

**Einsatz von Inulin in Hefe- und Hefefeinteigen –
Analytische, fermentative, rheologische und
backtechnische Untersuchungen**

**Dissertation
zur Erlangung des akademischen Grades des Doktors
der Naturwissenschaften**

**vorgelegt im Fachbereich Chemie
der Bergischen Universität Wuppertal**

vorgelegt von

Karsten Schmitz

Wuppertal / Detmold

2003

*„Die Menschen haben keine Zeit mehr,
irgend etwas kennen zulernen.
Sie kaufen sich alles fertig in den Geschäften.
Aber da es keine Kaufläden für Freunde gibt,
haben die Leute keine Freunde mehr.“*

*Der Fuchs in „Der Kleine Prinz“
Antoine de Saint-Exupéry*

Abstract

A change in nutrition leads to new trends in food production and technology. Food additives are used not only for nutritional and technological reasons furthermore they are used due to their nutritional value. Food with health benefits are summarized under the term „Functional Foods“. Functional Foods can be divided into probiotic, prebiotic and synbiotic food. Lactobacteria and bifidobacteria particularly find their application in probiotic dairy products. Soluble dietary fiber, such as oligofructose and inulin, are applied in prebiotic foods.

Starting point of the present work is the prebiotic ingredient inulin. Inulin is produced from chichory-roots. It's a mixture of fructooligosaccharides with molecular-chains of different lengths. Inulin is used as prebiotic ingredient due to its undigestible, nutritional properties and health benefits. Inulin finds a broad application in milk products, fillings, fruit preparing and baking goods.

In the context of this work the influence of inulin (trade name: Raftiline[®] GR and HP) on the rheologic dough characteristics and the baking behaviours were examined. Furthermore the stability of Inulin during the production of yeasted and sweet yeasted doughs were investigated.

The separation and detection of the different fructooligosaccharides in doughs and baking goods is carried out by means of high performance anion exchange chromatography (HPAEC- PAD). The HPLC method makes it possible to characterize the individual fructooligosaccharides with different molecular weights. Losses of Inulin in the dough production and the baking process were also examined by this method.

In vitro fermentations showed that yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) is able to metabolise low-molecular inulin up to a chainlength of 14 monosaccharid-molecules. The loss of low-molecular fructooligosaccharides is also detectable in ready to eat baked goods. High-molecular fructooligosaccharides (GF > 14) are not degraded by yeast. In contrast to yeast fermentations the *in vitro* fermentations with *Lactobacillus sanfranciscensis* and *Lactobacillus acidophilus* showed different results. Losses of low- and high- molecular fructooligosaccharides have not been found.

The results from the *in vitro* fermentations related to the degradation of inulin are transferable to doughs. According to *in vitro* fermentations the investigations showed that losses of low-molecular fructooligosaccharides arise in the dough recovery phase and in the fermentation time. The subsequent baking process of the raw dough didn't have any further influence on the inulin-concentration. The added inulin is invariable against the temperatures of the baking process. In this step of the production process of yeasted and sweet yeasted doughs no further losses of inulin occurred. Only the decrease of low-molecular fructooligosaccharides is attributed to the influence of yeast. Any decrease of inulin in baked goods without added yeast have not been found. A higher sucrose-concentration in doughs reduced the losses of low-molecular inulines. The use of two different types of inulin (Raftiline[®] GR and also HP) showed, that the higher-molecular fructooligosaccharides are a more beneficial ingredient for baking goods with added yeast.

The influence of inulin on the rheological dough characteristics was examined beside the stability of inulin in the dough producing process.

The gluten-aggregation test (GAT) showed, that inulin delayed the gluten formation in wheat doughs and caused a longer dough formation phase. Rheological analyses by means of extensograph, farinograph and creep recovery measurements with inulin doughs in standard baking trials showed that a reduced water content leads to stiffening of the dough and to an extension of the mixing time. The use of inulin in wheat doughs makes a change in the production process necessary. The investigations showed that inulin doughs can be manufactured with the same quantity of water as standard doughs. The mixing time must be adapted to the applied kind of inulin and its concentration. The mixing time for doughs with added Raftiline[®] HP (2 parts) was 50 s longer and for dough with added Raftiline[®] GR (2 parts) was 100s longer as the standard mixing time for doughs without inulin.

High quality and sensory perfect baking goods with the prebiotic ingredient inulin can be produced with modified manufacture conditions. Storing of baking goods with inulin showed no impairment in quality and sensory characteristics.

Die vorliegende Arbeit entstand in der Zeit von November 1999 bis Dezember 2002 an der Bundesanstalt für Getreide-, Kartoffel- und Fettforschung in Detmold, am Institut für Getreide-, Kartoffel- und Stärketechnologie, in Verbindung mit der Bergischen Universität Wuppertal, Fachbereich 9 – Lebensmittelchemie

Danken möchte ich vor allem Herrn Prof. Dr. Helmut Guth für die mir gebotene Möglichkeit in seinem Arbeitskreis zu promovieren sowie für die fachliche Betreuung und Unterstützung bei der Durchführung dieser Arbeit und vor allem für das mir entgegengebrachte Vertrauen.

Mein Dank gilt Herrn Dr. Meinolf G. Lindhauer, der mir optimale Bedingungen an der Bundesanstalt für Getreide-, Kartoffel- und Fettforschung in Detmold einräumte und mich während dieser Jahre unterstützt hat.

Herzlich danken möchte ich besonders Herrn Dr. Hans-Josef Kersting, der durch seine stets gewährte, uneigennützig Unterstützung und durch seine ständige Bereitschaft zum Gedankenaustausch diese Arbeit förderte.

Herrn Werner Wolters danke ich für seine unterstützenden Arbeiten bei der Optimierung der Backversuche, die er im Rahmen einer Diplomarbeit an der FH Lippe Lemgo im Sommer 2001 durchführte.

Einen besonderen Dank möchte ich meinen lieben Kollegen und Kolleginnen an der Bundesanstalt für Getreide-, Kartoffel- und Fettforschung für die gute Zusammenarbeit, die konstruktiven fachlichen Diskussionen und die tatkräftige Unterstützung aussprechen. Besonders: Frau Karin Mascke, Herrn Jens Dreisörner, Frau Elbegzaya Namjiljav, Herrn Karlheinz Grothe, Herrn Horst Mack, Herrn Dr. Jürgen Hollmann, Frau Monika Wulfkuhle, Frau Maggy Pabst, Herrn Matthias Lüders, Herrn Holger Neumann, Herrn Günter Unbehend, Frau Mariola Gluszcynski, Herrn Udo Hanneforth, Herrn Karl Bewersdorf (FH-Lippe) und all den anderen namentlich hier nicht aufgeführten Mitarbeitern der Bundesanstalt in Detmold.

Allen Mitarbeitern der Arbeitsgemeinschaft Getreideforschung e.V. für die Unterstützung. Besonders: Frau Sabine Botterbrodt und Herrn Klaus Niebuhr.

Ein besonderes Dankeschön möchte ich meiner Familie widmen, die mir diese akademische Ausbildung ermöglichte und mich nach besten Kräften unterstützt hat.

Inhaltsverzeichnis	Seite
Theoretischer Teil	
1. Kenntnisstand zum Inulin und sein Einsatz in Lebensmitteln	1
1.1 Definition der Begriffe „Functional Food“ und „Prebiotika“	1
1.1.1 Definition „Functional Food“	1
1.1.2 Definition „Prebiotisch“ und „prebiotisch wirksame Oligo- und Polysaccharide“	3
1.2 Vorkommen, Struktur, Biosynthese und physiko-chemische Eigenschaften von Inulin	7
1.3 Gewinnung von Inulin als prebiotische Substanz	10
1.3.1 Gewinnung von Inulin (Fructooligosacchariden) mittels Extraktion	10
1.3.2 Synthese von Fructooligosacchariden aus Saccharose	11
1.4 Ernährungsphysiologische Eigenschaften	11
1.4.1 Bifidogene Wirkung (Veränderung der Darmflora)	11
1.4.2 Effekte auf die Darmmucosa	14
1.4.3 Bulking Effekt (Regulierung der Stuhlproduktion)	14
1.4.4 Bioverfügbarkeit von Mineralstoffen	14
1.4.5 Einfluss auf Stoffwechselforgänge	15
1.4.5.1 Kohlenhydratmetabolismus	15
1.4.5.2 Lipidmetabolismus	15
1.4.6 Obstipation	16
1.4.7 Osteoporose	17
1.4.8 Atherosklerose	17
1.4.9 Antikarzinogene Eigenschaften	17
1.5 Einsatz von Inulin in der Lebensmittelindustrie	18
1.6 Analytische Methoden zur Inulinbestimmung	20
1.6.1 Dünnschichtchromatographische Bestimmung von Inulin	20
1.6.2 Untersuchungen von Inulin mittels Kapillar-Gas-Chromatographie	20
1.6.3 Bestimmung von Fructooligosacchariden mittels HPLC	21
1.6.4 Bestimmung von Inulingehalten mit der HPAEC-PAD in Verbindung mit der AOAC-Methode	21
1.6.5 Enzymatisch-photometrische Inulinbestimmung	22

2. Zielsetzung	23
Ergebnisse und Diskussion	
3. Ergebnisse und Diskussion	24
3.1 Bestimmung von Inulin mittels HPAEC-PAD	24
3.1.1 Wahl der Versuchsbedingungen	24
3.1.2 Trennung der Standardsubstanzen in der HPAEC	24
3.2. Fermentationsversuche unter Verwendung von Inulin und teigspezifischen Mikroorganismen	29
3.2.1 Wahl der Versuchsbedingungen	29
3.2.2 Fermentationsversuche ohne Mikroorganismen	31
3.2.3 Fermentationversuche unter Verwendung von <i>Saccharomyces cerevisiae</i> (Frischhefe)	35
3.2.4 Fermentationsversuche unter Verwendung von <i>Saccharomyces cerevisiae</i> (Trockenhefe)	40
3.2.5 Fermentationsversuche unter Verwendung von <i>Lactobacillus sanfranciscensis</i>	46
3.2.6 Fermentationsversuche unter Verwendung von <i>Lactobacillus acidophilus</i>	51
3.2.7 Diskussion - Verstoffwechselbarkeit von Inulin durch teigspezifische Mikroorganismen	57
3.3. Verhalten von Inulinzusätzen in Hefe(fein)teigen während der Gärphase	61
3.3.1 Wahl der Versuchsbedingungen	61
3.3.2 Nachweis und Stabilität von Inulinzusätzen im Weizenbrotteig vor und nach der Gärphase	62
3.3.3 Nachweis und Stabilität von Inulinzusätzen im Hefefeinteig vor und nach der Gärphase	65
3.3.4 Diskussion - Stabilität von Inulin während der Gärphase bei Hefe(fein)teigen	68
3.4. Extraktion und Wiederfindung von Inulin aus Backwaren	71
3.4.1 Wahl der Versuchsbedingungen	71
3.4.2 Nachweis und Stabilität von Inulinzusätzen im Weizenbrot	72
3.4.3 Nachweis und Stabilität von Inulinzusätzen in Kastenstuten	75
3.4.4 Nachweis und Stabilität von Inulinzusätzen in Formwaffeln und Mürbekekse	78

3.4.5 Diskussion – Nachweisbarkeit von Inulinzusätzen in Backwaren	81
3.5 Teig rheologische Untersuchungen an unterschiedlichen Teigsystemen unter Verwendung von verschiedenen Inulintypen	84
3.5.1 Glutenaggregations-Test unter Verwendung verschiedener Weizenmehlsorten	84
3.5.2 Teigbildungsverhalten unter Verwendung von Inulin im Farinographen	91
3.5.3 Veränderung der Teigviskosität bei Teigen mit prebiotischem Zusatz im Extensographen	94
3.5.4 Kriech-Erholungsmessungen zur Charakterisierung spezifischer Teigeigenschaften	97
3.5.4.1 Kriech-Erholungsmessungen unter Verwendung sortenreiner Weizenmehle und Inulinzusatz	97
3.5.4.2 Kriech-Erholungsmessungen unter Verwendung von Mehl Nr. 1 und Zusätzen an Kochsalz, Saccharose und zwei Inulintypen	104
3.5.4.3 Kriech-Erholungsmessungen an realen Teigen mit Inulinzusatz	111
3.5.5 Diskussion - Auswirkungen des prebiotischen Zusatzes Inulin auf die Hefeteigherstellung	119
3.6 Backtechnische Eigenschaften von Inulin in Hefe(fein)gebäcken	125
3.6.1 Wahl der Versuchsbedingungen	125
3.6.2 Bestimmung des Backverlustes von Hefe(fein)gebäcken mit Inulinzusatz bei variablen Herstellungsbedingungen	125
3.6.3 Bestimmung des Gebäckvolumens von Hefe(fein)gebäcken mit Inulinzusatz bei variablen Herstellungsbedingungen	127
3.6.4 Bestimmung der Volumenausbeute/100g eingesetzten Mehles von Hefe(fein)gebäcken mit Inulinzusatz	131
3.6.5 Bestimmung der Krumenfeuchte von Hefe(fein)gebäcken mit Inulinzusatz	133
3.6.6 Bestimmung der Krumenfestigkeit von Hefe(fein)gebäcken mit Inulinzusatz	137
3.6.7 Diskussion - Gebäcke mit Inulin	140

Schlussbetrachtung und Arbeitsvorschriften (Methoden)

4. Schlussbetrachtung	143
------------------------------	------------

5. Zusammenfassung	145
---------------------------	------------

6. Arbeitsvorschriften (Material und Methoden)	147
6.1 Analytische Methodik	147
6.1.1 Chemikalien und Hilfsmittel für die Analytik	147
6.1.1.1 Allgemeine Chemikalien	147
6.1.1.2 Standards	147
6.1.1.3 Reagenzlösungen und Puffer	147
6.1.1.4 Standardlösungen	147
6.1.1.5 Eluenten	148
6.1.1.6 Glasgeräte und Laborbedarf	148
6.1.1.7 Technische Laborgeräte	149
6.1.1.8 Chromatographische Ausrüstung	149
6.1.2 Methoden zur Kohlenhydrat-Bestimmung	150
6.1.2.1 Apparativer Aufbau und chromatographische Bedingungen der Inulinbestimmung	150
6.1.2.2 Apparativer Aufbau und chromatographische Bedingungen der Glucose-, Fructose- und Saccharosebestimmung	151
6.1.3 Durchführung der Analysen	153
6.1.3.1 Probenaufarbeitung von Fermentationsproben	153
6.1.3.2 Probenvorbereitung von Teigmustern aus den Stabilitätstests in der Gärphase	153
6.1.3.3 Probenaufarbeitung von Gebäcken	153
6.2 Mikrobiologische Verfahren – Fermentationsversuche	154
6.2.1 Chemikalien und Geräte für die Fermentationsversuche	154
6.2.1.1 Allgemeine Chemikalien	154
6.2.1.2 Standardsubstanzen	154
6.2.1.3 Mikroorganismen	155
6.2.1.4 Nährlösungen	155
6.2.1.5 Glasgeräte und Laborbedarf	156
6.2.1.6 Laborgeräte und Fermenter	156
6.2.2 Herstellung von Vorkulturen für Fermentationsversuche	156
6.2.3 Fermentationsmethode und Messmethodik	157
6.3 Backversuche und rheologische Methodik	158
6.3.1 Material und Hilfsmittel für die Backversuche und rheologischen Untersuchungen	158
6.3.1.1 Material	158

6.3.1.1.1 Weizenmehle	158
6.3.1.1.2 Zuckerarten	158
6.3.1.1.3 Hefesorten	158
6.3.1.1.4 Fettart	159
6.3.1.1.5 Weizenstärke	159
6.3.1.1.6 Inulintypen	159
6.3.1.1.7 Ascorbinsäure	159
6.3.1.2 Hilfsmittel - Backwarenherstellung	159
6.3.1.3 Technische Geräte – Backwarenherstellung	160
6.3.1.4 Hilfsmittel – rheologische Messungen	160
6.3.1.5 Technische Geräte – rheologische Messungen	160
6.3.2 Rheologische Methode	161
6.3.2.1 Farinogramm [ICC-Standard Nr.115/1]	161
6.3.2.2 Extensogramm [ICC-Standard Nr.114/1]	161
6.3.2.3 Glutenaggregations-Test - GAT-Test	162
6.3.2.4 Methoden für die Kriecherholungsmessungen	165
6.3.2.4.1 Methodenbeschreibung	165
6.3.2.4.2 Probenpräparation	166
6.3.3 Backmethode und Rezepte	170
6.3.3.1 Standard-Backversuch für Kastengebäcke aus Hefeteig	170
6.3.3.2 Ausgangsrezeptur für Gebäcke aus Hefefeinteigen	171
6.3.3.3 Versuchsplan zur Durchführung der Backversuche und ausgewählter rheologischer Messungen	173
6.3.4 Sensorische Teig-/Gebäck-Bewertungsmethoden	174
6.3.4.1 Protokolle für die Backwarenherstellung und die sensorische Gebäckauswertung	174
6.3.4.2 Lagerung der Gebäcke	174
6.3.5 Physikalische Gebäck-Bewertungsmethoden	174
6.3.5.1 Gebäckgewicht und Volumen	174
6.3.5.2 Festigkeit / Weichheit von Gebäckkrume	174
6.3.5.3 Feuchtegehaltsbestimmungen der Gebäcke	175

Literatur und Anhang

7. Literaturverzeichnis	176
8. Abkürzungsverzeichnis	188
9. Anhang- CD-ROM	191- CD- ROM

1. Kenntnisstand zum Inulin und sein Einsatz in Lebensmitteln

Das Prebiotikum Inulin ist in der Natur weit verbreitet. In den letzten Jahren schenkte man dieser Substanz größere Aufmerksamkeit, da neben den ernährungsphysiologischen Eigenschaften ihr Einsatz bei der Lebensmittelverarbeitung vielfältige technologische Anwendungsmöglichkeiten bietet.

Inulin gehört zu der mit am besten erforschten Gruppe der Oligo- und Polysaccharide und wird bei der Herstellung von „Functional Foods“ im Bereich der Backwaren eingesetzt. Um die ernährungsphysiologischen Effekte der mit Inulin angereicherten Lebensmitteln zu gewährleisten, muss das zugesetzte Inulin die einzelnen Verarbeitungsschritte von der Teigbereitung bis hin zum fertigen Endprodukt unbeschadet überstehen.

Im folgenden sollen die Begriffe Functional Food und Prebiotikum näher erläutert werden. Weiterhin werden wichtige chemische und ernährungsphysiologische Eigenschaften von Inulin, das Gegenstand der vorliegenden Forschungsarbeiten ist, dargestellt.

1.1 Definition der Begriffe „Functional Food“ und „Prebiotika“

1.1.1 Definition „Functional Food“

Der Begriff „funktionelles Lebensmittel - Functional Food“ stammt aus dem japanischen Raum, wo er für die ursprüngliche Bezeichnung *Tokutei Hohenyo Shokuhin* eingeführt wurde. Seit 1991 sind funktionelle Lebensmittel in Japan unter dem neuen Begriff *Foods for Specified Health Use* (FOSHU) rechtlich verankert und Japan ist somit bisher weltweit das einzige Land mit speziellen Regelungen für „Functional Foods“ also funktionellen Lebensmitteln und bekleidet daher eine Vorreiter-Stellung. Als Functional Food bzw. Funktionelle Lebensmittel werden verarbeitete Nahrungsmittel bezeichnet, die einen bestimmten gesundheitlichen Nutzen aufweisen sollen, der über ihre ernährungsphysiologische Bedeutung hinausgeht (*Andlauer et al. 1994*). Die wissenschaftliche Literatur weist derzeit keine exakte, einheitliche Definition für funktionelle Lebensmittel auf. Jedoch werden viele Übereinstimmungen bei den unterschiedlichen Autoren gefunden, so dass sich zusammenfassend Functional Foods wie folgt definieren lassen:

Ein Lebensmittel bezeichnet man dann als Functional Food, wenn es als Nahrungsmittel oder durch einen speziellen Nahrungsmittelbestandteil, der sowohl ein Nährstoff oder Nicht-Nährstoff sein kann, eine Funktion oder eine begrenzte Anzahl von Funktionen im Körper in zielgerichteter Weise positiv beeinflusst. Dieser Effekt geht über den traditionellen Ernährungseffekt hinaus und kann physiologischer wie auch mentaler Natur sein (*Clydesdale 1997, Goldberg 1994*).

Die funktionelle Komponente kann hierbei nach *Roberfroid (1999)* sein:

- ein essentieller Makronährstoff (z.B. ω -3-Fettsäuren (FS), resistente Stärke)
- ein essentieller Mikronährstoff (z.B. Selen, Eisen)
- ein Nahrungsmittelbestandteil, dessen nutritiver Wert nicht als essentiell gilt (z.B. Oligosacchride)
- ein Nahrungsmittelbestandteil, dessen Wert als nicht nutritiv gilt (z.B. lebende Mikroorganismen)

Gemäß der oben genannten Definition muss somit ein Functional Food folgende Bedingungen erfüllen:

1. Es ist ein Lebensmittel, keine Kapsel, Tablette oder Pulver (*Pascal 1996*). In Japan müssen die Inhaltsstoffe natürlichen Ursprungs sein, wohingegen in den USA auch synthetisch hergestellte Substanzen als Zusätze erlaubt sind (*Andlauer et al. 1994, Goldberg 1994*).
2. Es kann und sollte als Bestandteil der täglichen Nahrung konsumiert werden.
3. Es greift mit einer zielgerichteten funktionellen Wirkung regulierend in Prozesse des menschlichen Körpers ein. Nach *Goldberg (1994)* handelt es sich dabei um die:
 - Stärkung biologischer Abwehrmechanismen
 - Prävention einer bestimmten Krankheit
 - Genesung von einer bestimmten Krankheit
 - Positive Beeinflussung physiologischer und mentaler Bedingungen
 - Verlangsamung des Alterungsprozesses

Diese zielgerichteten Wirkungen von Functional Foods lassen sich zusammenfassend in relevante funktionelle Effekte auf das Wohlbefinden bzw. die Gesundheit oder in Effekte, die eine Reduktion eines Krankheitsrisikos zur Folge haben, einteilen und sich daraus die sog. *functional claims* (funktionelle Wirkungen) und *disease-risk-reduction claims* (Behauptungen bzgl. der Reduktion eines Krankheitsrisikos) ableiten (*Roberfroid 1999, Oelker 2000*).

Die Bezeichnung *health foods* wurde in der Vergangenheit ebenfalls für funktionelle Lebensmittel gewählt. Die Absicherung der wissenschaftlichen Basis sogenannter *health claims*, d.h. des gesundheitlichen Nutzens, ist jedoch häufig noch mangelhaft oder unzureichend und wird nach wie vor intensiv diskutiert (*Goldberg 1994, Oelker 2000*). Die sogenannten *health claims* weisen auf eine positive Korrelation zwischen einem Nahrungsmittelbestandteil und einer physiologischen oder psychologischen Kondition hin (*Roberfroid 1999*). Der Begriff Functional Food ist der Bezeichnung von funktionellen Lebensmitteln als *health foods* vorzuziehen, da es sich in vielen Fällen um die Beschreibung funktioneller Mechanismen bzw. *functional claims* handelt, wobei häufig noch nicht alle Fragen im Hinblick auf deren Gesundheitsnutzen geklärt sind (*Oelker 2000*). Die *functional claims* haben schon zu neuen Ernährungskonzepten wie z.B. prebiotischen, probiotischen und synbiotischen Lebensmitteln geführt (*Roberfroid 1999*).

Die Entfaltung der Wirkung funktioneller Lebensmittel oder ihrer Komponenten ist jedoch von zahlreichen Faktoren abhängig, insbesondere vom individuellen genetischen, physiologischen und zellulären Status, der wiederum mögliche Effekte aktiver Nahrungsmittelkomponenten entscheidend mit beeinflusst (*Roberfroid 1999, Crittenden 1996*).

Aufgrund der fehlenden einheitlichen Definition ist auch das Verständnis und der Gebrauch der in der wissenschaftlichen Literatur benutzten Begriffe hinsichtlich funktioneller Lebensmittel nicht einheitlich. Im internationalen Sprachgebrauch werden als Synonym für den Begriff Functional Food auch die Bezeichnungen „Nutraceuticals, Designer foods und Pharma foods“ verwendet, wobei diese jedoch von einigen Autoren unterschieden werden (*Andlauer et al. 1994, Erbersdobler 1998*). Diese Lebensmittel sind überwiegend pflanzlichen Ursprungs und enthalten als bioaktive Substanzen die sogenannten „Phytochemicals“.

In **Tab. 1.1.1.a** werden mögliche Abgrenzungen und Beschreibungen der verwendeten Begriffe dargestellt (*Oelker 2000, Roberfroid 1999*).

Tab. 1.1.1.a Abgrenzung der Begriffe „Designer Food, Nutraceuticals und Functional Food“ (*Oelker 2000, Roberfroid 1999*)

Designer Food	Lebensmittel, die für bestimmte Bedürfnisse maßgeschneidert worden sind. (National Cancer Institute, USA) Bsp. Elektrolytgetränke für Sportler
Nutraceuticals	Jeder Nährstoff oder Teil eines Nahrungsmittels, der medizinisch oder für die Gesundheit von Nutzen ist, inkl. Prophylaxe und Behandlung von Krankheiten. (Foundation for Innovation in Medicine, USA) Bsp. ω -3-Fettsäuren
Functional Food	Ursprünglich: Tokutei Hohenyo Shokuhin, d.h. Nahrungsmittel, die einen bestimmten gesundheitlichen Nutzen aufweisen, der über ihre ernährungsphysiologische Bedeutung hinausgeht. Bsp. Pre-, pro- oder synbiotische Milchprodukte

Nachfolgend sollen die Bezeichnungen „prebiotisch“ und „prebiotisch wirksame Oligosaccharide“ genauer betrachtet werden. Sie stellen eine Unterordnung der Functional Food dar.

1.1.2 Definition „Prebiotisch“ und „prebiotisch wirksame Oligo- und Polysaccharide“

Kohlenhydrate stellen eine komplexe Gruppe von Lebensmittelbestandteilen dar, die neben technologischen auch zahlreiche ernährungsphysiologische Eigenschaften aufweisen. Der Gruppe der unverdaulichen Oligosaccharide / Polysaccharide (non-digestible oligosaccharides NDO / polysaccharides NDP) ist in den letzten Jahren eine wichtige Rolle in der Ernährung des Menschen zuteil geworden (*Erbersdobler & Meyer 2000, Cummings et al. 1997, Crittenden 1997*).

Diese NDO's haben als „Prebiotika“ bzw. „prebiotisch wirksame Oligosaccharide“ Einzug in die Gruppe der „Functional Foods“ gehalten.

Prebiotika sind unverdauliche Lebensmittelbestandteile, die für den menschlichen Organismus von Vorteil sind. Sie tragen zu einer Verbesserung der Gesundheit bei, indem sie im Kolon selektiv das Wachstum und/oder die Aktivität einer einzigen oder einer limitierten Anzahl an Bakterienarten stimulieren. Der prebiotische Effekt ist somit ein durch die Nahrungsaufnahme ausgelöstes Anwachsen der Anzahl bzw. Aktivität von zumeist Bifidusbakterien und Milchsäurebakterien im menschlichen Verdauungstrakt (*Gibson & Roberfroid 1995*).

Gemäß dieser Definition müssen prebiotische Nahrungsmittelbestandteile folgende Bedingungen erfüllen (*Oelker 2000*):

- Die Substanz wird im oberen Abschnitt des Gastrointestinaltraktes weder hydrolysiert noch absorbiert.
- Sie muss ein selektives Substrat für eine einzige oder eine limitierte Anzahl von Bakterienarten sein, die dadurch in ihrem Wachstum und/oder in ihrer Stoffwechselaktivität stimuliert werden.
- Die Verbindung muss zu einer gesundheitsförderlichen Veränderung der Zusammensetzung der Kolonflora beitragen.
- Prebiotika müssen luminale oder systemische Effekte induzieren, die für die Gesundheit des Menschen von Vorteil sind.

Die „Unverdaulichkeit“ und die „Selektive Fermentierung im Dickdarm“ sind die beiden Grundcharakteristika von Kohlenhydraten, um als „prebiotische“ Lebensmittelbestandteile zu gelten (*Erbersdobler & Meyer 2000*).

Alle NDO's (NDP's) zeichnen sich durch die gemeinsame Eigenschaft ihrer Unverdaulichkeit im oberen Teil des Verdauungstraktes aus. Die in den NDO's vorliegenden β -Glycosyl-Bindungen entgehen der Spaltung im Dünndarm und werden erst im Dickdarm durch die dort vorliegende Bakterienflora abgebaut (*Rumessen et al. 1998*). Die Kohlenhydrate Oligofruktose und Inulin kommen zu mehr als 90% im Dickdarm unverdaut an (*Rumessen et al. 1998*). Man bezeichnet NDO's als prebiotisch bzw. als Prebiotika, wenn sie im Dickdarm selektiv fermentiert werden, d.h. sie fördern vorzugsweise das Wachstum und die Stoffwechselaktivität bestimmter Bakteriengruppen, vor allem die von Bifidus- und Milchsäurebakterien. Durch die Vermehrung dieser Bakterien werden andere unterdrückt. So nimmt z.B. die Anzahl der pathogenen Mikroorganismen (*Clostridia* und *Enterococci*) beim Verzehr von NDO's ab. Bei *in vitro* Fermentierungen, in der Fäkalschlamm als Inoculum verwendet wurde, konnte die Selektivität für die bakterielle Verstoffwechslung von Substraten wie z.B. Inulin und Oligofruktose festgestellt werden. Man konnte beobachten, dass einige unverdauliche Kohlenhydrate **Tab. 1.1.2.a** selektiv das Wachstum bestimmter Arten von Darmbakterien fördern können. Die besondere Aufmerksamkeit gilt hierbei den Bifidus- und Milchsäurebakterien, da ihre Anwesenheit im Zusammenhang mit einem gesunden und gut funktionierenden Darmtrakt gebracht wird (*Erbersdobler & Meyer 2000*).

Tab. 1.1.2.a Überblick über die Arbeiten zur in vitro-Fermentierung bei unverdaulichen Oligosacchariden (NDO), mit Hinweisen auf prebiotische Wirkung (*Erbersdobler & Meyer 2000*)

Referenz	Substrat	Effekt
<i>Wada (1990)</i>	Inulin, Oligofructose, Glucose	pH-Messungen ergaben erste Anzeichen der selektiven Förderung von Bifidusbakterien.
<i>Wang & Gibson (1993)</i>	Glucose, Galactose, Arabinose, Fructose, Lactose, Saccharose, Cellobiose, Lactulose, Oligofructose, Inulin-Stärke, Pektin, Arabinogalactan, Sorbitol, Lactitol, Maltitol, Polydextrose	Deutliches selektives Anwachsen der Bifidusbakterien. Überwachung der SCFAProduktion zeigt hohe Acetat- und Lactatproduktion mit Oligofructose.
<i>Gibson & Wang (1994a)</i>	Inulin, Oligofructose, verzweigte Oligofructose, Glucose	gesteigerte Wachstumsrate von Bifidusbakterien (Oligofructose > Inulin > verzweigte Oligofructose > Glucose) Bei Reinkulturen von Nicht-Bifidusbakterien wurde das schnellste Wachstum bei Glucose beobachtet.
<i>Gibson & Wang (1994b)</i>	Oligofructose	Demonstration des bremsenden Effekts der Bifidusbakterien auf das Wachstum anderer Dickdarmbakterien, was vielleicht den verstärkten bifidogenen Effekt erklärt.
<i>McBain & MacFarlane (1997)</i>	Inulin	Selektives Anwachsen von Bifidusbakterien. Rückgang von Clostridien.
<i>Hopkins et al. (1998)</i>	Xylo-Oligosaccharide, Galakto-Oligosaccharide, Sojabohnen-Oligosaccharide, Inulin, Pyrodextrin, Oligofructose	Messung der maximalen spezifischen Wachstumsrate zeigte nennenswerte Unterschiede zwischen den Arten je nach Wachstumssubstrat.
<i>D. Newton et al. (1998)</i>	Mischung aus Inulin, Pektin, Xylan, Arabinogalactan und Stärke	Validierung des Modells, das die Untersuchung von bakteriellen Interaktionen ermöglicht (z.B. Widerstand gegen Kolonisierung).

Die oben aufgeführten Ergebnisse lassen die Schlussfolgerung zu, dass prebiotische Oligosaccharide durch einfache Zufuhr über die Ernährung, zur Verbesserung der Zusammensetzung der Darmflora dienen können. Aufgrund dieser Entdeckung erfolgten Interventionsstudien bei Menschen verschiedenen Geschlechts, Alters, verschiedener Rasse und Ernährungsweise. Die Ergebnisse sind in **Tab. 1.1.2.b** dargestellt.

Tab. 1.1.2.b Überblick über Humanstudien, bei denen die prebiotischen Eigenschaften verschiedener unverdaulicher Oligosaccharide im Mittelpunkt standen (Erbersdobler & Meyer 2000)

Referenz	Dosis in g/d Art der unverdaulichen Oligosaccharide (NDO)	Anzahl Freiwill. (m/w) Alter in Jahren Zeitraum	Logarithmische Zunahme von Bifidusbakterien, Indikator für Prebiose
<i>Bouhnik et al. (1996)</i>	12,5 Oligofructose	20 (10 m/10 w) 22-39 12 Tage	1,20
<i>Bouhnik et al. (1997)</i>	10,0 TOS	8 (4 m/4 w) 24-32 21 Tage	1,10
<i>Gibson et al. (1995)</i>	15,0 Oligofructose	8 (m) 20-25 2 Wochen	0,70 §
<i>Gibson et al. (1995)</i>	15,0 Inulin	4 (m) 20 2 Wochen	0,90
<i>Ito et al. (1993)</i>	15,0 TOS	12 (m) 27-43 1 Woche	0,25 (hohe Ausgangswerte) §
<i>Kleessen et al. (1997)</i>	20,0 und 40,0 Inulin	10 (w) 68-89 19 Tage	0,90 und 1,30
<i>Menne et al. (1997)</i>	8,0 F _n -Typ Oligofructose	8 (5 m/3 w) 20-50 2 Wochen	0,90 §
<i>Mitsuoka et al. (1987)</i>	8,0 Oligofructose	23 (m) 50-90 2 Wochen	0,90 §
<i>Rochat et al. (1994)</i>	8,0 Oligofructose	38 (m) Erwachsene 2 Wochen	1,35 §
<i>Buddington et al. (1996)</i>	4,0 Oligofructose	12 (6 m/6 w) 20-34 25 Tage	0,80 §
<i>Alles et al. (1998)</i>	7,5 und 15,0 TOS	40 (22 m/18 w) 25-55 3 Wochen	Nihil
<i>Kruse et al. (1999)</i>	Unterschiedliche Dosis Inulin	11 (5 m/6 w) 26-53 3 Monate	1,10

<i>Rao et al. (ORAFIT Bericht 1999)</i>	5,0 Oligofructose	8 (3 m/5 w) 20-40 3 Wochen	1,22
<i>Tuohy et al. (2000)</i>	8,0 langkettiges Inulin	8 (4 m/4 w) 20-55 Prüfung nach 1 Woche und 2 Wochen	0,21 (FISH)
<i>Bibra (ORAFIT Bericht 1999)</i>	10,0 langkettiges Inulin	N = 12 30-45 6 Wochen	0,20 (FISH)

m= männlich, w = weiblich, TOS = Transgalaktosylierte Oligosaccharide, § Höhere Zählwerte von LAB nach Verabreichung von NDO gemeldet, FISH = Fluorescent In Situ Hybridisation (für Bakterien-Charakterisierung und Quantifizierung)

Das in dieser Studie untersuchte β -(2 \rightarrow 1)-Typ Fructan Inulin, erfüllt alle oben genannten Voraussetzungen, um als „Prebiotikum“ bzw. „prebiotisch wirksames Fructooligosaccharid“ zu gelten (*Gibson & Roberfroid 1995, Roberfroid et al. 1998, Van Loo et al. 1999*). Es gilt neben der niedermolekularen Oligofructose als „Prototyp“ der prebiotischen Substanzen (*Oelker 2000, Roberfroid & Delzenne 1998*).

1.2 Vorkommen, Struktur, Biosynthese und physiko-chemische Eigenschaften von Inulin

Vorkommen und Struktur

Inulin ist ein natürlicher Pflanzenbestandteil und kommt, teilweise zusammen mit Stärke, als Reserve-Kohlenhydrat z.B. in Artischocken, Topinamburknollen und Zichorienwurzeln sowie in vielen weiteren Gemüse- und Getreidearten vor. Ferner kommt es in Zellsäften von Korbblütlern vor, wo es sich im übersättigten Zustand befindet und auskristallisiert, wenn die Zelle verletzt wird und der Zellsaft ausfließt (*Römpp Lebensmittelchemie 1995, Lehmann 1996*).

Chemisch betrachtet ist Inulin ein Gemisch aus kurzen und mittellangen Ketten von β -D-Fructosanen (Polymerisationsgrad (PG): 10-70 Monokohlenhydrat-Einheiten), in denen die Fructofuranosyleinheiten β -(2 \rightarrow 1) glykosidisch verknüpft sind. Die **Abb. 1.2.a** verdeutlicht die glykosidischen Bindungen zwischen den unterschiedlichen Molekülen und gibt einen Überblick über den chemischen Aufbau des Inulins. Am nicht-reduzierenden Ende befindet sich neben einer Fructofuranose ein Glucopyranosemolekül. Die Kettenenden sind α -(2 \rightarrow 1) glykosidisch mit Glucose verknüpft. Weitere Glucose-Reste werden in 1,3-Bindung auch innerhalb der Kette gefunden (*Lehmann 1996*). Ist ein endständiges Glucosemolekül vorhanden, hat das Molekül nicht-reduzierende Eigenschaften. Ist jedoch keine Glucose vorhanden, wird das Inulinmolekül zu den reduzierenden Kohlenhydraten gezählt. Inuline drehen die Ebene des polarisierten Lichts nach links (-).

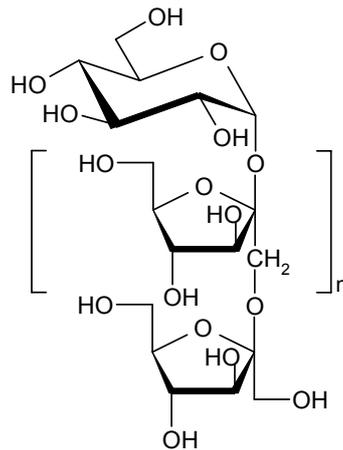


Abb. 1.2.a Chemische Struktur von Inulin

Biosynthese

Im Pflanzenreich, z.B. in Zichorienwurzeln und Topinamburknollen, wird Inulin durch enzymatische Fructosylierung bestehender Fructofuranosylketten synthetisiert. Der Ausgangsschritt für diese Biosynthese ist die enzymatische Transfructosylierung zwischen zwei Saccharosemolekülen, wodurch das Vorkommen des Glucosemoleküls am Kettenanfang zu erklären ist. Die Biosynthese des Inulins wird ausschließlich durch Saccharose und dem Enzym *Sucrose : Sucrose fructosyltransferase* (SST, EC 2.4.1.99) gestartet. Die SST katalysiert die folgende Reaktion [**Abb. 1.2.b**]:

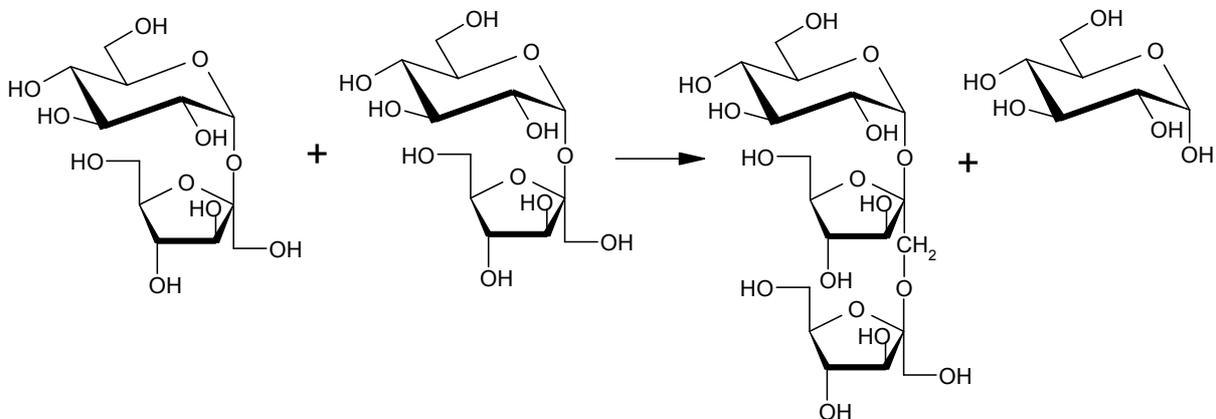


Abb. 1.2.b Sucrose : Sucrose fructosyltransferase katalysierte Reaktion

Die gebildete 1-Kestose dient als Substrat für ein weiteres Enzym, das nur 1-Kestose oder Inuline höheren Polymerisationsgrades (PG) zur Kettenverlängerung nutzen kann. Die *Fructan : Fructan fructosyltransferase* (FFT, EC 2.4.1.100) katalysiert die weiterfolgenden Reaktionen [**Abb. 1.2.c**]:

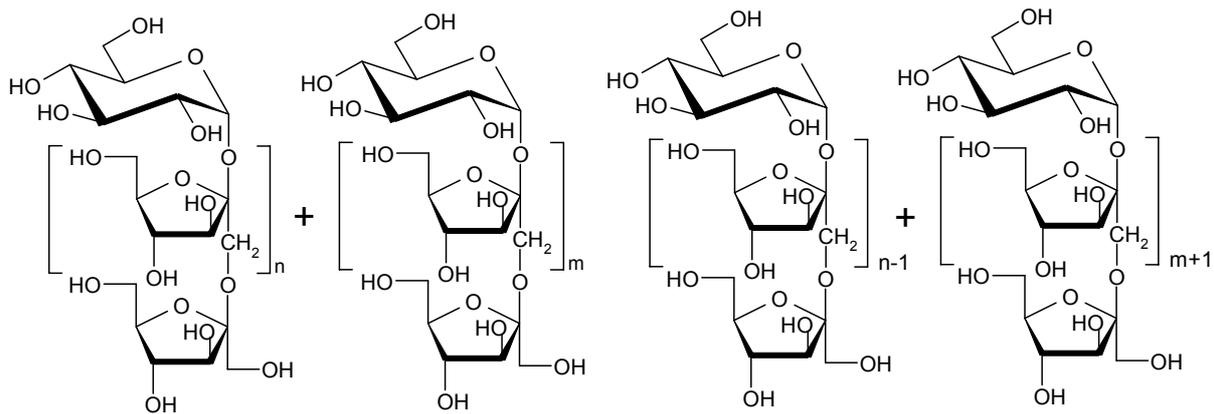


Abb. 1.2.c Fructan : Fructan fructosyltransferase katalysierte Reaktion

Hierbei sind n und m die Anzahl der Fructosemoleküle und $n > 1$ und $m > 0$. Die Saccharose kann als Akzeptor für Fructoseeinheiten genutzt werden, die durch die FFT transferiert werden. Die gesamte Biosynthese des Inulins erfolgt in den Vakuolen der Pflanzenzellen (Edelman et al. 1968, Edelman et al. 1996, Smeekens et al. 1996, Luscher et al. 1996, Cairns 1993, Koops et al. 1994, Frehner 1995, VandenEnde et al. 1996a-1996e)

Physiko-chemische Eigenschaften

Die Bezeichnung der Fructooligosaccharide (Inuline) erfolgt nach ihrem Polymerisationsgrad, der als Anzahl der Kohlenhydratmonomere definiert ist. **Tab. 1.2.a** verdeutlicht, dass unter Inulin eine heterogene Gruppe von überwiegend linearen Fructosepolymeren und – oligomeren zusammenfasst wird, bei denen der Verzweigungsgrad bei unter 1% liegt. Die Kettenlänge dieser Inuline beträgt 2–70 Einheiten mit einem durchschnittlichen Polymerisationsgrad (DP) von ca. 12 (IUB-IUPAC 1982). Inulin besitzt ein Molekulargewicht von 5000-6000. Es liegt als farblose, hyroskopische, kristalline Substanz vor, die im warmen Wasser löslich ist und eine kolloidale Lösung bildet. Unlöslich ist es jedoch in Ethanol und Ether. Ähnlich wie Stärke und Glykogen ist Inulin gegen Alkalien ziemlich beständig. Durch Säuren und Inulinase [EC 3.2.1.7] wird Inulin zu Fructose abgebaut. Fehlingsche Lösung wird nicht durch Inulin reduziert und es gibt mit Iod auch keine Blaufärbung (s.o.). Der Schmelzpunkt liegt bei 180°C, wobei es zu einer Zersetzung des Inulins kommt (Crittenden 1997).

Tab. 1.2.a Klassifizierung von Inulin und Oligofructose anhand ihres Polymerisationsgrades (Niness 1999, Roberfroid 1997, Gibson & Roberfroid 1995)

Polymerisationsgrad (PG)		Durchschnittlicher Polymerisationsgrad (DP)
Inulin	bis ca. 70	ca. 12
Oligofructose	2 bis ca. 10	ca. 5

Die im Rahmen dieser Arbeit verwendeten Inuline unterschiedlichen Polymerisationsgrades werden in den Arbeitsvorschriften **Kap. 6.3** näher beschrieben. Die entsprechenden Spezifikationen mit den dazugehörigen Chromatogrammen befinden sich in **Kap. 3.1** und im **Anhang Kap. 9.1**. Es handelt sich hierbei um Inuline natürlichen Ursprungs, die durch Isolierung aus Zichorien und durch partielle enzymatische Hydrolyse hergestellt werden.

Als Standardsubstanzen werden in dieser Studie 1-Kestotriose (1-Kestose), 1,1-Kestotetraose (Nystose) und um 1,1,1-Kestopentaose (Fructofuranosylnystose) [**Abb1.2.d**] [**Kap. 6.1**] verwendet (Pontis 1990, Lewis 1993).

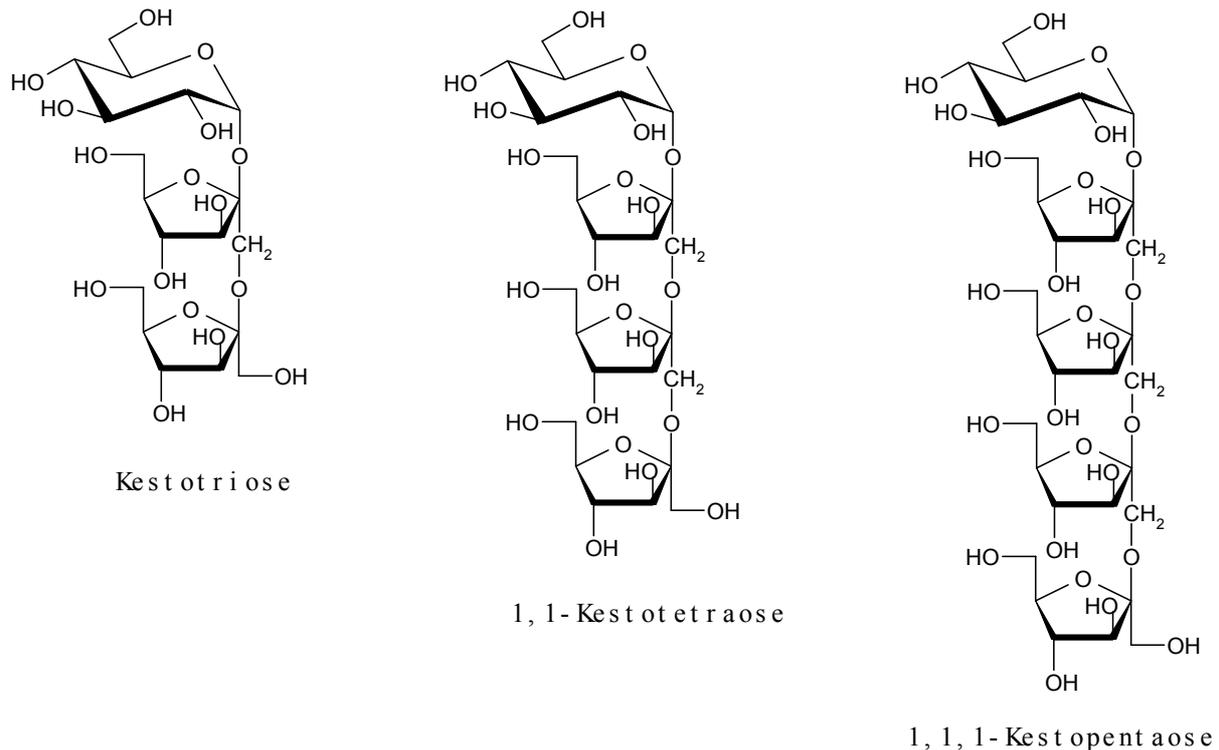


Abb. 1.2.d Strukturen von Kestotriose, 1,1-Kestotetraose und 1,1,1-Kestopentaose

1.3 Gewinnung von Inulin

Die Gewinnung von Inulin erfolgt zum einen durch die enzymatische Synthese aus Saccharose zum anderen durch Extraktion aus Pflanzenteilen, vorzugsweise Wurzeln und Knollen, die reich an Inulin (Fructooligosacchariden) sind. Als Hauptquelle ist hier die Zichorien-Wurzel (*Cychorium intybus*) mit Gehalten von 15-20% Inulin zu nennen, aber auch die Jerusalem-Artichoke (*Helianthus tuberosus*) stellt einen wichtigen Rohstofflieferanten dar (Oelker 2000, Roberfroid & Delzenne 1998, Ninness 1999, Teeuwen et al. 1992, Rowan 1998, Hirayama et al. 1993).

1.3.1 Gewinnung von Inulin (Fructooligosacchariden) mittels Extraktion

Inulin wird, ähnlich der Herstellung von Saccharose aus Zuckerrüben, mittels eines Extraktionsprozesses gewonnen. Hierfür werden die Zichorien-Wurzeln zerteilt, geschnitzelt und

gewaschen. Anschließend wird Inulin mittels Heißwasserdiffusion extrahiert, mit Alkohol ausgefällt, gereinigt und getrocknet. Das Produkt weist nach vollendetem Extraktionsprozess einen DP von 10-12 auf, wobei die Größe der Moleküle auf Kettenlängen von 2-60 Molekülen verteilt ist. Inulin in Pulverform enthält zu 6-10% die Kohlenhydrate Glucose, Fructose und Saccharose, die aus natürlichen Gehalten des Rohmaterials stammen (*Oelker 2000, Niness 1999*).

Inulin ist als kommerzielles Produkt z.B. unter der Bezeichnung Raftiline® erhältlich. In Abhängigkeit von der Zusammensetzung werden verschiedene Pulverformen angeboten (*Coussement 1999, Anon. 1998*). Für die nachfolgende Arbeit werden zwei unterschiedliche Pulverprodukte verwendet, die in **Kap. 6.3** und **Anhang Kap. 9.1** näher beschrieben werden.

1.3.2 Synthese von Fructooligosacchariden aus Saccharose

Neben der Inulingewinnung mittels Heißwasserdiffusion können die niedermolekularen Fructooligosaccharide, bis zu einem DP von 6, synthetisch durch Transfructosylierung aus Saccharose hergestellt werden. Bei diesem Verfahren werden Fructosemonomere mit Saccharosemolekülen mittels β -Fructofuranosidase, aus *Aspergillus niger*, enzymatisch verknüpft (*Roberfroid & Delzenne 1998*). Diese Fructooligosaccharide enthalten bis zu 5 Fructosemoleküle verbunden mit einem endständigen Glucosemolekül (*Niness 1999, Crittenden & Planye 1996*). Glucose und Fructose, die als Nebenprodukte bei dieser Synthese entstehen, lassen sich mittels chromatographischer Methoden entfernen. Kommerziell sind diese Produkte z.B. unter der Bezeichnung Neosugar® zu erhalten.

1.4 Ernährungsphysiologische Eigenschaften

1.4.1 Bifidogene Wirkung (Veränderung der Darmflora)

Mit der Aufnahme von Inulin kommt es zu einer Veränderung der Zusammensetzung der Darmflora. Die aus dem Fermentationsprozess der Fructooligosaccharide resultierenden kurzkettigen Fettsäuren (SCFA) spielen eine entscheidende Rolle im Zusammenhang der im Folgenden dargestellten lokalen und systemischen Effekte von Inulin. Die Zusammensetzung der Kolonflora ist individuell von zahlreichen Faktoren abhängig. In erster Linie vom Nährstoffgehalt der Nahrung, dem physiko-chemischen Milieu des Darms, variierenden konditionellen Bedingungen des Wirtsorganismus, Stoffwechselinteraktionen zwischen verschiedenen Bakterienspezies und individuellen Ernährungsgewohnheiten (*Gibson & Roberfroid 1995, Finegold et al.1983*).

Die *Bacteroidaceae* sind die zahlenmäßig dominierenden Mikroorganismen (MO) im Kolon. Die Verteilungen und die ungefähre Anzahl einzelner MO's im Fäzes sind in **Abb. 1.4.1.a** dargestellt. Aufgeteilt sind die einzelnen Gruppen nach MO's mit schädlichen (pathogenen) Einfluss auf die Gesundheit und MO's mit positiven Effekten auf die Gesundheit (*Gibson & Roberfroid 1995, Oelker 2000*).

Besondere Aufmerksamkeit widmet man den Gattungen der *Bifidobacterium* und *Lactobacillus* im Zusammenhang mit vorteilhaften Effekten hinsichtlich der Verbesserung der Gesundheit. So werden folgende positive Effekte von Bifidobakterien zur Förderung der Gesundheit angenommen (*Gibson & Roberfroid 1995*):

- Senkung des Cholesterin-Blutspiegels
- Reduktion der Ammoniak-Konzentration im Blut

- Produktion von Vitaminen; z.B. Vitamine der B-Gruppe, Folsäure
- Wiederherstellung der normalen Intestinalflora nach einer Antibiotika-Therapie
- Hemmung des Wachstums potentiell pathogener Mikroorganismen; z.B. durch Produktion von kurzkettigen Fettsäuren

Als Resultat der Zufuhr prebiotischer Substanzen konnte eine Veränderung der Zusammensetzung der intestinalen Mikroflora gezeigt werden, wobei die selektive Wachstumsstimulierung von Milchsäurebakterien wie *Bifidobacterium* und *Lactobacillus* zu einer deutlichen Abnahme von möglichen pathogenen Mikroorganismen wie z.B. *Clostridium*, *Bacteroides* und *E. coli* führt (Gibson & Roberfroid 1995, Oku 1994). Durch die starke Produktion von Acetat und Lactat, insbesondere durch die Bifidobakterien, kommt es zur Absenkung des pH-Wertes im Kolonlumen, wobei nicht alle Vertreter der Mikroflora solch saure pH-Werte tolerieren und dies als Ursache für Veränderungen in der Darmflora gilt. Die Bildung von Bakteriziden gilt als weiterer Mechanismus. Dies wird durch das saure Milieu infolge der Milchsäureproduktion ermöglicht und beeinträchtigt das Wachstum von pathogenen Keimen wie beispielsweise *E. coli* ssp. oder *Clostridium* ssp. (Kasper 1998a, Gibson & Wang 1994).

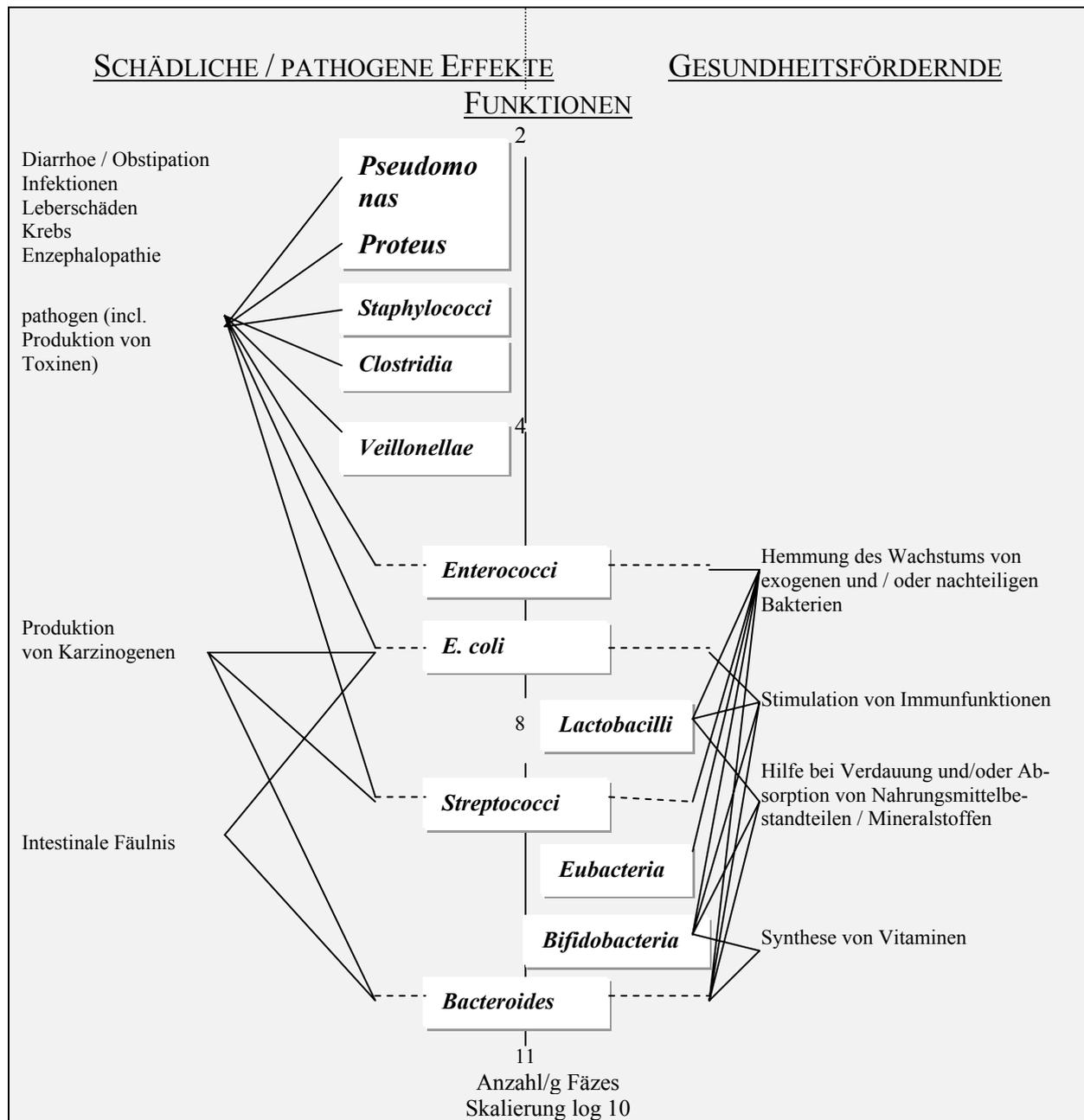


Abb. 1.4.1.a Schema der Zusammensetzung und gesundheitsbezogener Effekte von vorherrschenden Bakterien im menschlichen Fäzes (Gibson & Roberfroid 1995, Oelker 2000)

Sowohl Inulin als auch Oligofruktose werden bei Inkubation mit Kolonbakterien stark fermentiert, wobei die Fermentationsrate der niedermolekularen Oligofruktose etwas über der des Inulins liegt (Roberfroid & Delzenne 1998, Roberfroid et al. 1998, Hidaka et al. 1986, Hidaka et al. 1991). Des Weiteren konnten Gibson et al. (1995) sowie Wang & Gibson (1993) zeigen, dass bei *in vitro* Versuchen bei Verwendung von Mischkulturen, die der Situation *in vivo* entsprechen, sowohl Inulin als auch seine Hydrolysate selektiv das Wachstum von Bifidobakterien stimulieren. Dies führt zu einer Veränderung der Zusammensetzung der Darmflora, wobei am Ende der Inkubationszeit Vertreter der Gattung *Bifidobacterium* vorherrschend waren.

Zahlreiche *in vivo* Studien am Menschen zeigten, dass die Fermentation von Inulin eine selektive Wachstumsstimulation von Bifidobakterien zur Folge hat (Roberfroid et al. 1998,

Gibson et al. 1995). Eine Aufnahme von 15 g pro Tag führte zu einer signifikanten Veränderung der Darmflora und das Wachstum von Bifidobakterien wurde selektiv stimuliert. Es konnte sowohl *in vitro* als auch *in vivo* gezeigt werden, dass Inulin somit von Bifidobakterien, die natürlich in der Kolonflora vorkommen, fermentiert wird und es das Wachstum selektiv stimuliert.

1.4.2 Effekte auf die Darmmucosa

Ein gesteigerter Verzehr fermentierbarer Ballaststoffe wie Inulin führt *in vivo* im Intestinaltrakt zu einer Hyperthrophie der Epithelzellen. Die daraus resultierende Verdickung der Darmwand wurde sowohl im Bereich des Dünndarms als auch im Bereich des Dickdarms beschrieben (*Oku et al. 1984, Campbell et al. 1997, Oelker 2000*). Viele Autoren haben *in vivo* an Ratten gezeigt, dass durch die orale Zufuhr von Inulin die Produktion insbesondere von Butyrat im Vergleich zur Verabreichung anderer Ballaststoffe (z.B. Weizenkleie) gesteigert werden konnte (*Campbell et al. 1997, Levrat et al. 1991, Remsey et al. 1992, Roland et al. 1993, Younes et al. 1996*).

Besonders in den Studien von *Scheppach et al. (1992, 1995)* konnte gezeigt werden, dass insbesondere Butyrat die Proliferation im Dickdarm stimuliert. Neben diesem Stimulationseffekt durch die Hauptvertreter der SCFA (Acetat, Propionat und Butyrat) auf die DNA-Synthese und die Proliferation normaler Zellen an der Basis der Kolonkrypten, konnte in weiteren Studien gezeigt werden, dass insbesondere n-Butyrat in der Lage ist, das Wachstum von Kolonkarzinomzellen zu hemmen, siehe dazu auch **Kap. 1.4.9**. Acetat und Propionat werden vorwiegend in der Leber und in anderen peripheren Geweben für verschiedene systemische Effekte verantwortlich gemacht. Butyrat dagegen ist überwiegend für lokale Effekte im Darm verantwortlich. So sind die Kolonozyten von der luminalen Versorgung mit Butyrat als energielieferndem Substrat abhängig und ziehen dies Glucose und Glutamin vor (*Oelker 2000*). Ca. 70% der Energie wird durch das Darmlumen in Form von Butyrat bereitgestellt, das in den Epithelzellen bevorzugt oxidiert wird (*Roediger 1980*).

1.4.3 Bulking Effekt (Regulierung der Stuhlproduktion)

Der „Bulking-Effekt“ beinhaltet, dass Ballaststoffe durch ihr Wasserbindungsvermögen und durch die Vermehrung der Bakterienmasse das Stuhlgewicht erhöhen und dadurch zur Anregung der Darmperistaltik und Verkürzung der Transitzeit des Darminhalts beitragen (*Scheppach 1995*).

Studien am Menschen ergaben, dass den Fructooligosacchariden hinsichtlich des Bulking-Effekts eine geringere Bedeutung zuteil wird als beispielsweise Pektin, aber dennoch leisten die Inuline einen Beitrag zur Stuhl-Volumenzunahme und Erweichung der Fäzes-Konsistenz, die eine Verkürzung der Transitzeit des Intestinaltraktes zur Folge hat (*Cummings et al. 1976, Cummings et al. 1978*).

1.4.4 Bioverfügbarkeit von Mineralstoffen

Sowohl in Tierversuchen als auch bei Probanden konnte gezeigt werden, dass der Verzehr von Inulin die Aufnahme von Mineralstoffen aus der Nahrung fördert (*Erbersdobler & Meyer 2000*). Als Mechanismus der verbesserten Bioverfügbarkeit von Kationen wurde der erhöhte Transport, beispielsweise von Ca und Mg aus dem Dünndarm ins Kolon, vorgeschlagen, wo

aufgrund der fermentationsbedingten Säureproduktion die Absorption in die Mucosazellen erhöht ist (Levrat et al. 1991, Younes et al. 1996, Ohta et al. 1994). Die SCFA bauen im Dickdarm einen osmotischen Gradienten auf und durch die vermehrte Wasserretention im Lumen verbessert sich die Löslichkeit von Mineralstoffen (Coudray et al. 1997, Younes et al. 1997). Neben den oben genannten Effekten kommt es durch die vermehrte Produktion insbesondere von Butyrat zu einer Schleimhauthypertrophie, die eine Vergrößerung der Absorptionsfläche zur Folge hat.

Aus den vorliegenden Studien lässt sich ableiten, dass eine gesteigerte Aufnahme von Inulin keinen negativen Einfluss auf die Mineralstoffabsorption hat, sondern für Ca, Mg und Fe sogar eine gesteigerte Absorption nachgewiesen wurde (Coudray et al. 1997, Roberfroid 1997).

1.4.5 Einfluss auf Stoffwechselfvorgänge

1.4.5.1 Kohlenhydratmetabolismus

Inulin wird von Verdauungsenzymen nicht zu Monosacchariden hydrolysiert und somit wird weder die Insulinsekretion des Pankreas stimuliert, noch führen sie zu einem Anstieg der postprandialen Serum-Glucosekonzentration (Niness 1999, Oku 1994). Die Effekte der Fructooligosaccharide auf den Kohlenhydratmetabolismus werden auf Basis zweier Hypothesen diskutiert (Roberfroid & Delzenne 1998):

1. *Verringerung der Absorptionsrate von verdaulichen Kohlenhydraten*

Inulin kann wie andere Ballaststoffe auch, indirekt die Absorption von Makronährstoffen im oberen Abschnitt des Intestinaltraktes beeinflussen. Eine Verzögerung der Magenentleerung und Verkürzung der Transitzeit im Dünndarm ist die Folge der Volumenzunahme des Chymus. Somit wird die Verdauung und Absorption von verdaulichen Kohlenhydraten beeinflusst und könnte den verringerten Blutglucosespiegel erklären (Oelker 2000, Roberfroid & Delzenne 1998).

2. *Beeinflussung des hepatischen Glucosestoffwechsels*

Studien von Luo et al. (1996) konnten zeigen, dass es nach Aufnahme von Inulin zu einer Verminderung des nüchternen Blutglucosespiegels kam. Diese Beobachtungen lassen sich mit einer Beeinflussung des hepatischen Glucosestoffwechsels erklären, wobei dieser Effekt auf das Propionat, das durch Fermentation entsteht, zurückzuführen ist. Propionat hemmt in den Hepatozyten die Gluconeogenese. Die durch den Propionatabbau entstandenen Metabolite Methylmalonyl-Coenzym A und Succinyl-CoA sind spezifische allosterische Inhibitoren der Pyruvatcarboxylase, dem Schlüsselenzym der Gluconeogenese. Des Weiteren verstärkt Propionat die Glykolyse durch Verminderung der Citratkonzentration in den Hepatozyten, und das Citrat ist wiederum allosterischer Inhibitor der Phosphofruktokinase, dem Schlüsselenzym der Glykolyse (Oelker 2000, Roberfroid & Delzenne 1998, Baird 1980).

1.4.5.2 Lipidmetabolismus

Es wird sowohl eine Senkung der unterschiedlichen Cholesterinfraktionen als auch der Triglyceride und Phospholipide im Plasma (Oelker 2000) beschrieben. Die bisherigen Studien sind nur schwer vergleichbar und bringen keine exakten Beweise für den positiven Einfluss von Inulin auf den Lipidstoffwechsel, doch die Ergebnisse sprechen für einen positiven Effekt

(*Van Loo et al. 1995, Van Loo et al. 1999*). Nachfolgend sollen sowohl für den Triglycerid-metabolismus als auch für den Cholesterinstoffwechsel mögliche Mechanismen vorgestellt werden.

Für die Effekte auf den Triglyceridmetabolismus gibt es zwei Hypothesen (*Roberfroid & Delzenne 1998, Roberfroid 1997, Kok et al. 1996*):

1. Sekundäre Beeinflussung der hepatischen Lipogenese durch primäre Effekte auf den Kohlenhydratstoffwechsel

Der genannte Effekt ist eine Konsequenz der primären Beeinflussung des Kohlenhydratstoffwechsels. Beide Stoffwechselvorgänge sind eng miteinander verbunden. Auf diese Weise wird die Transkription von Enzymen der Lipogenese und der Glykolyse in Fettgewebe und Leber durch Glucose-6-Phosphat stimuliert. Insulin regt indirekt die Lipogenese im Fettgewebe durch Glucoseaufnahme an. Des Weiteren bewirkt Insulin in der Leber mit der Aktivierung der Glucokinase eine Beschleunigung der Glykolyse (*Girad et al. 1997*). Die vermehrte Aufnahme von Inulin führt somit zur Senkung der Blutglucose und verminderter Insulinausschüttung, die indirekt für die beobachteten Effekte auf den Lipidmetabolismus verantwortlich sein können (*Roberfroid & Delzenne 1998, Kok et al. 1996*).

2. Hemmung der Lipogenese durch Propionat

Die entstehenden SCFA führen zur erhöhten Konzentration an Acetat und Propionat in der Pfortader, wobei besonders dem Propionat der hemmende Effekt in der Fettsäure-Synthese zugesprochen wird. Die genaueren Mechanismen bedürfen aber noch weiterer Klärung (*Nishina et al. 1990, Wright et al. 1990, Lin et al. 1995*).

Effekte auf den Cholesterinstoffwechsel

Die SCFA üben antagonistische Effekte auf den Cholesterinmetabolismus aus. So dient das Acetat bzw. die aktivierte Form, das Acetyl-CoA, als Grundsubstrat der endogenen Cholesterinsynthese. Dagegen zeigt das Propionat durch allosterische Inhibition des Schlüssel-enzym der Cholesterinsynthese, der Hydroxymethylglutaryl-CoA-Reduktase, einen hemmenden Einfluss auf diesen Stoffwechselvorgang (*Rodwell 1976*).

Die verfügbaren Ergebnisse geben einen vorläufigen Beweis für die positive Beeinflussung des Lipidmetabolismus wieder. Sie geben wichtige Hinweise auf positive Effekte von Fructooligosacchariden auf den Lipidstoffwechsel, jedoch sind weitere Studien notwendig (*Oelker 2000*).

1.4.6 Obstipation

Die Obstipation hat ihre Ursache meist in einer Funktionsstörung des Kolons. Sie ist gekennzeichnet durch Symptome wie erschwerte oder zu seltene Defäkation mit zu hartem Stuhl, die oft das Gefühl der unvollständigen Darmentleerung verursacht (*Kasper & Scheppach 1999*).

Als Ursache gelten ballaststoffarme Ernährung sowie Bewegungsmangel. So führen Ballaststoffe zum „Bulking-Effekt“ (**Kap. 1.4.3**), einer Volumenzunahme und somit zu einer weicheren Konsistenz des Stuhles. Eine verkürzte Transitzeit konnte beim Menschen durch Inulin nicht bewiesen werden, auch ist der Bulking-Effekt durch Inulin im Vergleich zu anderen Ballaststoffen gering (*Cummings et al. 1976, Cummings et al. 1978, Tokunaga et al. 1986*). Untersuchungen zur Transitzeit des Darmes und Defäkation im Zusammenhang mit Obstipation zeigen, dass Inulin gegenüber Lactose eine bessere laxierende Wirkung ausübt

und die Obstipation unter nur milden Nebenwirkungen wie Flatulenzen oder intestinalem Druckgefühl gemildert wurde (*Ito Masaki et al. 1993*).

1.4.7 Osteoporose

Osteoporose ist eine Systemerkrankung des Skeletts, die durch eine niedrige Knochenmasse mit erhöhter Frakturneigung gekennzeichnet ist (*Chonan et al. 1995*). Neben einer „mineralstoffreichen Ernährung“ können vielleicht auch prebiotische Substanzen wie Inulin in diesem Zusammenhang einen Beitrag zur Vermeidung der Krankheit leisten (*Roberfroid 1999, Ringe 1999*).

Die Primärprävention hat die Optimierung der sog. „Peak bone mass“ (PBM) zum Ziel, d.h. der maximalen Knochenmasse, die um das 30. Lebensjahr erreicht wird. Welchen Beitrag prebiotische Substanzen in diesem Rahmen leisten können, ist noch weitgehend ungeklärt, da weiterführende Studien lediglich im Zusammenhang mit Galactooligosacchariden und einer erhöhten Knochendichte dargestellt wurden (*Chonan et al. 1996*). In **Kap. 1.4.4** wurde beschrieben, dass durch die Inulinaufnahme eine verbesserte Calciumbilanz erreicht werden kann und dies als ein Ziel der Osteoporoseprävention gilt (*Luo et al. 1996*). Weiterführende Studien fehlen bislang.

1.4.8 Atherosklerose

Atherosklerotische Veränderungen von Gefäßwänden und die daraus resultierenden kardiovaskulären Erkrankungen stellen eine häufige Todesursache dar (*Anderson & Hanna 1999*). Hierbei kommt der Serumcholesterinkonzentration eine besondere Bedeutung zu und insbesondere dem LDL-Cholesterin. Es kommt zur Oxidation dieser Lipoproteine, die wiederum sog. lipide Plaques bilden, die sich an der Bildung atheromatöser Intimaveränderungen beteiligen (*Assmann 1982*). Die Verringerung der LDL-Cholesterinkonzentration ist eine der effektivsten Maßnahmen im Rahmen der Primärprävention koronarer Herzerkrankungen (*Manson et al. 1992*).

Zahlreiche epidemiologische Studien bzgl. des Zusammenhangs zwischen Ballaststoffaufnahme und koronaren Herzerkrankungen wurden in den vergangenen Jahren publiziert, eine Übersicht geben *Anderson & Hanna (1999)*. So sprechen *Roberfroid & Delzenne (1998)* den Fructooligosacchariden die Möglichkeit zu, zur Prävention der Atherosklerose beizutragen. Wie in **Kap 1.4.5.2** beschrieben, hat Inulin mögliche Effekte auf den Lipidstoffwechsel die auch zu einer LDL-Cholesterin-Konzentrationssenkung beitragen könnten (*Rodwell et al. 1976, Van Loo et al. 1999*). Ein Zusammenhang zwischen Inulin und der Senkung des LDL-Cholesterinspiegels ist noch nicht geklärt. Bisher sind keine Daten über den Einfluss von Inulin auf atherosklerotische Gefäßveränderungen veröffentlicht. Da es sich bei der Manifestation dieser Veränderungen der Gefäßwand um einen Jahrzehnte dauernden Prozess handelt, lässt sich der Einfluss einer zielgerichteten Intervention in das Krankheitsgeschehen durch prebiotische Substanzen zum jetzigen Zeitpunkt nicht abschätzen.

1.4.9 Antikarzinogene Eigenschaften

Der positive Einfluss von Inulin auf die Reduktion des Risikos, an einem Kolonkarzinom zu erkranken, wurde bisher *in vivo* nur an Tieren belegt. Dagegen sind noch keine Ergebnisse von Humanstudien, die eine Intervention durch Fructooligosaccharide in die Kanzerogenese des Kolonkarzinoms untersuchen, publiziert. Jedoch könnte unter anderem die Immun-

modulation die antikarzinogenen und antitumorogenen Eigenschaften von prebiotischen Fructooligosacchariden erklären. Es liegen Beweise aus experimentellen Modellen vor, dass die Aufnahme prebiotischer Oligosaccharide über die Nahrung das Risiko für Dickdarm-, aber auch für Brustkrebs senkt. Bei Ratten und Mäusen wurde das Wachstum implantierter Tumorzellen in Muskelgewebe und Peritoneum deutlich unterdrückt (*Oelker 2000, Reddy et al. 1997, Rowland et al. 1998, Taper et al. 1998*). Im Folgenden werden die Modelle kurz erläutert.

Komplexierung von epithelzellschädigenden Substanzen wie sekundären Gallensäuren und Fettsäuren durch Ca^{2+} . Wie in **Kap. 1.3.4** beschrieben, kommt es durch Inulin zu einem erhöhten Transfer von Kationen aus dem Dünndarm ins Kolon. Diese erhöhte Konzentration an Ca^{2+} führt zur Komplexierung von Gallensäuren oder Fettsäuren, wodurch das Risiko einer Schädigung der Mucosazellen vermindert wird (*Younes et al. 1996, Lipkin & Newmark 1985*).

Verringerte intestinale Bildung von Karzinogenen durch die erhöhte Produktion von SCFA. Das saure Milieu beeinträchtigt die Synthese einiger bakterieller Enzyme, z.B. der β -Glucuronidase, und vermindert folglich die Umwandlung von Prokarzinogenen in Karzinogene (*Scheppach 1996, Reddy 1999*).

Wirkung der SCFA, insbesondere von n-Butyrat auf Zellzyklus und Genexpression der Kolonzyten. Den SCFA wird in der Karzinogenese insbesondere im Bereich des Kolons eine schützende Wirkung zugesprochen. So konnte *in vitro* an Kolonmucosazellen gezeigt werden, dass n-Butyrat auf verschiedene Stadien der Karzinogenese positiv Einfluss nimmt (*Scheppach et al. 1995*). Wichtige Effekte lassen sich wie folgt zusammenfassen (*Oelker 2000*):

- Hemmung der Hyperproliferation der Mucosazellen (Kolonzyten) (präneoplastischer Biomarker).
- Induktion von Apoptose bei Adenomzellen, d.h. homöostatische Effekte bzgl. Proliferation und Zelluntergang.
- Hemmung der Expression bestimmter Onkogene.
- Hemmung der Zellteilung bei gleichzeitiger Förderung der Differenzierung von zahlreichen Kolonkarzinom-Zelllinien.

Neben den *in vitro* Studien, die Aufschluss über Wirkungsmechanismen der SCFA im Rahmen der Karzinogenese geben, wurde der Einfluss der oralen Aufnahme von Inulin auf die Tumorentstehung des Kolonkarzinoms *in vivo* an Ratten studiert (*Reddy 1999, Oelker 2000*).

1.5 Einsatz von Inulin in der Lebensmittelindustrie

Inulin wird aufgrund seiner vielfältigen funktionellen Eigenschaften in Lebensmittel eingesetzt. Zu der wichtigsten Funktionalität dieses Rohstoffes gehört der Einsatz als Prebiotikum und Ballaststoff in einer ganzen Reihe von Lebensmitteln. Das Lebensmittel wird dadurch „prebiotisch“ oder „bifidogen“ oder es ist „kalorienarm“ oder enthält „Ballaststoffe“. Inulin wird außerdem wegen seiner technologischen Eigenschaften Lebensmitteln zugefügt. In solch einem Fall wird der Zusatz nicht besonders ausgelobt, sondern nur im Zutatenverzeichnis aufgeführt.

Ein Überblick über den Einsatz von Inulin in Lebensmitteln und Getränken wird in **Tab.1.5** dargestellt (*Erbersdobler & Meyer 2000, Coussement 1995, 1995/1996, 1996a, 1996b, Coussement & Soete 1996, Soete 1995, Grünh et al. 1994, De Leenheer 1996, Van Loo 1995, Pabst 1998*). Inulin besitzt dank seines erhöhten Molekulargewichtes die Fähigkeit,

Mikrokristalle zu bilden, wodurch ihm organoleptische Fähigkeiten verliehen werden (Kaugefühl und Cremigkeit) und es sich somit als Fettersatzstoff eignet. Extrudierten Snacks und Frühstücksflocken verleiht Inulin mehr Knusprigkeit und eine verlängerte Haltbarkeit. Seine Löslichkeit ermöglicht die Einarbeitung in wässrige Systeme wie Getränke, Milchprodukte und Brotaufstriche. Auch seine besondere Gelierfähigkeit, durch Scherkräfteeinwirkung, macht es möglich, bei Zubereitungen viel Fett zu sparen und Emulsionen zu stabilisieren. Gleichzeitig bildet sich dabei eine kurze, streichfähige Textur, besonders geeignet für Aufstriche verschiedenster Art, cremige Frischkäse, Schmelzkäse und weitere Milchaufstriche. Bei einer Vielzahl von Produkten führt Inulin zu einer Verlängerung der Strukturstabilität. Bei gefrorenen Desserts sorgt Inulin für einfache Verarbeitung, ein wirklich fettartiges Mundgefühl, ausgezeichnete Schmelzeigenschaften sowie gute Stabilität beim Einfrieren und Auftauen. Inulin bietet des Weiteren vielfältige Anwendungsmöglichkeiten als kalorienarme Massenzutat (Zuckerersatz), oft in Verbindung mit einem Polyol zur Süßung.

Tab. 1.5 Überblick über Anwendungen mit Inulin

Anwendung	Funktionalität	Dosiermenge von Inulin w/w %
Milchprodukte (Joghurts, Käse, Desserts, Getränke)	Prebiotikum & Ballaststoff Fettersatzstoff Textur und Mundgefühl Schaumstabilität	2 – 10
Gefrorene Desserts	Fettersatzstoff Textur Schmelzverhalten Kalorienarmut Ballaststoff & Prebiotikum	2 – 10
Brotaufstriche & Butterprodukte	Prebiotikum & Ballaststoff Fettersatzstoff Textur & Streichfähigkeit Emulsionsstabilität Gelatineersatzstoff	2 – 10
Backwaren und Brote	Prebiotikum & Ballaststoff Feuchtigkeitsspeicherung Zuckerersatz	2 – 15
Frühstücksflocken & extrudierte Snacks	Prebiotikum & Ballaststoff Knusprigkeit & Fülle Kalorienarmut	2 – 25
Füllungen	Fettersatzstoff Textur	2 – 30
Fruchtzubereitungen	Prebiotikum & Ballaststoff Textur & Mundgefühl Kalorienarmut	2 – 10
Fleischprodukte	Prebiotikum & Ballaststoff Fettersatzstoff	2 – 10

	Textur & Stabilität	
Salatdressings	Fettersatzstoff Mundgefühl und Textur	2 – 10
Diätprodukte und Ersatzmahlzeiten	Prebiotikum und Ballaststoff Fettersatzstoff Kalorienarmut Textur & Mundgefühl	2 – 15
Schokolade	Prebiotikum und Ballaststoff Zuckerersatzstoff Wärmebeständigkeit	5 – 30
Tabletten	Prebiotikum und Ballaststoff Zuckerersatzstoff	5 – 100

1.6 Analytische Methoden zur Inulinbestimmung

Inulingehalte können mit den unterschiedlichsten instrumentellen Analyseverfahren bestimmt werden. Die in **Kap. 1.6.1–1.6.5** dargestellten Verfahren der qualitativen und quantitativen Fructooligosaccharid-Bestimmung sollen einen Überblick über die in der Literatur erwähnten Bestimmungsmethoden geben.

1.6.1 Dünnschichtchromatographische Bestimmung von Inulin

Die dünnschichtchromatographische Trennung (DC) liefert in erste Linie qualitative Informationen über die Größe- und Molekülgrößenverteilung einzelner kurzkettiger Fructooligosaccharide im Inulin. Des Weiteren ist es mittels DC möglich den durchschnittlichen Polymerisationsgrad [DP] der Inuline abzuschätzen. Verschiedene Methoden sind beschrieben und werden nachfolgend kurz erläutert.

Als stationäre Phase finden HPTLC-Silica-Gel-60–Platten Verwendung. Unterschiedlich ist die Zusammensetzung der mobilen Phase wie auch Art und Mittel der Detektion. Trennungen von Fructooligosacchariden und Mono- und Disacchariden sind mit folgenden mobilen Phasen und Detektionsmitteln möglich:

- **mobile Phase:** Ethylacetat + Essigsäure + Wasser. **Spühreagenz:** 5% Schwefelsäure in Ethanol (*Capita & Lewis 1998*)
- **mobile Phase:** n-Propanol + Ethanol + Wasser. **Sprühreagenz:** Harnstoff-Lsg. (*McCleary & Blakeney 1999*)
- **mobile Phase:** Acetonitril + Phosphat-Puffer pH 5,5 + 0,05% 2-Aminoethyl-diphenylborat. **Tauchreagenz:** Anilin + Diphenylamin in Methanol/Phosphorsäure (*Simonovska 2000*)

1.6.2 Untersuchungen von Inulin mittels Kapillar-Gas-Chromatographie

Die unterschiedlichen Fructooligosaccharide des Inulins lassen sich mittels Gaschromatographie trennen (*De Leenheer & Hoebregs 1994, Joye & Hoebregs 2000, Quigley et al. 1999*). Für die Bestimmung müssen die Kohlenhydrate mit Trimethyl-Silylimidazol

derivatisiert und anschließend mit Isooctan extrahiert werden. Die Trennung erfolgt mittels SGE Aluminium Clad Kapillar-Säule (L 6m, ID 0,53mm, OD 0,73 mm, Filmdicke 0,1µm).

Die Strukturaufklärung bezüglich des Verzweigungsgrades von Inulin (β -(2-6), β -(2-1)) erfolgt mittels Permethylierungs-Verfahren. Dazu müssen die Kohlenhydrate nach Derivatisierung als permethylierte, acetylierte Alditol-Derivate vorliegen. Diese werden dann mittels Kapillar-Gas-Chromatographie auf einer 60 m langen OV 1701 Kapillar-Säule (ID 0,25mm, Filmdicke 0,1µm) getrennt (*De Leenheer & Hoebregs 1994, Joye & Hoebregs 2000*). Dieses Untersuchungsverfahren eignet sich besonders für kurzkettige Fructooligosaccharide.

1.6.3 Bestimmung von Fructooligosacchariden mittels HPLC

Verschiedene Publikationen sehen den Abbau der Fructooligosaccharide zu Fructose vor, deren Gehalt mittels Brechungsindex-Detektor (RI) bestimmt wird (*Manghi et al. 1995, Vebdrell-Pascuas et al. 2000, Wight & Niekerk 1983*). Für diese Trennung werden eine Kromasil 100 NH₂ (250x4,6 mm, ID 5 µm) Säule und eine mobile Phase aus Acetonitril und Wasser verwendet (*Manghi et al. 1995, Vebdrell-Pascuas et al. 2000*).

Eine weitere Methode trennt Fructose auf einer LiChrosorb Si 60 (250x4 mm, ID 5 µm) Säule mit einer mobilen Phase bestehend aus Acetonitril und Wasser. Nach anschließender Nachsäulenderivatisierung mit „Tetrazolin Blau“ erfolgt die Detektion bei 550 nm mittels UV-Detektor (*Wight & Niekerk 1983*).

Dall'Amico et al. (1995) sieht nach erfolgter Hydrolyse noch eine Umwandlung zu Hydroxymethylfurfural vor.

Für die Direktbestimmung von Inulin ohne vorherige Hydrolyse sind ebenfalls Methoden publiziert. So verwenden *Hoebregs & De Leenheer (1994)* eine RPC18 Nucleosil 120-3C18 M6-Säule und eine Gradientenelution. Für die Detektion der einzelnen Fructooligosaccharide ist ein Light Scattering Massendetektor vorgesehen (*Hoebregs & De Leenheer 1994, Marsilio et al. 2000, Hoebregs 1997*). Neben dieser Methode kann Inulin auch noch direkt mit einer Aminex HPX-87K+ Säule bestimmt werden (*Hoebregs & De Leenheer 1994, Zuleta & Sambucetti 2000*). Die mobile Phase besteht aus einer Kaliumhydroxidlösung (pH-Wert 9,5). Detektiert wird mit einem RI-Detektor.

1.6.4 Bestimmung von Inulingehalten mit der HPAEC-PAD in Verbindung mit der AOAC-Methode

Bei der AOAC Methode 997.08 zur Fructanbestimmung werden die aus dem Inulin stammenden Monosaccharide mit der HPAEC-PAD (high performance anion-exchange chromatography with pulsed amperometric detection) quantifiziert. Nach der Heißwasserextraktion werden als erstes die freie Fructose und Saccharose bestimmt. Im Anschluss daran erfolgen die Amyloglucosidase-Hydrolyse und die Bestimmung der freien Glucose und der aus Stärke und Maltosacchariden stammenden Glucose. Abschließend wird eine Fructoenzym SP230-Hydrolyse durchgeführt, wonach die Gesamtfructose und -glucose quantifiziert werden. Die einzelnen Trennungen erfolgen auf einer Carbopac PA1 (250x4mm) Säule unter Verwendung einer Gradientenelution mit 0,1mol/L NaOH und 1 mol/L NaOH. Die Detektion erfolgt mit einem gepulsten elektrochemischen Detektor (*Hoebregs 1997, Prosky & Hoebregs 1999*).

Diese Bestimmung hat des Weiteren Einzug in eine zweite AOAC-Methode gefunden. Mit der modifizierten AOAC-Methode Nr. 985.29 sollen sowohl lösliche wie auch unlösliche

Ballaststoffe quantifiziert werden und die Fructan- (Inulin-)bestimmung wird somit integriert (*Quemener et al. 1994, Quemener et al. 1997, Dysseler et al. 1995, Dysseler et al. 1999*).

Inulin lässt sich aber auch ohne vorhergehende Hydrolyse mittels HPAEC-PAD bestimmen. Direkt nach einer Heißwasserextraktion (85°C) erfolgt die Trennung auf der Carbopac PA1 bzw. der Carbopac PA100. Dieses HPAEC-PAD Verfahren erlaubt es, die Kettenlängenverteilung der unterschiedlichen Inuline zu qualifizieren und zu quantifizieren. Es wurde bereits als AOAC-Methode für die Bestimmung von Inulinen vorgeschlagen (*Hoebregs & De Leenheer 1994, Hauffe 1997, Henshall 1996, Chatterton et al. 1991/93, Timmermans et al. 1994, Lhomme et al. 2001*).

1.6.5 Enzymatisch-photometrische Inulinbestimmung

Die enzymatisch-photometrische Inulinbestimmung setzt eine Hydrolyse von Inulin in seine Monosaccharidbestandteile voraus. Zuvor werden die frei vorliegende Saccharose durch Sucrase, Stärke und die Maltosaccharide durch β -Amylase, Pullulanase und Maltase zu Glucose bzw. Fructose hydrolysiert. Die Monosaccharide werden mit alkalischer Borhydridlösung zu Zuckeralkoholen reduziert. Das im Extrakt enthaltene Inulin wird nun durch eine Fructanase (exo- und endo-Inulinase) zu Glucose und Fructose gespalten.

Die aus der Hydrolyse stammenden Gehalte an Glucose und Fructose können mittels zweier unterschiedlicher Detektionsverfahren photometrisch quantifiziert werden.

- **Detektionsmethode 1:** Die mit para-Hydroxybenzoesäure-hydrazid (PAHBAH) gebildeten gelben Osazone werden bei 410 nm gemessen (*Megazyme 1997, McCleary et al. 2000*). Diese Inulinbestimmung hat sich in der Praxis bewährt und wird kommerziell als Enzym-Kit vertrieben.
- **Detektionsmethode 2:** Die Monosaccharide werden bei dieser Detektionsart getrennt bestimmt. Hierbei wird NADP zu NADPH reduziert. Die entstandene Menge an NADPH ist der Glucosemenge bzw. dem Fructosegehalt äquivalent und wird photometrisch gemessen (*Hofer & Jenewein 1999, Andersen & Sorensen 1999*).

2. Zielsetzung

Inulin wird aufgrund seiner zahlreichen ernährungsphysiologischen Eigenschaften in einer Vielzahl von Lebensmitteln eingesetzt. Aber auch die technologischen Effekte sind beim Einsatz in unseren Lebensmitteln nicht zu vernachlässigen.

Bisher weist die Literatur keine Arbeiten auf, die den Einfluss von Inulin auf die teigrheologischen Eigenschaften beschreiben. Daher liegt ein Schwerpunkt dieser Arbeit darin zu zeigen, wie sich der Zusatz von Inulinen mit unterschiedlichem Polymerisationsgrad auf die Hefeteigbereitung auswirkt. Durch unterschiedliche physikalische Messmethoden sollen die verschiedenen rheologischen Auswirkungen auf das verwendete Weizenmehl und die Weizenproteine/Gluten deutlich gemacht werden. Weiterhin soll der Einfluss von Inulin auf die Kleberbildung bei der Hefeteigbereitung betrachtet werden.

Ein weiteres Ziel der vorliegenden Arbeit ist die Untersuchung des Abbauverhaltens von Inulin in Hefe(fein)teigen durch den Einsatz von Backhefe (*Saccharomyces cerevisiae*). Der Einsatz von spezifischen Lactobacillen und Inulin ist in Hefeteigen üblich und so gilt es den Fructooligosaccharidabbau durch die eingesetzten Mikroorganismen zu klären.

Analytisch werden die Gehalte der zugesetzten Inuline im Teig sowie in verzehrfähigen Gebäcken überprüft. Die Untersuchungen der Inulinzusätze im Teig vor und nach der Gärphase dienen dazu, einen evtl. Abbau durch Triebmittel bzw. mehleigene Enzyme zu charakterisieren. Des Weiteren soll die Nachweisbarkeit der Fructooligosaccharide in verzehrfähigen Gebäcken zeigen, inwieweit gewährleistet ist, dass ernährungsphysiologisch sinnvolle Mengen an zugesetzten Inulinen nach allen Herstellungsschritten noch erhalten sind.

Parallel zu den physikalischen (rheologischen) und analytischen Untersuchungen werden die backtechnischen und sensorischen Eigenschaften von Inulin in unterschiedlichsten Hefefeinteigen gezeigt.

3. Ergebnisse und Diskussion

3.1 Bestimmung von Inulin mittels HPAEC-PAD

3.1.1 Wahl der Versuchsbedingungen

Inulingehalte lassen sich mit verschiedenen Methoden der instrumentellen Analytik bestimmen. Ein Überblick über die wichtigsten Methoden gibt **Kap. 1.7**. Die vorliegenden Untersuchungen zur Inulin- und Mono- bzw. Disaccharidbestimmung werden mittels High-Performance-Anion-Exchange Chromatography (HPAEC) bestimmt.

Die in **Kap. 1.7.4** beschriebene AOAC-Methode zur Bestimmung von Inulin-(Fructan) Gehalten mittels HPAEC setzt eine Hydrolyse bis auf die Monosaccharidbausteine voraus. Es ist davon auszugehen, dass sich die Inuline verschiedener molekularer Zusammensetzung auch unterschiedlich im Verlauf der Backwarenherstellung verhalten. Um diese Annahmen zu belegen, ist es jedoch nötig, die Inuline in ihrer unterschiedlichen molekularen Verteilung zu erhalten und ohne Hydrolyseschritte zu bestimmen. Methoden, wie die AOAC-Methode Nr.997.08 sowie die enzymatisch-photometrisch Bestimmung, lassen keine Rückschlüsse auf das Verteilungsmuster der Inuline zu. So ist die von *Hoebregs & Leenheer (1994)* und *Hoebregs (1997)* beschriebene Trennung der Inuline mittels HPAEC-PAD ohne Hydrolyse die Methode der Wahl, um eine Charakterisierung und quantitative Identifizierung von Fructooligosacchariden [GF_n] durchzuführen.

Die in der Literatur veröffentlichte Methode wurde für die vorliegende Arbeit modifiziert. Die zu bestimmenden Inuline Raftiline[®] HP und Raftiline[®] GR sowie die Mono- und Disaccharide wurden mittels der HPAEC identifiziert und quantifiziert. Die verwendeten Methoden sind in **Kap. 6.1.2** ausführlich beschrieben. Eine Kurzform der Methoden und der chromatographischen Bedingungen ist in **Kap. 3.1.2** aufgeführt.

3.1.2 Trennung der Standardsubstanzen in der HPAEC

Die Standardinuline Raftiline[®] HP und Raftiline[®] GR werden getrennt mittels HPAEC-PAD bestimmt.

Chromatographische Bedingungen der Inulin-Bestimmung:

- Chromatographiesäule: CarboPac PA1 (10 µm, 250 x 4 mm i.d.)
- Gradientenelution: Eluent A: 0,1 M NaOH
Eluent B: 0,1 M NaOH / 1,0 M Na-Acetat
- Gradientenverlauf: 10 - 50% Eluent B in 40 min.
- Flussrate: 1,0 mL / min
- Detektion: gepulster amperometrischer Detektor (PAD) (Gold-Elektrode, Meßbereich: 1nA).

Es werden jeweils Inulin-Standardlösungen mit einer Konzentration von 200 mg/100 mL untersucht. Für die Inulintypen ergeben sich folgende Analysenergebnisse. Die mittleren Peakflächen und die %-Verteilung der Fructooligosaccharidketten [GF_n], sind in **Abb. 3.1.2.a** aufgeführt. Die Analysenergebnisse sind mit den Retentionszeiten tabellarisch im Anhang **Kap. 9.1.e** aufgenommen.

