität                  | Klebrigkeit                 |

**Abb. 11: Physikalische Phänomene und sensorische Empfindungen von Licht und Textureigenschaften**<sup>182</sup>

<sup>178</sup> vgl. Tscheuschner 2004, S. 151

<sup>179</sup> vgl. Mezger 2000, S. 14

<sup>180</sup> vgl. Muller 1970, S. 38, zitiert bei Rohm 1990, S. 14

<sup>181</sup> vgl. Muller 1970, S. 38, zitiert bei Rohm 1990, S. 14

<sup>182</sup> vgl. Muller 1970, S. 38, zitiert bei Rohm 1990, S. 15

### 2.2.1.1 Rheologie

Die Rheologie als eigenständig organisierte physikalische Disziplin entstand 1929 mit der Konstituierung der Society of Rheology während eines Symposiums in Columbus, Ohio. Die von E.C. Bingham am Gründungskongress in Washington, D.C., gegebene Arbeitsgebietsbeschreibung lautete: „Rheologie ist die Lehre von der Deformation und von Fließen von Stoffen.“<sup>183</sup> „Im Sinne dieses Leitsatzes verstand man unter Fließen eine bleibende und unter Deformation eine – zumindest partiell – reversible Formänderung. Der Name stammt vom griechischen „ρεοξ“ (fließen) und war teilweise bereits vor 1929 in Verwendung. Man einigte sich, dass den Rheologen primär Stoffeigenschaften und -strukturen interessieren; jene Teilgebiete, die sich mit Elektronen- und Wärmefluss beschäftigen, wurden ebenso exkludiert wie die reine Hydro- und Aerodynamik und die klassische Elastizitätstheorie.“<sup>184</sup> Copley<sup>185</sup> postulierte am 1. International Congress of Rheology den Begriff Biorheologie zur Eingrenzung auf belebte Systeme als Substrat. Reiner<sup>186</sup> erkannte die Tautologie in der rheologischen Grunddefinition, da auch Fließen letztlich eine Art von Deformation darstellt. Eirich<sup>187</sup> modifizierte die Begriffsbestimmung: „Rheologie ist die Lehre von der Deformation von Stoffen, die Fließen inkludiert.“ Aufgrund zunehmender Bedeutung der Rheologie für Lebensmitteltechnologische Prozesse grenzte White<sup>188</sup> ein weiteres Teilgebiet ab: „Die Lebensmittelrheologie ist die Lehre von der Deformation, inklusive Fließen, von Rohstoffen, Intermediär- und Endprodukten der Lebensmittelindustrie.“

Tscheuschner<sup>189</sup> beschrieb, dass die rheologischen Eigenschaften Stoffwerte sind, die das Deformationsverhalten eines Körpers bei anisotroper Beanspruchung charakterisieren. Zu den Grundeigenschaften zählen Elastizität, Plastizität, Viskosität, Festigkeit.

### 2.2.1.2 Haptik und Kinästhetik

„Haptische Gefühls- und kinästhetische Kraffeindrücke sind als Summe jener Qualitätsfaktoren von Lebensmittel, die ein Konsument auf taktilem Weg wahrnehmen kann, zu verstehen. Neben Erscheinungsbild und Aroma stellt die

---

<sup>183</sup> vgl. Scott-Blair 1975, zitiert bei Rohm 1990, S. 14

<sup>184</sup> vgl. Scott-Blair 1969, zitiert bei Rohm 1990, S. 15

<sup>185</sup> vgl. Copley 1948, zitiert bei Rohm 1990, S. 15

<sup>186</sup> vgl. Reiner 1968, zitiert bei Rohm 1990, S. 15

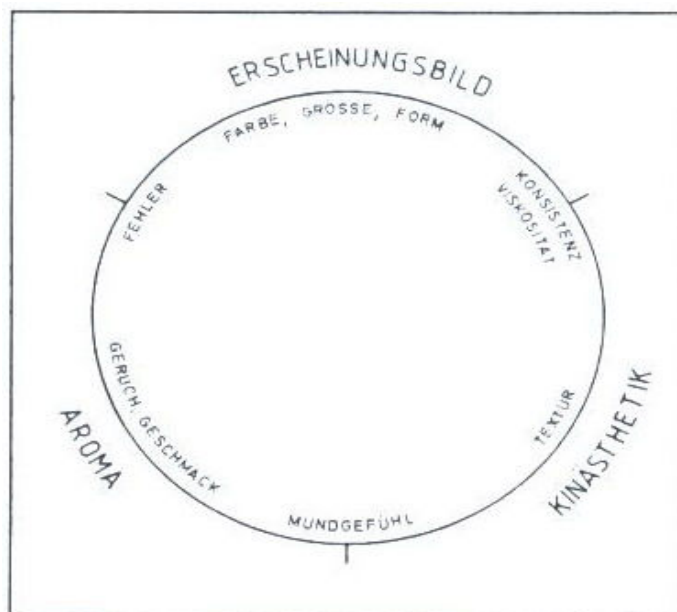
<sup>187</sup> vgl. Eirich 1967, zitiert bei Rohm 1990, S. 15

<sup>188</sup> vgl. White 1970, zitiert bei Rohm 1990, S. 15

<sup>189</sup> vgl. Tscheuschner 2004, S. 151

Textur das dritte der sensorischen Qualitätsmerkmale, die als psychophysikalische Phänomene zu betrachten sind, dar.“<sup>190,191</sup> „Diese drei Faktoren und überlappende Sinnesempfindungen (Abb. 12) spiegeln die Komplexität von Reizen und resultierenden Empfindungen wider.“<sup>192</sup> „Zwar gelten einzelne Wahrnehmungssysteme als voneinander unabhängig, nicht aber die Wahrnehmungen selbst.“<sup>193</sup> Einige Eigenschaften können mit mehreren Sinnen unabhängig voneinander erfasst werden (taktile und visuelle Viskositätsbestimmung).

Kramer und Twigg<sup>194</sup> schlugen vor, den Begriff Textureigenschaften weiter einzugrenzen; Viskosität und Konsistenz sind als Erscheinungsfaktoren klassifiziert, da das Fließverhalten von flüssigen und halbfesten Getränken visuell wahrnehmbar ist, bevor die Wahrnehmung über taktile Systeme beginnen kann. Die Abhandlung beider Begriffe erfolgte in Ablehnung an die klassischen rheologischen Konzepte von NEWTON'schem und pseudoplastischem Fließverhalten flüssiger und halbfester Materialien. Textur wurde von Kramer<sup>195</sup> als sensorisch ausschließlich durch den Tastsinn erfassbar beschrieben; nur größere Kräfte als die Schwerkraft führen zu visuell wahrnehmbaren Veränderungen (Tab. 18).



**Abb. 12: Sensorische Qualitätsmerkmale von Lebensmitteln**<sup>196</sup>

<sup>190</sup> vgl. Kramer 1975, zitiert bei Rohm 1990, S. 15

<sup>191</sup> vgl. Kramer und Twigg 1970, zitiert bei Rohm 1990, S. 15

<sup>192</sup> vgl. Kramer 1968, zitiert bei Rohm 1990, S. 16

<sup>193</sup> vgl. Hutchings 1977, zitiert bei Rohm 1990, S. 16

<sup>194</sup> vgl. Kramer und Twigg 1970, zitiert bei Rohm 1990, S. 16

<sup>195</sup> vgl. Kramer 1973, zitiert bei Rohm 1990, S. 16

<sup>196</sup> vgl. Kramer 1968, zitiert bei Rohm 1990, S. 15



Tab. 18: Klassifikation von Textureigenschaften nach der Größe der einwirkenden Kraft<sup>197</sup>

|  | Rheologische oder physikalische Begriffe |                             |                          |
|--|--|-----------------------------|--------------------------|
| Psychologische oder sensorische Begriffe | Kraft $\leq$ Schwerkraft                 |                             | Kraft $\geq$ Schwerkraft |
|  | NEWTON'sches Verhalten                   | Pseudoplastisches Verhalten |                          |
| <b>Sehsinn</b><br>Fließen, Ausbreiten    | Viskosität                               | Konsistenz                  |                          |
| <b>Tastsinn</b><br>Mund, Finger          |  |                             | Textur                   |
| Geruch und Geschmack                     | Aroma                                    |                             |                          |

Scott-Blair<sup>198</sup> wies später darauf hin, dass von der britischen Molkereiindustrie Konsistenz synonym zu Textur verwendet wird. „Diese Regelung ist auch im deutschen Sprachraum noch weit verbreitet.“<sup>199</sup> Tatsächlich begann Jowitt<sup>200</sup>, den Begriff Konsistenz anders auszulegen. Unter dem Hinweis auf weitgehend anzustrebende Vermeidung wurde Konsistenz als Überbegriff für flüssige Materialien in Zusammenhang mit speziellen Eigenschaften wie dick, dünn oder glatt gesehen. In vielen neueren Arbeiten, die sich nicht speziell mit begrifflichen oder semantischen Problemen beschäftigen oder aber Standardwerke über physikalische Eigenschaften von Lebensmitteln darstellen, ist das Wort Konsistenz nicht mehr zu finden.<sup>201, 202, 203, 204, 205, 206, 207</sup> Laut ISO-Norm 5492/3<sup>208</sup> weist die Definition von Konsistenz keinen direkten Bezug mehr zu physikalischen Eigenschaften auf:

„Konsistenz ergibt sich aus der Summe vorwiegend oraler Empfindungen nach der Stimulierung mechanischer und taktile Rezeptoren und ist von Textureigenschaften des Produktes abhängig.“

„Eine Gegenüberstellung der Begriffe Textureigenschaften und Viskosität ermöglicht im ersten Moment eine Differenzierung aufgrund der Einteilung in flüssige und feste Lebensmittel. Allerdings ist die Grenze zwischen Festkörpern und Flüssigkeiten so unscharf ausgeprägt, dass es unmöglich wird, eine klare Grenze zwischen Textur

<sup>197</sup> vgl. Kramer 1973, zitiert bei Rohm 1990, S. 16

<sup>198</sup> vgl. Scott-Blair 1975, zitiert bei Rohm 1990, S. 16

<sup>199</sup> vgl. Renner 1988, zitiert bei Rohm 1990, S. 16

<sup>200</sup> vgl. Jowitt 1974, S. 351, zitiert bei Rohm 1990, S. 16

<sup>201</sup> vgl. Anon. 1983, zitiert bei Rohm 1990, S. 16

<sup>202</sup> vgl. Jowitt et al. 1983, zitiert bei Rohm 1990, S. 16

<sup>203</sup> vgl. Mohsenin 1986, zitiert bei Rohm 1990, S. 16

<sup>204</sup> vgl. Mohsenin und Mittal 1977, zitiert bei Rohm 1990, S. 16

<sup>205</sup> vgl. Moskowitz 1987, zitiert bei Rohm 1990, S. 16

<sup>206</sup> vgl. Peleg 1983, zitiert bei Rohm 1990, S. 16

<sup>207</sup> vgl. Peleg und Bagley 1983, zitiert bei Rohm 1990, S. 16

<sup>208</sup> vgl. International Organization of Standardization 1979, zitiert bei Rohm 1990, S. 17

und Viskosität zu ziehen.<sup>209</sup> Obzwar es genügend Materialien gibt, die sich eindeutig zuordnen lassen, haben viele feste Körper bestimmte Eigenschaften von Flüssigkeiten, und vice versa viele flüssige Lebensmittel Festkörpereigenschaften. Letztlich erscheint es doch sinnvoll, Viskosität bzw. Fließeigenschaften dem Begriff Textureigenschaften unterzuordnen und die Viskosität nur aufgrund der auf anderen Gesetzmäßigkeiten beruhenden mechanischen Definition getrennt abzuhandeln.

### 2.2.1.3 Makrorheologie oder phänomenologische Rheologie

Tscheuschner<sup>210</sup> beschrieb, dass die Makrorheologie die Körper als kontinuierliche Medien (Kontinuumsmechanik) ohne Berücksichtigung des inneren Aufbaus (Mikrostruktur) betrachtet. Sie untersucht die äußeren Erscheinungen (phänomenologische Betrachtung) der Körper bei der Deformation und beschreibt die Phänomene mit rheologischen Zustandsgleichungen und mechanischen Modellen. Sie nutzt die Methoden der Mechanik fluider und fester Körper. Die Rheometrie umfasst Messmethoden und Geräte zur experimentellen Bestimmung der phänomenologischen Stoffwerte, die den physikalischen Zustand im Mikrobereich integral widerspiegeln. Tab. 19 nach Tscheuschner<sup>211</sup> enthält Makrorheologische Klassifizierung nach Hauptgruppen.

**Tab. 19: Makrorheologische Klassifizierung nach Hauptgruppen<sup>212</sup>**

| Bezeichnung                                    | Erläuterungen  |
|--|--|
| <b>Viskose Körper</b>                          | <i>Merkmal:</i> Körper haben keine Fließgrenze und fließen durch eigene Schwerkraft, sie sind nicht formstabil, die Deformation ist irreversibel                           |
| <b>Newtonscher Körper (z.B. Alkohol)</b>       | Lineare Proportionalität zwischen Spannung und Deformationsgeschwindigkeit   |
| <b>Nichtnewtonscher Körper (z.B. Milch)</b>    | Nichtlineare Relation zwischen Spannung und Deformationsgeschwindigkeit  |
| <b>Zeitabhängiger Körper (z.B. Mayonnaise)</b> | Nichtlineares Fließverhalten ist zeitabhängig  |
| <b>Plastische Körper</b>                       | <i>Merkmal:</i> Körper haben eine Fließgrenze, fließen nicht durch eigene Schwerkraft (bei geringer Körperhöhe), sind relativ formstabil, die Deformation ist irreversibel |
| <b>Binghamscher Körper (z.B. Presshefe)</b>    | Endliche Fließgrenze, linearer Verlauf der Fließkurve  |

<sup>209</sup> vgl. Bourne 1982, zitiert bei Rohm 1990, S. 17

<sup>210</sup> vgl. Tscheuschner 2004, S. 153

<sup>211</sup> vgl. Tscheuschner 2004, S. 154

<sup>212</sup> vgl. Tscheuschner 2004, S. 154

|   |  |
|---|--|
| <b>Nichtbingham'scher Körper (z.B. flüssige Schokolade)</b> | Endliche Fließgrenze, nichtlinearer Verlauf der Fließkurve   |
| <b>Elastische Körper</b>                                    | <i>Merkmal:</i> Körper gehen nach der Deformation vollständig in die Ausgangsform zurück (reversibel Deformation), es tritt kein Fließen auf, Körper sind formstabil   |
| <b>Hookescher Körper</b>                                    | Lineare Proportionalität zwischen Spannung und Deformation, Deformation geht nach Aufhebung der Spannung momentan in den Ausgangszustand zurück  |
| <b>Nichthookescher Körper</b>                               | Nichtlineare Relation zwischen Spannung und Deformation, sonst wie Hookescher Körper   |
| <b>Zeitabhängige elastische Körper</b>                      | Nichtlineare Relation zwischen Spannung und Deformation, Deformation geht nach Aufhebung der Spannung allmählich zurück in den Ausgangszustand   |
| <b>Elastoviskoser Körper (z.B. gezuckerte Kondensmilch)</b> | <i>Merkmal:</i> Körper zeigt viskose und elastische Eigenschaften, besitzt keine Fließgrenze, ist nicht formstabil, Deformation geht nach Aufhebung der Spannung nur teilweise und zeitlich verzögert zurück, Deformationsverhalten ist abhängig von Vorgeschichte der Beanspruchung |
| <b>Plastoelastische Körper (z.B. Weizenteig)</b>            | <i>Merkmal:</i> Körper zeigt plastische und elastische Eigenschaften, besitzt eine Fließgrenze, ist relativ formstabil, sonst wie viskoelastischer Körper  |

#### 2.2.1.4 Deformation

Tscheuschner<sup>213</sup> beschreibt, dass Deformation eine relative Verschiebung der Teilchen eines Körpers ist, bei der sich das Volumen, die Gestalt oder beide ändern und der Zusammenhang des Körpers nicht zerstört wird. Ihre Größe und Art hängen von den rheologischen Eigenschaften (Stoffwerte) des Körpers, seiner Form sowie der Art der Beanspruchung durch äußere Kräfte ab. Tab. 20 enthält ausgewählte Deformationsarten, die von den Stoffeigenschaften oder der Beanspruchungsart abhängig sind.

**Tab. 20: Deformationsarten<sup>214</sup>**

| <b>Deformationsart</b>                     | <b>Erläuterung</b>  |
|--|---|
| <b>Elastische Deformation (Verzerrung)</b> | Die reversible Formänderung durch äußere anisotrope Kräfte führt zur Verzerrung, bei der sich nur die Abstände der Moleküle bzw. Atome ändern und kein Platzwechsel eintritt. Die zur Formänderung erforderliche Energie wird gespeichert und bewirkt beim Aufhören der |

<sup>213</sup> vgl. Tscheuschner 2004, S. 151

<sup>214</sup> vgl. Tscheuschner 2004, S. 157

|  |   |
|--|---|
|  | äußeren Krafteinwirkung ein spontanes vollständiges Zurückgehen der Deformation.  |
| <b>Plastische Deformation (bleibende Verformung)</b> | Bei der irreversiblen Formänderung durch äußere anisotrope Kräfte nach Überschreiten der Fließgrenze unterliegen die Atome, Moleküle oder diepersen Teilchen einem Platzwechsel. Die zur Formänderung verausgabte Energie unterliegt der Dissipation. |
| <b>Viskose Deformation (Fließen)</b>                 | Bei der irreversiblen Formänderung durch äußere anisotrope Kräfte oder Schwerkraft ohne Existenz einer Fließgrenze unterliegen die Atome, Moleküle oder diepersen Teilchen einem Platzwechsel, die verausgabte Energie unterliegt der Dissipation.    |
| <b>Kompression</b>                                   | Bei der reversiblen elastischen Formänderung eines beliebigen Körpers durch isotropen Druck wird nur das Volumen des Körpers verringert, seine Dichte vergrößert, jedoch seine Gestalt nicht verändert.   |
| <b>Volumendehnung (Dilatation)</b>                   | Die reversible elastische Formänderung eines beliebigen Körpers durch isotrope Kräfte führt nur zur Vergrößerung des Volumens und zur Verringerung der Dichte, seine Gestalt wird jedoch nicht verändert.   |
| <b>Gestaltsänderung (Distorsion)</b>                 | Die einfache elastische, plastische oder viskose Formänderung eines Körpers durch anisotrope Kräfte (z.B. einfacher Schub) erfolgt ohne Änderung seines Volumens.   |

### 2.2.1.5 Modelle idealer rheologischer Grundeigenschaften

Weiterhin beschrieb Tscheuschner<sup>215</sup>, dass die mathematische Beschreibung des rheologischen Verhaltens erleichtert werden kann, wenn durch Abstraktion ideale Körper geschaffen werden, die genau definierte rheologische Eigenschaften besitzen. Tab. 21 zeigt idealisierte Modellkörper, die in der Makrorheologie, der theoretischen Strömungsmechanik bzw. der theoretischen Festkörpermechanik zugrunde gelegt werden.

**Tab. 21: Übersicht über drei ideale einfache Modellkörper<sup>216</sup>**

| Art der Körper     | Bezeichnung | Rheologisches Verhalten        | Symbol | Rheologische Zustandsgleichung | Stoffwert bei Schubdeformation | Anwendung                      |
|--------------------|-------------|--------------------------------|--------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| <b>Flüssigkeit</b> | PASCAL      | Ideales reibungsfreies Fließen | -      | -                              | $\eta = 0$                     | Theoretische Strömungsmechanik |
|                    | NEWTON      | Ideales viskoses Fließen       | N      | $T = \eta \dot{\gamma}$        | $\eta$                         | Makrorheologie                 |
| <b>Fester</b>      | ST.VENANT   | Ideale                         | St.-V  | $T = T_0$                      | $T_0$                          |                                |


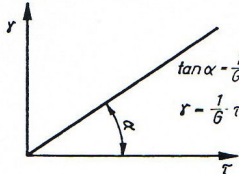
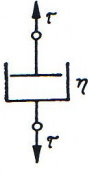
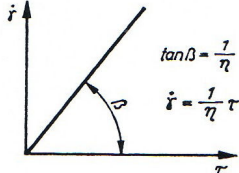
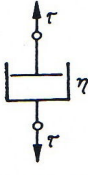
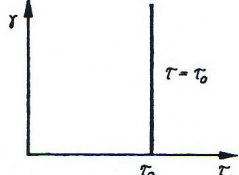
<sup>215</sup> vgl. Tscheuschner 2004, S. 166

<sup>216</sup> vgl. Tscheuschner 2004, S. 167

|               |        |                           |   |                     |              |                                 |
|---------------|--------|---------------------------|---|---------------------|--------------|---------------------------------|
| <b>Körper</b> |        | plastische Verformung     |   |                     |              |                                 |
|               | HOOKE  | Ideale elastische Dehnung | H | $T = G\dot{\gamma}$ | G            |                                 |
|               | EUKLID | Ideal unelastisch starr   | - | -                   | $G = \infty$ | Theoretische Festkörpermechanik |

Die Makrorheologie nutzt für die Darstellung der drei rheologischen Grundeigenschaften Viskosität, Elastizität und Plastizität die einfachen Modellkörper von NEWTON, HOOKE und SAINT VENANT (Tab. 22).

**Tab. 22: Mechanische Modelle idealer Körper und deren Deformationsverhalten<sup>217</sup>**

| Modell  | Bezeichnung                                   | Spannungs-Dehnungs-Diagramm  |
|---|---|--|
|   | H<br>HOOKESCHER KÖRPER<br>ideal elastisch     |   |
|  | N<br>NEWTONSCHER KÖRPER<br>ideal viskos       |  |
|  | St.-V<br>ST.-VENANT-KÖRPER<br>ideal plastisch |  |

### 2.2.1.6 Modelle für komplizierte rheologische Eigenschaften

Tscheuschner<sup>218</sup> beschrieb, dass reale Körper häufig komplizierte rheologische Eigenschaften zeigen, die als Überlagerung der rheologischen Grundeigenschaften aufgefasst werden. Neben ideal viskosen und ideal plastischen Eigenschaften treten Kombinationen auf, die von SCOTT BLAIR in Hauptgruppen eingeteilt wurden (Abb. 13). Die Veranschaulichung dieser komplizierten Eigenschaften durch mechanische Modelle mit definierten Eigenschaften erleichterte das Verständnis für das qualitative rheologische Verhalten und Ableitung der rheologischen Zustandsgleichungen.

<sup>217</sup> vgl. Tscheuschner 2004, S. 169

<sup>218</sup> vgl. Tscheuschner 2004, S. 166

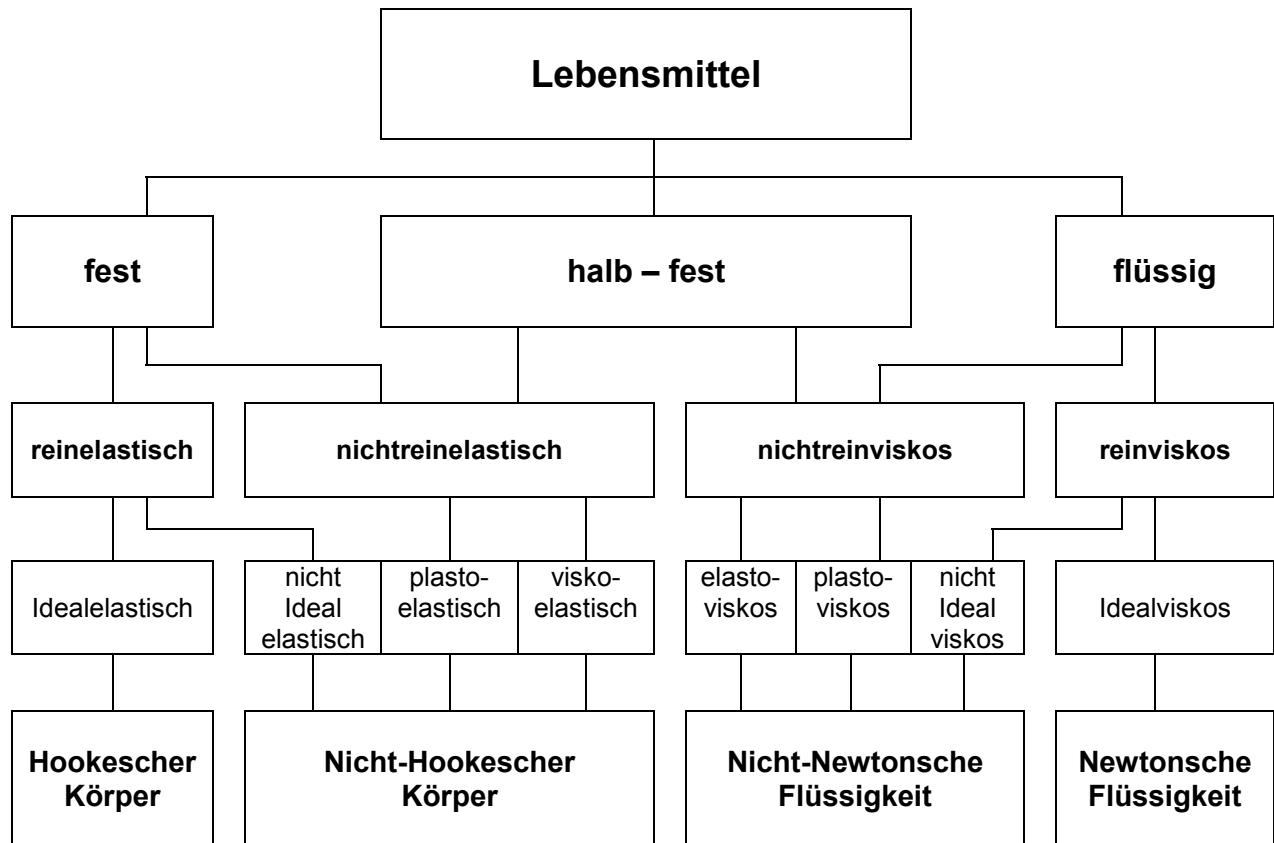


Abb. 13: Einleitung der Lebensmittel nach rheologischen Eigenschaften<sup>219</sup>

<sup>219</sup> vgl. Tscheuschner 2004, S. 168

## 2.2.2 Einfluss des Wassers auf Rheologie

Weipert<sup>220</sup> berichtete, dass ein Teig durch Mischen und Kneten von Mehl und Wasser und anderen für die Herstellung von Gebäcken benötigten Zutaten entsteht. Diese beiden Funktionen haben die wichtige und unerlässliche Aufgabe, aus Komponenten eine homogene Masse zu erstellen und sie mit Wasser zu benetzen. Die Quellstoffe des Mehles binden hierbei das Wasser und bilden eine Masse, in der die Stärkekörner eingebettet sind. Die Menge des geschütteten Wassers und das Wasserbindevermögen der Quellstoffe entscheiden über die Festigkeit oder Viskosität der Teige. Beim Mischen von Mehl und Wasser wird das Wasser zum Teil durch kapillare, absorptive und chemische Kräfte an Protein und Kohlenhydrate gebunden. Ein Teil ist hingegen frei und dient als Lösungsmittel für alle wasserlöslichen Stoffe im Mehl. Die Wassermoleküle an der hydrophilen Oberfläche der Proteine und Kohlenhydrate sind fest gebunden und haben keine Bewegungsfreiheit. Die nächste Schicht der Wassermoleküle ist etwas beweglicher; die Beweglichkeit des Wassers wächst mit der Entfernung von der Quellstoffoberfläche. Zwischen dem „gebundenen“ und „freien“ Wasser kann keine scharfe Grenze gezogen werden. Es konnte aber gezeigt werden, dass etwa die Hälfte bis zu zwei Drittel der Wassermenge im Teig gebunden und etwa ein Drittel frei vorliegt. Das Wasser, insbesondere das „freie“ Wasser, im Teig ist für seine rheologischen und technologischen Eigenschaften von entscheidender Bedeutung. Die Viskosität oder Festigkeit eines Teiges kann als innere Reibung an der äußeren Wasserschicht definiert werden. Die Viskosität ist daher eine Funktion der Wasserzugussmenge in Abhängigkeit von der Menge und der Qualität der wasserbindenden Quellstoffe im Mehl. Die anderen Faktoren, wie Temperatur, sind hierbei einfachheitshalber unbeachtet geblieben. Ein Überangebot an freiem Wasser führt demnach zur Minderung der inneren Reibung, also zur Minderung der Viskosität und somit zur Erhöhung der „Mobilität“ (Gegensatz von Viskosität). Die Wasseraufnahme ist demzufolge die Wasserzugussmenge, die die optimalen Teig- und Broteigenschaften bei der Herstellung von Brot sichert. In diesem Zusammenhang ist der Versuch einer rheologischen Definition der Backfähigkeit - eine zufrieden stellende Backfähigkeit wird mit einem harmonischen Verhältnis der Teigfestigkeit in der Teig- und der Ofenphase der Brotherstellung definiert - zu sehen. Vollständigkeitshalber soll noch erwähnt werden, dass das freie Wasser die

---

<sup>220</sup> vgl. Weipert 1978, S. 281

Voraussetzungen für die enzymatische Tätigkeit im Teig mit sich bringt. Es wurde gemessen, dass der Gehalt an gebundenem Wasser einem aw-Wert (Wasseraktivität) von 0,958 entspricht, bzw. ein Mehl muss erst bis zu diesem kritischen Wert hydratisiert und mit Wasser gesättigt werden, bevor das darüber hinaus „freie“ oder „verfügbare“ Wasser die Aktivität der Enzyme anregt.

### 2.2.3 Rheologie von Roggenteigen

Sivaramakrishnan<sup>221</sup> berichtete, dass Teig selbst aus struktureller Sicht eine Dispersion darstellt. Dispersionsmittel sind Wasser und Eiweiße bzw. Pentosane, in die die Stärkefraktion und die Gasblasen in nicht kommunizierenden Schaumlamellen eingelagert sind. Die Wechselwirkungen zwischen den Inhaltsstoffen (z.B. Proteine oder Pentosanen) und die Fahrweise der Maschinenteknik im gesamten technologischen Ablauf der Teigbereitung und Teigformung bestimmen als wichtige Materialeigenschaften die sensorische Qualität über die Texturausbildung mit.

Klingler<sup>222</sup> beschrieb, dass Roggenteige rein plastisch und sehr klebrig sind. Beim Anteigen ist die Toleranz der Wasserzugabe deutlich größer als im Falle von Weizenteigen. Sie kann ohne Nachteile um bis zu 4 % variieren, abhängig vom Ausmahlungsgrad. Die Teigherstellung ist aufgrund der fehlenden Kleberbildung und der leichteren Quellbarkeit der Roggeninhaltsstoffe ein einfacher Misch- bzw. Homogenisierprozess, der einen vergleichsweise geringen Energieaufwand (2 - 4 Wh/kg) erfordert. Das verwendete Knetsystem (Schnell- oder Langsamknetter) beeinflusst die Qualitätsausbildung der Gebäcke praktisch nicht. Mit Schnellknetern kann man aber eher nachlassende und zum Kleben neigende Teige erhalten.

#### 2.2.3.1 Konsistenz

Der Begriff „Konsistenz“ ist den in der Getreideverarbeitung Tätigen geläufig. Zum Beispiel werden Weizenteige im Farinographen auf eine bestimmte Konsistenz eingestellt. „Von der amerikanischen Gesellschaft für Rheologie wurde die Konsistenz wie folgt definiert: Sie ist die Eigenschaft eines Materials, durch die es sich der bleibenden Formänderung widersetzt. Sie wird charakterisiert durch ihre

---

<sup>221</sup> vgl. Sivaramakrishnan 2004, S. 37

<sup>222</sup> vgl. Klingler 1995, S. 176



Fließeigenschaften.“<sup>223</sup>. Vereinfacht kann man Konsistenz als die Summe aller rheologischen Eigenschaften eines Materials ansehen.

### 2.2.3.2 Die sensorische Beurteilung der Konsistenz

Die Konsistenz kann mit sensorischen und rheologische Methoden erfasst werden. Bei der sensorischen Beschreibung der Teigkonsistenz verwendet der Bäcker seit jeher bestimmte Begriffe wie „elastisch“, „wollig“, „kurz“, „fest“, „weich“, „schmierig“, „straff“, „bockig“ und „fließend“. Schon vor über 30 Jahren untersuchte der Psychologe Katz<sup>224</sup> die Leistungsfähigkeit der sensorischen Konsistenzprüfung. Er stellte fest, dass von deutschen Bäckern erst die Zumischung von 25 bis 30 % Manitoba-Mehl zum üblichen Mehl an der Teigkonsistenz bemerkt wurde. Die Leistungsfähigkeit der sensorischen Konsistenzprüfung scheint nach diesen Untersuchungen nicht sehr groß zu sein. Trotzdem ist bis heute in der Praxis die sensorische Beurteilung der Teigkonsistenz üblich, und täglich wird die Konsistenz vieler Teige aufgrund der sensorischen Prüfung eingestellt. Die unterschiedlichen Konsistenzeigenschaften von Weizen- und Roggenteigen sind jedem Bäcker bekannt. Beim Weizenteig steht die elastische Komponente im Vordergrund, beim Roggenteig die plastische. Teige aus Weizen- und Roggenmehlen zeigen je nach Gehalt an den einzelnen Mehlsorten fließende Übergänge zwischen der typischen Weizen- und Roggenkonsistenz. Will man die Konsistenz von Weizenteigen mit Roggenteigen vergleichen, so findet man sich in der gleichen Lage wie jemand, der die Frage beantworten soll, was länger ist: „Eine Stunde oder ein Elefant.“<sup>225</sup> Das soll heißen, dass der Konsistenz eines Weizenteiges andere rheologische Eigenschaften zugrunde liegen als der von Roggenteigen. Untersuchungen über Konsistenzmessungen an Roggenteigen mit Hilfe der sensorischen Methode liegen nicht vor. Katz arbeitete mit Weizenteigen und vermerkte lediglich, dass deutsche Bäcker ein besseres Gefühl für die Beurteilung von roggenhaltigen Teigen hätten als für Weizenteige.

---

<sup>223</sup> vgl. Scott-Blair 1969, zitiert bei Wassermann 1975, S. 202

<sup>224</sup> vgl. Katz 1937, S. 382, zitiert bei Wassermann 1975, S. 203

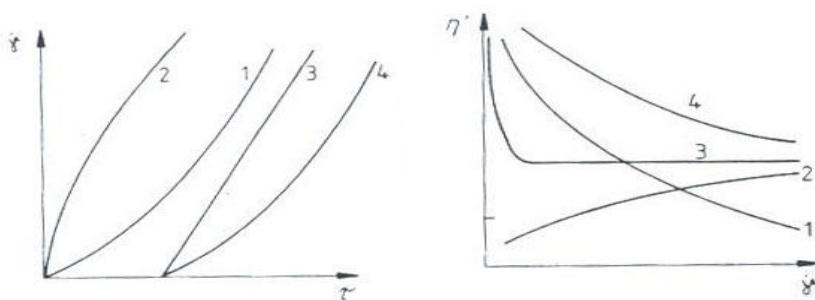
<sup>225</sup> vgl. Scott-Blair 1939, S. 707, zitiert bei Wassermann 1975, S. 203

### 2.2.3.3 Zeitunabhängig nichtnewtonsches Fließverhalten

Tscheuschner<sup>226</sup> beschrieb, dass bei den zeitunabhängigen nichtnewtonschen Flüssigkeiten Strukturzerstörung und Strukturbildung bei einem gegebenen Schergradienten in einem dynamischen Gleichgewichtszustand stehen. Mit der Abnahme des Schergradienten bildet sich ohne Zeitverzögerung die Struktur, die dem Schergradienten entspricht. Es tritt deshalb kein Hystereseeffekt wie bei zeitabhängigen Flüssigkeiten auf. Die Energie, die zur vollständigen Zerstörung der Struktur erforderlich ist, beträgt  $\Delta N$ ; die Energie zur Überwindung der inneren Reibung  $N_N$ .

#### 2.2.3.3.1 Pseudoplastisches Fließverhalten

Beim pseudoplastischen Fließverhalten ist die Fließkurve aufgrund von unterproportional zunehmender Schubspannung als Funktion der Schergeschwindigkeit entsprechend gekrümmt. Die scheinbare Viskosität nimmt mit steigender Schergeschwindigkeit ab (Abb. 14). Pseudoplastizität (Synonym: Strukturviskosität) ist an Komponenten mit hohem Molekulargewicht oder große Partikel in ausreichender Konzentration und starker Interaktion zwischen den Teilchen gebunden. Zusätzlich auslösende Faktoren sind ungeordnete und asymmetrische Partikel, die sich flexibel entlang der Fließrichtung orientieren lassen und geometrische Veränderungen wie z. B. Streckung oder Deformation erlauben.<sup>227</sup>



**Abb. 14: Fließkurven und Viskositäts-/Schergeschwindigkeits-Diagramme nicht-NEWTON'scher Lösungen. 1. pseudoplastisch; 2. dilatant; 3. viskoplastisch; 4. strukturplastisch<sup>228</sup>**

#### 2.2.3.3.2 Dilatanz

Dilatanz hat ähnliche Ursachen wie die Pseudoplastizität. Die Viskosität nimmt mit steigender Schergeschwindigkeit zu (Abb. 14). Stark vernetzte Komponenten

<sup>226</sup> vgl. Tscheuschner 2004, S. 175

<sup>227</sup> vgl. Rha 1975, zitiert bei Rohm 1990, S. 42

<sup>228</sup> vgl. Rohm 1990, S. 44

bedingen, dass mit zunehmender mechanischer Beanspruchung der Fließwiderstand überproportional steigt. Fließverhalten dieser Art sind im Lebensmittelbereich und besonders bei Endprodukten selten festzustellen.<sup>229</sup>

#### 2.2.3.3.3 Viskoplastisches Fließverhalten

Viskoplastisches (BINGHAM'sches) Fließverhalten ist durch eine Fließgrenze gekennzeichnet, bevor die Substanz zu fließen beginnt. Bei niedrigerer Schubspannung reagiert das Material wie ein plastischer Körper. Die Fließkurve stellt sich als um den Betrag der Fließgrenze vom Ursprung auf der Schubspannungsachse verschobene Gerade dar. Die Viskositäts-Schergeschwindigkeits-Kurve wird erst nach Erreichen eines Gleichgewichtszustandes linear (Abb. 14). Die physikalischen Ursachen einer Fließgrenze sind in einer Vernetzung von Partikeln oder Makromolekülen durch ihre Größe bzw. unregelmäßige Form, in der Bildung eines Netzwerks durch Ionen- oder kovalente Bindungen und interpartikuläre Wechselwirkungen sowie in einer Verdichtung durch Auspressen von Lösungsmittel und zunehmende unspezifische Interaktionen zwischen Molekülen oder Teilchen zu sehen.<sup>230, 231</sup>

#### 2.2.3.3.4 Strukturplastisches Fließverhalten

Fließverhalten mit Fließgrenze und einem anschließenden pseudoplastischen Kurventeil wird als strukturplastisch bezeichnet.<sup>232</sup> Die Fließkurve (Abb. 14) beginnt auf der Schubspannungsachse, und ist um den Betrag der Fließgrenze vom Nullpunkt verschoben. Ähnlich wie pseudoplast verdünnt sich das Material bei steigender Schergeschwindigkeit. Die scheinbare Viskosität als Funktion der Schergeschwindigkeit nimmt von Unendlich kontinuierlich ab.

#### 2.2.3.4 Rheologische Eigenschaften der Roggenteige

Freund<sup>233</sup> beschrieb, dass Roggenteige kurz sind, sie behalten die gegebene Form, sie sind klebrig und haben plastische Eigenschaften, ohne Überwindung von Gegenkräften lassen sich die Teiglinge formen. In dem Abschnitt 2.2.3 (S. 65) sind schon rheologische Eigenschaften der Roggenteige erwähnt worden.

<sup>229</sup> vgl. Rha 1975, zitiert bei Rohm 1990, S. 42

<sup>230</sup> vgl. Krieger 1983, zitiert bei Rohm 1990, S. 42

<sup>231</sup> vgl. Rha 1975, zitiert bei Rohm 1990, S. 42

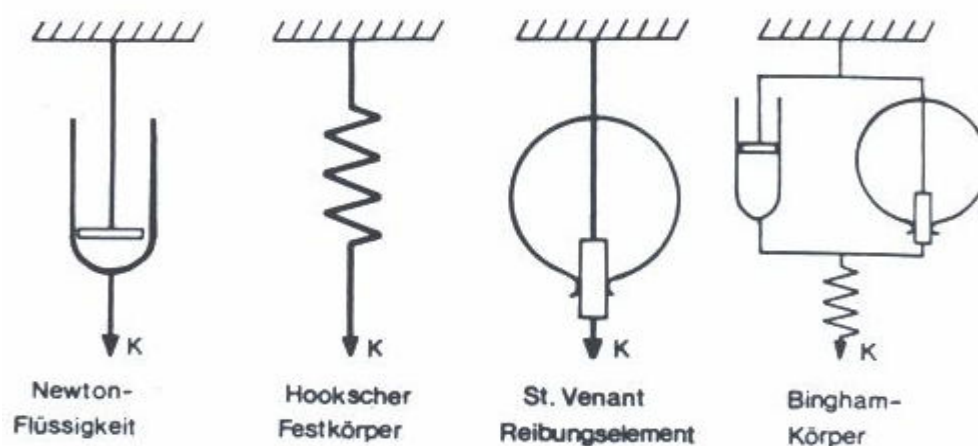
<sup>232</sup> vgl. Bielig und Fischer-Ayloff-Cook 1984, zitiert bei Rohm 1990, S. 43

<sup>233</sup> vgl. Freund 1995, S. 37

### 2.2.3.4.1. Einige grundlegende Bemerkungen zur rheologischen Eigenschaft

Wassermann<sup>234</sup> berichtete, dass Roggenteige, wie Kartoffelbrei, Fett und Nougat zu den plastischen Lebensmitteln gehören. Plastische Stoffe besitzen die Fähigkeit, eine permanente Deformation zu erleiden. Unter dem Einfluss der Schwerkraft sind sie formbeständig. Wird jedoch die auf sie einwirkende Kraft wesentlich größer als die Schwerkraft, dann beginnen sie, wie Flüssigkeit zu fließen. Entfernt man die Kraft wieder, dann behalten sie ihre Form. Ein plastisches Material fließt, also wenn die Spannung größer als ein bestimmter Grenzwert wird. Dieser Grenzwert wird Fließgrenze oder Fließpunkt genannt. Zwar kann man für praktische Zwecke als Kriterium für plastische Stoffe das Nicht-Fließen unter der Schwerkraft zur Untersuchung zwischen plastischen Stoffen und Flüssigkeit benutzen, diese Unterscheidung ist jedoch willkürlich. Eine kleine Teigmenge fließt nicht, eine größere Menge kann aber auch durch Kippen der Knetschale aus dieser „herausgossen“ werden, weil ihr Gewicht groß genug ist, um das Fließen zu bewirken.

Zur Veranschaulichung von rheologischen Eigenschaften verwendet man mechanische Modelle. Die Eigenschaften der plastischen Körper werden relativ gut vom Bingham-Modell beschrieben. Das Bingham-Modell besteht aus einer Blattfeder in Parallelschaltung mit einem Dämpfungszylinder und einer in Reihe geschalteten Spiralfeder (Abb. 15).



**Abb. 15: Mechanische Modelle zur Veranschaulichung der rheologischen Eigenschaften von Flüssigkeit, Festkörper, plastischen und viskoplastischem Material<sup>235</sup>**

<sup>234</sup> vgl. Wassermann 1975, S. 203

<sup>235</sup> vgl. Müller 1973, zitiert bei Wassermann 1975, S. 203

An diesem Modell kann man zeigen, dass sich bei niedriger Spannung nur die Spiralfeder ausdehnt, während an den beiden anderen Elementen keine Bewegung stattfindet. Das Material zeigt nur Hookesches Verhalten. Übersteigt die Spannung eine bestimmte Grenze, die Fließgrenze<sup>236</sup>, dann ermöglicht es der Blattfeder ein Gleiten. Die Ausdehnung hängt davon ab, wie weit sich das Dämpfungselement ausdehnt. Fällt die Spannung wieder unter die Fließgrenze ab, zeigt sich eine elastische Rückbewegung, entsprechend der Hookeschen Feder, die Deformation bleibt aber wegen der Reibung im Reibungselement bestehen, weil keine rückbleibende Kraft am Reibungselement ansetzt. Bei Roggenteigen liegt, entsprechend den lückenhaften Kenntnissen der rheologischen Eigenschaften, ein solches Modell noch nicht vor.

#### 2.2.3.4.2 Die Struktur von plastischen Stoffen

Plastisches Verhalten zeigen auch Metalle. Man kann sie unter bestimmten Bedingungen plastisch verformen. Die Fließgrenze ist aber relative hoch. Sie liegt in der Größenordnung von  $7 - 40 \times 10^7 \text{ N/m}^2$ . Bei Lebensmitteln haben wir es nicht mit dieser Art der Plastizität zu tun. Lebensmittel zeigen so genannte Hochplastizität, die dadurch ausgezeichnet ist, dass die Fließgrenze wesentlich unter der von Metallen liegt, und zwar in der Größenordnung von  $10 - 100 \text{ N/m}^2$ .

Das typische hochelastische Material muss folgende Bedingungen erfüllen (Muller):<sup>237</sup>

a) Es muss ein System mit zwei Phasen vorliegen, bestehend aus einer flüssigen und einer feststoffähnlichen Phase.

Die feststoffähnliche Phase braucht nicht notwendigerweise wirklich fest zu sein, sie muss sich nur so verhalten. So können sich zum Beispiel auch Gasblasen oder Flüssigkeitstropfen wie feste Körper verhalten, wenn deren Oberflächenspannung es zulässt. In Schäumen zum Beispiel verhält sich das eingeschlagene Gas wie eine feste Phase. In Mayonnaise und ähnlichen Emulsionen besteht die feste Phase aus Öl.

b) Der feste Stoff muss in der Flüssigkeit fein verteilt sein, und es darf kein Absetzen erfolgen. Die ganze Masse muss durch Kohäsion zusammenhalten.

<sup>236</sup> Definition: Die Fließgrenze (engl. yield stress, yield point) ist eine Mindest-Schubspannung für das Fließen des betreffenden Körpers. Bei Beanspruchungen unterhalb dieser Mindest-Schubspannung kann sich der Körper ggf. elastisch verformen, er fließt aber nicht.

<sup>237</sup> vgl. Muller 1973, zitiert bei Wassermann 1975, S. 203

c) Die Menge an feststoffähnlichen Stoffen muss in einer bestimmten Relation zur flüssigen Phase stehen. Bei zu großer Menge an Feststoffen wird das Material spröde und bröckelig, überwiegt die flüssige Phase, so kann Material bereits unter dem Einfluss der Schwerkraft fließen.

Die eben geschilderten Bedingungen für die Struktur plastischer Stoffe sind bei Roggenteigen erfüllt. Die feststoffähnliche Komponente besteht aus Stärkekörnern und Stärkekorn-Aggregaten sowie Luft und Kohlensäure, die flüssige Phase aus Wasser, in dem Pentosane, Eiweiß und Mineralstoffe gelöst sind.

Aufgrund der Quellfähigkeit einzelner Partikel, hält die Masse durch Kohäsion zusammen und es erfolgt kein Absetzen. Die Einhaltung eines bestimmten Verhältnisses von fester und flüssiger Phase wird durch die Erfahrung des Bäckers bei der Teigbereitung gewährleistet. „Es gibt aber Teige, bei denen das Feststoff/Flüssigkeitsverhältnis beträchtlich schwanken kann. Zum Beispiel wird bei Knäckebrötchen-Teigen, die zunächst Flüssigkeitscharakter besitzen und unter dem Einfluss der Schwerkraft fließen, Plastizität dadurch erreicht, dass man bei niedriger Temperatur Luft einschlägt und dadurch den Anteil der feststoffähnlichen Phase erhöht.“<sup>238</sup>

## 2.2.4 Rheologische Methoden

Brümmer<sup>239</sup> berichtete, dass rheologische Methoden mit bestehenden bekannten Geräten oder Entwicklungen besonders für die Müllerei von Bedeutung sind, weil Rohstoffanlieferung und Herstellung von funktionellen Mahlerzeugnissen, z.B. für Backwaren möglichst frühzeitig gesichert und optimiert werden sollen. Um die bestehenden Methoden zu verbessern, sind grundsätzlich mehrere Wege denkbar. Erstens kann die Aussagekraft bzw. der Aussagebereich der Analysen z.B. durch Kombination erweitert, zweitens ihr notwendiger Aufwand vermindert bzw. durch Verbesserung der Software schnellere und gesichere Auswertungen ermöglicht werden.

### 2.2.4.1 Bestimmung der Verkleisterungseigenschaften der Stärke mit dem Amylographen

„Mit dem Amylographen können kontinuierlich die Veränderungen der Viskosität einer Mehl-Wasser-Aufschlämmung während des Aufheizens gemessen werden.

---

<sup>238</sup> vgl. Wassermann 1975, S. 202

<sup>239</sup> vgl. Brümmer 2002, S. 74

Beim Erwärmen wird ein Temperaturanstieg gewählt, der dem des Backprozesses gleicht, so dass im Amylographen wichtige Aussagen über die Backeigenschaften gewonnen werden können. Man erhält aber nicht nur ein Bild der Verkleisterungseigenschaften der Stärke, sondern es wird gleichfalls der Einfluss der Amylasen deutlich. Für die Durchführung des Amylogrammes werden Mehl (14 % Mehlfuchte) und Wasser klumpenfrei in den Rührtopf überführt. Dieser Topf enthält Stäbe, die nach oben ragen und zwischen denen sich die Aufschlämmung befindet. Nach Einbringen des Rührtopfes in die vorgesehene Geräteöffnung wird der Messfühler in den Topf abgesenkt. Der Fühler ist mit gleichen Stäben, senkrecht nach unten gehend, ausgerüstet. Während des Aufheizens muss nun die Flüssigkeit zwischen den von oben und den von unten ragenden Stäben hindurchfließen, weil der Topf ständig gedreht wird. Die mit zunehmender Verkleisterung auftretenden Scherkräfte zwischen den Stäben werden als Viskositätsänderung auf einem Diagramm aufgezeichnet, es entsteht die typische Kurve eines Amylogrammes. Mit Beginn der Verkleisterung erreicht die Aufschlämmung die optimale Temperatur der Alpha-Amylase-Aktivität. Die ansteigende Viskosität auf dem Auswertungsdiagramm ist das Ergebnis aus der Zunahme durch die Verkleisterung und der Verflüssigung durch die Amylasen. Außer der maximalen Viskosität kann der Kurve noch die Temperatur bei Verkleisterungsbeginn und im Maximum entnommen werden. Für die Einstufung von Roggen als Brotroggen reichen mindestens 200 AE (Amylogrammeinheiten) als Viskosität alleine nicht aus, sondern es müssen zu diesem Zeitpunkt auch noch mindestens 63 °C in der Aufschlämmung erreicht worden sein. Die Untersuchung der Weizen- und Roggenmehle mit dem Amylographen entspricht dem ICC-Standard 126/1. Sie ist besonders für die Bewertung von Roggenmahlerzeugnissen wichtig. Die Wirkungen von enzymaktiven Zusätzen können mit dieser Methode ebenfalls untersucht werden. Ein weiteres Maß für den Abbau der Stärke ist der Maltosegehalt des Mehles. Als ein Abbauprodukt der Stärke kann die Maltose, auch Malzzucker genannt, auf erhöhten Auswuchs des Getreides hinweisen kann. Die Methode basiert auf der Enzymaktivität der Mehle und misst die gärungsfähigen Zucker, die innerhalb einer Stunde bei 27 °C gebildet werden. Die Menge von der Maltose, die gemessen wird, wird hauptsächlich durch  $\beta$ -amylase Tätigkeit beeinflusst, aber die Stärke, die während der Vermahlung beschädigt wird, kann auch zu einer hohen „Maltosezahl“ beitragen. Wenn ein Wert von 2,3 % für Roggen oder von 1,8 % für Weizen überstiegen wird, muss

angenommen werden, dass es ein zu hoher Aktivität der stärkeabbauenden Enzyme gibt, oder zu viel beschädigte Stärke vorhanden ist.“<sup>240</sup>

#### 2.2.4.2 Bestimmung der Fallzahl als Maß für die Alpha-Amylase-Aktivität

„Die Verkleisterungseigenschaften der Stärke im Weizen- oder Roggenteig sind sehr stark von der Alpha-Amylase-Aktivität abhängig. Da die Roggenstärke bei niedrigeren Temperaturen verkleistert, kann sie leichter durch dieses Enzym abgebaut werden. Deshalb sind die Untersuchungen der Verkleisterungseigenschaften der Roggenmahlerzeugnisse besonders wichtig. Als Standardmethoden haben sich sowohl die Bestimmung der Fallzahl als auch das Amylogramm durchgesetzt. Das Amylogramm wird hauptsächlich für die Untersuchung des Roggens eingesetzt, während die Fallzahl als Maß für beide Getreide gilt. Zur Ermittlung der Fallzahl werden 7 g Mehl mit 25 ml destilliertem Wasser innerhalb einer Minute in einem Wasserbad auf ca. 95 °C (modifizierte Fallzahl: ca. 80 - 95 °C) erhitzt. Anschließend wird die Viskosität des entstandenen Stärkekleisters durch Messung der Zeit bestimmt, die der Rührstab benötigt, um durch den Kleister hindurch auf den Boden des Messglases zu sinken. Die Fallzahl ist die Summe aus Rühr- und Sinkzeit. Sie wird in Sekunden angegeben. Die Mindestfallzahl beträgt 60 s. Bei der Einwaage der Mehlmenge wird von einer Mehlfuchtigkeit von 15 % ausgegangen. Weicht der Wassergehalt von diesem Wert ab, so ist rechnerisch oder nach einer besonderen Tabelle die Einwaage zu korrigieren. Die Untersuchung wird heute mit einem Fallzahlgerät durchgeführt, das den Vorgang des Rührens und Messens vollautomatisch bewältigt. Bei hohen Enzymaktivitäten kommt es zu einem sehr schnellen Abbau der Stärke während der Verkleisterung. Der Rührstab fällt durch den relativ flüssigen Kleister in kurzer Zeit. Die Fallzahl bleibt klein. Bei geringer enzymatischer Aktivität der Amylasen dauert es wesentlich länger, bis der Stab die Strecke überwunden hat und das Schluss-Signal auslöst. Mit diesem Gerät könne auch die Amylase-Aktivität von Mehlmischungen eingestellt oder Malzzugaben ermittelt werden. Mit Hilfe eines Diagramms lassen sich die Mischungsverhältnisse leicht abgelesen. Andersherum ist es auch möglich, die gewünschte Fallzahl genau einzustellen. Dabei ist der Mischung mit anderen Mehlen der Vorzug zugeben, weil enzymaktive Malzmehle außer den stärkeabbauenden Enzymen das gesamte Spektrum der Getreideenzyme enthalten.

---

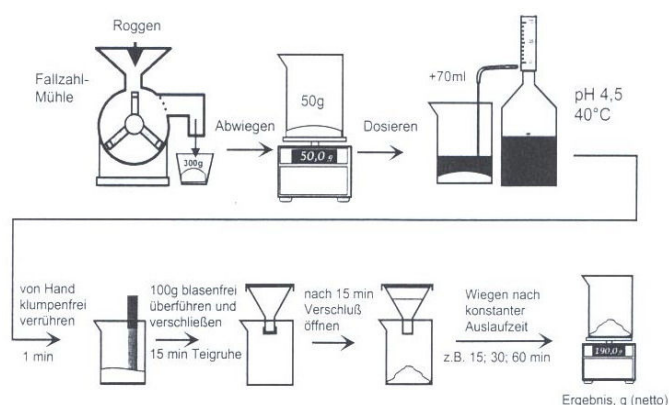
<sup>240</sup> vgl. Freund et al. 2006, S. 35



Sie können deshalb auch die anderen Inhaltsstoffe im Übermaß abbauen. Die Fallzahlbestimmung ist eine international anerkannte Methode, die als ICC-Standard Nr. 107 seit langer Zeit angewendet wird.<sup>241</sup>

### 2.2.4.3 Roggen-Viskositäts-Test (RVT)

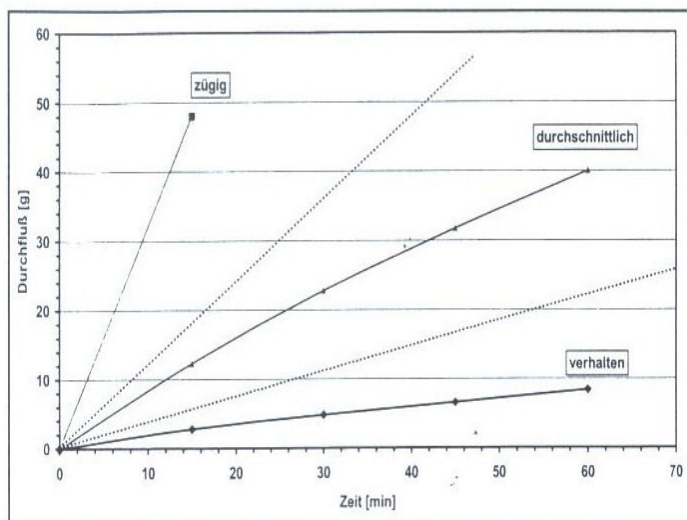
„Dieser Test ist für Roggenpartien bei der Annahme z.B. in einer Mühle erarbeitet worden. Hintergrund für diesen Test ist die Tatsache, dass Roggen zwar grundsätzlich mit fallenden Fallzahlen ein verbessertes Brotlockerungsvermögen aufweisen, aber dass es auch Partien gibt, die auch mit höheren Fallzahlen hohe Brotvolumen ermöglichen. Da man dieses Lockerungsvermögen erst in einem Backversuch bzw. in der dabei vorgeschalteten Sauerteigstufe erkennen kann, war es die Zielsetzung, ein derartiges Verhalten möglichst schon bei der Rohstoffanalyse zu erkennen. Daher wird auch hier mit dem Material gearbeitet, das nach Vermahlung auf der Fallzahl-Mühle schon bei der Warenannahme zur Verfügung steht. Entsprechend dem Arbeitsschema (Abb. 16) werden z.Z. 50 g Schrot mit 70 ml Pufferlösung (pH-Wert 4,5 und 40 °C) von Hand gut zu einem Teig verrührt und dieser in einem Pulvertrichter eingefüllt. Nach einer Reaktionszeit von 15 min wird der bis dahin verschlossene Auslauf der Trichter freigegeben, und die Teigansätze werden entsprechend ihres viskosen Verhaltens auslaufen (z.B. 15; 30; 60). Diese Unterschiede können auch direkt durch Wiegen der ausgetretenen Teigmengen verfolgt werden, um dann entsprechend der Austrittsmenge die Mahlerzeugnisse z.B. in stark, mittel oder schwach oder nur stark bzw. gering verflüssigend einzuteilen. Zwei bis drei Gruppierungen erschienen uns als zusätzliche Charakterisierung zu den Werten der Standard-Methoden Fallzahl und Amylogramm ausreichend.



**Abb. 16: Arbeitsschema - Roggen - Viskositäts - Test<sup>242</sup>**

<sup>241</sup> vgl. Freund et al. 2006, S. 30

Im Diagramm (Abb. 17) werden einige bisherige Messergebnisse vorgestellt. Die vorgeschlagene Dreier-Teilung ist auch hieraus erkennbar. Eine Austrittsmenge nach z.B. insgesamt 30 min (15 min Reaktionszeit und 15 min Auslaufzeit) von über 15 g ordnen wir einer zügigen Verflüssigung und Mengen von 5 bis 15 g einem durchschnittlichen Viskositätsverhalten zu. Nach bisherigen Untersuchungen besteht eine gute Korrelation zwischen dem Verflüssigungsverhalten in diesem Test zur Brotlockerung besonders im erhöhten Auslaufbereich.<sup>243</sup>



**Abb. 17: Einteilung der RVT-Durchflussmengen (Zeit ist nur die Spanne des Auslaufes)<sup>244</sup>**

#### 2.2.4.4 Oberflächenklebrigkeit - Test

Roggenteige sind bekannt für ihre Klebrigkeit, wegen der Anwesenheit und der Eigenschaften der Pentosane, der Dextrine und anderer Substanzen. Die Klebrigkeit ist ein Problem bei der Brotherstellung, weil es bei der Teigteilung, der Formgebung und dem Transport in den Brotanlagen zu Verstopfungen durch Teig kommen kann. Auswuchsgeschädigter Roggen ist klebriger als unbeschädigter Roggen; der Wassergehalt des Teiges ist ein anderer bedeutsamer Faktor, der die Klebrigkeit beeinflusst. Gegenmaßnahmen gegen klebende Teigoberflächen sind Bestäuben mit Mehl oder die Trocknung der Teigoberfläche. Klebrigkeit kann durch verschiedene Methoden gemessen werden: in einem Rotations-Rheometer oder indem man die Probe zwischen parallelen Platten zusammendrückt. Nun wird diejenige Kraft gemessen, die benötigt wird die Platten wieder zu trennen. Es ergibt sich ein

<sup>242</sup> vgl. Brümmer 2002, S. 79

<sup>243</sup> vgl. Brümmer 2002, S. 79

<sup>244</sup> vgl. Brümmer 2002, S. 79

numerischer Wert für Klebrigkeit. Diese Methoden sind von Weipert<sup>245</sup> und Chen<sup>246</sup> vorgeschlagen worden.

#### 2.2.4.5 Rheotestogramm - Quellkurve

„Zur Untersuchung der Viskosität der Roggenmehl-Suspensionen wurde ein modifiziertes Rotationsviskosimeter RHEOTEST II (Medingen) mit Stiftrührer eingesetzt. Dieses Gerät ermöglicht bei Messungen im Temperaturbereich unterhalb der Stärkeverkleisterung eine bessere Differenzierung, als die bekannte Methode der Amylogramm-Quellkurve.

Durchführung:

25 g Mehl-trockensubstanz werden mit 75 ml 0,1 N Acetatpuffer (pH 4,7) suspendiert. Die Viskosität der Mehlsuspension wird bei 40 °C im Stiftrührsystem kontinuierlich gemessen und aufgezeichnet (Quellkurve).“<sup>247</sup>

#### 2.2.4.6 RVA Messungen an Mehlsuspensionen

„Der Rapid Visco Analyzer (RVA) gestattet die rheologische Messung von Mehlsuspensionen in Temperaturprogrammen bei Einsatz relativ geringer Probenmengen. Das Messprinzip ist ähnlich dem des Amylographen, bei jedoch deutlich kleineren Dimensionen des Messzylinders und des Rührwerkzeuges. Der Unterschied in der Messgeometrie zwischen Amylograph und RVA ist ferner ein beim RVA innen glatter Messbecher mit einem propellerartigen Rührer als Gegenstück, im Vergleich zu den aneinander vorbeigleitenden Stiften des Messbechers und Messfühlers in der Geometrie des Amylographen.“<sup>248</sup>

#### 2.2.4.7 Quellkurve nach Drews

„In einer gepufferten Lösung (pH 5,0) wird die zeitliche Viskositätsänderung einer Suspension von Roggenschrot oder Roggenmehl in einem Brabender Amylographen gemessen (Messgeometrie). Die Suspension wird während der Messung von 30 °C auf 42 °C mit 1,5 °C/min erwärmt und nach Erreichen der Temperatur von 42 °C 30 Minuten bei dieser Temperatur belassen.

Durchführung:

---

<sup>245</sup> vgl. Weipert 1990, S. 313

<sup>246</sup> vgl. Chen 1992

<sup>247</sup> vgl. Dörfer 2001, S. 155

<sup>248</sup> vgl. Walker et al. 1989, S. 67

14,8 g wasserfreies Dinatriumphosphat oder 18,55 g Dinatriumphosphat x 2 H<sub>2</sub>O (durch Erwärmen auflösen) werden mit 10,3 g Citronensäure x 1 H<sub>2</sub>O zu 1 l in destilliertem Wasser aufgelöst. Die PufferstammLösung (PSL) wird bei einer Temperatur von 4 °C im Kühlschrank gelagert und ist max. 4 Wochen haltbar.

364 ml Wasser (bezogen auf 14 % Mehlfeuchte) werden mit 46 ml PSL vermischt und auf 30°C temperiert. In die Pufferlösung werden portionsweise und Rühren mit einem Schneebesen 120 g Mehl (oder Schrot), bezogen auf 14 % Feuchtigkeitsgehalt, zugegeben und intensiv klumpenfrei vermischt. Die Suspension wird in einen Amylogrammtopf überführt und 8 Minuten bis zu einer Temperatur von 42 °C erhitzt (1,5 °C/min). Von diesem Zeitpunkt an wird die Temperatur von 42 °C konstant gehalten und die folgenden 30 Minuten der Kurvenverlauf aufgezeichnet.<sup>249</sup>

#### 2.2.4.8 Laufzahl

Während der Teigbereitung und Gare kommt es zu einer Vielzahl an Quellungs- und Verflüssigungsvorgängen innerhalb des Teigsystems, wobei letztendlich summarisch die zunehmende Verflüssigung überwiegt. Die Intensität der Verflüssigung ist für jedes Roggenmehl unterschiedlich und allgemein in Art und Stärke, in Hinblick auf die Fragestellung noch nicht näher untersucht worden. Zur summarischen Bestimmung der Viskositätsänderungen wird die Auslaufviskosität in Anlehnung an die Teigviskosität von einer hergestellten Mehlsuspension gemessen. Diese wird unter standardisierten Bedingungen bereitet und die sich bei 20 °C verändernde Viskosität als Maß der Eigenverflüssigung bei verschiedenen Standzeiten ermittelt.<sup>250</sup>

#### 2.2.4.9 Wasseraufnahme von Roggentypenmehlen im Brabender Farinographen

Die Wasserabsorption des Roggentypenmehles ist definiert als der Prozentsatz an Wasser des Mehlgewichtes, der bei der Arbeitsvorschrift eingesetzt werden muss, um ein Farinogramm mit feststehender Höhe herzustellen.

Der Farinograph misst und registriert den Knetwiderstand eines Teiges aus Mehl und Wasser, seine Entwicklung und Teigerweichung. Den Widerstand nennt man Konsistenz. Sie wird durch Änderung der zugegebenen Wassermengen auf einen bestimmten Wert (Endkonsistenz) eingestellt. Die Ergebnisse werden protokolliert.

Durchführung:

---

<sup>249</sup> vgl. Drews 1971, S. 723

<sup>250</sup> vgl. Dreisörner 2006, mündliche Auskunft

- Der Feuchtigkeitsgehalt des Mehles ist nach der ICC-Standardmethode Nr. 110/1 zu bestimmen.
- Falls erforderlich, wird das Mehl auf eine Temperatur von  $30^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$  gebracht. Mindestens eine Stunde vor Inbetriebnahme des Gerätes ist der Thermostat einzuschalten und das Wasser in Umlauf zu bringen. Während der Verwendung ist die Temperatur des umlaufenden Wassers und des Kneters zu kontrollieren, letztere in der dafür vorgesehenen Öffnung. Die Temperaturen sollten  $30^{\circ}\text{C} \pm 0,2^{\circ}\text{C}$  betragen.
- Der Nullpunkt des Farinographen wird ohne vorgesezten Knetter bei laufendem Motor überprüft und ggf. auf Null gestellt. Nach Ankuppeln des Kneters wird jeder Knetarm mit einem Tropfen Wasser genetzt. Danach wird der Motor wieder eingeschaltet. Wenn das Drehmoment mit Knetter nicht mehr als 10 BE beträgt, kann der Nullpunkt direkt nachgestellt werden, andernfalls ist der Knetter erneut zu reinigen. Der Arm der Feder wird so eingestellt, dass der Zeiger und die Registrierfeder identische Werte angeben. Die Dämpfung ist so einzustellen, dass bei eingeschaltetem Motor der Zeiger nach Auslenkung des Waagensystems von Hand auf 1000 BE in  $1,0\text{ s} \pm 0,2\text{ s}$  auf 100 BE zurückgeht. Bei Einsatz des 50-g-Kneters ist der Messbereich 0 - 200 mp und bei Verwendung des 300-g-Kneters 0-1000 mp zu wählen.
- In den Knetter wird das Äquivalent von  $300\text{ g} \pm 0,1\text{ g}$  bzw.  $50\text{ g} \pm 0,1\text{ g}$  Mehl mit 14 % Feuchtigkeit gegeben. Der Knetter muss zugedeckt werden.
- Die Bürette wird einschließlich der Spitze mit Wasser gefüllt, dass eine Temperatur von  $25^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  hat.
- Das Diagrammpapier wird so eingelegt, dass die Feder auf der Linie von 9 min liegt. Das Mehl wird 1 min vorgemischt. Die Wasserzugabe aus der Bürette erfolgt in die rechte vordere Ecke des Kneters, wenn die Feder die Zeitlinie bei Null kreuzt. Es wird eine Wassermenge in den laufenden Knetter zugegeben, die ungefähr 90 % der zu erwartenden Wasseraufnahme des Roggenmehles entspricht. Das restliche Wasser sollte etwa bis zur zweiten Minute zugegeben sein. Während des Knetens bleibt der Knetraum zugedeckt und die Wände des Knetraumes werden mit dem Kunststoffspatel abgekratzt. Es wird eine Endkonsistenz der Knetkurve von 300 BE angestrebt. Ist die Konsistenz zu hoch, wird weiter Wasser aus der Bürette zugegeben, so dass die Kurvenendviskosität nach 10 min bei  $300\text{ BE} \pm 10\text{ BE}$  liegt. Wird Wasser

noch später als 5 min nach Bestimmungsbeginn zugegeben, ist eine Wiederholung der Wasseraufnahme nötig. Das Kneten wird eingestellt und der Kneuter gereinigt.

- Falls erforderlich, wird nochmals und wiederholt geknetet, bis die richtige Wasserzugabe ermittelt ist. Bei Wiederholungen ist die vermutete richtige Wasserzugabe innerhalb von zwei Minuten zuzugeben.<sup>251</sup>

### 2.2.5 Wasseraufnahme und Teigviskosität

Die Wasseraufnahme und Teigviskosität oder -konsistenz sind sehr wichtige Faktoren für die Backeigenschaften von Roggenmehl. Sie sind voneinander abhängig. Drews<sup>252</sup> berichtete, dass die Wasseraufnahme von der Rezeptur und von physikalischen Faktoren abhängig ist. „Sie erhöht sich, je feiner die Partikelgröße ist. Mehle mit vielen wasserlöslichen Fraktionen haben eine hohe Wasseraufnahme. Die Pentosane der wasserlöslichen Fraktionen nehmen mehr Wasser auf, als das Protein.“<sup>253</sup> In einigen Mehlen ist der Anteil der löslichen Pentosane und Proteine so hoch, dass daraus keine freigeschobenen Brote hergestellt werden können. In der Anbackphase ist ihr Formhaltevermögen zu gering, so dass sie breitbacken. Dieses Backverhalten ist durch hohe  $\alpha$ -Amylase Aktivität gekennzeichnet. Das Wasserhaltevermögen ist niedrig.

Die Wasseraufnahmefähigkeit ist keine Konstante, sondern ist abhängig von der Knet- und Ruhezeit, der Temperatur, dem pH-Wert und dem Salzgehalt des Teiges. Die enzymatische Tätigkeit verändert im Teig fortlaufend das Verhältnis unlöslicher zu löslichen Bestandteilen. Durch die fortlaufende Verringerung der unlöslichen Bestandteile, verringert sich ebenso die Wasseraufnahmefähigkeit. Bei zu hoher Enzymaktivität kann die Wasserbindungsfähigkeit der wasserlöslichen Bestandteile gemindert werden. „Dieselben enzymatischen Faktoren sind bei der Weizenbrot-herstellung bedeutsam, aber ihr schädlicher Effekt auf die Krumenfestigkeit ist minimal, weil Weizenstärke erst oberhalb der Inaktivierungstemperatur der Enzyme verkleistert.“<sup>254,255</sup> „Weizenmehl enthält weniger lösliches Pentosan.“<sup>256</sup>

Die Viskositätseigenschaften von Roggenteigen sind von besonderer Bedeutung für die Brotqualität. Bei Weizenteigen hingegen wird ein ausgeglichenes Verhältnis

<sup>251</sup> vgl. Arbeitsgemeinschaft für Getreideforschung 1994, S. 155

<sup>252</sup> vgl. Drews 1966b, S. 187, Eigene Übersetzung, zitiert bei Seibel und Weipert 2001, S. 190

<sup>253</sup> vgl. Drews und Seibel 1976, Eigene Übersetzung, zitiert bei Seibel und Weipert 2001, S. 190

<sup>254</sup> vgl. Neukom et al. 1967, S. 52, Eigene Übersetzung, zitiert bei Seibel und Weipert 2001, S. 190

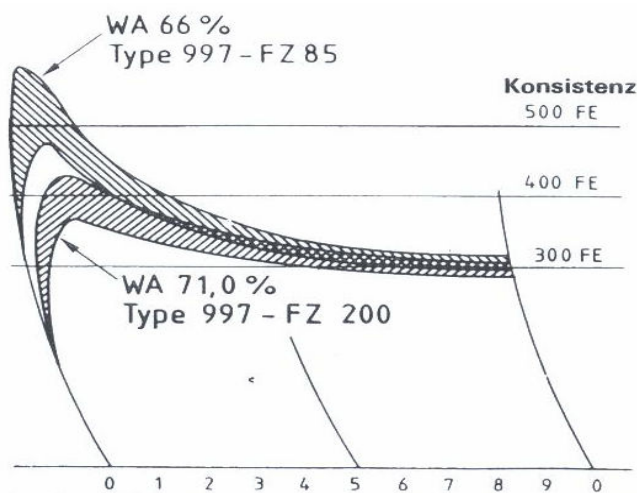
<sup>255</sup> vgl. Lee und Ronalds 1972, S. 199, Eigene Übersetzung, zitiert bei Seibel und Weipert 2001, S. 190

<sup>256</sup> vgl. Bolling und Drews 1970, S. F25, Eigene Übersetzung, zitiert bei Seibel und Weipert 2001, S. 190

zwischen Elastizität und Viskosität gebraucht. Aus der Teigviskosität von Roggenteigen folgert die Teigausbeute, Teigstabilität und Teigvolumen, sowie die Backausbeute. Höher viskose Teige ergeben mehr Teig, weil sie mehr Wasser binden, eine bessere Teigstabilität aufweisen, aber ihre Backausbeute ist geringer.

In der Praxis wird die Wasseraufnahme häufig sensorisch ermittelt. Auf dieselbe Art wird im Labor-Backversuch die Wasseraufnahme bestimmt. „Als eine weitere Methode für Wissenschaft und praktische Anwendung wurde der Brabender Farinograph entwickelt.“<sup>257, 258</sup> Diese schnelle und zuverlässige Methode ist ein wertvoller Beitrag zur Beurteilung von Roggenmahlerzeugnissen für hochwertiges Brot (Abb. 18).

Die Pentosane spielen die Schlüsselrolle in der Teigviskosität. Proteine sind wichtig, aber wahrscheinlich nicht so entscheidend wie in Weizenteigen. Roggen- und Weizenproteine unterscheiden sich in der Wasserlöslichkeit in der Teigphase. Nur etwa 10 % des Weizenproteins ist wasserlöslich, gegenüber „80 % des Roggenproteins, das sich im Sauerteig löst.“<sup>259</sup> „Das Viskositätsverhalten im Roggenteig beruht auf den löslichen Proteinen und ist stark abhängig von pH, Temperatur und Salzgehalt.“<sup>260,261,262,263</sup>



**Abb. 18: Einfluss der Roggenmehlqualität auf die Wasseraufnahme im Brabender Farinographen<sup>264</sup>**

<sup>257</sup> vgl. Brümmer 1987, S. 306, Eigene Übersetzung, zitiert bei Seibel und Weipert 2001, S. 190

<sup>258</sup> vgl. Arbeitsgemeinschaft für Getreideforschung 1994, S. 155, Eigene Übersetzung, zitiert bei Seibel und Weipert 2001, S. 190

<sup>259</sup> vgl. Rohrlich und Hertel 1966, S. 109, Eigene Übersetzung, zitiert bei Seibel und Weipert 2001, S. 191

<sup>260</sup> vgl. Hagberg 1952, S. 339, Eigene Übersetzung, zitiert bei Seibel und Weipert 2001, S. 191

<sup>261</sup> vgl. Drews 1969, S. F70, Eigene Übersetzung, zitiert bei Seibel und Weipert 2001, S. 191

<sup>262</sup> vgl. Drews 1970, S. 41, Eigene Übersetzung, zitiert bei Seibel und Weipert 2001, S. 191

<sup>263</sup> vgl. Drews und Seibel 1976, Eigene Übersetzung, zitiert bei Seibel und Weipert 2001, S. 191

<sup>264</sup> vgl. Brümmer. 1987, S. 306, Eigene Übersetzung, zitiert bei Seibel und Weipert 2001, S. 191

In der kommerziellen Produktion wird die Teigviskosität durch die Parameter: Temperatur, pH-Wert und Salzzugabe beeinflusst. Diese Bedingungen sind abhängig von der Mehlqualität, den Backparametern (Backregime) und dem Endprodukt. Die Bedingungen können nicht durch ein einziges Analyse-Verfahren bestimmt werden, sondern müssen durch Backversuche bestätigt werden.

Die Teigviskosität kann sich während der Verarbeitung verändern. Kräftiges Mischen und andere mechanische Behandlungen führen normalerweise zu einer Viskositätsverringerung. Roggenteige mit Hefe lassen im Gärungsprozess zunehmend in der Viskosität nach; dieser Viskositätsverlust ist abhängig vom pH-Wert und der Salzmenge. In Sauerteigen haben wir den zusätzlichen Effekt verschiedener abbauender Enzyme, die von den säurebildenden Mikroorganismen gebildet werden. Unter bestimmten Bedingungen kann der Abfall der Teigviskosität zu Teigen führen, die zu weich sind, um zu Brot verarbeitet zu werden. „Dem kann teilweise entgegengewirkt werden durch die Anwendung des Salz-Sauer-Verfahrens von vom Stein.“<sup>265</sup>

Es ist offensichtlich, dass es viele Zusätze, Rezepturen und Verfahrensweisen gibt, die in der Teigherstellung geregelt werden müssen, um einen Teig mit optimaler Konsistenz für ein spezifisches Brotherstellungsverfahren zu erhalten.

„Die Notwendigkeit der Überwachung der Änderungen der Viskosität im Verlauf des gesamten Brotherstellungsprozesses führte zur Entwicklung einer aussagefähigen Methode zum Aufzeichnen der Teigviskosität im Verlauf des Backprozesses.“<sup>266</sup> Die aufgezeichnete Teigfestigkeitskurve ähnelt dem Amylogramm, wird aber mit einer Probe des tatsächlichen Teiges erreicht. Um diese Methode auszuwerten, wurden Kurven erstellt. „Unterschiede in den Kurven werden der hemmenden Wirkung des durch Milchsäure niedrig eingestellten Teig pH-Wertes und der Stärke-Schützenden Wirkung der Pentosane zugeschrieben (Abb. 19).“<sup>267</sup> Der Zusatz von Milchsäure und Salz ergab eine Kurve mit höchster Viskosität und Temperatur, die signifikant hoch unabhängig vom  $\alpha$ -Amylase Zusatz ist. „Demgegenüber verringert der Pentosanase-Zusatz das Viskositätsmaximum (Abb. 20).“<sup>268</sup> Die Ursache dafür ist die  $\alpha$ -Amylase im Mehl, die die Stärke abbauen konnte, nachdem die Pentosane durch Pentosanase abgebaut worden war. „Daraus folgert die Verringerung des Wasserbindevermögens und die Stärke konnte nicht länger geschützt werden.“<sup>269,270</sup>

<sup>265</sup> vgl. vom Stein 1971, S. 131, Eigene Übersetzung, zitiert bei Seibel und Weipert 2001, S. 191

<sup>266</sup> vgl. Weipert 1976, S. 76, Eigene Übersetzung, zitiert bei Seibel und Weipert 2001, S. 191

<sup>267</sup> vgl. Weipert 1981, S. 605, Eigene Übersetzung, zitiert bei Seibel und Weipert 2001, S. 192

<sup>268</sup> vgl. Weipert 1981, S. 605, Eigene Übersetzung, zitiert bei Seibel und Weipert 2001, S. 192

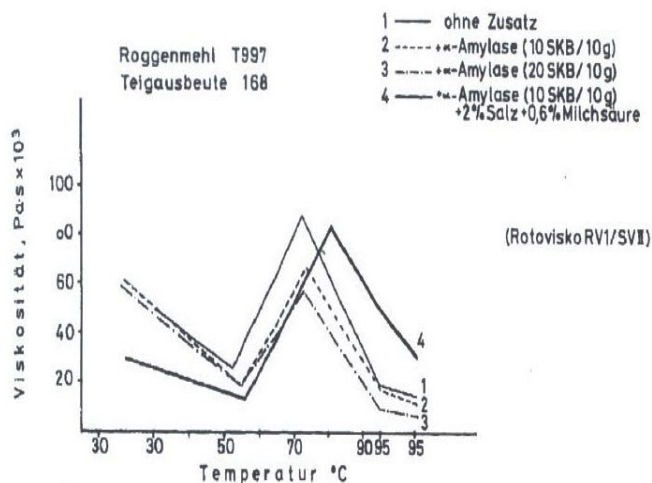
<sup>269</sup> vgl. Weipert 1976, S. 76, Eigene Übersetzung, zitiert bei Seibel und Weipert 2001, S. 192



Diese Methode kann die Viskositätsveränderungen bei Temperatur Erhöhung auf 80 - 90 °C beschreiben. Während des Zusammenziehens der (Teig-) Probe bei Erhitzung über 80 °C und teilweise beim Abkühlen auf 30 °C (um den Backprozess und das Abkühlen der Brote nachzuahmen), wird der Kontakt zwischen Messinstrument und Teig unterbrochen und die Messung beendet.

„Bei Verwendung eines Multifunktions-Rheometers mit selbstgesteuertem Messspalt und der Durchführung des Tests im dynamisch oszillierenden Modus, war es nicht nur möglich, die Änderung der rheologischen Eigenschaften des Teiges während des vollständigen Tests zu messen, sondern auch die Viskosität zu differenzieren in Elastizität und Plastizität.“<sup>271</sup> So gelingt es, das Backverfahren in ganzer Länge (incl. Abkühlphase) zu überwachen.

„Der dynamische Schwingungsmodus des Messinstrumentes zeigt, dass Roggenteige steifer und rigider als die dehnbar-elastischen Weizenteige sind. Vermutlich liegt das am Fehlen des viscoelastischen Gluten und des Vorhandenseins der Pentosan Moleküle, die nur viskos, aber wenig dehnbar und kurz sind (ähnlich wie ein Gummiband), wenn sie heftig zerrissen werden. Der Wasserzusatz scheint für die plastische Eigenschaft und auch die zunehmende Teigerweichung zu sorgen.“<sup>272</sup>



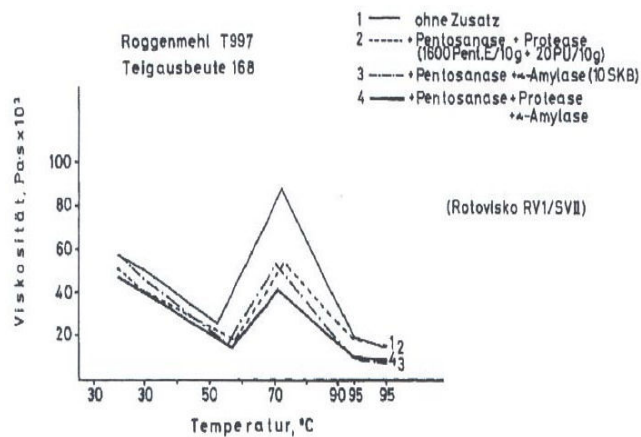
**Abb. 19: Darstellung der Enzymwirkung in Roggenteigen**<sup>273</sup>

<sup>270</sup> vgl. Weipert 1990, S. 313, Eigene Übersetzung, zitiert bei Seibel und Weipert 2001, S. 192

<sup>271</sup> vgl. Weipert 1992, S. 22, Eigene Übersetzung, zitiert bei Seibel und Weipert 2001, S. 192

<sup>272</sup> vgl. Autio et al. 1995, S. 146, Eigene Übersetzung, zitiert bei Seibel und Weipert 2001, S. 192

<sup>273</sup> vgl. Weipert 1981, S. 605, Eigene Übersetzung, zitiert bei Seibel und Weipert 2001, S. 192



**Abb. 20: Darstellung der Enzymwirkung in Roggenteigen**<sup>274</sup>

Die Wasseraufnahme der Roggenmehle ist ein qualitätsbestimmender Faktor. Die Roggenmahlerzeugnisse bestehen mengenmäßig vor allem aus Stärke und den Quellstoffen Protein und Pentosan. Die Fähigkeit der Quellstoffe, in kaltem Zustand Wasser zu binden, bewirkt einen viskosen Zustand, der als Teigkonsistenz bezeichnet wird. Während beim Weizen die kleberbildenden Eiweißstoffe als Quellsubstanz dominieren, spielen beim Roggen die Schleim- und Gummistoffe verschiedener Konstitution (Protein, Pentosan, Hemicellulose,  $\beta$ -Glucane) die primäre Rolle. In Roggenteigen wird das Wasser teils aufgrund der Quellung der Inhaltsstoffe (z.B. Protein und Pentosan), teils aufgrund der Oberflächensorption der Stärkekörner, außerdem als Tröpfchen sowie in größeren Flächen gebunden bzw. immobilisiert. Die Wasserbindung im Roggenteig und die damit sich ergebende Teigausbeute ist ein sehr wesentliches Merkmal für die Beurteilung eines Mehles. Der Möglichkeit der Bestimmung der Wasseraufnahmefähigkeit bei einer bestimmten Teigkonsistenz kommt daher aus kalkulatorischen, technologischen und qualitativen Gründen große Bedeutung zu.

<sup>274</sup> vgl. Weipert 1981, S. 605, Eigene Übersetzung, zitiert bei Seibel und Weipert 2001, S. 192

### 3 Material und Methoden

Das Kapitel Material und Methoden zur Wasseraufnahme erläutert in Hinblick auf die Versuche dieser Arbeit folgende Punkte:

- Rohstoffe, Geräte, Materialien und Zutaten
- Untersuchungsmethoden
- Planetenmischer Typ P 600
- Beschreibung der experimentellen Backversuche

#### 3.1 Rohstoffe, Geräte, Materialien und Zutaten

##### 3.1.1 Mehlinhaltsstoffe und -eigenschaften

In Tab. 23, Tab. 24, Tab. 25 und Tab. 26 sind Inhaltsstoffe und Eigenschaften der verwendeten Mehle zusammengestellt. Zu den Untersuchungen wurden insgesamt zehn Roggenmehle (I - X) von verschiedenen Mühlen und Typenzahlen und ein Weizenmehl XI der Type 550 verwendet.

**Tab. 23: Inhaltsstoffe von Roggenmehlen**<sup>275</sup>

| Roggenmehle       | Wasser (%)                | Kohlenhydrat (%)          |                          | Protein (%)              | Fett (%)                 | Asche (%)                | Energie Kcal/100 g          |
|-------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-----------------------------|
|                   |                           | Gesamt                    | Ballaststoff             |                          |                          |                          |                             |
| I <sup>1</sup>    | 10,5 ± 0,10 <sup>d</sup>  | 79,9 ± 0,06 <sup>a</sup>  | 7,2 ± 0,24 <sup>ab</sup> | 6,8 ± 0,20 <sup>i</sup>  | 1,5 ± 0,15 <sup>b</sup>  | 1,2 ± 0,06 <sup>b</sup>  | 356,6 ± 0,85 <sup>abc</sup> |
| II <sup>2</sup>   | 10,7 ± 0,12 <sup>cd</sup> | 79,4 ± 0,26 <sup>b</sup>  | 7,2 ± 0,28 <sup>ab</sup> | 7,0 ± 0,10 <sup>i</sup>  | 1,7 ± 0,12 <sup>ab</sup> | 1,2 ± 0,00 <sup>bc</sup> | 354,7 ± 2,31 <sup>c</sup>   |
| III <sup>3</sup>  | 10,6 ± 0,06 <sup>cd</sup> | 77,5 ± 0,26 <sup>cd</sup> | 6,9 ± 0,17 <sup>c</sup>  | 9,5 ± 0,20 <sup>f</sup>  | 1,2 ± 0,12 <sup>c</sup>  | 1,2 ± 0,00 <sup>bc</sup> | 355,8 ± 0,51 <sup>bc</sup>  |
| IV <sup>4</sup>   | 10,1 ± 0,12 <sup>e</sup>  | 79,7 ± 0,12 <sup>ab</sup> | 7,1 ± 0,15 <sup>bc</sup> | 7,8 ± 0,15 <sup>h</sup>  | 1,2 ± 0,10 <sup>c</sup>  | 1,2 ± 0,06 <sup>b</sup>  | 357,1 ± 0,55 <sup>abc</sup> |
| V <sup>5</sup>    | 10,7 ± 0,10 <sup>c</sup>  | 77,9 ± 0,17 <sup>c</sup>  | 7,5 ± 0,27 <sup>a</sup>  | 9,1 ± 0,06 <sup>g</sup>  | 1,1 ± 0,15 <sup>c</sup>  | 1,3 ± 0,15 <sup>b</sup>  | 356,8 ± 2,70 <sup>abc</sup> |
| VI <sup>6</sup>   | 11,2 ± 0,12 <sup>ab</sup> | 75,0 ± 0,40 <sup>e</sup>  | 6,9 ± 0,06 <sup>c</sup>  | 11,1 ± 0,20 <sup>e</sup> | 1,6 ± 0,10 <sup>b</sup>  | 1,1 ± 0,00 <sup>c</sup>  | 358,7 ± 1,00 <sup>ab</sup>  |
| VII <sup>7</sup>  | 11,3 ± 0,12 <sup>a</sup>  | 73,5 ± 0,38 <sup>f</sup>  | 6,8 ± 0,15 <sup>c</sup>  | 12,5 ± 0,15 <sup>c</sup> | 1,5 ± 0,15 <sup>b</sup>  | 1,2 ± 0,00 <sup>bc</sup> | 359,4 ± 3,16 <sup>a</sup>   |
| VIII <sup>8</sup> | 11,1 ± 0,06 <sup>b</sup>  | 72,3 ± 0,15 <sup>g</sup>  | 7,0 ± 0,06 <sup>bc</sup> | 13,8 ± 0,15 <sup>b</sup> | 1,6 ± 0,20 <sup>b</sup>  | 1,2 ± 0,06 <sup>b</sup>  | 356,7 ± 1,10 <sup>abc</sup> |
| IX <sup>9</sup>   | 11,3 ± 0,10 <sup>a</sup>  | 70,3 ± 0,45 <sup>h</sup>  | 6,9 ± 0,15 <sup>c</sup>  | 14,9 ± 0,12 <sup>a</sup> | 1,9 ± 0,20 <sup>a</sup>  | 1,7 ± 0,06 <sup>a</sup>  | 358,5 ± 2,48 <sup>ab</sup>  |
| X <sup>10</sup>   | 9,4 ± 0,12 <sup>f</sup>   | 77,4 ± 0,06 <sup>d</sup>  | 7,1 ± 0,05 <sup>bc</sup> | 11,5 ± 0,20 <sup>d</sup> | 0,7 ± 0,12 <sup>d</sup>  | 1,0 ± 0,06 <sup>d</sup>  | 355,7 ± 1,00 <sup>bc</sup>  |
| <b>F-Value</b>    | 104,60*                   | 471,00*                   | 4,02**                   | 931,83*                  | 17,43*                   | 23,42*                   | 1,97***                     |

Mittelwert ± STABW (n=3). Mittelwerte mit den gleichen Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant. ANOVA, Duncan - Test (P < 0,01; 0,1).

<sup>1</sup>Pr > F = < 0,0001, <sup>2</sup>Pr > F = 0,0046 und <sup>3</sup>Pr > F = 0,0987

<sup>1</sup>I = Roggenmehl der Type 1150, <sup>2</sup>II = Roggenmehl der Type 1150, <sup>3</sup>III = Roggenmehl der Type 1150, <sup>4</sup>IV = Roggenmehl der Type 1150, <sup>5</sup>V = Roggenmehl der Type 1150, <sup>6</sup>VI = Roggenmehl der Type 997, <sup>7</sup>VII = Roggenmehl der Type 1150, <sup>8</sup>VIII = Roggenmehl der Type 1370, <sup>9</sup>IX = Roggenvollkornmehl, <sup>10</sup>X = Roggenmehl der Type 997 VC1

<sup>275</sup> vgl. Pusan Food Research Institute 2006

**Tab. 24: Analysedaten der verwendeten Roggenmehle - I**

| Roggenmehle                    | I             | II            | III           | IV            | V             |
|--------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Wassergehalt [%]               | 13,0 ± 0,06   | 13,5 ± 0,12   | 13,7 ± 0,00   | 11,0 ± 0,10   | 11,7 ± 0,06   |
| Mineralstoffgehalt [%]         | 1,202 ± 0,056 | 1,216 ± 0,035 | 1,187 ± 0,015 | 1,199 ± 0,053 | 1,267 ± 0,160 |
| Fallzahl [sec]                 | 221 ± 2,65    | 188 ± 4,51    | 213 ± 3,51    | 237 ± 1,15    | 236 ± 1,53    |
| Amylogramm                     |               |               |               |               |               |
| Anfangsviskosität [AE]         | 69 ± 6,93     | 79 ± 15,14    | 76 ± 11,36    | 74 ± 15,31    | 43 ± 11,02    |
| Verkleisterungsbeginn [°C]     | 52,5 ± 1,15   | 54,6 ± 0,74   | 54,2 ± 0,67   | 51,4 ± 1,31   | 54,1 ± 0,82   |
| Verkleisterungstemperatur [°C] | 73,3 ± 0,06   | 70,6 ± 0,76   | 71,7 ± 1,15   | 72,6 ± 0,61   | 73,6 ± 0,20   |
| Verkleisterungsmaximum [AE]    | 596 ± 3,00    | 477 ± 20,55   | 519 ± 1,53    | 621 ± 13,05   | 461 ± 3,21    |

**Tab. 25: Analysedaten der verwendeten Roggenmehle - II**

| Roggenmehle                    | VI            | VII           | VIII          | IX            | X             |
|--------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Wassergehalt [%]               | 13,0 ± 0,06   | 13,1 ± 0,10   | 13,0 ± 0,06   | 12,6 ± 0,10   | 7,3 ± 0,06    |
| Mineralstoffgehalt [%]         | 1,089 ± 0,012 | 1,188 ± 0,018 | 1,259 ± 0,025 | 1,666 ± 0,022 | 0,975 ± 0,061 |
| Fallzahl [sec]                 | 203 ± 1,53    | 197 ± 1,15    | 160 ± 4,73    | 196 ± 3,46    | 307 ± 4,36    |
| Amylogramm                     |               |               |               |               |               |
| Anfangsviskosität [AE]         | 73 ± 6,11     | 73 ± 2,31     | 60 ± 8,50     | 53 ± 3,00     | 67 ± 12,12    |
| Verkleisterungsbeginn [°C]     | 54,4 ± 0,45   | 54,3 ± 0,64   | 54,9 ± 0,69   | 57,0 ± 0,66   | 49,0 ± 0,51   |
| Verkleisterungstemperatur [°C] | 70,3 ± 0,20   | 70,1 ± 0,20   | 67,8 ± 0,21   | 71,8 ± 0,47   | 78,9 ± 1,50   |
| Verkleisterungsmaximum [AE]    | 528 ± 2,52    | 493 ± 1,00    | 342 ± 10,26   | 324 ± 4,04    | 1042 ± 11,55  |

**Tab. 26: Analysedaten des verwendeten Weizenmehls**

|                                       |                       |
|---------------------------------------|-----------------------|
| <b>Weizenmehl</b>                     | <b>XI<sup>1</sup></b> |
| <b>Wassergehalt [%]</b>               | 14,3                  |
| <b>Mineralstoffgehalt [%]</b>         | 0,593                 |
| <b>Fallzahl [sec]</b>                 | 369                   |
| <b>Sedimentationswert [ml]</b>        | 40,0                  |
| <b>Feuchtklebergehalt [%]</b>         | 29,4                  |
| <b>Amylogramm</b>                     |                       |
| <b>Anfangsviskosität [AE]</b>         | 3                     |
| <b>Verkleisterungsbeginn [°C]</b>     | 57,5                  |
| <b>Verkleisterungstemperatur [°C]</b> | 93,3                  |
| <b>Verkleisterungsmaximum [AE]</b>    | 715                   |
| <b>Farinogramm</b>                    |                       |
| <b>Wasseraufnahme [%]</b>             | 61,4                  |
| <b>Teigentwicklungszeit [min]</b>     | 2,3                   |
| <b>Teigstabilität [min]</b>           | 8,5                   |
| <b>Teigerweichung n. ICC [FE]</b>     | 59                    |
| <b>Extensogramm (135 min)</b>         |                       |
| <b>Energie [cm<sup>2</sup>]</b>       | 124                   |
| <b>Dehnwiderstand [EE]</b>            | 636                   |
| <b>Dehnbarkeit [mm]</b>               | 126                   |
| <b>Maximum [EE]</b>                   | 779                   |
| <b>Verhältniszahl</b>                 | 5,1                   |

<sup>1</sup>XI = Weizenmehl der Type 550

### 3.1.2 Wasser

Zur Teigherstellung wurde ausschließlich Trinkwasser verwendet. Für die Durchführung der analytischen Untersuchungen wie Amylogramm, Fallzahl, Sedimentationswert und Säuregradbestimmung wurde allerdings destilliertes Wasser benutzt.