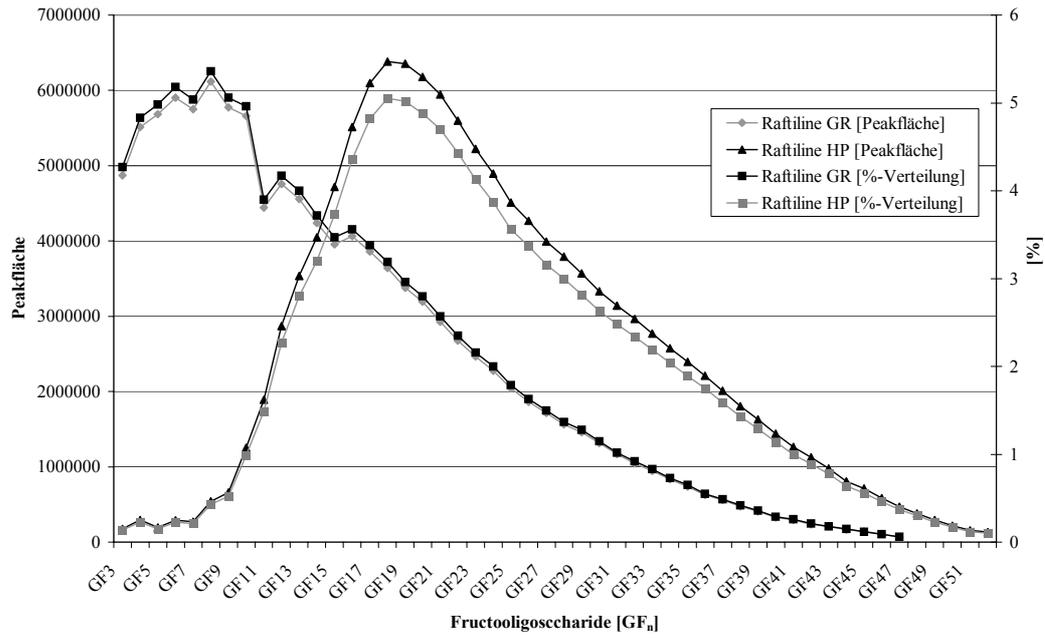


Abb. 3.1.2.a Peakflächenverteilung und %-Verteilung der Inuline Raftiline GR[®] und Raftiline[®] HP

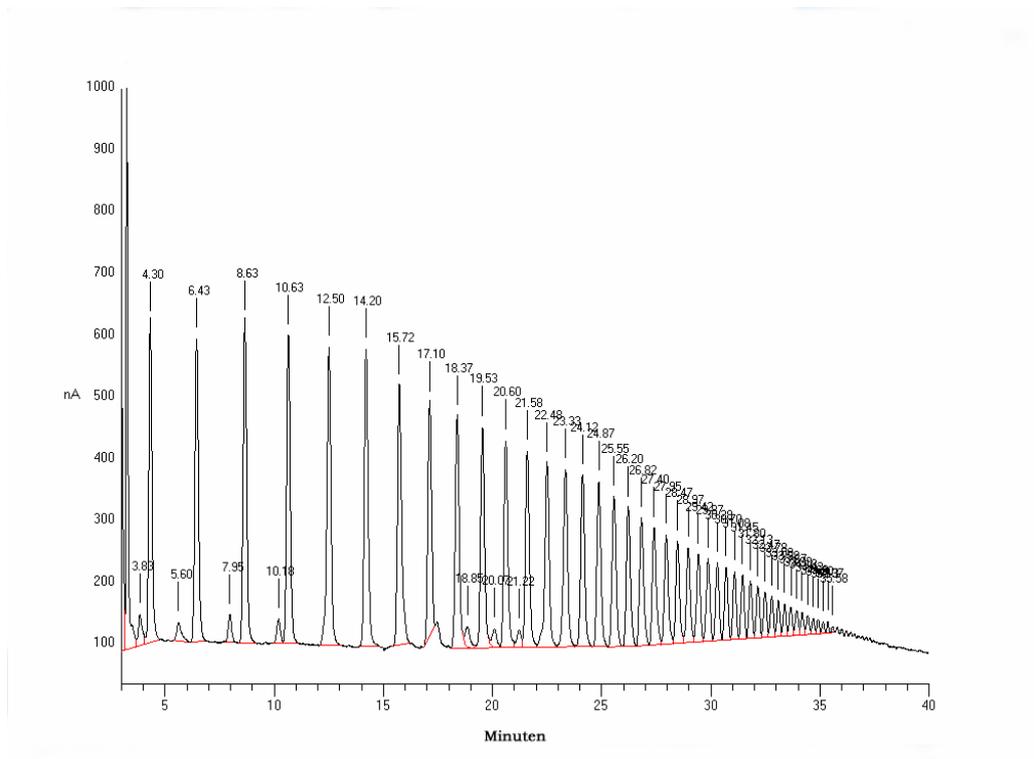


Abb. 3.1.2.b Chromatogramm von Raftiline[®] GR (Inulin GR)

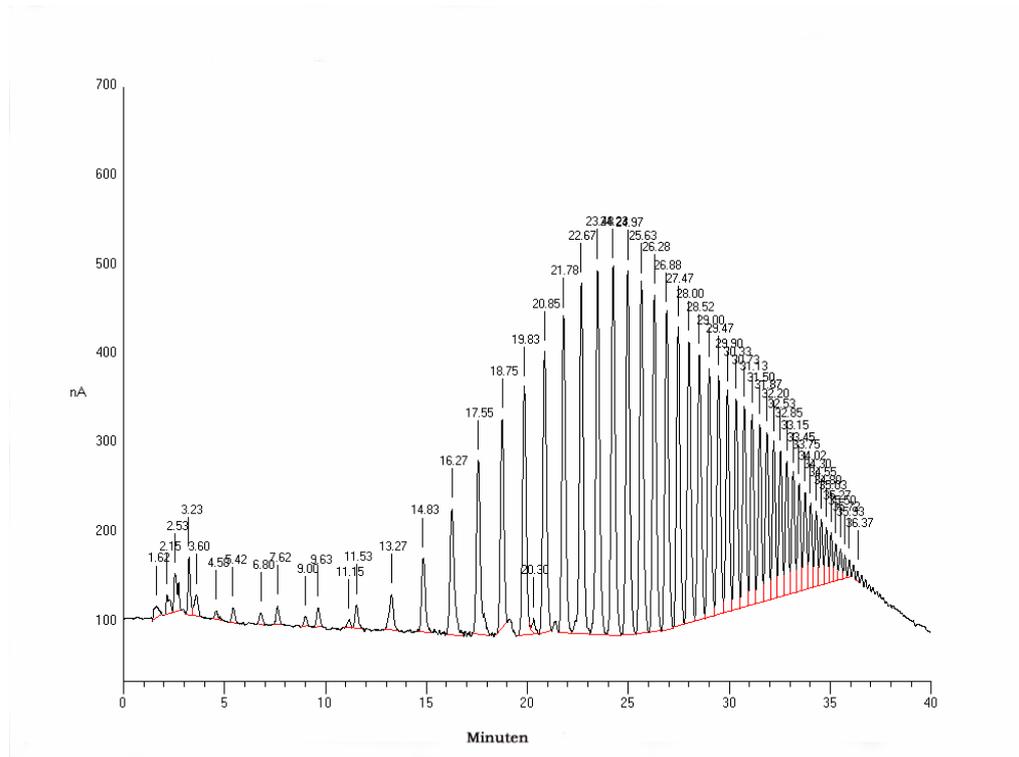


Abb. 3.1.2.c Chromatogramm von Raftiline[®] HP (Inulin HP)

Die beschriebene Methode zur Inulintrennung mittels HPAEC-PAD lässt eine Differenzierung der einzelnen Fructooligosaccharide [GF_n] zu. Die in **Abb. 3.1.2.b** und **3.1.2.c** dargestellten Chromatogramme der Inulinstandards zeigen deutlich die unterschiedliche Verteilung der einzelnen Fructooligosaccharide.

So zeigt Raftiline[®] GR mit einem DP von 10 bei kurzen Retentionszeiten einen hohen Anteil an kurzkettigen Fructooligosacchariden, der mit zunehmender Retentionszeit abnimmt. Die ermittelten Peakflächen und die somit dargestellte %-Verteilung der einzelnen Fructane machen dies deutlich. Die Ergebnisse sind in **Tab. 9.1.e** und **Abb. 3.1.2.a** dargestellt.

Raftiline[®] HP mit einem DP von 25 zeigt im Gegensatz dazu bei kurzen Retentionszeiten nur einen sehr geringen Anteil an kurzkettigen Fructooligosacchariden. Erst mit zunehmender Retentionszeit wird die Konzentration an Fructooligosacchariden größer, wobei der Anteil an höhermolekularen Fructanen wächst. Die Auswertung wird in **Tab. 9.1.e** und **Abb. 3.1.2.a** dargestellt.

Die %-Verteilung der Peakflächen der Inuline HP und GR dient bei den weiteren Auswertungen und Ergebnisbetrachtungen zur Klärung der Veränderungen bzw. des Abbaues einzelner Fructooligosaccharide. Eine Konzentrationsbestimmung jedes einzelnen Fructooligosaccharids ist nicht möglich, da Standardsubstanzen nicht verfügbar sind. Die Retentionszeiten und Peakflächeneinheiten sind im **Anhang Tab. 9.1.f** dargestellt. Die **Abb. 3.1.2.d** zeigt ein Chromatogramm der drei Standard-Fructooligosaccharide: Kestose, 1,1-Kestotetraose und 1,1,1-Kestopentaose. Die Trennung erfolgt unter den oben beschriebenen analytischen Bedingungen.

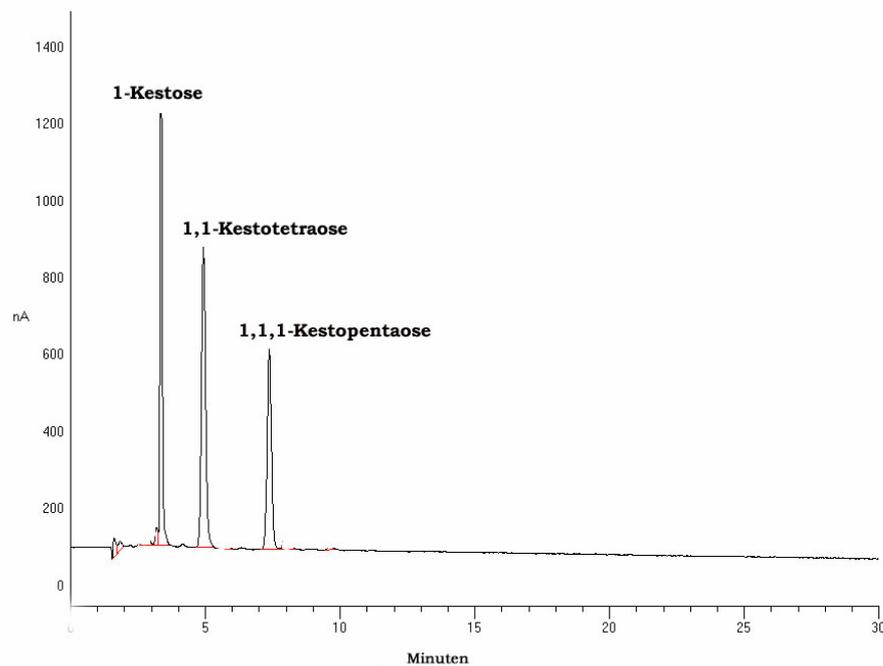


Abb. 3.1.2.d Chromatogramm der Standard-Fructooligosaccharide: Kestose, 1,1-Kestotetraose und 1,1,1-Kestopentaose

Die Monosaccharide Glucose und Fructose sowie das Disaccharid Saccharose werden mittels HPAEC-PAD getrennt und quantifiziert.

Chromatographische Bedingungen der Glucose-, Fructose- und Saccharose-Bestimmung:

- Chromatographiesäule: CarboPac PA1 (10 μm , 250 x 4 mm i.d.)
- Gradientenelution: Eluent A: 0,1 M NaOH
Eluent B: 0,1 M NaOH / 1,0 M Na-Acetat
- Gradientenverlauf: I.) 100% Eluent A: 0 - 25 min.
II.) 0- 50% Eluent B: in 35 min (25 – 60 min)
- Flussrate: 0,7 mL / min
- Detektion: gepulster amperometrischer Detektor (PAD) (Gold-Elektrode, Meßbereich: 3nA).

Es wird eine Kohlenhydrat-Standardlösungen mit einer max. Konzentration von 10mg/100mL pro Analyt untersucht. Für die drei Kohlenhydrate ergeben sich Analysenergebnisse für Retentionszeiten (Mittelwerte) und mittlere Peakflächen, die im **Anhang Tab. 9.1.g** aufgeführt sind.

Die **Abb. 3.1.2.e** zeigt die Trennung von Glucose, Fructose und Saccharose. Jedoch ist es aufgrund der Konzentrationsunterschiede nicht möglich, Glucose, Fructose, Saccharose und die beiden Inulin-Standards in einem Lauf zu trennen. Für die Bestimmung aller verwendeten Komponenten müssen somit immer zwei unterschiedliche Trennprogramme durchlaufen werden.

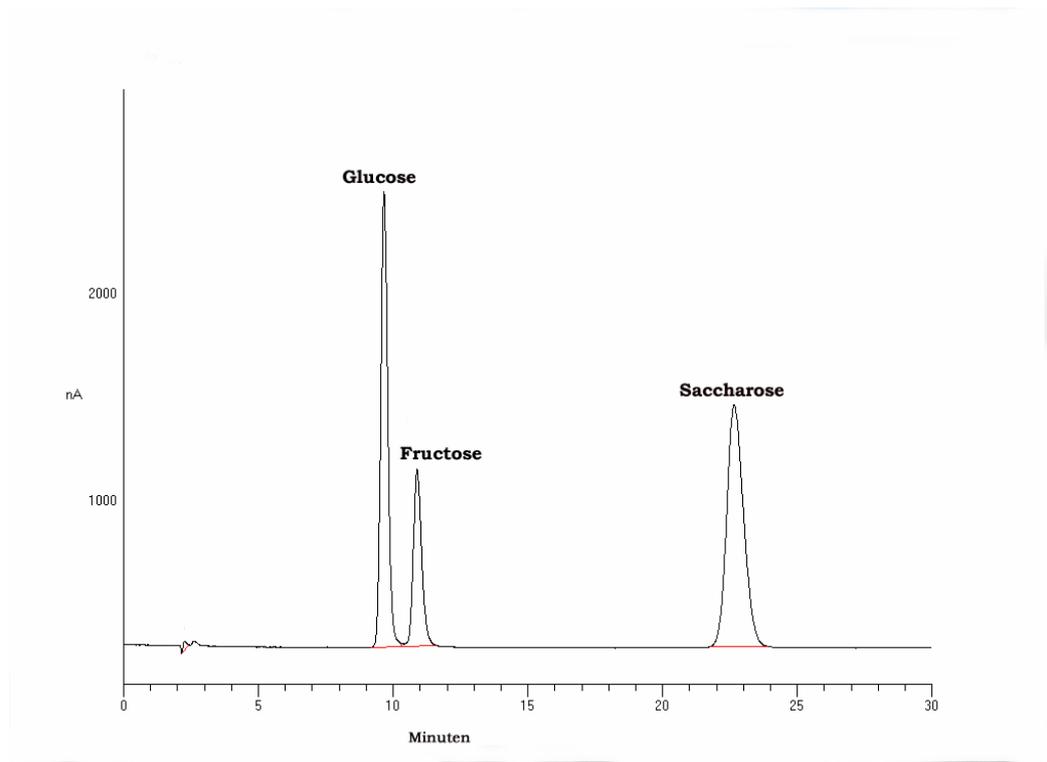


Abb. 3.1.2.e Chromatogramm der Glucose-, Fructose- und Saccharose-Standards

3.2 Fermentationsversuche unter Verwendung von Inulin und teigspezifischen Mikroorganismen

3.2.1 Wahl der Versuchsbedingungen

Dieser Abschnitt soll zeigen, in wieweit die „Bäckerhefe“, *Saccharomyces cerevisiae*, sowie die zwei Lactobacillenstämme *Lactobacillus sanfranciscensis* und *Lactobacillus acidophilus* in der Lage sind, Zusätze an Inulin zu verstoffwechseln und sie während der sogenannten Teigreife abzubauen.

Für die Fermentationsversuche wird mit einem „Minimal-Medium“ gearbeitet, das keine fermentierbare Kohlenstoff-Quelle aufweist. Somit lässt sich die Verstoffwechselbarkeit von Kohlenhydratzusätzen durch die entsprechenden Mikroorganismen direkt bestimmen.

Die verwendeten Substanzen sowie Mikroorganismen und die eigentliche Fermentationsmethode und Messmethodik sind in **Kap. 6.2** aufgeführt.

Durch die Verwendung zweier Backhefesorten, Frisch- bzw. Trockenhefe, soll gewährleistet werden, dass die evtl. Abbaubarkeit nicht nur auf die Hefe eines Herstellers/Anbieters zurückzuführen ist. *L. sanfranciscensis* und *L. acidophilus* sind zwei gängige Vorteig/Sauerteigbakterien. So ist der *L. sanfranciscensis* ein heterofermentativer Lactobacillenstamm. Im Gegensatz dazu ist der *L. acidophilus* ein homofermentativer Lactobacillenstamm.

Zur Bestimmung von Abbaubarkeiten durch *S. cerevisiae* wird die Saccharose als Standardsubstanz eingesetzt, da sie fast vollständig abgebaut wird. Im Gegensatz dazu können die Lactobacillenstämme *L. sanfranciscensis* und *L. acidophilus* Saccharose nicht oder nur in sehr geringem Maße verstoffwechseln. **Tab. 3.2.1.a** gibt Aufschluss über die Verstoffwechselbarkeit einzelner Kohlenhydrate durch die verwendeten Mikroorganismen.

Tab. 3.2.1.a Verstoffwechselbarkeit verschiedener Kohlenhydrate durch die verwendeten Mikroorganismen

Kohlenhydrat	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	<i>Lactobacillus sanfranciscensis</i>	<i>Lactobacillus acidophilus</i>
Glucose	+	+	+
Fructose	+	+	+
Maltose	+	+	+
Galactose	-	-	+
Mannose	-	-	+
Cellobiose	-	-	+
Lactose	-	-	+
Saccharose	+	-	(+)

Die in den Proben vorkommenden Kohlenhydrate sind Saccharose sowie Glucose und Fructose, die als Beiprodukte in dem Inulin Raftiline® GR enthalten sind.

Die Fermentationsversuche sollen unter Bedingungen durchgeführt werden, die vergleichbar mit denen der Gärphase des Teiges sind

Die maximale Fermentationsdauer von 24h beruht neben den praxisnahen Bedingungen der Vorteigführung auch auf Vorversuchen, die gezeigt haben, dass bei einer Versuchsdauer von 48h und länger kein weiterer Abbau der Kohlenhydrate stattfindet.

Der Versuchsplan der Fermentationsversuche ist in **Tab 3.2.1.b** dargestellt.

Tab. 3.2.1.b Versuchsplan der Fermentationsversuche

Konzentration der einzelnen C-Quellen im Fermentationsmedium						
Mikroorganismen	ohne Zusatz	1% Sac.	0,5% Sac. + 0,5 Inulin GR	0,5% Sac. + 0,5% Inulin HP	1% Inulin GR	1% Inulin HP
ohne Inokulum	FO1	FO2			FO3	FO4
<i>Saccharomyces cerevisiae</i> (Frischhefe)	FSF1	FSF2	FSF3	FSF4	FSF5	FSF6
<i>Saccharomyces cerevisiae</i> (Trockenhefe)	FST1	FST2	FST3	FST4	FST5	FST6
<i>Lactobacillus sanfranciscensis</i>	FLS1	FLS2	FLS3	FLS4	FLS5	FLS6
<i>Lactobacillus acidophilus</i>	FLA1	FLA2	FLA3	FLA4	FLA5	FLA6

Alle anfallenden Fermentationsproben, zweimalige Probennahme pro Versuchsdurchlauf, werden mit der in **Kap. 3.1** und **Kap. 6.1.2/3** beschriebenen Kohlenhydratanalytik mittels HPAEC-PAD analysiert.

Die Auswertung unterteilt sich in 6 Bereiche, die im Folgenden näher beschrieben werden.

- Im ersten Abschnitt werden die Peakflächen der Inuline (GR/HP) nach 0 und 24h Fermentation direkt verglichen. Bei gleicher Verdünnung der Fermentationslösungen ist eine Konzentrationsänderung (Flächenänderung) der einzelnen Fructooligosaccharide direkt erkennbar.
- Vergleich der prozentualen [%] Verteilung der Peakflächen nach 0 und 24h Fermentation. Hierfür wird die gesamte Fläche einer bestimmten Anzahl an Fructooligosacchariden als 100% gesetzt und so das prozentuale Vorkommen einzelner Fructane berechnet. Die Darstellung ist unabhängig von der Konzentration, da die prozentuale Verteilung der Peakfläche sich nicht durch unterschiedliche Verdünnungen ändert.
- Darstellung der relativen Änderungen des Gesamtkohlenhydratgehaltes. Nach 24h Fermentationsdauer werden die einzelnen Gehalte an Glucose, Fructose, Saccharose und Inulin (GR/HP) bestimmt und auf den anfänglichen Gesamtkohlenhydrateinsatz von 100% berechnet.

- Darstellung des pH-Wert-Verlaufes durch stündliche Messpunkte. Die Ergebnisse der pH-Wert-Bestimmungen spiegeln die Stoffwechselaktivität der Hefen wie auch der Milchsäurebakterien wieder. Ein Absinken des pH-Wertes im Verlauf der Fermentation ist ein Indikator für den Anstieg der Stoffwechselprodukte von z.B. Acetat und Lactat.
- Darstellung der optische Dichte durch stündliche Messpunktsänderungen. Messungen der optischen Dichte lassen Aussagen über das Wachstum von Mikroorganismen zu. Ein Anstieg der optischen Dichte vermittelt demnach eine Zunahme der Hefen- bzw. Lactobacillenpopulation..
- Gesamtdarstellung aller relativen Änderungen bei der Fermentation. Direkte Abnahme des pH-Wertes, Zuwachs der optischen Dichte [%OD] sowie relative Änderungen der einzelnen Kohlenhydratgehalte. Ist ein Kohlenhydrat nicht mehr nachweisbar, entspricht dies einem Verlust von 100%.

3.2.2 Fermentationsversuche ohne Mikroorganismen (MO's)

Für die Überprüfung der Stabilität einzelner Kohlenhydrate unter Fermentationsbedingungen wird dem Minimal-Medium (Pepton) (Kap. 6.2) nur das zu untersuchende Kohlenhydrat zugesetzt. Weiterhin wird eine Fermentation ohne Kohlenhydrat und Hefen oder Lactobacillen durchgeführt. Der Versuchsplan der Fermentationen ohne MO's ist in Tab. 3.2.2.a dargestellt.

Die Ergebnisse in den **Abb. 3.2.2.a-e** geben Aufschluss über die Stabilität der Kohlenhydrate Saccharose, Raftiline[®] GR und Raftiline[®] HP im Fermentationsmedium ohne MO-Zusatz.

Tab. 3.2.2.a Versuchsplan für Fermentationen ohne MO-Zusatz

Versuchs-(Reihe)Nr.:	Versuchsparameter:
FO1	ohne Kohlenhydrat, ohne MO's
FO2	1% Saccharose, ohne MO's
FO3	1% Inulin Raftiline [®] GR, ohne MO's
FO4	1% Inulin Raftiline [®] HP, ohne MO's

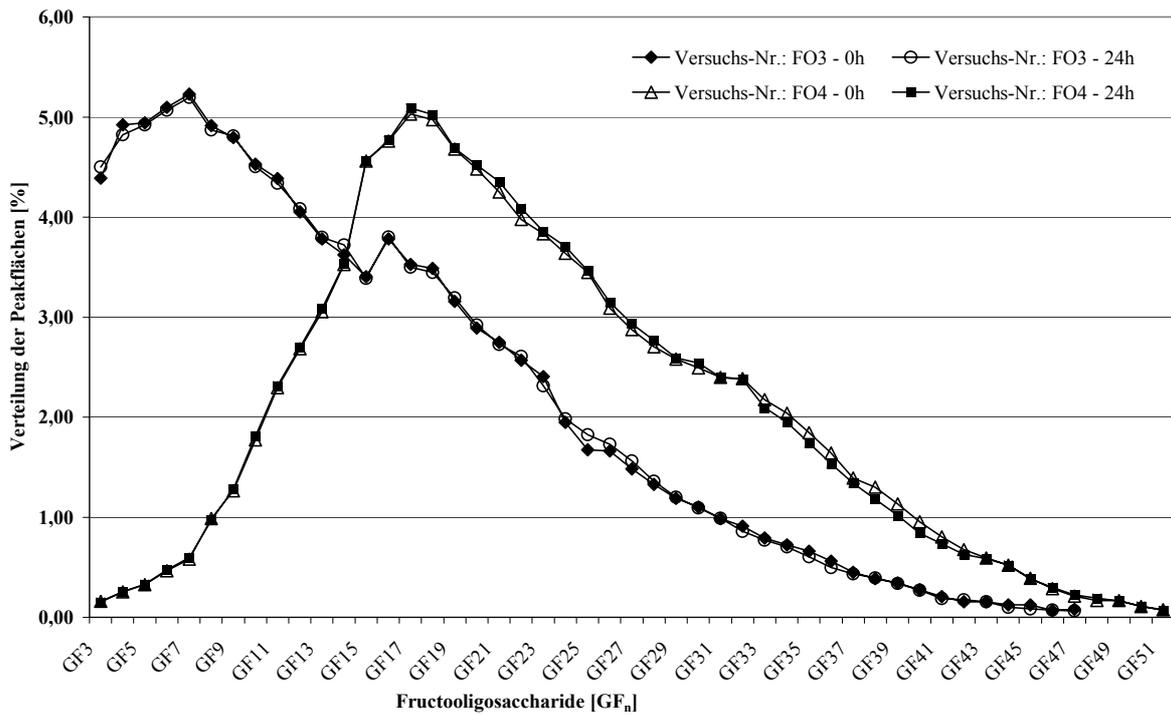


Abb. 3.2.2.a %-Verteilung der Peakflächen der Versuchs-Nr.: FO3 und FO4 bei einer Fermentationsdauer von 0 und 24h.

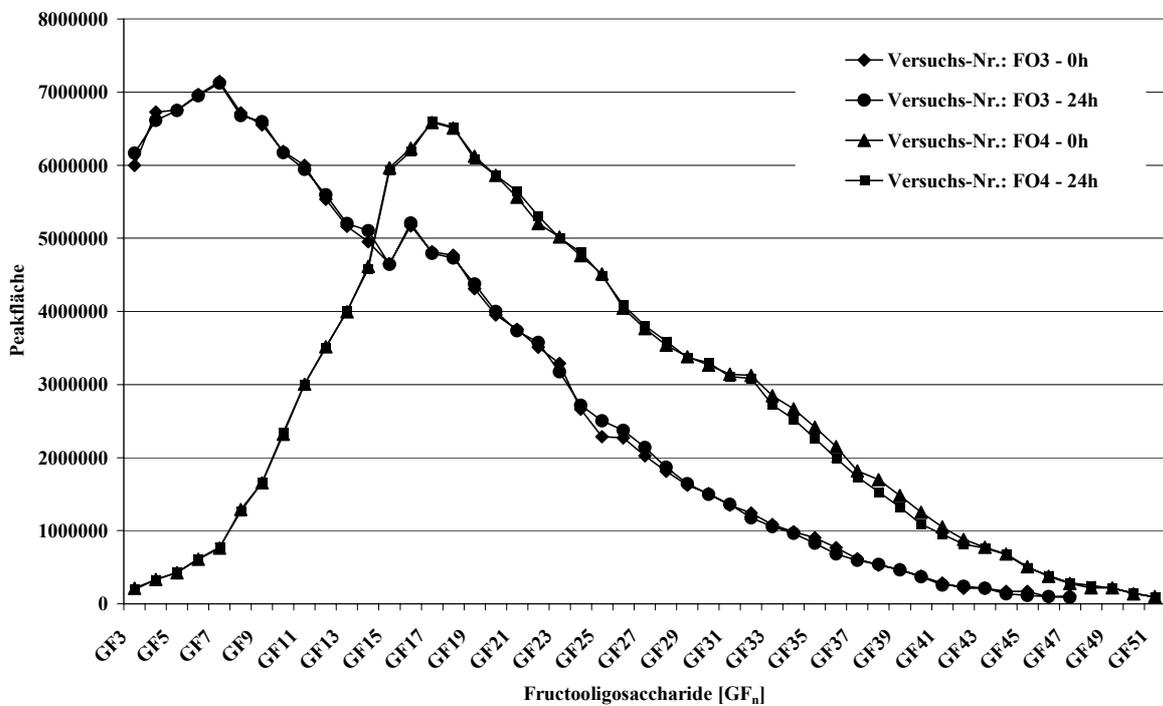


Abb.3.2.2.b Verteilung der Peakflächen der Versuchs-Nr.: FO3 und FO4 bei einer Fermentationsdauer von 0 und 24h.

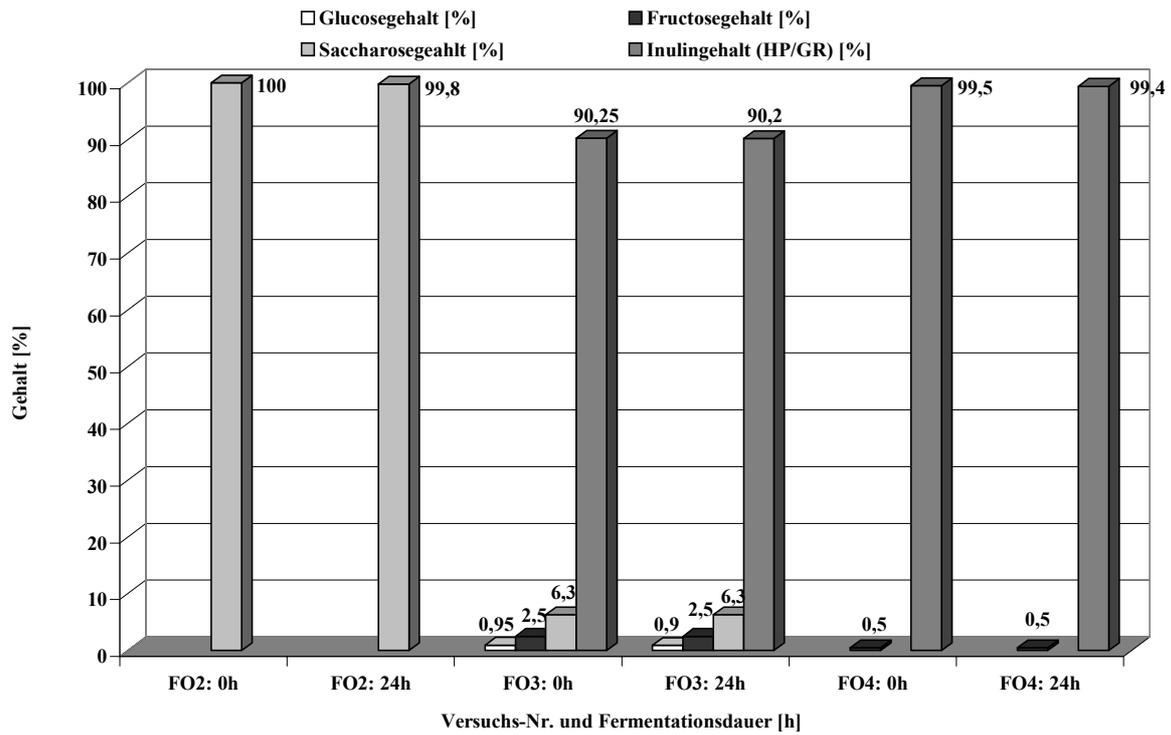


Abb. 3.2.2.c Relative Änderungen an Glucose, Fructose, Saccharose und Inulin (HP/GR) in [%] der Versuchs-Nr.: FO2, FO3, FO4 bei Fermentationen von 24h.

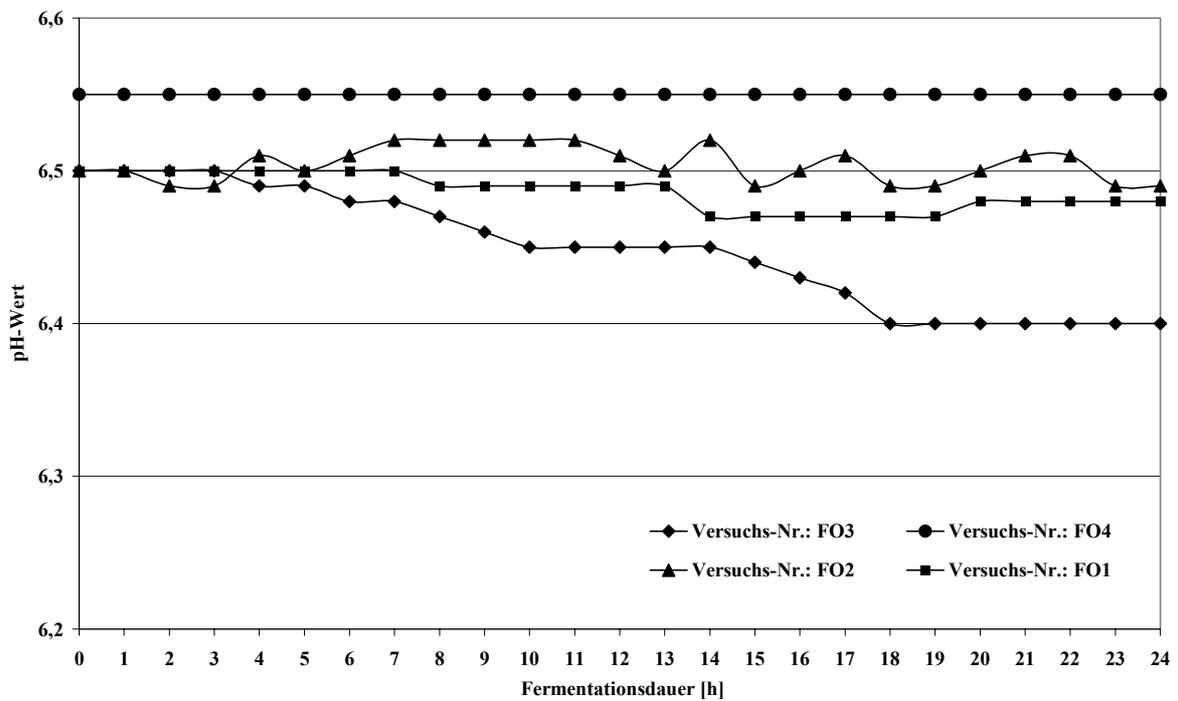


Abb. 3.2.2.d pH-Wert Verlauf der Versuchs-Nr.: FO1-FO4 bei Fermentationen von 24h.

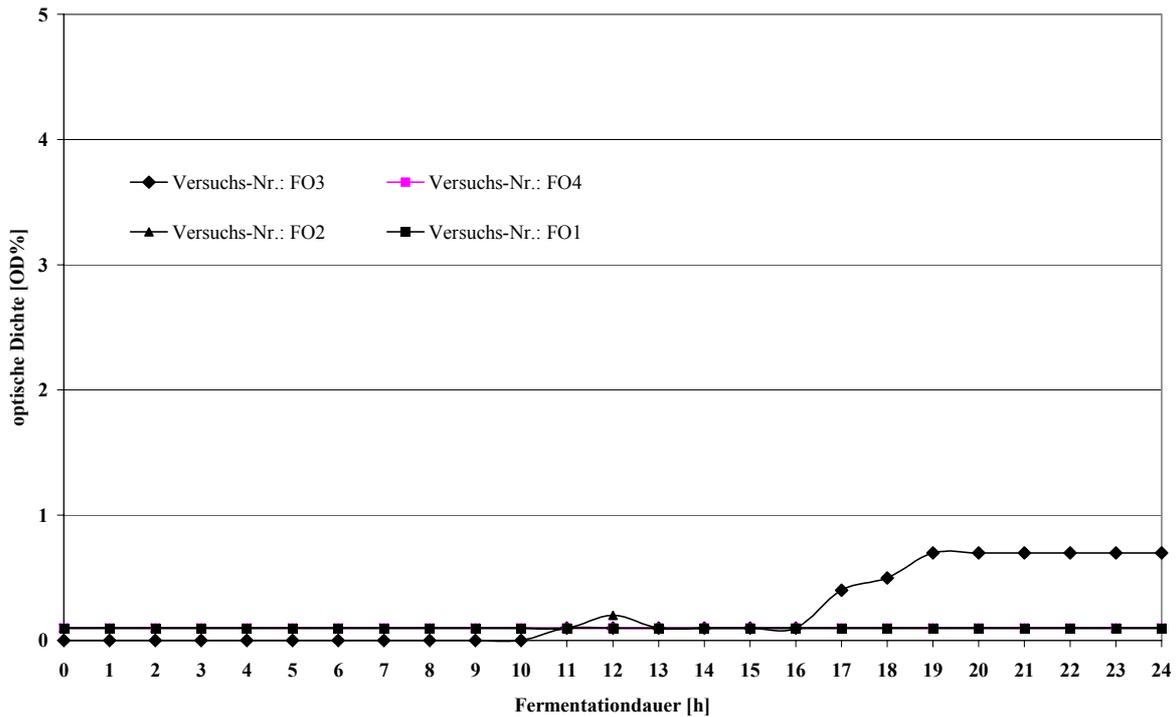


Abb. 3.2.2.e Verlauf der optischen Dichte der Versuchs-Nr.: FO1-FO4 bei Fermentationen von 24h.

Tab. 3.2.2.b Auswertung des Versuches Nr.: FO2:

Fermentationsdauer [h]	Peakfläche	Konzentration [mg/100 mL] (nach Verdünnung)
0	10580395	10
24	10601225*	10

*Abweichung von 0 bis 24h um 0,2% in der Konzentration

Die Mittelwerte der Messreihen mit den entsprechenden Versuchsbezeichnungen sind im Anhang unter **Kap. 9.2.1.1** und **9.2.1.2** aufgeführt.

Die chromatographischen Auswertungen in den **Abb. 3.2.2.a-c** zeigen keine deutlichen Veränderungen in der Peakflächenverteilung der untersuchten Kohlenhydrate (Versuchs-Nr. FO2-FO4). So ändert sich bei Versuchsreihe FO3 der Mono- und Disaccharidgehalt nur um 0,05% und der Inulin GR Gehalt um 0,05%, bezogen auf 100% Gesamtkohlenhydratgehalt. Abbaureaktionen des Inulin Raftiline® GR sind somit auszuschließen. Bei der Versuchsreihe FO4 zeigen weder die Peakflächenverteilung, noch die Darstellung der einzelnen Gehalte an Inulin HP bzw. Fructose, die zu 0,5% im Inulin HP vorhanden ist, Abbaureaktionen. Lediglich eine Differenz von 0,1% Inulin HP ist zwischen 0h und 24h Fermentationsdauer festzustellen, die auf die Messungenauigkeit zurückzuführen ist. Betrachtet man **Abb. 3.2.2.d**, so ändern sich die pH-Wert-Verläufe der jeweiligen Fermentationsversuche nur innerhalb der Messungenauigkeit. Dasselbe gilt für den Verlauf der optischen Dichte, wie in **Abb. 3.2.2.e** erkennbar.

3.2.3 Fermentationsversuche unter Verwendung von *Saccharomyces cerevisiae* (Frischhefe)

Nach der Stabilitätsprüfung der unterschiedlichen Kohlenhydratquellen im Fermentationsmedium ohne Zusatz von MO's folgt die Fermentation mittels *Saccharomyces cerevisiae*. Die genaue Spezifikation dieser handelsüblichen Frisch-Backhefe ist im **Anhang Kap. 9.1.5** aufgeführt.

Der Versuchsplan der Fermentationen mit *S. cerevisiae* (Frisch-Backhefe) ist in **Tab. 3.2.3.a** dargestellt.

Tab. 3.2.3.a Versuchsplan für Fermentationen mit *S. cerevisiae* (Frisch-Backhefe)

Versuchs-(Reihe)Nr.:	Versuchsparameter:
FSF1	ohne Kohlenhydratzusatz
FSF2	1% Saccharose
FSF3	0,5% Saccharose + 0,5% Inulin Raftiline [®] GR
FSF4	0,5% Saccharose + 0,5% Inulin Raftiline [®] HP
FSF5	1% Inulin Raftiline [®] GR
FSF6	1% Inulin Raftiline [®] HP

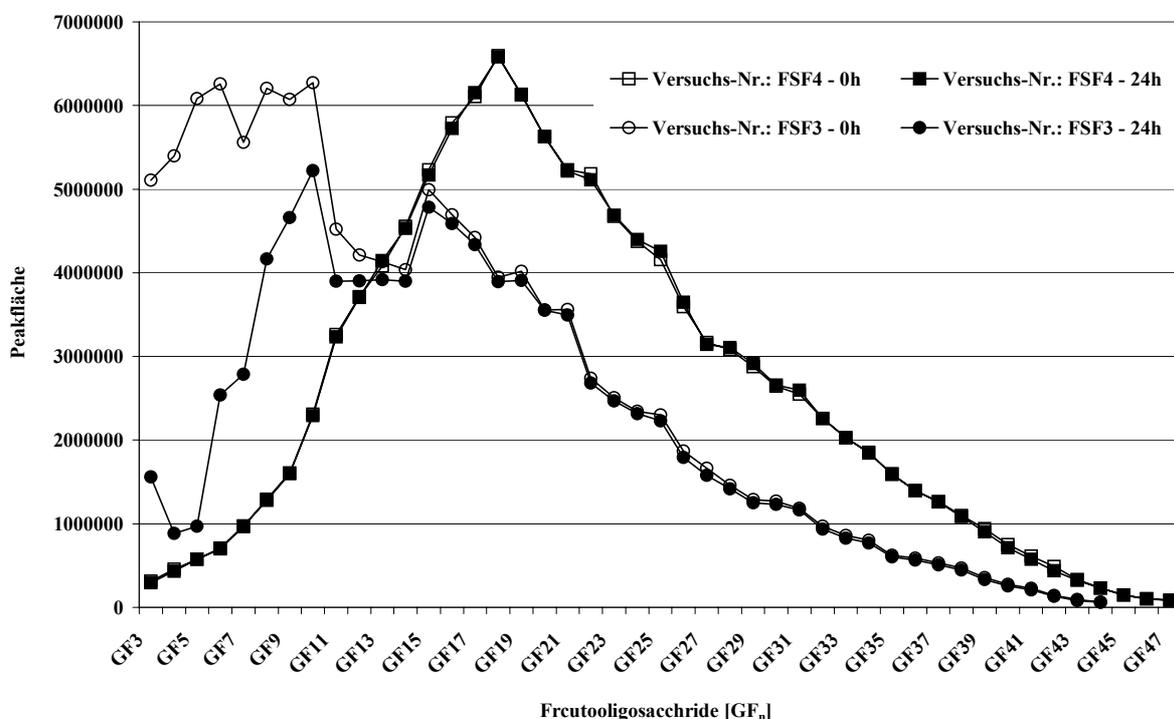


Abb. 3.2.3.a Verteilung der Peakflächen der Versuchs-Nr.: FSF3 und FSF4 bei einer Fermentationsdauer von 0 und 24h.

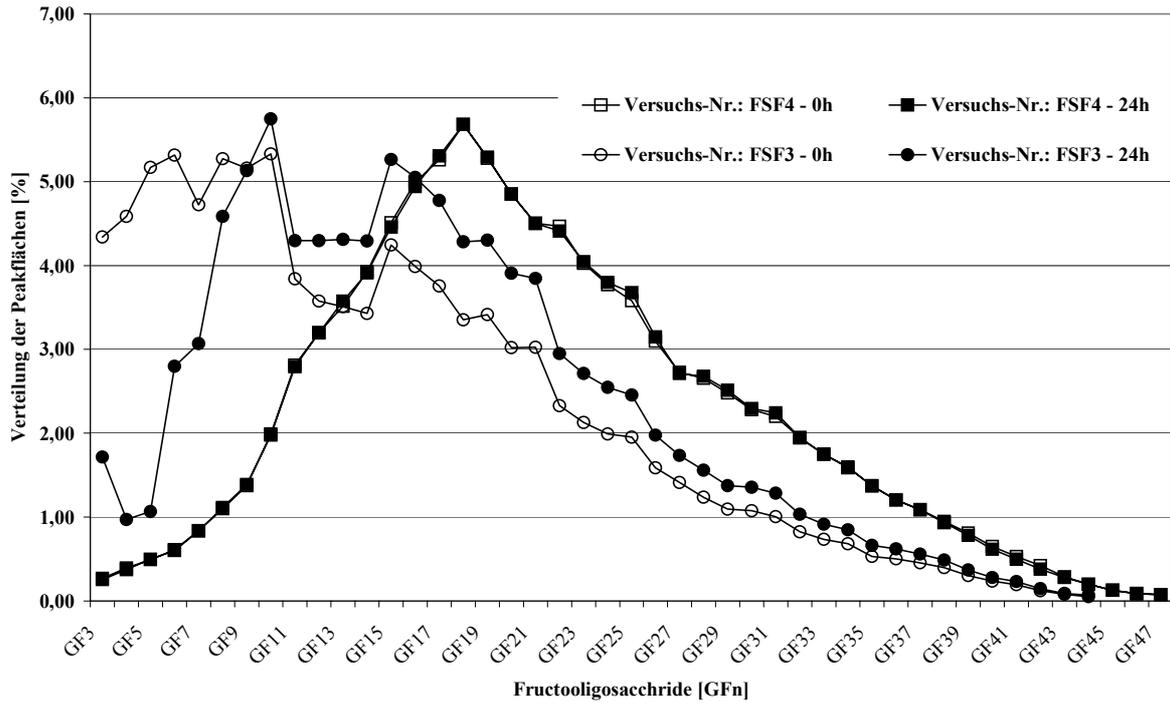


Abb. 3.2.3.b %-Verteilung der Peakflächen der Versuchs-Nr.: FSF3 und FSF4 bei einer Fermentationsdauer von 0 und 24h.

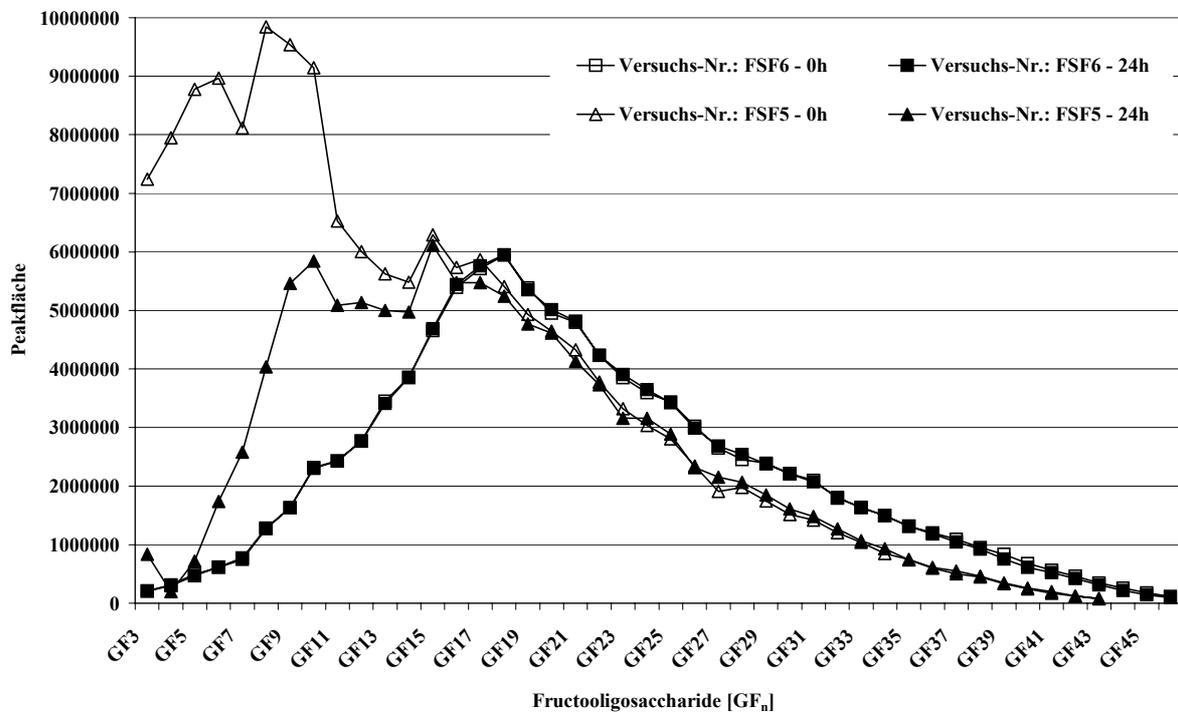


Abb. 3.2.3.c Verteilung der Peakflächen der Versuchs-Nr.: FSF5 und FSF6 bei einer Fermentationsdauer von 0 und 24h.

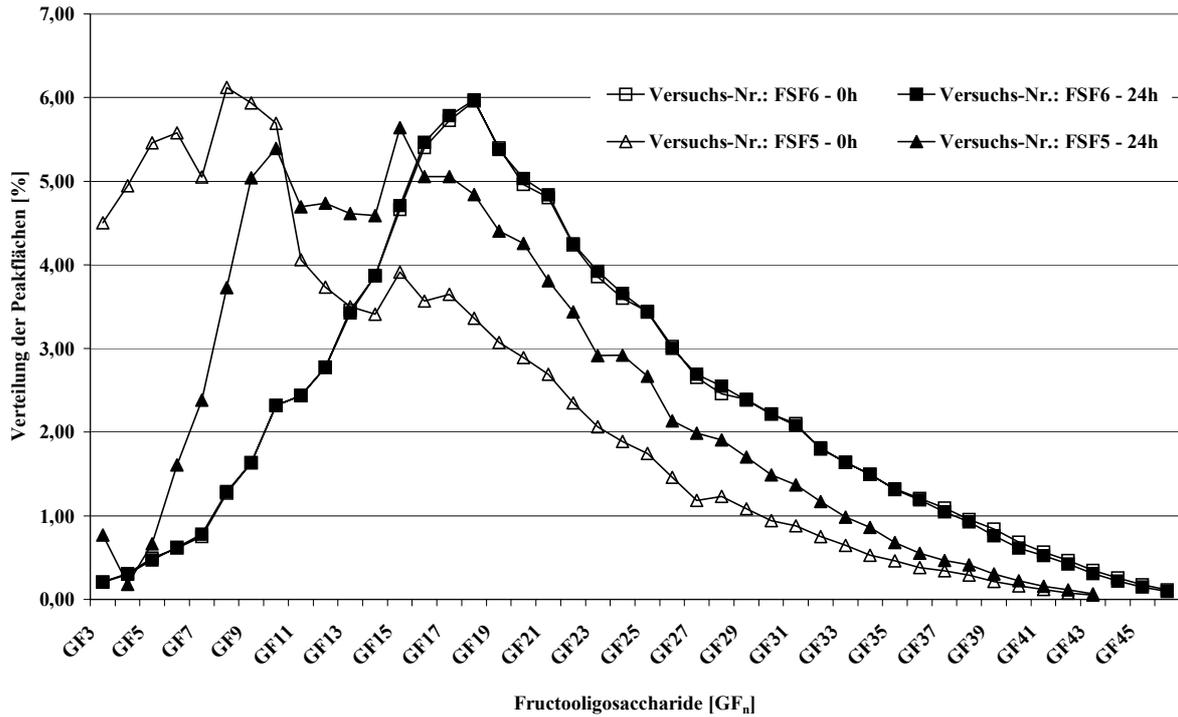


Abb. 3.2.3.d %-Verteilung der Peakflächen der Versuchs-Nr.: FSF5 und FSF6 bei einer Fermentationsdauer von 0 und 24h.

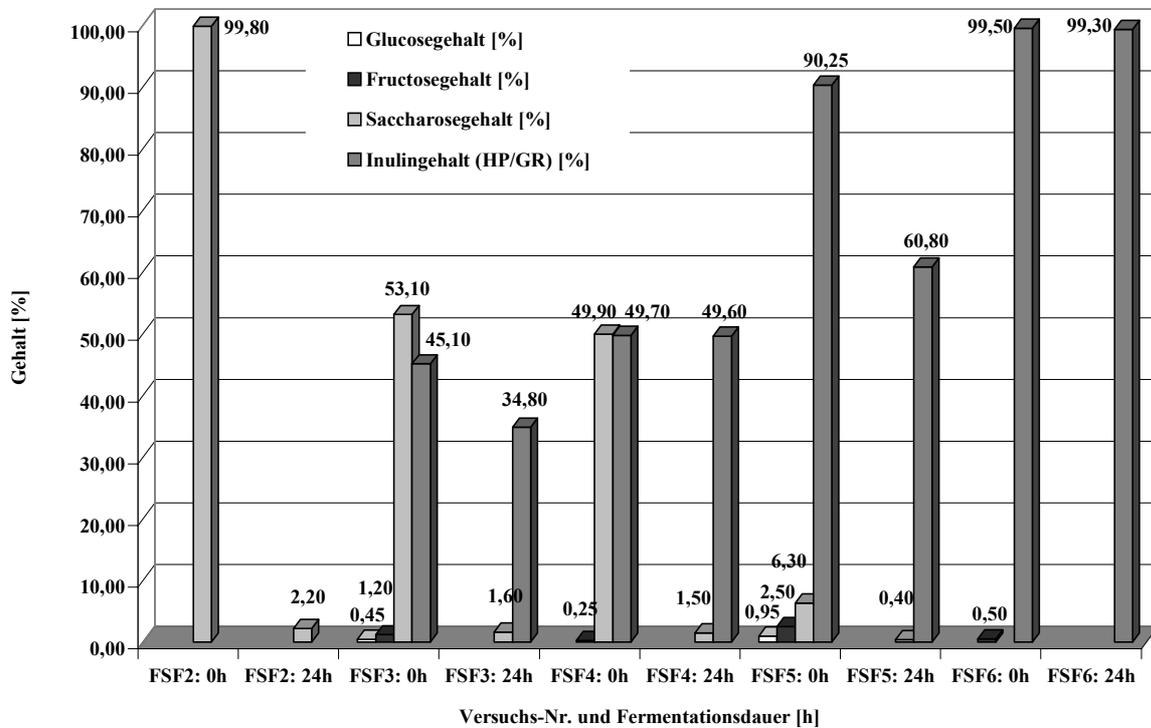


Abb. 3.2.3.e Relative Änderungen an Glucose, Fructose, Saccharose und Inulin (HP/GR) in [%], bezogen auf 100% Gesamtkohlenhydrateinsatz je Versuch, der Versuchs-Nr.: FSF2 – FSF6, bei Fermentationen von 24h.

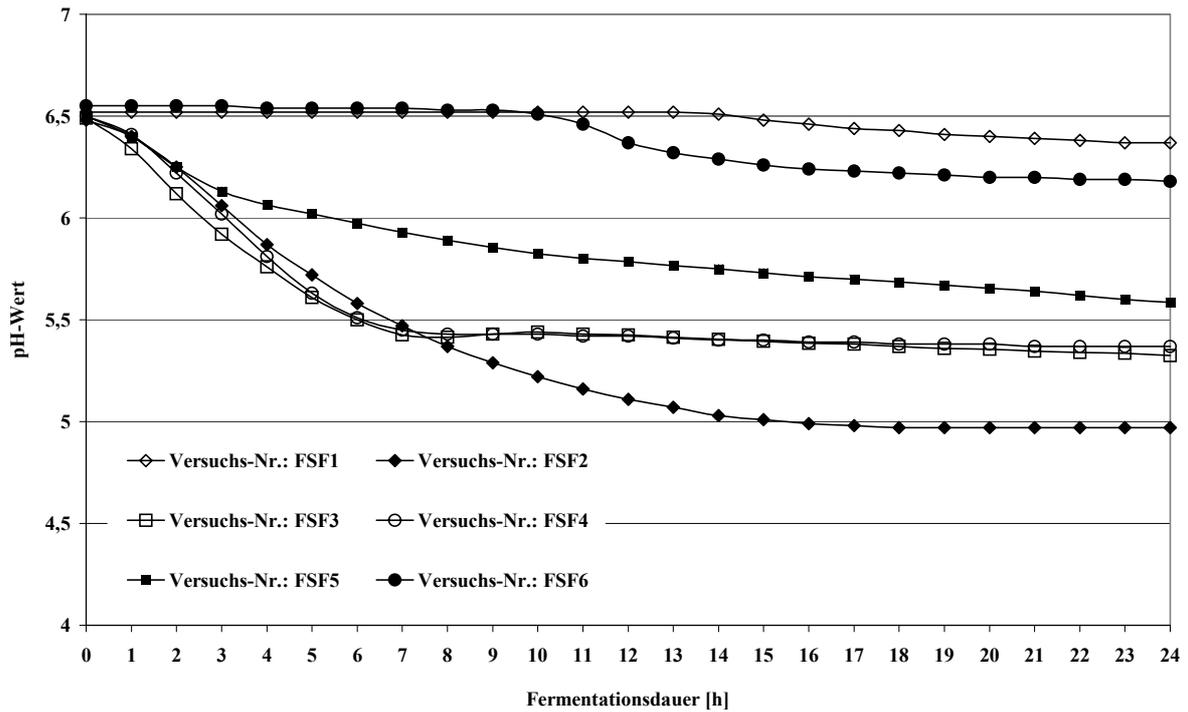


Abb. 3.2.3.f pH-Wert Verlauf der Versuchs-Nr.: FSF1-FSF6 bei Fermentationen von 24h.

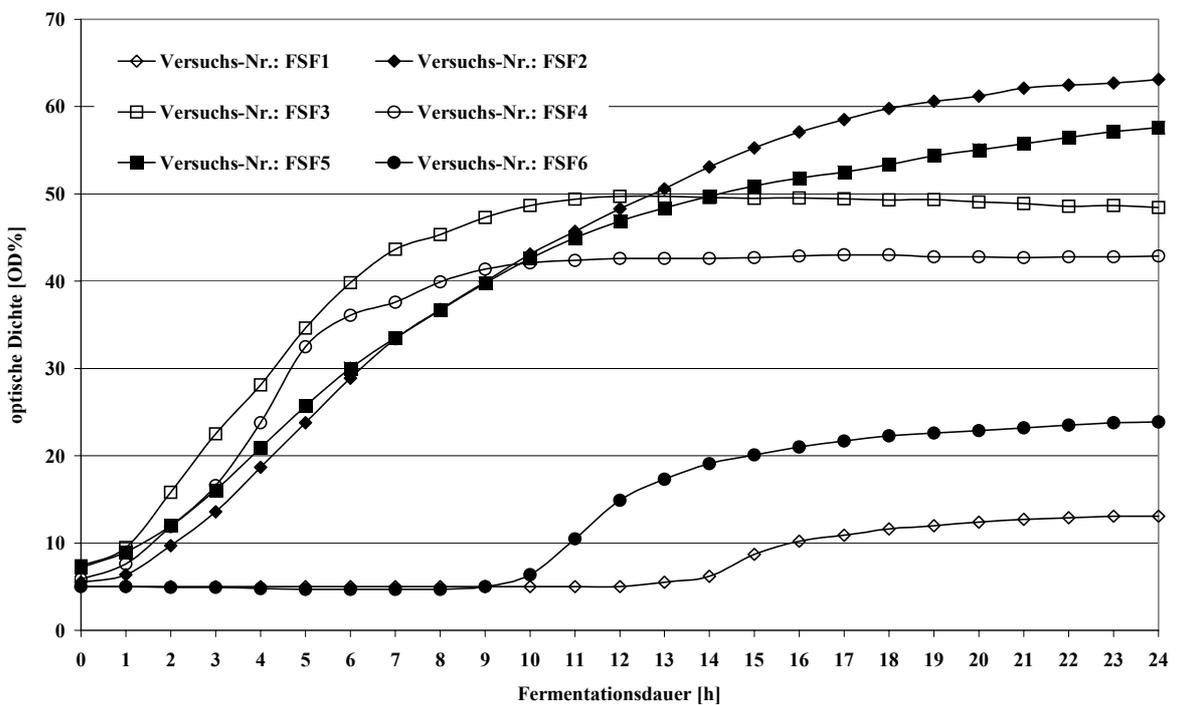


Abb. 3.2.3.g Verlauf der optischen Dichte [OD%] der Versuchs-Nr.: FSF1-FSF6 bei Fermentationen von 24h.

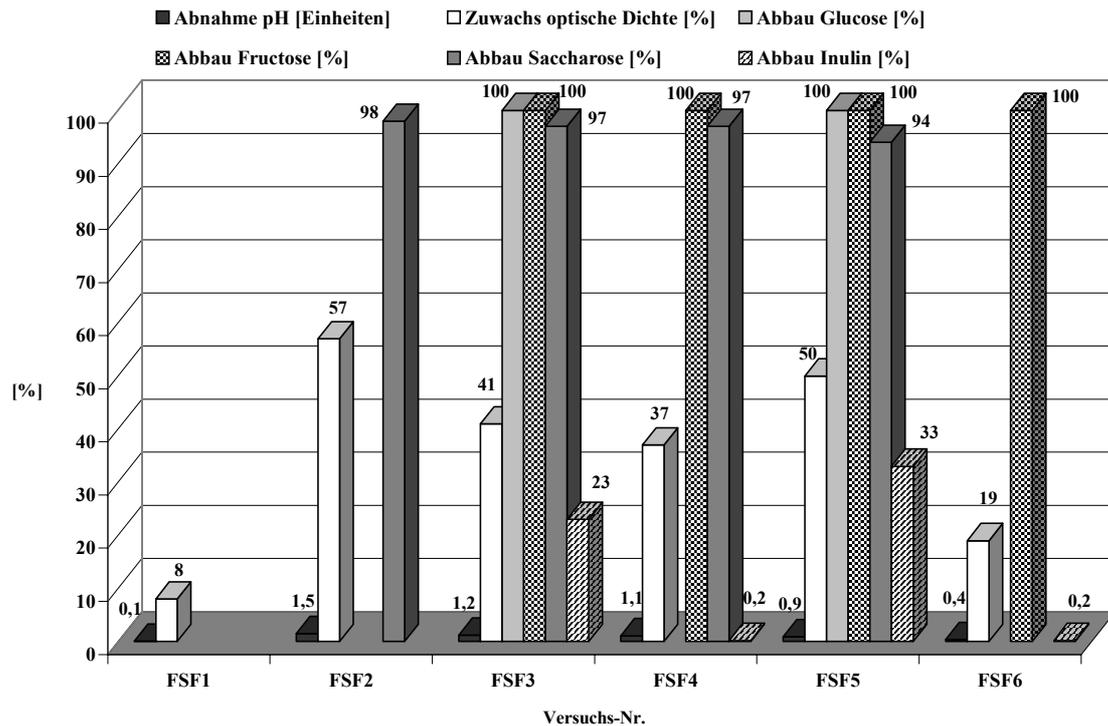


Abb. 3.2.3.h Relative Veränderungen von Kohlenhydraten sowie des pH-Wertes und der optischen Dichte bei den Fermentationen.

Die entsprechenden Chromatogramme und Datentabellen sind im **Anhang Kap. 9.2.2.1** und **9.2.2.2** aufgeführt

Die Darstellung der Peakflächen-Verteilung des Versuchs Nr.FSF3, mit 0,5% Saccharose + 0,5% Inulin Raftiline® GR, in **Abb. 3.2.3a-b** zeigt eine starke Abnahme der Fructooligosaccharide GF₃-GF₁₁. So werden z.B. von GF₃ 70% bzw. von GF₄ und GF₅ mehr als 80% fermentiert. Der pH-Wert sinkt um 1,2 Einheiten (von 6,5 – 5,3), wobei die optische Dichte sich um 41% (von 7% -48%) erhöht (**Abb. 3.2.3.f-g**). Die **Abb. 3.2.3.h** zeigt weiter, dass die im Inulin Raftiline® GR enthaltenen Monosaccharide zu 100%, die Saccharose zu 97% und das Inulin GR zu 23% abgebaut werden.

In Versuchs-Nr. FSF4 (**Abb. 3.2.3a-b**) zeigt sich in der Peakflächen-Verteilung keine Abnahme einzelner Fructooligosaccharide, wie es bei Versuchs-Nr. FSF3 mit Inulin GR zu erkennen war. Die Abnahme des pH-Wertes um 1,1 Einheiten (von 6,5 – 5,4) und der Zuwachs der optischen Dichte um 37% (von 6% - 43%) charakterisieren eine hohe Stoffwechsellleistung der zugesetzten Hefen (**Abb. 3.2.3.f-h**). Änderungen der optischen Dichte sowie des pH-Wert-Verlaufes sind auf die Verstoffwechselung von Saccharose und Fructose (aus Inulin HP) zurückzuführen Die zugesetzte Saccharose wird in diesem Fermentationsversuch zu 97% abgebaut. Fructose, die zu 0,5% in Inulin Raftiline® HP enthalten ist, ist nach einer Fermentationsdauer von 24h nicht mehr nachweisbar. Wogegen sich beim eigentlichen Inulin HP nur ein Gesamtverlust von 0,2% zeigt, was auf den eigentlichen Messfehler (Messungenauigkeit) zurückzuführen ist.

Betrachtet man einzelne Fructooligosaccharide der Versuchs-Nr.FSF5, so zeigt sich, dass z.B. GF₃ bis GF₅ jeweils bis zu 90% fermentiert werden. Inulin GR zeigt im Versuchs-Nr. FSF5, dass der Bereich der niedermolekularen Fructooligosaccharide von GF₃ bis GF₁₄ einen Abbau durch die Hefen erfahren. So nimmt mit steigender Molekülgröße die Abbaubarkeit der einzelnen GF_n ab (**Abb. 3.2.3.c-d**). Die Senkung des pH-Wertes um 0,9 (von 6,5 – 5,6)

Einheiten und die Steigerung der optischen Dichte um 50% (von 7% - 57%) (**Abb. 3.2.3.f-g**) machen eine vermehrte Stoffwechselleistung der Backhefen deutlich und dienen als weiteres Charakteristikum der Fermentierbarkeit von Raftiline® GR durch *S. cerevisiae*. Die im Inulin Raftiline® GR enthaltenen Monosaccharide sind nach vollendeter Fermentation der Versuchs-Nr. FSF5 ebenfalls nicht mehr nachweisbar (**Abb. 3.2.3.h**). Die aus dem Inulin stammende Saccharose wird zu 94% durch *S. cerevisiae* abgebaut, wobei das Inulin GR selbst zu 33% verstoffwechselt wird.

Der Fermentationsversuch Nr. FSF6 mit 1% Inulin Raftiline® HP bestätigt die oben beschriebenen Ergebnisse. So kommt es durch die Hefen zu keinen Abbauvorgängen bei dem höhermolekularen Inulin HP (Messungenauigkeit 0,2%) (**Abb. 3.2.3. c-d, h**). Fructose, zu 0,5% in Inulin HP enthalten, wird verstoffwechselt, so dass diese nach 24h Fermentation nicht mehr nachweisbar ist. Die Änderung der optischen Dichte um 19% (von 5% - 24%) sowie die Abnahme des pH-Wertes um 0,4 Einheiten (von 6,6 – 6,2) zeigen (**Abb. 3.2.3.f-g**), dass der Zusatz von Inulin Raftiline® HP im Gegensatz zu Inulin Raftiline® GR nur zu einer geringeren Stoffwechselleistung der Backhefen führt.

Die Auswertung der Chromatogramme der Versuchs-Nr. FSF2 zeigt, dass Saccharose zu 98% durch *S. cerevisiae* abgebaut wird (**Abb. 3.2.3.e**). Ein deutlicher pH-Wert Abfall von 1,5 Einheiten (von 6,5 - 5,0) sowie der starke Anstieg der optischen Dichte um 57% (von 6%-63%) (**Abb. 3.2.3.f-h**) belegen die hohe Stoffwechselleistung der zugesetzten Hefen, was auf einen starken Aufbau der zugesetzten Kohlenhydratquelle zurückzuführen ist.

Die Versuchs-Nr. FSF1, ohne Kohlenhydratquelle, zeigt im pH-Wert Verlauf nur eine sehr geringe pH-Wert Abnahme von 6,5 auf 6,4 (**Abb. 3.2.3.f**). Dies gilt ebenfalls für die optische Dichte. Hierbei kommt es nur zu einem minimalen Anstieg von 5% auf 13% optischer Dichte (**Abb. 3.2.3.g**).

3.2.4 Fermentationsversuche unter Verwendung von *Saccharomyces cerevisiae* (Trockenhefe)

Im folgenden Abschnitt der Fermentationsversuche wird Trocken-Backhefe (*Saccharomyces cerevisiae*) verwendet. Die genaue Spezifikation dieser handelsüblichen Trocken-Backhefe ist im **Anhang Kap. 9.1.5** aufgeführt. Der Versuchsplan der Fermentationen mit *S. cerevisiae* (Trocken-Backhefe) ist in **Tab. 3.2.4.a** dargestellt.

Tab. 3.2.4.a Versuchsplan für Fermentationen mit *S. cerevisiae* (Trocken-Backhefe)

Versuchs-(Reihe)Nr.:	Versuchsparameter:
FST1	ohne Kohlenhydratzusatz
FST2	1% Saccharose
FST3	0,5% Saccharose + 0,5% Inulin Raftiline® GR
FST4	0,5% Saccharose + 0,5% Inulin Raftiline® HP
FST5	1% Inulin Raftiline® GR
FST6	1% Inulin Raftiline® HP

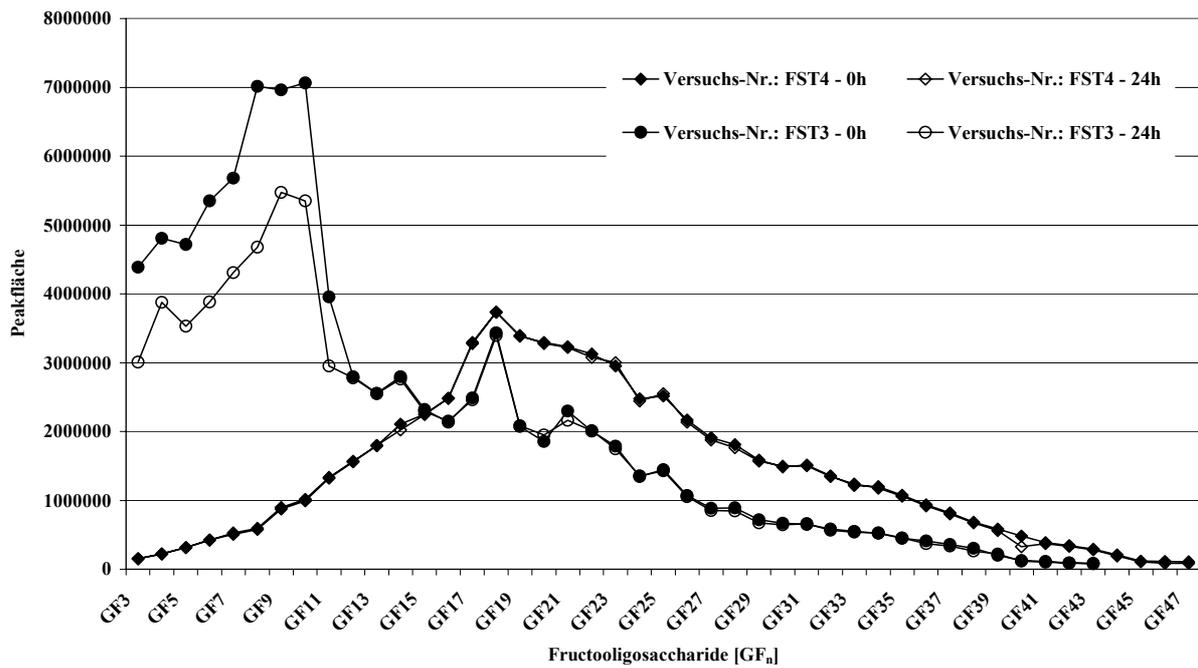


Abb. 3.2.4.a Verteilung der Peakflächen der Versuchs-Nr.: FST3 und FST4 bei einer Fermentationsdauer von 0 und 24h.

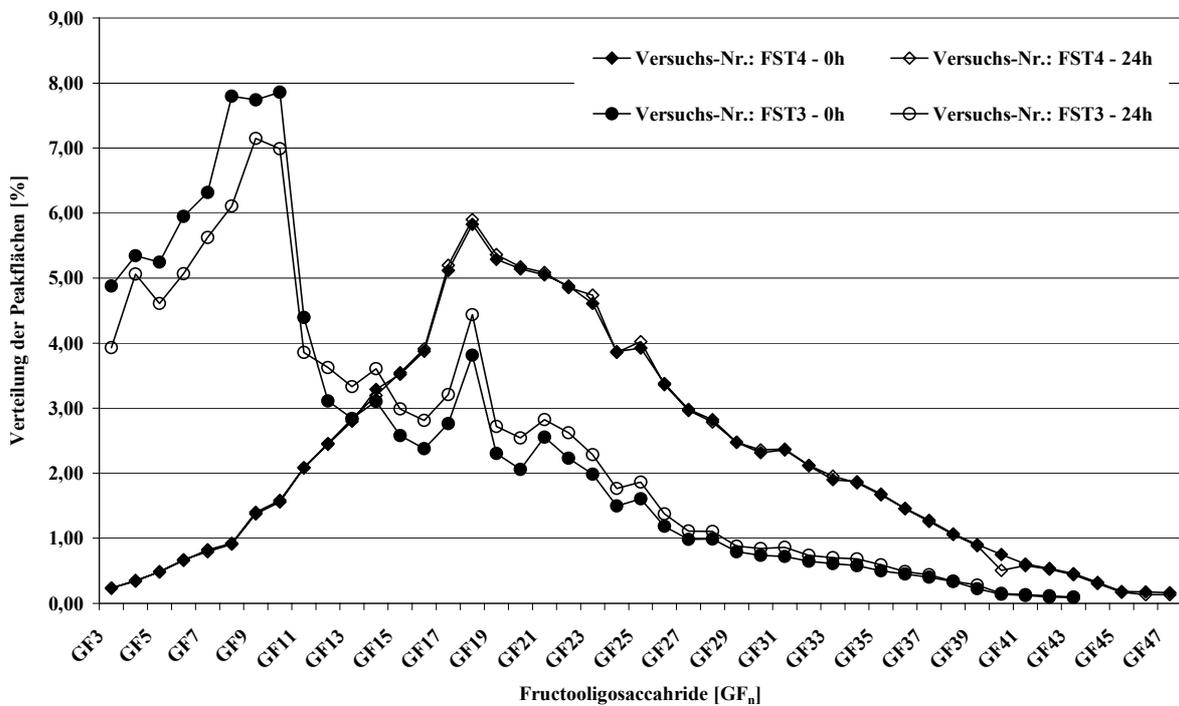


Abb. 3.2.4.b %-Verteilung der Peakflächen der Versuchs-Nr.: FST3 und FST4 bei einer Fermentationsdauer von 0 und 24h.

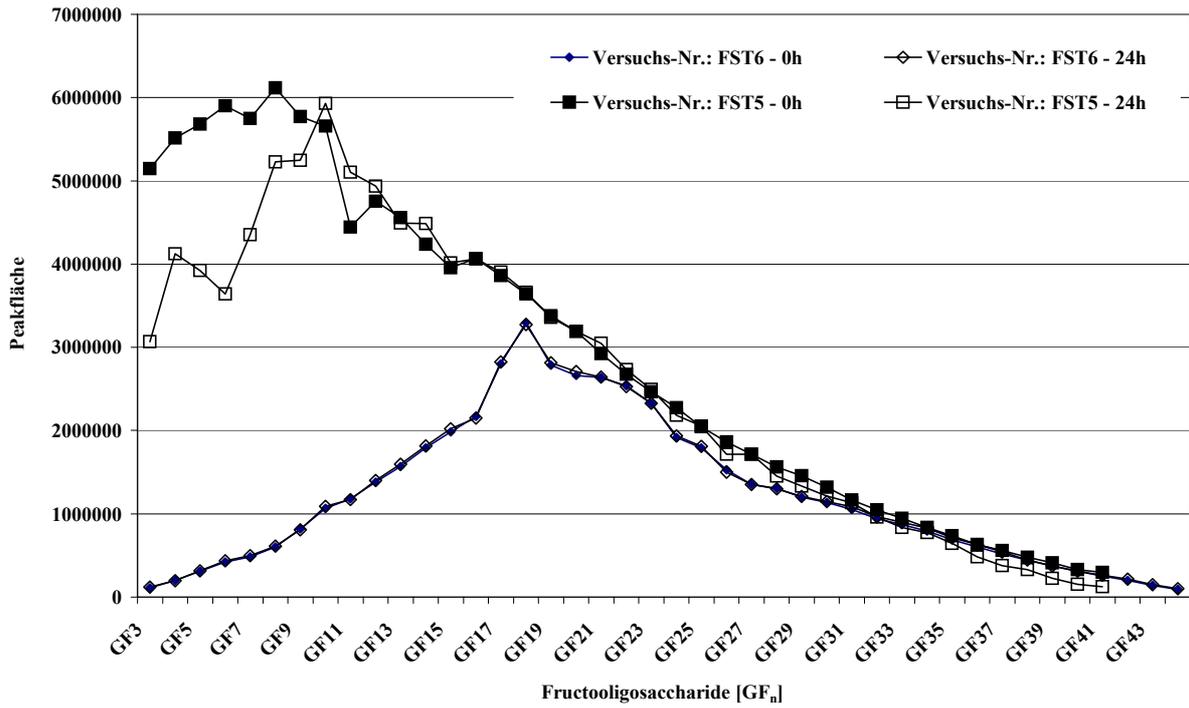


Abb.3.2.4.c Verteilung der Peakflächen der Versuchs-Nr.: FST5 und FST6 bei einer Fermentationsdauer von 0 und 24h.

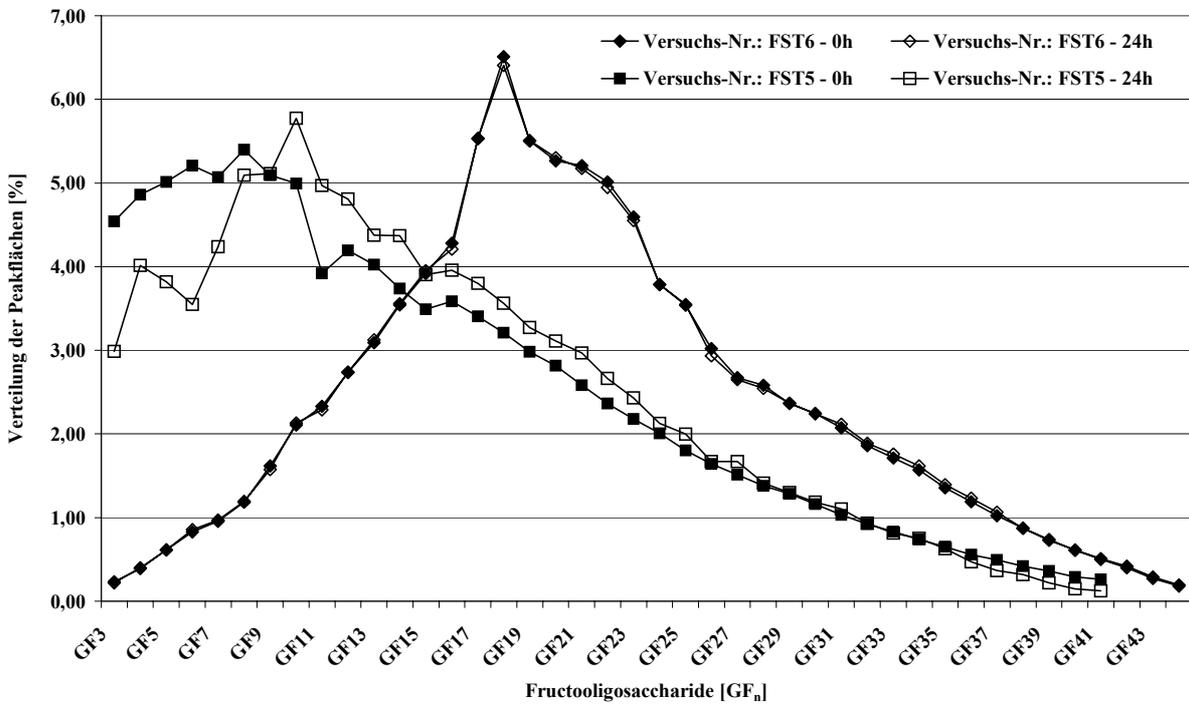


Abb. 3.2.4.d %-Verteilung der Peakflächen der Versuchs-Nr.: FST5 und FST6 bei einer Fermentationsdauer von 0 und 24h.

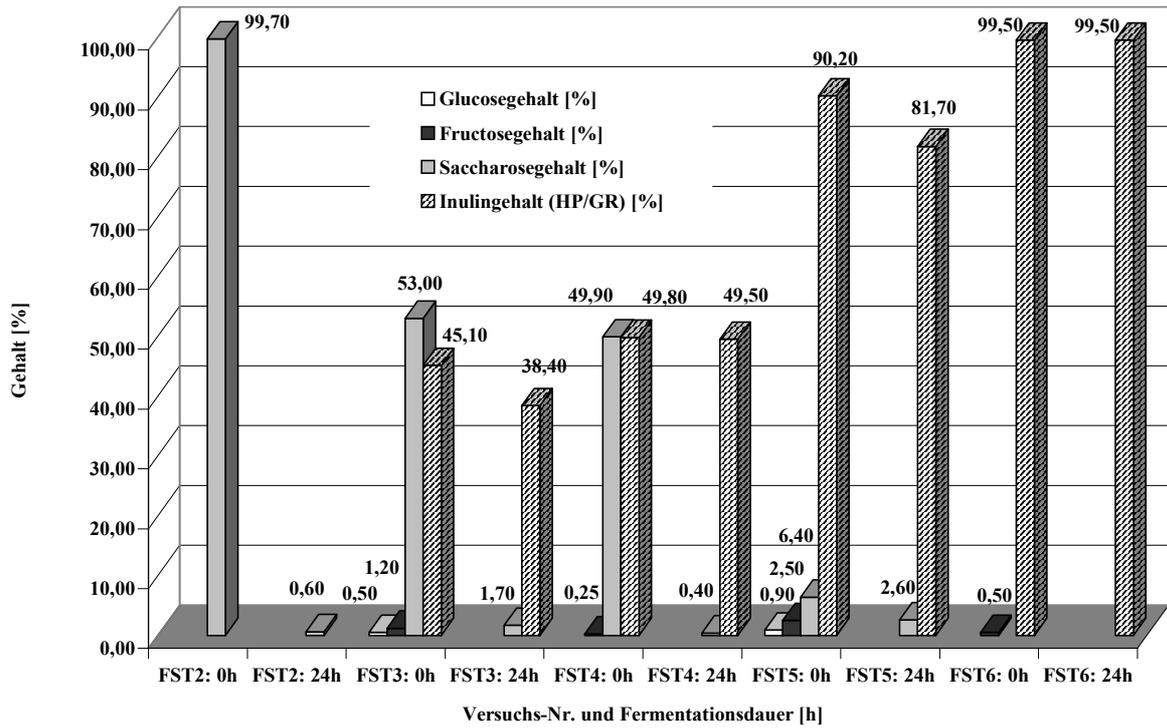


Abb. 3.2.4.e Relative Änderungen an Glucose, Fructose, Saccharose und Inulin (HP/GR) in [%], bezogen auf 100% Gesamtkohlenhydrateinsatz je Versuch, der Versuchs-Nr.: FST2 –FST6, bei Fermentationen von 24h.

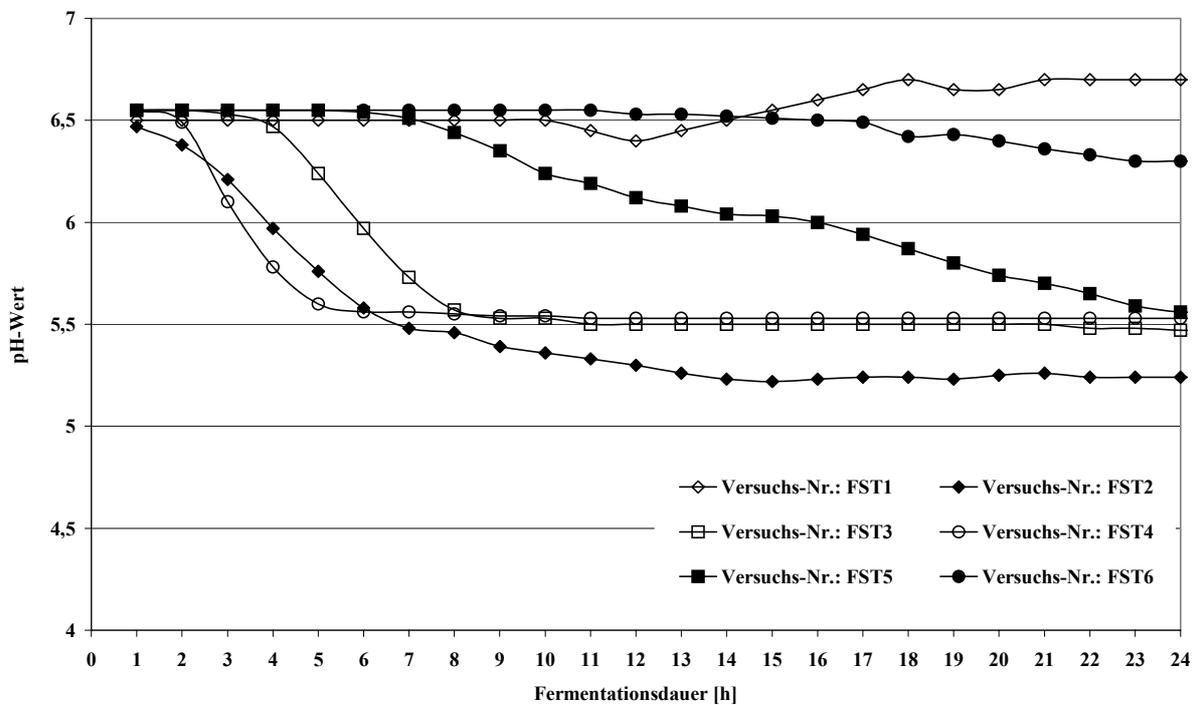


Abb. 3.2.4.f pH-Wert Verlauf der Versuchsreihe FST1 – FST6 bei Fermentationen von 24h.

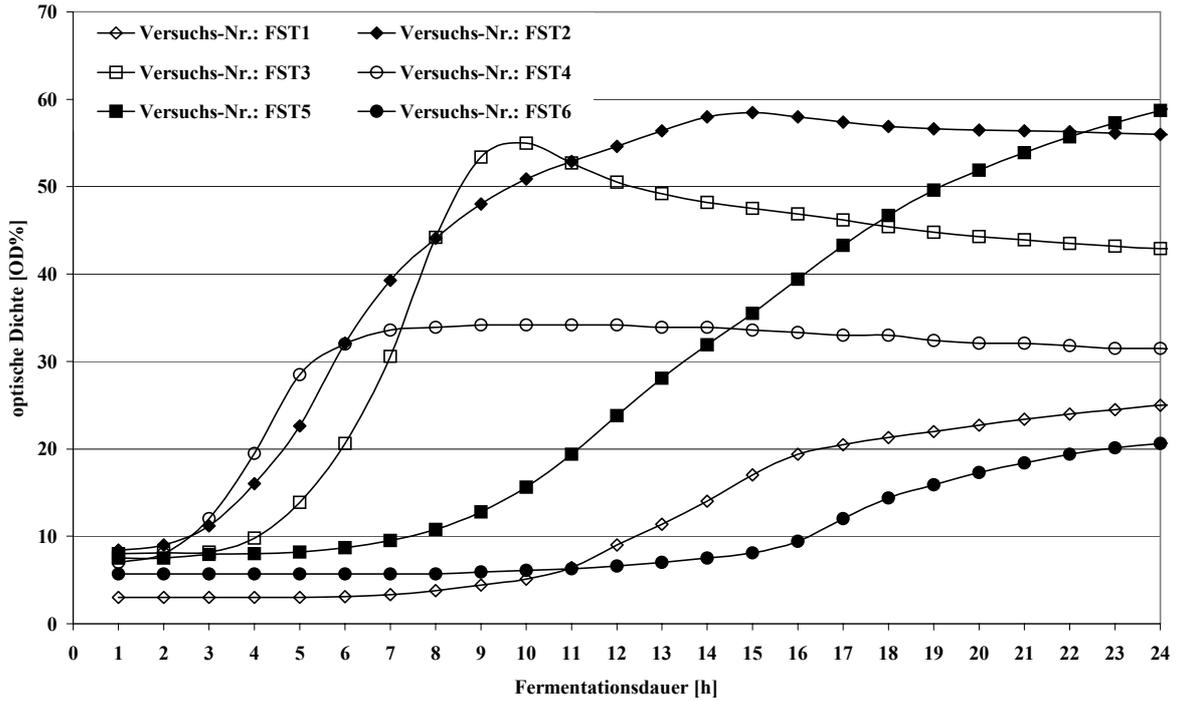


Abb. 3.2.4.g Verlauf der optischen Dichte [OD%] der Versuchsreihe FST1 – FST6 bei Fermentationen von 24h.

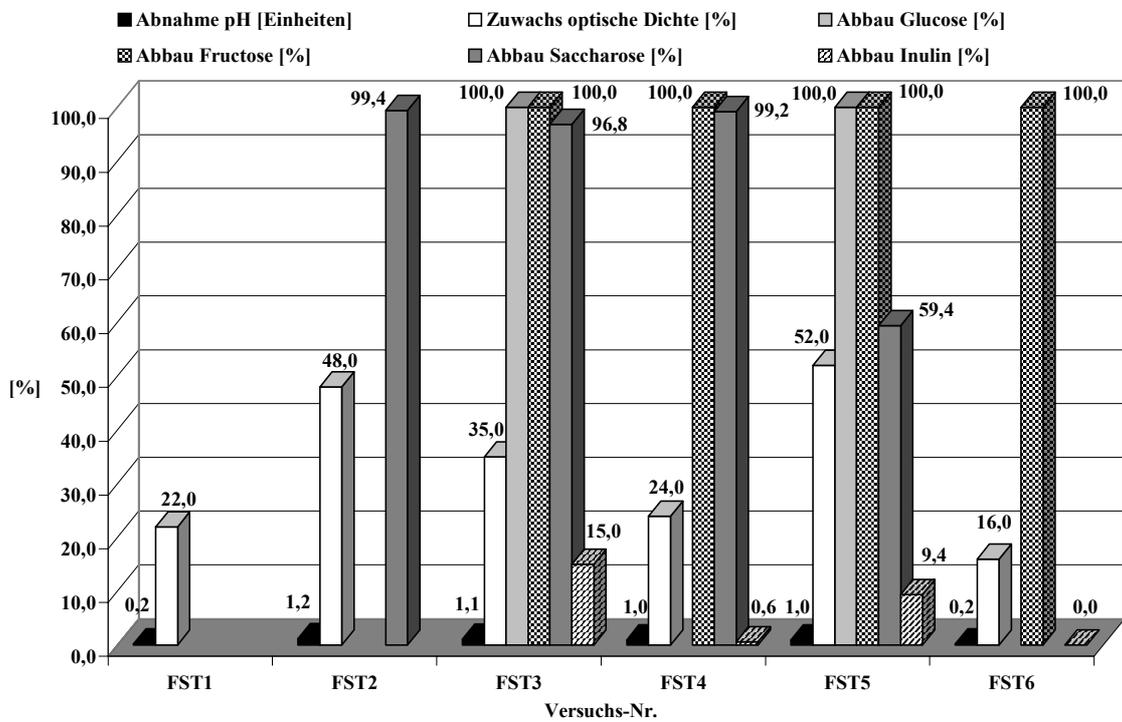


Abb. 3.2.4.h Relative Veränderungen von Kohlenhydraten sowie des pH-Wertes und der optischen Dichte bei den Fermentationen (Versuchs-Nr.FST1-FST6).

Die Trockenhefe ist in der Lage, kurzkettige Fructooligosaccharide zu verstoffwechseln. Die kurzkettigen Fructooligosaccharide aus dem Inulin Raftiline® GR werden nur bis zu 15% abgebaut, mit Frischhefe hingegen kommt es zu einer Abbaurate von 33%. Die Mono- und Disaccharide werden durch die Trockenhefe gleichfalls vollständig fermentiert. Im Anhang **Kap. 9.2.3.1** und **9.2.3.2** sind exemplarisch Chromatogramme sowie die entsprechenden Auswertungen aufgeführt.

Durch Verwendung von 0,5% Saccharose + 0,5% Raftiline® GR, FST3, bestätigt sich der Abbau der Mono- und Disaccharide durch die Hefe. Es kommt zu Abbauraten von 97% – 100%. Inulin GR wird im Bereich der kurzkettigen Fructooligosaccharide durch die Trockenhefe fermentiert. Es kommt zu einem Verlust an Inulin GR von insgesamt 15%, wobei die einzelnen Fructooligosaccharide, GF₃ bis GF₁₁, zwischen 20% und 30% abgebaut werden (**Abb. 3.2.4.a, b, e, h**). Der pH-Wert sinkt um 1,1 Einheiten, von 6,5 auf 5,4 ab, wobei die optische Dichte von 8% auf 43% (OD) zunimmt, somit um 35% OD (**Abb. 3.2.4.f-h**).

Die Darstellungen der Peakflächenverteilung von Versuchs-Nr. FST4 (**Abb. 3.2.4.a-b**) zeigen keine Abnahme der Fructooligosaccharide, wie es bei Versuch-Nr. FST3 erkennbar ist. Lediglich ein Abbau von 0,6% an Inulin HP ist nachweisbar. Die Abnahme des pH-Wertes um 1,0 Einheiten, von 6,5 auf 5,5, und der Anstieg der optischen Dichte um 24% OD, von 7% auf 31% OD, lassen auf eine erhöhte Stoffwechselleistung schließen (**Abb. 3.2.4.f-h**). Die zugesetzte Saccharose wird zu 99% fermentiert. Fructose (0,5%), die in Inulin HP enthalten ist, ist nach 24h Fermentation nicht mehr nachweisbar.

Bei Zusatz von 1% Raftiline® GR, sind die im Inulin enthaltenen Monosaccharide, Glucose und Fructose, nach 24h Fermentation komplett verstoffwechselt. Die vorhandene Saccharose wird durch Trockenhefe bis zu 60% abgebaut, wogegen Inulin GR selbst nur bis zu 10% fermentiert wird. Die Auswertung der Chromatogramme und die Darstellung der Peakflächenverteilung in **Abb. 3.2.4.c-d** verdeutlichen dies. Es kommt zu einem Verlust im Bereich der niedermolekularen Fructooligosaccharide, wobei GF₃ bis GF₉, zwischen 40% und 10% abgebaut werden. Die Senkung des pH-Wertes um 1,0 Einheiten, von 6,5 auf 5,5, sowie die Zunahme der optischen Dichte von 8% auf 60% OD (**Abb. 3.2.4.f-h**) machen eine vermehrte Stoffwechselleistung der Hefen deutlich.

Die Versuchsanordnung von Versuchs-Nr. FST6 mit 1% Raftiline® HP zeigt, dass *S. cerevisiae*, als Frisch- oder Trockenhefe, in der Lage ist, ausschließlich kurzkettige Fructooligosaccharide zu verstoffwechseln (**Abb. 3.2.4.c-d**). Die langkettigen Fructooligosaccharide dagegen, werden durch Backhefe nicht fermentiert. Es kommt lediglich zu einem Abbau der im Inulin HP enthaltenen Fructose. Das eigentliche Inulin HP erfährt keine Abbaureaktionen durch die Hefen. Die graphischen Darstellungen in den **Abb. 3.2.4.c, d** und **h** machen dies deutlich. Die geringen Änderungen der optischen Dichte um 16,0% OD sowie des pH-Wertes um 0,1 Einheiten (**Abb. 3.2.4.f-h**) bestätigen, dass der Zusatz von Raftiline® HP im Gegensatz zu Raftiline® GR nur zu einer geringen Stoffwechselleistung der Hefen führt.

Bei Zusatz von 1% Saccharose (FST2) wird diese durch *S. cerevisiae* (Trockenhefe) zu 99% fermentiert. Die optischen Dichte steigt von 8% auf 56% (OD), eine Zunahme von 48% (OD). Der pH-Wert ändert sich signifikant. Er sinkt um 1,2 Einheiten von 6,5 auf 5,3 ab. Die graphischen Darstellungen in **Abb. 3.2.4.f-h** machen dies deutlich.

Der Versuch ohne Kohlenhydratquelle (FST1) zeigt eine geringe Änderung im pH-Wert (0,2 Einheiten) und im Verlauf der optischen Dichte (22% OD) (**Abb. 3.2.4.f-h**).

3.2.5 Fermentationsversuche unter Verwendung von *Lactobacillus sanfranciscensis*

Für die nachfolgende Fermentationsreihe werden Lactobacillen des Stammes *Lactobacillus sanfranciscensis* verwendet. Hierbei handelt es sich um einen heterofermentativen Lactobacillenstamm, der bevorzugt in Sauerteigführungen (Vorteigen) verwendet wird.

Der Versuchsplan der Fermentationen mit *L. sanfranciscensis* ist in **Tab. 3.2.5.a** dargestellt.

Tab. 3.2.a Versuchsplan für Fermentationen mit *L. sanfranciscensis*

Versuchs-(Reihe)Nr.:	Versuchsparameter:
FLS1	ohne Kohlenhydratzusatz
FLS2	1% Saccharose
FLS3	0,5% Saccharose + 0,5% Inulin Raftiline® GR
FLS4	0,5% Saccharose + 0,5% Inulin Raftiline® HP
FLS5	1% Inulin Raftiline® GR
FLS6	1% Inulin Raftiline® HP

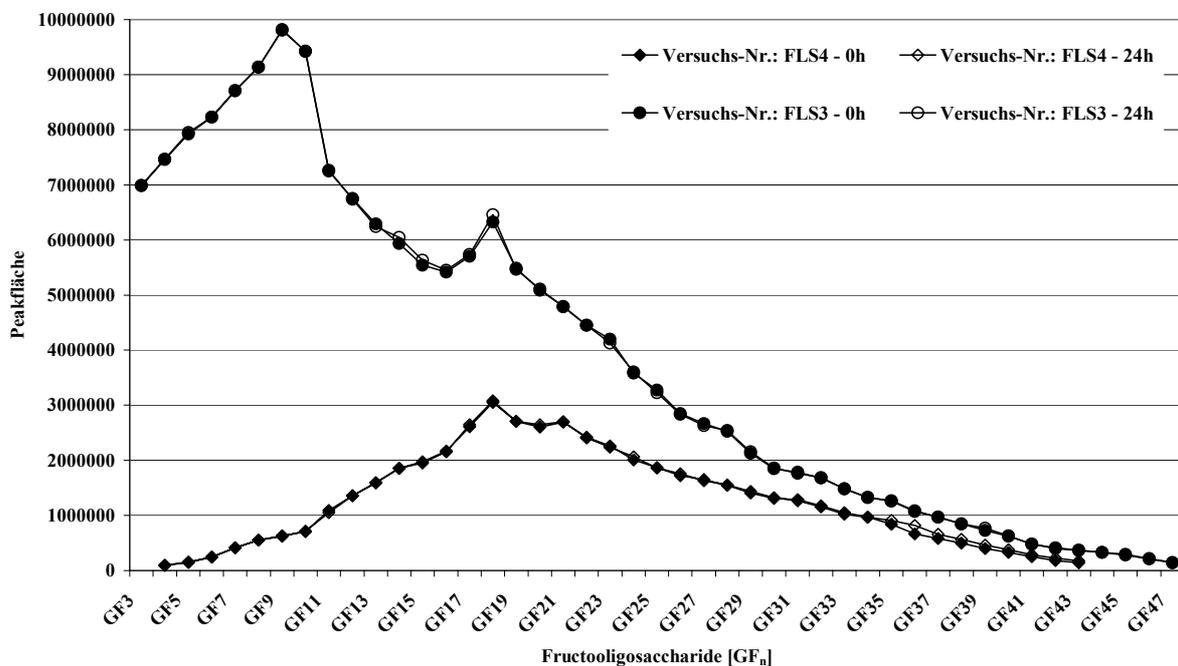


Abb. 3 2.5.a Verteilung der Peakflächen der Versuchs-Nr.: FLS3 und FLS4 bei einer Fermentationsdauer von 0 und 24h.

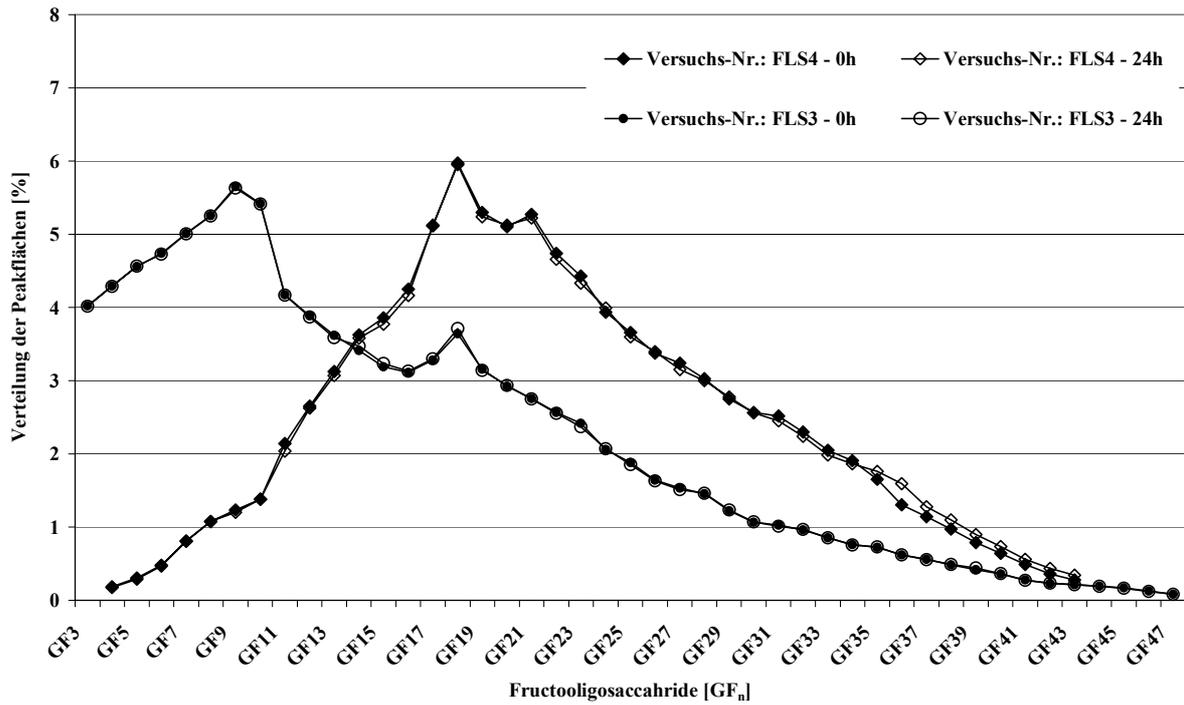


Abb. 3.2.5.b %-Verteilung der Peakflächen der Versuchs-Nr.: FLS3 und FLS4 bei einer Fermentationsdauer von 0 und 24h.

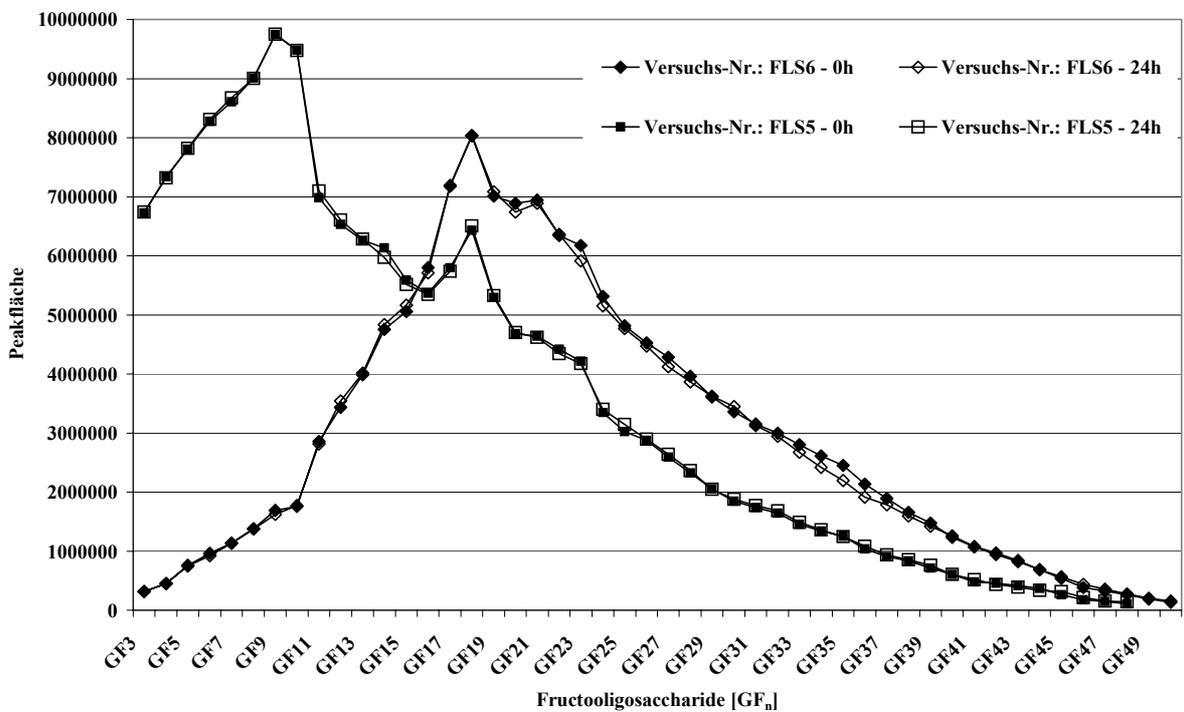


Abb. 3.2.5.c Verteilung der Peakflächen der Versuchs-Nr.: FLS5 und FLS6 bei einer Fermentationsdauer von 0 und 24h.

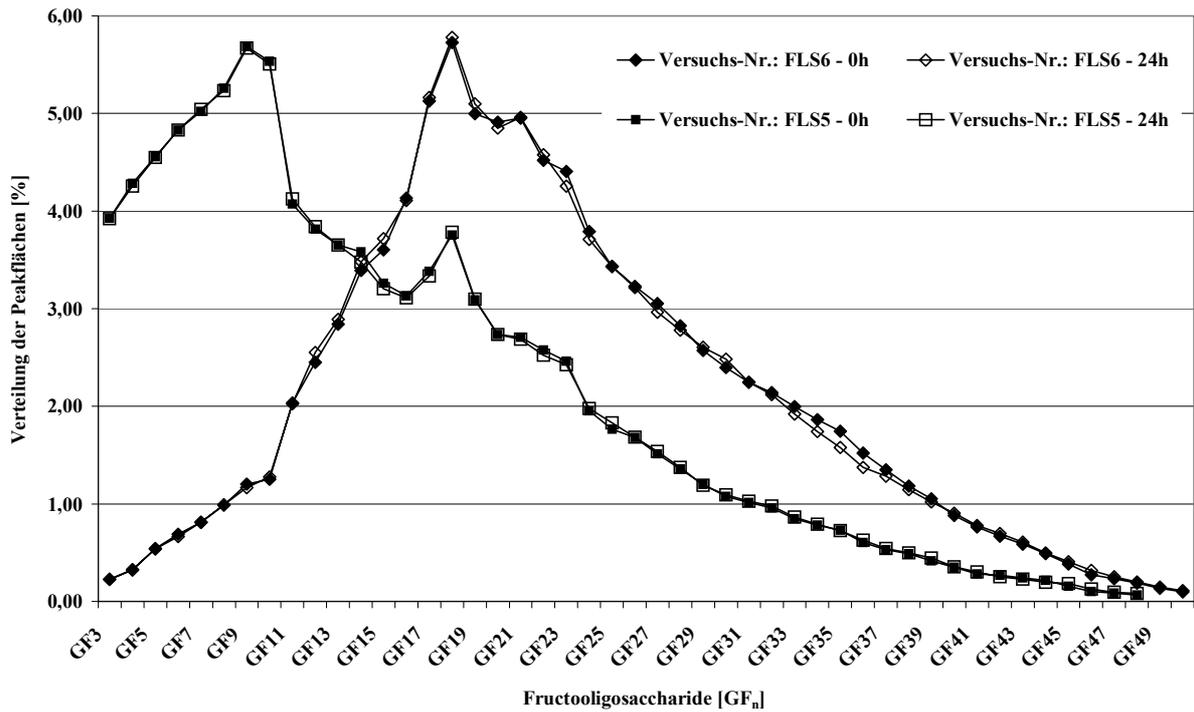


Abb. 3.2.5.d %-Verteilung der Peakflächen der Versuchs-Nr.: FLS5 und FLS6 bei einer Fermentationsdauer von 0 und 24h.

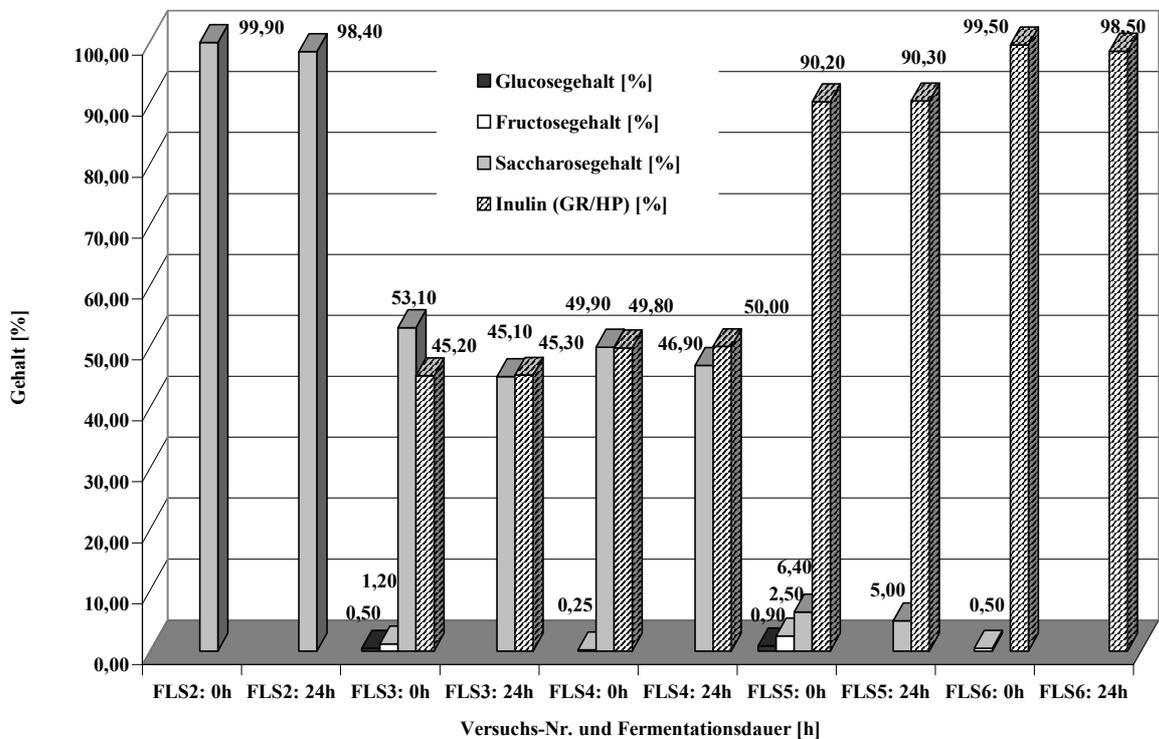


Abb. 3.2.5.e Relative Änderungen an Glucose, Fructose, Saccharose und Inulin (HP/GR) in [%], bezogen auf 100% Gesamtkohlenhydrateinsatz je Versuch, der Versuchs-Nr.: FLS2 –FLS6, bei Fermentationen von 24h.

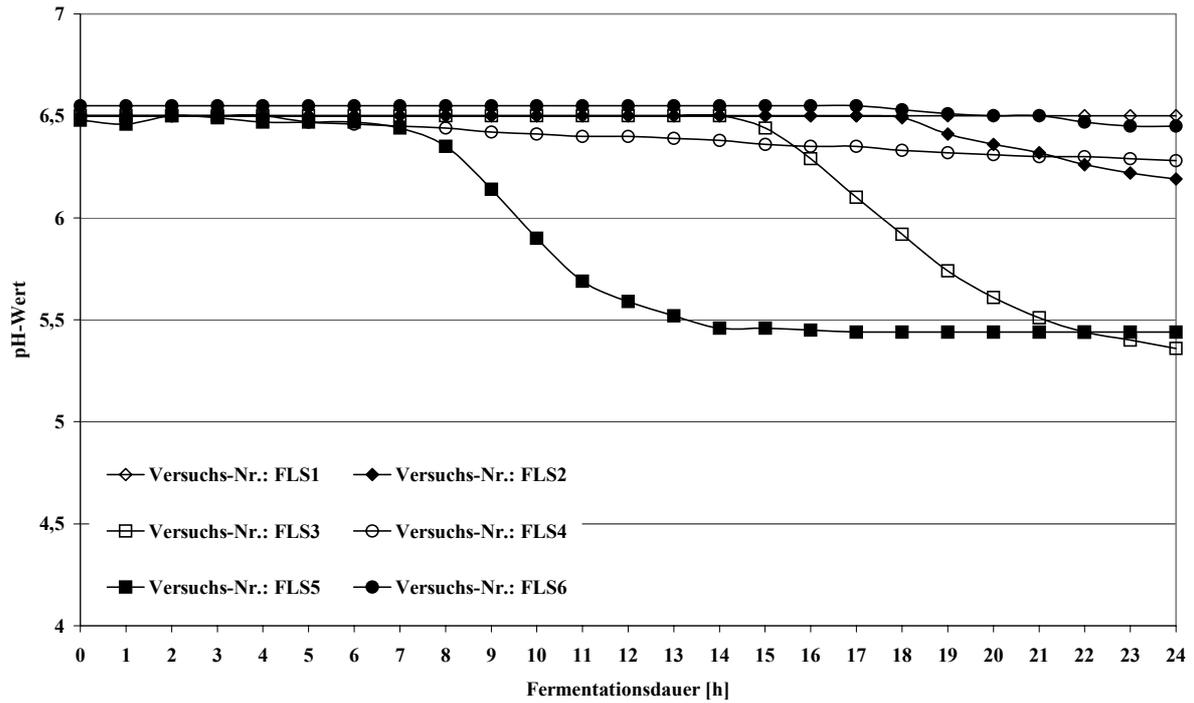


Abb. 3.2.5.f pH-Wert Verlauf der Versuchsreihe FLS1 – FLS6 bei Fermentationen von 24h.

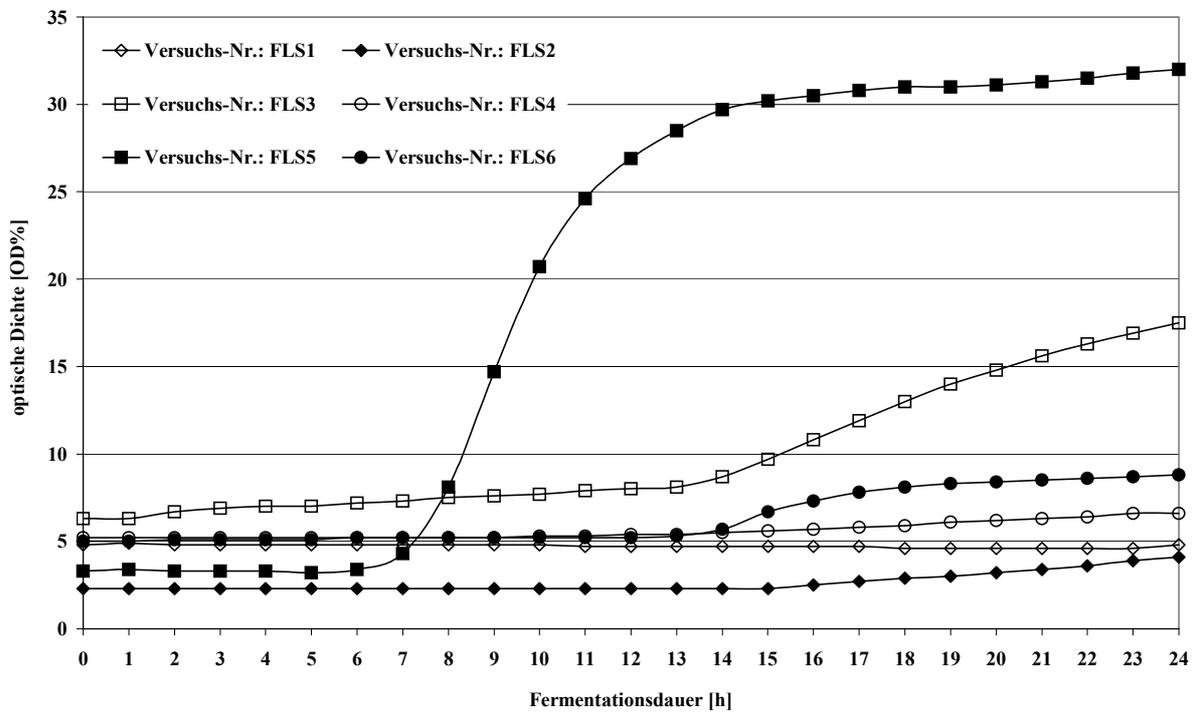


Abb. 3.2.5.g Verlauf der optischen Dichte [OD%] der Versuchsreihe FLS1 – FLS6 bei Fermentationen von 24h.

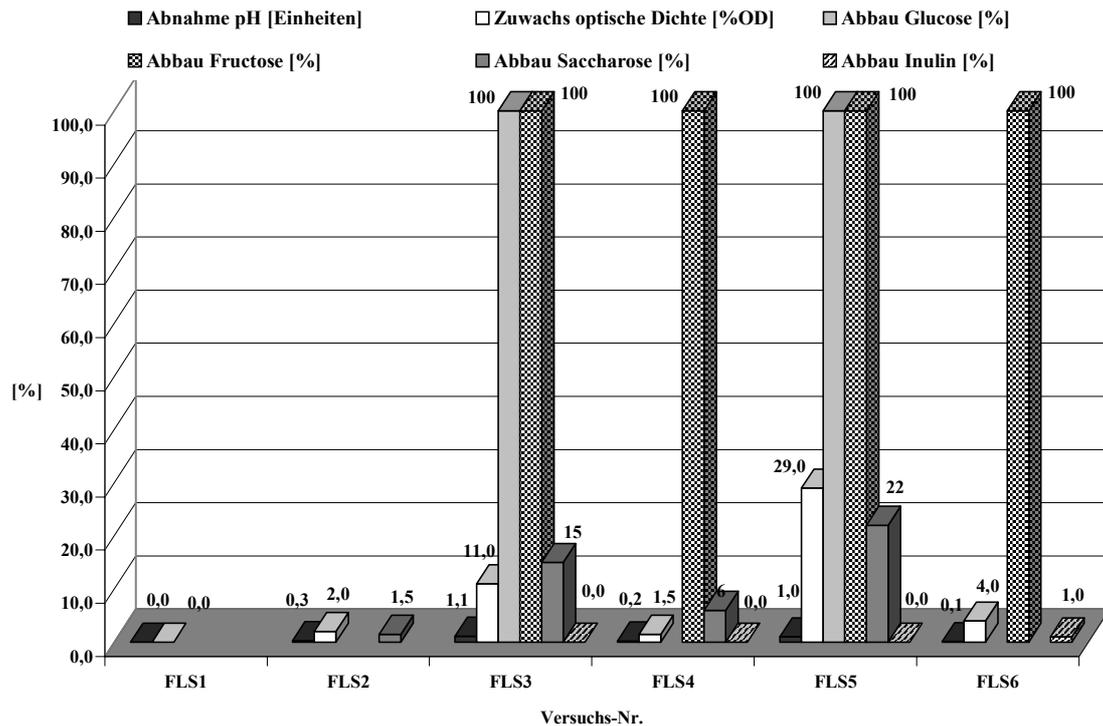


Abb. 3.2.5.h Relative Veränderungen von Kohlenhydraten sowie des pH-Wertes und der optischen Dichte bei den Fermentationen (Versuchs-Nr. FLS1 – FLS6)

Die Ergebnisse der Fermentationen mit *L. sanfranciscensis* bestätigen die in **Kap. 3.2.1** aufgeführten Eigenschaften der Verstoffwechselbarkeit einzelner Kohlenhydrate. So werden Glucose und Fructose sehr gut und Saccharose nur eingeschränkt verstoffwechselt. Die Ergebnisbetrachtung macht dies deutlich und zeigt, inwieweit Fructooligosaccharide abgebaut werden. Die entsprechenden Auswertungen sowie dazugehörige Chromatogramme sind im Anhang unter **Kap. 9.2.4.1** und **9.2.4.2** aufgeführt.

Die Ergebnisse in **Abb. 3.2.5.a-b** und **e** zeigen, dass Inulin GR innerhalb von 24h Fermentationsdauer nicht durch *L. sanfranciscensis* verstoffwechselt werden kann (Versuchs-Nr. FLS3). Es kommt jedoch zu deutlichen Veränderungen im pH-Wert bzw. im Verlauf der optischen Dichte. So sinkt der pH-Wert von 6,5 auf 5,4 Einheiten ab (1,1 Einheiten) und die Trübung nimmt um 11% [OD] von 6% nach 17% [OD] zu (**Abb. 3.2.5.f-h**). Glucose und Fructose sind nach 24h Fermentation nicht mehr nachweisbar, und auch Saccharose wird zu 15% durch die Lactobacillen abgebaut.

Die Ergebnisdarstellungen in **Abb. 4.2.5.a, b und e** machen deutlich, dass Inulin HP, welches zu 0,5% eingesetzt wird, nicht durch die Milchsäurebakterien verstoffwechselt wird. Die geringe Menge an Fructose, Begleitkohlenhydrat von Inulin HP, wird innerhalb 24h Fermentation zu 100% abgebaut. Im Vergleich dazu wird der Zusatz von 0,5% Saccharose nur zu 6% verstoffwechselt (**Abb. 3.2.5.e, h**). Die geringe Zunahme der optischen Dichte um 1,5% [OD] und die Abnahme des pH-Wertes von 6,5 auf 6,3 Einheiten (**Abb. 3.2.5.f-h**) bestätigen die sehr niedrige Stoffwechselleistung der Mikroorganismen.

Die zu 3,4% in Raftiline® GR vorkommenden Monosaccharide, Glucose und Fructose, werden durch *L. sanfranciscensis* zu 100% abgebaut. Saccharose, die zu 6,4% im Inulin GR enthalten ist, wird zu 22% durch die Lactobacillen fermentiert. Beim Inulin GR kommt es zu keinerlei Konzentrationsänderungen in der Peakflächen-Verteilung der einzelnen

Fructooligosaccharide (**Abb. 3.2.5.c-d**). Im Gegensatz dazu stehen die Änderungen des pH-Wertes und der optischen Dichte. So nimmt der pH-Wert um 1,0 Einheiten von 6,5 auf 5,5 ab, und die optische Dichte steigt von 3% auf 32% [OD] an (29% OD) (**Abb. 3.2.5.f-h**).

Die im Inulin HP vorkommende Fructose wird wiederum zu 100% durch die Milchsäurebakterien abgebaut. Dagegen kommt es beim Inulin HP zu einem Abbau von 1%. Die Betrachtung der Ergebnisse in **Abb. 3.2.5.c-e** macht dies erkennbar. Die Abweichung des pH-Wertes vom Anfangswert der Fermentation (0h) beträgt lediglich 0,1 Einheiten. Auch die optische Dichte steigt vergleichsweise geringfügig um 4% [OD], von 5% auf 9% [OD] (**Abb. 3.2.5.f-h**).

Bei Verwendung von 1% Saccharose, im Fermentationsversuch FLS2, sind nur geringe Abweichungen vom Anfangswert der optischen Dichte bzw. pH-Wertes messbar. Der pH-Wert ändert sich um 0,3 Einheiten, von 6,5 auf 6,2, und die optische Dichte wächst um 2,0% [OD], von 2% auf 4% [OD] (**Abb. 3.2.5.f-h**). Die Saccharose wird in diesem Versuch zu 1,5% abgebaut (**Abb. 3.2.5.e, h**), was die eingeschränkte Verstoffwechselbarkeit durch *L. sanfranciscensis* bestätigt.

Im Versuchsablauf ohne Kohlenhydratzusatz (FLS1) kommt es zu keinen Veränderungen des pH-Wertes bzw. der optischen Dichte. So haben sich auch nach 24h Fermentation die Anfangswerte nicht verändert (**Abb. 3.2.5.f-h**).

3.2.6 Fermentationsversuche unter Verwendung von *Lactobacillus acidophilus*

Im folgenden Abschnitt der Fermentationsversuche werden Lactobacillen des Stammes *Lactobacillus acidophilus* eingesetzt. Es handelt sich hierbei um einen homofermentativen Lactobacillenstamm.

Der Versuchsplan der Fermentationen mit *L. acidophilus* ist in **Tab. 3.2.6.a** dargestellt.

Tab. 3.2.6.a Versuchsplan für Fermentationen mit *L. acidophilus*

Versuchs-(Reihe)Nr.:	Versuchsparameter:
FLA1	ohne Kohlenhydratzusatz
FLA2	1% Saccharose
FLA3	0,5% Saccharose + 0,5% Inulin Raftiline® GR
FLA4	0,5% Saccharose + 0,5% Inulin Raftiline® HP
FLA5	1% Inulin Raftiline® GR
FLA6	1% Inulin Raftiline® HP

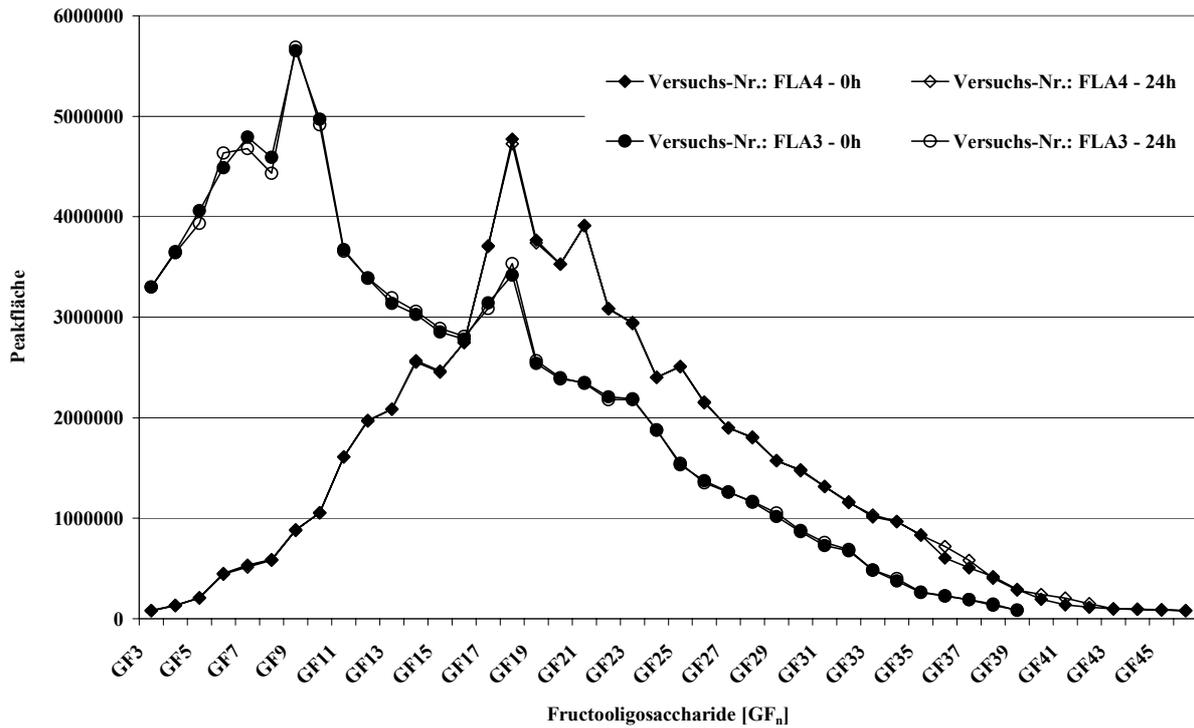


Abb. 3.2.6.a Verteilung der Peakflächen der Versuchs-Nr.: FLA3 und FLA4 bei einer Fermentationsdauer von 0 und 24h.

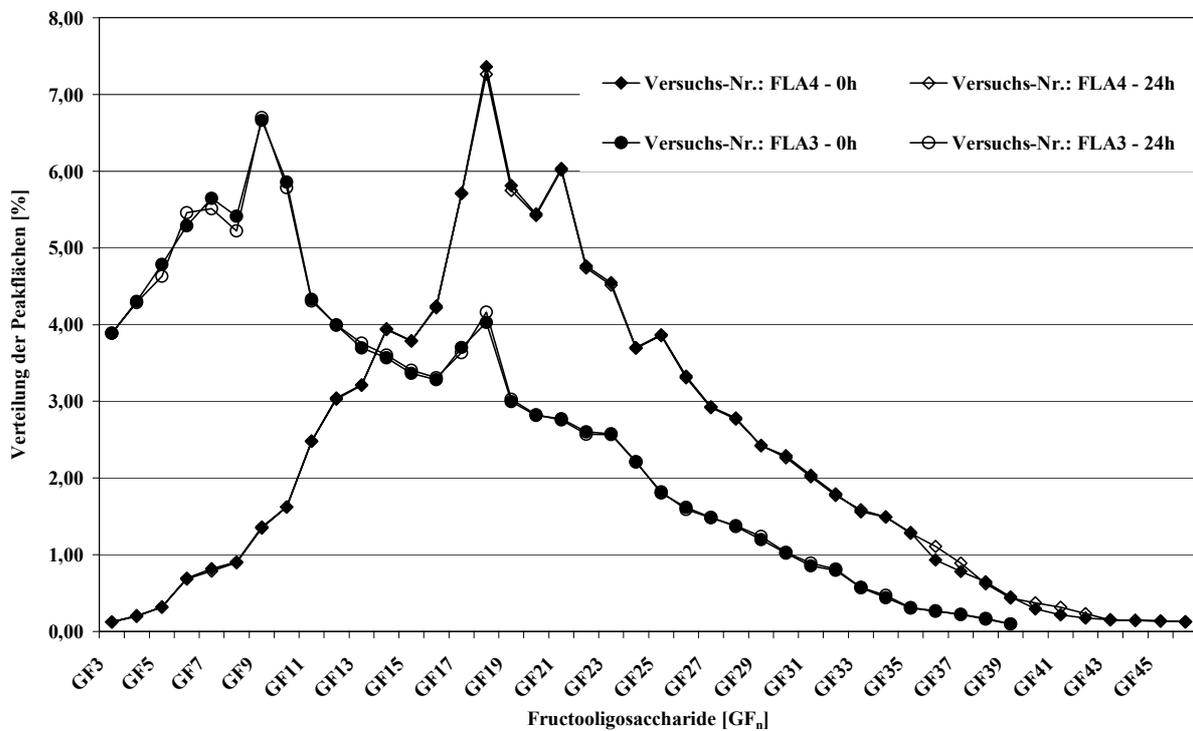


Abb. 3.2.6.b %-Verteilung der Peakflächen der Versuchs-Nr.: FLA3 und FLA4 bei einer Fermentationsdauer von 0 und 24h.

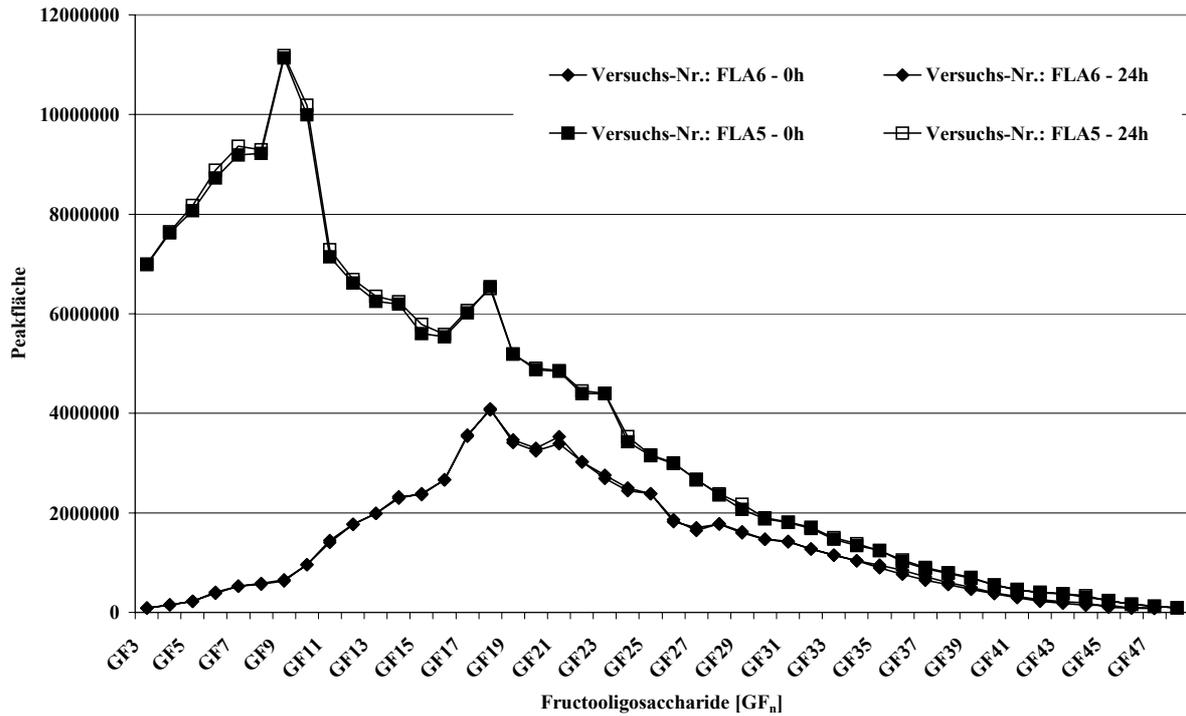


Abb. 3.2.6.c Verteilung der Peakflächen der Versuchs-Nr.: FLA5 und FLA6 bei einer Fermentationsdauer von 0 und 24h.

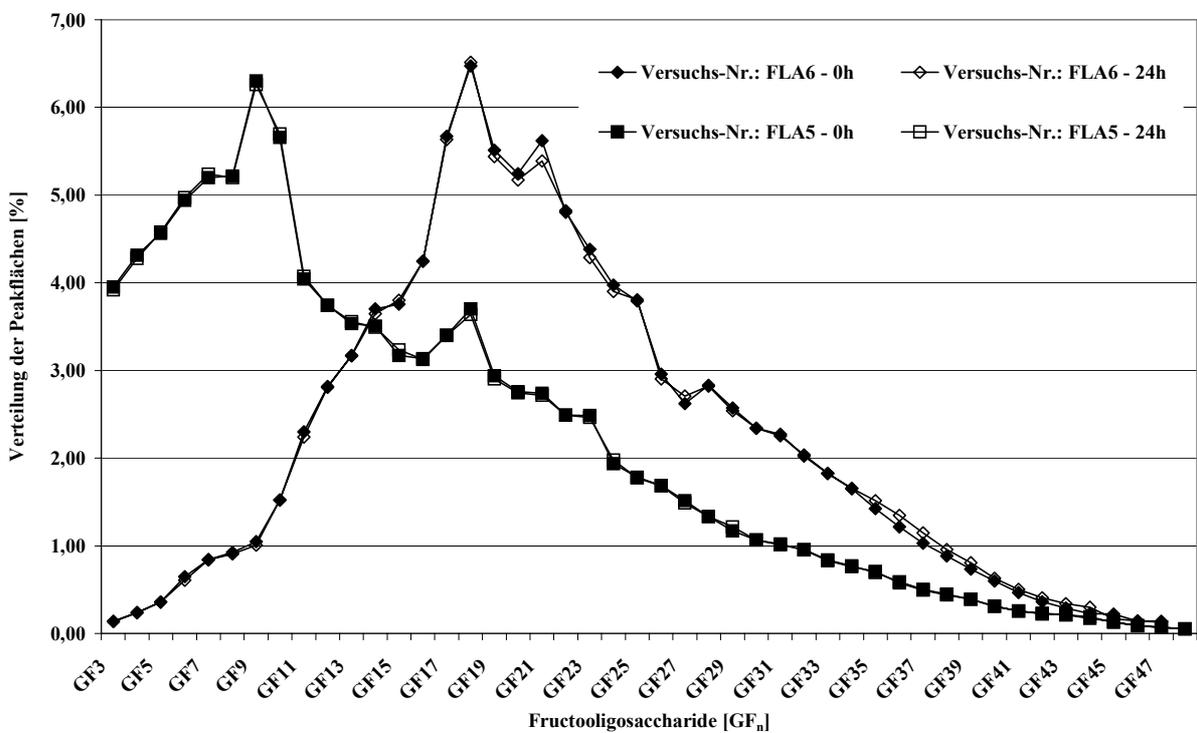


Abb. 3.2.6.d %-Verteilung der Peakflächen der Versuchs-Nr.: FLA5 und FLA6 bei einer Fermentationsdauer von 0 und 24h.

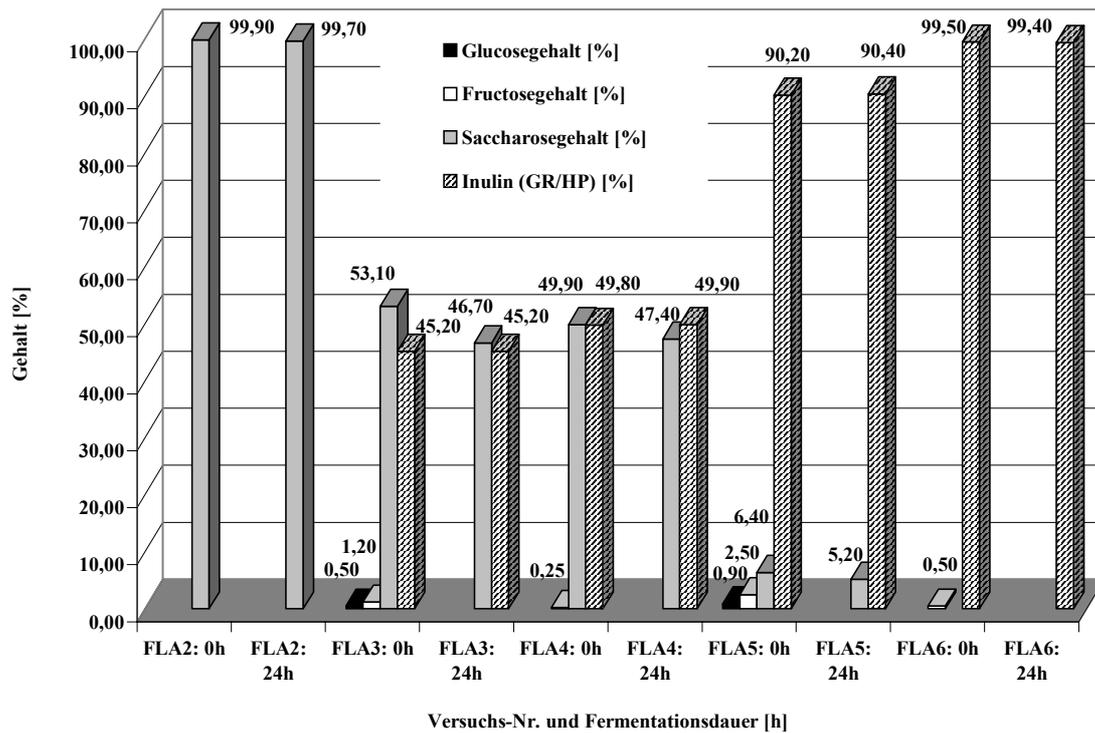


Abb. 3.2.6.e Relative Änderungen an Glucose, Fructose, Saccharose und Inulin (HP/GR) in [%], bezogen auf 100% Gesamtkohlenhydrateinsatz je Versuch, der Versuchs-Nr.: FLA2 –FLA6, bei Fermentationen von 24h.

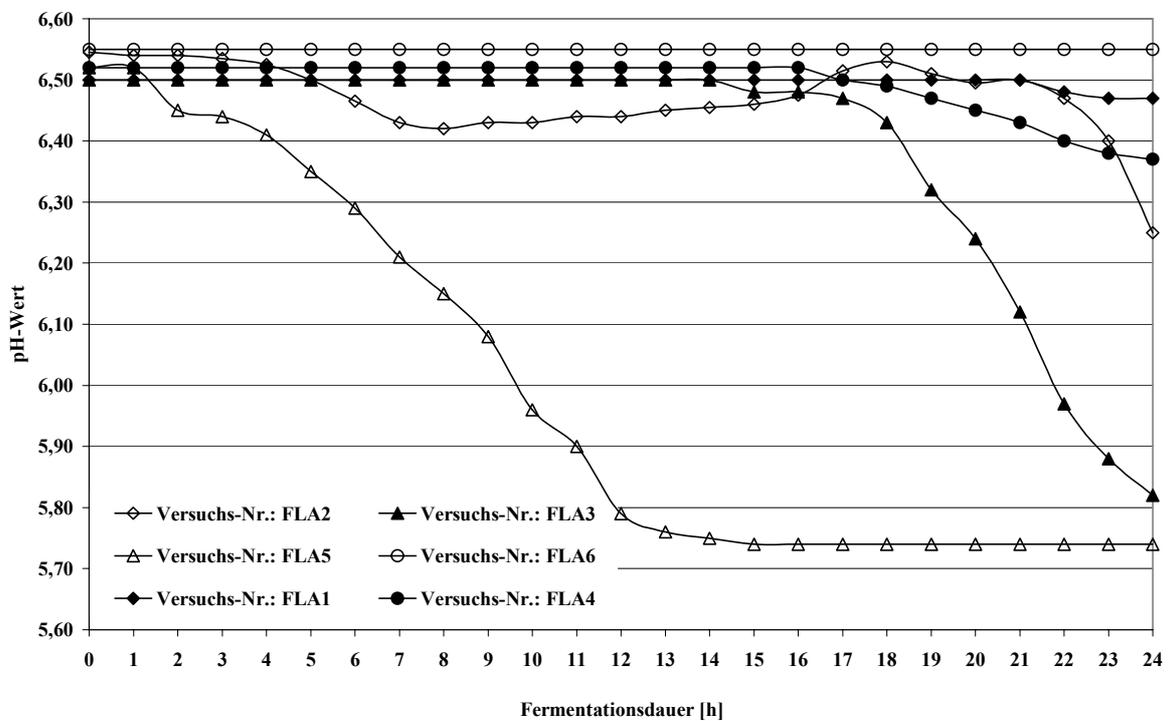


Abb. 3.2.6.f pH-Wert Verlauf der Versuchsreihe FLA1 – FLA6 bei Fermentationen von 24h.

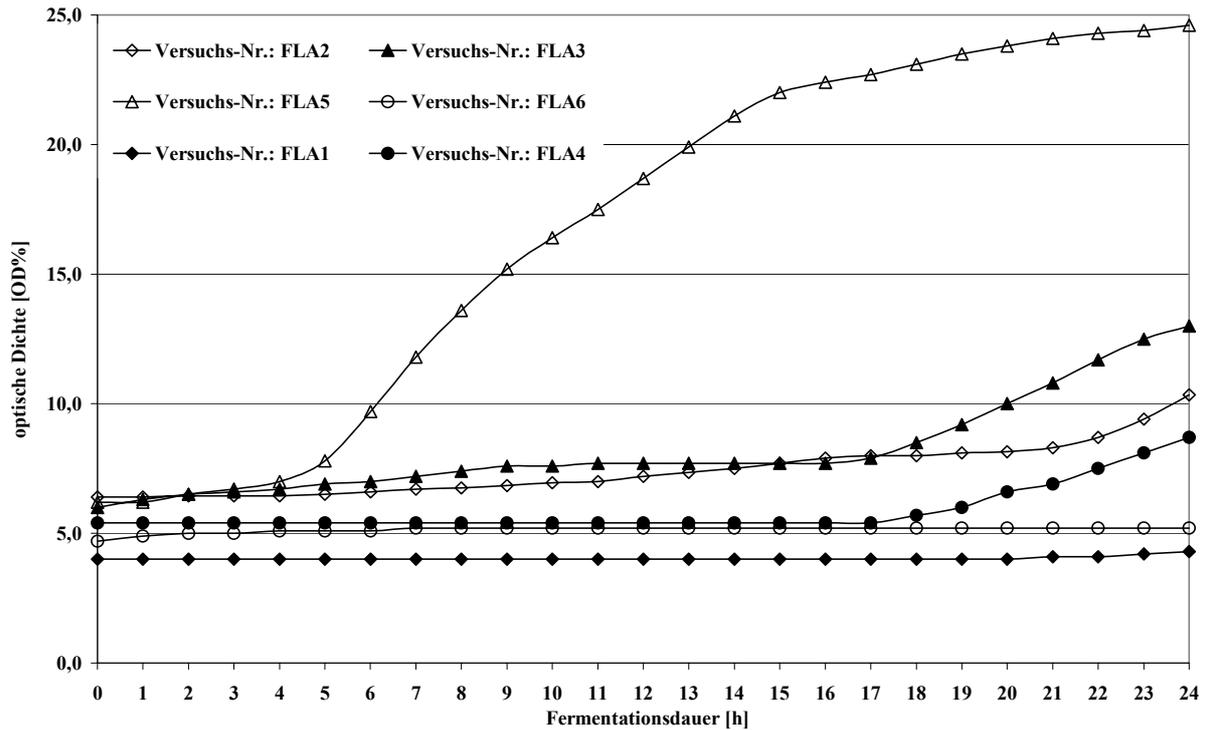


Abb. 3.2.6.g Verlauf der optischen Dichte [OD%] der Versuchsreihe FLA1 – FLA6 bei Fermentationen von 24h.

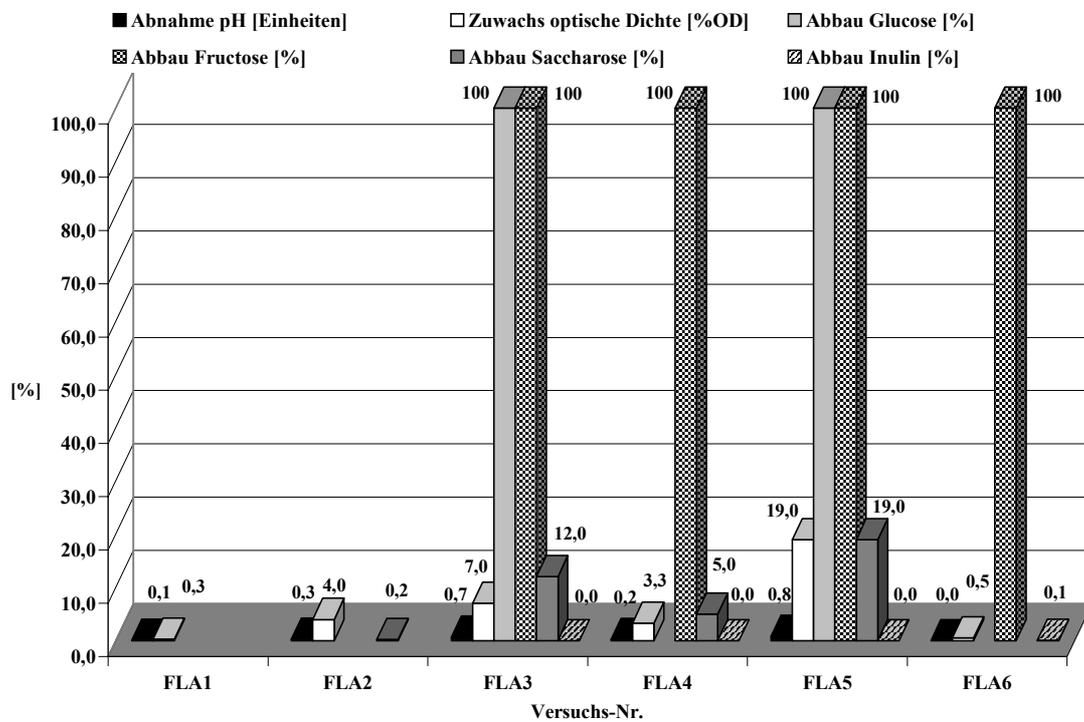


Abb. 3.2.6.h Relative Veränderungen von Kohlenhydraten sowie des pH-Wertes und der optischen Dichte bei den Fermentationen (Versuchs-Nr.FLA1 – FLA6) .

Die in **Kap. 3.2.1** beschriebenen Eigenschaften der Verstoffwechselbarkeit bestimmter Kohlenhydrate wird durch diese Versuchsreihe bestätigt. So werden lediglich die in den Inulinen enthaltenen Monosaccharide zu 100% abgebaut. Die eingesetzte Saccharose wird nur zu geringen Teilen verstoffwechselt, wogegen die Inuline GR und HP keinen Abbau durch die Milchsäurebakterien erfahren. Im **Anhang Kap. 9.2.5.1 und 9.2.5.2** werden die entsprechenden Auswertungen sowie exemplarisch einige Chromatogramme dargestellt.

Die Darstellung der Ergebnisse in **Abb. 3.2.6.a-b und e** macht deutlich, dass Inulin GR, innerhalb einer 24higen Fermentationsdauer, in diesem Minimal-Medium, nicht durch *L. acidophilus* fermentiert werden kann. Dagegen sind die durch Inulin GR eingebrachten Monosaccharide nach 24h Fermentation nicht mehr nachweisbar, wogegen die Saccharose noch detektierbar ist. Sie wird zu 12% durch die Milchsäurebakterien abgebaut (**Abb. 3.2.6.e, h**). Die Veränderungen des pH-Wertes um 0,7 Einheiten und der Anstieg der optischen Dichte um 7,0% [OD] (**Abb. 3.2.6.f-h**) beruhen auf Stoffwechselleistungen der Lactobacillen, die aus dem Abbau von Glucose, Fructose und Saccharose stammen.

Betrachtet man die Peakflächen-Verteilung der einzelnen Fructooligosaccharide in **Abb. 3.2.6.a-b und e**, so ist erkennbar, dass es zu keinerlei Änderungen in der Verteilung während der 24higen Fermentation kommt. Die Abbaurate für Inulin HP, in dieser Versuchsanordnung, beträgt somit 0,0%. Die Verwendung der Mischung 0,5% Saccharose + 0,5% Raftiline® HP führt dazu, dass der pH-Wert nur um 0,2 Einheiten sinkt. Auch der Anstieg der optischen Dichte ist mit 3,3% [OD] niedrig (**Abb. 3.2.6.f-h**). Nur die zu 0,5% in Inulin HP vorkommende Fructose wird innerhalb der Fermentationsdauer von 24h zu 100%, nicht mehr nachweisbar, abgebaut. Im Vergleich dazu wird die zugesetzte Saccharose nur zu 5% durch die Lactobacillen fermentiert (**Abb. 3.2.6.e, h**).

Es kommt zu keinen Konzentrationsänderungen bei der Peakflächenverteilung der einzelnen Fructooligosaccharide (**Abb. 3.2.6.c-d**). Unter den gegebenen Bedingungen ist *L. acidophilus* nicht in der Lage die Fructooligosaccharide zu verstoffwechseln. Dagegen sind die in Inulin GR zu 3,4% vorkommenden Monosaccharide Glucose und Fructose nach 24h Fermentation nicht mehr nachweisbar. Auch die darin enthaltene Saccharose wird bis zu 19% durch die Milchsäurebakterien abgebaut (**Abb. 3.2.6.e, h**). Deutliche Veränderungen zeigen sich im Verlauf der optischen Dichte sowie im pH-Wert. So sinkt der pH-Wert von 6,5 auf 5,7 ab und die optische Dichte steigt um 19,0% [OD] (**Abb. 3.2.6.f-h**).

Die Darstellungen der Ergebnisse in **Abb. 3.2.6.c-e** machen deutlich, dass Inulin HP nur einen sehr minimalen Abbau von 0,1% durch die Lactobacillen erfährt. Die Änderungen sind jedoch in der Peakflächen-Verteilung nicht sichtbar. Ausschließlich die in Inulin HP vorhandene Fructose ist nach 24higer Fermentation nicht mehr nachweisbar. Die Abweichungen der optischen Dichte vom Anfangswert betragen 0,5% [OD], wogegen sich der pH-Wert im gesamten Versuchsverlauf nicht ändert (**Abb. 3.2.6.f-h**).

Beim Einsatz von 1% Saccharose, als Kohlenhydratquelle im Fermentationsversuch FLA2, zeichnen sich nur minimale Abweichungen von den Anfangswerten ab. Der Abbau der Saccharose in dieser Versuchsanordnung beträgt lediglich 0,2% (**Abb. 3.2.6.e, h**), das die eingeschränkte Verstoffwechselbarkeit durch *L. acidophilus* bestätigt. So ändert sich der pH-Wert nur um 0,3 Einheiten, von 6,5 auf 6,2, und die optische Dichte nimmt um 4% [OD], von 6% auf 10% [OD] zu (**Abb. 3.2.6.f-h**).

Der Versuchsablauf ohne Kohlenhydratzusatz (FLA1) zeigt nur geringste Änderungen des pH-Wertes um 0,1 Einheiten bzw. der optischen Dichte um 0,3% [OD] (**Abb. 3.2.6.f-h**).

3.2.7 Diskussion - Verstoffwechselbarkeit von Inulin durch teigspezifische Mikroorganismen

Entsprechend der von *Hoebregs & Leenheer (1994)* und *Hoebregs (1997)* beschriebenen Methode zur Trennung und Charakterisierung der einzelnen Fructooligosaccharide mittels HPAEC-PAD ohne Hydrolyse erfolgt eine Modifizierung der Bestimmung auf die vorhandenen Trennprobleme. Die Bestimmung von Inulin mittels HPAEC lässt eine Differenzierung der im Inulin vorkommenden Fructooligosaccharide [GF_n] unterschiedlicher Kettenlänge zu. Der Abbau einzelner Fructooligosaccharide und die daraus resultierende Änderung der molekularen Verteilung kann qualitativ beschrieben werden. Neben der Inulin-Bestimmung ist es möglich, die ebenfalls enthaltenen Monosaccharide Glucose und Fructose sowie das Disaccharid Saccharose quantitativ zu bestimmen.

Die Fermentation der Inulintypen Raftiline[®] GR und HP in *in vitro* Modellen geben den Einfluss der teigspezifischen Mikroorganismen auf den prebiotischen Zusatz, unter den gewählten Bedingungen, wieder.

S. cerevisiae ist in der Lage, Glucose, Fructose, Maltose und auch Saccharose neben weiteren Kohlenhydraten zu fermentieren. Die weiter eingesetzten Milchsäurebakterienstämme, *L. sanfranciscensis*, ein heterofermentativer Lactobacillenstamm, sowie *L. acidophilus*, ein homofermentativer Lactobacillenstamm, sind ebenfalls in der Lage, eine Reihe von Kohlenhydraten zu fermentieren.

Die *in vitro* Fermentationen ohne Zusatz eines Mikroorganismus zeigten die chemische Stabilität verschiedener Kohlenhydrate im Fermentationsmedium über 24h. So traten bei der analytischen Bestimmung, nach einer Fermentation von 24h, Abweichungen von max. 0,2% bei Mono- und Disacchariden und 0,1% bei den Inulinen auf. Die Schwankungen in den Gehalten der Kohlenhydrate sowie im pH-Wert-Verlauf und in der Änderung der optischen Dichte lagen in der Messungenauigkeit des Verfahrens.

In vitro Fermentationen von Saccharose, Raftiline[®] GR und Raftiline[®] HP mit einer Bäckerhefe (Hefe Nr.1, Frischhefe), *S. cerevisiae*, gaben sehr unterschiedliche Fermentationsergebnisse wieder. Eine hohe Stoffwechselleistung der Bäckerhefe wurde durch die vermehrt vorhandenen Fermentationsprodukte (Acetat, Lactat) und ein deutliches Absinken des pH-Wertes bestätigt. Auch der Anstieg der optischen Dichte mit mehr als 50% [OD] unterstützte die Aussage, dass es zu einem Anwachsen der Hefen kam. Die Fermentation von Raftiline[®] HP mit *S. cerevisiae* zeigte nur einen geringen Anstieg der optischen Dichte sowie einen niedrigen pH-Wert Abfall.

Die Ergebnisse in **Kap. 3.2.3-4** machten deutlich, dass die Frisch- und Trockenhefe (*S. cerevisiae*) unter den gegebenen Versuchsbedingungen in der Lage sind, die Glucose, Fructose und Saccharose in einer 24stündigen Fermentation fast vollständig (97-100%) zu fermentieren. In der Literatur (*Klingler 1995, Schlegel 1992, Krämer 1997, Zimmermann & Entioan 1997*) werden diese Ergebnisse bestätigt, dass die handelsübliche Bäckerhefe (Frischhefe) Glucose, Fructose sowie Saccharose enzymatisch abbauen kann und somit Fermentationsprodukte in das umgebende Medium abgibt.

Erst die beiden Inulintypen zeigten Unterschiede im Fermentationsverlauf. Raftiline[®] GR besteht zu einem Teil aus kurzkettigen Fructooligosacchariden. Die niedermolekularen Fructooligosaccharide konnten im Verlauf einer 24stündigen *in vitro* Fermentation durch Bäckerhefe verstoffwechselt werden. Die Invertase von *S. cerevisiae* ist in der Lage, die kurzkettigen Fructooligosaccharide (GF₃-GF₁₁) als Substrate zu nutzen. Ein Abbau von über 80% der Fructooligosaccharide GF₃ bis GF₅ machte dies deutlich.

Durch eine Hefefermentation (24h) werden die Fructooligosaccharide GF₃–GF₁₁ im Inulin-Produkt Raftiline[®] GR zu 33% abgebaut. Höhere Oligomere werden durch die Hefefermentation nicht verändert. Raftiline[®] HP, das zum größten Teil aus höheren Oligomeren (GF₁₅–GF₃₅) aufgebaut ist, erfuhr aus diesem Grunde nur einen geringen Abbau von 0,2%.

Mit der Fermentationsreihe konnte gezeigt werden, dass Frisch-Backhefe, *S. cerevisiae*, in der Lage ist, kurzkettige Fructooligosaccharide bis zu einem Polymerisationsgrad von 15 [GF₁₄] enzymatisch abzubauen. Höhermolekulare Fructooligosaccharide überstehen dagegen den 24stündigen *in vitro* Fermentationsprozess unbeschadet. Nilsson *et al.* (1987) und Dahlqvist *et al.* (1984/86) haben an Weizenfructanen gezeigt, dass bei einem pH-Optimum von 4,5 – 5,5 die Invertase aus *S. cerevisiae* in der Lage ist, die Fructane zu fermentieren. So geben Nilsson *et al.* (1987) und Dahlqvist *et al.* (1984/86) weiter an, dass es sich bei den im Weizen vorkommenden Fructanen hauptsächlich um kurzkettige Fructane handelt. Diese Aussagen bestätigen die oben beschriebenen Erkenntnisse über die Fermentationseigenschaften der *S. cerevisiae* mit Inulin.

Mit einer weiteren, handelsüblichen Hefe, einer Trocken-Backhefe (*S. cerevisiae*) konnten die Aussagen über die enzymatische Nutzbarkeit von Glucose, Fructose und Saccharose sowie der kurzkettigen Fructooligosaccharide bestätigt werden. Auffällig war, dass die niedermolekularen Fructooligosaccharide in weitaus geringerem Maße durch die Trockenhefe enzymatisch abgebaut wurden. So führte der Zusatz an Saccharose bei der Fermentation mit Raftiline[®] GR zu einem stärkeren Abbau an Inulin GR (15%) als ohne zusätzliche Saccharose (Abbau 9%). Hierbei zeigte sich, im Gegensatz zur Frischhefe, dass die zusätzliche Saccharose, die Invertaseaktivität der Trockenhefen zu einer höheren Substratumsetzung anregen kann und sie in der Lage sind, kurzkettige Fructooligosaccharide abzubauen. Dies ist jedoch nicht der Fall bei Verwendung von Raftiline[®] HP.

Ein geringerer Abbau der niedermolekularen Fructooligosaccharide lässt auf eine verlängerte Aktivierung der Invertase bei Trockenbackhefe als bei Frischbackhefe schließen. Im Vergleich zu diesen Fermentationsversuchen mit *S. cerevisiae* stehen die Untersuchungen von Raftiline[®] GR und HP in Hefe(fein)teigen während der Gärphase. Extraktionen der zugesetzten Inuline GR und HP vor und nach der optimalen Gärzeit bestätigen die oben beschriebenen Erkenntnisse über das Abbauverhalten von kurzkettigen Fructooligosacchariden durch die handelsüblichen Bäckerhefen.

Neben der Bäckerhefe, *S. cerevisiae*, kommen während der Backwarenherstellung auch noch eine Reihe von Lactobacillen zum Einsatz. Für weitere Fermentationsversuche mit Saccharose sowie Raftiline[®] GR und HP wurden daher zwei gängige Milchsäurebakterienstämme verwendet (*L. sanfranciscensis* und *L. acidophilus*).

Brandt (2001) und Escriva *et al.* (2000) konnten unter den von Ihnen gewählten Bedingungen zeigen, dass *L. sanfranciscensis* in der Lage ist, Fructooligosaccharide zu fermentieren. Die in **Kap. 3.2.5** aufgeführten Ergebnisse aus den Fermentationsversuchen mit *L. sanfranciscensis* konnten diese Erkenntnisse jedoch nicht bestätigen. So dokumentiert der Zusatz von *L. sanfranciscensis* zu Saccharose, Raftiline[®] GR und HP einen deutlich anderen Verlauf der *in vitro* Fermentationen.

Die nachfolgende Diskussion der Ergebnisse aus den *in vitro* Fermentationen von *L. sanfranciscensis* soll Unterschiede zum Fermentationsverhalten von *S. cerevisiae* aufzeigen und diese mit den Erkenntnissen von Brandt (2001) und Escriva *et al.* (2000) vergleichen.

Im Vergleich zur *S. cerevisiae* besitzen die Milchsäurebakterien des Stammes *L. sanfranciscensis* ein abweichendes Enzymsystem zur Umsetzung / Fermentierung unterschiedlicher Kohlenhydrate. So bevorzugen sie vor allem Glucose und Fructose, und das Disaccharid Saccharose wird nur noch zu einem geringen Maße genutzt (Schlegel 1992, Krämer 1997, Zimmermann & Entioan 1997).

Die mit *L. sanfranciscensis* durchgeführten Fermentationsversuche bestätigen die beschriebenen Daten. Die aus Raftiline® GR stammende Glucose wurde in allen Fermentationsläufen zu 100% verstoffwechselt und war nach 24stündiger Fermentation nicht mehr nachweisbar. Auch die aus Raftiline® GR und HP stammende Fructose ließ sich nach 24h Fermentation nicht mehr im Fermentationsmedium nachweisen. Die zugesetzte bzw. in Inulin GR enthaltene Saccharose wurde nur bis zu max. 22% abgebaut. Aus den einzelnen Versuchen ist zu erkennen, dass bei höheren Anteilen an Monosacchariden die Lactobacillen angeregt werden, auch die vorhandene Saccharose vermehrt enzymatisch abzubauen. Unterstützt wird diese Aussage durch den Verlauf des pH-Wertes und der optischen Dichte. So führt die verstärkte Stoffwechselleistung von *L. sanfranciscensis* zu einem Absinken des pH-Wertes, wobei gleichzeitig die optische Dichte ansteigt, was dann auf ein mikrobielles Wachstum schließen lässt.

Das für diese Arbeit gewählte Fermentationsmedium ist besonders abgestimmt auf ein optimales Wachstum von Hefen wie *S. cerevisiae*. Es sind dadurch, bei Verwendung dieses Mediums in den Fermentationsversuchen mit Lactobacillen, keine optimalen Bedingungen geschaffen. Deutlich wird dies dadurch, dass *L. sanfranciscensis* unter den gegebenen Bedingungen nicht in der Lage war, Inulin enzymatisch zu nutzen. Die in *S. cerevisiae* vorkommende Invertase kann die kurzkettigen Fructooligosaccharide aus Inulin GR als Substrat nutzen. Diese Eigenschaft kann jedoch nicht für *L. sanfranciscensis* gelten. Ein Abbau der niedermolekularen Fructooligosaccharide ist nach 24stündiger Fermentation in einem Minimal-Medium nicht feststellbar. Auch das Vorhandensein von Glucose und Fructose, aus den entsprechenden Inulinen, führt nicht zu einer Anregung der Fermentation von niedermolekularen Fructooligosacchariden. So war in keinem Fermentationsverlauf eine Abnahme der Konzentration an Raftiline® GR als auch Raftiline® HP nachweisbar.

Brandt (2001) und Escriva et al. (2000) konnten jedoch in ihren Arbeiten zeigen, dass Lactobacillen des Stammes *L. sanfranciscensis* in der Lage sind, kurzkettige Fructane enzymatisch zu nutzen. Ausschlaggebend hierfür sind vor allem die optimalen Bedingungen, wie ein speziell auf Milchsäurebakterien abgestimmtes Fermentationsmedium. Mit der Verwendung des Pepton-Minimal-Mediums in dieser Arbeit ist, wie oben beschrieben, keine optimale Umgebung für Lactobacillen geschaffen worden. Somit ist eine „ausbleibende Fermentation“ der niedermolekularen Fructooligosaccharide auf die Verwendung des Pepton-Minimal-Mediums zurückzuführen. So haben *Brandt (2001) und Escriva et al. (2000)* gezeigt, dass Fermentationszeiten von 24h bis 30h ausreichend sind, um eine Verstoffwechslung von niedermolekularen Fructooligosacchariden durch *L. sanfranciscensis* zu erzielen. Es bleibt daher festzuhalten, dass das Fermentationsmedium einen entsprechenden Einfluss auf die Verstoffwechslung von Inulin durch *L. sanfranciscensis* hat.

Die Erkenntnisse über die Fermentationseigenschaften von *L. sanfranciscensis* sollen nachfolgend mit den Ergebnissen aus den Fermentationsversuchen mit *L. acidophilus* diskutiert werden.

Bei der Betrachtung der Ergebnisse aus den Fermentationsversuchen mit *L. acidophilus* ist ein vergleichbarer Verlauf zu den Fermentationen mit *L. sanfranciscensis* festzustellen. Die Literatur (*Schlegel 1992, Krämer 1997*) beschreibt die Fermentationseigenschaften von *L. acidophilus*, dass der Stamm in der Lage ist, Glucose und Fructose sowie in geringem Maße Saccharose enzymatisch zu nutzen. Die in dieser Arbeit beschriebenen Ergebnisse mit *L. acidophilus* unterstreichen diese Aussagen. Nach 24stündiger Fermentation war die durch Raftiline® GR eingebrachte Glucose nicht mehr nachweisbar. Ebenfalls ließ sich die in Raftiline® GR und HP enthaltene Fructose nach abgeschlossener Fermentation nicht mehr nachweisen.

Im Vergleich zu den Fermentationen mit *L. sanfranciscensis* ist die Abnahme der Saccharosekonzentration nach 24stündiger Fermentation geringer. Die geringe Änderung des pH-Wertes und der optischen Dichte lassen auf keine messbare Stoffwechselleistung schließen.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass die *in vitro* Fermentationen mit handelsüblichen Backhefen die in der Literatur aufgeführten Eigenschaften von *S. cerevisiae*, die Monosaccharide Glucose und Fructose sowie das Disaccharid Saccharose vollständig umzusetzen, bestätigen. Erkenntnisse über den Abbau niedermolekularer, kurzkettiger Fructooligosaccharide durch *S. cerevisiae* werden ebenfalls gewonnen.

Weiterhin wurde gezeigt, dass die beiden Lactobacillenstämme *L. sanfranciscensis* und *L. acidophilus* nicht in der Lage sind, in einem nicht auf Milchsäurebakterien abgestimmten, Pepton-Minimal-Medium kurzkettige Fructooligosaccharide enzymatisch zu nutzen. Wie die Arbeiten von *Brandt (2001)* und *Escriva et al. (2000)* zeigen, ist bei Verwendung eines optimalen Fermentationsmediums ein Abbau von niedermolekularen Fructooligosacchariden durch Milchsäurebakterien möglich.

3.3 Verhalten von Inulinzusätzen in Hefe(fein)teigen während der Gärphase

3.3.1 Wahl der Versuchsbedingungen

Mit der Bestimmung des prebiotischen Zusatzes Inulin aus Hefe- und Hefefeinteigen direkt nach dem Knetprozess bzw. nach der optimalen Gärphase werden die Fermentationsversuche von dem Modellsystem „Fermenter“ auf praxisingerechte Teigsysteme übertragen. Die Ergebnisse dienen zur Klärung der Stabilität der eingesetzten Inulinzusätze während der Teigbildungsphase und während der Gärphase. Die Resultate der Fermentationsversuche in **Kap. 3.2** zeigen, dass es durch den Zusatz von Backhefe (*Saccharomyces cerevisiae*) zu einem Abbau der niedermolekularen Fructooligosaccharide von bis zu 90% kommt. Um diese Erkenntnisse auf den realen Herstellungsprozess zu übertragen, werden Weizenteige unterschiedlicher Zusammensetzung erstellt.

Hierfür werden zwei Rezepturen verwendet, wobei die Variation im Zusatz der Inulintypen (DP10 bzw. DP25), der Inulinmenge (3 und 6 Teile) sowie im Zusatz des Fett- und Saccharoseanteiles (5 bzw. 10 Teile) liegt. Mit der Variation des Saccharoseanteiles soll geklärt werden, inwieweit höhere Saccharosezusätze dazu führen, dass kurzkettige Fructooligosaccharide in einem geringeren Maße durch *S. cerevisiae* verstoffwechselt werden.

Als Standardteige ohne Inulinzusatz werden Weizenteige verwendet, bei denen 6 Teile Weizenmehl durch Weizenstärke substituiert werden. Dieser Weizenstärkeanteil wird bei Verwendung von Inulin (GR/HP) durch eben dieses anteilmäßig ersetzt, so dass bei den Untersuchungen der jeweilige Weizenmehlanteil gleichbleibend ist. Verwendet werden als Standardsubstanzen, für die Bestimmung der Wiederfindung der Inulinzusätze die beiden Inulintypen Raftiline® GR und HP. Der Versuchsplan ist in **Tab. 3.3.1** aufgeführt. Rezepturen und Herstellungsbedingungen sind neben den Auswertungen der Chromatogramme im **Anhang Kap. 9.3.1 und 9.3.2** aufgeführt. Die Probenaufarbeitung sowie die Extraktion der Teigmuster sind in **Kap. 6.1.3.2** beschrieben. Die Bestimmungen erfolgen mittels HPAEC, wobei die chromatographischen Bedingungen sowie die Methodenbeschreibung in **Kap. 3.1 und 6.1.2.1** aufgeführt sind.

Die Auswertung der Messdaten unterteilt sich in zwei Bereiche, die im Folgenden näher beschrieben werden.

- Im ersten Abschnitt der jeweiligen Ergebnisbetrachtung werden die einzelnen Peakflächen der Fructooligosaccharide, die aus den Teigen isoliert werden, direkt mit den Standardlösungen der Inulintypen Raftiline® GR und HP verglichen. Die Verteilung der einzelnen Peakflächen und der dadurch resultierende Kurvenverlauf machen eine Konzentrationsänderung bzw. einen Abbau einzelner Fructooligosaccharide deutlich.
- Der Gegenüberstellung der Peakflächen der Inulinstandard-Lösung und der Teigextrakte folgt die Darstellung der prozentualen [%] Verteilung der Peakflächen. Hierfür wird die gesamte Fläche an Fructooligosacchariden als 100% gesetzt und so das prozentuale Vorkommen einzelner Fructane berechnet. Die Darstellung ist unabhängig von der Konzentration, da sich die prozentuale Verteilung der Peakflächen nicht durch unterschiedliche Verdünnungen ändert.

Tab. 3.3.1 Versuchsplan der Extraktion und Stabilitätsprüfung von Inulin in Weizenteigen

	Konzentration der einzelnen Zusätze im jeweiligen Teig bezogen auf 100 Teile Weizenmehl		
	Weizenstärke [Teile]	Raftiline® GR [Teile]	Raftiline® HP [Teile]
Weizenbrot:	6	-	-
Weizenbrot:	3	3	-
Weizenbrot:	3	-	3
Weizenbrot:	-	6	-
Weizenbrot:	-	-	6
Kastenstuten:	6	-	-
Kastenstuten:	3	3	-
Kastenstuten:	3	-	3
Kastenstuten:	-	6	-
Kastenstuten:	-	-	6

3.3.2 Nachweis und Stabilität von Inulinzusätzen im Weizenbrotteig vor und nach der Gärphase

Im ersten Teil der Bestimmung von Inulin in Teigen wird die Nachweisbarkeit und Stabilität beider Inulintypen (GR/HP) in Weizenbrotteigen beschrieben. Als Referenz- oder Standardteig gilt ein Weizenteig, bei dem 6 Teile Weizenmehl durch Weizenstärke substituiert werden. Er wird als „Null-Probe“ betrachtet. Die Bestimmung der Inulinzusätze aus den Teigen erfolgt direkt nach der Herstellung, dem Knetprozess (*0min G.phase*) und nach der optimalen Gärzeit (*92min G.phase*).

Der komplette Versuchsplan ist in **Kap.3.3.1 Tab. 3.3.1** aufgeführt. Im **Anhang Kap. 9.3.1** sind neben den Chromatogrammen die Auswertungen der einzelnen Peakflächen und deren anteilmäßige Verteilung im Extrakt aufgeführt.

Die Ergebnisse der Untersuchungen an Teigen mit 3 Teilen Inulinzusatz werden in den **Abb. 3.3.2.a und b** und die mit 6 Teilen Inulinzusatz in den **Abb. 3.3.2.c und d** dargestellt

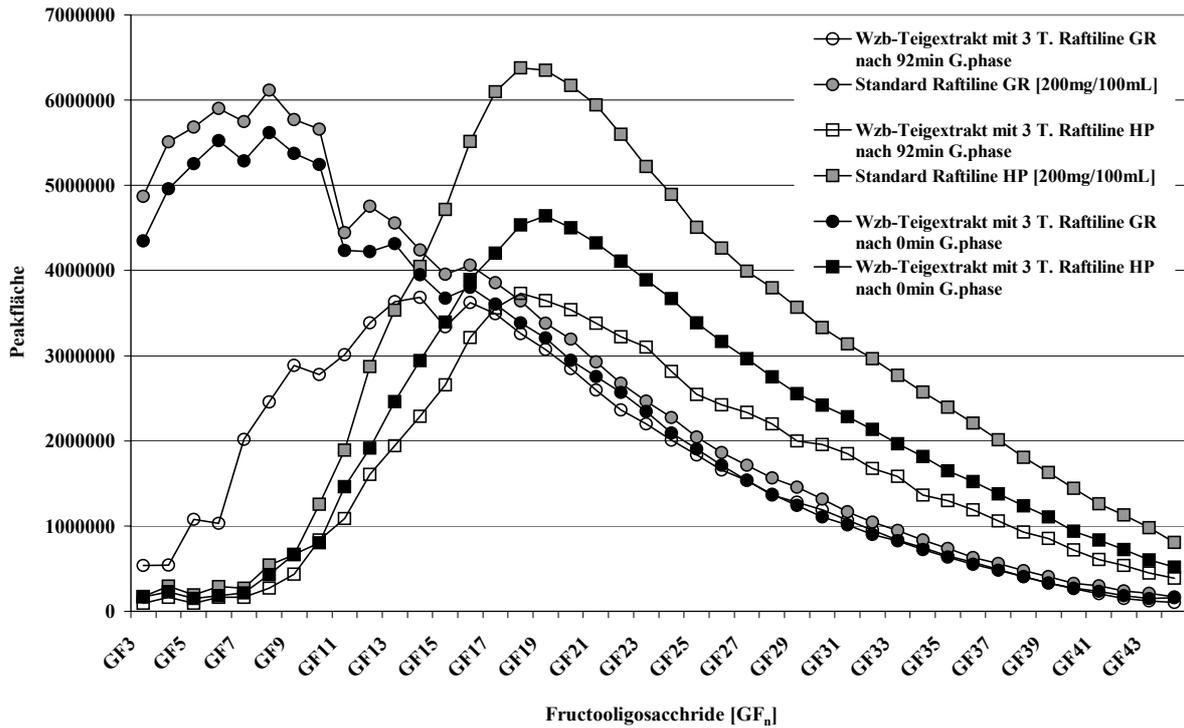


Abb. 3.3.2.a Darstellung der einzelnen Peakflächen der Fructooligosaccharide aus den Standardinulintypen Raffiline® GR und HP sowie aus Weizenbrotteigextrakten nach 0 und 92 min Gärzeit, denen je 3 Teile Inulin GR bzw. Inulin HP zugesetzt sind.

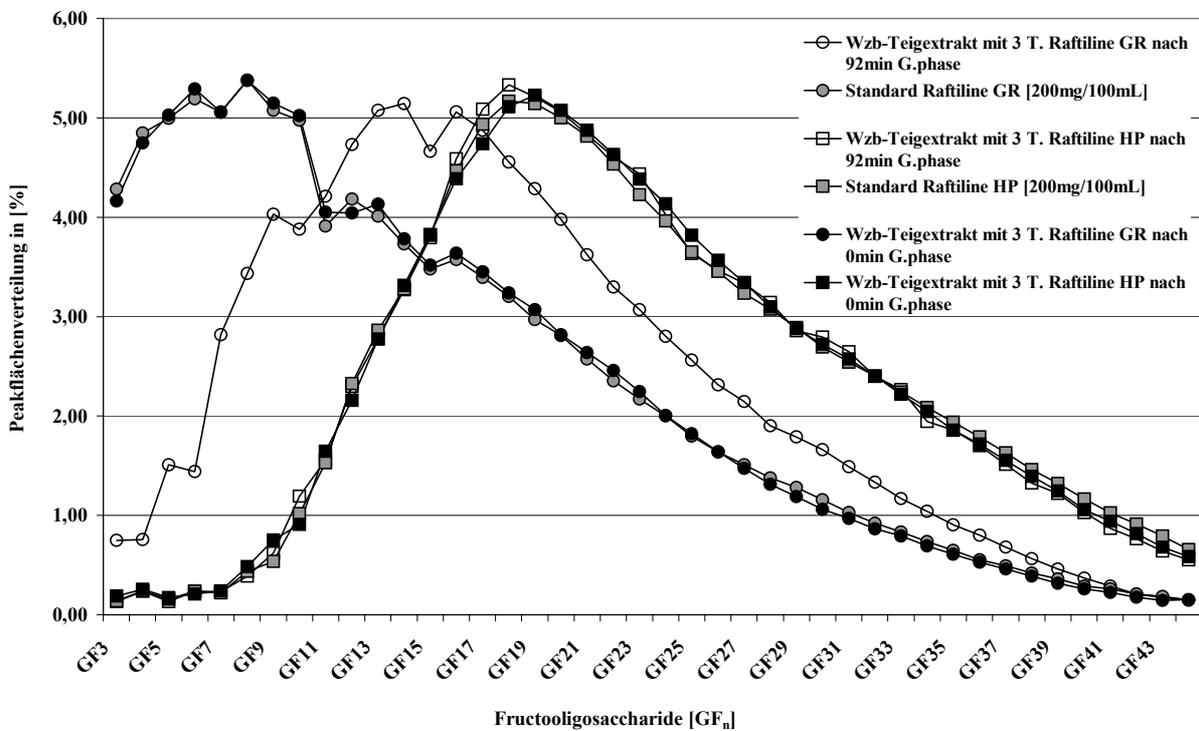


Abb. 3.3.2.b %-Verteilung der einzelnen Peakflächen der Fructooligosaccharide aus den Standardinulintypen Raffiline® GR und HP sowie aus Weizenbrotteigextrakten nach 0 und 92 min Gärzeit, denen je 3 Teile Inulin GR bzw. Inulin HP zugesetzt sind.

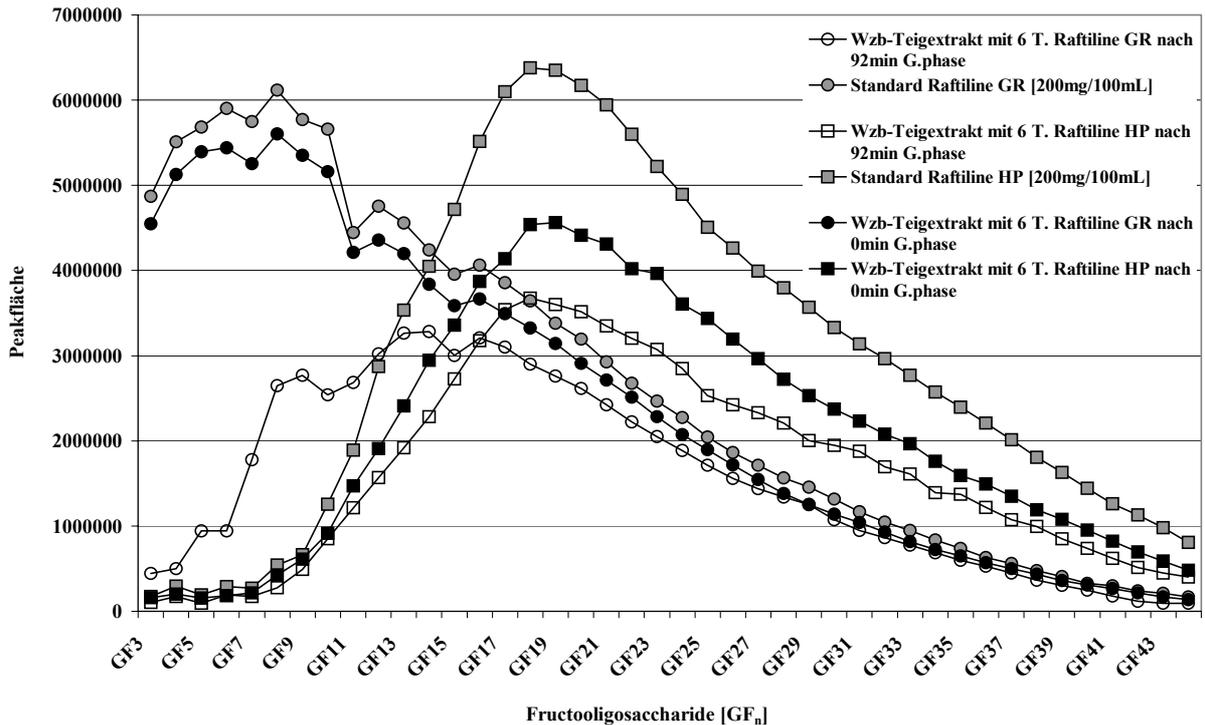


Abb. 3.3.2.c Darstellung der einzelnen Peakflächen der Fructooligosaccharide aus den Standardinulintypen Raftiline[®] GR und HP sowie aus Weizenbrotteigextrakten nach 0 und 92 min Gärzeit, denen je 6 Teile Inulin GR bzw. Inulin HP zugesetzt sind.

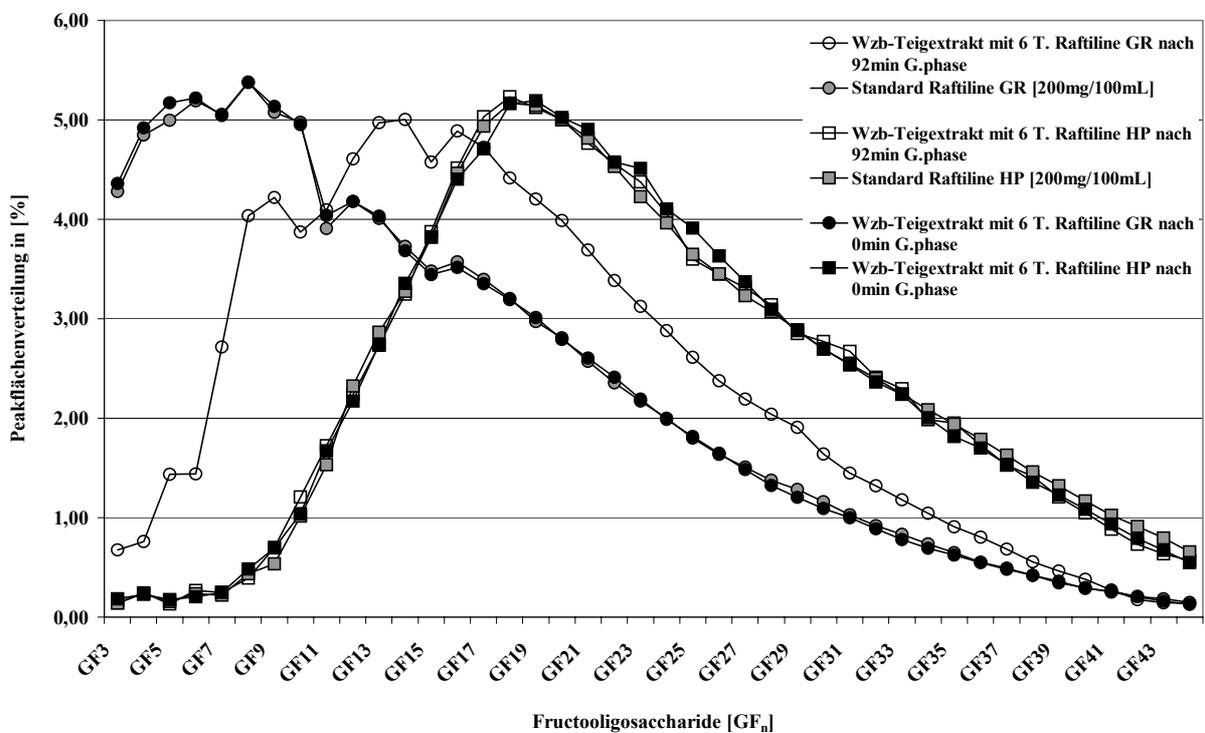


Abb. 3.3.2.d %-Verteilung der einzelnen Peakflächen der Fructooligosaccharide aus den Standardinulintypen Raftiline[®] GR und HP sowie aus Weizenbrotteigextrakten nach 0 und 92 min Gärzeit, denen je 6 Teile Inulin GR bzw. Inulin HP zugesetzt sind.

Bei Auswertung der Chromatogramme der „Null-Probe“ (**Anhang Kap. 9.3.1.3**) sind keine charakteristischen Peaks der Fructooligosaccharide zu identifizieren. Die erhaltenen Peaks stammen aus dem Stärkeabbau, es handelt sich hierbei vorzugsweise um Dextrine. Ein Eintrag von weizeneigenen Fructooligosacchariden durch das verwendete Weizenmehl sowie durch die Weizenstärke ist somit auszuschließen.

Die **Abb. 3.3.2.a und b** geben die Ergebnisse der Untersuchungen an Teigen mit 3 Teilen Inulinzusatz (Raftiline[®] GR) wieder. Beim Vergleich der Peakflächen der einzelnen Fructooligosaccharide aus den Teigen mit Raftiline[®] GR nach 0 min Gärzeit und der Standardlösung GR ist auffällig, dass die Extrakte direkt nach Beendigung des Knetprozesses noch keinen sichtbaren Abbau der Fructane zeigen. Jedoch ist nach der gesamten Gärzeit von 92 min ein deutlicher Abbau der niedermolekularen Fructooligosaccharide erkennbar. Die Fructane GF₃ bis GF₁₀ zeigen nach der Gärzeit von 92 min eine deutlich niedrigere Peakfläche (**Abb. 3.3.2.a**) und somit auch einen geringeren Anteil in der Peakflächenverteilung (**Abb. 3.3.2.b**). So werden die Fructane GF₃ bis GF₆ bis zu 80% durch Backhefen reduziert, wogegen die Fructane GF₇ bis GF₁₀ in einem geringeren Maße abgebaut werden. Die höhermolekularen Fructooligosaccharide weisen keinen Abbau durch *S. cerevisiae* auf.

Bei der Betrachtung der Auswertung der Teigproben mit 6 Teilen Raftiline[®] GR wird deutlich (**Abb. 3.3.2.c und d**), dass es auch hierbei zu einem Abbau der Fructane GF₃ bis GF₁₀ kommt. Beim Einsatz von 6 Teilen Inulin GR werden ebenfalls vornehmlich die Fructane GF₃ bis GF₆ bis zu 80% fermentiert und die Fructane GF₇ bis GF₁₀ zu einem geringeren Anteil. Eine Fermentation der höhermolekularen Fructane (GF₁₁–GF_{11+n}) ist nicht feststellbar. Ein konzentrationsbedingter Abbau der niedermolekularen Fructooligosaccharide ist beim Zusatz von 3 bzw. 6 Teilen Inulin GR nicht feststellbar.

Anders verhält es sich jedoch bei Verwendung von Raftiline[®] HP in Weizenbrotteigen. Die Chromatogramme sowie die entsprechende Auswertung der Peakflächen machen in den graphischen Darstellungen der **Abb. 3.3.2.a und c** deutlich, dass Inulin mit einem DP von 25 die Gärphase des Herstellungsprozesses von Weizenbrot unbeschadet übersteht. Die einzelnen Fructooligosaccharide zeigen weder in der Peakflächenverteilung noch in ihrem prozentualen Anteil Änderungen. Der Nachweis bzw. die Wiederfindung der Fructane aus Raftiline[®] HP in Teigextrakten nach 0 sowie 92 min Gärzeit ist in der prozentualen Verteilung identisch mit der Standardlösung Inulin HP (**Abb. 3.3.2.b und d**).

3.3.3 Nachweis und Stabilität von Inulinzusätzen im Hefefeinteig vor und nach der Gärphase

Im zweiten Abschnitt der Untersuchungen von Inulinzusätzen in Hefefeigen werden die Nachweisbarkeit sowie die Stabilität der beiden Inulintypen (GR/HP) in Hefefeigen geprüft. Ein Hefefeinteig, bei dem 6 Teile Weizenmehl durch handelsübliche Weizenstärke ausgetauscht werden, gilt als Referenz- oder Standardteig und somit gleichzeitig als „Null-Probe“. Die Bestimmung der Inulinzusätze erfolgt jeweils direkt nach dem Knetprozess (**0min G.phase**) und nach der optimalen Gärzeit (**92min G.phase**).

Der komplette Versuchsplan ist in **Kap. 3.3.1 Tab. 3.3.1** aufgeführt. Im **Anhang Kap. 9.3.2** sind neben den Chromatogrammen die Auswertungen der einzelnen Peakflächen und deren anteilmäßige Verteilung im Extrakt aufgeführt. Die Ergebnisse der Untersuchungen an Teigen mit 3 Teilen Inulinzusatz sind in den **Abb. 3.3.3.a und b** und die mit 6 Teilen Inulinzusatz in den **Abb. 3.3.3.c und d** dargestellt.

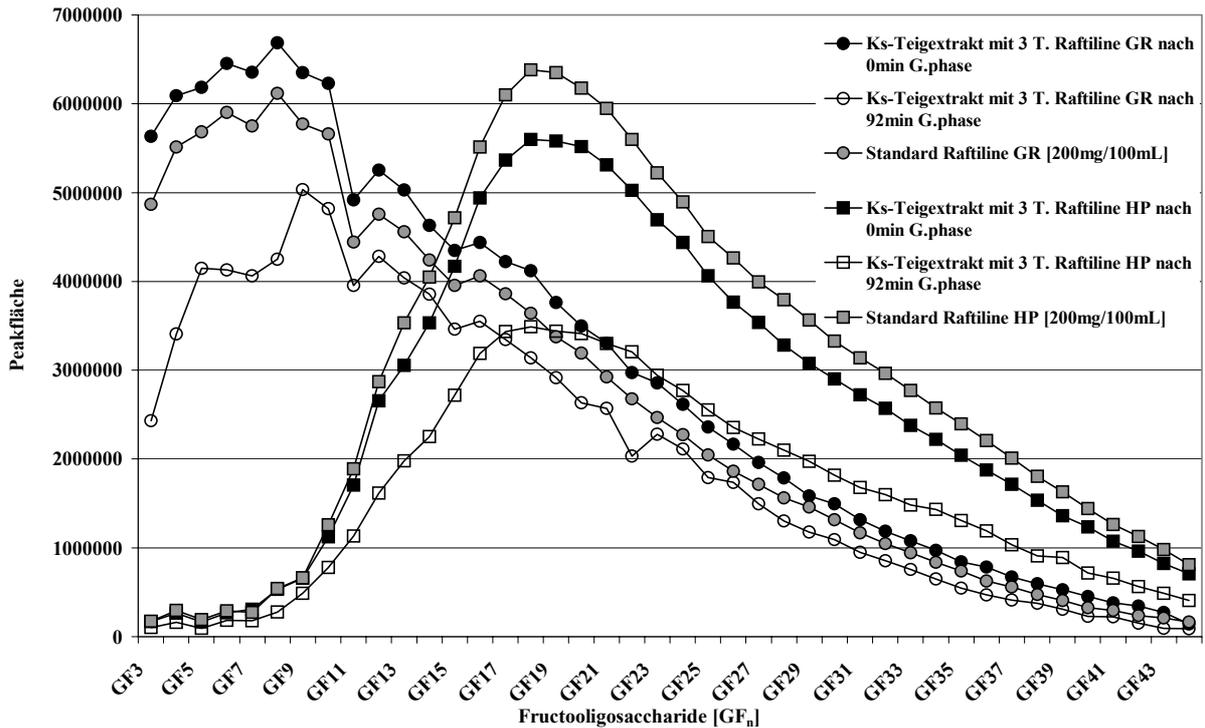


Abb. 3.3.3.a Darstellung der einzelnen Peakflächen der Fructooligosaccharide aus den Standardinulintypen Raftiline[®] GR und HP sowie aus Hefefeinteigextrakten nach 0 und 92 min Gärzeit, denen je 3 Teile Inulin GR bzw. Inulin HP zugesetzt sind.