### 3.1.3 Weitere Rohstoffe/ Zutaten

Als weitere Zutaten wurden verwendet:

Hefe: Firma Lindenmeyer, Heilbronn  
 Salz: Firma K-Classic  
 Reinzuchtsauer (Anstellgut): Firma Böcker, Minden

### 3.1.4 Geräte und Maschinen

In der folgenden Tab. 27 und 28 ist zu ersehen, welche Maschinen und Geräte für die Durchführung der praktischen Versuche verwendet wurden:

**Tab. 27: Verwendete Geräte/ Maschinen Teil I**

| Hersteller                         | Gerät/ Maschine                       | Technische Daten   |   |
|------------------------------------|---------------------------------------|--|---|
| <b>Brabender GmbH &amp; Co. KG</b> | Amylograph<br>Typ: ASG-6<br>Nr.: 1130 | Abmessungen(BxHxT):<br>Gewicht:<br>Netzanschluss:<br>Drehzahl (Messbecher):<br>Temperatur-Programm:<br>Temperaturbereich:<br>Heizleistung: | 320 x 700 x 500 mm<br>ca.35 kg<br>220 V, 50 Hz<br>75 U/ min.<br>1,5°C/ min. (Aufheizen)<br>20-95 °C<br>500 W  |
| <b>Brabender GmbH &amp; Co. KG</b> | Farinograph<br>Typ: Farinograph-E     | Abmessungen(BxHxT):<br>Gewicht:<br>Anschlussdaten<br>(ab Werk alternativ<br>eingestellt auf):<br>Dynamometer:<br>Drehzahl:                 | 530 x 375 x 810 mm<br>75 Kg<br>110 V, 220 V, 230 V, 240 V<br>50/ 60 Hz; 3A<br>0,15 kW Drehmoment-<br>Rheometer, Messbereich<br>0-10 Nm<br>5-150 min <sup>-1</sup> |
| <b>Brabender GmbH &amp; Co. KG</b> | Planetenmischer<br>Typ: P 600         | Abmessungen (BxHxT):<br>Gewicht:<br>Anschlussdaten:<br>Knetkammervolumen:<br>Temperierung:<br>max. Betriebstemperatur:                     | 300 x 420 x 550 mm<br>ca. 11kg<br>s. Antrieb Farinogram-E<br>2500 cm <sup>3</sup><br>mit Flüssigkeit über<br>Umlaufthermostat<br>150 °C                           |
| <b>Brabender GmbH &amp; Co. KG</b> | Schnellfeuchtebestimmer<br>Typ: HAV   | Abmessungen:<br>Gewicht:<br>Anschlussdaten:<br>Leistung:   | 850 mm Höhe<br>550 mm Durchmesser<br>35 Kg (netto)<br>110/ 220 V<br>800 W   |

|   |   |  |  |
|---|---|--|--|
| <b>Brabender GmbH &amp; Co. KG</b>          | Thermostat für Wassertemperaturung des P 600<br>Typ: T 150E | Abmessungen(BxTxH):<br>Gewicht:<br>Füllmenge<br>Förderstrom (Pumpe)<br>Anschlussdaten: | 170 x 330 x 350 mm<br>5,2 kg<br>3...4,5 l<br>15 l/ min<br>230 V/ 50 Hz |
| <b>Dipl.-Ing. W. Ehret GmbH</b>             | Gärschrank<br>Typ: KLG/6                                    | Anschlussdaten:<br>Leistung:   | 220 V, 50 Hz<br>860 W  |
| <b>Garbe, Lahmeyer &amp; Co. AG</b>         | Hubknetter (Motor)<br>Typ: 1500/ 10B                        | Anschlussdaten:<br>Leistung:<br>Drehzahl:  | 380/ 220 V; 0,79/ 13,7 A<br>0,34 PS<br>1380 U/ min.                    |
| <b>Janke &amp; Kunkel GmbH &amp; Co. KG</b> | Magnetrührer<br>Typ: IKA -COMBIMAG REO                      | Anschlussdaten:<br>Leistung:<br>Drehzahl:  | 220 V, 50/ 60 Hz<br>19 W<br>0-1100 U/min.                              |

Tab. 28: Verwendete Geräte/ Maschinen Teil II

| Hersteller   | Gerät/ Maschine  | Technische Daten  |  |
|--|--|---|--|
| <b>Heraeus Instruments GmbH</b>                      | Muffelofen<br>Typ: MR 170                              | Nenntemperatur:<br>Innenraum H/ B/ T:<br>Anschlussdaten:  | Bis 1000 °C<br>9/ 16/ 25 cm<br>220 V, 50 Hz, 14 A  |
| <b>Mettler-Toledo GmbH</b>                           | Industriewaage<br>Typ: SB8001                          | Abmessungen(B x T x H):<br>Gewicht:<br>Anschlussdaten:<br><br>Ablesbarkeit:<br>Höchstlast:  | 381 x 321 x 92 mm<br>6,8 kg<br>115/ 230 V, 50/ 60 Hz,<br>65/ 30 mA, 6 VA<br>0,1 g<br>8100 g                  |
| <b>Omnilab-LABORZENTRUM GmbH &amp; Co. KG</b>        | Becherglas,<br>Füllzylinder,<br>Messpipette<br>Bürette | <u>Becherglas</u><br>Füllmenge:<br><u>Messzylinder</u><br>Füllmenge:<br><u>Pipette</u><br>Füllmenge:<br><u>Bürette</u><br>Füllmenge:<br>Einteilung: | 200 ml<br><br>100 ml<br><br>5 ml<br><br>25 ml<br>0,1 ml  |
| <b>Perten Instruments AB</b>                         | Fallzahlgerät<br>Typ: 1400                             | Abmessungen:<br>Gewicht:<br>Leistung/ Anheizen:<br>Leistung/ Betrieb:<br>Anschlussdaten:  | 600 x 300 x 400 mm<br>8 kg<br>1000 W<br>570 W<br>Keine Angabe (bei Bestellung wählbar)                       |
| <b>Sartorius AG</b>                                  | Präzisionswaage<br>Typ: LP 220S                        | Gewicht:<br>Anschlussdaten:<br>Ablesbarkeit:<br>Wägebereich:  | 6,9 kg<br>230 V oder 115 V, 48-60 Hz<br>0,001 g<br>220 g   |
| <b>SCHOTT AG</b>                                     | pH-Meter m.<br>Einstabmesskette<br>Typ: CG 701         | Anschlussdaten:<br>pH-Bereich:<br>Genauigkeit:<br>weitere Funktionen:   | 100-250 V, 50-60Hz<br>0-14<br>± 0,1 pH-Einheit<br>Justierung v. Temperatur (0-100°C), Nullpunkt u. Steilheit |
| <b>SIKA - Dr. Silbert und Kühn GmbH &amp; Co. KG</b> | Elektronisches Thermometer<br>Typ: T 4002              | Fühleranschluss:<br>Messbereich:  | PT 100 (TF2)<br>-200 bis +600°C  |
| <b>Wachtel GmbH &amp; Co.</b>                        | Etagenbackofen INFRA<br>Modell: AE 408/ 20             | Herdmaße (B x T x H):<br>Gesamtbackfläche:<br>Anschlusswert (ohne Verriegelung):  | 600 x 850 x 165 mm<br>2,0 qm<br>18,2 (27,8) kW, 380 V  |

### 3.1.5 Materialien (Chemikalien)

Für die stetig durchgeführten pH-Wert-Messungen und Säuregradbestimmungen der Vorteige wurde benötigt (Tab. 29):

**Tab. 29: Materialien für pH-Wert- und Säuregradbestimmung**

| Hersteller            | Chemikalien                                | Chemische Eigenschaften   |  |
|-----------------------|--|---|--|
| <b>Merck<br/>KGaA</b> | Aceton,<br>Natronlauge,<br>Pufferlösungen, | Aceton:<br>Natronlauge:<br>Pufferlösung I:<br>Pufferlösung II:<br>Pufferlösung III: | säurefrei<br>0,1 mol/ l<br>pH 4,00<br>pH 7,00<br>pH 9,00 |

### 3.1.6 Enzyme

Auch hier erfolgte eine stetige Lagerung der Enzyme bei kühlen Temperaturen (7 °C). Viele Enzyme wurden in erster Linie für den Einsatz bei direkten Teigführungen entwickelt und nicht für eine indirekte Führung. Diese Tatsache ist bei den folgenden Enzymbeschreibungen (Eigenschaften und Wirkungen) der Firma Mühlenchemie zu berücksichtigen. Gleiches ist auch für die Präparate der anderen Hersteller anzunehmen. Bei den Roggenteigen kamen Enzyme bzw. Enzympräparate folgender Firmen zum Einsatz:

❖ Mühlenchemie GmbH & Co. KG, Ahrensburg

Enzyme/ Enzympräparate:

- Alphamalt TTC
- Alphamalt H 8043
- Alphamalt LP 12066

❖ Gamma Chemie GmbH, Darmstadt

Enzyme/ Enzympräparate:

- Veron HF
- Veron Spezial

❖ Danisco GmbH, Quickborn

Enzyme/ Enzympräparate:

- Grindamyl MAX-LIFE E16
- Grindamyl A 10000



### 3.1.6.1 Alphamalt TTC, Alphamalt H 8043

Alphamalt TTC<sup>276</sup> basiert auf einer Pilz-Hemicellulase (Pentosanase), deren Herkunft ein nicht pathogener *Trichoderma longibrachiatum* Stamm ist. Diese Hemicellulase wandelt wasserunlösliche Pentosane (Schleimstoffe) in lösliche Fraktionen um, die Gele mit hoher Wasserabsorption bilden und somit zur Abtrocknung der Teige führen. Anwendungsgebiete sind alle hefegetriebenen Gebäcke (speziell Toast und Brötchen). Laut Herstellerangaben besitzt dieses Präparat folgende Auswirkungen:

- verleiht eine trockene Teigoberfläche
- erhöht die Quellung der Pentosane
- verbessert Teigstabilität und Teigtoleranz
- Steigerung der Maschinengängigkeit
- Volumenvergrößerung, aber auch weiche und klebrige Teige bei hoher Dosierung

Alphamalt H 8043<sup>277</sup> stellt eine reine Pilz-Hemicellulase (Herkunft *Aspergillus niger*) dar. Sie zeigt eine endo-hydrolytische Aktivität. Typische Auswirkungen im Anwendungsbereich von hefegelockerten Broten und Kuchen sind:

- Steigerung des Volumens
- Bildung einer feinen und weichen Krume
- Erhöhung der Teigstabilität
- Verringerung der Teigklebrigkeit

Bei beiden Enzympräparaten erfasst der beschriebene Einsatzbereich in erster Linie Gebäcke mit einem hohen Weizenanteil. Trotzdem ist eine Anwendung im Roggenteigbereich besonders sinnvoll, da hier höhere Pentosananteile vorliegen und somit die charakteristischen Auswirkungen des Pentosanabbaus an Bedeutung gewinnen.

### 3.1.6.2 Alphamalt LP 12066

Alphamalt LP 12066<sup>278</sup> ist ein spezielles Präparat, welches zudem verschiedene Hydrolasen (Phospholipasen, Glycolipid-Hydrolasen) enthält, dessen enzymatische

---

<sup>276</sup> vgl. Mühlenchemie 2004, ohne Seitenangabe (Produktspezifikation, Anhang)

<sup>277</sup> vgl. Mühlenchemie 2004, ohne Seitenangabe (Produktspezifikation, Anhang)

<sup>278</sup> vgl. Mühlenchemie 2004, ohne Seitenangabe (Produktspezifikation, Anhang)

Wirkung auf polare Lipide ausgerichtet ist. Bei diesem Präparat werden folgende Auswirkungen auf die Gebäcke genannt:

- Stärkung der Teigstruktur und verbesserte Toleranz gegenüber mechanischem Stress
- feinere Porung
- Erhöhung der Krumenhelligkeit
- Volumensteigerung

### 3.1.6.3 Veron HF, Veron Spezial

Die Präparate enthalten Xylanasen aus Pilzkulturen von *Aspergillus niger* (Veron HF)<sup>279</sup> und Bakterienkulturen des Stammes *Bacillus Subtilis* (Veron Spezial).<sup>280</sup> Das Präparat Veron HF weist eine zusätzliche Transglutaminaseaktivität auf und ist speziell für den Einsatz im Roggen- und Roggenmischbrotbereich gedacht. Positive Wirkungen dieser Enzympräparate auf die Teig- und Gebäckeeigenschaften sind:

- gute maschinelle Teigverarbeitung
- geringe Teigklebrigkeit
- verbesserte Gärstabilität
- Steigerung des Backvolumens
- verbesserte Wasseraufnahme (Veron HF)

### 3.1.6.4 Grindamyl Max-LIFE E16, Grindamyl A 10000

Grindamyl Max-LIFE E16<sup>281</sup> ist die Beschreibung für ein Präparat aus Amylasen, dem vor allem folgende positive Auswirkungen zugesprochen werden:

- Verbesserung der Krumenweichheit
- erhöhte Haltbarkeit der Backwaren

Bei dem Enzympräparat Grindamyl A 10000<sup>282</sup> handelt es sich um Pilz-Alpha-Amylasen (*Aspergillus oryzae*). Der Einsatz bei Backwaren soll ebenfalls zur Qualitätsverbesserung beitragen.

---

<sup>279</sup> vgl. Gamma Chemie, 2003, ohne Seitenangabe (Produktspezifikation, Anhang)

<sup>280</sup> vgl. Gamma Chemie, 2003, ohne Seitenangabe (Produktspezifikation, Anhang)

<sup>281</sup> vgl. Daniso, 2004, ohne Seitenangabe (Produktspezifikation, Anhang)

<sup>282</sup> vgl. Daniso, 2004, ohne Seitenangabe (Produktspezifikation, Anhang)

## 3.2 Untersuchungsmethoden

### 3.2.1 Bestimmung der Feuchtigkeit

„Der Wassergehalt oder die Feuchtigkeit in den Getreideerzeugnissen ist nicht nur für die Haltbarkeit von großer Bedeutung, sondern auch für die Bestimmung des Feststoffgehaltes. Für viele Untersuchungen ist es notwendig, die Trockenmasse des Materials zu kennen, um den Gehalt der Inhaltsstoffe zu ermitteln. So muss die Einwaage der Mehlprobe der Mehlfeuchtigkeit angepasst werden. Anhand von Tabellen kann abgelesen werden, dass bei einer Feuchtigkeit von 15,5 % nicht 300 g, sondern 305,3 g Mehl in den Farinographen eingewogen werden müssen, weil mit zunehmender Feuchtigkeit der Feststoffanteil sinkt. Die meisten Analysenmethoden sind für eine Mehlfeuchtigkeit von 14 % ausgelegt, deshalb werden bei 12,5% auch nur 294,9 g Mehl benötigt. Gleiche Überlegungen müssen für den Bäcker gelten, denn er benötigt Mehle mit einem möglichst hohen Feststoffanteil. Bis auf Mais und Braugerste lassen sich die Wassergehalte von allen anderen Getreiden und Getreideerzeugnissen durch eine Trocknung bei 130 °C innerhalb von 90 min ermitteln (ICC-Standard 110/1). Mit der NIR-Spektroskopie (ICC-Empfehlung 202) kann innerhalb weniger Sekunden das Ergebnis ermittelt werden. Bei diesem Verfahren macht man sich zu Nutze, dass die Lichtstrahlen im nahen Infrarotbereich (NIR) bei unterschiedlichen Wellenlängen von der Probe absorbiert oder reflektiert werden. Durch die Kalibrierung des Gerätes kann der Rechner schnell die Werte für Feuchtigkeit und Protein ermitteln. Neben der Untersuchung von Mahlerzeugnissen kann die Feuchtigkeit auch von ganzen Körnern ermittelt werden. Die dafür notwendige Nah-Infrarot-Transmission (NIT) ist für die Mühlen die bequemere Methode, weil die Körner nicht zerkleinert werden müssen. Der Wassergehalt der Getreideerzeugnisse ist stark von den klimatischen Bedingungen während der Ernte und von der Umgebungsfeuchte während des Lagerns abhängig. Feuchtigkeitswerte deutlich über 15 % schränken die Lagerung ein. Sowohl die Lagerzeit als auch die Lagertemperatur müssen überwacht werden, damit die Getreideerzeugnisse nicht durch enzymatischen und mikrobiologischen Abbau ungenießbar werden und die Verarbeitungseigenschaften leiden. Besonders in Vollkornmahlerzeugnissen kann sich sehr schnell ein dumpfer, muffiger Geschmack ergeben.“<sup>283</sup>

---

<sup>283</sup> vgl. Freund et al. 2006, S. 8

### 3.2.2 Bestimmung des Mineralstoffgehaltes

„Mahlerzeugnisse aus Getreide werden in den meisten Regionen nach dem Mineralstoffgehalt (früher auch als Aschegehalt bezeichnet) gehandelt. Da sich mit dem Ausmahlungsgrad die Backeigenschaften der Mehle verändern, sollte der Mineralstoffgehalt konkret festgelegt werden. Die Bestimmung des Mineralstoffgehaltes geschieht durch Veraschung einer Mehlsprobe im Muffelofen bei 900 °C. Das organische Material verbrennt zunächst recht stürmisch, danach ist eine weitere Erhitzung bis zu 120 min notwendig. In der Porzellanschale ist dann nur noch reine weiße Asche zu sehen. Nach dem Abkühlen wird die Schale gewogen und die Menge der Asche in Prozent der Trockensubstanz angegeben. Durch Multiplikation dieses Wertes mit 1000 erfolgt die Typenbezeichnung. Je nach den Vorschriften in den einzelnen Ländern können die Mineralstoffgehalte der Mehle zwischen Mindestwerten und Höchstwerten schwanken. Diese teilweise sehr weiten Bereiche können zu Unterschieden in den Backeigenschaften führen. Besonders bei der Herstellung von Gebäcken mit hoher Volumenausbeute, z.B. Brötchen, ist es nicht gleichgültig, ob das verwendete Mehl im Mineralstoffgehalt bei 0,51 oder bei 0,63 % liegt. Wenn die Ausmahlung nur wenig mehr als den Bereich des Mehlkörpers erfasst, steigt neben dem Mineralstoffgehalt auch der Proteingehalt deutlich an, doch gleichzeitig ist damit zu rechnen, dass die Volumenausbeute deutlich zurückgeht. Bei den Roggenmehltypen wird durch das Ausnutzen der Grenzbereiche auch die Mehlfarbe verändert. So kann trotz gleicher Type eine erkennbare dunklere Brotkrume die Folge sein. Auch Schwankungen bei der Teigausbeute werden vorkommen, wenn einmal das Mehl einen Mineralstoffgehalt von 1,11 g und beim nächsten Mal einen von 1,30 g pro 100 g Trockenmasse aufweist. Die Bestimmung des Aschegehaltes wird vorgenommen nach dem ICC-Standard 104/1. Eine schnelle Untersuchung ist auch mittels NIR möglich.“<sup>284</sup>

### 3.2.3 Bestimmung der Fallzahl als Maß für die Alpha-Amylase-Aktivität

Die Erläuterungen zur Bestimmung der Fallzahl als Maß für die Alpha-Amylase-Aktivität wurden in dem Abschnitt 2.2.4.2 (S. 73) vorgestellt.

### 3.2.4 Bestimmung der Verkleisterungseigenschaften der Stärke mit dem Amylographen

---

<sup>284</sup> vgl. Freund et al. 2006, S. 13

In dem Abschnitt 2.2.4.1 (S. 71) wurden die Erläuterungen zur Bestimmung der Verkleisterungseigenschaften der Stärke mit dem Amylographen dargestellt.

### **3.2.5 Wasseraufnahme von Roggentypenmehlen im Brabender Farinographen**

Die Erläuterungen zur Bestimmung der Wasseraufnahme von Roggentypenmehlen im Brabender Farinographen wurden in dem Abschnitt 2.2.4.9 (S. 77) beschrieben.

### **3.2.6 Untersuchung des Säuregrades**

„Zur Beurteilung der Frische eines Mehles kann der Säuregrad wichtige Hinweise liefern. Während der Lagerung des Getreidemahlproduktes kommt es zu einem enzymatischen Abbau der Fette und der Phosphatide (Lecithin). Dieser Abbau wird beschleunigt durch einen hohen Wassergehalt, hohe Temperaturen und hohen Ausmahlungsgrad. Die getreideeigenen Lipasen und Phosphatasen lassen den Anteil von freien Fettsäuren und Phosphat ansteigen. Bis zu einem gewissen Grade ist dieser Abbau als Mehltreifung erwünscht, doch nach Überschreiten von Grenzwerten werden die Mehle ungenießbar. Mit der Bestimmung des Säuregrades kann, unter Berücksichtigung des Ausmahlungsgrades, der Fortgang der Mehltreifung bzw. der Übergang in einen Verderbnisprozess beobachtet werden. Da es sich bei der Veränderung der Mehle während der Lagerung hauptsächlich um ein Ansteigen von freien Fettsäuren handelt, wird vor der Filtration die Mehprobe mit Ethanol (67%igem Alkohol) aufgeschlämmt. Das Filtrat wird dann mit Natronlauge bis zu einem pH-Wert von 8,5 titriert. Die verbrauchte Menge an 0,1 N (mol/L) Natronlauge (mit zwei multipliziert) ergibt den Säuregrad. Teilweise wird die Titration auch unter Verwendung des Indikatorfarbstoffes Phenolphthalein durchgeführt, doch die Bestimmung des Umschlages von gelb nach rosa führt leicht zu Unsicherheiten. Deshalb hat sich die Verwendung des pH-Meters durchgesetzt.“<sup>285</sup>

### **3.2.7 Statistische Auswertung**

Die Statistische Auswertung hatte zum Ziel, die Zuverlässigkeit und Signifikanz der gewonnenen Ergebnisse zu prüfen und sie als eine relevante Basis für Schlussfolgerungen zu bestätigen. Bei der Ergebnisauswertung der Inhaltsstoffe und Eigenschaften der verwendeten Roggenmehle, Untersuchungen zum Einfluss der Prozess- und Rezepturparameter auf Wasseraufnahme sowie der experimentellen

---

<sup>285</sup> vgl. Freund et al. 2006, S. 22

Backversuche wurde die einfaktorielle Varianzanalyse (ANOVA) angewandt. Die Signifikanzprüfung wurde mit Hilfe des F-Test und Duncan-Test überprüft.

Die aufgeführten Messwerte entsprechen dem Mittelwert aus drei Einzelmessungen einer Probe. Um mit einer statistischen Sicherheit eine Aussage über den Unterschied einzelner Mittelwerte einer Messreihe vornehmen zu können, wurde die Standardabweichung des Mittelwertes und die Varianz berechnet. Die Durchführung der Varianzanalyse (Analysis of Variance, ANOVA) erfolgte mit Hilfe der Statistik-Software SAS Release Version 8,1 (TS1M0)<sup>286</sup> als einfaktorielle ANOVA, mit der es möglich war, mehrere Mittelwerte zugleich zu untersuchen. Da die einfaktorielle Varianzanalyse aber die Prüfung der Homogenität der Varianzen voraussetzte, wurde zuerst der „Levene-Test“<sup>287</sup> der eine Verletzung homogener Varianzen anzeigt, gerechnet. Da keine signifikanten Abweichungen der Varianzen in den Vergleichsgruppen vorlagen, konnte die Varianzanalyse (ANOVA) angewendet werden. Zur Überprüfung der Signifikanz des Unterschiedes von Mittelwertsdifferenzen zwischen den Vergleichsgruppen wurde der F-Test herangezogen, um zu prüfen, ob zwischen den Vergleichsgruppen irgend ein Unterschied signifikant ausfallen würde. War dies der Fall, kam in der sogenannte „Duncan-Test“ zum Einsatz, der nun seinerseits in der Lage war anzuzeigen, zwischen den Vergleichsgruppen signifikante Unterschiede deutlich wurden. Das Signifikanzniveau lag dabei generell bei 1 % und 5 %.

### 3.2.7.1 Arithmetisches Mittel (Mittelwert oder Durchschnittwert)

Das arithmetische Mittel (AM,  $\bar{x}$ ) ist die Summe aller Messwerte geteilt durch deren Anzahl N (Gl. 3.1). Beim arithmetischen Mittel handelt es sich um den Durchschnitt aller Messwerte.<sup>288</sup>

Berechnung:

$$\bar{x}_{\text{arithm}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} \quad (3.1)$$

Das arithmetische Mittel ist für metrische Merkmale sinnvoll definiert. Für qualitative Merkmale ist es i.a. ungeeignet.<sup>289</sup>

<sup>286</sup> vgl. SAS Institute Inc. 2000, S. 51

<sup>287</sup> vgl. **Anmerkung:** Der Test nach Levene ist eine einfaktorielle Varianzanalyse über den Betrag der Differenz zwischen dem Wert des Individuums und dem zugehörigen Gruppenmittelwert (Leonhart 2004, S. 150)

<sup>288</sup> vgl. Leonhart 2004, S. 39

<sup>289</sup> vgl. Fahrmeir et al. 2004, S. 53

### 3.2.7.2 Varianz

Die Varianz wird durch Summierung der quadrierten Abweichungen der einzelnen Messwerte vom Mittelwert und teilt durch die Stichprobengröße, beziehungsweise den Freiheitsgrad, berechnet (Gl. 3.2).<sup>290</sup>

Berechnung der Varianz in der Population:

$$\sigma_x^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \mu)^2}{N} \quad (3.2)$$

Bei der Berechnung der Populationsvarianz wird durch N geteilt.

Berechnung der Varianz in der Stichprobe:

$$s_x^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N - 1} \quad (3.3)$$

Durch die Berechnung der Stichprobenvarianz soll die Populationsvarianz geschätzt werden (Gl. 3.3). Für diese Schätzung werden die quadrierten Abweichungen der Messwerte vom Mittelwert am Freiheitsgrad<sup>291</sup> (degree of freedom) relativiert.

### 3.2.7.3 Standardabweichung (STABW)

Die Standardabweichung entspricht der Wurzel aus der Varianz (Gl. 3.4). Durch das Quadrieren der Werte bei der Berechnung der Varianz entsteht ein schwierig interpretierbarer Kennwert, da verschiedene Varianzen als quadratische Maßzahlen nicht leicht und anschaulich verglichen werden können. Deshalb wird aus der Varianz wieder die Wurzel gezogen und so die Standardabweichung (oder Streuung des Mittelwerts) berechnet. Die Standardabweichung eignet sich zum direkten Vergleich der Variabilität der Werte in mehreren Stichproben und sollte deshalb zur Beschreibung einer Stichprobe neben dem Mittelwert angegeben werden.<sup>292</sup>

Berechnung:

$$\sigma_x = \sqrt{\text{Var}(X)} \quad (3.4)$$

<sup>290</sup> vgl. Leonhart 2004, S. 45

<sup>291</sup> vgl. **Anmerkung:** Der Freiheitsgrad beschreibt die Anzahl der „frei wählbaren“ Werte, welche in die Berechnung eines statistischen Kennwertes eingehen. Er ergibt sich aus der Stichprobengröße, welche um die Anzahl der als bekannt vorausgesetzten Kennwerte reduziert wird (Leonhart 2004, S. 146)

<sup>292</sup> vgl. Leonhart 2004, S. 46

### 3.2.7.4 Varianzanalyse (Analysis of Variance, ANOVA)

Mit Hilfe der Varianzanalyse kann überprüft werden, ob die Mittelwerte einzelner Messwerte in einem zu definierenden Vertrauensbereich gleich oder unterschiedlich sind. Die statistische Methode, die eine Verallgemeinerung leistet, ist die sogenannte Varianzanalyse. Anhand dieser Methode ist es möglich, Unterschiede in den Erwartungswerten einer normalverteilten Zufallsvariable in mehreren Gruppen zu beurteilen. Dabei wird ein statistischer Test bereitgestellt, mit dem eine Entscheidung der einzelnen Gruppen ausreichend groß sind, um davon auf Unterschiede in den zugehörigen Grundgesamtheiten schließen zu können. Der Name dieses statistischen Verfahrens rührt daher, dass letztendlich anhand der Prüfgröße getestet wird, ob die Variabilität zwischen den Gruppen größer ist als innerhalb der Gruppen. Wären diese Bedingungen erfüllt, so läge ein Indiz dafür vor, dass Unterschiede zwischen den Gruppen bestehen. Beispiele für die Anwendung der Varianzanalyse sind die Untersuchung der Wirksamkeit von Medikamenten in der Medizin und die Untersuchung des Einflusses von Düngemitteln auf den Ertrag von Anbauflächen in der Landwirtschaft.<sup>293</sup>

Bei der Varianzanalyse handelt es sich um ein statisches Verfahren, mit dessen Hilfe Mittelwerte von mehr als zwei Stichproben auf statistische Signifikanz geprüft werden können. Mittels der Effektkodierung werden die Mittelwertsunterschiede zwischen den einzelnen Gruppen bestimmt. Wichtigste Grundlage der Varianzanalyse ist die Quadratsummenzerlegung. Die Gesamtquadratsumme wird in zwei Teile aufgeteilt, die Quadratsumme zwischen den Gruppen und die Quadratsumme in den Gruppen. Über diese Quadratsummen wird mit Hilfe der Freiheitsgrad die jeweilige Varianz berechnet und mit dem F-Test auf Signifikanz geprüft. Ein signifikanter F-Wert besagt nur, dass mindestens ein bedeutsamer Mittelwertsunterschied besteht. Zwischen welchen Gruppen dieser Unterschied besteht, kann a posteriori durch den Duncan's Multiple Range Test, der in Proc ANOVA zur Verfügung steht, festgestellt werden.<sup>294</sup>

Mit einer einfaktoriellen ANOVA kann man, ähnlich wie mit einem t-Test<sup>295</sup> bei unabhängigen Stichproben, eine Hypothese überprüfen, nach der die Mittelwerte einer Variablen in verschiedenen Fallgruppen in der Grundgesamtheit gleich groß sind. Ein wesentlicher Unterschied der einfaktoriellen ANOVA gegenüber dem t-Test

---

<sup>293</sup> vgl. Fahrmeir et al. 2004, S. 518

<sup>294</sup> vgl. Fahrmeir et al. 2004, S. 518

<sup>295</sup> vgl. **Anmerkung:** Der t-Test ist ein parametrisches Testverfahren. Der Begriff des t-Tests umfasst mehrere Verfahren zur inferenzstatistischen Prüfung von Mittelwertsunterschieden bei ein oder zwei Stichproben (Leonhart 2004, S. 155)



bei unabhängigen Stichproben besteht jedoch zunächst einmal darin, dass man mit der ANOVA mehrere Mittelwerte miteinander vergleichen könne, während der t-Test nur den Vergleich zweier Mittelwerte ermöglicht. Die mit der Prozedur EINFAKTORIELLE ANOVA getestete Nullhypothese unterstellt, dass alle miteinander verglichenen Gruppenmittelwerte der Testvariablen in der Grundgesamtheit identisch seien. Neben diesem simultanen Vergleich aller Mittelwerte führt die Prozedur auch multiple Vergleichstests durch, mit denen identifiziert werden kann, zwischen welchen der betrachteten Gruppen signifikante Mittelwertunterschiede bestehen. Die einfaktorielle ANOVA ist eine *einfache* Varianzanalyse, da sie nur eine einzige Gruppierungsvariable, die auch als Faktor oder unabhängige bzw. erklärende Variable bezeichnet wird, zulässt. Ferner können Sie mit einer einfaktoriellen ANOVA lediglich unabhängige Gruppen miteinander vergleichen, also die Mittelwerte, die dieselbe Variable in unterschiedlichen Fallgruppen aufweist.<sup>296</sup>

Die Voraussetzungen der Varianzanalyse sind:<sup>297</sup>

- Mindestens Intervallskalenniveau und Normalverteilung innerhalb der Stichproben bei der abhängigen Variablen,
- Mindestens 20 Elemente pro Stichprobe (Gruppe, Zelle),
- Ähnlich stark besetzte Gruppen (Zellen),
- Varianzhomogenität<sup>298</sup> der abhängigen Variablen zwischen den einzelnen Stichproben.

#### 3.2.7.4.1 Einführung in die inferenzstatistische Hypothesenprüfung

Die inferenzstatistische Hypothesenprüfung hat die Aufgabe, anhand von Stichprobenkennwerten Hypothesen für die Population zu testen. Sie erlaubt Aussagen über Hypothesen in einer Population, aus welcher die untersuchten Stichproben gezogen wurden. Hierbei schätzt man über Stichprobenkennwerte Populationskennwerte und führt mit Hilfe dieser Schätzungen Hypothesenprüfungen durch.<sup>299</sup>

---

<sup>296</sup> vgl. Brosius 1998, S. 479

<sup>297</sup> vgl. Leonhart 2004, S. 274

<sup>298</sup> vgl. **Anmerkung:** Die Varianzen zweier unabhängiger Stichproben sind homogen (Leonhart 2004, S. 149)

<sup>299</sup> vgl. Leonhart 2004, S. 121

### 3.2.7.4.1.1 Hypothese

Unter Hypothese versteht man in der Statistik eine anhand empirischer Daten zu prüfende Annahme. Man unterscheidet als Gegensatzpaar Nullhypothese und Alternativhypothese. Die Grundlage der Hypothesenprüfung ist immer die Nullhypothese. Wenn die Gültigkeit der Nullhypothese sehr unwahrscheinlich wird, wird die Gültigkeit der Alternativhypothese angenommen. Da immer nur die Nullhypothese getestet wird, können nur bei einer sehr unwahrscheinlichen (= verworfen) Nullhypothese statistische Aussagen über die Alternativhypothese gemacht werden. Die formulierten Hypothesen sollten hierbei immer die inhaltliche Fragestellung bestmöglich wiedergeben.<sup>300</sup>

Die Nullhypothese lautet:  $\mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_p$ , d.h. alle Mittelwerte sind gleich. Die Hypothese wird mit einem F-Wert überprüft. Ist der F-Wert signifikant, so wird die Alternativhypothese angenommen, die bedeutet, dass nicht alle Mittelwerte gleich sind, d.h. mindestens 2 Mittelwerte unterscheiden sich.

#### 3.2.7.4.1.1.1 Nullhypothese ( $H_0$ )

In der Statistik ist die Nullhypothese eine Annahme über die Wahrscheinlichkeitsverteilung einer Zufallsvariablen, die als wahr betrachtet wird, bis sie durch einen statistischen Test widerlegt werden kann. Es besteht zwischen den Teilstichproben keine Mittelwertsunterschiede in der Population.<sup>301</sup>

Die Nullhypothese  $H_0$  beinhaltet die Gleichheit von Sachverhalten, etwa:

- dass zwischen Gruppen kein Unterschied besteht,
- dass ein bestimmtes Medikament keine Wirkung zeigt,
- dass zwischen Merkmalen kein Zusammenhang besteht,
- dass der in der Alternativhypothese formulierte Sachverhalt „null und nichtig“ ist.

#### 3.2.7.4.1.1.2 Alternativhypothese ( $H_1$ )

Als eine Alternativhypothese bezeichnet man in der Wissenschaft eine vorläufig durch Beobachtungen oder Überlegungen begründete Hypothese oder Vermutung, die zur Erklärung bestimmter Phänomene dient, und die der verbreiteten Annahme oder Vermutung bzgl. des bestimmten Phänomens widerspricht und insofern innovativ ist. Die Alternativhypothese besteht mindestens ein paarweiser

---

<sup>300</sup> vgl. Leonhart 2004, S. 123

<sup>301</sup> vgl. Leonhart 2004, S. 283

Mittelwertunterschied zwischen den untersuchten Populationen.<sup>302</sup> Bei der Alternativhypothese wird zwischen ungerichteter und gerichteter Hypothese unterschieden. Ungerichtete Alternativhypothesen werden davon ausgegangen, dass es lediglich einen Unterschied zwischen zwei Stichprobenkennwerten gibt. Es werden bei ungerichteten Alternativhypothesen keine Aussagen über die „Richtung“ des Unterschiedes, welche Gruppe möglicherweise höhere / niedrigere Kennwerte hat, gemacht.<sup>303</sup> Eine gerichtete Alternativhypothese gibt die „Richtung“ eines Unterschiedes zwischen Stichprobenkennwerten an.<sup>304</sup>

#### 3.2.7.4.1.2 Formulierung von statistischen Hypothesen

Die Formulierung von statistischen Hypothesen bei Mittelwertsvergleichen zwischen zwei Stichproben erfolgt gewöhnlich in standardisierter Form (Gl. 3.5, 3.6, 3.7 und 3.8).<sup>305</sup>

Definition der Standardformulierung:

Es sei  $\mu_1$  die mittlere (...) in der Population der (...) und es sei  $\mu_2$  die mittlere (...) in der Population der (...).

Dann gilt:

$$\text{➤ } H_0 : \mu_1 = \mu_2 \text{ (Nullhypothese)} \quad (3.5)$$

und

$$\text{➤ } H_1 : \mu_1 \neq \mu_2 \text{ (gerichtete Alternativhypothese)} \quad (3.6)$$

oder

$$\text{➤ } H_1 : \mu_1 < \neq \mu_2 \text{ (gerichtete Alternativhypothese)} \quad (3.7)$$

$$\text{➤ } H_1 : \mu_1 > \neq \mu_2 \text{ (entgegengesetzt gerichtete Alternativhypothese)} \quad (3.8)$$

bei einem  $\alpha$ -Niveau von 5 %.

---

<sup>302</sup> vgl. Leonhart 2004, S. 283

<sup>303</sup> vgl. Leonhart 2004, S. 123

<sup>304</sup> vgl. Leonhart 2004, S. 124

<sup>305</sup> vgl. Leonhart 2004, S. 124

### 3.2.7.4.1.3 $\alpha$ -Niveau

Das  $\alpha$ -Niveau legt in Abhängigkeit von Stichprobengröße und zugrundeliegender theoretischer Verteilung einen Grenzwert für ein Konfidenzintervall fest. Liegt der empirisch ermittelte Kennwert einer erhobenen Stichprobe außerhalb dieses Intervalls, so wird die Nullhypothese verworfen. Mit dem  $\alpha$ -Niveau wird sozusagen eine obere Grenze für den vom Untersucher tolerierten Fehler angegeben, mit dem eine Nullhypothese fälschlicherweise abgelehnt wird. Bei jeder inferenzstatistischen Auswertung besteht immer ein Restrisiko für eine Fehlentscheidung gegen eine gültige Nullhypothese ( $\alpha$ -Fehler). Somit bleibt immer eine Irrtumswahrscheinlichkeit erhalten. Die Irrtumswahrscheinlichkeit<sup>306</sup> wird im allgemeinen auf 5 % festgelegt. Bei manchen Fragestellungen sind die Konsequenzen eines  $\alpha$ -Fehlers zu gravierend, so dass dieses Niveau auf 1 % oder sogar 0,1 % festgelegt wird. Gelegentlich kann es sinnvoll sein, ein  $\alpha$ -Niveau von 10 % anzunehmen. Man spricht bei einem  $\alpha$ -Niveau von 5 % von einem signifikanten Ergebnis, bei einem  $\alpha$ -Niveau von 1 % von einem sehr signifikanten Ergebnis. Das  $\alpha$ -Niveau sollte vor der Untersuchung festgelegt und bei den statistischen Hypothesen erwähnt werden. Ein nachträgliches Verändern ist nicht zulässig. Somit darf das Niveau weder bei sehr großen gefunden Mittelwertsunterschieden herunter noch bei geringen Mittelwertsunterschieden herauf gesetzt werden. Liegt die Wahrscheinlichkeit für die Vereinbarkeit eines Mittelwertsunterschiedes unter der Bedingung der Nullhypothese unterhalb des  $\alpha$ -Niveaus, handelt es sich um einen signifikanten Unterschied.<sup>307</sup>

### 3.2.7.4.1.4 Ein- oder zweiseitige Testung

Analog zu gerichteter und ungerichteter Hypothese kann die Hypothesentestung auf zwei Arten erfolgen:

- Einseitige Testung = gerichtete Hypothese
- Zweiseitige Testung = ungerichtete Hypothese

---

<sup>306</sup> vgl. **Anmerkung:** Die Irrtumswahrscheinlichkeit  $\alpha$  ist die Wahrscheinlichkeit, mit der das Verfahren ein Intervall liefert, das den Parameter nicht enthält. Mit der Konfidenzwahrscheinlichkeit (Vertrauenswahrscheinlichkeit oder Sicherheitswahrscheinlichkeit)  $\gamma = 1 - \alpha$  liefert das Verfahren eine richtige Aussage, also ein Intervall, welches den unbekanntem Parameterwert tatsächlich enthält (Bosch 1998, S. 352)

<sup>307</sup> vgl. Leonhart 2004, S. 125

### 3.2.7.4.1.5 Fehler beim Hypothesentesten

Bei der Hypothesentestung können immer zwei verschiedene Fehler begangen werden. Der  $\alpha$ -Fehler (Fehler erster Art) ist eine Ablehnung einer richtigen Nullhypothese bei gültiger Nullhypothese. Der  $\beta$ -Fehler (Fehler zweiter Art) ist dagegen eine Beibehaltung einer falschen Nullhypothese bei gültiger Alternativhypothese. Während das  $\alpha$ -Niveau immer fest definiert wird, hängt die Größe des  $\beta$ -Fehlers von sieben Faktoren ab (Höhe des  $\alpha$ -Niveaus, ein- oder zweiseitige Testung, Homogenität der Merkmalsverteilung, Stichprobenumfang<sup>308</sup>, Effektstärke<sup>309</sup>, abhängige versus unabhängige Stichproben<sup>310</sup> und Teststärke<sup>311</sup> des Verfahrens). Diese Faktoren sind teils mit statistischen, teils versuchsplanerischen Maßnahmen a priori zu beeinflussen.

Die folgende Tab. 30 gibt einen Überblick zu den möglichen Entscheidungen und den damit verbunden Fehlern des Hypothesentestens.

**Tab. 30: Mögliche Entscheidung beim Hypothesentesten**

|                          | Entscheidung aufgrund der Stichprobenkennwerte |                     |
|--------------------------|--|---------------------|
|                          | Zugunsten der $H_0$                            | Zugunsten der $H_1$ |
| In Population gilt $H_0$ | richtig  | $\alpha$ -Fehler    |
| In Population gilt $H_1$ | $\beta$ -Fehler                                | richtig             |

### 3.2.7.4.2 Effektkodierung

Die Effektkodierung ist der Dummykodierung<sup>312</sup> sehr ähnlich. Der einzige Unterschied besteht darin, dass die Referenzkategorie mit -1 kodiert wird. Bei der Effektkodierung korrelieren die Kodiervariablen positiv miteinander, allerdings nur dann, wenn in allen Kategorien gleich viele Merkmalsträger vertreten sind (gleiche Gruppengröße).<sup>313</sup>

<sup>308</sup> vgl. **Anmerkung:** Ein optimaler Stichprobenumfang ist gegeben, wenn die Stichprobe gerade groß genug gewählt wird, um einen für die Praxis relevanten Effekt abzusichern (Leonhart 2004, S. 137)

<sup>309</sup> vgl. **Anmerkung:** Unter der Effektgröße, beziehungsweise Effektstärke, wird die Differenz zwischen Mittelwerten verstanden, welche an der Streuung relativiert wird (Leonhart 2004, S. 132)

<sup>310</sup> vgl. **Anmerkung:** Bei einer unabhängigen Stichprobe ist die Zuordnung eines Individuums zu einer Stichprobe nicht von der Zuordnung eines Individuums der anderen Stichprobe beeinflusst. Hat die Zusammenstellung einer Stichprobe einen Einfluss auf die Zusammensetzung einer zweiten Stichprobe, handelt es sich um eine abhängige Stichprobe (Leonhart 2004, S. 132)

<sup>311</sup> vgl. **Anmerkung:** Die Teststärke ist die Wahrscheinlichkeit, dass ein in der Population vorhandener Unterschied bei statistischer Testung entdeckt wird. Die Teststärke  $(1 - \beta)$  verläuft gegenläufig zum  $\beta$ -Fehler (Leonhart 2004, S. 130)

<sup>312</sup> vgl. **Anmerkung:** Die Dummykodierung ist anschaulich, weil man bei ihr erkennen kann, ob eine Person zu einer bestimmten Kategorie zugeordnet wird oder nicht (1 = ja, 0 = nein). Die Referenzkategorie (z.B. „konventionelle Therapie“) wird mit 0 kodiert. Allerdings sind die Kodiervariablen bei der Dummykodierung untereinander negativ korreliert (Leonhart 2004, S. 280)

<sup>313</sup> vgl. Leonhart 2004, S. 281

### 3.2.7.4.3 F-Test und F-Wert (*F-Value, ANOVA equivalent to the t-Value*)

Der F-Test ist ein statistischer Test, mit dessen Hilfe mit einer gewissen Konfidenz entschieden werden kann, ob zwei Stichproben aus unterschiedlichen Populationen sich hinsichtlich ihrer Varianz statistisch signifikant unterscheiden. Er dient damit unter anderem zur generellen Überprüfung von Unterschieden zwischen zwei statistischen Populationen. Als Prüfwert des F-Tests wird der F-Wert berechnet, welcher unter der Nullhypothese einer F-Verteilung<sup>314</sup> mit  $n_1$  und  $n_2$  Freiheitsgraden gehorcht.<sup>315</sup>

Der F-Wert ist der Quotient aus zwei Varianzschätzungen, der Schätzung der Varianz zwischen den unterschiedenen Gruppen und der Schätzung der Varianz innerhalb der Gruppen. Da die Zufallsverteilung von F bekannt ist, kann die Wahrscheinlichkeit ermittelt werden, mit der sich ein bestimmter F-Wert oder ein darüberliegender Wert auch dann ergeben kann, wenn die Mittelwerte der Gruppen in der Grundgesamtheit gleich sind. Beispiel für die Anwendung der Wahrscheinlichkeit (Signifikanz) wird gleich neben dem F-Wert mit  $p$  ( $Pr > F$ ) < 0,0001 angegeben. Bei einer so geringen Wahrscheinlichkeit von nahezu null wird die Nullhypothese, demzufolge kein Unterschied zwischen den Mittelwerten besteht, zurückgewiesen.<sup>316</sup>

### 3.2.7.4.4 *p*-Wert ( $Pr > F$ , *significant Probability*)

Der *p*-Wert ist definiert als Wahrscheinlichkeit, unter  $H_0$  den beobachteten Prüfgrößenwert oder einen in Richtung der Alternative extremeren Wert zu erhalten. Ist der *p*-Wert kleiner oder gleich dem vorgegebenen Signifikanzniveau  $\alpha$ , so wird  $H_0$  verworfen. Ansonsten behält man  $H_0$  bei. Da *p*-Werte Wahrscheinlichkeiten sind, nehmen sie stets Werte größer gleich 0 und kleiner gleich 1 an. Somit haben sie den Vorteil, dass sie die Vergleichbarkeit verschiedener Testergebnisse ermöglichen. Falls der *p*-Wert kleiner als oder gleich  $\alpha$  ist, lehne  $H_0$  ab. Ist der *p*-Wert größer als  $\alpha$ , behalte  $H_0$  bei. *p*-Werte liefern zu dem mehr Informationen als die ja-nein-Entscheidung bzgl. der Ablehnung der Nullhypothese. Man kann an ihnen ablesen, zu welchem Niveau der zugehörige Test die Nullhypothese gerade noch verworfen hätte. Diese letzte Interpretation birgt jedoch die Gefahr eines Missbrauchs insofern,

---

<sup>314</sup> vgl. **Anmerkung:** Die F-Verteilung oder Fisher-Verteilung ist die Wahrscheinlichkeitsverteilung einer stetigen Zufallsvariablen, die etwa bei der Varianzanalyse gebraucht wird, um festzustellen, ob die Grundgesamtheiten zweier Stichproben die gleiche Varianz haben (Leonhart 2004, S. 491)

<sup>315</sup> vgl. Leonhart 2004, S. 288

<sup>316</sup> vgl. Brosius 1998, S. 485

als zunächst der Test durchgeführt, also der  $p$ -Wert berechnet werden kann und dann das Signifikanzniveau festgelegt wird, und zwar gerade so, dass man  $H_0$  noch ablehnen kann. Dies setzt natürlich die gesamte dahinterstehende Testtheorie außer Kraft, was anhand der Diskussion der Gütefunktion deutlich wird.<sup>317</sup>

### **Interpretation des Testergebnisses/statistische Entscheidung:**

Der Signifikanzwert = die Irrtumswahrscheinlichkeit beim Verwerfen der  $H_0$ :

- $\leq 0,01$  (1 %), 0,05 (5 %), 0,10 (10 %), 0,20 (20 %) und 0,40 (40 %) → Verwerfen von  $H_0$  und Annahme  $H_1$
- $> 0,01$  (1 %), 0,05 (5 %), 0,10 (10 %), 0,20 (20 %) und 0,40 (40 %) →  $H_0$  wird beibehalten.

#### *3.2.7.4.5 Duncan-Test*

Der Test führt ähnlich wie der Student-Newmann-Keuls-Test<sup>318</sup> einen stufenweisen Vergleich auf der Basis der Student-Verteilung durch.<sup>319</sup> Bei diesem Test werden paarweise Vergleiche angestellt, deren schrittweise Reihenfolge identisch ist mit der Reihenfolge, die beim Student-Newman-Keuls-Test verwendet wird. Abweichend wird aber ein Sicherheitsniveau für die Fehlerrate der zusammengefassten Tests statt einer Fehlerrate für die einzelnen Tests gesetzt. Es wird die studentisierte Spannweiten-Statistik verwendet.

#### *3.2.7.4.6 Statistische Auswertung*

Die Messungen wurden für die Untersuchungen zum Einfluss der verwendeten 4 Roggenmehle auf Wasseraufnahme als 3fach-Bestimmungen durchgeführt. Für die durchgeführten Versuche wurde ein Vertrauensbereich von 95 % standardmäßig festgelegt, woraus ein Signifikanzniveau ( $p$ )  $p < 0,05$  resultiert und die Aussage mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von  $< 5$  % erfolgt.

Bei einem Signifikanzniveau von  $p < 0,01$  wird das Ergebnis als hochsignifikant bezeichnet, die Irrtumswahrscheinlichkeit beträgt noch höchstens 1 %. Das Ergebnis wird als signifikant bezeichnet, wenn das Signifikanzniveau  $p < 0,05$  beträgt, die Irrtumswahrscheinlichkeit also kleiner 5 % ist. Die Signifikanzniveaus von über 0,05

<sup>317</sup> vgl. Fahrmeir et al. 2004, S. 420

<sup>318</sup> vgl. **Anmerkung:** Auf der Basis der Student-Veteilung werden paarweise Vergleiche zwischen den Gruppen durchgeführt (Brosius 1998, S. 491)

<sup>319</sup> vgl. Brosius 1998, S. 492

auch als signifikant bezeichnen. Je kleiner der vorgegebene Signifikanzwert ist, desto weniger Mittelwertunterschiede werden als signifikant ausgewiesen.

### Beispiel:

```

The SAS System

The ANOVA Procedure

Class Level Information

Class      Levels  Values
Roggenmehle 4    II III IV V

Number of observations  12

```

Dependent Variable: Wasseraufnahme

| Source          | DF | Sum of Squares | Mean Square | F Value | Pr > F |
|-----------------|----|----------------|-------------|---------|--------|
| Model           | 3  | 24.06250000    | 8.02083333  | 7.51    | 0.0103 |
| Error           | 8  | 8.54666667     | 1.06833333  |         |        |
| Corrected Total | 11 | 32.60916667    |             |         |        |

| R-Square | Coeff Var | Root MSE | Wasseraufnahme Mean |
|----------|-----------|----------|---------------------|
| 0.737906 | 1.380744  | 1.033602 | 74.85833            |

| Source      | DF | Anova SS    | Mean Square | F Value | Pr > F |
|-------------|----|-------------|-------------|---------|--------|
| Roggenmehle | 3  | 24.06250000 | 8.02083333  | 7.51    | 0.0103 |

Duncan's Multiple Range Test for Wasseraufnahme

NOTE: This test controls the Type I comparisonwise error rate, not the experimentwise error rate.

|                          |                                  |
|--------------------------|----------------------------------|
| Alpha                    | 0.05 (standardmäßig eingestellt) |
| Error Degrees of Freedom | 8                                |
| Error Mean Square        | 1.068333                         |

| Number of Means | 2     | 3     | 4     |
|-----------------|-------|-------|-------|
| Critical Range  | 1.946 | 2.028 | 2.074 |

Means with the same letter are not significantly different.

| Duncan Grouping | Mean    | N | Roggenmehle |
|-----------------|---------|---|-------------|
| A               | 75.9667 | 3 | III         |
| A               | 75.6667 | 3 | II          |
| A               | 75.3667 | 3 | IV          |
| B               | 72.4333 | 3 | V           |



**Interpretation:**

Rechts stehen die Ausprägungen der Gruppenvariablen, also die verwendete Roggenmehle. Die Reihenfolge richtet sich nach den Gruppenmittelwerten, absteigend sortiert. Ganz links befindet sich eine Spalte namens „Duncan Grouping“. Die Gruppen, die nicht signifikant ( $p < 0,05$ ) verschieden sind, bekommen den gleichen Buchstaben.

Mittelwert $\pm$ STABW( $n=3$ ). Mittelwerte mit den gleichen Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant.

Die Wasseraufnahmen der Roggenmehle III, II, IV unterscheiden sich nicht signifikant.

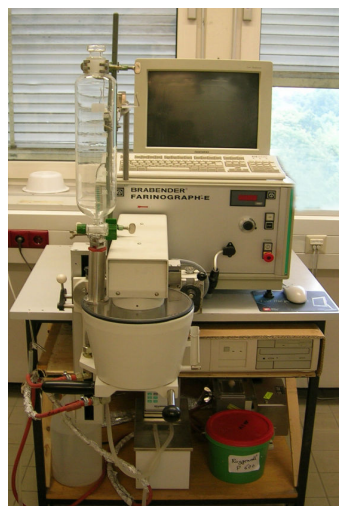
Die Wasseraufnahmen der Roggenmehle III, II, IV sind signifikant höher als Roggenmehl V.

### 3.3 Planetenmischer Typ P 600

Der Planetenmischer Typ P 600 (Abb. 21) ist eigentlich zur Untersuchung verschiedener Eigenschaften von Pulvern wie z. B. der Flüssigkeitsabsorption und der Höhe der Weichmacheraufnahme, aber auch zur Viskositätsbestimmung fließfähiger Massen konstruiert worden.<sup>320</sup> Bei den Untersuchungen bzw. Messungen eines Mediums ist das auftretende Drehmoment<sup>321</sup> Ausdruck des rheologischen Verhaltens. Drehmomentsänderungen bei der Untersuchung, d.h. während des Misch- und Knetvorgangs, können durch folgende Faktoren hervorgerufen werden:<sup>322</sup>

- Plastifiziervorgänge
- Aufheizen der Probe durch Dissipation<sup>323</sup> (Energiedissipation)
- Destruktion<sup>324</sup> bzw. Destruktionsvorgänge der Probensubstanz als Folge thermischer und/ oder mechanischer Belastung
- Vernetzungs- bzw. Strukturierungsprozesse mit/ ohne Zugabe reaktiver Substanzen oder als Folge thermischer und mechanischer Belastungen.<sup>325</sup>

Diese Möglichkeiten der Auswertung von viskosen bzw. plastischen Medien waren Anlass, die Eignung des P 600 für Konsistenzmessungen bei Roggenteigen zu testen.



**Abb. 21: Planetenmischer P 600**

<sup>320</sup> vgl. Brabender 1994, S. 6f

<sup>321</sup> **Definition:** Unter einem Drehmoment versteht man das Produkt aus einer Kraft und dem senkrechten Abstand ihrer Wirkungslinie vom Drehpunkt. SI-Einheit des Drehmomentes: [M] = Newtonmeter (N x m) (vgl. Kuchling 2001, S. 51)

<sup>322</sup> vgl. Brabender 1999, S. 18

<sup>323</sup> **Definition:** Dissipation bezeichnet den Übergang einer Energieform in Wärmeenergie (vgl. Drosdowski et al. 1996, S. 219)

<sup>324</sup> **Definition:** Destruktion = zersetzend, zerstörend (vgl. Drosdowski et al. 1996, S. 210)

<sup>325</sup> vgl. Brabender 1999, S. 18

### 3.3.1 Antrieb

Als Antriebseinheit<sup>326</sup> des Planetenmischers Typ P 600 diene bei den Versuchen zu dieser Arbeit der Farinograph-E, der ebenfalls von der Firma Brabender hergestellt wird. Die Antriebskraft wird über eine Scherstiftkupplung auf eine horizontal verlaufende Antriebswelle übertragen (Abb. 22 und 23). Damit eine Übertragung der Kraft auf ein ebenfalls horizontal gelagertes Planetengetriebe erfolgt, wird mittels zwei ineinander greifender Kegelräder eine weitere, senkrecht verlaufende, Rotorwelle angetrieben (Abb. 24).

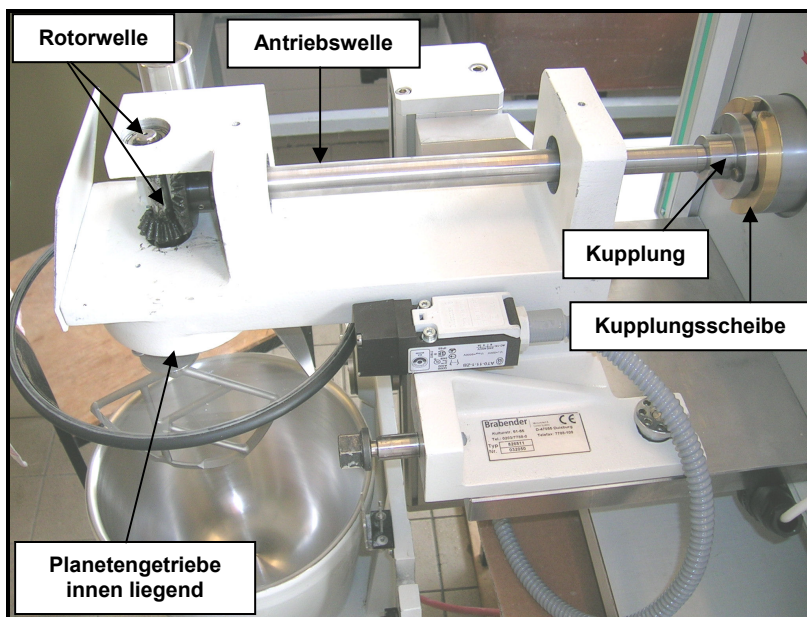


Abb. 22: Gesamter Antrieb

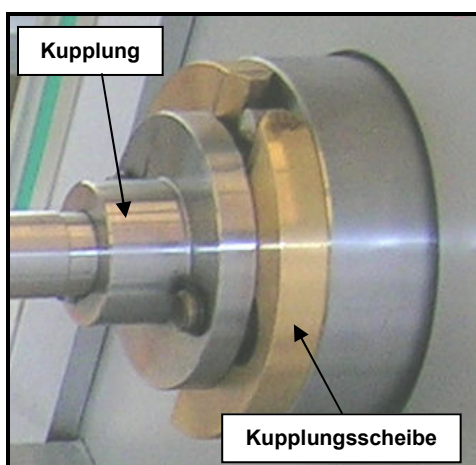


Abb. 23: Kupplung

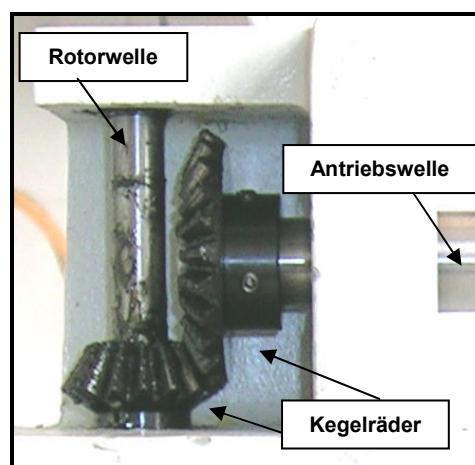
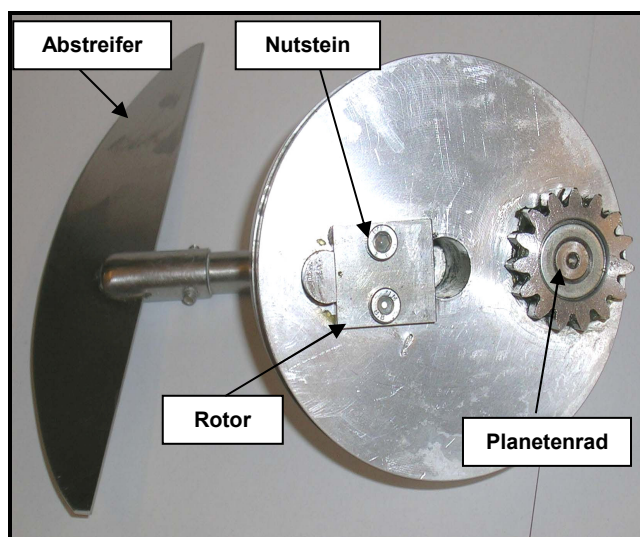


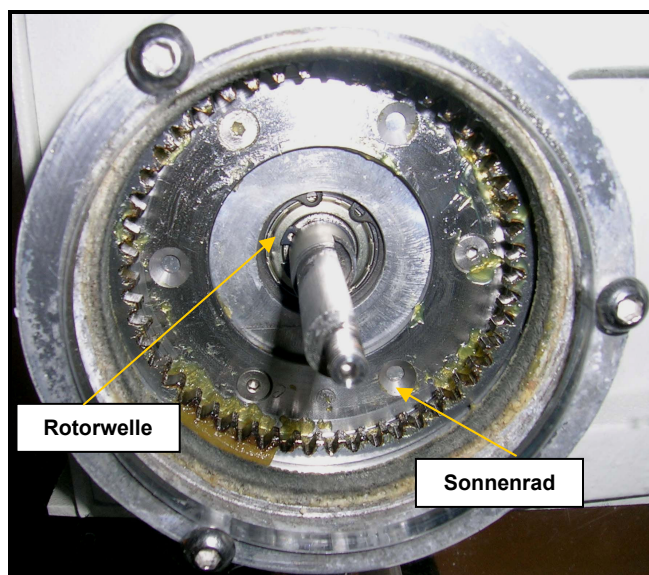
Abb. 24: Wellen/ Kegelräder

<sup>326</sup> **Anmerkung:** Laut Herstellerangaben können als Antrieb für den P 600 die ebenfalls von der Firma Brabender hergestellten Geräte Plasti-Corder, Plastograph oder eine andere geeignete Antriebseinheit dienen. (vgl. Brabender 1994, S. 10) Bei den experimentellen Versuchen diene der Farinograph-E als Antrieb.

Das Planetengetriebe des P 600 funktioniert wie folgt: Ein Rotor, an dessen Unterseite sich ein fest montierter Abstreifer (Abstreifblatt) sowie der Bajonettverschluss für den Giterrührer (K-Rührer) befindet, wird über die bereits erwähnte Rotorwelle in Bewegung gesetzt. Zur Arretierung der Welle dient ein Nutstein. Ein kleines, an der Rotoroberseite befindliches, Planetenrad ist formschlüssig mit einem innen verzahnten Sonnenrad verbunden (Abb. 25 und 26). Setzt sich der Rotor in Bewegung, wird das Planetenrad in entgegengesetzter Richtung gedreht und ermöglicht somit den Antrieb des K-Rührers (Planetenbewegung). Eine Geschwindigkeitsregulierung erfolgt über Drehzahl-einstellungen am Farinographen.



**Abb. 25: Rotor, Planetenrad, Nutstein und Abstreifer**



**Abb. 26: Rotorwelle und Sonnenrad**

Ursprünglich war das kleinere Kegelrad (Abb. 24) nur durch den Anpressdruck einer kleinen Madenschraube auf der Rotorwelle gesichert.

Ignatowitz<sup>327</sup> beschrieb, dass Planetenmischer für leichtere, salben- bis pastenartige Massen eingesetzt wird. Im fahrbaren Mischkessel des Planetenmischers rotieren ein, zwei oder drei senkrecht angeordnete Mischwellen mit Mischorganen. Sie drehen sich sowohl um ihre eigene Achse, als auch planetenartig um die zentrale Achse des Mischkessels. Sie durchmischen die Masse intensiv und streifen an der Wand anhaftende Masse ab.

### 3.3.2 Knet-, Rühr- und Mischwerkzeuge

Zum Mischen, Rühren und Kneten dienen der Gitterrührer bzw. K-Rührer oder Kenwood-Knethaken<sup>328</sup> (Abb. 27 und 28).



**Abb. 27: K-Rührer**



**Abb. 28: Kenwood-Knethaken**

Je nach Festigkeit und Viskosität des Mediums kann zwischen diesen beiden Knetwerkzeugen gewählt werden, wobei es ratsam ist, bei teigartigen Medien den Knethaken zu bevorzugen, um ein optimales Vermischen bzw. Kneten gewährleisten zu können. Während des Misch- oder Knetprozesses bewegt sich der Knethaken entlang der Kesselwand um die eigene Achse. Der entgegengesetzt laufende Abstreifer bringt das Mischgut von der Behälterwand immer wieder in den

<sup>327</sup> vgl. Ignatowitz 2003, S. 222

<sup>328</sup> **Anmerkung:** Die Bezeichnung Kenwood-Knethaken beruht auf der Tatsache, dass dieser in Bezug auf seine Form, dem Knethaken einer Kenwood-Küchenmaschine entspricht.

Arbeitsbereich des Mischarms, um Materialablagerungen an der Kesselwand zu verhindern.

Die Konsistenzänderungen des Teiges während der Konsistenzmessung beim Knetvorgang werden in einem Kraft-Zeit-Diagramm in Form einer Konsistenzkurve (Fließkurve) dargestellt. Somit können u. a. Aussagen über aufgewendete Drehmomente getroffen werden.

### 3.3.3 Rühr- und Knetkessel

Der P600 ist mit einem doppelwandigen Knetkessel (Knetkammervolumen 2500 cm<sup>3</sup>) ausgestattet.<sup>329</sup> Die Innenwandung besteht aus Edelstahl.

Durch das Lösen zweier Schwenkbügel besteht die Möglichkeit, das Gefäß auf einer fest installierten Laufschiene abzusenken. Zudem ist ein seitliches Abkippen des Bottichs um 90° möglich.<sup>330</sup> Dieses kann hilfreich beim Befüllen, Entleeren oder Säubern sein. Um Spritzverluste des Mediums beim Mischen und Kneten zu verhindern, verfügt der Kessel über eine ebenfalls fest montierte, durchsichtige Kunststoffabdeckung, die durch eine Gummidichtung ein festes Verschließen des Gefäßes garantiert. Ein an der Abdeckung montierter Einfüllstutzen ermöglicht eine Befüllung oder die Zugabe eines Additivs während des Mischprozesses.

### 3.3.4 Temperatursteuerung

Die Temperierung des doppelwandigen Knetbehälters erfolgt mit Hilfe von Wasser über einen Umlaufthermostaten. Hierzu verfügt der Kessel über Temperieranschlüsse (Zulauf/ Ablauf). Die Temperatur innerhalb der Gefäßwandung des Mischgefäßes (Manteltemperatur) wird über ein Winkelthermometer gemessen, dessen Fühlerspitze in die rechte Seite des Behälters eingeschoben werden kann. Zur Erfassung der Massentemperatur ist es möglich, ein Thermoelement am Boden des Mischbottichs einzuschrauben.<sup>331</sup> Da nach Angaben der Firma Brabender (W. Sietz) eine Umrüstung des Farinographen-E zu erfolgen hätte, um die gemessenen Daten des Thermoelementes zu registrieren, wurde auf diese Art der permanenten Temperaturmessung verzichtet. Die Gewindeöffnung zur Befestigung des Temperaturfühlers wurde durch einen, mit der Kesselinnenwand bündig abschließenden, PVC-Stift verschlossen, um ein Austreten des zu untersuchenden

---

<sup>329</sup> vgl. Brabender 1994, S. 10f

<sup>330</sup> vgl. Brabender 1994, S. 13

<sup>331</sup> vgl. Brabender 1994, S. 10

Mediums zu verhindern. Die Teigtemperatur wurde letztlich vor und nach einer Messung mit einem Digitalthermometer (mit Einsteckfühler) der Firma SIKA bestimmt. Ebenso erfolgte eine ständige Kontrolle der Manteltemperatur mit diesem Thermometer, da es gegenüber dem o. g. Winkelthermometer eine höhere Messgenauigkeit aufweist.



### 3.4 Die experimentellen Backversuche

Mit Hilfe des P 600 wurden Roggenteige unter weitestgehend standardisierten Bedingungen aus 600 g Mehl (angepasst auf 14 % Mehlfeuchte) hergestellt und ihre Teigkonsistenz während der Misch- und Knetphase registriert. Um hochwertige, gut gelockerte Roggenbrote herstellen zu können, bedarf es stets gleichmäßiger Teigeigenschaften nach Beendigung des Misch- und Knetvorganges. Hierzu wurde die notwendige Wasseraufnahme von verschiedenen Roggenmehlen mit dem P 600 ermittelt.

Ziel war es, die im P 600 ermittelte Wasseraufnahme als Grundlage für die Herstellung von qualitativ hochwertigen Roggenbrot zu verwenden. Letztlich sollten Qualitätsmerkmale wie eine gleichmäßige und gut gelockerte Krume den Beweis liefern, dass die ermittelte Wasseraufnahme im P 600 als Basis für die Festlegung der Teigausbeute von Roggenteigen dienen kann.

#### 3.4.1 Grundrezeptur und Teigbereitung des Sauerteiges

Für die Backversuche wurde aus dem jeweiligen Roggenmehl, welches einer Mehlfeuchte von 14 % anzupassen war, ein Detmolder-Einstufen-Sauerteig nach folgenden Parametern hergestellt (Tab. 31):

**Tab. 31: Grundrezeptur Sauerteig**

| Detmolder Einstufenführung  |            |
|-----------------------------|------------|
| Teigausbeute [TA]           | 200        |
| Anstellgutmenge [%]         | 10         |
| Teigtemperatur [°C]         | 30 °C → 24 |
| Stehzeit/ Reifezeit [Std.]  | 20         |
| Angestrebter Säuregrad [S°] | 17 - 18    |

Um die gewünschte Teigtemperatur des Sauerteiges von durchschnittlich 30 °C zu erhalten, war es erforderlich das Schüttwasser mit Hilfe folgender Formel zu temperieren:

|   |
|---|
| Zugustemperatur = (Gewünschte Teigtemperatur x 2 ) abzüglich Mehltemperatur |
|---|



Die Misch- bzw. Knetzeit des Sauerteiges betrug im Hubknetter 3,5 Minuten. Anschließend reifte der Sauerteig in einem Plastikeimer mit Deckel bei einer durchschnittlichen Raumtemperatur von 24 °C.

### 3.4.2 Säuregradmessung des ausgereiften Sauerteiges

Vor der eigentlichen Roggenteigbereitung erfolgte nach Ablauf der Sauerteigreifezeit eine Säuregradmessung. Diese Maßnahme erfolgte, um sicher zu stellen, dass stets Säuremengen zwischen 17 - 18 Säuregraden vorlagen und somit eine Versäuerung von 30 % Roggenmehles gerechtfertigt war. Die Säuregradmessung wurde nach folgendem Schema durchgeführt: Eine von der Teigausbeute des Sauerteiges abhängige Menge (hier TA 200) von 10,00 g wird in ein Becherglas eingewogen<sup>332</sup> und unter Zusatz von 5 ml säurefreiem Aceton kräftig verrieben. In einem Messzylinder werden anschließend 95 ml destilliertes Wasser abgemessen und ebenfalls in das Becherglas überführt. Mit Hilfe eines Magnetrührers (1000 U/min) wird diese Suspension einem ständigen Rührprozess ausgesetzt, um eine stetige Feinstverteilung der Teilchen zu gewährleisten. Eine Einstabmesskette wird in das Glas gestellt und fixiert, so dass auf dem pH-Meter der aktuelle pH-Wert abzulesen ist. Aus einer Bürette wird im Anschluss vorsichtig Natronlauge in die Flüssigkeit titriert bis einen pH-Wert von 8,5 angezeigt wird. Danach wird die aufgeschlammte Probe weitere 5 Minuten gerührt und der inzwischen abgefallene pH-Wert erneut auf 8,5 eingestellt. Dieser Wert sollte mindestens eine Minute konstant bleiben. Der gesamte Verbrauch an Natronlauge in Milliliter gibt unmittelbar den Säuregrad an. Alle pH-Wert-Messungen bzw. S°-Bestimmungen wurden stets als Doppelversuch durchgeführt.

---

<sup>332</sup> **Anmerkung:** Bei Teigen wird die Höhe der Einwaage von der Teigausbeute des Teiges bestimmt. Für die Bestimmung des Säuregrades wird von einer Mehlmenge von 5 g bei 10 g Teig (TA 200) ausgegangen. Bei anderen Teigausbeuten verringert oder erhöht sich der Feststoffanteil. Deshalb muss die Teigausbeute durch die Teigeinwaage entsprechend korrigiert werden. Zum Beispiel TA 190 → 9,50 g Teigeinwaage (vgl. Freund 1995, S. 70).

### 3.4.3 Enzymvormischungen

Das Abwiegen der Enzympräparate, entsprechend den vorgegebenen Mischungsverhältnissen für eine Gesamtmehlmenge der Roggenbrotteige von je 2500 g, würde auf Grund der geringen Mengen zu großen Ungenauigkeiten führen. Um dieses Problem zu umgehen, wurde grundsätzlich 1 g eines Präparates mit 499 g Roggenmehl in einem Homogenisator gemischt, so dass letztlich ein Enzymmehl bzw. eine Enzymvormischung vorlag. Die Gesamtmehlmenge eines Roggenbrotteiges setzte sich dann gemäß der zu dosierenden Enzymmenge aus der Enzymvormischung und dem entsprechend zu ergänzenden Anteil an reinem Roggenmehl zusammen. Die Mischzeit des Homogenisators betrug 2,5 Minuten bei 316 U/ min. Während dieser Zeit erwärmte sich das Mehl nur um durchschnittlich 3 °C, so dass eine Hitzeschädigung der Enzyme ausgeschlossen werden konnte.

Die folgende Tab. 32 zeigt eine Übersicht der verwendeten Präparate und die vom Hersteller empfohlenen Höchstmengen, welche für die Teigbereitung eingesetzt wurden.

**Tab. 32: Verwendete Höchstmengen der Enzympräparate in den Brotteigen**

| Teig     | Enzympräparat                        | Höchstmenge auf 100 kg Mehl |
|----------|--------------------------------------|-----------------------------|
| <b>A</b> | Standard ohne Enzyme                 | -                           |
| <b>B</b> | Alphamalt LP 12066<br>(Lipase)       | 10,0 g                      |
| <b>C</b> | Grindamyl A 10000<br>(Amylase)       | 2,5 g                       |
| <b>D</b> | Grindamyl MAX-LIFE E 16<br>(Amylase) | 20,0 g                      |
| <b>E</b> | Alphamalt H 8043<br>(Hemicellulase)  | 17,0 g                      |
| <b>F</b> | Alphamalt TTC<br>(Hemicellulase)     | 15,0 g                      |
| <b>G</b> | Veron HF<br>(Xylanase)               | 15,0 g                      |
| <b>H</b> | Veron Spezial<br>(Xylanase)          | 20,0 g                      |

### 3.4.4 Grundrezeptur, Teigbereitung, Teigaufarbeitung und Backprozess

Für die Backversuche wurden die acht Roggenmehle (II, III, IV, V, VI, VII, VIII, IX und X) ebenfalls einer Mehlfuchte von 14 % angepasst. Der Roggenbrotteig wurde nach folgender Grundrezeptur bereitet (Tab. 33).

**Tab. 33: Grundrezeptur Roggenbrotteig (freigeschoben)**

|   |  |
|---|--|
| <b>Gesamtmehlmenge [g]</b>                            | 2500   |
| <b>Teigausbeute [TA]</b>                              | II, III, IV, V, VI, VII, VIII, IX und X  |
| <b>Versäuerungshöhe [%]</b><br>(Sauerteigbackversuch) | 30   |
| <b>Milchsäure [ml]</b><br>(Milchsäurebackversuch)     | Type 997 → 20,0<br>Type 1150 → 22,5<br>Type 1370 → 25,0<br>Vollkornmehl → 27,5 |
| <b>Hefe u. Salz [%]</b>                               | 2  |
| <b>Knetzeit [min]</b>                                 | 10   |
| <b>Teigtemperatur [°C]</b>                            | 30   |
| <b>Teigruhe [min]</b>                                 | 15   |
| <b>Teigeinlage [g]</b>                                | 1150   |
| <b>Stückgare [min]</b>                                | 50   |
| <b>Backtemperatur [°C]</b>                            | Oberhitze: 260 → 220<br>Unterhitze: 240 → 200                                  |
| <b>Backzeit [min]</b>                                 | 50   |

Um die angestrebte Teigtemperatur von 30 °C zu erreichen, wurde die unter 3.4.1 dargestellte Formel zur Errechnung der Zugustemperatur verwendet.

#### 3.4.4.1 Teigausbeute

Bezüglich der in der Rezeptur dargestellten TA ist anzumerken, dass es sich hier um die optimal ermittelte Teigkonsistenz mittels des P 600 bei Roggenteigen aus Mehl und Wasser ohne weitere Zutaten handelt. Da bei weiteren Messungen mit dem P600 zusätzliche Salz- und Hefemengen sowie einer Sauerteigzusatz (enzymatische Abbauvorgänge etc.) zu Konsistenzminderungen führten, wurde die TA bei den Roggenteigen für die Brotbackversuche etwa 10 % gemindert. Ferner hatten Vorversuche in Bezug auf die Brotbackversuche gezeigt, dass bei der Schüttwasserreduzierung extrem feste Teige das Resultat waren. Die Teigoberfläche

war in ihrer Beschaffenheit als „etwas trocken“ bis „trocken“ einzustufen. Die Backergebnisse, die aus diesen Teigen hergestellten Brote, waren nicht befriedigend. Folgende Qualitätsmängel waren hier teilweise zu registrieren:

- runde Brotform
- geringe Lockerung und dichte Porung

Es bleibt festzuhalten, dass die optimal ermittelte Teigkonsistenz mittels des P600 bei Roggenteigen aus Mehl und Wasser ohne weitere Reduktion stets erforderlich ist.

#### 3.4.4.2 Knetzeit und Teigruhe

Die in der Grundrezeptur angegebenen Knetzeiten von 10 Minuten und die Teigruhezeiten von 15 Minuten dienen der optimalen Verquellung der Mehlbestandteile und somit der verbesserten Frischhaltung. Ebenfalls ist zu erwarten, dass diese Maßnahmen sich positiv auf das Porenbild auswirken. Während der Teigruhezeiten wurde der Roggenteig mit einer Plastikfolie abgedeckt, um einer Auskühlung und Teighautbildung entgegenzuwirken.

#### 3.4.4.3 Teigaufarbeitung und Stückgare

Es wurde eine Teigeinlage von 1150 g gewählt, um bei einem zu erwartenden Backverlust von ca. 13 % drei Brote mit einem Endgewicht von 1000 g zu erhalten. Die lang aufgearbeiteten Teiglinge wurden in zuvor mit Kartoffelstärke bestäubte Gärkörbe gelegt und bei folgenden Bedingungen auf Gare gestellt:

- Stückgarzeit: 50 Minuten
- Gärraumtemperatur: 32 °C
- rel. Feuchte 80 %

#### 3.4.4.4 Vorbereitung der Teiglinge für den Backprozess

Nach Beendigung der Stückgare wurden die Teiglinge auf einen Abziehapparat überführt und überschüssige Kartoffelstärke mit einem Tischbesen abgefegt. Die Oberfläche der Teiglinge wurde zudem mit einer „Igelwalze“ gestippt und mit Wasser abgestrichen.

#### 3.4.4.5 Backprozess

Die Backtemperaturen sowie Backdauer und die Schwadeneinwirkzeiten gliedern sich im Detail wie folgt auf:

Die Gesamtbackdauer beträgt 50 Minuten. 260 °C Oberhitze und 240 °C Unterhitze werden für eine Dauer von 5 Minuten gehalten. Danach erfolgt ein Abfall der Oberhitze auf 220 °C und der Unterhitze auf 200 °C.

Die Schwadengabe erfolgt verzögert nach einer Sekunde. Die Gesamtdauer der Schwadengabe beträgt 7 Sekunden. Die Öffnung des Zuges wird nach 5 Minuten zu 80 % vorgenommen.

Nach Abschluss des Backprozesses wurden die Brote zum Auskühlen auf Holzroste gelegt und anschließend in Plastiktüten verpackt.

#### 3.4.5 Säuregradmessung der Brote

Nach einer Lagerung von ca. 20 Stunden bei Raumtemperatur (in Plastikbeuteln) erfolgte eine Säuregradbestimmung der Brote nach festgelegtem Schema:

Aus der Krumenmitte des mittleren Teils eines Brotes sind 10 g Probenmaterial abzuwiegen und in einer Reibschale unter Zusatz von 5 ml säurefreiem Aceton kräftig zu verreiben. In einem Messzylinder werden 95 ml destilliertes Wasser abgemessen. Etwa die Hälfte wird in die Reibschale gegeben und eine Aufschlämmung mit der zerriebenen Brotkrume hergestellt. Das restliche Wasser dient zum Überführen der Aufschlämmung aus der Reibschale in das Becherglas. Die Suspension ist mit einem Magnetrührer ständig zu verrühren. Mit einer zuvor kalibrierten Glaselektrode kann nun der pH - Wert abgelesen werden. Die Suspension wird unter ständigem Rühren durch Zugabe von Natronlauge bis zu einem pH-Wert von 8,5 titriert und anschließend weitere 5 Minuten gerührt. Der inzwischen abgefallene pH-Wert muss nun erneut auf 8,5 eingestellt werden. Dieser Wert sollte mindestens eine Minute konstant bleiben.

Der gesamte Verbrauch an Natronlauge in ml gibt unmittelbar den Säuregrad an.

#### 3.4.6 Bestimmung des Gebäckvolumens

Das Gebäckvolumen wurde ebenfalls am darauf folgenden Tag (nach 20 Std.) mit dem Volumenmessgerät nach Neumann/ Doose bestimmt. Die Messung erfolgt nach dem Prinzip der Verdrängung nach folgendem Schema:

Ein Messbehälter wird vor der Messung kalibriert. Dazu wird dieser Behälter mit Rübsamen im Überschuss gefüllt. Durch ein planes Abziehen des Zylinders ist nun eine definierte Menge Rübsamen vorhanden, die für die Messung notwendig ist.

Die Rübsamen werden in einen über dem Messzylinder befindlichen Einlauftrichter gegeben. Anschließend wird das Brot in den leeren Messbehälter gelegt und dieser mit der definierten Menge Rübsamen mittel Einlauftrichter aufgefüllt. Nach dem vollständigen Befüllen des Behälters laufen die restlichen Rübsamen in eine Auffangschale. Die angehäuften Rübsamen (auf dem Messbehälter) werden wieder plan abgestrichen. Die durch das Volumen des Brotes verdrängten Rübsamen werden in einen Messzylinder gefüllt. Das Gebäckvolumen kann nun in ml abgelesen werden.

### **3.4.7 Bestimmung von Form, Bräunung, Lockerung, Porengleichmäßigkeit, Krumenelastizität und Geschmack**

Nach einer Lagerzeit der Brote von 20 Stunden wurden folgende sensorische Merkmale mit entsprechenden Merkmalsausprägungen bewertet (Tab. 34):

**Tab. 34: Sensorische Beurteilungskriterien**

| <b>Sensorisches Merkmal</b> | <b>Merkmalsausprägung</b>   |
|-----------------------------|---|
| <b>Form</b>                 | gut, etwas flach, flach   |
| <b>Bräunung</b>             | schwach, etwas schwach, normal, noch normal, etwas kräftig, kräftig                     |
| <b>Krumenlockerung</b>      | gut, noch gut, befriedigend, noch befriedigend, mangelhaft                              |
| <b>Porengleichmäßigkeit</b> | gleichmäßig, ziemlich gleichmäßig, ungleichmäßig  |
| <b>Krumenelastizität</b>    | gut, noch gut, befriedigend, noch befriedigend, mangelhaft, noch mangelhaft, ungenügend |
| <b>Geschmack</b>            | einwandfrei oder Mangelbezeichnung  |

## 4 Untersuchungen und Ergebnisse

Bei der Beschreibung der Ergebnisse werden die Untersuchungen zum Einfluss der Prozess- und Rezepturparameter einschließlich der Backversuche gezeigt.

### 4.1 Gründe für die Festlegung der Versuchsparameter

Es waren in dieser Arbeit zahlreiche Versuche erforderlich, um die optimalen Versuchsparameter für die Untersuchung zum Einfluss der Prozess- und Rezepturparameter zu ermitteln.

Die folgenden Versuchsparameter wurden aus den Vorversuchen mit dem Roggenmehl I der Type 1150 zur Optimierung der Versuchsparameter vor der eigentlichen Untersuchung gewonnen. Die Ergebnisse der Untersuchungen, werden in Tab. 35 dargestellt.

**Tab. 35: Untersuchung des verwendeten Roggenmehls I**

| Roggenmehl | TEZ <sup>1</sup> [min] | KA <sup>2</sup> [Nm] | WA <sup>3</sup> [%] | TT <sup>4</sup> [°C] | Energie [kJNm] |
|------------|------------------------|----------------------|---------------------|----------------------|----------------|
| I          | 4:24 ± 16,59           | 1,53 ± 0,24          | 75,7 ± 0,77         | 31,0 ± 0,10          | 29,2 ± 0,42    |

Mittelwert±STABW(n=7).

<sup>1</sup>TEZ = Teigentwicklungszeit, <sup>2</sup>KA = Konsistenzabfall, <sup>3</sup>WA = Wasseraufnahme, <sup>4</sup>TT = Teigtemperatur

#### 4.1.1 Werkzeug: Knethaken

Für die Messungen war es notwendig, den speziell angefertigten Kenwood-Knethaken zu verwenden, da Vorversuche gezeigt hatten, dass bei einem Einsatz des Gitter- bzw. K-Rührers der noch verhältnismäßig feste Teig nicht einem gleichmäßigen Homogenisierungs- und Mischprozess unterzogen wurde. Vielmehr blieb der Teig an den Verstrebungen des Rührers kleben. Folglich wurde nur ein Teigklumpen stetig an der Kesselwand entlang geschoben. Nach Abschluss der Messung erfolgte eine Temperaturbestimmung des Teiges, um evtl. Aussagen über die Teigerwärmung beim Misch- und Knetvorgang, in Abhängigkeit von der Teigfestigkeit, treffen zu können.

#### 4.1.2 Tropftrichter

Die Abb. 20 (S. 107) zeigt eine modifizierte Version des Messstandes. Mit dem Tropftrichter kann man Schüttwasser in den Knetkessel kontinuierlich titrieren und erreicht damit sehr komfortabel sichere Ergebnisse als mit dem bauseits vorhandenen Einfülltrichter.

#### 4.1.3 Einwaage: 600 g

In Vorversuchen wurde festgestellt, dass die Einwaage von 600 g für die Messungen einzusetzen ist. Der P 600 ist mit einem doppelwandigen Knetkessel (Knetkammer-volumen 2500 cm<sup>3</sup>) ausgestattet.<sup>333</sup> Die Gesamteigmenge aus Roggenmehl (600 g) und Schüttwasser (450 ml bei TA 175 %) beträgt 1050 g, die sich für die Messungen im P 600 aufgrund begrenzter Kapazität eignet.

#### 4.1.4 Schüttwasser: 450 ml

Für die Messungen ist das Schüttwasser von 450 ml zu 600 Mehl zuzugeben, diese wurde ebenfalls in Vorversuchen festgestellt. Die Teigausbeute 175 % entspricht dem in der Praxis üblichen Teig aus Roggenmehl. Der Begriff Teigausbeute kurz TA beschreibt das Verhältnis Mehl zu Wasser. Dabei wird die anteilige Mehlmenge immer mit 100 beziffert.

#### 4.1.5 Drehzahl: 63 m<sup>-1</sup> (rpm)

Für die Messungen ist die Drehzahl von 63 m<sup>-1</sup> zu verwenden, die der Knetkraft eines für den Roggenbereich geeigneten Hubkneters entspricht, um möglichst praxisnahe Bedingungen zu erzielen. Schmitz<sup>334</sup> berichtete, dass die Drehzahl von 63 m<sup>-1</sup> ebenfalls dem Werkzeug eines normalen Spiralkneters entspricht, auch hier kommt die Methode der Praxis sehr nahe.

#### 4.1.6 Wasser- und Knetkesseltemperatur: 25 °C

Die Wasser- und Knetkesseltemperatur von 25 °C eignet sich für die Messung zur Wasseraufnahme von Teigen aus Roggenmehl. Eine Wasser- und Knetertemperatur von 30 °C ist nach ICC-Standard Nr. 115<sup>335</sup> für den Einsatz des Brabender-

---

<sup>333</sup> vgl. Brabender 1994, S. 10f

<sup>334</sup> vgl. Schmitz 2003, S. 167

<sup>335</sup> vgl. Freund und Löns 2003, S. 3



Farinographen und nach AGF-Standard-Methoden für Wasseraufnahme von Roggentyphenmehlen notwendig.<sup>336</sup> Bei der Herstellung der Teige in den Vorversuchen im P 600 zeigte sich, dass mit einer Teigtemperatur von ca. 35 °C infolge Erwärmung gerechnet werden muss. Diese Temperatur entspricht nicht der in der Praxis üblichen Roggenteigtemperatur. Doch bei einer Wasser- und Knetkesseltemperatur von 25 °C betrug die Temperatur des Teiges ca. 30 °C, die für Roggenteige optimal ist.

#### **4.1.7 Endkonsistenz: 6 Nm**

In Vorversuchen wurde festgestellt, dass die Endkonsistenz von 6 Nm für die Messungen zu verwenden ist. Bei einer konstanten Teigausbeute von 175 % erreicht der Mittelpunkt der Drehmomentkurve das Drehmoment von 6 Nm nach Ablauf der 15 min Testzeit. Das Drehmoment von 6 Nm im P 600 entspricht der Brabendereinheit von 300 BE in Farinographen.

#### **4.1.8 Zeit der Mehltemperierung und -vormischung: 1 min**

Für die Messungen ist die Zeit der Mehltemperierung und -vormischung von einer Minute einzusetzen. Vor der Messung sollte die Zeit der Mehltemperierung und -vormischung bei einer Messtemperatur von 25 °C 1 min nicht unterschritten werden, da die Konsistenz des Roggenteiges stark von der Temperatur abhängig ist.

#### **4.1.9 Wasserzugabezeit: 2 min**

In Vorversuchen wurde festgestellt, dass die Zugabezeit für das Wasser 2 Minuten betragen sollte. Das Schüttwasser ist kontinuierlich zuzugeben, um es gut im Mehl zu dispergieren.

#### **4.1.10 Teigbildungszeit: 1 min**

Für die Messungen ist die Teigbildungszeit von 1 min zu wählen, wie in Vorversuchen festgestellt wurde. Nach der Wasserzugabezeit wird 1 min weitergemischt, um das gesamte Mehl zu benetzen sowie zu hydratisieren.

---

<sup>336</sup> vgl. Arbeitsgemeinschaft für Getreideforschung 1994, S. 155

#### **4.1.11 Abschaben der Teigreste: 1 min**

In Vorversuchen wurde festgestellt, dass man eine Minute braucht, um die an der Kesselwand und am Abstreifer anhaftenden Teigreste mit einem Kunststoffschaber abzuschaben und dem Teig zuzuführen. Der entgegengesetzt laufende Abstreifer des Systems bringt das Mischgut von der Behälterwand immer wieder in den Arbeitsbereich des Mischarms, um Materialablagerungen an der Kesselwand zu verhindern. Aber eine kleine Menge des Teiges haftete immer wieder an der Kesselwand und am Abstreifer beim Misch- und Knetvorgang.

#### **4.1.12 Knetzeit: 10 min**

Für die Messungen im P 600 war es notwendig, die Testzeit von 15 min, davon 10 min Knetzeit zu verwenden, um gleichmäßige Teigeigenschaften mit einer durchschnittlichen Teigkonsistenz von 6,0 Nm nach Beendigung des Misch- und Knetvorganges zu erhalten. Vorversuche hatten gezeigt, dass bei der Testzeit von 10 min, davon 5 min Knetzeit, der Teig nicht einem gleichmäßigen Homogenisierungs-, Misch- und Knetprozess unterzogen wurde. Dieser Zeitraum für die Messung von Roggenteigen wurde auch schon von Brümmer vorgeschlagen.

## 4.2 Untersuchungen zum Einfluss der Prozessparameter

Die Untersuchungskriterien zum Einfluss der Prozessparameter sind:

- Temperaturvariante
- Drehzahlvariante
- Einwaagenvariante
- Wasserzugabegeschwindigkeitsvariante

### 4.2.1 Einfluss der Temperaturvariante

Die Konsistenz eines Stoffes ist stark abhängig von der Temperatur. So ist generell eine Konsistenzerniedrigung mit steigender Temperatur zu erwarten. Während der Knetzeit beeinflusst die Temperatur die Quellung der Mehl Inhaltsstoffe und die Geschwindigkeit von enzymatischen Reaktionen.

Es wurden die bei 3 unterschiedlichen Temperaturen von 20, 25 und 30 °C gewonnenen Ergebnisse miteinander verglichen.

#### 4.2.1.1 Vorversuch

Mehl: Roggenmehl I der Type 1150

TA 176 %: Die Teigausbeute 176 % ist für diese Messungen einzusetzen, die in den Vorversuchen ermittelt wurde (S. 120).

Wasser- und Knetkesseltemperatur: 20; 25; 30 °C

Einwaage: 600 g, Drehzahl: 63 m<sup>-1</sup>, Wasserzugabegeschwindigkeit: 2 min

Testzeit: 15 min, Bemerkungen: 3 Messungen

Ergebnisse:

Die Ergebnisse der Untersuchungen, die in Tab. 36 dargestellt werden, schwanken bei der Teigentwicklungszeit zwischen 4:14 und 4:26 min, beim Konsistenzabfall zwischen 1,26 und 2,32 Nm, bei der Wasseraufnahme zwischen 75,3 und 79,7 %, bei der Teigtemperatur zwischen 27,8 und 34,5 °C sowie bei der Energie zwischen 29,3 und 31,6 kNm.

**Tab. 36: Einfluss der Temperaturvariante**

| Proben-Nr.             | 20 °C | 25 °C | 30 °C |
|------------------------|-------|-------|-------|
| TEZ <sup>1</sup> [min] | 4:16  | 4:14  | 4:26  |
| KA <sup>2</sup> [Nm]   | 1,90  | 2,32  | 1,26  |
| WA <sup>3</sup> [%]    | 79,7  | 75,3  | 75,4  |
| TT <sup>4</sup> [°C]   | 27,8  | 31,0  | 34,5  |
| Energie [kNm]          | 31,6  | 30,0  | 29,3  |

<sup>1</sup>TEZ = Teigentwicklungszeit, <sup>2</sup>KA = Konsistenzabfall, <sup>3</sup>WA = Wasseraufnahme, <sup>4</sup>TT = Teigtemperatur

Bei einer konstanten Teigausbeute von 176 %, nahmen die Wasseraufnahme und Energie mit steigender Temperatur ab, im Gegensatz dazu stieg die Teigtemperatur. Bei der Teigentwicklungszeit fand man keinen bedeutsamen Unterschied zwischen den unterschiedlichen Temperaturen.

#### 4.2.1.2 Untersuchungen

Mehl: Roggenmehl III der Type 1150

TA 176 %: In den Vorversuchen wurde ermittelt, dass die Teigausbeute 176 % für diese Messungen zu verwenden ist (S. 134).

Wasser- und Knetkesseltemperatur: 20; 25; 30 °C

Einwaage: 600 g, Drehzahl: 63 m<sup>-1</sup>

Wasserzugabegeschwindigkeit: 2 min

Testzeit: 15 min, Bemerkungen: 9 Messungen

#### Ergebnisse und Interpretation:

Die Ergebnisse der Untersuchungen, die in Tab. 37 dargestellt werden, schwanken bei der Teigentwicklungszeit zwischen 4:23 und 5:09 min, beim Konsistenzabfall zwischen 1,33 und 1,46 Nm, bei der Wasseraufnahme zwischen 72,2 und 76,8 %, bei der Teigtemperatur zwischen 27,1 und 33,9 °C sowie bei der Energie zwischen 25,9 und 29,1 kNm.

Auf die Teigentwicklungszeit und den Konsistenzabfall ist der Einfluss der Temperaturvariante nicht signifikant. Der Einfluss der Wasser- und Knetkesseltemperatur von 20 °C auf die Wasseraufnahme und Energie ( $p < 0,01$ ) ist hochsignifikant höher als der der Wasser- und Knetkesseltemperatur von 25 und 30 °C. Auf die Teigtemperatur ( $p < 0,01$ ) ist der Einfluss der Wasser- und

Knetkesseltemperatur von 30 °C hochsignifikant höher als der der Wasser- und Knetkesseltemperatur von 20 und 25 °C.