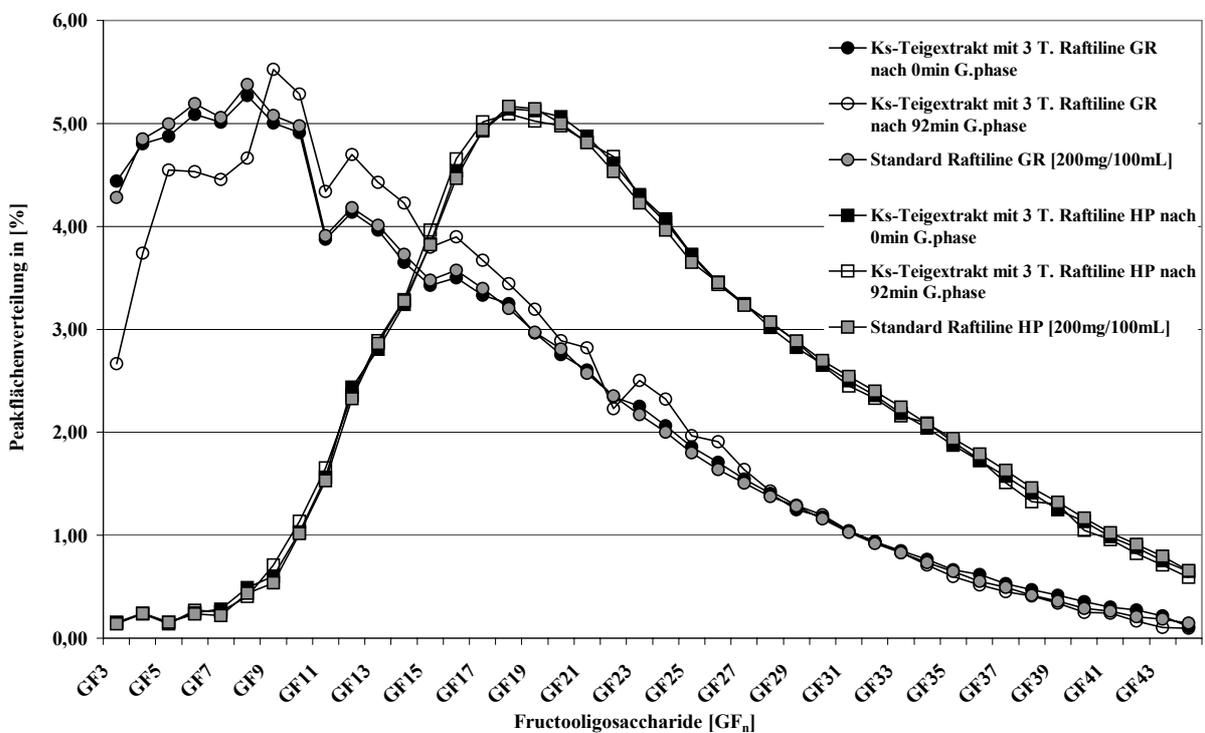


Abb. 3.3.3.b %-Verteilung der einzelnen Peakflächen der Fructooligosaccharide aus den Standardinulintypen Raftiline[®] GR und HP sowie aus Hefefeinteigextrakten nach 0 und 92 min Gärzeit, denen je 3 Teile Inulin GR bzw. Inulin HP zugesetzt sind.

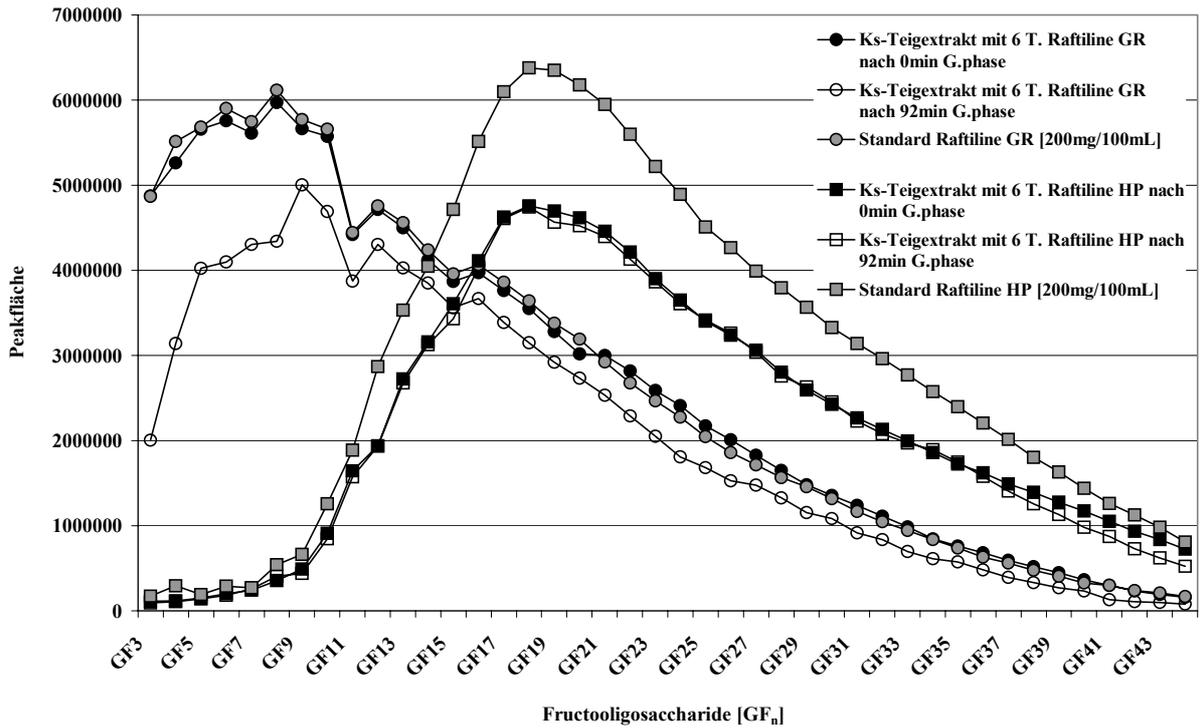


Abb. 3.3.3.c Darstellung der einzelnen Peakflächen der Fructooligosaccharide aus den Standardinulintypen Raftiline® GR und HP sowie aus Hefefeinteigextrakten nach 0 und 92 min Gärzeit, denen je 6 Teile Inulin GR bzw. Inulin HP zugesetzt sind.

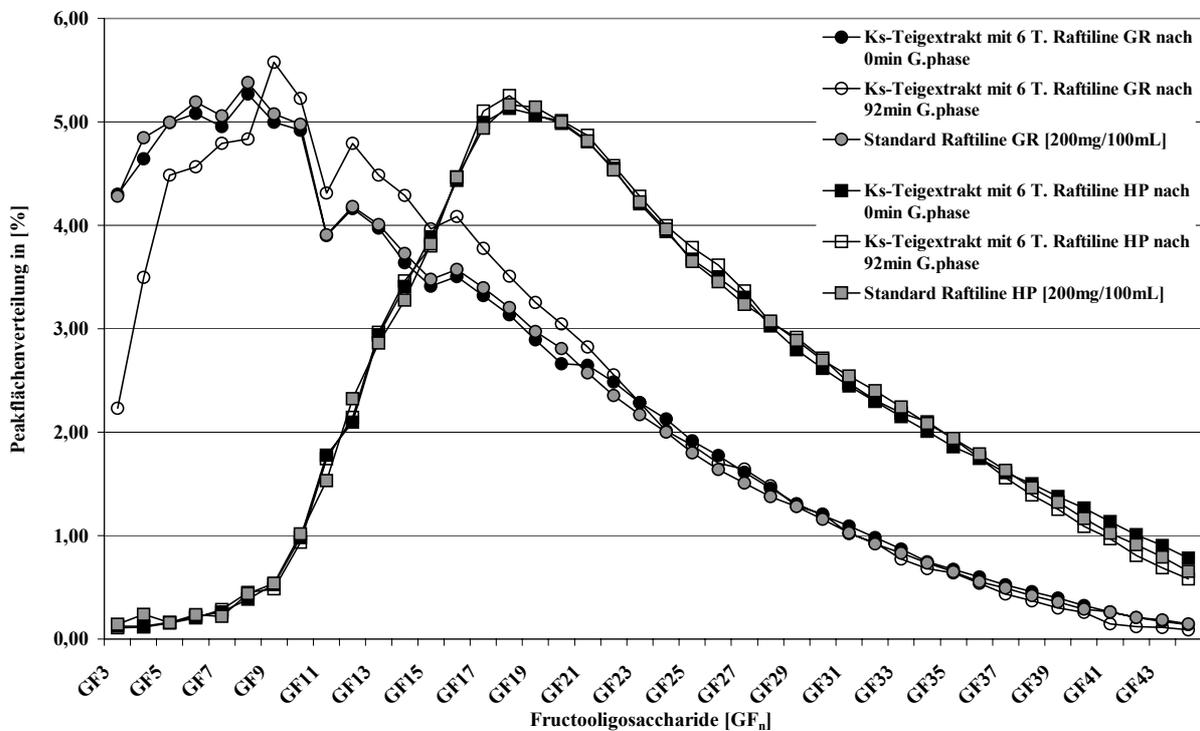


Abb. 3.3.3.d %-Verteilung der einzelnen Peakflächen der Fructooligosaccharide aus den Standardinulintypen Raftiline® GR und HP sowie aus Hefefeinteigextrakten nach 0 und 92 min Gärzeit, denen je 6 Teile Inulin GR bzw. Inulin HP zugesetzt sind.

Niedermolekulare Fructane werden bei Teigen mit Zusatz an Raftiline® GR und einer Gärzeit von 92 min fast vollständig abgebaut (**Abb. 3.3.3.a**). Die Bestimmungen der Fructane direkt nach dem Knetprozess zeigen keine Veränderungen im Vergleich mit der Standardlösung GR. So ist zu erkennen, dass die Fructane GF₃ bis GF₈ nach einer Gärzeit von 92 min eine deutlich niedrigere Peakfläche (**Abb. 3.3.3.a**) und somit auch einen geringeren Anteil in der Peakflächenverteilung (**Abb. 3.3.3.b**) aufweisen. Bei der Auswertung der Teigproben mit 6 Teilen Raftiline® GR sind diese Veränderungen der Fructane GF₃ bis GF₈ ebenfalls bezeichnend (**Abb. 3.3.3c und d**). Auch beim Einsatz von 6 Teilen Inulin GR werden die Fructooligosaccharide GF₃ bis GF₈ bis zu 50% enzymatisch abgebaut. Eine konzentrationsabhängige Fermentation der kurzkettigen Fructooligosaccharide ist beim Zusatz von 3 bzw. 6 Teilen Inulin GR nicht feststellbar.

Die Bestimmung von Inulin HP aus den Hefefeinteigen bestätigt die Ergebnisse des **Kap. 3.3.2**. Neben den Chromatogrammen (**Anhang Kap. 9.3.2.3**) ist durch die Auswertung der Peakflächen und die graphischen Darstellungen in den **Abb. 3.3.3.a bis d** zu erkennen, dass höhermolekulare Fructooligosaccharide den Herstellungsprozess für Hefefeinteige auch nach einer Gärzeit von 92 min unbeschadet überstehen. Die einzelnen Fructooligosaccharide zeigen weder in der Peakflächenverteilung noch in ihrem prozentualen Anteil Änderungen. Der Nachweis bzw. die Wiederfindung der Fructane aus Raftiline® HP in Teigextrakten nach 0 sowie 92 min Gärzeit ist in der prozentualen Verteilung annähernd deckungsgleich mit der Standardlösung Inulin HP (**Abb. 3.3.3.b und d**).

Ein Unterschied im Vergleich der Zusätze 3 bzw. 6 Teile Inulin HP im Verhalten während der Gärphase ist nicht feststellbar.

3.3.4 Diskussion - Stabilität von Inulin während der Gärphase bei Hefe(fein)teigen

Im **Kap. 3.3** wurde das Abbauverhalten von Inulin im Verlauf des Herstellungsprozesses von Hefe(fein)gebäcken untersucht. In der Literatur sind bisher keine Arbeiten zur Stabilität von Inulinen in rohen Teigen publiziert. Arbeiten von *Praznik et al. (2002)*, *Hoebregs & De Leenheer et al. (1994)* und *Quemener et al. (1994)* beschreiben den Nachweis von Inulinzusätzen aus verzehrsfertigen Lebensmitteln, aber nicht aus Zwischenprodukten (Teigen).

In **Kap. 3.2** konnte gezeigt werden, dass mit Hilfe des *in vitro* Fermentationsmodells die Invertase der *S. cerevisiae* in der Lage ist, kurzkettige Fructooligosaccharide als Substrate zur Aufrechterhaltung ihrer Stoffwechselfunktionen zu nutzen. Durch die Ausweitung der Fermentationsversuche auf zwei reale Teigsysteme wurden diese Erkenntnisse auf praxisrelevante Untersuchungen ausgedehnt.

Es zeigte sich anhand der Inulinextraktionen aus Teigen nach optimalen Gärzeiten, dass auch im Medium Hefeteig die Invertase der *S. cerevisiae* niedermolekulare Fructooligosaccharide als Substrate nutzt.

Um den Eintrag von weizeneigenen Fructooligosacchariden durch die verwendete Weizenstärke bzw. das Weizenmehl Type 550 auszuschließen, sind die Bestimmungen der entsprechenden „Null-Proben“ erforderlich. Hierfür wurden Weizenbrotteige und Hefefeinteige mit je 6 Teilen Weizenstärkezusatz auf die vorhandenen Fructooligosaccharide untersucht. So beschreiben *Nilsson et al. (1987)* und *Dahlqvist et al. (1984/86)* Gehalte an Weizenfructanen von 1% bis 2%. Diese Gehalte konnten jedoch in dem in der vorliegenden

Arbeit verwendetem Weizenmehl der Type 550 nicht nachgewiesen werden. Die Bestimmungen aus den „Null-Proben“ zeigten, dass keine charakteristischen Fructooligosaccharide mittels HPAEC in den Extraktionslösungen festzustellen sind. Es ist daher davon auszugehen, dass keine nachweisbaren weizeneigenen Fructooligosaccharide in die Teigextrakte eingebracht wurden. Ein Eintrag der Weizenfructooligosaccharide ist erst durch die Verwendung von Weizenvollkornmehl gegeben. Dies wird auch von *Nilsson et al. (1987)* und *Dahlqvist et al. (1984/86)* beschrieben, da die Fructane vorwiegend in den Randschichten lokalisiert sind (Gehalte bis zu 2%).

Ein Vergleich der Ergebnisse aus den Teigextraktionen direkt nach dem Kneten mit den Standardlösungen von Raftiline® GR und HP zeigte, dass es durch den Knetprozess zu keinem nachweisbaren Abbau der Fructooligosaccharide kommt. Die %-Verteilung der einzelnen Fructooligosaccharide von Inulin GR und Inulin HP aus den Teigextrakten ist identisch mit der %-Verteilung der Fructooligosaccharide aus den Standardlösungen. Die Dauer des Knetprozesses ist nicht ausreichend, um einen enzymatischen Abbau der zugesetzten Fructooligosaccharide durch *S. cerevisiae* zu erreichen.

Fermentationsverluste an einzelnen Fructooligosacchariden zeigten sich jedoch in den Untersuchungsergebnissen der Weizenbrotteigextrakte nach einer optimalen Gärzeit von insgesamt 92 min.

Ein Abbau der zugesetzten Raftiline® GR wird durch Verlust der Fructooligosaccharide GF₃ bis GF₁₀ charakterisiert. Inulin GR zeichnet sich dadurch aus, dass nach einer Gärzeit von 92 min die %-Verteilung der einzelnen Fructooligosaccharide sich deutlich ändert. Die prozentualen Gehalte der Fructooligosaccharide GF₃ bis GF₁₀ sinken unter die Ausgangswerte, so dass im Gegenzug die prozentualen Gehalte der langkettigen Fructane ansteigen. Diese Verluste sind unabhängig von der zugesetzten Konzentration an Raftiline® GR.

Im Gegensatz dazu ist bei Teigen, denen Raftiline® HP zugesetzt war, nach 92minütiger Gärzeit keine Änderung der %-Verteilung der Fructooligosaccharide festzustellen. Die Extrakte aus Weizenbrotteigen, denen Inulin HP zugesetzt wurde, zeichnen sich dadurch aus, dass ihre prozentuale Verteilung identisch mit der Verteilung der Standardlösung von Raftiline® HP ist. Ein fermentativer Abbau von Inulin HP durch *S. cerevisiae* ist somit nicht nachweisbar.

Die Extraktionsergebnisse aus den Weizenbrotteigen bestätigten die Erkenntnisse aus den *in vitro* Fermentationsversuchen dahingehend, dass die Invertase der *S. cerevisiae* in der Lage ist, kurzkettige Fructooligosaccharide als Substrate zu nutzen und ihre Stoffwechselaktivitäten somit aufrecht zu erhalten.

Ein ähnliches Bild zeigen auch die Extraktionsergebnisse aus den Hefefeinteigen (Kastenstutenteigen). Unterschiede zu den Weizenbrotteigextrakten zeigen sich dahingehend, dass die niedermolekularen Fructooligosaccharide zwar enzymatisch abgebaut werden, aber die Verluste in der prozentualen Verteilung und somit in den Gehalten der Fructooligosaccharide weitaus niedriger sind.

Verluste durch enzymatischen Abbau der einzelnen Fructooligosaccharide sind jedoch nicht bei Hefefeinteigextrakten, denen Raftiline® HP zugesetzt war, feststellbar. Inulin HP setzt sich hauptsächlich aus höhermolekularen Fructooligosacchariden zusammen, so dass der Gehalt an kurzkettigen Fructanen sehr niedrig ist.

Erwähnenswert sind die Unterschiede zwischen den Ergebnissen aus den Teigextrakten von Weizenbrotteigen und Hefefeinteigen, denen Raftiline® GR zugesetzt war. Bei Weizenbrotteigen findet während der Gärphase ein weitaus größerer Abbau der kurzkettigen Fructooligosaccharide als bei Hefefeinteigen statt. Dieses unterschiedliche Abbauverhalten ist

nicht an die zugesetzte Backhefemenge gebunden, da sie bei beiden Rezepturen gleich ist. Unterschiedlich ist jedoch, dass Hefefeinteige (Kastenstutenteige) 5 Teile mehr an Saccharose und Erdnussfett als Weizenbrotteige aufweisen. So ist vor allem die erhöhte Saccharosemenge in Kastenstutenteigen für das Gärungsverhalten der *S. cerevisiae* entscheidend.

Die durchgeführten Fermentationsversuche haben gezeigt, dass bei einem Zusatz von Saccharose und Inulin (GR) die Invertase der Bäckerhefe vorwiegend das Disaccharid als Substrat zur Aufrechterhaltung seiner Stoffwechselfunktionen nutzt und die höhermolekulare Kohlenhydrate wie die Fructooligosaccharide (GF₃-GF₁₄) nur geringfügig enzymatisch abbaut. Durch die Ausweitung der Fermentationsversuche auf Hefe- und Hefefeinteige sind diese Erkenntnisse auf reale Teigsysteme mit optimalen Gärzeiten übertragen worden. Es zeigte sich, dass die Modellversuche auf praxisrelevante Versuche übertragbar sind.

Bei Weizenbrotteigen mit Raftiline[®] GR, denen 5 Teile Saccharose zugesetzt wurden, ist der Verlust an kurzkettigen Fructooligosacchariden deutlich höher als bei Hefefeinteigen, denen 10 Teile Saccharose zugesetzt waren. Diese Ergebnisse zeigten, dass durch den erhöhten Einsatz an Saccharose in hefegelockerten Teigen der Abbau von Inulin mit niedrigen DP's vermindert werden kann. Die verwendete *S. cerevisiae* bevorzugt zur Aufrechterhaltung ihrer Stoffwechselprozesse und der ebenfalls dadurch bedingten Teiglockerung die enzymatisch leichter zugänglichen Kohlenhydrate (Maltose, Saccharose).

3.4 Extraktion und Wiederfindung von Inulin aus Backwaren

3.4.1 Wahl der Versuchsbedingungen

Im Folgenden soll die Extrahierbarkeit und Wiederfindung von Inulinzusätzen aus unterschiedlichen Backwaren untersucht werden.

Die nachfolgenden Ergebnisse dienen zur Klärung der Stabilität der eingesetzten Inulinzusätze während der gesamten Teigbildungsphase, der anschließenden Gärphase und des Backprozesses. Es werden hefegelockerte sowie nicht-hefegelockerte Backwaren untersucht.

Der Versuchsplan in **Tab. 3.4.1** stellt die zu untersuchenden Gebäcke, die verwendeten Inulintypen sowie die eingesetzten Konzentration an Prebiotika und Weizenstärke dar

Als Standardgebäcke ohne Inulinzusatz werden Backwaren verwendet, bei denen ein bestimmter Anteil (3, 5, 6 und 10 Teile) Weizenmehl durch Weizenstärke substituiert wird, Diese Weizenstärkeanteile werden bei Verwendung von Inulin durch eben dieses ersetzt, so dass auch bei den analytischen Untersuchungen der jeweilige Weizenmehlanteil gleichbleibend ist. Zur Bestimmung der Wiederfindung von Inulinzusätzen in Backwaren, werden als Standardsubstanzen die beiden Inulintypen Raftiline[®] GR und Raftiline[®] HP eingesetzt. Die Rezepturen, Herstellungsbedingungen, Gebäckdaten und sensorischen Auswertungen der verwendeten Gebäcke sind im **Anhang Kap. 9.4.1-4** aufgeführt.

Die Probenvorbereitung und die Extraktion der Gebäckmuster sind in **Kap. 6.1.3.3** beschrieben. Die analytischen Bestimmungen erfolgen mittels HPAEC-PAD, wobei die chromatographischen Bedingungen sowie die Methodenbeschreibung in **Kap. 6.1.2.1** aufgeführt sind.

Zum Vergleich mit den verbackenen und anschließend wieder extrahierten Inulinen dienen Standardlösungen der entsprechenden Prebiotika mit einer Konzentration von 200mg/100mL. Die Bestimmung der fermentierten Saccharosemengen entfällt, da die Stabilität der Inulinzusätze in Weizenteigen im Vordergrund der Untersuchungen stehen.

Die Auswertung der Messdaten unterteilt sich in zwei Bereiche, die im Folgenden näher beschrieben werden.

- Im ersten Abschnitt der jeweiligen Ergebnisbetrachtung werden die einzelnen Peakflächen der Fructooligosaccharide, die aus den entsprechenden Krümen isoliert werden, direkt mit den Standardlösungen der Inulintypen Raftiline[®] GR und HP verglichen. Die Verteilung der einzelnen Peakflächen und der dadurch resultierende Kurvenverlauf macht eine Konzentrationsänderung bzw. einen Abbau einzelner Fructooligosaccharide deutlich.
- Der Gegenüberstellung der Peakflächen der Inulinstandard-Lösung und der Krümenextrakte folgt die Darstellung der prozentualen [%] Verteilung der Peakflächen. Hierfür wird die gesamte Fläche an Fructooligosacchariden als 100% gesetzt und so das prozentuale Vorkommen einzelner Fructane berechnet. Die Darstellung ist unabhängig von der Konzentration, da die prozentuale Verteilung der Peakflächen sich nicht durch unterschiedliche Verdünnungen ändert.

Tab. 3.4.1 Versuchsplan der Extraktion und Stabilitätsprüfung von Inulin in Backwaren

	Konzentration der einzelnen Zusätze im jeweiligen Gebäck bezogen auf 100 Teile Weizenmehl		
	Weizenstärke [Teile]	Raftiline® GR [Teile]	Raftiline® HP [Teile]
Weizenbrot:	6	-	-
Weizenbrot:	3	3	-
Weizenbrot:	3	-	3
Weizenbrot:	-	6	-
Weizenbrot:	-	-	6
Kastenstuten:	6	-	-
Kastenstuten:	3	3	-
Kastenstuten:	3	-	3
Kastenstuten:	-	6	-
Kastenstuten:	-	-	6
Formwaffel:	5	-	-
Formwaffel:	-	5	-
Formwaffel:	-	-	5
Mürbekeks:	10	-	-
Mürbekeks:	-	10	-
Mürbekeks:	-	-	10

3.4.2 Nachweis und Stabilität von Inulinzusätzen im Weizenbrot (Weißbrot)

Der folgende Abschnitt der Untersuchungen von Inulinzusätzen in Backwaren beschreibt den Nachweis und Stabilität von Inulin in Weizenbroten (Weißbrot). Als Standardbrot gilt ein Weizenbrot, bei dem 6 Teile Weizenmehl durch Weizenstärke substituiert werden. Es wird als „Null-Wert“ betrachtet. Nachfolgend werden Weißbrote hergestellt, die jeweils 3 Teile bzw. 6 Teile Raftiline® GR oder HP enthalten.

Der vollständige Versuchsplan ist in Kap 3.4.1 Tab. 3.4.1 aufgeführt.

Die einzelnen Peakflächen und Prozentangaben der Peakflächenverteilung sind im **Anhang Kap. 9.4.1** aufgeführt. Daneben werden einige Chromatogramme exemplarisch dargestellt.

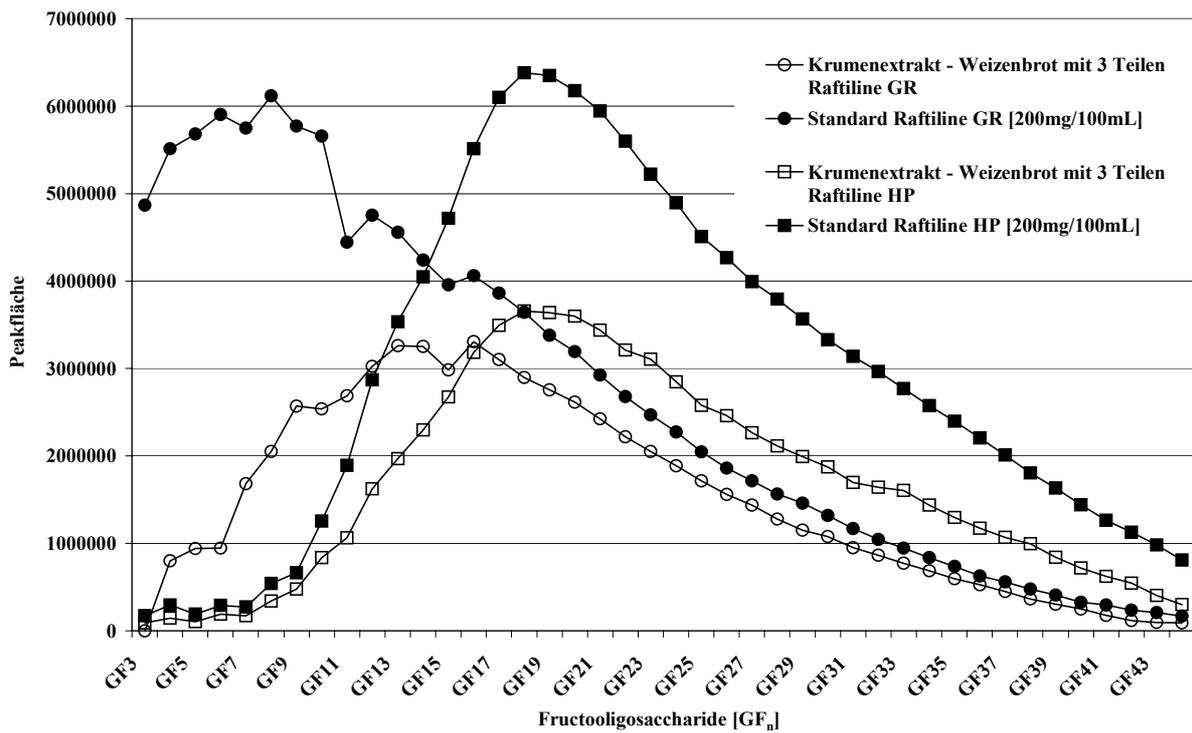


Abb. 3.4.2.a Darstellung der einzelnen Peakflächen der Fructooligosaccharide aus den Standardinulintypen Raftiline® GR und HP sowie aus zwei Weizenbrotkrumenextrakten, denen je 3 Teile Inulin GR bzw. Inulin HP zugesetzt sind.

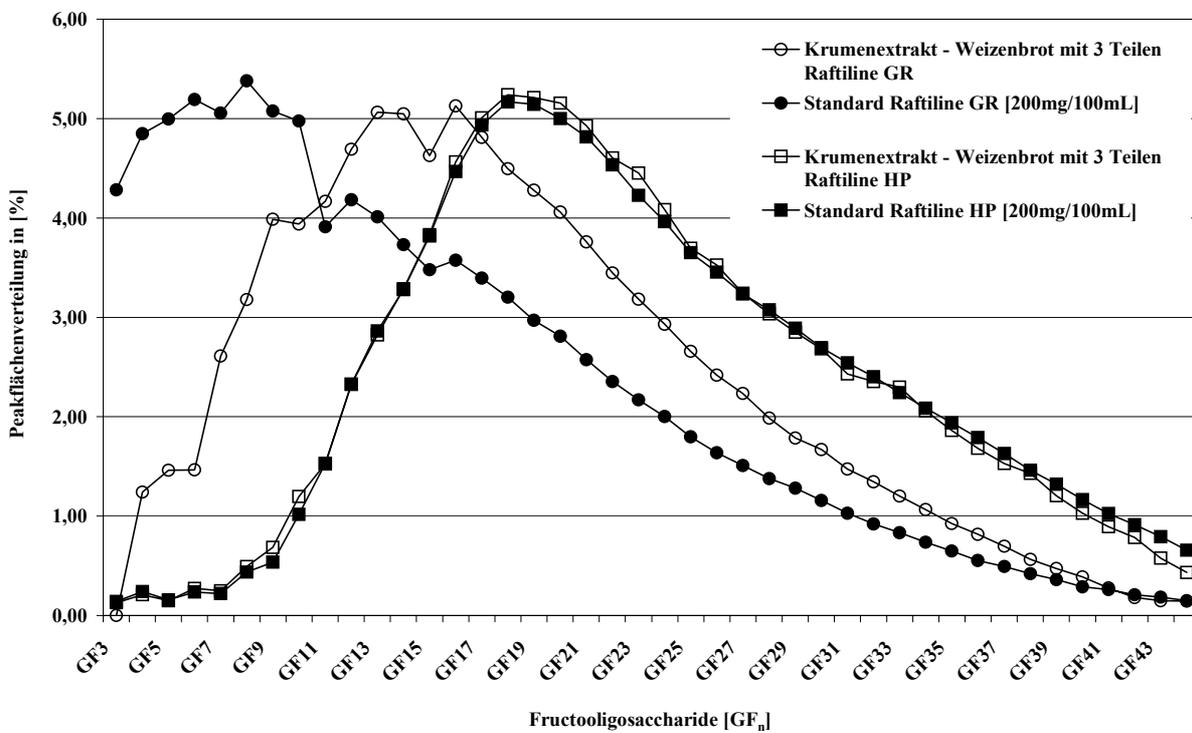


Abb. 3.4.2.b %-Verteilung der einzelnen Peakflächen der Fructooligosaccharide aus den Standardinulintypen Raftiline® GR und HP sowie aus zwei Weizenbrotkrumenextrakten, denen je 3 Teile Inulin GR bzw. Inulin HP zugesetzt sind.

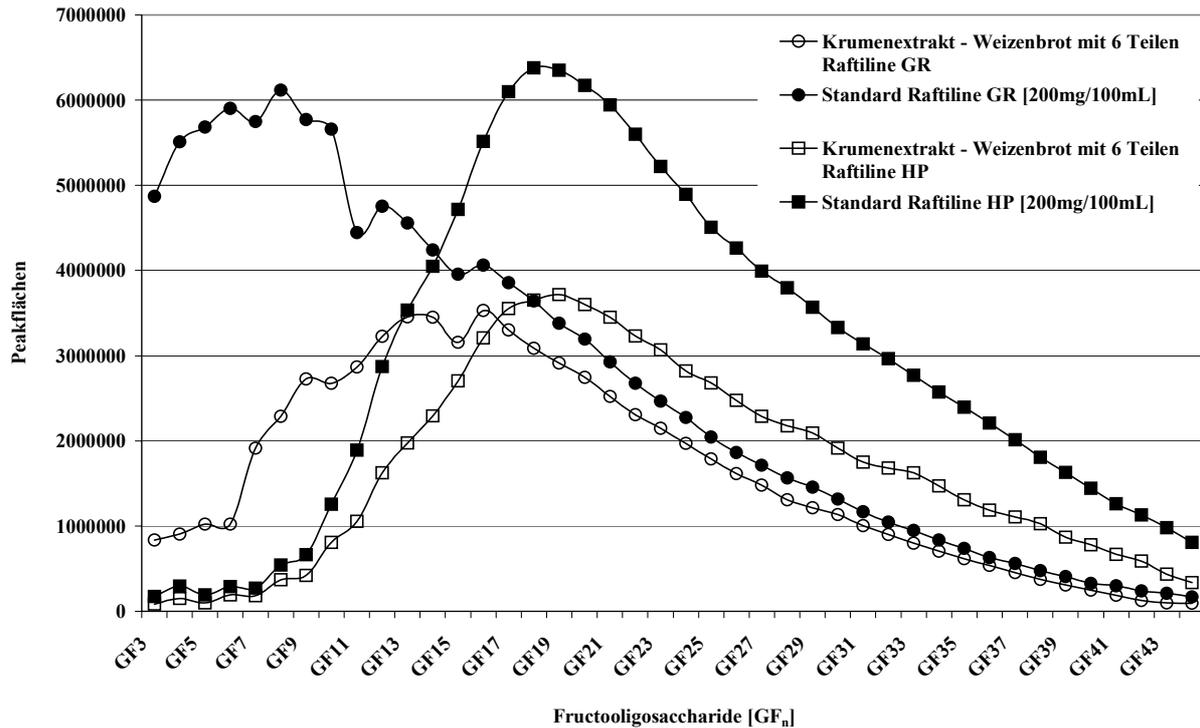


Abb. 3.4.2.c Darstellung der einzelnen Peakflächen der Fructooligosaccharide aus den Standardinulintypen Raftiline[®] GR und HP sowie aus zwei Weizenbrotkrumenextrakten, denen je 6 Teile Inulin GR bzw. Inulin HP zugesetzt sind

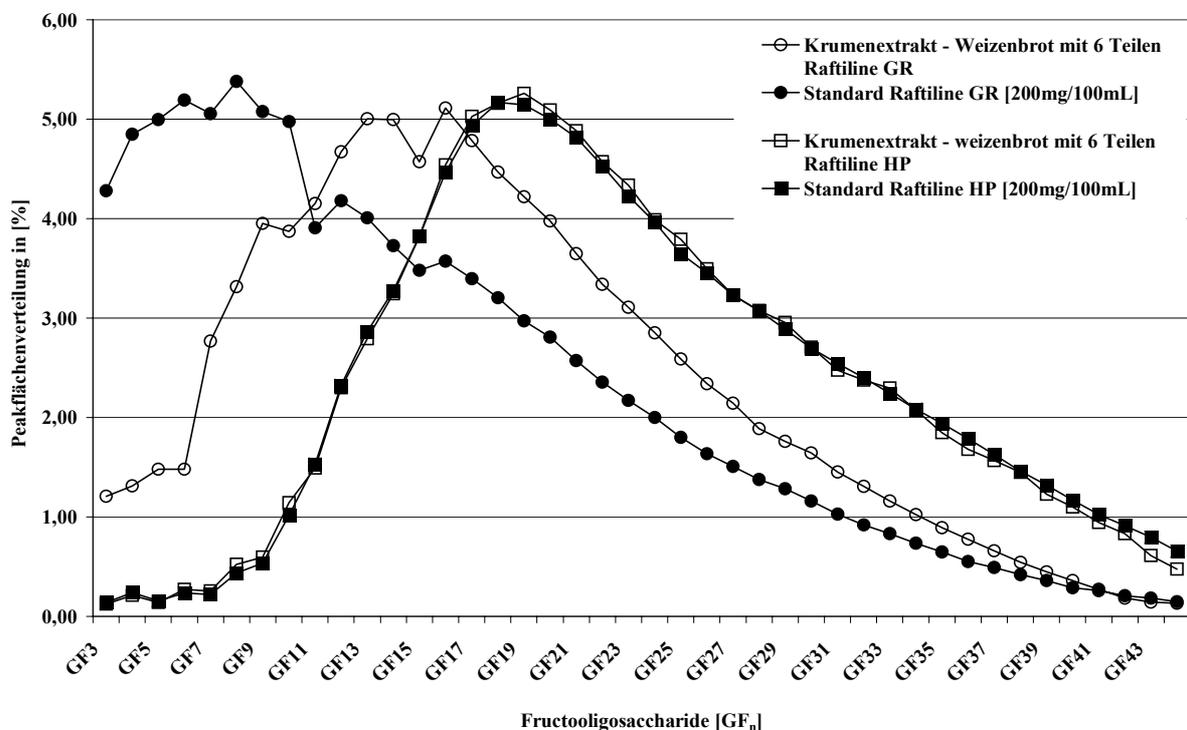


Abb. 3.4.2.d %-Verteilung der einzelnen Peakflächen der Fructooligosaccharide aus den Standardinulintypen Raftiline[®] GR und HP sowie aus zwei Weizenbrotkrumenextrakten, denen je 6 Teile Inulin GR bzw. Inulin HP zugesetzt sind.

Die Chromatogramme (**Anhang Kap. 9.4.1.4**) der Krumenextrakte von Weizenbrotten ohne Inulinzusatz lassen eine Zuordnung charakteristischer Fructooligosaccharidpeaks nicht zu. Ein Eintrag von weizeneigenen Fructooligosacchariden durch das verwendete Weizenmehl sowie durch die Weizenstärke ist somit auszuschließen.

Die Krumenextrakte der Weizenbrote mit 3 und 6 Teilen Raftiline® GR zeigen im Abbauverhalten der einzelnen Fructooligosaccharide keine Unterschiede (**Abb. 3.4.2.a und c**). Die eingesetzte Konzentration an Inulin GR ist somit für den Abbau durch Backhefe unerheblich, da die niedermolekularen Fructane bei beiden Konzentrationen im hohen Maße abgebaut werden. Gerade die Fructane GF₃ bis GF₇ erfahren einen Abbau von bis zu 80% durch die Hefen. Die Fructane von GF₈ bis GF₁₀ werden nur noch zu einem geringeren Maße durch Backhefe verstoffwechselt, wogegen die höhermolekularen Fructooligosaccharide (GF₁₁-GF_{11+n}) keinen Abbau durch *S. cerevisiae* erfahren. Die prozentuale Verteilung der einzelnen Peakflächen bei Krumenextrakten mit einem Zusatz an Inulin GR zeigt deutliche Abweichungen gegenüber der Verteilung bei der Standardlösung Inulin GR. Der prozentuale Anteil der Fructooligosaccharide GF₃ bis GF₁₀ liegt deutlich unter dem in der Standardlösung. Hingegen liegen die Anteile der Fructane GF₁₁ bis GF₄₄ über denen in der Standardlösung. Die Änderung der prozentualen Verteilung der einzelnen Fructooligosaccharide aus den Krumenextrakten mit Zusatz an Inulin GR gegenüber der Standardlösung lässt erkennen, dass die niedermolekularen Fructane bei der Herstellung, vorzugsweise während der Gärphase, durch die Backhefe fermentiert werden.

Anders verhält es sich jedoch bei dem Einsatz von Raftiline® HP in Weizenbrotten. Die Chromatogramme sowie die entsprechende Auswertung der Peakflächen und die graphische Darstellung in den **Abb. 3.4.2.a und c** machen deutlich, dass höhermolekulare Fructooligosaccharide die Gärphase und den Herstellungsprozess unbeschadet überstehen. Die einzelnen Fructooligosaccharide zeigen in ihrer Peakflächenverteilung, als auch in ihrem prozentualen Anteil keine Änderungen, die durch den Herstellungsprozess der Weißbrote bedingt sein können. Der Nachweis der Fructane aus Raftiline® HP in den Krumenextrakten ist in ihrer prozentualen Verteilung fast deckungsgleich mit der Standardlösung Inulin HP (**Abb. 3.4.2.b und d**). Die Unterschiede in den Anteilen der einzelnen Fructooligosacchariden im Vergleich der Krumenextrakte (HP) mit der Standardlösung Inulin HP sind so gering, dass nicht von einem Abbau durch Fermentation gesprochen werden kann. Die niedermolekularen Fructooligosaccharide in Inulin HP werden nicht weiter durch *S. cerevisiae* fermentiert, da ihre Konzentration so niedrig ist. Auch beim Einsatz von Raftiline® HP ist die einzusetzende Menge, 3 oder 6 Teile, unerheblich.

3.4.3 Nachweis und Stabilität von Inulinzusätzen in Kastenstuten (Hefefeingebäck)

Neben den Untersuchungen an Weißbrotten sollen die Nachweisbarkeit sowie Stabilität des Prebiotikums Inulin in Hefefeingebäcken, den Kastenstuten, geprüft werden. Der Kastenstuten, bei dem 6 Teile Weizenmehl durch Weizenstärke substituiert werden, gilt als „Null-Probe“ (Standardgebäck). Im Anschluss werden Krumen von Hefefeinteigen untersucht, denen jeweils 3 Teile bzw. 6 Teile Raftiline® GR oder HP zugesetzt sind.

Der vollständige Versuchsplan ist in **Kap. 3.4.1 Tab. 3.4.1** aufgeführt. Chromatogramme der nachfolgenden Untersuchungen sowie die ermittelten Peakflächen der einzelnen Fructooligosaccharide und ihr prozentualer Anteil sind im **Anhang Kap. 9.4.2** aufgeführt.

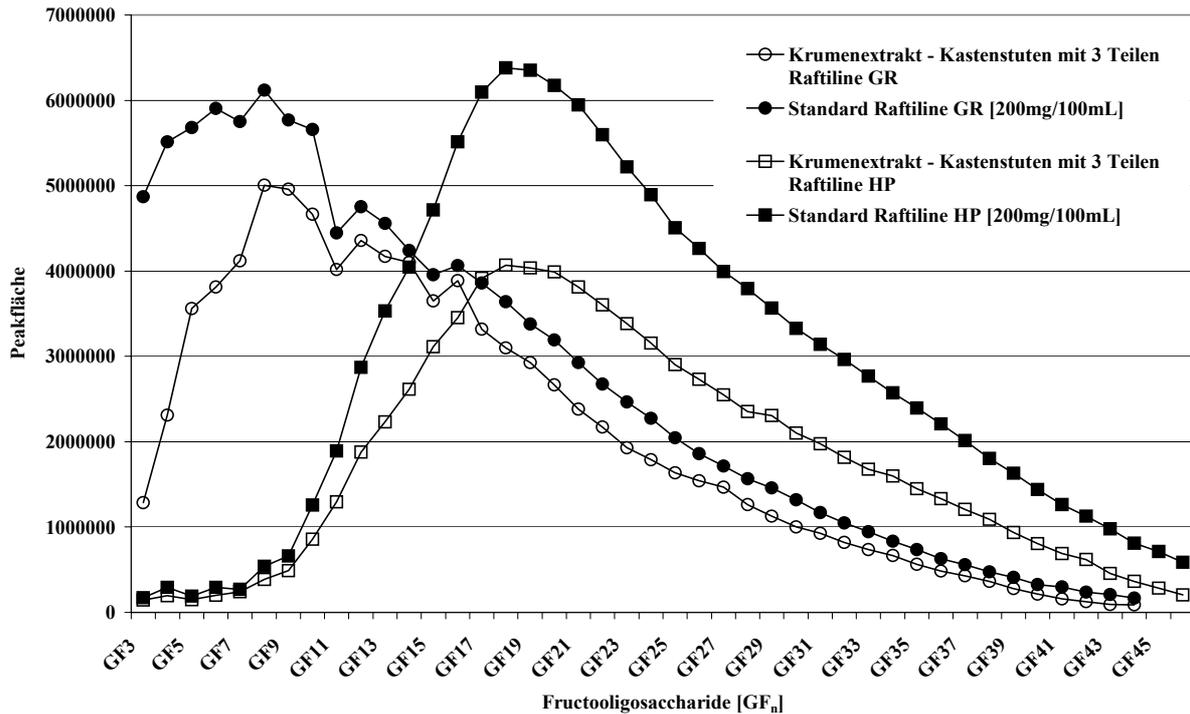


Abb. 3.4.3.a Darstellung der einzelnen Peakflächen der Fructooligosaccharide aus den Standardinulintypen Raftiline[®] GR und HP sowie aus zwei Kastenstutenkrumenextrakten, denen je 3 Teile Inulin GR bzw. Inulin HP zugesetzt sind.

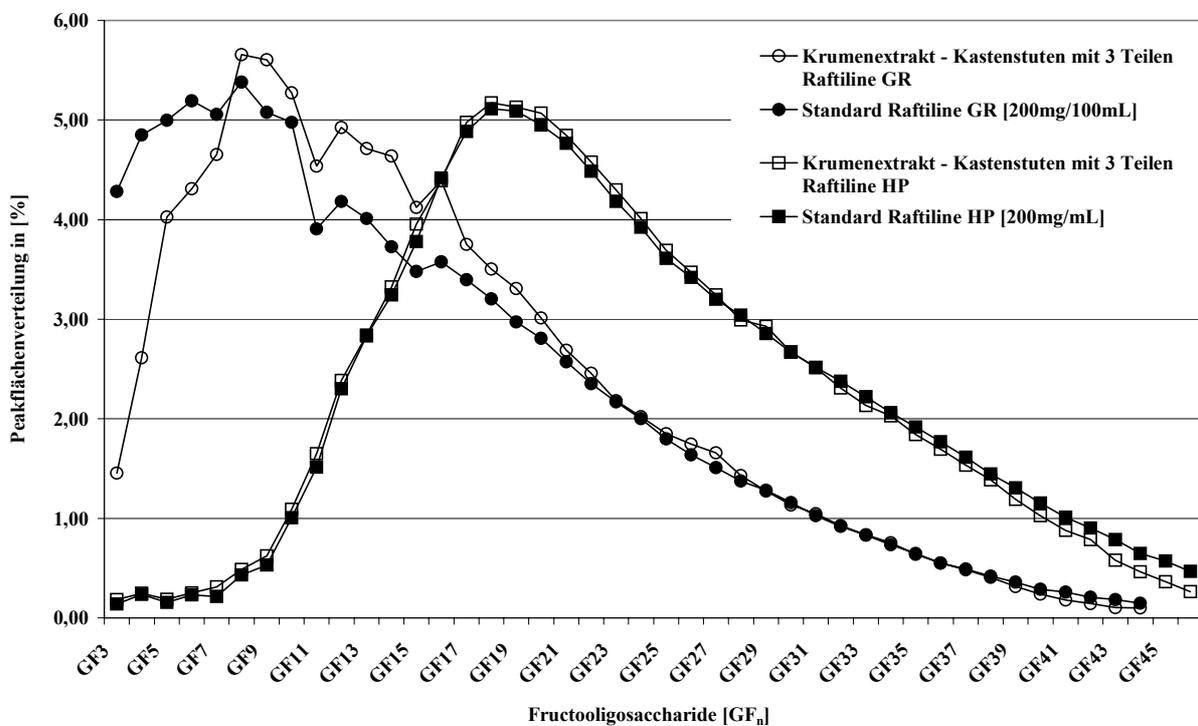


Abb. 3.4.3.b %-Verteilung der einzelnen Peakflächen der Fructooligosaccharide aus den Standardinulintypen Raftiline[®] GR und HP sowie aus zwei Kastenstutenkrumenextrakten, denen je 3 Teile Inulin GR bzw. Inulin HP zugesetzt sind.

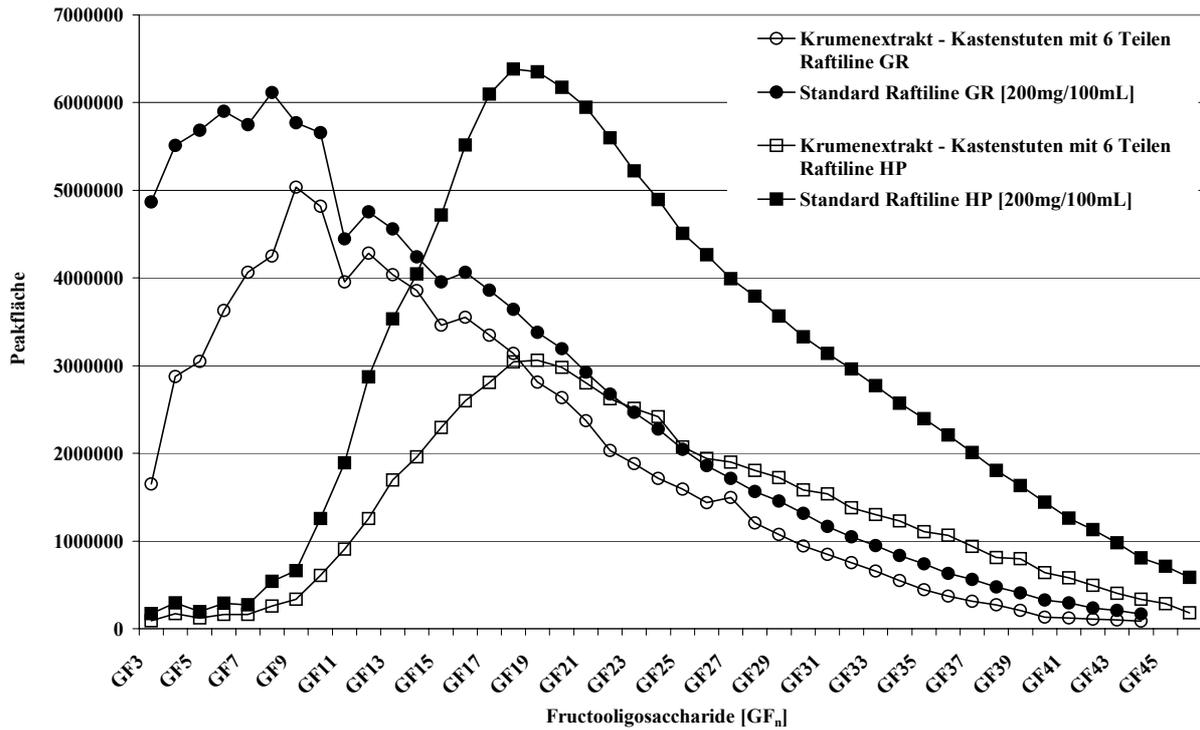


Abb. 3.4.3.c Darstellung der einzelnen Peakflächen der Fructooligosaccharide aus den Standardinulintypen Raftiline® GR und HP sowie aus zwei Kastenstutenkrumenextrakten, denen je 6 Teile Inulin GR bzw. Inulin HP zugesetzt sind.

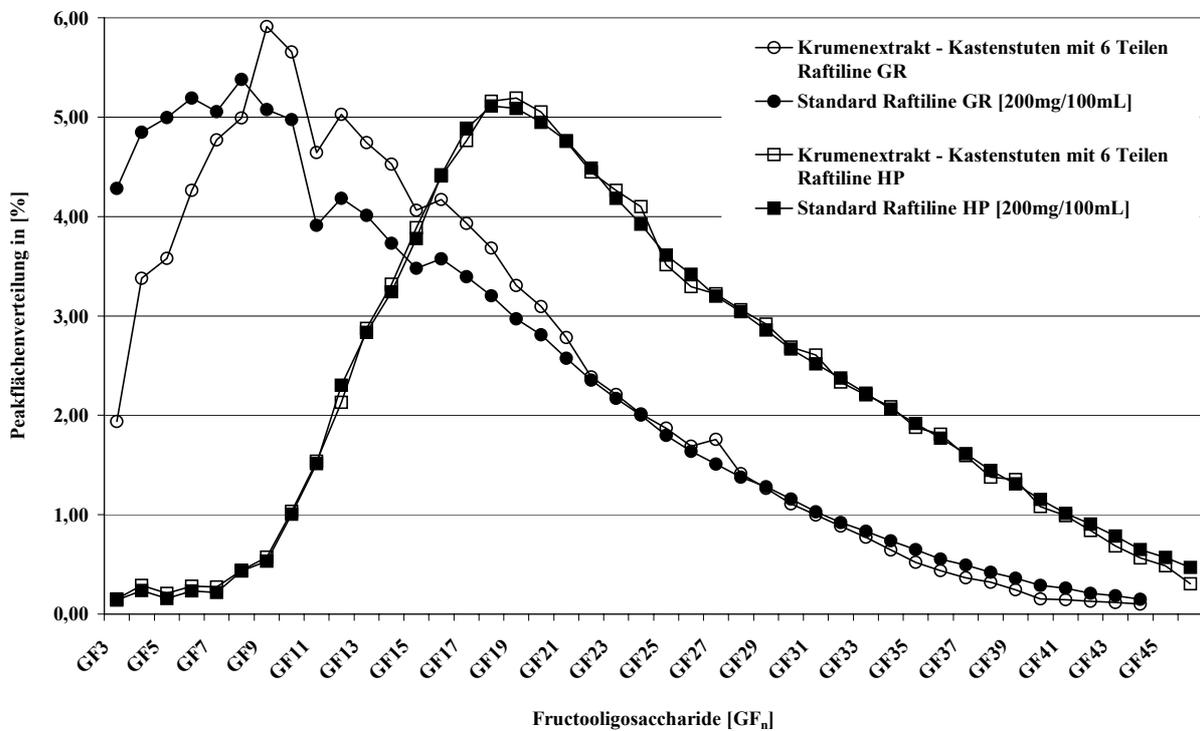


Abb. 3.4.3.d %-Verteilung der einzelnen Peakflächen der Fructooligosaccharide aus den Standardinulintypen Raftiline® GR und HP sowie aus zwei Kastenstutenkrumenextrakten, denen je 6 Teile Inulin GR bzw. Inulin HP zugesetzt sind.

Weizeneigene Fructooligosaccharide wurden nicht nachgewiesen (Chromatogramme **Anhang Kap. 9.4.1.4**).

Im Laufe des Herstellungsprozesses der Kastenstuten mit Raftiline[®] GR kommt es zu einer Konzentrationsabnahme der Fructane GF₃ bis GF₇ (**Abb. 3.4.3.a-d**).

Die Bestimmungen von Inulin HP in den Krumen der Kastenstuten mit 3 und 6 Teilen Zusatz sind in den **Abb. 3.4.3.a-d** gezeigt. Höhermolekulare Fructooligosaccharide überstehen den Herstellungsprozess und sind im verzehrfertigen Gebäck noch vollständig vorhanden. Wie auch bei den Untersuchungen der Krumenextrakte aus Weißbrot mit HP-Zusatz zeigen auch die Krumenextrakte der Kastenstuten mit HP-Zusatz im Vergleich mit der Standardlösung Inulin HP so geringe Differenzen in den Anteilen der einzelnen Fructooligosaccharide, dass kein Abbau der Inuline durch Fermentation vorliegt.

3.4.4 Nachweis und Stabilität von Inulinzusätzen in Formwaffeln und Mürbekekse

Die in **Kap. 3.4.3** beschriebenen Ergebnisse zeigen, dass kurzkettige Fructooligosaccharide durch Backhefe enzymatisch abgebaut werden. Die folgenden Untersuchungen beschreiben, inwieweit Inulinzusätze im Herstellungsprozess von nicht-hefegelockerten Feinen Backwaren beständig sind und noch im verzehrfertigen Gebäck erhalten bleiben. Für die Untersuchungen werden exemplarisch zwei Gebäcke ausgesucht, die die Stabilität des Prebiotikums Inulin im nicht-hefegelockerten Gebäck wiedergeben. Die Rezeptur, Herstellungsbedingungen, Gebäckdaten und die sensorische Auswertung dazu sind im **Anhang Kap. 9.4.3** aufgeführt. Es handelt sich zum einen um eine Formwaffel, bei der 5 Teile Weizenmehl durch Weizenstärke bzw. Inulin ausgetauscht werden und zum anderen um einen Mürbekeks, bei dem 10 Teile Weizenmehl durch Weizenstärke oder Inulin ausgetauscht werden. Die Gebäcke mit dem Zusatz an Weizenstärke gelten auch bei diesen Untersuchungen als „Null-Proben“.

Der vollständige Versuchsplan ist in **Kap. 3.4.1 Tab. 3.4.1** aufgeführt.

Im **Anhang Kap. 9.4.3.4** sind beispielhaft einige Chromatogramme der Untersuchungen sowie die ermittelten Peakflächen der einzelnen Fructooligosaccharide und ihr prozentualer Anteil aufgeführt.

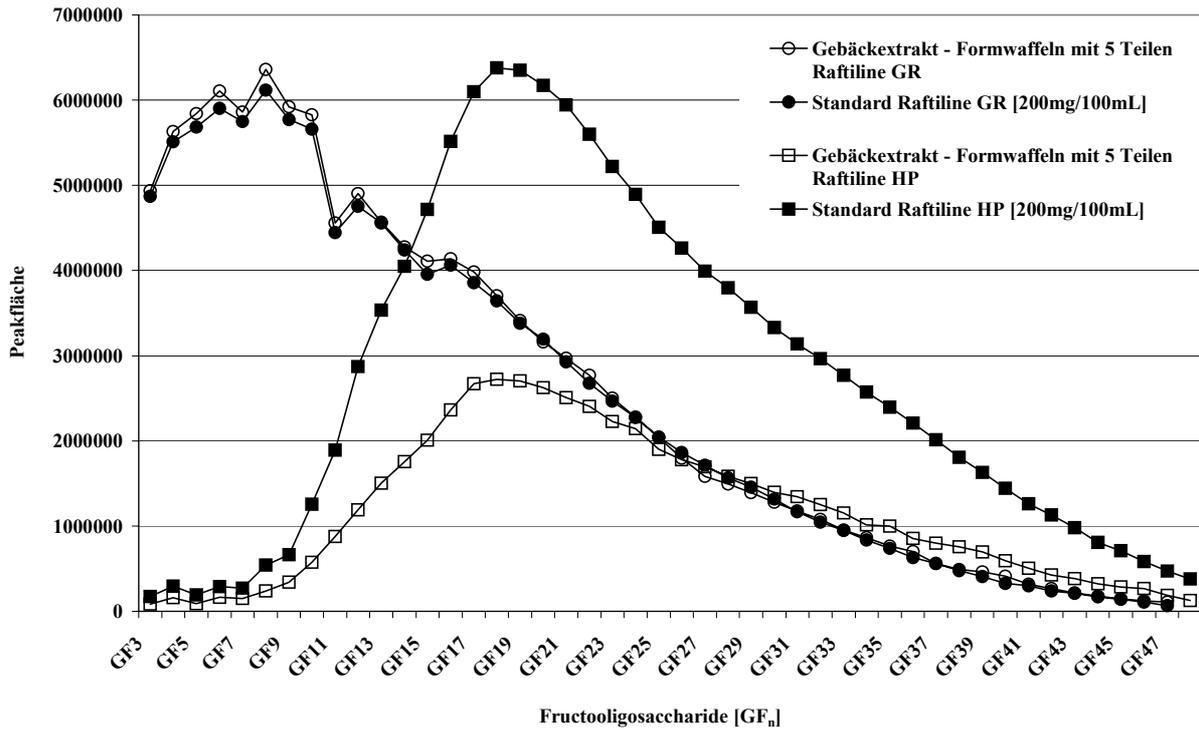


Abb. 3.4.4.a Darstellung der einzelnen Peakflächen der Fructooligosaccharide aus den Standardinulintypen Raftiline[®] GR und HP sowie aus den Formwaffeln, denen jeweils 5 Teile zugesetzt sind.

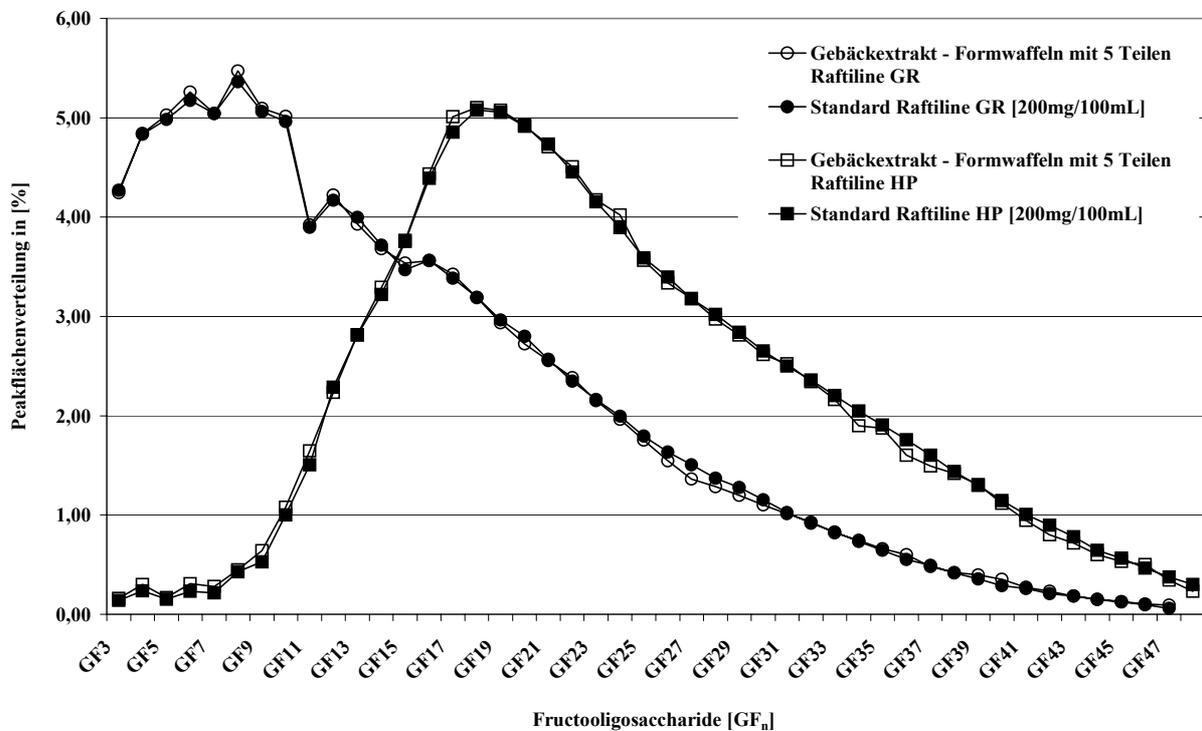


Abb. 3.4.4.b %-Verteilung der einzelnen Peakflächen der Fructooligosaccharide aus den Standardinulintypen Raftiline[®] GR und HP sowie aus den Formwaffeln, denen jeweils 5 Teile zugesetzt sind.

Die **Abb. 3.4.4.a und b** geben die Ergebnisse der Inulinbestimmung aus den Formwaffelprouben wieder. Die Darstellung der einzelnen Peakflächen der aus den Standardlösungen Inulin GR und Inulin HP sowie aus den Gebäckextrakten mit Inulinzusatz stammenden Fructooligosacchariden zeigt keine Veränderungen. Die **Abb. 3.4.4.a** macht deutlich, dass die eingesetzten Fructane auch im verzehrfertigen Gebäck wiederzufinden sind. Beim Vergleich der Gebäckextrakte (GR/HP) mit den Standardlösungen sind keine Unterschiede in den prozentualen Anteilen einzelner Fructooligosaccharide zu erkennen (**Abb. 3.4.4.b**). Die in der Herstellung von Formwaffeln eingesetzten Inulintypen Raftiline[®] GR und HP sind vollständig im verzehrfertigen Gebäck wiederzufinden. Auch die niedermolekularen Fructane sind im Gegensatz zu Hefegebäcken in Formwaffeln vollständig in ihrer prozentualen Verteilung wiederzufinden.

Zur Bestätigung der oben beschriebenen Ergebnisse werden die zwei unterschiedlichen Inulintypen Raftiline[®] GR und HP im Mürbekeks eingesetzt. Nachfolgend sind die aus den Untersuchungen an prebiotischen Mürbekeksen erhaltenen Ergebnisse graphisch dargestellt.

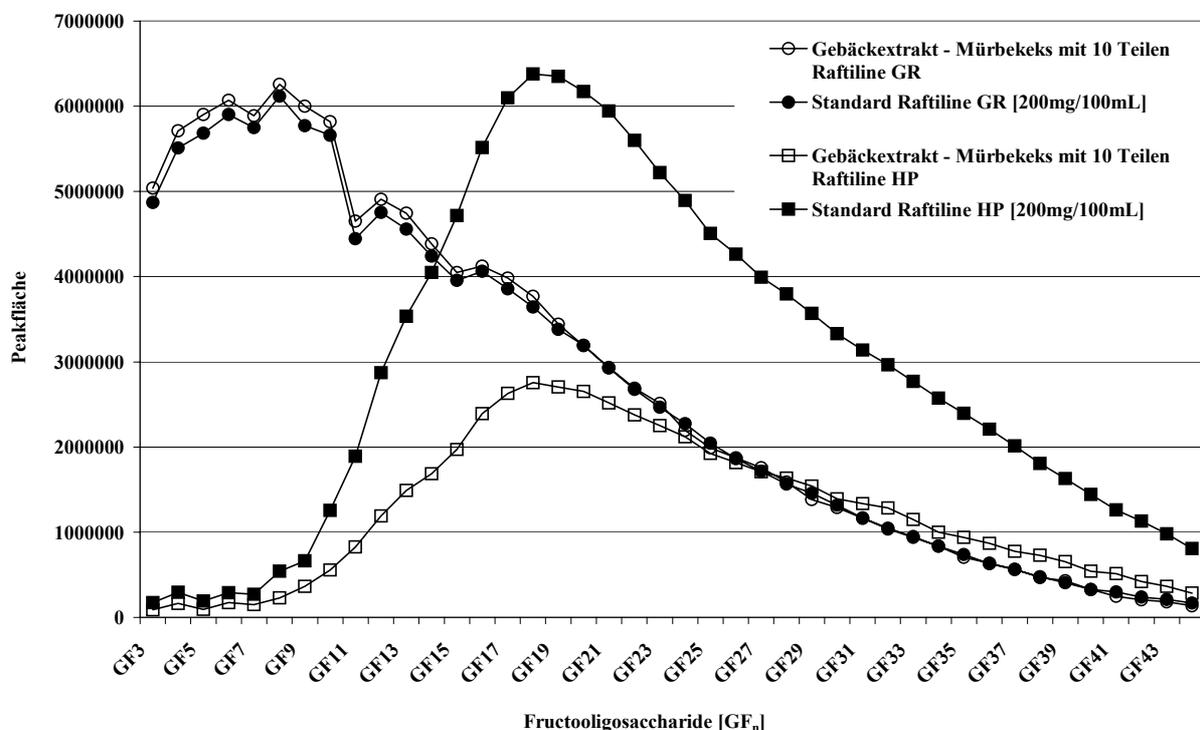


Abb. 3.4.4.c Darstellung der einzelnen Peakflächen der Fructooligosaccharide aus den Standardinulintypen Raftiline[®] GR und HP sowie aus den Mürbekeksen, denen jeweils 10 Teile zugesetzt sind.

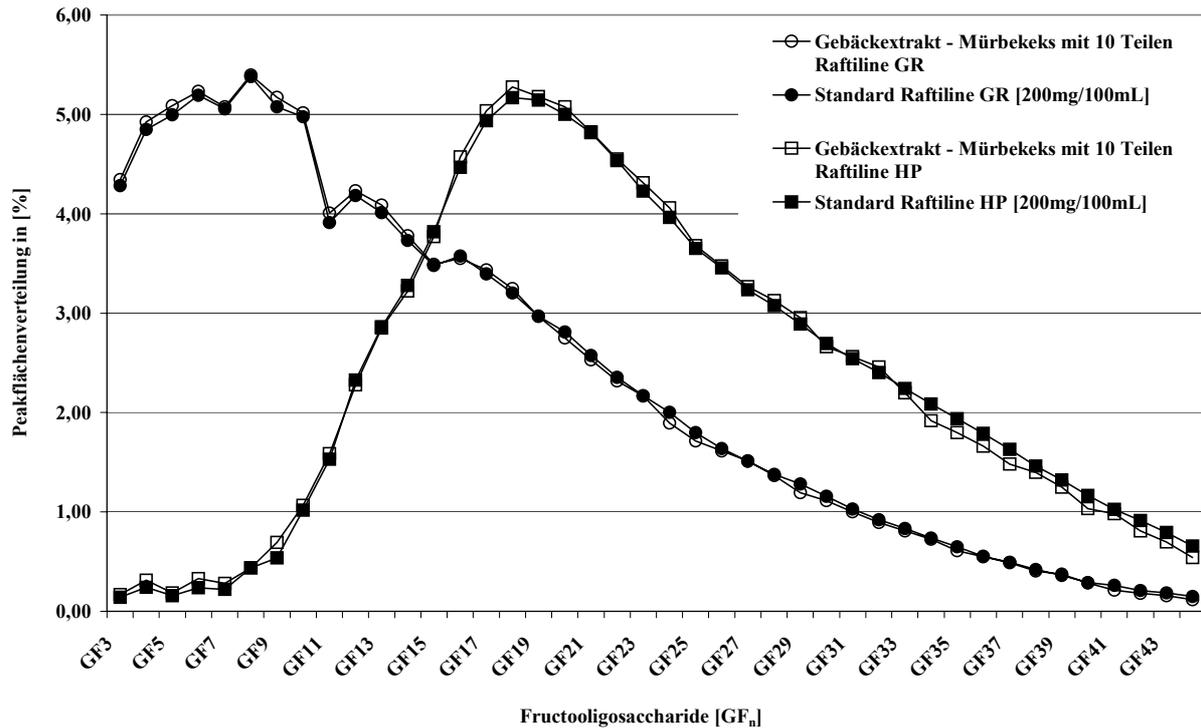


Abb. 3.4.4.d %-Verteilung der einzelnen Peakflächen der Fructooligosaccharide aus den Standardinulintypen Raftiline® GR und HP sowie aus den Mürbekeksen, denen jeweils 10 Teile zugesetzt sind.

Die **Abb. 3.4.4. c und d** stellen die Ergebnisse der Bestimmungen graphisch da. Die Untersuchungen der Mürbekekse mit prebiotischem Zusatz zeigen übereinstimmend mit den Ergebnissen der Inulinbestimmung in Formwaffeln (**Abb. 3.4.4.a-b**) keinen Abbau der Fructooligosaccharide.

3.4.5 Diskussion - Nachweisbarkeit von Inulinzusätzen in Backwaren

Die Nachweisbarkeit der Inulinzusätze in verzehrsfertigen Backwaren unterschiedlicher Herstellungsweise schließen die Untersuchungen zum Abbauverhalten von Inulin im Verlauf des Herstellungsprozesses von Hefe(fein)gebäcken ab.

Der Nachweis, dass das eingearbeitete Inulin den Herstellungsprozess von Backwaren weitestgehend unbeschadet übersteht, ist unabdingbar, da es besonders wegen seiner prebiotischen Eigenschaften seinen Einsatz in einer ganzen Reihe von Backwaren findet. Eine Gewährleistung, dass das Inulin auch noch im verzehrsfertigen Endprodukt in ausreichender Menge enthalten ist, ist für eine Auslobung der prebiotischen Eigenschaften notwendig.

Für die analytischen Bestimmungen von Inulin in Lebensmitteln weist die Literatur eine Reihe von Methoden auf (*Simonovska 2000, De Leenheer & Hoebregs 1994, Joye & Hoebregs 2000, Hoebregs 1997, Quemener et al. 1994, Quemener et al. 1997, Dyssele et al. 1995, Dyssele et al. 1999, Praznik et al. 2002, Teeuwen 1996*). Die Arbeiten von *De Leenheer & Hoebregs (1994)* und *Hoebregs (1997)* als auch *Praznik et al. (2002)* beschäftigen sich mit dem Nachweis von Fructanen in Lebensmitteln. So hat sich insbesondere *Praznik* mit der Verwendung und dem Nachweis von Fructanen, unterschiedlicher Herkunft, in Backwaren beschäftigt. *Praznik et al. (2002)* haben für diese Untersuchungen neben Jerusalem-Artichoken-Pulver auch Oligofruktose als auch höher-

molekulare Fructooligosaccharide eingearbeitet und Verluste bestimmt. Zur Charakterisierung der Abbaubarkeit von Inulin erfolgten die analytischen Nachweise in den Arbeiten von Praznik *et al.* (2002) und weiteren Arbeitsgruppen (Simonovska 2000, De Leenheer & Hoebregs 1994, Joye & Hoebregs 2000, Hoebregs 1997, Quemener *et al.* 1994, Quemener *et al.* 1997, Dysseler *et al.* 1995, Dysseler *et al.* 1999) jedoch durch GPC, enzymatische Methoden oder über die Differenzfructosebestimmung mittels HPLC.

Die während des Herstellungsprozesses entstehenden Verluste an Inulin werden in der vorliegenden Arbeit genauer betrachtet. So ist es möglich, mit der HPAEC-Methode jedes einzelne Fructooligosaccharid zu bestimmen und die Verluste auf bestimmte Fructooligosaccharide zu lokalisieren.

Ein Vergleich von Krumenextrakten aus Weizenbroten, denen Inulin GR zugesetzt war, zeigte einen deutlichen Verlust der kurzkettigen Fructooligosaccharide GF₃ - GF₁₀ (GF₃-GF₇ bis zu 80%, GF₈-GF₁₀ bis zu 30%).

Im Gegensatz dazu stehen die Ergebnisse aus den Extraktionen der Weizenbrotkrumen, denen Raftiline[®] HP zugesetzt wurde. Die langkettigen Fructooligosaccharide wurden dagegen nicht geschädigt. Im Vergleich der Extraktionsergebnisse mit der Standardlösung von Raftiline[®] HP sind in der prozentualen Verteilung der einzelnen Fructooligosaccharide keine Differenzen nachweisbar. So ist die prozentuale Verteilung der Krumenextrakte vor und nach dem Herstellungsprozess identisch.

Durch den Vergleich von Extrakten aus ungebackenen Weizenbrotteigen mit Extrakten aus Weizenbrotkrumen ist ersichtlich, dass der Backprozess zu keiner nachweisbaren Reduzierung der zugesetzten Inulingehalte führte.

Die Ergebnisse der Weizenkrumenextrakte bestätigten die zuvor gewonnenen Erkenntnisse aus den *in vitro* Fermentationen sowie aus den Teigfermentationen. Die zur Teig-/Gebäcklockerung eingesetzte Backhefe, *S. cerevisiae*, ist durch ihre Invertase in der Lage, kurzkettige Fructooligosaccharide als Substrate zu nutzen und sie in Glucose und Fructose zu spalten, die für die Aufrechterhaltung der Stoffwechselfunktionen nötig sind.

Zu ähnlichen Ergebnissen gelangt man bei den Extraktionen von Inulin aus Kastenstutenkrumen (Hefefeingebäcke). Auch hierbei hat sich gezeigt, dass eine höhere Saccharosekonzentration in dem Hefefeinteig nicht zu einem verstärkten Abbau des Inulins geführt hat. So sind die höhermolekularen Fructooligosaccharide des Raftiline[®] HP auch noch im verzehrfertigen Hefefeingebäck vollständig nachweisbar. Der Vergleich von Krumenextrakten aus Hefefeingebäcken mit Inulin HP-Zusatz und der Standardlösung von Raftiline[®] HP machen dies deutlich, da die prozentuale Verteilung identisch ist.

Im Gegensatz dazu weisen die Extrakte von Kastenstutenkrumen, denen Raftiline[®] GR zugesetzt wurde, Verluste im Bereich der niedermolekularen Fructooligosaccharide GF₃ - GF₈ auf. Die durch den enzymatischen Abbau bedingten Konzentrationsverluste an kurzkettigen Fructooligosacchariden sind jedoch deutlich geringer als die gefundenen Verluste bei Weizenbroten.

Eine Gegenüberstellung der beiden Extraktionsergebnisse zeigt, dass ein erhöhter Saccharosezusatz einem Abbau der kurzkettigen Fructooligosaccharide vorbeugt. So konnte schon anhand der Ergebnisse aus den Teigextraktionen die These aufgestellt werden, dass ein „Mehr“ an Saccharose den Abbau der niedermolekularen Fructooligosaccharide durch *S. cerevisiae* vermindert. Für die Invertase der Backhefe ist Saccharose zugänglicher als die Fructooligosaccharide und sie erfüllt daher in primärer Stellung ihre Aufgabe als Substrat der Invertase.

Ein Vergleich der Ergebnisse von Praznik *et al.* (2002) zeigt, dass sie in ihren Arbeiten Verluste an zugesetztem Inulin von etwa 40% in Backwaren nachweisen konnten. Die

Extraktion der zugefügten Inuline erfolgte bei *Praznik et al. (2002)* aus Mischbroten ohne weiteren Zusatz einer Kohlenhydratquelle. Die von ihnen gefundenen deutlich höheren Verluste können durch das Fehlen größerer Mengen leicht fermentierbarer Kohlenhydrate wie der Saccharose erklärt werden. So konnten in der vorliegenden Arbeit Abbauverlust von deutlich unter 40% an zugesetztem Inulin nachgewiesen werden.

Im Gegensatz dazu ist beim Einsatz von Inulin in nichthefegelockerten Backwaren kein Verlust einzelner Fructooligosaccharide nachweisbar. So zeigten die Untersuchungen an Extrakten aus Formwaffeln und Mürbekekse, denen 5 bzw. 10 Teile Raftiline[®] GR bzw. HP zugesetzt wurden, keine charakteristischen Veränderungen in der prozentualen Verteilung der einzelnen Fructooligosaccharide im Vergleich mit den Inulin-Standardlösungen. Der Herstellungsprozess für Formwaffeln und Mürbekekse nimmt somit keinen Einfluss auf die prozentuale Zusammensetzung des zugesetzten Inulins.

Durch die Gegenüberstellung der Ergebnisse aus den Extraktionsuntersuchungen von hefegelockerten und nichthefegelockerten Backwaren wird deutlich, dass die Backhefe, *S. cerevisiae*, den entscheidenden Einfluss auf die Veränderungen der prozentualen Zusammensetzung sowie die Endkonzentration von zugesetztem, niedermolekularem Inulin in Gebäcken ausübt. So konnten *Praznik et al. (2002)* mit ihren Arbeiten zeigen, dass Konzentrationsverluste bei hefegelockerten Backwaren von bis zu 47% an zugesetztem Inulin auftreten können. Diese sehr hohen Abnahmen der Inulingehalte können mit der vorliegenden Arbeit jedoch nicht bestätigt werden. Gezeigt werden kann aber, dass es durch das Teiglockerungsmittel *S. cerevisiae* zu einem enzymatischen Abbau der kurzkettigen Fructooligosaccharide kommt. So ist die Invertase der *S. cerevisiae* in der Lage, neben Saccharose auch niedermolekulare Fructooligosaccharide (<GF₁₄) als Substrat zu akzeptieren. Höhermolekulare Fructooligosaccharide (>GF₁₄) sind der Invertase jedoch nicht mehr als Substrat zugänglich. Demnach führt eine gesteigerte Saccharosezugabe, 5 Teile und 10 Teile, zu einer Verringerung der Abbauverluste an niedermolekularen Fructanen. Besonders bei dem Einsatz von Inulin in „Feinen Backwaren“ ist es durch die Erhöhung der Saccharosezugabe möglich, den enzymatischen Abbau der kurzkettigen Fructooligosaccharide zu vermindern.

3.5 Rheologische Untersuchungen an unterschiedlichen Teigsystemen unter Verwendung von verschiedenen Inulinen

Um den Einfluss und die Eigenschaften des Prebiotikums Inulin im Verlauf der Herstellung von Hefe(fein)gebäcken vollständig zu charakterisieren, ist es notwendig, auch die rheologisch/bäckereitechnologischen Veränderungen zu bestimmen. Nachfolgend sollen die Ergebnisse aus den unterschiedlichen rheologischen Untersuchungen diskutiert und der Einfluss des Inulins auf die Hefeteigerherstellung charakterisiert werden.

3.5.1 Glutenaggregations-Test unter Verwendung verschiedener Weizenmehlsorten

Der Glutenaggregations-Test (GAT) soll Aufschluss darüber geben, inwieweit es zu Änderungen bei Zusatz von Inulin in der Weizenkleberbildungszeit während der Kleberentwicklung kommt. Hierfür werden drei sortenreine Weizenmehle und ein Weizenmischmehl der Type 550 verwendet. Die Spezifikation der Mehle mit den einzelnen Analysedaten sind in **Kap. 6.3.1** und im **Anhang Kap. 9.8** beschrieben. Des Weiteren werden die beiden Inulintypen Raftiline® GR und HP eingesetzt sowie handelsübliche Weizenstärke. Die vom Standardversuch abweichenden Versuchsparameter sind ebenfalls in **Kap. 6.3.2.3** und im **Anhang Kap. 9.5.1** aufgeführt.

Geändert wird zum einen die einzusetzende Weizenmehlmenge sowie der Wasserzusatz, da die Mehlfeuchte nicht exakt 14% beträgt und somit vom Standardmehl abweicht. Des Weiteren werden 6 Teile Weizenmehl durch handelsübliche Weizenstärke substituiert. Diese Mischung gilt als Standardmischung. Die Menge an Weizenstärke wird dann im Laufe der einzelnen Versuchsreihen durch die Inulintypen Raftiline® GR und Raftiline® HP ersetzt.

Weizenstärke dient hier als Substituent, da sie keinen Einfluss auf die Weizenkleberentwicklung ausübt. Mit der Substitution durch Inulin können die Veränderungen während der Kleberentwicklung direkt auf den Einfluss des Inulinzusatzes bezogen werden. Eine Verdünnung des Weizenklebers wird somit vermieden und die Gesamtkonzentration in allen Versuchsreihen ändert sich nicht.

Der GAT beruht auf dem Aggregationsverhalten des Weizenklebers. Er beschreibt die Kleberbildung während eines intensiven mechanischen Rührens unter hoher mechanischer Energieeinleitung in eine Mehl-Wasser-Suspension. Weizenmehle, die eine kurze Glutenaggregationszeit und eine hohe Glutenaggregationsfläche aufweisen, zeichnen sich durch gute bis sehr gute Teigeigenschaften aus. Gute Teigeigenschaften sind z.B. eine hohe Wasseraufnahme, eine gute Teigstabilität, eine hohe Belastbarkeit und eine hohe Gärtoleranz. Sie sind besonders für Gebäcke geeignet, bei denen eine gute Kleberausbildung gewünscht ist (Hefe(fein)gebäcke). Dagegen führen Weizenmehle, die eine hohe Glutenaggregationszeit und eine geringe Glutenaggregationsfläche aufweisen, zu Teigen mit niedriger, eingeschränkter Teigqualität. Diese Weizenmehle werden vorzugsweise bei der Herstellung von Backwaren, bei denen eine Kleberbildung nicht gewünscht ist, eingesetzt (Mürbekekse, Waffeln, Dauerbackwaren).

Die gesamten Mittelwerte der Versuchsergebnisse und Auswertungen sind im **Anhang Kap. 9.5.1.1-4** aufgeführt. Die nachfolgenden Darstellungen (**Abb. 3.5.1.a-d**) zeigen die Einzelergebnisse in den Veränderungen der Glutenaggregationszeit bei verschiedenen Mehlsorten unter Zusatz von Inulin.

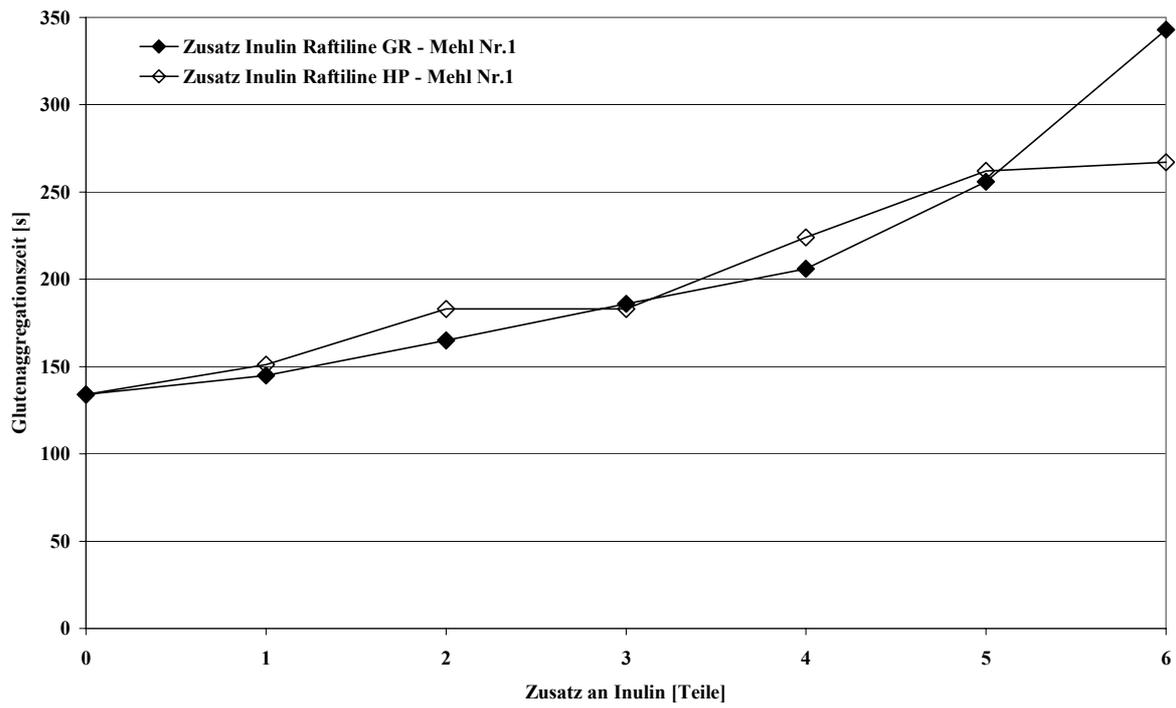


Abb. 3.5.1.a Änderung der Glutenaggregationszeit [s] bei Mehl Nr.1, unter Zusatz von Inulin

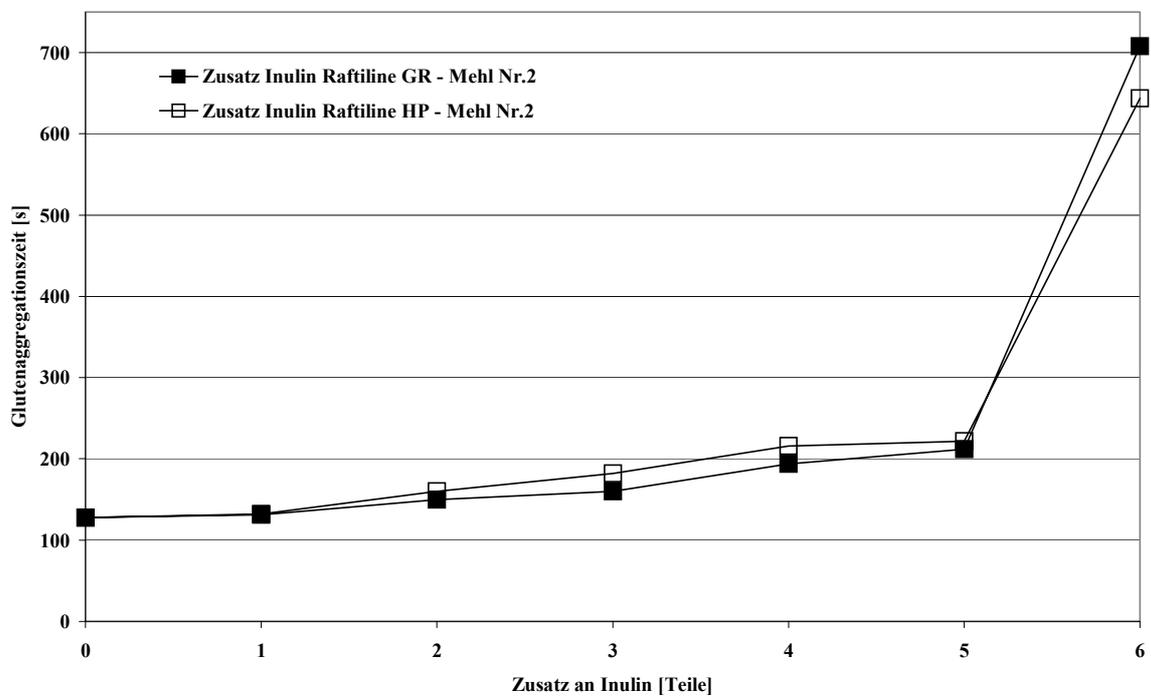


Abb. 3.5.1.b Änderung der Glutenaggregationszeit [s] bei Mehl Nr.2, unter Zusatz von Inulin

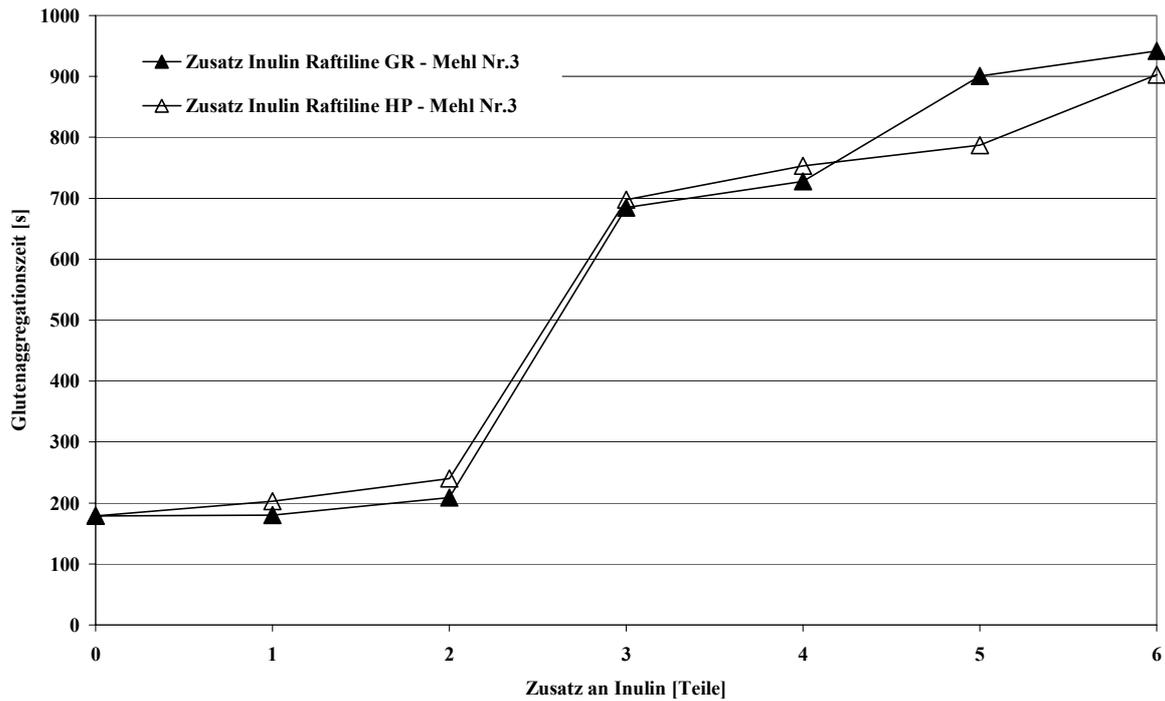


Abb. 3.5.1.c Änderung der Glutenaggregationszeit [s] bei Mehl Nr.3, unter Zusatz von Inulin

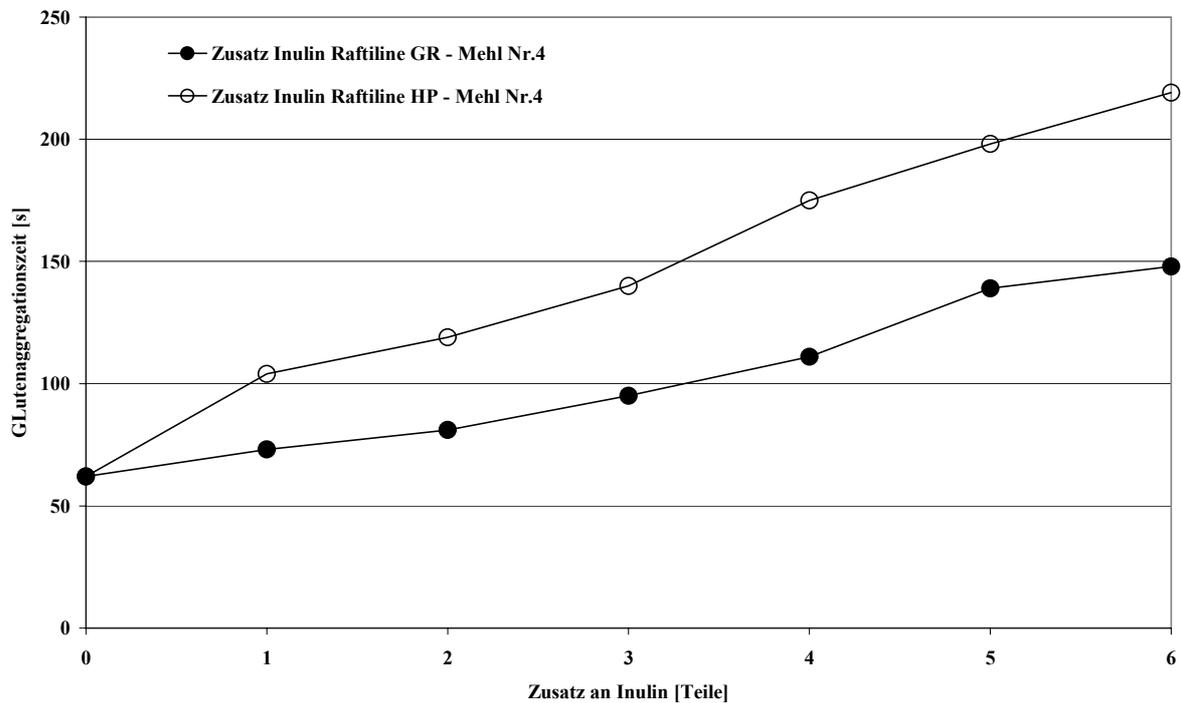


Abb. 3.5.1.d Änderung der Glutenaggregationszeit [s] bei Mehl Nr.4, unter Zusatz von Inulin

Die Darstellungen **Abb.3.5.1.e-f** zeigen den Einfluss von Inulin Raftiline[®] GR und Raftiline[®] HP auf die Kleberbildungszeit bei verschiedenen Weizenmehlsorten.

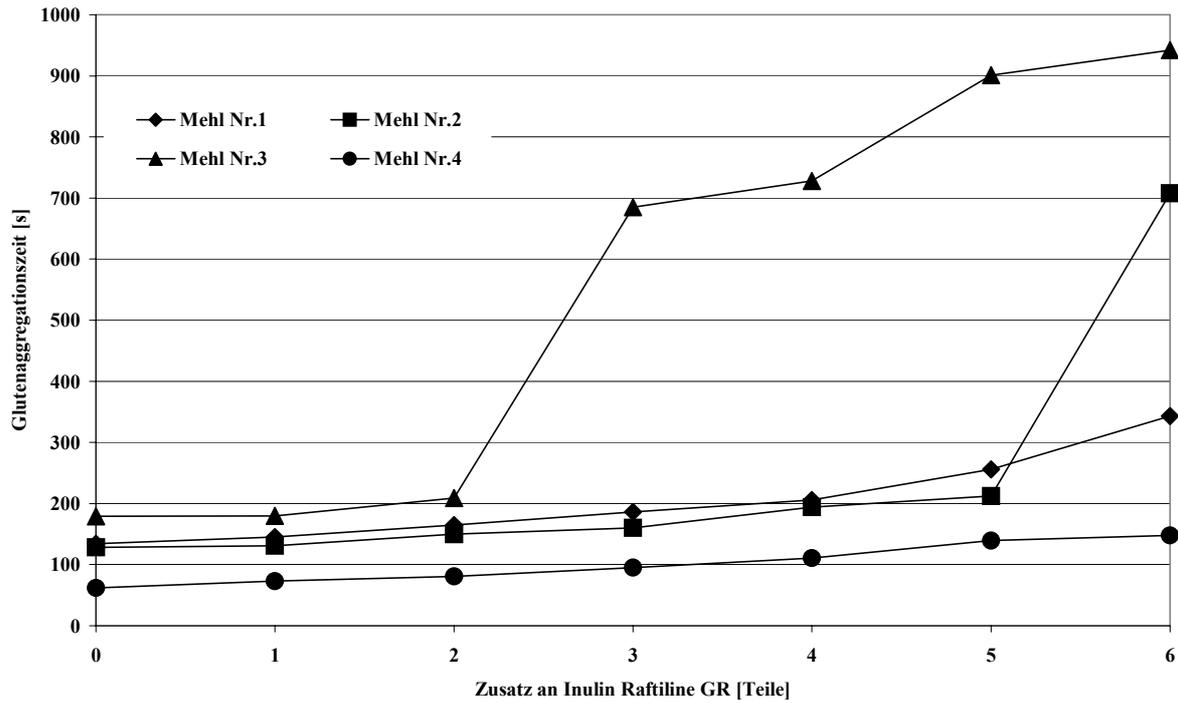


Abb. 3.5.1.e Einfluss unterschiedlicher Konzentrationen an Raftiline® GR auf die 4 verschiedenen Weizenmehlsorten.