**Tab. 37: Einfluss der Temperaturvariante**

| Proben-Nr. | TEZ <sup>1</sup> [min]    | KA <sup>2</sup> [Nm]     | WA <sup>3</sup> [%]      | TT <sup>4</sup> [°C]     | Energie [kJNm]           |
|------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 20 °C      | 4:23 ± 7,02 <sup>a</sup>  | 1,46 ± 0,15 <sup>a</sup> | 76,8 ± 0,91 <sup>a</sup> | 27,1 ± 0,12 <sup>c</sup> | 29,1 ± 0,40 <sup>a</sup> |
| 25 °C      | 5:09 ± 44,96 <sup>a</sup> | 1,33 ± 0,21 <sup>a</sup> | 74,4 ± 0,64 <sup>b</sup> | 31,1 ± 0,06 <sup>b</sup> | 27,2 ± 0,10 <sup>b</sup> |
| 30 °C      | 4:43 ± 20,82 <sup>a</sup> | 1,34 ± 0,17 <sup>a</sup> | 72,2 ± 0,49 <sup>c</sup> | 33,9 ± 0,12 <sup>a</sup> | 25,9 ± 0,25 <sup>c</sup> |
| F - Value  | 1,97 <sup>*</sup>         | 0,49 <sup>**</sup>       | 33,14 <sup>***</sup>     | 3576,44 <sup>****</sup>  | 102,59 <sup>****</sup>   |

Mittelwert±STABW(n=3). Mittelwerte mit den gleichen Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant. ANOVA, Duncan - Test (P < 0,30; 0,70; 0,01).

<sup>\*</sup>Pr > F = 0,2205, <sup>\*\*</sup>Pr > F = 0,6354, <sup>\*\*\*</sup>Pr > F = 0,0006 und <sup>\*\*\*\*</sup>Pr > F = < 0,0001

<sup>1</sup>TEZ = Teigentwicklungszeit, <sup>2</sup>KA = Konsistenzabfall, <sup>3</sup>WA = Wasseraufnahme, <sup>4</sup>TT = Teigtemperatur

Bei einer konstanten Teigausbeute von 176 %, nahmen die Wasseraufnahme und die Energie mit steigender Temperatur ab, im Gegensatz dazu nahm die Teigtemperatur zu. Bei der Teigentwicklungszeit und dem Konsistenzabfall fand man keinen signifikanten Unterschied zwischen den unterschiedlichen Temperaturen.

## 4.2.2 Einfluss der Drehzahlvariante

Die unterschiedlichen Knetgeschwindigkeiten des Knetsystems machten es notwendig, auch hier Untersuchungen über die Wasseraufnahme durchzuführen. Es wurden die bei 4 unterschiedlichen Drehzahlen von 43, 53, 63 und 73 m<sup>-1</sup> gewonnenen Ergebnisse miteinander verglichen.

### 4.2.2.1 Vorversuch

Mehl: Roggenmehl I der Type 1150

TA 176 %: Für diese Messungen ist die Teigausbeute 176 % einzusetzen, die in den Vorversuchen ermittelt wurde (S. 120).

Drehzahl: 43; 53; 63; 73 m<sup>-1</sup>

Wasser- und Knetkesseltemperatur: 25 °C, Einwaage: 600 g

Wasserzugabegeschwindigkeit: 2 min

Testzeit: 15 min, Bemerkungen: 4 Messungen

Ergebnisse:

Die Ergebnisse der Untersuchungen, die in Tab. 38 dargestellt werden, schwanken bei der Teigentwicklungszeit zwischen 4:10 und 4:48 min, beim Konsistenzabfall zwischen 1,13 und 1,85 Nm, bei der Wasseraufnahme zwischen 73,9 und 77,0 %, bei der Teigtemperatur zwischen 29,0 und 32,1 °C sowie bei der Energie zwischen 19,3 und 34,4 kNm.

**Tab. 38: Einfluss der Drehzahlvariante**

| Proben-Nr.             | 43 m <sup>-1</sup> | 53 m <sup>-1</sup> | 63 m <sup>-1</sup> | 73 m <sup>-1</sup> |
|------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| TEZ <sup>1</sup> [min] | 4:10               | 4:48               | 4:06               | 4:16               |
| KA <sup>2</sup> [Nm]   | 1,49               | 1,13               | 1,49               | 1,85               |
| WA <sup>3</sup> [%]    | 73,9               | 75,2               | 75,9               | 77,0               |
| TT <sup>4</sup> [°C]   | 29,0               | 30,0               | 30,9               | 32,1               |
| Energie [kNm]          | 19,3               | 24,1               | 30,0               | 34,4               |

<sup>1</sup>TEZ = Teigentwicklungszeit, <sup>2</sup>KA = Konsistenzabfall, <sup>3</sup>WA = Wasseraufnahme, <sup>4</sup>TT = Teigtemperatur

Bei einer konstanten Teigausbeute von 176 %, nahmen die Wasseraufnahme, die Teigtemperatur und die Energie mit steigender Drehzahl zu. Bei der Teigentwicklungszeit fand man keinen bedeutsamen Unterschied zwischen den unterschiedlichen Drehzahlen.

#### 4.2.2.2 Untersuchungen

Mehl: Roggenmehl III der Type 1150

TA 176 %: Die Teigausbeute 176 % ist für diese Messungen zu verwenden, wie sie in den Vorversuchen ermittelt wurde (S. 134).

Drehzahl: 53; 63; 73 m<sup>-1</sup>

Wasser- und Knetkesseltemperatur: 25 °C, Einwaage: 600 g

Wasserzugabegeschwindigkeit: 2 min

Testzeit: 15 min, Bemerkungen: 9 Messungen

Ergebnisse und Interpretation:

Die Ergebnisse der Untersuchungen, die in Tab. 39 dargestellt werden, schwanken bei der Teigentwicklungszeit zwischen 4:43 und 5:34 min, beim Konsistenzabfall zwischen 0,95 und 1,33 Nm, bei der Wasseraufnahme zwischen 73,5 und 74,5 %, bei der Teigtemperatur zwischen 29,0 und 32,1 °C sowie bei der Energie zwischen 19,3 und 34,4 kNm.

bei der Teigtemperatur zwischen 30,5 und 32,5 °C sowie bei der Energie zwischen 22,1 und 31,7 kNm.

Auf die Teigentwicklungszeit ( $p < 0,40$ ) ist der Einfluss der Drehzahl von 53 und 63  $m^{-1}$  signifikant höher als der der Drehzahl von 73  $m^{-1}$ . Der Einfluss der Drehzahl von 63 und 73  $m^{-1}$  auf den Konsistenzabfall ( $p < 0,05$ ) ist signifikant höher als der der Drehzahl von 53  $m^{-1}$ . Auf die Wasseraufnahme ( $p < 0,10$ ) ist der Einfluss der Drehzahl von 73  $m^{-1}$  signifikant höher als der der Drehzahl von 53  $m^{-1}$ . Der Einfluss der Drehzahl von 73  $m^{-1}$  auf die Teigtemperatur und Energie ( $p < 0,01$ ) ist hochsignifikant höher als der der Drehzahl von 53 und 63  $m^{-1}$ .

**Tab. 39: Einfluss der Drehzahlvariante**

| Proben-Nr.       | TEZ <sup>1</sup> [min]    | KA <sup>2</sup> [Nm]     | WA <sup>3</sup> [%]       | TT <sup>4</sup> [°C]     | Energie [kNm]            |
|------------------|---------------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 53 $m^{-1}$      | 5:34 ± 41,62 <sup>a</sup> | 0,95 ± 0,15 <sup>b</sup> | 73,5 ± 0,40 <sup>b</sup>  | 30,5 ± 0,25 <sup>c</sup> | 22,1 ± 0,38 <sup>c</sup> |
| 63 $m^{-1}$      | 5:09 ± 44,96 <sup>a</sup> | 1,33 ± 0,21 <sup>a</sup> | 74,4 ± 0,64 <sup>ab</sup> | 31,1 ± 0,06 <sup>b</sup> | 27,2 ± 0,10 <sup>b</sup> |
| 73 $m^{-1}$      | 4:43 ± 20,82 <sup>b</sup> | 1,31 ± 0,11 <sup>a</sup> | 74,5 ± 0,20 <sup>a</sup>  | 32,5 ± 0,10 <sup>a</sup> | 31,7 ± 0,50 <sup>a</sup> |
| <b>F - Value</b> | 1,30 <sup>*</sup>         | 5,31 <sup>**</sup>       | 4,33 <sup>***</sup>       | 126,13 <sup>****</sup>   | 517,67 <sup>****</sup>   |

Mittelwert±STABW(n=3). Mittelwerte mit den gleichen Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant. ANOVA, Duncan - Test ( $P < 0,40$ ; 0,05; 0,10; 0,01).

<sup>\*</sup>Pr > F = 0,3396, <sup>\*\*</sup>Pr > F = 0,0470, <sup>\*\*\*</sup>Pr > F = 0,0687 und <sup>\*\*\*\*</sup>Pr > F = < 0,0001

<sup>1</sup>TEZ = Teigentwicklungszeit, <sup>2</sup>KA = Konsistenzabfall, <sup>3</sup>WA = Wasseraufnahme, <sup>4</sup>TT = Teigtemperatur

Bei einer konstanten Teigausbeute von 176 %, nahm die Teigentwicklungszeit mit steigender Drehzahl ab, im Gegensatz dazu kann es zu einer Steigerung der Wasseraufnahme, der Teigtemperatur, der Energie und des Konsistenzabfalles.

### 4.2.3 Einfluss der Einwaagenvariante

Bei den unterschiedlichen Probenmengen wurde klar, auch bei der Einwaage Untersuchungen über die Wasseraufnahme durchzuführen.

Es wurden die bei 5 unterschiedlichen Einwaagen von 500, 550, 600, 650 und 700 g gewonnenen Ergebnisse miteinander verglichen.

#### 4.2.3.1 Vorversuch I

Mehl: Roggenmehl I der Type 1150

TA 176 %: In den Vorversuchen wurde ermittelt, dass die Teigausbeute 176 % für diese Messungen einzusetzen ist (S. 120).

Einwaage: 500; 550; 600; 650; 700 g

Wasser- und Knetkesseltemperatur: 25 °C, Drehzahl: 63 m<sup>-1</sup>

Wasserzugabegeschwindigkeit: 2 min

Testzeit: 15 min, Bemerkungen: 5 Messungen

Ergebnisse:

Die Ergebnisse der Untersuchungen, die in Tab. 40 dargestellt werden, schwanken bei der Teigentwicklungszeit zwischen 4:06 und 4:44 min, beim Konsistenzabfall zwischen 1,37 und 1,93 Nm, bei der Wasseraufnahme zwischen 72,9 und 84,6 % sowie bei der Energie zwischen 25,9 und 32,9 kNm.

**Tab. 40: Einfluss der Einwaagenvariante**

| Proben-Nr.             | 500 g | 550 g | 600 g | 650 g | 700 g |
|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| TEZ <sup>1</sup> [min] | 4:44  | 4:22  | 4:06  | 4:38  | 4:40  |
| KA <sup>2</sup> [Nm]   | 1,41  | 1,93  | 1,49  | 1,37  | 0,99  |
| WA <sup>3</sup> [%]    | 72,9  | 74,3  | 75,9  | 81,7  | 84,6  |
| Energie [kNm]          | 25,9  | 27,7  | 29,2  | 30,8  | 32,9  |

<sup>1</sup>TEZ = Teigentwicklungszeit, <sup>2</sup>KA = Konsistenzabfall, <sup>3</sup>WA = Wasseraufnahme

Bei einer konstanten Teigausbeute von 176 %, nahmen die Wasseraufnahme und die Energie mit steigender Einwaage zu. Bei der Teigentwicklungszeit fand man keinen bedeutsamen Unterschied zwischen den unterschiedlichen Einwaagen.

#### 4.2.3.2 Vorversuch II

Mehl: Roggenmehl I der Type 1150

TA 173,4 %: Für diese Messungen ist die Teigausbeute 173,4 % zu verwenden, wie sie nach den Ergebnissen aus den Vorversuchen modifiziert wurde (S. 120).

Einwaage: 500; 550; 600; 650; 700 g

Wasser- und Knetkesseltemperatur: 25 °C, Drehzahl: 63 m<sup>-1</sup>

Wasserzugabegeschwindigkeit: 2 min

Testzeit: 15 min, Bemerkungen: 5 Messungen

Ergebnisse:

Die Ergebnisse der Untersuchungen, die in Tab. 41 dargestellt werden, schwanken bei der Teigentwicklungszeit zwischen 4:10 und 4:22 min, beim Konsistenzabfall



zwischen 1,66 und 2,29 Nm, bei der Wasseraufnahme zwischen 72,9 und 82,1 % sowie bei der Energie zwischen 27,4 und 35,8 kNm.

**Tab. 41: Einfluss der Einwaagenvariante**

| Proben-Nr.             | 500 g | 550 g | 600 g | 650 g | 700 g |
|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| TEZ <sup>1</sup> [min] | 4:10  | 4:22  | 4:16  | 4:24  | 4:16  |
| KA <sup>2</sup> [Nm]   | 2,24  | 1,66  | 2,29  | 2,18  | 2,21  |
| WA <sup>3</sup> [%]    | 72,9  | 75,3  | 75,8  | 77,9  | 82,1  |
| Energie [kNm]          | 27,4  | 29,6  | 31,8  | 32,5  | 35,8  |

<sup>1</sup>TEZ = Teigentwicklungszeit, <sup>2</sup>KA = Konsistenzabfall, <sup>3</sup>WA = Wasseraufnahme

Bei einer konstanten Teigausbeute von 173,4 %, nahmen die Wasseraufnahme und die Energie mit steigender Einwaage zu. Bei der Teigentwicklungszeit fand man keinen bedeutsamen Unterschied zwischen den unterschiedlichen Einwaagen.

#### 4.2.3.3 Untersuchungen

Mehl: Roggenmehl III der Type 1150

TA 176 %: Die Teigausbeute 176 % ist für diese Messungen einzusetzen, die in den Vorversuchen ermittelt wurde (S. 134).

Einwaage: 550; 600; 650 g

Wasser- und Knetkesseltemperatur: 25 °C, Drehzahl: 63 m<sup>-1</sup>

Wasserzugabegeschwindigkeit: 2 min

Testzeit: 15 min, Bemerkungen: 9 Messungen

Ergebnisse und Interpretation:

Die Ergebnisse der Untersuchungen, die in Tab. 42 dargestellt werden, schwanken bei der Teigentwicklungszeit zwischen 4:33 und 6:17 min, beim Konsistenzabfall zwischen 1,02 und 1,33 Nm, bei der Wasseraufnahme zwischen 70,8 und 75,7 %, bei der Teigtemperatur zwischen 31,1 und 31,7 °C sowie bei der Energie zwischen 24,2 und 28,6 kNm.

Auf die Teigentwicklungszeit ( $p < 0,05$ ) ist der Einfluss der Einwaage von 550 g signifikant höher als der der Einwaage von 650 g. Der Einfluss der Einwaagevariante auf den Konsistenzabfall ist nicht signifikant. Auf die Wasseraufnahme und Energie ( $p < 0,01$ ) ist der Einfluss der Einwaage von 650 g hochsignifikant höher als der der

Einwaage von 550 und 600 g. Der Einfluss der Einwaage von 650 g auf die Teigtemperatur ( $p < 0,05$ ) ist signifikant höher als der der Einwaage von 550 und 600g.

**Tab. 42: Einfluss der Einwaagenvariante**

| Proben-Nr. | TEZ <sup>1</sup> [min]     | KA <sup>2</sup> [Nm]     | WA <sup>3</sup> [%]      | TT <sup>4</sup> [°C]     | Energie [kJ]             |
|------------|----------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 550 g      | 6:17 ± 44,47 <sup>a</sup>  | 1,02 ± 0,20 <sup>a</sup> | 70,8 ± 0,64 <sup>c</sup> | 31,2 ± 0,29 <sup>b</sup> | 24,2 ± 0,89 <sup>c</sup> |
| 600 g      | 5:09 ± 44,96 <sup>ab</sup> | 1,33 ± 0,21 <sup>a</sup> | 74,4 ± 0,64 <sup>b</sup> | 31,1 ± 0,06 <sup>b</sup> | 27,2 ± 0,10 <sup>b</sup> |
| 650 g      | 4:33 ± 20,82 <sup>b</sup>  | 1,06 ± 0,26 <sup>a</sup> | 75,7 ± 0,53 <sup>a</sup> | 31,7 ± 0,21 <sup>a</sup> | 28,6 ± 0,30 <sup>a</sup> |
| F - Value  | 5,65 <sup>*</sup>          | 1,79 <sup>**</sup>       | 51,90 <sup>***</sup>     | 7,15 <sup>****</sup>     | 51,10 <sup>***</sup>     |

Mittelwert±STABW(n=3). Mittelwerte mit den gleichen Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant. ANOVA, Duncan - Test ( $P < 0,05$ ; 0,30; 0,01).

<sup>\*</sup>Pr > F = 0,0417, <sup>\*\*</sup>Pr > F = 0,2456, <sup>\*\*\*</sup>Pr > F = 0,0002 und <sup>\*\*\*\*</sup>Pr > F = 0,0258

<sup>1</sup>TEZ = Teigentwicklungszeit, <sup>2</sup>KA = Konsistenzabfall, <sup>3</sup>WA = Wasseraufnahme, <sup>4</sup>TT = Teigtemperatur

Bei einer konstanten Teigausbeute von 176 %, nahmen die Wasseraufnahme, die Teigtemperatur und die Energie mit steigender Einwaage zu, im Gegensatz dazu ging die Teigentwicklungszeit zurück. Beim Konsistenzabfall fand man keinen signifikanten Unterschied zwischen den unterschiedlichen Einwaagen.

#### 4.2.4 Einfluss der Wasserzugabegeschwindigkeitsvariante

Der Einfluss der Wasserzugabegeschwindigkeit wurde untersucht. Es wurden die bei 4 unterschiedlichen Wasserzugabegeschwindigkeiten von 0,5, 1,0, 1,5 und 2,0 min gewonnenen Ergebnisse miteinander verglichen.

##### 4.2.4.1 Vorversuch

Mehl: Roggenmehl I der Type 1150

TA 176 %: In den Vorversuchen wurde ermittelt, dass die Teigausbeute 176 % für diese Messungen zu verwenden ist (S. 120).

Wasserzugabegeschwindigkeit: 0,5; 1,0; 1,5; 2,0 min

Einwaage: 600 g, Wasser- und Knetkesseltemperatur: 25 °C, Drehzahl: 63 m<sup>-1</sup>

Testzeit: 15 min, Bemerkungen: 4 Messungen

Ergebnisse:

Die Ergebnisse der Untersuchungen, die in Tab. 43 dargestellt werden, schwanken bei der Teigentwicklungszeit zwischen 2:48 und 4:14 min, beim Konsistenzabfall

zwischen 1,80 und 2,32 Nm, bei der Wasseraufnahme zwischen 74,9 und 76,1 %, bei der Teigtemperatur zwischen 31,0 und 31,8 °C sowie bei der Energie zwischen 28,9 und 30,0 kNm.

**Tab. 43: Einfluss der Wasserzugabegeschwindigkeitsvariante**

| Proben-Nr.             | 0,5 min | 1,0 min | 1,5 min | 2,0 min |
|------------------------|---------|---------|---------|---------|
| TEZ <sup>1</sup> [min] | 2:48    | 3:36    | 3:38    | 4:14    |
| KA <sup>2</sup> [Nm]   | 2,13    | 1,80    | 2,30    | 2,32    |
| WA <sup>3</sup> [%]    | 74,9    | 76,1    | 75,9    | 75,3    |
| TT <sup>4</sup> [°C]   | 31,8    | 31,6    | 31,3    | 31,0    |
| Energie [kNm]          | 30,0    | 28,9    | 30,0    | 30,0    |

<sup>1</sup>TEZ = Teigentwicklungszeit, <sup>2</sup>KA = Konsistenzabfall, <sup>3</sup>WA = Wasseraufnahme, <sup>4</sup>TT = Teigtemperatur

Bei einer konstanten Teigausbeute von 176 %, nahm die Teigentwicklungszeit mit steigender Wasserzugabegeschwindigkeit zu, im Gegensatz dazu nahm die Teigtemperatur ab. Bei der Wasseraufnahme und der Energie fand man keinen signifikanten Unterschied zwischen den unterschiedlichen Wasserzugabegeschwindigkeiten.

#### 4.2.4.2 Untersuchungen

Mehl: Roggenmehl III der Type 1150

TA 176 %: Für diese Messungen ist die Teigausbeute 176 % einzusetzen, die in den Vorversuchen ermittelt wurde (S. 134).

Wasserzugabegeschwindigkeit: 0,5; 1,0; 2,0 min

Einwaage: 600 g, Wasser- und Knetkesseltemperatur: 25 °C, Drehzahl: 63 m<sup>-1</sup>

Testzeit: 15 min, Bemerkungen: 9 Messungen

Ergebnisse und Interpretation:

Die Ergebnisse der Untersuchungen, die in Tab. 44 dargestellt werden, schwanken bei der Teigentwicklungszeit zwischen 2:38 und 5:09 min, beim Konsistenzabfall zwischen 1,32 und 1,48 Nm, bei der Wasseraufnahme zwischen 73,0 und 75,7 %, bei der Teigtemperatur zwischen 30,8 und 31,1 °C sowie bei der Energie zwischen 26,3 und 27,2 kNm.

Auf die Teigentwicklungszeit ( $p < 0,01$ ) ist der Einfluss der Wasserzugabegeschwindigkeit von 2,0 min hochsignifikant höher als der der Wasserzugabe-

geschwindigkeit von 0,5 und 1,0 min. Der Einfluss der Wasserzugabegeschwindigkeitsvariante auf den Konsistenzabfall und die Energie ist nicht signifikant. Auf die Wasseraufnahme ( $p < 0,10$ ) ist der Einfluss der Wasserzugabegeschwindigkeit von 0,5 min signifikant höher als der der Wasserzugabegeschwindigkeit von 1,0 min. Der Einfluss der Wasserzugabegeschwindigkeit von 2,0 min auf die Teigtemperatur ( $p < 0,05$ ) ist signifikant höher als der der Wasserzugabegeschwindigkeit von 0,5 min.

**Tab. 44: Einfluss der Wasserzugabegeschwindigkeitsvariante**

| Proben-Nr. | TEZ <sup>1</sup> [min]    | KA <sup>2</sup> [Nm]     | WA <sup>3</sup> [%]       | TT <sup>4</sup> [°C]      | Energie [kJNm]           |
|------------|---------------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|
| 0,5 min    | 2:38 ± 2,00 <sup>b</sup>  | 1,48 ± 0,31 <sup>a</sup> | 75,7 ± 1,76 <sup>a</sup>  | 30,8 ± 0,20 <sup>b</sup>  | 27,2 ± 0,83 <sup>a</sup> |
| 1,0 min    | 3:33 ± 28,94 <sup>b</sup> | 1,32 ± 0,10 <sup>a</sup> | 73,0 ± 0,31 <sup>b</sup>  | 31,0 ± 0,06 <sup>ab</sup> | 26,3 ± 0,98 <sup>a</sup> |
| 2,0 min    | 5:09 ± 44,96 <sup>a</sup> | 1,33 ± 0,21 <sup>a</sup> | 74,4 ± 0,64 <sup>ab</sup> | 31,1 ± 0,06 <sup>a</sup>  | 27,2 ± 0,10 <sup>a</sup> |
| F - Value  | 18,46 <sup>*</sup>        | 0,49 <sup>**</sup>       | 4,77 <sup>***</sup>       | 5,64 <sup>****</sup>      | 1,40 <sup>*****</sup>    |

Mittelwert±STABW(n=3). Mittelwerte mit den gleichen Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant. ANOVA, Duncan - Test ( $P < 0,01; 0,70; 0,10; 0,05; 0,40$ ).

<sup>\*</sup>Pr > F = 0,0027, <sup>\*\*</sup>Pr > F = 0,6365, <sup>\*\*\*</sup>Pr > F = 0,0575, <sup>\*\*\*\*</sup>Pr > F = 0,0418 und <sup>\*\*\*\*\*</sup>Pr > F = 0,3169

<sup>1</sup>TEZ = Teigentwicklungszeit, <sup>2</sup>KA = Konsistenzabfall, <sup>3</sup>WA = Wasseraufnahme, <sup>4</sup>TT = Teigtemperatur

Bei einer konstanten Teigausbeute von 176 %, nahmen die Teigentwicklungszeit und die Teigtemperatur mit steigender Wasserzugabegeschwindigkeit zu. Bei dem Konsistenzabfall, der Wasseraufnahme und der Energie fand man keinen signifikanten Unterschied zwischen den unterschiedlichen Wasserzugabegeschwindigkeiten.

### 4.3 Untersuchungen zum Einfluss der Rezepturparameter

Die Untersuchungskriterien zum Einfluss der Rezepturparameter sind:

- Unterschiedliche Roggenmahlerzeugnisse
- 30 % Sauerteig-, 2 % Hefe- und 2 % Salzzugabe
- Zusatzvariante (Milchsäure, Sauerteig, Hefe und Salz)
- Mehlmischungsvariante aus Roggen und Weizen
- Enzyme

### 4.3.1 Einfluss der unterschiedlichen Roggenmahlerzeugnisse

Der Einfluss der unterschiedlichen Roggenmahlerzeugnisse wurde untersucht. Die Wasseraufnahmefähigkeit und die Wasserbindung in Roggenteigen sind in beachtlichem Maße von der Mehlbeschaffenheit abhängig. Dunklere Mehle mit hohem Aschegehalt nehmen in der Regel wegen des höheren Protein- und Schleimstoffgehaltes mehr Wasser auf. Andererseits sind Teige aus helleren, mineralstoffärmeren Mehlen meist trockener in der Beschaffenheit und dadurch leichter zu verarbeiten. Es wurden die bei 8 unterschiedlichen Roggenmahlerzeugnissen gewonnenen Ergebnisse miteinander verglichen.

#### 4.3.1.1 Einfluss der Mehle von verschiedenen Mühlen

Mehl: Roggenmehle II, III, IV und V der Type 1150

Wasser- und Knetkesseltemperatur: 25 °C, Einwaage: 600 g

Drehzahl: 63 m<sup>-1</sup>, Wasserzugabegeschwindigkeit: 2 min

Testzeit: 15 min, Bemerkungen: 12 Messungen

Ergebnisse und Interpretation:

Die Ergebnisse der Untersuchungen, die in Tab. 45 dargestellt werden, schwanken bei der Teigentwicklungszeit zwischen 4:26 und 4:33 min, beim Konsistenzabfall zwischen 1,64 und 2,02 Nm, bei der Wasseraufnahme zwischen 72,4 und 76,0 % sowie bei der Energie zwischen 29,1 und 30,8 kNm

Der Einfluss der Mehle von verschiedenen Mühlen auf die Teigentwicklungszeit ist nicht signifikant. Auf den Konsistenzabfall ( $p < 0,20$ ) ist der Einfluss des Mehls IV signifikant höher als der des Mehls II. Der Einfluss der Mehle II, III und IV auf die Wasseraufnahme ( $p < 0,05$ ) ist signifikant höher als der des Mehls V. Auf die Energie ( $p < 0,01$ ) ist der Einfluss des Mehls V hochsignifikant höher als der der Mehle II, III und IV.

**Tab. 45: Einfluss der Mehle von verschiedenen Mühlen**

| Roggenmehle            | II <sup>1</sup>          | III <sup>2</sup>          | IV <sup>3</sup>          | V <sup>4</sup>            | F - value            |
|------------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|---------------------------|----------------------|
| TEZ <sup>A</sup> [min] | 4:27 ± 5,77 <sup>a</sup> | 4:26 ± 8,00 <sup>a</sup>  | 4:33 ± 3,06 <sup>a</sup> | 4:31 ± 6,43 <sup>a</sup>  | 0,75 <sup>*</sup>    |
| KA <sup>B</sup> [Nm]   | 1,64 ± 0,23 <sup>b</sup> | 1,75 ± 0,24 <sup>ab</sup> | 2,02 ± 0,17 <sup>a</sup> | 1,84 ± 0,09 <sup>ab</sup> | 2,15 <sup>**</sup>   |
| WA <sup>C</sup> [%]    | 75,7 ± 1,19 <sup>a</sup> | 76,0 ± 0,70 <sup>a</sup>  | 75,4 ± 0,31 <sup>a</sup> | 72,4 ± 1,50 <sup>b</sup>  | 7,51 <sup>***</sup>  |
| Energie [kNm]          | 29,3 ± 0,40 <sup>b</sup> | 29,2 ± 0,23 <sup>b</sup>  | 29,1 ± 0,25 <sup>b</sup> | 30,8 ± 0,79 <sup>a</sup>  | 8,42 <sup>****</sup> |

Mittelwert±STABW(n=3). Mittelwerte mit den gleichen Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant. ANOVA, Duncan - Test (P < 0,60; 0,20; 0,05; 0,01).

<sup>\*</sup>Pr > F = 0,5504, <sup>\*\*</sup>Pr > F = 0,1721, <sup>\*\*\*</sup>Pr > F = 0,0103 und <sup>\*\*\*\*</sup>Pr > F = 0,0074

<sup>1</sup>II = Roggenmehl der Type 1150, <sup>2</sup>III = Roggenmehl der Type 1150

<sup>3</sup>IV = Roggenmehl der Type 1150, <sup>4</sup>V = Roggenmehl der Type 1150

<sup>A</sup>TEZ = Teigentwicklungszeit, <sup>B</sup>KA = Konsistenzabfall, <sup>C</sup>WA = Wasseraufnahme

Die Untersuchungen der Mehle zeigten eine unterschiedliche Wasseraufnahme, die in beachtlichem Maße von der Beschaffenheit der Mehlinhaltsstoffe (Stärke, Proteine, Pentosane u.a.) abhängig ist.

#### 4.3.1.2 Einfluss der Mehle von verschiedenen Typenzahlen

Mehl: Roggenmehle VI, VII, VIII und IX der verschiedenen Typenzahlen

Wasser- und Knetkesseltemperatur: 25 °C, Einwaage: 600 g

Drehzahl: 63 m<sup>-1</sup>, Wasserzugabegeschwindigkeit: 2 min

Testzeit: 15 min, Bemerkungen: 12 Messungen

Ergebnisse und Interpretation:

Die Ergebnisse der Untersuchungen, die in Tab. 46 dargestellt werden, schwanken bei der Teigentwicklungszeit zwischen 4:27 und 4:53 min, beim Konsistenzabfall zwischen 1,30 und 2,28 Nm, bei der Wasseraufnahme zwischen 70,2 und 78,3 % sowie bei der Energie zwischen 28,5 und 29,5 kNm.

Der Einfluss der Mehle von verschiedenen Typenzahlen auf die Teigentwicklungszeit und Energie ist nicht signifikant. Auf den Konsistenzabfall (p < 0,01) ist der Einfluss des Mehls VI hochsignifikant höher als der der Mehle VII, VIII und IX. Der Einfluss des Mehls IX auf die Wasseraufnahme (p < 0,01) ist hochsignifikant höher als der der Mehle VI, VII und VIII.

**Tab. 46: Einfluss der Mehle von verschiedenen Typenzahlen**

| Roggenmehle            | VI <sup>1</sup>           | VII <sup>2</sup>          | VIII <sup>3</sup>        | IX <sup>4</sup>           | F - value            |
|------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|---------------------------|----------------------|
| TEZ <sup>A</sup> [min] | 4:27 ± 13,32 <sup>a</sup> | 4:53 ± 36,46 <sup>a</sup> | 4:45 ± 7,57 <sup>a</sup> | 4:27 ± 19,01 <sup>a</sup> | 1,08 <sup>*</sup>    |
| KA <sup>B</sup> [Nm]   | 2,28 ± 0,29 <sup>a</sup>  | 1,30 ± 0,14 <sup>c</sup>  | 1,73 ± 0,08 <sup>b</sup> | 1,35 ± 0,20 <sup>c</sup>  | 16,54 <sup>**</sup>  |
| WA <sup>C</sup> [%]    | 70,2 ± 0,79 <sup>c</sup>  | 74,3 ± 0,67 <sup>b</sup>  | 75,7 ± 1,10 <sup>b</sup> | 78,3 ± 0,21 <sup>a</sup>  | 59,68 <sup>***</sup> |
| Energie [kNm]          | 28,7 ± 0,55 <sup>a</sup>  | 28,5 ± 0,12 <sup>a</sup>  | 29,5 ± 0,80 <sup>a</sup> | 28,9 ± 0,78 <sup>a</sup>  | 1,37 <sup>****</sup> |

Mittelwert±STABW(n=3). Mittelwerte mit den gleichen Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant. ANOVA, Duncan - Test (P < 0,50; 0,01; 0,40).

<sup>\*</sup>Pr > F = 0,4095, <sup>\*\*</sup>Pr > F = 0,0009, <sup>\*\*\*</sup>Pr > F = < 0,0001 und <sup>\*\*\*\*</sup>Pr > F = 0,3208

<sup>1</sup>VI = Roggenmehl der Type 997, <sup>2</sup>VII = Roggenmehl der Type 1150

<sup>3</sup>VIII = Roggenmehl der Type 1370, <sup>4</sup>IX = Roggenvollkornmehl

<sup>A</sup>TEZ = Teigentwicklungszeit, <sup>B</sup>KA = Konsistenzabfall, <sup>C</sup>WA = Wasseraufnahme

Mit steigenden Roggentypenzahlen nahm die Wasseraufnahme zu, deren Unterschiede in Abhängigkeit von der Ausmahlung besonders groß sind. Mit der Zunahme des Gehaltes der Quellsubstanzen (Proteine, Hemicellulosen, Pentosane,  $\beta$ -Glucane) erhöht sich das Wasserbindevermögen parallel mit einer stärker werdenden Nachquellung.

#### **4.3.2 Einfluss von 30 % Sauerteig-, 2 % Hefe- und 2 % Salzzugabe**

Der Einfluss von 30 % Sauerteig-, 2 % Hefe- und 2 % Salzzugabe wurde untersucht. Während der Sauerteigstehtzeit tritt eine Erweichung des Teiges ein. Durch Vergleichen der Konsistenz im Fariongraphen wurde festgestellt, dass die Viskositätsänderungen einer Wasseraufnahmeverringerung von durchschnittlich 8 % entsprechen. Während die Roggenproteine zu Beginn der Fermentation im Bereich von 35 - 45 % wasserlöslich sind, sind die Proteine am Ende der Sauerteiggärung zu über 90 % wasserlöslich.<sup>337</sup> Die Löslichkeit der Proteine spiegelt sich deutlich in der Teigausbeute und Teigbeschaffenheit wider. Salz verbessert das Quellvermögen des Eiweißes und die Verarbeitbarkeit der Teige, indem es die Klebrigkeit der Teige reduziert. Backhefe beschleunigt die Teigführung und die Gasbildung und Lockerung des Teiges wird intensiviert.

Nach den Ergebnissen aus den Vorversuchen wurden zwei Versuchsparameter, wie Wasserzugabegeschwindigkeit und Testzeit modifiziert.

##### 4.3.2.1 Einfluss der Mehle von verschiedenen Mühlen

Mehl: Roggenmehle II, III, IV und V der Type 1150

Wasser- und Knetkesseltemperatur: 25 °C, Einwaage: 600 g, Hefe: 12 g, Salz: 12 g

Drehzahl: 63 m<sup>-1</sup>, Wasserzugabegeschwindigkeit: 1 min

Testzeit: 14 min, Bemerkungen: 12 Messungen

Ergebnisse und Interpretation:

Die Ergebnisse der Untersuchungen, die in Tab. 47 dargestellt werden, schwanken bei der Teigentwicklungszeit zwischen 4:13 und 4:41 min, beim Konsistenzabfall zwischen 1,90 und 1,99 Nm, bei der Wasseraufnahme zwischen 64,2 und 67,2 % sowie bei der Energie zwischen 30,1 und 31,5 kNm.

---

<sup>337</sup> vgl. Spicher und Nierle 1984, S. 386

Der Einfluss von 30 % Sauerteig-, 2 % Hefe- und 2 % Salzzugabe auf die Teigentwicklungszeit, den Konsistenzabfall und die Energie ist nicht signifikant. Auf die Wasseraufnahme ( $p < 0,05$ ) ist der Einfluss von 30 % Sauerteig-, 2 % Hefe- und 2 % Salzzugabe des Mehls IV signifikant höher als der des Mehls V.

**Tab. 47: Einfluss von 30 % Sauerteig-, 2 % Hefe- und 2 % Salzzugabe**

| Roggenmehle            | II <sup>1</sup>           | III <sup>2</sup>          | IV <sup>3</sup>           | V <sup>4</sup>            | F - value            |
|------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|----------------------|
| TEZ <sup>A</sup> [min] | 4:13 ± 11,72 <sup>a</sup> | 4:37 ± 27,74 <sup>a</sup> | 4:36 ± 30,20 <sup>a</sup> | 4:41 ± 40,41 <sup>a</sup> | 0,56 <sup>*</sup>    |
| KA <sup>B</sup> [Nm]   | 1,99 ± 0,10 <sup>a</sup>  | 1,90 ± 0,38 <sup>a</sup>  | 1,98 ± 0,74 <sup>a</sup>  | 1,97 ± 0,30 <sup>a</sup>  | 0,03 <sup>**</sup>   |
| WA <sup>C</sup> [%]    | 66,7 ± 1,21 <sup>ab</sup> | 64,6 ± 1,21 <sup>bc</sup> | 67,2 ± 0,74 <sup>a</sup>  | 64,2 ± 1,35 <sup>c</sup>  | 5,12 <sup>***</sup>  |
| Energie [kNm]          | 30,1 ± 0,47 <sup>a</sup>  | 30,1 ± 0,57 <sup>a</sup>  | 31,4 ± 4,71 <sup>a</sup>  | 31,5 ± 0,70 <sup>a</sup>  | 0,30 <sup>****</sup> |

Mittelwert±STABW(n=3). Mittelwerte mit den gleichen Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant. ANOVA, Duncan - Test ( $P < 0,70$ ; 1,00; 0,05; 0,90).

<sup>\*</sup>Pr > F = 0,6546, <sup>\*\*</sup>Pr > F = 0,9935, <sup>\*\*\*</sup>Pr > F = 0,0289 und <sup>\*\*\*\*</sup>Pr > F = 0,8253

<sup>1</sup>II = Roggenmehl der Type 1150, <sup>2</sup>III = Roggenmehl der Type 1150

<sup>3</sup>IV = Roggenmehl der Type 1150, <sup>4</sup>V = Roggenmehl der Type 1150

<sup>A</sup>TEZ = Teigentwicklungszeit, <sup>B</sup>KA = Konsistenzabfall, <sup>C</sup>WA = Wasseraufnahme

Mit 30 % Sauerteig-, 2 % Hefe- und 2 % Salzzugabe schwankten die Wasseraufnahmen zwischen 64,2 und 67,2 %, im Vergleich zu den Teigen ohne Zusätze verringerte sich die Wasseraufnahme zwischen 8,2 und 11,4 %.

#### 4.3.2.2 Einfluss der Mehle von verschiedenen Typenzahlen

Mehl: Roggenmehle VI, VII, VIII und IX der verschiedenen Typenzahlen

Wasser- und Knetkesseltemperatur: 25 °C, Einwaage: 600 g, Hefe: 12 g, Salz: 12 g

Drehzahl: 63 m<sup>-1</sup>, Wasserzugabegeschwindigkeit: 1 min

Testzeit: 14 min, Bemerkungen: 12 Messungen

Ergebnisse und Interpretation:

Die Ergebnisse der Untersuchungen, die in Tab. 48 dargestellt werden, schwanken bei der Teigentwicklungszeit zwischen 4:20 und 5:19 min, beim Konsistenzabfall zwischen 2,25 und 3,01 Nm, bei der Wasseraufnahme zwischen 62,6 und 65,3 % sowie bei der Energie zwischen 29,9 und 32,4 kNm.

Der Einfluss von 30 % Sauerteig-, 2 % Hefe- und 2 % Salzzugabe des Mehls IX auf die Teigentwicklungszeit ( $p < 0,05$ ) ist signifikant höher als der der Mehle VI und VII. Auf den Konsistenzabfall ( $p < 0,10$ ) ist der Einfluss von 30 % Sauerteig-, 2 % Hefe-



und 2 % Salzzugabe des Mehls VIII signifikant höher als der des Mehls VII. Der Einfluss von 30 % Sauerteig-, 2 % Hefe- und 2 % Salzzugabe des Mehls IX auf die Wasseraufnahme ( $p < 0,30$ ) ist signifikant höher als der der Mehle VI und VIII. Auf die Energie ( $p < 0,01$ ) ist der Einfluss von 30 % Sauerteig-, 2 % Hefe- und 2 % Salzzugabe des Mehls VIII hochsignifikant höher als der der Mehle VI, VII und IX.

**Tab. 48: Einfluss von 30 % Sauerteig-, 2 % Hefe- und 2 % Salzzugabe**

| Roggenmehle            | VI <sup>1</sup>           | VII <sup>2</sup>          | VIII <sup>3</sup>          | IX <sup>4</sup>           | F - value            |
|------------------------|---------------------------|---------------------------|----------------------------|---------------------------|----------------------|
| TEZ <sup>A</sup> [min] | 4:20 ± 15,62 <sup>b</sup> | 4:30 ± 12,49 <sup>b</sup> | 4:55 ± 18,48 <sup>ab</sup> | 5:19 ± 23,44 <sup>a</sup> | 6,43 <sup>*</sup>    |
| KA <sup>B</sup> [Nm]   | 2,73 ± 0,25 <sup>ab</sup> | 2,25 ± 0,36 <sup>b</sup>  | 3,01 ± 0,28 <sup>a</sup>   | 2,53 ± 0,37 <sup>ab</sup> | 3,02 <sup>**</sup>   |
| WA <sup>C</sup> [%]    | 62,6 ± 0,76 <sup>b</sup>  | 64,0 ± 1,39 <sup>ab</sup> | 62,7 ± 1,40 <sup>b</sup>   | 65,3 ± 0,70 <sup>a</sup>  | 4,12 <sup>***</sup>  |
| Energie [kJNm]         | 29,9 ± 0,87 <sup>b</sup>  | 30,7 ± 0,67 <sup>b</sup>  | 32,4 ± 0,31 <sup>a</sup>   | 30,9 ± 0,25 <sup>b</sup>  | 9,49 <sup>****</sup> |

Mittelwert±STABW(n=3). Mittelwerte mit den gleichen Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant. ANOVA, Duncan - Test ( $P < 0,05$ ; 0,10; 0,30; 0,01).

<sup>\*</sup>Pr > F = 0,0159, <sup>\*\*</sup>Pr > F = 0,0940, <sup>\*\*\*</sup>Pr > F = 0,0486 und <sup>\*\*\*\*</sup>Pr > F = 0,0052

<sup>1</sup>VI = Roggenmehl der Type 997, <sup>2</sup>VII = Roggenmehl der Type 1150

<sup>3</sup>VIII = Roggenmehl der Type 1370, <sup>4</sup>IX = Roggenvollkornmehl

<sup>A</sup>TEZ = Teigentwicklungszeit, <sup>B</sup>KA = Konsistenzabfall, <sup>C</sup>WA = Wasseraufnahme

Die Wasseraufnahmen mit 30 % Sauerteig-, 2 % Hefe- und 2 % Salzzugabe schwankten zwischen 62,6 und 65,3 %, im Vergleich zu den Teigen ohne Zusätze verringerte sich die Wasseraufnahme zwischen 7,6 und 13,0.

#### 4.3.3 Einfluss der Zusatzvariante (Milchsäure, Sauerteig, Hefe und Salz)

Der Einfluss von Zusatzvariante (0,9 % Milchsäure, 30 % Sauerteig, 2 % Hefe und 2 % Salz) wurde untersucht. Durch Anwesenheit von Säure bei der Herstellung von Roggenteigen kommt es zu einer besseren Quellung der Pentosane und der Eiweiße. Bei pH-Werten unter 4,9 nimmt die Löslichkeit ab und die Wasserbindung durch Quellung steigt an. Ebenso hemmt die Säure den enzymatischen Abbau der Pentosane.<sup>338</sup> Salz beeinflusst die Teigbildung positiv durch die Hemmung des enzymatischen Abbaus und durch Verringerung der Löslichkeit des Eiweißes. Die im Roggenteig vorhandenen Ionen des gelösten Salzes ( $\text{Na}^+$  und  $\text{Cl}^-$ ) haben das Bestreben, Wassermoleküle anzuziehen. „Säure und Salz ermöglichen eine höhere Teigausbeute, die Teige werden geschmeidiger und der enzymatische Abbau von Pentosanen und Stärke wird gebremst.“<sup>339</sup> Die Anwesenheit von Salz und eine pH-

<sup>338</sup> vgl. Freund 1995, S. 40

<sup>339</sup> vgl. Freund 1995, S. 40

Wert-Senkung bis zu einem bestimmten kritischen Punkt sichern die von den Mehlinhaltsstoffen (Stärke, Proteine und Schleimstoffe) gewährte volle Wasserbindung, die für eine optimale Teigbildung und ein stabiles Krumengerüst erforderlich ist. Backhefe benötigt als Nahrung auch Eiweißstoffe. Sie ist somit in der Lage, Proteine mit Hilfe von Proteasen zu spalten. Dieser Proteinabbau führt zur auch Teigerweichung.

Nach den Ergebnissen aus den Vorversuchen wurden zwei Versuchsparameter, wie Wasserzugabegeschwindigkeit und Testzeit modifiziert.

Mehl: Roggenmehl VII der Type 1150

TA 174 %: In den Vorversuchen wurden ermittelt, dass die Teigausbeute 174 % für diese Messungen zu verwenden ist (S. 135).

Wasser- und Knetkesseltemperatur: 25 °C

Einwaage: 600 g, Milchsäure: 5,4 g, Hefe: 12 g und Salz: 12 g

Drehzahl: 63  $\text{m}^{-1}$

Wasserzugabegeschwindigkeit:

- 2 min: Standard (Roggenmehl ohne Zusätze) sowie mit 0,9 % Milchsäure, 2 % Hefe und 2 % Salz
- 1 min: Mit 30 % Sauerteig, 2 % Hefe und 2 % Salz

Testzeit:

- 15 min: Standard (Roggenmehl ohne Zusätze) sowie mit 0,9 % Milchsäure, 2 % Hefe und 2 % Salz
- 14 min: Mit 30 % Sauerteig, 2 % Hefe und 2 % Salz

Bemerkungen: 9 Messungen

Ergebnisse und Interpretation:

Die Ergebnisse der Untersuchungen, die in Tab. 49 dargestellt werden, schwanken bei der Teigentwicklungszeit zwischen 4:27 und 5:00 min, beim Konsistenzabfall zwischen 1,30 und 2,84 Nm, bei der Wasseraufnahme zwischen 63,7 und 74,3 %, bei der Energie zwischen 23,1 und 30,6 kNm, beim pH-Wert zwischen 4,52 und 6,00 sowie beim Säuregrad zwischen 2,7 und 7,1 ml.

Der Einfluss der Zusatzvariante (0,9 % Milchsäure, 30 % Sauerteig, 2 % Hefe und 2 % Salz) auf die Teigentwicklungszeit ist nicht signifikant. Auf den Konsistenzabfall und die Energie ( $p < 0,01$ ) ist der Einfluss von 0,9 % Milchsäure-, 2 % Hefe- und 2 % Salzzugabe hochsignifikant höher als der des Standards sowie der 30 % Sauerteig-,

2 % Hefe- und 2 % Salzzugabe. Der Einfluss des Standards und der 0,9 % Milchsäure-, 2 % Hefe- und 2 % Salzzugabe auf die Wasseraufnahme ( $p < 0,01$ ) ist hochsignifikant höher als der der 30 % Sauerteig-, 2 % Hefe- und 2 % Salzzugabe. Auf den pH-Wert ( $p < 0,01$ ) ist der Einfluss des Standards hochsignifikant höher als der der 0,9 % Milchsäure-, 2 % Hefe- und 2 % Salzzugabe sowie der 30 % Sauerteig-, 2 % Hefe- und 2 % Salzzugabe. Der Einfluss von 30 % Sauerteig-, 2 % Hefe- und 2 % Salzzugabe auf den Säuregrad ( $p < 0,01$ ) ist hochsignifikant höher als der des Standards und der 0,9 % Milchsäure-, 2 % Hefe- und 2 % Salzzugabe.

**Tab. 49: Einfluss der Zusatzvariante**

| Proben-Nr.     | TEZ <sup>a</sup> [min]    | KA <sup>b</sup> [Nm]     | WA <sup>y</sup> [%]      | Energie [kJNm]           | pH-Wert                  | Säuregrad [ml]          |
|----------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|
| A <sup>1</sup> | 4:53 ± 36,46 <sup>a</sup> | 1,30 ± 0,14 <sup>b</sup> | 74,3 ± 0,67 <sup>a</sup> | 28,5 ± 0,12 <sup>b</sup> | 6,00 ± 0,05 <sup>a</sup> | 2,7 ± 0,10 <sup>c</sup> |
| B <sup>2</sup> | 5:00 ± 37,04 <sup>a</sup> | 1,41 ± 0,11 <sup>b</sup> | 63,7 ± 0,67 <sup>b</sup> | 23,1 ± 0,35 <sup>c</sup> | 4,52 ± 0,03 <sup>c</sup> | 7,1 ± 0,10 <sup>a</sup> |
| C <sup>3</sup> | 4:27 ± 11,55 <sup>a</sup> | 2,84 ± 0,39 <sup>a</sup> | 73,8 ± 1,00 <sup>a</sup> | 30,6 ± 0,23 <sup>a</sup> | 5,35 ± 0,00 <sup>b</sup> | 4,6 ± 0,10 <sup>b</sup> |
| F - Value      | 0,95 <sup>*</sup>         | 36,17 <sup>**</sup>      | 168,15 <sup>***</sup>    | 714,87 <sup>***</sup>    | 1492,75 <sup>***</sup>   | 1461,00 <sup>***</sup>  |

Mittelwert ± STABW (n=3). Mittelwerte mit den gleichen Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant. ANOVA, Duncan - Test ( $P < 0,50; 0,01$ ).

<sup>\*</sup>Pr > F = 0,4395, <sup>\*\*</sup>Pr > F = 0,0004 und <sup>\*\*\*</sup>Pr > F = < 0,0001

<sup>1</sup>A = Standard (Roggenmehl ohne Zusätze)

<sup>2</sup>B = mit 30 % Sauerteig, 2 % Hefe und 2 % Salz

<sup>3</sup>C = mit 0,9 % Milchsäure, 2 % Hefe und 2 % Salz

<sup>a</sup>TEZ = Teigentwicklungszeit, <sup>b</sup>KA = Konsistenzabfall, <sup>y</sup>WA = Wasseraufnahme

Bei einer konstanten Teigausbeute von 174 %, fand man bei der Teigentwicklungszeit keinen signifikanten Unterschied zwischen den unterschiedlichen Zusätzen. Die Wasseraufnahme, die Energie und der Konsistenzabfall mit Zusätzen von 0,9 % Milchsäure, 2 % Hefe und 2 % Salz waren hochsignifikant stärker bzw. höher als mit Zusätzen von 30 % Sauerteig, 2 % Hefe und 2 % Salz, im Fall der Wasseraufnahme um ca. 10 %.

#### 4.3.4 Einfluss der Mehlmischungsvariante aus Roggen und Weizen

Der Einfluss der Mehlmischungsvariante aus Roggen und Weizen wurde untersucht. Es wurden die bei 3 unterschiedlichen Mehlmischungsvarianten aus Roggen und Weizen (RM:WM = 90:10; 80:20 und 70:30) gewonnenen Ergebnisse miteinander verglichen. Nach den Ergebnissen aus den Vorversuchen wurden zwei Versuchsparameter, wie Wasserzugabegeschwindigkeit und Testzeit modifiziert.

Mehl: Roggenmehl VII der Type 1150, Weizenmehl XI der Type 550

TA 174 %: Für diese Messungen ist die Teigausbeute 174 % einzusetzen, die in den Vorversuchen ermittelt wurde (S. 135).

Wasser- und Knetkesseltemperatur: 25 °C, Einwaage: 600 g

Drehzahl: 63 m<sup>-1</sup>

Wasserzugabegeschwindigkeit:

- 2 min: Standard (Roggenmehl: 100 %) sowie Mehlmischung aus Roggen und Weizen (RM:WM = 90:10)
- 1 min: Mehlmischung aus Roggen und Weizen (RM:WM = 80:20 und 70:30)

Testzeit:

- 15 min: Standard (Roggenmehl: 100 %) sowie Mehlmischung aus Roggen und Weizen (RM:WM = 90:10)
- 14 min: Mehlmischung aus Roggen und Weizen (RM:WM = 80:20)
- 20 min: Mehlmischung aus Roggen und Weizen (RM:WM = 70:30)

Bemerkungen: 12 Messungen

Ergebnisse und Interpretation:

Die Ergebnisse der Untersuchungen, die in Tab. 50 dargestellt werden, schwanken bei der Teigentwicklungszeit zwischen 4:39 und 6:27 min, beim Konsistenzabfall zwischen 1,30 und 4,76 Nm, bei der Wasseraufnahme zwischen 73,2 und 74,6 % sowie bei der Energie zwischen 28,5 und 54,8 kNm.

Der Einfluss der Mehlmischung (RM:WM = 80:20) auf die Teigentwicklungszeit ( $p < 0,01$ ) ist hochsignifikant höher als der des Standards, der Mehlmischung (RM:WM = 90:10) und der Mehlmischung (RM:WM = 70:30). Auf den Konsistenzabfall und die Energie ( $p < 0,01$ ) ist der Einfluss der Mehlmischung (RM:WM = 70:30) hochsignifikant höher als der des Standards, der Mehlmischung (RM:WM = 90:10) und der Mehlmischung (RM:WM = 80:20). Der Einfluss der Mehlmischung (RM:WM = 70:30) auf die Wasseraufnahme ( $p < 0,20$ ) ist signifikant höher als der der Mehlmischung (RM:WM = 80:20).

**Tab. 50: Einfluss der Mehlmischungsvariante aus Roggen und Weizen**

| Proben-Nr.             | A <sup>1</sup>            | B <sup>2</sup>            | C <sup>3</sup>            | D <sup>4</sup>           | F - value             |
|------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|-----------------------|
| TEZ <sup>a</sup> [min] | 4:53 ± 36,46 <sup>b</sup> | 5:03 ± 13,32 <sup>b</sup> | 6:27 ± 13,32 <sup>a</sup> | 4:39 ± 4,62 <sup>b</sup> | 16,56 <sup>*</sup>    |
| KA <sup>β</sup> [Nm]   | 1,30 ± 0,14 <sup>d</sup>  | 2,23 ± 0,22 <sup>c</sup>  | 3,75 ± 0,20 <sup>b</sup>  | 4,76 ± 0,11 <sup>a</sup> | 235,60 <sup>**</sup>  |
| WA <sup>γ</sup> [%]    | 74,3 ± 0,67 <sup>ab</sup> | 73,4 ± 0,61 <sup>ab</sup> | 73,2 ± 0,80 <sup>b</sup>  | 74,6 ± 0,62 <sup>a</sup> | 2,92 <sup>***</sup>   |
| Energie [kJNm]         | 28,5 ± 0,12 <sup>d</sup>  | 29,5 ± 0,45 <sup>c</sup>  | 33,4 ± 0,42 <sup>b</sup>  | 54,8 ± 0,56 <sup>a</sup> | 2591,43 <sup>**</sup> |

Mittelwert±STABW(n=3). Mittelwerte mit den gleichen Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant. ANOVA, Duncan - Test (P < 0,01; 0,20).

<sup>\*</sup>Pr > F = 0,0009, <sup>\*\*</sup>Pr > F = < 0,0001, <sup>\*\*\*</sup>Pr > F = 0,1005

<sup>1</sup>A = Standard (Roggenmehl: 100 %)

<sup>2</sup>B = 90 % Roggenmehl + 10 % Weizenmehl

<sup>3</sup>C = 80 % Roggenmehl + 20 % Weizenmehl

<sup>3</sup>D = 70 % Roggenmehl + 30 % Weizenmehl

<sup>a</sup>TEZ = Teigentwicklungszeit, <sup>β</sup>KA = Konsistenzabfall, <sup>γ</sup>WA = Wasseraufnahme

Bei einer konstanten Teigausbeute von 174 %, nahm die Wasseraufnahme mit steigendem Weizenmehlanteil, mit Ausnahme der Mehlmischung (RM:WM = 70:30), um etwa 1 % ab, im Gegensatz dazu nahmen der Konsistenzabfall, die Energie sowie die Teigentwicklungszeit {mit Ausnahme der Mehlmischung (RM:WM = 70:30)}, zu.

### 4.3.5 Einfluss von Enzymen

Der Einfluss von Enzymen wurde untersucht. Es wurden die bei 4 unterschiedlichen Enzymen (Amylase, Lipase, Hemicellulase und Xylanase) gewonnenen Ergebnisse miteinander verglichen.

#### 4.3.5.1 Vorversuch

Mehl: Roggenmehl IV der Type 1150

TA 173,3 %: Die Teigausbeute 173,3 % ist für diese Messungen zu verwenden, wie sie nach den Ergebnissen aus den Vorversuchen modifiziert wurde (S. 134).

Wasser- und Knetkesseltemperatur: 25 °C, Einwaage: 600 g

Drehzahl: 63 m<sup>-1</sup>, Wasserzugabegeschwindigkeit: 2 min

Testzeit: 15 min, Bemerkungen: 8 Messungen

Ergebnisse:

Die Ergebnisse der Untersuchungen, die in Tab. 51 dargestellt werden, schwanken bei der Teigentwicklungszeit zwischen 4:14 und 4:46 min, beim Konsistenzabfall

zwischen 2,08 und 3,39 Nm, bei der Wasseraufnahme zwischen 75,5 und 79,6 % sowie bei der Energie zwischen 30,8 und 32,8 kNm.

Bei einer konstanten Teigausbeute von 173,3 %, waren die Wasseraufnahmen durch die Zusätze von Amylasen (Grindamyl MAX-LIFE E 16 und Grindamyl A 10000), Lipase (Alphamalt LP 12066) und Xylanase (Veron Spezial) etwas niedriger als ohne Enzymzusatz, dagegen etwas höher durch die Zusätze von Hemicellulasen (Alphamalt TTC und Alphamalt H 8043) und Xylanase (Veron HF). Bei der Teigentwicklungszeit und der Energie fand man keinen bedeutsamen Unterschied zwischen den unterschiedlichen Enzymen.

**Tab. 51: Einfluss von Enzymen**

| Proben-Nr.             | A <sup>1</sup> | B <sup>2</sup> | C <sup>3</sup> | D <sup>4</sup> | E <sup>5</sup> | F <sup>6</sup> | G <sup>7</sup> | H <sup>8</sup> |
|------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| TEZ <sup>a</sup> [min] | 4:16           | 4:46           | 4:30           | 4:14           | 4:16           | 4:28           | 4:40           | 4:14           |
| KA <sup>b</sup> [Nm]   | 3,39           | 3,00           | 2,64           | 2,55           | 2,58           | 2,08           | 2,83           | 2,42           |
| WA <sup>v</sup> [%]    | 77,4           | 75,6           | 76,1           | 75,5           | 79,6           | 79,2           | 78,7           | 76,9           |
| Energie [kNm]          | 32,6           | 30,8           | 30,8           | 31,5           | 32,6           | 32,8           | 31,8           | 31,7           |

<sup>1</sup>A = Standard (Ohne Enzymzusatz), <sup>2</sup>B = Lipase (Alphamalt LP 12066)

<sup>3</sup>C = Amylase (Grindamyl A 10000), <sup>4</sup>D = Amylase (Grindamyl MAX-LIFE E 16)

<sup>5</sup>E = Hemicellulase (Alphamalt H 8043), <sup>6</sup>F = Hemicellulase (Alphamalt TTC)

<sup>7</sup>G = Xylanase (Veron HF), <sup>8</sup>H = Xylanase (Veron Spezial)

<sup>a</sup>TEZ = Teigentwicklungszeit, <sup>b</sup>KA = Konsistenzabfall, <sup>v</sup>WA = Wasseraufnahme

#### 4.3.5.2 Untersuchungen bei 25 °C

Mehl: Roggenmehl II der Type 1150

TA 175,7 %: In den Vorversuchen wurde ermittelt, dass die Teigausbeute 175,7 % für diese Messungen einzusetzen ist (S. 134).

Wasser- und Knetkesseltemperatur: 25 °C, Einwaage: 600 g

Drehzahl: 63 m<sup>-1</sup>, Wasserzugabegeschwindigkeit: 2 min

Testzeit: 15 min, Bemerkungen: 15 Messungen

#### Ergebnisse und Interpretation:

Die Ergebnisse der Untersuchungen, die in Tab. 52 dargestellt werden, schwanken bei der Teigentwicklungszeit zwischen 4:27 und 4:54 min, beim Konsistenzabfall zwischen 1,08 und 1,64 Nm, bei der Wasseraufnahme zwischen 72,9 und 77,7 % sowie bei der Energie zwischen 27,1 und 29,5 kNm.

Der Einfluss von Enzymen auf die Teigentwicklungszeit ist nicht signifikant. Auf den Konsistenzabfall ( $p < 0,20$ ) ist der Einfluss des Standards signifikant höher als der von Xylanase. Der Einfluss von Hemicellulase und Xylanase auf die Wasseraufnahme ( $p < 0,01$ ) ist hochsignifikant höher als der von Lipase. Auf die Energie ( $p < 0,01$ ) ist der Einfluss des Standards, der Hemicellulase und der Xylanase hochsignifikant höher als der von Amylase und Lipase.

**Tab. 52: Einfluss von Enzymen bei 25 °C**

| Proben-Nr.             | A <sup>1</sup>            | B <sup>2</sup>            | C <sup>3</sup>            | D <sup>4</sup>            | E <sup>5</sup>            | F - value             |
|------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|-----------------------|
| TEZ <sup>a</sup> [min] | 4:27 ± 5,77 <sup>a</sup>  | 4:54 ± 17,78 <sup>a</sup> | 4:39 ± 25,72 <sup>a</sup> | 4:29 ± 8,33 <sup>a</sup>  | 4:46 ± 14,00 <sup>a</sup> | 1,52 <sup>*</sup>     |
| KA <sup>b</sup> [Nm]   | 1,64 ± 0,23 <sup>a</sup>  | 1,41 ± 0,15 <sup>ab</sup> | 1,29 ± 0,12 <sup>ab</sup> | 1,22 ± 0,48 <sup>ab</sup> | 1,08 ± 0,08 <sup>b</sup>  | 2,04 <sup>**</sup>    |
| WA <sup>v</sup> [%]    | 75,7 ± 1,19 <sup>ab</sup> | 73,7 ± 0,58 <sup>bc</sup> | 72,9 ± 1,08 <sup>c</sup>  | 77,7 ± 1,63 <sup>a</sup>  | 77,1 ± 1,58 <sup>a</sup>  | 8,10 <sup>***</sup>   |
| Energie [kJNm]         | 29,3 ± 0,40 <sup>a</sup>  | 27,1 ± 0,81 <sup>b</sup>  | 28,0 ± 0,47 <sup>b</sup>  | 29,0 ± 0,23 <sup>a</sup>  | 29,5 ± 0,47 <sup>a</sup>  | 12,22 <sup>****</sup> |

Mittelwert±STABW(n=3). Mittelwerte mit den gleichen Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant. ANOVA, Duncan - Test ( $P < 0,30; 0,20; 0,01$ ).

<sup>\*</sup>Pr > F = 0,2691, <sup>\*\*</sup>Pr > F = 0,1651, <sup>\*\*\*</sup>Pr > F = 0,0035 und <sup>\*\*\*\*</sup>Pr > F = 0,0007

<sup>1</sup>A = Standard (Ohne Enzymzusatz), <sup>2</sup>B = Amylase (Grindamyl MAX-LIFE E 16),

<sup>3</sup>C = Lipase (Alphamalt LP 12066), <sup>4</sup>D = Hemicellulase (Alphamalt TTC), <sup>5</sup>E = Xylanase (Veron HF)

<sup>a</sup>TEZ = Teigentwicklungszeit, <sup>b</sup>KA = Konsistenzabfall, <sup>v</sup>WA = Wasseraufnahme

Bei einer konstanten Teigausbeute von 175,7 %, waren die Wasseraufnahmen durch die Zusätze von Amylase (Grindamyl MAX-LIFE E 16) und Lipase (Alphamalt LP 12066) etwas niedriger als ohne Enzymzusatz, dagegen etwas höher durch die Zusätze von Hemicellulase (Alphamalt TTC) und Xylanase (Veron HF).

#### 4.3.5.3 Untersuchungen bei 40 °C

Mehl: Roggenmehl II der Type 1150

TA 175,7 %: Für diese Messungen ist die Teigausbeute 175,7 % zu verwenden, wie sie in den Vorversuchen ermittelt wurde (S. 134).

Wasser- und Knetkesseltemperatur: 40 °C, Einwaage: 600 g

Drehzahl: 63 m<sup>-1</sup>, Wasserzugabegeschwindigkeit: 2 min

Testzeit: 15 min, Bemerkungen: 15 Messungen

Ergebnisse und Interpretation:

Die Ergebnisse der Untersuchungen, die in Tab. 53 dargestellt werden, schwanken bei der Teigentwicklungszeit zwischen 4:12 und 4:41 min, beim Konsistenzabfall

zwischen 2,03 und 2,72 Nm, bei der Wasseraufnahme zwischen 66,2 und 70,5 % sowie bei der Energie zwischen 28,9 und 30,4 kNm.

Der Einfluss von Enzymen auf die Teigentwicklungszeit ist nicht signifikant. Auf den Konsistenzabfall ( $p < 0,20$ ) ist der Einfluss von Lipase signifikant höher als der des Standards. Der Einfluss des Standards, der Hemicellulase und der Xylanase auf die Wasseraufnahme ( $p < 0,01$ ) ist hochsignifikant höher als der von Amylase und Lipase. Auf die Energie ( $p < 0,10$ ) ist der Einfluss von Xylanase signifikant höher als der von Amylase und Lipase.

**Tab. 53: Einfluss von Enzymen bei 40 °C**

| Proben-Nr.             | A <sup>1</sup>            | B <sup>2</sup>            | C <sup>3</sup>            | D <sup>4</sup>            | E <sup>5</sup>            | F - value            |
|------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|----------------------|
| TEZ <sup>a</sup> [min] | 4:38 ± 45,08 <sup>a</sup> | 4:37 ± 15,01 <sup>a</sup> | 4:12 ± 12,17 <sup>a</sup> | 4:38 ± 9,17 <sup>a</sup>  | 4:41 ± 15,28 <sup>a</sup> | 0,79 <sup>*</sup>    |
| KA <sup>b</sup> [Nm]   | 2,03 ± 0,37 <sup>b</sup>  | 2,33 ± 0,20 <sup>ab</sup> | 2,72 ± 0,40 <sup>a</sup>  | 2,16 ± 0,26 <sup>ab</sup> | 2,22 ± 0,14 <sup>ab</sup> | 2,48 <sup>**</sup>   |
| WA <sup>v</sup> [%]    | 69,3 ± 1,41 <sup>a</sup>  | 66,2 ± 0,60 <sup>b</sup>  | 66,8 ± 0,75 <sup>b</sup>  | 69,7 ± 1,67 <sup>a</sup>  | 70,5 ± 0,81 <sup>a</sup>  | 8,44 <sup>***</sup>  |
| Energie [kNm]          | 30,0 ± 1,31 <sup>ab</sup> | 28,9 ± 0,32 <sup>b</sup>  | 28,9 ± 0,45 <sup>b</sup>  | 30,0 ± 0,72 <sup>ab</sup> | 30,4 ± 0,35 <sup>a</sup>  | 2,66 <sup>****</sup> |

Mittelwert±STABW(n=3). Mittelwerte mit den gleichen Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant. ANOVA, Duncan - Test ( $P < 0,60$ ; 0,20; 0,01; 0,10).

<sup>\*</sup>Pr > F = 0,5574, <sup>\*\*</sup>Pr > F = 0,1117, <sup>\*\*\*</sup>Pr > F = 0,0030 und <sup>\*\*\*\*</sup>Pr > F = 0,0952

<sup>1</sup>A = Standard (Ohne Enzymzusatz), <sup>2</sup>B = Amylase (Grindamyl MAX-LIFE E 16)

<sup>3</sup>C = Lipase (Alphamalt LP 12066), <sup>4</sup>D = Hemicellulase (Alphamalt TTC), <sup>5</sup>E = Xylanase (Veron HF)

<sup>a</sup>TEZ = Teigentwicklungszeit, <sup>b</sup>KA = Konsistenzabfall, <sup>v</sup>WA = Wasseraufnahme

Bei einer konstanten Teigausbeute von 175,7 %, waren die Wasseraufnahmen durch die Zusätze von Amylase (Grindamyl MAX-LIFE E 16) und Lipase (Alphamalt LP 12066) etwas niedriger als ohne Enzymzusatz, dagegen etwas höher durch die Zusätze von Hemicellulase (Alphamalt TTC) und Xylanase (Veron HF). Bei 40 °C schwankten die Wasseraufnahmen zwischen 66,2 und 70,5 %, im Vergleich zu den Teigen bei 25 °C verringerte sich die Wasseraufnahme zwischen 6,1 und 8,0 %.



## 4.4 Die experimentellen Backversuche

Mit dem P 600 wurde die Wasseraufnahme zum Erreichen des rheologischen Optimums eines Roggenmehles ohne und mit Enzymzusätzen ermittelt. Auf der Basis dieser Analysenwerte wurden Roggenbrote nach dem Sauerteig- und dem Milchsäurebackversuch hergestellt, bei denen insbesondere Qualitätsmerkmale wie eine gleichmäßige und gut gelockerte Krume und ein ausreichendes Volumen den Beweis liefern sollten, dass die ermittelte Wasseraufnahme im P 600 als Grundlage für die Festlegung der Teigausbeute von Roggenteigen dienen kann. Ferner sollte ein Vergleich der Roggenbrote untereinander erste Erkenntnisse darüber liefern, welchen Einfluss Enzyme auf Teigeigenschaften und letztlich auf Qualitätskriterien wie Form, Lockerung, Porengleichmäßigkeit usw. haben.

### 4.4.1 Sauerteigbackversuch der Roggenmehle (II, III, V und X)

#### 4.4.1.1 Grundrezeptur

Für die Sauerteigbackversuche wurden die Roggenmehle ebenfalls einer Mehlfuchte von 14 % angepasst. Der Roggenbrotteig wurde nach folgender Grundrezeptur bereitet (Tab. 54):

**Tab. 54: Grundrezeptur Roggenbrotteig (freigeschoben)**

|                             |   |
|-----------------------------|---|
| <b>Gesamtmehlmenge [g]</b>  | 2500  |
| <b>Teigausbeute [TA, %]</b> | II → 176<br>III → 176<br>V → 172<br>X* → 185  |
| <b>Versäuerungshöhe [%]</b> | 30  |
| <b>Hefe u. Salz [%]</b>     | 2   |
| <b>Knetzeit [Min.]</b>      | 10  |
| <b>Teigtemperatur [°C]</b>  | 30  |
| <b>Teigruhe [Min.]</b>      | 15  |
| <b>Teigeinlage [g]</b>      | 1150  |
| <b>Stückgare [Min.]</b>     | 50  |
| <b>Backtemperatur [°C]</b>  | Oberhitze: 260 → 220<br>Unterhitze: 240 → 200 |
| <b>Backzeit [Min.]</b>      | 50  |

\* X: Ohne Sauerteig

#### 4.4.1.2 Darstellung und Erläuterung der Ergebnisse

##### 4.4.1.2.1 Sauerteige

Die pH-Werte und Säuregrade der verwendeten Sauerteige nach 20 Stunden Steh- bzw. Reifezeit lassen sich der Tab. 55 entnehmen:

**Tab. 55: pH-Wert und Säuregrad der verwendeten Sauerteige**

|         | Sauerteig II | Sauerteig III | Sauerteig V |
|---------|--------------|---------------|-------------|
| pH-Wert | 3,90         | 3,95          | 3,95        |
| S°      | 16,1         | 16,0          | 15,9        |

Die hier dargestellten pH-Werte und Säuregrade rechtfertigen eine Versäuerung von 30 % bei Roggenbrot aus 100 % Roggenmehl. Eine Änderung der Versäuerungshöhe war auf Grund ziemlich gleich bleibender pH-Werte und insbesondere Säuregrade nicht erforderlich.

##### 4.4.1.2.2 Teigeigenschaften

Alle Teige waren nach Ablauf der Teigruhezeiten durch eine gute (roggentypische) Teigstabilität gekennzeichnet, so dass die Aufarbeitung keine größeren Probleme bereitete.

##### 4.4.1.2.3 Roggenbrote

Die Tab. 56 zeigt die Ergebnisse der Brote, welche aus den Mehlen II, III, V und X hergestellt wurden. Anzumerken ist, dass es sich bei den Brotgewichten, Backverlusten, Volumen, Volumenausbeuten, pH-Werten und Säuregraden um einen Mittelwert aus drei Messungen (drei Brote) handelt.

Der Einfluss des Brotes aus Mehl V auf das Brotgewicht ( $p < 0,20$ ) ist signifikant höher als der des Brotes aus Mehl X. Auf den Backverlust ( $p < 0,20$ ) ist der Einfluss des Brotes aus Mehl X signifikant höher als der des Brotes aus Mehl V. Der Einfluss des Brotes aus Mehl V auf das Volumen ( $p < 0,01$ ) ist hochsignifikant höher als der der Brote aus den Mehlen II, III und X. Auf die Volumenausbeute ( $p < 0,01$ ) ist der Einfluss der Brote aus den Mehlen II, III und V hochsignifikant höher als der des Brotes aus Mehl X. Der Einfluss des Brotes aus Mehl X auf den pH-Wert ( $p < 0,01$ ) ist hochsignifikant höher als der der Brote aus den Mehlen II, III und V. Auf den

Säuregrad ( $p < 0,01$ ) ist der Einfluss der Brote aus den Mehlen II und V hochsignifikant höher als der der Brote aus den Mehlen III und X.

**Tab. 56: Ergebnisse der Backversuche**

|  | II <sup>1</sup>           | III <sup>2</sup>          | V <sup>3</sup>            | X <sup>4</sup>            | F - value                |
|--|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|
| <b>Form</b>                                | gut                       | gut                       | gut                       | gut                       | -                        |
| <b>Bräunung</b>                            | normal                    | normal                    | normal                    | schwach                   | -                        |
| <b>Krumenlockerung</b>                     | gut                       | gut                       | gut                       | gut                       | -                        |
| <b>Porengleichmäßig</b>                    | gleichmäßig               | ziemlich<br>gleichmäßig   | ziemlich<br>gleichmäßig   | ungleichmäßig             | -                        |
| <b>Krumenelastizität</b>                   | gut                       | gut                       | gut                       | befriedigend              | -                        |
| <b>Geschmack</b>                           | einwandfrei               | einwandfrei               | einwandfrei               | einwandfrei<br>untypisch  | -                        |
| <b>Brotgewicht [g]</b>                     | 981 ± 8,94 <sup>ab</sup>  | 977 ± 13,30 <sup>ab</sup> | 989 ± 8,89 <sup>a</sup>   | 963 ± 13,94 <sup>b</sup>  | 2,81 <sup>*</sup>        |
| <b>Backverlust [%]</b>                     | 14,7 ± 0,82 <sup>ab</sup> | 15,1 ± 1,16 <sup>ab</sup> | 14,0 ± 0,79 <sup>b</sup>  | 16,3 ± 1,22 <sup>a</sup>  | 2,61 <sup>**</sup>       |
| <b>Volumen [ml]</b>                        | 1883 ± 20,82 <sup>b</sup> | 1903 ± 32,15 <sup>b</sup> | 1970 ± 26,46 <sup>a</sup> | 1737 ± 15,28 <sup>c</sup> | 48,37 <sup>***</sup>     |
| <b>Volumenausbeute<br/>[ml/ 100g Mehl]</b> | 294,8 ± 3,27 <sup>a</sup> | 297,9 ± 4,99 <sup>a</sup> | 301,5 ± 4,06 <sup>a</sup> | 285,4 ± 2,49 <sup>b</sup> | 9,79 <sup>****</sup>     |
| <b>pH-Wert</b>                             | 4,43 ± 0,03 <sup>c</sup>  | 4,50 ± 0,00 <sup>b</sup>  | 4,50 ± 0,00 <sup>b</sup>  | 6,03 ± 0,06 <sup>a</sup>  | 1745,07 <sup>****</sup>  |
| <b>Säuregrad [ml]</b>                      | 9,4 ± 0,12 <sup>a</sup>   | 9,1 ± 0,12 <sup>b</sup>   | 9,4 ± 0,10 <sup>a</sup>   | 2,2 ± 0,00 <sup>c</sup>   | 4156,21 <sup>*****</sup> |

Mittelwert±STABW(n=3). Mittelwerte mit den gleichen Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant. ANOVA, Duncan - Test ( $P < 0,20; 0,01$ ).

<sup>\*</sup>Pr > F = 0,1078, <sup>\*\*</sup>Pr > F = 0,1237, <sup>\*\*\*</sup>Pr > F = < 0,0001 und <sup>\*\*\*\*</sup>Pr > F = 0,0047

<sup>1</sup>II = Roggenmehl der Type 1150

<sup>2</sup>III = Roggenmehl der Type 1150

<sup>3</sup>V = Roggenmehl der Type 1150

<sup>4</sup>X = Roggenmehl der Type 997 VC1

Um eine genaue Beurteilung der Qualität bezüglich des Volumens und insbesondere der Krumenlockerung und der Porengleichmäßigkeit vornehmen zu können, wurden die einzelnen Krumen der Brote fotografiert (Abb. 29).



II



III



V



X

**Abb. 29: Brotkrumen der verwendeten Roggenmehle**

#### 4.4.2 Sauerteigbackversuch der Roggenmehle (VI, VII, VIII und IX)

##### 4.4.2.1 Grundrezeptur

Für die Sauerteigbackversuche wurden die Roggenmehle ebenfalls einer Mehlfuchte von 14 % angepasst. Der Roggenbrotteig wurde nach folgender Grundrezeptur bereitet (Tab. 57).

**Tab. 57: Grundrezeptur Roggenbrotteig (freigeschoben)**

|                             |   |
|-----------------------------|---|
| <b>Gesamtmehlmenge [g]</b>  | 2500  |
| <b>Teigausbeute [TA, %]</b> | VI → 170<br>VII → 174<br>VIII → 176<br>IX → 178 |
| <b>Versäuerungshöhe [%]</b> | 30  |
| <b>Hefe u. Salz [%]</b>     | 2   |
| <b>Knetzeit [Min.]</b>      | 10  |
| <b>Teigtemperatur [°C]</b>  | 30  |
| <b>Teigruhe [Min.]</b>      | 15  |
| <b>Teigeinlage [g]</b>      | 1150  |
| <b>Stückgare [Min.]</b>     | 50  |
| <b>Backtemperatur [°C]</b>  | Oberhitze: 260 → 220<br>Unterhitze: 240 → 200   |
| <b>Backzeit [Min.]</b>      | 50  |

##### 4.4.2.2 Darstellung und Erläuterung der Ergebnisse

###### 4.4.2.2.1 Sauerteige

Die pH-Werte und Säuregrade der verwendeten Sauerteige nach 20 Stunden Steh- bzw. Reifezeit lassen sich der Tab. 58 entnehmen:

**Tab. 58: pH-Wert und Säuregrad der verwendeten Sauerteige**

|                | Sauerteig VI | Sauerteig VII | Sauerteig VIII | Sauerteig IX |
|----------------|--------------|---------------|----------------|--------------|
| <b>pH-Wert</b> | 3,93         | 3,95          | 3,95           | 3,95         |
| <b>S°</b>      | 17,7         | 18,7          | 19,8           | 22,1         |

Die hier dargestellten pH-Werte und Säuregrade rechtfertigen eine Versäuerung von 30 % bei Roggenbrot aus 100 % Roggenmehl. Eine Änderung der Versäuerungshöhe war auf Grund ziemlich gleich bleibender pH-Werte und insbesondere Säuregrade nicht erforderlich.

#### 4.4.2.2 Teigeigenschaften

Alle Teige waren nach Ablauf der Teigruhezeiten durch eine gute (roggentypische) Teigstabilität gekennzeichnet, so dass die Aufarbeitung keine größeren Probleme bereitete.

#### 4.4.2.3 Roggenbrote

Die Tab. 59 zeigt die Ergebnisse der Brote, welche aus den Mehlen (VI – IX) hergestellt wurden. Anzumerken ist, dass es sich bei den Brotgewichten, Backverlusten, Volumen, Volumenausbeuten, pH-Werten und Säuregraden um einen Mittelwert aus drei Messungen (drei Brote) handelt.

Der Einfluss der Brote aus den Mehlen von verschiedenen Typenzahlen auf das Brotgewicht und den Backverlust ist nicht signifikant. Auf das Volumen ( $p < 0,01$ ) ist der Einfluss der Brote aus den Mehlen VI, VII und VIII hochsignifikant höher als der des Brotes aus Mehl IX. Der Einfluss der Brote aus den Mehlen VII und VIII auf die Volumenausbeute ( $p < 0,01$ ) ist hochsignifikant höher als der der Brote aus den Mehlen VI und IX. Auf den pH-Wert und den Säuregrad ( $p < 0,01$ ) ist der Einfluss des Brotes aus Mehl IX hochsignifikant höher als der der Brote aus den Mehlen VI, VII und VIII.

**Tab. 59: Ergebnisse der Backversuche**

|                          | VI <sup>1</sup>         | VII <sup>2</sup>        | VIII <sup>3</sup>       | IX <sup>4</sup>               | F - value |
|--------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------------|-----------|
| <b>Form</b>              | gut                     | gut                     | etwas flach             | gut                           | -         |
| <b>Bräunung</b>          | normal                  | normal                  | normal                  | normal                        | -         |
| <b>Krumenlockerung</b>   | gut                     | gut                     | gut                     | noch gut<br>(etwas dicht)     | -         |
| <b>Porengleichmäßig</b>  | ziemlich<br>gleichmäßig | ziemlich<br>gleichmäßig | ziemlich<br>gleichmäßig | gleichmäßig<br>(feine Porung) | -         |
| <b>Krumenelastizität</b> | gut                     | noch gut                | noch gut                | gut                           | -         |
| <b>Geschmack</b>         | einwandfrei             | einwandfrei             | einwandfrei             | einwandfrei                   | -         |

|  |                           |                           |                           |                           |                         |
|--|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|-------------------------|
| <b>Brotgewicht [g]</b>                 | 984 ± 15,42 <sup>a</sup>  | 980 ± 15,53 <sup>a</sup>  | 985 ± 11,71 <sup>a</sup>  | 999 ± 14,14 <sup>a</sup>  | 1,08 <sup>*</sup>       |
| <b>Backverlust [%]</b>                 | 14,4 ± 1,35 <sup>a</sup>  | 14,8 ± 1,35 <sup>a</sup>  | 14,4 ± 0,99 <sup>a</sup>  | 13,1 ± 1,20 <sup>a</sup>  | 0,99 <sup>**</sup>      |
| <b>Volumen [ml]</b>                    | 1870 ± 20,00 <sup>a</sup> | 1887 ± 15,28 <sup>a</sup> | 1883 ± 15,28 <sup>a</sup> | 1780 ± 28,28 <sup>b</sup> | 24,18 <sup>****</sup>   |
| <b>Volumenausbeute [ml/ 100g Mehl]</b> | 282,9 ± 3,00 <sup>b</sup> | 292,1 ± 2,35 <sup>a</sup> | 294,7 ± 2,39 <sup>a</sup> | 281,6 ± 4,45 <sup>b</sup> | 16,97 <sup>*****</sup>  |
| <b>pH-Wert</b>                         | 4,47 ± 0,03 <sup>c</sup>  | 4,50 ± 0,00 <sup>b</sup>  | 4,50 ± 0,00 <sup>b</sup>  | 4,60 ± 0,00 <sup>a</sup>  | 48,00 <sup>*****</sup>  |
| <b>Säuregrad [ml]</b>                  | 9,3 ± 0,06 <sup>d</sup>   | 9,6 ± 0,06 <sup>c</sup>   | 10,2 ± 0,10 <sup>b</sup>  | 11,5 ± 0,14 <sup>a</sup>  | 413,67 <sup>*****</sup> |

Mittelwert±STABW(n=3). Mittelwerte mit den gleichen Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant. ANOVA, Duncan - Test (P < 0,50; 0,01).

<sup>\*</sup>Pr > F = 0,4125, <sup>\*\*</sup>Pr > F = 0,4465, <sup>\*\*\*</sup>Pr > F = 0,0002, <sup>\*\*\*\*</sup>Pr > F = 0,0008 und <sup>\*\*\*\*\*</sup>Pr > F = < 0,0001

<sup>1</sup>VI = Roggenmehl der Type 997

<sup>2</sup>VII = Roggenmehl der Type 1150

<sup>3</sup>VIII = Roggenmehl der Type 1370

<sup>4</sup>IX = Roggenvollkornmehl

Um eine genaue Beurteilung der Qualität bezüglich des Volumens und insbesondere der Krumenlockerung und der Porengleichmäßigkeit vornehmen zu können, wurden die einzelnen Krumen der Brote fotografiert (Abb. 30).



VI



VII



VIII



IX

**Abb. 30: Brotkrumen der verwendeten Roggenmehle**

### 4.4.3 Milchsäurebackversuch der Roggenmehle (VI, VII, VIII und IX)

#### 4.4.3.1 Grundrezeptur

Für die Milchsäurebackversuche wurden die Roggenmehle ebenfalls einer Mehlfuchte von 14 % angepasst. Der Roggenbrotteig wurde nach folgender Grundrezeptur bereitet (Tab. 60):

**Tab. 60: Grundrezeptur Roggenbrotteig (freigeschoben)**

|                             |   |
|-----------------------------|---|
| <b>Gesamtmehlmenge [g]</b>  | 2500  |
| <b>Teigausbeute [TA, %]</b> | VI → 170<br>VII → 174<br>VIII → 176<br>IX → 178     |
| <b>Milchsäure [ml]</b>      | VI → 20,0<br>VII → 22,5<br>VIII → 25,0<br>IX → 27,5 |
| <b>Hefe u. Salz [%]</b>     | 2   |
| <b>Knetzeit [Min.]</b>      | 10  |
| <b>Teigtemperatur [°C]</b>  | 30  |
| <b>Teigruhe [Min.]</b>      | 15  |
| <b>Teigeinlage [g]</b>      | 1150  |
| <b>Stückgare [Min.]</b>     | 50  |
| <b>Backtemperatur [°C]</b>  | Oberhitze: 260 → 220<br>Unterhitze: 240 → 200       |
| <b>Backzeit [Min.]</b>      | 50  |

#### 4.4.3.2 Darstellung und Erläuterung der Ergebnisse

##### 4.4.3.2.1 Roggenteige

Die pH-Werte und Säuregrade der Roggenteige nach dem Kneten von 10 min und der Teigruhe von 15 min lassen sich der Tab. 61 entnehmen:

**Tab. 61: pH-Wert und Säuregrad der Roggenteige**

|                | Roggenteig VI | Roggenteig VII | Roggenteig VIII | Roggenteig IX |
|----------------|---------------|----------------|-----------------|---------------|
| <b>pH-Wert</b> | 4,55          | 4,55           | 4,55            | 4,60          |
| <b>S°</b>      | 6,0           | 6,9            | 7,0             | 8,3           |



#### 4.4.3.2 Teigeigenschaften

Alle Teige waren nach Ablauf der Teigruhezeiten durch eine gute, roggenuntypische (fest und trocken) Teigstabilität gekennzeichnet, so dass die Aufarbeitung keine Probleme bereitete.

#### 4.4.3.2.3 Roggenbrote

Die Tab. 62 zeigt die Ergebnisse der Brote, welche aus den Mehlen (VI - IX) hergestellt wurden. Anzumerken ist, dass es sich bei den Brotgewichten, Backverlusten, Volumen, Volumenausbeuten, pH-Werten und Säuregraden um einen Mittelwert aus drei Messungen (drei Brote) handelt.

Der Einfluss der Brote aus den Mehlen von verschiedenen Typenzahlen auf das Brotgewicht, den Backverlust, die Volumenausbeute und den pH-Wert ist nicht signifikant. Auf das Volumen ( $p < 0,01$ ) ist der Einfluss des Brotes aus Mehl VI hochsignifikant höher als der der Brote aus den Mehlen VII, VIII und IX. Der Einfluss des Brotes aus Mehl IX auf den Säuregrad ( $p < 0,01$ ) ist hochsignifikant höher als der der Brote aus den Mehlen VI, VII und VIII.

**Tab. 62: Ergebnisse der Backversuche**

|   | VI <sup>1</sup>           | VII <sup>2</sup>          | VIII <sup>3</sup>             | IX <sup>4</sup>           | F - value               |
|---|---------------------------|---------------------------|-------------------------------|---------------------------|-------------------------|
| <b>Form</b>                                 | gut                       | gut                       | gut                           | gut                       | -                       |
| <b>Bräunung</b>                             | schwach                   | etwas schwach             | etwas schwach                 | etwas schwach             | -                       |
| <b>Krumenlockerung</b>                      | mangelhaft<br>(dicht)     | mangelhaft<br>(dicht)     | befriedigend<br>(etwas dicht) | mangelhaft<br>(dicht)     | -                       |
| <b>Porengleichmäßigkeit</b>                 | ziemlich<br>gleichmäßig   | ziemlich<br>gleichmäßig   | ziemlich<br>gleichmäßig       | ziemlich<br>gleichmäßig   | -                       |
| <b>Krumenelastizität</b>                    | gut                       | gut                       | gut                           | gut                       | -                       |
| <b>Geschmack</b>                            | einwandfrei               | einwandfrei               | einwandfrei                   | einwandfrei               | -                       |
| <b>Brotgewicht [g]</b>                      | 1000 ± 13,25 <sup>a</sup> | 990 ± 10,45 <sup>a</sup>  | 995 ± 11,40 <sup>a</sup>      | 996 ± 12,05 <sup>a</sup>  | 0,38 <sup>*</sup>       |
| <b>Backverlust [%]</b>                      | 13,1 ± 1,15 <sup>a</sup>  | 13,9 ± 0,90 <sup>a</sup>  | 13,5 ± 1,00 <sup>a</sup>      | 13,4 ± 1,05 <sup>a</sup>  | 0,34 <sup>**</sup>      |
| <b>Volumen [ml]</b>                         | 1677 ± 15,28 <sup>a</sup> | 1627 ± 20,82 <sup>b</sup> | 1637 ± 11,55 <sup>b</sup>     | 1580 ± 26,46 <sup>c</sup> | 12,62 <sup>***</sup>    |
| <b>Volumenausbeute<br/>[ml/ 100 g Mehl]</b> | 254,9 ± 2,35 <sup>a</sup> | 253,0 ± 3,22 <sup>a</sup> | 257,6 ± 1,79 <sup>a</sup>     | 251,6 ± 4,23 <sup>a</sup> | 2,21 <sup>****</sup>    |
| <b>pH-Wert</b>                              | 4,55 ± 0,05 <sup>a</sup>  | 4,55 ± 0,05 <sup>a</sup>  | 4,60 ± 0,00 <sup>a</sup>      | 4,60 ± 0,00 <sup>a</sup>  | 2,00 <sup>*****</sup>   |
| <b>Säuregrad [ml]</b>                       | 7,7 ± 0,06 <sup>d</sup>   | 8,4 ± 0,06 <sup>c</sup>   | 8,6 ± 0,10 <sup>b</sup>       | 10,1 ± 0,10 <sup>a</sup>  | 472,17 <sup>*****</sup> |

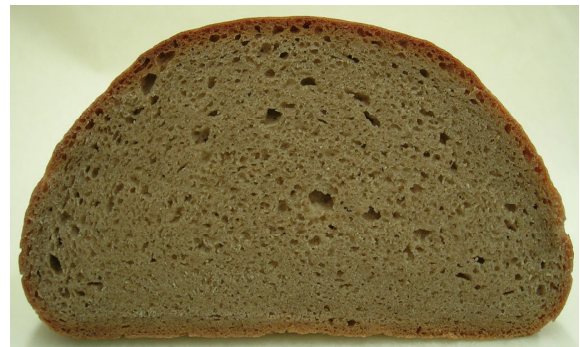
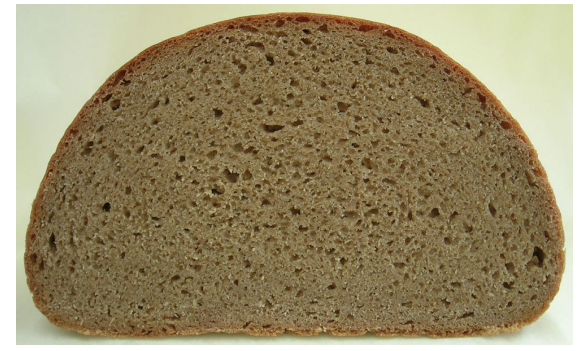
Mittelwert $\pm$ STABW(n=3). Mittelwerte mit den gleichen Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant. ANOVA, Duncan - Test (P < 0,80; 0,01; 0,20).

<sup>1</sup>Pr > F = 0,7701, <sup>2</sup>Pr > F = 0,7982, <sup>3</sup>Pr > F = 0,0021, <sup>4</sup>Pr > F = 0,1649, <sup>5</sup>Pr > F = 0,1927 und <sup>6</sup>Pr > F = < 0,0001

<sup>1</sup>VI = Roggenmehl der Type 997, <sup>2</sup>VII = Roggenmehl der Type 1150

<sup>3</sup>VIII = Roggenmehl der Type 1370, <sup>4</sup>IX = Roggenvollkornmehl

Um eine genaue Beurteilung der Qualität bezüglich des Volumens und insbesondere der Krumenlockerung und der Porengleichmäßigkeit vornehmen zu können, wurden die einzelnen Krumen der Brote fotografiert (Abb. 31).

**VI****VII****VIII****IX**

**Abb. 31: Brotkrumen der verwendeten Roggenmehle**

#### 4.4.4 Sauerteigbackversuch des Roggenmehls IV mit Enzymzusätzen

##### 4.4.4.1 Grundrezeptur

Für die Sauerteigbackversuche wurde das Roggenmehl IV ebenfalls einer Mehlfuchte von 14 % angepasst. Der Roggenbrotteig wurde nach folgender Grundrezeptur bereitet (Tab. 63):

**Tab. 63: Grundrezeptur Roggenbrotteig (freigeschoben)**

|                             |  |
|-----------------------------|--|
| <b>Gesamtmehlmenge [g]</b>  | 2500   |
| <b>Teigausbeute [TA, %]</b> | A → 173 (Standard)<br>B → 172 (Lipase)<br>C → 172 (Amylase)<br>D → 172 (Amylase)<br>E → 176 (Hemicellulase)<br>F → 175 (Hemicellulase)<br>G → 175 (Xylanase)<br>H → 173 (Xylanase) |
| <b>Versäuerungshöhe [%]</b> | 30   |
| <b>Hefe u. Salz [%]</b>     | 2  |
| <b>Knetzeit [Min.]</b>      | 10 Hubknetter<br>5 Kesselruhe<br>5 Hubknetter  |
| <b>Teigtemperatur [°C]</b>  | 30   |
| <b>Teigruhe [Min.]</b>      | 20   |
| <b>Teigeinlage [g]</b>      | 1150   |
| <b>Stückgare [Min.]</b>     | 60   |
| <b>Backtemperatur [°C]</b>  | Oberhitze: 260 → 220<br>Unterhitze: 240 → 200  |
| <b>Backzeit [Min.]</b>      | 50   |

##### 4.4.4.2 Darstellung und Erläuterung der Ergebnisse

###### 4.4.4.2.1 Sauerteige

Die Brote wurden an drei verschiedenen Tagen gebacken. Alle Messungen der pH-Werte und Säuregrade basieren auf einer Doppelbestimmung. Die Tab. 64 zeigt die Einzelwerte der verwendeten Sauerteige. Bei den Sauerteigen am II und III. Tag der Brotherstellung werden zwei Werte ausgewiesen, da es sich hier um zwei

Sauerteigführungen mit einer zeitlichen Verzögerung von 1,5 Stunden handelt. Diese Maßnahme war nötig, da auf Grund der eingeschränkten Backkapazitäten nur zwei Brotteige parallel und weitere Teige erst mit dem o. g. Verzug hergestellt werden konnten.

**Tab. 64: pH-Wert und Säuregrad der verwendeten Sauerteige**

|                | <b>Sauerteig I</b><br>Anwendung<br>bei Brotteig<br>A | <b>Sauerteig II</b><br>Anwendung<br>bei Brotteig<br>B, D, G, H | <b>Sauerteig III</b><br>Anwendung<br>bei Brotteig<br>C, E, F |
|----------------|--|--|--|
| <b>pH-Wert</b> | 3,80 / 3,80  | 3,80 / 3,85  | 3,75 / 3,80  |
| <b>S°</b>      | 17,2 / 17,2  | 17,0 / 17,0  | 16,5 / 16,7  |

Die hier dargestellten pH-Werte und Säuregrade rechtfertigen eine Versäuerung von 30 % bei Roggenbrot aus 100 % Roggenmehl. Eine Änderung der Versäuerungshöhe war auf Grund ziemlich gleich bleibender pH-Werte und insbesondere Säuregrade nicht erforderlich.