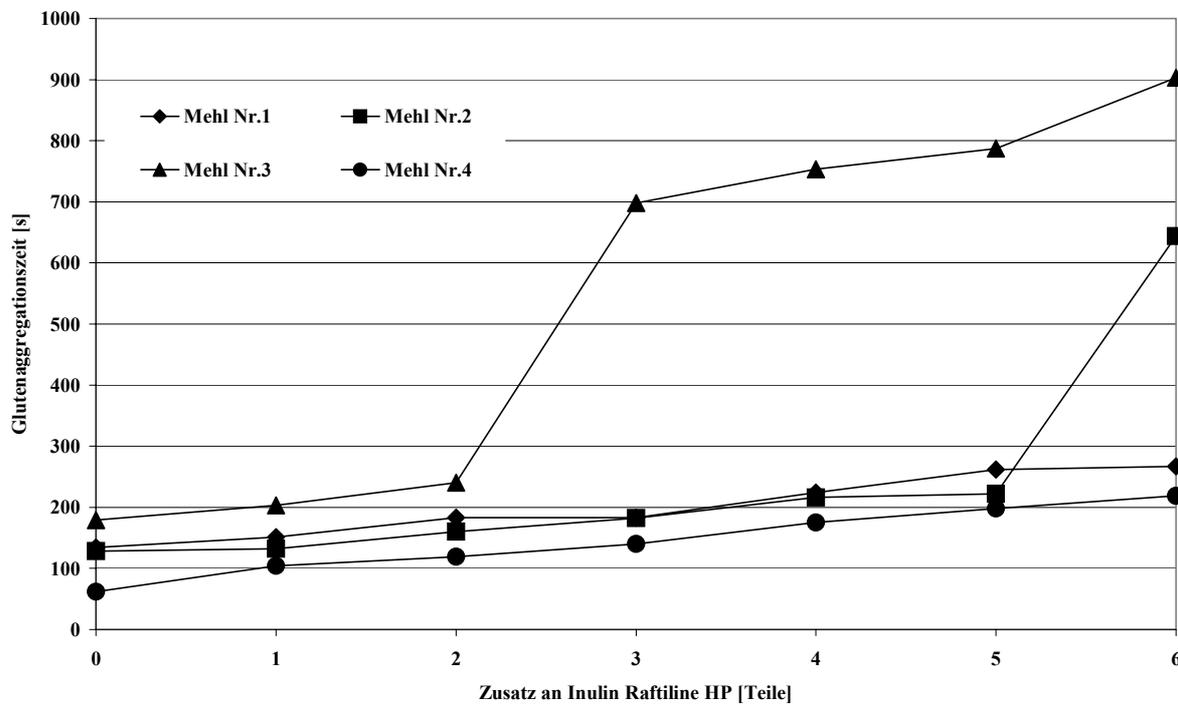


Abb. 3.5.1.f Einfluss unterschiedlicher Konzentrationen an Raftiline® HP auf die 4 verschiedenen Weizenmehlsorten.

Wie aus den Abbildungen zu erkennen ist, ändert sich die Kleberbildungszeit abhängig vom Inulingehalt. Es zeigt sich weiterhin, dass dieser Einfluss Weizensorten-abhängig ist und je nach Sorte sich die Glutenaggregationszeit individuell erhöht. Die Ergebnisse sind in **Abb. 3.5.1.g** zusammengefasst. Dabei wird der maximale Anstieg der Kleberbildungszeit bei maximaler Inulinzugabe (GR/HP) betrachtet und sowohl als zeitliche [s] als auch prozentuale Änderung [%] dargestellt.

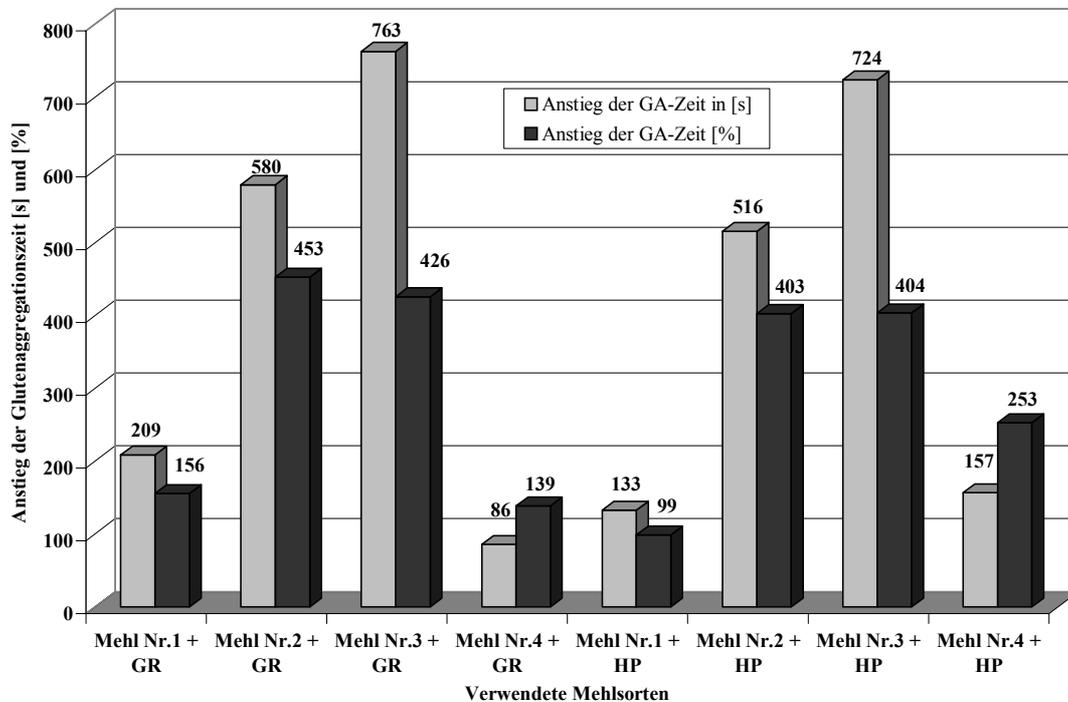


Abb. 3.5.1.g Anstieg der Glutenaggregationszeit bei maximaler Inulinzugabe (GR/HP) in zeitlicher [s] und prozentualer [%] Änderung.

Betrachtet man den Einfluss des Zusatzes von Raftiline® GR auf die Kleberbildungsdauer in **Abb. 3.5.1.e**, so wird deutlich, dass diese Veränderungen von der Weizensorte abhängig sind. So zeigen Mehl Nr.1 und Nr.4 einen linearen Anstieg der Glutenaggregationszeit mit Zunahme der zugesetzten Menge an Inulin GR. Die Kleberbildungsdauer verlängert sich bei einer Endzugabemenge von 6 Teilen Inulin GR bei Mehl Nr.1 um 209 s und somit 156% und bei Mehl Nr.4 um 86 s, was 139% entspricht (**Abb. 3.5.1.g**). Anders verhalten sich die Mehle Nr. 2 und Nr.3. Mit steigender Inulinzugabe wächst die Kleberbildungszeit stark an. So kommt es bei Mehl Nr.2 zu einer Abweichung vom linearen Verlauf der Glutenaggregationszeit bei einem Zusatz von 6 Teilen Raftiline® GR. Die Kleberbildungszeit wächst hier um 580 s, was einem Zuwachs von 453% entspricht (**Abb. 3.5.1.g**). Bei Mehl Nr.3 führt ein Austausch von 3 Teilen Weizenstärke durch Inulin GR schon zu einem deutlichen Anstieg der Glutenaggregationszeit und einer Abweichung vom linearen Verlauf. Bei 6 Teilen Zusatz an Inulin GR kommt es bei Mehl Nr.3 zu einem Anstieg der Glutenaggregationszeit von 763 s und somit um 426% (**Abb. 3.5.1.g**).

Der Einfluss des Zusatzes von Raftiline® HP auf die Glutenaggregationszeit wird in **Abb. 3.5.1.f** deutlich. So ist auch hierbei zu erkennen, dass die Veränderungen in der Kleberbildungszeit mit ansteigendem Zusatz an Inulin HP abhängig sind von der jeweils verwendeten Weizensorte. Die Mehle Nr.1 und Nr.4 zeigen bei Austausch von Weizenstärke durch Inulin HP einen linearen Anstieg der Glutenaggregationszeit. So verlängert sich die Kleberbildungsdauer bei einer Endzugabemenge von 6 Teilen Inulin HP bei Mehl Nr.1 um

133 s und somit um 99%, und bei Mehl Nr.4 um 157 s, was 253% entspricht (**Abb. 3.5.1.g**). Bei Mehl Nr.2 kommt es erst bei einem Zusatz von 6 Teilen Raftiline® HP zu einer Abweichung vom linearen Verlauf der Glutenaggregationszeit. Die Kleberbildungszeit wächst um 515 s, was einem Zuwachs von 403% entspricht (**Abb. 3.5.1.g**). Bei Mehl Nr.3 führt der Austausch von 3 Teilen Weizenstärke durch Inulin HP schon zu einem deutlichen Anstieg der Glutenaggregationszeit von fast 500 s. Bei einem Zusatz von 6 Teilen Inulin HP steigt die Kleberbildungszeit dann um 724 s und somit 404% an (**Abb. 3.5.1.g**)

Der Einfluss von Inulin auf die Kleberbildung und den Zeitraum der Kleberbildung macht sich auch bei der Ermittlung der Glutenaggregationsfläche [cm²] und der maximalen Stromaufnahme [A] bemerkbar. Die Veränderungen dieser beiden Messgrößen durch den ansteigenden Zusatz an Inulin ist jedoch nicht so deutlich wie der Anstieg der Kleberbildungszeit. In **Anhang Kap. 9.5.1.5** sind die ermittelten Veränderungen der Glutenaggregationsfläche und max. Stromaufnahme aufgeführt. Die **Abb. 3.5.1.h-i** geben den höchsten Verlust der Glutenaggregationsfläche in [cm²] und [%] und den höchsten Verlust der maximalen Stromaufnahme in [A] und [%] bei der Maximalmengenzugabe an Inulin (6 Teile) wieder.

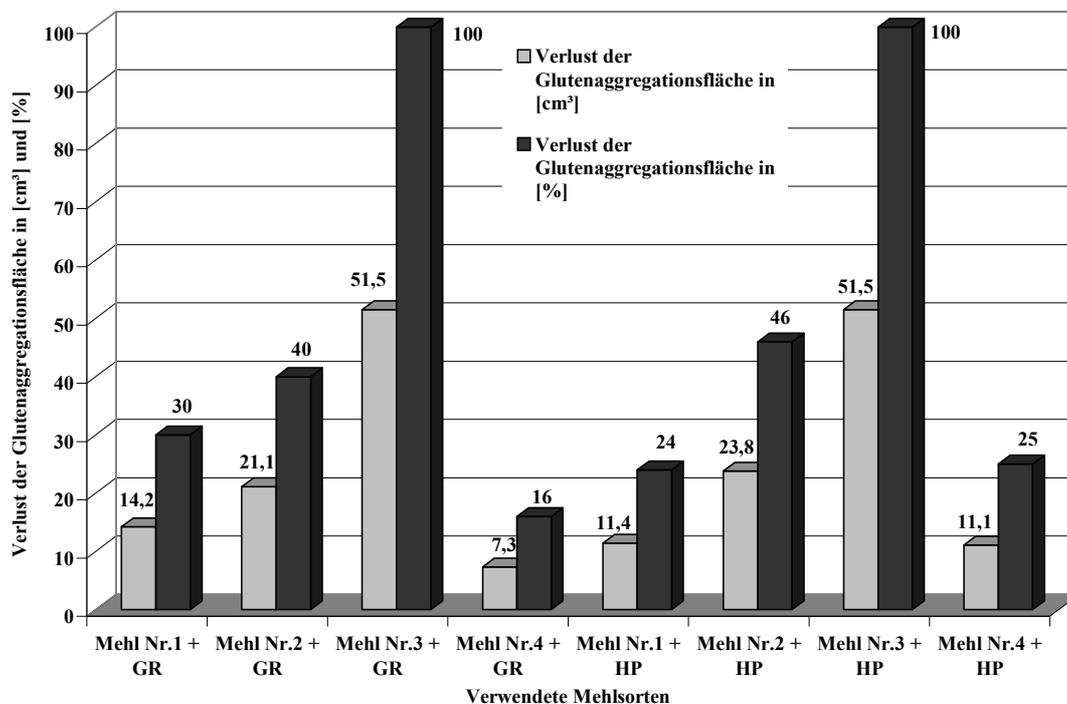


Abb. 3.5.1.h Verlust der Glutenaggregationsfläche bei maximaler Inulinzugabe (GR/HP) in [cm²] und prozentual [%] Änderung.

Die **Abb. 3.5.1.h** gibt den Verlust der Glutenaggregationsfläche in cm² und entsprechend in % bei einem maximalen Zusatz/Austausch von 6 Teilen Inulin GR/HP wieder. Deutlich wird auch hierbei, dass die gemessenen Veränderungen Weizensorten-abhängig sind. So zeigen die Mehle Nr.1 und Nr.4 nur einen geringen Verlust der Glutenaggregationsfläche. Bei Mehl Nr.4 kommt es lediglich zu einer Abnahme der Glutenaggregationsfläche von 16%, wobei Mehl Nr.1 schon einen Rückgang von 30% der Fläche bei maximaler Zugabe von 6 Teilen Raftiline® GR aufweist. Der Zusatz von 6 Teilen Raftiline® HP führt dazu, dass die Mehle Nr.1 34% und Nr.4 25% Verlust an Glutenaggregationsfläche aufweisen.

Bei Mehl Nr.2 ändert sich die Glutenaggregationsfläche bei einem maximalen Zusatz von 6 Teilen an Inulin deutlich. Es kommt beim Zusatz von 6 Teilen Raftiline® GR zu einem Verlust von 40% und bei einem Zusatz von 6 Teilen Raftiline® HP von 46%. Dagegen ist eine Messung der gebildeten Glutenaggregationsfläche bei Mehl Nr.3 mit Zusatz/Austausch von 6 Teilen Inulin GR bzw. HP nicht mehr möglich. Es kommt zu einem Verlust von 100%.

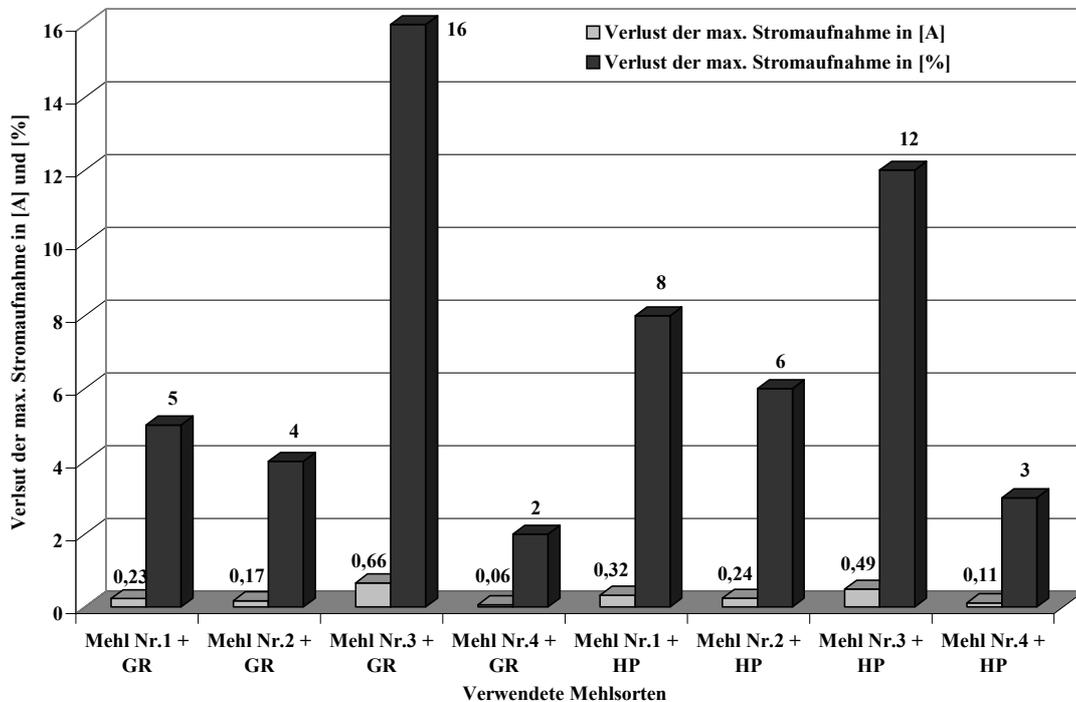


Abb. 3.5.1.i Verlust der maximalen Stromaufnahme bei maximaler Inulinzugabe (GR/HP) in [A] und prozentualer [%] Änderung.

Die in **Abb. 3.5.1.i** dargestellten absoluten Verluste in der maximalen Stromaufnahme [A] zeigen nur verhältnismäßig geringe Unterschiede zu den Anfangswerten. So kommt es bei Mehl Nr.1 zu Verlusten in der Stromaufnahme bei Zusatz von Raftiline® GR von 5% und bei Zusatz von Raftiline® HP von 8%. Für Mehl Nr.2 liegt der Verlust bei einem Zusatz von Inulin GR bei 4% und bei Zusatz von Inulin HP bei 6%. Mehl Nr.4 weist noch geringere Verluste auf. So kommt es bei Zusatz von Raftiline® GR lediglich zu einer Veränderung der Stromaufnahme um 2% und bei Zusatz von Raftiline® HP von 3%. Dagegen zeigt Mehl Nr.3 deutliche Änderungen in der Stromaufnahme. Bei einem Zusatz von 6 Teilen Inulin GR kommt es zu einem Verlust von 16% und bei Zusatz von Inulin HP zu einem Verlust von 12% der maximalen Stromaufnahme.

3.5.2 Teigbildungsverhalten unter Verwendung von Inulin im Farinographen

Für eine objektive Erfassung der Eigenschaften und des Verhaltens des Teiges während des Knetens werden in erster Linie registrierende Knetter und solche Geräte, die eine Zerreißprobe am Teig durchführen, eingesetzt.

Es entsteht ein Kraft-Zeit-Diagramm, das die Entwicklung und weitere Reaktionen eines Teiges als Funktion der Knetdauer bei einer konstanten Knetgeschwindigkeit widerspiegelt. Die Veränderungen der Teigviskosität (Konsistenz) werden in relativen Farinogramm-Einheiten über die Zeit ausgewiesen. Einer solchen Farinograph-Knetkurve, dem Farinogramm, sind die Merkmale Teigentwicklungszeit, Teigviskosität, Teigresistenz und Erweichungsgrad zu entnehmen. Eine weitere für die maschinelle Verarbeitung der Teige wichtige Aussage liegt in der Wasseraufnahmefähigkeit eines Mehles bzw. in der Wasseraufnahme. Darunter ist die Menge an Wasser zu verstehen, bei der der entwickelte Teig die Konsistenz von 500FE erreicht. Sie ist nicht immer identisch mit der in den fundamentalen Methoden ermittelten Viskosität. Sie wird dennoch oft als die optimale Teigausbeute angesehen und in der Produktion von verschiedenen Gebäcken und im Standard-Brötchenbackversuch Rapid-Mix-Test angestrebt. Die Aufnahme und Auswertung von Farinogrammen ist durch den *Standard ICC Nr. 115/1 (1992)* geregelt und wird in **Kap. 6.3.2.1** beschrieben.

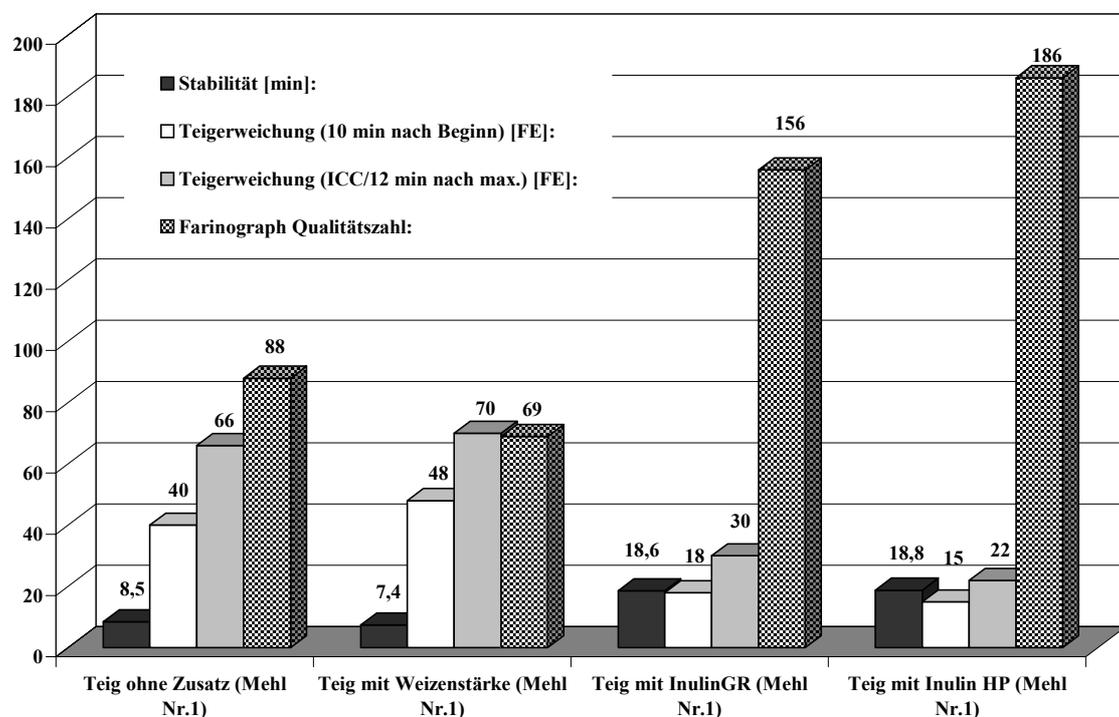


Abb. 3.5.2.a Darstellung der vier verschiedenen Teigmuster und der spezifischen Messwerte.

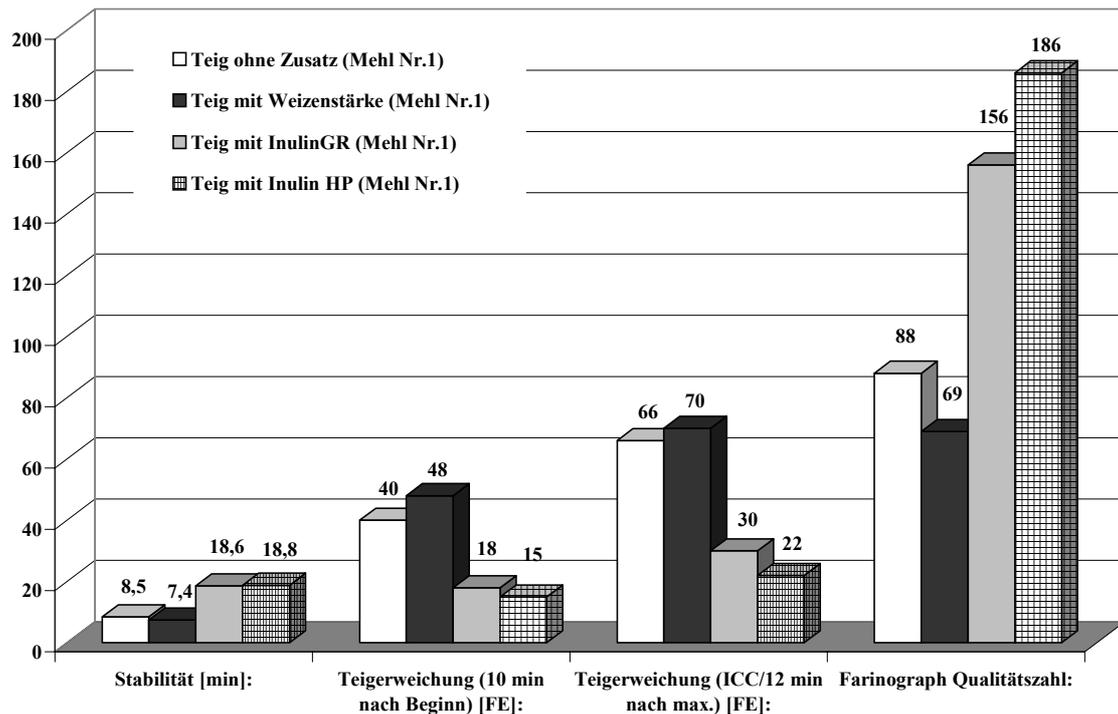


Abb. 3.5.2.b Vergleich der Teigstabilität, der Teigerweichung und der F-Qualitätszahl unter Verwendung der Mehlmuster mit unterschiedlicher Zusammensetzung.

Die in **Abb. 3.5.2.a-b** dargestellten Ergebnisse machen deutlich, dass bei einer verminderten Wasserzugabe, auf 500FE eingestellt, die Teige mit dem Zusatz von Raftiline® GR bzw. HP eine deutlich längere Stabilität im Knetter zeigen als die Teige ohne Zusatz bzw. mit Weizenstärke. Die Teige mit Inulinzusatz bringen dem registrierenden Knetter eine mehr als doppelt so lange Teigstabilität entgegen wie die „Standardteige“. Dieses geht auch aus den weiteren Messdaten hervor.

So kommt es beim Teig ohne Zusatz bzw. mit Weizenstärke zu einer Teigerweichung (10 min nach Beginn) von 40FE bzw. 48FE. Die Versuchsteige mit Inulin GR und Inulin HP weisen jedoch nach 10 min Knetdauer nur eine Teigerweichung von 18FE bzw. 15FE auf. Sie sind deutlich stabiler und belastbarer als die beiden Standard-Versuchsteige.

Auch die Auswertung der Teigerweichung gemäß ICC 115/1 nach 12 min Knetdauer nach Erreichen des Maximums bestätigt diese Ergebnisse noch. Die Versuchsteige mit Inulinzusatz lassen auch hierbei erkennen, dass sie belastbarer sind und der kontinuierlichen Knetung eine längere Stabilität entgegen bringen.

Die sehr hohen Qualitätszahlen der Teige mit Inulin GR und Inulin HP im Vergleich zu den Standardteigen runden das Gesamtbild der veränderten Teigeigenschaften ab.

Aus den Farinogramm-Ergebnissen wird jedoch auch offenkundig, dass die Teige mit prebiotischem Zusatz und einer verringerten Wasserzugabe zu festen Teigen und dem sogenannte „Nachsteifen“ neigen. Es ist wünschenswert Teige mit Inulinzusatz herzustellen, die nachsteifende Eigenschaften nicht mehr aufweisen und in ihrer Konsistenz dennoch verarbeitbar sind.

Die nachfolgenden Ergebnisse sollen helfen, erste Schritte einer optimierten Prozessführung darzustellen. Hierfür wird den Teigen mit Inulinzusatz dieselbe Wassermenge zugeführt, wie sie als optimal beim Standardteig mit Weizenstärkezusatz ermittelt wurde.

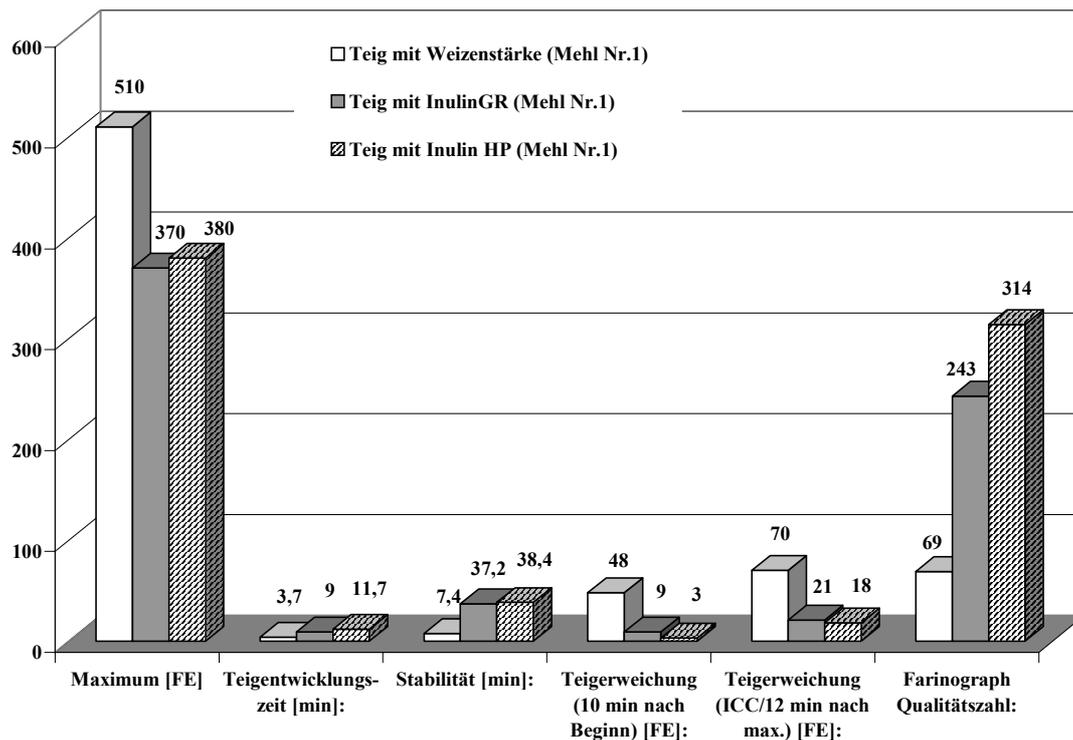


Abb. 3.5.2.c Vergleich der Teige mit Weizenstärke und Inulin bei gleicher Wasserzugabe

Betrachtet man nun die in **Abb. 3.5.2.c** dargestellten Ergebnisse, so ist erkennbar, dass bei konstant gehaltener Wasserzugabe sich die Stabilität der Teige mit Inulinzusatz (GR/HP) bei kontinuierlicher Knetung um ein Fünffaches verlängert und somit verbessert wird. Jedoch ist zu beachten, dass die Maxima im Farinogramm sich von 510FE bei Weizenstärkezusatz auf 370FE bzw. 380FE verringern. Auch die Teigentwicklungszeit verlängert sich deutlich. So benötigt der Teig mit Weizenstärkezusatz eine Entwicklungsdauer von 3,7min. Der Teig mit Zugabe an Inulin GR benötigt 9min und mit Inulin HP sogar 11,7min bis zur optimalen Teigentwicklung. Die oben aufgeführten Ergebnisse bestätigen die Erkenntnisse aus dem Glutenaggregationstest, dass beim Zusatz von Inulin sich die Kleberbildungsdauer verlängert. Mit der Verlängerung der Kleberbildungsphase kommt es zu einem erhöhten Bedarf an einzubringender Knetenergie bei der Teigbereitung. Dieses kann vor allem durch eine verlängerte Knetdauer bzw. eine intensivere Knetung beim Herstellungsprozess ausgeglichen werden.

Aber neben der Teigstabilität und der Teigentwicklungszeit ändert sich ebenfalls der Grad der Teigerweichung. So zeigt ein Teig mit 6 Teilen Weizenstärke im Austausch eine Teigerweichung nach 10 min Knetung von 48FE. Die Teige mit 6 Teilen Inulin im Austausch weisen lediglich eine Erweichung von 9FE (GR) bzw. 3FE (HP) auf. Auch 12min nach Erreichen des Maximums im Farinogramm, gemäß ICC-Auswertung, zeigen die Versuchsteige mit prebiotischem Zusatz eine Viskositätsabnahme von 21FE (GR) sowie 18FE (HP). Dagegen kommt es beim Teig mit Weizenstärke zu einer weitaus stärkeren Erweichung von 70FE.

3.5.3 Veränderung der Teigviskosität bei Teigen mit prebiotischem Zusatz im Extensographen

Im BRABENDER Extensograph werden die viskoelastischen Eigenschaften der mit einem externen Knetter hergestellten und vorbereiteten Teige in einem Zug-Dehnungs-Versuch erfasst und in Form eines Spannungs-Dehnungs-Diagramms dargestellt. Dieses Verfahren dient zur Unterstützung der Farinogrammdaten. So wird im Farinographen entsprechend der Wasseraufnahme mit 2%iger NaCl Wasserlösung vorbereiteter Teig (500FE) zum Strang geformt und nach bestimmten Teigruhezeiten mehrmals wiederholt einer uniaxialen Dehnung in einem Zugversuch unterzogen. Im Extensogramm sind somit die zeitabhängigen Reaktionen im Teig sichtbar. Da in einem Extensogramm die Messung an einem Teig nach 45, 90 und 135 Minuten Teigruhezeit erfolgt, werden in den drei Extensogrammen die spezifischen Eigenschaften in der Teigphase des Brotherstellungsprozesses deutlich.

Dehnwiderstand, Dehnbarkeit und Dehnenergie sind die drei Merkmale die einem Extensogramm zu entnehmen sind. Es ist weiterhin üblich, die Verhältniszahl als Quotient aus Dehnwiderstand und Dehnbarkeit zu berechnen. Die Höhe des Dehnwiderstandes kann im Maximum der Kurve als auch bei einem konstanten Betrag der Dehnung bei 5 cm abgelesen werden.

Die Aufnahme und Auswertung von Extensogrammen ist durch den *ICC Standard Nr. 114/1 (1992)* geregelt und wird in **Kap. 6.3.2.2** beschrieben.

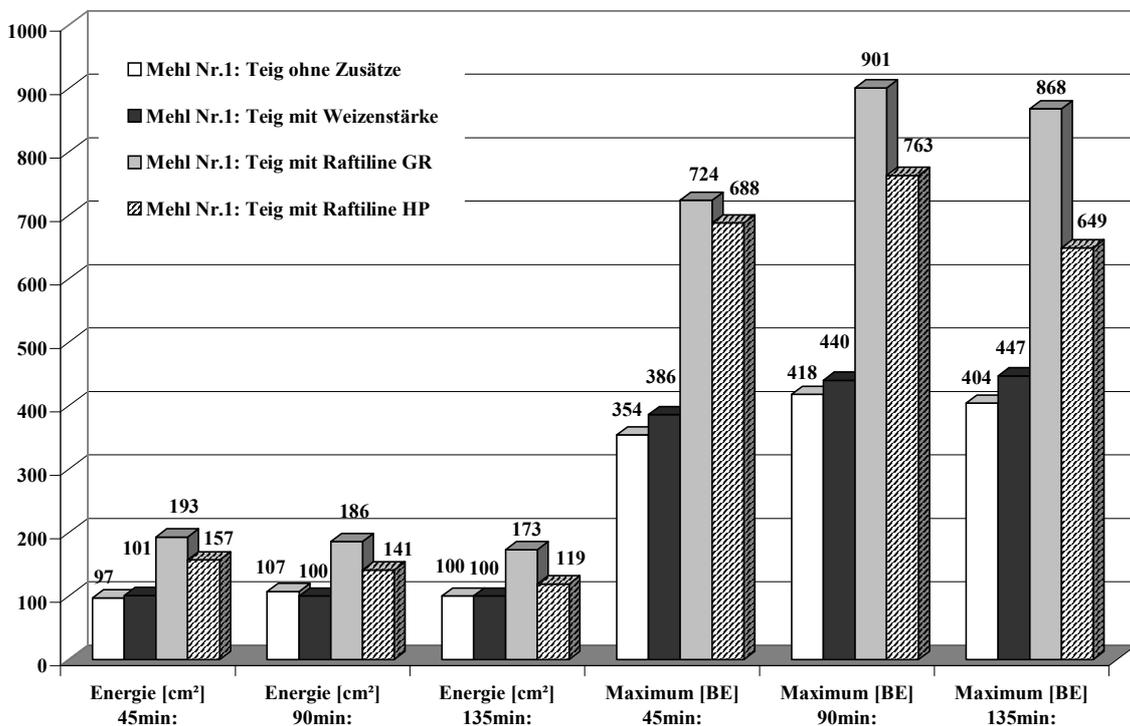


Abb. 3.5.3.a Vergleich der Energie [cm²] und des Maximums [BE] im Extensogramm bei Teigen aus Mehl Nr.1 mit und ohne Inulinzusatz

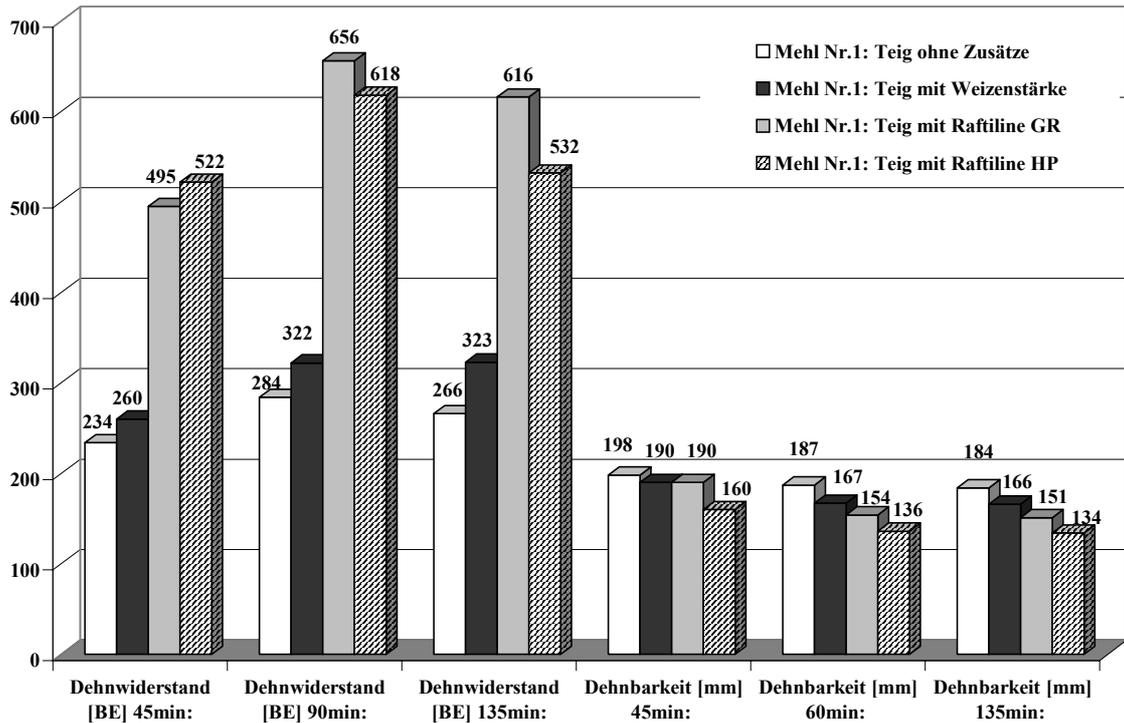


Abb. 3.5.3.b Vergleich des Dehnwiderstands [BE] und der Dehnbarkeit [mm] im Extensogramm bei Teigen aus Mehl Nr.1 mit und ohne Inulinzusatz

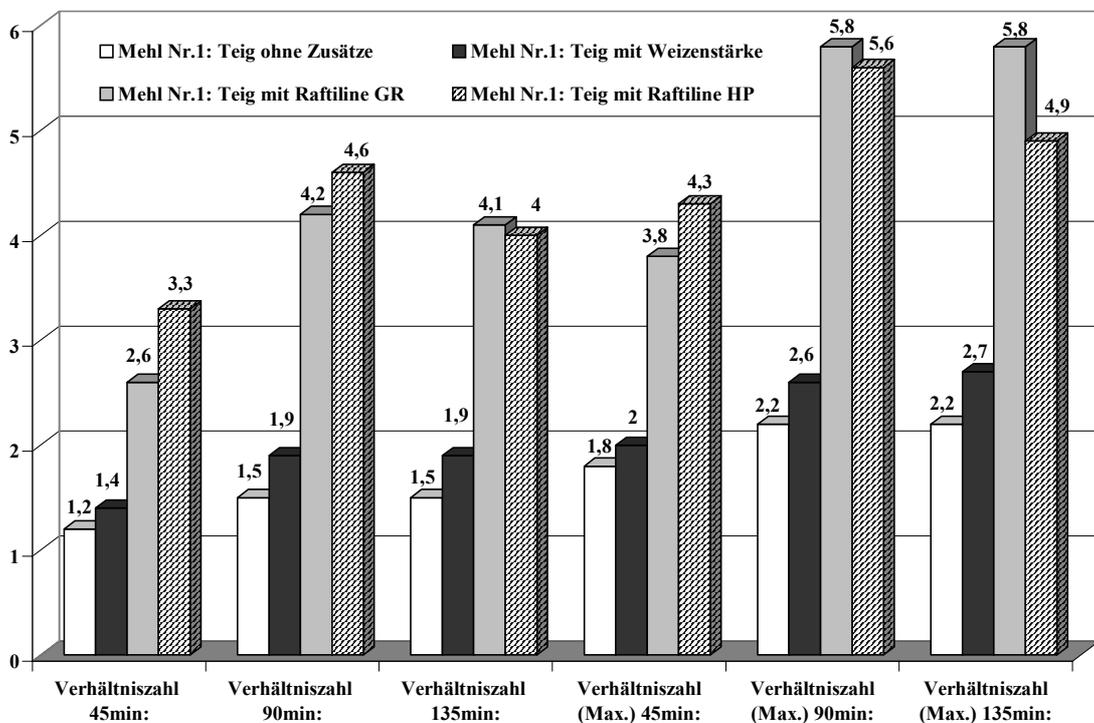


Abb. 3.5.3.c Vergleich der Verhältniszahl und der Verhältniszahl im Maximum im Extensogramm bei Teigen aus Mehl Nr.1 mit und ohne Inulinzusatz

Betrachtet man **Abb. 3.5.3.a**, so ist erkennbar, dass die Dehnenergie [cm^2] im Vergleich mit den beiden Standardteigen, mit und ohne Weizenstärke, sich während der gesamten Entspannungsphase von 135 min nicht wesentlich ändert (97cm^2 nach 100cm^2). Dagegen zeigen die Teige mit Inulinzusatz nach 45 min Teigruhe eine sehr hohe Dehnenergie von 193cm^2 bzw. 157cm^2 , die sich jedoch in den nächsten Messungen merklich verringert (173cm^2 bzw. 119cm^2).

In **Abb. 3.5.3.a** wird auch das Maximum der einzelnen Extensogramme aufgezeigt. Die Maxima der Inulinteige (90min: 901BE bzw. 763BE) liegen etwa doppelt so hoch wie die Maxima der Standardteige (90min: 418BE bzw. 440BE). Aber nicht nur die Höhe der Maxima, sondern auch deren Abnahme nach 135 min Teigruhe (868min bzw. 649min), machen das unterschiedliche Verhalten der Versuchsteige mit prebiotischem Zusatz gegenüber Standardteigen (404BE bzw. 447BE) erkennbar. Die in **Abb. 3.5.3.a** aufgeführten Ergebnisse verdeutlichen, dass ein Inulinzusatz bei Weizenteigen, mit auf 500FE eingestellter Wasserzugabe, zu einem weitaus höheren Energiebedarf im Extensographen führt. Beim Einsatz von Inulin (GR/HP) in Weizenteigen kommt es ebenfalls zu einer Zunahme des Dehnwiderstandes [BE] im Extensographen. Die Versuchsteige mit GR bzw. HP bringen der Messgeometrie einen erhöhten Dehnwiderstand entgegen (90min: 656BE bzw. 618BE gegenüber 284BE bzw. 322BE), wogegen die Dehnbarkeit gegenüber den Standardteigen abnimmt. Die graphische Darstellung in **Abb. 3.5.3.b** veranschaulicht diese Ergebnisse nochmals.

Die drei Merkmale des Extensogrammes, Dehnenergie, Dehnwiderstand und Dehnbarkeit sowie das ermittelte Kurvenmaximum, lassen erkennen, dass der Zusatz des Prebiotikums „Inulin“ zu einem unterschiedlichen Verhalten der Teige in der Teigruhephase führt. Die aus den einzelnen Kurven berechneten Verhältniszahlen in **Abb. 3.5.3.c** unterstützen diese Erkenntnisse.

3.5.4 Kriech-Erholungsmessungen zur Charakterisierung spezifischer Teigeigenschaften

Die Kriech-Erholungsmessungen dienen der Charakterisierung spezifischer Teigeigenschaften. Es lässt sich die Deformierbarkeit unterschiedlichster Teige bestimmen, so dass auch geringe Änderungen der Konsistenz/Weichheit von Teigen gemessen werden können. Zur Charakterisierung der unterschiedlichen Teigsysteme werden die folgenden Messgrößen bestimmt:

- max. Deformation [%]
- max. Kriechkomplianz J_{\max} [1/Pa]
- rel. elastische Komplianz J_e/J_{\max} [%]
- rel. viskose Komplianz J_v/J_{\max} [%]
- elastische Komplianz J_e [1/Pa]
- viskose Komplianz J_v [1/Pa]

So gibt besonders die Deformation Auskunft über die Konsistenz eines Teiges. Teige mit hoher Deformierbarkeit sind sehr weich und gelten als nicht verarbeitbar. Im Gegensatz dazu stehen Teige mit niedriger Deformation. Sie weisen eine normale Teigelastizität auf und sind gut verarbeitbar.

Die Kriech-Erholungsmessungen gliedern sich in drei Versuchsabschnitte. Im ersten Abschnitt werden Modellteige aus sortenreinen Weizenmehlen unter Zusatz von Raftiline[®] GR bzw. HP gemäß der Probenvorbereitung **Kap. 6.3.2.4.2 (1)** hergestellt und gemessen.

Der zweite Versuch bestimmt die Veränderungen bei Kriech-Erholungsmessungen unter Zusatz von Kochsalz, Saccharose und den zwei unterschiedlichen Inulintypen. Die Probenvorbereitung ist ebenfalls in **Kap. 6.3.2.4.2 (2)** aufgeführt. Abgeschlossen werden die Kriech-Erholungsmessungen durch die Charakterisierung realer, backfähiger Teige. Die Teige werden gemäß des Versuchsplanes hergestellt, der auch als Grundlage für die im Anschluss durchgeführten Backversuche dient. Die Probenvorbereitung und der Probenplan sind in **Kap.6.3.2.4.2 (3)** beschrieben.

3.5.4.1 Kriech-Erholungsmessungen unter Verwendung sortenreiner Weizenmehle und Inulinzusatz

Es werden drei Weizensorten und ein Mischmehl eingesetzt. Die spezifischen Daten der Weizenmehle Type 550 sind in **Kap. 6.3.1** und im Anhang **Kap. 9.8** aufgeführt.

Drei unterschiedliche Knetzeiten dienen dazu, den erhöhten Energiebedarf der Teige mit Inulinzusatz zu beschreiben. Für die Auswertung werden die max. Deformation, die max. Kriechkomplianz sowie die rel. elastische Komplianz und die rel. viskose Komplianz genutzt. Die elastische wie viskose Komplianz sind im **Anhang Kap. 9.5.3.1** neben den Messwerten aufgeführt.

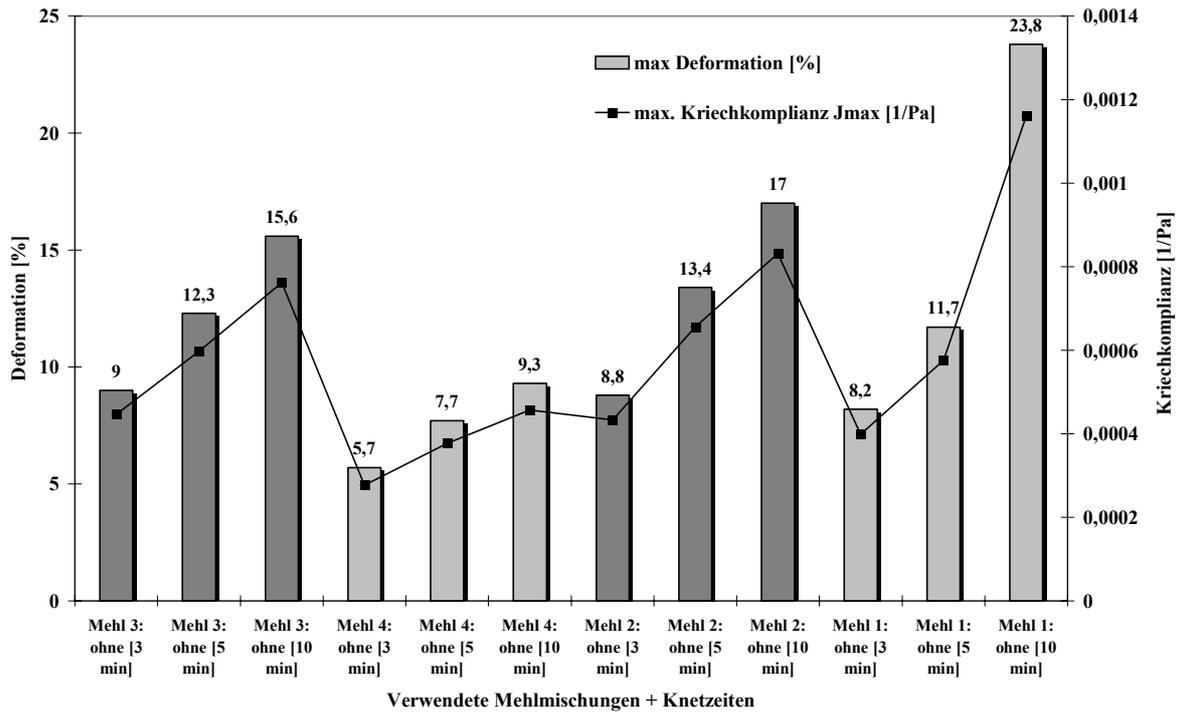


Abb. 3.5.4.1.a Max. Deformation [%] und max. Kriechkomplianz J_{max} [1/Pa] der 4 Versuchsmehle bei Modellteigen ohne Zusatz/Austausch mit Weizenstärke oder Inulin GR/HP

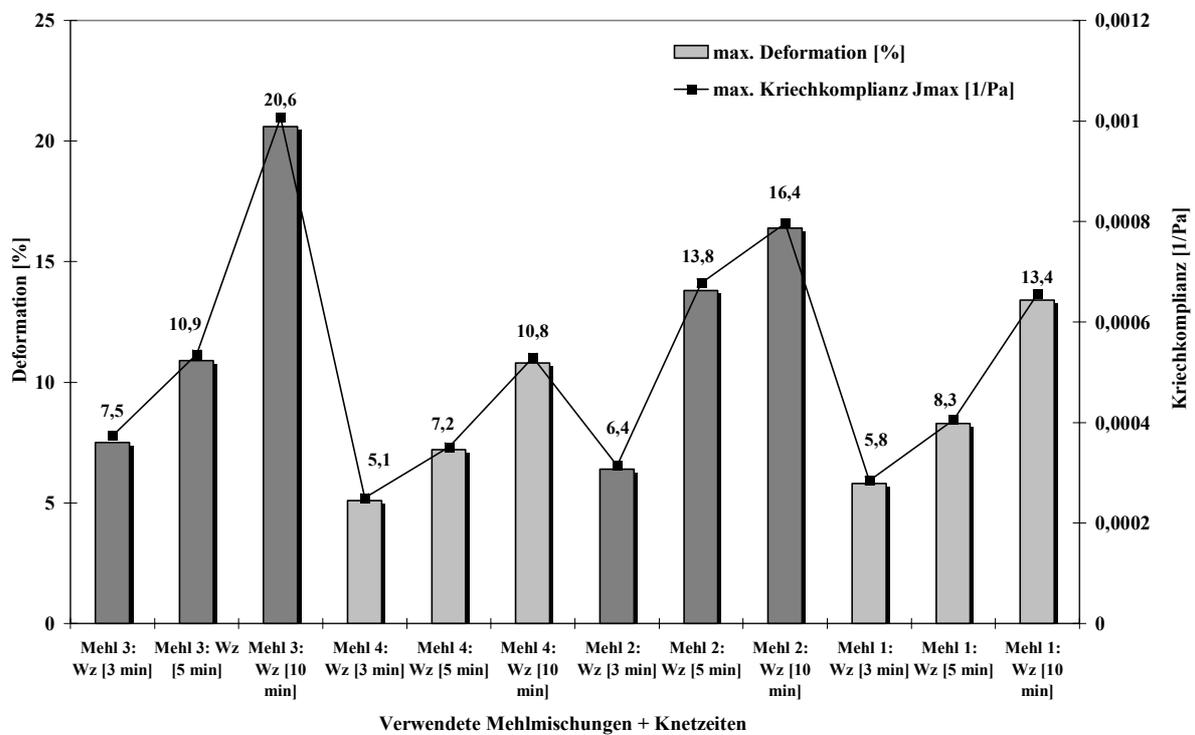


Abb. 3.5.4.1.b Max. Deformation [%] und max. Kriechkomplianz J_{max} [1/Pa] der 4 Versuchsmehle bei Modellteigen mit Austausch von 6 Teilen Weizenmehl durch Weizenstärke

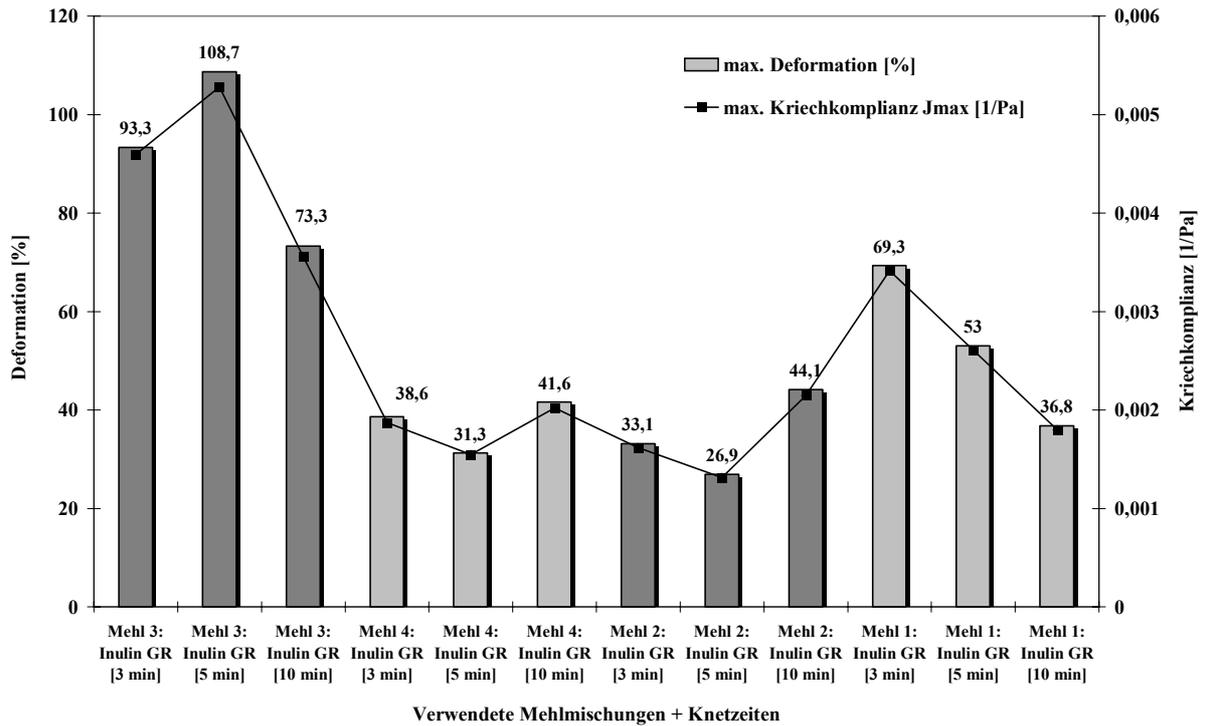


Abb. 3.5.4.1.c Max. Deformation [%] und max. Kriechkomplianz Jmax [1/Pa] der 4 Versuchsmehle bei Modellteigen mit Austausch von 6 Teilen Weizenmehl durch Raftiline® GR

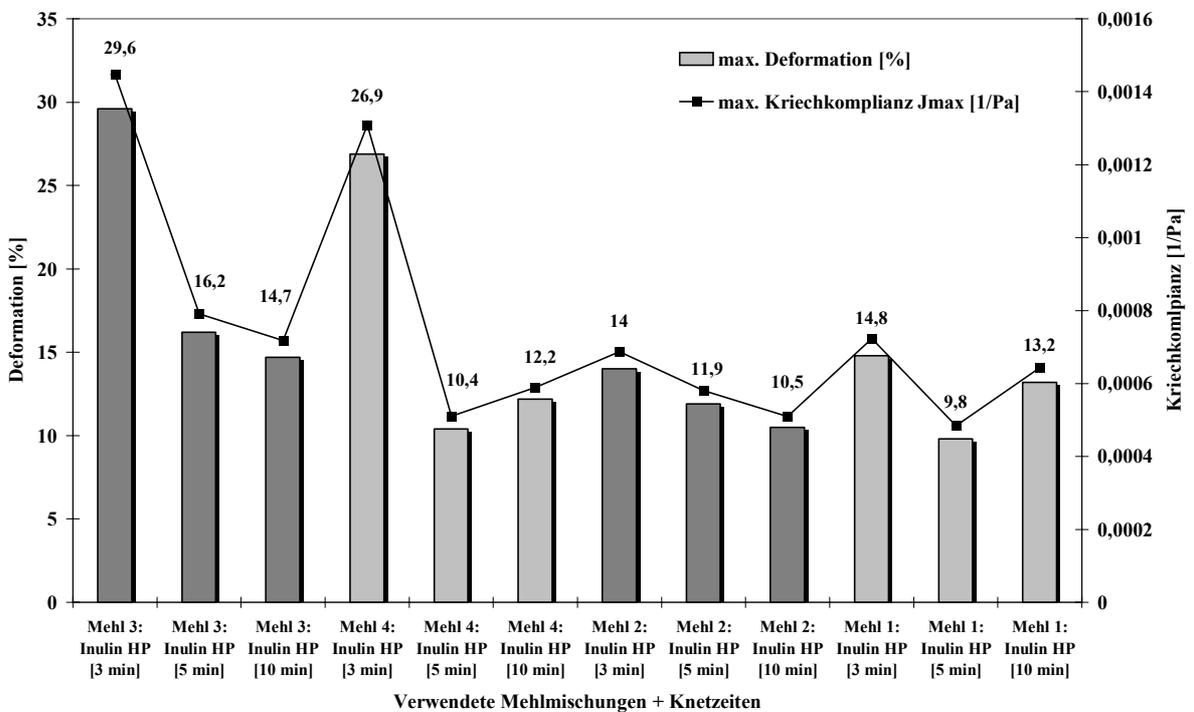


Abb. 3.5.4.1.d Max. Deformation [%] und max. Kriechkomplianz Jmax [1/Pa] der 4 Versuchsmehle bei Modellteigen mit Austausch von 6 Teilen Weizenmehl durch Raftiline® HP

Abb. 3.5.4.1.a zeigt neben der max. Deformation die max. Kriechkomplianz bei Teigen aus den Mehlen Nr.1 bis Nr.4 ohne jeglichen Zusatz/Austausch bei steigender Knetzeit. Die Auswertungen lassen erkennen, dass alle Teige ohne Zusatz mit verlängerter Knetzeit einen Anstieg der max. Deformation und somit der max. Kriechkomplianz aufweisen. Bei Teigen aus Mehl Nr.3 steigt die max. Deformation von 9% auf 15,6% bei einer Knetzeit von 10 min, wogegen bei Teigen aus Mehl Nr.4 nur ein Anstieg von 5,7% auf 9,3% nach 10 min Knetzeit festzustellen ist. Teige aus den Mehlen Nr.1 und Nr.2 dagegen zeigen wieder eine größere Veränderung in der max. Deformation. So nimmt die max. Deformation bei Mehl Nr.1 von 8,2% auf 23,8% und bei Mehl Nr.2 von 8,8% auf 17% nach 10 min Knetzeit zu. Der Anstieg der max. Kriechkomplianz bei Teigen aus den Mehlen Nr.1 bis Nr.4 ist dem Anstieg der max. Deformation gleich.

Abb. 3.5.4.1.b gibt einen ähnlichen Verlauf wieder wie in **Abb. 3.5.4.1.a**. Den Modellteigen aus den Mehlen Nr.1 bis Nr.4 sind hierbei im Austausch zum Mehl 6 Teile Weizenstärke zugefügt worden. Auch diese Versuchsteige zeigen bei verlängerter Knetzeit einen Anstieg der max. Deformation und somit einen Anstieg der max. Kriechkomplianz. Die max. Deformation bei Teigen aus Mehl Nr.3 steigt von 7,5% auf 20,6% nach einer Knetdauer von 10 min an. Der Anstieg der max. Deformation bei Teigen aus Mehl Nr.4 nach 10 min Knetzeit ist 10,8% (5,1% bei 3 min Knetzeit). Mehl Nr.2 zeigt einen ähnlichen Anstieg wie in **Abb. 3.5.4.1.a**, die max. Deformation ändert sich von 6,4% auf 16,4%, wogegen Teige aus Mehl Nr.1 einen geringeren Anstieg als in **Abb. 3.5.4.1.a** zeigen. Hierbei steigt die max. Deformation lediglich von 5,8% auf 13,4%.

Die Änderungen der max. Deformation sowie der max. Kriechkomplianz bei Teigen aus den Mehlen Nr.1 bis Nr.4 mit einem Austausch von 6 Teilen Weizenmehl durch Raftiline® GR sind in **Abb. 3.5.4.1.c** dargestellt. So liegt die max. Deformation bei Teigen aus Mehl Nr.3 nach 3 min Knetzeit bei 93,3%. Nach 5 min Kneten steigt sie noch auf 108,7% an, wogegen sie aber nach 10 min Knetzeit auf 75,3% fällt. Bei Teigen aus Mehl Nr.4 nach 3 min Knetdauer liegt die max. Deformation bei 38,6%. Sie sinkt nach 5 min Knetzeit auf 31,3%, steigt dann aber nach 10 min Kneten wieder auf 41,6%. Einen ähnlichen Verlauf zeigen die Teige aus Mehl Nr.2. Die max. Deformation liegt nach 3 min Knetzeit bei 33,1% und sinkt nach 5 min Knetdauer auf 26,9%. Bei einer Endknetzeit von 10 min steigt die max. Deformation jedoch wieder auf 44,1%. Mehl Nr.1 verzeichnet dagegen mit wachsender Knetzeit einen kontinuierlichen Abfall der max. Deformation. So liegt sie nach 3 min Knetzeit bei 69,3% und fällt nach 5 min Kneten auf 53% und schließlich nach 10 min Knetung auf 36,8%. Der Anstieg bzw. das Sinken der max. Kriechkomplianz geht einher mit den Änderungen der max. Deformation.

Der Austausch von 6 Teilen Weizenmehl durch Raftiline® HP führt, wie **Abb. 3.5.4.1.d** zeigt, zu deutlichen Veränderungen bei Teigen aus den Mehlen Nr.1 bis Nr.4. Bei Teigen aus Mehl Nr.3 und einer Knetdauer von 3 min liegt die max. Deformation bei 29,6%. Mit erhöhter Knetzeit von 5 min sinkt die max. Deformation auf 16,2% und nach 10 min Kneten auf 14,7%. Teige aus Mehl Nr.4 zeigen nach 3 min Knetung eine max. Deformation von 26,9%. Diese sinkt nach 5 min Knetzeit auf 10,4% und steigt nach 10 min Kneten auf 12,2% wieder an. Dagegen zeigen Teige aus Mehl Nr.2 nur geringe Unterschiede bei verlängerter Knetdauer. So beträgt die max. Deformation nach 3 min Knetzeit bei Teigen aus Mehl Nr.2 14%, die dann nach 5 min auf 11,9% und nach 10 min Knetzeit auf 10,5% sinkt. Der Verlauf der max. Deformation bei Teigen aus Mehl Nr.1 ist dem des Mehles Nr.4 ähnlich. So beträgt die max. Deformation nach 3 min Kneten 14,8% und sinkt nach 5 min Knetung auf 9,8%. Eine Knetzeit von 10 min führt zu einem Anstieg der max. Deformation auf 13,2%.

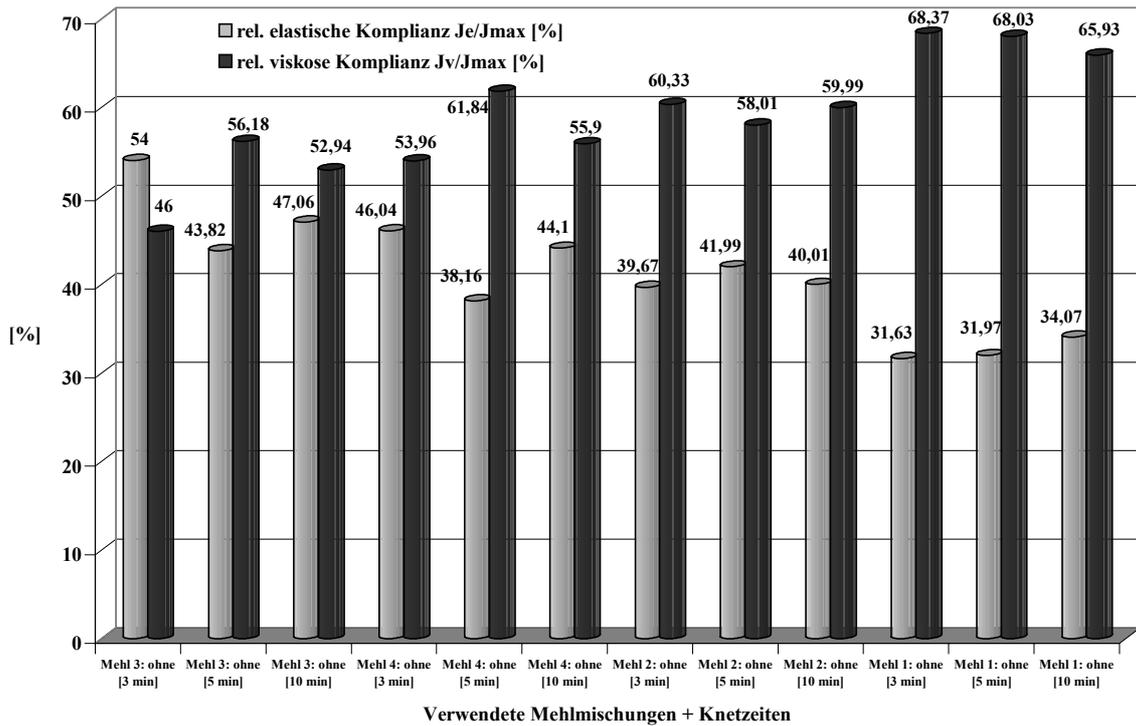


Abb. 3.5.4.1.e Rel. elastische Komplianz J_e/J_{max} [%] und rel. viskose Komplianz J_v/J_{max} [%] der 4 Versuchsmehle bei Modellteigen ohne Zusatz/Austausch mit Weizenstärke oder Inulin GR/HP

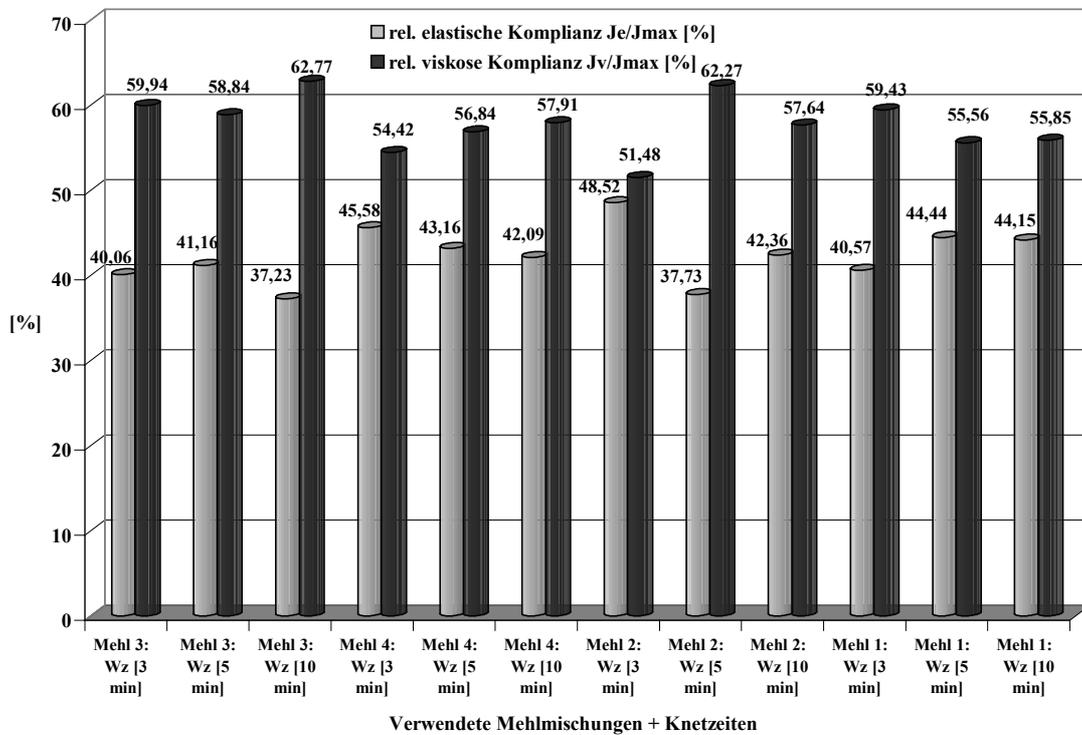


Abb. 3.5.4.1.f Rel. elastische Komplianz J_e/J_{max} [%] und rel. viskose Komplianz J_v/J_{max} [%] der 4 Versuchsmehle bei Modellteigen mit Austausch von 6 Teilen Weizenmehl durch Weizenstärke

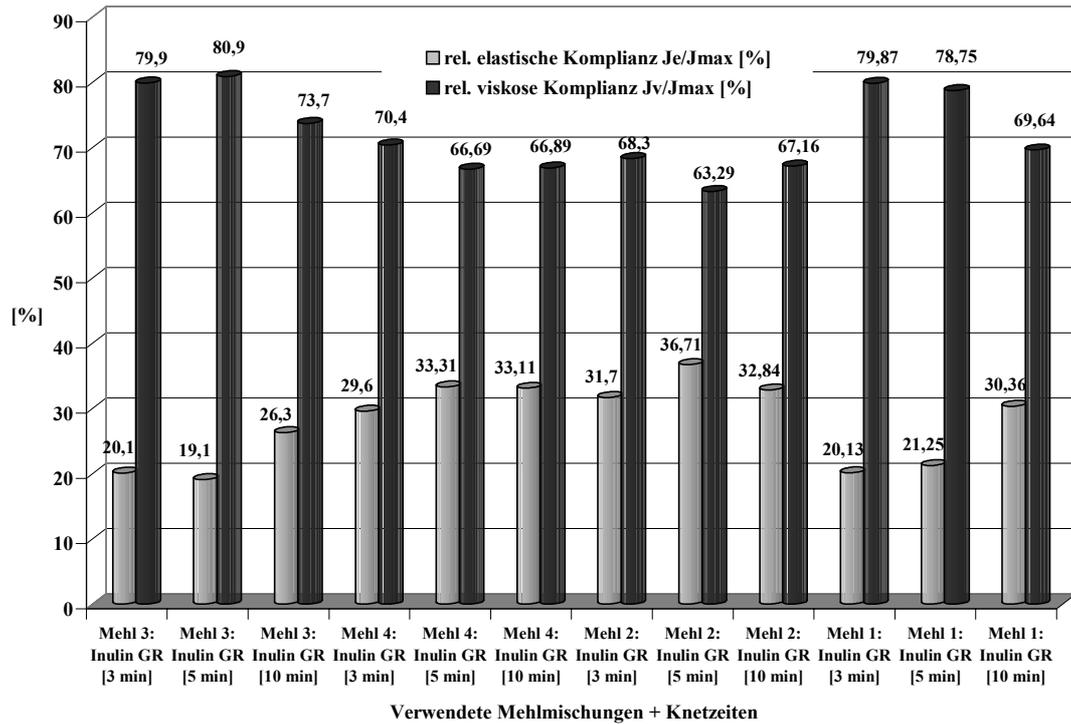


Abb. 3.5.4.1.g Rel. elastische Komplianz J_e/J_{max} [%] und rel. viskose Komplianz J_v/J_{max} [%] der 4 Versuchsmehle bei Modellteigen mit Austausch von 6 Teilen Weizenmehl durch Raftiline® GR

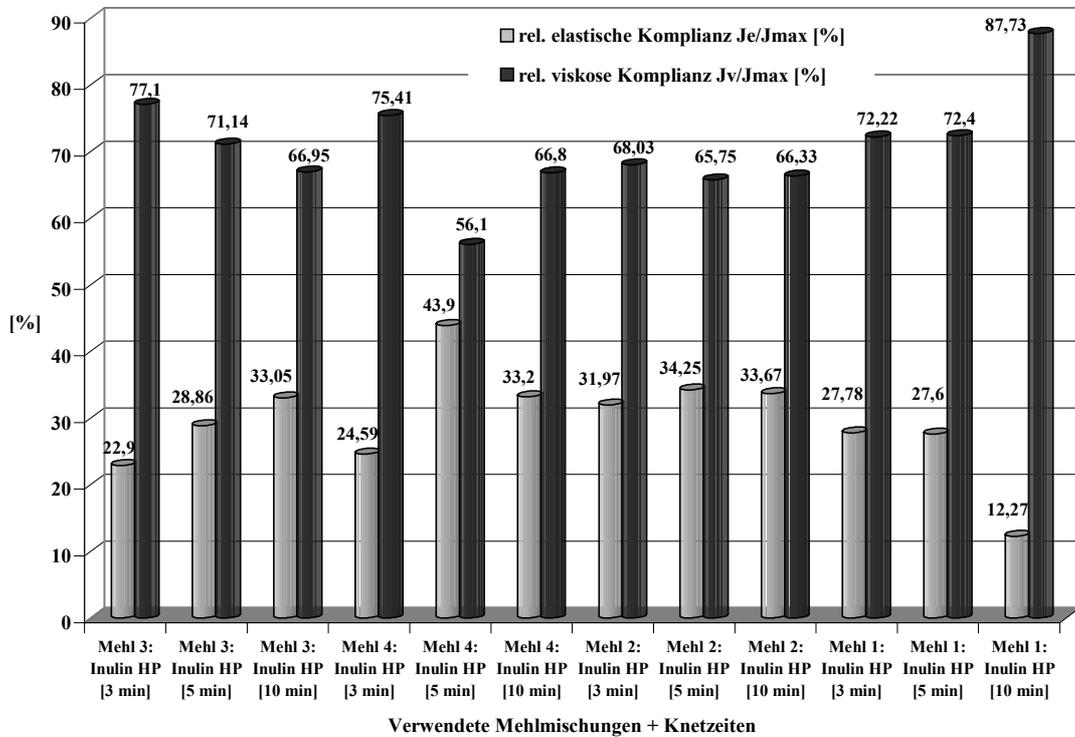


Abb. 3.5.4.1.h Rel. elastische Komplianz J_e/J_{max} [%] und rel. viskose Komplianz J_v/J_{max} [%] der 4 Versuchsmehle bei Modellteigen mit Austausch von 6 Teilen Weizenmehl durch Raftiline® HP

Die **Abb. 3.5.4.1.e bis h** geben die rel. elastische Komplianz J_e/J_{max} [%] sowie die rel. viskose Komplianz J_v/J_{max} [%] wieder. Beide stehen in dem Verhältnis zu einander, dass die Summe beider Parameter jeweils 100% ergeben muss. Sinkt also die rel. elastische Komplianz steigt gleichzeitig die rel. viskose Komplianz. In den folgenden Darstellungen wird daher immer nur auf eine Messgröße eingegangen. Die Ergebniswerte werden auf- bzw. abgerundet.

So zeigt **Abb. 3.5.4.1.e** die Ergebnisse der Messungen an Teigen aus den Mehlen Nr.1 bis Nr.4 ohne jeglichen Zusatz/Austausch, jedoch mit steigender Knetdauer. Die Auswertungen lassen erkennen, dass bei den Teigen aus Mehl Nr.3 die rel. elastische Komplianz nach 5 min Knetzeit von 54,0% auf 43,8% sinkt und nach 10 min Kneten wieder leicht auf 47,1% ansteigt. Ähnlich verhalten sich die Teige aus Mehl Nr.4. Nach 3 min Knetung liegt die rel. elastische Komplianz bei 46,0%. Sie sinkt dann nach 5 min Knetzeit auf 38,2% und steigt anschließend bei 10 min Kneten wieder auf 44,1%. Dagegen zeigen die Modellteige mit Mehl Nr.2 nur sehr geringe Änderungen bei einer Knetzeitverlängerung. Bei einer Knetdauer von 3 min weisen Teige aus Mehl Nr.2 eine rel. elastische Komplianz von 39,7% auf. Sie steigt nach 5min Knetung auf 42,0% an, fällt aber nach 10 min Kneten wieder auf 40,0% ab. Bei Teigen aus Mehl Nr.1 kommt es dagegen zu einem kontinuierlichen Anstieg der rel. elastisch Komplianz. Sie steigt bei Modellteigen aus Mehl Nr.1 von 31,6% nach 3 min Kneten auf 34,1% nach 10 min Kneten an.

Abb. 3.5.4.1.f gibt die Ergebnisse der Messungen an Modellteigen aus den Mehlen Nr.1 bis Nr.4 wieder, wobei 6 Teile Weizenmehl durch Weizenstärke ausgetauscht werden. Teige aus Mehl Nr.3 zeigen nach 3 min Kneten eine rel. elastische Komplianz von 40,1%. Sie steigt nach 5 min Knetung auf 41,2% und sinkt nach 10 min Knetzeit auf 37,2%. Bei Teigen aus Mehl Nr.4 liegt die rel. elastische Komplianz nach 3 min Kneten bei 45,6%. Bei einer Knetzeiterhöhung auf 5 min sinkt die rel. elastische Komplianz auf 43,2% und bei einer Knetdauer von 10 min auf 42,1%. Die Änderung der rel. elastischen Komplianz bei Teigen aus Mehl Nr.2 sind am stärksten in dieser Messreihe ausgeprägt. So weist der Teig aus Mehl Nr.2 nach 3 min Kneten eine rel. elastische Komplianz von 48,5% auf. Diese sinkt dann bei einer Knetdauer von 5 min auf 37,7% und steigt dagegen wieder bei einer Knetzeit von 10 min auf 42,4%. Die rel. elastische Komplianz bei Modellteigen aus Mehl Nr.1 beträgt nach 3 min Kneten 40,6%. Nach einer Knetdauer von 5 min steigt diese auf 44,4% an, sinkt dann aber nur sehr gering auf 44,2%.

Die Änderungen der rel. elastischen Komplianz sowie der rel. viskosen Komplianz bei Teigen aus den Mehlen Nr.1 bis Nr.4 mit Raftiline[®] GR sind in **Abb.3.5.4.1.g** dargestellt. So liegt die rel. elastische Komplianz von Teigen aus Mehl Nr.3 bei 20,1%. Sie sinkt nach 5 min Knetung um 1% auf 19,1% und steigt anschließend wieder nach einer Knetdauer von 10 min auf 26,3%. Bei Teigen aus Mehl Nr.4 liegt die rel. elastische Komplianz nach 3 min Kneten bei 29,6% und steigt nach 5 min Knetzeit auf 33,3%. Nach 10 min Knetung sinkt die rel. elastische Komplianz jedoch wieder auf 33,1%. Dieses Verhalten bei einer verlängerten Knetzeit zeigen auch die Versuchsteige aus Mehl Nr.2. Die rel. elastische Komplianz liegt hierbei nach 3 min Kneten bei 31,7% und steigt dann nach einer Knetdauer von 5 min auf 36,7%. Eine Knetzeit von 10 min führt jedoch wieder dazu, dass die rel. elastische Komplianz wieder etwas absinkt, auf 32,8%. Bei Teigen aus Mehl Nr.1 zeigt die rel. elastische Komplianz nach 5 min Knetdauer einen Anstieg von 20,1% auf 21,3%. Eine weitere Verlängerung der Knetzeit auf 10 min führt dazu, dass die rel. elastische Komplianz weiter auf 30,4% ansteigt.

Die Änderungen der rel. elastischen Komplianz wie viskosen Komplianz bei verlängerter Knetdauer von Teigen mit Raftiline[®] HP sind in **Abb. 3.5.4.1.h** beschrieben. Bei Teigen aus

Mehl Nr.3 und einer Knetdauer von 3 min liegt die rel. elastische Komplianz bei 22,9%. Mit erhöhter Knetzeit auf 5 min steigt die rel. elastische Komplianz auf 28,9% und bei einer Knetzeit von 10 min auf 33,1%. Bei Teigen aus Mehl Nr.4 liegt die rel. elastische Komplianz nach 3 min Kneten bei 24,6% und steigt nach 5 min Knetzeit auf 43,9% an. Jedoch führt eine weitere Knetzeitverlängerung auf 10 min dazu, dass die rel. elastische Komplianz wieder auf 33,2% abfällt. Die rel. elastischen Komplianz bei Teigen aus Mehl Nr.2 beträgt nach 3 min Knetzeit 32,0%. Sie steigt nach 5 min Kneten auf 34,3%, sinkt dann aber nach 10 min Kneten auf 33,7%. Betrachtet man Teige aus Mehl Nr.1, so wird deutlich, dass diese nach 5 min Knetzeit (27,6%) keine Veränderung in der rel. elastischen Komplianz gegenüber einer Knetzeit von 3 min (27,8%) zeigen. Eine Knetverlängerung auf 10 min führt dazu, dass es zu einem deutlichen Absinken der rel. elastischen Komplianz kommt.

3.5.4.2 Kriech-Erholungsmessungen unter Verwendung von Mehl Nr.1 und Zusätzen an Kochsalz, Saccharose und zwei Inulintypen

Nach den rheologischen Untersuchungen an Modellteigen aus sortenreinen Weizenmehlen der Type 550, unter Zusatz von Inulin, sollen diese Ergebnisse durch weiterführende Messungen ergänzt werden. Für die nachfolgenden Messungen wurde ausschließlich Mehl Nr.1 verwendet. Bei Mehl Nr.1 handelt es sich um ein Mischmehl, dessen Analysedaten in **Kap. 6.3.1** und im **Anhang Kap. 9.8** aufgeführt sind. Kochsalz und Saccharose sind bei der Herstellung praxisrelevanter Teige unabdingbar und finden daher Anwendung in diesen Modellteigen. Der für die Kriech-Erholungsmessungen verwendete Versuchsplan sowie die Probenvorbereitung und die entsprechenden Versuchparameter sind in **Kap. 6.3.2.4.2 (2)** aufgeführt. Die drei unterschiedlichen Knetzeiten dienen dazu, den erhöhten Energiebedarf, besonders der Teige mit Zusatz an Inulin, zu beschreiben. Neben den gesamten Messdaten sind die elastische wie viskose Komplianz der Modellteige im **Anhang Kap. 9.5.3.2** aufgeführt.

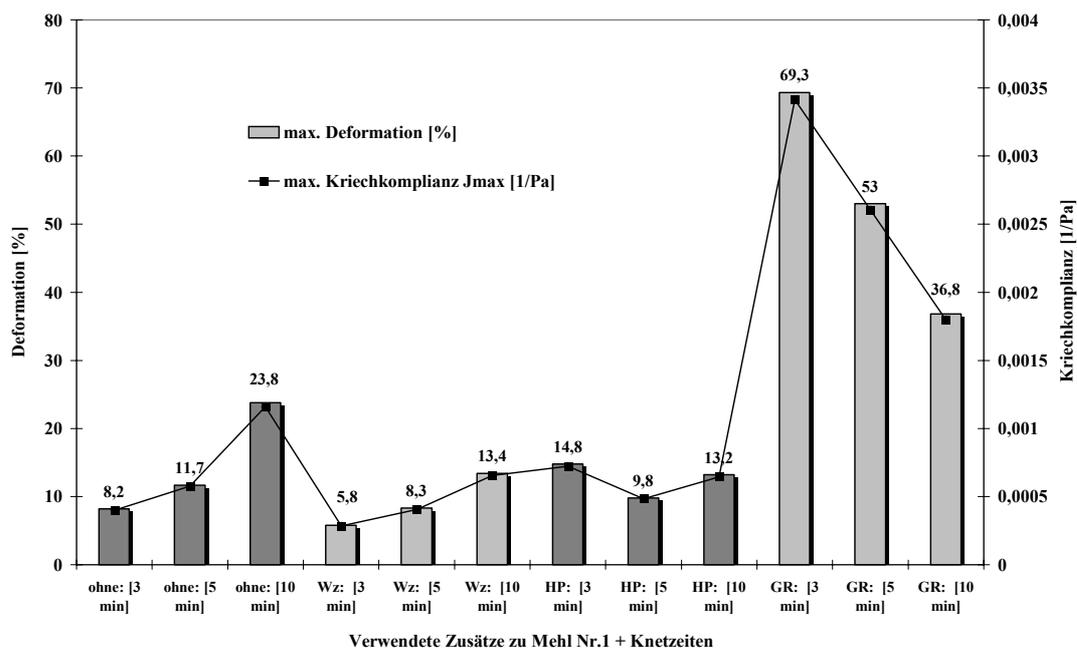


Abb. 3.5.4.2.a Max. Deformation [%] und max. Kriechkomplianz Jmax [1/Pa] bei Modellteigen aus Weizenmehl Nr.1 und Austausch von jeweils 6 Teilen Weizenmehl durch Weizenstärke, Raftiline® GR oder HP, aber ohne Zusatz

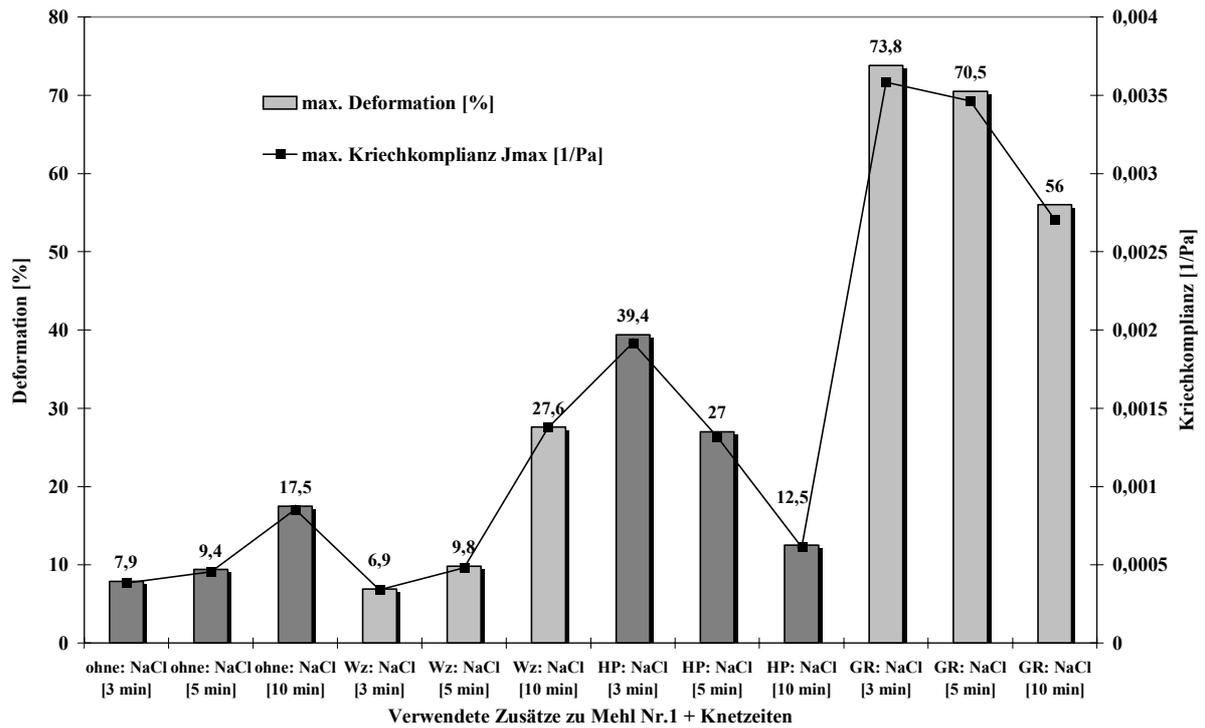


Abb. 3.5.4.2.b Max. Deformation [%] und max. Kriechkomplianz Jmax [1/Pa] bei Modellteigen aus Weizenmehl Nr.1 und Austausch von jeweils 6 Teilen Weizenmehl durch Weizenstärke, Raftiline® GR oder HP und Zusatz von 1,5% NaCl

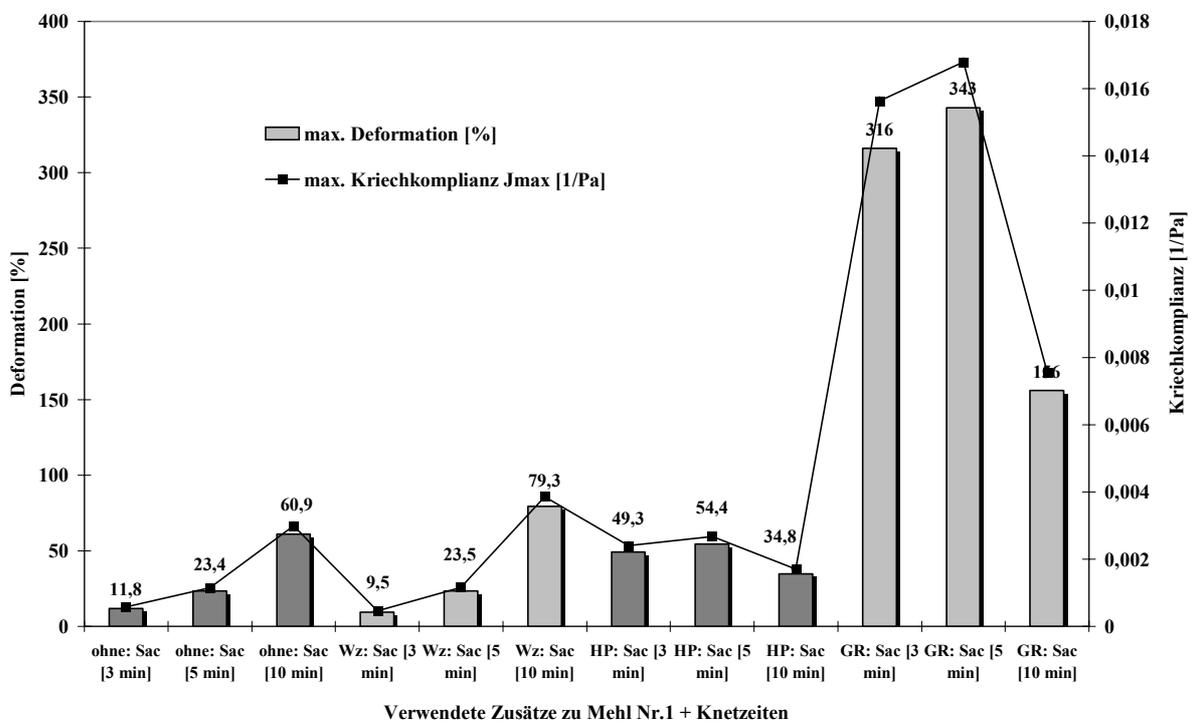


Abb. 3.5.4.2.c Max. Deformation [%] und max. Kriechkomplianz Jmax [1/Pa] bei Modellteigen aus Weizenmehl Nr.1 und Austausch von jeweils 6 Teilen Weizenmehl durch Weizenstärke, Raftiline® GR oder HP und Zusatz von 10,0% Saccharose

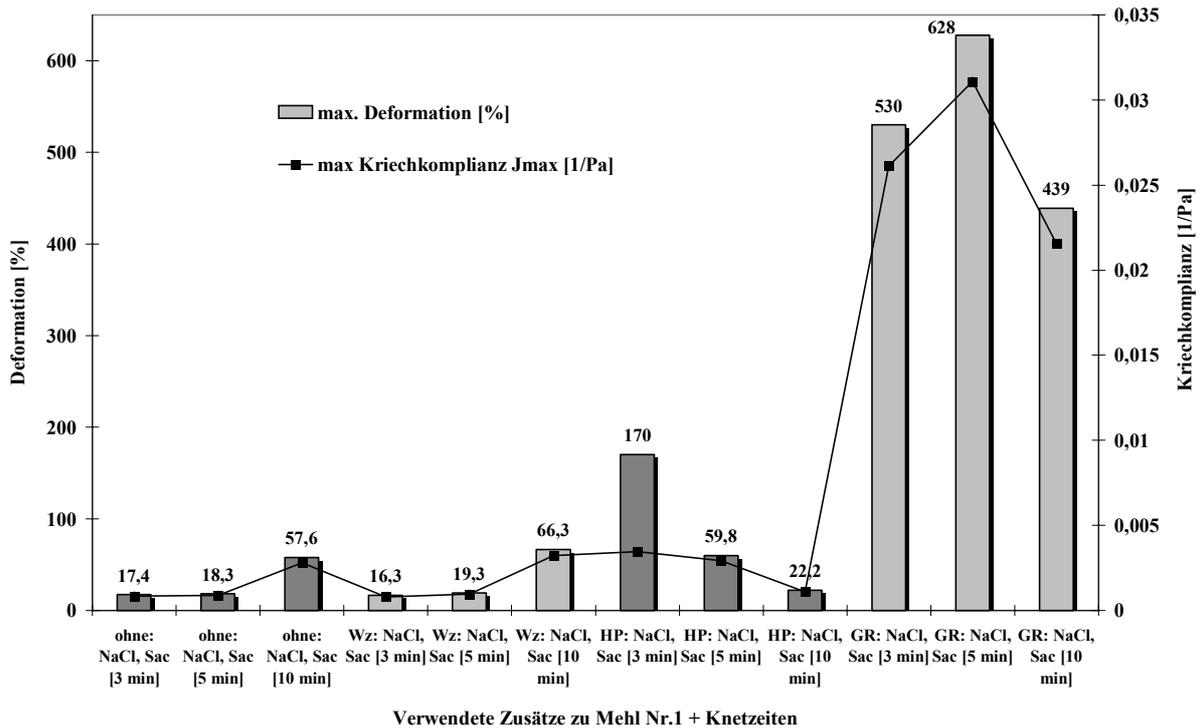


Abb. 3.5.4.2.d Max. Deformation [%] und max. Kriechkomplianz J_{max} [1/Pa] bei Modellteigen aus Weizenmehl Nr.1 und Austausch von jeweils 6 Teilen Weizenmehl durch Weizenstärke, Raftiline[®] GR oder HP und Zusatz von 1,5% NaCl und 10,0% Saccharose

Die **Abb. 3.5.4.2.a-d** geben die ermittelten max. Deformationen [%] und die max. Kriechkomplianz J_{max} [1/Pa] der Kriech-Erholungsmessungen an den unterschiedlichen Teigsystemen wieder. Der Anstieg bzw. das Sinken der max. Kriechkomplianz geht einher mit den Änderungen der max. Deformation und wird nicht noch mal detailliert aufgeführt.

Abb. 3.5.4.2.a zeigt neben der max. Deformation die max. Kriechkomplianz bei Teigen aus Mehl Nr.1, wobei alle Mischungen dieser Versuchsreihe keine Zusätze enthalten. Bei Teigen aus reinem Weizenmehl beträgt die max. Deformation nach einer Knetung von 3 min 8,2%, steigt nach 5 min Kneten auf 11,7% und erreicht nach 10 min Knetzeit 23,8%. Bei einem Austausch mit Weizenstärke kommt es ebenfalls zu einem geringen Anstieg der max. Deformation. So zeigt der Teig mit Weizenstärke nach 3 min Kneten eine max. Deformation von 5,8%. Nach 5 min Knetzeit beträgt sie dann 8,3% und steigt noch mal etwas an auf 13,4% bei einer Knetdauer von 10 min. Teige mit Raftiline[®] HP weisen eine erhöhte max. Deformation von 14,8% nach einer Knetzeit von 3 min auf. Sie sinkt auf 9,8% bei einer Knetdauer von 5 min, steigt dann aber wieder nach einer Knetzeit von 10 min auf 13,2% an. Anders verhalten sich dagegen Teige, denen Raftiline[®] GR zugefügt wird. Sie zeigen nach 3 min Kneten eine max. Deformation von 69,3%. Diese sinkt auf 53% nach 5 min Kneten und nach 10 minütiger Knetzeit auf 36,8%.

Abb. 3.5.4.2.b gibt die max. Deformation [%] sowie die max. Kriechkomplianz J_{max} [1/Pa] der Mischungen unter Zusatz von je 1,5% NaCl (0,15g) wieder. Teige aus reinem Weizenmehl weisen nach 3 min Kneten eine max. Deformation von 7,9% auf. Sie steigt nach 5 minütiger Knetung auf 9,4% und schließlich nach 10 min Knetdauer auf 17,5% an. Ähnlich verhalten sich bei Zusatz von 1,5% NaCl die Teige, bei denen 6 Teile Weizenmehl durch Weizenstärke ausgetauscht sind. Die max. Deformation nach 3 min Knetzeit beträgt hierbei

6,9% und steigt nach 5 min Knetdauer auf 9,8%. Eine Verlängerung der Knetzeit führt zu einer max. Deformation von 27,6%.

Teige, bei denen 6 Teile Weizenmehl durch Raftiline[®] HP ausgetauscht sind und einen Zusatz von 1,5% NaCl weisen nach 3 min Knetzeit eine max. Deformation von 39,4% auf. Diese sinkt mit zunehmender Knetdauer. So beträgt sie nach 5 min Knetzeit 27% und nach 10 min Kneten nur noch 12,5%. Teige bei denen 6 Teile Weizenmehl durch Raftiline[®] GR ausgetauscht und 1,5% NaCl zugesetzt sind, weisen eine max. Deformation von 73,8% nach 3 min Kneten auf. Eine Knetzeitverlängerung auf 5 min führt zu einer max. Deformation von 70,5% und die weitere Erhöhung der Knetdauer auf 10 min zu einer max. Deformation von 56,0%.

Die Änderungen der max. Deformation sowie der max. Kriechkomplianz bei Teigen aus den oben beschriebenen Mischungen unter Zugabe von 10% Saccharose (1,0g) sind in **Abb. 3.5.4.2.c** dargestellt. Der Zusatz von 10% Saccharose führt bei Teigen aus reinem Weizenmehl und 3 min Knetzeit zu einer max. Deformation von 11,8%. Sie steigt nach 5 min Knetzeit auf 23,4% an. Die Verlängerung der Knetdauer auf 10 min führt zu einer max. Deformation von 60,9%. Auch bei Teigen mit 6 Teilen Weizenstärke und 10% Saccharose führen verlängerte Knetzeiten zu einem Anstieg der max. Deformation. Die Knetzeit von 3 min führt zu einer max. Deformation dieser Teige von 9,5%. Eine Verlängerung der Knetdauer auf 5 min führt zu einer max. Deformation von 23,5% und eine weitere Erhöhung der Knetzeit auf 10 min zu einem Anstieg auf 79,3%. Anders verhalten sich die Teige, bei denen 6 Teile Weizenmehl durch Raftiline[®] HP ausgetauscht werden. Diese zeigen nach 3 min Knetzeit eine max. Deformation von 49,3%. Eine Knetdauer von 5 min führt zu einem geringen Anstieg der max. Deformation auf 54,4%, wohingegen eine weitere Verlängerung der Knetzeit auf 10 min zu einem Sinken der max. Deformation auf 34,8% führt. Teige, die einen Austausch von 6 Teilen Weizenmehl mit Raftiline[®] GR aufweisen, zeigen nach 3 min Kneten eine max. Deformation von 316%. Diese erhöht sich nach einer Knetzeit von 5 min auf 343%. Eine Knetzeiterhöhung auf 10 min führt zu einem Rückgang der max. Deformation auf 156%.

Der letzte Abschnitt der Versuchsreihe beschreibt den Zusatz von 10% Saccharose und 1,5% NaCl zu den Mischungen. So sind die Ergebnisse der max. Deformation und der max. Kriechkomplianz in **Abb. 3.5.4.2.d** aufgeführt. Auch der Zusatz beider Zutaten führt bei Teigen aus reinem Weizenmehl bei Knetzeiten von 3 und 5 min zu niedrigen max. Deformationen. Nach 3 min Knetdauer beträgt die max. Deformation 17,4% und nach 5 min 18,3%. Erst die Verlängerung der Knetdauer auf 10 min führt zu einem stärkeren Anstieg der max. Deformation auf 57,6%. Ähnliche Änderungen der max. Deformationen weisen die Teige auf, bei denen 6 Teile Weizenmehl durch Weizenstärke ersetzt wird. Fügt man diesen Teigen noch 10% Saccharose und 1,5% NaCl zu, ist eine max. Deformation nach 3 min Knetzeit von 16,3%, nach 5 min Knetdauer von 19,3% und bei einer Verdopplung der Knetzeit auf 10 min von 66,3% messbar. Teige, bei denen 6 Teile Weizenmehl durch Raftiline[®] HP ausgetauscht werden, verzeichnen einen kontinuierlichen Abfall der max. Deformation bei Knetzeitverlängerung. Die max. Deformation beträgt nach 3 min Knetdauer und einem Zusatz an NaCl und Saccharose 170%. Sie sinkt nach einer Knetzeit von 5 min auf 58,8% und nach einer Knetzeit von 10 min auf 22,2%. Der Zusatz von 10% Saccharose und 1,5% NaCl führt jedoch bei Teigen mit Raftiline[®] GR zu sehr hohen max. Deformationen. So beträgt sie nach einer Knetzeit von 3 min 530% und steigt nach 5 min Kneten auf 628%. Erst eine Verlängerung der Knetdauer auf 10 min führt zu einem Abfallen der Deformation auf 439%, die aber trotzdem noch sehr hoch ist.

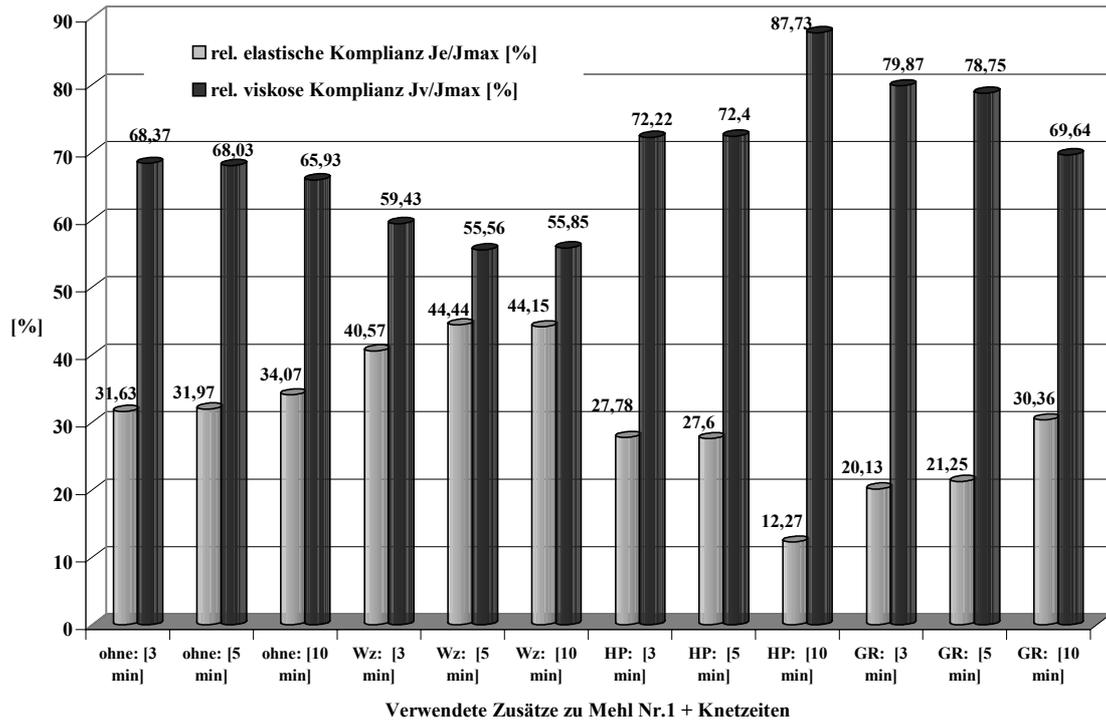


Abb. 3.5.4.2.e Rel. elastische Komplianz J_e/J_{max} [%] und rel. viskose Komplianz J_v/J_{max} [%] bei Modellteigen aus Weizenmehl Nr.1 und Austausch von jeweils 6 Teilen Weizenmehl durch Weizenstärke, Raftiline® GR oder HP, aber ohne Zusatz weiterer Zutaten

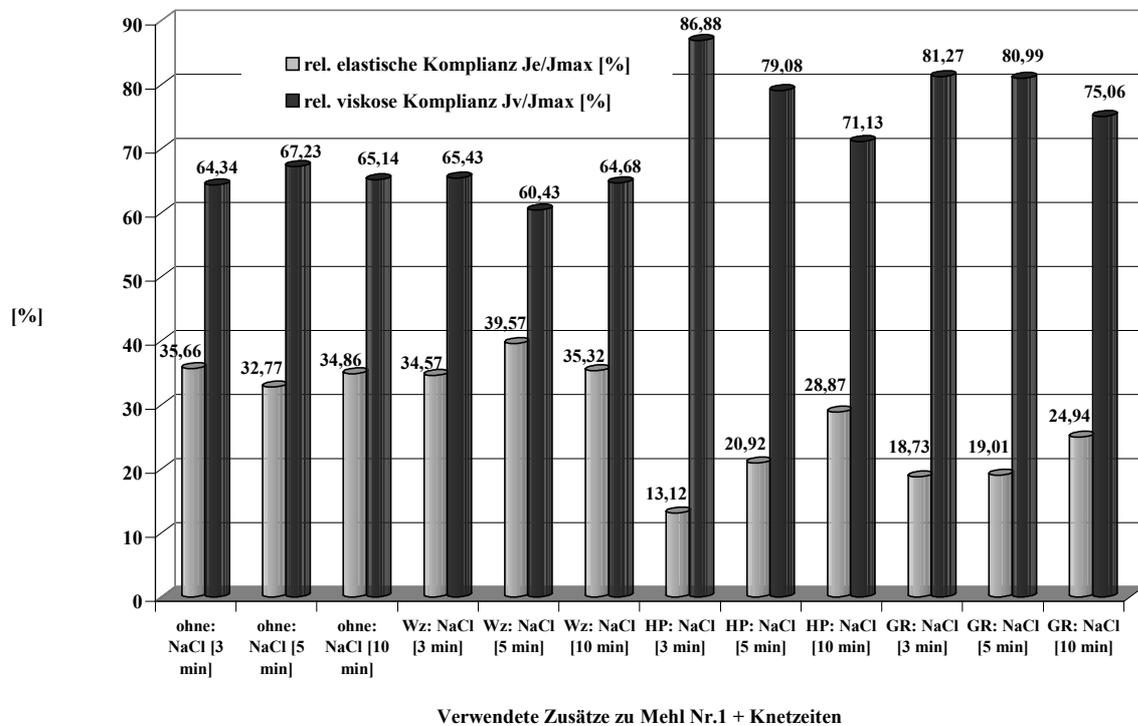


Abb. 3.5.4.2.f Rel. elastische Komplianz J_e/J_{max} [%] und rel. viskose Komplianz J_v/J_{max} [%] bei Modellteigen aus Weizenmehl Nr.1 und Austausch von jeweils 6 Teilen Weizenmehl durch Weizenstärke, Raftiline® GR oder HP und Zusatz von 1,5% NaCl

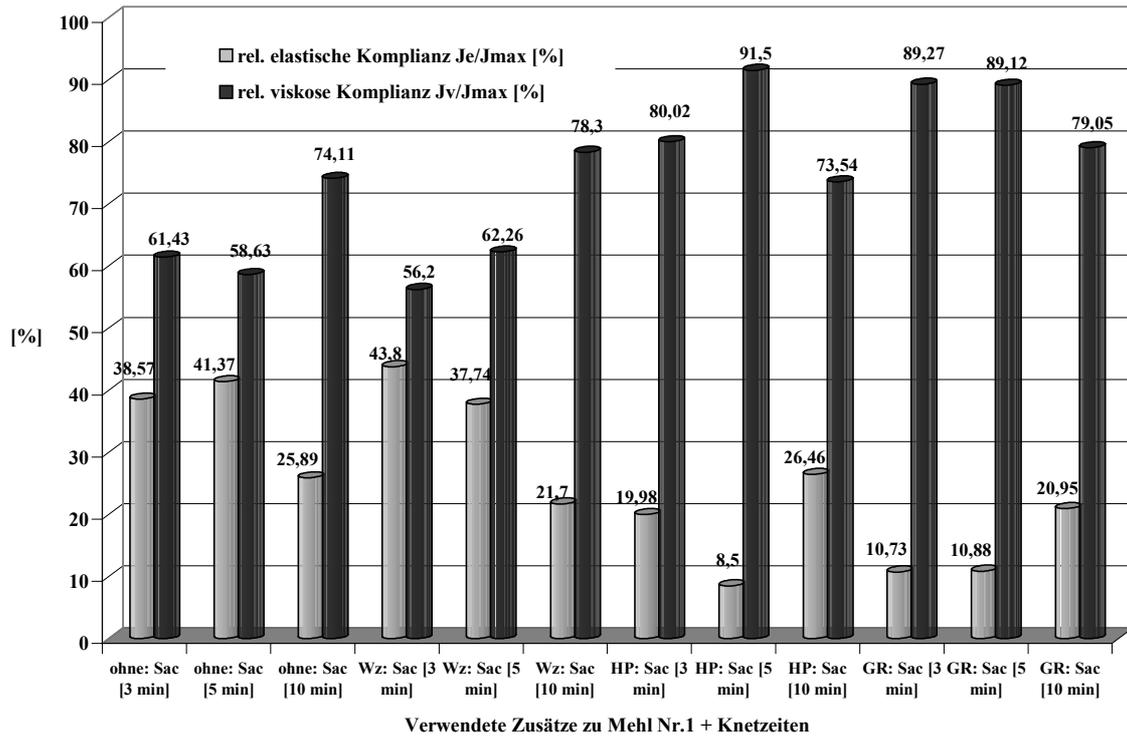


Abb. 3.5.4.2.g Rel. elastische Kompliance J_e/J_{max} [%] und rel. viskose Kompliance J_v/J_{max} [%] bei Modellteigen aus Weizenmehl Nr.1 und Austausch von jeweils 6 Teilen Weizenmehl durch Weizenstärke, Raftiline® GR oder HP und Zusatz von 10,0% Saccharose

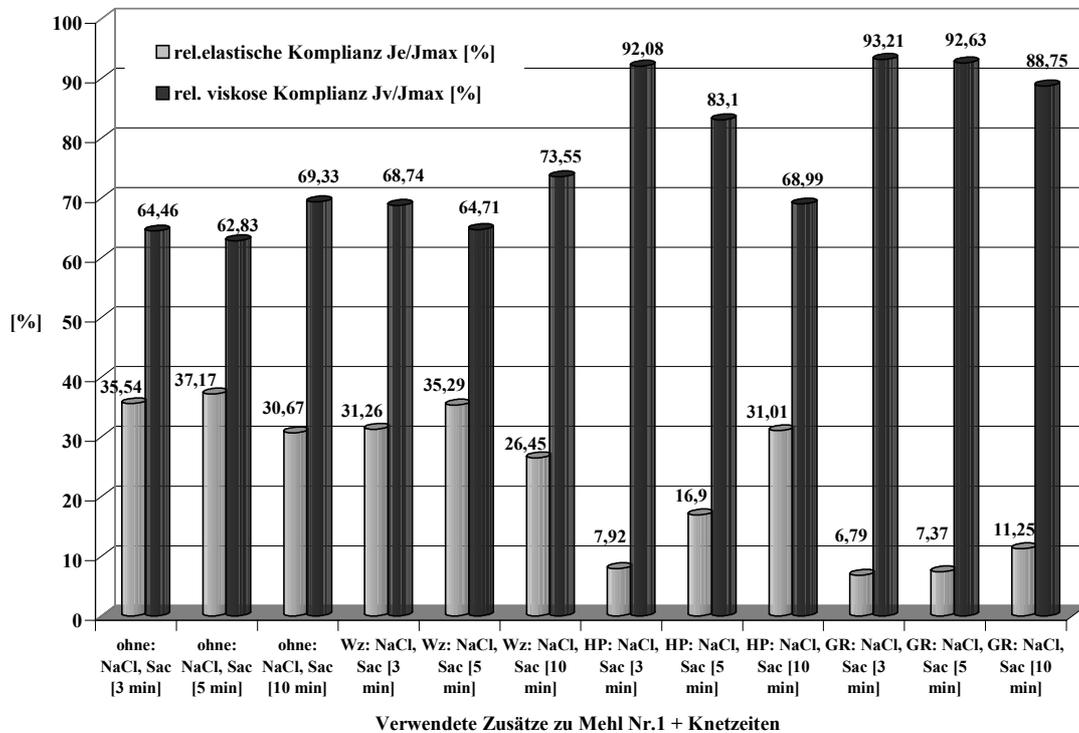


Abb. 3.5.4.2.h Rel. elastische Kompliance J_e/J_{max} [%] und rel. viskose Kompliance J_v/J_{max} [%] bei Modellteigen aus Weizenmehl Nr.1 und Austausch von jeweils 6 Teilen Weizenmehl durch Weizenstärke, Raftiline® GR oder HP und Zusatz von 1,5% NaCl und 10,0% Saccharose

Die **Abb. 3.5.4.2.e bis h** geben die rel. elastische Komplianz J_e/J_{max} [%] sowie die rel. viskose Komplianz J_v/J_{max} [%] wieder. Beide stehen in dem Verhältnis zu einander, dass die Summe beider Parameter jeweils 100% ergeben muss. Sinkt also die rel. elastische Komplianz steigt gleichzeitig die rel. viskose Komplianz. In den folgenden Darstellungen wird daher immer nur auf eine Messgröße eingegangen. Die Ergebniswerte werden auf- bzw. abgerundet

So zeigt die **Abb. 3.5.4.2.e** neben der rel. elastischen Komplianz die rel. viskose Komplianz bei Teigen aus Mehl Nr.1 (Mischungen) ohne weitere Zusätze. Teige aus reinem Weizenmehl weisen eine rel. elastische Komplianz nach 3 min Kneten von 31,6% auf. Diese steigt nach einer Knetdauer von 5 min auf 32,0% und nach 10 min Kneten auf 34,1% an. Bei einem Austausch mit Weizenstärke beträgt die rel. elastische Komplianz nach 3min Kneten 40,6%. Eine Knetzeit von 5 min führt zu einer rel. elastischen Komplianz von 44,4%, wogegen sie nach 10 min Kneten wieder auf 44,2% fällt. Teige mit einem Austausch an Raftiline[®] HP weisen nach einer Knetzeit von 3 min eine rel. elastische Komplianz von 27,8% auf. Sie sinkt auf 27,6% bei einer Knetdauer von 5 min und fällt bei einem 10 minütigen Knetprozess auf 12,3% ab. Anders verhalten sich Teige, denen Raftiline[®] GR zugefügt wird. Eine Knetzeit von 3 min führt zu einer rel. elastischen Komplianz von 20,1%. Verlängert man die Knetdauer auf 5 min, so steigt die rel. elastische Komplianz auf 21,3% an, und bei einem Knetprozesses von 10 min beträgt sie 30,4%.

Abb. 3.5.4.2.f gibt die Ergebnisse der Messungen an Modellgemischen/Teigen wieder, die unter Zusatz von 1,5% NaCl hergestellt werden. So weisen Teige aus reinem Weizenmehl nach 3 min Knetzeit eine rel. elastische Komplianz von 35,7% auf. Sie sinkt auf 32,8% nach 5 min und steigt nach einem 10 minütigen Knetprozess wieder auf 34,9% an. Ein etwas anderes Verhalten zeigen dagegen Teige mit Zusatz von 1,5% NaCl, bei denen 6 Teile Weizenmehl durch Weizenstärke ersetzt werden. Die rel. elastische Komplianz beträgt nach 3 min Kneten 34,6%. Sie steigt nach einer Knetdauer von 5 min auf 39,6% an und fällt jedoch nach 10 min Kneten wieder auf 35,3%. Teige, bei denen 6 Teile Weizenmehl durch Raftiline[®] HP ausgetauscht werden, weisen nach einem 3 min Knetprozess eine rel. elastische Komplianz von 13,1% auf. Diese steigt bei einer Knetdauer von 5 min auf 20,9% und nach 10 min Kneten auf 28,9% an. Ein Austausch von 6 Teilen Weizenmehl durch Raftiline[®] GR und dem Zusatz von 1,5% NaCl führt dazu, dass die rel. elastische Komplianz nach 3 min Kneten 18,7% beträgt. Eine Verlängerung der Knetdauer auf 5 min führt zu einer rel. elastischen Komplianz von 19,0% und eine weitere Erhöhung der Knetzeit auf 10 min zu 24,9%.

Die Änderungen der rel. elastischen Komplianz sowie der rel. viskosen Komplianz bei Teigen aus den Mischungen unter Zusatz von 10% Saccharose sind in **Abb. 3.5.4.2.g** dargestellt. Der Zusatz von 10% Saccharose führt bei Teigen aus reinem Weizenmehl nach 3 min Kneten zu einer rel. elastischen Komplianz von 38,6%. Sie steigt nach 5 min Knetzeit auf 41,4%, und die Verlängerung des Knetprozesses auf 10 min führt zu einer rel. elastischen Komplianz von nur noch 25,9%. Teige bei denen 6 Teile Weizenmehl durch Weizenstärke ersetzt werden und 10% Saccharose zugefügt sind, zeigen nach 3 min Kneten eine rel. elastische Komplianz von 43,8%. Diese sinkt nach einem Knetprozess von 5 min auf 37,7% und nach 10 min Knetzeit auf 21,7%. Anders verhalten sich Teige, bei denen 6 Teile Weizenmehl durch Raftiline[®] HP ausgetauscht werden. Nach 3 min Knetzeit weisen diese eine rel. elastische Komplianz von 20,0% auf. Durch Verlängerung des Knetprozesses auf 5 min sinkt sie auf 8,5% und steigt jedoch wieder auf 26,5% bei einer weiteren Erhöhung der Knetdauer auf 10 min. Die rel. elastische Komplianz beträgt bei Teigen, die einen Austausch von Weizenmehl durch Raftiline[®] GR aufweisen, nach 3 min Knetzeit 10,7%. Sie nimmt nach einer Knetdauer von 5 min auf 10,9% zu und erhöht sich nach 10 min Kneten auf 21,0%.

In **Abb. 3.5.4.2.h** werden Änderungen der rel. elastischen Komplianz und der rel. viskosen Komplianz bei Teigen beschrieben, denen 1,5% NaCl und 10% Saccharose zugefügt sind. Bei Teigen aus reinem Weizenmehl führt der Zusatz beider Zutaten und der Verlängerung der Knetzeit von 3 auf 5 min zu einem Anstieg der rel. elastischen Komplianz von 35,5% auf 37,2%. Verlängert man jedoch die Knetdauer auf 10 min, so sinkt die rel. elastische Komplianz auf 30,7%. Teige, bei denen Weizenmehl durch Weizenstärke ausgetauscht werden, steigt nach einer Erhöhung der Knetzeit von 3 min auf 5 min, die rel. elastische Komplianz von 31,3% auf 35,3%. Eine weitere Verlängerung des Knetprozesses auf 10 min führt dazu, dass sie auf 26,5% sinkt. Teige, bei denen 6 Teile Weizenmehl durch Raftiline® HP ausgetauscht werden, verzeichnen einen kontinuierlichen Anstieg der rel. elastischen Komplianz. Sie beträgt nach einem 3 min Knetprozess 7,9% und steigt nach 5 min Kneten auf 16,9% an. Bei einer Verlängerung der Knetzeit auf 10 min erhöht sich die rel. elastische Komplianz dann auf 31,0%. Der Zusatz von 10% Saccharose und 1,5% NaCl führt bei Teigen mit Raftiline® GR ebenfalls bei Verlängerung der Knetzeit zu einem Ansteigen der rel. elastischen Komplianz. So zeigen Teige nach 3 min Kneten eine sehr geringe rel. elastische Komplianz von 6,8%. Sie erhöht sich nach 5 min Knetzeit auf 7,4% und nach 10 min Kneten auf 11,3%.

3.5.4.3 Kriech-Erholungsmessungen an realen Teigen mit Inulinzusatz

Die Kriech-Erholungsmessungen an unterschiedlichen Teigsystemen mit Inulinzusatz werden durch Untersuchungen an realen Teigen abgeschlossen. Zur Herstellung dieser Hefefeinteige werden neben Weizenmehl Nr.1, Weizenstärke, Wasser, Raftiline® GR und HP ebenfalls Saccharose, NaCl, Backhefe, Erdnussfett und Ascorbinsäure verwendet. Gemäß Versuchsplan **Kap. 6.3.3.3** werden die 16 Hefe(fein)teige erstellt. Gleichzeitig werden die so hergestellten Teige in Backversuchen ausgewertet, und die Ergebnisse sind in **Kap. 3.6** aufgeführt.

Der Versuchsablauf teilt sich in drei Bereiche auf, die nach folgenden Gesichtspunkten eingeteilt werden:

- **Versuchsreihe Nr.V1:** Teigmuster hergestellt unter standardisierter Knetzeit und eingeschränkter Wasserzugabe – **Kap. 6.3.2.4.2 (3a)**
- **Versuchsreihe Nr.V2:** Teigmuster hergestellt unter standardisierter Knetzeit und optimaler Wasserzugabe – **Kap. 6.3.2.4.2 (3b)**
- **Versuchsreihe Nr.V3:** Teigmuster hergestellt unter optimierter Knetzeit und optimaler Wasserzugabe – **Kap. 6.3.2.4.2 (3c)**

Für die Auswertung der Kriech-Erholungsmessungen an realen Hefefeinteigen werden wiederum die max. Deformation [%], die max. Kriechkomplianz J_{max} [%] sowie die rel. elastische Komplianz J_e/J_{max} [%] und die rel. viskose Komplianz J_v/J_{max} [%] genutzt. Die gesamten Messdaten sowie weitere graphische Darstellungen der Versuchsreihen sind im **Anhang Kap. 9.5.3.3.1** aufgeführt. Die oben genannten Messdaten werden mittels Statistik-Software ausgewertet und zunächst graphisch dargestellt. Die Auswertung der Messdaten wird gemäß statistischer Auswertungssoftware über Konturenplots mit quadratischer Funktion dargestellt. So wird auf der X-Achse jeweils der verwendete Inulintyp mit den einzusetzenden Teilen aufgetragen. Der variierende Fettgehalt, in Teilen, wird auf der Y-Achse aufgetragen. Die farblich unterschiedlichen Flächen-/Konturenverläufe geben dann den zu berechnenden dritten Parameter wieder. Die Regressionsgleichungen sind im **Anhang Kap. 9.5.3.3.2**

dargestellt. Durch die Konturenplots ist es möglich, auch Daten über Teigzusammensetzungen zu erhalten, die nicht im Versuchsplan enthalten sind.

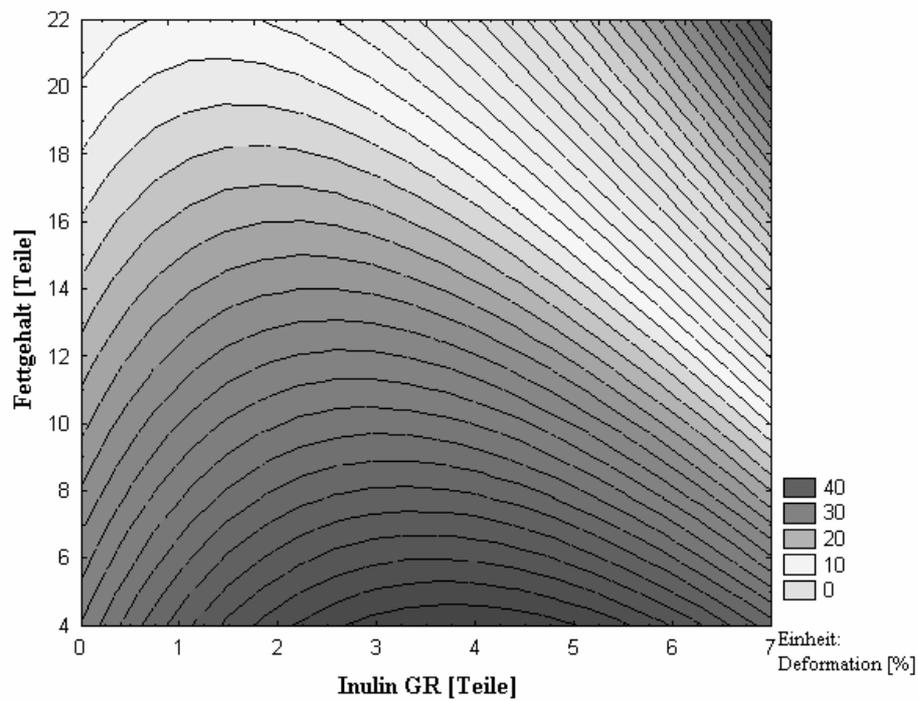


Abb. 3.5.4.3.a Konturenplot: max. Deformation [%] bei Hefefeinteigen der Versuchsreihe Nr.V1 mit Zusatz an Raftiline® GR

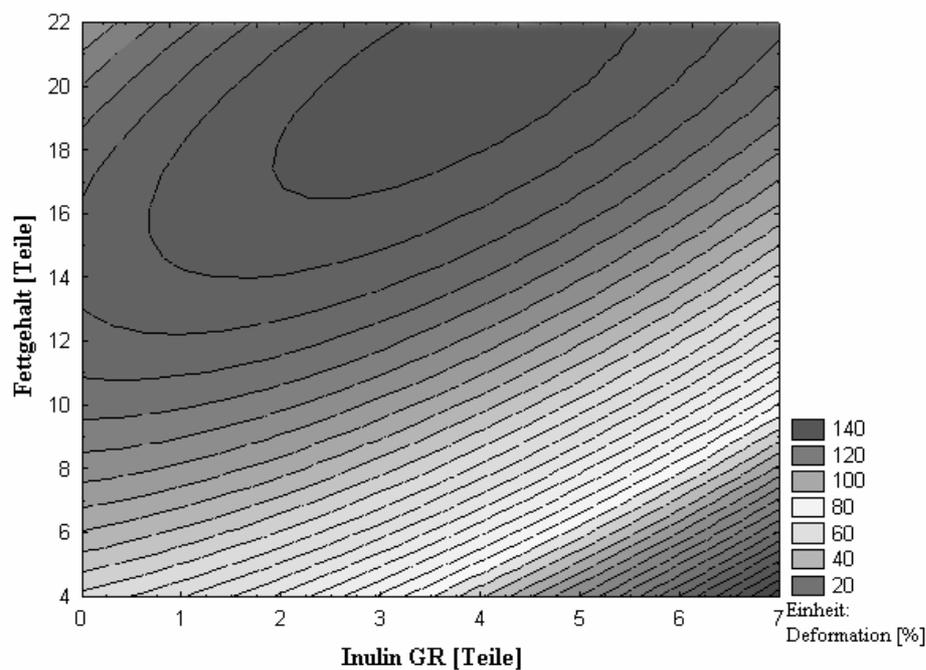


Abb. 3.5.4.3.b Konturenplot: max. Deformation [%] bei Hefefeinteigen der Versuchsreihe Nr.V2 mit Zusatz an Raftiline® GR

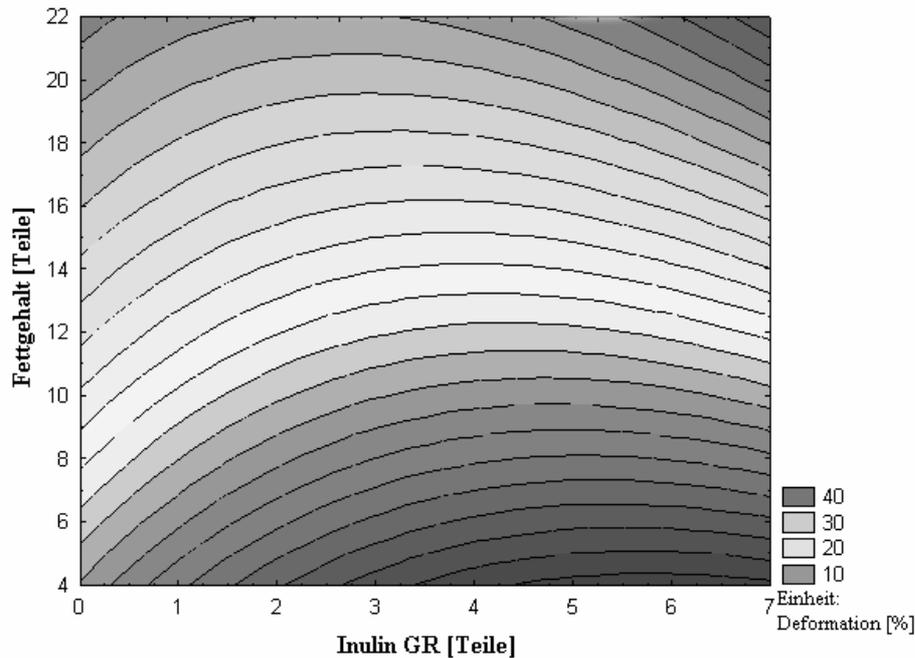


Abb. 3.5.4.3.c Konturenplot: max. Deformation [%] bei Hefefeinteigen der Versuchsreihe Nr.V3 mit Zusatz an Raftiline® GR

Die Darstellungen der max. Kriechkomplianz J_{\max} [1/Pa] der Versuchsreihen Nr.V1 bis V3 sind im **Anhang Abb. 9.5.3.3.1.e bis g** aufgeführt. Die Änderungen der max. Kriechkomplianz sind gleich den Veränderungen der max. Deformation und werden deshalb nicht gesondert aufgeführt.

Die **Abb. 3.5.4.3.a bis c** stellen die Veränderungen der max. Deformation [%] durch Modifizierung der Herstellungsbedingungen bei Hefefeinteigen mit Zusatz an Raftiline® GR dar. **Abb. 3.5.4.3.a** gibt die berechnete max. Deformation der Versuchsreihe Nr.V1 mit Zusatz an Raftiline® GR wieder. Die Teige dieser Versuchsreihe werden unter standardisierten Bedingungen hergestellt (**Kap. 6.3.2.4.2 (3a)**). So zeigen Teige mit einem Anteil an 6 bis 7 Teilen Raftiline® GR und mind. 18 Teilen Fett eine minimalste Deformation. Sie sind praktisch nicht deformierbar. Teige mit einem Anteil an 2 bis 4 Teilen Raftiline® GR und mind. 18 Teilen Fett zeigen dagegen eine geringe Deformation von 10% bis 15%. In der Versuchsreihe Nr.V1 ist somit der Einfluss des Inulin GR, bezogen auf die Messung der max. Deformation, sehr groß.

Die max. Deformation bei Teigen mit optimaler Wasserzugabe aber standardisierter Knetzeit (**Kap. 6.3.2.4.2 (3b)**) und Zusatz an Raftiline® GR, Versuchsreihe Nr.V2, wird in **Abb. 3.5.4.3.b** beschrieben. Hierbei wird deutlich, dass die eingesetzte Menge von 6 bis 7 Teilen Inulin GR und ein Fettgehalt von 4 bis 6 Teilen zu sehr weichen Teigen mit hoher max. Deformation führen. Ein Minimum der max. Deformation weisen Teige mit hohen Fettgehalten von 18 bis 22 Teilen und 2 bis 5 Teilen an Inulin GR auf. Die graphische Darstellung macht deutlich, dass auch bei optimaler Wasserzugabe, aber standardisierter Knetzeit, die eingesetzte Menge an Raftiline® GR erheblichen Einfluss auf die max. Deformation der Teige ausübt.

Die **Abb. 3.5.4.3.c** zeigt die max. Deformation bei Teigen mit Zusatz an Raftiline® GR der Versuchsreihe Nr.V3. Die Teige werden gemäß **Kap. 6.3.2.4.2 (3c)** mit optimierten Prozessbedingungen hergestellt. Die graphische Darstellung lässt erkennen, dass der Einfluss von Raftiline® GR durch die optimierten Parameter, besonders durch die verlängerten Knetzeiten, auf die max. Deformation bei Hefefeinteigen minimiert wird. Die zugesetzte Fettmenge hat

einen deutlich größeren Einfluss auf die max. Deformation der Hefefeinteige als Inulin GR. So beträgt z.B. die max. Deformation bei Teigen mit 3 bis 7 Teilen Raftiline® GR und 5 Teilen Fett 40%. Lediglich niedrige Gehalte an Inulin GR (0 bis 2 Teile) zeigen verstärkt Auswirkungen auf die max. Deformation.

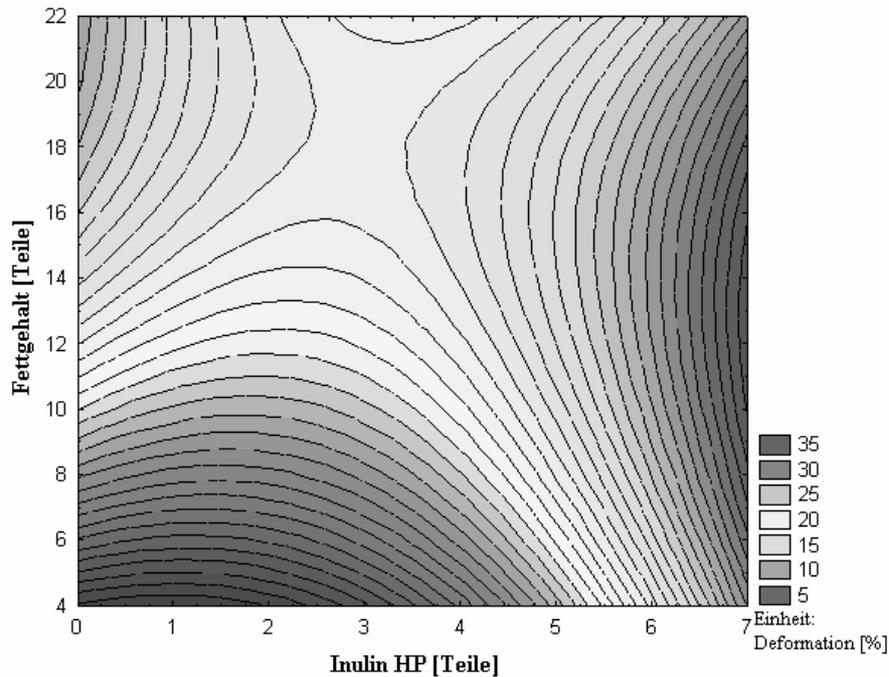


Abb. 3.5.4.3.d Konturenplot: max. Deformation [%] bei Hefefeinteigen der Versuchsreihe Nr.V1 mit Zusatz an Raftiline® HP

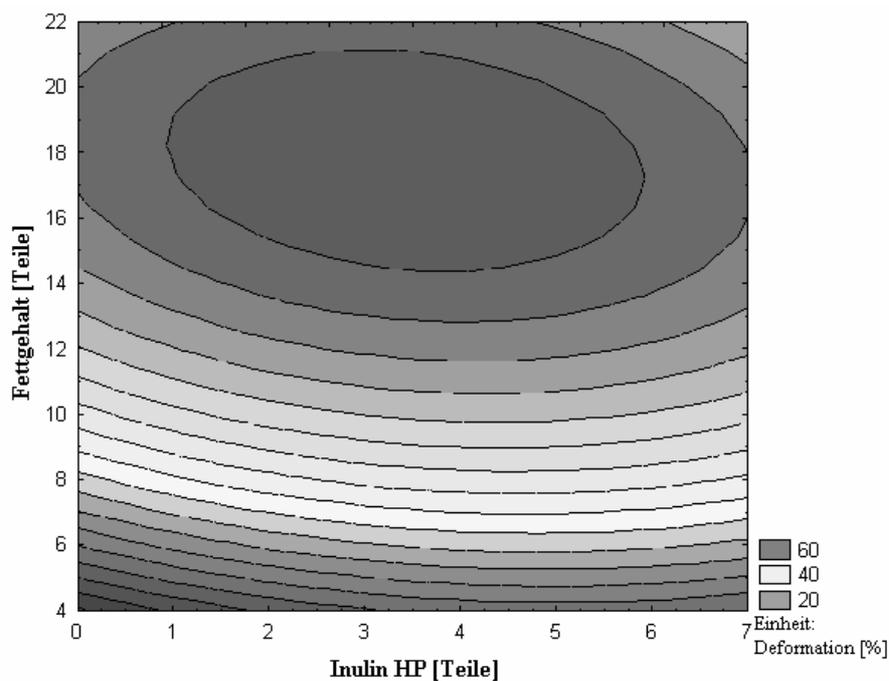


Abb. 3.5.4.3.e Konturenplot: max. Deformation [%] bei Hefefeinteigen der Versuchsreihe Nr.V2 mit Zusatz an Raftiline® HP

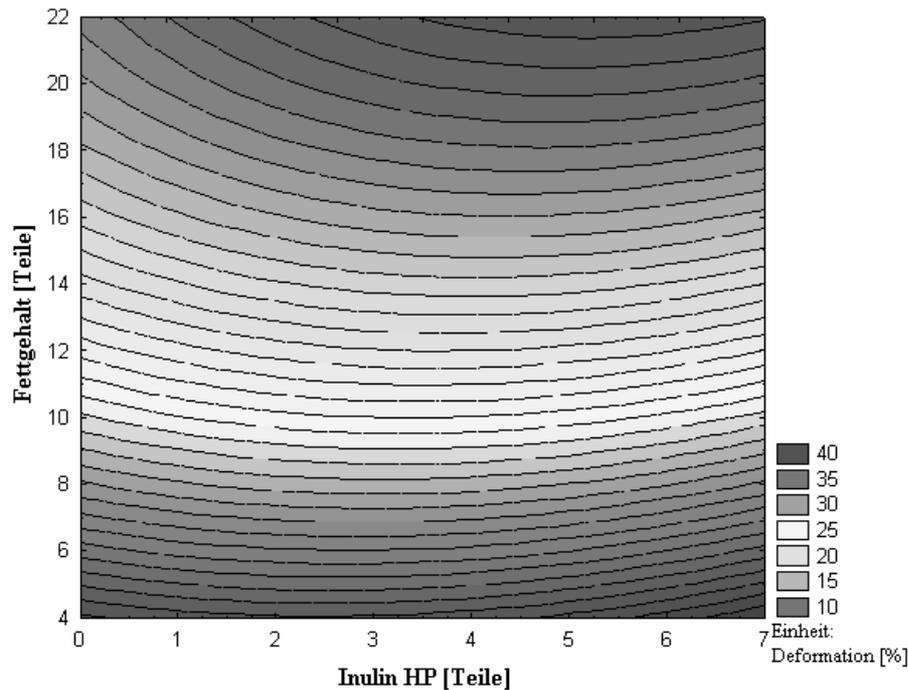


Abb. 3.5.4.3.f Konturenplot: max. Deformation [%] bei Hefefeinteigen der Versuchsreihe Nr.V3 mit Zusatz an Raftiline[®] HP

Die Darstellungen der max. Kriechkomplianz J_{max} [1/Pa] bei Teigen mit Zusatz an Inulin HP der Versuchsreihen Nr.V1 bis V3 sind ebenfalls im **Anhang Kap. 9.5.3.3.1 Abb. 9.5.3.3.1.h-j** aufgeführt.

Die Veränderungen der max. Deformation [%], durch Modifizierung des Herstellungsprozesses von Hefefeinteigen mit Zusatz an Raftiline[®] HP sind in den **Abb. 3.5.4.3.d bis f** dargestellt. So werden in **Abb. 3.5.4.3.d** die max. Deformationen der Versuchsreihe Nr.V1, Teige die mit standardisierten Prozessbedingungen hergestellt werden (**Kap. 6.3.2.4.2 (3a)**), aufgeführt. Teige mit 6 bis 7 Teilen Inulin HP zeigen bei Fettgehalten von 4 bis 22 Teilen sehr niedrige max. Deformationen von 5 bis 15%. Der Einfluss des zugesetzten Inulin überdeckt den Einfluss des Fettes. Ausschließlich bei Teigen mit geringen Gehalten an Inulin HP, 1 bis 3 Teile, und niedrigen Fettmengen, 4 bis 8 Teile, überwiegt der Einfluss. Hier betragen die max. Deformationen 30% bis 35%. Bei mittleren Konzentrationen an Fett von 10 bis 20 Teilen und 3 Teilen Raftiline[®] HP hebt sich der Einfluss einer Zutat gegenüber der anderen auf. Die Variation der Fettzugabe von 10 bis 20 Teilen hat bei Zusatz von 3 Teilen Inulin HP keine Auswirkungen auf die max. Deformation.

In **Abb. 3.5.4.3.e** wird die max. Deformation von Teigen mit optimierter Wasserzugabe, aber standardisierter Knetzeit (**Kap. 6.3.2.4.2 (3b)**) und Zusatz an Raftiline[®] HP, Versuchsreihe Nr.V2, dargestellt. Erkennbar ist hierbei, dass sich die Auswirkungen der Inulinmenge (HP), auf die max. Deformation, bei Fettgehalten von 4 bis 12 Teilen minimiert. Hefefeige mit niedrigen Fettzugaben von 4 bis 6 Teilen und 1 bis 7 Teilen Raftiline[®] HP weisen eine max. Deformation von ca. 60% auf. Dies lässt auf sehr weiche Teige schließen. Hefefeinteige mit 10 bis 14 Teilen Fett und 1 bis 7 Teilen Inulin HP sind deutlich fester in ihrer Konsistenz. Die max. Deformation liegt hier bei ca. 20%. Ein Minimum der max. Deformation weisen Teige auf, denen 16 bis 20 Teile Fett und 2 bis 6 Teile Raftiline[®] HP zugesetzt sind. Sie beträgt für Teige solcher Zusammensetzung ca. 5% – 10%.

Die **Abb. 3.5.4.3.f** gibt die max. Deformation von Teigen mit Zusatz an Raftiline[®] HP der Versuchsreihe Nr.V3 wieder. Die Teige werden gemäß **Kap. 6.3.2.4.2 (3c)** mit modifizierten Prozessparametern hergestellt. Bei Betrachtung der graphischen Darstellung wird deutlich,

dass die Auswirkungen von Raftiline® HP auf die max. Deformation durch die optimierten Herstellungsbedingungen bei Hefefeinteigen minimiert werden. Die eingesetzte Fettmenge zeigt einen weitaus größeren Einfluss auf die max. Deformation der Teige als der Zusatz von Inulin HP. So beträgt z.B. die max. Deformation von Teigen mit 1 bis 7 Teilen Raftiline® HP und 4 bis 7 Teilen Fett 35% bis 40%. Teige mit 8 bis 12 Teilen Fett und einer Inulinzugabe von 1 bis 7 Teilen weisen eine max. Deformation von 25% bis 30% auf. Erst Fettzusätze von mind. 13 Teilen führen zu einer max. Deformation von unter 20%, was auf eine festere Teigkonsistenz schließen lässt.

Nachfolgend wird auf die rel. elastische Komplianz wie auch auf die rel. viskose Komplianz eingegangen. Ebenfalls werden die viskose Komplianz sowie die elastische Komplianz im **Anhang Abb. 9.5.3.3.1.d** dargestellt.

Die Änderungen der rel. viskosen Komplianz gehen mit den Veränderungen der rel. elastischen Komplianz einher. Sinkt die rel. elastische Komplianz, steigt gleichzeitig die rel. viskose Komplianz an. Aus diesem Grund wird nicht noch mal differenziert auf diese Änderungen eingegangen

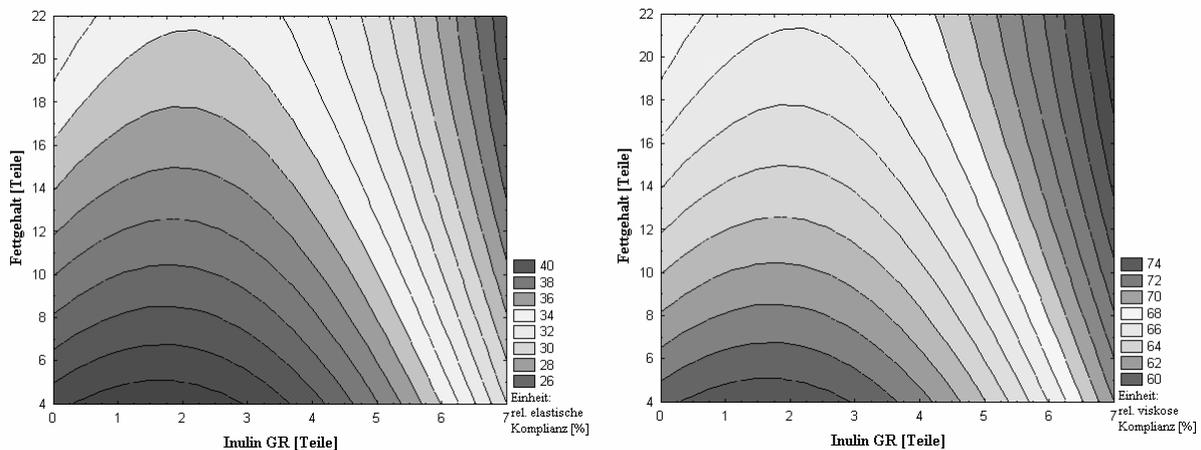


Abb. 3.5.4.3.g Konturenplot: rel. elastische Komplianz [%] sowie rel. viskose Komplianz [%] von Hefefeinteigen der Versuchsreihe Nr.V1 mit Zusatz an Raftiline® GR

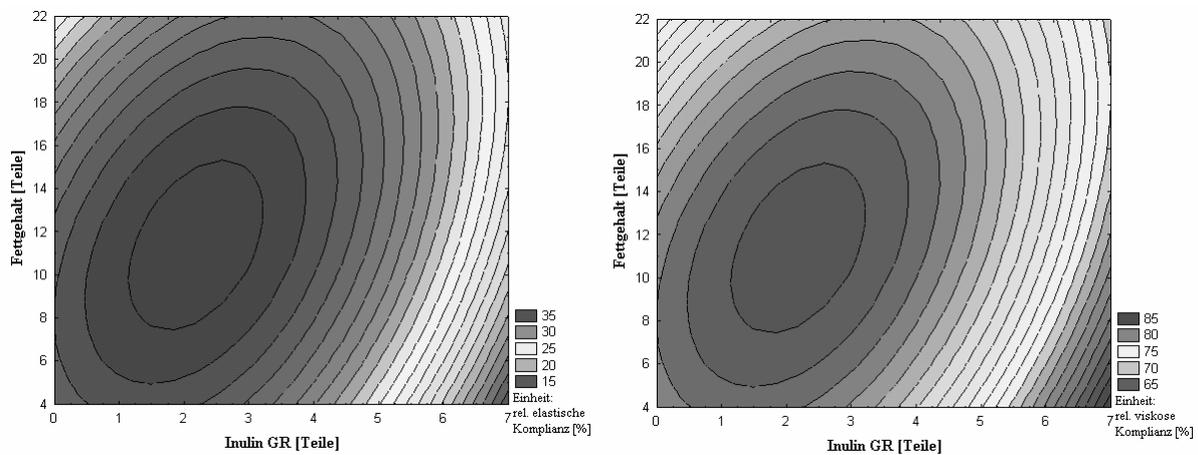


Abb. 3.5.4.3.h Konturenplot: rel. elastische Komplianz [%] sowie rel. viskose Komplianz [%] von Hefefeinteigen der Versuchsreihe Nr.V2 mit Zusatz an Raftiline® GR

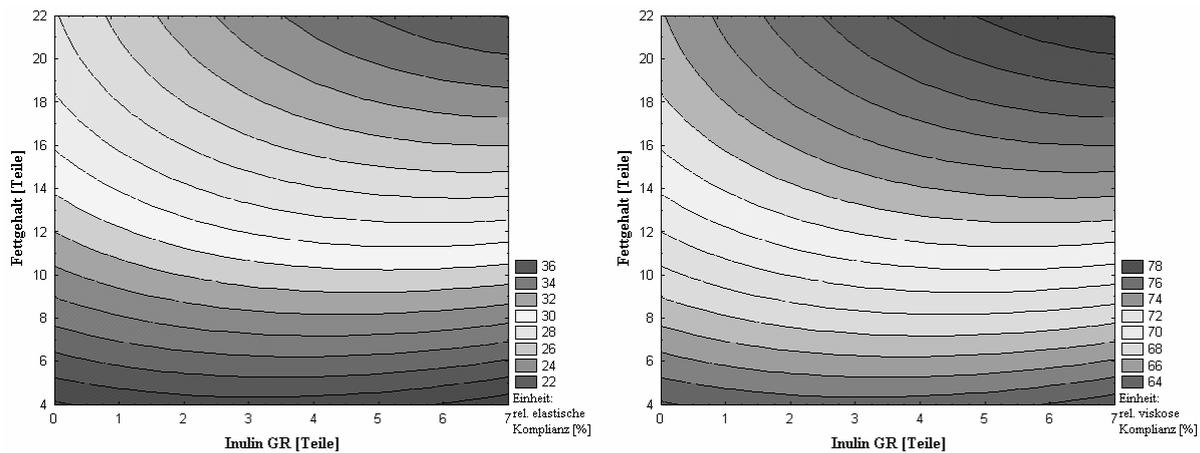


Abb. 3.5.4.3.i Konturenplot: rel. elastische Komplianz [%] sowie rel. viskose Komplianz [%] von Hefefeinteigen der Versuchsreihe Nr.V3 mit Zusatz an Raftiline[®] GR

In **Abb. 3.5.4.3.g** werden die rel. elastische Komplianz sowie die rel. viskose Komplianz bei Hefefeinteigen der Versuchsreihe Nr.V1 wiedergegeben. Deutlich erkennbar ist, dass sich bei einem Zusatz von 2 Teilen Inulin GR jeweils ein Maximum ausbildet. So zeigen Teige mit 2 Teilen GR und 4 Teilen Fett eine rel. viskose Komplianz von ca. 40%. Sie sinkt bis auf 34% bei Teigen mit 2 Teilen GR und 22 Teilen Fett. Teige mit 6 bis 7 Teilen Inulin GR und variabler Fettzugabe weisen dagegen nur sehr geringe Änderungen auf. So ergeben sich bei Teigen mit 7 Teilen Raftiline[®] GR und verschiedenen Fettzugaben eine konstante rel. elastische Komplianz von 27%. Die Versuchsreihe Nr.V1 lässt deutlich erkennen, dass der Einfluss auf die rel. elastische Komplianz wie auch auf die rel. viskose Komplianz sehr stark von der eingesetzten Inulinmenge abhängig ist.

Abb. 3.5.4.3.h gibt die rel. elastische Komplianz sowie die rel. viskose Komplianz von Teigen mit optimierter Wasserzugabe, aber standardisierter Knetzeit (**Kap. 6.3.2.4.2 (3b)**) und Zusatz an Raftiline[®] GR, der Versuchsreihe Nr.V2, wieder. Erkennbar ist hierbei ein Maximum der rel. elastischen Komplianz bei Teigen mit 2 Teilen Inulin und Fettzugaben von 8 bis 14 Teilen. Sie beträgt ca. 35%. Mit zunehmendem Gehalt an Raftiline[®] GR verringert sich der Einfluss der zugesetzten Fettmenge. Es kommt so nur noch zu geringen Änderungen der rel. elastischen wie auch viskosen Komplianz bei variabler Fettzugabe. Teige mit 6 Teilen Inulin GR weisen bei einer Fettzugabe von 4 Teilen eine rel. elastische Komplianz von 20% auf, die dann bei einer Zugabe von 20 Teilen Fett auf 25% ansteigt. Aus der **Abb. 3.5.4.3.h** wird deutlich, dass der Einfluss des eingesetzten Inulin GR gegenüber der zugesetzten Fettmenge stärker ausgeprägt ist.

Die Ergebnisse der rel. elastischen Komplianz als auch der rel. viskosen Komplianz von Teigen der Versuchsreihe Nr.V3 sind in **Abb. 3.5.4.3.i** dargestellt. Besonders deutlich erkennbar ist hierbei, dass sich der Einfluss der eingesetzten Inulinmenge auf die Änderungen der rel. elastischen wie viskosen Komplianz nur noch geringfügig auswirkt. Durch die Modifizierung der Herstellungsbedingungen sind die Auswirkungen der eingesetzten Fettmenge weitaus größer auf die rel. elastische wie viskose Komplianz der Teige als der Zusatz an Raftiline[®] GR. So beträgt z.B. die rel. elastische Komplianz von Teigen mit 1 bis 7 Teilen Raftiline[®] GR und 4 bis 8 Teilen Fett 34% bis 36%. Teige mit 9 bis 14 Teilen Fett und einer Inulinzugabe von 1 bis 7 Teilen weisen eine rel. elastische Komplianz von 28% bis 32% auf. Erst bei Fettzusätzen von 14 Teilen und mehr und einem Einsatz von 1 bis 2 Teilen Inulin GR überwiegt der Einfluss des eingesetzten Inulin. Jedoch zu einer Minimierung der Änderungen der rel. elastischen wie viskosen Komplianz kommt es beim Einsatz höherer Gehalte an Raftiline[®] GR.

Nachfolgend sind die rel. elastische Komplianz sowie die rel. viskose Komplianz bei Hefefeinteigen mit Zusatz an Raftiline[®] HP dargestellt (**Abb. 3.5.4.3.j-l**).

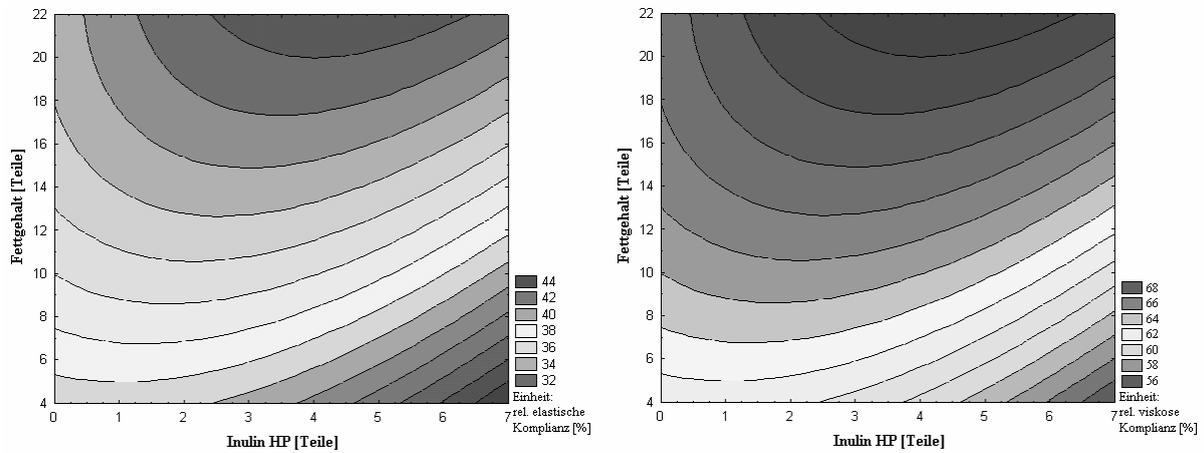


Abb. 3.5.4.3.j Konturenplot: rel. elastische Komplianz [%] sowie rel. viskose Komplianz [%] von Hefefeinteigen der Versuchsreihe Nr.V1 mit Zusatz an Raftiline[®] HP

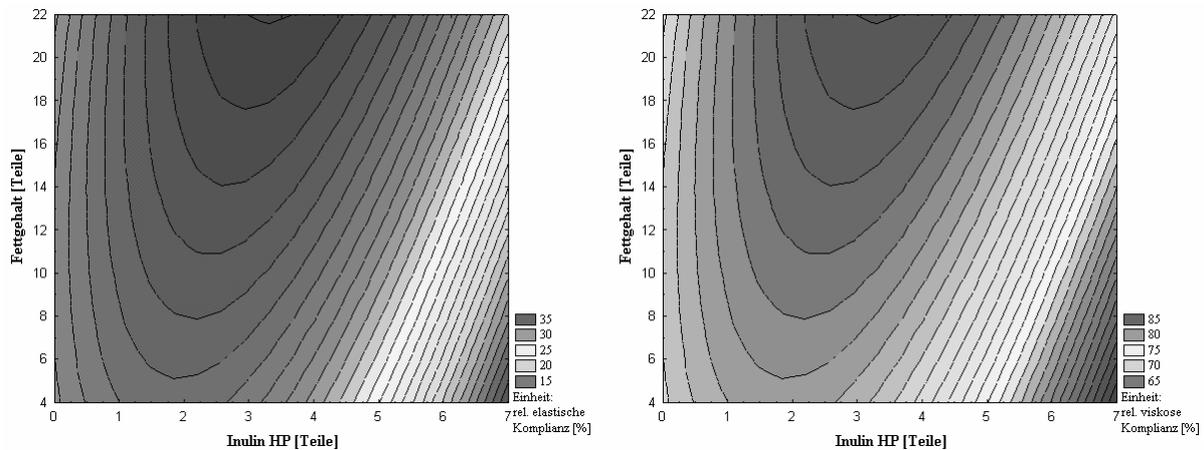


Abb. 3.5.4.3.k Konturenplot: rel. elastische Komplianz [%] sowie rel. viskose Komplianz [%] von Hefefeinteigen der Versuchsreihe Nr.V2 mit Zusatz an Raftiline[®] HP

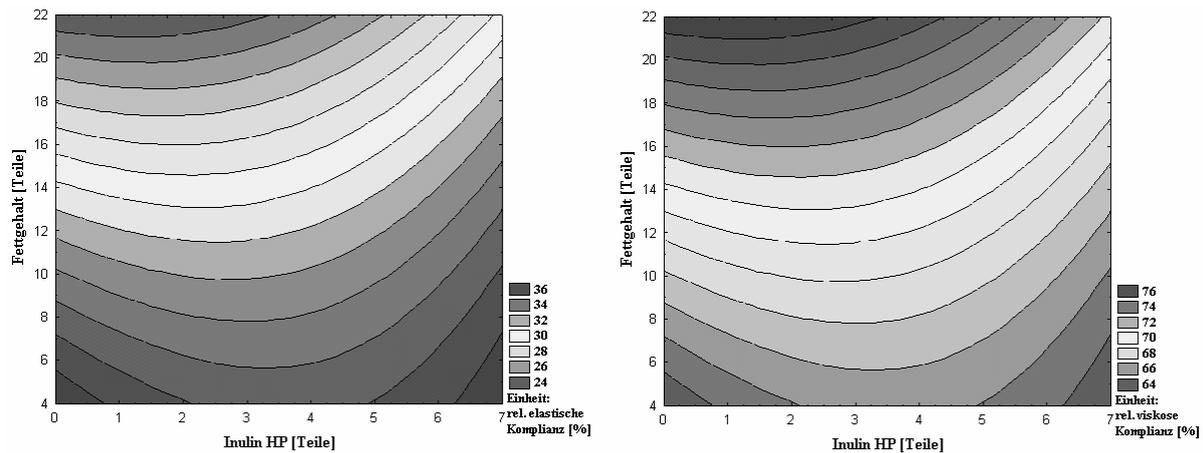


Abb. 3.5.4.3.i Konturenplot: rel. elastische Komplianz [%] sowie rel. viskose Komplianz [%] von Hefefeinteigen der Versuchsreihe Nr.V3 mit Zusatz an Raftiline[®] HP

Teige mit hohen Inulingehalten (5 - 7 Teile) und niedrigem Fettgehalt (4 bis 7 Teile) weisen eine hohe rel. elastische Komplianz von 42% bis 44% auf (**Abb. 3.5.4.3.j**).

Abb. 3.5.4.3.k gibt die rel. elastische wie viskose Komplianz von Teigen mit optimierter Wasserzugabe, aber standardisierter Knetzeit (**Kap. 6.3.2.4.2 (3b)**) und Zusatz an Raftiline[®] HP, der Versuchsreihe Nr.V2, wieder. Deutlich erkennbar ist ein Maximum der rel. elastischen Komplianz bei Teigen mit 3 Teilen Inulin HP und einem Fettgehalt von 18 bis 22 Teilen. Hierbei beträgt die rel. elastische Komplianz mind. 35%. Mit einer Zunahme des Gehaltes an Inulin HP im Teig verringert sich der Einfluss der zugesetzten Fettmenge auf die rel. elastische wie viskose Komplianz. Teige mit 5 Teilen Inulin HP und 4 Teilen Fett weisen eine rel. elastische Komplianz von 25% auf, die dann bei Zugabe von 20 Teilen Fett auf ca. 35% steigt.

Durch die weitere Optimierung der Herstellungsbedingungen wird der Einfluss der zugesetzten Menge an Raftiline[®] HP minimiert. Die Ergebnisse der rel. elastischen wie viskosen Komplianz dieser Versuchsreihe, Nr.V3, sind in **Abb. 3.5.4.3.i** dargestellt. Zusätze an Inulin HP von 5 Teilen und mehr führen bei gleichbleibender Fettmenge zu Veränderungen der rel. elastischen wie viskosen Komplianz.

3.5.5 Diskussion - Auswirkungen des prebiotischen Zusatzes „Inulin“ auf die Hefeteigherstellung

Parallel zur analytischen Beurteilung des Abbauverhaltens von Inulin im Verlauf des Herstellungsprozesses von Hefe(fein)teigen sind Erkenntnisse über die rheologischen Auswirkungen auf den Hefeteig notwendig.

Um das Ziel einer konstant verarbeitbaren Teigqualität zu erreichen, sind Kenntnisse über die Einflüsse der Rohware Mehl und insbesondere der Zusätze auf die Teigqualität unerlässlich.

Amend (1996) als auch *Weipert (1993)* beschreiben die Weizenteigbildung wie folgt: „So ist dem Kleberprotein eine Schlüsselrolle für die Teigbildung und die spätere Gebäckqualität zuzuordnen. Die Grundlage der Teigbildung ist die Klebrigkeit des zellulären Klebereiweißes und die daraus folgende Neigung der hydratisierten Mehlpartikel zu Agglomeration. Betrachtet werden verschiedene Phasen der Teigbildung, so entsteht am Anfang der Teigbildung eine klebrige, wenig kohäsive Masse, die sich nur schwer zu einer Teigmembran

dehnen lässt. Die zellulären Klebnetzwerke haften bereits zusammen, jedoch sind die Verbindungsstellen zwischen den einzelnen Netzwerken der Mehlpartikel noch nicht vollständig ausgeprägt. Durch ein Fortführen des Knetprozesses gewinnt der Teig allmählich Struktur, so dass sich ein solch unterkneteter Teig bereits zu einer, wenn auch dicken, Membran ausdehnen lässt. Die Verknüpfungen zwischen den zellulären Klebnetzwerken sind nun so belastbar, dass sich die Netzwerke selbst dehnen lassen. Ein solches durchgehendes festes Klebnetz wird als „aggregierter Kleber“ bezeichnet. Ein Teig im optimal gekneteten Zustand hat seine Klebrigkeit verloren und fühlt sich elastisch an. Er besitzt viskoelastische Eigenschaften. Eine Teigprobe lässt sich von Hand zu einer sehr dünnen, fast transparenten Masse dehnen.“

Diese ausführliche Beschreibung der verschiedenen Phasen der Teigbildung als auch der Ausbildung des Klebnetzwerkes dienen zum besseren Verständnis der rheologischen, physikalischen Ergebnisse sowie der sich anschließenden Diskussion.

Zur Charakterisierung der Auswirkungen des Inulinzusatzes auf die Weizenteigerstellung finden in der vorliegenden Arbeit vier unterschiedliche rheologische Messmethoden Anwendung: Glutenaggregations-Test, Farinographen-Messungen, Extensographen-Messungen und Kriech-Erholungsmessungen.

Die Ergebnisse aus dem Glutenaggregations-Test zeigten den Einfluss des Inulinzusatzes auf die Entwicklungsdauer des Klebnetzwerkes bzw. des Teiges. Durch Farinographen-Messungen ließen sich Teigstabilitäten beschreiben und mittels Extensographen die Dehnbarkeit/Belastbarkeit von Weizenteigen mit Inulin zeigen. Abgeschlossen wurden die Untersuchungen mit Kriech-Erholungsmessungen.

Die Ergebnisse aus dem Glutenaggregations-Test zeigten, dass es durch den Zusatz von Raftiline[®] GR als auch Raftiline[®] HP zu einer verzögerten Ausbildung des dreidimensionalen Klebnetzwerkes kommt. Anhand von drei sortenreinen Weizenmehlen der Type 550 (Nr.2-Nr.4) und einem Mischmehl (Nr.1) wurde durch einen gesteigerten Zusatz von Inulin GR und HP eine Verlängerung der Glutenaggregationszeit festgestellt. So zeigten die qualitativ hochwertigeren Sortenmehle Nr.2 und Nr.3 (E-Weizen – Bussard, A-Weizen – Batis) deutlich stärkere Veränderungen in der Kleberbildungsdauer als das Mehl Nr.4 (B-Weizen – Greif) und das Mischmehl Nr.1 (50% E-Weizen + 50% B-Weizen). Mehl Nr.3 (Batis –A Weizen) zeigte hierbei die höchste Kleberbildungsdauer und Mehl Nr.4 (Greif – B Weizen) zeigte die niedrigste Kleberbildungsdauer.

Zurückzuführen sind diese Unterschiede in der verlängerten Glutenaggregationszeit zum einen auf die sehr heterogen vorherrschende Kleberproteinqualität, als auch auf die Belastbarkeit der Mehle. Zum anderen kommt es durch den Zusatz des wasserlöslichen Ballaststoffes Inulin mit den Kleberproteinen zu einem Konkurrenzverhalten um das frei vorliegende Wasser. Die im Weizenmehl vorliegenden Kleberproteine sind durch den Eintrag von Knetenergie (Mixenergie) und freiem Wasser bestrebt, ein wie oben beschrieben, dreidimensionales Netzwerk aufzubauen. In Konkurrenz dazu stehen nun die wasserlöslichen Fructooligosaccharide, die ebenfalls eine möglichst hohe Löslichkeit in dem noch vorhandenen freien Wasser anstreben. Diese These des Konkurrenzverhaltens von Kleberproteinen und Fructooligosacchariden wird zum einen durch die deutlich verlängerte Kleberbildungsphase bestätigt. Zum anderen bestätigen die Verluste an Glutenaggregationsfläche die oben angeführte Aussage. Die Glutenaggregationsfläche wird als Maß für die gebildete Klebermenge in diesem Test angesehen. So machte z.B. die nicht mehr bestimmbare Glutenaggregationsfläche bei Mehl Nr.3 in Verbindung mit der stark verzögerten Kleberbildungszeit deutlich, dass durch den Einsatz von hier 6 Teilen Inulin es nur noch zu einer geringen Kleber- und somit auch Teigbildung kommt. Die Mehle Nr.1 und Nr.4 hingegen

erfahren durch den Zusatz von 6 Teilen Inulin (GR/HP) nur geringfügig verzögerte Glutenaggregationszeiten und somit niedrige Verluste in der Glutenaggregationsfläche. Diese ersten Erkenntnisse über eine verlängerte/verzögerte Kleber- bzw. Teigbildung durch den Zusatz von Inulin werden besonders durch die Kriech-Erholungsmessungen an Modell- und Realteigen bestätigt.

Die rheologischen Untersuchungen mittels Farinographen zeigten, dass bei Inulinzusatz Teige mit höherer Stabilität resultieren. Es wurde jedoch auch festgestellt, dass die Teige mit prebiotischem Zusatz und einer verringerten Wasserzugabe zu Festigkeit neigen. Das sogenannte „Nachsteifen“ von Teigen in der Ruhe- bzw. Gärphase ist jedoch nicht gewünscht. Gemäß den Farinogrammergebnissen benötigen Teige mit dem prebiotischen Zusatz „Inulin“ einen geänderten Herstellungsprozess, um den Einfluss dieses Zusatzes auf die Teigbildung deutlich zu verringern. So zeigen die rheologischen Erkenntnisse aus den Glutenaggregations-Tests sowie aus den Farinogramm-Bestimmungen, dass zur Erreichung einer konstant verarbeitbaren Teigqualität eine verlängerte Knetdauer nötig ist.

Wie die Farinogramm-Bestimmungen gehören auch die Extensogramm-Untersuchungen zu den klassischen Methoden der Teigrheologie und liefern wichtige Ergebnisse zur Charakterisierung von Inulinzusätzen während der Hefeteigherstellung. Die Ergebnisse der Extensogramm-Bestimmungen (Dehnenergie, Dehnwiderstand und Dehnbarkeit) lassen erkennen, dass der Zusatz des Prebiotikums Inulin zu unterschiedlichem Verhalten der Teige während der Teigruhephase führte. Es zeigte sich, dass Weizenteige mit Inulin, bei einer, gemäß Standardvorschriften, auf 500FE eingestellten und dadurch reduzierten Wasserzugabe, ein merkliches „Nachsteifen“ während der Teigruhephase aufwiesen. Das „Nachsteifen“ ist die Folge der reduzierten Wasserzugabe, da ein Konkurrenzverhalten zwischen den Fructooligosacchariden und den Kleberproteinen um das frei vorliegende Wasser auftritt. So benötigen besonders die Kleberproteine freies Wasser um quellen zu können. Dieser Quellvorgang ist jedoch verzögert, da während des Knetprozesses zuerst die Fructooligosaccharide in Lösung gehen und nicht ausreichend Wasser zur Quellung der Kleberproteine zur Verfügung steht. Die Wasserbindung der Kleberproteine verzögert sich somit und findet erst in Laufe der Teigruhephase statt, was ein sogenanntes „Nachsteifen“ der Teige zur Folge hat. Um dieses „Nachsteifen“ der Teige mit Inulinzusatz zu verhindern, ist es erforderlich, diesen Teigen mindestens dieselbe Wassermenge zu zuführen, wie sie auch von Teigen ohne Inulinzusatz benötigt wird.

Mit Hilfe von Kriech-Erholungsmessungen ist es möglich, Rückschlüsse auf die Deformierbarkeit bzw. Weichheit der Teige und die gegebene Verarbeitbarkeit zu ziehen.

Die Ergebnisse aus den Kriech-Erholungsmessungen lassen erkennen, dass bei einem Zusatz des Prebiotikums Inulin die Teige zum Erzielen einer konstant verarbeitbaren Teigqualität, eine um mind. 50% verlängerte Knetzeit benötigen. Besonders im Vergleich der Ergebnisse aus den Glutenaggregations-Tests und den ersten Kriech-Erholungsmessungen zeigte sich, dass der Zusatz von Inulin zu einer Mehrbelastung des eingesetzten Weizenmehles führte und sich diese individuell, je verwendetes Weizenmehl, auf die Teigqualität auswirkte. Einheitlich ist jedoch die benötigte Knetzeitverlängerung.

Um diese Erkenntnisse auf reale Teigsysteme zu übertragen, wurden Modellteige mit Kochsalz- und Saccharosezusatz hergestellt.

Die Ergebnisse der Versuchsreihe mit NaCl als Zusatz zu den Weizenmehl/Weizenstärke bzw. Weizenmehl/Inulin –Mischungen zeigten, dass eine Verlängerung der Knetzeit zu einer verstärkten Teigerweichung führt. Bei den Mischungen Weizenmehl/Inulin GR bzw. HP

wirkt sich der NaCl-Zusatz jedoch dahingehend positiv aus, dass es zu einer Abnahme der Deformierbarkeit der Teige mit ansteigender Knetzeitverlängerung kommt. Die Weizenteige mit Raftiline® HP und Kochsalz weisen nach der Knetzeit von 10 min eine verarbeitbare Teigkonsistenz auf. Im Gegensatz dazu stehen die Teige mit Raftiline® GR und Zusatz von NaCl; für diese Teige ist eine 10 minütige Knetdauer zur Erreichung einer verarbeitbaren Teigkonsistenz nicht ausreichend. Eine weitere Knetzeitverlängerung um mind. 3 min wäre nötig

In der Versuchsreihe der Kriech-Erholungsmessungen an Modellteigen wurden weiterhin NaCl und Saccharose zugefügt. Aus den dadurch gewonnenen Ergebnissen ging deutlich hervor, dass durch den Zusatz von Kochsalz und Saccharose bei Teigen aus Weizenmehl bzw. aus Weizenmehl und Weizenstärke eine Stabilisierung der Teige bei einer Knetdauererhöhung um 66% erzielt wurde. Erst mit einer weiteren Knetzeitverlängerung erfuhren die Teige eine deutliche Teigerweichung und somit in den Kriech-Erholungsmessungen eine höhere Deformation. Gegensätzlich dazu verhielten sich die Teige mit dem Zusatz an Inulin HP, Saccharose und NaCl. Nach der für Standardteige optimalen Knetzeit von 3 min wiesen diese Teige eine sehr weiche, nicht verarbeitbare Konsistenz auf, die sich in einer hohen Deformierbarkeit widerspiegelte. Erst die Knetzeitverlängerung auf über 10 min ließ eine akzeptable Teigqualität zu. Die Teige mit Inulin GR ließen zu keiner Zeit der Knetung eine verarbeitbare Teigkonsistenz zu.

Mit Hilfe dieser oben angeführten Ergebnisse können nun weitere Rückschlüsse gezogen sowie die zuvor gewonnenen Erkenntnisse zur Charakterisierung und dem Verhalten von Inulinzusätzen während der Teigherstellung bestätigt werden. Besonders durch den Zusatz weiterer, gängiger Teigzutaten wie dem NaCl und der Saccharose wurde deutlich, das Modellteige mit Inulin ebenfalls die gleiche Wassermenge aufnehmen können und trotzdem eine verarbeitbare Teigqualität erbringen wie Standardteige ohne prebiotischen Zusatz.

Es bleibt festzuhalten, dass es durch den Zusatz von Raftiline® GR als auch HP zu einem geänderten Teigbildungsverhalten bei der Herstellung von Weizenteigen, abweichend von den Aussagen von *Ahmend (1996)* und auch *Weipert (1993)*, kommt. So verzögert sich die Quellung der Kleberproteine und eine verlängerte Teigbildungsphase ist die Folge. Hervorgerufen wird diese Eigenschaft durch den Zusatz an löslichen Ballaststoffen, den Fructooligosacchariden. Sie befinden sich in Konkurrenz mit Kleberproteinen um das freie Wasser im System Teig. Die Fructooligosaccharide haben das Bestreben, sich in dem frei vorliegenden Wasser zu lösen und beeinträchtigen dadurch das Quellverhalten der Kleberproteine. Die gewünschte Teigstruktur kann sich während der festen Standardknetzeit nicht ausbilden, was auf das verzögerte Quellen der Kleberproteine und den noch nicht vollständig ausgebildeten Bindungen zwischen den Klebernetzwerken zurückzuführen ist. Um trotz gleichbleibender Wasserzugabe auch bei Teigen mit Inulin eine vollständig ausgebildete Teigstruktur zu erreichen, ist eine Veränderung der Knetdauer anzuführen. Die Veränderungen gestalten sich in der Form, das Teige mit bis zu 6 Teilen Raftiline® HP eine Knetzeitverlängerung bis zu 50% erhalten und Teige mit bis zu 6 Teilen Raftiline® GR eine Knetdauererhöhung bis zu 100%.

Diese gesammelten Erkenntnisse aus den Modellteigen wurden abschließend auf reale Teige übertragen. Es wurden gemäß eines Versuchsplanes (**Kap. 6.3.3**) 16 Teige unterschiedlichster Zusammensetzung hergestellt.

Die Ergebnisse zeigten, dass der Zusatz an Inulin sich nachhaltig auf die Teigkonsistenz auswirkte. Es kam mit ansteigendem Inulinzusatz (GR und HP) zu einer sehr niedrigen Deformierbarkeit der Teige, und somit sind die Teige als zu fest und nicht mehr verarbeitbar zu bezeichnen. Aus den Ergebnissen der Versuchsreihe Nr.V1 wurde deutlich, dass das Sinken der Deformierbarkeit der Teige nicht nur auf den Anstieg der Fettzugabe, sondern

auch auf die gesteigerte Inulinmenge zurückzuführen war. Dies gilt sowohl für den Zusatz an Raftiline® GR als auch für Raftiline® HP. Die Ergebnisse (Versuchsreihe Nr.V2) bestätigten, dass Teige mit Inulin (GR und HP) eine den Standardteigen angepasste Wasserzugabe benötigen. So zeigte sich bei Teigen mit einem Zusatz an Raftiline® GR, dass der Einfluss auf die Teigkonsistenz und somit auf die Deformierbarkeit besonders bei niedrigen Inulinzugaben von der dem Teig zugesetzten Fettmenge dominiert wird. Erst mit hohen Inulinzugaben verstärkte sich der Einfluss der Fructooligosaccharide auf die Deformierbarkeit der Teige wieder. Dagegen wird der Einfluss vom zugesetzten Erdnussfett bei Teigen mit Zusätzen an Raftiline® HP als ausschlaggebend für die Teigkonsistenz angesehen.

Mit der Anpassung der Knetzeit auf den jeweils zugesetzten Inulintyp sowie der entsprechenden Inulinmenge konnten (Versuchsreihe Nr.V3) praxiserhaltende und durchaus verarbeitbare Teige mit prebiotischem Zusatz hergestellt werden. Die Kriech-Erholungsmessungen zeigten, dass sich der Einfluss des Inulins (GR/HP) auf die Teigbeschaffenheit minimiert hat. Die Teigkonsistenz veränderte sich nun ausschließlich durch eine ansteigende Fettzugabe und nicht mehr durch den erhöhten Einsatz von Raftiline® GR oder Raftiline® HP. Bei Teigen mit mind. 10 Teilen Fett und mehr ist die Eigenschaft, ein vollständig ausgebildetes Klebnetzwerk zu bilden, eingeschränkt.

Aus den dargestellten rheologischen Untersuchungen können für den Einsatz von Raftiline® GR und HP folgende optimale Teigrezepturen (**Tab. 3.5.5.a**) und Herstellungsbedingungen (**Tab. 3.5.5.b**) vorgeschlagen werden:

Tab. 3.5.5.a Optimale Rezepturen für Hefe- und Hefefeinteige mit Inulinzusatz

Rezeptbestandteile	Hefeteig [g]	Hefefeinteig [g]	Hefefeinteig [g]	Schwerer Hefefeinteig [g]
Weizenmehl	940	940	940	940
Wasser	580	530	480	430
Weizenstärke*	60 bis 0	60 bis 0	60 bis 0	60 bis 0
Inulin* GR bzw. HP	0 bis 60	0 bis 60	0 bis 60	0 bis 60
Erdnussfett	50	100	150	200
Zucker	100	100	100	100
Kochsalz	12,5	12,5	12,5	12,5
Backhefe	60	60	60	60
Teigausbeute	1802,5	1802,5	1802,5	1802,5

*Die Rezepturbestandteile Inulin (Raftiline® GR bzw. HP) und Weizenstärke werden gegeneinander ausgetauscht. Werden z.B. 50 g Inulin HP (GR) verwendet, dürfen nur noch 10 g Weizenstärke zugesetzt werden, oder werden 20 g Inulin GR (HP) verwendet, so müssen noch 40 g Weizenstärke zugefügt werden.

Die Herstellung von Hefefeinteigen mit einem Zusatz von bis zu 60 g Inulin (GR oder HP) gemäß der optimalen Rezeptur und den in **Tab. 3.5.5.b** aufgeführten benötigten Knetzeiten führt zu optimalen Gebäcken.

Tab. 3.5.5.b Optimale Knetzeiten für einen Spiralknetzer

Teige	Knetdauer [s] in Geschwindigkeitsstufe I	Knetdauer [s] in Geschwindigkeitsstufe II
Teige mit 6 [T] Weizenstärke	60	300
Teige mit 1-2 [T] Inulin HP ¹	60	350
Teige mit 3-4 [T] Inulin HP ¹	60	400
Teige mit 5-6 [T] Inulin HP ¹	60	450
Teige mit 1-2 [T] Inulin GR ²	60	400
Teige mit 3-4 [T] Inulin GR ²	60	500
Teige mit 5-6 [T] Inulin GR ²	60	600

¹Inulin HP = Raftiline[®] HP

²Inulin GR = Raftiline[®] GR

3.6 Backtechnische Eigenschaften von Inulin in Hefe(fein)gebäcken

3.6.1 Wahl der Versuchsbedingungen

Die Beurteilung und Darstellung der backtechnischen wie auch sensorischen Eigenschaften von Inulinzusätzen in Hefe(fein)gebäcken beinhaltet im Wesentlichen die praktische Umsetzung der zuvor ermittelten Ergebnisse der rheologischen Untersuchungen (**Kap.3.5**).

Die nachfolgend durchgeführten Backversuche runden die gesamten zuvor ermittelten analytischen, rheologischen und fermentativen Ergebnisse ab und zeigen somit ein Gesamtbild des funktionellen Zusatzes „Inulin“ in dem System Hefe(fein)teig, von der Teigbereitung bis zum verzehrsfertigen Gebäck, auf.

Gemäß den Herstellungsbedingungen in **Kap. 6.3.3.1** und **6.3.3.2** werden die Hefefeinteige erstellt. Die unterschiedliche Zusammensetzung wird dem Versuchsplan, **Kap. 6.3.3.3**, entnommen. Für die Herstellung dieser Hefefeinteige werden neben Weizenmehl Nr.1, Weizenstärke, Wasser, Raftiline[®] GR und HP ebenfalls Saccharose, NaCl, Frisch-Backhefe, Erdnussfett und Ascorbinsäure verwendet. Die Spezifikationen der Zutaten ist in **Kap. 6.3.1** und **Anhang Kap. 9.8** aufgeführt.

Der Versuchsablauf teilt sich in drei Bereiche auf, die nach folgenden Gesichtspunkten eingeteilt werden.

- **Versuchsreihe Nr.V1:** Gebäcke hergestellt unter standardisierter Methode (Standardknetzeit, eingeschränkte Wasserzugabe) – **Kap. 6.3.2.4.2 (3a)**
- **Versuchsreihe Nr.V2:** Gebäcke hergestellt unter optimierter Wasserzugabe (gleichbleibender Teigausbeute und Knetzeit) – **Kap. 6.3.2.4.2 (3b)**
- **Versuchsreihe Nr.V3:** Gebäcke hergestellt unter modifizierten Bedingungen (angepasste Knetzeit und gleichbleibender Teigausbeute) – **Kap. 6.3.2.4.2 (3c)**

In **Anhang Kap. 9.6.1** sind tabellarisch nach den Versuchsreihen (Nr.V1 bis V3) die zugegebenen Wassermengen, Knetzeiten, Fettmengen, Zusätze an Weizenstärke und / oder Raftiline[®] GR und HP neben Messwerten (s.u.) aufgeführt.

Die detaillierten Herstellungsprotokolle sind im **Anhang Kap. 9.6.3** aufgeführt. Im **Anhang Kap. 9.6.4** sind des Weiteren noch jeweils Fotos der Gebäcke aus den drei Versuchsreihen dargestellt, die auch visuell Unterschiede erkennen lassen.

Die Messdaten werden mittels Statistik-Software ausgewertet und zunächst graphisch dargestellt. Hierbei werden jeweils die zugesetzten Inulintypen, Raftiline[®] GR oder HP, in den drei Versuchsreihen Nr.V1 bis Nr.V3, bei unterschiedlicher Herstellungsweise, verglichen. Die Ergebnisdarstellung erfolgt über Konturenplots.

3.6.2 Bestimmung des Backverlustes von Hefe(fein)gebäcken mit Inulinzusatz bei variablen Herstellungsbedingungen

Die Ergebnisse der Bestimmung des Backverlustes bei Gebäcken der drei Versuchsreihen Nr.V1 bis Nr.V3 sind die erste Kenngröße zur Charakterisierung der backtechnischen und sensorischen Eigenschaften von Hefe(fein)gebäcken mit Inulin.

Die Vorgehensweise bei der Auswertung des Backverlustes ist im **Anhang Kap. 9.7** „Beurteilungsmethoden für Teige und Backwaren“ aufgeführt.

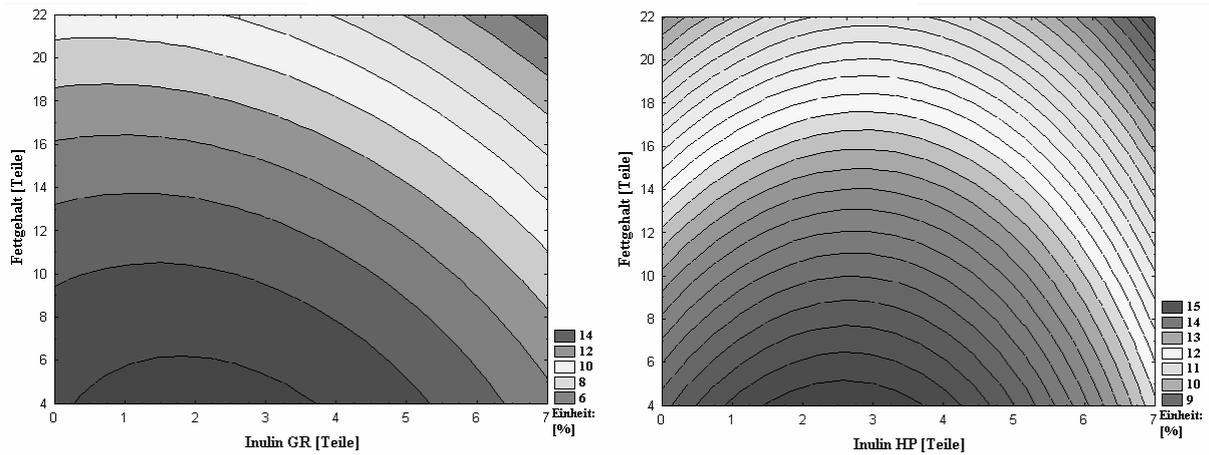


Abb. 3.6.2.a Konturenplot: Backverlust der Gebäcke aus Versuchsreihe Nr.V1 mit Zusatz von Raftiline® GR und HP

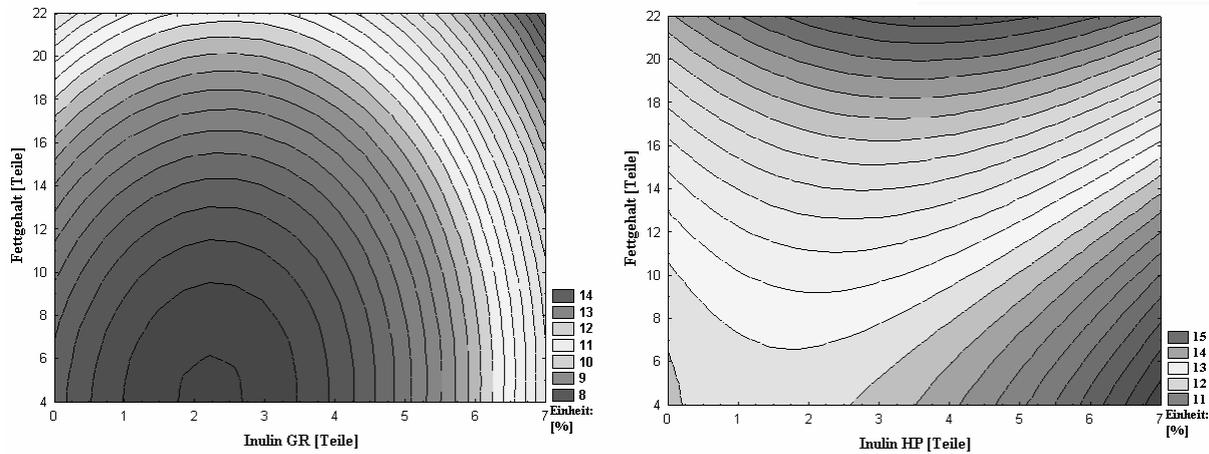


Abb. 3.6.2.b Konturenplot: Backverlust der Gebäcke aus Versuchsreihe Nr.V2 mit Zusatz von Raftiline® GR und HP

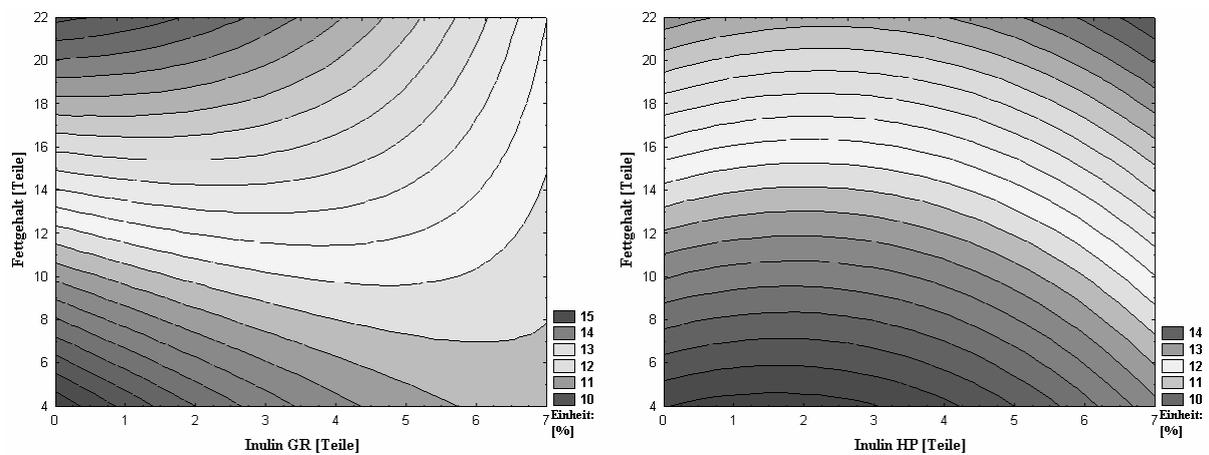


Abb. 3.6.2.c Konturenplot: Backverlust der Gebäcke aus Versuchsreihe Nr.V3 mit Zusatz von Raftiline® GR und HP

Die Darstellung der Backverluste in **Abb. 3.6.2.a** von Gebäcken der Versuchsreihe Nr.V1 macht deutlich, dass der größte Gewichtsverlust bei Gebäcken mit einem Gehalt von 2 bis 3 Teilen Inulin GR und auch Inulin HP und geringen Fettmengen (4-8 Teile) auftritt. So verzeichnen diese Brote Backverluste von 14% bis 15%, aber mit zunehmendem Fettgehalt der Gebäcke sinkt der Backverlust auf 10% bei beiden Gebäcksorten. Des Weiteren ist erkennbar, dass der Backverlust auch mit ansteigenden Zusätzen an Inulin GR und Inulin HP abnimmt. Bei Broten mit 6 bis 7 Teilen Inulin GR und 20 Teilen Fett liegt der Backverlust lediglich bei 6% bis 8%. Im Vergleich dazu zeigen Gebäcke mit 6 bis 7 Teilen Inulin HP und 20 Teilen Fett Gewichtsverluste von 9% bis 10%.

Die Ergebnisse der Versuchsreihe Nr.V2 in **Abb. 3.6.2.b** zeigen, dass bei Broten mit 2 bis 3 Teilen Raftiline[®] GR und niedrigen Fettmengen (4 bis 8 Teile) weiterhin die höchsten Backverluste auftreten. Ebenso weisen Gebäcke mit 6 bis 7 Teilen Inulin GR und hohen Fettmengen (20 Teile) die niedrigsten Backverluste (8% bis 11%) auf. Dagegen lassen Brote mit 6 bis 7 Teilen Inulin HP und geringen Fettmengen, von 4 bis 6 Teilen, hohe Backverluste von 14% erkennen. Nur noch geringe Schwankungen bei Backverlusten zeigen Gebäcke mit hohen Fettgehalten (15%-22%). Bei variablen Zusätzen von 1 bis 7 Teilen Raftiline[®] HP liegen die Gewichtsverluste lediglich zwischen 11% und 12%.

Erst durch die Modifizierung des Herstellungsprozesses von Gebäcken mit prebiotischem Zusatz, gemäß der Versuchsreihe Nr.V3, werden Veränderungen gemäß **Abb. 3.6.2.c** deutlich. So weisen Brote mit geringen Teilen Inulin GR (0-1 Teil) und niedrigen Fettmengen (4-6 Teile) die höchsten Backverluste (15%) auf. Erhöht man den Anteil an Inulin GR sinkt der Backverlust bei Gebäcken mit 4 bis 6 Teilen Fett auf 13%. Dieses Verhältnis kehrt sich bei hohen Fettgehalten von 15 Teilen und mehr und Inulinzusätzen von 1 bis 3 Teilen um. Hierbei treten dann die niedrigsten Backverluste (10%-12%) auf. Die Erhöhung des Inulinanteils führt gleichzeitig zu einem Anstieg des Backverlustes bei Gebäcken mit hohem Fettanteil.

Der höchste Backverlust ist bei Gebäcken mit geringen Mengen an Inulin HP und Fett zu verzeichnen. Mit steigender Inulinzugabe aber gleichbleibender Fettmenge sinkt der Backverlust um 1%. Erhöht man den Fettgehalt der Gebäcke, verringert sich gleichzeitig der Gewichtsverlust, so dass Brote mit 20 Teilen Fett und 6 bis 7 Teilen Raftiline[®] HP die niedrigsten Backverluste (10%) aufweisen.