#### 4.4.2.2 Teigeigenschaften

Teig A (Standard) war nach Ablauf der Teigruhezeiten durch eine gute (roggentypische) Teigstabilität gekennzeichnet, so dass die Aufarbeitung keine Probleme bereitete. Im Gegensatz hierzu zeigten die Teige mit Enzymzusatz teilweise nachlassende und fließende Eigenschaften, mit einer als feucht und klebrig zu beurteilenden Oberfläche. Hier sind insbesondere die Teige D, E, G, und H hervorzuheben. Die Aufarbeitung war bezüglich des „Handlings“ nicht als praxisnah zu bezeichnen.

Hier ist sicherlich zu überlegen, in wie fern die langen Teigruhezeiten (kombiniert mit einer Teigtemperatur von 30 °C), die langen Stückgärzeiten sowie das saure Milieu als Folge der Sauerteigzugabe die enzymatischen Tätigkeiten beeinflusst haben und letztlich die oben beschriebenen Resultate gefördert haben. In diesem Zusammenhang ist auch zu bedenken, dass die Enzympräparate stets in sehr hohen Konzentrationen den Teigen zugegeben wurden. Laut Produktbeschreibung einzelner Enzyme kann dieses zu weichen und klebrigen Teigen führen.

#### 4.4.2.2.3 Roggenbrote

Die Tab. 65 und Tab. 66 zeigen die Ergebnisse der Brote, welche als Standard ohne Enzymzugabe (A) und mit verschiedenen Enzympräparaten (B - H) hergestellt wurden. Anzumerken ist, dass es sich bei dem Backverlust und der Volumenausbeute um einen Mittelwert aus drei Messungen (drei Brote) handelt. Auch bei den pH-Werten und Säuregraden handelt es sich um Mittelwerte der entsprechenden Doppelbestimmung.

Auffällig ist, dass die Brote mit Enzymzusatz - besonders bei Zugabe von Xylanasen und Hemicellulasen - einerseits Beeinträchtigungen in Bezug auf die Form aufweisen aber andererseits eine sehr offene Porung zeigen (s. E und G). Es ist demnach unverkennbar, dass die zugesetzten Enzyme durch ihre verschiedenartigen Wirkungsweisen die Brotqualität beeinflussen. Weitere Versuchsreihen sollten das Ziel haben, die TA sowie die Stückgare zu verringern bzw. den enzymatischen Abbauvorgängen anzupassen. Somit können die Teigeigenschaften (→ Aufarbeitung) und die Form der Brote verbessert werden. Auch wenn die flache Form als negativ hinsichtlich der Qualität zu beurteilen ist, sollte in diesem Zusammenhang das Augenmerk auch auf das Volumen der Brote mit Enzymzusatz gerichtet werden. Trotz flacher Form weisen fast alle Brote (ausgenommen B und C) eine gleichwertige oder sogar verbesserte Volumenausbeute im Vergleich mit dem Standard auf. Somit kann vermutet werden, dass eine Optimierung der Teigeigenschaften auch noch weitere Volumenzuwächse garantiert. Zum Schluss wird hier auf eine interessante Beobachtung aufmerksam gemacht. Der Backverlust eines Brotes mit einem Gewicht von 1000 g liegt durchschnittlich bei 13 %. Das Standard - Brot erfüllt diese Anforderungen mit einem Verlust von 13,4 %. Bei allen Broten, die mit einer Enzymzugabe hergestellt wurden, liegt ein höherer Backverlust vor. Diese Ergebnisse unterstützen die Tatsache, dass die Brote mit Enzymzugabe eine verbesserte Lockerung besitzen. Sicherlich trägt die flache Form (erhöhter Krustenanteil) zur Steigerung des Backverlustes bei. Letztlich stellt sich die Frage, in wie fern die Enzyme die Wasserbindung im Teig beeinflusst und somit den Backverlust gefördert haben.

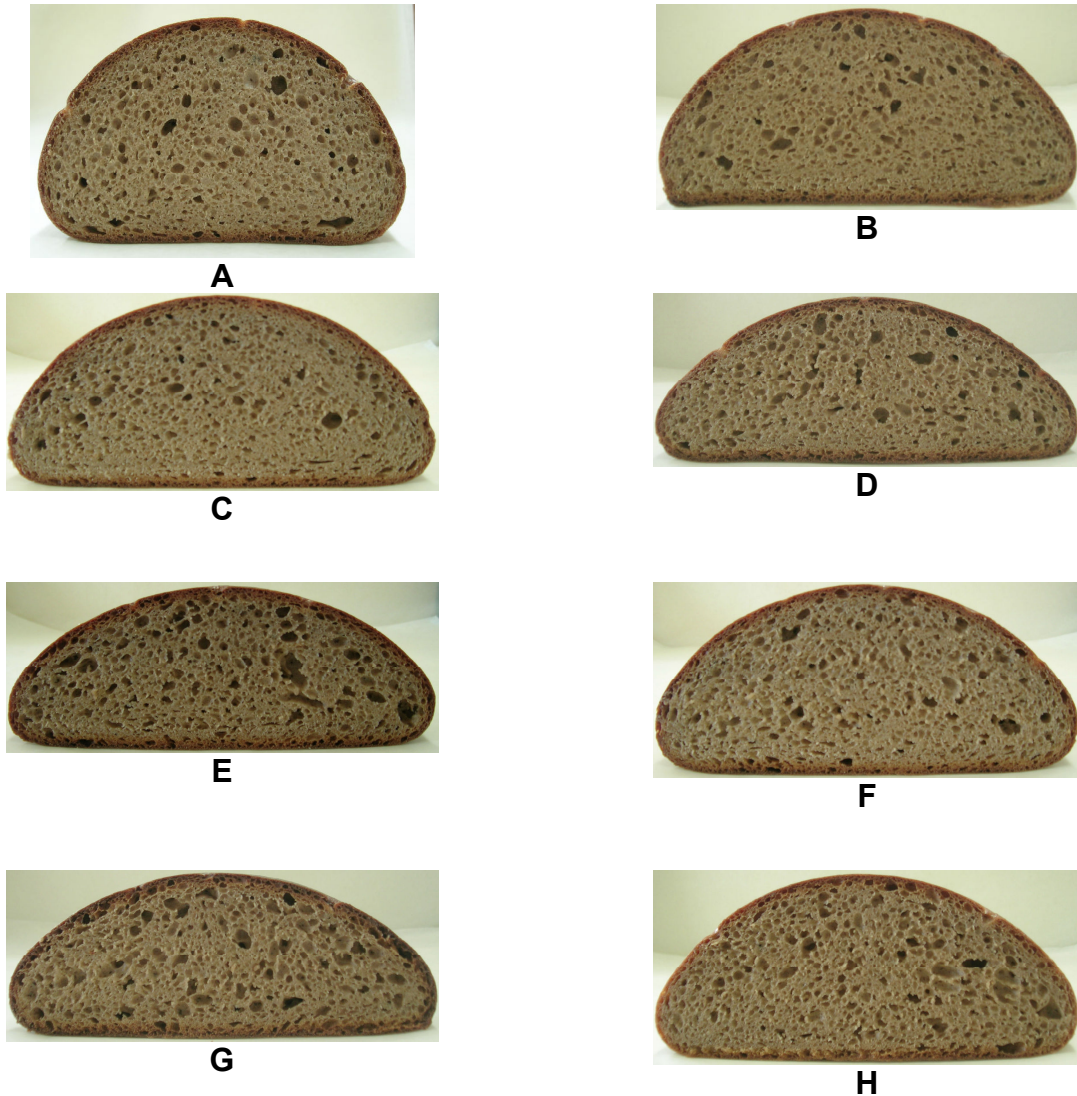
Tab. 65: Ergebnisse der Backversuche - I

|   | A                       | B   | C   | D   |
|---|-------------------------|---|---|---|
| <b>Form</b>                                 | gut                     | etwas flach   | etwas flach   | flach   |
| <b>Bräunung</b>                             | noch normal             | normal  | normal  | normal  |
| <b>Krumenlockerung</b>                      | gut                     | noch gut -<br>befriedigend                                  | befriedigend  | noch gut  |
| <b>Porengleichmäßig</b>                     | ziemlich<br>gleichmäßig | ziemlich<br>gleichmäßig<br>(Verdichtung am<br>Bodenbereich) | ziemlich<br>gleichmäßig<br>(Verdichtung am<br>Bodenbereich) | ziemlich<br>gleichmäßig<br>(Verdichtung am<br>Bodenbereich) |
| <b>Krumenelastizität</b>                    | gut                     | gut   | gut   | gut   |
| <b>Geschmack</b>                            | einwandfrei             | einwandfrei   | einwandfrei   | einwandfrei   |
| <b>Backverlust [%]</b>                      | 13,4                    | 14,2  | 15,0  | 15,0  |
| <b>Volumenausbeute<br/>[ml/ 100 g Mehl]</b> | 307,8                   | 301,5   | 289,3   | 318,3   |
| <b>pH-Wert</b>                              | 4,3                     | 4,3   | 4,35  | 4,3   |
| <b>Säuregrad [ml]</b>                       | 10,0                    | 9,9   | 9,7   | 10,0  |

Tab. 66: Ergebnisse der Backversuche - II

|   | E             | F                       | G             | H             |
|---|---------------|-------------------------|---------------|---------------|
| <b>Form</b>                                 | flach         | etwas flach             | flach         | etwas flach   |
| <b>Bräunung</b>                             | normal        | normal                  | etwas kräftig | normal        |
| <b>Krumenlockerung</b>                      | gut           | noch gut                | gut           | gut           |
| <b>Porengleichmäßig</b>                     | ungleichmäßig | ziemlich<br>gleichmäßig | ungleichmäßig | ungleichmäßig |
| <b>Krumenelastizität</b>                    | gut           | gut                     | gut           | gut           |
| <b>Geschmack</b>                            | einwandfrei   | einwandfrei             | einwandfrei   | einwandfrei   |
| <b>Backverlust [%]</b>                      | 16,1          | 15,1                    | 15,4          | 14,6          |
| <b>Volumenausbeute<br/>[ml/ 100 g Mehl]</b> | 308,3         | 309,7                   | 326,8         | 315,5         |
| <b>pH-Wert</b>                              | 4,3           | 4,3                     | 4,25          | 4,25          |
| <b>Säuregrad [ml]</b>                       | 9,7           | 10,0                    | 9,9           | 10,1          |

Um eine genaue Beurteilung der Qualität bezüglich des Volumens und insbesondere der Krumenlockerung und der Porengleichmäßigkeit vornehmen zu können, wurden die einzelnen Krumen der Brote fotografiert (Abb. 32).



**Abb. 32: Brotkrumen des verwendeten Roggenmehls mit Enzymzusätzen**

## 5 Diskussion der Ergebnisse

### 5.1 Einfluss der Prozessparameter

#### 5.1.1 Temperaturvariante

Die Konsistenz eines Stoffes ist stark abhängig von der Temperatur. Während der Knetzeit beeinflusst die herrschende Temperatur die Quellvorgänge der Mehlinhaltsstoffe sowie die Geschwindigkeit von enzymatischen Reaktionen. Es ist allgemein bekannt, dass die Quellung temperaturabhängig ist. Steigende Temperaturen beschleunigen sie.

Bei einer konstanten Teigausbeute von 176 %, nahmen die Wasseraufnahme und die Energie mit steigender Temperatur ab, im Gegensatz dazu nahm die Teigtemperatur zu. Bei der Teigentwicklungszeit und dem Konsistenzabfall fand man keinen signifikanten Unterschied zwischen den unterschiedlichen Temperaturen. Hlynka<sup>340</sup> berichtete, dass im Farinographen mit steigender Temperatur die Wasseraufnahme erniedrigt und die Teigentwicklungszeit verkürzt wird. In Übereinstimmung mit den Angaben in der Literatur von Hlynka<sup>341</sup> sowie Huber und Blum<sup>342</sup> wurde festgestellt, dass die Teigkonsistenz und die Wasseraufnahme mit steigender Wasser- und Knetkesseltemperatur abnahmen. Die ermittelte Teigentwicklungszeit im P 600 ergab keine gute Übereinstimmung mit Beobachtungen von Hlynka.<sup>343</sup>

Alle Roggenteige wiesen gegenüber dem Konsistenzmaximum einen mehr oder minder ausgeprägten Konsistenzabfall auf. Dieser ist u. a. auf eine Homogenisierung des Teiges zurückzuführen. Ferner ist davon auszugehen, dass der intensive Knetprozess eine leichte Überknetung hervorgerufen hat. „Bei Roggenteigen werden bei einer starken Teigbeanspruchung die wasserbindenden Eigenschaften der Pentosane zerstört.“<sup>344</sup> Dadurch sinkt ebenfalls die Teigkonsistenz. Die verminderten Konsistenzen der Roggenteige waren wahrscheinlich die Folge enzymatischer Aktivitäten, die während der Messung von 15 Minuten, unterstützt durch die stetig steigende Teigtemperatur, eine Intensivierung erfuhren. Die Temperaturen der Roggenteige nach der Konsistenzmessung zeigten zwischen dem gemessenen Konsistenzmaximum und Endkonsistenz demnach einen starken Anstieg der

---

<sup>340</sup> vgl. Hlynka 1962, S. 286

<sup>341</sup> vgl. Hlynka 1962, S. 288

<sup>342</sup> vgl. Huber und Blum 1970, S. 9

<sup>343</sup> vgl. Hlynka 1962, S. 292

<sup>344</sup> vgl. Freund 1995, S. 40



Teigtemperatur von ca. 6 °C. Diese Temperaturerhöhung ist u. a. Resultat des beheizten Knetbottichs (25 °C). Zudem ist der Kessel während der gesamten Konsistenzmessung mit einer Kunststoffabdeckung verschlossen, so dass eine Beeinflussung durch die Umgebungstemperatur (Raumtemperatur) weitestgehend ausgeschlossen werden kann. „Auch eine mechanische Beanspruchung des Teiges durch den Knethaken führt auf Grund der eingebrachten Energie zu einem Anstieg der Temperatur.“<sup>345</sup> Folglich ist gut nachzuvollziehen, dass sich Temperaturanstiege dieser Größenordnung bei allen Teigen konsistenzverändernd auswirken, aber auch zu einer Intensivierung der enzymatischen Abbaureaktionen beitragen.

Eine Teigtemperatur mit Wasser- und Knetkesseltemperatur von 25 °C lag bei 31,0 °C, die für Roggenteige optimale Temperatur ist. Zu beachten war die Teigerwärmung während des Knetvorgangs. Bei dem P 600 betrug diese ca. 6 °C nach 15 min Testzeit. Diese Teigtemperatur entspricht der in der Praxis üblichen Teigtemperatur.

Die Wasser- und Knetkesseltemperatur 25 °C eignet sich für die Messung zur Wasseraufnahme von Teigen aus Roggenmehl.

### 5.1.2 Drehzahlvariante

Die unterschiedlichen Knetgeschwindigkeiten des Knetsystems ließen es notwendig, auch hier Untersuchungen über die Wasseraufnahme durchzuführen. Bei einer konstanten Teigausbeute von 176 %, nahm die Teigentwicklungszeit mit steigender Drehzahl ab, im Gegensatz dazu nahmen die Wasseraufnahme, die Teigtemperatur, die Energie und der Konsistenzabfall zu.

„Im Farinographen mit steigender Drehzahl (44 - 154 rpm) wird die Wasseraufnahme erhöht und die Teigentwicklungszeit verlängert.“<sup>346</sup> In Übereinstimmung mit Beobachtungen von Hlynka<sup>347</sup> sowie Huber und Blum<sup>348</sup> wurde festgestellt, dass die Teigkonsistenz und die Wasseraufnahme mit steigender Drehzahl zunahmen. Die ermittelte Teigentwicklungszeit im P 600 ergab keine gute Übereinstimmung mit den Angaben in der Literatur von Hlynka.<sup>349</sup>

Schmitz<sup>350</sup> berichtete, dass die Drehzahl von 63 m<sup>-1</sup> der Umdrehungszahl eines normalen Spiralkneters entspricht, es sollten möglichst praxisnahe Bedingungen

---

<sup>345</sup> vgl. Freund 1995, S. 83

<sup>346</sup> vgl. Hlynka 1962, S. 286

<sup>347</sup> vgl. Hlynka 1962, S. 294

<sup>348</sup> vgl. Huber und Blum 1970, S. 9

<sup>349</sup> vgl. Hlynka 1962, S. 298

<sup>350</sup> vgl. Schmitz 2003, S. 167

gewählt werden. Für die Messung zur Wasseraufnahme von Teigen aus Roggenmehl kann die Drehzahl von  $63 \text{ m}^{-1}$  verwendet werden.

### **5.1.3 Einwaagenvariante**

Um die Optimierung der Einwaage zu erreichen, sind Untersuchungen über die Wasseraufnahme durchgeführt worden. Bei einer konstanten Teigausbeute von 176 %, nahmen die Wasseraufnahme, die Teigtemperatur und die Energie mit steigender Einwaage zu, im Gegensatz dazu nahm die Teigentwicklungszeit ab. Beim Konsistenzabfall fand man keinen signifikanten Unterschied zwischen den unterschiedlichen Einwaagen.

Der P 600 ist mit einem doppelwandigen Knetkessel (Knetkammervolumen  $2500 \text{ cm}^3$ ) ausgestattet. Die Gesamteigmenge aus Roggenmehl (600 g) und Schüttwasser (450 ml bei TA 175 %) beträgt 1050 g, die sich für die Messungen im P 600 aufgrund begrenzter Kapazität eignet. Somit eignet sich die Einwaage von 600 g für die Messung der Wasseraufnahme von Roggenmehlen.

### **5.1.4 Wasserzugabegeschwindigkeitsvariante**

Weiterhin war es notwendig, die Wirkung der Wasseraufnahmegeschwindigkeit zu untersuchen. Bei einer konstanten Teigausbeute von 176 %, stieg sowohl die Teigentwicklungszeit als auch die Teigtemperatur mit steigender Wasserzugabegeschwindigkeit an. Bei dem Konsistenzabfall, der Wasseraufnahme und der Energie fand man keinen signifikanten Unterschied zwischen den unterschiedlichen Wasserzugabegeschwindigkeiten.

Für die Messung zur Wasseraufnahme von Teigen aus Roggenmehl ist die Wasserzugabegeschwindigkeit von 2 min einzusetzen. Das ermittelte Schüttwasser ist innerhalb von 2 min kontinuierlich zuzugeben, um das Schüttwasser gut im Mehl zu dispergieren und auf der Oberfläche der Mehlpartikel zu adsorbieren.

## **5.2 Einfluss der Rezepturparameter**

### **5.2.1 Unterschiedliche Roggenmahlerzeugnisse**

Es wurden 8 Roggenmahlerzeugnisse mit sehr unterschiedlichen Eigenschaften untersucht. Die Wasseraufnahmefähigkeit und Wasserbindung in Roggenteigen ist in beachtlichem Maße von der Mehlbeschaffenheit abhängig. Dunklere Mehle mit

hohem Aschegehalt nehmen in der Regel wegen des höheren Protein- und Schleimstoffgehaltes mehr Wasser auf. Andererseits sind Teige aus helleren, mineralstoffärmeren Mehlen meist trockener in der Beschaffenheit und dadurch leichter zu verarbeiten.

Die Untersuchungen der Mehle (II - V) zeigten unterschiedliche Wasseraufnahme zwischen 72,4 und 76,0 %. Drews<sup>351</sup> berichtete, dass die Wasseraufnahme der Mehle in beachtlichem Maße von der Mehlbeschaffenheit abhängig ist. Es bestand eine gute Übereinstimmung zwischen den Ergebnissen der Wasseraufnahme und Anfangsviskosität der Mehle. Die Anfangsviskosität bei der Temperatur von 30 °C im Amylographen zeigte das Wasseraufnahmevermögen des Roggenmehls bei der Teigbereitung vergleichend an. Ihr weiterer Verlauf kennzeichnete die durch Enzyme verursachte mehr oder weniger ausgeprägte Konsistenzabnahme. Stephan und Exner<sup>352</sup> stellten fest, dass die Quellungseigenschaft des Roggenmehls in der Anfangsviskosität Hinweise über den zu erwartenden Feuchtigkeitscharakter und über die Struktur der Brotkrume gibt. In der Anfangsviskosität zeigt sich eine unterschiedliche Quellfähigkeit der Roggenmehle. Die hohe Anfangsviskosität deutet auf ein starkes Quellungsvermögen des Mehles. Hohe Quellfähigkeit bedeutet für die Frischhaltung des Brotes in der Krume ein ausreichendes Wasserangebot. Dagegen belastet der gleiche Effekt die Krumenelastizität der Brote, die aus auswuchsgeschädigten Mehlen gebacken werden. Geringe Quellfähigkeit findet sich bei Auswuchsmehlen und auch bei Mehlen, deren Schleimstoffe eine mindere Quellfähigkeit besitzen. Die geringe Quellfähigkeit des Mehles beeinflusst die Frischhaltung negativ.

Mit steigenden Roggentypennummern (VI - IX) nahm die Wasseraufnahme von 70,2 zu 78,3 % zu, deren Unterschiede in Abhängigkeit von der Ausmahlung besonders groß sind. Mit der Zunahme des Gehaltes der Quellsubstanzen (Proteine, Hemicellulosen, Pentosane,  $\beta$ -Glucane) erhöht sich das Wasserbindevermögen mit einer stärker werdenden Nachquellung. Huber<sup>353</sup> berichtete, dass beim Roggenmehl die Unterschiede im Wasserbindevermögen in Abhängigkeit von der Ausmahlung, besonders groß sind. Die quellstoffreichen Verbindungen (Proteine, Hemicellulasen, Pentosane,  $\beta$ -Glucane) liegen im Grenzbereich Endosperm:Schale. Mit der Zunahme des Gehaltes dieser Quellsubstanzen erhöht sich das Wasserbindevermögen mit einer stärker werdenden Nachquellung. Es bestand keine gute Übereinstimmung

---

<sup>351</sup> vgl. Drews 1977, S. 188

<sup>352</sup> vgl. Stephan und Exner 1971, S. 67

<sup>353</sup> vgl. Huber 1983, S. 231

zwischen den Ergebnissen der Wasseraufnahme und Anfangsviskosität. Stephan und Exner<sup>354</sup> stellten fest, dass die Quellfähigkeit der Roggenmehle, in der flüssigen Suspension des Amylogrammes gemessen, nicht immer übereinstimmend mit der Wasseraufnahmefähigkeit bei der Teigbereitung ist. Die feste Konsistenz der Roggenteige bei 6 Nm Konsistenzeinheiten wird in diesem Bereich nicht allein durch die Quellungseigenschaft, sondern in stärkerem Maße durch die Zähigkeit und Bindigkeit der wasserbindenden Komponenten bestimmt. Vermahlungstechnische Unterschiede bei der Mehlherstellung haben ebenfalls Einfluss auf die Höhe der Anfangsviskosität; insbesondere gilt dies für die unterschiedliche Zusammenstellung von Mahlpassagen. Freund<sup>355</sup> beschrieb, dass die strukturbildende Funktion im Roggenteig von den Pentosanen übernommen wird. Pentosane können das Achtfache ihres Eigengewichtes an Wasser aufnehmen. Das Wasserbindungsvermögen der Pentosane verändert sich auch während des Backens nicht. Die Pentosane, im Teigwasser teilweise gelöst, legen sich um die Stärkekörner und bestimmen auf diese Weise die Fließeigenschaften der Teige.

### **5.2.2 30 % Sauerteig-, 2 % Hefe- und 2 % Salzzugabe**

Der Einfluss von 30 % Sauerteig-, 2 % Hefe- und 2 % Salzzugabe wurde ebenfalls untersucht. Die Wasseraufnahmen mit 30 % Sauerteig-, 2 % Hefe- und 2 % Salzzugabe schwankten zwischen 62,6 und 67,2 %, im Vergleich zu den Teigen ohne Zusätze wurden Wasseraufnahmeverringerungen zwischen 7,6 und 13,0 gemessen.

„Während die Roggenproteine zu einem größeren Anteil von 35 - 45 % wasserlöslich sind, sind die Proteine am Ende der Sauerteiggärung bekanntlich zu über 90 % wasserlöslich.“<sup>356</sup> Weipert und Brümmer<sup>357</sup> beschrieben, dass die Löslichkeit der Proteine sich hingegen deutlich in der Teigausbeute und Teigbeschaffenheit widerspiegelt. „Salz verbessert das Quellvermögen des Eiweißes und die Verarbeitbarkeit der Teige, indem es die Klebrigkeit der Teige reduziert.“<sup>358</sup> Brümmer<sup>359</sup> berichtete, dass Backhefe die Teigführung beschleunigt und die Gasbildung und Lockerung des Teiges intensiviert. In Übereinstimmung mit den

---

<sup>354</sup> vgl. Stephan und Exner 1971, S. 67

<sup>355</sup> vgl. Freund 1995, S. 40

<sup>356</sup> vgl. Spicher und Nierle 1984, S. 389

<sup>357</sup> vgl. Weipert und Brümmer 1988, S. 92

<sup>358</sup> vgl. Kaufmann 1993, S. 63

<sup>359</sup> vgl. Brümmer 2005, S. 22

Angaben von Brümmer<sup>360</sup> wurde festgestellt, dass ein Viskositätsverlust während der Sauerteigstehzeit eintritt. Durch Vergleichen der viskometrischen Verhältnisse im Farinographen wurde festgestellt, dass die Viskositätsänderungen einer Wasseraufnahmeverringering von durchschnittlich 8 % entsprechen. „Durch die im Mehl vorhandenen pentosanabbauenden Enzymen (Pentosanasen) werden Roggenteige bei längerer Lagerung weicher, ein Vorgang, der bei Sauerteigen immer wieder beobachtet werden kann.“<sup>361</sup>

### 5.2.3 Zusatzvariante (Milchsäure, Sauerteig, Hefe und Salz)

Der Einfluss von Zusatzvarianten (0,9 % Milchsäure, 30 % Sauerteig, 2 % Hefe und 2 % Salz) wurde untersucht. Bei einer konstanten Teigausbeute von 174 %, fand man bei der Teigentwicklungszeit keinen signifikanten Unterschied zwischen den unterschiedlichen Zusätzen. Die Wasseraufnahme, die Energie und der Konsistenzabfall mit Zusätzen von 0,9 % Milchsäure, 2 % Hefe und 2 % Salz waren hochsignifikant stärker bzw. höher als mit Zusätzen von 30 % Sauerteig, 2 % Hefe und 2 % Salz, im Fall der Wasseraufnahme um ca. 10 %.

Durch Anwesenheit von Säure bei der Herstellung von Roggenteigen kommt es zu einer besseren Quellung der Pentosane und der Eiweiße. „Bei pH-Werten unter 4,9 nimmt die Löslichkeit ab und die Wasserbindung durch Quellung steigt an. Ebenso hemmt die Säure den enzymatischen Abbau der Pentosane.“<sup>362</sup> Völker<sup>363</sup> berichtete, dass Salz die Teigbildung positiv durch die Hemmung des enzymatischen Abbaus und durch Verringerung der Löslichkeit des Eiweißes beeinflusst. „Die im Roggenteig vorhandenen Ionen des gelösten Salzes ( $\text{Na}^+$  und  $\text{Cl}^-$ ) haben das Bestreben, Wassermoleküle anzuziehen.“<sup>364</sup> Freund<sup>365</sup> beschrieb, dass Säure und Salz eine höhere Teigausbeute ermöglichen, die Teige werden geschmeidiger und der enzymatische Abbau von Pentosanen und Stärke wird gebremst. Die Anwesenheit von Salz und eine pH-Wert-Senkung bis zu einem bestimmten kritischen Punkt sichern die von Mehlinhaltsstoffen (Stärke, Proteine und Schleimstoffe) gewährte volle Wasserbindung, die für eine optimale Teigbildung und ein stabiles Krumengerüst erforderlich ist. Backhefe benötigt als Nahrung auch Eiweißstoffe. Sie ist somit in der Lage, Proteine mit Hilfe von Proteasen zu spalten. Dieser

---

<sup>360</sup> vgl. Brümmer 1988, S. 274

<sup>361</sup> vgl. Freund 1995, S. 40

<sup>362</sup> vgl. Freund 1995, S. 40

<sup>363</sup> vgl. Völker 2005, S. 12

<sup>364</sup> vgl. Weith 2005, S. 157

<sup>365</sup> vgl. Freund 1995, S. 40

Proteinabbau führt zur Teigerweichung. Huber<sup>366</sup> berichtete, dass das Wasserbindevermögen in der direkten Führung wegen der sofort einsetzenden enzyminhibierenden Wirkung höher ist als bei einer Führung mit Sauerteig.

#### 5.2.4 Mehlmischungsvariante aus Roggen und Weizen

Der Einfluss der Mehlmischungsvariante aus Roggen und Weizen wurde ebenfalls untersucht. Bei einer konstanten Teigausbeute von 174 %, nahm die Wasseraufnahme mit steigendem Weizenmehlanteil, mit Ausnahme der Mehlmischung (RM:WM = 70:30), um etwa 1 % ab, im Gegensatz dazu nahmen der Konsistenzabfall, die Energie sowie die Teigentwicklungszeit {mit Ausnahme der Mehlmischung (RM:WM = 70:30)}, zu.

Die Teigeigenschaften des Roggenteiges verändern sich ab einem Weizenanteil um 20 %. Huber<sup>367</sup> berichtete, dass die Teigausbeute sowohl bei der direkten Führung, als auch bei der Einstufen-Sauerteigführung und der Mehrstufen-Sauerteigführung mit steigendem Weizenmehlanteil abnimmt.

#### 5.2.5 Enzyme

Der Einfluss von Enzymen wurde untersucht. Es wurden die bei 4 unterschiedlichen Enzymen (Amylase, Lipase, Hemicellulase und Xylanase) gewonnenen Ergebnisse miteinander verglichen. Bei einer konstanten Teigausbeute von 175,7 %, waren die Wasseraufnahmen durch die Zusätze von Amylase (Grindamyl MAX-LIFE E 16) und Lipase (Alphamalt LP 12066) etwas niedriger als ohne Enzymzusatz, dagegen etwas höher durch die Zusätze von Hemicellulase (Alphamalt TTC) und Xylanase (Veron HF). Bei 40 °C schwankten die Wasseraufnahmen zwischen 66,2 und 70,5 %, im Vergleich zu den Teigen bei 25 °C wurden die Wasseraufnahmeverringerungen zwischen 6,1 und 8,0 % gezeigt.

Klingler<sup>368</sup> beschrieb, dass die  $\alpha$ -Amylasetätigkeit in Mehlen für alle Verwendungsbereiche von Bedeutung ist, weil sie die rheologischen Eigenschaften von Teigen wesentlich beeinflusst. „In der Teigphase bauen Amylasen die beschädigte Stärke teilweise zu vergärbaren Zuckern ab, die von der Hefe in Alkohol und Kohlendioxid umgewandelt werden und so die Lockerung des Teiges

---

<sup>366</sup> vgl. Huber 1983, S. 234

<sup>367</sup> vgl. Huber 1983, S. 232

<sup>368</sup> vgl. Klingler 1995, S. 140

bewirken.<sup>369</sup> Kniel<sup>370</sup> beschrieb, dass ihre Messungen vermuten lassen, dass Alpha-Amylasen schon während der Teigbereitung bis zum Zeitpunkt der Konsistenzmessung, also innerhalb kürzester Zeit, zu einem merklichen Stärkeabbau in der Lage waren. Neben den mehleigenen Amylasen ist in diesem Fall besonders die Wirkung der zugefügten Amylasen, die aus Pilz- und Bakterienstämmen gewonnen wurden, Beachtung zu schenken. Die primäre Wirkung der Pilz- $\alpha$ -Amylase ist identisch mit der Wirkung der Malzamyrase, welche schon seit Jahren in Form von Backmitteln bei der Teigbereitung verschiedenster Backwaren Verwendung findet. Diese zugesetzten Pilzamy lasen und die im Mehl vorhandenen  $\beta$ -Amylasen bauen gemeinsam während der gesamten Teig- und Fermentationsphase die bei der Vermahlung mechanisch geschädigten Stärkekörner ab, und beeinflussen somit die Teigviskosität. „Der Anteil geschädigter Stärke variiert zwischen 5 und 8 %.“<sup>371</sup> Ferner ist zu bedenken, dass Stärkekörner mit Korrosionsstellen (Auswuchs) sehr leicht durch Amylasen angegriffen werden.<sup>372</sup> Seibel<sup>373</sup> beschrieb, dass hydrolytische Spaltungen der  $\alpha$ -Amylasen bei der Teigbereitung und der anschließenden Gare im Teiggefüge erhebliche Störungen verursachen, die letztlich einer normalen Krumenbildung entgegenwirken. Dieses gilt insbesondere für auswuchshaltige Mehle, die hohe Amylasegehalte aufweisen. Bei den Versuchen wurde zwar kein Auswuchsmehl verwendet, doch ist zu bedenken, dass die Menge der Amylasen durch die zusätzliche Enzymzugabe erhöht wurde. Somit sind die Aussagen von Seibel<sup>374</sup> ebenfalls eine Erklärung für die Teigerweichung.

Lipase spaltet Fette in Mono-, Diglyceride, Glycerin und Fettsäuren. „Die enzymatisch gebildeten Emulgatoren befinden sich im Teig an der für die Verbesserung der Teigeigenschaften richtigen Stelle.“<sup>375</sup> Alphamalt LP 12066 besitzt zudem eine lipolytische Wirkung auf polare Lipide, zu denen insbesondere Glycolipide und Phospholipide zu zählen sind. Durch die enzymatische Wirkung der Phospholipasen und Glycolipid-Hydrolasen entstehen Lysoverbindungen, deren hydrophilen Eigenschaften offenbar die Verschiebbarkeit (Gleiten) der Proteine untereinander verbessert. Dieses wird als Teigerweichung registriert. Da es sich bei den Versuchen um reine Roggenteige handelte, sollte aber eher von einer verbesserten Gleitfähigkeit der Protein-Pentosan-Komplexe gesprochen werden. Das

---

<sup>369</sup> vgl. Wassermann 2004, S. 7

<sup>370</sup> vgl. Kniel 2000, S. 20f

<sup>371</sup> vgl. Belitz et al. 2001, S. 692

<sup>372</sup> vgl. Weipert und Brümmer 1988, S. 94

<sup>373</sup> vgl. Seibel 1999, S. 23

<sup>374</sup> vgl. Seibel 1999, S. 23

<sup>375</sup> vgl. Popper 2005, S. 32

Entstehen der o. g. Lysoverbindungen war sicherlich nicht der alleinige Grund für die verminderte Konsistenz, da der Lipidgehalt eines Roggenmehles der Type 1150 sehr gering ist (1,5 %).<sup>376</sup> Vielmehr ist anzunehmen, dass Nebenaktivitäten dieses Präparates, d. h. zusätzliche enzymatische Abbauvorgänge, unterstützend auf den Konsistenzabfall gewirkt haben. Eine weitere Erklärung, welche die gemessenen Werte des Planetenmischers bestätigt, beruht auf der folgenden Tatsache: Phospho- und Glycolipide sind gemeinsam mit Proteinen am Aufbau biologischer Membranen beteiligt und können daher auch in sämtlichen tierischen und pflanzlichen Lebensmitteln nachgewiesen werden. Phospho- und Glycolipide enthalten hydrophobe (Acylreste) und hydrophile (Phosphorsäure) Gruppen. Sie besitzen daher die Fähigkeit in einem wässrigen Medium geordnete Strukturen in Form von Mizellen und Lamellen auszubilden, die beim Aufbau von Membranen von Bedeutung sind.<sup>377</sup> In den Lamellen sind Proteine eingebettet, die sich innerhalb dieses Lipidfilms bewegen können.<sup>378</sup> Letztlich liegt somit die Vermutung nahe, dass lipolytische Spaltungen hier die Beweglichkeit der Proteine erhöhen und dieser Tatbestand in Form geringerer Konsistenz vom P 600 dargestellt wird. Bezüglich der Gebäckqualität ist davon auszugehen, dass die verbesserten Fließeigenschaften der Proteine und Protein-Pentosan-Komplexe zu einer Erhöhung des Brotvolumens führen und zudem die Teigentwicklungszeit und Knettoleranz verbessern. Insbesondere die ebenfalls entstandenen Monoglyceride und freien Fettsäuren erfüllen eine weitere wichtige Funktion hinsichtlich der Qualitätsverbesserung von Broten. Sie sind in der Lage, nach dem Backen mit der Amylose Einschlussverbindungen zu bilden, wodurch die Retrogradation verlangsamt wird und die Gebäcke eine bessere Frischhaltung haben.

Die Roggenteige enthielten pentosanabbauende Enzyme (Hemicellulase und Xylanase) und zeigten, gegenüber dem Standard einen leichten Konsistenzanstieg auf. Diese Gegebenheit ist u. a. auf Nachquellereffekte der Pentosane, wie sie vergleichsweise auch bei der Teigbildung und der Teigruhe zu beobachten sind sowie auf enzymatische Reaktionen zurückzuführen. Alphamalt TTC<sup>379</sup> basiert auf einer Pilz-Hemicellulase (Pentosanase), deren Herkunft ein nicht pathogener *Trichoderma longibrachiatum* Stamm ist. Diese Hemicellulase wandelt wasserunlösliche Pentosane (Schleimstoffe) in lösliche Fraktionen um, die Gele mit hoher

---

<sup>376</sup> vgl. Belitz et al. 2001, S. 694

<sup>377</sup> vgl. Belitz et al. 2001, S. 170

<sup>378</sup> vgl. Belitz et al. 2001, S. 177

<sup>379</sup> vgl. Mühlenchemie 2004, ohne Seitenangabe (Produktspezifikation, Anhang)



Wasserabsorption bilden und somit zur Abtrocknung der Teige führen. Das Präparat Veron HF<sup>380</sup> weist eine zusätzliche Transglutaminaseaktivität auf und ist speziell für den Einsatz im Roggen- und Roggenmischbrotbereich gedacht. Positive Wirkungen dieser Enzympräparate auf die Teig- und Gebäckeeigenschaften sind gute maschinelle Teigverarbeitung, geringe Teigklebrigkeit, verbesserte Wasseraufnahme, verbesserte Gärstabilität und Steigerung des Backvolumens. „Xylanase bei der Teigbereitung greift die unlöslichen Anteile der Hemicellulose an und hydrolysiert im Inneren des Hemicellulosepolymers. Daraus entstehen lösliche Pentosan-fractionen mit niedrigerem Molekulargewicht, die sehr viel Wasser aufnehmen können. Es resultiert ein fester, aber dennoch dehnbarer Teig.“<sup>381</sup>

### 5.3 Backversuche

Die wichtigsten Kriterien des Sauerteig- und Milchsäurebackversuches mit Roggenmahlerzeugnissen sind Teigausbeute, die Teigeigenschaft, die Volumenausbeute, das Porenbild, die Krumenelastizität, die Geschmacksreinheit und das durch den Sauerteig und Milchsäure begründete Geschmackspotential.

#### 5.3.1 Teigausbeute und Teigeigenschaften

Mit dem P 600 wurde die Wasseraufnahme zum Erreichen des rheologischen Optimums eines Roggenmehles ohne und mit Enzymzusätzen ermittelt. Auf der Basis dieser Analysenwerte wurden Roggenbrote nach dem Sauerteig- und dem Milchsäurebackversuch hergestellt, bei denen insbesondere Qualitätsmerkmale wie eine gleichmäßige und gut gelockerte Krume und ein ausreichendes Volumen den Beweis liefern sollten, dass die ermittelte Wasseraufnahme im P 600 als Grundlage für die Festlegung der Teigausbeute von Roggenteigen dienen kann. Roggenteige des Sauerteigbackversuchs aller Mehle waren nach Ablauf der Teigruhezeiten durch eine gute (roggentypische) Teigstabilität gekennzeichnet, so dass die Aufarbeitung keine größeren Probleme bereitete. Aber Roggenteige des Milchsäurebackversuchs der Mehle (VI - IX) waren nach Ablauf der Teigruhezeiten durch eine gute, roggentypische (fest und trocken) Teigstabilität gekennzeichnet. Die Teige mit Enzymzusätzen zeigten teilweise nachlassende und fließende Eigenschaften, mit einer als feucht und klebrig zu beurteilenden Oberfläche. Hier sind insbesondere die

---

<sup>380</sup> vgl. Gamma Chemie, 2003, ohne Seitenangabe (Produktspezifikation, Anhang)

<sup>381</sup> vgl. Kniel und Prochatzki 2000, S. 5

Teige D (Amylase), E (Hemicellulase), G, und H (Xylanase) hervorzuheben. Die Aufarbeitung war bezüglich des „Handlings“ nicht als praxisnah zu bezeichnen. Hier ist sicherlich zu überlegen, inwiefern die langen Teigruhezeiten (kombiniert mit einer Teigtemperatur von 30 °C), die langen Stückgärzeiten sowie das saure Milieu als Folge der Sauerteigzugabe die enzymatischen Tätigkeiten beeinflusst haben und letztlich die oben beschriebenen Resultate gefördert haben.

Backhefe ist in der Lage, Proteine mit Hilfe von Proteasen zu spalten. Dieser Proteinabbau führt zu nachlassenden Teigeigenschaften. Aber nicht nur die enzymatischen Tätigkeiten hefeeigener Enzyme erklären die Teigerweichung, sondern auch gesteigerten Aktivitäten der mehleigenen Enzyme. Kaufmann<sup>382</sup> berichtete, dass Proteinasen und Pentosanasen die Teigfestigkeit infolge des Abbaus strukturgebender Komponenten des Teiges senken. Aufgrund des hohen Wasserbindevermögens der Pentosane, das mit zunehmendem enzymatischem Abbau verringert wird, führt der Einsatz von Pentosanasen zur stärksten Teigerweichung.

Klingler<sup>383</sup> beschrieb, dass die  $\alpha$ -Amylaseaktivität in Mehlen für alle Verwendungsbereiche von Bedeutung ist, weil sie die rheologischen Eigenschaften von Teigen und Massen wesentlich beeinflusst. Außerdem besteht ein direkter Zusammenhang zwischen der  $\alpha$ -Amylaseaktivität und der Gärgeschwindigkeit hefegelockerter Teige, außerdem zur Geschmacks- bzw. Aromastoffbildung sowie der Frischhaltung der Gebäcke. Die Enzymaktivität lässt sich über Temperatur/Zeit-Verhältnisse sowie bestimmte Zusätze wie Salze und Säuren bzw. den pH-Wert steuern. Alphamalt LP 12066 besitzt zudem eine lipolytische Wirkung auf polare Lipide, zu denen insbesondere Glycolipide und Phospholipide zu zählen sind. Durch die enzymatische Wirkung der Phospholipasen und Glycolipid-Hydrolasen entstehen Lysoverbindungen, deren hydrophilen Eigenschaften offenbar die Verschiebbarkeit (Gleiten) der Proteine untereinander verbessert. Dieses wird als Teigerweichung registriert. Brümmer<sup>384</sup> berichtete, dass die Teigausbeute ein wichtiger wirtschaftlicher Faktor ist. Sie hat aber auch entscheidenden Einfluss auf die Verarbeitbarkeit der Teige und die Roggenbrotqualität. Bei der indirekten Führung (mit Sauerteig) und der direkten Führung (mit Teigsäuerungsmittel) ergeben sich unterschiedliche Schüttwassermengen. Je nach Wasserbindevermögen und der Art und Zugabemenge des Teigsäuerungsmittels liegen die Werte bei direkter Führung

---

<sup>382</sup> vgl. Kaufmann 1993, S. 122

<sup>383</sup> vgl. Klingler 1995, S. 140

<sup>384</sup> vgl. Brümmer 2005, S. 99

etwa 3 - 6 Teile höher als bei entsprechender Sauerteigführung. Wichtig ist, dass die gewählte Wasserschüttung eine problemlose Aufarbeitung der Teige, die meist maschinell erfolgt, ermöglicht. Gleichzeitig darf während der Backphase keine zu weitgehende Wasserfreisetzung erfolgen, die zu geschwächten Krumeneigenschaften führen könnte. Eine mögliche Überbelastung mit Wasser zeigt sich in sehr weicher und feuchter Krume und häufig auch in einem mehr waagerechten Abbacken der Kruste von der Krume. Senkrechte Krumenrisse in Broten deuten dagegen auf eine Unterversorgung mit Wasser hin. Sie können z.B. durch zu feste Teige, durch zu geringe Stärkeverkleisterung, aber auch durch zu starken Ausbackverlust bedingt sein.

### 5.3.2 Volumenausbeute

Die Volumenausbeuten des Sauerteigbackversuchs aller Mehle liegen im guten Bereich zwischen 281,6 und 301,5 ml/ 100 g Mehl, im Gegensatz dazu liegen die Volumenausbeuten der Mehle (VI - IX) des Milchsäurebackversuchs im Bereich zwischen 251,6 und 257,6 ml/ 100g Mehl, also niedrig. Trotz flacher Form weisen fast alle Brote {ausgenommen B (Lipase), C (Amylase)} mit Enzymzusätzen ein gleichwertiges oder sogar verbessertes Volumen im Vergleich mit dem Standard auf. Somit kann vermutet werden, dass eine Optimierung der Teigeigenschaften auch noch weitere Volumenzuwächse garantiert.

„Die wesentliche Wirkung übt die Alpha-Amylase aber im Backprozess aus, wenn sich die Gasblasen infolge Temperaturerhöhung im Teig ausdehnen (Ofentrieb). Dieser thermischen Ausdehnung wirkt die steigende Viskosität der Stärke entgegen, die in dieser Phase Wasser aufnimmt, quillt und teilweise verkleistert. Durch gezielten Einsatz von Amylasen wird die Viskosität der Stärke so weit verringert, dass sich die Gasblasen am Beginn des Backprozesses weiter ausdehnen können.“<sup>385</sup>

Popper <sup>386</sup> berichtete, dass Lipase nicht-polare Lipide in Diglyceride und Monoglyceride, d.h. in Emulgatoren verwandelt. Diese *in situ*-Bildung von Emulgatoren bewirkt eine Festigung des Teiges und eine höhere Volumenausbeute, aber keine längere Haltbarkeit. Das steht im Gegensatz zur Wirkung der Mono- und Diglyceride, die Brotrezepturen zugesetzt werden. Durch Wechselwirkung mit Stärke

---

<sup>385</sup> vgl. Wassermann 2004, S. 7

<sup>386</sup> vgl. Popper 2005, S. 32

sind diese in der Lage, das Altbackenwerden zu verringern. Andererseits ist die Auswirkung auf die Volumenausbeute nur sehr gering.

Kniel und Prochatzki<sup>387</sup> beschrieben, dass Xylanasen insbesondere in der Phase der Endgare und der ersten Backphase die lösliche Pentosane weiter zu Oligosacchariden abgebaut zu werden scheinen, so dass nach und nach ein Teil des gebundenen Wassers freigesetzt wird. Dies führt zu einem allmählichen Viskositätsabfall im Teig, was zu einem guten Ofentrieb führt. Das freigesetzte Wasser soll von der Stärke während der Verkleisterung aufgenommen werden. Es wird auch für den Frischhalteeffekt von guten Xylanasepräparaten verantwortlich gemacht. Neben diesem Modell gibt es noch andere Vorstellungen über die Wirkung der Xylanase.

Brümmer<sup>388</sup> stellte fest, dass die Volumenentwicklung bei Roggenbrotten relativ begrenzt ist. Im Mittel ergibt sich seit vielen Jahren ein Wert von etwa 280 - 300 ml/ 100 g Roggentypenmehl, wobei sich Schwankungen in Abhängigkeit von der Rohstoffqualität im Bereich von etwa 10 % nach oben und unten zeigten. Die Volumendifferenzen bei Roggensorten sind also erheblich geringer als beim Weizen, wo sie etwa  $\pm 350$  ml/ 100 g entsprechend etwa 50 % bei Weizenmehlen der Type 550 betragen. Aufgrund der geringeren Differenzen war das Backvolumen in der Betrachtung der Roggeneigenschaften und seines Backwertes lange nicht als entscheidend angesehen worden. Es wirkt sich jedoch entscheidend auf die Krumeigenschaften und die Voraussetzungen für die Frischhaltung aus.

### 5.3.3 Krumenelastizität

Die Krumenelastizität aller Brote wurde als „gut“ bezeichnet. Brümmer<sup>389</sup> berichtete, dass ein wichtiger Beurteilungsfaktor für die Roggenbrotqualität die Krumenelastizität ist. Es ist ein technologisches Ziel, eine möglichst saftige, gut bindige, aber dabei gut elastische Krume zu erzielen. Bei Roggenmahlerzeugnissen stellen sich geschwächte Krumenelastizitäten meist nur bei Roggen mit erhöhter Abbau-bereitschaft der Inhaltsstoffe („Auswuchs“) ein. Eine geschwächte Krumenelastizität kann daneben aber auch verfahrenstechnisch, wie z. B. durch überhöhte Teigausbeuten, zu geringer Säuerungsintensität, übermäßig gesteigertes Volumen durch Zutaten, zu schwaches Backen etc. bedingt sein. Werden wenig

---

<sup>387</sup> vgl. Kniel und Prochatzki 2000, S. 5

<sup>388</sup> vgl. Brümmer 2005, S. 100

<sup>389</sup> vgl. Brümmer 2005, S. 100

abbaufreudige Rohstoffe mit zu hohen Fallzahl- bzw. Amylogramm Daten verarbeitet, werden zu feste Teigführungen oder technologische Maßnahmen gewählt, die diese Schwächen unterstützen, wie zu geringe Quellung der Roggeninhaltsstoffe während der Teigführung, oder wird ein zu geringer Vorstufenanteil (Sauerteig) eingesetzt, so führt das zu einer straffen Krume, verminderter spezifischer Lockerung und somit schlechteren Voraussetzungen für eine gute Gebäckfrischhaltung.

## 6 Schlussfolgerungen

In dieser Arbeit wurde die Eignung des Planetenmischers P 600 zur Messung und Beeinflussung der Konsistenz von Teigen aus Roggenmehl und Einflüsse von Prozess- und Rezepturparametern auf die Wasseraufnahme untersucht.

Die Untersuchungskriterien zum Einfluss der Prozessparameter waren:

- Temperaturvariante (20; 25; 30 °C)
- Drehzahlvariante (53; 63; 73 m<sup>-1</sup>)
- Einwaagenvariante (550; 600; 650 g)
- Wasserzugabegeschwindigkeitsvariante (0,5; 1,0; 2,0 min)

Die Untersuchungskriterien zum Einfluss der Rezepturparameter waren:

- Unterschiedliche Roggenmahlerzeugnisse
- 30 % Sauerteig-, 2 % Hefe- und 2 % Salzzugabe
- Zusatzvariante (0,9 % Milchsäure, 30 % Sauerteig, 2 % Hefe und 2 % Salz)
- Mehlmischungsvariante aus Roggen und Weizen (RM:WM = 90:10; 80:20 und 90:30)
- Enzyme (Amylase; Lipase; Hemicellulase; Xylanase)

In Bezug auf die Verwendbarkeit des Planetenmischers P 600 können folgende zusammenfassende Ergebnisse präsentiert werden:

Es wird ein neuer Methodenvorschlag erläutert. Die einzelnen Schritte der neuen Methode, die als Anlage detailliert wird, werden behandelt und die Aussagekraft der Knetkurven kommentiert. Mit der neuen Methode wurde in den Backversuchen eine gute Übereinstimmung zwischen apparativ und sensorisch ermittelter Wasseraufnahme festgestellt.

## **Messung und Beeinflussung der Konsistenz von Teigen aus Roggenmehl**

Nachfolgend werden die Ergebnisse zusammengefasst. Zunächst galt es, ein Messsystem speziell für Roggenteige zu entwickeln, darüber hinaus war es erforderlich, eine Methode zu verifizieren, die es ermöglicht, unter praxisnahen Bedingungen, die Wasseraufnahme von Roggenmehlen so festzulegen, dass in der Praxis ein rheologisches Optimum erreicht werden kann.

### **❖ Messsystem für plastische Teige**

- Für die Qualitätssicherung bei Kunststoffen hat sich seit Jahren der Planetenmischer P 600 bewährt.
- Der Mischer wird anstelle des Kneters an den Farinographen angeschlossen.

### **❖ Technische Daten**

- Doppelwandiger Knetkessel mit Temperierung
- Thermoelement am Boden
- Kessel kann leicht gereinigt werden
- Aufnahme und Auswertung der Messergebnisse durch ein Knetter-Programm

### **❖ Untersuchungen zur Wasseraufnahme**

- Festlegung Werkzeug: Knethaken
- Festlegung der Mehlmenge: 600 g
- Festlegung der Drehzahl: 63 min<sup>-1</sup>
- Festlegung der Wassertemperatur: 25 °C
- Festlegung der Endtemperatur: 30 °C
- Prüfung der Verarbeitbarkeit

### **❖ Verfahren zur Bestimmung der Wasseraufnahme von Roggenmahlerzeugnissen**

- Mehltemperierung und -vormischung 1 Minute
- Zugabe von 450 ml Wasser innerhalb von 2 Minuten
- Teig kneten 1 Minute
- Teig abschaben vom Rand 1 Minute

- Teig 10 Minuten kneten lassen
- Teigkonsistenz bestimmen
- Abweichungen von 6 Nm berechnen: 0,15 Nm entspricht 1 % Wasseraufnahme

#### ❖ **Vorschlag für die Festlegung zur Bestimmung der Wasseraufnahme von Roggenmahlerzeugnissen**

- Einwaage: 600 g (Einwaage bezogen auf 14 % Feuchtigkeit)
- Schüttwasser: 450 ml
- Testzeit: 15 min
- Endkonsistenz: 6 Nm (Toleranzbereich:  $\pm 0,15$  Nm)
- 1. Versuch: Wasseraufnahme
- 2. Versuch: Wenn die Endkonsistenz nicht in einem definierten Toleranzbereich ( $6 \pm 0,15$  Nm) liegt.

#### ❖ **Auswertung des Diagramms zur Bestimmung der Wasseraufnahme von Roggenmahlerzeugnissen**

- Teigentwicklungszeit: Dauer der Bindung des zugesetzten Wassers
- Konsistenzabfall: Mechanische und enzymatische Erweichung
- Wasseraufnahme: Menge an Wasserbindung in %

#### ❖ **Untersuchungen zur Wasseraufnahme von Roggenmahlerzeugnissen**

- 10 verschiedene Roggenmehle und 1 Weizenmehl der Type 550
- Erntejahr 2004
- Unterschiedliche Feuchtigkeitsgehalte
- Festlegung der Wasseraufnahme mit P 600
- Prüfung durch Backversuche

#### ❖ **Vorteile des P 600**

- Genaue Erfassung des Drehmoments
- Reproduzierbare Ergebnisse
- Möglichkeiten zur Untersuchung der Wirksamkeit von Zusätzen oder Verfahren zur Veränderung der Teigeigenschaften
- Leichte Reinigung des Kessels



Auf der Grundlage der Untersuchungen wurde ein Vorschlag erarbeitet, der das Verfahren zur Wasseraufnahme von Roggenmehlen als eine Standardmethode für die Branche darstellt.

## **Untersuchungsmethode zur Bestimmung der Wasseraufnahme von Roggenmahlerzeugnis mit P 600**

### **Titel**

Bestimmung der Wasseraufnahme von Roggenmahlerzeugnissen mit dem Knetsystem P 600 und dem Farinograph E als Antriebs- und Messeinheit.

### **Anwendungsgebiet**

Ermittlung der Wasserabsorption von Roggenmehlmahlerzeugnis

### **Definition**

Im P 600 wird die Menge destillierten Wassers ermittelt, welche benötigt wird, um aus einer definierten Menge 600 g Roggenmehl (mit 14 % Feuchtigkeit) einen Teig herzustellen, der in der Endkonsistenz 6 Nm (Newtonmeter) aufweist. Als Konsistenz bezeichnet man den Knetwiderstand, welcher während der Teigherstellung am Knethaken, der mit konstanter Geschwindigkeit rotiert, auftritt.

### **Prinzip der Methode**

Im P 600 wird unter standardisierten Bedingungen ein Teig aus 600 g Roggenmehl hergestellt. Während des Anteigens wird kontinuierlich der Knetwiderstand des Teiges gegen den Knethaken gemessen und aufgezeichnet. Um zu gleichmäßigen Teigeigenschaften zu kommen, muss zunächst die Wasseraufnahme des Teiges ermittelt werden. Dafür wird dem Mehl, bezogen auf eine Feuchtigkeit von 14 Prozent, aus einem Tropftrichter Schüttwasser von 450 ml (bei TA 175 %) zugegeben, dass der entstehende Teig eine Endkonsistenz von 6 Nm (Newtonmeter) einer durchschnittlichen Teigfestigkeit nach 15 min erreicht. Diese Wassermenge gibt die Wasseraufnahme des Mehles an. Wenn die Endkonsistenz nicht in einem definierten Toleranzbereich ( $6 \pm 0,15$  Nm) liegt, wird vom gleichen Mehl noch mal unter standardisierten Bedingungen ein Teig hergestellt. Dieser Teig wird dann 15

min geknetet und auf dem Computer erscheint die Knetkurve. Aus dieser Knetkurve können die Teigentwicklungszeit, der Konsistenzabfall und die Wasseraufnahme abgelesen werden.

## Reagenzien

Destilliertes Wasser

## Geräte und Maschinen

In der folgenden Tab. 67 ist zu ersehen, welche Maschinen und Geräte für die Durchführung der praktischen Versuche verwendet wurden:

**Tab. 67: Verwendete Geräte/ Maschinen**

| Hersteller   | Gerät/ Maschine  | Technische Daten  |   |
|--|--|---|---|
| <b>Brabender GmbH &amp; Co. KG</b>                           | Planetenmischer<br>Typ: P 600  | Abmessungen (BxHxT):<br>Gewicht:<br>Anschlussdaten:<br>Knetkammervolumen:<br>Temperierung:<br><br>max.<br>Betriebstemperatur: | 300 x 420 x 550 mm<br>ca. 11kg<br>s. Antrieb Farinogram-<br>E<br>2500 cm <sup>3</sup><br>mit Flüssigkeit über<br>Umlaufthermostat<br><br>150 °C |
| <b>Brabender GmbH &amp; Co. KG</b>                           | Thermostat für<br>Wassertemperierung<br>des P 600<br>Typ: T 150E                 | Abmessungen(BxTxH):<br>Gewicht:<br>Füllmenge<br>Förderstrom (Pumpe)<br>Anschlussdaten:  | 170 x 330 x 350 mm<br>5,2 kg<br>3...4,5 l<br>15 l/ min<br>230 V/ 50 Hz  |
| <b>Omnilab-<br/>LABORZENTRUM<br/>GmbH &amp; Co. KG</b>       | Messbecher<br>Messzylinder   | Füllmenge:<br>Füllmenge:  | 1000 ml<br>1000 ml  |
| <b>Sartorius AG</b>  | Präzisionswaage<br>Typ: LP 220S  | Gewicht:<br>Anschlussdaten:<br>Ablesbarkeit:<br>Wägebereich:  | 6,9 kg<br>230 V oder 115 V, 48-<br>60 Hz<br>0,001 g<br>220 g  |
| <b>Kern &amp; Sohn<br/>GmbH</b>                              | Elektronische Labor-<br>/Tischwagen<br>Typ: KERN 440-45                          | Gewicht:<br>Anschlussdaten:<br><br>Ablesbarkeit:<br>Wägebereich   | 0,9 kg<br>9V Alkaline Battery or<br>9V DC Adapter<br>0,1 g<br>80 g  |
| <b>SIKA - Dr. Silbert<br/>und Kühn GmbH<br/>&amp; Co. KG</b> | Elektronisches<br>Thermometer<br>Typ T 4002                                      | Fühleranschluss:<br>Messbereich:  | PT 100 (TF2)<br>-200 bis +600°C   |
| <b>SCHOTT DURAN<br/>GmbH</b>                                 | Tropftrichter zylindrisch,<br>mit Teilung (mit NS-<br>Hahn und<br>Hahnsicherung) | Inhalt:   | 1000 ml   |
|  | Kunststoffschaber  |   |   |

## Bemusterung

ICC-Standard Nr. 130.

### Bestimmung des Feuchtigkeitsgehaltes

Der Feuchtigkeitsgehalt des Mehles ist nach der ICC-Standardmethode Nr. 110/1 zu bestimmen.

### Untersuchungsmaterial

Bei einer Feuchtigkeit des Roggenmehles von 14 % beträgt die Einwaage je Versuchsdurchführung 600 g. Weicht die Feuchtigkeit ab, so ist die Einwaage dementsprechend zu korrigieren (Tab. 68). Falls erforderlich, wird das Mehl eine Temperatur von  $25 \pm 5$  °C gebracht.

- Wenn die Mehlfuchte nicht 14 % beträgt, muss eine Einwaagekorrektur durchgeführt werden.
- Korrigierte Mehleinwaage =  $600 \text{ g} \times (100 - 14 \%) / (100 - \text{Istfuchte})$

**Tab. 68: Exaktes Probengewicht unter Berücksichtigung des Feuchtigkeitsgehaltes**

In der Folgenden Tab. 68 wird das erforderliche Probengewicht bei unterschiedlichem Feuchtigkeitsgehalt für 600 g bei 14 % Feuchtigkeit gezeigt. Die verwendete Wassermenge bleibt unverändert.

| Feuchtigkeitsgehalt (%) | Probengewicht (g) | Feuchtigkeitsgehalt (%) | Probengewicht (g) |
|-------------------------|-------------------|-------------------------|-------------------|
| 8,0                     | 560,9             | 12,1                    | 587,0             |
| 8,1                     | 561,5             | 12,2                    | 587,7             |
| 8,2                     | 562,1             | 12,3                    | 588,4             |
| 8,3                     | 562,7             | 12,4                    | 589,0             |
| 8,4                     | 563,3             | 12,5                    | 589,7             |
| 8,5                     | 563,9             | 12,6                    | 590,4             |
| 8,6                     | 564,6             | 12,7                    | 591,1             |
| 8,7                     | 565,2             | 12,8                    | 591,7             |
| 8,8                     | 565,8             | 12,9                    | 592,4             |
| 8,9                     | 566,4             | 13,0                    | 593,1             |
| 9,0                     | 567,0             | 13,1                    | 593,8             |
| 9,1                     | 567,7             | 13,2                    | 594,5             |
| 9,2                     | 568,3             | 13,3                    | 595,2             |
| 9,3                     | 568,9             | 13,4                    | 595,8             |
| 9,4                     | 569,5             | 13,5                    | 596,5             |
| 9,5                     | 570,2             | 13,6                    | 597,2             |
| 9,6                     | 570,8             | 13,7                    | 597,9             |
| 9,7                     | 571,4             | 13,8                    | 598,6             |
| 9,8                     | 572,1             | 13,9                    | 599,3             |
| 9,9                     | 572,7             | 14,0                    | 600,0             |

|      |       |      |       |
|------|-------|------|-------|
| 10,0 | 573,3 | 14,1 | 600,7 |
| 10,1 | 574,0 | 14,2 | 601,4 |
| 10,2 | 574,6 | 14,3 | 602,1 |
| 10,3 | 575,3 | 14,4 | 602,8 |
| 10,4 | 575,9 | 14,5 | 603,5 |
| 10,5 | 576,5 | 14,6 | 604,2 |
| 10,6 | 577,2 | 14,7 | 604,9 |
| 10,7 | 577,8 | 14,8 | 605,6 |
| 10,8 | 578,5 | 14,9 | 606,3 |
| 10,9 | 579,1 | 15,0 | 607,1 |
| 11,0 | 579,8 | 15,1 | 607,8 |
| 11,1 | 580,4 | 15,2 | 608,5 |
| 11,2 | 581,1 | 15,3 | 609,2 |
| 11,3 | 581,7 | 15,4 | 609,9 |
| 11,4 | 582,4 | 15,5 | 610,7 |
| 11,5 | 583,1 | 15,6 | 611,4 |
| 11,6 | 583,7 | 15,7 | 612,1 |
| 11,7 | 584,4 | 15,8 | 612,8 |
| 11,8 | 585,0 | 15,9 | 613,6 |
| 11,9 | 585,7 | 16,0 | 614,3 |
| 12,0 | 586,4 | 16,1 | 615,0 |

## Vorbereitungen

### Temperierung

Mindestens eine Stunde vor Inbetriebnahme des Gerätes ist der Thermostat einzuschalten und das Wasser in Umlauf zu bringen. Während der Verwendung ist die Temperatur des umlaufenden Wassers und des Kneters zu kontrollieren, letztere in der dafür vorgesehenen Öffnung. Die Temperaturen sollten  $25 \pm 1$  °C betragen.

## Ermittlung der Wasseraufnahme

### Standard und Mehlmischung aus Roggen und Weizen (RM:WM = 90:10)

In den Knetkessel des P 600 werden 600 g Roggenmehl (Standard) oder 520 g Roggenmehl und 80 g Weizenmehl (Mehlmischung aus Roggen und Weizen = 90:10) (14 % Feuchtigkeitsgehalt) gegeben.

Anschließend wird der P 600 mit durchsichtiger Kunststoffabdeckung abgedeckt.

Der Tropftrichter wird mit 450 ml Wasser gefüllt, das eine Temperatur von  $25 \pm 1$  °C hat.

Die Messung durch Betätigung der Starttaste am Farinograph-E und anschließend im Display (geöffnetes Fenster mit Start-Button) gestartet.

Das Mehl wird 1 min vorgemischt und temperiert.

Die Wassermenge von 450 ml aus dem Tropftrichter wird in den linken an der Abdeckung montierten Einfüllstutzen des Knetkessels beim laufenden Knetter innerhalb von zwei Minuten zugeben.

Es wird 1 min weiter geknetet.

Nach einer Minute wird der Motor ausgeschaltet und die Wände des Knetkessels und der Abstreifer werden mit einem Kunststoffschaber innerhalb von einer Minute abgeschabt.

Der Motor wird wieder eingeschaltet und der Teig wird weiter 10 min geknetet.

Die richtige Kurvenendkonsistenz ist erreicht, die nach 15 min bei 6 Nm (Toleranzbereich  $\pm 0,15$  Nm) liegt.

Dabei entspricht 0,15 Nm entspricht auf der korrigierten Wasseraufnahme 1 %.

Die Messung wird durch Betätigung der Endtaste am Farinograph-E beendet.

Der Kneterkessel wird gereinigt und getrocknet.

#### Mehlmischung aus Roggen und Weizen (RM:WM = 80:20)

In den Knetkessel des P 600 werden 480 g Roggenmehl und 120 Weizenmehl (14 % Feuchtigkeitsgehalt) gegeben.

Anschließend wird der P 600 mit durchsichtiger Kunststoffabdeckung abgedeckt.

Der Tropftrichter wird mit 450 ml Wasser gefüllt, das eine Temperatur von  $25 \pm 1$  °C hat.

Die Messung durch Betätigung der Starttaste am Farinograph-E und anschließend im Display (geöffnetes Fenster mit Start-Button) gestartet.

Das Mehl wird 1 min vorgemischt und temperiert.

Die Wassermenge von 450 ml aus dem Tropftrichter wird in den linken an der Abdeckung montierten Einfüllstutzen des Knetkessels beim laufenden Knetter innerhalb von zwei Minuten zugeben.

Es wird 1 min weiter geknetet.

Nach einer Minute wird der Motor ausgeschaltet und die Wände des Knetkessels und der Abstreifer werden mit einem Kunststoffschaber innerhalb von einer Minute abgeschabt.

Der Motor wird wieder eingeschaltet und der Teig wird weiter 10 min geknetet.

Die richtige Kurvenendkonsistenz ist erreicht, die nach 14 min bei 6 Nm (Toleranzbereich  $\pm 0,15$  Nm) liegt.

Dabei entspricht 0,15 Nm entspricht auf der korrigierten Wasseraufnahme 1 %.

Die Messung wird durch Betätigung der Endtaste am Farinograph-E beendet.  
Der Kneterkessel wird gereinigt und getrocknet.

#### Mehlmischung aus Roggen und Weizen (RM:WM = 70:30)

In den Knetkessel des P 600 werden 420 g Roggenmehl und 180 Weizenmehl (14 % Feuchtigkeitsgehalt) gegeben.

Anschließend wird der P 600 mit durchsichtiger Kunststoffabdeckung abgedeckt.

Der Tropftrichter wird mit 450 ml Wasser gefüllt, das eine Temperatur von  $25 \pm 1$  °C hat.

Die Messung durch Betätigung der Starttaste am Farinograph-E und anschließend im Display (geöffnetes Fenster mit Start-Button) gestartet.

Das Mehl wird 1 min vorgemischt und temperiert.

Die Wassermenge von 450 ml aus dem Tropftrichter wird in den linken an der Abdeckung montierten Einfüllstutzen des Knetkessels beim laufenden Knetter innerhalb von zwei Minuten zugeben.

Es wird 1 min weiter geknetet.

Nach einer Minute wird der Motor ausgeschaltet und die Wände des Knetkessels und der Abstreifer werden mit einem Kunststoffschaber innerhalb von einer Minute abgeschabt.

Der Motor wird wieder eingeschaltet und der Teig wird weiter 16 min geknetet.

Die richtige Kurvenendkonsistenz ist erreicht, die nach 20 min bei 6 Nm (Toleranzbereich  $\pm 0,15$  Nm) liegt.

Dabei entspricht 0,15 Nm entspricht auf der korrigierten Wasseraufnahme 1 %.

Die Messung wird durch Betätigung der Endtaste am Farinograph-E beendet.

Der Kneterkessel wird gereinigt und getrocknet.

#### Roggenmehl mit 30 % Sauerteig-, 2 % Hefe- und 2 % Salzzugabe

Das Mehl 420 g und die 12 g Salz werden in den Knetkessel des P 600 gegeben

Anschließend wird der P 600 mit durchsichtiger Kunststoffabdeckung abgedeckt.

Der Motor wird eingeschaltet und 1 min vorgemischt sowie temperiert.

Danach werden in den Knetkessel 360 g Sauerteig und 12 g Hefe gegeben.

Der Tropftrichter wird mit 270 ml Wasser gefüllt, das eine Temperatur von  $25 \pm 1$  °C hat.

Die Messung durch Betätigung der Starttaste am Farinograph-E und anschließend im Display (geöffnetes Fenster mit Start-Button) gestartet.

Die Probe wird 1 min vorgemischt und temperiert.

Die Wassermenge von 270 ml aus dem Tropftrichter wird in den linken an der Abdeckung montierten Einfüllstutzen des Knetkessels beim laufenden Knetter innerhalb von einer Minute zugeben.

Es wird 1 min weiter geknetet.

Nach einer Minute wird der Motor ausgeschaltet und die Wände des Knetkessels und der Abstreifer werden mit einem Kunststoffschaber innerhalb von einer Minute abgeschabt.

Der Motor wird wieder eingeschaltet und weiter 10 min geknetet.

Die richtige Kurvenendkonsistenz ist erreicht, die nach 14 min bei 6 Nm (Toleranzbereich  $\pm 0,15$  Nm) liegt.

Dabei entspricht 0,15 Nm entspricht auf der korrigierten Wasseraufnahme 1 %.

Die Messung wird durch Betätigung der Endtaste am Farinograph-E beendet.

Der Kneterkessel wird gereinigt und getrocknet.

### **Durchführung des zweiten Versuchs**

Wenn die Endkonsistenz nicht in einem definierten Toleranzbereich ( $6 \pm 0,15$  Nm) liegt, wird vom gleichen Mehl noch einmal unter standardisierten Bedingungen ein Teig angefertigt. Dieser Teig wird dann 15 min (Standard und Mehlmischung aus Roggen und Weizen = 90:10) oder 14 min (Mehlmischung aus Roggen und Weizen = 80:20 sowie Roggenmehl mit 30 % Sauerteig, 2 % Hefe und 2 % Salzzugabe) bzw. 20 min (Mehlmischung aus Roggen und Weizen = 70:30) geknetet und auf dem Computer erscheint die Knetkurve. Aus dieser Knetkurve können die Teigentwicklungszeit, der Konsistenzabfall und die Wasseraufnahme abgelesen werden.

### **Auswertung**

Die Auswertung des Diagramms erfolgt wie Abb. 33 angegeben.

- KM = Konsistenzmaximum (Kurvenhöchstpunkt).
- TEZ = Teigentwicklungszeit = Zeit in Minuten von "1" bis zum Erreichen des Konsistenzmaximums (Kurvenhöchstpunktes).

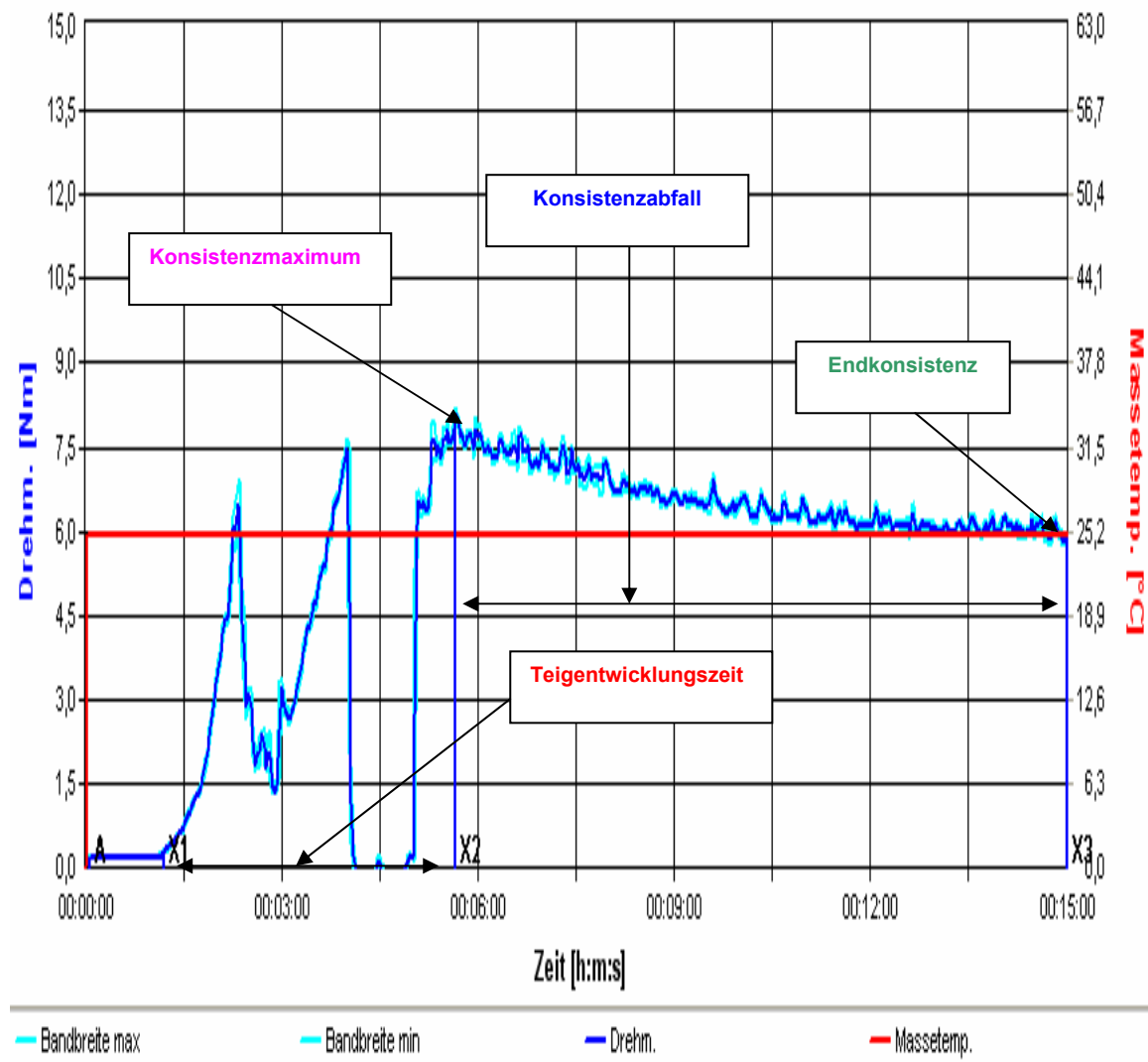
- EK = Endkonsistenz. Mittelpunkt der Kurve nach 15 Minuten Testzeit ermitteln
- KA = Konsistenzabfall. Der Abfall der Kurve in Nm gemessen. Bis zum Testende (15 Minuten) ab dem Höchstpunkt der Kurve.

Die Wasseraufnahme wird auf einer Feuchtigkeitsbasis von 14 % bei P 600 wie folgt berechnet:

$$\text{Wasseraufnahme (WA) \%} = (x + y - 600) / 6$$

- x ml Wasserzugabe zur Bildung einer Kurve mit Endkonsistenz von 6 Nm.
- y g Mehlmenge äquivalent 600 g bei 14 % Feuchtigkeit ist.

Dabei entspricht 0,15 Nm entspricht auf der korrigierten Wasseraufnahme 1 %.



**Abb. 33: Beispiel für die Ergebnisse zur Bestimmung der Wasseraufnahme von Roggenmehl mit P 600**



## 7 Zusammenfassung

In dieser Arbeit wurde die Verwendbarkeit des Planetenmischers P 600 für Messung und Beeinflussung der Konsistenz von Teigen aus Roggenmehl getestet. Weiterhin wurden Einflüsse von Prozess- und Rezepturparametern auf die Wasseraufnahme und Abbau von Roggenmehlinhaltsstoffen durch den Zusatz von Enzymen zur Steigerung der Brotqualität untersucht. Die neue Untersuchungsmethode wurde bei der Durchführung des Sauerteig- und Milchsäurebackversuchs zur Festlegung der Schüttwassermenge eingesetzt.

Mit Hilfe des P 600 wurden Roggenteige unter standardisierten Bedingungen aus 600 g Mehl (angepasst auf 14 % Mehlfeuchte) hergestellt und ihre Teigkonsistenz während der Misch- und Knetphase registriert. Um hochwertige Roggenbrote herstellen zu können, bedarf es stets gleichmäßiger Teigeigenschaften mit einer durchschnittlichen Teigkonsistenz von 6,0 Nm nach Beendigung des Misch- und Knetvorganges. Mit dem P 600 ist es möglich, die hierfür erforderliche Wasseraufnahme zu ermitteln.

Es wurde untersucht, die im P 600 ermittelte Wasseraufnahme als Grundlage für die Herstellung von qualitativ hochwertigen Roggenbrot zu verwenden. Mit dem P 600 wurde die Wasseraufnahme zum Erreichen des rheologischen Optimums eines Roggenmehles ohne und mit Enzymzusätzen ermittelt. Auf der Basis dieser Analysenwerte wurden Roggenbrote hergestellt, bei denen insbesondere Qualitätsmerkmale wie eine gleichmäßige und gut gelockerte Krume und ein ausreichendes Volumen den Beweis liefern sollten, dass die ermittelte Wasseraufnahme im P 600 als Grundlage für die Festlegung der Teigausbeute von Roggenteigen dienen kann. Ferner lieferte ein Vergleich von Roggenbrot Erkenntnisse darüber, welchen Einfluss Enzyme auf die Teigeigenschaften und letztlich auf die Qualitätskriterien wie Form, Krumenlockerung, Porengleichmäßigkeit usw. haben.

- ❖ Der Weg zum rheologischen Optimum bei den Roggenteigen ist beschrieben.
- ❖ Der Planetenmischer P 600 ist ein Instrument zur Messung der Veränderungen.
- ❖ Die Wasseraufnahme von Roggenmahlerzeugnissen kann durch
  - die Prozessparameter
    - Temperaturvariante (20; 25; 30 °C)
    - Drehzahlvariante (53; 63; 73 m<sup>-1</sup>)

- Einwaagenvariante (550; 600; 650 g)
  - Wasserzugabegeschwindigkeitsvariante (0,5; 1,0; 2,0 min)
  - die Rezepturparameter
    - Unterschiedliche Roggenmahlerzeugnisse
    - 30 % Sauerteig-, 2 % Hefe- und 2 % Salzzugabe
    - Zusatzvariante (0,9 % Milchsäure, 30 % Sauerteig, 2 % Hefe und 2 % Salz)
    - Mehlmischungsvariante aus Roggen und Weizen (RM:WM = 90:10; 80:20 und 90:30)
    - Enzyme (Amylase; Lipase; Hemicellulase; Xylanase)
- beeinflusst werden.
- ❖ Die Wasseraufnahme nimmt mit steigender Drehzahl und Einwaage zu, im Gegensatz dazu nimmt sie mit steigender Temperatur ab. Der Einfluss der Wasserzugabegeschwindigkeitsvariante ist auf die Wasseraufnahme von Roggenmehlen nicht bedeutsam.
  - ❖ Die Untersuchungen der Mehle zeigten unterschiedliche Wasseraufnahme, die in beachtlichem Maße von der Beschaffenheit der Mehlinhaltsstoffe (Stärke, Proteine, Pentosane u.a.) abhängig ist. Mit steigenden Roggentypenzahlen nahm die Wasseraufnahme zu, deren Unterschiede in Abhängigkeit von der Ausmahlung besonders groß sind. Mit der Zunahme des Gehaltes der Quellsubstanzen (Proteine, Hemicellulosen, Pentosane,  $\beta$ -Glucane) erhöht sich das Wasserbindevermögen parallellaufend mit einer stärker werdenden Nachquellung.
  - ❖ Die Wasseraufnahmen mit Zusätzen von 30 % Sauerteig-, 2 % Hefe- und 2 % Salz schwanken zwischen 62,6 und 67,2 %, im Vergleich zu den Teigen ohne Zusätze wurden die Wasseraufnahmeverringerungen zwischen 7,6 und 13,0 gemessen, da ein Konsistenzverlust während der Sauerteigstehzeit eintritt.
  - ❖ Der Unterschied zwischen den Wasseraufnahmen mit Zusätzen von 0,9 % Milchsäure, 2 % Hefe und 2 % Salz und ohne Zusätze ist nicht signifikant.
  - ❖ Die Wasseraufnahme nimmt mit steigendem Weizenmehlanteil ab.
  - ❖ Die Wasseraufnahme sinkt durch die Zusätze von Amylase und Lipase infolge des Abbaus strukturgebender Komponenten des Teiges, im Gegensatz dazu steigt sie durch die Zusätze von Hemicellulase und Xylanase, die bei der Teigbereitung die unlöslichen Anteile der Hemicellulose angreifen und diese im Inneren des Hemicellulosepolymers hydrolysieren. Daraus entstehen Pentosan-

fraktionen mit niedrigerem Molekulargewicht; die sehr viel Wasser aufnehmen können. Es resultiert ein fester und trockener Teig.

- ❖ Im Vergleich zum Standard scheinen die Zusätze von Milchsäure, Hefe und Salz, bis auf Ausnahmen, keine gravierenden Änderungen der Konsistenz zu bewirken.
- ❖ Die mechanischen Auswirkungen erscheinen größer als die möglichen enzymatischen Reaktionen.
- ❖ Ergebnisse der Backversuche
  - Sauerteigbackversuch: Die Teigeigenschaften, Volumenausbeute und Krumenelastizität aller Proben liegen im guten Bereich.
  - Milchsäurebackversuch: Nach Ablauf der Teigruhezeiten wird eine gute, roggenuntypische (fest und trocken) Teigstabilität festgestellt. Die Volumenausbeute ist geringer als im Sauerteigbackversuch. Die Krumenelastizität wird als „gut“ bezeichnet.
  - Sauerteigbackversuch mit Enzymzusätzen:
    - Die Teige mit Enzymzusätzen zeigten teilweise nachlassende und fließende Eigenschaften, mit einer als feucht und klebrig zu beurteilenden Oberfläche. Die Aufarbeitung war bezüglich des „Handlings“ nicht als praxisnah zu bezeichnen.
    - Trotz flacher Form weisen fast alle Brote mit Enzymzusätzen ein gleichwertiges oder sogar verbessertes Volumen im Vergleich mit dem Standard auf. Somit kann vermutet werden, dass eine Optimierung der Teigeigenschaften auch noch weitere Volumenzuwächse garantiert.
    - Die Krumenelastizität aller Brote mit Enzymzusätzen wurde als „gut“ bezeichnet.
- ❖ Die ermittelten Wasseraufnahmen stehen in guter Relation mit den experimentellen Backversuchen.
- ❖ Abschließend wird ein Vorschlag für die Formulierung eines Standards zur Bestimmung der Wasseraufnahme von Roggenteigen gemacht.

## Summary

In this study the applicability of planetary mixer P 600 was tested for the measurement and the influence on the dough consistency from rye flour. Furthermore the influences of process and recipe parameters on the water absorption and the degradation of rye flour constituents by addition of enzymes were examined in order to increase the bread quality. The new analytical method was used to determine the amount of added water in the sourdough and lactic acid baking test. The rye dough was manufactured from 600 g flour (adjusted to 14 % flour moisture content) under as far as possible standardized conditions with the P 600 and during the mixing and kneading phase the consistency was measured. In order to be able to manufacture high-quality rye breads, it requires after the mixing and kneading procedure always even dough characteristic with an average consistency of 6.0 Nm. Using the P 600 it is possible to determine the required water absorption. Then it was tested whether the water absorption determined with the P 600 could be used as a basis for the production of qualitative high-grade rye breads. The water absorption to obtain the rheologic optimum of rye flour without and with enzyme additives was defined with the P 600. On the basis of these analysis values rye breads were manufactured in particular quality criteria's like an even and well loosened crumb and sufficient volume to proof that the determined water absorption in the P 600 could serve as basis for the definition the dough yield of rye doughs. Furthermore a comparison of rye breads gave knowledge of the effect of enzymes on dough characteristics and finally on quality criteria such as form, crumb loosening, pore uniformity, etc..

- ❖ The procedure for the rheological optimum of the rye doughs is described.
- ❖ The planetary mixer P 600 is an instrument for the measurement of the changes.
- ❖ The water absorption of rye milling products can be affected by
  - the process parameters
    - temperature variant (20; 25; 30 °C)
    - speed variant (53; 63; 73 m<sup>-1</sup>)
    - sample weight variant (550; 600; 650 g)
    - water addition rate variant (0.5; 1.0; 2.0 min)
  - the recipe parameters

- different rye milling products
  - sourdough, yeast and salt addition
  - additive variant (lactic acid, sourdough, yeast and salt)
  - mixture variant of rye and wheat flour (RF:WF = 90:10; 80:20 und 90:30)
  - enzymes (Amylase; Lipase; Hemicellulase; Xylanase)
- ❖ The water absorption increases with rising speed and sample weight, in contrast to it decreases with rising temperature. The influence of the water addition rate variant is not significant on the water absorption of rye flours.
- ❖ The testing of different flours showed various water absorptions, which are extremely dependent on the quality of the flour components (starch, proteins, pentosans, etc.). With rising rye type numbers the water absorption increased, whose differences extremely correlate with the milling technique. With the increase of the swelling substances (proteins, hemicelluloses, pentosans and  $\beta$ -glucans) the water binding ability increases parallel with a stronger becoming after-swelling.
- ❖ The water absorptions of doughs with additives of 30 % sourdough, 2 % yeast and 2 % salt varied between 62.6 and 67.2 % showed decreased water absorption between 7.6 and 13.0 % in comparison to doughs without additives, since a consistency loss occurs during the sourdough ripening time.
- ❖ The difference between the water absorptions with additives of 0.9 % lactic acid, 2 % yeast and 2 % salt and without additives is not significant.
- ❖ The water absorption decreases with rising wheat flour portion.
- ❖ The water absorption decreases by adding amylase and lipase due to the degradation of structure-giving components in the dough, in contrast to those additives of hemicellulase and xylanase, which attacks the insoluble portions of the hemicellulose during the dough preparing and hydrolyze these inside the hemicellulose polymers, showed an increase. From this a pentosan fraction with lower molecular weight develops; which is able to take up a lot of water. It results a firm and dry dough.
- ❖ In the comparison to the standard the additives (lactic acid, yeast and salt) seems to cause beside exceptions no serious changes in the consistency.
- ❖ The mechanical effects appear larger than the possible enzymatic reactions.
- ❖ Results of the baking tests.
- Sourdough baking test: The dough characteristics, volume yield and crumb elasticity of all samples lie in a good range.

- Lactic acid baking test: After the dough floor time a good, rye-a-typical (firmly and drying) dough stability was determined. Its volume is smaller than in the sourdough baking test. The crumb elasticity is called “good”.
- Sourdough baking test with enzyme additives:
  - The doughs with enzyme additives showed partly abating and flowing characteristics, with an assessed moist and sticky surface. The processing was concerning the “handling” not typical.
  - Despite the flat form nearly all bread with enzyme additives exhibit an equivalent or even improved volume in the comparison with the standard. Thus it can be assumed that an optimization of the dough characteristics guarantees also still further volume increases.
  - The crumb elasticity of all bread with enzyme additives was called “good”.
- ❖ The determined water absorptions stand in good relation with the experimental baking tests.
- ❖ Finally, a recommendation is made for the formulation of a standard on the determination of the water absorption of rye doughs.

## 8 Literaturverzeichnis

**Acker, L. und Becker, G.** (1971) Neuere Untersuchungen über die Lipide der Getreidestärken. *Stärke*. 23, (12), S. 419 - 424.

**Acker, L. und Becker, G.** (1972) Lipids of Grain Starches. *Gordian*. 72, S. 275 - 278.

**Anon.** (1983) Viskosität - Rheologische Begriffe. DIN-Norm 1342 - 1.

**Arbeitsgemeinschaft Getreideforschung e.V.** (1994) Standard-Methoden für Getreide, Mehl und Brot. (7. Auflage) Detmold: Moritz Schäfer Verlag.

**Autio, K., Koskinen, M. und Parkkonen, T.** (1995) Structural Changes in Cell Walls of Rye Doughs during Incubation. S. 146 - 154. In: K. Poutanen und K. Autio (Hrsg.), *Int. Rye Symp.: Technology and Products*. VTT Biotechnology and Food Research, Espoo, Finland.

**Belitz, H.-D., Grosch W., Schieberle, P.** (2001) Lehrbuch der Lebensmittelchemie. (5. Auflage) Berlin, Heidelberg: Springer Verlag.

**Besle, J.M., Cornu A. und Jouany, J.P.** (1994) Roles of Structural Phenylpropanoids in Forage Cell-wall Digestion. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 64, (2), S. 171 - 190.

**Bielig, H.J. und Fischer-Ayloff-Cook, K.P.** (1984) Bedeutung der Rheologie in der Lebensmitteltechnologie. *Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und -Forschung*. 179, (5), S. 364 - 370.

**Bode, J.** (2005) Attritionsbehandlung von Roggenmehl: Erhöhung der Wasseraufnahme und Enzymunterstützung. *Getreide, Mehl und Brot*. 59, (4), S. 212 - 216.

**Böhme, H.** (2003) Ernährungsphysiologische Bewertung von Roggen als Futtermittel und Einsatzmöglichkeiten bei verschiedenen Tierarten. *Getreide, Mehl und Brot*. 57, (4), S. 225 - 229.

**Bolling, H. und Drews, E.** (1970) Pentosanmenge und -beschaffenheit bei Sortenmehlen. S. F25 - F26. In: *Jahresbericht 1970 der Bundesforschungsanstalt für Getreideforschung in Detmold*.

**Bolling, H. und Weipert, D.** (1977) Roggenqualität – erläutert an der Interdependenz zwischen Sorte, Umwelt, Mahl- und Backeigenschaften. *Getreide, Mehl und Brot*. 31, (12), S. 307 - 312.

**Bosch, K.** (1998) Statistik-Taschenbuch. (3. Auflage) München: R. Oldenbourg Verlag.

**Boskov Hansen, H., Andreasen, M.F. Nielsen, M.M., Larsen, L.M., Bach Knudsen, K.E., Meyer, A.S., Christensen, L.P. und Hansen, Å.** (2002) Changes in Dietary Fibre, Phenolic Acids and Activity of Endogenous Enzymes during Rye Bread-Making. *European Food Research and Technology*. 214, (1), S. 33 - 42.

- Brabender OHG** (1994) Betriebsanleitung Planetenmischer P600. Kulturstraße 51 - 55, 47055 Duisburg.
- Brabender OHG** (1999) Betriebsanleitung Kneeter-Programm für Windows. Kultur-Strasse 51 - 55, 47055 Duisburg.
- Brandt, M.J. und Hammes, W.P.** (2001) Einfluss von Fructosanen auf die Sauerteigfermentation. Getreide, Mehl und Brot. 55, (6), S. 341 - 345.
- Breyer, D. und Hertel, W.** (1974) Zur Bestimmung von Proteaseaktivitäten in Weizen und Roggen sowie deren Mahlprodukten mit synthetischen Substraten. Getreide, Mehl und Brot. 28, (1), S. 13 - 16.
- Brosius, F.** (1998) SPSS 8 - Professionelle Statistik unter Windows. Bonn: International Thomson Publisching.
- Brümmer, J.-M.** (1987) Ermittlung der Wasseraufnahme von Roggenmehlen für den Sauerteig-Standard-Backversuch. Die Mühle + Mischfuttertechnik. 124, (23), S. 306 - 310.
- Brümmer, J.-M.** (1988) Erfahrungen mit der Roggenwasseraufnahme bei Roggentypenmehlen. Getreide, Mehl und Brot. 42, (9), S. 272 - 276.
- Brümmer, J.-M.** (2002) Neue rheologische Methoden für die Müllerei. Getreide, Mehl und Brot. 56, (2), S. 74 - 80.
- Brümmer, J.-M.** (2005) Bäckereitechnologische Zusammenhänge von Brotaroma, Brotvolumen, Krumenstruktur und Geschmacksbeeinflussung. Getreide, Mehl und Brot. 59, (1), S. 20 - 25.
- Brümmer, J.-M.** (2005) Roggen und sein Backverhalten heute: Getreide, Mehl und Brot. 59, (2), S. 95 - 106.
- Bunzel, M., Ralph, J., Marita, J., Hatfield, R.D. und Steinhart, H.** (2001) Diferulates as Structural Components in Soluble and Insoluble Cereal Dietary Fibre. Journal of the Science of Food and Agriculture. 81, (7), S. 653 - 600.
- Bunzel, M. und Steinhart, H.** (2002) Strukturbildende phenolische Verbindungen in Getreideballaststoffen am Beispiel löslicher und unlöslicher Roggenballaststoffe. Getreide, Mehl und Brot. 56, (5), S. 281 - 286.
- Bunzel, M. und Steinhart, H.** (2003) Strukturmerkmale von Ballaststoffkomponenten. Chemie in unserer Zeit. 37, (3), S. 188 - 196.
- Chen, W.** (1992) Dough Stickiness - Causes and Measurements. Ph.D. Dissertation, Kansas State University, Manhattan.
- Chung, O.K. und Pomeranz, Y.** (1977) Wheat Flour Lipids, Shortening and Surfactants - a Three Way Contribution to Breadmaking. The Bakers Digest. 51, (5), S. 32 - 34, 36 - 38, 40, 42 - 44, 153.
- Copley, A.L.** (1948) The First International Congress of Rheology. Scheveningen, Holland.



**Delcour, J.A., Vanhamel, S. und Hosene, R.C.** (1991) Physicochemical and Functional Properties of Rye Non-Starch Polysaccharides. II Impact of Fraction Containing Water-Soluble Pentosans and Proteins on Gluten-Starch Loaf Volumes. *Cereal Chemistry*, 68, (1), S. 72 - 76.

**de Schutter, M., de Jong, N. und Vianen, G.** (2003) Neue Generation von Nahrungsfasern (Ballaststoffen). *Getreide, Mehl und Brot*. 57, (4), S. 239 - 242.

**DeVries, J.W.** (2001) The Definition of Dietary Fiber. *Cereal Foods World*. 46, (3), S. 112 - 129.

**Diderichsen, B.K. und Christiansen, L.** Preparation of a Maltogenic Amylase Enzyme. US Patent Application 4 598 048.

**Dörfer, J.** (2001) Untersuchungen zur Aktivität pentosanabbauender Enzyme in Roggenmehlen mit auffälliger Teigbeschaffenheit. *Getreide, Mehl und Brot*. 55, (3), S. 154 - 157.

**Dreisörner, J.** (2002) Physicochemische Einflussfaktoren auf die Frischhaltung von Roggenbrot. Jahresbericht der Bundesanstalt für Getreide-, Kartoffel- und Fettforschung in Detmold und Münster (BAGKF). S. 38 - 40.

**Dreisörner, J.** (2006) Mündliche Auskunft. Lebensmittelchemiker der Firma Brabender OHG, Kulturstraße 51 - 55, 47055 Duisburg.

**Drews, E.** (1966a) Der Einfluss der Roggenmehlpentosane auf die Teigausbeute und die Beschaffenheit des Roggenmehlteiges. *Deutsche Müller-Zeitung*. 64, S. 102 - 103.

**Drews, E.** (1966b) Bestimmung des Wasseraufnahmevermögens bei Roggenmahlprodukten. *Die Mühle + Mischfuttertechnik*. 103, S. 187 - 188.

**Drews, E.** (1969) Veränderungen der viskosen Eigenschaften der Roggenschleimstoffe durch Temperatur, Säuerung und Salzzusatz. S. F70 - F72. In: Jahresbericht 1969 der Bundesforschungsanstalt für Getreideforschung in Detmold.