3.6.3 Bestimmung des Gebäckvolumens von Hefe(fein)gebäcken mit Inulinzusatz bei variablen Herstellungsbedingungen

Das Gebäckvolumen ist eine wichtige Kenngröße zur Charakterisierung von Inulinzusätzen in Hefe(fein)gebäcken. Die drei Versuchsreihen Nr.V1 bis Nr.V3 sollen Verbesserungen im Gebäckvolumen bei Broten mit Inulinzusatz durch modifizierte Herstellungsbedingungen aufzeigen. Die Vorgehensweise bei der Auswertung des Gebäckvolumens ist im **Anhang Kap. 9.7** „Beurteilungsmethoden für Teige und Backwaren“, aufgeführt.

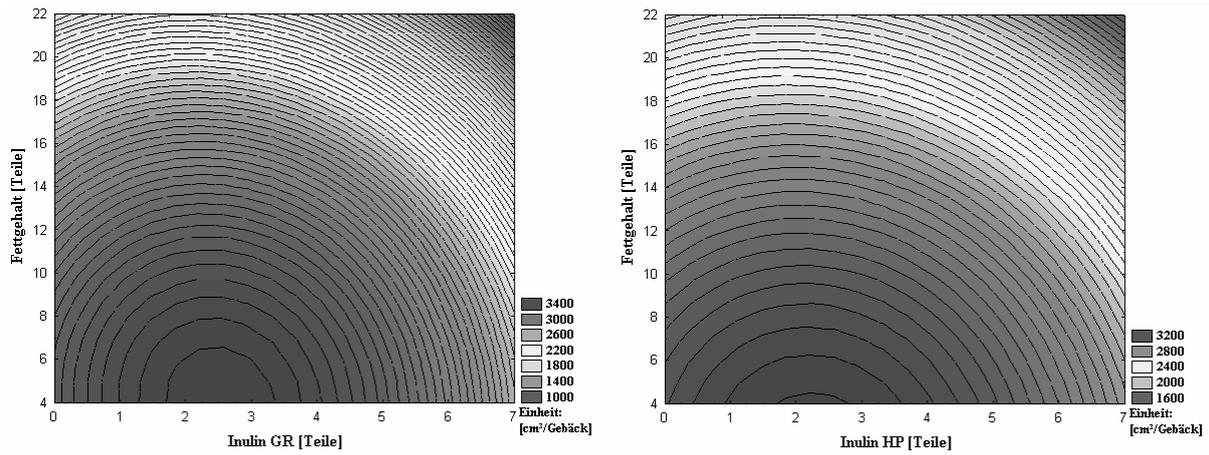


Abb. 3.6.3.a Konturenplot: Gebäckvolumen der Kastenbrote aus Versuchsreihe Nr.V1 mit Zusatz von Raftiline® GR und HP

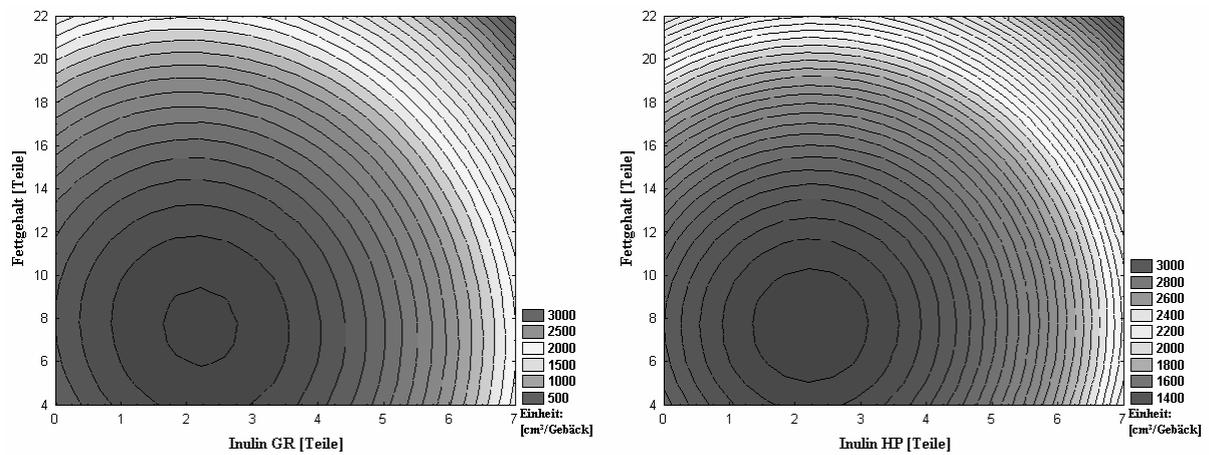


Abb. 3.6.3.b Konturenplot: Gebäckvolumen der Kastenbrote aus Versuchsreihe Nr.V2 mit Zusatz von Raftiline® GR und HP

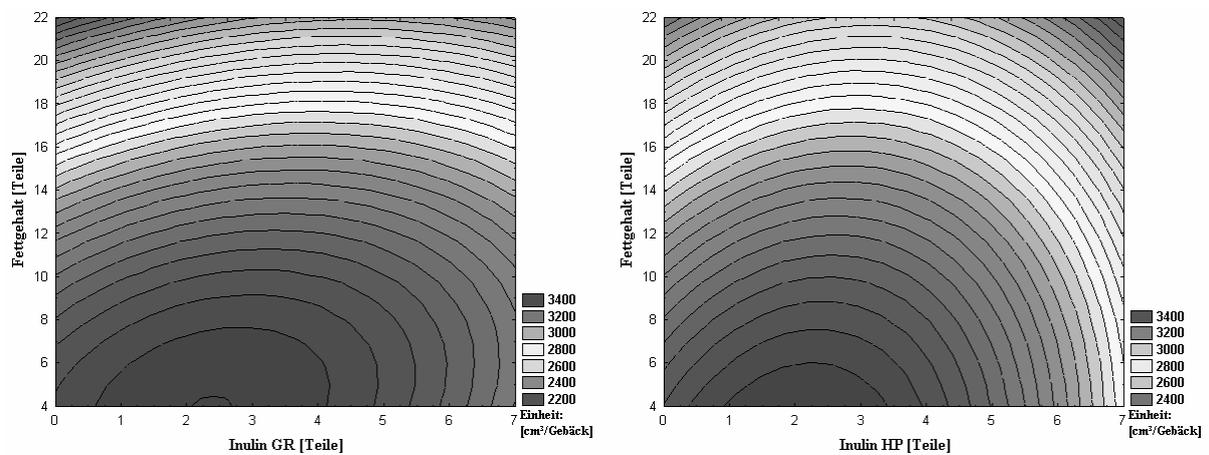


Abb. 3.6.3.c Konturenplot: Gebäckvolumen der Kastenbrote aus Versuchsreihe Nr.V3 mit Zusatz von Raftiline® GR und HP

Neben den oben aufgeführten **Abb. 3.6.3.a-c** sind nachfolgend (**Abb. 3.6.3.d-f**) und im **Anhang Kap. 9.6.4** Fotos der Brote dargestellt. Aus diesen Abbildungen sind ebenfalls Veränderungen im Gebäckvolumen bei unterschiedlichen Fett- und Inulinzugaben sowie durch geänderte Herstellungsbedingungen erkennbar.

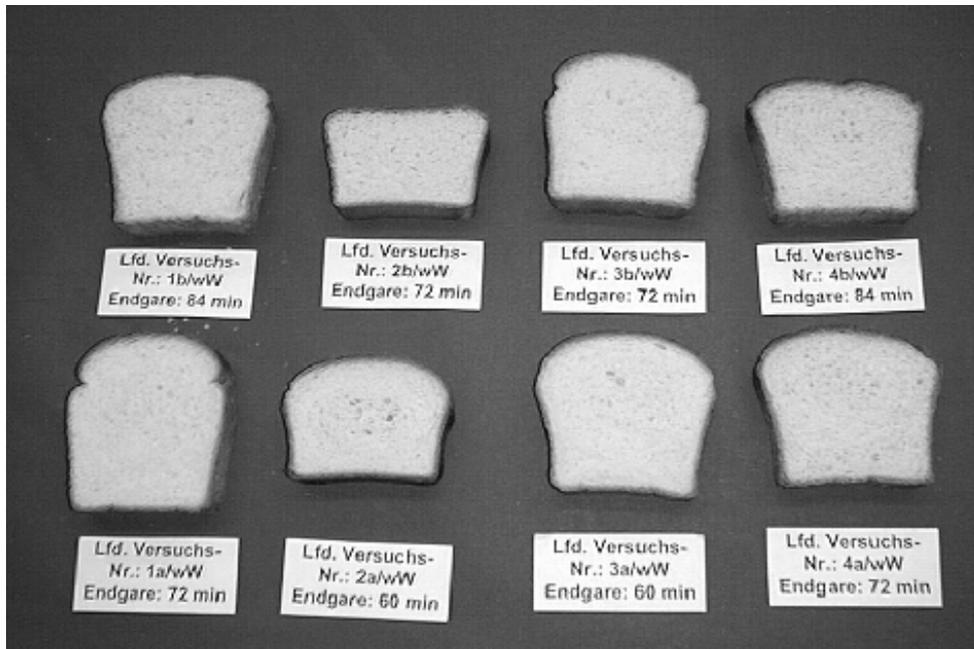


Abb. 3.6.3.d Gebäcke der Versuche Nr.1bis Nr.4 aus der Versuchsreihe Nr.V1.

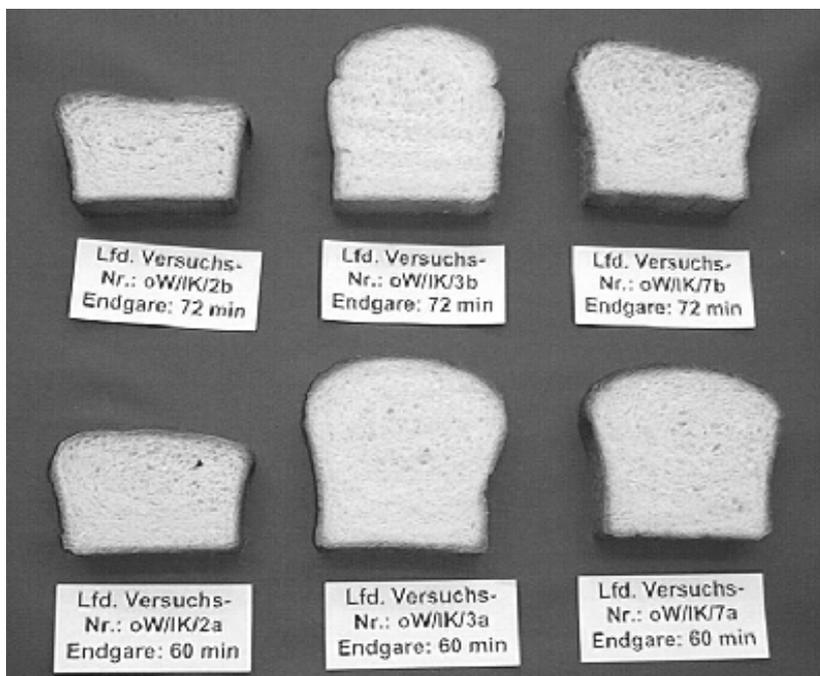


Abb. 3.6.3.e Gebäcke der Versuche Nr.2, Nr.3 und Nr.7 aus der Versuchsreihe Nr.V2.

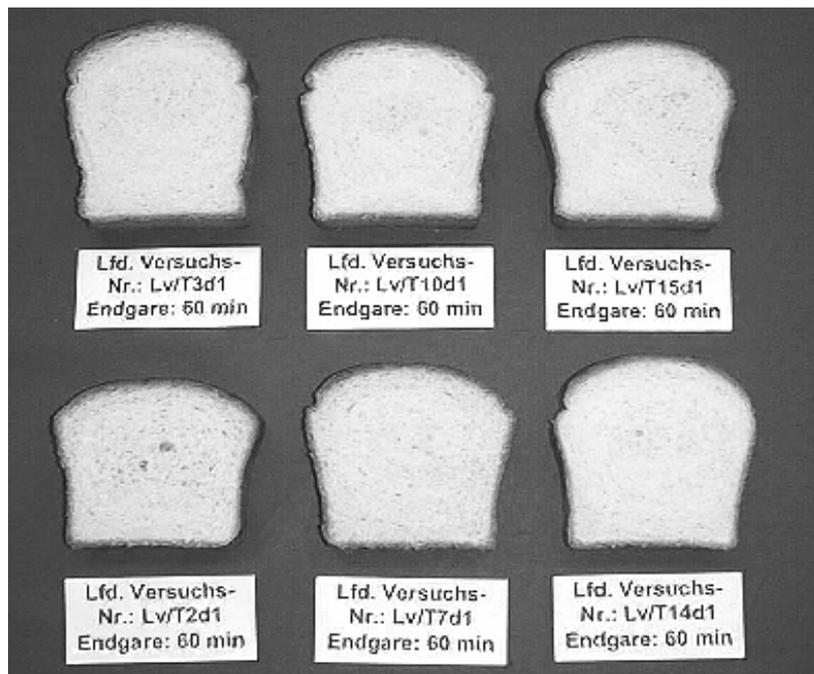


Abb. 3.6.3.e Gebäcke der Versuche Nr.2, Nr.3, Nr.7, Nr.10, Nr.14 und Nr.15 aus der Versuchsreihe Nr.V3.

Die **Abb. 3.6.3.a** gibt die Gebäckvolumina der Kastenbrote mit Inulin der Versuchsreihe Nr.V1 wieder. Deutlich erkennbar ist hierbei ein Maximum im Volumen bei Broten mit 2 bis 3 Teilen Inulin GR und Fettmengen bis zu 6 Teilen. Das Gebäckvolumen beträgt bei Gebäcken dieser Zusammensetzung 3400 cm^3 . Brote mit Gehalten an Inulin GR von 0 bzw. 1 Teil sowie mit höheren Mengen, von 4 bis 7 Teilen, erreichen dagegen bei gleicher Fettzugabe Gebäckvolumina von lediglich 2600 bis 3000 cm^3 . Das Gebäckvolumen verringert sich ebenfalls durch die Erhöhung der Fettzugabe, so dass schließlich Gebäcke mit 6 bis 7 Teilen Raftiline[®] GR und 20 Teilen Fett nur noch ein Gebäckvolumen von 1000 bis 1600 cm^3 aufweisen. Etwas anders verhalten sich dagegen Gebäcke der Versuchsreihe Nr.V1 mit Zusatz an Raftiline[®] HP. Sie weisen bei Konzentrationen von 6 bis 7 Teilen Inulin HP und 20 Teilen Fett immerhin noch Volumina von 1600 bis 2000 cm^3 auf. Brote mit Gehalten an Inulin HP von 1 bis 3 Teilen und Fettzugaben von 4 bis 6 Teilen erzielen die höchsten Gebäckvolumina, von 3200 cm^3 . Ebenfalls ist bei Gebäcken, die Inulin HP enthalten, zu erkennen, dass mit gesteigertem Zusatz an Inulin sowie mit erhöhtem Fettgehalt das Gebäckvolumen sinkt.

Durch die Optimierung der Zugussmenge (Versuchsreihe Nr.V2) ist gemäß **Abb. 3.6.3.b** noch keine Verbesserung, sondern eine Verschlechterung beim Gebäckvolumen festzustellen. Das Maximum der Gebäckvolumina sinkt auf 3000 cm^3 bei Broten mit 2 bis 3 Teilen Inulin GR und 6 bis 8 Teilen Fett. Besonders Gebäcke mit Konzentrationen an Inulin GR von 6 bis 7 Teilen und hohen Fettzugaben von 20 Teilen weisen nur noch ein Volumen von 500 bis 1000 cm^3 auf. Ein ähnliches Verhalten zeigen Brote mit einem Zusatz an Raftiline[®] HP. Bei ihnen liegt das Gebäckvolumen-Maximum, von 3000 cm^3 , bei Broten mit 2 bis 3 Teilen Inulin HP und 6 bis 10 Teilen Fett. Mit erhöhter Inulinzugabe sowie Fettzufuhr sinkt ebenfalls das Volumen. Jedoch zeigen Gebäcke mit Fettmengen von 20 Teilen und 6 bis 7 Teilen Raftiline[®] HP noch Gebäckvolumina von 1400 bis 1600 cm^3 .

Die Optimierung des Herstellungsprozesses (Versuchsreihe Nr.V3) führt zu deutlichen Verbesserungen der Gebäckvolumina wie **Abb. 3.6.3.c** zeigt. Das Maximum von 3400 cm^3 wird bei Broten durch Zusatz von 1 bis 4 Teilen Inulin GR und 4 bis 6 Teilen Fett erreicht. Eine weitere Erhöhung des Zusatzes an Inulin GR führt nur zu geringen Volumenänderungen.

So weisen Brote mit 6 bis 7 Teilen Raftiline® GR und 4 bis 10 Teilen Fett immer noch Volumina von 3200 cm³ auf. Erst durch die Erhöhung der Fettzugabe auf über 15 Teile führt zu Gebäckvolumina unter 3000 cm³. Brote mit 6 bis 7 Teilen Inulin GR und 20 Teilen Fett erreichen immer noch Gebäckvolumina von 2400 cm³.

Brote mit einem Zusatz an Inulin HP von 2 bis 3 Teilen und einem Fettzusatz von 5 Teilen weisen Gebäckvolumina von 3400 cm³ auf. Dieses sinkt auf 2900 cm³ bei einer Erhöhung der Zugaben an Raftiline® HP auf 6 bis 7 Teile, bei gleichem Fettgehalt. Bei Steigerung der Fettzugabe sinkt gleichzeitig das Gebäckvolumen. Jedoch erzielen Gebäcke mit 20 Teilen Fett und Gehalten von 6 bis 7 Teilen Raftiline® HP Gebäckvolumina von 2400 bis 2600 cm³.

Auch die Fotos (**Abb. 3.6.3.d-f**) zeigen besonders deutlich an den Versuchsbroten Nr.2 und Nr.3 die Verbesserung des Gebäckvolumens im Verlauf der Optimierung der Hefe(fein)-gebäckherstellung. In der Versuchsreihe Nr.V1 (**Abb. 3.6.3.d**) ist bei den Broten Nr.2 und Nr.3 ein geringeres Volumen im Vergleich zum Standardgebäck Nr.1 zu erkennen. Die geänderten Herstellungsbedingungen in Versuchsreihe Nr.V2 zeigen noch keine Verbesserung der Gebäckvolumina, wie die **Abb. 3.6.3.e** der Gebäcke Nr.2, Nr.3 und Nr.7 zu erkennen sind. Betrachtet man dagegen **Abb. 3.6.3.f**, so wird deutlich, dass die optimierten Prozessparameter ein verbessertes Gebäckvolumen zur Folge haben. Die Gebäcke Nr.2, Nr.3, Nr.7, Nr.10, Nr.14 und Nr.15 aus der Versuchsreihe Nr.V3 belegen dies.

3.6.4 Bestimmung der Volumenausbeute/100g eingesetzten Mehles von Hefe(fein)gebäcken mit Inulinzusatz

Die Volumenausbeute/100g Mehl (VA) ist eine wichtige Kenngröße zur Charakterisierung der Belastbarkeit des eingesetzten Mehles. Die drei Versuchsreihen, Nr.V1 bis Nr.V3, sollen schrittweise Verbesserungen in der Volumenausbeute bei Broten mit Inulinzusatz aufzeigen. Die Vorgehensweise bei der Auswertung der Volumenausbeute/100g Mehl ist im **Anhang Kap. 9.7** „Beurteilungsmethoden für Teige und Backwaren“, aufgeführt.

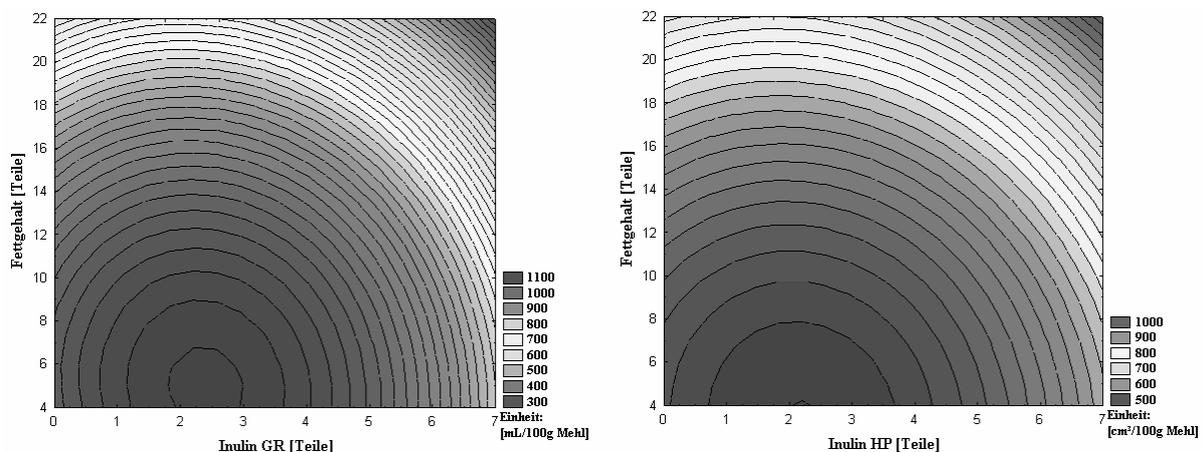


Abb. 3.6.4.a Konturenplot: Volumenausbeute der Kastenbrote aus Versuchsreihe Nr.V1 mit Zusatz von Raftiline® GR und HP

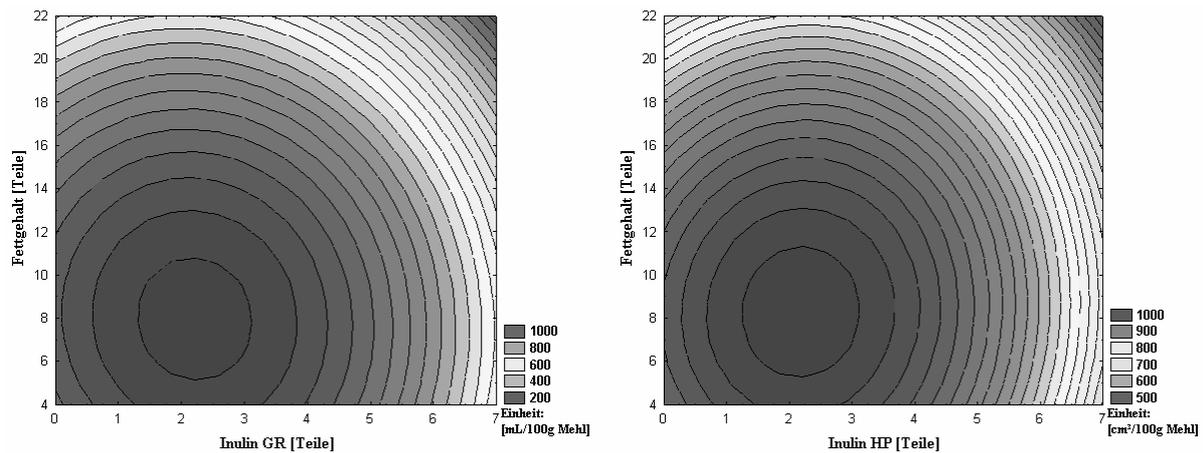


Abb. 3.6.4.b Konturenplot: Volumenausbeute der Kastenbrote aus Versuchsreihe Nr.V2 mit Zusatz von Raftiline® GR und HP

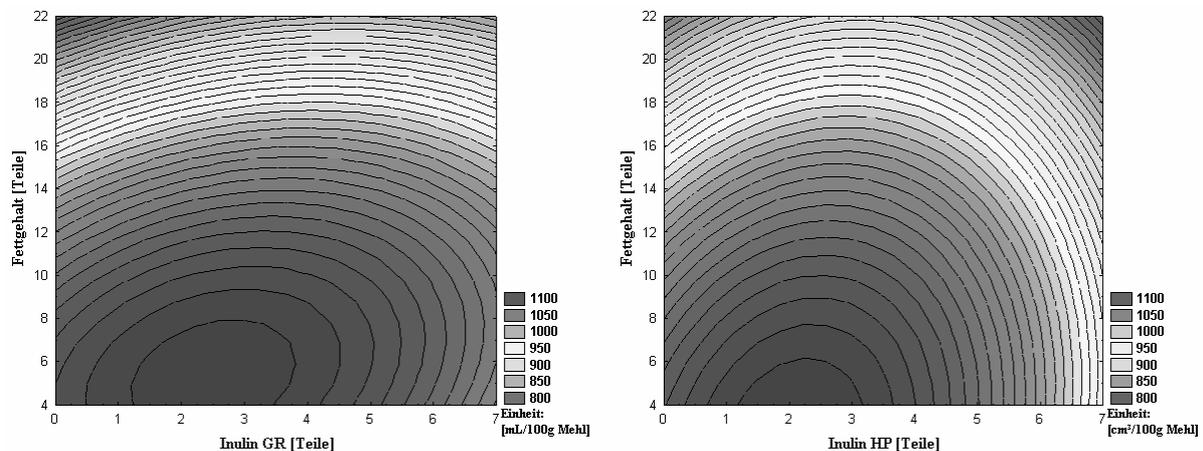


Abb. 3.6.4.c Konturenplot: Volumenausbeute der Kastenbrote aus Versuchsreihe Nr.V3 mit Zusatz von Raftiline® GR und HP

Die Veränderungen der Volumenausbeute/100g Mehl zeigen die gleichen Verläufe wie sie bei der Bestimmung des Gebäckvolumens feststellbar sind. Interessant sind aber vor allem durch die Auswertung der Volumenausbeute Rückschlüsse auf die erhöhte Belastung des Mehles und infolge modifizierter Herstellungsbedingungen erreichte Verbesserungen.

Die Volumenausbeuten der Versuchsreihe Nr.V1 werden in **Abb. 3.6.4.a** wiedergegeben und es wird ein Maximum der Volumenausbeute, von 1000 bis 1100 cm³, bei Einsatz von 2 bis 3 Teilen Inulin GR und Inulin HP sowie 4 bis 8 Teilen Fett erreicht. Mit zunehmender Konzentration an Inulin, bei gleicher Fettmenge, reduziert sich die Volumenausbeute auf ca. 900 cm³. Ebenfalls führt die Erhöhung des Fettanteils im Gebäck zu einer niedrigeren Volumenausbeute. Unterschiede in der Volumenausbeute zeigen sich jedoch beim Einsatz von 6 bis 7 Teilen Raftiline® GR bzw. HP und 20 Teilen Fett. Brote mit Inulin GR weisen lediglich eine Volumenausbeute von 300 bis 500 cm³ auf. Dahingegen erreichen Brote mit Inulin HP Volumenausbeuten von immer noch 500 bis 700 cm³.

Abb. 3.6.4.b gibt die Volumenausbeuten/100 g Mehl der Versuchsreihe Nr.V2 wieder. Es kommt zu einer Verschlechterung der Volumenausbeuten. So weisen Brote mit einem Anteil an 6 Teilen Inulin GR und 20 Teilen Fett nur noch eine Volumenausbeute von 200 bis 400 cm³ auf. Brote mit 6 Teilen Inulin HP und hohen Fettzugaben erreichen nur niedrige

Volumenausbeuten von 500 bis 600 cm³. Des Weiteren kommt es zu einer Verschiebung der maximalen Volumenausbeute von 1000 cm³, die nun von Gebäcken mit 2 bis 3 Teilen Raftiline[®] GR bzw. HP und einem Fettgehalt von 6 bis 10 Teilen erzielt wird.

Die Optimierung des Herstellungsprozesses (Versuchsreihe Nr.V3) führt zu einer verbesserten Volumenausbeute wie die **Abb. 3.6.4.c** zeigt. Brote mit einem Gehalt von 2 bis 3 Teilen Inulin GR und einer Fettzugabe von 4 bis 7 Teilen erreichen jetzt eine Volumenausbeute von 1100 cm³. Auch die Erhöhung des Anteiles an Inulin GR führt nur zu einer geringen Abnahme der Volumenausbeute auf 1050 cm³. Die Steigerung des Fettanteiles (>15 Teile) in Gebäcken mit Raftiline[®] GR führt zu einer Reduzierung der Volumenausbeute (800-950 cm³).

Ähnliche Verbesserungen der Volumenausbeute zeigen Brote mit Inulin HP und hohen Fettgehalten. Auch sie weisen Volumenausbeuten/100g Mehl von 800 bis 950 cm³ auf. Auffällig gegenüber Broten mit Raftiline[®] GR ist vor allem, dass Brote mit hohem Anteil an Raftiline[®] HP und niedriger Fettzugabe nur Volumenausbeuten von 950 bis 1000 cm³ erreichen. Das Maximum der Volumenausbeute von 1100 cm³ liegt aber auch hier bei Gebäcken mit 2 bis 3 Teilen Raftiline[®] HP und 4 bis 7 Teilen Fett.

3.6.5 Bestimmung der Krumenfeuchte von Hefe(fein)gebäcken mit Inulinzusatz

Die Krumenfeuchte ist ein grundlegender Parameter zu Beurteilung von Hefe(fein)gebäcken, insbesondere lässt sich somit die Frische eines Gebäckes charakterisieren. So trägt die Bestimmung des Feuchtegehaltes der Brotkrumen zur Unterstützung der sensorischen Aussagen bei. Die drei Versuchsreihen, Nr.V1 bis Nr.V3, werden schrittweise Verbesserungen in der Krumenfeuchte bei Broten mit Inulinzusatz aufzeigen. Des Weiteren werden Ergebnisse der Lagerversuche von Gebäcken der Versuchsreihe Nr.V3 vorgestellt, die üblich nach 1., 3. und 7. Tagen Lagerung bestimmt werden.

Die Vorgehensweise bei der Auswertung der Krumenfeuchte ist in **Kap. 6.3.5** aufgeführt.

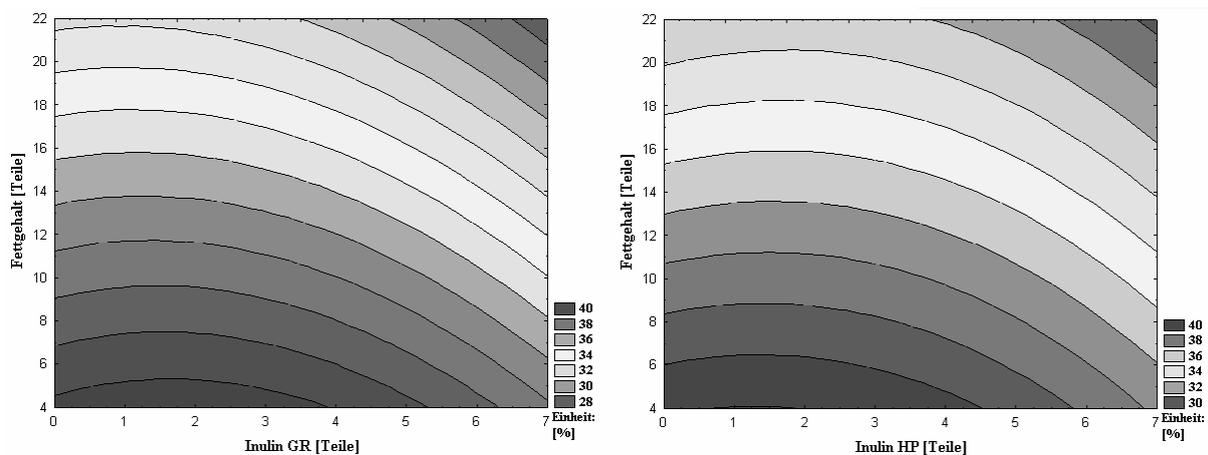


Abb. 3.6.5.a Konturenplot: Krumenfeuchte der Gebäcke aus Versuchsreihe Nr.V1 mit Zusatz von Raftiline[®] GR und HP

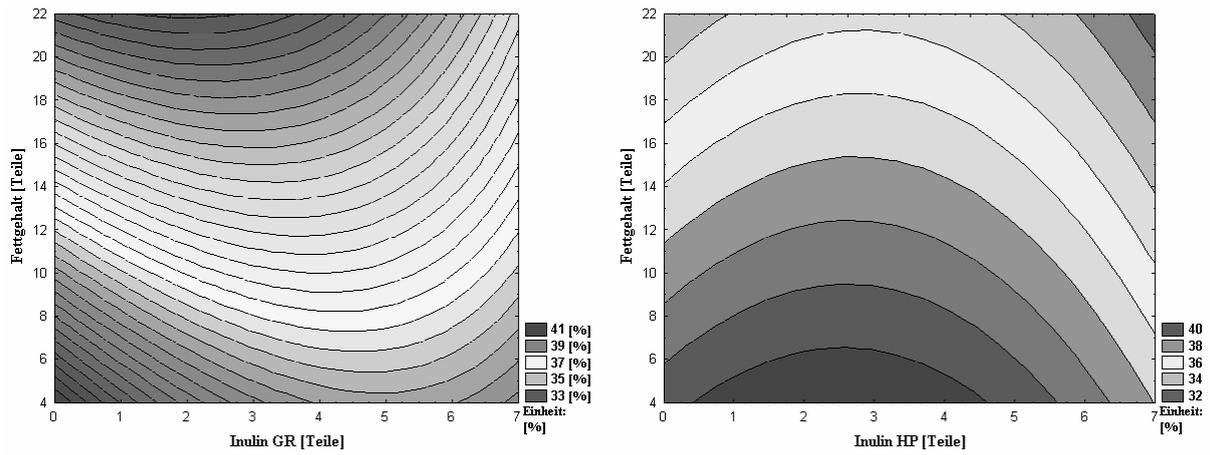


Abb. 3.6.5.b Konturenplot: Krumenfeuchte der Gebäcke aus Versuchsreihe Nr.V2 mit Zusatz von Raftiline® GR und HP

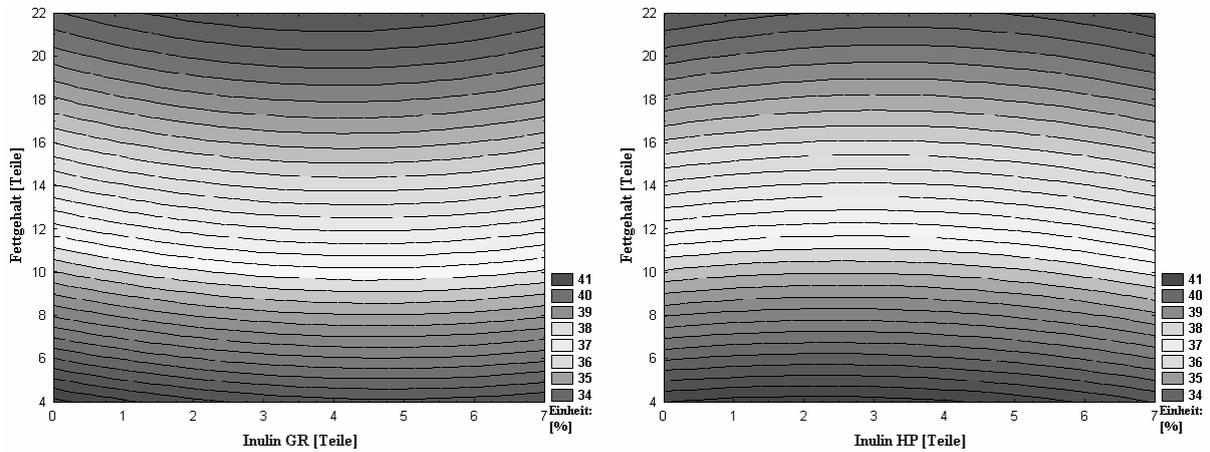


Abb. 3.6.5.c Konturenplot: Krumenfeuchte der Gebäcke aus Versuchsreihe Nr.V3 mit Zusatz von Raftiline® GR und HP

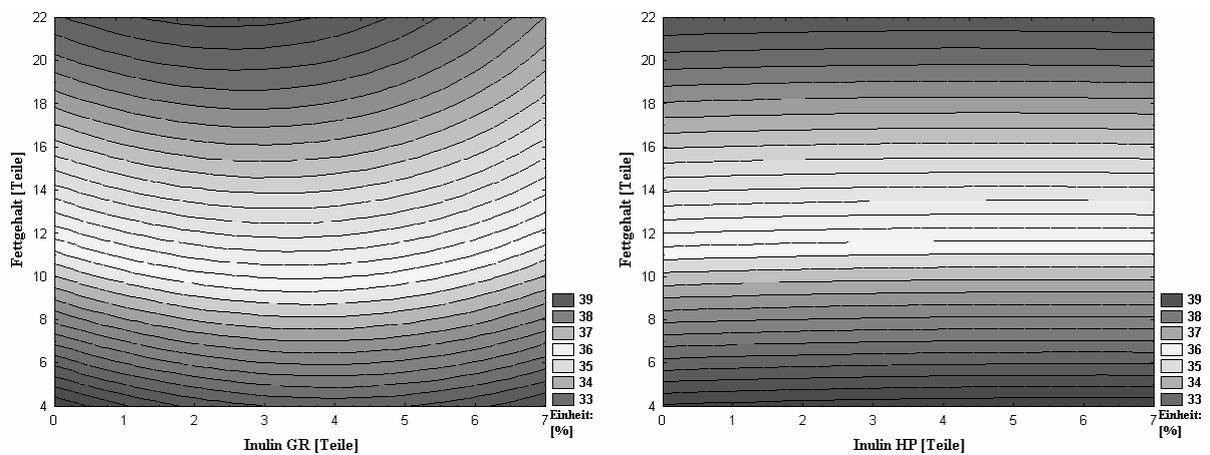


Abb. 3.6.5.d Konturenplot: Krumenfeuchte der Gebäcke aus Versuchsreihe Nr.V3 mit Zusatz von Raftiline® GR und HP nach einer Lagerdauer von 3 Tagen

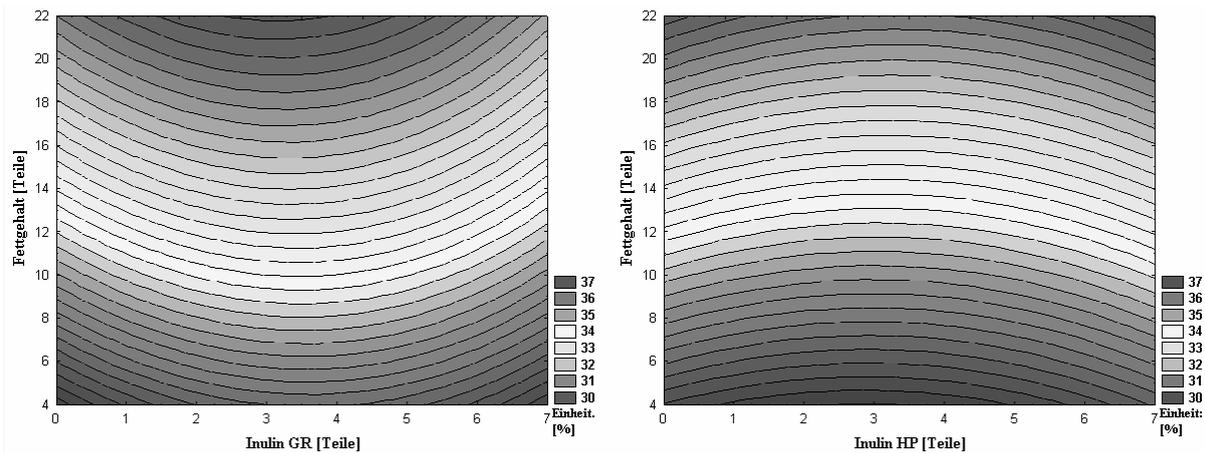


Abb. 3.6.5.e Konturenplot: Krumenfeuchte der Gebäcke aus Versuchsreihe Nr.V3 mit Zusatz von Raftiline® GR und HP nach einer Lagerdauer von 7 Tagen

Lagerversuche über 7 Tage werden nur mit den Kastenbrotten der Versuchsreihe Nr.V3 durchgeführt.

Die Krumenfeuchten [%] der Versuchsreihe Nr.V1 werden in **Abb. 3.6.5.a** wiedergegeben. Daraus geht hervor, dass Brote mit Gehalten von 1 bis 3 Teilen Raftiline® GR und einem Fettzusatz von 4 bis 13 Teilen die höchsten Krumenfeuchten von 38% bis 40% aufzeigen. Die Steigerung des Fettgehaltes auf 20 Teile und der Inulinkonzentration auf 6 bis 7 Teile führt zu Krumenfeuchten von nur noch 30%. Ähnliche Änderungen treten auch beim Einsatz von Raftiline® HP in Hefengebäcken auf. Die höchsten Krumenfeuchten (38%-40%) weisen Brote mit Gehalten bis zu 3 Teilen Inulin HP und 13 Teilen Fett auf. Erhöht man den Inulinzusatz und gleichzeitig den Fettgehalt kommt es zu einer verminderten Krumenfeuchte von 32% bis 36%. Die Fettzusätze von 20 Teilen und mehr führen schließlich zu Krumenfeuchten von 30%.

Die Versuchsreihe Nr.V2 zeigt in **Abb. 3.6.5.b** keine erkennbaren Verbesserungen der Krumenfeuchte. Gebäcke mit einem Anteil an 4 bis 6 Teilen Inulin GR und Fettgehalten bis zu 12 Teilen erreichen jetzt eine Krumenfeuchte von 36% bis 38%. Lediglich Kastenbrote mit einem Zusatz von max. 8 Teilen Fett und 2 Teilen Inulin GR zeigen hohe Krumenfeuchten von 39% bis 41%. Gebäcke mit einem Fettanteil (>14 Teile) erreichen in Versuchsreihe Nr.V2 eine Feuchte von 33% bis 35%. Dagegen weisen Brote mit einem Zusatz von max. 3 Teilen Raftiline® HP und niedrigen Fettzugaben ein Maximum der Gebäckfeuchte von 40% auf. Bei Anteilen von über 12 Teilen Fett und bis zu 5 Teilen Inulin HP treten Krumenfeuchten von unter 38% auf. Gehalte von 6 Teilen und mehr an Raftiline® HP beeinflussen die Feuchte so weit, dass sie unter 38% sinkt.

Der optimierte Herstellungsprozess (Versuchsreihe Nr.V3) lässt deutliche Verbesserungen in der Krumenfeuchte erkennen (**Abb. 3.6.5.c**). Der Einfluss des zugesetzten Raftiline® GR auf die Gebäckfeuchte wird minimiert. So beträgt die Krumenfeuchte bei Broten mit 1 bis 7 Teilen Inulin GR und max. 8 Teilen Fett 40% bis 41%. Ausschließlich durch die Steigerung der Fettzugabe kommt es zu einer Reduzierung der Gebäckfeuchte bis auf 34%. Einen ähnlichen Verlauf zeigen die Gebäcke mit dem Zusatz an Raftiline® HP. Auch hierbei wird der Einfluss auf die Gebäckfeuchte durch den erhöhten Fettgehalt bestimmt. Kastenbrote mit einem Fettgehalt von bis zu 8 Teilen und einer Inulinkonzentration von bis zu 7 Teilen (HP) weisen eine Krumenfeuchte von 39% bis 40% auf. Ausschließlich die Steigerung der Fettkonzentration und nicht der Menge an Raftiline® HP führen zu einer Abnahme der Krumenfeuchte auf bis zu 34%.

In **Abb. 3.6.5.d** werden die Krumenfeuchten der Gebäcke (Versuchsreihe Nr.V3) nach einer Lagerdauer von 3 Tagen wiedergegeben. Die Kastenbrote mit Zusatz an Raftiline® GR zeigen eine Abnahme der Krumenfeuchte um je 1 bis 2%. So erreichen Hefegebäcke mit bis zu 7 Teilen Inulin GR und 8 Teilen Fett jetzt nur noch Gebäckfeuchten von 38% bis 39%. Ein Minimum zeigen vor allem Brote mit 3 bis 5 Teilen Inulin GR. Dieses Minimum ist auffällig bei Broten mit einem Zusatz an Fett von mehr als 8 Teilen. Gebäcke mit Fettmengen von 15 Teilen und mehr erreichen immer noch eine Krumenfeuchte zwischen 33% und 35%. Etwas unterschiedlich zeigen sich dagegen die Hefegebäcke mit dem Zusatz an Raftiline® HP. Die Krumenfeuchten sind bei den einzelnen Gebäcken unterschiedlicher Zusammensetzung jeweils um 1% bis 2% gesunken. Jedoch ist ein Einfluss des zugesetzten Inulins auf die Gebäckfeuchte nicht feststellbar. Unabhängig von der im Gebäck enthaltenen Konzentration an Raftiline® HP sinkt die Krumenfeuchte bei Erhöhung der Fettmenge. Brote mit Gehalten bis zu 7 Teilen Inulin HP und 8 Teilen Fett erreichen nach 3 Tagen Lagerung noch Krumenfeuchten von 38% bis 39%. Mit steigender Fettzugabe, bis 22 Teile, sinkt die Krumenfeuchte schließlich auf 33%.

Die Krumenfeuchten nach einer 7tägigen Lagerung (Versuchsreihe Nr.V3) sind in **Abb. 3.6.5.e** dargestellt. Die Kastenbrote haben nochmals bis zu 3% ihrer Gebäckfeuchte eingebüßt. So verzeichnen jetzt Brote mit einem Gehalt von bis zu 8 Teilen Fett und 7 Teilen Inulin GR nur noch eine Krumenfeuchte von 36% bis 37%. Auch die Gebäcke mit einem erhöhten Fettgehalt (>16 Teile) zeigen nur noch eine Feuchte von 30% bis 32% auf. Das Minimum ist nach 7tägiger Lagerung bei einem Zusatz von 3 bis 5 Teilen Raftiline® GR etwas ausgeprägter. Dagegen weisen Gebäcke mit einem Zusatz von 3 bis 5 Teilen Raftiline® HP ein Maximum der Krumenfeuchte auf. So beträgt sie noch 36% bis 37% bei 9 Teilen Fettzugabe. Jedoch reduziert sich auch mit dem Einsatz von Raftiline® HP die Krumenfeuchte nach 7 Tagen Lagerung um je 3%. Die Brote mit Fettgehalten von mehr als 15 Teilen erreichen nur noch eine Gebäckfeuchte von 30% bis 33%. Gebäcke mit mittleren Fettmengen von 10 bis 15 Teilen besitzen noch eine Krumenfeuchte zwischen 34% und 35%.

Die Ergebnisse aus den Bestimmungen der Krumenfeuchten werden durch die sensorischen Prüfungen der Gebäcke aus den Versuchsreihen Nr.V1 bis Nr.V3 unterstützt. Die einzelnen Protokolle der sensorischen Auswertung können im **Anhang Kap. 9.6.3** eingesehen werden. So wirken die Krumen der Gebäcke aus Versuchsreihe Nr.V1 und Nr.V2 trockener im Vergleich zu Broten der Versuchsreihe Nr.V3. Die Hefegebäcke mit Inulinzusatz sind in der sensorischen Prüfung mit den Standardgebäcken ohne prebiotischen Zusatz zu vergleichen. Bei vereinzelt Gebäcken mit Inulin macht sich dieser Zusatz eher positiv in der sensorischen Beurteilung bemerkbar. Unterschiede zwischen Kastenbroten mit Raftiline® GR und Raftiline® HP können in Versuchsreihe Nr.V3 nicht festgestellt werden. Auch die Frischhaltung wird durch die Anreicherung der Gebäcke mit Inulin nicht negativ beeinflusst. Die sensorische Beurteilung der Broten aus der Versuchsreihe Nr.V3 zeigt bei den Lagerproben keine Unterschiede zwischen Standardgebäcken ohne Inulin und den Gebäcken mit den beiden Inulintypen. Alle Brote weisen nach 3 bzw. 7 Tagen Lagerung ähnliche Alterungserscheinungen wie Feuchtigkeitsverlust und Krumenverfestigung auf. Diese Ergebnisse sollen nachfolgend durch die Bestimmung der Krumenfestigkeit bestätigt werden.

3.6.6 Bestimmung der Krumenfestigkeit von Hefe(fein)gebäcken mit Inulinzusatz

Die Krumenfestigkeit ist neben der Krumenfeuchte eine grundlegende Kenngröße zur Beurteilung von Hefe(fein)gebäcken. So werden die sensorischen Aussagen durch die Bestimmung der Krumenfestigkeit von Brotkrumen unterstützt. Feste Hefegebäckkrumen vermitteln oftmals den Eindruck eines nicht mehr frischen Gebäckes und werden als rau – kratzend empfunden. Beim Schneiden der Brotscheiben kommt es dann zu einem vermehrten „zerkrümeln“ der Krume was gegebenenfalls auf eine geschwächte Krumenelastizität schließen lässt. Zu weiche Krumen zeigen ebenfalls eine eingeschränkte Krumenelastizität und erweisen sich als bedingt „bestreichfähig“.

Die drei Versuchsreihen Nr.V1 bis Nr.V3 werden durch eine Optimierung des Herstellungsprozesses schrittweise Verbesserungen in der Krumenelastizität aufzeigen. Des Weiteren werden mit Gebäcken der Versuchsreihe Nr.V3 Lagertests über 3 bzw. 7 Tage durchgeführt. Die Vorgehensweise bei der Bestimmung der Krumenfestigkeit ist in **Kap. 6.3.5** aufgeführt. Die Festigkeit wird in [N] (Newton) angegeben und ist ein Maß für die Kraft, die aufgebracht werden muss, um die jeweilige Gebäckkrume auf 2/3 der ursprünglichen Krumendicke zu komprimieren (Stauchung um 1/3).

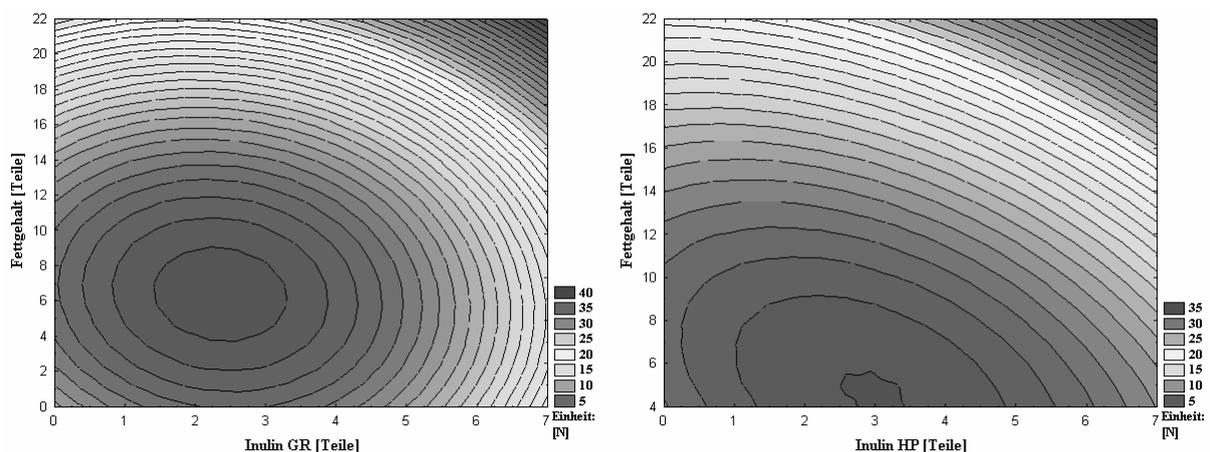


Abb. 3.6.6.a Konturenplot: Krumenfestigkeit der Gebäcke aus Versuchsreihe Nr.V1 mit Zusatz von Raftiline® GR und HP

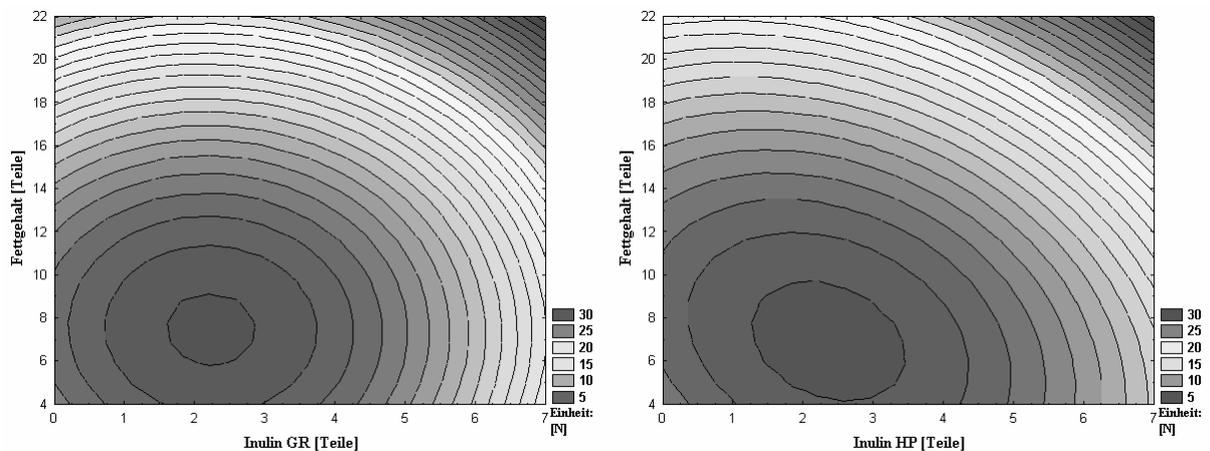


Abb. 3.6.6.b Konturenplot: Krumenfestigkeit der Gebäcke aus Versuchsreihe Nr.V2 mit Zusatz von Raftiline® GR und HP

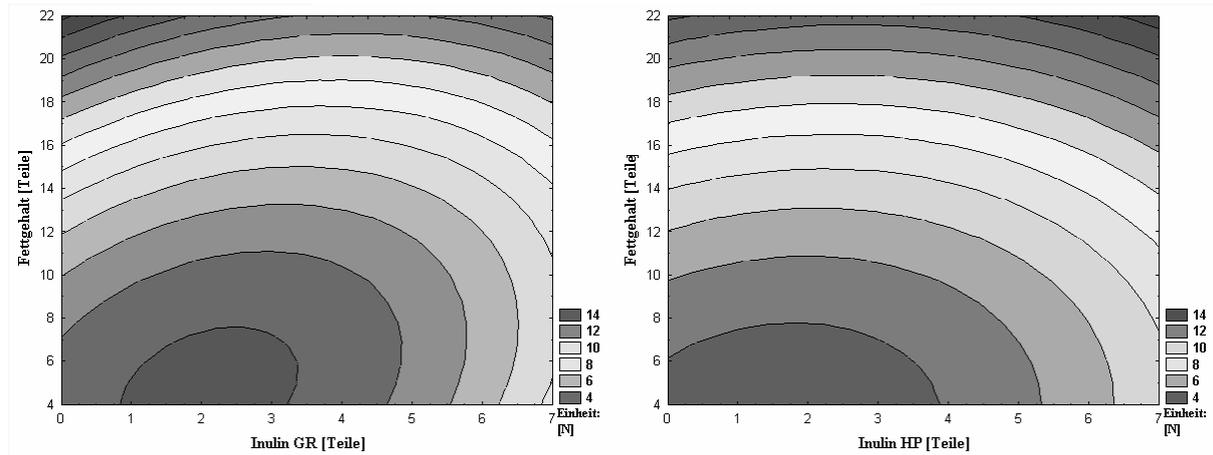


Abb. 3.6.6.c Konturenplot: Krumenfestigkeit der Gebäcke aus Versuchsreihe Nr.V3 mit Zusatz von Raftiline® GR und HP

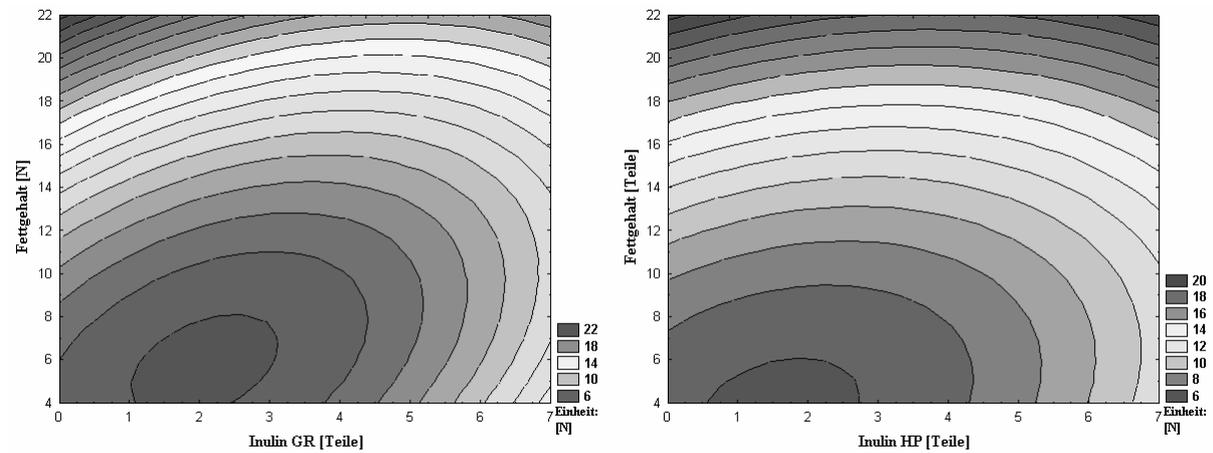


Abb. 3.6.6.d Konturenplot: Krumenfestigkeit der Gebäcke aus Versuchsreihe Nr.V3 mit Zusatz von Raftiline® GR und HP nach einer Lagerdauer von 3 Tagen

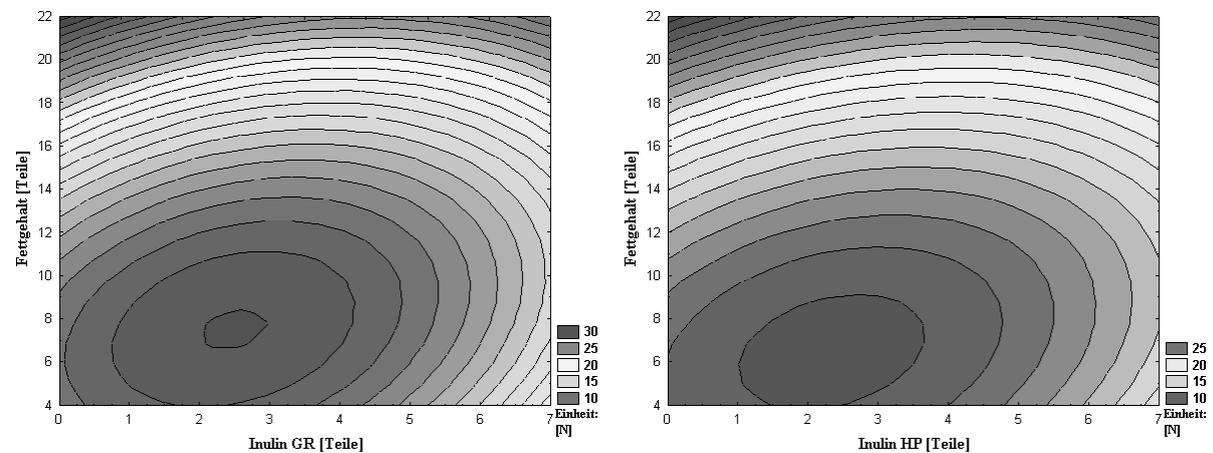


Abb. 3.6.6.e Konturenplot: Krumenfestigkeit der Gebäcke aus Versuchsreihe Nr.V3 mit Zusatz von Raftiline® GR und HP nach einer Lagerdauer von 7 Tagen

Die **Abb. 3.6.6.a** gibt die Krumenfestigkeiten [N] der Versuchsreihe Nr.V1 wieder und aus ihr geht hervor, dass die Brote mit einem Zusatz an Inulin GR ein breites Spektrum an Krumenfestigkeiten aufweisen. So zeigen Gebäcke mit 2 bis 3 Teilen Inulin GR und 4 bis 8 Teilen Fett die niedrigsten Krumenfestigkeiten von 5 [N]. Gebäcke mit 6 und mehr Teilen Inulin GR und 20 Teilen Fett erreichen Krumenfestigkeiten von 40 [N]. Der Zusatz von 6 Teilen Raftiline® HP und 20 Teilen Fett führt ebenfalls bei Gebäcken zu Krumenfestigkeiten von 35 [N]. Kastenbrote mit 3 Teilen Inulin HP und bis zu 5 Teilen Fett zeigen die niedrigste Krumenfestigkeit von 5 [N]. Aber auch hier kommt es bei einer Erhöhung der Inulinkonzentration zu einer Krumenverfestigung. Neben der erhöhten Inulinmenge übt die gesteigerte Fettzugabe ebenfalls ihren negativen Einfluss auf die Krumenelastizität aus. Es kommt zu einer Verfestigung der Krumen bis auf 25 [N].

Die Versuchsreihe Nr.V2 führt nur zu geringfügigen Verbesserungen der Krumenfestigkeit (**Abb. 3.6.6.b**). Gebäcke mit einem Anteil von 6 Teilen Inulin GR und 20 Teilen Fett weisen jetzt eine Krumenfestigkeit von 30 [N] auf. Die niedrigste Krumenfestigkeit besitzen Kastenbrote mit 2 Teilen Raftiline® GR und 6 bis 8 Teilen Fett. Die Erhöhung der Inulinkonzentration führt ebenso wie die Steigerung der Fettzugabe zu einer Verfestigung der Gebäckkrume. Eine Krumenfestigkeit von 15 [N] wird zum einen durch Brote mit hohen Gehalten an Inulin GR (6 Teile) und niedriger Fettzugabe (5 Teile) als auch durch Brote mit geringen Gehalten an Inulin GR (1 Teil) und hohen Fettmengen (15 Teile) erreicht. Die Krumenfestigkeit beträgt bei Broten mit 6 Teilen Inulin HP und 20 Teilen Fett ebenfalls 30 [N]. Die niedrigste Krumenfestigkeit von 5 [N] wird bei Gebäcken mit 2 bis 3 Teilen Inulin HP und 5 bis 9 Teilen Fettzugabe gemessen. Eine weitere Erhöhung der Inulinzugabe wie auch des Fettgehaltes führt wiederum zu einer festeren Gebäckkrume.

Die **Abb. 3.6.6.c** gibt die Ergebnisse der Bestimmung der Krumenfestigkeit der Gebäcke der Versuchsreihe Nr.V3 wieder und lässt deutliche Verbesserungen in der Krumenelastizität erkennen. Weiche Krumen (4 [N]) werden bei Gebäcken mit einer Zugabe von 1 bis 3 Teilen Raftiline® GR und max. 6 Teilen Fett gemessen. Die Erhöhung der Konzentration an Inulin GR auf 6 Teile führt zu einer Krumenfestigkeit von 8 [N]. Ebenfalls wird eine Krumenfestigkeit von 8 [N] durch den Einsatz von 3 Teilen Inulin GR und 14 Teilen Fett erreicht. Erst durch die Steigerung der Fettmenge auf 20 Teile wird eine Krumenfestigkeit von 12 [N] erzielt. Der Einsatz von 1 bis 3 Teilen Raftiline® HP und max. 6 Teilen Fett führt zu Gebäckkrumen, die eine Festigkeit von 4 [N] aufweisen. Geringfügig höhere Festigkeiten werden bei Hefengebäcken gemessen, die mindestens 4 Teile Inulin HP und Fett beinhalten. Bei Gebäcken mit niedrigen Konzentrationen an Inulin HP, 1 bis 3 Teile, aber erhöhtem Fettgehalt, von 8 bis 14 Teilen, sind Krumenfestigkeiten von 6 bis 8 [N] messbar. Erst die Steigerung der Fettmenge auf mindestens 18 Teile lässt eine Verfestigung der Gebäckkrume auf 10 [N] bis 12 [N] zu.

Die nachfolgenden Ergebnisse von Krumenfestigkeiten der Gebäcke aus den Lagerversuchen geben Aufschluss über die Lagerstabilität der Kastenbrote mit prebiotischem Zusatz.

Abb. 3.6.6.d stellt die Ergebnisse der Bestimmung von Krumenfestigkeiten bei Gebäcken mit Inulinzusatz nach 3tägiger Lagerung dar. Alle Gebäcke zeigen nach 3 Tagen Lagerung einen leichten Rückgang der Krumenelastizität. So weisen Gebäcke mit 2 Teilen Raftiline® GR und max. 6 Teilen Fett nun eine Krumenfestigkeit von 6 [N] auf. Auch die Gebäcke mit höherer Fettzugabe von mindestens 14 Teilen zeigen jetzt eine Krumenfestigkeit von 14 [N] bis 18 [N]. Ein ähnliches Verhalten zeigen die Gebäcke mit Raftiline® HP nach 3tägiger Lagerung. Die Krumenfestigkeit ist um 2 [N] bis 4 [N] gestiegen. Kastenbrote mit Gehalten zwischen 1 und 4 Teilen Inulin HP und max. 8 Teilen Fett erreichen nach 3 Tagen nur noch eine Krumenfestigkeit von 8 [N]. Die gesteigerte Fettzugabe führt ebenfalls bei Gebäcken, die Inulin HP enthalten, zu einer erhöhten Krumenfestigkeit von 16 [N] bis 18 [N].

Die Verlängerung der Lagerdauer auf 7 Tage führt zu einem starken Anstieg der Krumenfestigkeit. Dies geht aus **Abb. 3.6.6.e** hervor. Krumenfestigkeiten von 10 [N] werden nur noch bei Gebäcken mit 1 bis 4 Teilen Inulin GR und Fettgehalten von max. 9 Teilen erreicht. Erhöhte Inulinkonzentrationen führen zu Krumenfestigkeiten von 15 [N]. Eine Steigerung der Fettzugabe auf max. 16 Teile führt bei niedrigen Inulingehalten ebenfalls zu Krumenfestigkeiten von 15 [N]. Bei weiterer Zugaben von Fett auf über 20 Teile werden Krumenfestigkeiten von 25 [N] erreicht. Gebäcke, die Raftiline[®] HP enthalten, zeigen ein ähnliches Verhalten nach 7tägiger Lagerdauer. So können Krumenfestigkeiten von 10 [N] nur noch durch Gebäcke, die max. 8 Teile Fett und 1 bis 3 Teile Inulin HP enthalten, erreicht werden. Die Erhöhung der Inulin- sowie der Fettkonzentration in den Gebäcken führt zu Krumenfestigkeiten von 15 [N] bis 20 [N]. Ein Fettgehalt von mehr als 20 Teilen führt bei Gebäcken mit Inulin HP nach 7tägiger Lagerung zu Krumenfestigkeiten von 25 [N].

Die oben aufgeführten Ergebnisse werden durch die sensorischen Beurteilungen, die im **Anhang Kap. 9.6.3** einzeln aufgeführt sind, bestätigt. Auch die Ergebnisse der Bestimmungen von Krumenfeuchten aus **Kap. 3.6.5** gehen mit den Messungen der Krumenelastizität einher.

3.6.7 Diskussion - Gebäcke mit Inulin

Die rheologischen Erkenntnisse über die Verwendung von Inulin in Hefe(fein)teigen werden durch verzehrfertige Gebäcke in praxiserrechte Aussagen umgewandelt.

Die Modifizierung des Herstellungsprozesses für Hefe(fein)teige mit Raftiline[®] GR und HP unterteilt sich in zwei Schritte. Im ersten Schritt wird die Schüttwassermenge den Standardgebäcken angepasst und im zweiten Schritt der Teig mit der optimalen Knetdauer geführt. So werden, ausgehend von einer am Backergebnis bestimmten optimalen Teigstruktur, das erforderliche Wasser-Mehl-Verhältnis und die erforderliche Knetzeit bestimmt (*Weipert 1993*). Gewünscht ist eine gute Frischhaltung der Backware durch eine hohe Wasseraufnahme während der Teigherstellung bei gleichzeitig gutem Stand der Teige (*Klingler 1995*).

Die Standardgebäcke mit einem Austausch von 6 Teilen Weizenmehl durch Weizenstärke wiesen je nach Fettzugabemenge den höchsten Bedarf an Schüttwasser auf. Die Standardgebäcke mit 5 Teilen Fett benötigten 58 Teile Wasser und Standardgebäcke (-teige) mit 20 Teilen Fettzusatz nur noch 43 Teile Wasser. Die zu variierenden Zusätze in den Backversuchen waren die Fett-/Wassermenge sowie der Austausch von Weizenstärke durch Inulin GR/HP. Die Teigausbeute wurde so konstant gehalten.

So ist die Wassermenge auch bei Inulinzugabe gleich dem Standard-Gebäck und wurde als optimal befunden, da sie auch bei den Hefengebäcken ohne Inulinzusatz die besten Ergebnisse aufwies. Neben der Vergleichbarkeit der Ergebnisse ist eine hohe Teigausbeute sowohl für die Frischhaltung der Hefengebäcke, die Weichheit der Krume als auch in ökonomischer Hinsicht von Vorteil. Ein Brot mit einer höheren Krumenfeuchte lässt auf ein frisches Gebäck schließen. Gewünscht wird somit ein Hefebrot mit prebiotischem Zusatz und den gleichen bzw. verbesserten Eigenschaften eines herkömmlichen Gebäckes.

Standardisierte Herstellungsbedingungen, die in Versuchsreihe Nr.V1 angewendet wurden, ergaben optimale Standardgebäcke. Die Brote mit Raftiline[®] GR und HP zeigen jedoch deutliche Qualitätseinbußen. Besonders Hefebrote mit Inulin und hoher Fettzugabe wiesen ein mangelndes Volumen und ein feste und trockene Gebäckkrume auf.

Die ungenügenden Gebäckkrumen und Volumina bei Gebäcken mit Inulin aus den Versuchsreihen Nr.V1 und Nr.V2 lassen folgende Schlussfolgerungen zu:

Die Gebäckkrume gilt als erstarrter Gelschwamm und baut sich aus einer Struktur mit unterschiedlich großen Poren auf (*Weipert 1993*). So sind die Viskosität und das elastische Verhalten der Krume, neben der Lockerung und der Beschaffenheit, abhängig vom Wassergehalt, dem Alter und den zugesetzten Additiva (z.B. Inulin) (*Weipert 1993*). Als wichtige Komponente der Krumentextur wird der Zustand der Porenwände genannt, der von der Art, Menge und Verteilung der Feststoffkomponenten und deren Wasserbindungsart in den Porenwänden abhängt (*Weipert 1993*). Betrachtet man die Gebäckkrumen, denen Inulin und höhere Fettmengen zugesetzt wurden, so waren raue, grobe Texturen festzustellen. Es konnte in **Kap. 3.5** gezeigt werden, dass Teige mit einem prebiotischen Zusatz einen erhöhten Knetenergiebedarf aufwiesen, um die unterschiedlichen Feststoffkomponenten gleichmäßig zu verteilen und eine vollständig abgeschlossene Weizenteigbildung zu gewährleisten. Die mangelhafte Textur beruht auf dem nicht ausreichenden Vermischen der einzelnen Zutaten im Teig und der nicht vollständig ausgeprägten Teig-/Gebäcktextur, was auf einen unvollständigen Knetprozess zurückzuführen ist.

Bei einer ungleichmäßigen Verteilung der Feststoffkomponenten im Teig kommt es so zu einer nicht ausreichenden Quellung der Mehlproteine und einer beeinträchtigten Netzwerkbildung, da sich gelöstes Inulin zwischen die Fibrillen und Membranen der Kleberproteine anlagert. Eine stärkere mechanische Beanspruchung der Teige zur Bildung eines vollständig ausgebildeten Klebnetzes wird benötigt.

Einen Einfluss auf die Gebäckqualität üben somit die ansteigende Fettzugabe und der Zusatz von Inulin aus. In Versuchsreihe Nr.V3 konnte anhand des modifizierten Herstellungsprozesses von Hefengebäcken gezeigt werden, dass der Einfluss von Inulin soweit zu reduzieren war, dass lediglich die variable Fettmenge über das Gebäckvolumen als auch über die Volumenausbeute die Krumenfeuchte und Krumenfestigkeit bestimmte.

Die Backergebnisse (Versuchsreihe Nr.V3) ließen die gewünschten Verbesserungen der Gebäckqualität erkennen. Der Einfluss des prebiotischen Zusatzes auf das Gebäckvolumen und die Krumenfestigkeit änderte sich in soweit, dass Zusätze von bis zu 4 Teilen Raftiline[®] GR als auch HP zu einer Erhöhung führten. Auch im Verlauf der siebentägigen Lagerung kam es zu keinen Änderungen der Krumenweichheit und der Gebäckfeuchte, die auf den Zusatz von Inulin zurückzuführen wären.

Die sensorische Bewertung unterstützte die vorliegenden Messergebnisse dahingehend, dass ein Unterschied zwischen den Gebäcken mit und ohne Inulin nicht mehr feststellbar ist. Eine nicht ausreichende Vermischung der Feststoffkomponenten war aus den Krumentexturen nicht ersichtlich, was sich als optimale Gebäckkrume/-struktur zeigte.

In einer abschließenden Aussage bleibt festzuhalten, dass die vorgestellten Backergebnisse in Form von Messergebnissen als auch sensorischen (organoleptischen) Beurteilungen und Darstellungen der verzehrfertigen Gebäcke aufzeigen, dass ein modifizierter Herstellungsprozess für Hefe(fein)gebäck mit Raftiline[®] GR und HP erforderlich ist. Es ist dadurch die Möglichkeit gegeben, ein qualitativ hochwertiges Hefe(fein)gebäck ohne negativen Einfluss des Inulines herzustellen.

Aus den dargestellten Untersuchungen können für den Einsatz von Raftiline[®] GR und HP folgende optimale Teigrezepturen (**Tab. 3.6.7.a**) und Herstellungsbedingungen (**Tab. 3.6.7.b**) vorgeschlagen werden:

Tab. 3.6.7.a Optimale Rezepturen für Hefe- und Hefefeinteige mit Inulinzusatz

Rezeptbestandteile	Hefeteig [g]	Hefefeinteig [g]	Hefefeinteig [g]	Schwerer Hefefeinteig [g]
Weizenmehl	940	940	940	940
Wasser	580	530	480	430
Weizenstärke*	60 bis 0	60 bis 0	60 bis 0	60 bis 0
Inulin* GR bzw. HP	0 bis 60	0 bis 60	0 bis 60	0 bis 60
Erdnussfett	50	100	150	200
Zucker	100	100	100	100
Kochsalz	12,5	12,5	12,5	12,5
Backhefe	60	60	60	60
Teigausbeute	1802,5	1802,5	1802,5	1802,5

*Die Rezepturbestandteile Inulin (Raftiline® GR bzw. HP) und Weizenstärke werden gegeneinander ausgetauscht. Werden z.B. 50 g Inulin HP (GR) verwendet, dürfen nur noch 10 g Weizenstärke zugesetzt werden, oder werden 20 g Inulin GR (HP) verwendet, so müssen noch 40 g Weizenstärke zugefügt werden.

Die Herstellung von Hefefeinteigen mit einem Zusatz von bis zu 40 g Inulin (GR oder HP) gemäß der optimalen Rezeptur und den in **Tab. 3.6.7.b** aufgeführten benötigten Knetzeiten führt zu Gebäcken mit deutlich erhöhtem Volumen. Gebäcke mit bis zu 60 g Inulin (GR oder HP) sind mit dem Standardgebäck ohne Zusatz vergleichbar.

Tab. 3.6.7.b Optimale Knetzeiten für einen Spiralknetzer

Teige	Knetdauer [s] in Geschwindigkeitsstufe I	Knetdauer [s] in Geschwindigkeitsstufe II
Teige mit 6 [T] Weizenstärke	60	300
Teige mit 1-2 [T] Inulin HP ¹	60	350
Teige mit 3-4 [T] Inulin HP ¹	60	400
Teige mit 5-6 [T] Inulin HP ¹	60	450
Teige mit 1-2 [T] Inulin GR ²	60	400
Teige mit 3-4 [T] Inulin GR ²	60	500
Teige mit 5-6 [T] Inulin GR ²	60	600

¹Inulin HP = Raftiline® HP

²Inulin GR = Raftiline® GR

4. Schlussbetrachtung

Neue Aspekte wie ernährungsphysiologisch wertvolle und gesundheitsfördernde Eigenschaften der Lebensmittel beeinflussen heute das Ernährungsverhalten und die Versorgung des Körpers mit Nährstoffen. Inulin (Fructooligosaccharid) ist eine dieser Lebensmittelzutaten, die aufgrund des geänderten Ernährungsverhaltens ihren Einsatz in einer ganzen Reihe von Lebensmitteln finden.

Im Rahmen dieser Arbeit wurde der Einfluss von Inulin auf das Backverhalten und die Stabilität von Inulin bei der Herstellung von Hefe- und Hefefeingebäck untersucht.

In vitro Fermentationen zeigten, dass der Einsatz von Hefe (*S. cerevisiae*) zur Teiglockerung zu hohen Verlusten an niedermolekularen, kurzkettigen Fructooligosacchariden führt. Die Invertase der Bäckerhefe ist in der Lage, neben Saccharose auch die kurzkettigen Fructooligosaccharide bis zu einer Kettenlänge von GF₁₄ als Substrat zu nutzen. Die Substratnutzung nimmt mit steigender Molekülgröße drastisch ab. Bei der Verwendung von Raftiline® HP sind daher keine durch enzymatischen Abbau bedingte Verluste mehr nachweisbar.

Die Übertragung der gewonnenen Erkenntnisse aus den *in vitro* Fermentationen auf reale Teigsysteme zeigte, dass das zugesetzte Inulin den Teigherstellungsprozess (Teigbereitung und Kneten) unbeschadet übersteht. Erst in der sich anschließenden Teigruhe- und Gärphase kommt es, entsprechend den *in vitro* Fermentationsversuchen, zu Verlusten an kurzkettigen Fructooligosacchariden. Der anschließende Backprozess der rohen Teigware hatte keine Auswirkung auf die Inulinverteilung. Das zugesetzte Inulin ist gegenüber den Temperaturen des Backprozesses beständig, so dass durch diesen Schritt im Herstellungsprozess von Hefe- und Hefefeinteigen keine Verluste auftreten. Eine Abnahme der kurzkettigen Fructooligosaccharide ist ausschließlich auf den Einfluss der Hefe *S. cerevisiae* zurückzuführen. In nicht-hefegelockerten „Feinen Backwaren“ wird demzufolge kein Abbau der Inuline gefunden.

Zur Herstellung von Sauerteig kommen die Milchsäurebakterien *Lactobacillus sanfranciscensis* und *Lactobacillus acidophilus* zum Einsatz. In den *in vitro* Fermentationen unter Verwendung dieser beiden Lactobacillen konnte gezeigt werden, dass eine Verwendung dieser Stämme keine Veränderungen der zugesetzten Fructooligosaccharide zur Folge hatten.

Untersuchungen zum Einfluss des Inulins auf die rheologischen Teigeigenschaften zeigten eine verzögerte Kleberbildung (Glutenaggregations-Test) und Wasseraufnahme sowie das unterschiedliche Quellverhalten der Kleberproteine (Farinogramm und Extensogramm) in Anwesenheit von Inulin. Diese verlängerte Kleberbildung und somit auch verzögerte Teigbildung bedingt einen längeren Knetprozesses um konstant verarbeitbare Teige mit prebiotischem Zusatz zu erhalten. Die Kriech-Erholungsmessungen an realen Teigen zeigten, dass eine Knetzeitverlängerung zu einer Teigverfestigung und somit zu verarbeitbaren Teigen führt. Hefe(fein)teige mit Inulinzusatz und „reduzierter“ Wasserzugabe ergeben zu feste Teige, die wenig deformierbar und somit nicht verarbeitbar sind. Die Backergebnisse der inulinhaltigen Brote unter Standardbackbedingungen ergaben verstärkt eine raue Gebäckkrume, die auf ein nicht vollständig ausgebildetes Klebernetzwerk und somit auf einen nicht vollständig ausgekneteten Teig zurückzuführen sind. Die Backergebnisse der Teige mit geänderten Wasserzugaben und verlängerten Knetzeiten ergaben gute Brotqualitäten. Aus den teigrheologischen und backtechnischen Untersuchungen zur Charakterisierung von Inulinzusätzen in Verlauf der Herstellung von Hefe- und Hefefeingebäcken lassen sich folgende abschließende Aussagen treffen:

- Inulin übt einen entscheidenden Einfluss auf die Teigbildung und somit auf die Ausbildung des Klebernetzwerkes aus. Die Kleberbildungsphase wird verzögert und bedingt dadurch eine verlängerte Knetdauer.
- Eine verminderte Wasserzugabe, um verarbeitbare inulinhaltige Teige herstellen zu können, führt zu einem „Nachsteifen“ der Teige, was die Gebäckqualität beeinträchtigt und zu einer sensorischen Abwertung führt.
- Bei der Herstellung inulinhaltiger Hefe(fein)teige ist zu beachten, dass die Wasserzugabe gemäß den Standardteigen ohne prebiotischen Zusatz gleich gehalten wird.
- Bei der Verwendung von einer max. Zugabe von 6 Teilen Raftiline[®] HP verlängert sich die Knetzeit um 50%. Die Knetzeitverlängerung ist gestaffelt und erhöht sich mit jeweils 2 Teilen Zusatz um 50 s.
- Mit der Verwendung einer max. Zugabe von 6 Teilen Raftiline[®] GR verlängert sich die Knetzeit um 100%. Die Knetzeitverlängerung ist gestaffelt und erhöht sich mit jeweils 2 Teilen Zusatz um 100 s.

Unter Berücksichtigung der oben beschriebenen Erkenntnisse über den Einfluss von Inulinzusätzen auf die Hefeteigbereitung ist es möglich, qualitativ hochwertige und sensorisch einwandfreie Gebäcke herzustellen.

5. Zusammenfassung

Ein geändertes Ernährungsverhalten führt zu neuen Trends in der Lebensmittelproduktion. Lebensmittelzutaten werden nicht nur wegen ihres Nährwertes und der technologischen Funktionen in Lebensmitteln eingesetzt, sondern auch aufgrund von ernährungsphysiologischen Eigenschaften. Lebensmittel mit gesundheitlichem Zusatznutzen werden unter dem Begriff „Functional Foods“ zusammengefasst. Functional Foods lassen sich in probiotische, prebiotische und synbiotische Lebensmittel einteilen. So finden Lactobacillen und Bifidobakterien besonders in probiotischen Molkereiprodukten ihren Einsatz. Die löslichen Ballaststoffe wie Oligofruktose und Inulin finden in prebiotischen Lebensmitteln ihre Anwendung.

Ausgangspunkt der vorliegenden Arbeit ist der prebiotische Zusatz „Inulin“. Das aus Zichorien gewonnene Inulin ist ein Gemisch aus Fructooligosacchariden unterschiedlich langer Molekülketten. Seinen Einsatz als Prebiotikum verdankt Inulin insbesondere seiner Unverdaubarkeit im Dünndarm sowie ernährungsphysiologischen und krankheitsvorbeugenden Eigenschaften. Ein breites Anwendungsspektrum findet Inulin in Milchprodukten, Füllungen, Fruchtzubereitungen und Backwaren.

Im Rahmen dieser Arbeit wurde der Einfluss von Inulin (Handelsname: Raftiline® GR und HP) auf die rheologischen Teigeigenschaften, das Backverhalten und die Stabilität von Inulin bei der Herstellung von Hefe- und Hefefeingebäck untersucht.

Die Trennung und der Nachweis der unterschiedlichen Fructooligosaccharide in Teigen und Backwaren erfolgte mittels High-Performance Anion-Exchange Chromatography (HPAEC-PAD). Die HPLC-Methode ermöglichte es, die einzelnen Fructooligosaccharide mit unterschiedlichem Molekulargewicht zu charakterisieren und mögliche Inulinverluste bei der Teigherstellung und dem sich anschließenden Backprozess nachzuweisen.

Bei *in vitro* Fermentationen konnte gezeigt werden, dass die Hefe *Saccharomyces cerevisiae* in der Lage ist, niedermolekulare Inulineinheiten bis zu einer Kettenlänge von 14 Monosaccharidbausteinen (GF₁₄) zu metabolisieren. Die Verluste an niedermolekularen Fructooligosacchariden sind auch in den verzehrfertigen Backwaren nachweisbar. Hochmolekulare Fructooligosaccharide (GF > 14) werden von Hefen nicht mehr abgebaut. Im Gegensatz dazu stehen die *in vitro* Fermentationen mit Lactobacillen der Stämme *Lactobacillus sanfranciscensis* und *Lactobacillus acidophilus*. Verluste von nieder- und höhermolekularen Fructooligosacchariden sind hierbei nicht feststellbar.

Die gewonnenen Erkenntnisse zum Inulinabbau aus den *in vitro* Fermentationen sind auf reale Teigsysteme übertragbar. Untersuchungen zeigten, dass in der Teigruhe- und Gärphase, entsprechend den *in vitro* Fermentationen, Verluste an kurzkettigen Fructooligosacchariden auftreten. Der anschließende Backprozess der rohen Teigware hatte keinen weiteren Einfluss auf die Inulinverteilung. Das zugesetzte Inulin ist gegenüber den Temperaturen des Backprozesses beständig, so dass durch diesen Schritt im Herstellungsprozess von Hefe- und Hefefeinteigen keine weiteren Verluste auftreten. Eine Abnahme der kurzkettigen Fructooligosaccharide ist ausschließlich auf den Einfluss der Hefe *S. cerevisiae* zurückzuführen. In nicht-hefegelockerten „Feinen Backwaren“ wird demzufolge kein Abbau der Inuline gefunden.

Bei Teigen mit erhöhten Saccharosekonzentrationen konnten die Verluste an niedermolekularen Inulinen reduziert werden.

Durch Verwendung von zwei unterschiedlichen Inulintypen (Raftiline® GR und auch HP) konnte gezeigt werden, dass sich das hauptsächlich aus höhermolekularen Fructooligosacchariden bestehende Raftiline® HP besser für den Einsatz in hefegelockerten Backwaren eignet.

Neben der Stabilität von Inulinen im Verlauf der Teigbereitung wurde sein Einfluss auf die rheologischen Teigeigenschaften untersucht.

Unter Verwendung des Glutenaggregations-Testes konnte gezeigt werden, dass Inulin die Kleberbildung in Weizenteigen verzögert und eine verlängerte Teigbildungsphase verursacht. Rheologische Analysen mittels Extensograph, Farinograph und Kriech-Erholungsmessungen ergaben, dass eine reduzierte Wasserzugabe von inulinhaltigen Teigen im Standardbackversuch zu einem „Nachsteifen“ und zu einer deutlich verlängerten Knetdauer führte. Der Einsatz von Inulin in Weizenteigen bedingt einen veränderten Herstellungsprozess. Die Untersuchungen ergaben, dass inulinhaltige Teige mit der gleichen Wassermenge wie Standardteige hergestellt werden können. Die Knetdauer muss jedoch auf den entsprechenden Inulintyp und die zugesetzte Konzentration abgestimmt sein. So müssen Teige mit Raftiline® HP (Teiganteil: 2 Teile) 50 s und Teige mit Raftiline® GR (Teiganteil: 2 Teile) 100s länger geknetet werden als Teige ohne Inulinzusatz.

Die Berücksichtigung dieser geänderten Herstellungsbedingungen führt zu qualitativ hochwertigen und sensorisch einwandfreien Backergebnissen von Teigen mit dem prebiotischen Zusatz Inulin. Darüber hinaus zeigten Lagerversuche, dass ernährungsphysiologisch wertvolle Backwaren keine Beeinträchtigung der geschmacklichen wie optischen Eigenschaften zur Folge haben.

6. Arbeitsvorschriften (Material und Methoden)

6.1 Analytische Methodik

6.1.1 Chemikalien und Hilfsmittel für die Analytik

6.1.1.1 Allgemeine Chemikalien

Essigsäure [Eisessig] 100% (Merck, Art.Nr. 612)
Natronlauge 50% (J.T.Baker, Art.Nr. 7067)
Natriumacetat-Trihydrat (Merck, Art.Nr. 1.06267.5000)
Wasser (reinst, TOC: 3 ppb – hergestellt mittels Milli-Q gradient)
Helium 4.6 (Messer[®] Art.Nr. 0385 UN 1046 Helium verdichtet EWG-Nr. 231-168-5)

6.1.1.2 Standards

Saccharose (Sucrose) (Sigma, Art.Nr. 9378)
Glucose (Sigma, Art.Nr. G 8270)
Fructose (Sigma, Art.Nr. F 0127)
Kestose (Megazyme, Art.Nr. 440-KE)
1,1-Kestotetraose (Megazyme, Art.Nr. 440-KTE)
1,1,1-Kestopentaose (Megazyme, Art.Nr. 440-KPE)
Raftiline[®] GR (Inulin GR) (Orafti)
Raftiline[®] HP (Inulin HP) (Orafti)

6.1.1.3 Reagenzlösungen und Puffer

Natrium-Acetat-Puffer pH 5:
0,1 mol/L Natriumacetat-Lsg.: 13,61 g/l
0,1 mol/L Essigsäure: 5,88 mL/L Eisessig
Natrium-Acetat-Puffer (pH 5) gemäß Merck-Tabelle: 67,8 Teile Natrium-Acetat-Lsg.
+ 32,2 Teile Essigsäure-Lsg. ⇒ Natriumacetat-Puffer pH 5

0,1 mol/L Natronlauge: 8,00 g/L 50% Natronlauge

6.1.1.4 Standardlösungen

Standardlösung I: 0,0100 g Saccharose / 100 mL 0,1 mol/L Natronlauge
Standardlösung II: 0,0080 g 1,1-Kestotetraose / 100 mL 0,1 mol/L Natronlauge
Standardlösung III: 0,0050 g 1,1,1-Kestopentaose / 100 mL 0,1 mol/L Natronlauge
Standardlösung IV: 0,2000 g Raftiline[®] GR (Inulin GR)
Standardlösung V: 0,2000 g Raftiline[®] HP (Inulin HP)

6.1.1.5 Eluenten

Das für die Herstellung der Eluenten benötigte Reinstwasser wird vor dem Gebrauch ca. 10 min mit Helium entgast. Die fertigen Eluenten sind vor dem Gebrauch für ca. 5 min mit Helium nochmals zu entgasen.

Eluent A:

0,1 mol/L Natronlauge: 8,00 g/l 50% Natronlauge

Eluent B:

1,0 mol/L Natriumacetat / 0,1 mol/L Natronlauge: 136,08 g/L Natriumacetat-Trihydrat + 8,00 g/L 50% Natronlauge

6.1.1.6 Glasgeräte und Laborbedarf

Glasgeräte

Bechergläser, diverse Größen
Messkolben, 10 mL, 25 mL, 50 mL, 100 mL, 1L, 2L
Messzylinder, 100 mL, 250 mL
Pasteurpipetten (200 mm)
Gastrichter, diverse Größen
Schnelllauftrichter, diverse Größen
Messpipetten, diverse Größen
Erlenmeyerkolben mit Schraubverschluss, 250 mL
Jodzahlkolben, 250 mL

Laborbedarf

Einweg-Kunststoff-Pipetten, 3 mL
Faltenfilter, Schleicher & Schüll, 595 ½ 150 mm, RefNr. 311645
Membranfilter, Schleicher & Schüll FP 30/0,2 CA-S bzw. FP 30/0,45 CA-S (non-pyrogenic), Porengröße 0,20 µm, Porengröße 0,45 µm
Membranfilter, Satorius Minisart (non-pyrogenic) Porengröße 0,80 µm Art.Nr.: 16592, Porengröße 0,45 µm Art.Nr.: 16555
Einwegspritzen, 5 mL und 10 mL
Insulinspritzen, 1mL
Polypropylenzentrifugenbecher, 50 mL und 250 mL
Polypropylen-Trockenschalen
Eppendorf Mikropipetten Reference, 100 – 1000 µL und 50 – 200 µL (Eppendorf, Hamburg)
Pipette 0,5 – 5,0 mL Transferpipette (Brand)

6.1.1.7 Technische Laborgeräte

Millipore-Reinstwasser-Apparatur, Milli-Q gradient A10 (Millipor GmbH, Eschborn)
Digitales pH-Meter Expandable ion Analyser EA94 mit Glaselektrode (Orion Reserch)
Kühlzentrifuge, Fa. Brandt.
Universalzerkleinerer Moulinette (Moulinex, Köln)
Ultraschallbad Sonorex RK 100 (Bandelin, Berlin)
Magnetrührer, Variomag[®] Elektronikrührer Multipoint HP15
Magnetrührer incl. Heizplatte, IKA-Combimag RET, Janke & Kunkel GmbH & Co. KG, Staufen
Digitalwaage Satorius MC1 Analytic AC 2105
Umluft-Trockenschrank

6.1.1.8 Chromatographische Ausrüstung

Hochleistungsanionenaustauschchromatograph mit gepulstem amperometrischen Detektor

Chromatographiesystem: DX 300 / DX 500 (DIONEX Idstein)
Entgasungsmodul, DIONEX Eluent Degas Module (DIONEX Idstein)
Gradientenpumpe, DIONEX Gradient Pumpe AGP (DIONEX Idstein)
Chromatographiemodul, DIONEX LC20 Chromatography (DIONEX Idstein)
Interface, DIONEX Advanced Computer Interface (DIONEX Idstein)
Detektor, DIONEX Pulsed Amperometric Detector (PAD) (DIONEX Idstein)
Datenauswertung, DIONEX AL-450

Analytische Trennsäule

Chromatographiesäule: 250 x 4 mm CarboPac PA1[®] (Korngröße 10 µm) mit 50 x 4 mm
Vorsäule CarboPac PA1[®] (Korngröße 10 µm) (DIONEX Idstein)

6.1.2 Methoden zur Kohlenhydrat-Bestimmung

6.1.2.1 Apparativer Aufbau und chromatographische Bedingungen der Inulin-Bestimmung

Ausgangspunkt für die Inulin-Bestimmung in Lebensmittelproben ist die von *De Leenheer und Hoebregs (1994, 1997)* entwickelte HPAEC-PAD-Methode. Für die vorhandenen Trennprobleme wird die Methode modifiziert und etabliert. Die zwei unterschiedlichen Inulinsorten können somit gemäß ihrer einzelnen Fructanketten $[GF_n]$ getrennt und identifiziert werden. Mit dieser verifizierten Methode werden alle anfallenden Proben, die Inulin enthalten, getrennt. Die auftretenden Proben stammen aus den Arbeitsschwerpunkten „Fermentationsversuche“ (**Kap. 3.2**), „Stabilität von Inulin in der Gärphase“ (**Kap. 3.3**) und den „Backwarenuntersuchungen“ (**Kap. 3.4**).

Für die Trennung der Glucose, Fructose und Saccharose wird der gleiche schematische Aufbau gewählt, jedoch die Einstellungen entsprechend geändert. Die Beschreibung dieser Methode erfolgt in **Kap. 6.1.2.2**.

Der schematische Aufbau der verwendeten HPAEC-PAD-Anlage ist in **Abb. 6.1.2.1.a** dargestellt.

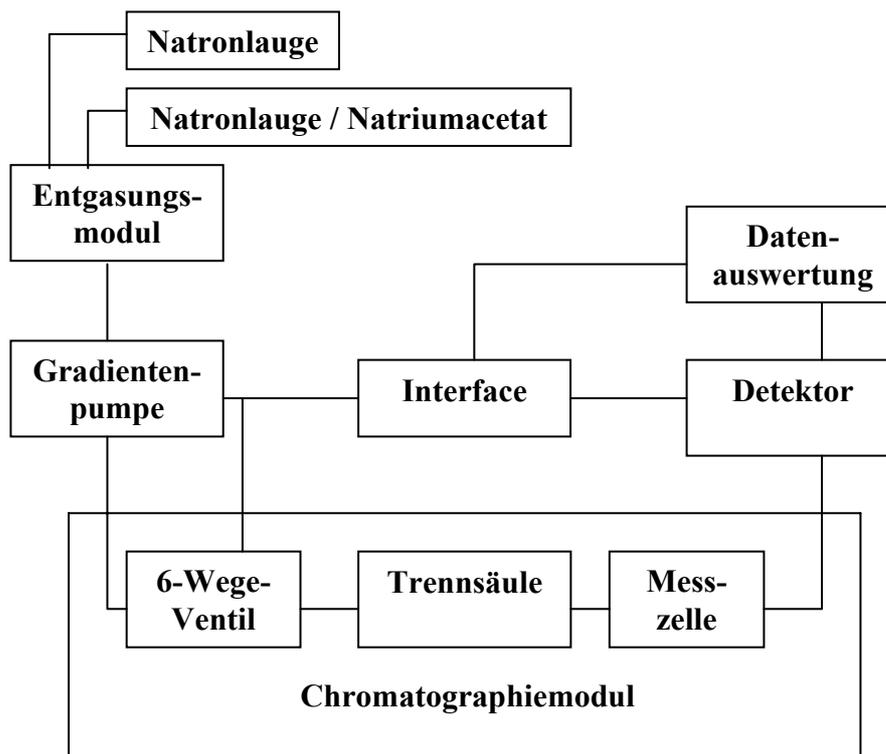


Abb.6.1.2.1.a Apparativer Aufbau der HPAEC-PAD-Anlage

Für die Analytik des Inulins wird eine Hoch-Leistungs-Anionen-Austausch-Chromatographie mit einem gepulstem amperometrischen Detektor (HPAEC-PAD) eingesetzt. Die beiden, in Teflonbehälter befindenden, Eluenten (A und B) werden unter einer 5 bar betragenen Heliumatmosphäre aufbewahrt. Die Eluenten sind über das Entgasungsmodul mit der

Gradientenpumpe verbunden, in der sie gemäß der Vorgabe gemischt werden und stellen die mobile Phase da. Über ein Rheodyn-6-Wege-Ventil werden die Analyten von der mobilen Phase auf die Vorsäule (CarboPac PA1[®], 10 µm, 50 x 4 mm) und anschließend auf die Trennsäule (CarboPac PA1[®], 10 µm, 250 x 4 mm) gebracht. Als mobile Phase für die Trennung des Inulins auf der CarboPac[®] PA1 wird ein Gemisch aus 0,1 mol/L Natronlauge und 1,0 mol/L Natriumacetat + 0,1 mol/L Natronlauge gewählt. Der Gradientenverlauf der Inulin-Trennung wird in **Tab. 6.1.2.1.b** beschrieben. Die Säulentemperatur für eine optimale Trennung beträgt 20°C.