**Drews, E.** (1970) Beschaffenheitsmerkmale der Pentosane des Roggenmehles. *Brot und Gebäck*. 24, (3), S. 41 - 46.

**Drews, E.** (1971) Quellkurven von Roggenmahlprodukten. *Die Mühle + Mischfuttertechnik*. 108, (49), S. 723 - 724.

**Drews, E.** (1979) Quellkurven von Roggenmahlprodukten - Was sie aussagen. *Deutsche Müller-Zeitung*. 77, (11), S. 188 - 190; (12), S. 193 - 194.

**Drews, E. und W. Seibel** (1976) Bread Baking and Other Uses Around the World. S. 127 - 179. In: W. Bushuk (Hrsg.), *Rye: Production, Chemistry, and Technology*. (First Edition) St. Paul, Minnesota: American Association of Cereal Chemists, Inc.

**Drosdowski, G., Müller, W., Scholze-Stubenrecht, W. und Wermke M.** (1996) DUDEN Die deutsche Rechtschreibung. (21. Auflage) Mannheim, Leipzig, Wien,

Zürich: Dudenverlag.

**Eirich, F.R.** In: Rheology. Theory and Practice. Academic Press, New York.

**Escriva, C. und Martinez-Anaya, M.A.** (2000) Influence of Enzymes on the Evolution of Fructans in Sourdough Wheat Process. European Food Research and Technology. 210, (4), S. 286 - 292.

**Fahrmeir, L., Künstler, R., Pigeot, I. und Tutz, G** (2004) Statistik - Der Weg zur Datenanalyse. (5. Auflage) Berlin: Springer Verlag.

**Fretzdorff, B. und Jördens, A.** (1986) Vergleichende Untersuchungen zur Substratspezifität, Aktivierung und Inaktivierung von Lipoxygenasen in Getreideextrakten. Lebensmittel-Wissenschaft und -Technologie. 19, (6), S. 437 - 442.

**Fretzdorff, B. und Welge, N.** (2003) Fructan- und Raffinosegehalte im Vollkorn einiger Getreidearten und Pseudo-Cerealien. Getreide, Mehl und Brot. 57, (1), S. 3 - 8.

**Fretzdorff, B. und Welge, N.** (2003) Abbau von getreideeigenen Fructanen während der Herstellung von Roggen-Vollkornbrot. Getreide, Mehl und Brot. 57, (3), S: 147 - 150.

**Fretzdorff, B.** (2005) Vergleich ernährungsrelevanter Inhaltsstoffe in Roggenmustern aus ökologischem und konventionellem Anbau und Suche nach Indikatoren für die Anbauform. Getreide, Mehl und Brot. 59, (5), S. 281 - 288.

**Freund, W.** (1995) Bäckerei-Konditorei Management Bd. 5 - Verfahrenstechnik Brot & Kleingebäck. (1. Auflage) Alfeld (Leine): Gildebuchverlag.

**Freund, W., Fehse, M. und Kim, M.-Y.** (2005 a) Beeinflussung der Eigenschaften von Roggenteigen durch Enzyme - Messung der Viskosität mit einem für Roggenteige optimierten System. Gesellschaft Deutscher Lebensmitteltechnologien e.V., GDL-Kongress Lebensmitteltechnologie, 6. - 08. Oktober 2005, Dresden.

**Freund, W. Freund, W., Fehse, M. und Kim, M.-Y.** (2005 b) Rheologische Messungen an Roggenteigen. Tagung für Getreidechemie, 21. - 22. Juni 2005, Detmold.

**Freund, W., Kim, M.-Y. und Löns, M.** (2006) Methoden zur Untersuchung von Weizen- und Roggenmahlerzeugnissen. S. 1 - 83. In: W. Freund (Hrsg.), Handbuch Backwaren Technologie. (1. Auflage) Hamburg: Behrs Verlag.

**Gama, A.C., Santos, D.M.J. und Lopes da Silvia, J.A.** (2000) Influence of Wheat Polysaccharides on the Rheological Properties of Gluten and Doughs. Wheat Gluten, Special Publication - Royal Chemical Society. S. 503 - 506.

**Gellrich, C., Schieberle, P. und Wieser, H.** (2001) Isolierung und Charakterisierung der  $\gamma$ -Secaline von Roggen. Getreide, Mehl und Brot. 55, (5), S. 275 - 277.

- Golenkov, V.F.** (1960) Zur Frage der Roggenkleberbildung (in Russisch). Biohemija zerna i hlebopecenija. 6, S. 156 - 162.
- Hagberg, S.** (1952) Gums in Rye and Wheat. Congr. Int. Ind. Ferment. Rep. II; 339 - 356.
- Hampel, G.** (1953) Über die Entstehung und Entwicklung der modernen Teigprüfapparate. Brot und Gebäck. 7, (3), S. 33 - 35.
- Hlynka, I.** (1962) Influence of Temperature, Speed of Mixing, and Salt on some Rheological Properties of Dough in the Farinograph. Cereal Chemistry. 39, S. 286 - 303.
- Holas, J. und Hampel, J.** (1973) Study of Pentosans during Rye Bread Production. Zbornyk vysoke skoly chemicko-technologicke v Praze. E 38, S. 53 - 78.
- Huber, H.** (1983) Die Wasserbindung des Roggenmehles bei der Verarbeitung. Brot und Backwaren. 31, (9), S. 231 - 235.
- Huber, H. und Blum, W.** (1970) Die Wasserbindung im Teig. Brot und Gebäck. 24, (1), S. 8 - 12.
- Hulse, J.H. und Laing, E.M.** (1974) Nutritive Value of Triticale Protein. International Development Research Center, Ottawa, Canada.
- Hutchings, J.B.** (1977) The Importance of Visual Appearance of Foods to the Food Processor and the Consumer. In: J.J. Birch, J.G. Brennan und K.J. Parker (Hrsg.), Sensory Properties of Foods. London: Appl. Sci. Publ.
- Ignatowitz E.** (2003) Chemietechnik. (7. Auflage) Hann-Gruiten: Verlag Europa-Lehrmittel.
- International Organization of Standardization** (1979) Standard 5492/3.
- Ishii, T.** (1997) Structure of Feruloyated Polysaccharides. Plant Science. 127, S. 111 - 127.
- Jowitt, R.** (1974) The Terminology of Food Texture. Journal of Texture Studies. 5, (3), S. 351 - 358.
- Jowitt, R., Escher, F. Hallström, B. Meffert, H.F.T., Spieß, W. und Vos, G. (Hrsg.)** (1983) In: Physical Properties of Foods. London: Appl.Sci.Publ.
- Katz, D.** (1937) Studies on Test Baking. III: The Human Factor in Test Baking. A Psychological Study. Cereal Chemistry. 14, (3), S. 382 - 396.
- Kaufmann, B.** (1993) Rheologische Eigenschaften von Weizenteigen. Dissertation, Universität Hohenheim, Hohenheim.
- Keßler, M.T.** (2006) Analytische Erfassung und Interpretation der Stärkedegradation im Gersten- und Malzkorn und die Aussagekraft für den Brauprozess. Technische Universität München, Lehrstuhl für Technologie der Brauerei 1, Dissertation, 2002

**Kieffer, R.** (2004) Grundlagen der Teigbildung bei Weizen- und Roggenteigen. S. 1 - 24. In: W. Freund (Hrsg.), Handbuch Backwaren Technologie. (1. Auflage) Hamburg: Behrs Verlag.

**Klingler, R.-W.** (1995) Grundlagen der Getreidetechnologie. Hamburg: Behrs Verlag.

**Kniel, B.** (2000) Enzyme in der Lebensmittelbe- und -verarbeitung. In: K. Lösche (Hrsg.), Enzyme in der Lebensmitteltechnologie. (1. Auflage) Hamburg: Behrs Verlag.

**Kniel, B. und Prochatzki, C.** (2000) bmi aktuell - Eine Information für die Ernährungs- und Verbraucherberatung. (1. Ausgabe) Bonn: Backmittelinstitut e.V.

**Kragh, K.M., Larsen, B., Rasmussen, P., Duedahl-Olesen L. und Zimmermann, W.** Non-Maltogenic Exoamylase and Their Use in Retarding Retrogradation of Starch. US Patent 6890572. WO 99/50399.

**Kramer, A.** (1968) The Judging of Food Quality – A Consideration of Uniform Scoring. Proc. Techno. Mtg. Food Dairy Ind. Expo. 79, zit. n. Kramer (1975).

**Kramer, A.** (1973) Food Texture – Definitions, Measurement and Relations to other Food Quality Attributes. In: A. Kramer und A.S. Szczesniak (Hrsg.), Texture Measurement of Foods. Dordrecht: D. Reidel Publ. Comp.

**Kramer, A.** (1975) Food Texture – Definitions, Measurement and Relations to other Food Quality Attributes. In: C.K. Rha (Hrsg.), Theory, Determination and Control of Physical Properties of Food Materials. Dordrecht: D. Reidel Publ. Comp.

**Kramer, A. Und Twigg, B.A.** (1970) In: Fundamentals of Quality Control of the Food Industry. Westport: AVI Publishing Co.

**Krieger, I.M.** (1983) Rheology of Emulsions and Dispersions. In: M. Peleg und E.B. Bagley (Hrsg.), Physical Properties of Foods. Westport: AVI Publishing Co.

**Kuchling, H.** (2001) Taschenbuch der Physik. (17. Auflage) Leipzig: Fachbuchverlag Leipzig.

**Labat, E., Rouau, X. und Morel, M.-H.** (2002) Effect of Flour Water-Extractable Pentosans on Molecular Associations in Gluten during Mixing. Lebensmittel-Wissenschaft und -Technologie. 35, (2), S. 185 - 189.

**Lee, J.-W. und Ronalds, J.A.** (1972) Glucosidases and Glyconases of Wheat Flour Dough. Journal of the Science of Food and Agriculture. 23, (2), S. 199 - 205.

**Leonhart, R.** (2004) Lehrbuch Statistik. - Einstieg und Vertiefung. Bern: Verlag Hans Huber.

**Lindhauer, M.G.** (2005) Ernährungsphysiologische Bedeutung von Getreide. Getreide, Mehl und Brot. 59, (3), S. 168 - 172.

- Madl, R.L. und Tsen, C.C.** (1973) Proteolytic Activity of Triticale. *Cereal Chemistry*. 50, (2), S. 215 - 219.
- Mano, Y., Nishiyama, S., Kojima, M., Ohnishi, M. und Ito, S.** (1991) Analysis of the Molecular Species of Glycerolipids and Rye Grains by Reserved-phase High-performance Liquid Chromatography. *Cereal Chemistry*. 68, (3), S. 280 - 284.
- Metzger, T.** (2000) *Das Rheologie-Handbuch - Für Anwender von Rotations- und Oszillations-Rheometern* - Hannover: Vincenz Verlag.
- Meuser, F. und Suckow, P.** (1986) Backtechnische Wirkung von Roggenpentosanen. *Getreide, Mehl und Brot*. 40, (11), S. 332 - 336.
- Michniewicz, J., Biliaderis, C. und Bushuk, W.** (1992) Effect of Added Pentosans on Some Properties of Wheat Bread. *Food Chemistry*. 43, (4), S. 251 - 257.
- Mohsenin, N.N.** (1986) *Physical Properties of Plant and Animal Materials*. London: Gordon & Breach.
- Mohsenin, N.N. und Mittal, J.P.** (1977) Use of Rheological Terms and Correlation of Compatible Measurements in Food Texture Research. *Journal of Texture Studies*. 8, (4), S. 395 - 408.
- Moskowitz, H.R.** (1987) In: *Food Texture. Instrumental and Sensory Measurement*. New York: Marcel Dekker.
- Muller, H.G.** (1969) Mechanical Properties, Rheology, and Haptaesthesia of Food. *Journal of Texture Studies*. 1, (1), S. 38 - 42.
- Muller, H.G.** (1973) *An Introduction to Food Rheology*. London: Heinemann.
- Neukom, H., Geismann, T. und Painter, T.J.** (1967) New Aspects of the Functions and Properties of the Soluble Wheat Flour Pentosans. *The Bakers Digest*. 41, 52 - 55.
- Peleg, M.** (1983) The Semantics of Rheology and Texture. *Food Technology*. 37, (11), S. 54 - 61.
- Peleg, M. und Bagley, E.B.** (1983) *Physical Properties of Foods*. Westport: AVI Publishing Co.
- Piber, M. und Köhler, P.** (2004) Untersuchungen zum Dimerisierungsgrad von Ferulasäure in Weizen- und Roggenmehl während der Brotherstellung. *Getreide, Mehl und Brot*. 58, (4), S. 207 - 210.
- Pontis, H.G.** (1989) Fructans and Cold Stress. *Journal of Plant Physiology*. 134, (2), S. 148 - 150.
- Popper, L.** (2001) Auswirkungen der Mehlbehandlung auf die Frischhaltung der Brotkrume. *Getreide, Mehl und Brot*. 55, (5), S. 286 - 290.

**Popper, L.** (2005) Enzyme - Gute Freunde des Mehls. Brot und Backwaren. 53, (6), S. 30 - 33.

**Pranznik, W., Cieslik, E. und Filipiak-Florkiewicz, A.** (2002) Soluble Dietary Fibres in Jerusalem Artichoke Powders: Composition and Application in Bread. Nahrung/Food. 46, (3), S. 151 - 157.

**Pusan Food Research Institute** (2006) Pusan, Korea.

**Ralph, J., Quideau, S., Grabber, J.H und Hatfield, R.D.** (1994) Identification and Synthesis of New Ferulic Acid Dehydrodimers Present in Grass Cell Walls. Journal of the Chemical Society-Perkin Transactions I. 0, (23), S. 3485 - 3498.

**Ralph, J., Hatfield, R.D., Grabber, J.H., Jung, H.G., Quideau, S. und Helm, R.F.** (1998) Cell Wall Cross-linking in Grasses by Ferulates and Diferulates. In: N.G. Lewis und S. Sarkanen (Hrsg.), Lignin and Lignan Biosynthesis. Washington, DC: American Chemical Society. S. 209 - 236.

**Reiner, M.** (1968) In: Rheologie in Elementarer Darstellung. Hanser, München.

**Renner, E.** (1988) In: Lexikon der Milch. München: Volksw. Verlag.

**Rha, C.K.** (1975) Theories and Principles of Viscosity. In: C.K. Rha (Hrsg.), Theory, Determination and Control of Physical Properties of Food Materials. Dordrecht: D. Reidel Publ. Comp.

**Rohm, H.** (1990) Textureigenschaften und Milchprodukte. Gelsenkirchen-Buer: Verlag Th. Mann.

**Rohrlich, M. und Hertel, W.** (1966) Untersuchungen über den Eiweißabbau im Sauerteig. Brot und Gebäck. 20, (6), S. 109 - 113.

**Rohrlich, M.** (1969) Getreideenzyme. Berlin: Paul Parey Verlag.

**Rothe, M., Schneeweiß, R. und Ehrlich, R.** (1973) Zur historischen Entwicklung von Getreideverarbeitung und Getreideverzehr. Ernährungsforschung XVIII. 18, (4), S. 249 - 284.

**Sarkanen, K.V. und Ludwig, C.H.** (1971) Lignins, Occurrence, Formation, Structure and Reactions. New York: Wiley-Interscience.

**SAS Institute Inc.** (2000) SAS/STAT User's Guide, Version 8. Cary, NC, U.S.A.: SAS Publishing.

**Schäfer, W.** (1972) Studien zum rheologischen Optimum. Die Mühle + Mischfuttertechnik. 109, (36), S. 565 - 568.

**Schmitz, K.** (2003) Einsatz von Inulin in Hefe- und Hefefeinteigen - Analytische, fermentative, rheologische und backtechnische Untersuchungen. Dissertation, Bergische Universität Wuppertal, Wuppertal.

**Schwedt, G.** (2005) Taschenatlas der Lebensmittelchemie. (2. Auflage) Stuttgart:

Georg Thieme Verlag.

**Scott-Blair, G.W.** (1939) Psychorheology in the Breadmaking Industry. *Cereal Chemistry*. 16, (6), S. 707 - 711.

**Scott-Blair, G.W.** (1969) *Elementary Rheology*. London: Academic Press.

**Scott-Blair, G.W.** (1975) Survey of the Rheological Studies of Food Materials. In: C.K. Rha (Hrsg.), *Theory, Determination and Control of Physical Properties of Food Materials*. Dordrecht: D. Reidel Publ. Comp.

**Seibel, W.** (1988) Bedeutung als Kulturpflanze. In: W. Seibel, W. Steller (Hrsg.), *Roggen - Anbau, Verarbeitung, Markt* -. Hamburg: Behrs Verlag.

**Seibel W.** (1999) Bedeutung der Vorstufen bei der Backwarenherstellung. In: G. Spicher, H. Stephan (Hrsg.), *Handbuch Sauerteig - Biologie Biochemie Technologie* -. (5. Auflage) Hamburg: Behrs Verlag.

**Seibel, W und Weipert, D.** (2001) Bread Baking and Other Uses Around the World. S. 147 - 211. In: Bushuk (Hers.), *Rye: Production, Chemistry, and Technology*. (Second Edition) St. Paul, Minnesota: American Association of Cereal Chemists, Inc.

**Shewry, P.R. und Bechtel, D.B.** (2001) Morphology and Chemistry of the Rye Grain. S. 69 - 127. In: Bushuk (Hers.), *Rye: Production, Chemistry, and Technology*. (Second Edition) St. Paul, Minnesota: American Association of Cereal Chemists, Inc.

**Shewry, P.R., Field, J.M. und Tatham, A.S.** (1987) The Structures of Cereal Seed Storage Proteins. S. 421 - 437. In: I.D. Morton (Hrsg.), *Cereals in European Context*. Chichester: Ellis Horwood.

**Si, J.Q.** (1995) New Developments of Enzymes for the Baking Industry. AIQS Congress, Spain, Nov.

**Sieg J.** (2003) Unlösliche Ballaststoffe – Vorteile für Lebensmittel und Gesundheit. *Getreide, Mehl und Brot*. 57, (6), S: 365 -371.

**Sivaramakrishnan, H.P., Senge, B. und Chattopadhyay, P.K.** (2004) Rheological Properties of Rice Dough for Making Rice Bread. *Journal of Food Engineering*. 62, (1), S. 37 - 45.

**Souci, S.W., Fachmann, W. und Kraut, H.** (2000) *Die Zusammensetzung der Lebensmittel. Nährwert-Tabellen*. (6. Auflage) Stuttgart: medpharm Scientific Publishers.

**Spicher G. und Nierle W.** (1983) Proteolytische Aktivität im Verlaufe der Sauerteiggärung. *Getreide, Mehl und Brot*. 83, (10), S. 305 - 310.

**Spicher, G. und Nierle, W.** (1984) Die Mikroflora des Sauerteiges. - XVIII. Mitteilung: Das Eiweißabbauvermögen der Milchsäurebakterien des Sauerteiges. *Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und -Forschung*. 178, (5), S. 389 - 392.

**Stephan, H. und Exner, H.** (1971) Vorschlag zur erweiterten Auswertung von

Amylogrammkurven für Roggenmehle. Getreide, Mehl und Brot. 25, (4), S. 66 - 70.

**Stölcken B., Schumann, W., Bolduan, G. und Hackl, W.** (1996) Beta-Glucane und Pentosane in Getreidesortimenten aus Mecklenburg-Vorpommern.- VD-LUFA-Kongressband. S. 241 - 296.

**Ströbel, E., Ahrens, P., Hartmann, G., Kluge, H. und Jeroch, H.** (2001) Gehalt an Inhaltsstoffen von Weizen, Roggen und Hafer bei Anbau unter konventionellen und den Bedingungen des ökologischen Landbaus. Die Bodenkultur. 52, (5), S. 221 - 231.

**Tscheuschner, H.-D.** (2004) Grundzüge der Lebensmitteltechnik. (3. Auflage) Hamburg: Behrs Verlag.

**Theander, O., Westerlund, E. und Aman, P.** (1993) Structure and Components of Dietary Fiber. Cereal Foods World. 38, (3), S. 135 - 141.

**Van Eijk, J.H. und Hille, J.D.R.** (1995) Nonamylolytic Enzymes. S. 131 - 150. In: R.E. Hebeda und H.F. Zobel (Hrsg.), Baked Goods Freshness: Technology, Evaluation and Inhibition of Staling. New York: Marcel Dekker.

**Völker, L.** (2005) Wechselwirkungen der Backhefe mit Teiginhaltsstoffen. Getreide, Mehl und Brot. 59, (1), S. 10 - 14.

**vom Stein, E.** (1971) Das neue Monheimer Salz-Sauer-Verfahren. Brot und Gebäck. 25, (7), S. 130 - 133.

**Walker, C.E., Lang, C.E., Deffenbaugh, L.B. und Wrigley, C.W.** (1989) Modifizierte Schnellmethode zur Messung der Stärkequalität mit dem australischen „Rapid Visco-Analyser“. Getreide, Mehl und Brot. 43, (3), S. 67 - 71.

**Wassermann, L.** (1975) Konsistenz von Roggenteigen. Getreide, Mehl und Brot. 29, (8), S. 202 - 206.

**Wassermann, L.** (2004) Was sind Backmittel?. (4. Auflage) Bonn: Backmittelinstitut e.V.

**Weipert, D.** (1972) Rheologie von Roggenteigen. Getreide, Mehl und Brot. 26, (7), S. 181 - 187.

**Weipert, D.** (1976) Einige Möglichkeiten zur Erfassung der rheologischen Charakteristika der Roggenteige. Rheologica Acta. 15, (1), S. 76 – 81.

**Weipert, D.** (1978) Rheologische und rheometrische Probleme zur Charakterisierung von Roggen- und Weizenteigen. Die Mühle + Mischfuttertechnik. 115, (20), S. 281 - 287.

**Weipert, D.** (1981) Einsatz rheologischer Messungen zur Beschreibung der Beschaffenheit der Korninhaltsstoffe des Getreides. Rheologica Acta. 20, (6), S. 605 - 613.

**Weipert, D.** (1983) Zur Beurteilung des Verarbeitungswertes von Roggen. Getreide, Mehl und Brot. 37, (8), S. 229 - 234.



**Weipert, D.** (1985) Eigenschaften und Verwendungsmöglichkeiten von Triticale. Getreide, Mehl und Brot. 39, (10), S. 291 - 298.

**Weipert, D.** (1990) The Benefits of Basic Rheometry in Studying Dough Rheology. Cereal Chemistry. 67, (4), S. 313 - 317.

**Weipert, D.** (1992) Descriptive and Fundamental Rheometry in a New Light. Cereal Foods World. 37, (1), S. 15 - 24.

**Weipert, D.** (1993) Brotgetreide und seine Produkte. In: D. Weipert, H.-D. Tscheuschner und E. Windlap (Hrsg.), Rheologie der Lebensmittel. Hamburg: Behrs Verlag.

**Weipert, D. und Brümmer, J.-M.** (1988) Untersuchung von Roggen und Roggenmahlerzeugnissen. In: W. Seibel, W. Steller (Hrsg.), Roggen - Anbau, Verarbeitung, Markt -. Hamburg: Behrs Verlag.

**Weipert, D. und Zwingelberg, H.** (1979) Versuche zur Herstellung von Roggenmehlen mit definiertem Quellstoff-Stärke-Verhältnis. Getreide, Mehl und Brot. 33, (2), S. 34 - 40.

**Weipert, D. und Zwingelberg, H.** (1980) Quellstoff-Stärke-Verhältnis bei unterschiedlichen Roggenqualitäten. Getreide, Mehl und Brot. 34, (12), S. 97 - 100.

**Weipert, D. und Zwingelberg, H.** (1980) Quellstoffreiche Mehlfraktionen im Vermahlungsdiagramm und ihr Einfluss auf die Roggenqualität. Getreide, Mehl und Brot. 34, (12), S. 97 - 100.

**Weith, L.** (2005) Zum Einfluss von Kochsalz auf die Krumenstruktur des Roggenbrotes. Getreide, Mehl und Brot. 59, (3), S. 153 - 158.

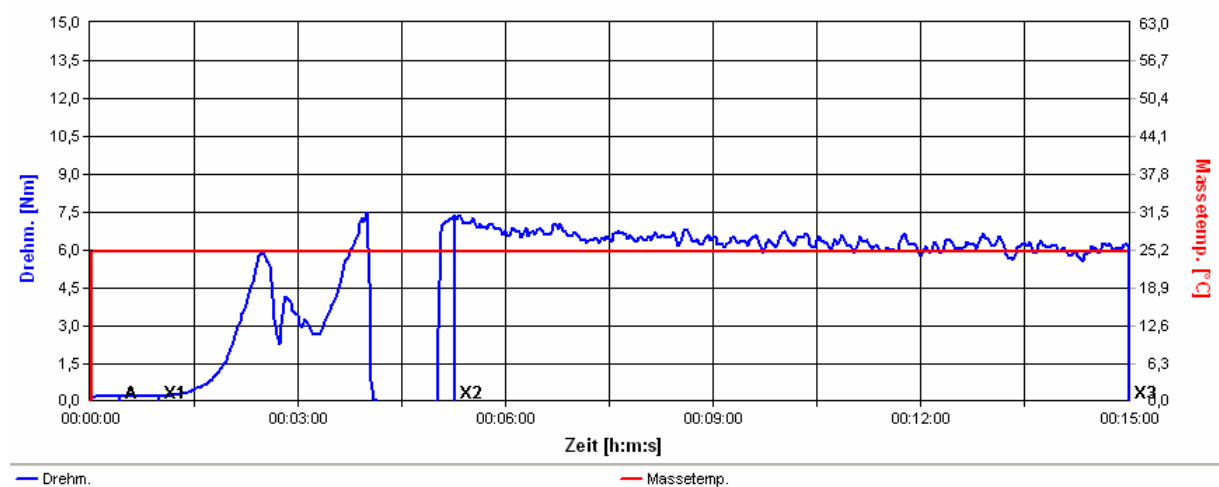
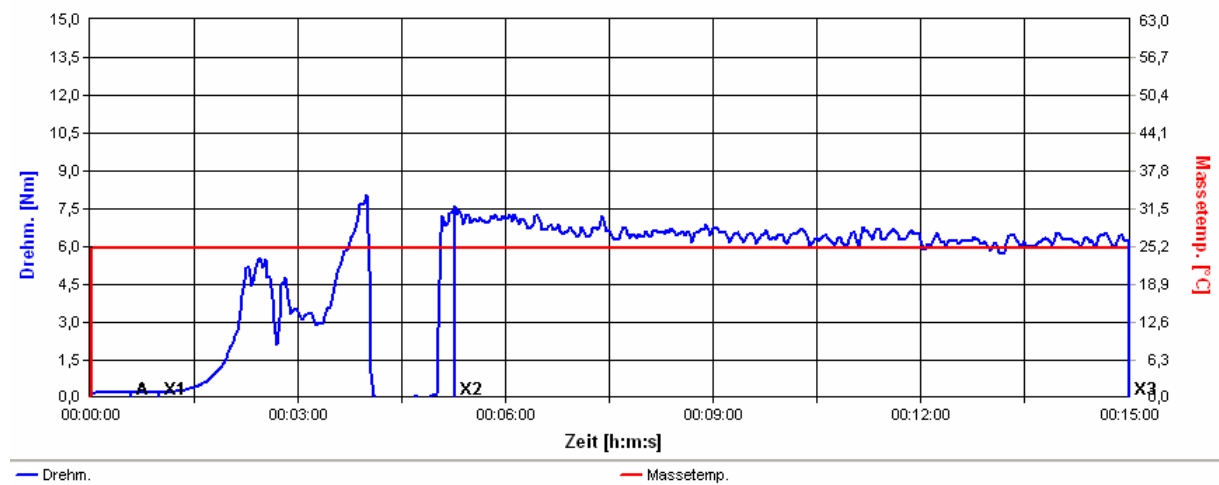
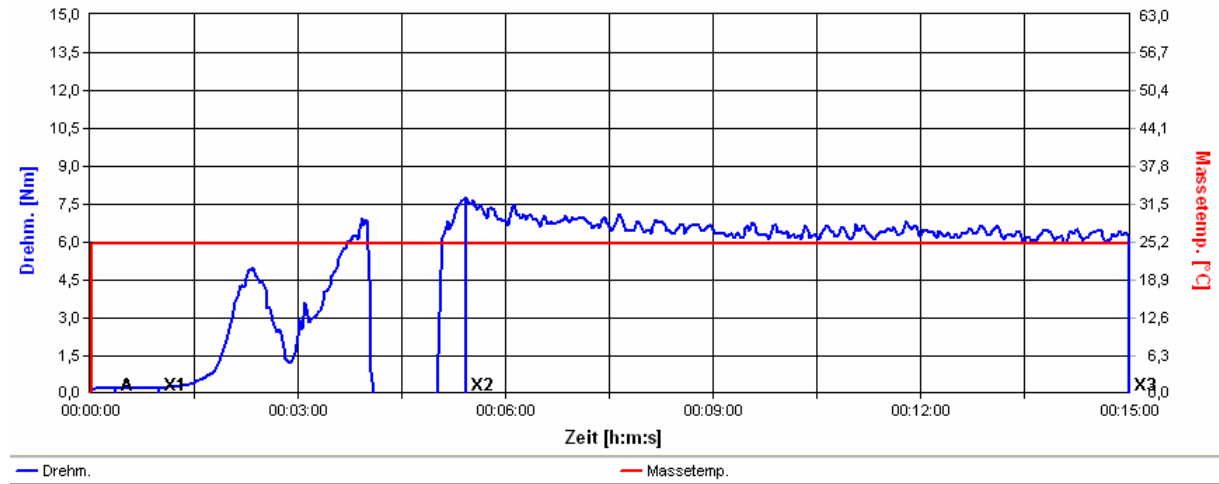
**White, G.W.** (1970) Rheology in Food Research. Journal of Food Technology. 5, S. 1.

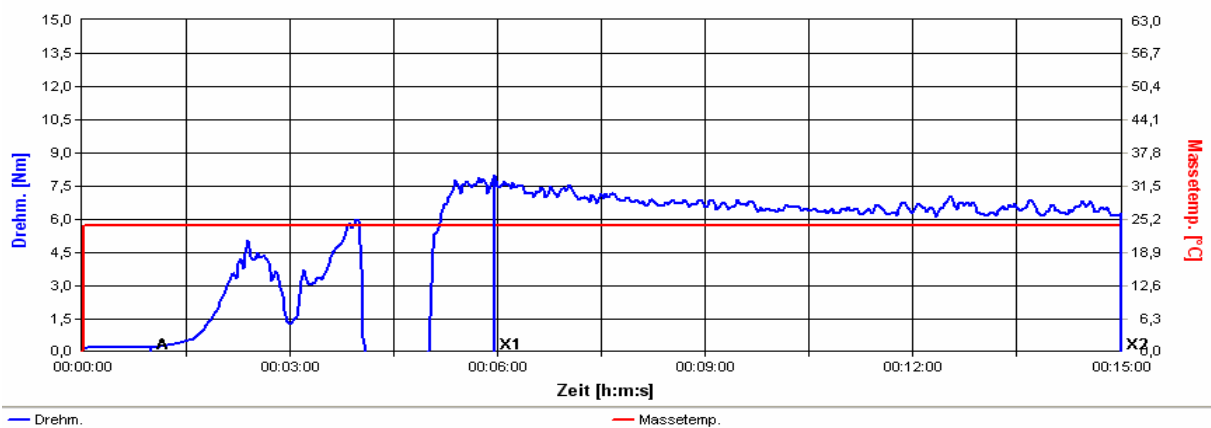
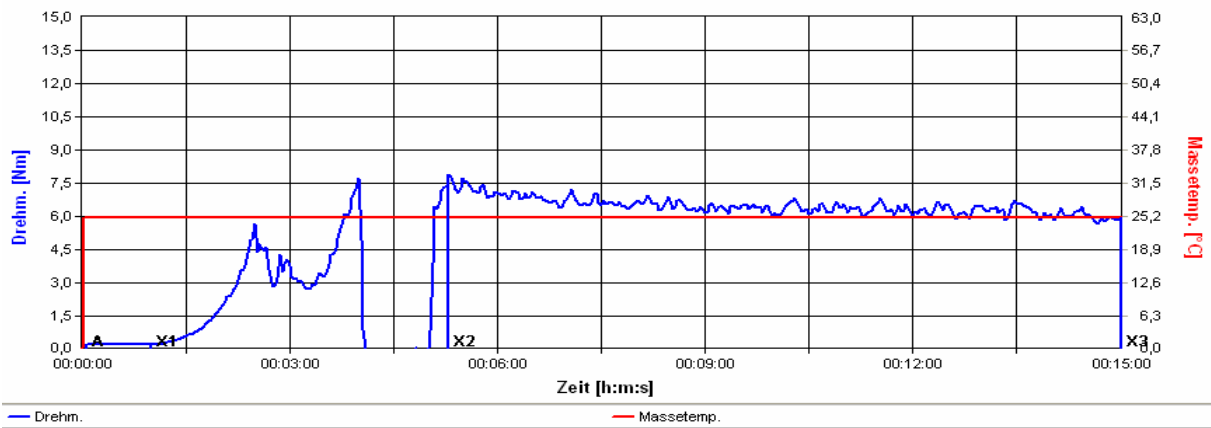
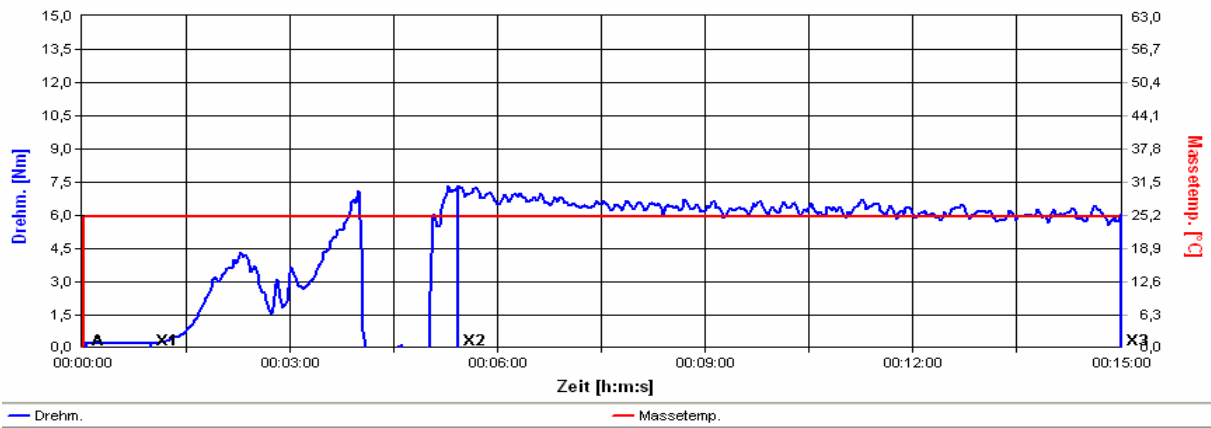
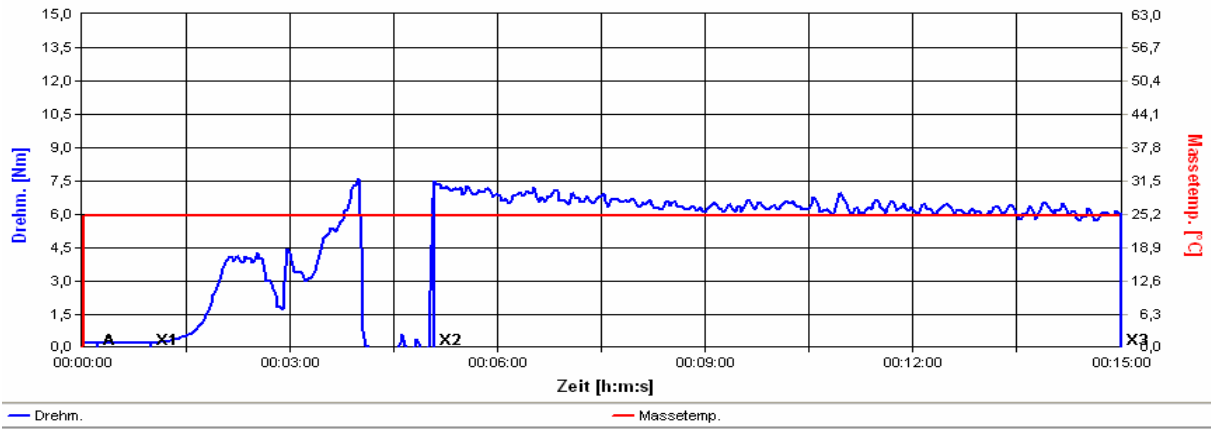
**Wieser, H. und Kieffer, R.** (2001) Correlations of the Amount of Gluten Protein Types to the Technological Properties of Wheat Flours Determined on a Micro-scale. Journal of Cereal Science. 34, (1), S. 19 - 27.

**Yin, Y. und Walker, C.E.** (1992) Pentosans from Gluten-Washing Wastewater: Isolation, Characterization, and Role in Baking. Cereal Chemistry. 69, (6), S. 592 - 596.

# 9 Anhang

## 9.1 Roggenmehl I

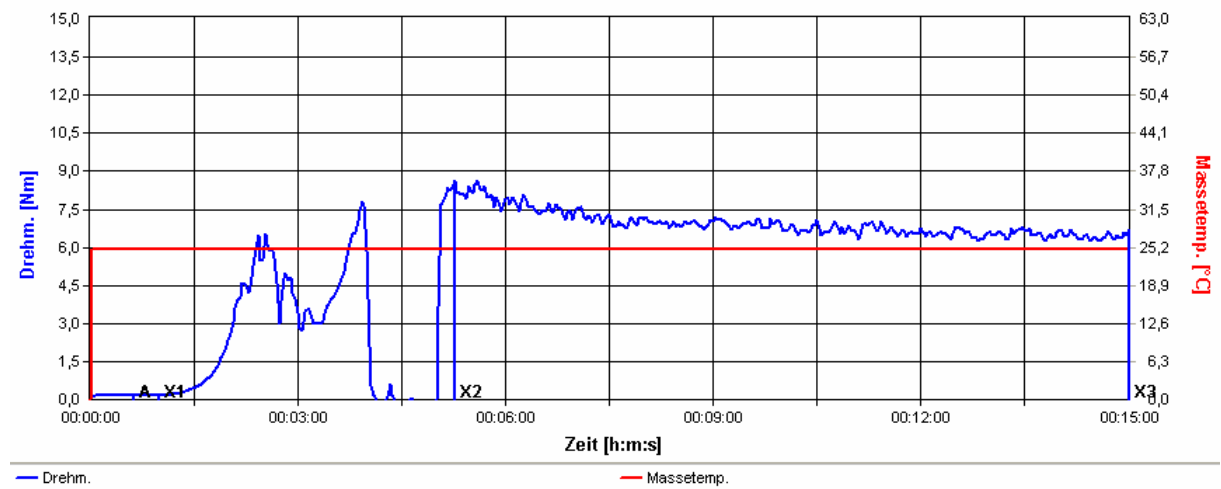




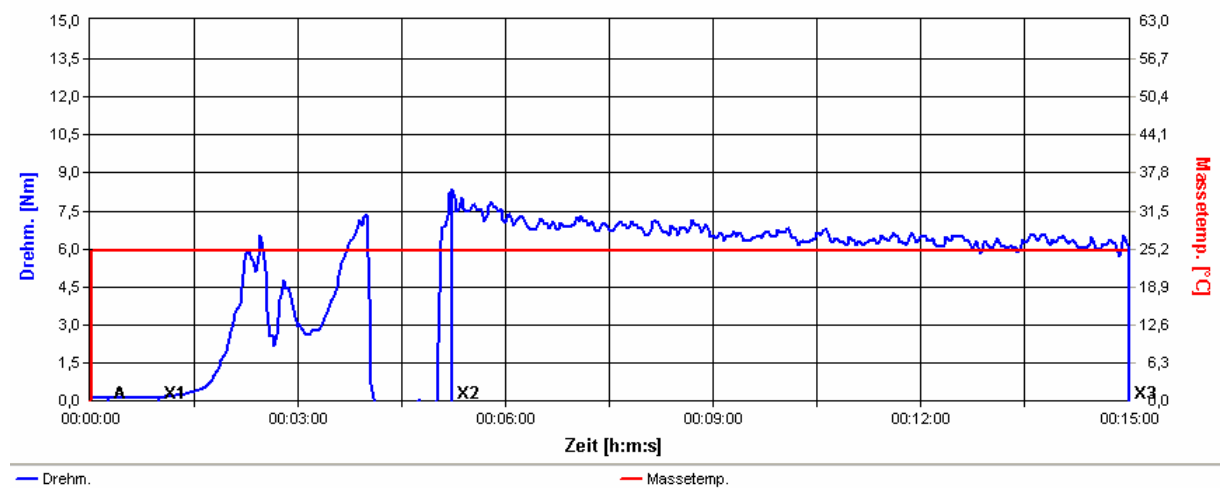
## 9.2 Einfluss der Temperaturvariante

### 9.2.1 Vorversuch

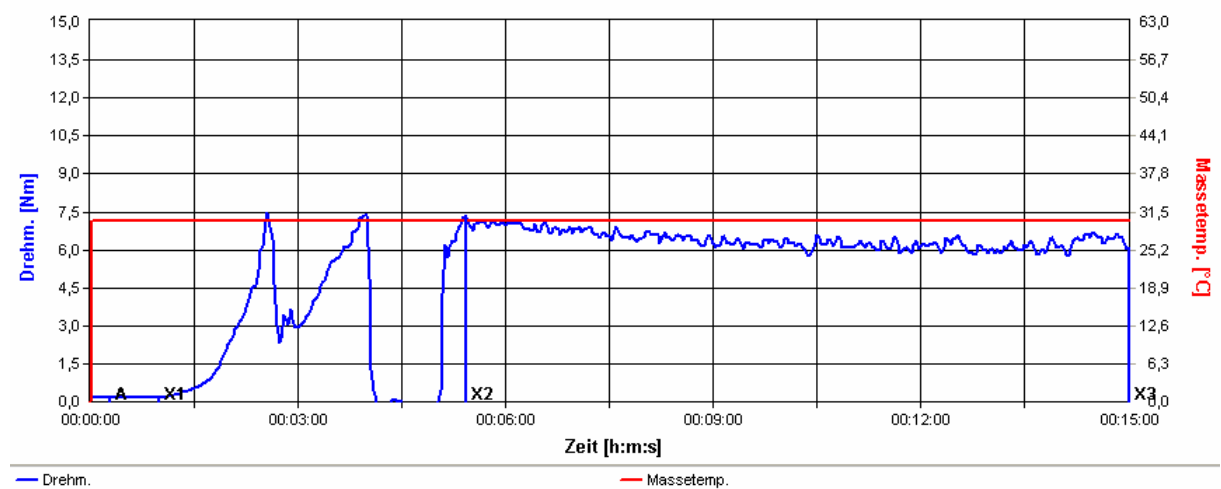
20 °C



25 °C

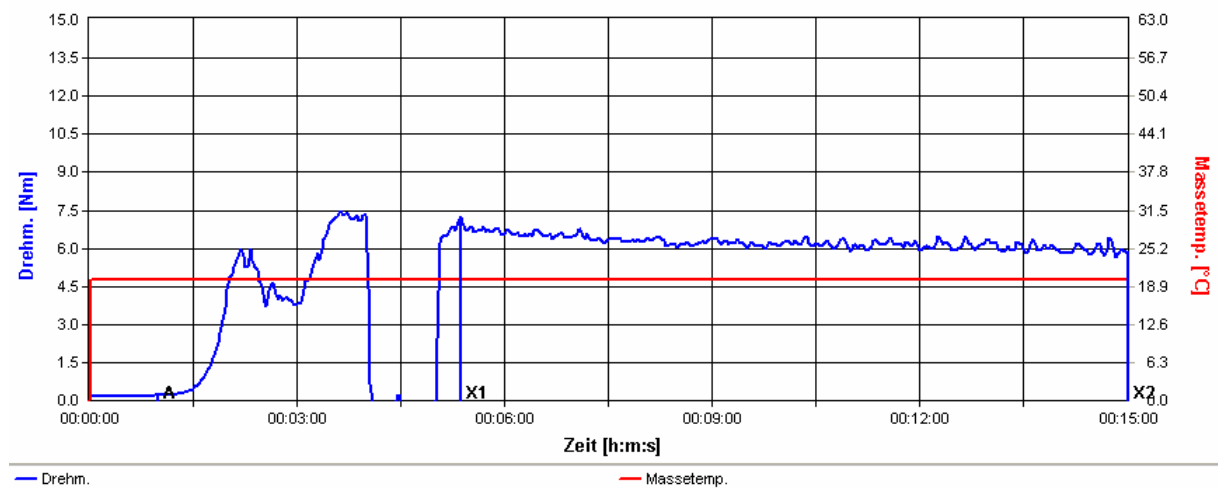
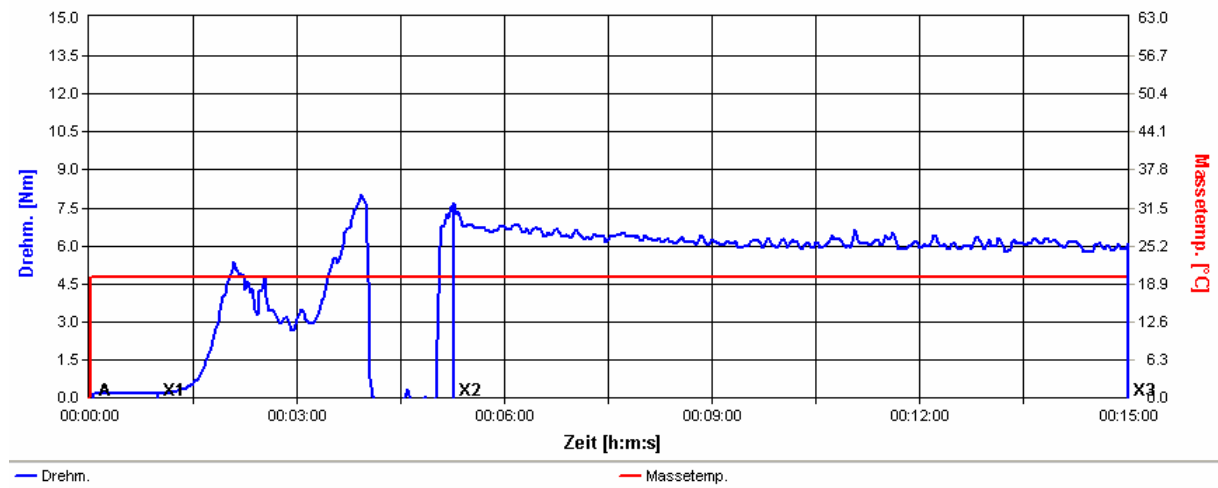
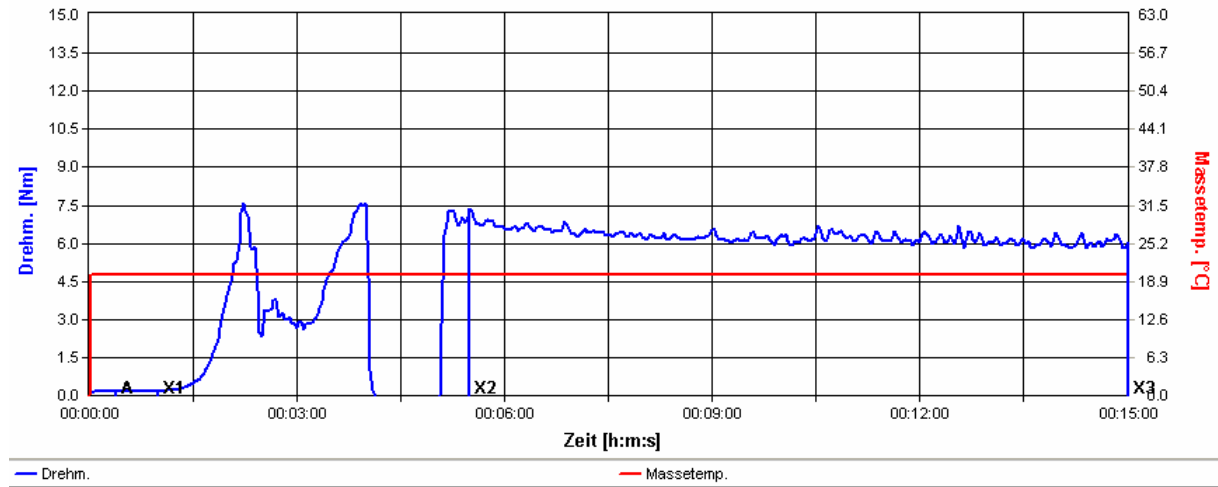


30 °C

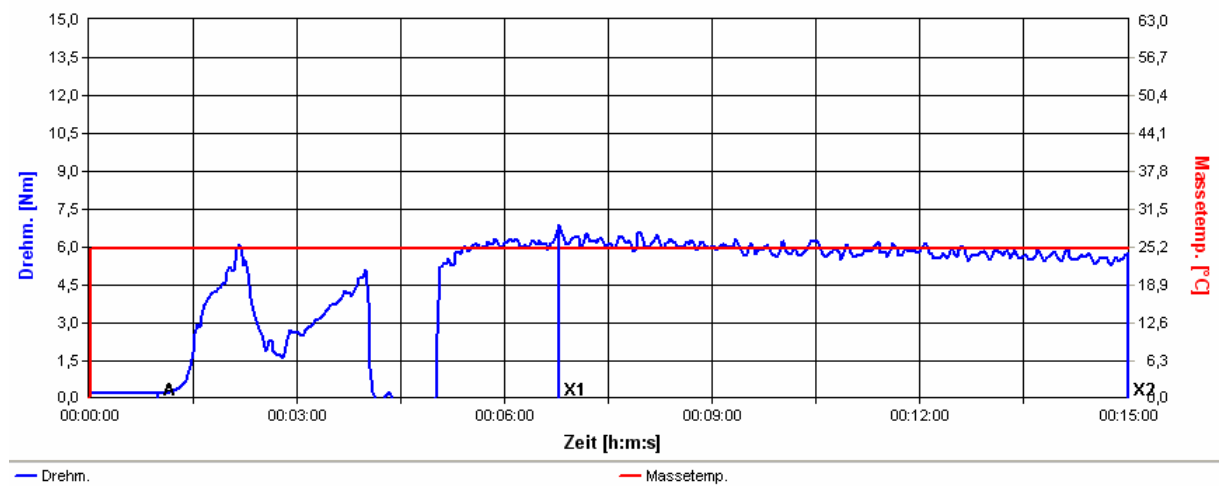
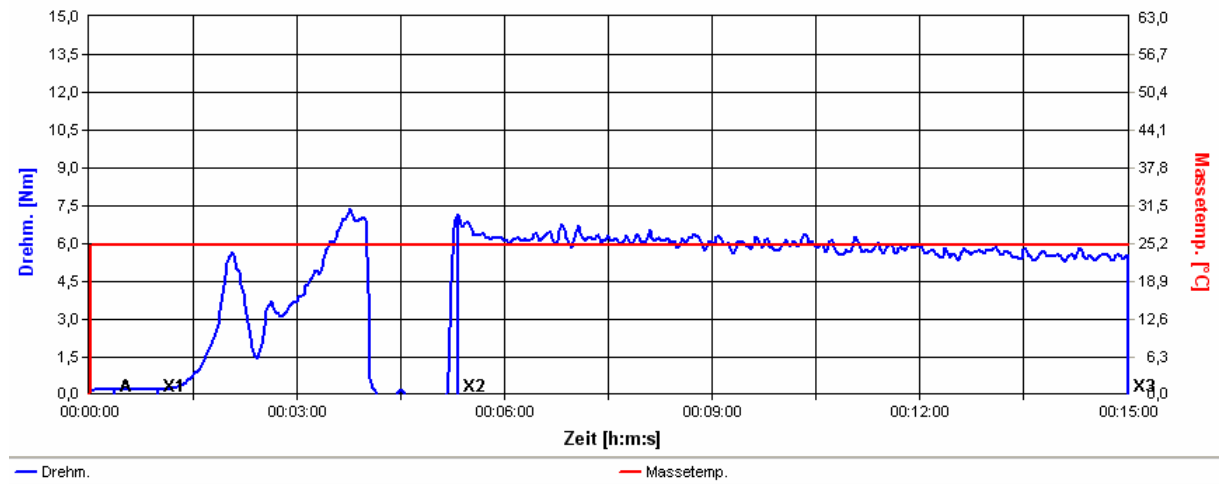
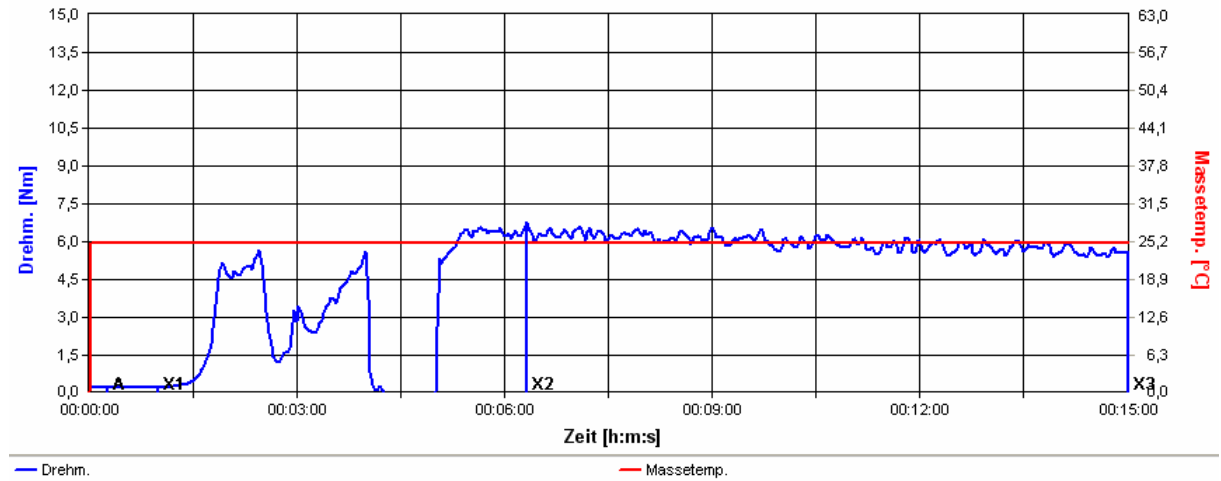


### 9.2.2 Untersuchungen

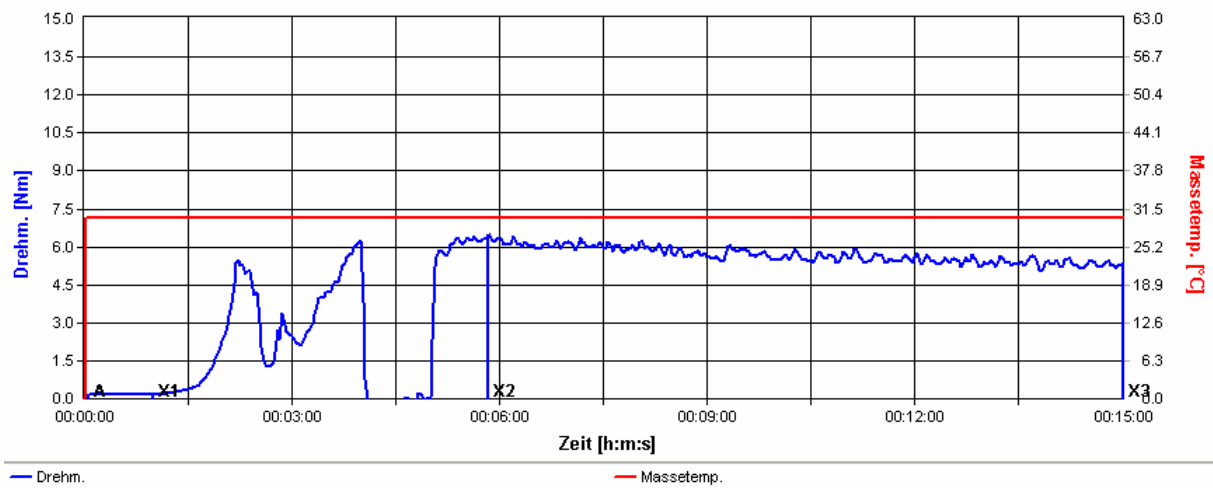
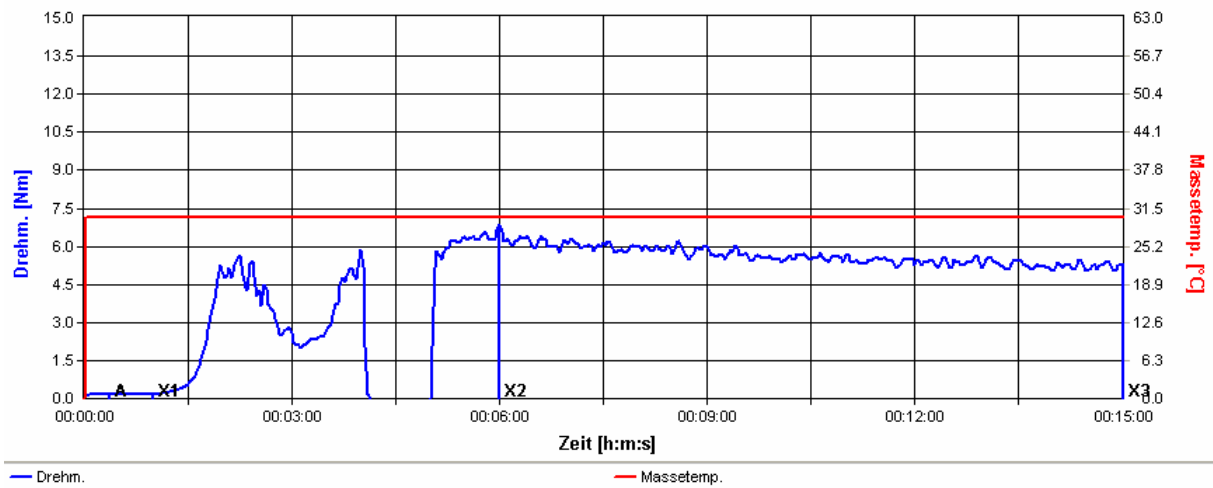
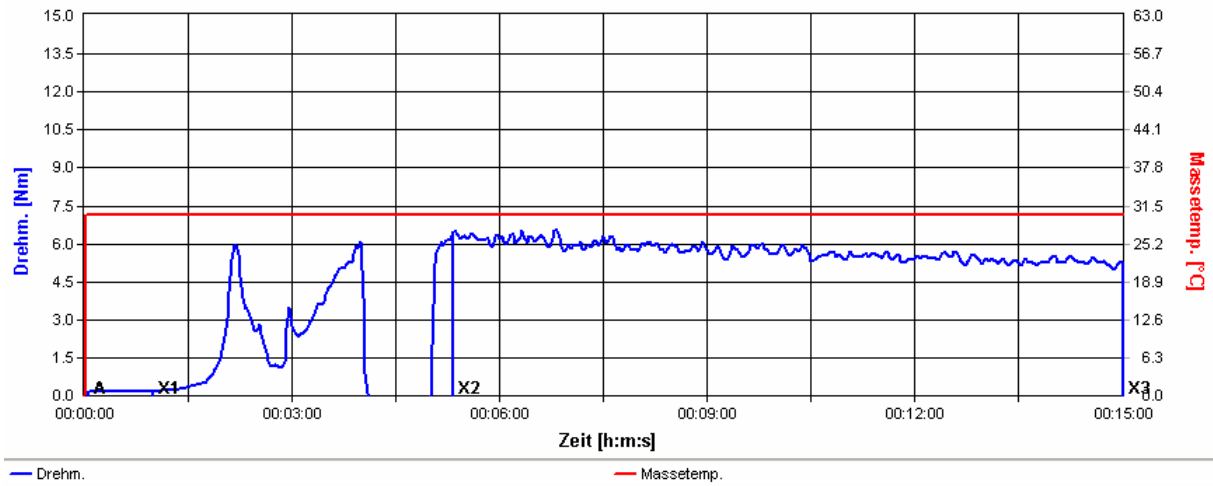
20 °C



25 °C



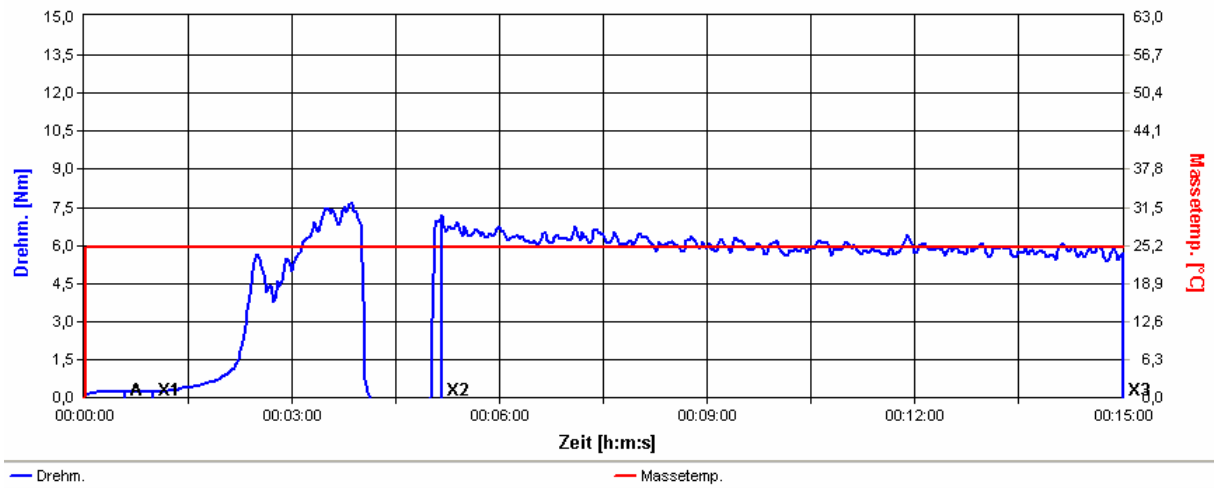
30 °C



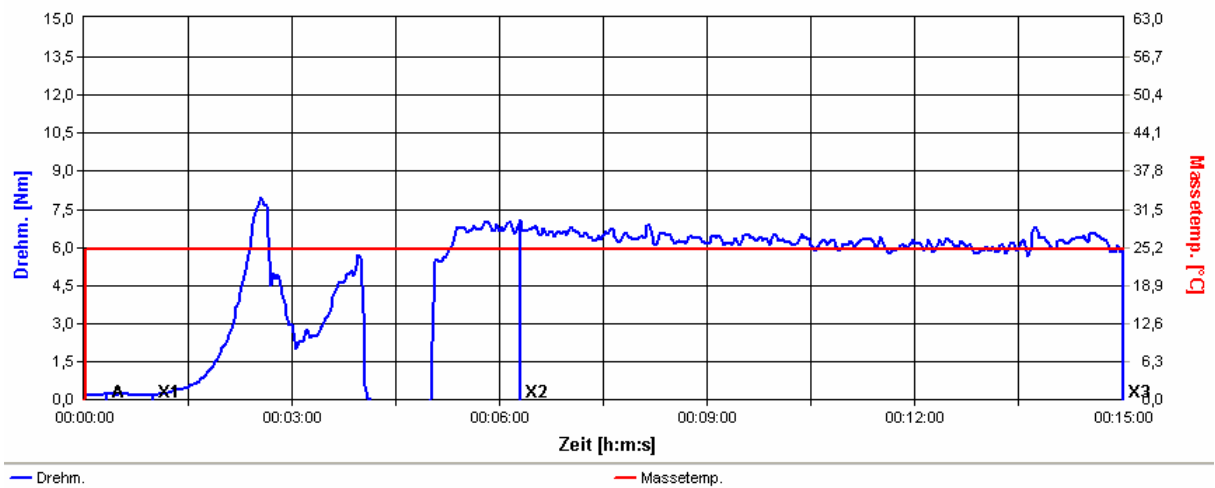
## 9.3 Einfluss der Drehzahlvariante

### 9.3.1 Vorversuch

43  $\text{m}^{-1}$

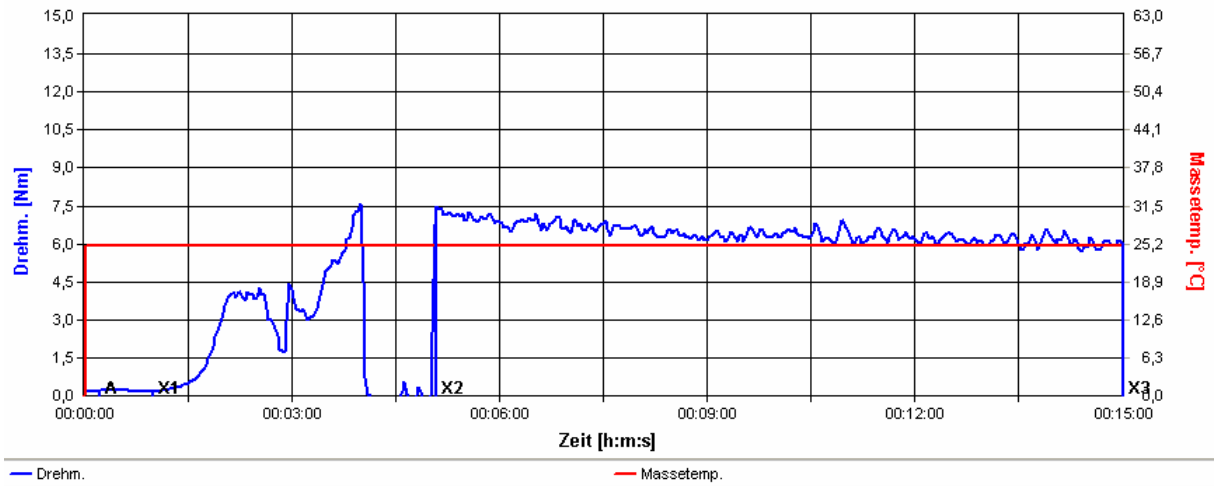


53  $\text{m}^{-1}$

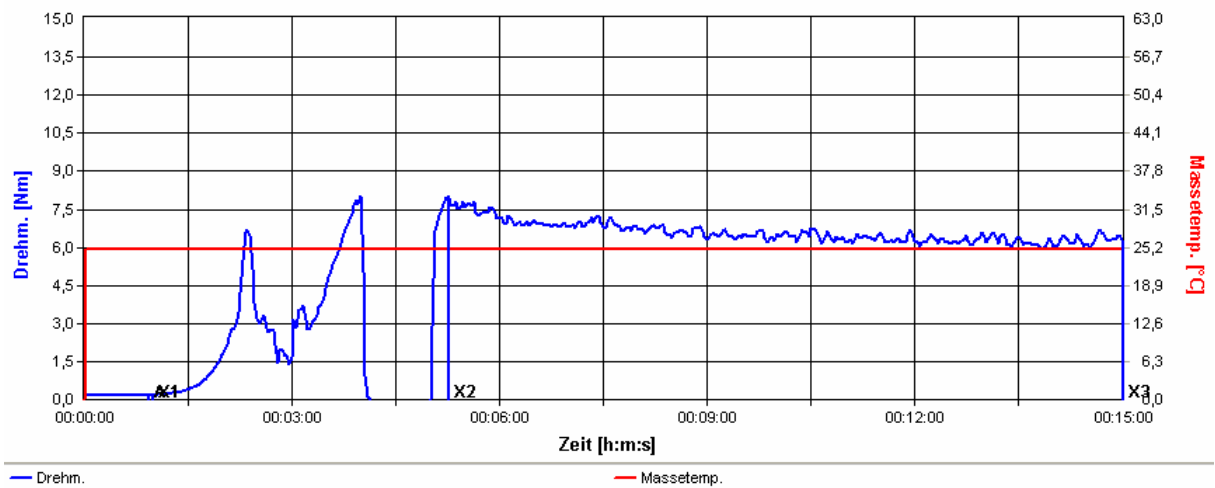




63 m<sup>-1</sup>

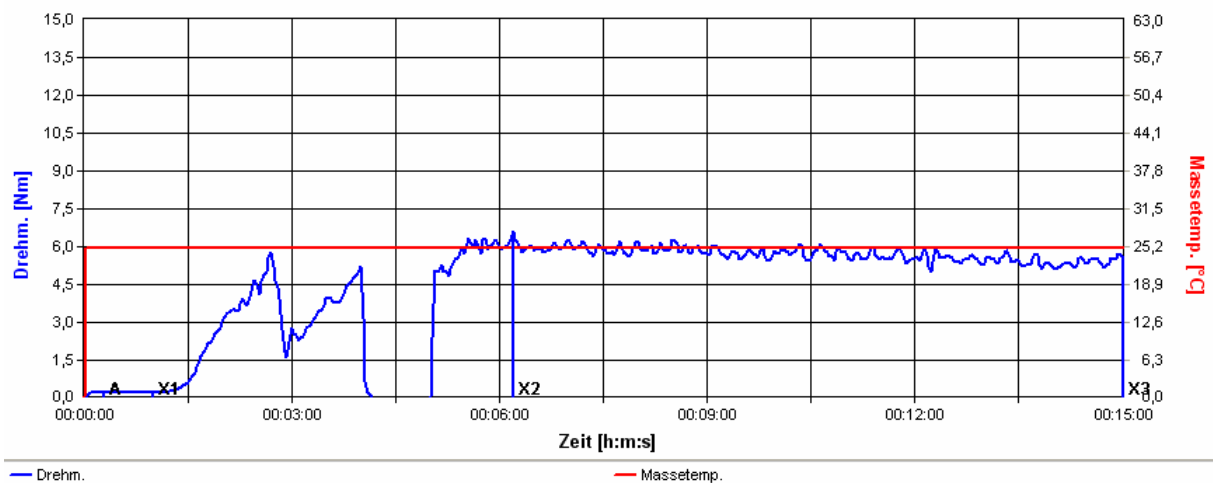
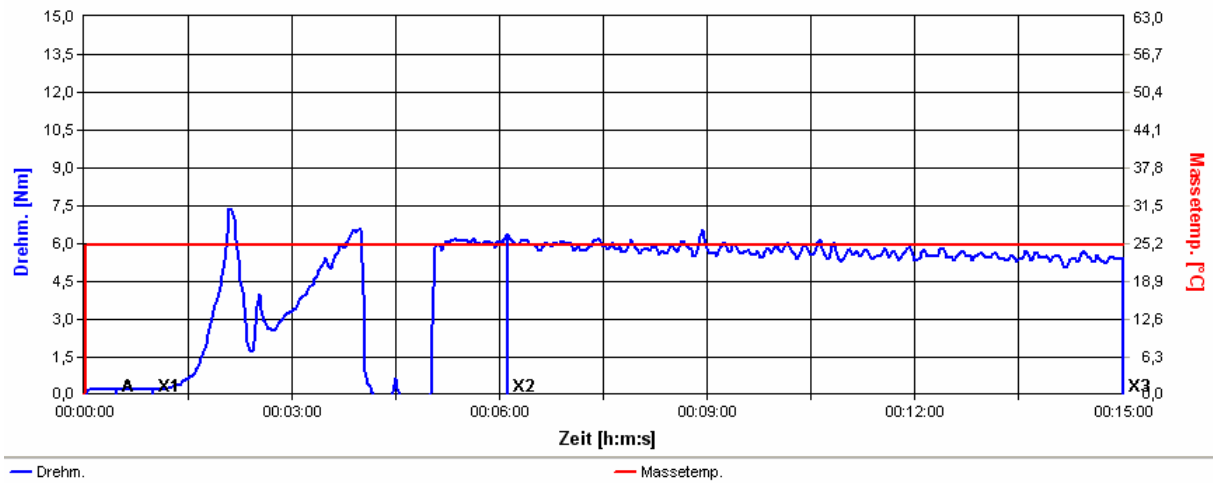
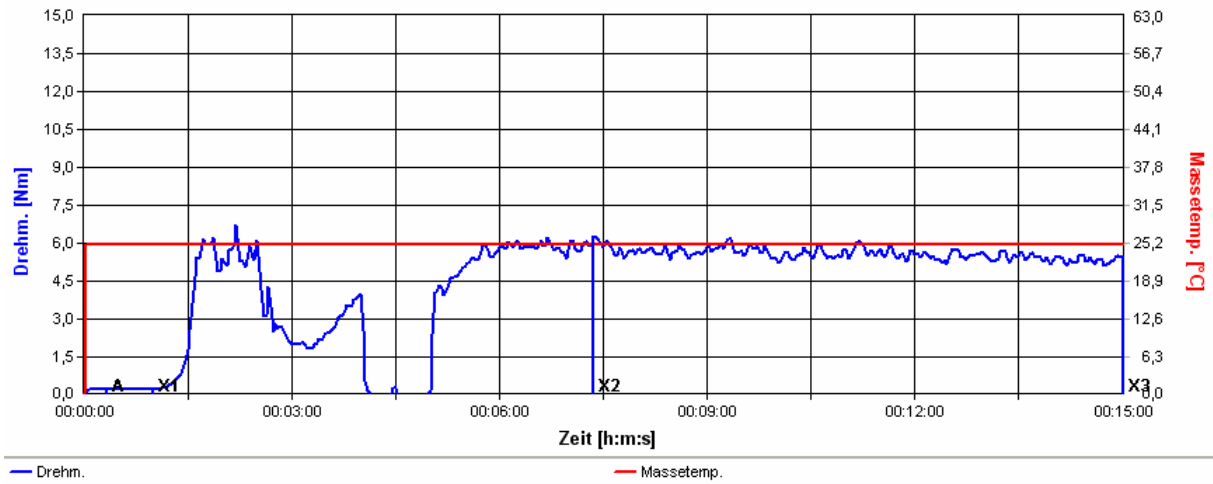


73 m<sup>-1</sup>

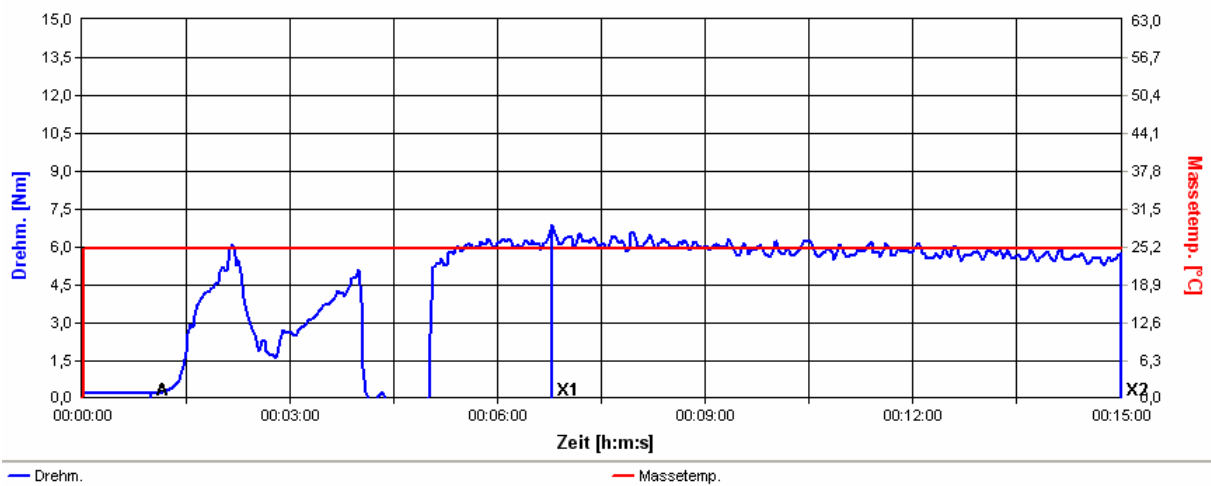
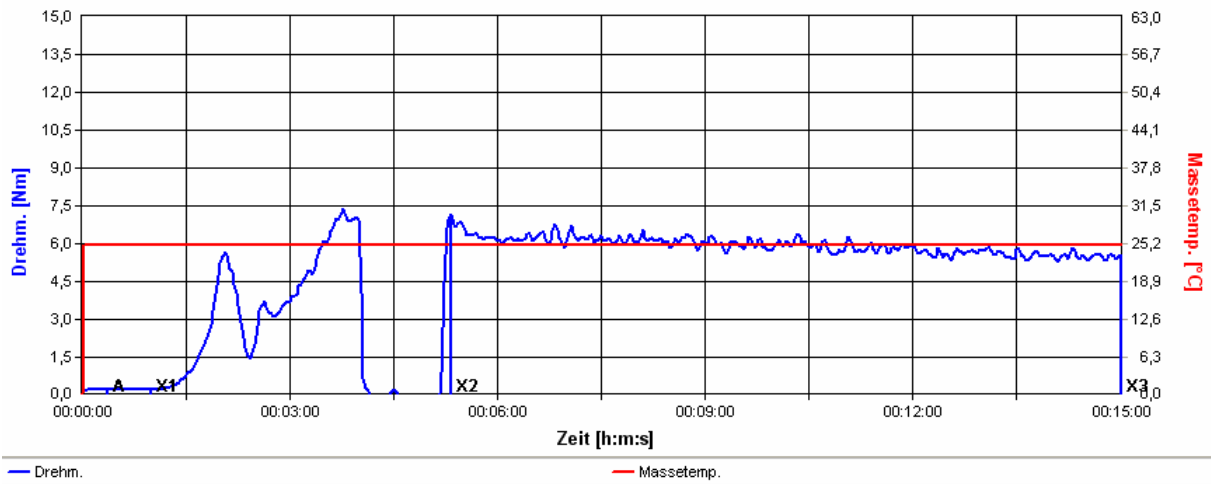
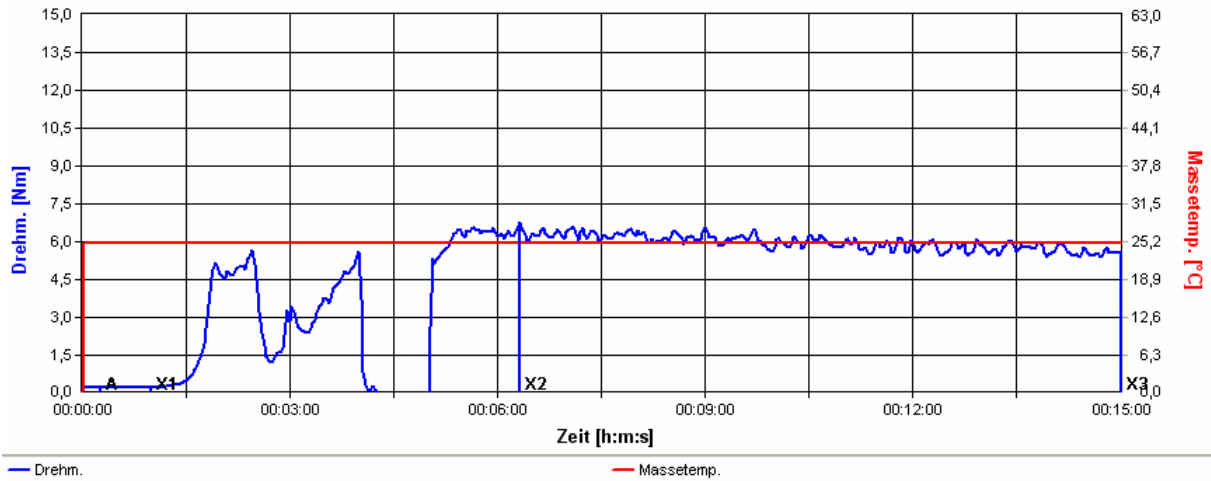


### 9.3.2 Untersuchungen

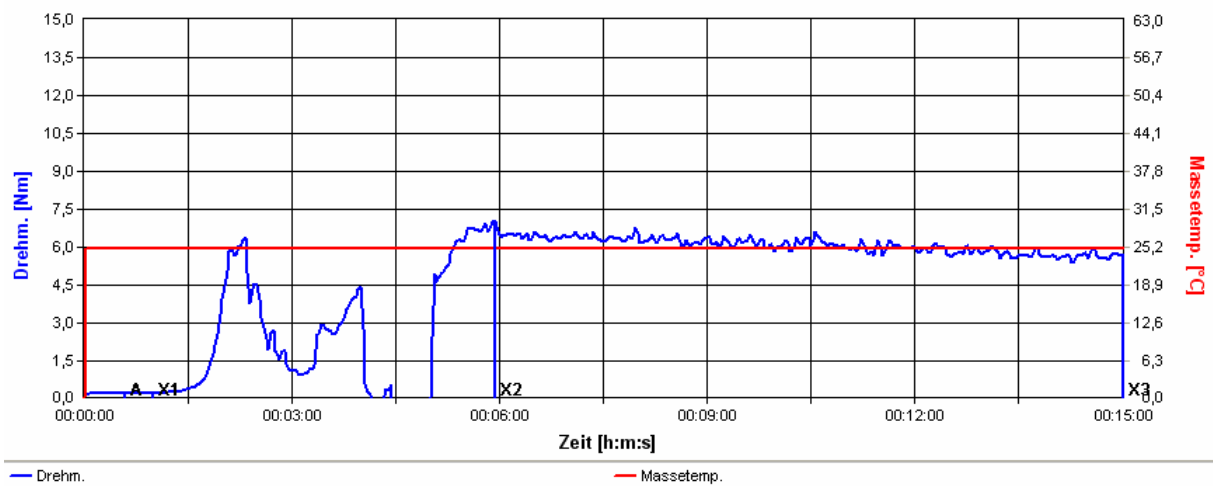
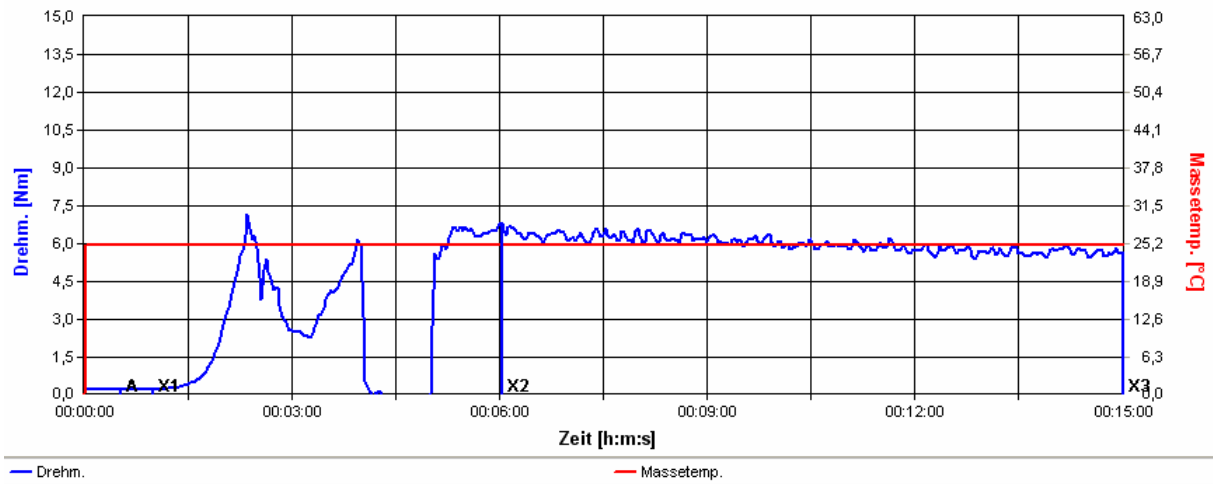
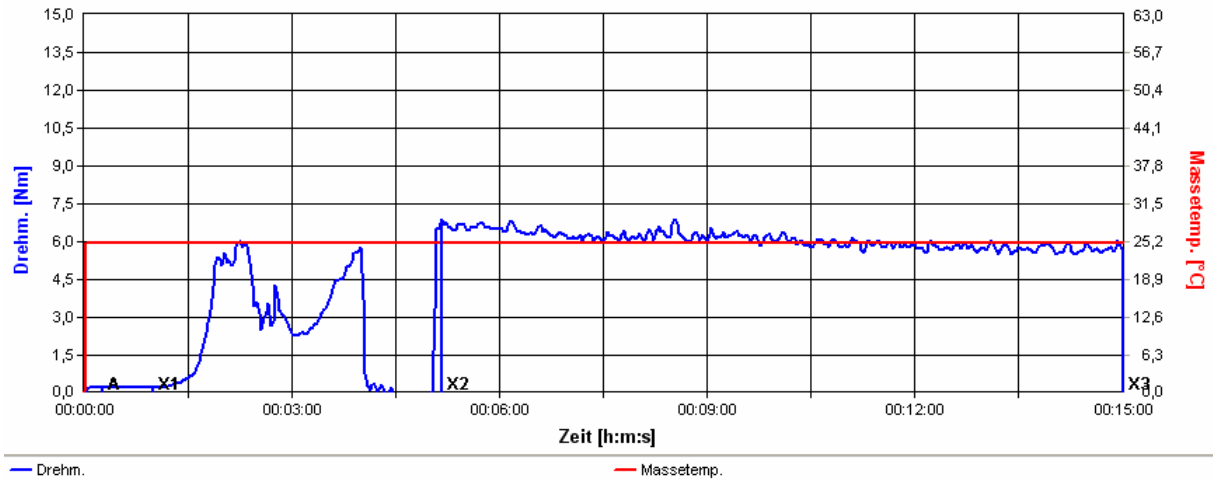
53 m<sup>-1</sup>



63 m<sup>-1</sup>



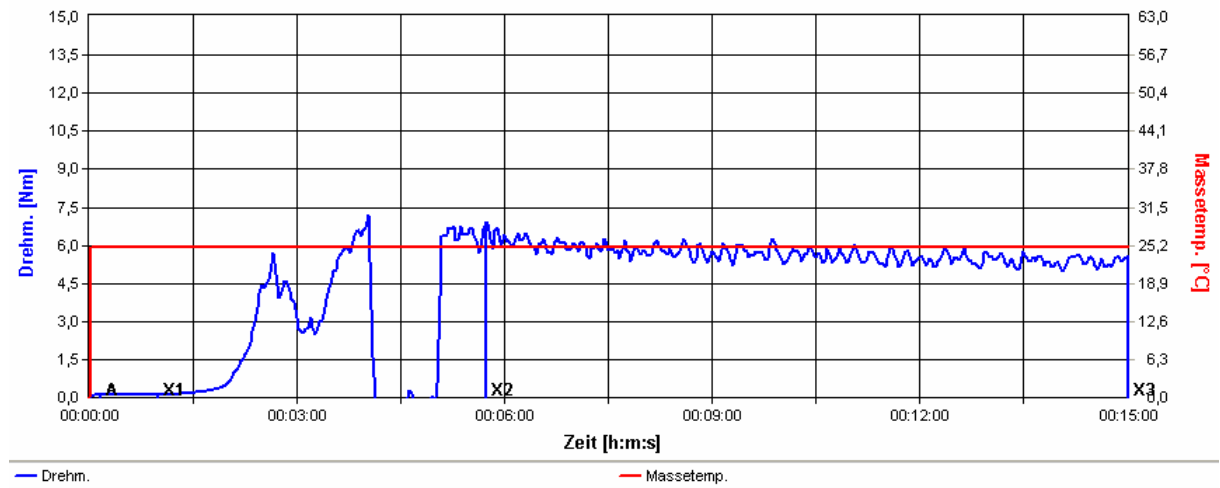
73 m<sup>-1</sup>



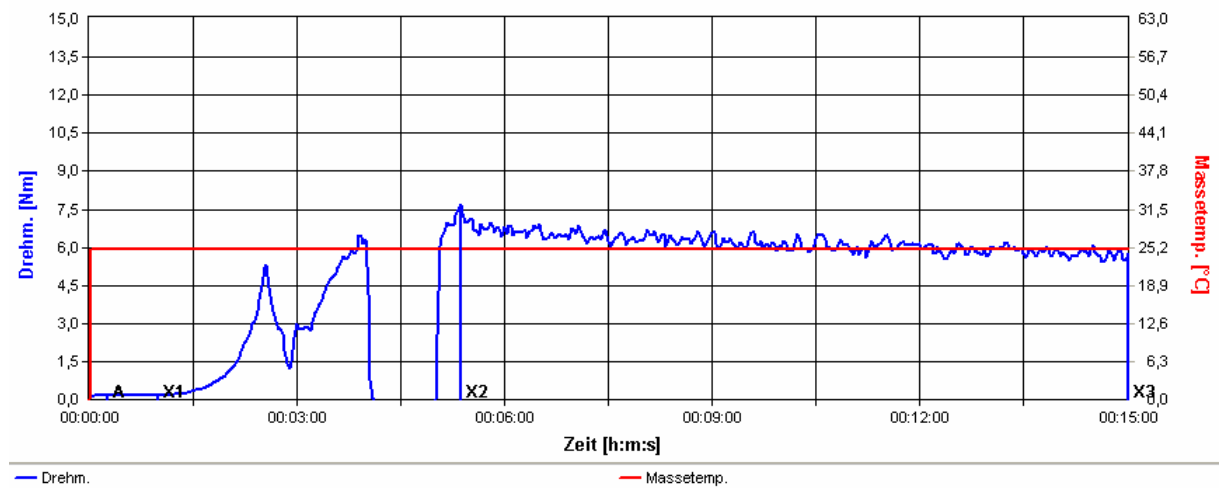
## 9.4 Einfluss der Einwaagenvariante

### 9.4.1 Vorversuch I

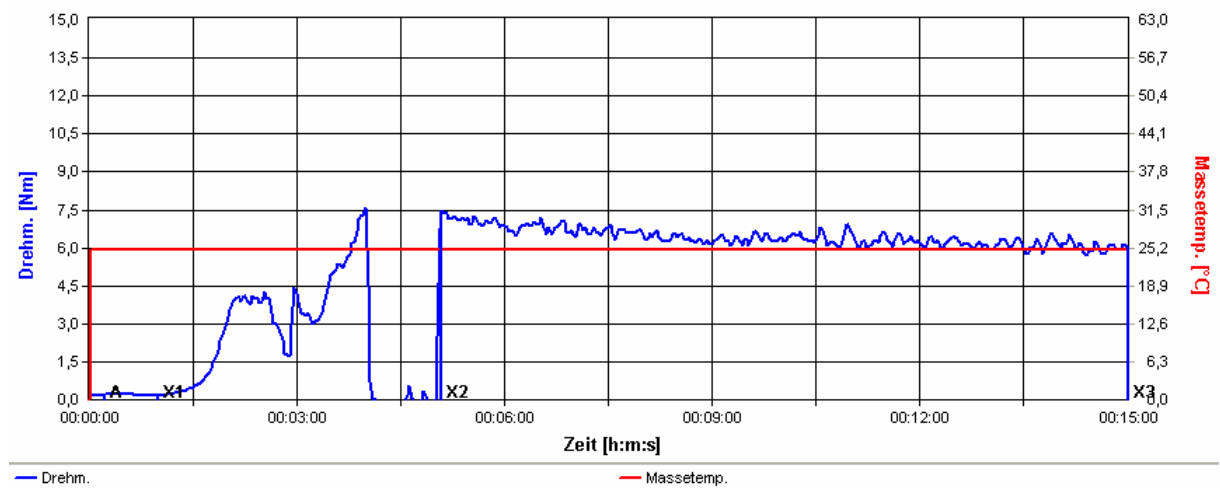
#### 500 g



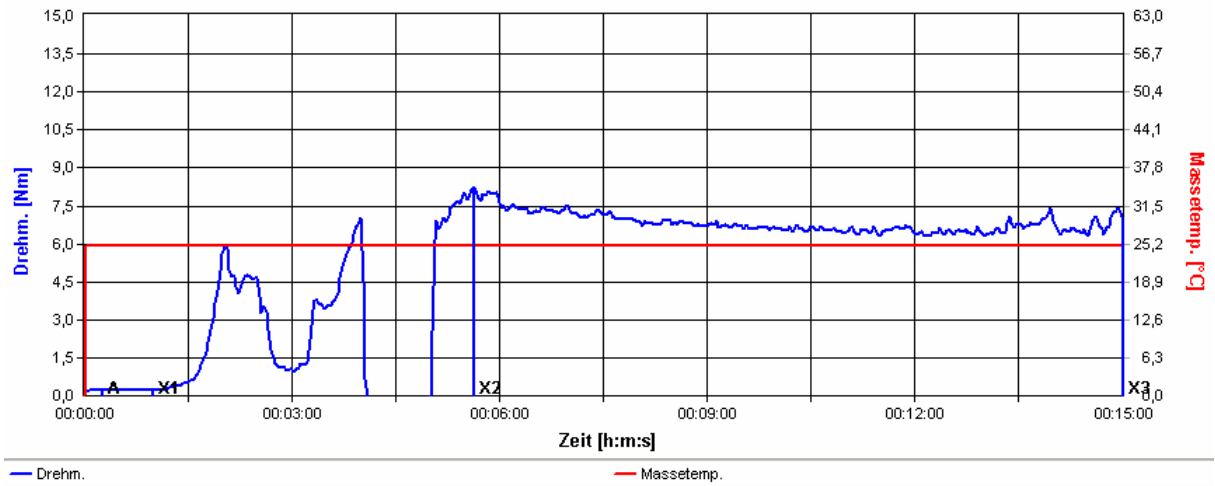
#### 550 g



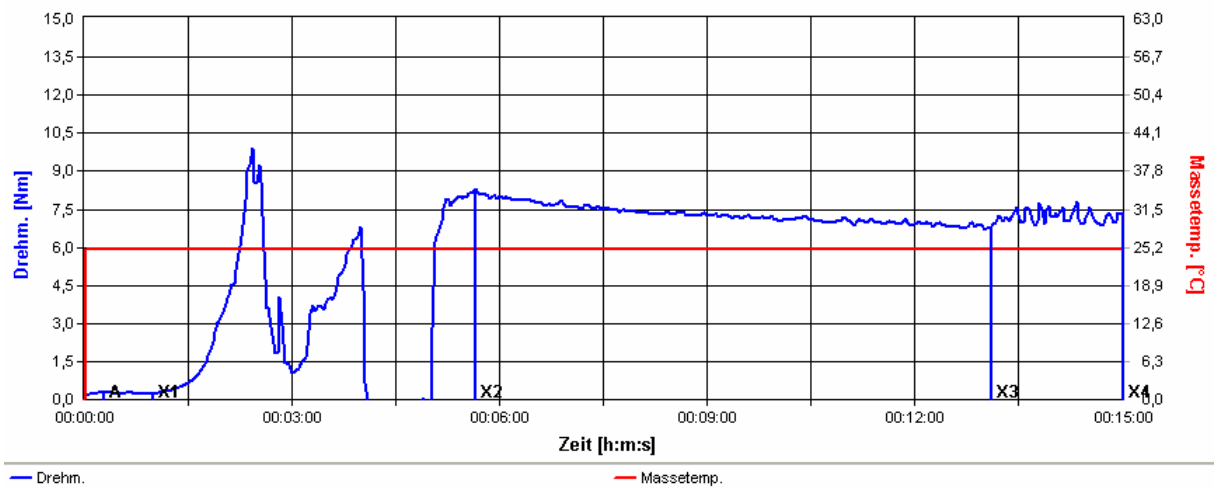
#### 600 g



650 g

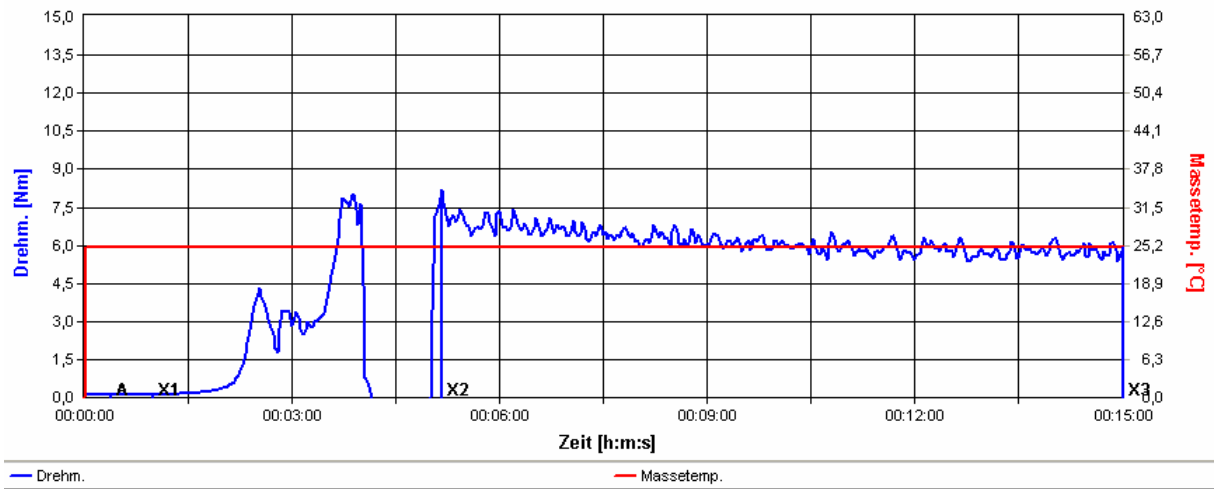


700 g

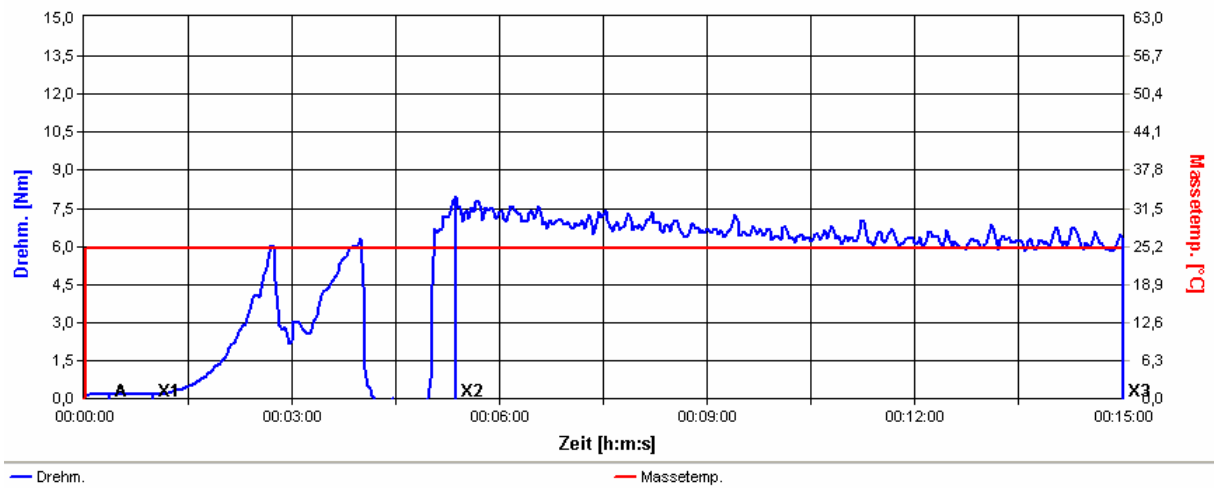


## 9.4.2 Vorversuch II

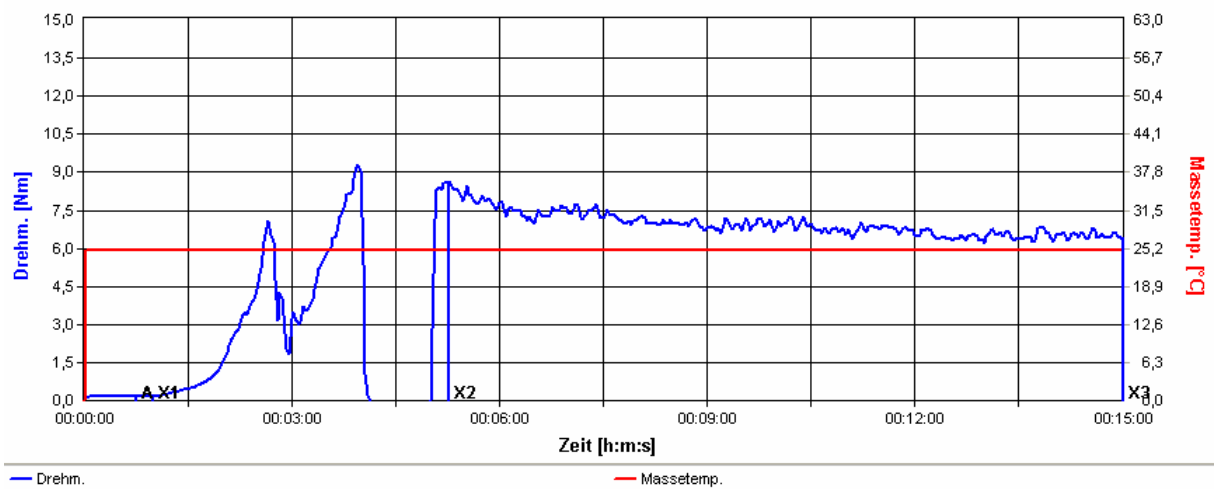
500 g



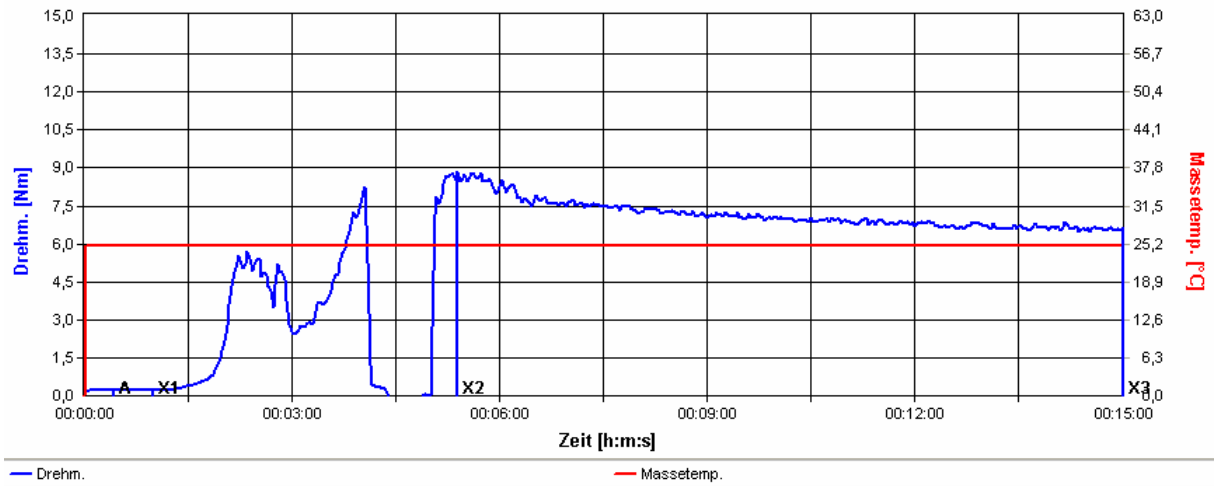
550 g



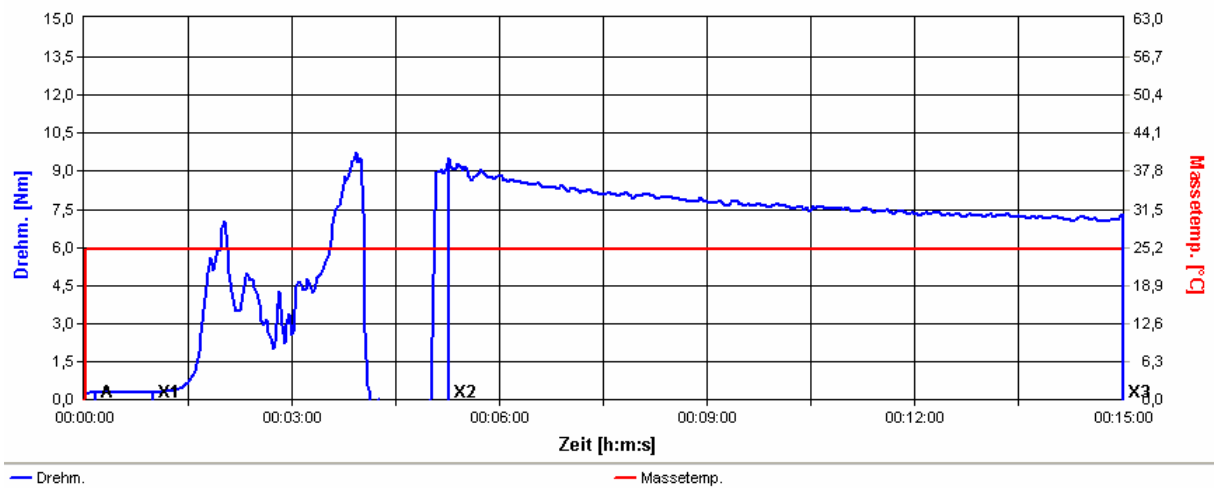
600 g



650 g



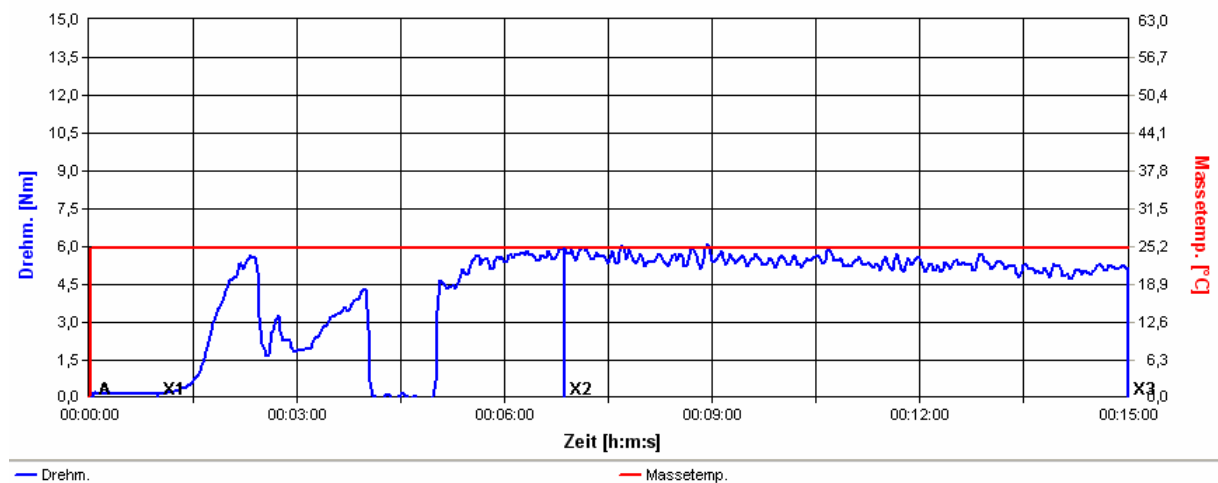
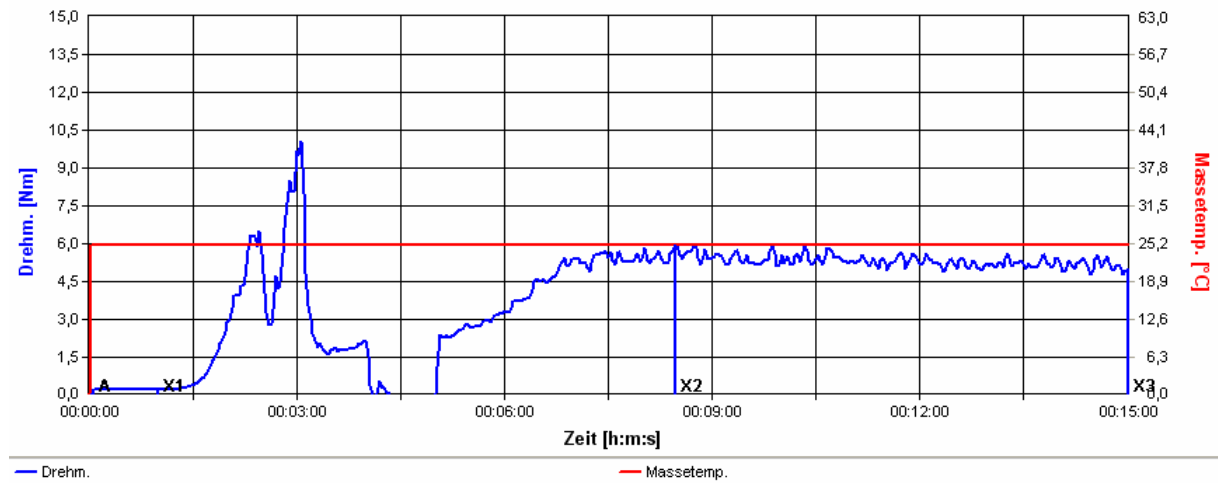
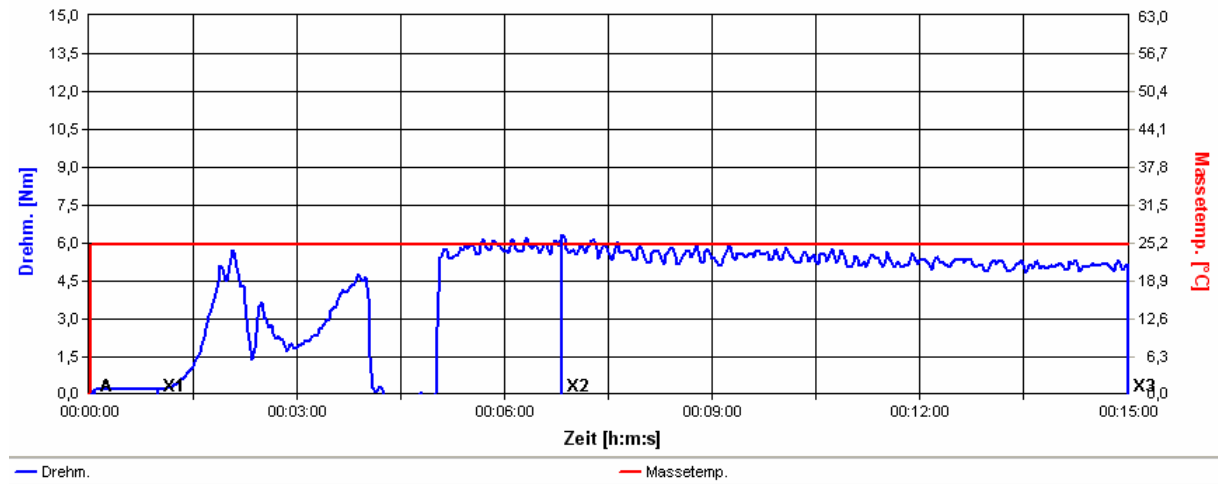
700 g



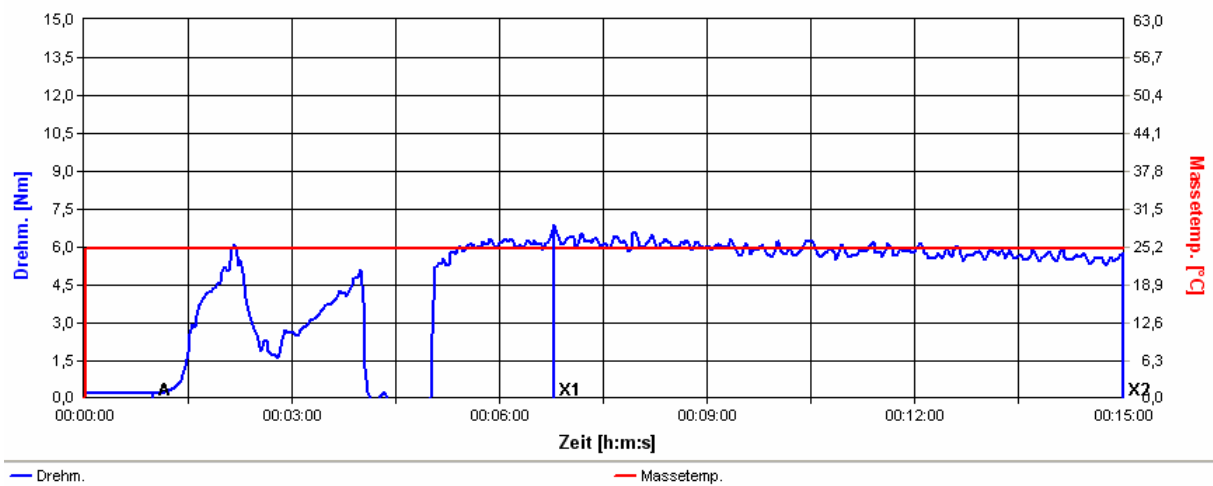
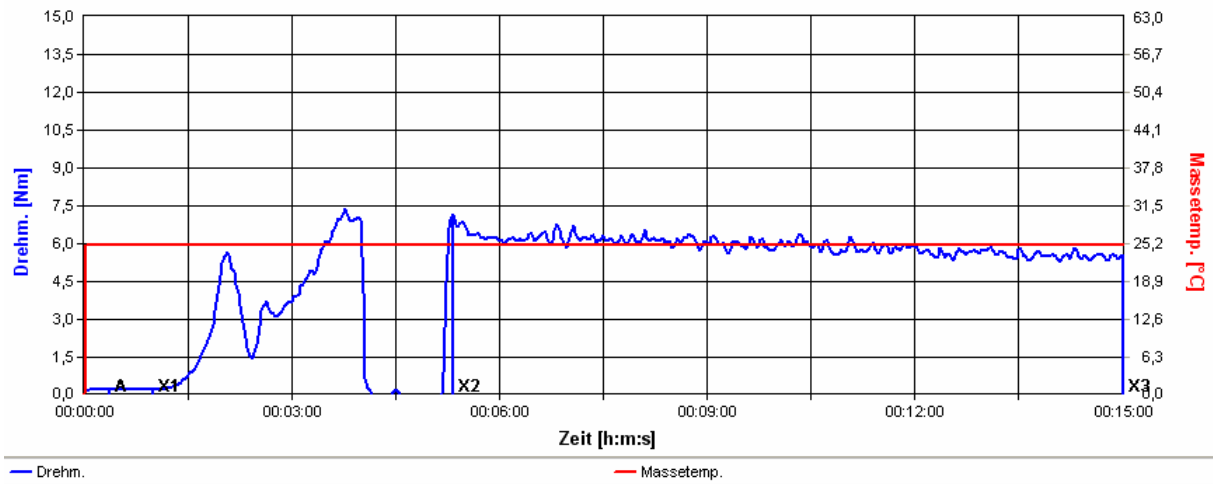
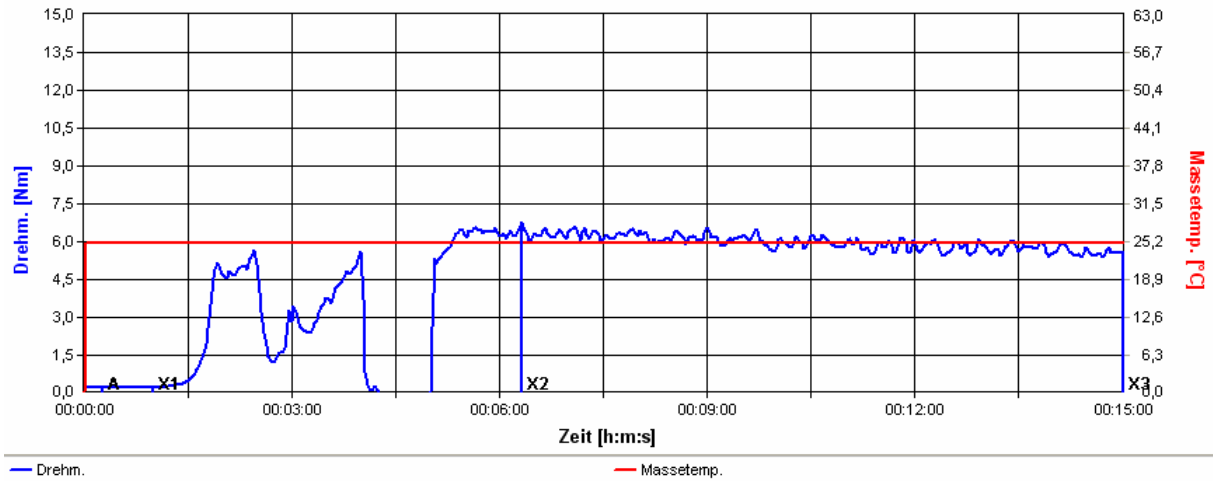


### 9.4.3 Untersuchungen

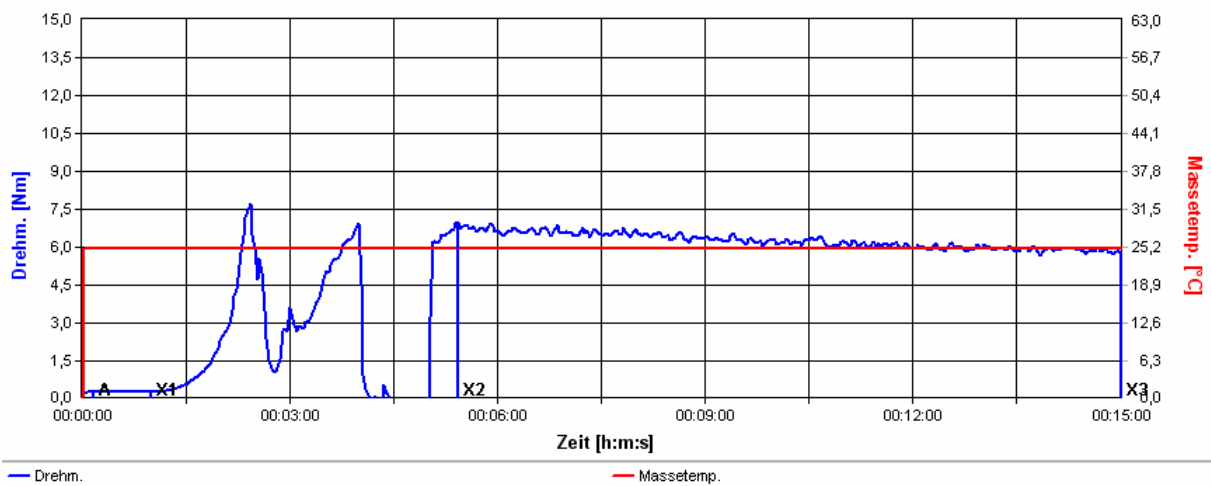
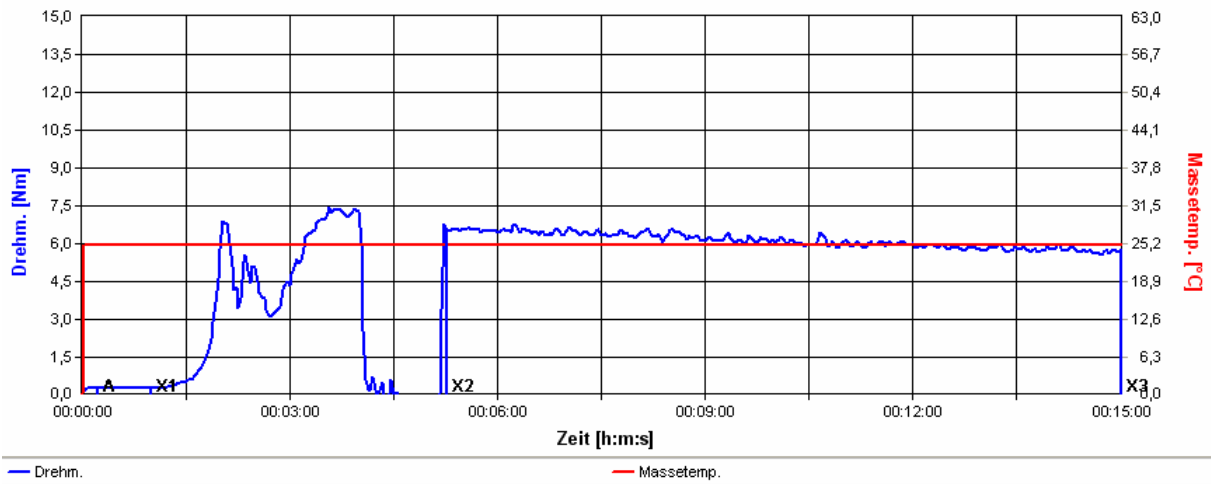
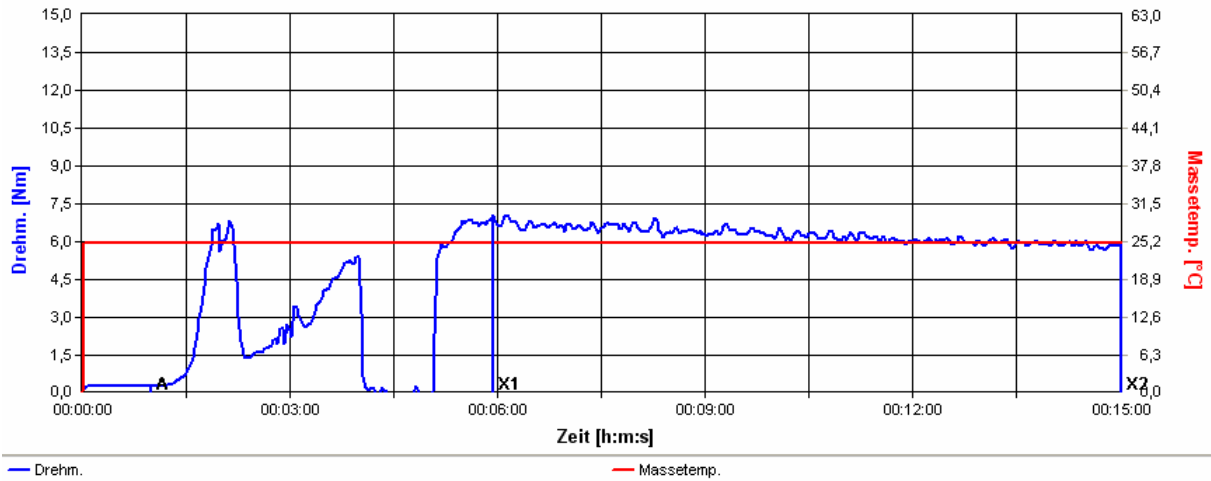
550 g



600 g



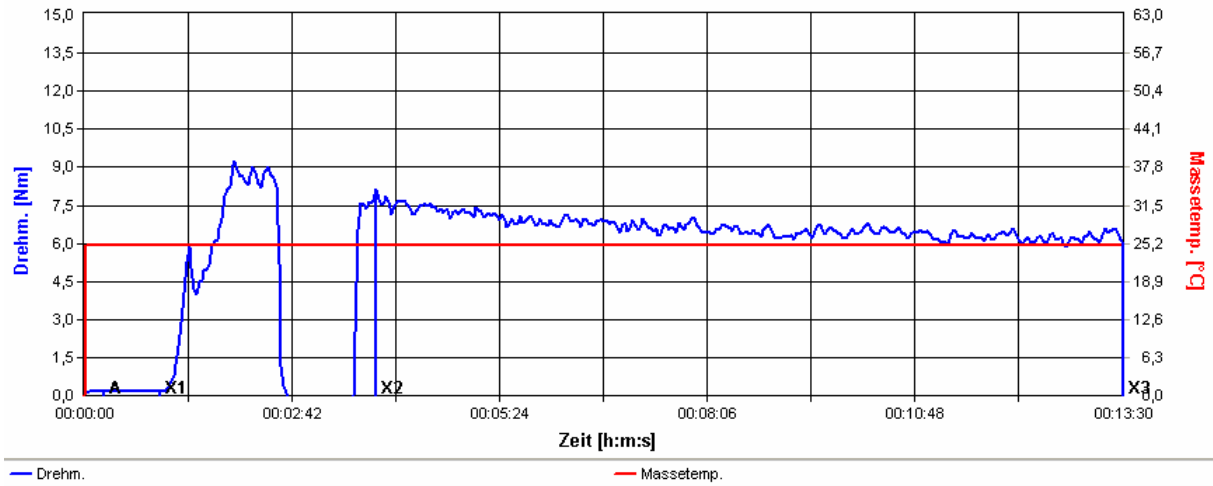
650 g



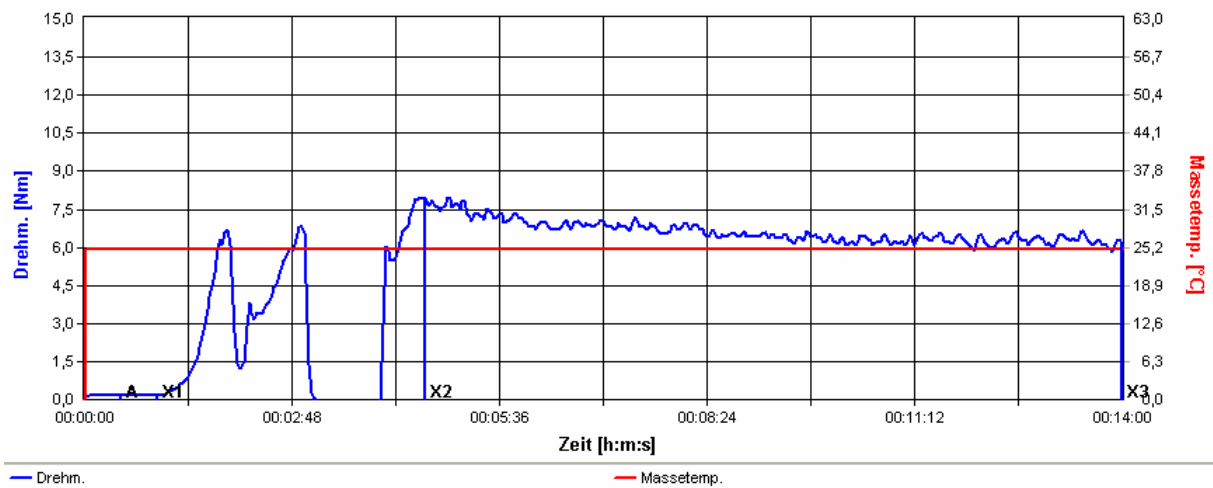
## 9.5 Einfluss der Wasserzugabegeschwindigkeitsvariante

### 9.5.1 Vorversuch

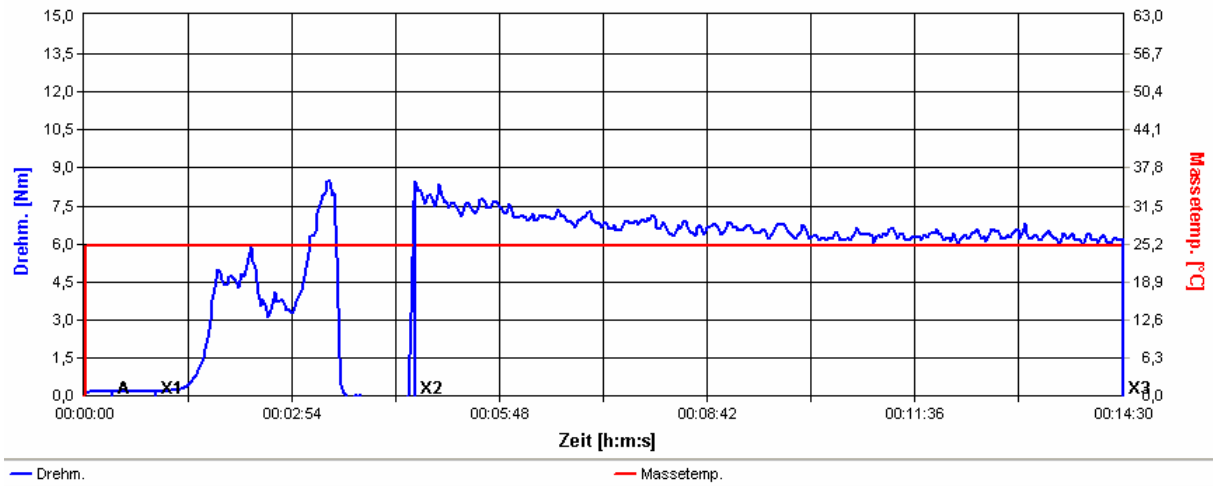
#### 0,5 min



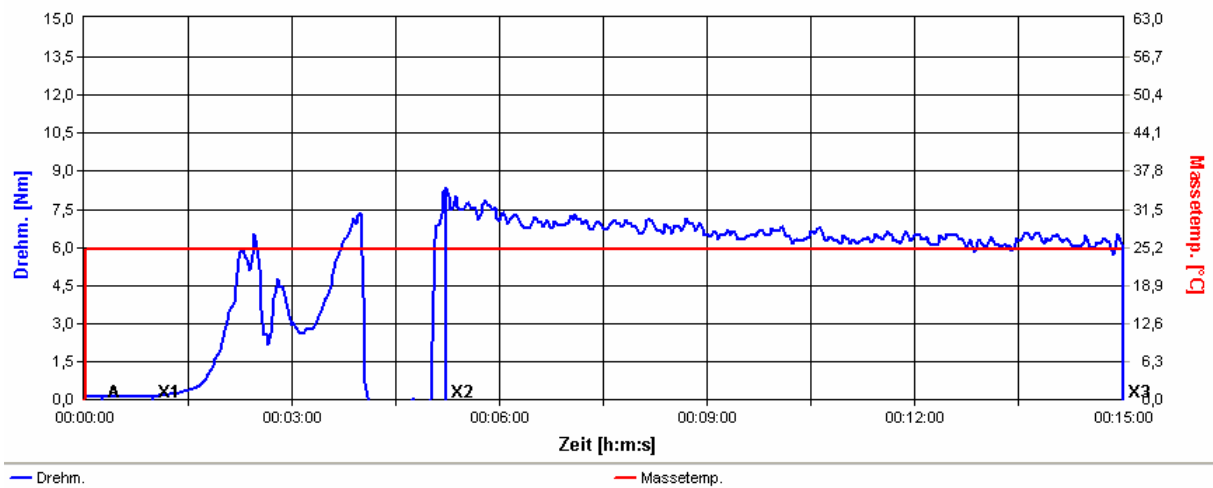
#### 1,0 min



1,5 min

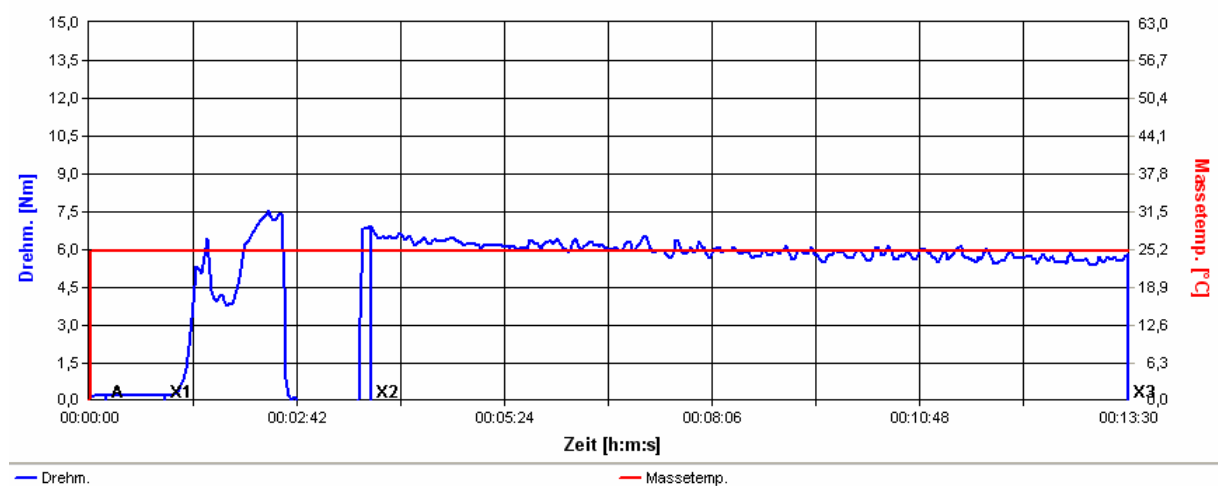
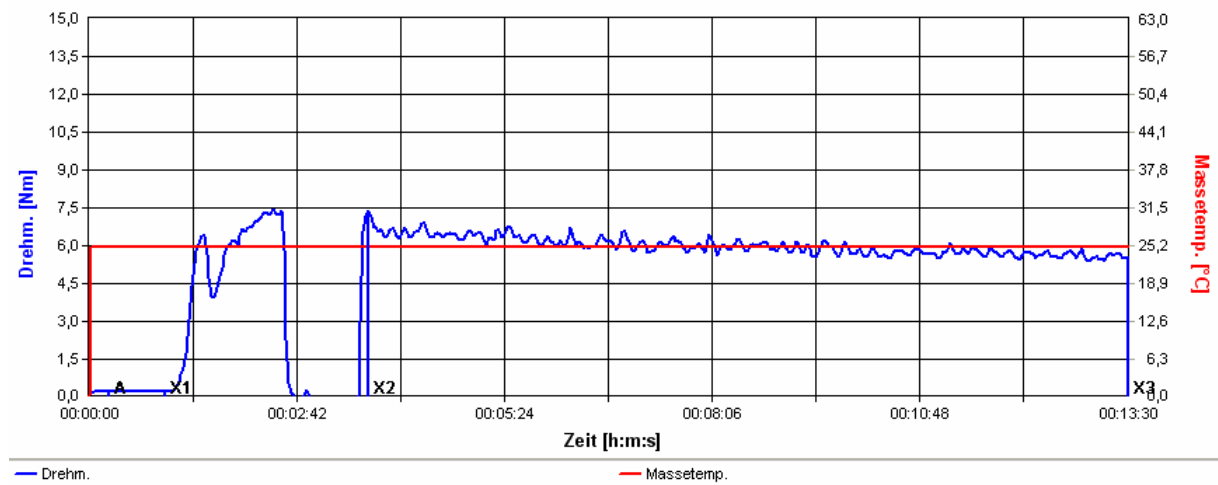
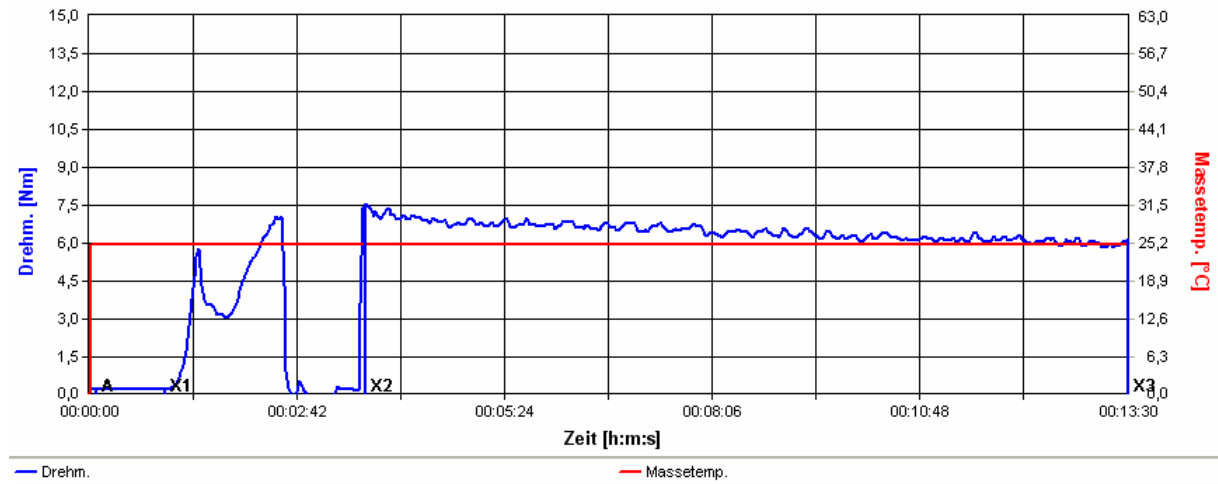


2,0 min

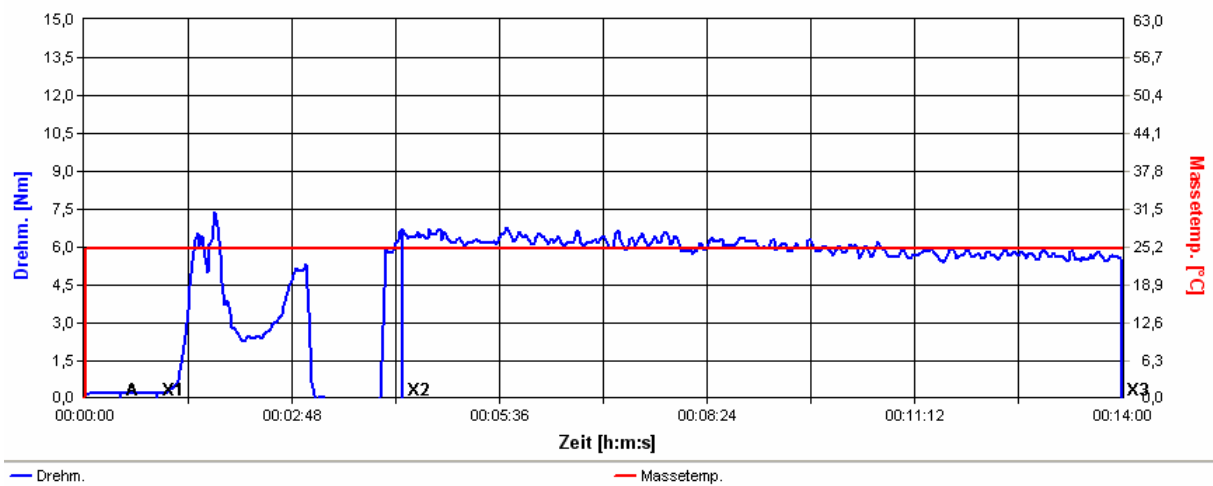
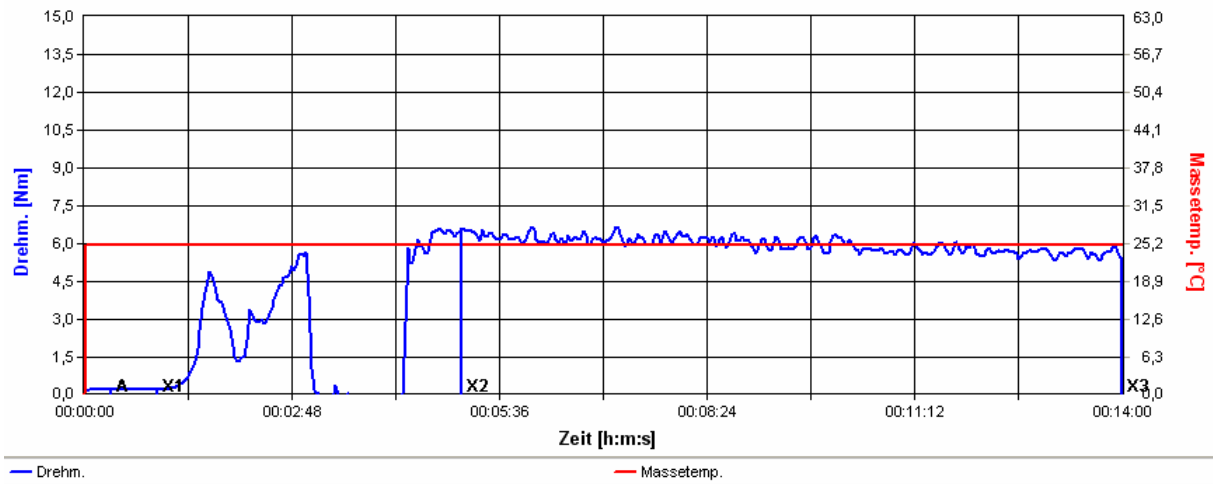
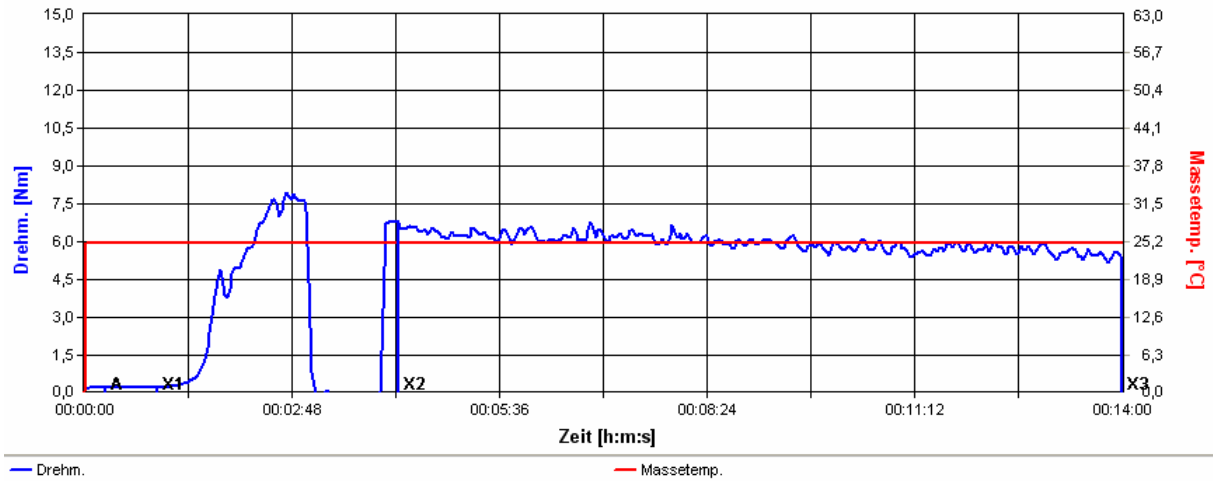


### 9.5.2 Untersuchungen

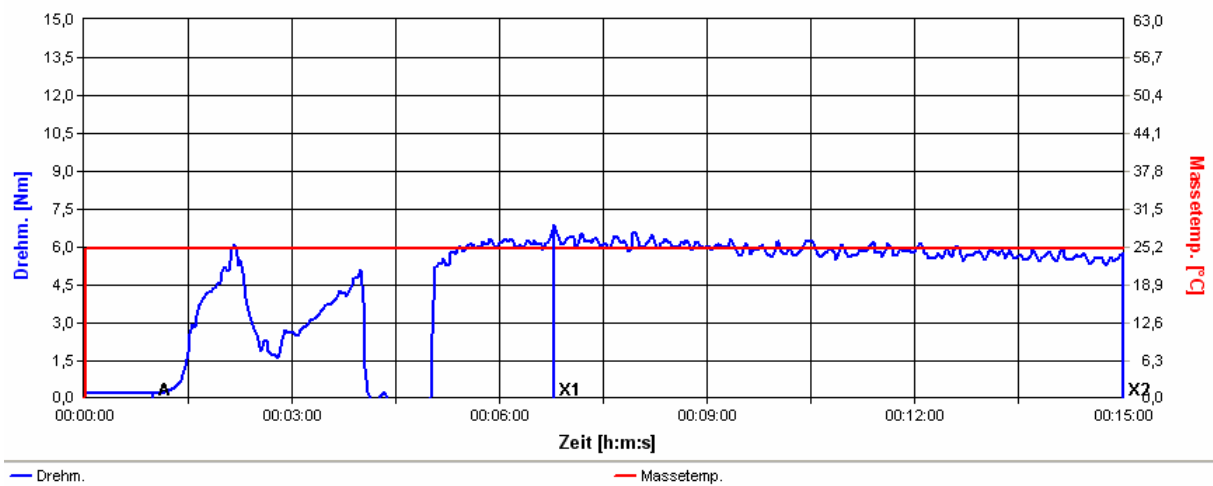
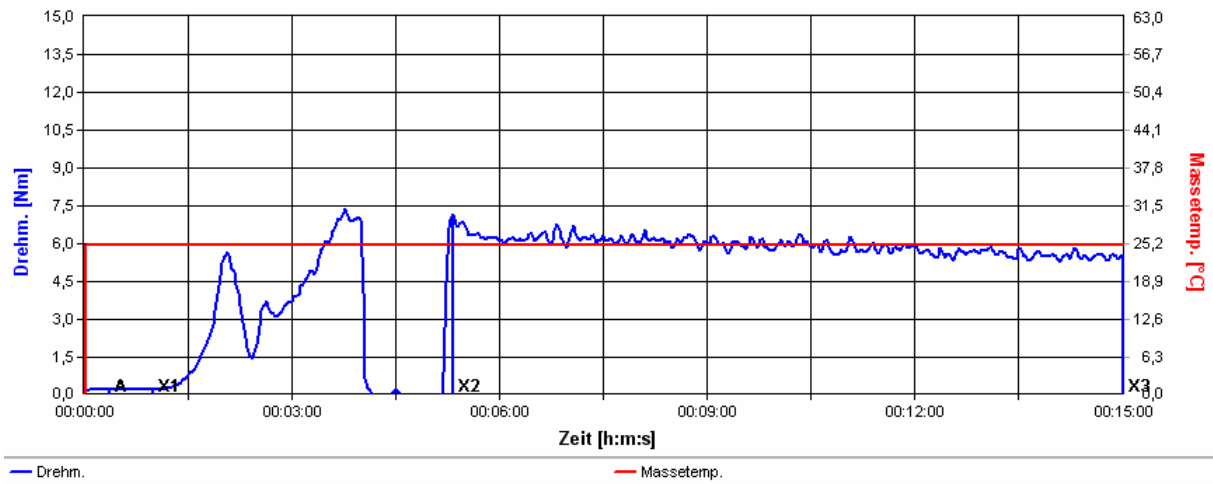
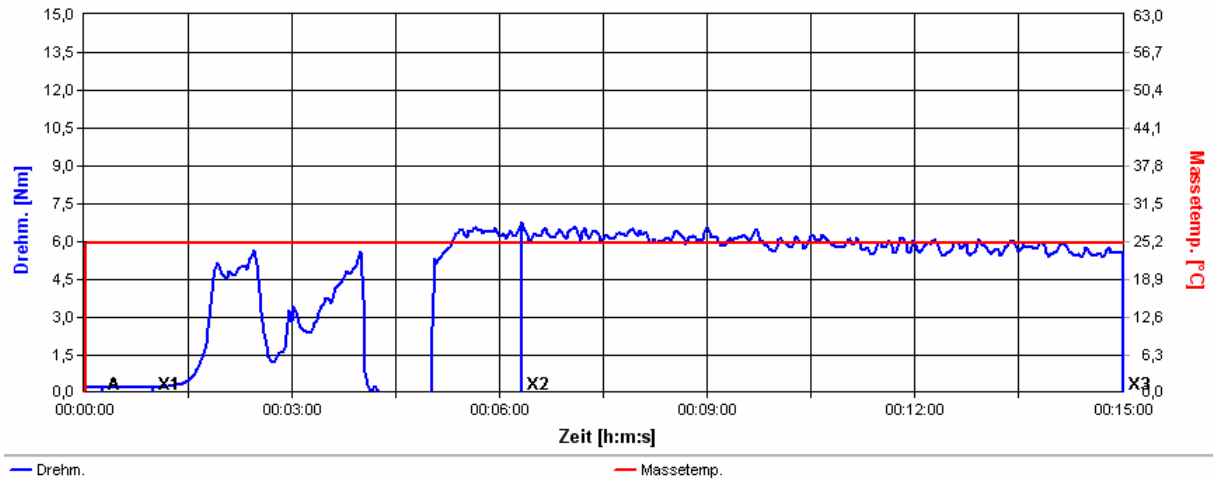
0,5 min



1,0 min



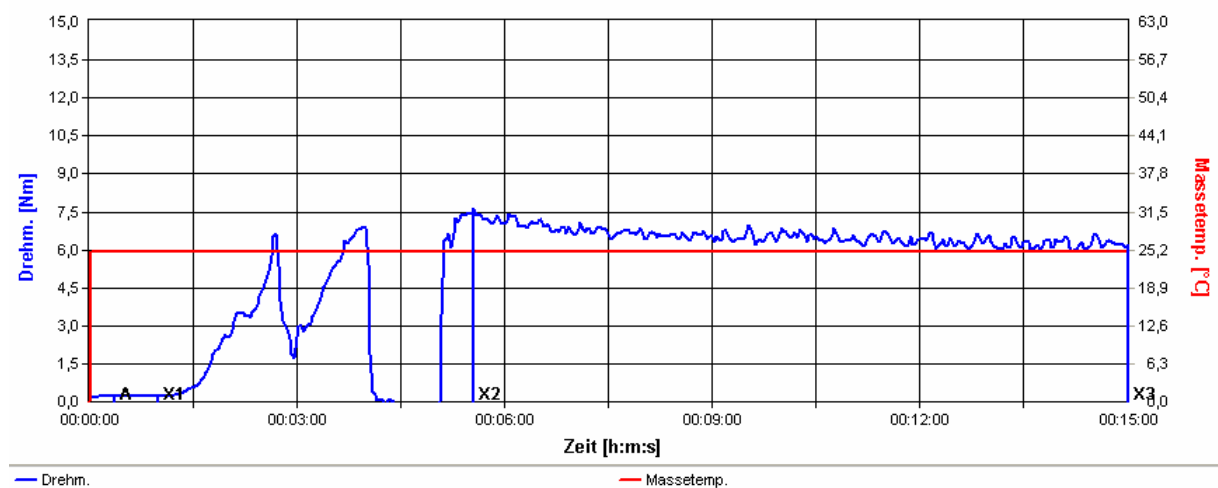
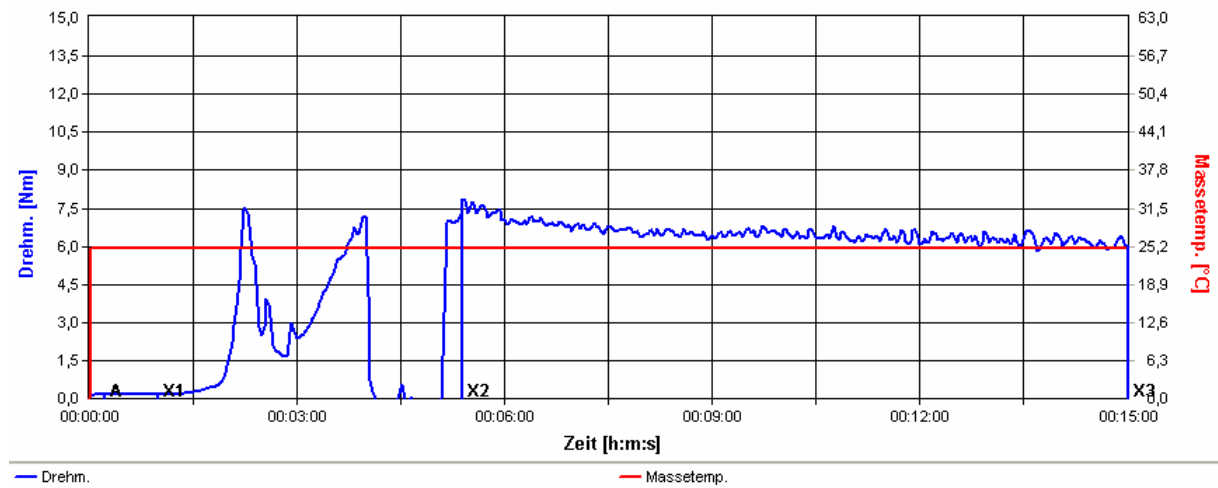
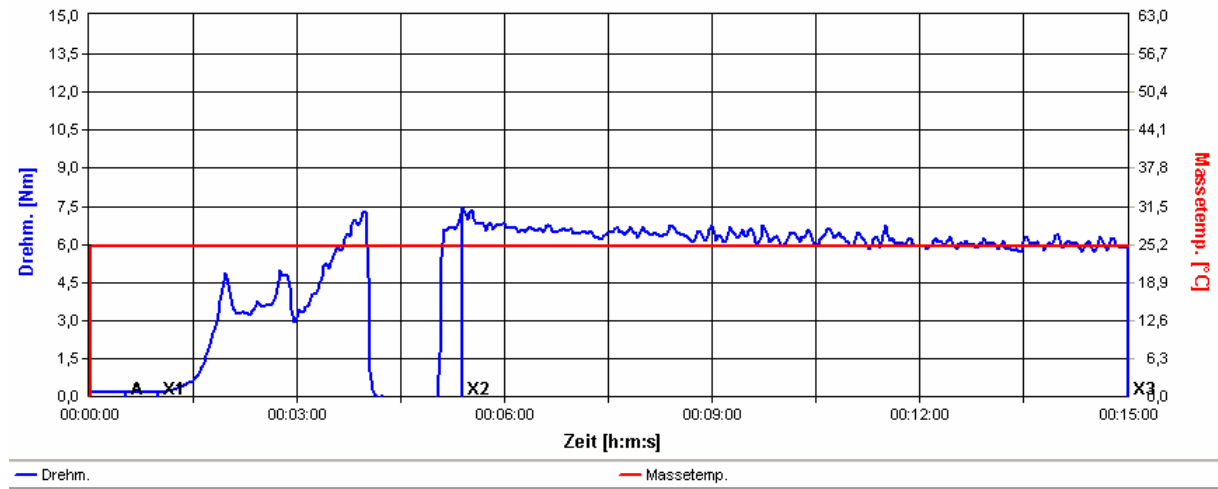
2,0 min



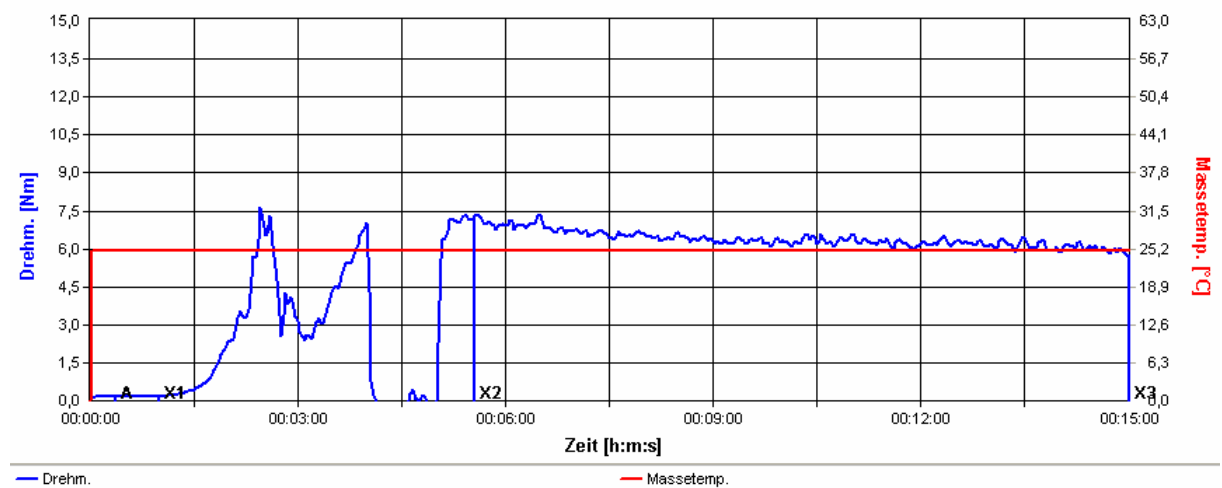
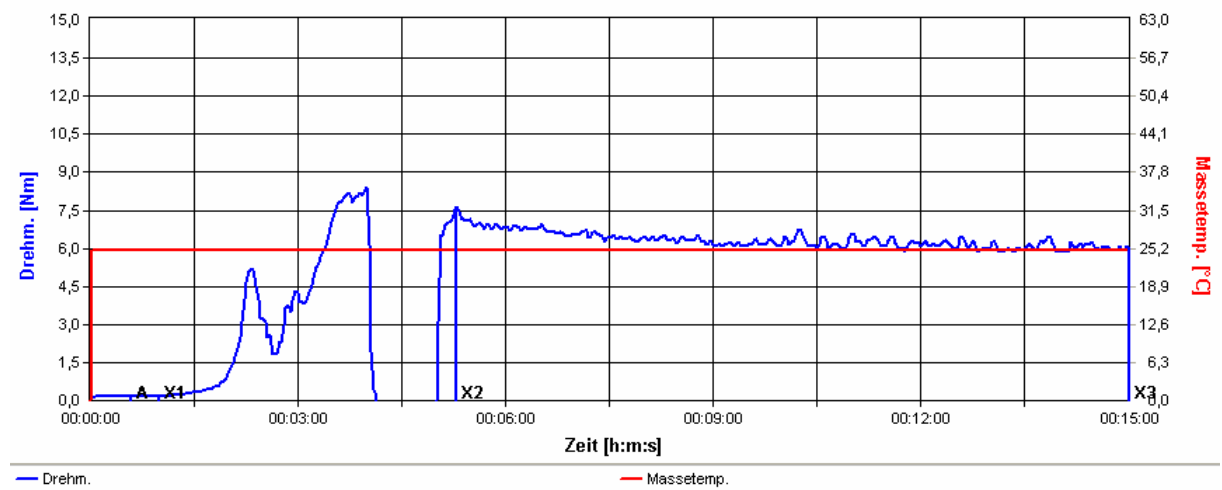
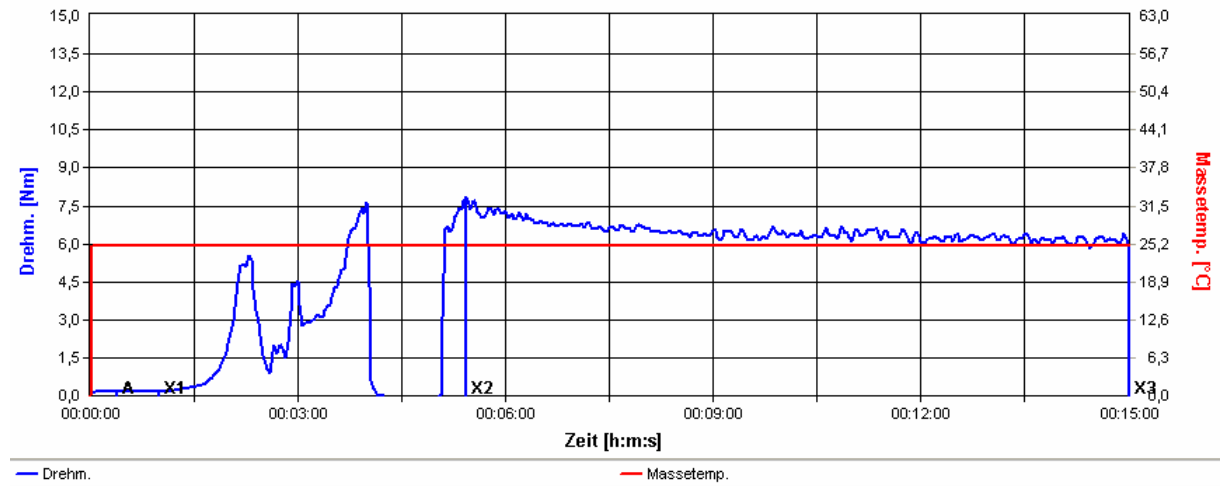


## 9.6 Einfluss der unterschiedlichen Roggenmahlerzeugnisse

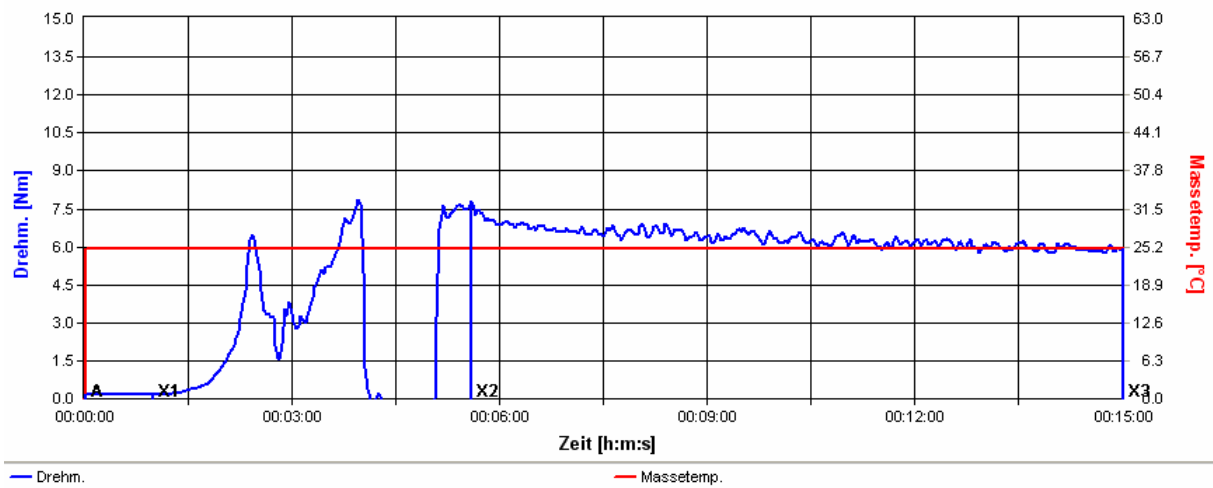
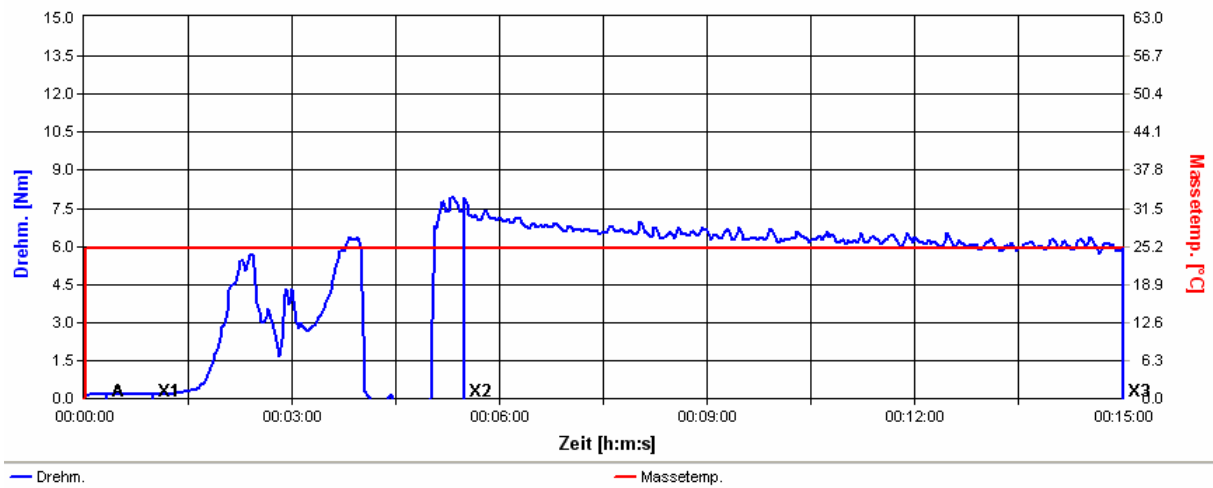
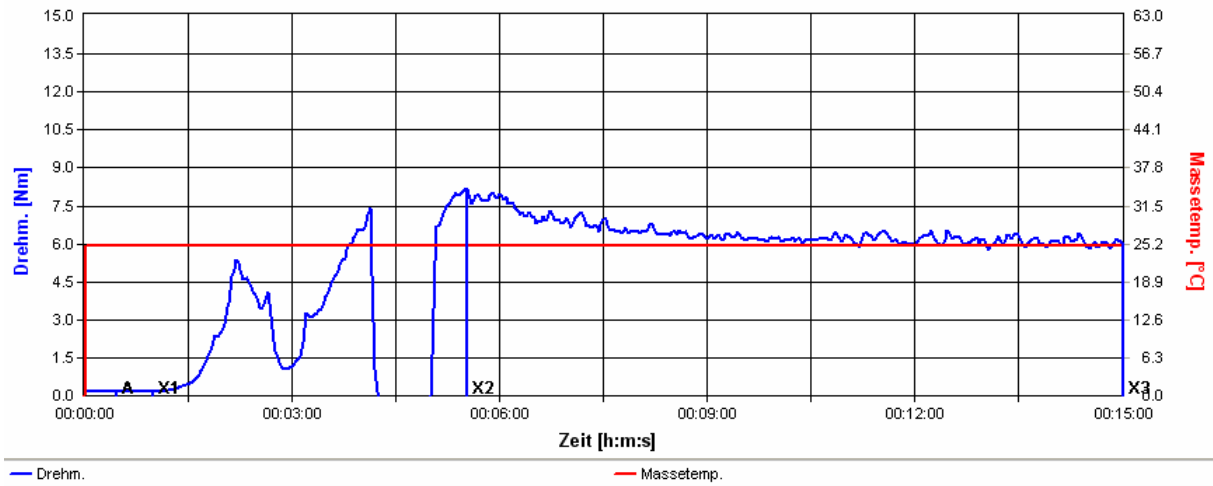
II



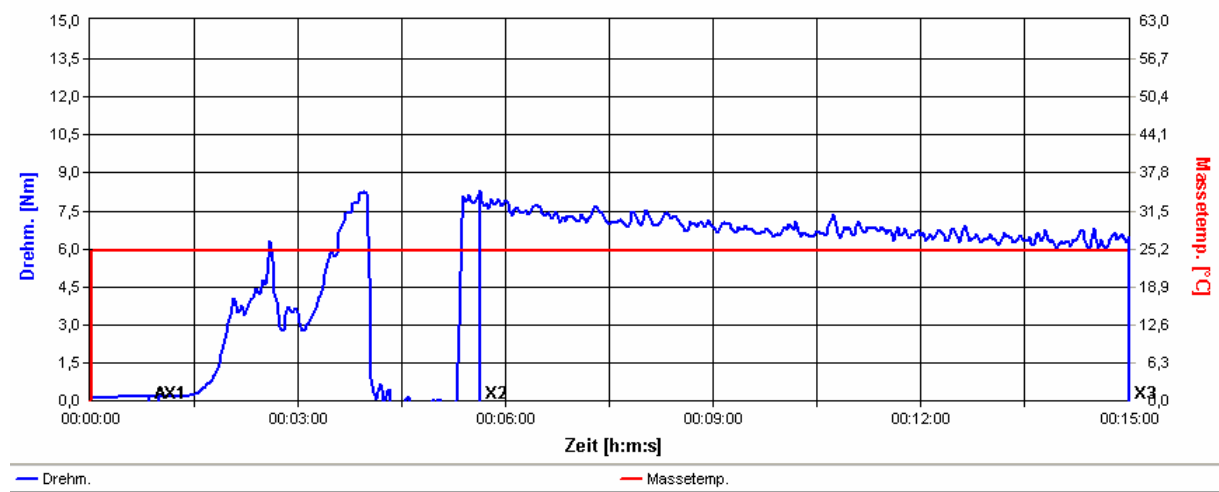
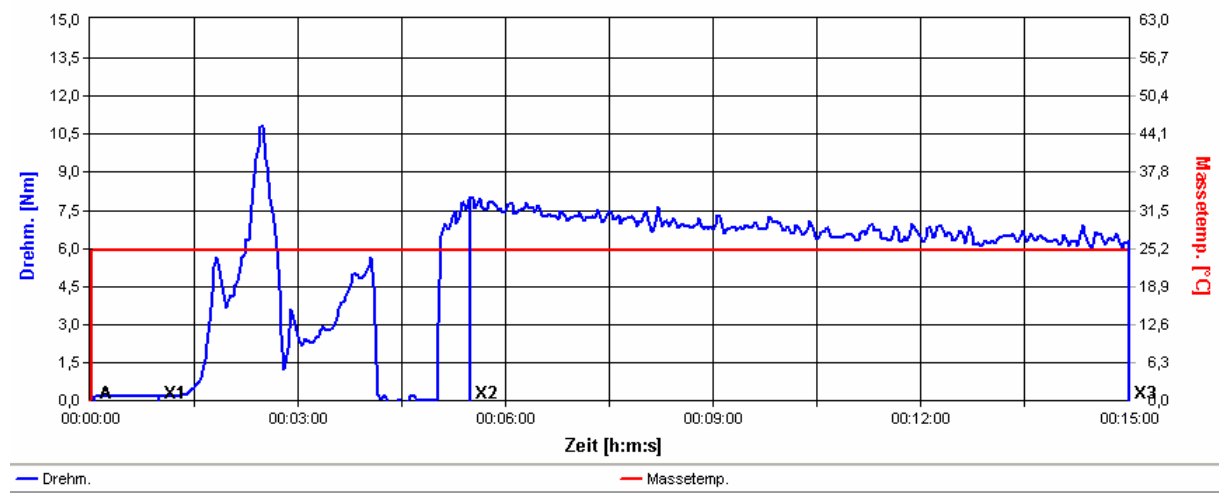
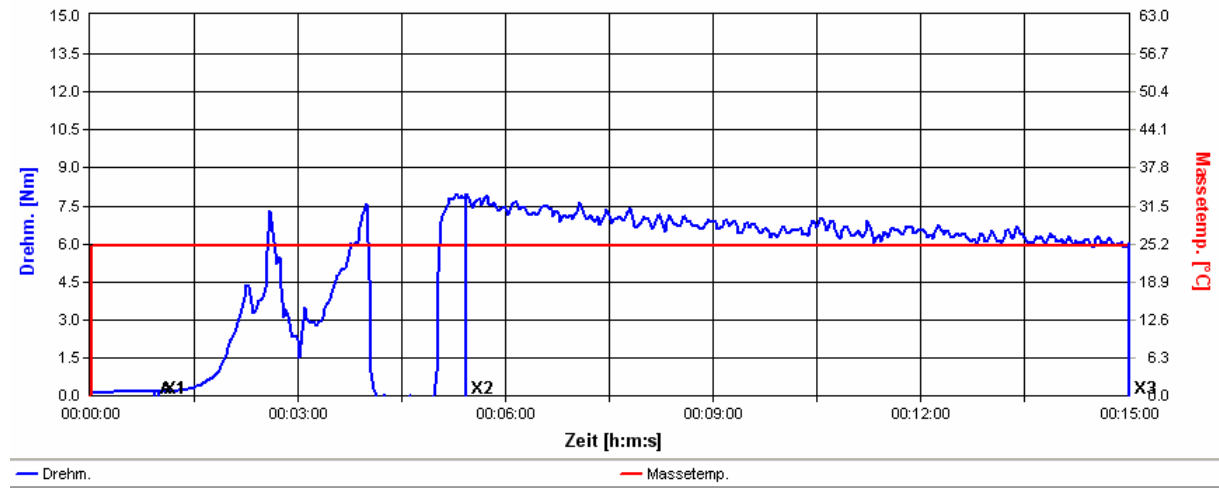
III



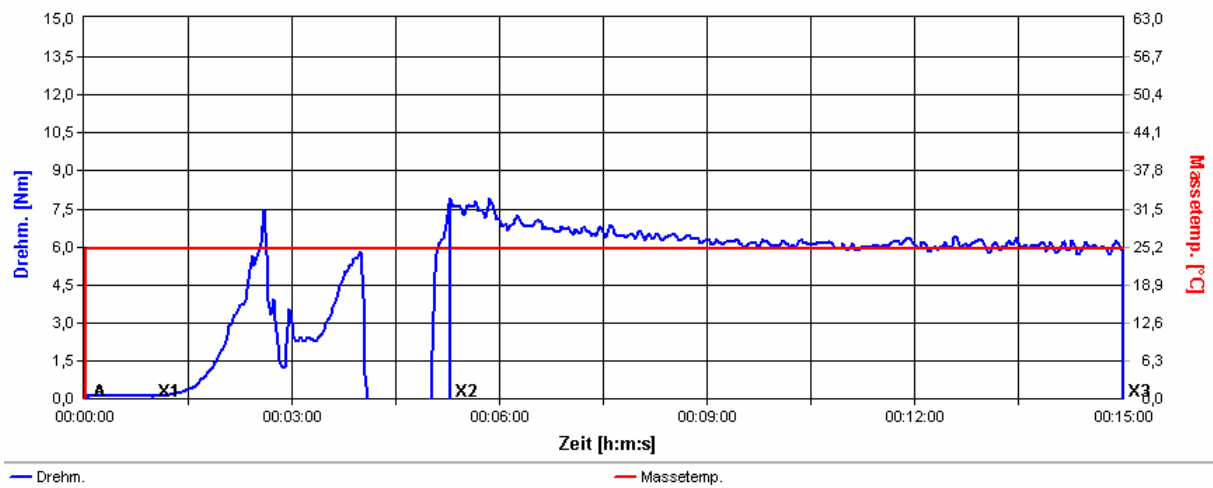
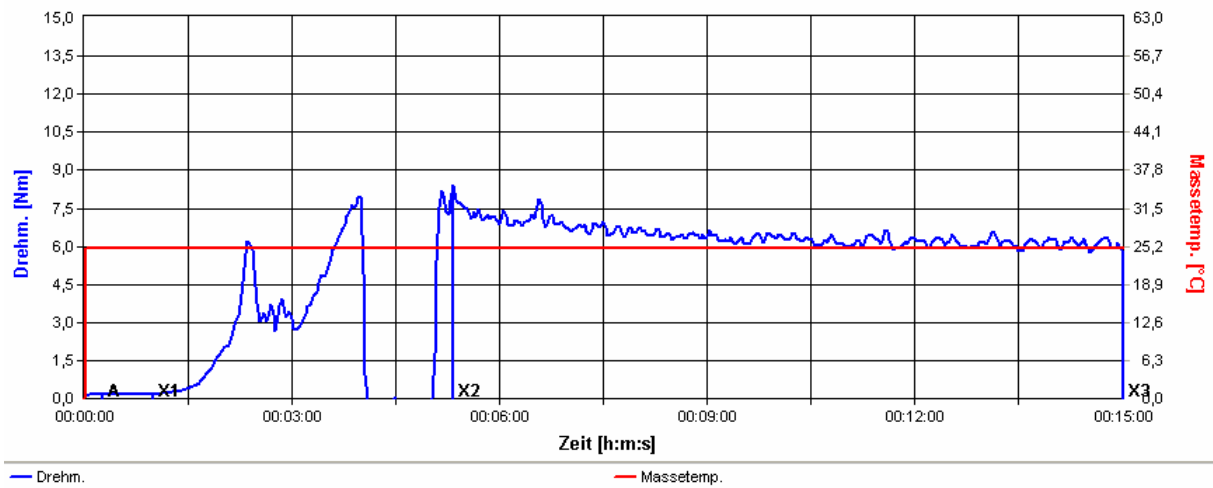
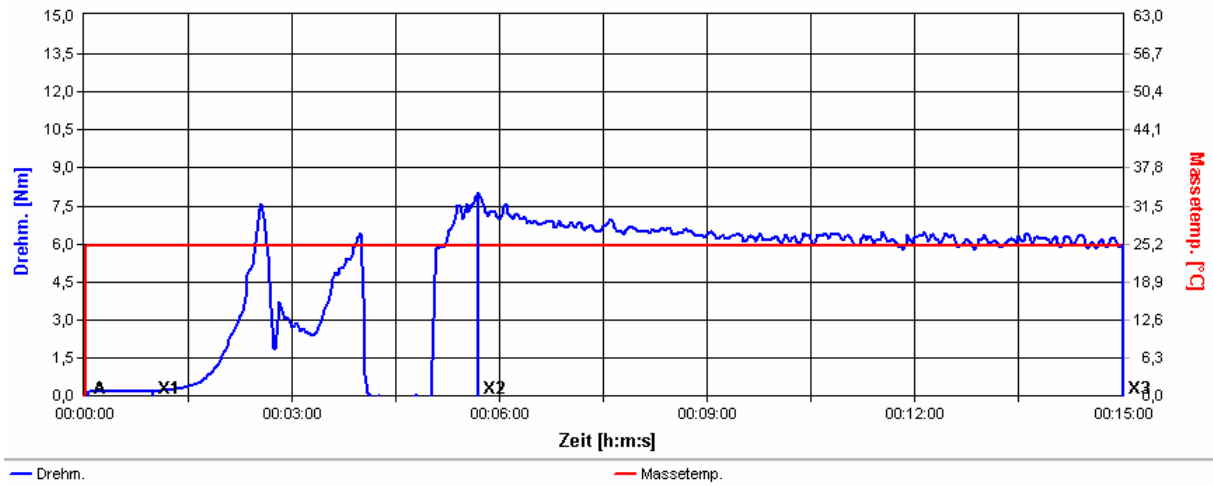
IV



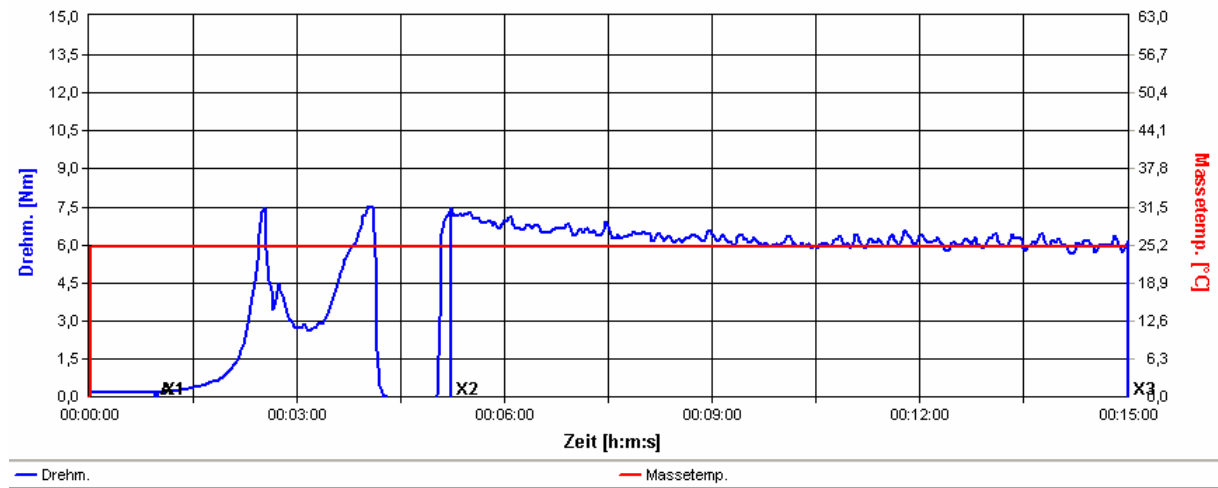
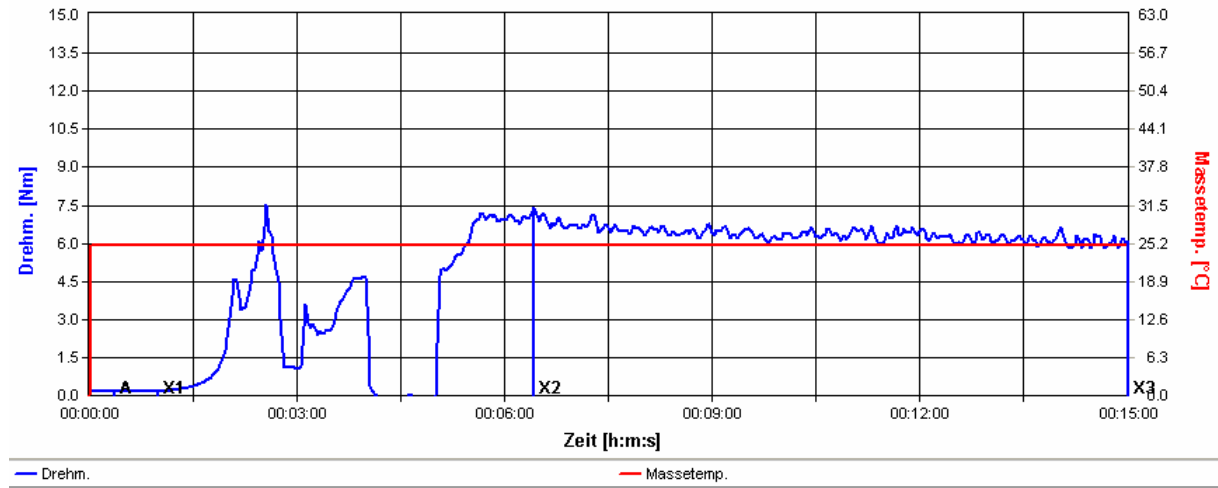
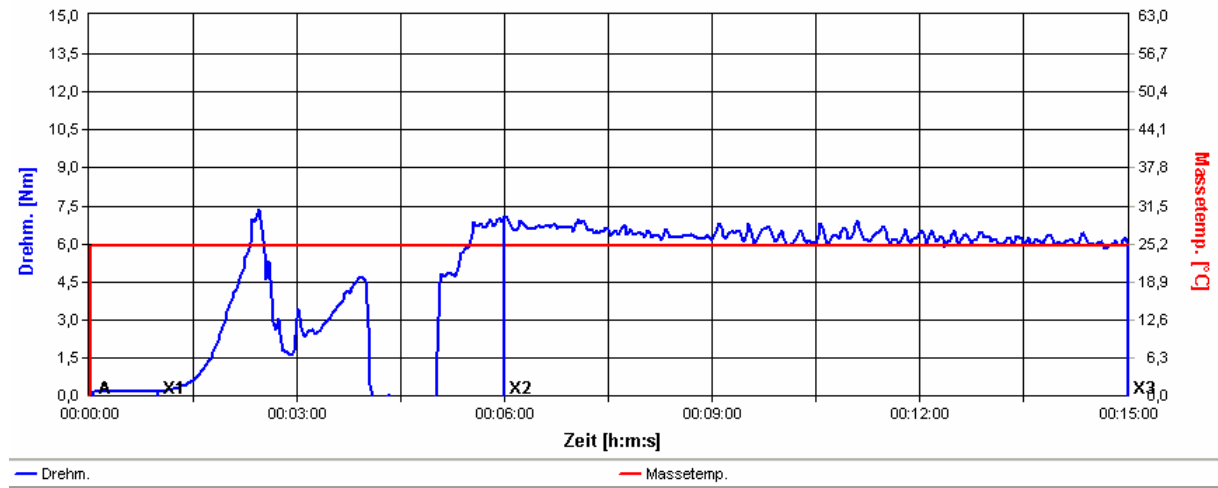
V



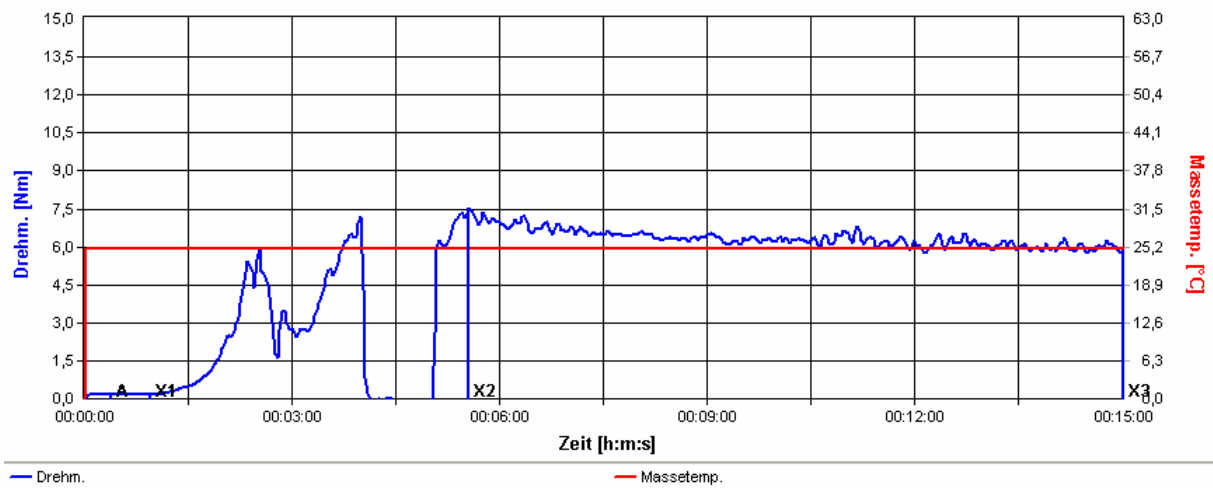
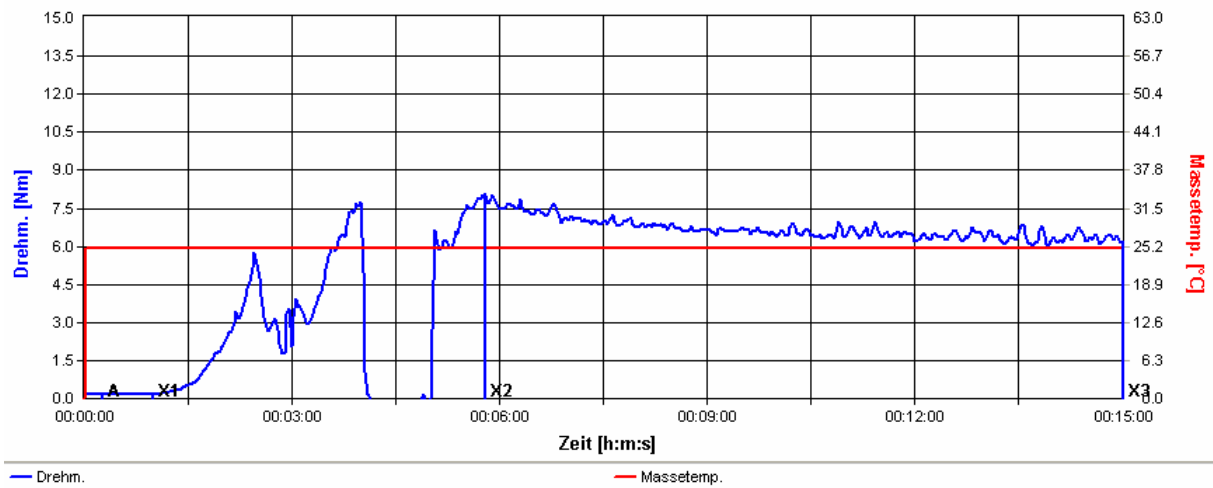
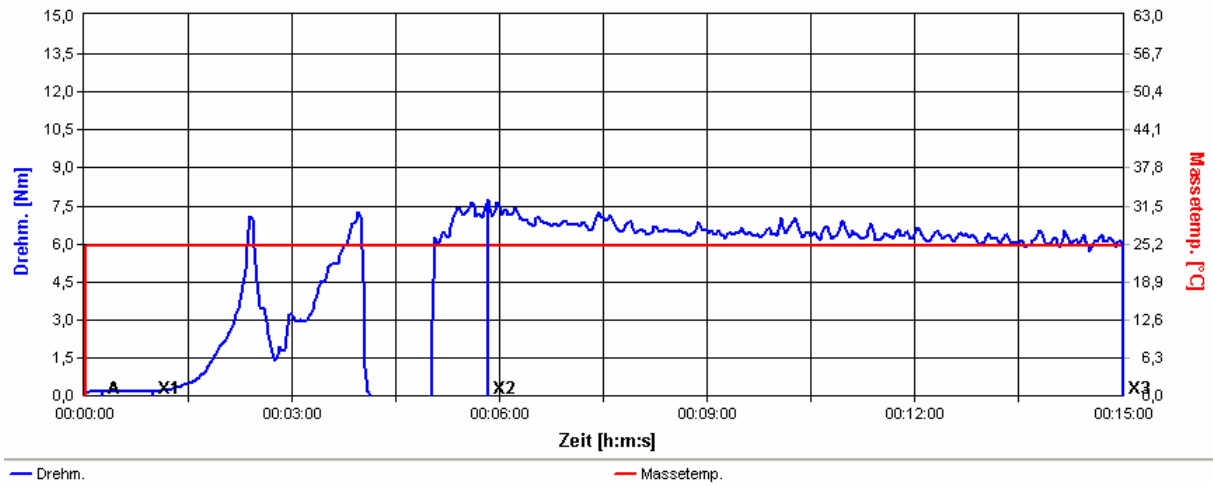
VI



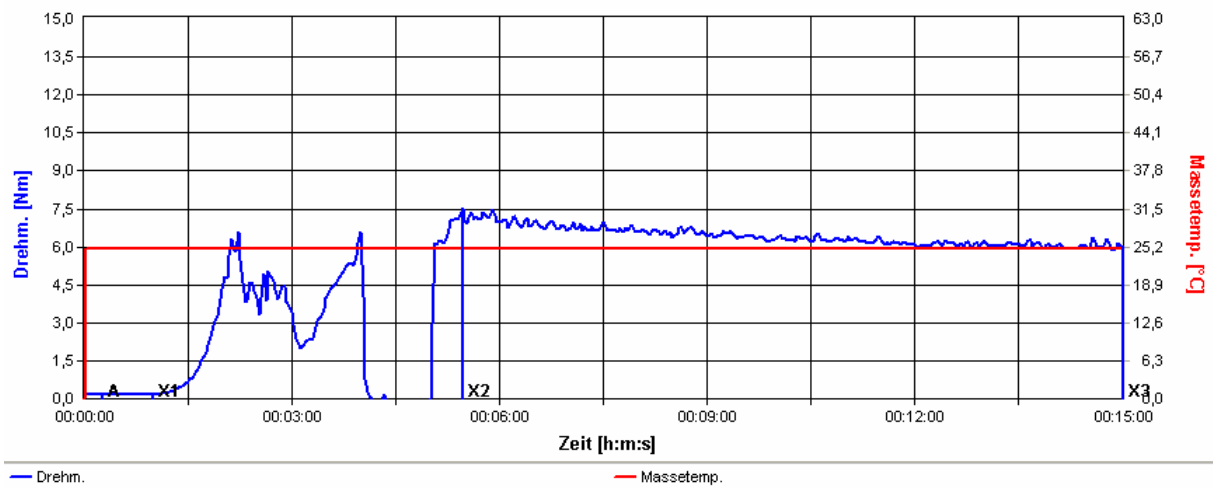
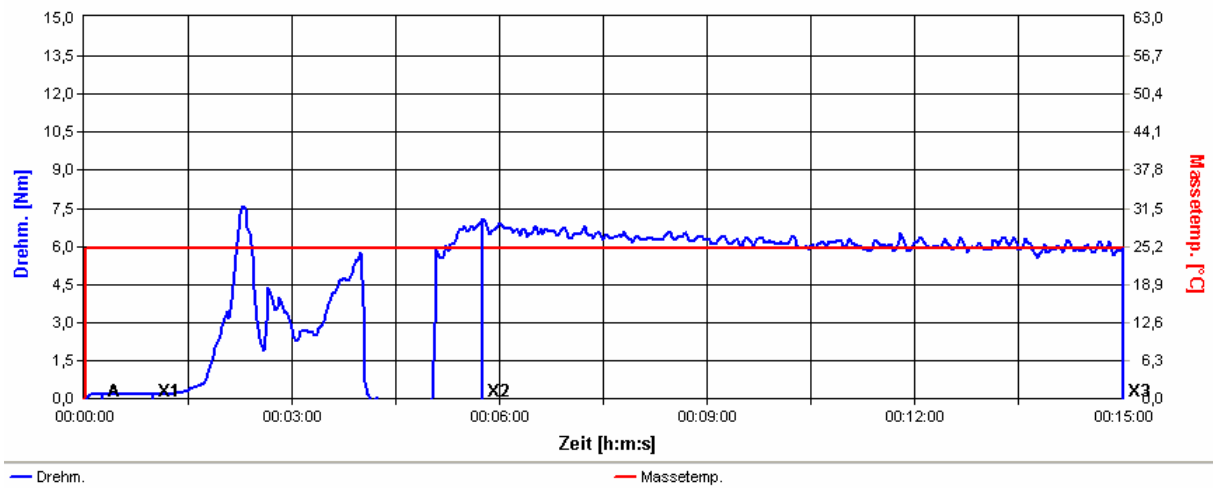
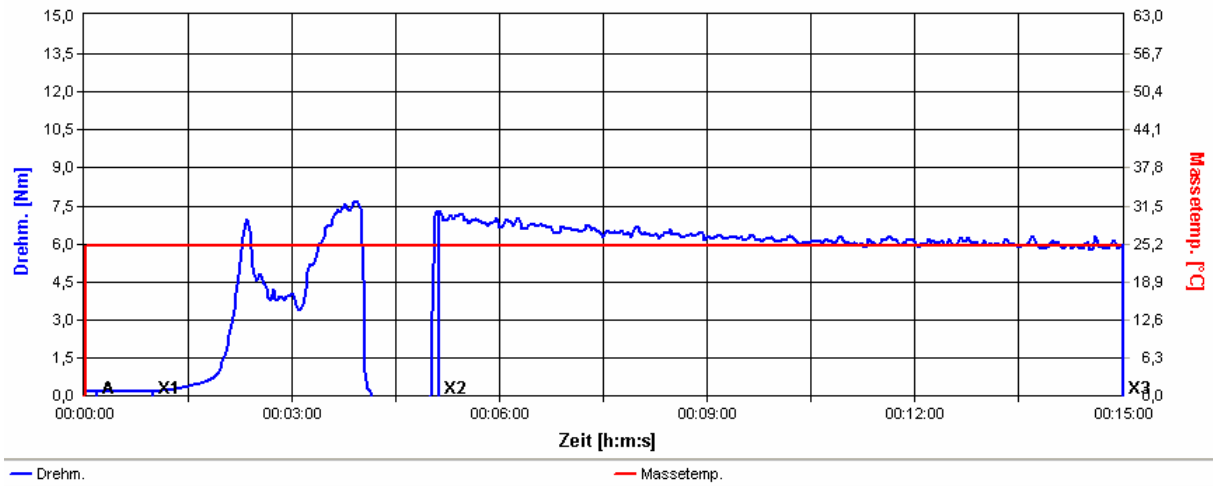
VII



VIII

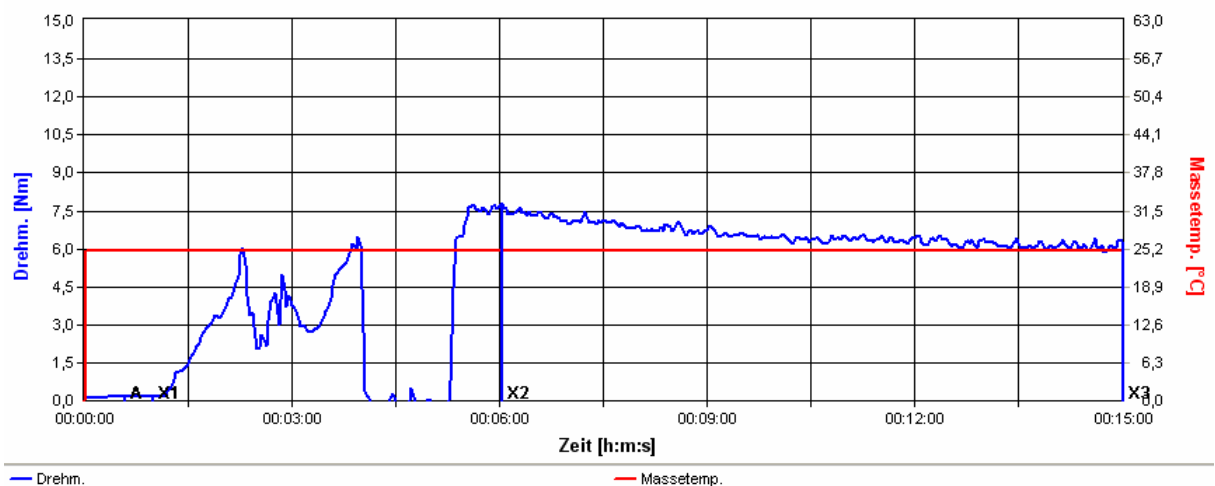
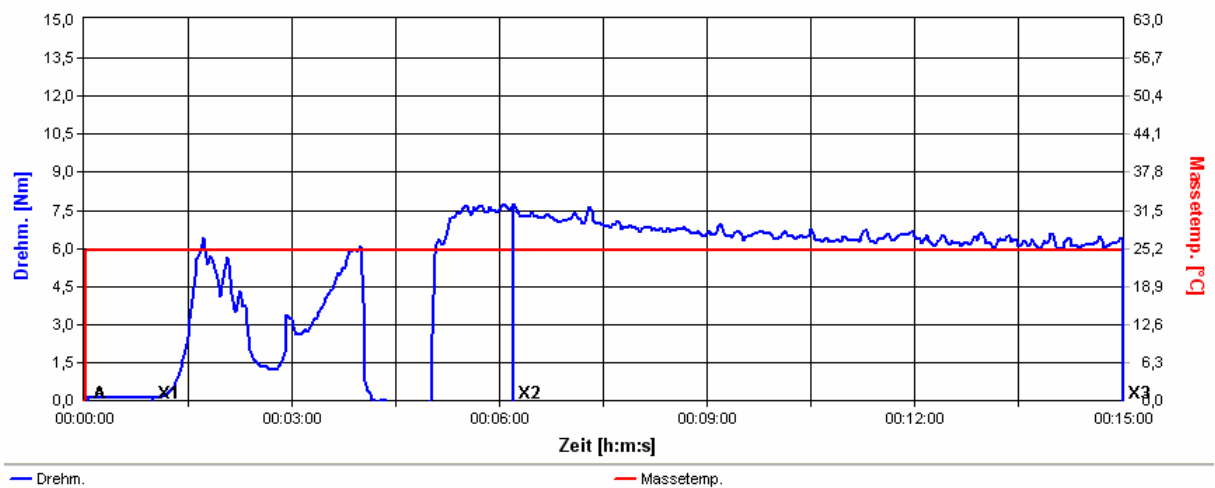
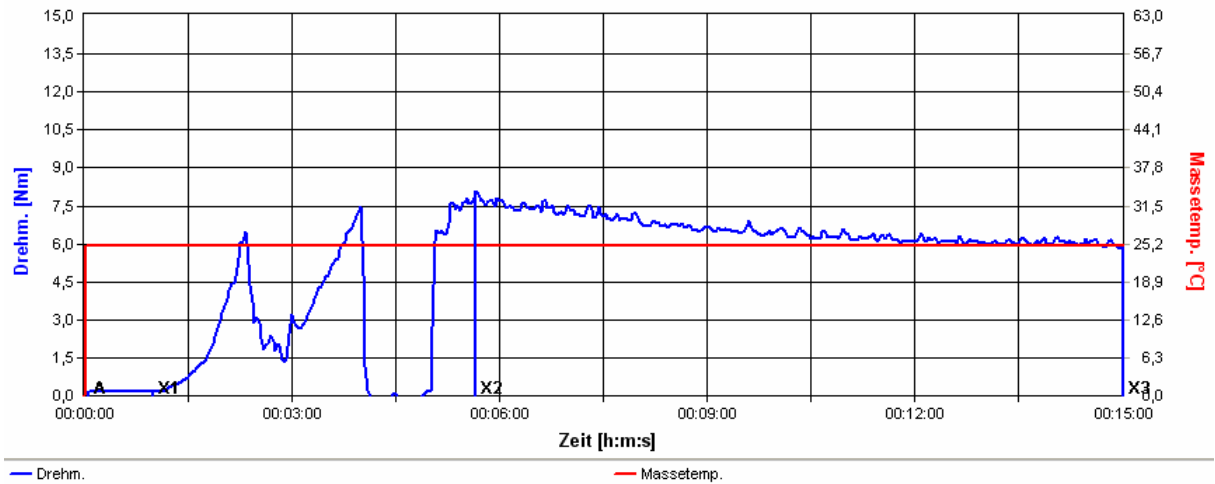


IX





X



### Untersuchung des verwendeten Roggenmehls X

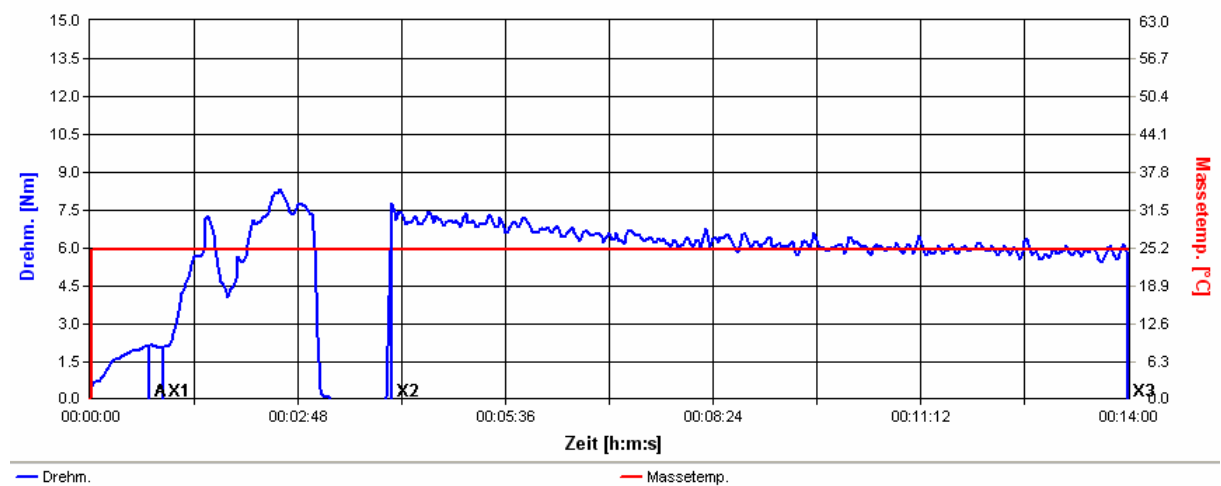
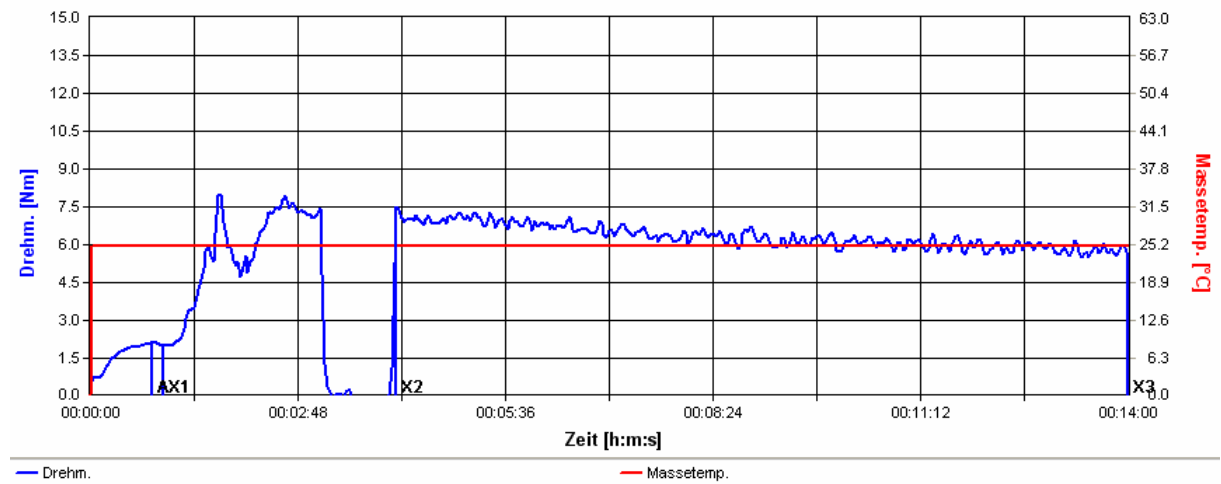
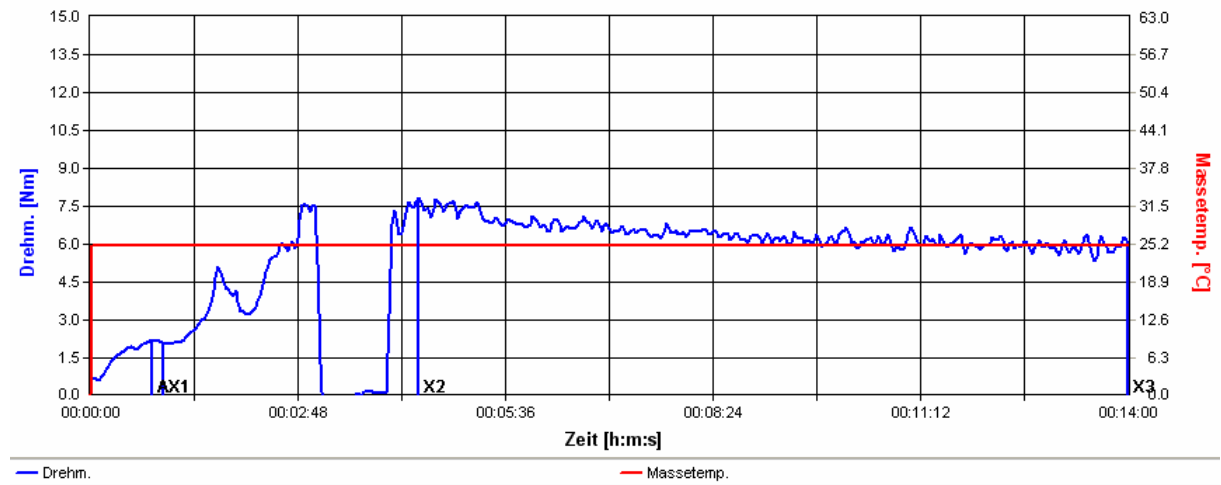
| Roggenmehl | TEZ <sup>1</sup> [min] | KA <sup>2</sup> [Nm] | WA <sup>3</sup> [%] | Energie [kJ] |
|------------|------------------------|----------------------|---------------------|--------------|
| X          | 4:58 ± 16,37           | 1,86 ± 0,32          | 85,2 ± 0,96         | 29,8 ± 0,45  |

Mittelwert±STABW(n=3).

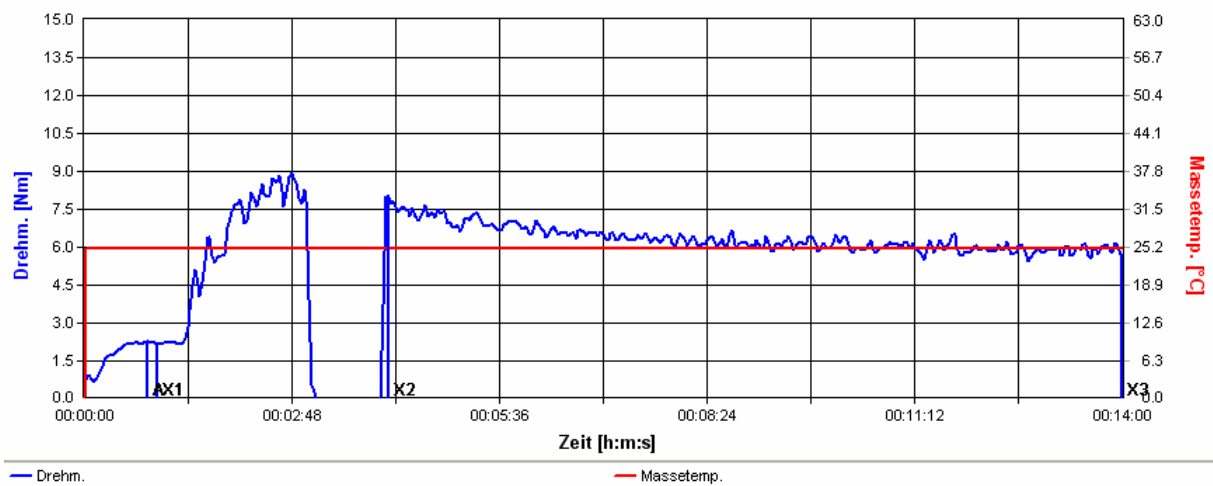
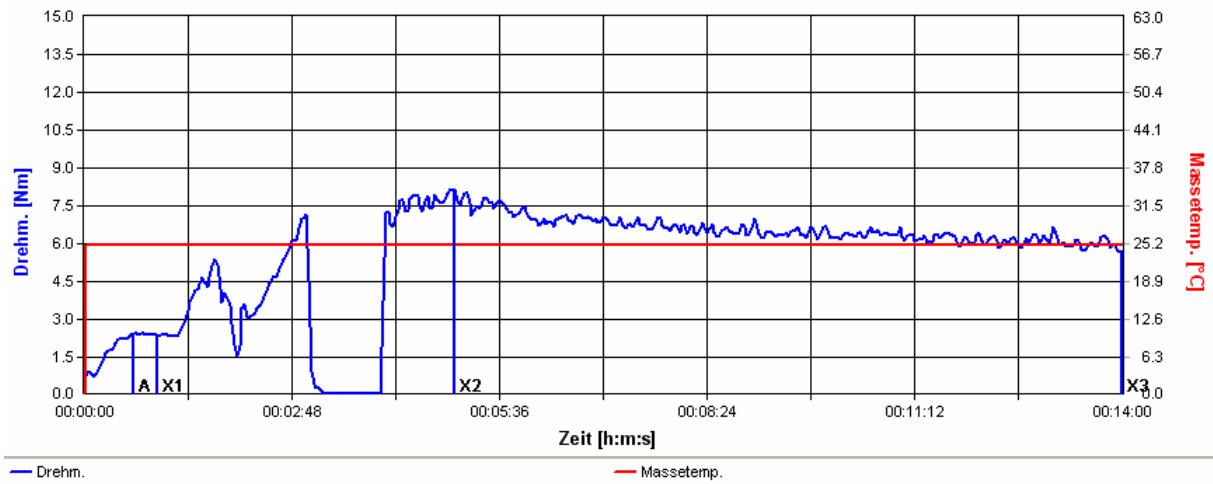
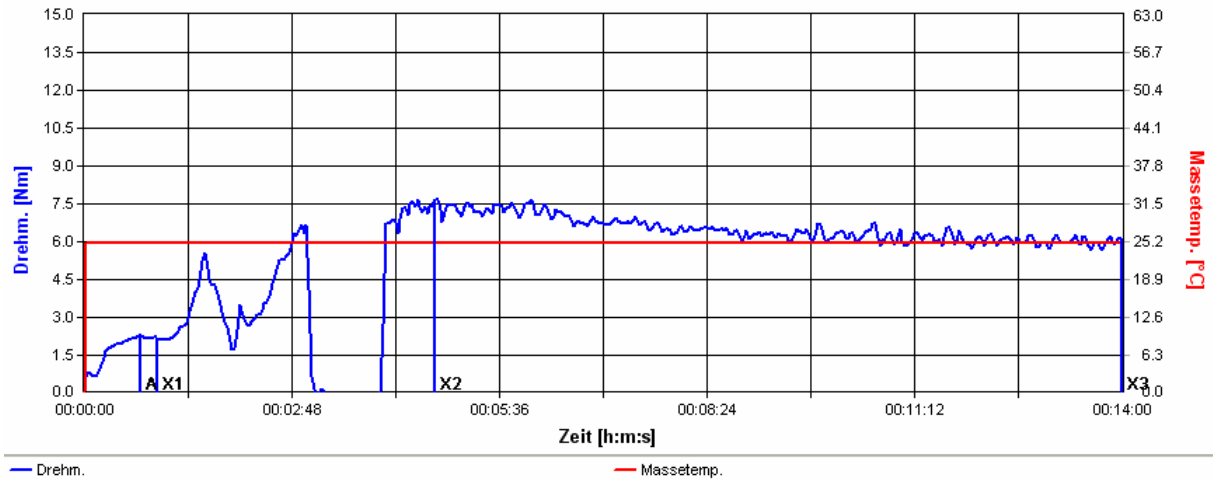
<sup>1</sup>TEZ = Teigentwicklungszeit, <sup>2</sup>KA = Konsistenzabfall, <sup>3</sup>WA = Wasseraufnahme

## 9.7 Einfluss von 30 % Sauerteig-, 2 % Hefe- und 2 % Salzzugabe

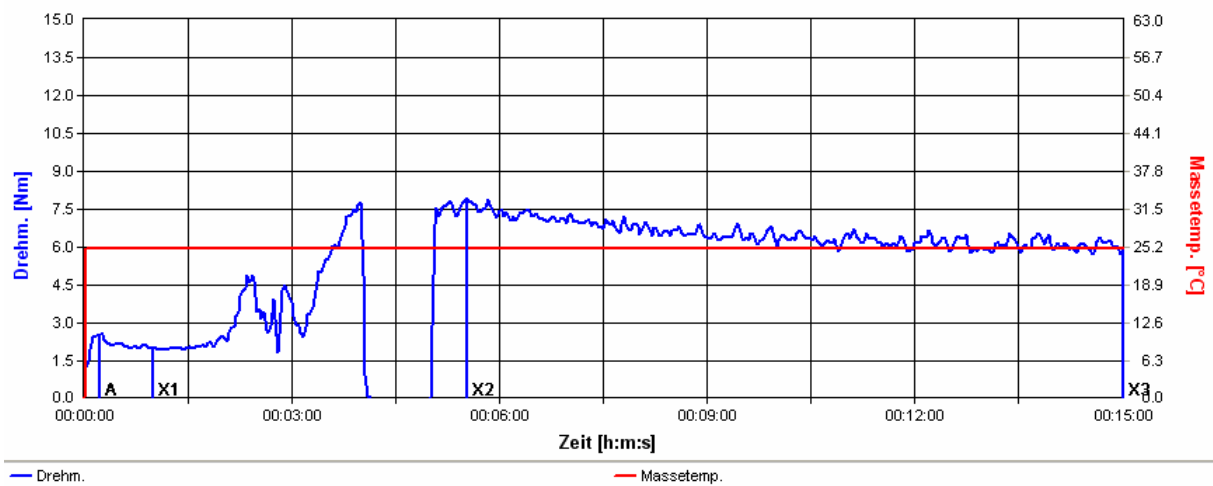
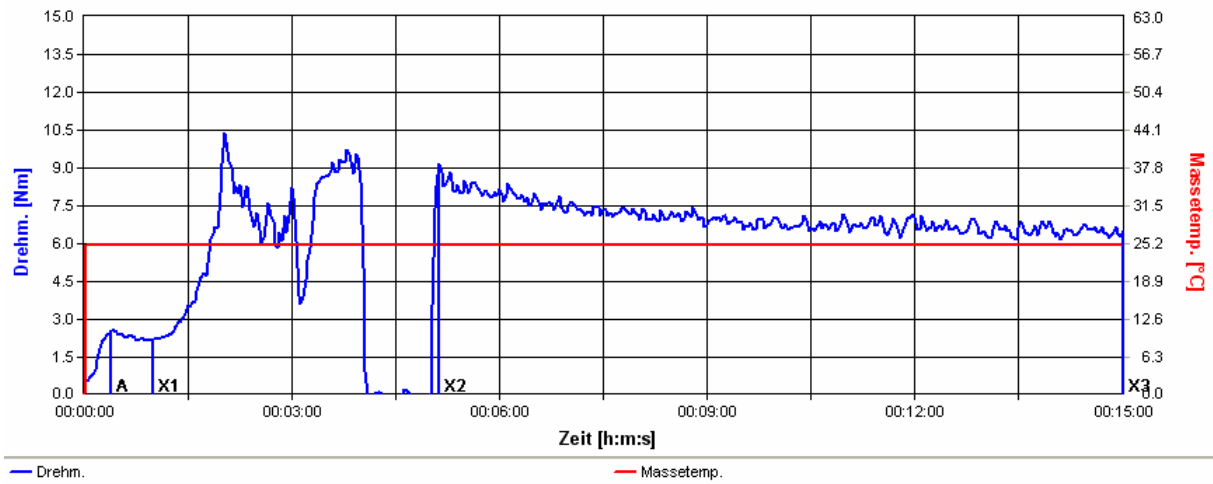
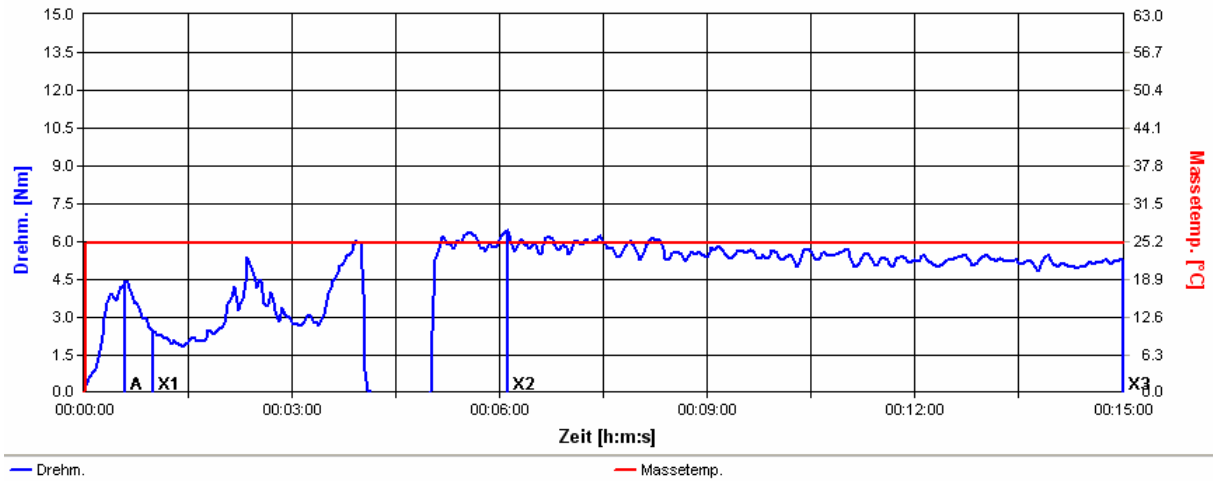
II



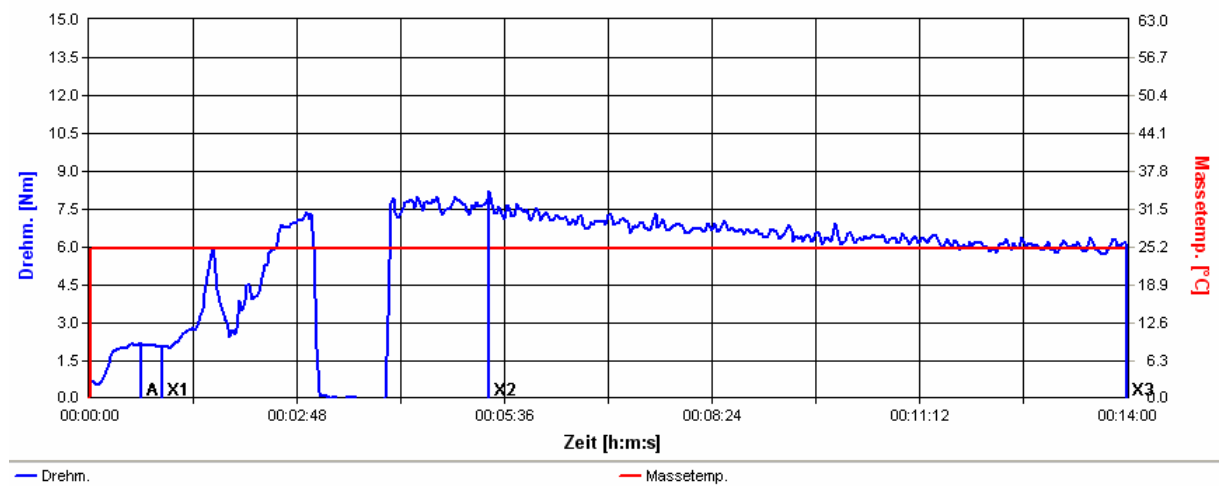
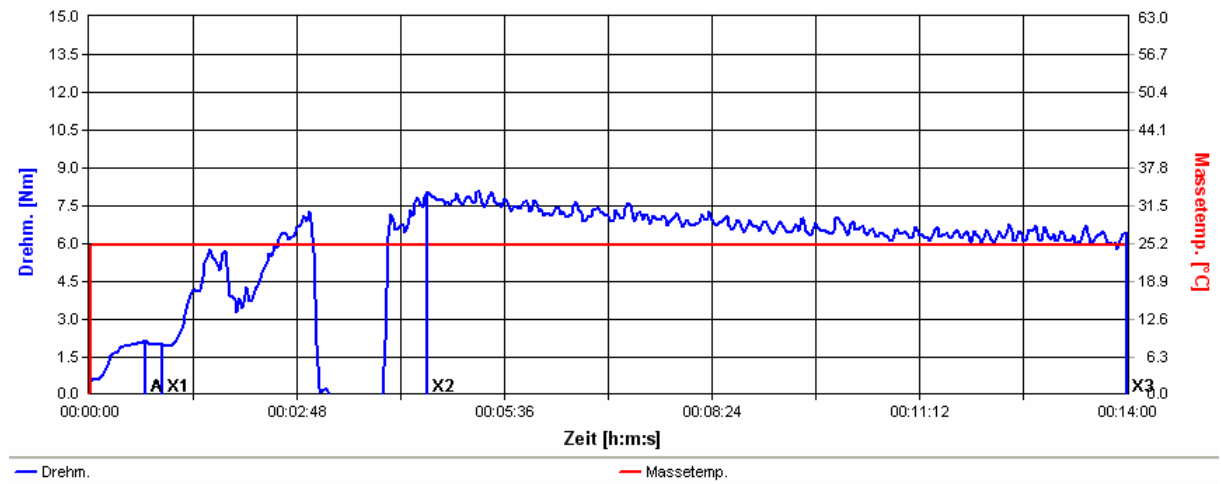
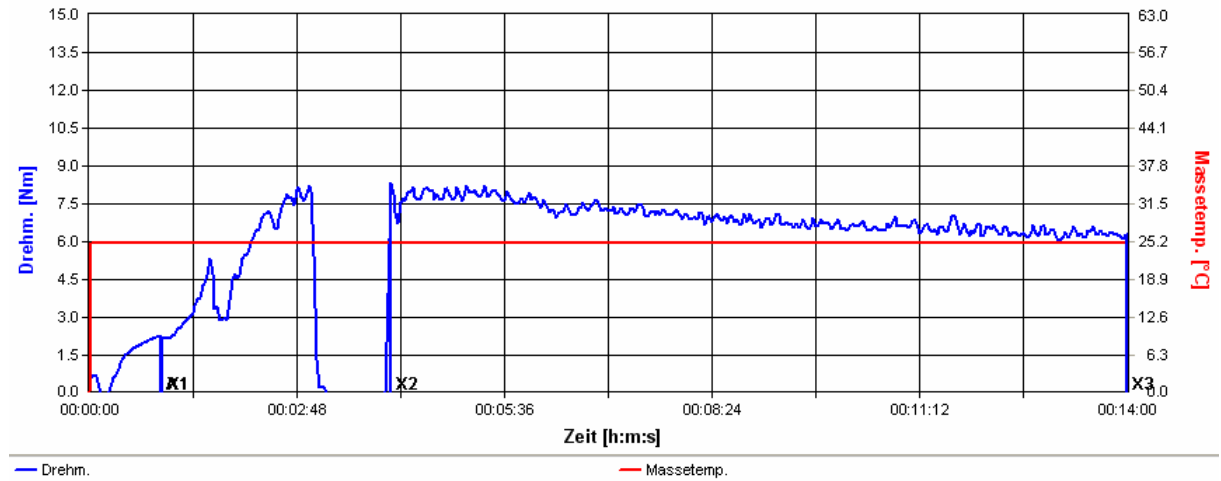
III



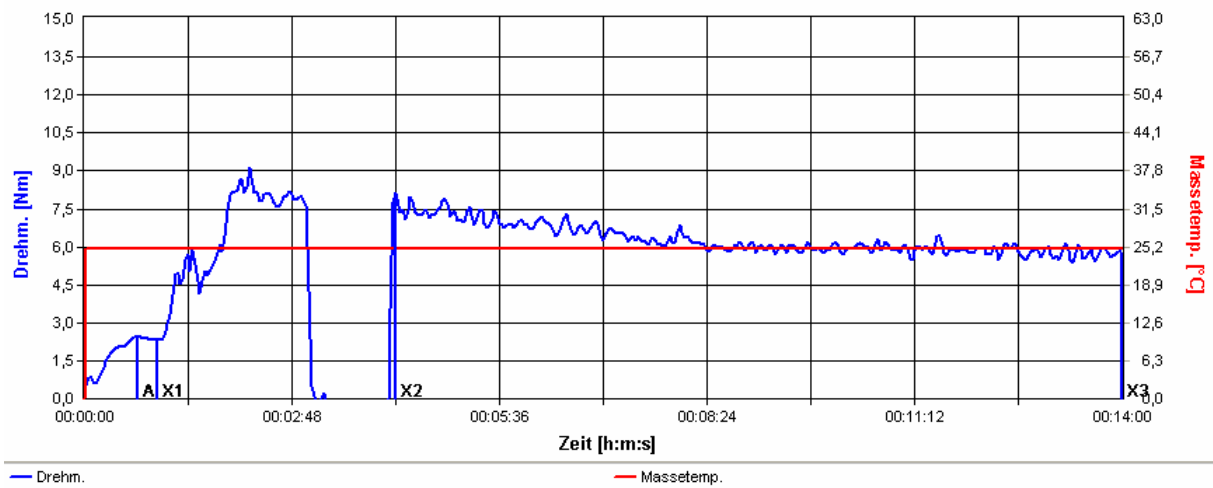
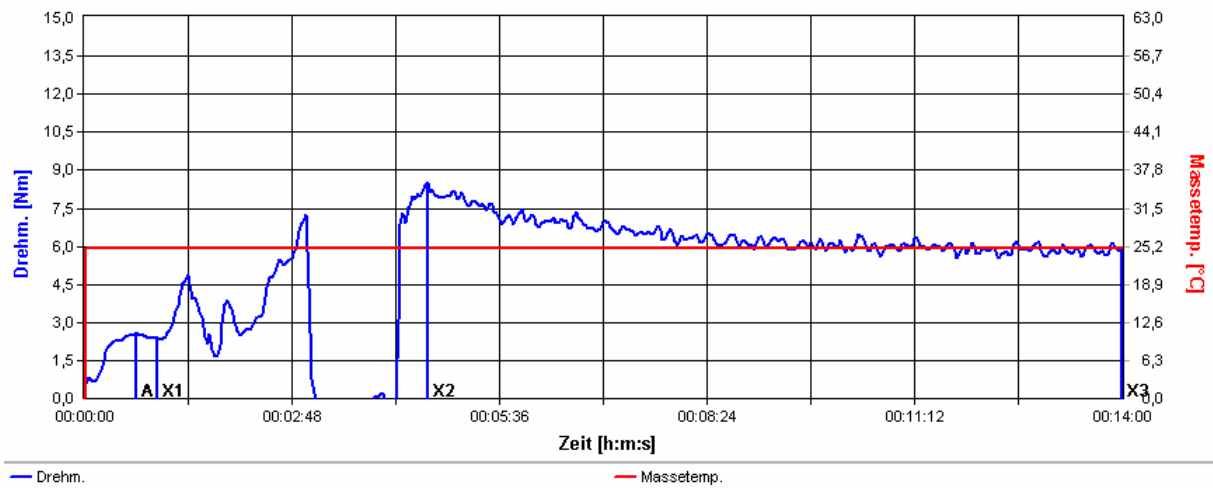
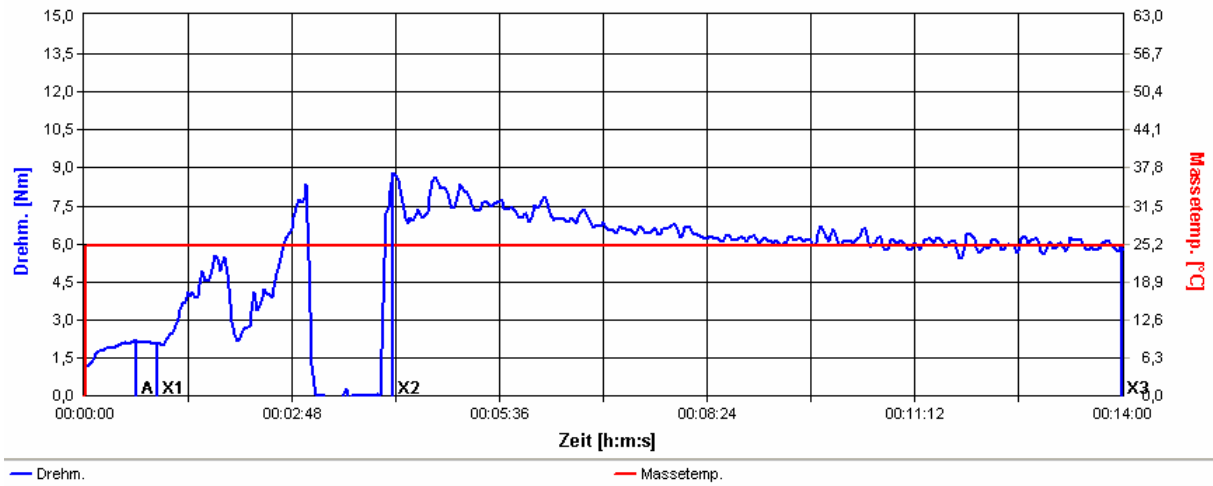
IV



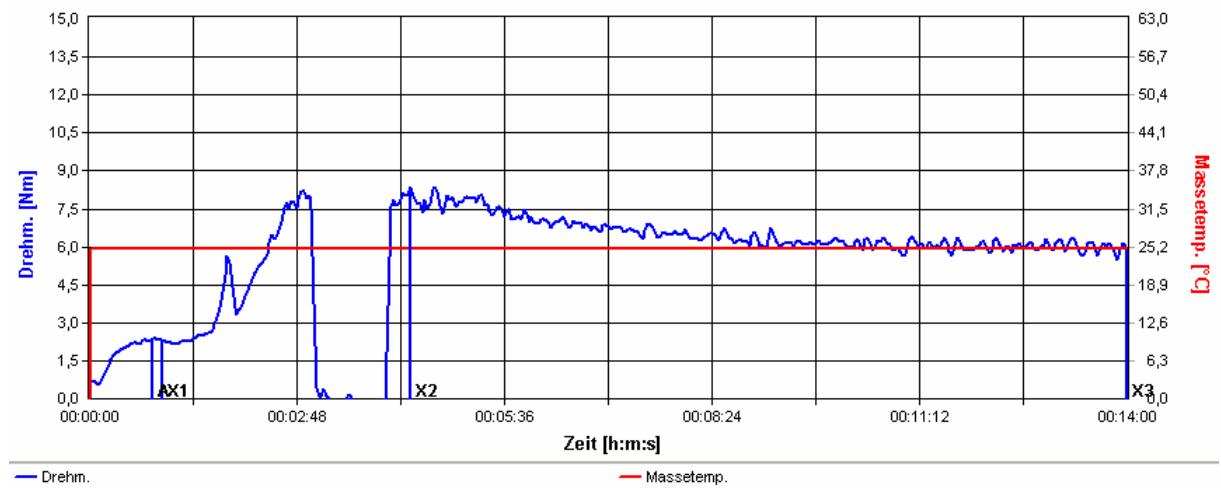
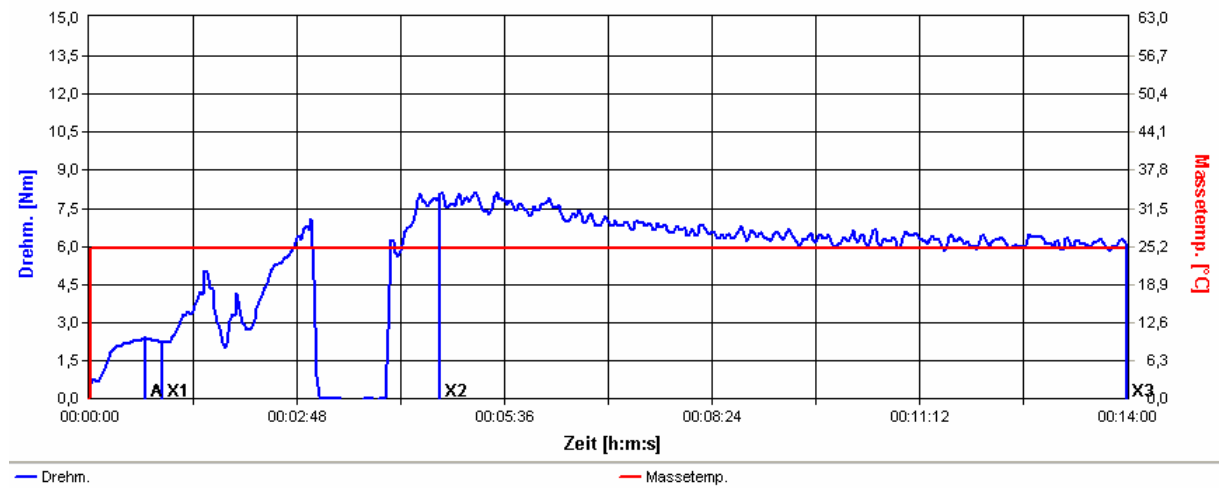
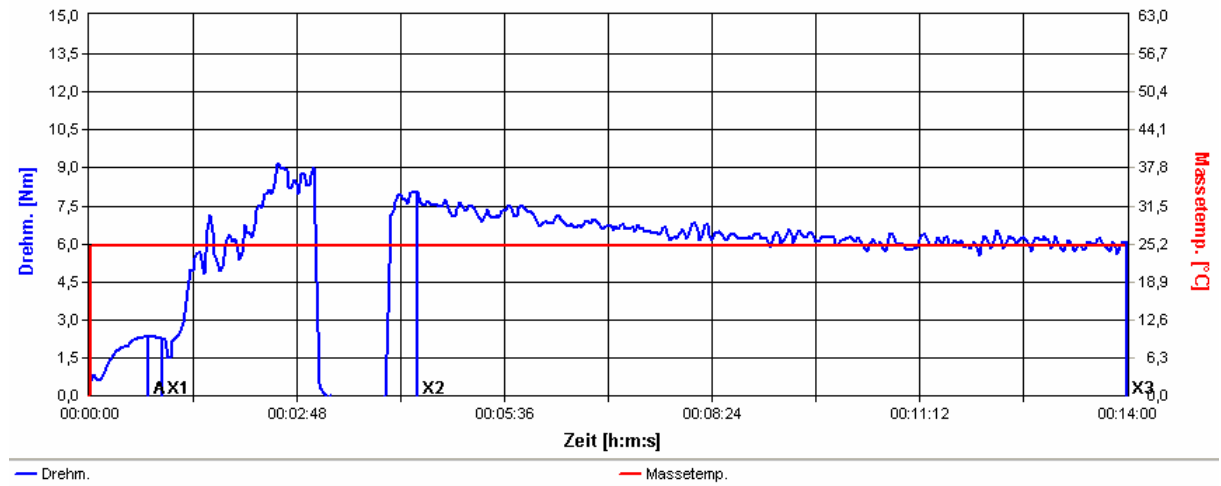
V



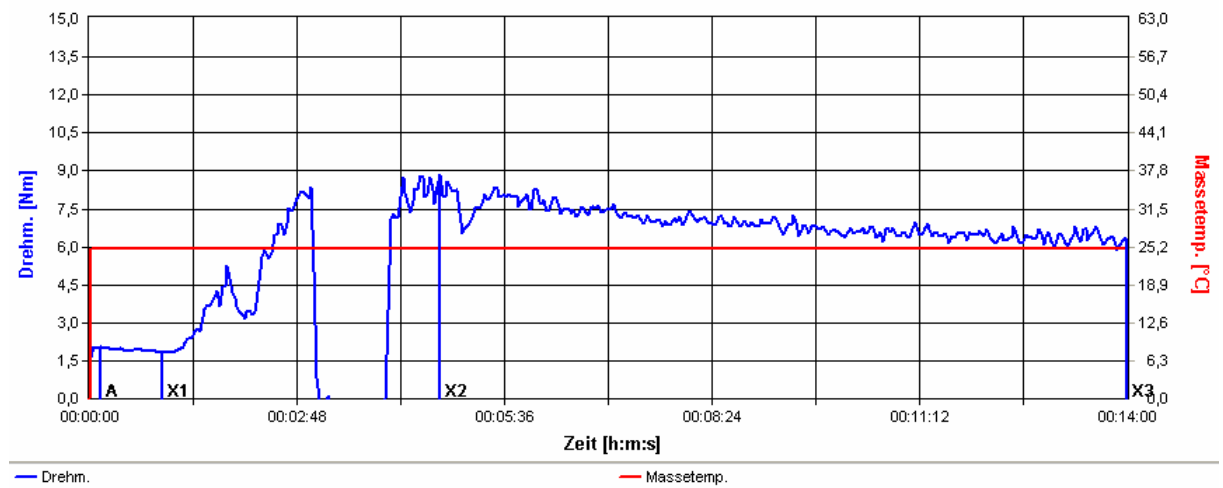
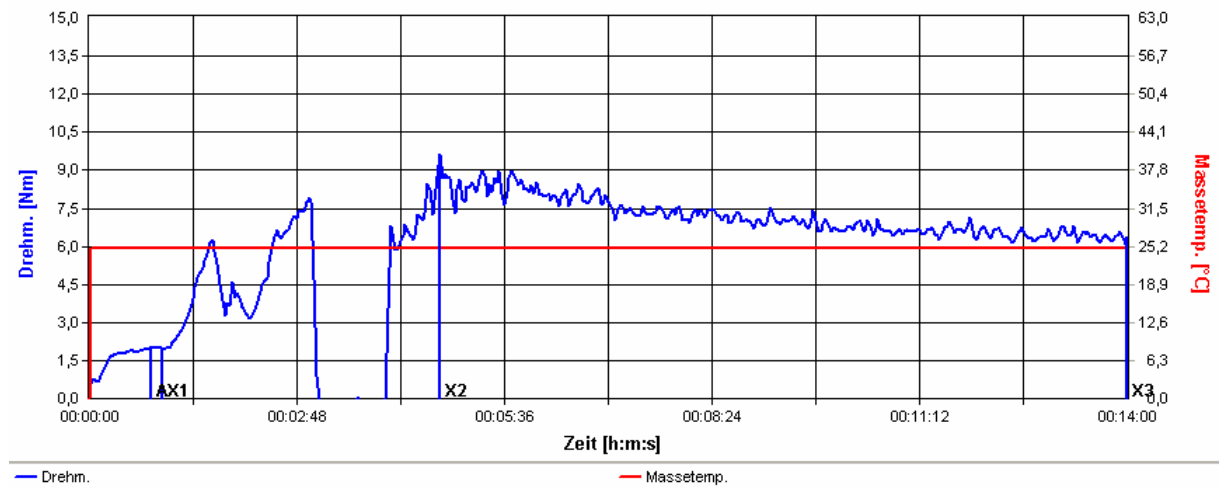
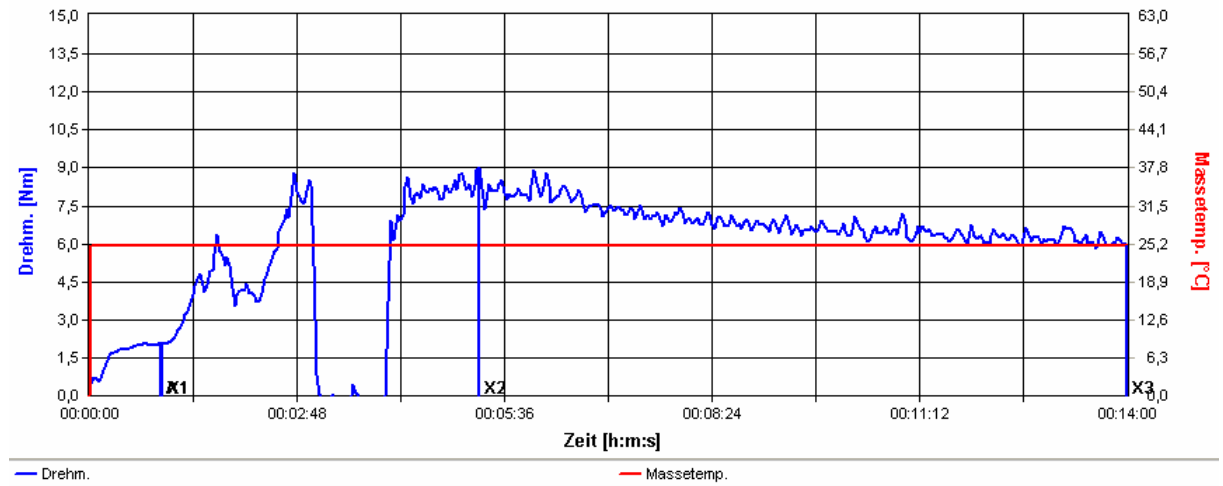
VI



VII

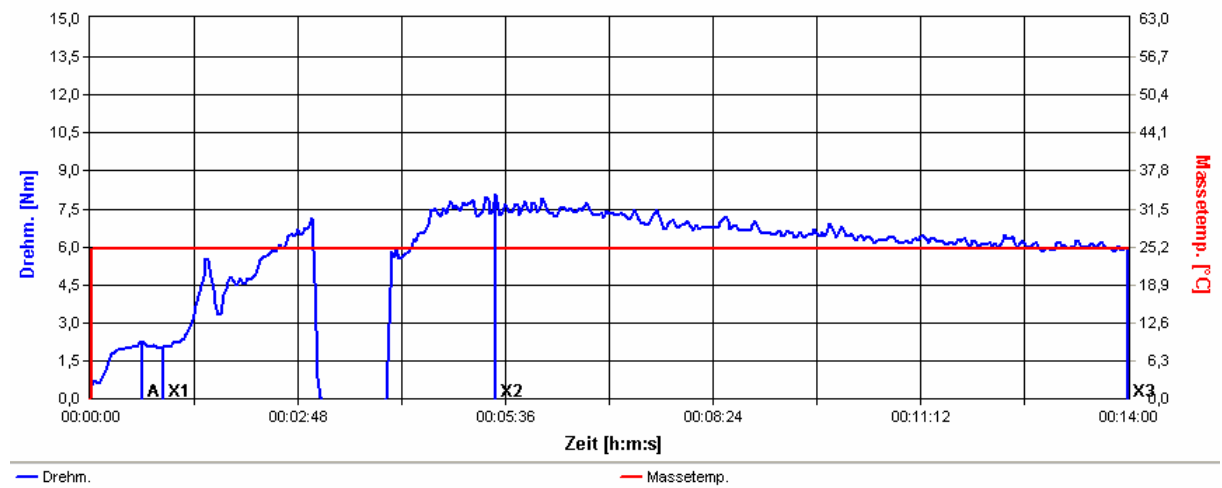
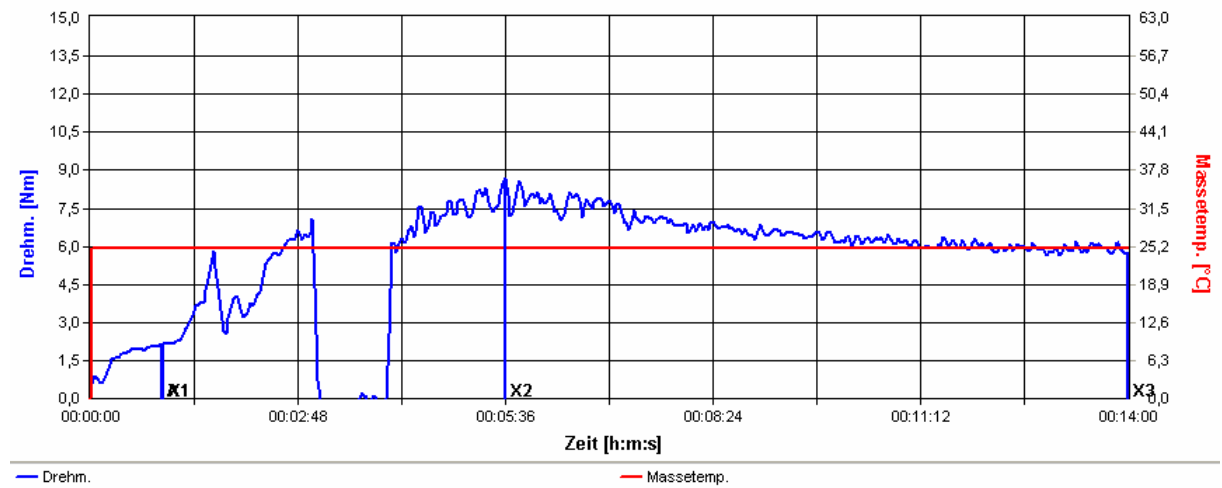
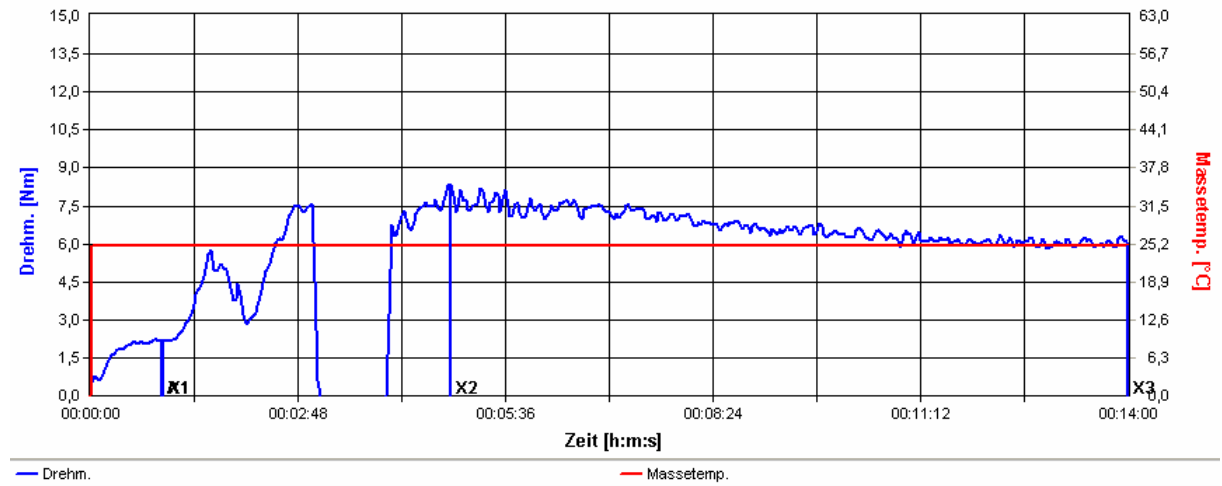


VIII



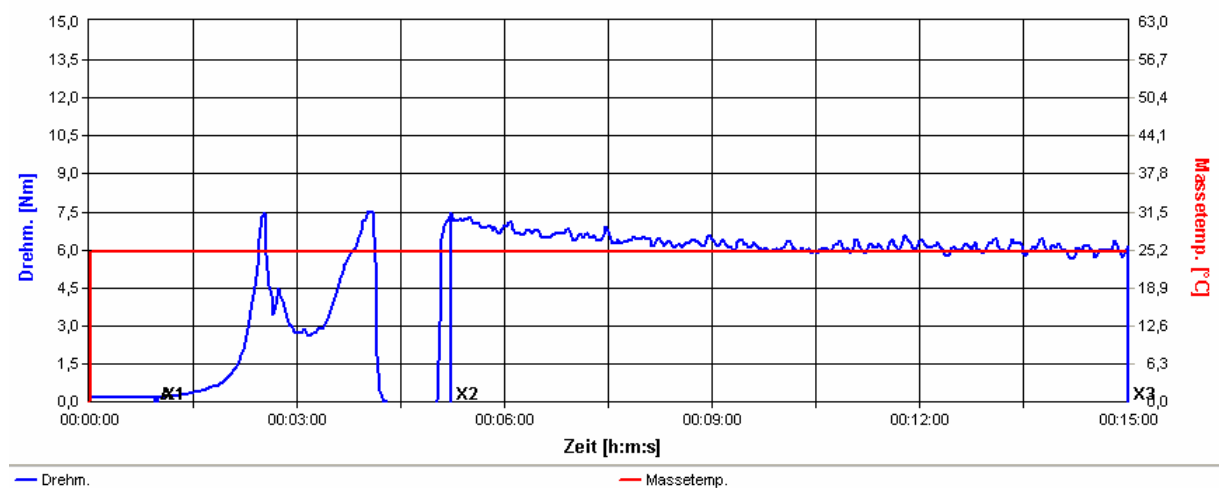
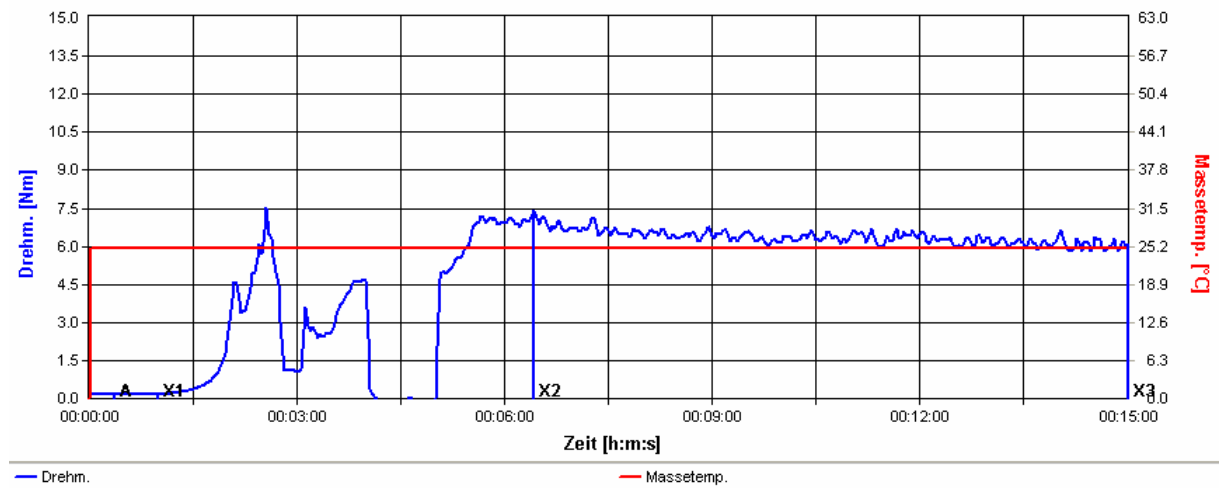
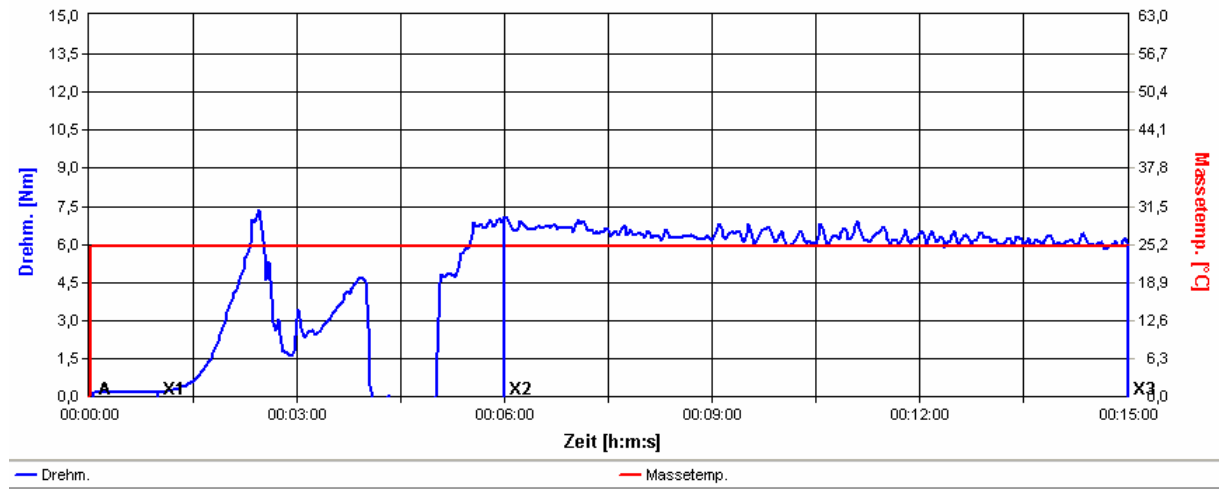


IX

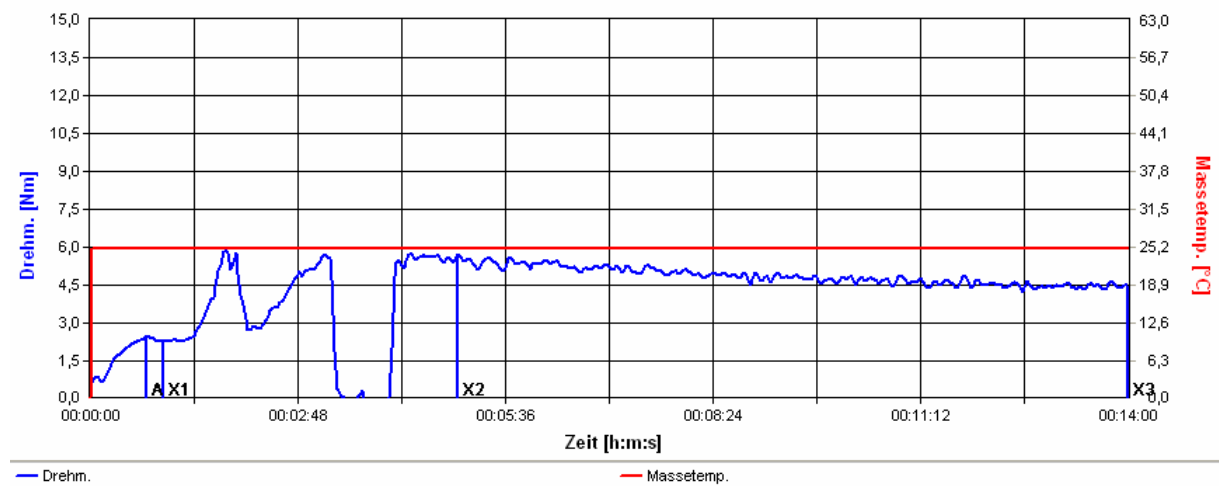
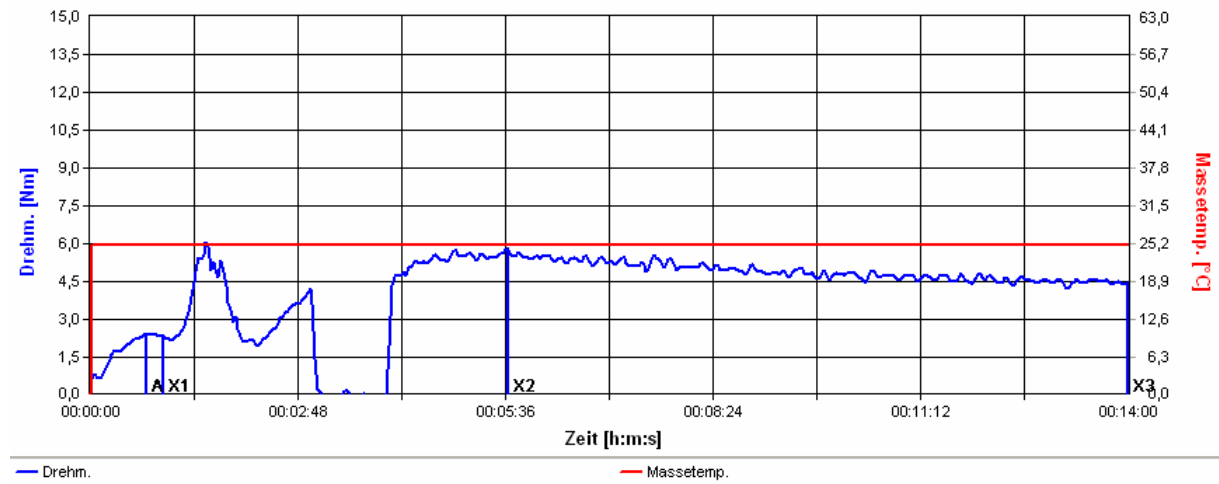
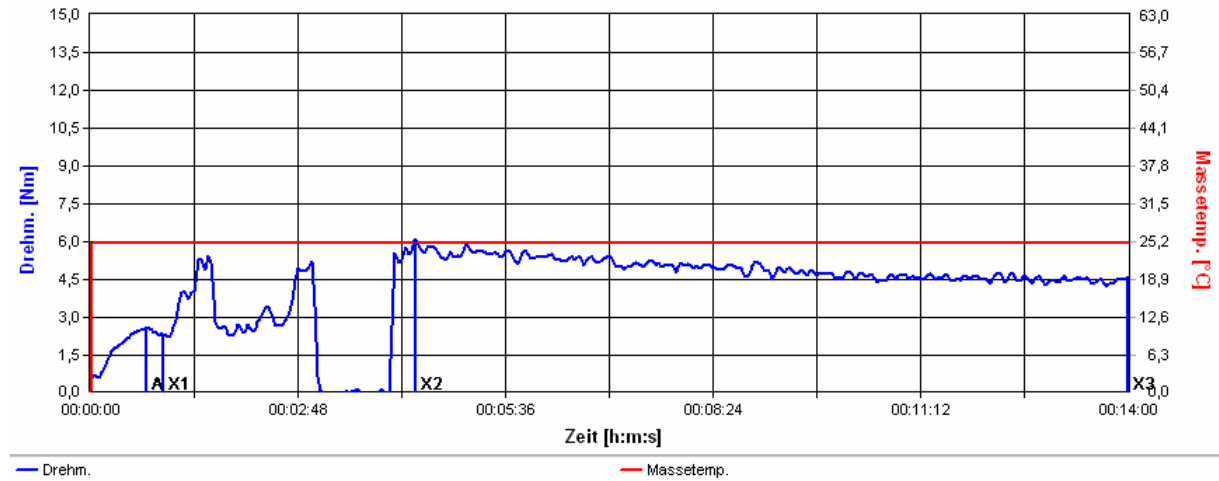


### 9.8 Einfluss der Zusatzvariante

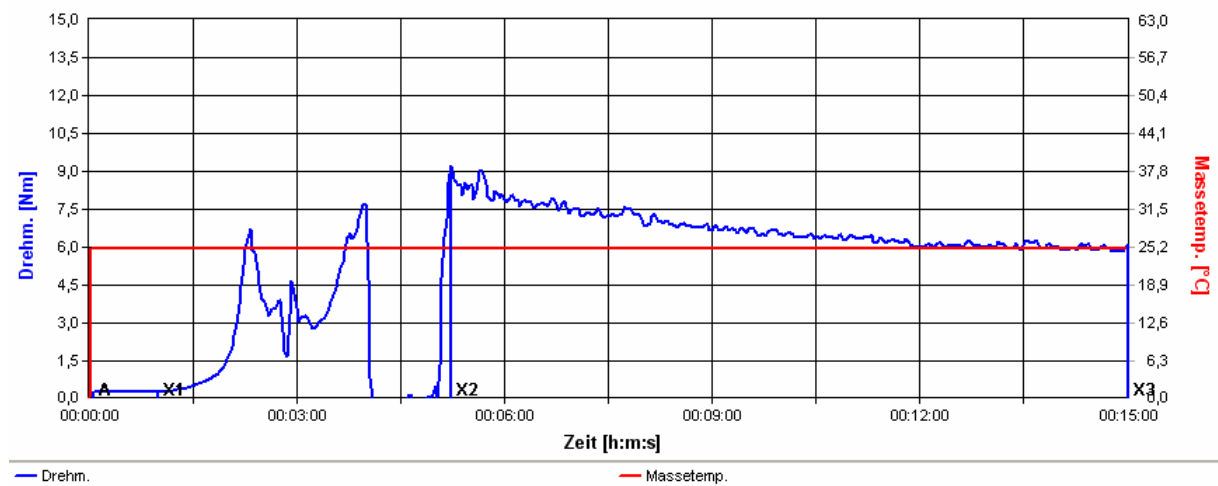
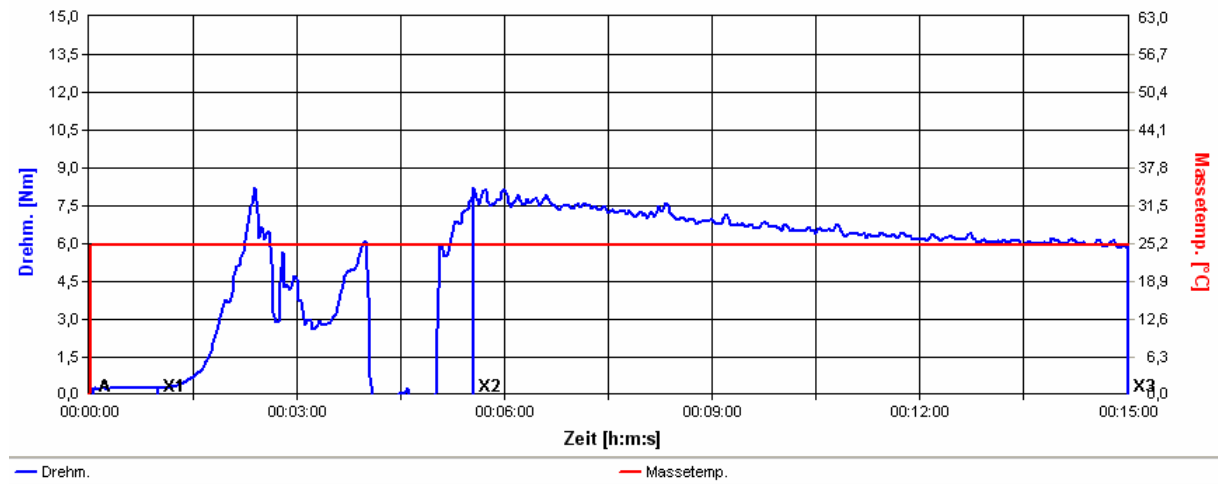
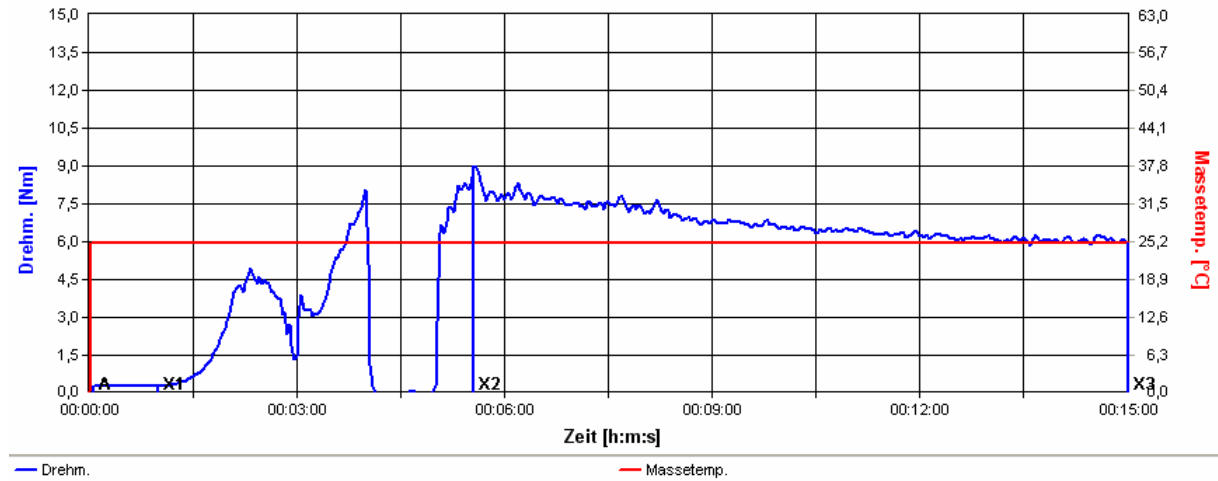
#### Roggenmehl ohne Zusätze



**Roggenmehl mit 30 % Sauerteig, 2 % Hefe und 2 % Salz**

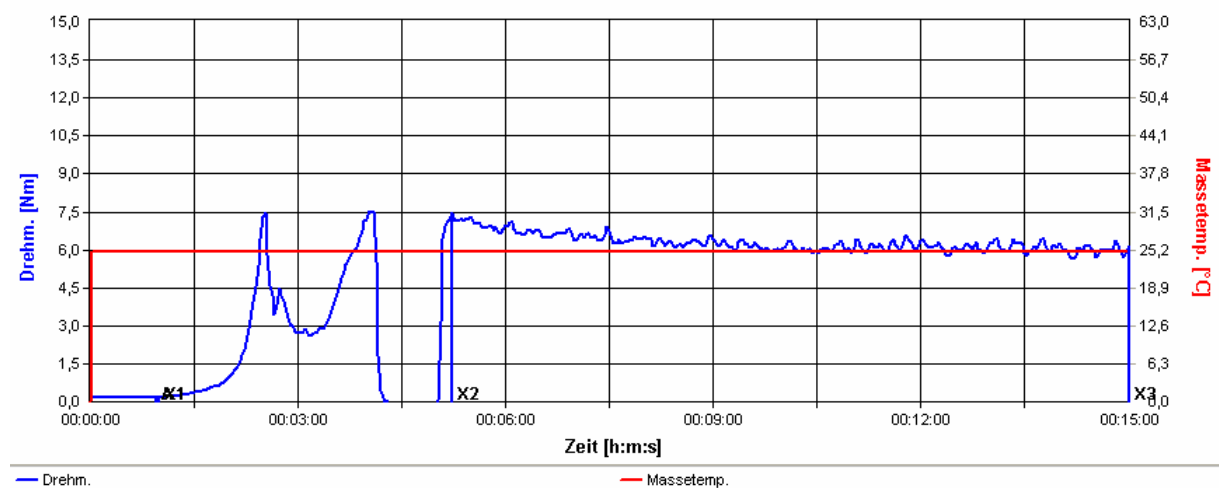
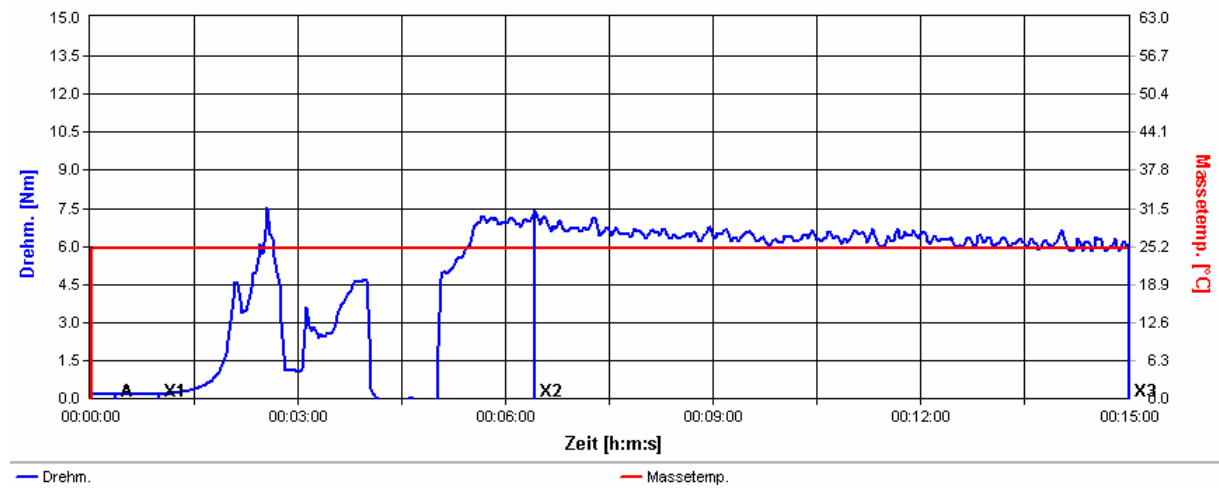
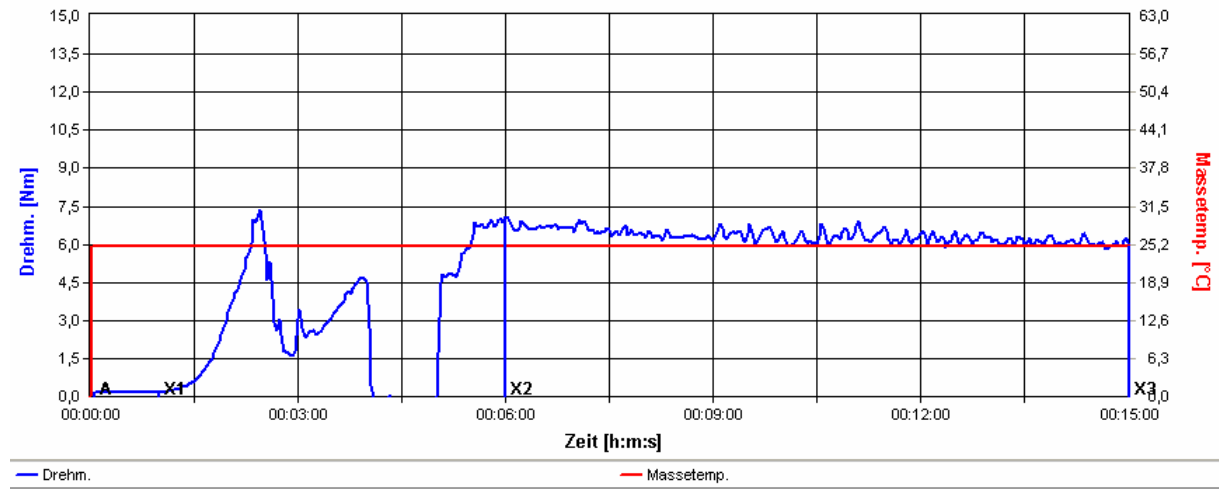


### Roggenmehl mit 0,9 % Milchsäure, 2 % Hefe und 2 % Salz

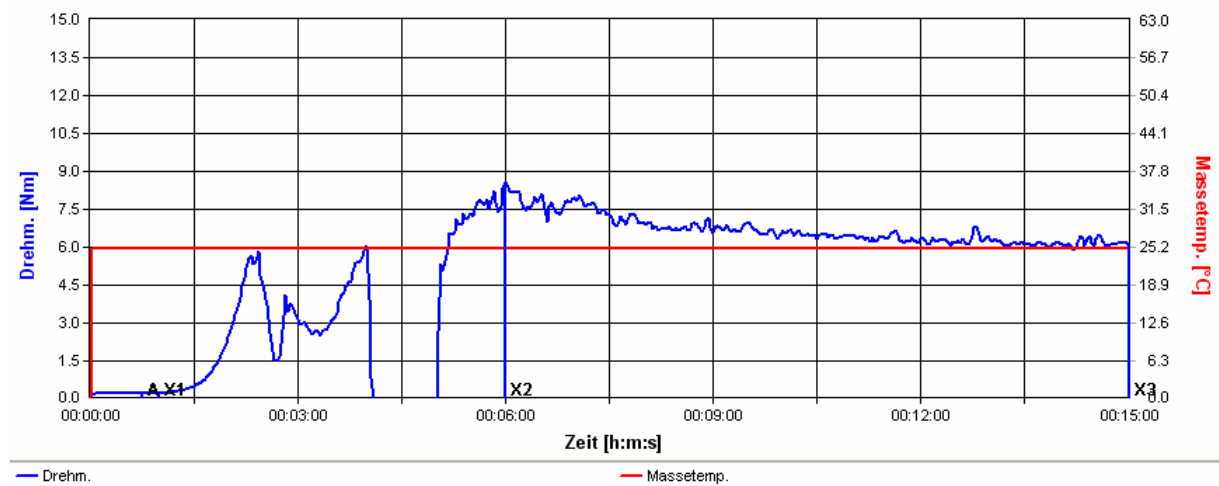
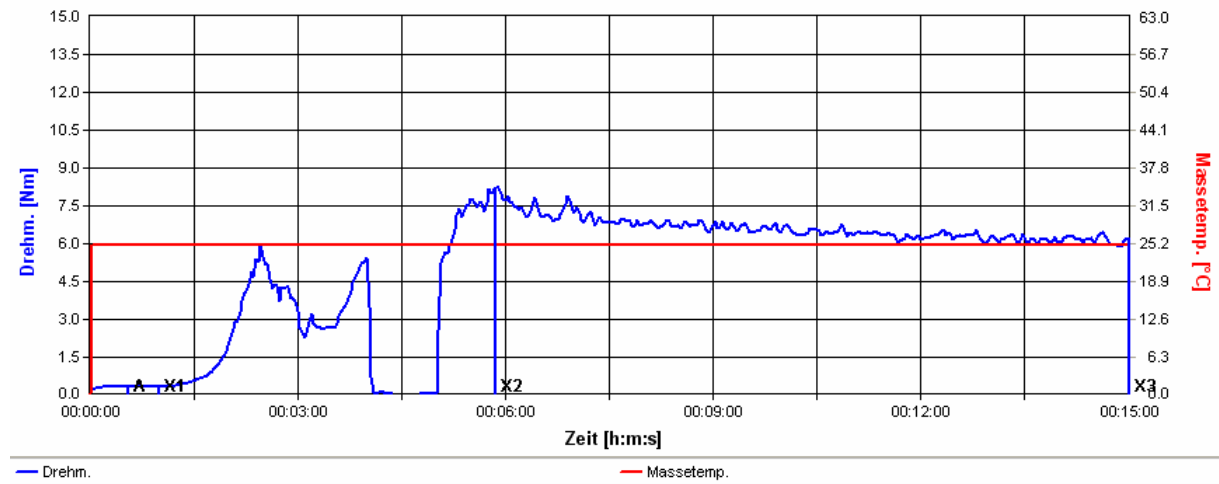
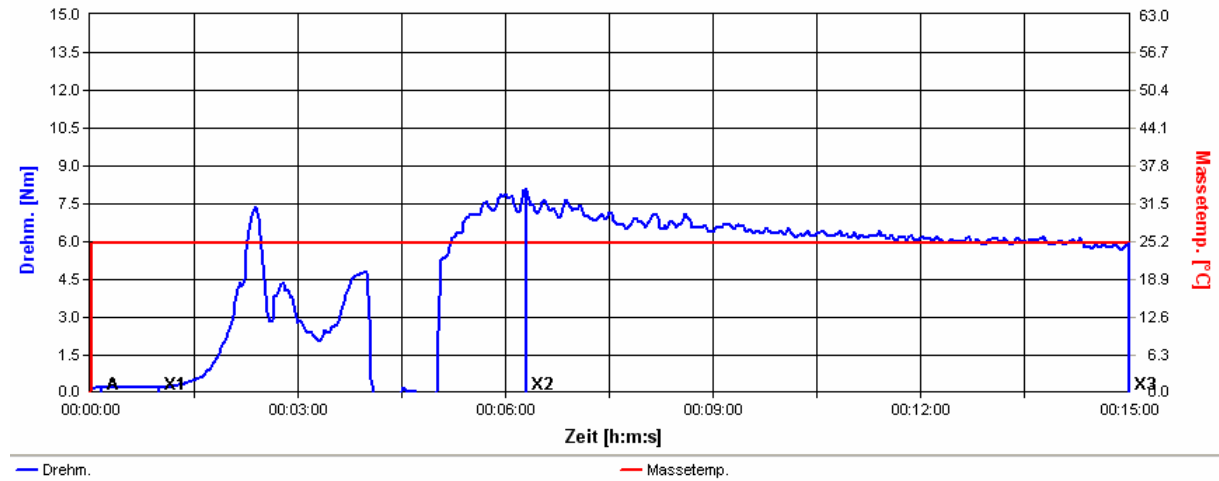


## 9.9 Einfluss der Mehlmischungsvariante von Roggen und Weizen

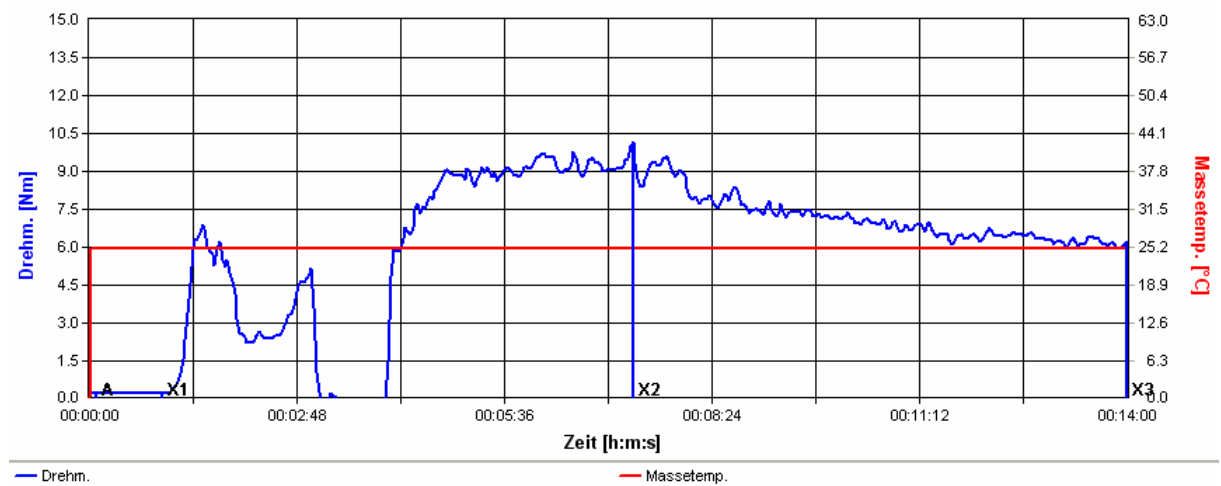
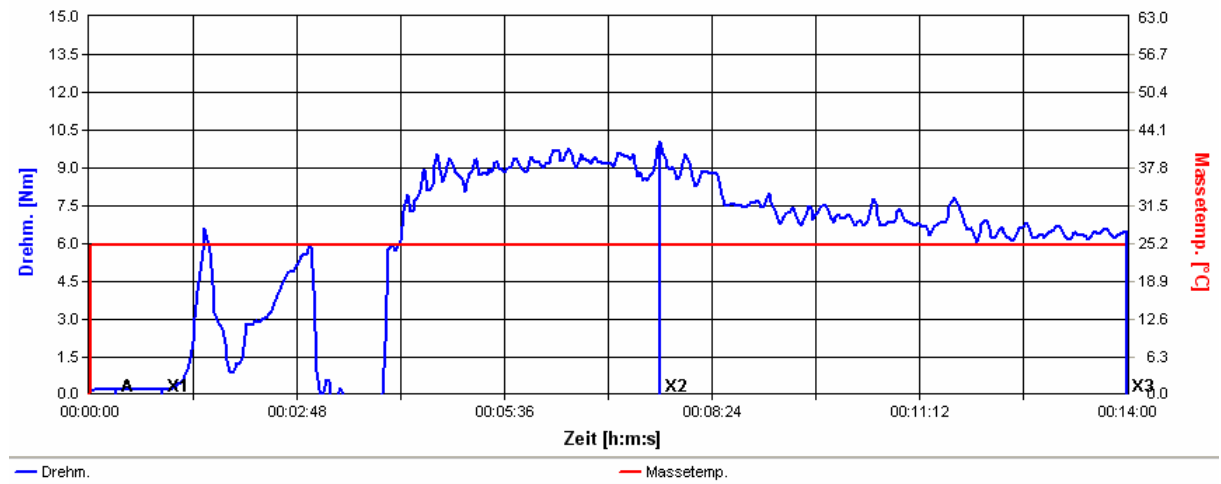
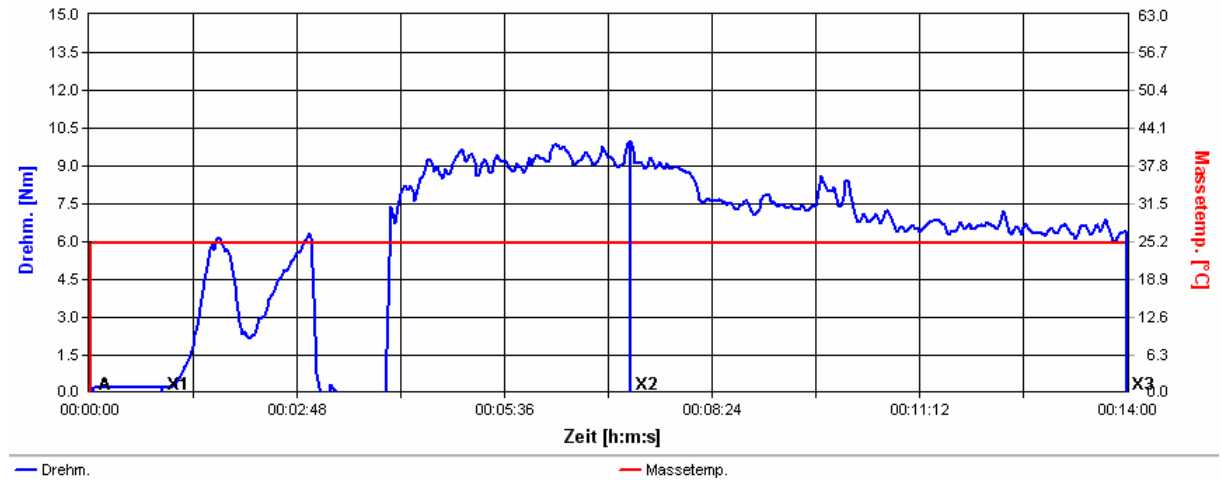
Roggenmehl: 100 %



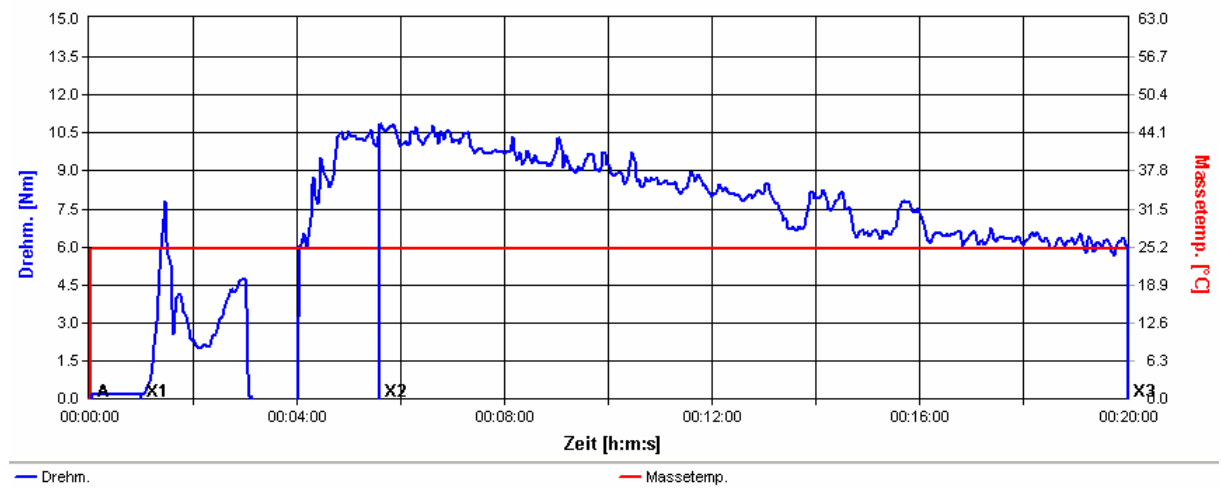
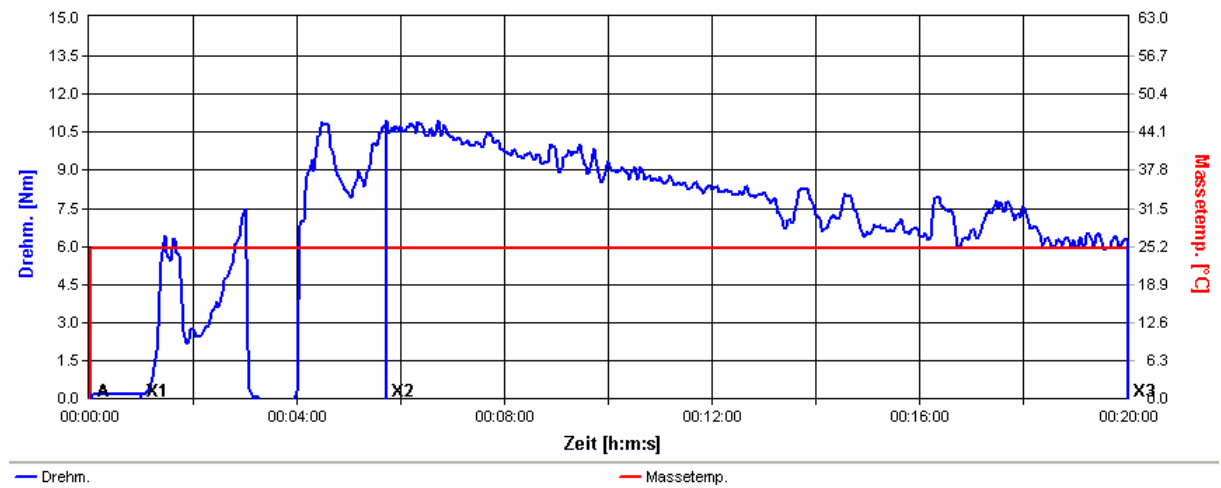
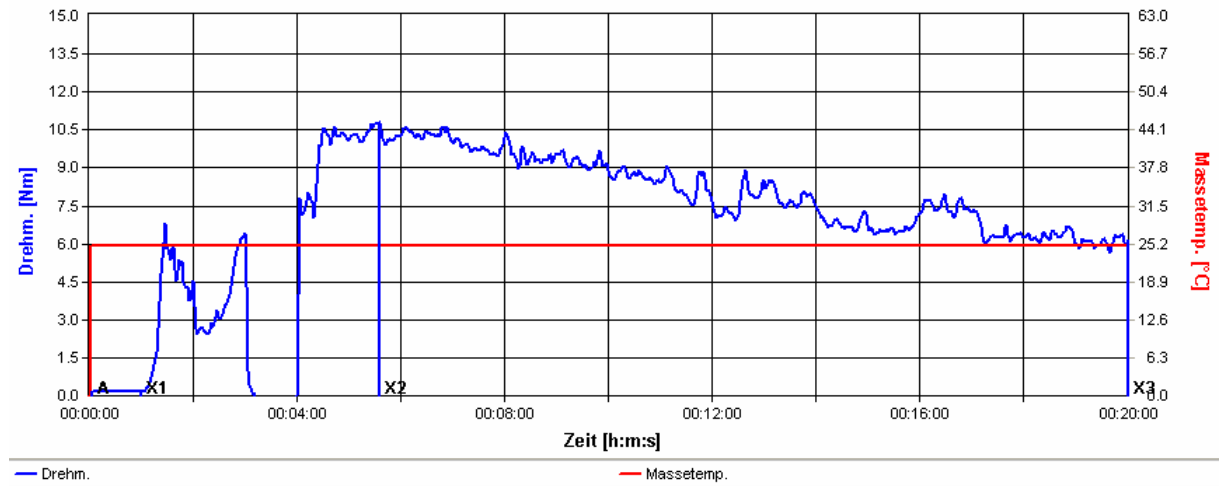
Roggenmehl:Weizenmehl = 90:10



Roggenmehl:Weizenmehl = 80:20



Roggenmehl:Weizenmehl = 70:30

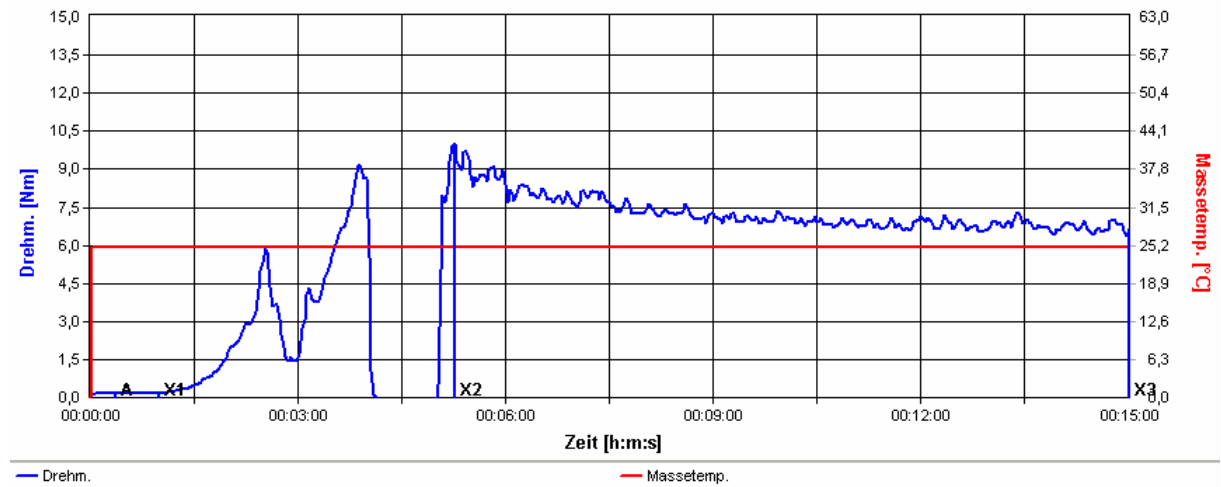




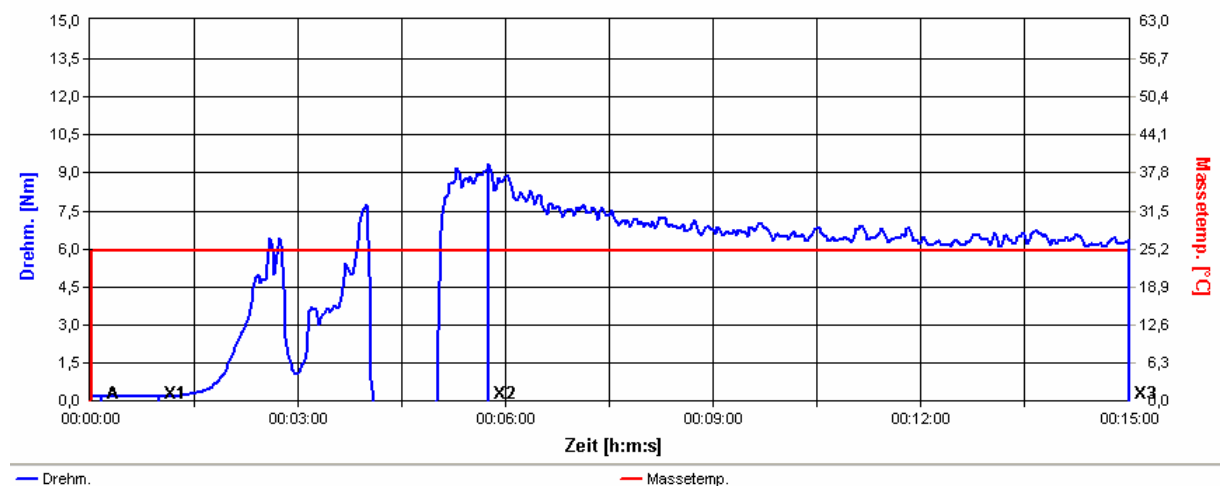
## 9.10 Einfluss von Enzymen

### 9.10.1 Vorversuch

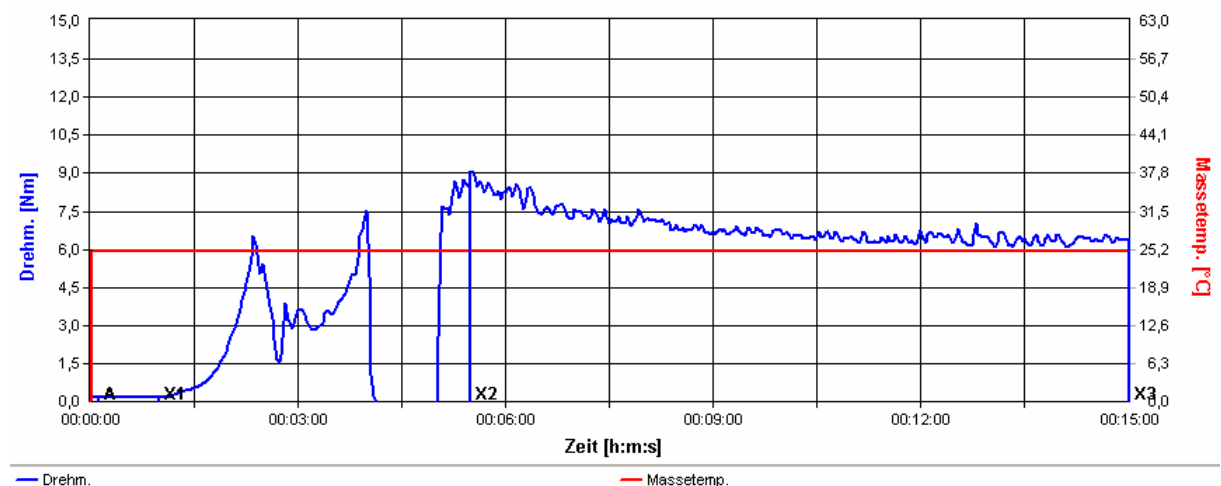
#### Standard



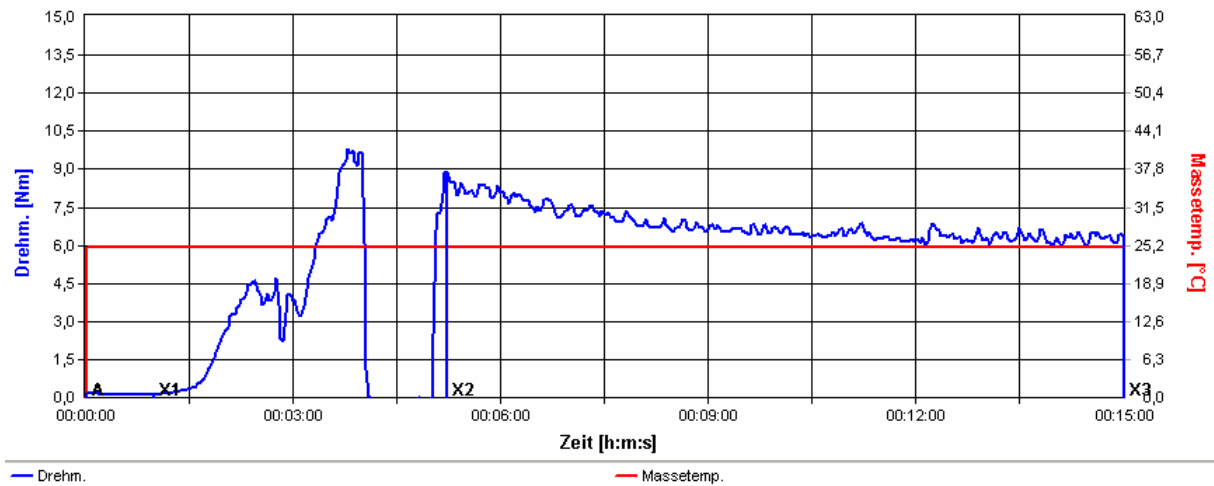
#### Lipase (Alphamalt LP 12066)



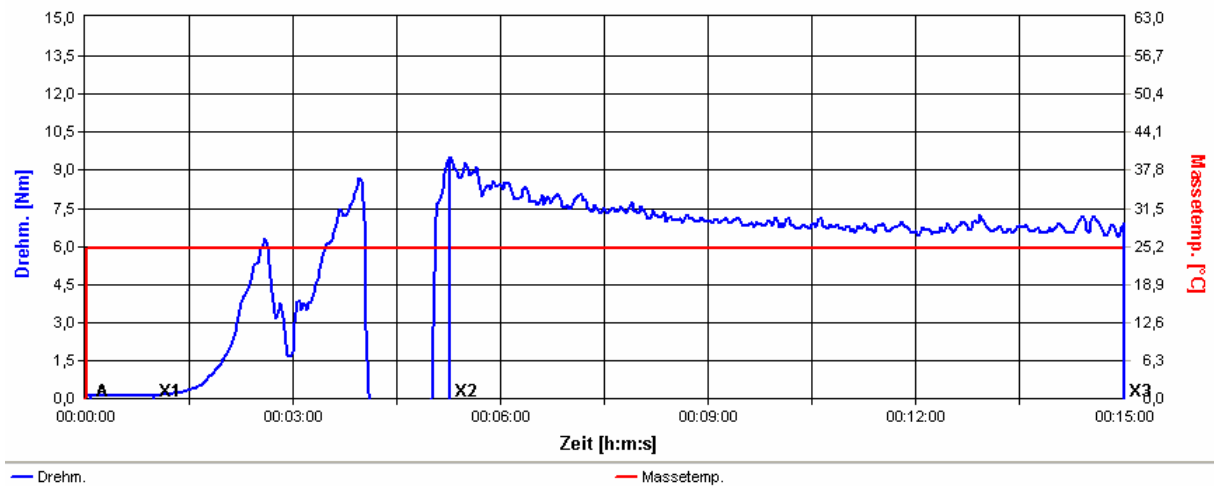
#### Amylase (Grindamyl A 10000)



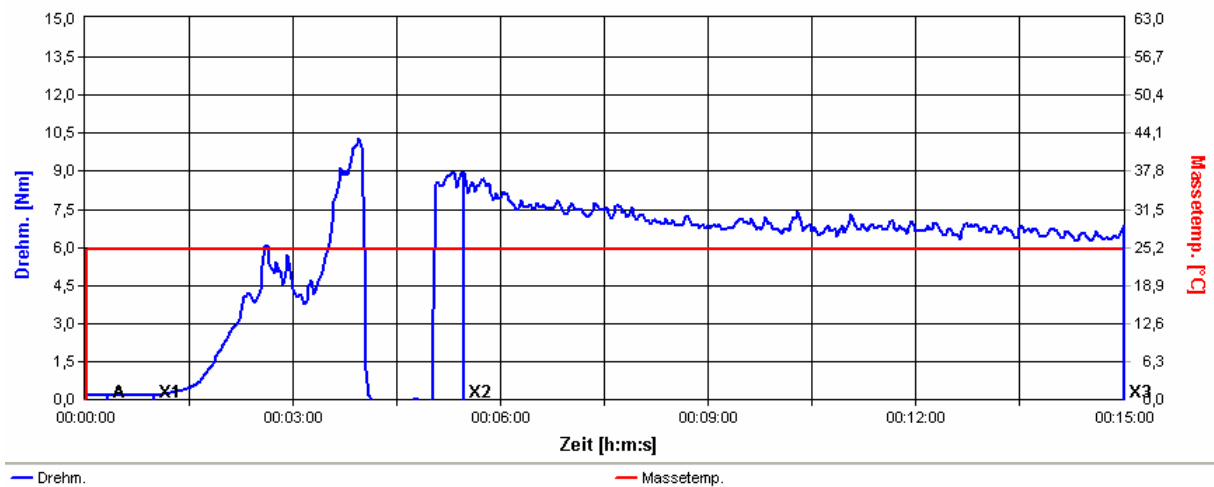
### Amylase (Grindamyl MAX-LIFE E 16)



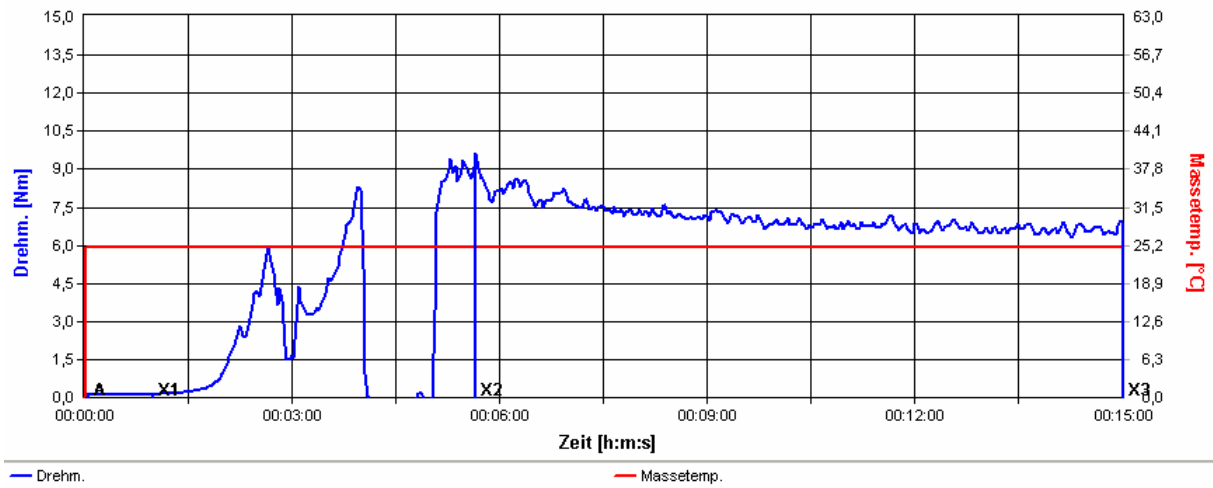
### Hemicellulase (Alphamalt H 8043)



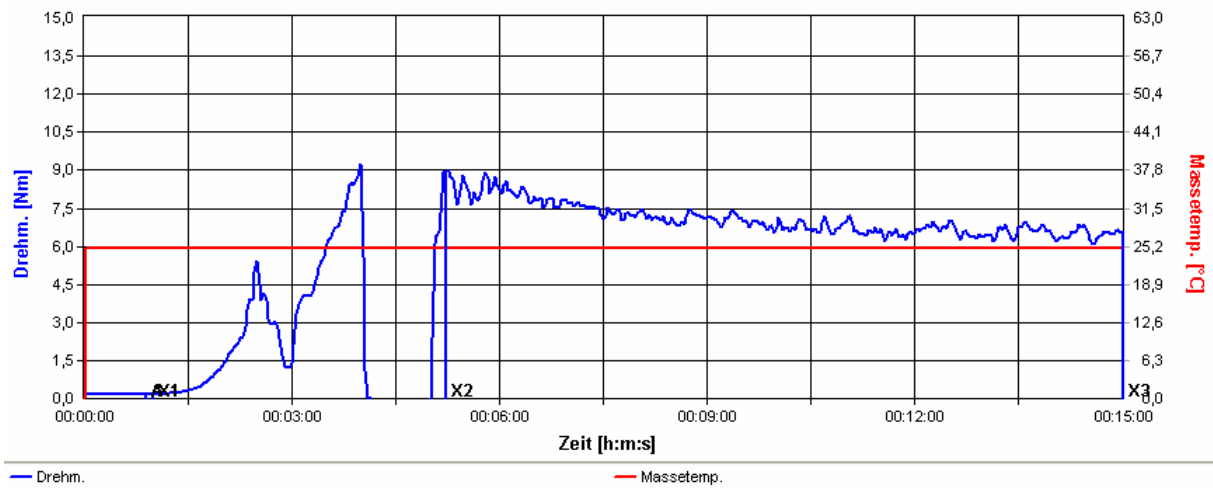
### Hemicellulase (Alphamalt TTC)



### Xylanase (Veron HF)

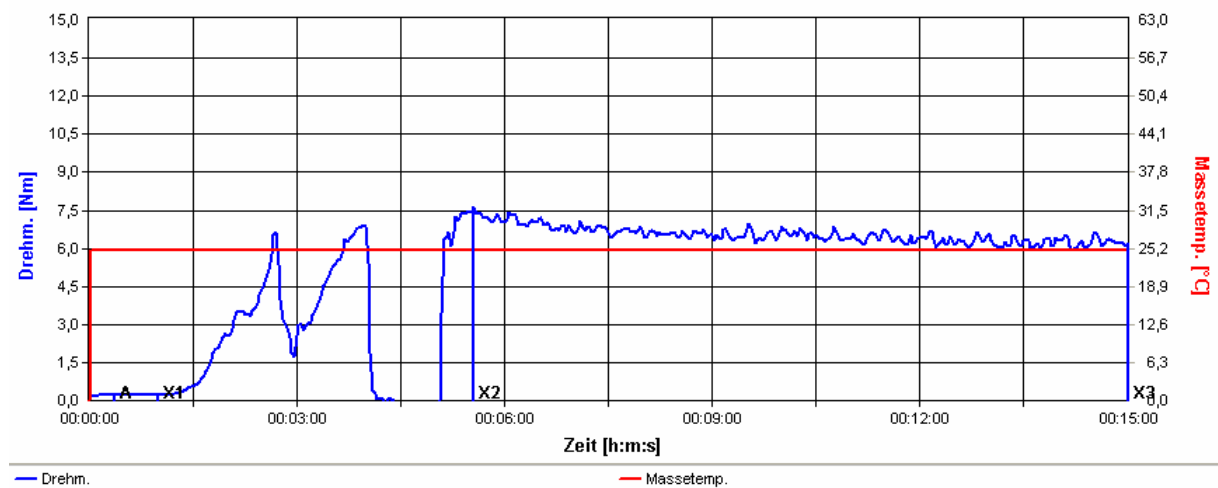
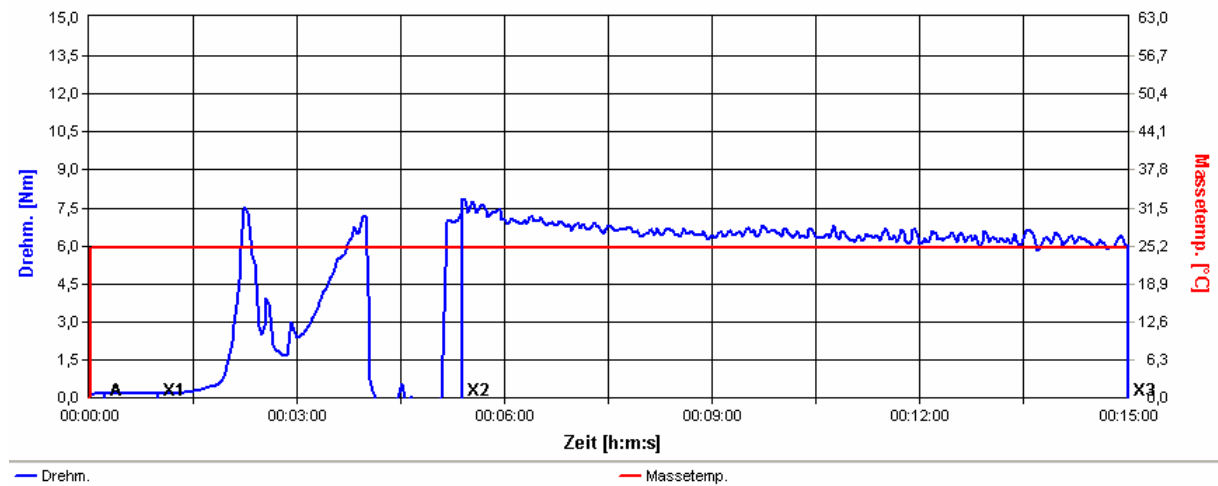
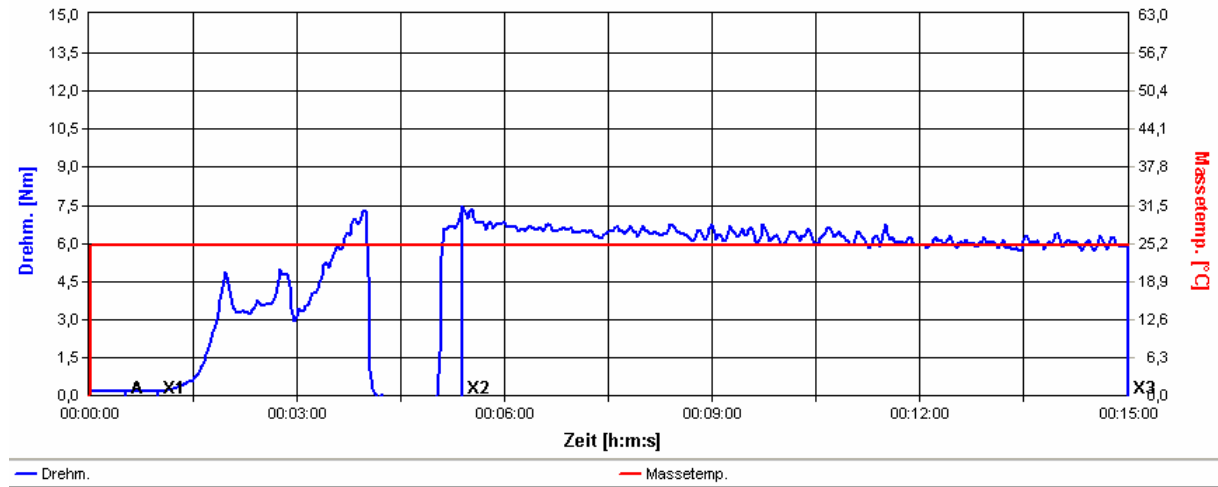


### Xylanase (Veron Spezial)

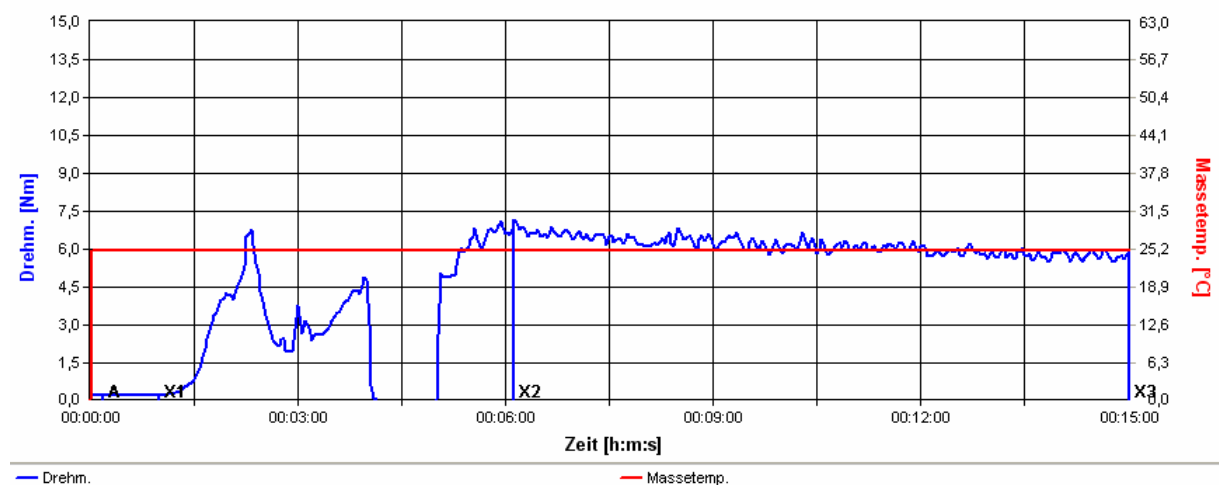
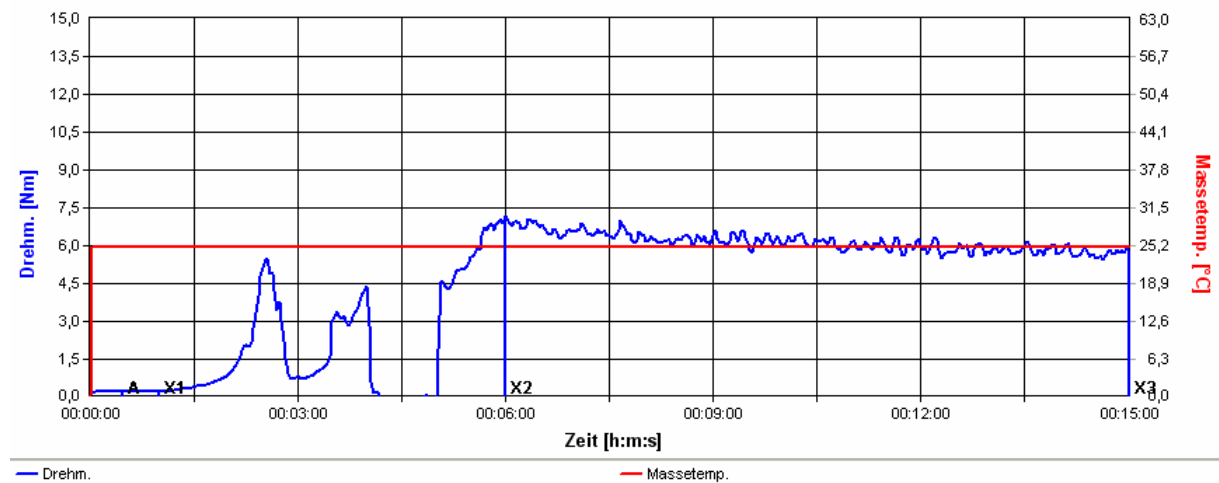
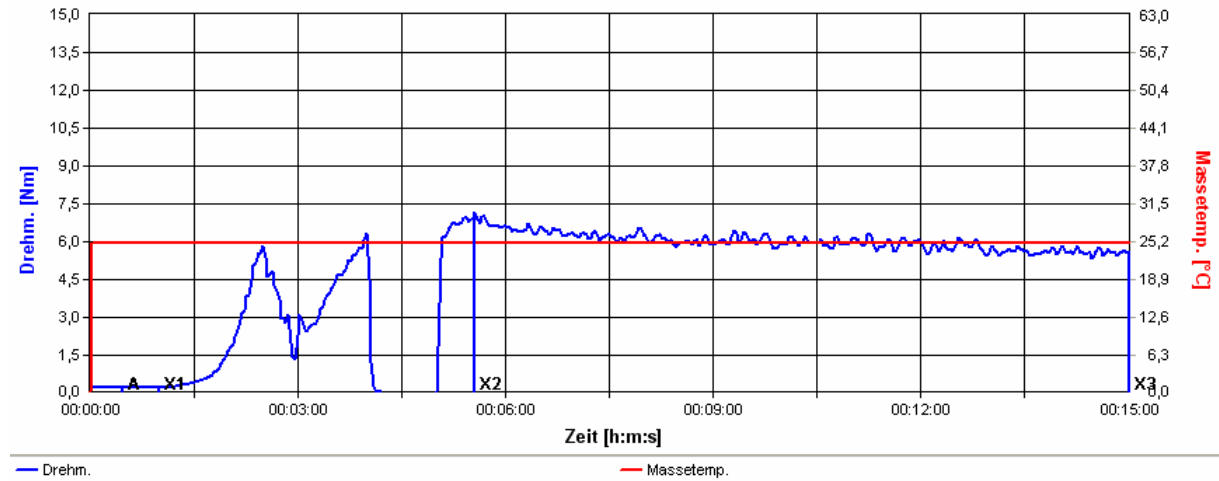


### 9.10.2 Untersuchungen bei 25 °C

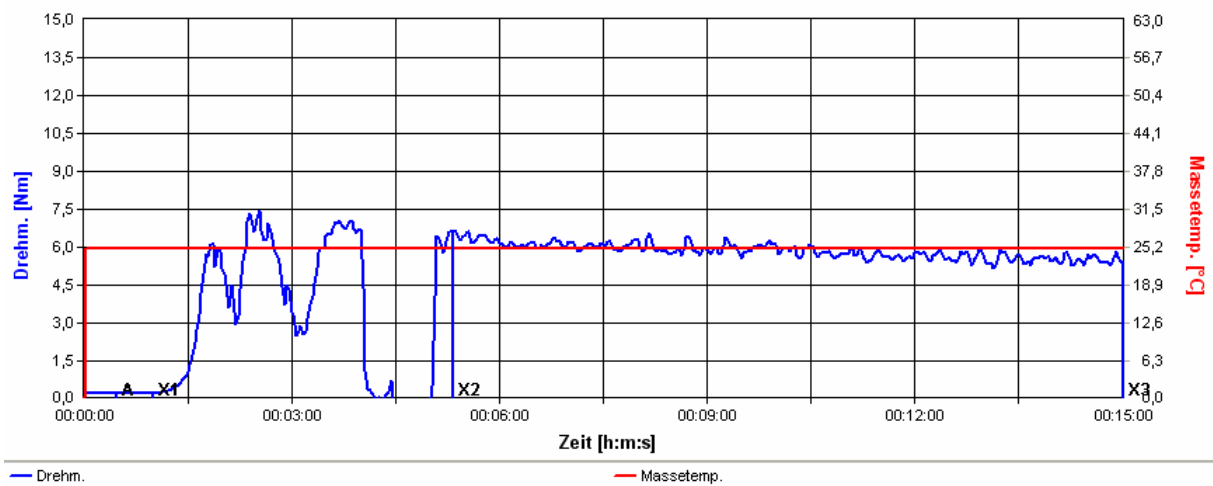
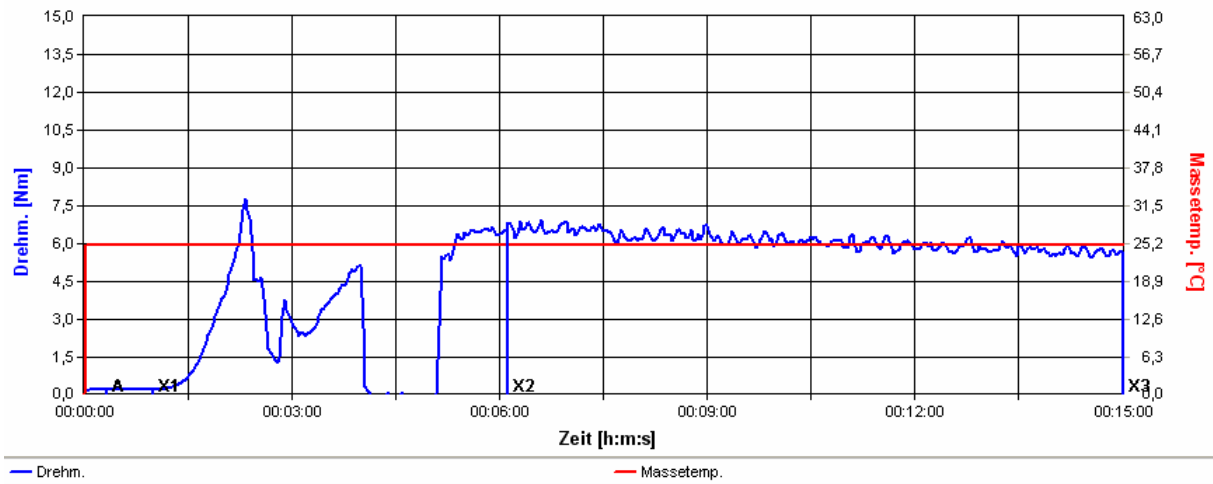
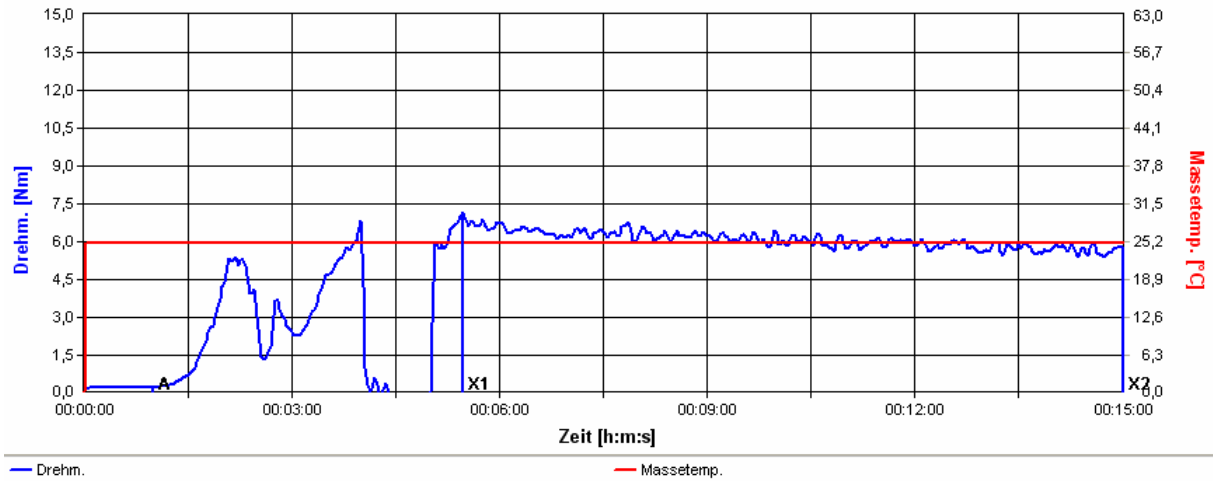
#### Standard



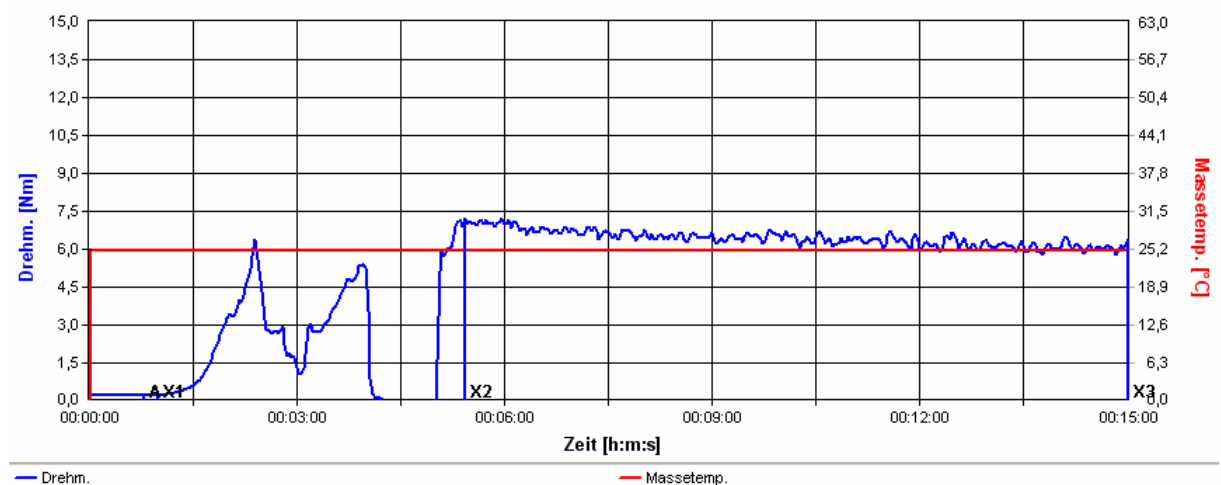
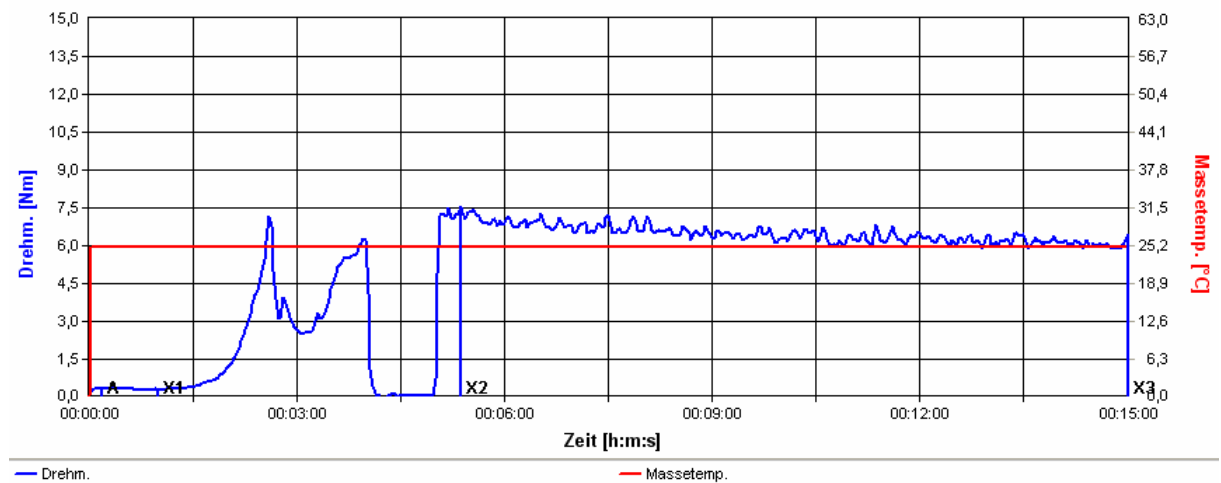
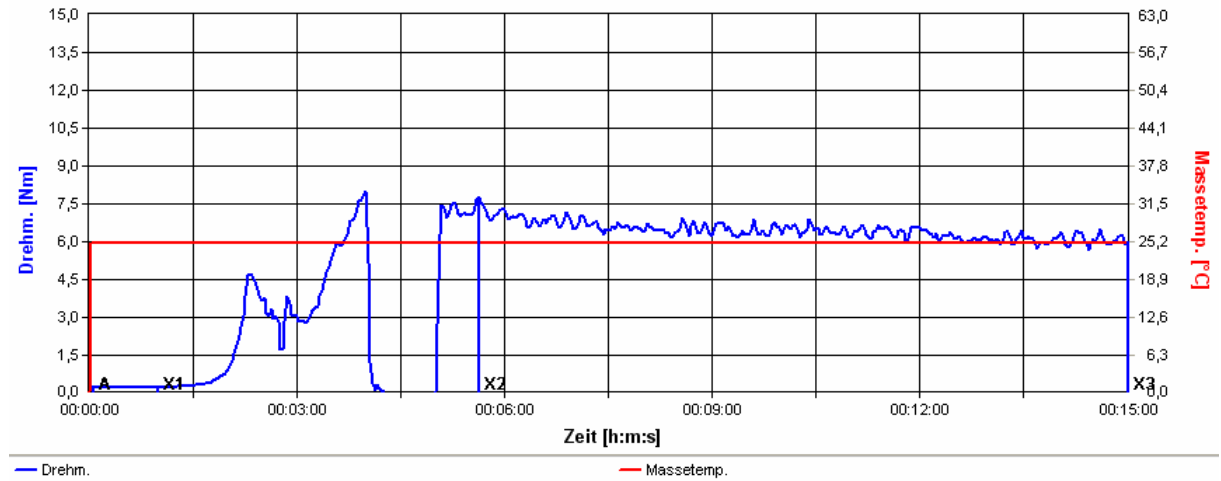
### Amylase (Grindamyl MAX-LIFE E 16)



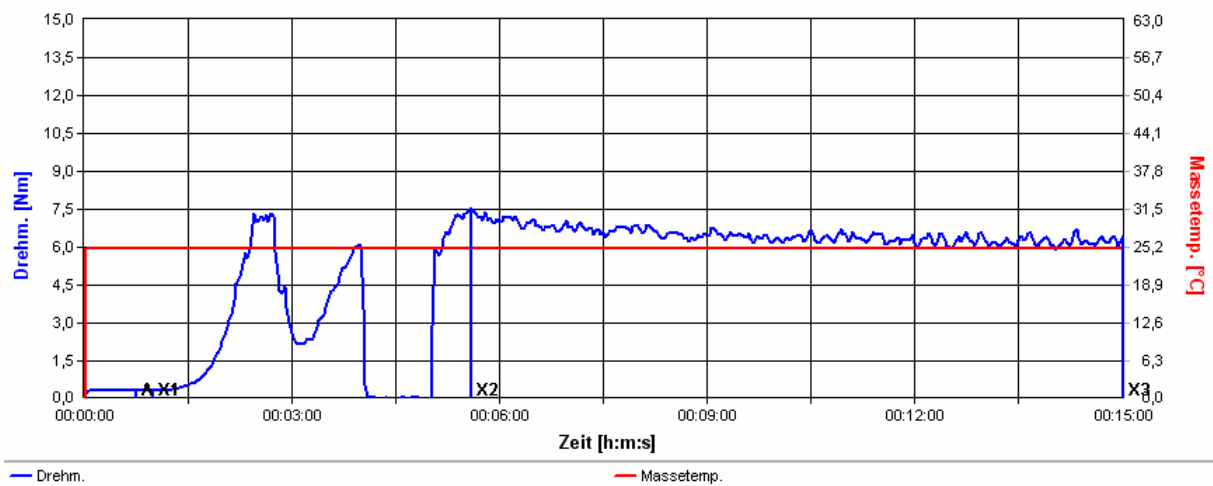
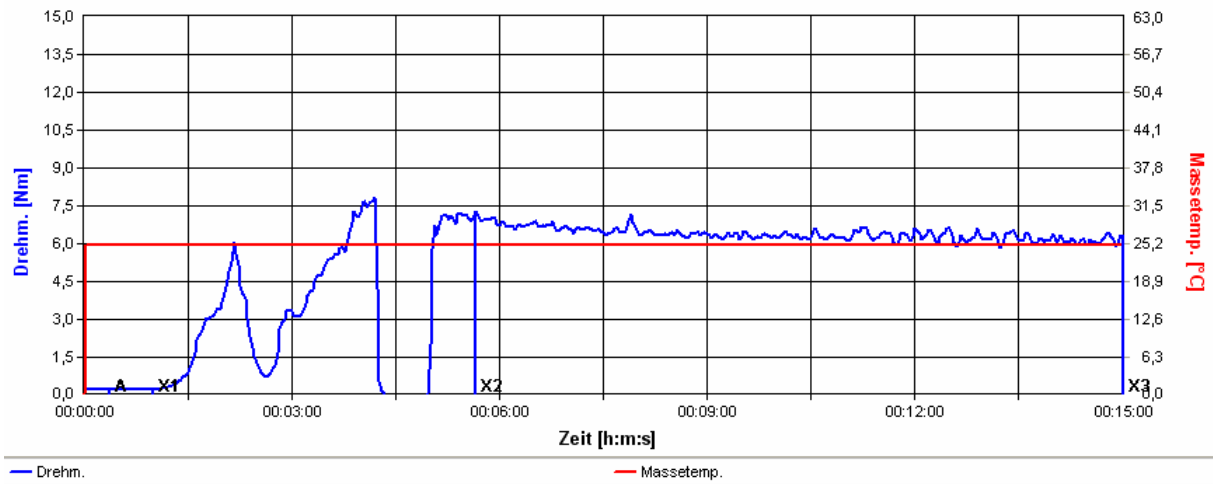
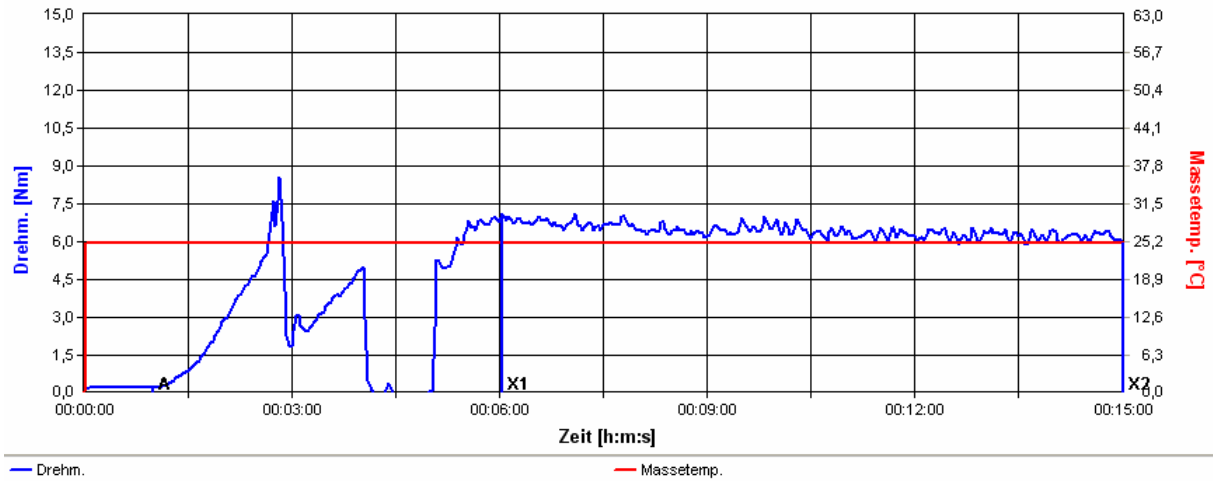
Lipase (Alphamalt LP 12066)



### Hemicellulase (Alphamalt TTC)



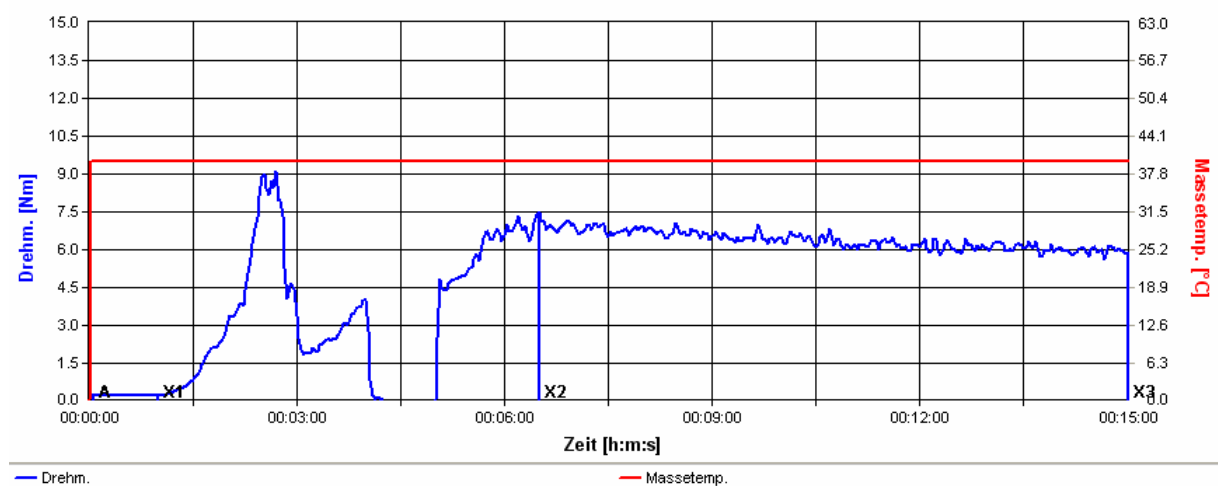
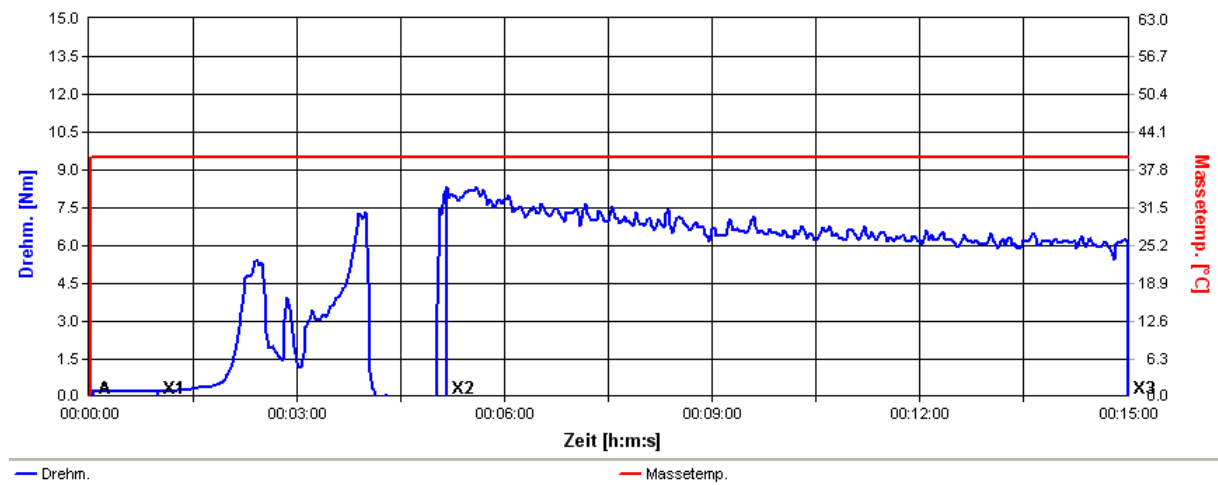
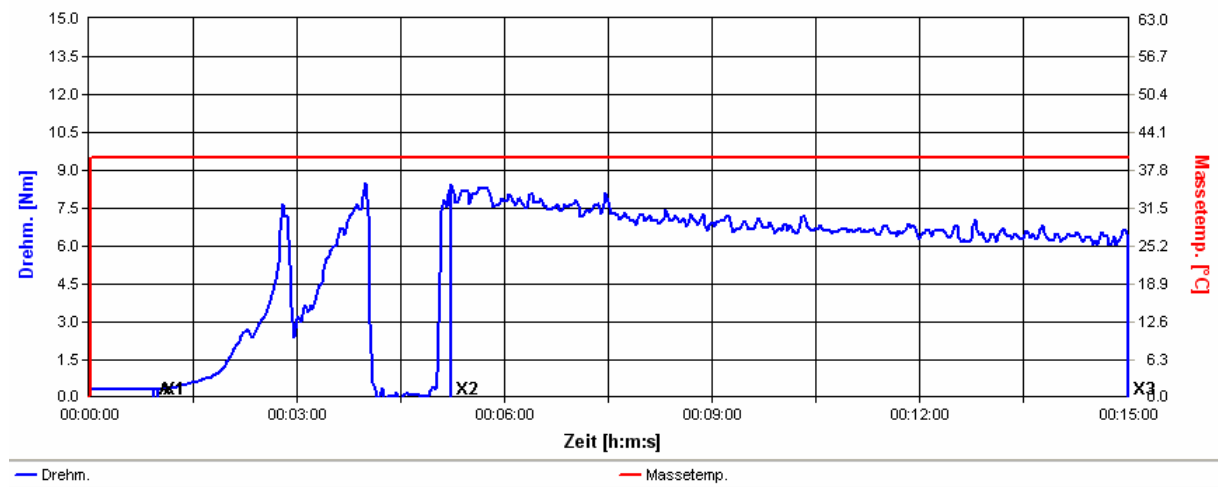
Xylanase (Veron HF)



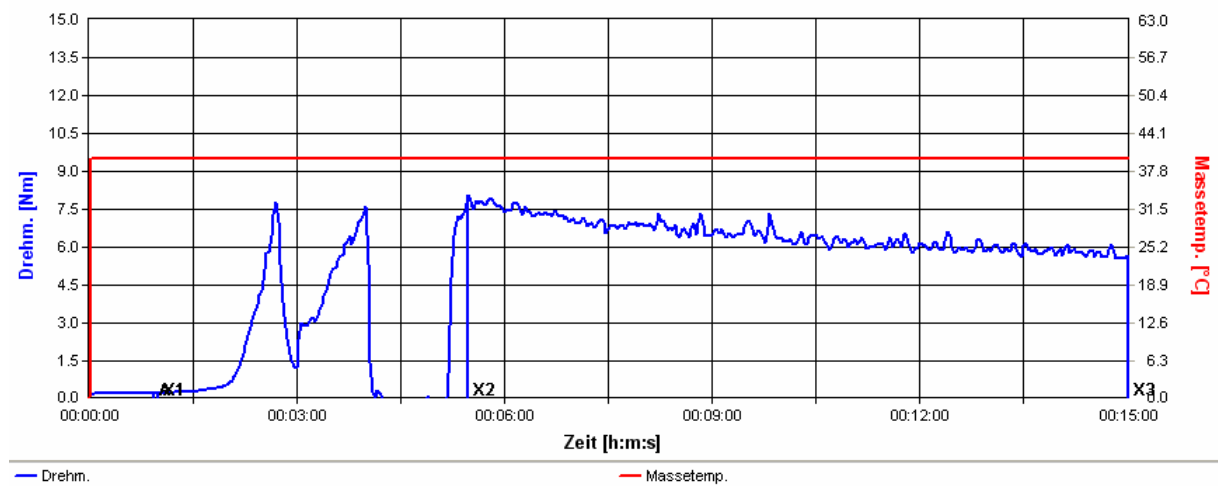
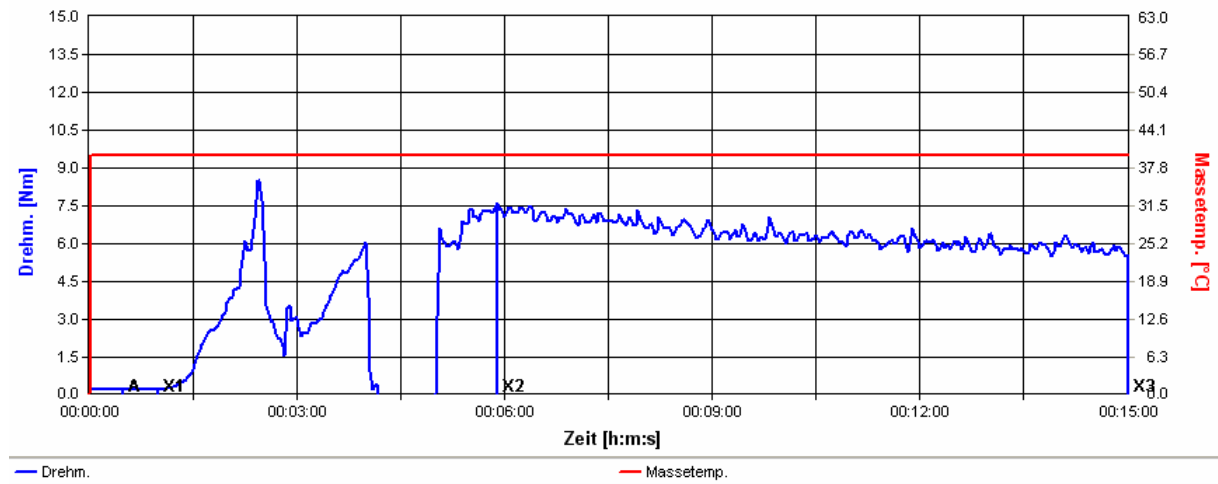
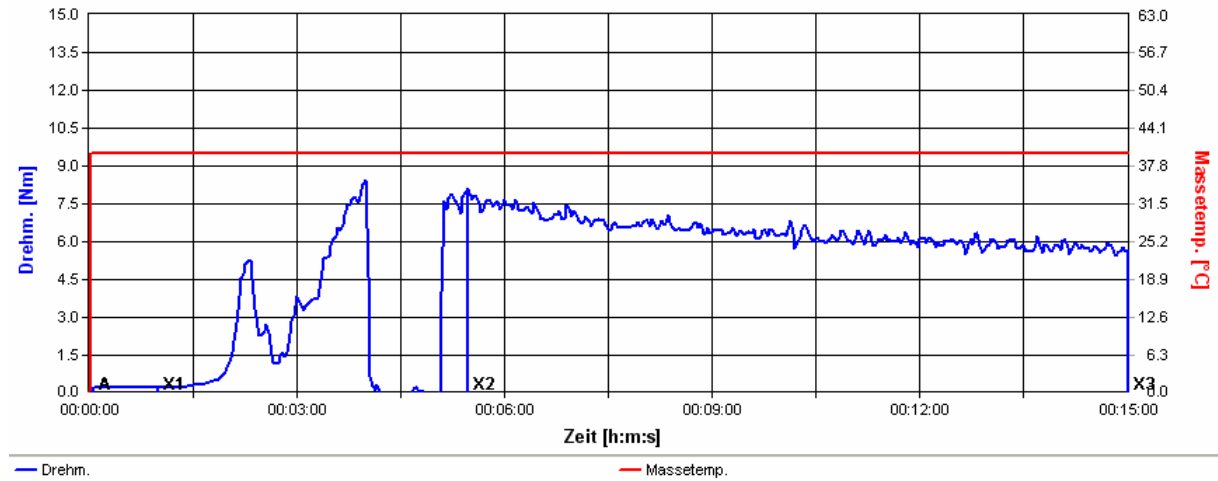


### 9.10.3 Untersuchungen bei 40 °C

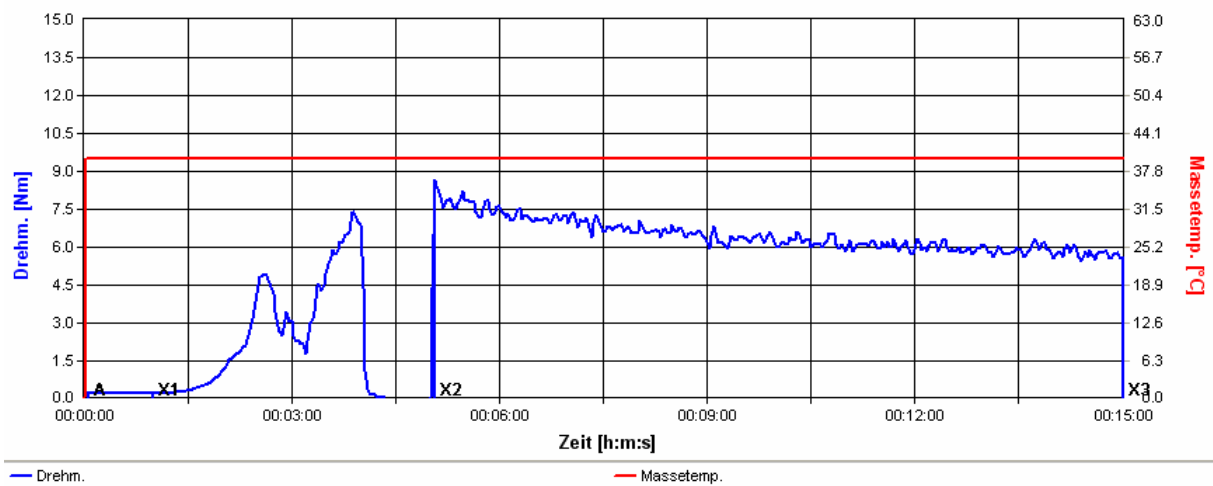
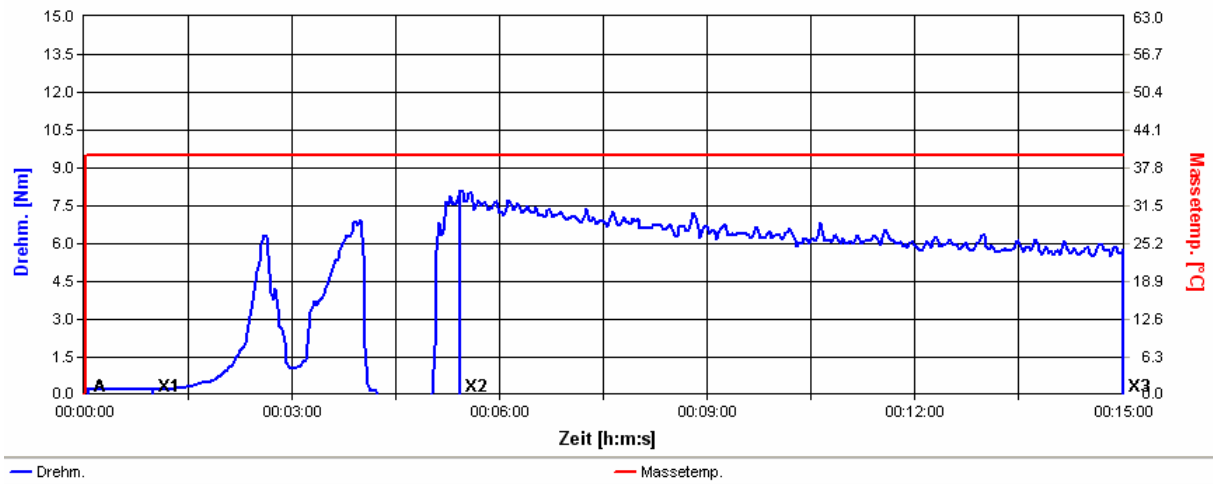
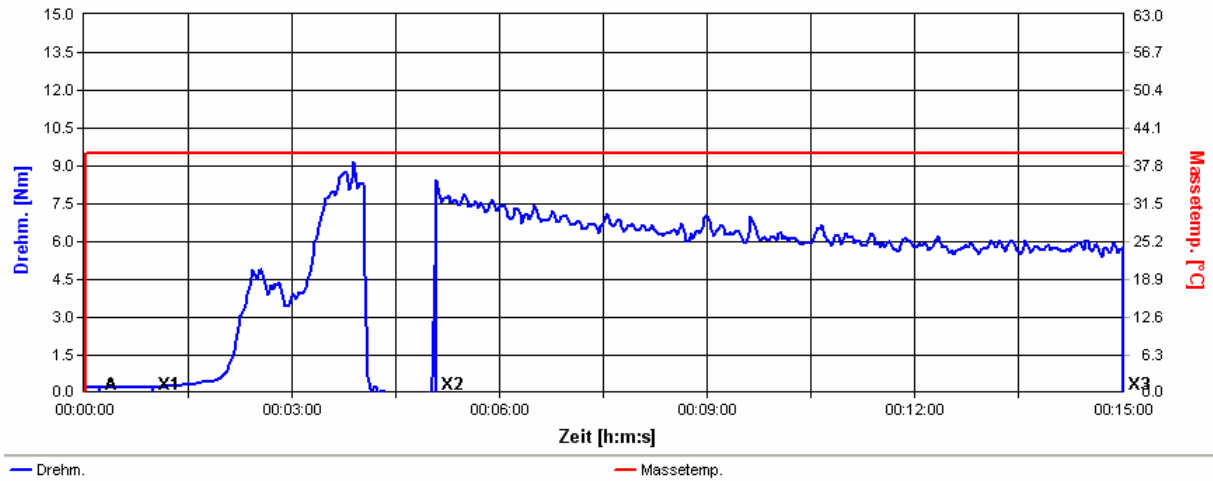
#### Standard



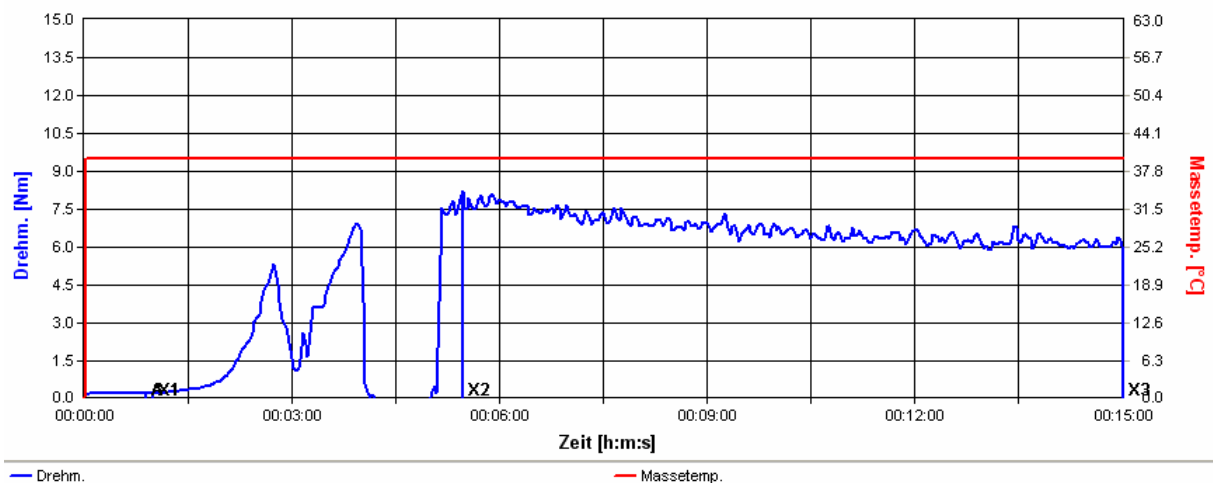
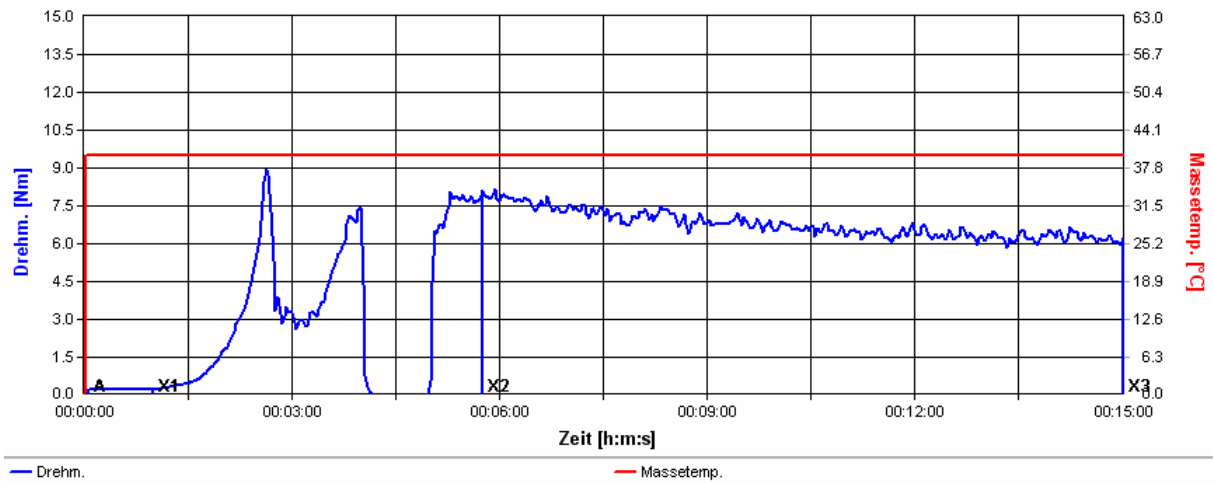
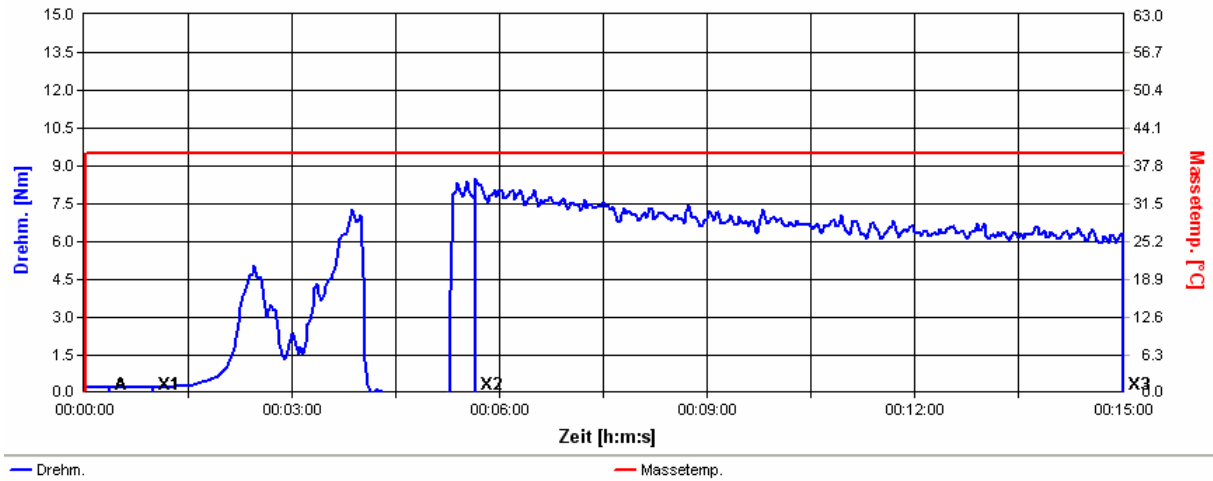
### Amylase (Grindamyl MAX-LIFE E 16)



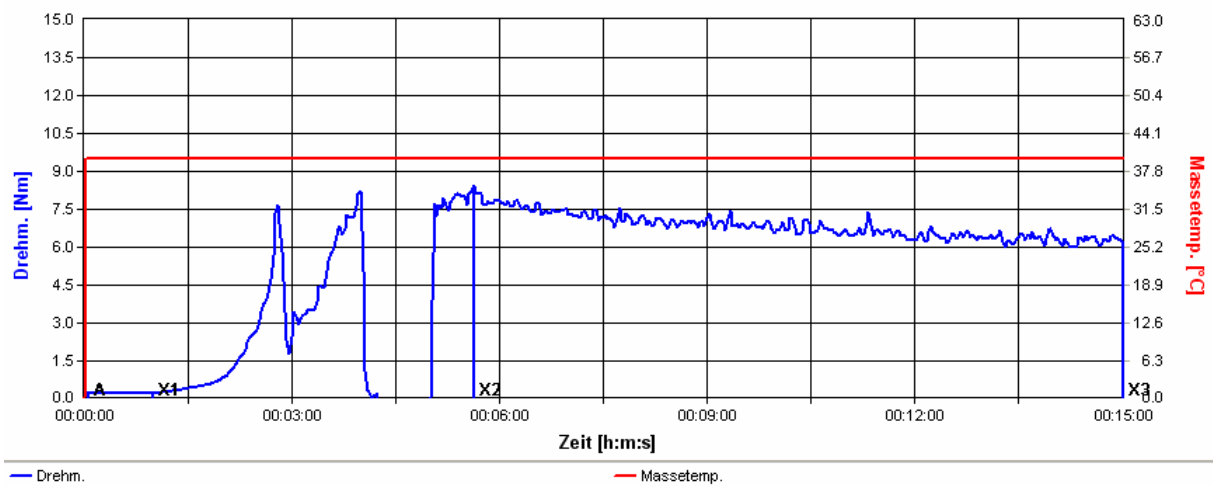
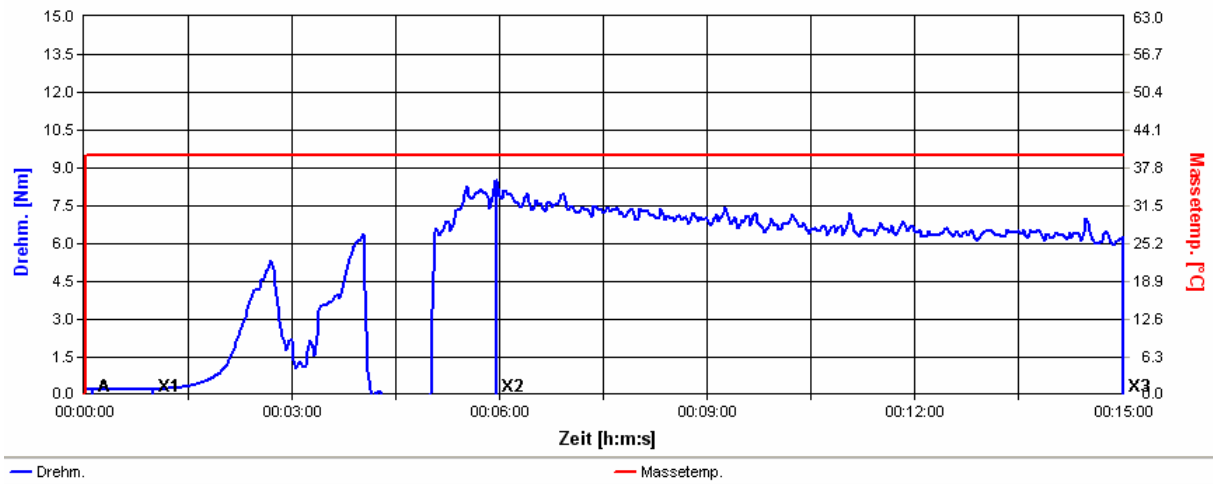
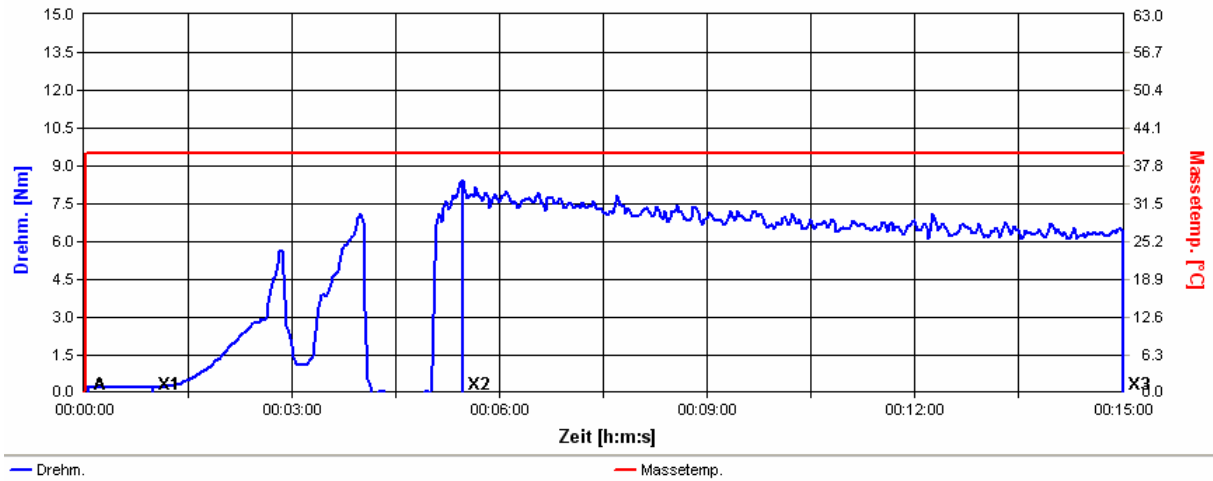
Lipase (Alphamalt LP 12066)



### Hemicellulase (Alphamalt TTC)




### Xylanase (Veron HF)



## 9.11 Spezifikationen von Enzymen

INFORMATION



Muehlenchemie

makes good flours even better

### Alphamalt TTC

Enzympräparat mit teigtrocknenden Eigenschaften

|                       |  |
|-----------------------|--|
| <b>Charakteristik</b> | Der Enzymkomplex basiert auf eine spezielle Pilz-Hemicellulase (Pentosanase). In Weizen- und Roggenmehlteigen formen Proteine und Pentosane ein starres Netzwerk. Dieses ist verantwortlich für das elastische Verhalten des Teiges während des Prozesses und die Stabilität beim backen. Die Hemicellulase von <b>Alphamalt TTC</b> wandelt wasserunlösliche Pentosane (Schleimstoffe) in lösliche Fraktionen um, die Gele mit hoher Wasserabsorption bilden und somit zur Abtrocknung der Teige führen. Aufgrund der Abwesenheit von proteolytischen Aktivitäten wird der Teig, ohne Verlust von Stabilität, aufgelockert. |
| <b>Herkunft</b>       | Nicht-pathogener <i>Trichoderma longibrachiatum</i> Stamm (GRAS Status)  |
| <b>Anwendung</b>      | Für alle Arten von hefegetriebenen Gebäcken, insbesondere <ul style="list-style-type: none"> <li>• Toast</li> <li>• Brötchen, Baguette &amp; Ciabatta</li> <li>• Mehlmischungen</li> </ul>   |
| <b>Eigenschaften</b>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• verleiht eine trockene Teigoberfläche</li> <li>• erhöht Quellung der Pentosane</li> <li>• verbessert die Teigstabilität und Toleranz</li> <li>• steigert die Maschinengängigkeit</li> </ul>   |
| <b>Dosierung</b>      | 5 - 10 g auf 100 kg Mehl für optimale Teigtrocknung, Höhere Dosierungen 10 – 15 g erhalten einen höheren Volumenzuwachs aber auch weichere Teige und klebrige Oberflächen. Für hohe Volumen sollten Amylasen und andere Hemicellulasen in Kombination mit niedriger Dosierung von <b>Alphamalt TTC</b> verwendet werden.   |
| <b>Lagerung</b>       | Kühl und trocken lagern; Aktivitätsverlust weniger als 10 % pro Jahr   |
| <b>Verpackung</b>     | Kartons oder Säcke mit Polyethyleninnenbeutel, 25 kg netto   |

Muehlenchemie GmbH & Co. KG

Kurt-Fischer-Str. 55 / D-22926 Ahrensburg


Telefon: + 49 (0) 41 02 / 202-001

Fax: + 49 (0) 41 02 / 202-010

E-Mail: [info@muehlenchemie.de](mailto:info@muehlenchemie.de)

[www.muehlenchemie.de](http://www.muehlenchemie.de)

Version 20.01.2004 Print 09.07.2004



STERNWYWIOL

Gruppe

## INFORMATION

**Mühlchemie**

makes good flours even better

**Alphamalt H 8043**

## Aktive Pilz-Hemicellulase

|                        |   |
|------------------------|---|
| <b>Charakteristika</b> | Standardisierte reine Pilz-Hemicellulase mit ausgewählter endo-hydrolytischer Aktivität.  |
| <b>Herkunft</b>        | Nicht pathogener <i>Aspergillus niger</i> (GRAS Status)   |
| <b>Aktivität</b>       | Hemicellulase: 800 u/g (DNS Methode für reduzierende Zucker bei pH 5.0)   |
| <b>Anwendung</b>       | Hefegetriebene Brote, Kuchen und Konditoreiwaren  |
| <b>Eigenschaften</b>   | <ul style="list-style-type: none"><li>• Erhöht das Volumen</li><li>• Bildet eine feine und weiche Krume</li><li>• Verstärkt Teigstabilität</li><li>• Verringert Klebrigkeit</li><li>• Hohe Dosiertoleranz</li></ul> |
| <b>Dosierung</b>       | 5 g – 17 g auf 100 kg Mehl  |
| <b>Lagerung</b>        | Bei kühler und trockener Lagerung in der Originalverpackung ist das Produkt mindestens 18 Monate haltbar.   |
| <b>Verpackung</b>      | Karton mit PE-Inliner, 25 kg netto  |

Mühlchemie GmbH &amp; Co. KG

Kurt-Fischer-Str. 55 / D-22926 Ahrensburg  
Telefon: + 49 (0) 41 02 / 202-001  
Fax: + 49 (0) 41 02 / 202-010  
E-Mail: [info@muehlenchemie.de](mailto:info@muehlenchemie.de)  
[www.muehlenchemie.de](http://www.muehlenchemie.de)

Version 03.05.2000 Print 09.07.2004

**STERNWYWIOL**  
Gruppe

## INFORMATION


**Mühlenchemie**

makes good flours even better

## Alphamalt LP 12066

### Lipase für Brot und Backwaren

|                                   |  |              |              |                       |           |                      |            |
|-----------------------------------|--|--------------|--------------|-----------------------|-----------|----------------------|------------|
| <b>Beschreibung</b>               | Alphamalt LP 12066 ist ein lipolytisches Enzympräparat, das aus ausgewählten Schimmelpilzen der Gattung <i>Aspergillus</i> gewonnen wird. Es spaltet sowohl Fette pflanzliche als auch tierischer Herkunft mit hoher Effektivität. Die resultierende Mischung aus Mono-, Di- und Triglyceriden sowie Glycerin und Fettsäuren verbessert die Krumenstruktur und erhöht das Backvolumen. |              |              |                       |           |                      |            |
| <b>Herkunft</b>                   | Nicht-pathogener <i>Aspergillus</i> -Stamm (GRAS Status)   |              |              |                       |           |                      |            |
| <b>Aktivität</b>                  | <table> <tr> <td>Pilz-Lipase:</td> <td>ca.. 850 u/g</td> </tr> <tr> <td>Optimaler pH-Bereich:</td> <td>6.0 – 7.0</td> </tr> <tr> <td>Optimale Temperatur:</td> <td>30 – 40 °C</td> </tr> </table>  | Pilz-Lipase: | ca.. 850 u/g | Optimaler pH-Bereich: | 6.0 – 7.0 | Optimale Temperatur: | 30 – 40 °C |
| Pilz-Lipase:                      | ca.. 850 u/g   |              |              |                       |           |                      |            |
| Optimaler pH-Bereich:             | 6.0 – 7.0  |              |              |                       |           |                      |            |
| Optimale Temperatur:              | 30 – 40 °C   |              |              |                       |           |                      |            |
| <b>Anwendungen</b>                | Brot und Backwaren aus Roggen oder Weizen ohne Butterfett  |              |              |                       |           |                      |            |
| <b>Eigenschaften</b>              | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Stärkt die Teigstruktur</li> <li>• Verbessert die Teigtoleranz gegenüber mechanischem Stress</li> <li>• Ergibt eine feinere Porung</li> <li>• Erhöht die Krumenhelligkeit</li> <li>• Steigert die Volumenausbeute</li> </ul>  |              |              |                       |           |                      |            |
| <b>Dosierung</b>                  | Etwa 2,0 – 10 g auf 100 kg Mehl. Die optimale Dosierung muß mit Backversuchen ermittelt werden.  |              |              |                       |           |                      |            |
| <b>Lagerung &amp; Haltbarkeit</b> | Bei kühler und trockener Lagerung ist der Aktivitätsverlust geringer als 10 % pro Jahr.  |              |              |                       |           |                      |            |
| <b>Verpackung</b>                 | Karton oder mehrlagiger Papiersack mit PE Innenbeutel, 25 kg netto.  |              |              |                       |           |                      |            |

Mühlenchemie GmbH &amp; Co. KG

 Kurt-Fischer-Str. 55 / D-22926 Ahrensburg  
 Telefon: + 49 (0) 41 02 / 202-001  
 Fax: + 49 (0) 41 02 / 202-010  
 E-Mail: info@muehlenchemie.de  
 www.muehlenchemie.de

Version 27.05.2002 Print 09.07.2004


**STERNWYWIOL**  
 Gruppe





## VERON<sup>®</sup> HF

**Beschreibung und Spezifikation**

**2003.08.14**

Rev. Nr. 06

### Beschreibung

VERON<sup>®</sup> HF ist ein Xylanasepräparat (ohne Pilz  $\alpha$ -Amylase Aktivität) für die Mehlbehandlung mit zusätzlicher Transglutaminase Aktivität. Das Produkt stammt aus Pilzkulturen von *Aspergillus niger*.

- IUB-Nr.: 3.2.1.8
- CAS-Nr.: 9025-57-4

### Eigenschaften

Es hat folgende Merkmale:

- a) pulverförmiges Produkt
- b) hellbeige Farbe und aromatischer Geruch

### Aktivität

VERON<sup>®</sup> HF hat eine Mindestaktivität von 660 UXyIH g<sup>-1</sup>.  
1 UXyIH ist die Enzymaktivität, die bei 30 °C und Standardbedingungen mit der Hydrazid Methode aus Xylan die Menge an reduzierenden Gruppen freisetzt, die 1  $\mu$ Mol Xylose/min entspricht

### Anwendung

VERON<sup>®</sup> HF wird vor allem zur Verbesserung der Teig- und Gebäckqualität von Roggen- und Roggenmischbroten eingesetzt. Außerdem werden gute Resultate bei Mischbroten erzielt, die neben Weizen- und/ oder Roggenmehl noch folgende Mehlkomponenten enthalten können: z.B. Hafermehl, Maismehl, Sojamehl, Kartoffelstärke, dietary fibres usw. VERON<sup>®</sup> HF hat einen deutlichen Stabilisierungseffekt in kombinierten Mehlsystemen. Dadurch werden Teige mit einer geringen Klebrigkeit, sehr guten maschinellen Verarbeitbarkeit und einer guten Gärstabilität erreicht, ebenso kann die Wasseraufnahme verbessert werden

### Dosage

5 – 15 g / 100 kg Mehl      Die optimale Dosierung sollte anhand von Backversuchen ermittelt werden.

1 / 2



## VERON<sup>®</sup> Special

**Beschreibung und Spezifikation**

2003.08.14  
Rev. Nr. 04

### Beschreibung

VERON<sup>®</sup> Special ist ein Xylanasepräparat für die Mehlbehandlung.  
Das Produkt stammt aus Bakterienkulturen von *Bacillus subtilis*.

- IUB-Nr.: 3.2.1.8
- CAS-Nr.: 9025-57-4

### Eigenschaften

Es hat folgende Merkmale:

- a) pulverförmiges Produkt
- b) hellbeige Farbe und aromatischer Geruch

### Aktivität

VERON<sup>®</sup> Special hat eine Mindestaktivität von 142 UXylH g<sup>-1</sup>.  
1 UXylH ist die Enzymaktivität, die bei 30 °C und Standardbedingungen mit der Hydrazid Methode aus Xylan die Menge an reduzierenden Gruppen freisetzt, die 1 µMol Xylose/min entspricht

### Anwendung

VERON<sup>®</sup> Special wird zur Herstellung von Backmitteln verwendet die zur Herstellung von Brot und Brötchen eingesetzt werden. Ein Einsatz von VERON<sup>®</sup> Special optimiert Teigeigenschaften, Gärstabilität und Backvolumen. Speziell werden dabei trockene und wollige, maschinengängige Teige und ein verbesserer Ausbund erzielt.

### Dosage

10 – 20 g / 100 kg Mehl Die optimale Dosierung sollte anhand von Backversuchen ermittelt werden

Danisco Specialities  
specialities@danisco.com  
www.danisco.com/ingredients

Page 1 / 2

**DANISCO**

First you add knowledge...

## PRODUCT DESCRIPTION - PD 200082-2EN

### GRINDAMYL™ MAX-LIFE E16

Bakery Enzyme

#### Description

GRINDAMYL™ MAX-LIFE E16 is an amylolytic enzyme complex produced by fermentation with selected fungal and bacterial strains.

The microorganisms are developed by traditional non-GMM technique.

The level of Fungal Amylase Units (FAU) is standardised to 1200 FAU/g.

#### Application areas

Bread and bakery products.

#### Potential benefits

- Improves softness of bread
- Extends shelf life of bread

#### Usage levels

Based on flour weight 100-200 ppm  
corresponding to 10-20 g/100 kg

However, as different flours and procedures have different needs, tests should be carried out to find the optimum dosage.

#### Directions for use

GRINDAMYL™ MAX-LIFE E16 is mixed into flour, premixes or bread improvers together with other dry ingredients.

#### Composition

GRINDAMYL™ MAX-LIFE E16 is composed of:

- Protein (enzymes)
- Sodium chloride (enzyme carrier)
- Wheat starch (enzyme carrier)

#### Physical/chemical specifications

|                 |                             |
|-----------------|-----------------------------|
| Physical form   | dust-reduced microgranulate |
| Colour*         | off-white                   |
| Enzyme activity | 1200 FAU/g                  |

\*Colour may vary from batch to batch.

#### Microbiological specifications

|                     |                       |
|---------------------|-----------------------|
| Total viable count  | less than 50000 /gram |
| Coliforms           | less than 30 /gram    |
| E. coli             | absent in 25 grams    |
| Salmonella species  | absent in 25 grams    |
| Mycotoxins*         | negative by test      |
| Antibiotic activity | negative by test      |

\* Aflatoxin B1, ochratoxin A, sterigmatocystin, T-2 toxin, zearalenone

#### Heavy metal specifications

|                      |                    |
|----------------------|--------------------|
| Arsenic              | less than 3 mg/kg  |
| Lead                 | less than 5 mg/kg  |
| Heavy metals (as Pb) | less than 30 mg/kg |

#### Nutritional data

Calculated values per 100 g

|                 |                 |
|-----------------|-----------------|
| Energy          | 160/672 Kcal/kJ |
| Protein         | 2-7 g           |
| Carbohydrates   | 30-36 g         |
| Fat             | less than 1 g   |
| Sodium chloride | 50-60 g         |
| Moisture        | 5-9 g           |
| Ash             | 52-62 g         |

#### Storage

GRINDAMYL™ MAX-LIFE E16 should be stored dry and cool (max. 20°C/68°F).

The shelf life of GRINDAMYL™ MAX-LIFE E16 is 24 months when stored as recommended in unbroken packaging.

Local food regulations should always be consulted concerning the status of this product, as legislation regarding its use in food may vary from country to country. Advice regarding the legal status of this product may be obtained on request. The information contained in this publication is based on our own research and development work and is to the best of our knowledge reliable. Users should, however, conduct their own tests to determine the suitability of our products for their own specific purposes. Statements contained herein should not be considered as a warranty of any kind, expressed or implied, and no liability is accepted for the infringement of any patents.

Danisco Specialities  
specialities@danisco.com  
www.danisco.com/ingredients

Page 1 / 2

**DANISCO**

First you add knowledge...

## PRODUCT DESCRIPTION - PD 40059-7EN

### GRINDAMYL™ A 10000

Bakery Enzyme

#### Description

GRINDAMYL™ A 10000 is a fungal alpha-amylase which is produced by fermentation with a selected strain of *Aspergillus oryzae*.

The microorganisms are developed by traditional non-GMM technique.

#### Application areas

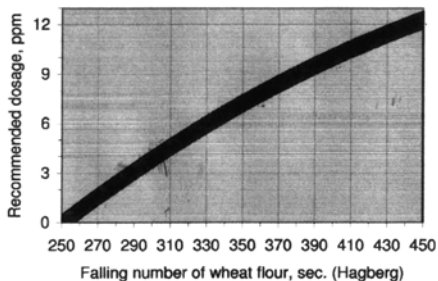
Flour, bread and bakery products.

#### Potential benefits

- Improves baking quality of flour
- Produces fermentable sugars for yeast
- Improves crust colour
- Improves bread quality

#### Usage levels

The dosage needed to adjust falling number to 250 secs can be found from the figure below.



#### Directions for use

GRINDAMYL™ A 10000 is mixed into flour, premixes or bread improvers together with other dry ingredients.

#### Composition

GRINDAMYL™ A 10000 is composed of:

- Protein (enzymes)
- Dextrin (enzyme carrier)
- Sodium chloride (enzyme carrier)

#### Physical/chemical specifications

|                 |             |
|-----------------|-------------|
| Physical form   | powder      |
| Colour*         | off-white   |
| Enzyme activity | 10000 FAU/g |

\*Colour may vary from batch to batch.

#### Microbiological specifications

|                     |                       |
|---------------------|-----------------------|
| Total viable count  | less than 50000 /gram |
| Coliforms           | less than 30 /gram    |
| E. coli             | absent in 25 grams    |
| Salmonella species  | absent in 25 grams    |
| Mycotoxins*         | negative by test      |
| Antibiotic activity | negative by test      |

\* Aflatoxin B1, ochratoxin A, sterigmatocystin, T-2 toxin, zearalenone

#### Heavy metal specifications

|                      |                    |
|----------------------|--------------------|
| Arsenic              | less than 3 mg/kg  |
| Lead                 | less than 5 mg/kg  |
| Heavy metals (as Pb) | less than 30 mg/kg |

The information contained in this publication is based on our own research and development work and is to the best of our knowledge reliable. Users should, however, conduct their own tests to determine the suitability of our products for their own specific purposes and the legal status for their intended use of the product. Statements contained herein should not be considered as a warranty of any kind, expressed or implied, and no liability is accepted for the infringement of any patents.

## 9.12 Produktspezifikation von Roggenmehl RM 997 VC1

### PRODUKTSPEZIFIKATION

Artikel Nr. 50 kg 25 kg 450106 lose



Kampffmeyer Mühlen GmbH  
Weisk. Wesermündung Hagen

## Roggenmehl RM 997 VC1 Ernte 2005

### Produktbeschreibung

**Roggenmehl RM 997 VC1** ist ein aus keimfähigem, gesundem, gentechnisch nicht verändertem und nicht bestrahltem Brotroggen der Gattung *Secale cereale* L. hergestelltes Mahlprodukt, das anschließend hydrothermisch behandelt wurde.

**Roggenmehl RM 997 VC1** wird ausschließlich aus ausgesuchten Brotroggenpartien ohne Anwendung gentechnischer Verfahren hergestellt und bedarf keiner Kennzeichnung gem. EU-VO 1829/1830. Das Produkt entspricht allen aktuellen Anforderungen der deutschen und europäischen Lebensmittelgesetzgebung.

### Sensorische Eigenschaften

Aussehen: sauberes, feines, grauweißes Pulver  
Geruch: frisch, arteigen, nicht muffig, ohne Fremdgeruch  
Geschmack: frisch, arteigen, nicht muffig, ohne Fremdgeschmack

### Analytische Kennzahlen

#### Chemische Parameter

| Parameter                 | Einheit | Wertebereich | Methode                    |
|---------------------------|---------|--------------|----------------------------|
| Wassergehalt              | %       | < 6          | Trockenschrank, 1h, 130 °C |
| Mineralstoffgehalt        | % i.Tr. | 0,91 – 1,10  | ICC 104 / 1                |
| Fallzahl                  | sec.    | > 300        | ICC 107/1                  |
| Verkleisterungsmaximum    | AE      | > 700        | ICC 126/1                  |
| Verkleisterungstemperatur | °C      | > 70 °C      | ICC 126/1                  |

### Produktsicherheit

**Roggenmehl RM 997 VC1** ist ein Lebensmittel, das für den menschlichen Verzehr geeignet ist. Das Produkt entspricht dem aktuellen Stand der nationalen und europäischen Lebensmittelgesetzgebung. Hinsichtlich unerwünschter Stoffe gelten folgende gesetzliche Rahmenbedingungen:

Schwermetalle: Verordnung (EG) der Kommission zur Festsetzung der Höchstgehalte für bestimmte Kontaminanten in Lebensmitteln.  
Mykotoxine: Verordnung zur Änderung der Mykotoxin-Höchstmengenverordnung und der Diätverordnung

## PRODUKTSPEZIFIKATION

Artikel Nr. 50 kg 25 kg 450106 lose



Kampffmeyer Mühlen GmbH  
Werk Wesermühlen Hameln

Rückstände von Pflanzenschutzmitteln: Rückstands-Höchstmengenverordnung.  
GVO-Status/Rückverfolgbarkeit: Verordnung (EG)Nr. 1829/2003 des europäischen Parlaments und des Rates über gentechnisch veränderte Lebensmittel und Futtermittel.

Verordnung (EG)Nr. 1830/2003 des europäischen Parlaments über die Rückverfolgbarkeit und Kennzeichnung von genetisch veränderten Organismen und über die Rückverfolgbarkeit von aus genetisch veränderten Organismen hergestellten Lebensmittel und Futtermitteln sowie zur Änderung der Richtlinie 2001/18/EG

Allergenes Potential:

Das Produkt enthält Gluten.  
EU-Richtlinie 2003/89 und die Dritte Verordnung zur Änderung der Lebensmittelkennzeichnungsverordnung

### Lagerbedingungen und Haltbarkeit

**Roggenmehl RM 997 VC1** sollte kühl und trocken (< 20 °C, < 70 % r.F.) gelagert werden. Unter diesen Bedingungen weist es über einen Zeitraum von 12 Monaten keine sensorischen Veränderungen auf.

Um Schädlingsbefall vorzubeugen, werden Lagertemperaturen < 12 °C empfohlen.

### Verpackung, Codierung und Verpackungsentsorgung

**Roggenmehl RM 997 VC1** wird lose in ausschließlich Lebensmittel transportierenden Tankwagen oder gesackt in mehrlagigen, PE-beschichteten Papiersäcken (Papier chlorfrei gebleicht) geliefert.

Palettierung: 25 kg: 20 Sack pro Palette im 3-er Verband

Codierung: HM / Schicht / Charge / Wochentag / Kalenderwoche / Jahr

Die Wesermühlen Hameln sind an das Duale System Deutschland angeschlossen.

## Danksagung

---

Mein ganz besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. habil. W. Freund für die Überlassung des Themas, der durch sein stetiges Engagement die Anfertigung der vorliegenden Arbeit in der Zeit von Juli 2002 bis Dezember 2006 am Institut für Lebensmittelwissenschaft ermöglichte. Er überließ mir ein Höchstmaß an Freiheit und Selbständigkeit und förderte meine Arbeit durch stetige Diskussionsbereitschaft.

Herrn Prof. Dr. habil. H. Rohm danke ich ganz herzlich für die Übernahme des Korreferats.

Herrn Prof. Dr. habil. T. Scheper danke ich ganz herzlich für die Übernahme des Vorsitzes des Prüferkollegiums.

Herrn Dipl.-Ing. A. Moog und Herrn Dipl.-Ing. M. Löns danke ich ganz herzlich für die hilfreiche Unterstützung und fachliche Betreuung während dieser Zeit und Herrn M. Fehse danke ich für die gewissenhafte Durchführung der analytischen Untersuchungen.

Außerdem bedanke ich mich bei den folgenden Firmen für ihr freundliches Entgegenkommen:

Brabender<sup>®</sup> GmbH & Co. KG, Duisburg

Mühlenchemie GmbH & Co. KG, Ahrensburg

Gamma Chemie GmbH, Darmstadt

Danisco Ingredients Deutschland GmbH, Quickborn

### **Aufsätze:**

**Kim, M.-Y. and Chun, S.-S.** (2000) Effects of Fructo-Oligosaccharide on the Quality Characteristics of Strawberry Jam (in koreanisch). Journal of the Korean Society of Food Science. 16, (6), S. 530 - 537.

**Kim, M.-Y. and Chun, S.-S.** (2001) Effects of Onions on the Quality Characteristics of Strawberry Jam (in koreanisch). Journal of the Korea Society of Food and Cookery Science. 17, (4), S. 316 - 322.

**Chun, S.-S., Park, J.-R., Cho, Y.-S., Kim, M.-Y., Kim, R.-Y. and Kim, K.-O.** (2001) Effect of Onion Powder Addition on the Quality of White Bread (in koreanisch). Journal of the Korean Society of Food and Nutrition. 14, (4), 346 - 354.

**Kim, R.-Y., Ki, M.-R., Kim, M.-Y., Lee, G.-J., Choi, H.-M. and Chun, S.-S.** (2005) Quality Characteristics of White Pan Bread with Kimchi Powder (in koreanisch). Journal of the East Asian Society of Dietary Life. 15, (3), 340 - 345.

### **Buchbeiträge:**

**Freund, W., Kim, M.-Y. und Löns, M.** (2006) Methoden zur Untersuchung von Weizen- und Roggenmehlerzeugnissen. S. 1 - 83. In: W. Freund (Hrsg.), Handbuch Backwaren Technologie, Loseblattsammlung. (12. Aktualisierungslieferung) Hamburg: Behrs Verlag.

**Freund, W. und Kim, M.-Y.** (2006) Determining the Baking Quality of Wheat and Rye Flour. S. 101 - 116. In: L. Popper, W. Schäfer und W. Freund (Hrsg.), Future of Flour. Bergen/Dumme: Agrimedia Verlag.

**Kim, M.-Y., Freund, W. und Popper, L.** (2006) Asian Wheat Noodles. S. 330 - 353. In: L. Popper, W. Schäfer und W. Freund (Hrsg.), Future of Flour. Bergen/Dumme: Agrimedia Verlag.

### **Vorträge:**

**Freund, W., Fehse, M. und Kim, M.-Y.** (2005) Rheologische Messungen an Roggenteigen. Tagung für Getreidechemie, 21. - 22. Juni 2005, Detmold.

**Freund, W., Fehse, M. und Kim, M.-Y.** (2005) Qualitätssicherung bei der Herstellung von Roggenteigen - Messung der Wasseraufnahme und Optimierung der Viskosität. IGV GmbH, 15. Internationale Tagung, 26. - 27. September 2005, Nuthetal.



**Freund, W., Fehse, M. und Kim, M.-Y.** (2005) Beeinflussung der Eigenschaften von Roggenteigen durch Enzyme - Messung der Viskosität mit einem für Roggenteige optimierten System. Gesellschaft Deutscher Lebensmitteltechnologien e.V., GDL-Kongress Lebensmitteltechnologie, 6. - 8. Oktober 2005, Dresden.

**Poster:**

**Lee, H.-S., Kim, M.-Y., Park, S.-K, Seo, K.-I. and Park, J.-R.** (2000) The Effects of Buckwheat Flour on the Quality Characteristics of Korean Domestic White Bread (in koreanisch). Journal of the Korean Society of Food and Nutrition. p. 50. P -2.

**Lee, H.-S., Kim, M.-Y., Cho, Y.-S., Chun, S.-S. and Park, J.-R.** (2000) The Effects of Pine Pollen on the Quality Characteristics of Korean Domestic White Bread (in koreanisch). Journal of the Korean Society of Food and Nutrition. p. 50. P - 3.

**Chun, S.-S., Kim, R.-Y., Kim, M.-Y. und Freund, W.** (2005) Volatile Flavor Components of White Pan Bread with Kimchi Powder (in koreanisch). The Korean Society of Food and Cookery Science. p. 120.

**Patent:**

„Messung und Beeinflussung der Konsistenz von Teigen aus Roggenmehl“.  
Anmeldung vom 17. 10. 2006.

**Masterarbeit:**

**Kim, M.-Y.** (2001) Effects of Onions and Fructo-Oligosaccharide on the Quality Characteristics of Strawberry Jam (in koreanisch). Sunchon National University, Korea.

## Erklärung zur Dissertation

Hierdurch erkläre ich, dass die Dissertation

„Messung und Beeinflussung der Konsistenz von Teigen aus Roggenmehl“

selbstständig verfasst und alle benutzten Hilfsmittel sowie evtl. zur Hilfeleistung herangezogene Institutionen vollständig angegeben wurden.

Die Dissertation wurde nicht schon als Diplom- oder ähnliche Prüfungsarbeit verwendet.

Hannover, den 15.02.2007

---

(Unterschrift)

Name: M. Sc. Mun-Yong Kim

## **Persönliche Angaben**

|                     |                |
|---------------------|----------------|
| Name                | Mun-Yong Kim   |
| Geburtstag          | 26.01.1975     |
| Geburtsort          | Puan           |
| Staatsangehörigkeit | Republik Korea |
| Familienstand       | ledig          |

## **Schulbildung**

|                   |                                |
|-------------------|--------------------------------|
| 03.1981 - 02.1987 | Jusan Elementary School, Puan  |
| 03.1987 - 02.1990 | Jusan Middle School, Puan      |
| 03.1990 - 02.1993 | Youngsaeng High School, Jeonju |

## **Studium**

|                   |  |
|-------------------|--|
| 03.1993 - 02.1999 | Bachelorstudium der Lebensmittel- und Ernährungswissenschaft<br>an der Sunchon National University, Korea<br>Bachelor of Science (B. Sc.)            |
| 03.1999 - 02.2001 | Masterstudium der Lebensmittel- und Ernährungswissenschaft<br>an der Sunchon National University, Korea<br>Master of Science (M. Sc.)                |
| Seit April 2001   | Promotionsstelle<br>an der Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover<br>Studienfach Lebensmittelwissenschaft<br>Naturwissenschaftliche Fakultät |

## **Berufserfahrung**

|                     |  |
|---------------------|--|
| 06.2001 - 06.2002   | Studentische Hilfskraft<br>Institut für Lebensmittelwissenschaft<br>Abteilung Getreide- und Süßwarentechnologie        |
| 07.2002 - 06.2006   | Wissenschaftliche Hilfskraft<br>Institut für Lebensmittelwissenschaft<br>Abteilung Getreide- und Süßwarentechnologie   |
| 07.2006 - bis jetzt | Wissenschaftlicher Mitarbeiter<br>Institut für Lebensmittelwissenschaft<br>Abteilung Getreide- und Süßwarentechnologie |