Die Detektion findet im Anschluß an die Chromatographie in einer elektrochemischen Messzelle statt. Die aufgetrennten Analyten werden an einer Goldelektrode oxidiert und detektiert. Die Empfindlichkeitseinstellung ist in **Tab. 6.1.2.1.a** beschrieben.

Die gesamte Steuerung der Chromatographie-Anlage erfolgt über einen PC mit dem Steuerungsprogramm AL-450. Zwischen dem PC und der eigentlichen Chromatographie-Anlage ist ein Interface geschaltet, welches die einzelnen Module ansteuert.

Tab. 6.1.2.1.a HPAEC-PAD-Bedingungen für die Inulin-Trennung

Eluenten:	<i>Eluent A:</i> 0,1 mol/L Natronlauge <i>Eluent B:</i> 1,0 mol/L Natriumacetat / 0,1 mol/L Natronlauge
Fliessgeschwindigkeit:	1 mL/min
Säulentemperatur:	20°C
Detektorempfindlichkeit:	1 nA

Tab. 6.1.2.1.b Gradientenverlauf für Inulin-Bestimmung

Zeit [min]	Eluent A [%]	Eluent B [%]
0,0 – 1,0	90,0	10,0
1,1	89,9	10,1
40,0	50,0	50,0
40,0 – 45,0	50,0	50,0
45,1 – 60,0	90,0	10,0

6.1.2.2 Apparativer Aufbau und chromatographische Bedingungen der Glucose, Fructose- und Saccharose-Bestimmung

Die Trennung der Glucose, Fructose und Saccharose erfolgt nach dem gleichem apparativen Aufbau wie die Inulin-Bestimmung (**Kap. 6.1.2.1, Abb. 6.1.2.1.a**) Die chromatographischen Bedingungen unterscheiden sich jedoch von der Inulin-Trennung und werden in **Tab.**

6.1.2.2.a und **Tab. 6.1.2.2.b** beschrieben. Die anfallenden Proben stammen, wie auch die Proben für die Inulin-Bestimmung aus den Arbeitsschwerpunkt „Fermentationsversuche“ (**Kap. 3.2**).

Tab. 6.1.2.2.a HPAEC-PAD-Bedingungen für die Glucose-, Fructose- und Saccharose-Trennung

Eluenten:	<i>Eluent A:</i> 0,1 mol/L Natronlauge <i>Eluent B:</i> 1,0 mol/L Natriumacetat / 0,1 mol/L Natronlauge
Fliessgeschwindigkeit:	0,7 mL/min
Säulentemperatur:	20°C
Detektorempfindlichkeit:	3 nA

Tab. 6.1.2.2.b Gradientenverlauf für Glucose-, Fructose- und Saccharose-Bestimmung

Zeit [min]	Eluent A [%]	Eluent B [%]
0,0 – 25,0	100,0	0,0
25,1	99,9	0,1
60,0	50,0	50,0
60,0 – 65,0	50,0	50,0
65,1 – 80,0	100,0	0,0

6.1.3 Durchführung der Analysen

6.1.3.1 Aufarbeitung von Fermentationsproben

Die Proben der Fermentationsversuche werden nach 0h und 24h Fermentationsdauer entnommen und nach folgender Vorgehensweise aufgearbeitet:

Es werden jeweils 150 mL Fermentationsextrakt in einem 300mL-Erlenmeyerkolben mit Schraubverschluss eingewogen und anschließend 15 min im siedenden Wasserbad sterilisiert. Nach dem Abkühlen wird die Probe mit dest. Wasser auf das Ausgangsgewicht eingestellt. Zur Abtrennung der abgetöteten Mikroorganismen und gefällten Caseine (Proteine) wird der Extrakt bei 10°C und 20.000 rpm für 15 min zentrifugiert. Im Anschluss daran ist der Überstand zu dekantieren und mit 0,1 mol/L NaOH zu verdünnen.

Folgende Verdünnungen sind für die einzelnen Kohlenhydratanalysen mittels HPAEC-PAD anzuwenden:

- Bestimmung von **Inulin GR / HP**: verdünnen auf eine Analysenkonzentration von 0,1 g/100 mL
- Bestimmung von **Glucose, Fructose, Saccharose**: verdünnen auf eine Analysenkonzentration vom 0,01 g/100 mL.

Die verdünnte Probe wird durch einen 0,2 µm-Membranfilter filtriert und kann zur HPAEC eingesetzt werden.

6.1.3.2 Probenvorbereitung von Teigmustern aus den Stabilitätstests in der Gärphase

Die Teige werden gemäß der Arbeitsvorschrift **Kap. 6.3.3.1** hergestellt. Die zu untersuchenden Proben werden direkt nach dem Knetprozeß bzw. nach der optimalen Gärzeit (60 bzw. 72 min) entnommen und wie folgt aufgearbeitet:

15-20 g Teig werden in ein 250 mL-Becherglas eingewogen, mit 75 mL Natriumacetat-Puffer (pH 5) versetzt und anschließend mittels Ultra-Turax homogenisiert. Der Gärprozess (Fermentationsprozess) der Suspension wird durch eine Mikrowellenbehandlung (2 min 600 Watt) aufgehalten. Im Anschluss daran wird die Probe in einen 100 mL-Messkolben überführt und bei 70°C für 45 min im Ultraschallbad extrahiert. Zur Proteinfällung muß die Probe im Anschluss an die Extraktion 15 min in einem siedenden Wasserbad erhitzt werden. Nach dem Abkühlen wird der Extrakt mit dest. Wasser auf 100 mL aufgefüllt und zur Abtrennung des Protein- bzw. Stärkeniederschlages bei 10°C und 20.000 rpm für 15 min zentrifugiert. Bei Teigmustern, die Fett enthalten, wird dieses durch Ausfrieren und anschließendes Filtrieren abgetrennt. Das Filtrat wird mit 0,1 mol/L NaOH soweit verdünnt, dass eine Endkonzentration von **0,1 – 0,15 g Inulin HP bzw. GR / 100 mL Suspension** vorliegt. Die verdünnte Probe ist durch einen 0,2 µm-Membranfilter zu filtrieren und kann anschließend direkt zur HPAEC eingesetzt werden

6.1.3.3 Probenaufarbeitung von Gebäcken

Die Aufarbeitung der Gebäckproben unterscheidet sich je nach Zusammensetzung der Gebäckproben. Es wird differenziert zwischen fettarmen bzw. fettfreien Gebäcken wie z.B. Weißbrot und fettreichen Gebäcken wie z.B. Hefefeingebäcke und Feinen Backwaren.

Die Hefefeingebäcke (Kastenstuten) werden gemäß der Arbeitsvorschrift **Kap. 6.3.3.1** hergestellt. Alle weiteren Gebäckmuster werden den Herstellerangaben folgend zubereitet (**Anhang Kap. 9.4**). Alle Proben werden nach dem folgenden Schema für die HPAEC-Analytik aufgearbeitet:

Bei Brotproben wird im ersten Arbeitsschritt die Kruste entfernt und die Krume in gleichmäßig große Stücke zerteilt. Im Anschluss daran das Nettogewicht ermittelt und die Krumenfeuchte bestimmt. Die Brotkrume wird bei 40°C mind. 24h im Umlufttrockenschrank zur Massenkonstanz getrocknet. Nach der Restfeuchtebestimmung und Ermittlung des Trockengewichts wird die Krume fein vermahlen.

Für die Extraktion werden je nach zugesetzter Inulinmenge 5 – 10 g Trockenkrume in einen 100 mL-Messkolben eingewogen, mit 80 mL Natriumacetat-Puffer (pH 5) versetzt und 25 min bei Raumtemperatur auf dem Magnetrührer homogenisiert. Die Suspension wird 45 min in einem 70°C warmen Ultraschallbad extrahiert. Zur Proteinfällung die Probe im Anschluss an die Extraktion 15 min in einem siedenden Wasserbad erhitzen. Nach dem Abkühlen wird der Extrakt mit dest. Wasser auf 100 mL aufgefüllt und zur Abtrennung des Protein- bzw. Stärkeniederschlages bei 10°C und 20.000 rpm für 15 min zentrifugiert.

Bei Gebäckmustern die Fett enthalten erfolgt die Abtrennung des mit extrahierten Fettes durch Ausfrieren und Filtrieren. Das fettfreie Gebäckextrakt/-filtrat wird nun mit 0,1 mol/L NaOH soweit verdünnt, daß eine Endkonzentration von ca. **0,1 - 0,15 g Inulin HP bzw. GR / 100 mL Lösung** vorliegt. Die verdünnte Probe ist durch einen 0,2 µm-Membranfilter zu filtrieren und kann anschließend direkt zur HPAEC eingesetzt werden.

6.2 Mikrobiologisches Verfahren – Fermentationsversuche

6.2.1 Chemikalien und Geräte für die Fermentationsversuche

6.2.1.1 Allgemeine Chemikalien

Pepton aus Casein (Merck, Art.Nr. 70169)

Dikaliumhydrogenphosphat (K₂HPO₄) (Merck, Art.Nr. 4873)

Ammoniumchlorid (NH₄Cl) (Merck, Art.Nr. 09718)

sterile phys. NaCl-Lösung (0,85%ig) (Merck, Fluka Art.Nr. 71386)

Maltose (Fluka, Art.Nr. 63419)

Dest. Wasser

Natronlauge 0,1 mol/L (Merck, Fluka Art.Nr. 72074)

Milchsäure (Fluka, Art.Nr. 69773)

6.2.1.2 Standardsubstanzen

Saccharose (Merck, Art.Nr. 84097)

Raftiline[®] HP (Inulin HP – Orafiti Belgien) (**Kap. 6.3.1.1.6**)

Raftiline[®] GR (Inulin GR – Orafiti Belgien) (**Kap. 6.3.1.1.6**)

6.2.1.3 Mikroorganismen

Bei allen verwendeten Mikroorganismen handelt es sich um vorher angezogene Reinkulturen.

Backhefe – *Saccharomyces cerevisiae*:

Herkömmliche Bäckereihefe (EURO-Backhefe DHW), die für alle Arten der Hefeteigbereitung eingesetzt werden kann. Die Spezifikation und weitere Daten sind im **Anhang Kap. 9.1** zu finden.

Trockenhefe – *Saccharomyces cerevisiae*:

Handelsübliche Trockenbackhefe Fermipan (Dr. Oetker), die für alle Arten der Hefeteigbereitung eingesetzt werden kann. Die Spezifikation und weitere Daten sind im Anhang Kap. 9.1 zu finden.

***Lactobacillus sanfranciscensis* (früher *Lb. sanfrancisco*) Stamm 281 (heterofermentativ):**

Milchsäurebakterien der Gattung *L. sanfranciscensis* sind neben *L. brevis* und *L. plantarum* typische Vertreter der Sauerteigbakterienflora. Bei dem Bakterienstamm stammt aus der Sammlung der BAGKF. Die Spezifikation und weitere Daten sind im **Kap. 3.2.1** zu finden.

***Lactobacillus acidophilus* Stamm 265 (homofermentativ) :**

L. acidophilus gehört zu der Gruppe der Milchsäurebakterien die ihren Einsatz neben Sauerteigstartern auch im Bereich der Sauermilchgetränke findet. Daneben gehört er mit zu den Darm- und Schleimhautbewohnern. Die Spezifikation und weitere Daten sind im **Kap. 3.2.1** zu finden.

6.2.1.4 Nährlösungen

MRS –Bouillon + 1% Maltose für Vorkultur: Lactobacillen

Sabouraud-Dextrose Bouillon für Vorkultur: Hefen

Grundmedium für Fermenter: 1% Pepton aus Casein + 0,1% K₂HPO₄ + 0,1% NH₄Cl (pH 6,5)

Zusammensetzung MRS (g/L) [Merck]:

Pepton aus Casein	10,0
Fleischextrakt	8,0
Hefeextrakt	4,0
D(+)-Glucose	20,0
K ₂ HPO ₄	2,0
Polyoxyethylensorbitanmonooleat	1,0 (Merck)
Diammoniumhydrogencitrat	2,0
Natriumacetat	5,0
Tween 80	1,0
MgSO ₄	0,2
MnSO ₄	0,04
pH-Wert 5,7 ± 0,2 bei 25°C	

Zusammensetzung Sabouraud-Dextrose Bouillon (g/L) [Merck]:

Dextrose	20,0
Pepton	10,0
pH-Wert $5,6 \pm 0,2$ bei 25°C	

6.2.1.5 Glasgeräte und Laborbedarf

Reagenzgläser, diverse Größen
Messpipetten, diverse Größen
Erlenmeyerkolben mit Schraubverschluss, 300 mL
Erlenmeyerkolben, 300 mL, mit Belco-Kappen (Vorkultur)
Zentrifugenröhrchen
Einwegspritzen, 30 mL
Eppendorf Mikropipetten Reference 100 – 1000 μL (Eppendorf Hamburg)

6.2.1.6 Laborgeräte und Fermenter

Schüttler
Brutkammer
Zentrifuge
Autoklav
Fermenter – BIOSTAT E, B. Braun – Biotech (analog instrumentiert)
MFCS – Prozessleitsystem, Rechnersystem zur Datenerfassung und Prozesskontrolle
Trübungsmeßsystem zur Ermittlung von Wachstumsraten (Streulichtmessung – Infrarotstrahlung), Fa. IMA

6.2.2 Herstellung von Vorkulturen für Fermentationsversuche

Um einen Anfangskeimgehalt von $10^6 - 10^7$ KBE / mL zu erreichen, ist es erforderlich die einzelnen Mikroorganismen (Hefen und Lactobacillen) aufzukonzentrieren. Nach folgendem Ablauf werden alle Vorkulturen aufkonzentriert und für die Fermentationsversuche bereitgestellt.

Für die Vorkultur werden 4 x 300 mL-Kolben mit jeweils 100 mL Brühe (MRS + 1% Maltose für Lactobacillen bzw. Sabouraud-Dextrose-Bouillon für Hefen) mit je 1 mL bewachsener Keimsuspension (aus dem Reagenzglas) beimpft. Danach inkubieren auf dem Schüttler (115 rpm) bei 30°C (Brutkammer) für 48 h. Im Anschluss erfolgt die Aufkonzentration. Hierfür werden 8 sterile Zentrifugenröhrchen mit jeweils 25 mL dieser Keimsuspension befüllt und bei 12290 rpm 10 min zentrifugiert, der Überstand dekantiert und erneut mit 25 mL Keimsuspension gefüllt und unter gleichen Bedingungen zentrifugiert. Zum Waschen werden in jedes Zentrifugenröhrchen 10 mL sterile phys. NaCl-Lösung (0,85%ig) pipettiert und vermischt. Im Anschluss daran wiederum bei 12290 rpm 10 min zentrifugiert und der Überstand dekantiert. Dieser Waschschritt wird noch ein zweites Mal auf gleiche Weise durchgeführt. Nach dem zweimaligen Waschen 12 mL sterile phys. NaCl-Lösung (0,85%ig)

in jedes Röhrchen gegeben und gut homogenisieren. Die Inhalte der Zentrifugenröhrchen werden dann in einem sterilen 100 mL-Kolben vereinigt.

6.2.3 Fermentationsmethode und Messmethodik

Mit der Durchführung der Fermentationsversuche sollen unterschiedliche Kohlenhydrate auf ihre Verstoffwechselbarkeit durch entsprechende Mikroorganismen geprüft werden. Den Hefen bzw. Lactobacillen wird jeweils nur eine Kohlenhydratquelle zur Verfügung gestellt. Zusätzlicher Sauerstoff wird während des laufenden Versuches nicht zugeführt.

Alle Versuche werden mit dem gleichen Grundmedium besteht aus 1% Pepton aus Casein, 0,1% K_2HPO_4 und 0,1% NH_4Cl , mit einem arbeitenden Volumen von jeweils 5 L, durchgeführt. Zusätzlich wird die entsprechende Kohlenhydratquelle (Saccharose, Inulin GR oder Inulin HP (0,5% bzw. 1,0%)) zugesetzt. Das Fermentationsmedium wird für 30 min bei 121°C im Fermenter sterilisiert. Nach dem Abkühlen wird das Grundmedium mit der Vorkultur, welche die entsprechenden Mikroorganismen (Hefen bzw. Lactobacillen) enthält und einen Ausgangskeimgehalt von 10^7 bis 10^8 KBE/mL aufweist, mittels Einwegspritze beimpft. Zu Beginn: Einstellung der optischen Dichte mit der konzentrierten Keimsuspension auf 5 – 7%. Die Temperatur des Fermenters wird während der Versuchsdauer konstant auf 30°C gehalten. Die Fermentationbrühe wird gleichmäßig mit 100 rpm gerührt, wobei kein Sauerstoff während des laufenden Versuches zugeführt wird. Der pH-Wert des Mediums wird vor Versuchsbeginn mittels 0,1 mol/L NaOH bzw. Milchsäurelösung auf einen pH von 6,5 eingestellt.

Für die analytischen Untersuchungen wird direkt bei Versuchsbeginn eine 150 mL Probe entnommen und gemäß **Kap. 6.1.3.1** aufgearbeitet. Die Werte der Versuchsparameter: Rührerdrehzahl, Temperatur, optische Dichte und pH-Wert werden mit dem Prozessleitsystem alle 15 s erfasst, über eine Minute gemittelt und abgespeichert. Der Anstieg der optischen Dichte gibt Aufschluss über das Wachstum und die Vermehrung der Mikroorganismen im Fermentationsmedium. Ebenso lässt der Abfall des pH-Wertes Rückschlüsse auf den Abbau der Kohlenhydrate und die somit entstehenden Fermentationsprodukte zu. Nach einer Fermentationsdauer von 24 h wird die nächste Probe für die Abbauuntersuchung der Kohlenhydratquelle mittels HPAEC gezogen und gemäß **Kap. 6.1.3.1** aufgearbeitet.

6.3 Backversuche und rheologische Methodik

6.3.1 Material und Hilfsmittel für die Backversuche und die rheologischen Untersuchungen

6.3.1.1 Material

6.3.1.1.1 Weizenmehle

Es wird ein unbehandeltes Weizenmehl der Type 550 verwendet, das aus zwei Weizensorten ermahlen war (50% E-Weizensorte, 50% B-Weizensorte). Die Ergebnisse der Mehlintersuchungen sind im **Anhang Kap. 9.8** aufgeführt. Das Mehl erhält die Versuchsbezeichnung „Mehl Nr.1“.

Für die rheologischen Untersuchungen werden neben dem oben beschriebenen Weizenmehl drei weitere sortenreine, unbehandelte Weizenmehle der Type 550 verwendet. Die Ergebnisse der Mehlintersuchungen sind im **Anhang Kap. 9.8** aufgeführt. Das Weizenmehl der E-Weizensorte Bussard erhält die Versuchsbezeichnung „Mehl Nr.2“, das Weizenmehl der A-Weizensorte Batis erhält die Versuchsbezeichnung „Mehl Nr.3“ und das Weizenmehl der B-Weizensorte Greif erhält die Versuchsbezeichnung „Mehl Nr.4“. Die Klassifizierung der einzelnen Weizensorten in die Klassen A bis E ist dem **Anhang Kap. 9.9** beigelegt.

6.3.1.1.2 Zuckerarten

Sowohl für die Backversuche als auch für die rheologischen Untersuchungen wird als einzige die Zuckerart Saccharose (Sucrose) verwendet. Saccharose wird als Kristallzucker der Grundsorte fein, EG-Kategorie II, eingesetzt.

6.3.1.1.3 Hefesorten

Für die Backversuche werden drei verschiedene Hefesorten eingesetzt. Die Analysenwerte der einzelnen Sorten sind im **Anhang Kap. 9.1.5** enthalten.

Die mit der Versuchsbezeichnung Nr.H1 benannte Hefesorte ist eine übliche Backhefe (*Saccharomyces cerevisiae*) (EURO-Backhefe DHW) der Deutschen Hefewerke, Hamburg. Sie eignet sich für alle üblichen Hefeteige. Die mit der Versuchsbezeichnung Nr.H2 benannte Hefesorte ist eine übliche Back-Trockenhefe (*Saccharomyces cerevisiae*) der Dr. August Oetker Nahrungsmittel KG, Bielefeld.

6.3.1.1.4 Fettart

Es wird ein wasserfreies, gehärtetes Erdnussfett der Firma Westfalia Backservice“, Bünde, mit der Herstellerbezeichnung „Erdirn“ verwendet. Der Schmelzbereich des Erdnussfettes liegt bei 30-32°C.

6.3.1.1.5 Weizenstärke

Die Weizenstärke (Firma Crespel & Deiters, Ibbenbüren) wird für den Austausch gegen die beiden Inulintypen in den Backversuchen und rheologischen Untersuchungen verwendet. Die Untersuchungsergebnisse betragen: Feuchtegehalt 11,6%, pH-Wert 5,0, Säuregrad 1,025 mL NaOH, Viskogramm-Werte: Verkleisterungstemperatur 73°C, 1. Maximum 518BE, Minimum 415BE, 2. Maximum 1660BE.

6.3.1.1.6 Inulintypen

Für alle Untersuchungen werden zwei verschiedene Typen Inulin verwendet, dabei handelte es sich um die Typen Raftiline[®] GR und Raftiline[®] HP.

Bei Raftiline[®] GR handelt es sich um ein Granulat mit einem durchschnittlichen Polymerisationsgrad [DP] von 10. Der Inulintyp Raftiline[®] HP besitzt einen durchschnittlichen Polymerisationsgrad [DP] von 25. Alle spezifischen Daten und jeweils ein Standard-Chromatogramm dieser beiden Inulintypen ist in **Kap. 3.1** dargestellt.

6.3.1.1.7 Ascorbinsäure

L(+) Ascorbinsäure p.A. (Merck Art.Nr. 1.00127.025)

Ascorbinsäurelösung für den Zusatz zur Teigherstellung: 0,1 g L(+) Ascorbinsäure / 100 mL

6.3.1.2 Hilfsmittel Backwarenherstellung

Messkolben, 100 mL, 250 mL

Messzylinder, (Polypropylen) 100 mL, 250 mL, 500 mL

Teigteiler, (Polyethylen)

Diverse Schüsseln, (Polyethylen)

Kasten-Backformen

PE-Beutel & Clipse

6.3.1.3 Technische Geräte Backwarenherstellung

Digitale Waage, Mettler PM-34-K Delta Range®

Digitales Thermometer, Genauigkeit $\pm 1/10^\circ\text{C}$

Diosna®-Spiralkneter, Typ SPK 8A

Langwirker, Frilado-Langwirkmaschine mit Einschlagvorrichtung, Fa. F. Laueck, Dortmund

Gärschrank, Miwe-Gärschrank Typ MS-80-GA-CO

Backofen, Miwe-Condo Typ 4-128

Volumenmessgerät nach Doose-Neumann, Fa. Kontek, J.Pieper Hamburg

Zwick-Materialprüfgerät

Feuchtegehaltsbestimmung, Satorius MA 40

a_w-Wert-Messung, AquaLab Model CX-2

6.3.1.4 Hilfsmittel rheologische Messungen

Messzylinder, (Polypropylen) 100 mL, 250 mL, 500 mL

Spatel, Edelstahl

Bechergläser, diverse Größen

Glaspipette, 10 ml

Aluminium-Tiegel für die DSC, 40 μL mit Pin ME 27331, Mettler Toledo

Eppendorfpipette 100 μL

Rollrandgläser, Schott & Duran, 20 mL

6.3.1.5 Technische Geräte rheologische Messungen

Digitale Waage, Satorius MC1 Research RC 210D

Digitales Thermometer, Genauigkeit $\pm 1/10^\circ\text{C}$

Mehrstufen-Mixer

Voltmeter (Amperometer), Voltocraft .

PC incl. Auswertungssoftware für den Glutenaggregationstest

Extensograph, BRABENDER® Duisburg

Farinograph, BRABENDER® Duisburg

Vortex Genie 2, (Mischer), Scientific Industrie

Laborkneter (Messrührer MR-E6), Fassungsvermögen: 10 g Mehl, IKA Labortechnik
ICH KAVISC Janke & Kunkel

PC incl. Auswertesoftware für die das Physika-Rheometer: US 200 Physika

Physika-Rheometer: Physika Messeinheit UM (Universal Messeinheit), Physika Stuttgart

Rheometer Elektronik, Rheolab MC 20 Steuereinheit, Physika Stuttgart

Kühlaggregat: Viscotherm VT100, Physika Stuttgart

Messtempel MP31/P , Physika Stuttgart

6.3.2 Rheologische Methoden

6.3.2.1 Farinogramm (ICC-Standard Nr.115/1)

Dieser Standard beschreibt die Methode zur Anwendung des Brabender-Farinographen zur Bestimmung der Wasseraufnahme eines Mehles und des Knetverhaltens eines aus diesem Mehl hergestellten Teiges.

Die Methode ist anwendbar für Mehl und Schrot aus Weizen (*Triticum aestivum* L.) (ICC-Standard Nr.115/1 1992, *Arbeitsgemeinschaft Getreideforschung e.V.* 1994).

Die rheologischen Charakteristika dieser Methode über die zu untersuchenden Teige (Mehle) gliedert sich in zwei Bereiche.

- Konsistenz: Unter der Konsistenz wird der Knetwiderstand verstanden, der, gemessen als Drehmoment und ausgedrückt in relativen, gerätebezogenen Maßeinheiten (Farinograph Einheiten, FE), im Brabender-Farinographen während der Messung bei vorgeschriebener konstanter Geschwindigkeit registriert wird.
- Farinograph-Wasseraufnahme: Die Farinograph-Wasseraufnahme ist die Wassermenge, ausgedrückt in ml/100 g Mehl von 14% Feuchtigkeit, die unter den Bedingungen dieses Standards dem Mehl zugesetzt werden muß, um einen Teig mit einer Maximalkonsistenz von 500 FE herzustellen.

Prinzip der Methode

Hier wird nur auf das Prinzip der Methode eingegangen; die detaillierte Beschreibung der Methode ist im *ICC-Standard Nr.115/1 (1992)* beschrieben und wird ohne Veränderungen durchgeführt.

Der Brabender-Farinograph misst und registriert den Widerstand eines Teiges aus Mehl und Wasser als Drehmoment, während der Teig aus Mehl und Wasser entsteht, entwickelt wird und eine Erweichung erfährt (*ICC-Standard Nr.115/1 1992, Arbeitsgemeinschaft Getreideforschung e.V.* 1994).

6.3.2.2 Extensogramm (ICC-Standard Nr.114/1)

Dieser Standard beschreibt eine Methode zur Bestimmung der rheologischen Eigenschaften eines Teiges aus Weizenmehl in einem Dehnversuch mit dem Brabender Extensographen. Die aufgenommene Belastungs-Dehnungskurve wird zur Bestimmung der allgemeinen Qualität eines Mehles und seiner Reaktion auf den Zusatz von u.a. Backhilfsmitteln verwendet und ist für Mehl aus Weizen (*Triticum aestivum* L.) anwendbar (*ICC-Standard Nr.114/1 1992, Arbeitsgemeinschaft Getreideforschung e.V.* 1994).

Die rheologischen Charakteristika dieser Methode über die zu untersuchenden Teige (Mehle) gliedert sich in zwei Bereiche.

- Widerstand des Teiges gegenüber der Dehnung, ausgedrückt in gerätebezogenen Einheiten (Extensograph-Einheiten, EE) und
- Dehnbarkeit (das Ausmaß, bis zu welchem der Teig gedehnt werden kann) bis zu dem Punkt, in dem er beginnt, unter den Bedingungen dieser Methode zu reißen, ausgedrückt in mm des transportierten Diagrammpapiers im Schreiber.

Prinzip der Methode

Hier wird nur auf das Prinzip der Methode eingegangen; die detaillierte Beschreibung der Methode ist im *ICC-Standard Nr.114/1 (1992)* beschrieben und wird ohne Veränderungen durchgeführt.

Ein Teig aus Mehl, Wasser und Salz wird unter Standardbedingungen in einem Brabender Farinographen geknetet. Eine Probe des Teiges wird im Kugelhomogenisator und dem Former des Extensographen geformt. Nach einer vorbestimmten Zeit (Abstehzeit) wird die Teigprobe gedehnt und die dafür erforderliche Kraft aufgezeichnet.

Unmittelbar nach der Messung wird der Teig neu geformt und nach einem festgelegten Zeitabschnitt wieder gedehnt. Nach der zweiten Messung werden das Formen, Abstehen und Dehnen des Teiges noch einmal wiederholt.

Die Größe und Form der aufgezeichneten Kurve geben Hinweise auf die physikalischen Eigenschaften des Teiges und somit auf das Backverhalten des Mehles (*ICC-Standard Nr.114/1 1992, Arbeitsgemeinschaft Getreideforschung e.V. 1994*).

6.3.2.3 Glutenaggregations-Test - GAT-Test

Der GAT-Test wird hier ausführlich beschrieben, weil er noch nicht in die ICC-Standard-Methoden aufgenommen worden ist, sondern nur als Arbeitsblatt veröffentlicht wurde (*Arbeitsgemeinschaft Getreideforschung e.V. 2000/2001*).

Der Glutenaggregations-Test beruht auf dem Aggregationsverhalten des Weizenklebers. Der Test beschreibt die Kleberbildung während eines intensiven mechanischen Rührens unter hoher mechanischer Energieeinleitung in einer Mehl : Wasser-Suspension. Das Aggregationsverhalten dieser Suspension im Verhältnis 1 : 1,2 wird über die Stromaufnahme während einer durch Temperaturveränderung begrenzten Zeitdauer untersucht. Er mißt die Stromaufnahme während des Mixens der Mehl/Wassersuspension während einer Zeitdauer von 1000 s (*Arbeitsgemeinschaft Getreideforschung e.V. 2000/2001*).

Durchführung der Untersuchung

Für die Durchführung des Testes wird das in **Tab. 6.3.2.3** beschriebene Rezept angewendet. Die angegebene Mehlmenge ist auf 14% Wassergehalt im Mehl berechnet. Die Mengenangaben beziehen sich auf ein Mehl : Wasser-Verhältnis von 1,0 : 1,2. Das zu verwendende Mehl wird auf 20° und das destillierte Wasser auf 23°C temperiert.

Tab. 6.3.2.3 Rezeptur für den GAT

Zutat	Menge [g]
Weizenmehl	110 ± 0,1
Wasser	132 ± 0,1
Massegewicht	242

Berechnung der Äquivalentmasse des Versuchsmusters:

$$m = m^* \times 86 (100-F)$$

m : Mehlmasse, äquivalent zu 110 g Mehl mit einem Feuchtegehalt von 14%

m* : Mehlmasse mit dem tatsächlichen Feuchtegehalt

F : Feuchtegehalt des Versuchsmusters

Der Arbeitsraum, in dem der Glutenaggregations-Test durchgeführt wird, sollte während der Vorbereitung und den Messungen eine Temperatur von mindestens 19°C und maximal 22°C aufweisen.

Die Suspension wird direkt im Mixer Rotor GT 800 hergestellt. Das Weizenmehl wird direkt in den Mixeraufsatz eingewogen und anschließend die Wassermenge zugesetzt. Im unmittelbaren Anschluss den Ansatz 20 s auf Stufe 3,5 mixen. Anschließend die Wände des Mixeraufsatzes gründlich abkratzen und nochmals 20 s auf Stufe 3,5 vormixen. Nach diesem Vormischen wird nochmals gestoppt und die eigentliche Messung bei Stufe 4,5 gestartet und gleichzeitig beginnt die Aufzeichnung der Kurve zur Errechnung der Messwerte zwischen Messbeginn und Messende.

Bei Suspensionen, die eine Glutenaggregation von mind. 3 A erreichen, wird die Messung über das eintretende Kurvenmaximum weiter geführt bis der Abfall der Stromaufnahme unter 2 A erfolgt und damit wird die Messung beendet. Bei Suspensionen, wo keine erkennbare Glutenaggregation (d.h. entsprechend mind. 3 A) stattfindet, wird die Messung bei 1000 s abgebrochen (Arbeitsgemeinschaft Getreideforschung e.V. 2000/2001).

Erläuterung der Grundbegriffe

Glutenaggregationszeit [s]

Zeit vom Anfang der Messung (Stufe 4,5) bis zum Erreichen des Wertes von mind. 3 A. Der Anstieg der Stromaufnahme zeigt die Intensität der Kleberbildung auf.

Glutenaggregationsfläche [cm²]

Mit Hilfe des Computerprogrammes wird die Fläche unter der aufgezeichneten Kurve berechnet. Nur bei Mehlen mit Glutenaggregation.

Maximum der Stromaufnahme [A]

Es ist der höchste Wert der Stromaufnahme während des Mixens. Er gibt Hinweise auf den Umfang der Kleberentwicklung und der Kleberkonzentration in der Suspension.

Mittlere Höhe der Stromaufnahme [A]

Es ist der Mittelwert der registrierten Stromaufnahmen vom Beginn des Mixens (Stufe 4,5) bis zum ersten Anstieg der Kurve auf mind. 2 A. Dadurch wird die durchschnittliche Viskosität der Suspension vor der Kleberentwicklungsphase beschrieben. Danach beginnt die eigentliche sortenspezifische Entwicklung des Kleberkomplexes.

Methodenvalidierung für die Inulinproblematik

Die oben beschriebene Untersuchungsmethode des Glutenaggregations-Testes wird für das zu untersuchende Problem des Einflusses von Inulinzusätzen auf die Weizenkleberbildung bei Weizenmehlen Type 550 mit den nachfolgend aufgeführten Änderungen und den im **Anhang Kap. 9.5.1** beschriebenen Parametern durchgeführt.

Die nachfolgend aufgeführten Materialien werden für den GAT verwendet:

- Mehlsorten Nr. 1-4 (Spezifikationen siehe **Kap. 6.3.1.1.1** und **Anhang Kap. 9.8**)
- Bis zu 6 Teilen handelsübliche Weizenstärke im Austausch mit Inulin: Raftiline[®] GR und Raftiline[®] HP

Für alle Versuchsreihen werden jeweils 94 Teile Weizenmehl (Nr.1-4) verwendet. Des weiteren finden 6 Teile Weizenstärke Verwendung. Die 6 Teile Weizenstärke werden in den laufenden Versuchsreihen nach und nach durch das entsprechende Inulin (GR/HP) substituiert. Die Mehlmenge bleibt (wie auch in den späteren rheologischen Messungen und Backversuchen) gleich, damit durch eine Inulinzugabe der Gehalt an Weizenkleber keine Verdünnung erfährt. Es ist somit auszuschließen, dass die erhaltenen Ergebnisse auf den Einfluss der Inulinzugabe zurückzuführen sind und nicht auf Verdünnungseffekte der eingesetzten Mehlmenge bzw. der Klebermenge.

Die eingesetzte Wasserzugabe wird gemäß der unterschiedlichen Mehlfeuchte angeglichen, so dass eine theoretische Mehlfeuchte von 14,0% vorherrscht. Alle geänderten Versuchsparameter sind im **Anhang Kap. 9.5.1** beschrieben.

Ausgewertet werden die Glutenaggregationszeit, Glutenaggregationsfläche und das Maximum der Stromaufnahme.

Die Ergebnismittelwerte aller Versuchsreihen sind im **Anhang Kap. 9.5.1** aufgeführt

6.3.2.4 Methoden für die Kriecherholungsmessungen

6.3.2.4.1 Methodenbeschreibung

Kriech-Erholungsmessungen sind Basisuntersuchungen zur Charakterisierung des Relaxation-verhaltens von Polymeren. Sie zählen mit zu den aussagekräftigsten, analytischen Methoden zur Beschreibung von Verhalten bestimmter Systeme (Teige) unter dem Einfluß definierter Kräfte. So werden z.B. Teigproben definierten Kräften ausgesetzt und ihre Belastung detektiert. Der Vorteil dieser Methode liegt einerseits in geringen Scherraten und hohen Empfindlichkeiten, welche auf das zu untersuchende Material einwirken, sowie in Simulationsmöglichkeiten realer Bedingungen durch Verknüpfung von Kaskaden verschiedener Belastungs- und Entlastungsvorgänge bei unterschiedlichsten Parametern (Menard 1999, Schramm 1995).

Des Weiteren können neben plastischen Teigen auch reale Teige unter Verwendung von sämtlichen Zutaten, besonders Teiglockerungsmitteln wie z.B. der Backhefe, direkt bzw. nach entsprechenden Ruhephasen gemessen werden. Auch Untersuchungen an viskosen Teigsystemen sind mit dieser Messmethodik möglich.

Anhand dieser Messungen können Informationen abgeleitet werden, welche das Strukturverhalten von Teigen (Polymersystemen) charakterisieren. So werden innerhalb des linearen viskoelastischen Bereiches Werte für die Viskosität (η), Elastizitätsmodulus (E) und Komplianz (J) bestimmt. Die **Abb. 6.3.2.4.a** zeigt die einzelnen Elemente des Kurvenlaufs (Menard 1999, Schramm 1995).

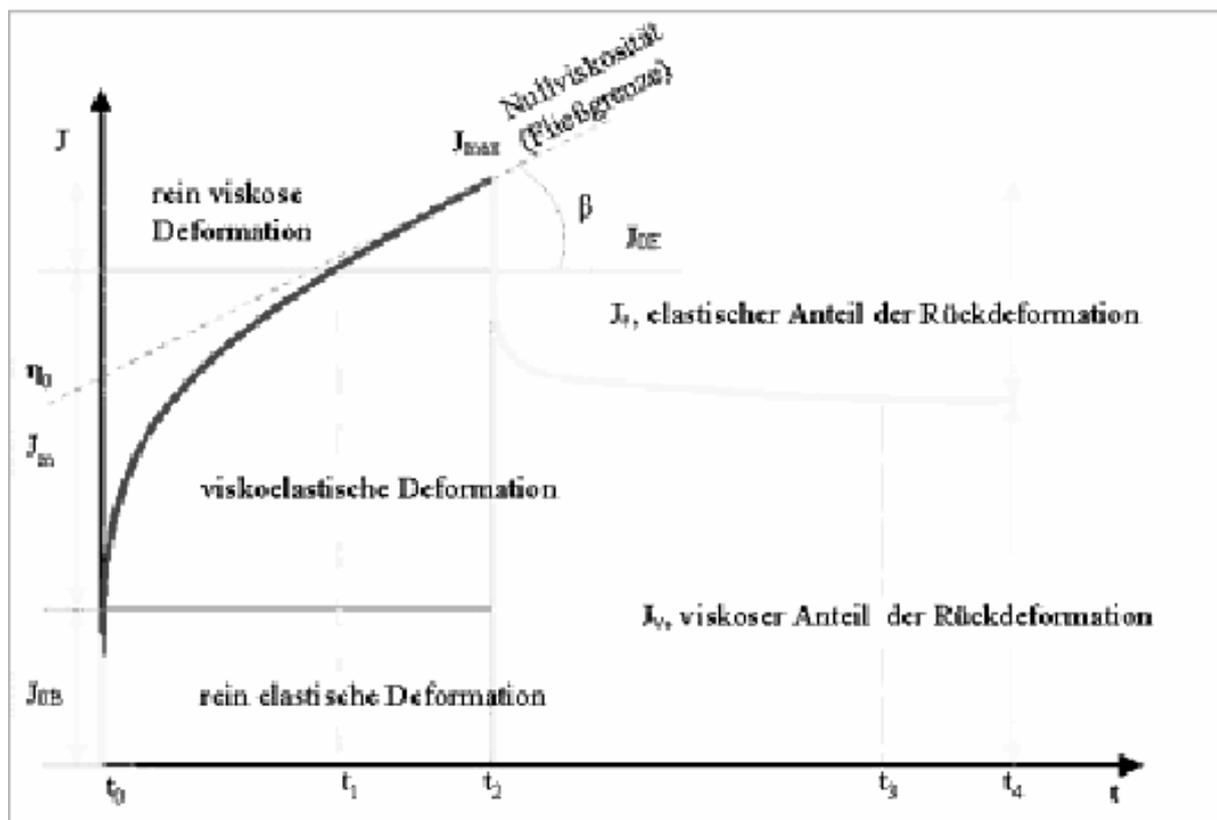


Abb. 6.3.2.4.a Schematische Darstellung und Auswertung einer Kriech-Erholungsmessung

Messprinzip und Durchführung:

Die gemessene Komplianz oder auch Nachgiebigkeit ist eine Maßzahl für die Deformierbarkeit von z.B. verschiedenen Teigsystemen. Über die Deformierbarkeit von Teigen unterschiedlichster Zusammensetzung können Rückschlüsse auf den Einfluss verschiedener Zutaten auf die Teigbildung gezogen werden. Zeigt ein Teig eine starke Nachgiebigkeit, erfährt er somit auch eine intensive Deformation (*Menard 1999, Schramm 1995*).

Gemessen wird mit dem Physika-Rheometer (**Abb. 6.3.2.4.b**).

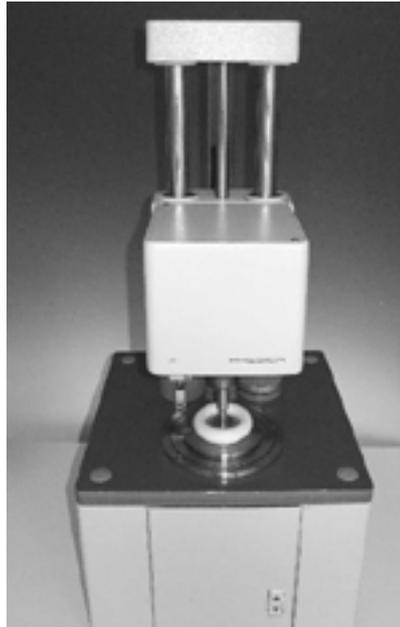


Abb. 6.3.2.4.b Physika-Rheometer mit realer Teigprobe

Die gemäß **Kap. 6.3.2.4.2** hergestellten und präparierten Teige werden in die Messgeometrie des Rheometers eingebracht. Der Messkopf (Stempel) wird auf einen Spalt von 3 bzw. 5 mm heruntergefahren. Der Teig erfährt nun für 100 sec. eine Belastung von 200 Pa. Die Entlastungsphase beträgt 150 sec, so dass die Gesamtmessdauer von 250 sec erreicht wird. Während des gesamten Messvorganges wird die Temperatur konstant auf 20°C gehalten. Nach erfolgten Messungen werden aus den Einzelmessungen Mittelwerte gebildet, die wiederum zur Auswertung und Berechnung dienen. Mittels der Auswertesoftware können u.a. folgende Daten bestimmt werden: max. Deformation [%], max. Kriechkomplianz J_{max} [1/Pa], elastische Komplianz J_e [1/Pa], viskose Komplianz J_v [1/Pa], rel. elastische Komplianz J_e/J_{max} [%] und rel. viskose Komplianz J_v/J_{max} [%]. Anhand dieser Datensätze werden die unterschiedlichen Teige charakterisiert und der Einfluss bestimmter Zusätze wie der Inuline auf die Teigeigenschaften beschrieben (**Kap. 3.5.4**).

6.3.2.4.2 Probenpräparation für Kriech-Erholungsmessungen

Die Teigproben werden für die Kriecherholungsmessungen unterschiedlich präpariert. Nachfolgend werden die verschiedenen Probenvorbereitungen erläutert:

1. Teigmuster aus sortenreinen Weizenmehlen unter Zusatz von Inulim

Für die Untersuchungen von Inulinzusätzen zu sortenreinen Weizenmehlen der Type 550 werden ausschließlich Modellteige im Labormaßstab hergestellt. Die Teigbereitung erfolgte in einem 10 g Laborknetter (Z-Knetter) mit einer Knetintensität von 63 rpm. Die 63 rpm entsprechen der Knetkraft eines „normalen“ Spiralknetters im Bäckereitechnikum, da möglichst praxisnahe Bedingungen gewählt werden sollten. Bei der oben angegebenen Knetintensität beträgt die optimale Knetzeit für Standardteige, die ausschließlich Weizenmehl bzw. im Austausch Weizenstärke und dest. Wasser enthalten, 3 min. Der Austausch von 6% Weizenmehl durch Weizenstärke bei Standardteigen dient dazu, bei der folgenden Substitution von Weizenstärke durch Inulin (GR/HP) immer gleiche Mehlmengen als Ausgangsmatrix zu haben. Somit können Verdünnungseffekte durch Zusätze von anderen Kohlenhydraten ausgeschlossen werden, die möglicherweise zu Fehlinterpretationen führen könnten. Gemäß dem nachfolgenden Versuchsplan **Tab. 6.3.2.4.2.a** werden die Modellteige aus unterschiedlichen Weizenmehlen der Type 550 hergestellt. Abschließend wird auch das Standardmehl, welches ein Mischmehl aus mehreren Sorten darstellt, verwendet.

Tab. 6.3.2.4.2.a Versuchsplan zur Herstellung von Teigen aus sortenreinen Weizenmehlen der Type 550 unter Verwendung von Inulin für Kriech-Erholungsmessungen

<i>Weizensorte</i>	<i>Mehl [g]</i>	<i>Wasser [mL]</i>	<i>Weizenstärke [g]</i>	<i>Inulinart & - menge [g]</i>	<i>Knetzeit [min]</i>
Mehl Nr.3 (Batis)	10,0	5,8	0,6	0,6 [HP] 0,6 [GR]	Jeweils 3, 5 & 10 min.
	9,4	5,8			
	9,4	5,8			
	9,4	5,8			
Mehl Nr.4 (Greif)	10,0	6,3	0,6	0,6 [HP] 0,6 [GR]	Jeweils 3, 5 & 10 min.
	9,4	6,3			
	9,4	6,3			
	9,4	6,3			
Mehl Nr.2 (Bussard)	10,0	6,0	0,6	0,6 [HP] 0,6 [GR]	Jeweils 3, 5 & 10 min.
	9,4	6,0			
	9,4	6,0			
	9,4	6,0			
Mehl Nr.1	10,0	5,9	0,6	0,6 [HP] 0,6 [GR]	Jeweils 3, 5 & 10 min.
	9,4	5,9			
	9,4	5,9			
	9,4	5,9			

2. Teigmuster aus Weizenmehl Nr.1 unter Zusatz von NaCl, Saccharose und Inulin

Gemäß den Versuchsvorschriften für die Herstellung von Teigen aus sortenreinen Weizenmehlen werden auch die Teige unter Zusatz von NaCl, Saccharose und Inulin im Labormaßstab hergestellt. Die Teigbereitung erfolgt wiederum in einem 10 g Laborknetter (Z-Knetter) mit einer Knetintensität von 63 rpm, die der Knetkraft eines „normalen“ Spiralknetters im Bäckereitechnikum entspricht. Auch unter Verwendung der erweiterten Zusätze zu den Modellteigen aus dem Weizenmehl Nr.1 gelten die oben aufgeführten Bedingungen wie die Knetintensität von 63 rpm., die optimale Knetdauer von 3 min. bei Teigen ohne weitere Zusätze sowie der Austausch von 6% Weizenmehl durch Weizenstärke, um Verdünnungseffekten vorzubeugen. Gemäß dem nachfolgenden Versuchsplan **Tab. 6.3.2.4.2.b** wurden die Modellteige aus dem Weizenmehl Nr.1 der Type 550 hergestellt.

Tab. 6.3.2.4.2.b Versuchsplan zur Herstellung von Teigen aus Weizenmehl Nr.1 unter Verwendung von, NaCl, Saccharose und Inulin für Kriech-Erholungsmessungen

<i>Mehlmenge [g]</i>	<i>Weizenstärke [g]</i>	<i>Kochsalz [g]</i>	<i>Inulin HP [g]</i>	<i>Inulin GR [g]</i>	<i>Saccharose [g]</i>	<i>Wasser [mL]</i>	<i>Knetzeit [min]</i>
10,0	-	-	-	-	-	6,0	Jeweils 3, 5 & 10
10,0	-	0,15 / 0,2	-	-	-	6,0	Jeweils 3, 5 & 10
10,0	-	-	-	-	1,0	6,0	Jeweils 3, 5 & 10
10,0	-	0,15 / 0,2	-	-	1,0	6,0	Jeweils 3, 5 & 10
9,4	0,6	-	-	-	-	5,8	Jeweils 3, 5 & 10
9,4	0,6	0,15 / 0,2	-	-	-	5,8	Jeweils 3, 5 & 10
9,4	0,6	-	-	-	1,0	5,8	Jeweils 3, 5 & 10
9,4	0,6	0,15 / 0,2	-	-	1,0	5,8	Jeweils 3, 5 & 10
9,4	-	-	0,6	-	-	5,8	Jeweils 3, 5 & 10
9,4	-	0,15 / 0,2	0,6	-	-	5,8	Jeweils 3, 5 & 10
9,4	-	-	0,6	-	1,0	5,8	Jeweils 3, 5 & 10
9,4	-	0,15 / 0,2	0,6	-	1,0	5,8	Jeweils 3, 5 & 10
9,4	-	-	-	0,6	-	5,8	Jeweils 3, 5 & 10
9,4	-	0,15 / 0,2	-	0,6	-	5,8	Jeweils 3, 5 & 10
9,4	-	-	-	0,6	1,0	5,8	Jeweils 3, 5 & 10
9,4	-	0,15 / 0,2	-	0,6	1,0	5,8	Jeweils 3, 5 & 10

3. Praxisnahe Teige mit Backhefezusatz gemäß Versuchsplan

Die Teigmuster für den dritten Abschnitt der Kriech-Erholungsmessungen stellten die praxisnahen und somit realen Teige unter Verwendung aller Zutaten für Hefefeinteige dar. Diese Gruppe wird wiederum in drei Teilgebiete aufgeteilt, die wie folgt beschrieben werden:

- ***Versuchsreihe Nr.V1: Teigmuster, hergestellt unter limitierter Knetzeit und limitierter Wasserzugabe.*** Hierbei werden die Teige gemäß Versuchsplan **Kap. 6.3.3.3** hergestellt. Jedoch wird die Knetzeit bei allen Teigen konstant auf 60 sec. (Stufe I) bzw. 300 sec. (Stufe II) gehalten. Auch die limitierte Wasserzugabe soll einen Extremzustand bei der Teigbereitung widerspiegeln. Bei den Teigen unter Verwendung von Inulin (HP/GR) soll dadurch ein Nachsteifen dargestellt werden.
- ***Versuchsreihe Nr.V2: Teigmuster, hergestellt unter limitierter Knetzeit und optimaler Wasserzugabe.*** Hierbei werden die Teigmuster gemäß Versuchsplan **Kap. 6.3.3.3** hergestellt. Die Knetzeit wird wiederum bei allen Teigen konstant auf 60 sec. (Stufe I) bzw. 300 sec. (Stufe II) gehalten. Die Wasserzugabe ist jetzt aber an die optimalen Wasseraufnahmen bei Teigen ohne Inulinzusatz angepasst. Hiermit soll der erhöhte Knetzeitbedarf (erhöhte Knetintensität) durch vermeintlich weiche Teige unter Verwendung von Inulinzusätzen dargestellt werden.
- ***Versuchsreihe Nr.V3: Teigmuster, hergestellt unter optimaler Wasserzugabe und optimierter Knetzeit.*** Auch hierbei werden die Teigmuster gemäß Versuchsplan **Kap. 6.3.3.3** hergestellt. Die Knetdauer ist nun den Zusätzen angepasst und wird somit um bis zu 100% verlängert. Das selbe gilt für die Wasserzugabe. Die Teige werden mit der optimalen Wasserzugabe hergestellt, das heißt, es wird soviel Wasser in die Teige eingebracht wie die Standardteige ohne Inulinzusatz benötigen. Mit der letzten Stufe soll gezeigt werden, wie sich die Teigeigenschaften von der Standardbackmethode mit den vorgegebenen Bedingungen bis hin zu den optimalen Bedingungen geändert haben.

6.3.3. Backmethode und Rezepte

6.3.3.1 Standard-Backversuch für Kastengebäcke aus Hefefeinteigen

Die Durchführung der Backversuche basierte auf den „Standard-Backversuch für Weizentypenmehl Type 550 (Kastenstuten)“ (*Arbeitsgemeinschaft Getreideforschung e.V. 1994a*). Die genauen Anleitungen sind in den Standard-Methoden (*Arbeitsgemeinschaft Getreideforschung e.V. 1994a*) nachzulesen. An dieser Stelle wird lediglich die Methode in Kurzform dargestellt und die zusätzlichen Angaben und Wahlmöglichkeiten bzw. Abweichungen werden protokolliert. In **Tab. 6.3.3.1** sind die Abweichungen zum Standardbackversuch für Weizenmehle Type 550 (Kastenstuten) (*Arbeitsgemeinschaft Getreideforschung e.V. 1994a*) beschrieben. In einem Fließschema (**Abb. 6.3.3.a**) wird der komplette Ablauf in Kurzform dargestellt.

In einer Vorversuchsreihe wurden aus einem Teig (940 g Mehl) je drei Kastengebäcke unterschiedlicher Gärzeit hergestellt und die optimalen Gärphasen ermittelt. Je Versuchseinstellung der Versuchsreihen **Nr.V1** bis **Nr.V3** werden aus einem Teig (940 g Mehl) drei Kastengebäcke mit einer optimierten Gärzeit hergestellt. Bei diesen Versuchsreihen stehen aufgrund des Teigbedarfs für die physikalischen Messungen nur noch drei Kastengebäcke mit optimaler Gärzeit der Auswertung (Lagerungsversuche) zur Verfügung.

Tab. 6.3.3.1 Abweichungen zum „Standardbackversuch für Weizenmehle Type 550 (Kastenstuten)“ (*Arbeitsgemeinschaft Getreideforschung e.V. 1994a*)

„Standard-Backversuch für Weizenmehle Type 550 (Kastenstuten)“ Abschnitt Nr.	Wahlmöglichkeiten oder Abweichungen
6.4 Knetter	Verwendung von Knetter A
6.6 Gärschrankbedingungen	32°C (Ist-Temperatur) und 80% rel. Feuchte
8.1 Rezeptur	Rezepte variabel (Tab. 6.3.3.2.a)
8.3.1 Knetzeit	Knetzeit variabel (Tab. 6.3.3.2.c)
8.3.4 Teigaufarbeitung und Endgärung	Walzenabstandsänderung auf 6,5mm und Gärzeit frei bestimmt (optimal)
8.4 Backen	Backofeneinstelltemperatur: 190°C Oberhitze / 190°C Unterhitze

Die variablen Rezepturbestandteile sind in dem eigens für die Backversuche und den rheologischen Messungen der praxisnahen Teige aufgestellten Versuchsplan beschrieben (**Kap. 6.3.3.3**) Die Variabilität in der Knetzeit beruht auf den zuvor durchgeführten, entsprechenden rheologischen Untersuchungen an den unterschiedlichen Teigsystemen (**Kap. 3.5**) und wird mittels der nachfolgenden Backversuchsreihen in praxisnahe Ergebnisse umgesetzt.

6.3.3.2 Ausgangsrezeptur für Gebäcke aus Hefefeinteigen

Um mehr als nur eine Gebäckart aus Hefefeinteig zu berücksichtigen, wird, wie im Versuchsplan dargestellt, die Fettmenge zwischen 5 und 20 Teilen, bezogen auf 100 Teile Weizenmehl, variiert. Das bedeutet, es werden Gebäcke vom Toastbrot über den Kastenstuten bis hin zum schweren Stollen untersucht, wobei alle Teige in Kastenform nach Standard-Backversuch gebacken werden.

Tab. 6.3.3.2.a Standardrezeptur

Rezeptbestandteile	[Teile]	[g]	Prozent [%]
Weizenmehl	94	940	52,2
Wasser ^{1,2}	43 - 58	430 – 580	23,9 – 32,2
Weizenstärke ²	6 – 0	60 – 0	3,3 – 0
Inulin ²	0 – 6	0 – 60	0 – 3,3
Erdnussfett ²	5 – 20	50 – 200	2,8 – 11,1
Zucker	10	100	5,5
Kochsalz	1,25	12,5	0,7
Backhefe	6	60	3,3
Teigausbeute	180,25	1802,5	-
Summe	-	-	100

¹ incl. 20 mL Ascorbinsäure-Lösung (0,1%-ige wässrige Lösung)

² variabel gemäß des Versuchsplanes (**Kap. 6.3.3.3**)

In den Vorversuchen wurden die optimalen Gärzeiten für die unterschiedlichen Gebäckarten festgelegt. Die Gärzeit ist abhängig vom Fettzusatz im Teig. Die optimierten Gärzeiten sind in **Tab. 6.3.3.2.b** festgelegt.

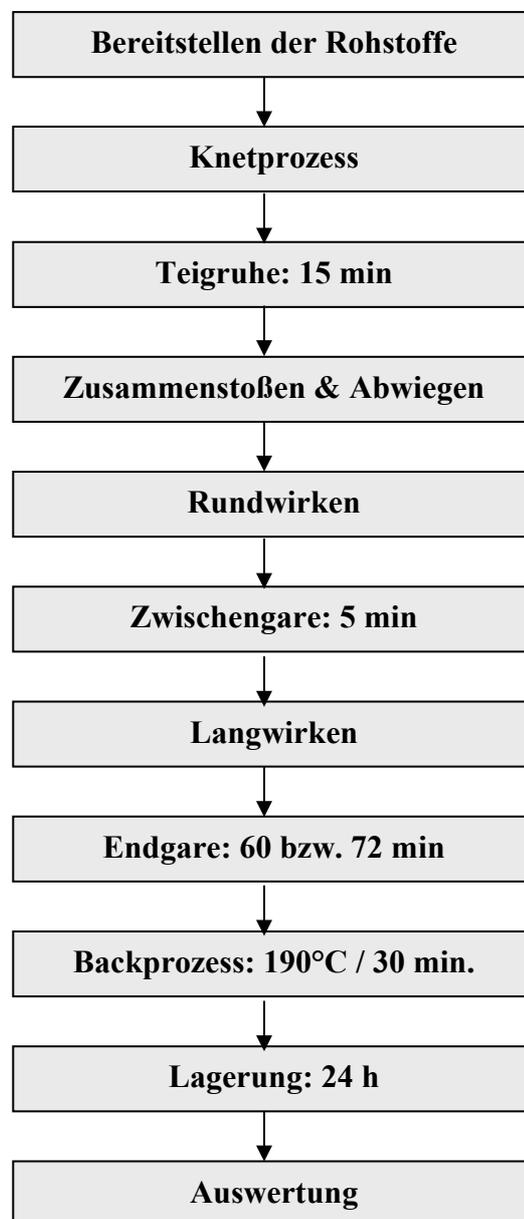
Nach Optimierung der Gärzeit werden in den Versuchsreihen **Nr.V1** und **Nr.V2** (**Kap. 3.6**) die zuvor in rheologischen Messungen veränderten Knetzeiten geprüft, und sie ergeben für die Hauptback-Versuchsreihe **Nr.V3** die in **Tab. 6.3.3.2.c** festgelegten Knetzeiten.

Tab. 6.3.3.2.b Optimale Gärzeiten

Teige	Optimale Gärzeit
Teige, die 5 bis 10 Teile Fett enthalten	72 Minuten
Teige, die 15 bis 20 Teile Fett enthalten	60 Minuten

Tab. 6.3.3.2.c Optimale Knetzeiten

Teige	Knetdauer [s] in Geschwindigkeitsstufe I	Knetdauer [s] in Geschwindigkeitsstufe II
Teige mit 6 [T] Weizenstärke	60	300
Teige mit 2 [T] Inulin DP25	60	350
Teige mit 4 [T] Inulin DP25	60	400
Teige mit 6 [T] Inulin DP25	60	450
Teige mit 2 [T] Inulin DP10	60	400
Teige mit 4 [T] Inulin DP10	60	500
Teige mit 6 [T] Inulin DP10	60	600

**Abb. 6.3.3.a** Fließschema des Ablaufes der Herstellung von Backwaren aus Hefefeinteigen

6.3.3.3 Versuchsplan zur Durchführung der Backversuche und ausgewählter rheologischer Messungen

Für die Durchführung der Backversuche und die rheologischen Messungen der praxisnahen Teige wird dieser Versuchsplan (**Tab. 6.3.3.3**) mittels des Statistikprogrammes APO erstellt. Die Auswertung der Ergebnisse erfolgt mit dem Statistikprogramm „Statistika“.

Folgende Zutaten werden als variabel angesehen; siehe auch Rezepturen **Kap. 6.3.3.2**. Um die Weizenmehlmenge in allen Teigen konstant zu halten, werden jeweils nur 940 g Weizenmehl [94 Teile] anstelle von 1000 g Weizenmehl [100 Teile] eingesetzt. Die fehlenden 60 g [6 Teile] sind durch handelsübliche Weizenstärke zu ersetzen. Dieser Anteil Weizenstärke kann dann variabel in 20 g-Schritten mit einem Inulintyp (GR/HP) ausgetauscht werden. Somit ist gewährleistet, dass für alle Teig- bzw. Gebäckvarianten die gleiche Weizenmehlmenge vorliegt und entstehende Abweichungen durch den Zusatz eines Inulintypes nicht auf den variierenden Weizenmehlanteil zurückzuführen ist. Für die gesamten Versuchsreihen werden die zwei in ihrem durchschnittlichen Polymerisationsgrad unterschiedlichen Inulintypen verwendet.

Als weitere variable Zutat ist das Erdnussfett anzusehen. Es wird im Austausch mit dem zugesetzten Schüttwasseranteil eingesetzt, wobei jeweils bei einer Substitution von 50 g Erdnussfett [5 Teile] die Schüttwassermenge um 50 g [5 Teile] erhöht wird.

Tab. 6.3.3.3 Versuchsplan für die gesamten Backversuche und die rheologischen Untersuchungen der praxisnahen Teige

Versuchs-Nr.	Erdnussfett [Teile]	Wasser [Teile]	Inulin [Teile]	Inulinsorte [Teile]	Weizenstärke [Teile]
1	5	58	0	-	6
2	20	43	6	HP	0
3	15	48	2	HP	4
4	10	53	6	GR	0
5	20	43	0	-	6
6	5	58	4	HP	2
7	15	48	4	GR	2
8	10	53	0	-	6
9	5	58	6	GR	0
10	20	43	2	GR	4
11	10	53	4	HP	2
12	15	48	0	-	6
13	5	58	2	GR	4
14	15	48	6	HP	0
15	20	43	4	GR	2
16	10	53	2	HP	4

6.3.4 Sensorische Teig-/Gebäck-Bewertungsmethoden

Die sensorische Teigbeurteilung ist den Merkmalen des „Standard-Backversuch für Weizenmehle Type 550 (Kastenstuten)“ (*Arbeitsgemeinschaft Getreideforschung e.V. 1994a*) entnommen. Neben Untersuchungen zur Teigkonsistenz und Teigoberfläche werden keine geschmacklichen Teig-Prüfungen durchgeführt. Die Protokollierung der Rezepte, Herstellungsbedingungen, Aufarbeitung, Teigbeurteilung und einiger physikalischer Gebäck-Messwerte sowie die sensorische Gebäckauswertung erfolgt nach dem Formblatt des Standard-Backversuches (Backprotokoll Kastenstuten-Hefefeinteig).

6.3.4.1 Protokolle für die Backwarenherstellung und die sensorische Gebäckauswertung

Die Form der Backprotokolle und des sensorischen Auswerteschemas sowie die Beurteilungsmethoden sind im Anhang (**Kap. 9.4.7**) beschrieben (*Arbeitsgemeinschaft Getreideforschung e.V. 1994a*). Nach vorgeschriebener (Standard-Backversuch) 24-stündiger Lagerung der Gebäcke erfolgt die sensorische Auswertung durch ein dreiköpfiges ausgebildetes Sensorik-Team.

6.3.4.2 Lagerung der Gebäcke

Die Brote werden nach ihrem Auskühlen in PE-Beutel verpackt und verschlossen. Anschließend sind die Brote 24 h in einem lichtgeschützten Metallschrank bei 20°C zu lagern. Im Anschluß an die sensorische Bewertung der Gebäcke erfolgte die Lagerung der Kastenbrote weiterhin in dem Metallschrank. Die Gebäcke werden täglich auf sichtbares Schimmelwachstum geprüft. Die maximale Lagerdauer der Kastenstuten erfolgt bis zu 7 Tagen nach dem Herstellen der Gebäcke.

6.3.5 Physikalische Gebäck-Bewertungsmethoden

6.3.5.1 Gebäckgewicht und Volumen

Das Gebäckgewicht wird als Mittelwert einer Doppelbestimmung zweier Gebäcke mit einer digitalen Waage (Mettler) nach 24-stündiger Lagerung ermittelt.

Die Bestimmung des Gebäckvolumens erfolgt nach dem Verdrängungsprinzip von „Doose-Neumann“ mit einer Doppelbestimmung je Gebäck.

6.3.5.2 Festigkeit/Weichheit von Gebäckkrume (Texture Analyser - Zwick)

Die im Verlauf der Gebäcklagerung zunehmende Krumenfestigkeit ist – neben der mehr oder weniger einhergehenden Geschmacksbeeinträchtigung und der Abnahme der Gebäck-(krumen)feuchte – das hervorstechendste Merkmal des Verlusts der Gebäckfrische. Die Bestimmung der Krumenfestigkeit wird hauptsächlich wegen der guten Korrelation zwischen

sensorisch wahrzunehmender und gemessener Krumenfestigkeit durchgeführt. Hierzu werden in der Praxis verschiedenste Geräte herangezogen, die meisten von der Art eines/einer in die Krume einer Gebäckscheibe eindringenden Stempels/Scheibe, so auch der unten aufgeführte, verwendete Texture Analyser (Zwick).

Das Konsistenzprüfgerät, Zwick-Penetrometer für Materialprüfungen (Texture Analyser), wird begleitend zum subjektiven „Tasten“ als objektives penetrometrisches Messmittel eingesetzt, um die Krumenfestigkeit bzw. -weichheit in den Versuchsreihen Nr.V1 bis Nr.V3 zu bestimmen.

Das Meßsystem des Analyser besteht jeweils aus einer Sonde, die mit einer vorgewählten Geschwindigkeit und Strecke auf ein Prüfmuster gedrückt wird. Die daraus resultierende Kraft wird gemessen und aufgezeichnet.

Mittels des Computerprogrammes für den Texture Analyser ist es möglich, nicht nur ein Maximum der benötigten Kraft zu bestimmen, sondern auch noch die Fläche unterhalb des Belastungspeaks zu berechnen.

Die Bestimmung der Krumenfestigkeit (Versuchsreihen Nr.V1 bis Nr.V3) erfolgt an einer 3 cm dicken Gebäckscheibe, die aus der Mitte des zu untersuchenden Kastengebäckes herausgeschnitten wird. Der Messstempel komprimiert die Krume während der Messung auf 2/3 ihrer ursprünglichen Höhe. Die Krumenfestigkeit bzw. -weichheit wird am 1. Lagertag und bei Lagerversuchen der Versuchsreihe Nr.V3 auch am 3. und 7. Lagertag gemessen.

6.3.5.3. Feuchtegehaltsbestimmungen der Gebäckkrume

Der Feuchtegehalt der Gebäckkrume dient neben der Krumenfestigkeit- bzw. -weichheit als weiteres Merkmal zur Bestimmung der Frischhaltung bzw. der Gebäckalterung. Die in einer Moulinette zerkleinerte Gebäckkrume wird im Satorius MA 40 bei 105°C bis zur Massenkonstanz getrocknet, und der Massenverlust in Prozent gilt als der Feuchtegehalt der Gebäckkrume. Die Krumenfeuchte ist als Mittelwert zweier Trocknungen zu ermitteln.

7. Literatur

Alles, M.S.; Hartemink, R.; Meyboom, S.; Harryvan, J.K.; van Laere, K.M.J.; Nagengast, F.M.; Hautvast, J.G.A. (1999): "Effect of transgalacto-oligosaccharides on composition and activity of the intestinal flora." *American Journal of Clinical Nutrition* 69 (5): 980-991

Amend, T. (1996): „Grundlagen der Teigbildung bei Weizen- und Roggenteigen,“ in *Handbuch Backwaren*, Kap. 3.3, Hrsg. Schäfer, u.a. Behr's Verlag

Andersen, R.; Sorensen, A. (1999): An enzymatic method for the determination of fructans in foods and food products. *European Food Research and Technology* 210 (2): 148-152

Anderson, J.W.; Hanna, T.J. (1999): „Impact of nondigestible carbohydrates on serum lipoproteins and risk for cardiovascular disease.“ *Journal of Nutrition* 129 (7 Suppl.): 1457-1466

Andlauer, W.; Biesalski, H.-K.; Fürst, P. (1999): „Designer Foods, Nutraceuticals, Phytochemicals, Functional Food, Probiotica“, 187-192 in: *Ernährungsmedizin*; Herausgegeben von Biesalski, H.-K.; Fürst, P.; Kasper, H.; Kluthe, R.; Pöler, W.; Puchstein, C.; Stähelin, H.B.; Thieme Verlag Stuttgart

Anon. (1998): "Inulin with high performance." *Food Ingredients and Analysis International* May/Juni: 650

Arbeitsgemeinschaft Getreideforschung e.V. (1994a): „Backversuch – Weizentypenmehl Type 550 (Kastenstuten)“, 207-215 in *Standard-Methoden für Getreide, Mehl und Brot*. (Hrsg.) Arbeitsgemeinschaft Getreideforschung e.V. Verlag Moritz Schäfer, Detmold

Arbeitsgemeinschaft Getreideforschung e.V. (Hrsg.) (1994): „Standard-Methoden für Getreide, Mehl und Brot“. Verlag Moritz Schäfer, Detmold

Arbeitsgemeinschaft Getreideforschung e.V. (Hrsg.) (2000/2001): „Arbeitsblatt zum Glutenaggregations-Test“. Herausgegeben in Verbindung mit der Bundesanstalt für Getreide-, Kartoffel- und Fettforschung in Detmold, Hanneforth, U.; Gluszcynski, M.

Assmann, G. (1982): „Lipidstoffwechsel und Atherosklerose.“ Schattauer-Verlag GmbH, Stuttgart

Baird, G.D.; Lomax, M.A.; Symonds, H.W.; Shaw, S.R. (1980): „Net hepatic and splanchnic metabolism of lactate, pyruvate and propionate in dairy cows in vivo in relation to lactation and nutrient supply.“ *Biochemical Journal* 186: 47-57

Bouhnik, Y.; Flourie, B.; Andrieux, C.; Bisetti, N.; Briet, F.; Rambaud, J.C. (1996): "Effects of *Bifidobacterium* sp fermented milk ingested with or without inulin on colonic bifidobacteria and enzymatic activities in healthy humans." *European Journal of Clinical Nutrition* 50 (4): 269-273

Bouhnik, Y.; Flourie, B.; D'Agay-Bensour, L.; Pochart, P.; Gramet, G.; Durand, M.; Rambaud, J.C. (1997): "Administration of transgalacto-oligosaccharides increases fecal

bifidobacteria and modifies colonic fermentation metabolism in healthy humans.” *Journal of Nutrition* 127: 444-448

Brandt, Markus J. (2001): „Mikrobiologische Wechselwirkungen von technologischer Bedeutung in Sauerteigen.“ Dissertation – Universität Hohenheim

Buddington, R.K. ; Williams, C.H. ; Chen, S. ; Witherly, S.A. (1996): “Dietary supplement of neosugar alters the fecal flora and decreases activities of some reductive enzymes in human subjects.” *American Journal of Clinical Nutrition* 63 (5): 709-716

Cairns, A.J. (1993): “Evidence for the Denovo Synthesis of Fructan by Enzymes from higher Plants – A Reappraisal of the SST FFT Model.” *New Phytologist* 123 (1): 15-24

Campbell, J.M.; Fahey, G.C.; Wolf, B.W. (1997): „Selected indigestible oligosaccharides affect large bowel mass, cecal and fecal short-chain fatty acids, pH and microflora in rats.“ *Journal of Nutrition* 127: 130-136

Capita, N.C.; Lewis, D.H. : „Nomenclature and diagrammatic representation of oligomeric fructan – a paper for discussion.“ *New Phytologist* 124: 583-594

Chatterton, N.J.; Harrison, P.A.; Thornley, W.R.; Bennett, J.H.(1991/93): “Separation and quantification of Fructan (Inulin) oligomers by anion exchange chromatography.” *Studies in plant studies. Amsterdam* 3: 93-99

Chonan, O.; Matsumoto, K.; Watanuki, M. (1995): „Effect of galactooligosaccharides on calcium absorption and preventing bone loss in ovariectomized rats.“ *Biosci. Biotechnol. Biochem.* 59: 236-239

Chonan, O.; Watanuki, M. (1996): „The effect of 6'-galactooligosaccharides on bone mineralization of rats adapted to different levels of dietary calcium.“ *International Journal of Vitamin and Nutrition Research* 66: 244-249

Clevenger, M.A.; turnbull, D.; Inoue, H.; Enomoto, M.; Allen, J.A.; Henderson, L.M.; Jones, E. (1998): „Toxicological evaluation of neosugar: genotoxicity, carcinogenicity and chronic toxicity.“ *J. Am. Coll. Toxicol.* 7: 643-662

Clydesdale, F.M. (1997): “A proposal for the establishment of scientific criteria for health claims for functional foods”. *Nutrition Review* 55: 413-422

Coudray, C.; Bellanger, J.; Castiglia-Delavaud, C.; Remesy, C.; Vermorel, M.; Rayssiguier, Y. (1997): „Effect of soluble or partly soluble dietary fibres supplementation on absorption and balance of calcium, magnesium, iron and zinc in healthy young men.“ *European Journal of Clinical Nutrition* 51: 375-380

Coussement, P. (1995): „Probiotische Produkte mit Oligofructose und Inulin“. *ZFL – Internationale Zeitschrift für Lebensmittel-Technik, Marketing, Verpackung und Analytik*, 46 (10): 18, 23-34

Coussement, P. (1995/1996): “Pre- and synbiotics with inulin and oligofructose”. *Food Tech Europe* Dec./Jan.: 102-104

Coussement, P. (1996a): „Funktion mit Geschmack: Produktkonzepte mit Inulin und Oligofruktose“. *Lebensmitteltechnik* 10 : 38-39

Coussement, P. (1996b): „Inulin und Oligifruktose: Ballaststoffe ersetzen Fett und Zucker“. *Die Ernährungsindustrie* 3: 48-49

Coussement, P.A. (1999): “Inulin and oligofruktose: safe intakes and legal status.” *Journal of Nutrition* 129 (7 Suppl): 1412-1417

Coussement, Paul; Soete, de J.(1996): „Raftilose und Raftiline: Neue Chancen für die Süßwarenindustrie“. *Zucker- und Süßwarenwirtschaft*; 49 (1): 43-44

Crittenden, R.; Planye, M. (1996): “Production, properties and applications of food grade oligosaccharides.” *Trends Food Science and Technology* 7 : 357-361

Crittenden, Ross G. (1997): “Prebiotics.” 141-156 in *Probiotics* Edited by: Tannock, G.W. Horizon Scientific Press: Norfolk , UK

Cummings, J.H.; Branch, W.; Jenkins, D.J.; Southgate, D.A.; Houston, H.; James, W.P. (1978): „Colonic response to dietary fibre from carrot, cabbage, apple, bran.“ *Lancet* 1: 5-9

Cummings, J.H.; Hill, J.M.; jenkins, D.J.; Pearson, J.R.; Wiggins, H.S. (1976): „Changes in fecal composition and colonic function due to cereal fiber.“ *American Journal of Clinical Nutrition* 29: 1468-1473

Cummings, J.H.; Roberfroid, M.B.; Andersson, H.; Barth, C.A.; Ferroluzzi, A.; Ghos, Y.; Gibney, M.J.; Hermons, K.; James, W.P.T.; Korver, O.; Lairon, D.; Pascal, G.; Voragen, A.G.S.(1997): „A new look at dietary carbohydrate: Chemistry, physiology and health“. *European Journal of Clinical Nutrition* 51 (7): 417-423

Dahlqvist, Arne; Nilsson, Urban (1984): “Cereal Fructosans: Part 1 – Isolation and Characterization of Fructosans from Wheat Flour”, *Food Chemistry* 14, 103-112

Dahlqvist, Arne; Nilsson, Urban; Nilsson, Bo (1986): “ Cereal Fructosans: Part 2 – Characterization and Structure of Wheat Fructosans”, *Food Chemistry* 22, 95-106

Dallamico, R.; Montini, G.; Pisanello, L.; Piovesan, G.; Bottaro, S.; Cracco, A.T.; Zacchello, G.; Zacchello, F. (1995): “Determination of inulin in plasma and urine by Reversed-Phase High-Performance Liquid-Chromatography.” *Journal of Chromatography B-Biomedical Applications* 672 (1): 155-159

De Leenheer, L. (1996): “Production and use of inulin: industrial reality with a promising future”. 67-92 in *Carbohydr. Org. Raw Mater. III Workshop, Meeting Date 1994*, Edited by: Bekkum, H.; Roeper, H.; Voragen, Fons. VCH Weinheim Germany 1996

De Leenheer, L.; Hoebregs, H. (1994): “Progress in the elucidation of the composition of chicory inulin.” *Starch/Stärke* 46(5): 193-196

Dysseler, P.; Hoffem, D. (1995): „Inulin, an alternative dietary fibre. Properties and quantitative analysis.” *European Journal of Clinical Nutrition* Basingstoke 49(3 Suppl.): s145-s152

Dysseler, P.; Hoffem, D.; Fockedey, J.; Quemener, B.; Thibault, J.F.; Coussement, P. (1999): "Determination of inulin and oligofructose in food products (modified AOAC dietary fiber method)." 213-227 in Food Sci. Technol. (N.Y.), 93 (Complex Carbohydrates in Foods), Marcel Dekker, Inc.

Edelman, J.; Dickerson, A.G. (1996): „ The metabolism of fructose polymers in plants: transfructosylation in tuber of *Helianthus tuberosus* L.“. Biochemical Journal 98: 787-794

Edelman, J.; Jefford, T.G. (1968): „The mechanism of fructan metabolism in higher plants as exemplified in *Helianthus tuberosus*“ . New Phytol 89: 517-531

Erbersdobler H.F., Meyer, A.H. (2000): „Praxishandbuch Functional Food“, B. Behr's Verlag GmbH & Co. Hamburg

Erbersdobler, H.F. (1998): „Welche gesundheitsfördernden Wirkungen haben Functional Foods?“ 7-9 in: Diätetische Lebensmittel in Praxis und Wissenschaft; Sicherheit in der Diätetik, 51. Colloquium, Functional Foods: Lebensmittel mit Aussagen über gesundheitsfördernde Wirkungen, Herausgegeben vom Diätverband (Bundesverband der Hersteller von Lebensmitteln für besondere Ernährungszwecke e.V., Heft 86

Escriva, C.; Martinez-Anaya, M.A. (2002): "Influence of enzymes on the evolution fructosans in sourdough wheat processes", European Food Research and Technology 210 (4), 286-292

Finegold, S.M.; Sutter, V.L.; Mathisen, G.E. (1983): „Normal indigenous intestinal flora.“ 3-31 in: Human Intestinal Microflora in Health and Disease. Herausgegeben von Hentges, D.J., Academic Press, London U.K.

Frehner, Marco (1995): „Der Reservestoffwechsel fruktanhaltiger Nutzpflanzen.“ Agrarforschung 2 (8): 329-332

Gibson, G.R.; Wang, X. (1994): „Regulatory effects of bifidobacteria on the growth of other colonic bacteria.“ Journal of Applied Bacteriology 77: 412-420

Gibson, G.R.; Wang, X. (1994a): "Bifidogenic properties of different types of fructose containing oligosaccharides." Food Microbiology 11: 491-498

Gibson, G.R.; Wang, X. (1994b): "Enrichment of bifidobacteria from human gut contents by oligofructose using continuous culture." FEMS Microbiology Ecology 118: 121-128

Gibson, G.R.; Beatty, E.R.; Wang, X.; Cummings, J.H. (1995): "Selective stimulation of bifidobacteria in the human colon by oligofructose and inulin." Gastroenterology 108 (4): 975-982

Gibson, G.R.; Roberfroid, M.B. (1995): "Dietary modulation of the human colonic microbiota – Introducing the concept of prebiotics". Journal of Nutrition 125: 1401-1412

Girard, J.; Ferre, P.; Foufelle, F. (1997): „ Mechanisms by which carbohydrates regulate expression of genes for glycolytic and lipogenic enzymes.“ Annual Nutrition Review 17: 325-352

Goldberg, I. (1994a): „Preface“, XV-XVII in: Functional Foods: Designer Foods, Pharmafoods, Nutraceuticals: Herausgegeben von Goldberg, I.; Chapman & Hall, New York, London

Grühn, E. ; Peten, D. ; Rooyakkers, M. (1994): „Neutral in Geschmack und Geruch [Ballaststoff-Inulin]“. Zeitschrift für die Lebensmittelwirtschaft 45(12): 17-20

Hauffe, D. (1997): “Analysis of starch and complex novel food carbohydrates by HPLC.” GIT-Fachzeitung-Labor 41 (5): 460, 462-464, 466-467

Henshall, A. (1996): “Analysis of starch and other complex carbohydrates by liquid chromatography.” Cereal Foods World 41 (5): 419-424

Hidaka, H.; Eida, T.; Takizawa, T.; Tokunaga, T.; Tashiro, Y. (1986): „Effects of fructooligosaccharides on intestinal flora and human health.“ Bifidobact. Microflora 5: 37-50

Hidaka, H.; Tashiro, Y.; Eida, T. (1991): „Proliferation of bifidobacteria by oligosaccharides and their useful effect on human health.“ Bifidobact. Microflora 10: 65-79

Hirayama, M.; Nishizawa, K.; Hidaka, H.(1993): “Production and characteristics of fructooligosaccharides.” Studies in plant science. Amsterdam 1991-1993 (3): 347-353

Hoebregs, H. (1997): “Fructans in Food and Food Products, Ion-Exchange Chromatographic Method: Collaborative Study.” Journal of AOAC-International 80(5): 1029-1037

Hofer, K.; Jenewein, D. (1999): “Enzymatic determination of inulin in food and dietary supplements”. Zeitschrift für Lebensmitteluntersuchung und –forschung 209: 423-427

Hopkins, M.J. ; Cummings, J.H. & MacFarlane, G.T. (1998): “Inter-species differences in maximum specific growth rates and cell yields of bifidobacteria cultured on oligosaccharides and other simple carbohydrate sources.” Journal of Applied Microbiology 85 (2): 381-386

ICC-Standard Nr.114/1 (1992) in Verbindung mit Arbeitsgemeinschaft Getreideforschung e.V. (Hrsg.) (1994): „Standard-Methoden für Getreide, Mehl und Brot“. Verlag Moritz Schäfer, Detmold

ICC-Standard Nr.115/1 (1992): in Verbindung mit Arbeitsgemeinschaft Getreideforschung e.V. (Hrsg.) (1994): „Standard-Methoden für Getreide, Mehl und Brot“. Verlag Moritz Schäfer, Detmold

Ito Masaki; Deguchi Yoriko; Matsumoto Kaoru, Kimura Makiko; Ono-Dera Norie; Yajima Takaji (1993): “Influence of galactooligosaccharides on the human fecal microflora.” Journal of Nutrition Science and Vitaminology. 39 (6): 635-640

IUB-IUPAC Joint Commission of Biochemical Nomenclature (1982): “Abbreviated terminology of oligosaccharide chains”. J. Biol. Chem. 257: 3347-3351

Joye, D.; Hoebregs, H. (2000): “Determination of Oligofructose, a Soluble Dietary Fiber, by High-Temperature Capillary Gas Chromatography.” Journal of AOAC International 83 (4): 1020-1025

Kasper, H (1998): „Der Einfluß von Probiotika und Prebiotika auf die Darmflora, 63-66 in: Diätetische Lebensmittel in Praxis und Wissenschaft; Sicherheit in der Diätetik.“ 51.Colloquium, Functional Foods: Lebensmittel mit Aussagen über gesundheitsfördernde Wirkungen, Herausgegeben vom Diätverband (Bundesverband der Hersteller von Lebensmitteln für besondere Ernährungszwecke e.V.) Heft 86

Kasper, H.; Scheppach, W. (1999): „Erkrankungen des Gastrointestinaltraktes.“ 341-375 in: Ernährungsmedizin; Herausgegeben von: Biesalski, H.-K.; Fürst, P.; Kasper, H.; Kluthe, R.; Pöler, W.; Puchstein, C.; Stähelin, H.B., Thieme Verlag Stuttgart

Kleessen, B.; Sykura, B.; Zunkt, H.J.; Blaut, M. (1997): “Effects of inulin and lactose on fecal microflora, microbial activity, and bowel habit in elderly constipated persons.” American Journal of Clinical Nutrition 65 (5): 1397-1402

Klingler, R.W. (1995): „Technologie der Weizenbrotherstellung“ in Grundlagen der Getreidetechnologie, 147-171, Behr's Verlag Hamburg

Kok, N.; Roberfroid, M.; Delzenne, N. (1996): „Dietary oligofructose modifies the impact of fructose on hepatic triacylglycerol metabolism.“ Metabolism 45: 1547 – 1550

Kolbe, Blumenthal, H.; Bowman, B.; Byrne, J, Carr, C.J.; Kirschman, J.C.; Roberfroid, M.B.; Weinberger, M.A. (1992): „Evaluation of the Food Safety Aspects of inulin and oligofructose – GRAS Determination.“ Orafiti internal report. Orafiti Tienen Belgium

Koops, A.J.; Jonker, H.H. (1994): “Purification and characterization of the enzymes of fructan biosynthesis in tubers of *Helianthus tuberosus* colombia. 1.Fructan-Fructan fructosyl transferase. Journal of Experimental Botany 45 (280): 1623-1631

Krämer, J. (1997): „Herstellung und gewünschte Veränderung pflanzlicher Lebensmittel mit Hilfe von Mikroorganismen“, in Lebensmittelmikrobiologie, 220-225, Verlag Eugen Ulmer Stuttgart.

Kruse, H.P.; Kleessen, B.; Blaut, M. (1999): “Effects of inulin on faecal bifidobacteria in human subjects.” British Journal of Nutrition 82 (5): 375-382

Lehmann, J. (1996): „Kohlenhydrate – Chemie und Biologie“, 186 und 192 in Kohlenhydrate, Georg Thieme Verlag Stuttgart New York

Levrat, M.A.; Remesy, C.; Demigne, C. (1991): „High propionic acid fermentations and mineral accumulation in the cecum of rats adapted to different levels of inulin.“ Journal of Nutrition 121: 1730-1737

Lewis, D.H. (1993): “Nomenclature and diagrammatic representation of oligomeric fructans – a paper for discussion.” New Phytologist 124 : 583-594

Lhomme, C.; Peschet, J.L.; Puigserver, A.; Biagini, A. (2001): “Evaluation of fructans in various fresh and stewed fruits by high-performance anion-exchange chromatography with pulsed amperometric detection.” Journal of Chromatography A 920 (1-2): 291-297

Lin, Y.; Vonk, R.J.; Slooff, M.J.; Kuipers, F.; Smit, M.J. (1995): „Differences in propionate-induced inhibition of cholesterol and triacylglycerol synthesis between human and rat hepatocytes in primary culture.“ British Journal of Nutrition 74: 197-207

Lipkin, M.; Newmark, H. (1985): “Effekt of added dietary calcium on colonic epithelial-cell proliferation in subjects at high risk for familial colonic cancer.” N. Engl. J. Med. 313: 1381-1384

Luo, J.; Rizkalla, S.W.; Alamowitch, C.; Boussairi, A.; Blayo, A.; Barry, J.L.; Laffitte, A.; Guyon, F.; Bornet, F.R.; Slama, G. (1996): „Chronic consumption of short-chain fructooligosaccharides by healthy subjects decreased basal hepatic glucose production but had no effect on insulin stimulated glucose metabolism.“ American Journal of Clinical Nutrition 63: 939-945

*Luscher, M.; Erdin, C.; Sprenger, N.; Hochstrasser, U.; Boller, T.; Wiemken, A. (1996): “Inulin synthesis by a combination of purified fructosyltransferases from tubers of *Helianthus tuberosus*.” FEBS Letters 385 (1-2):39-42*

Manghi, P.; Vernazza, F.; Ferrarini, O.; Cagnasso, P.; Salvadori, C.; Fockedey, J.(1995): “Analytical method for the determination of inulin in yoghurt enriched with soluble fibre.” European Journal of Clinical Nutrition Basingstoke 49(3. Suppl): s296-s297

Manson, J.E.; Tosteson, H.; Ridker, P.M.; Satterfield, S.; Hebert, P.; O’Connor, G.T. (1992): „The primary prevention of myocardial infarction.“ N. Engl. J. Med. 326: 1406-1416

Marsilio, R.; Naturale, M.; Manghi, P.; Montini, G.; Murer, L.; Ros, M.; Bisogno, G.; Andretta, B.; Dussini, N.; Giordano, G.; Zacchello, G.; Dall’Amico, R. (2000): “Rapid and simple determination of inulin in biological fluids by high-performance liquid chromatography with light-scattering detection.” Journal of Chromatography B 744 (2): 241-247

McBain, A. & MacFarlane, G. (1997): “Investigations of bifidobacterial ecology and oligosaccharide metabolism in a three-stage compound continuous culture system.” Scandinavian Journal of Gastroenterology 222 (suppl.): 32-40

McCleary, B.V.; Blakeney, A.B. (1999): “Measurement of inulin and oligofructan.” Cereal Foods World 44 (6): 398, 400-406

McCleary, B.V.; Murphy, A.; Mugford, D.C. (2000): “Measurement of total Fructan in foods by enzymatic/spectrophotometric method: collaborative study”. Journal of AOAC International 83 (2): 356-364

Megazyme : Fructan Assay Procedure – For the Measurement of Oligofructan and Fructan Polysaccharide – separate from Sucrose and reducing Sugars. Megazyme International Ireland Ltd. (OFR 9/97): 1-12

Menard, K.P. (1999): „Rheology Basics: Creep-Recovery and Stress Relaxation.“ 11, 39-60 in Dynamic Mechanical Analysis – A Practical Introduction, Menard, K.P, CRC Press Boca Raton London, New York

Menne, E.; Guggenbuhl, N.; Roberfroid, M.B. (2000): "Fn-type chicory inulin hydrolysate has a prebiotic effect in humans." *Journal of Nutrition* 130 (5): 1197-1199

Mitsuoka, T.; Hidaka, H.; Eida, T. (1987): "Effect of fructo-oligosaccharides on intestinal microflora." *Die Nahrung* 31 (5-6): 426-436

Newton, D.F.; Cummings, J.H.; MacFarlane, S.; MacFarlane, G.T. (1998): "Growth of a human intestinal *Desulfovibrio desulfuricans* in continuous cultures containing defined populations of saccharolytic and amino acid fermenting bacteria." *Journal of Applied Bacteriology* 85: 372-380

Nilsson, U.; Öste, R.; Jägerstad, M. (1987): "Cereal Fructans: Hydrolysis by Yeast Invertase, In Vitro and During Fermentation", *Journal of Cereal Science* 6, 53-60

Niness, Kathy R. (1999): "Inulin and oligofructose: what are they?". *Journal of Nutrition* 129 (7S): 1402-1406

Nishina, P.M.; Freedland, R.A. (1990): „Effects of propionate on lipid biosynthesis in isolated rat hepatocytes.“ *Journal of Nutrition* 120: 668-673

Oelker N. (2000): „Diplomarbeit: Prebiotika als Functional Food Konzept“ Universität Bonn, Fachbereich Ökotrophologie

Ohta, A.; Ohtuki, M.; Takizawa, T.; Inaba, H.; Adachi, T.; Kimura, S. (1994): Effects of fructooligosaccharides on the absorption of magnesium and calcium by cecectomized rats. *Int. J. Vitam. Nutr. Res.* 64: 316-323

Oku, T. (1994): "Special physiological functions of newly developed mono- and oligosaccharides." 202-218 in: *Functional Foods: Designer Foods, Pharmafoods, Nutraceuticals*; Herausgegeben von Goldberg, I.; Chapman & Hall, New York, London

Oku, T.; Tokunaga, T.; Hosoya, N. (1984): „Nondigestibility of a new sweetener, „Neosugar“, in the rat.“ *Journal of Nutrition* 114: 1574-1581

Pabst, R. (1998): „Inulin und Oligofructose. Technofunktionelle Lebensmittel-Rohstoffe“. *Food Technologie Magazin* 9 (1): 4-6

Pascal, G. (1996): „Functional foods in the European Union“. *Nutrition Review* 54: 29-32

Pontis, Horacio G. (1990): „Fructans“. 353-368 in *Methods in Plant Biochemistry* Volume 2 Carbohydrates edited Dey, P.M. Academic Press London San Diego New York

Praznik, W.; Cieslik, E.; Filipiak-Florkiewicz, A. (2002): „Soluble dietary fibres in Jerusalem artichoke powders: Composition and application in bread.“ *Nahrung/Food* 46 (3): 151-157

Preuß A. (2001): „Funktionelle Lebensmittel – Lebensmittel der Zukunft“, B. Behr's Verlag GmbH & Co. Hamburg

Prosky, L.; Hoebregs, H. (1999): "Methods to determine food inulin and oligofructose." *Journal of Nutrition* 129 (7S): 1418S-1423S

Quemener, B.; Thibault, J.-F.; Coussement, P. (1994): "Determination of inulin and oligofructose in food products, and integration in the AOAC method for measurement of total dietary fibre." *Lebensmittel-Wissenschaft und -Technologie* 27(2): 125-132

Quemener, B.; Thibault, J.F.; Coussement, P. (1997): "Integration of inulin determination in the AOAC method for measurement of total dietary fiber." *International Journal of Biological Macromolecules* 21(1-2): 175-178

Quigley, M.E.; Hudson, G.J.; Englyst, H.N. (1999): "Determination of resistant short-chain carbohydrates (non-digestible oligosaccharides) using gas-liquid chromatography." *Food Chemistry* 65 (3): 381-390

Rao, V. (1999): "Effect of consuming low levels of oligofructose on the composition of the intestinal flora." Research report prepared for ORAFIT

Reddy, B.S. (1999): "Possible mechanisms by which pro- and prebiotics influence colon carcinogenesis and tumor growth." *Journal of Nutrition* 129(7 Supl.): 1478-1482

Reddy, D.S.; Hamid, R.; Rao, C.V. (1997): „Effect of dietary oligofructose and inulin on colonic preneoplastic aberrant crypt foci inhibition.“ 18 (7): 1371-1374

Remesy, C.; Behr, S.R.; Gamet, L.; Demigne C. (1992): „Fiber fermentability in the rat cecum and its physiological consequences.“ *Nutrition Review* 12: 1235-1244

Ringe, J.D. (1999): „Erkrankungen des Skelettsystems.“ 567-584 in: *Ernährungsmedizin*, Herausgegeben von: Biesalski, H.-K.; Fürst, P.; Kasper, H.; Kluthe, R.; Pöler, W.; Puchstein, C.; Stähelin, H.B., Thieme Verlag Stuttgart

Roberfroid, M.B. (1997): "Health benefits of non-digestible oligosaccharides." *Advances in Experimental Medicine and Biology* 427: 211-219

Roberfroid, M.B. (1999): "Concepts in functional foods: the case of inulin and oligofructose". *Journal of Nutrition* 129 (7S): 1398-1401

Roberfroid, M.B.; Delzenne, N.M. (1998): "Dietary fructans". *Annual Review Nutrition* 18: 117-143

Roberfroid, M.B.; Van Loo, J.; Gibson, G.R. (1998): "The bifidogenic nature of chicory inulin and its hydrolysis products". *Journal of Nutrition* 128 (1): 11-19

Rochat, F.; Medjoubi, N.; Rumo, G.; Heer, C. (1994): "Effects of a fructooligosaccharide on the human intestinal microflora." 6e colloque du club des bacteries lactiques – Université Lyon I* 27-29 avr'94

Rodwell, V.W.; Nordstrom, J.L.; Mitshelen, J.L. (1976): „Regulation of HMG CoA reductase.“ *Adv. Lipid Res.* 14: 27-29

Roediger, W.E. (1980): „Role of anaerobic bacteria in the metabolic welfare of the colonic mucosa in man.“ *Gut.* 21: 793-798

Roland, N.; Nugon-Baudon, L.; Raibaud, P.; Szilit, O. (1993): „Comparative study of the fermentative characteristics of inulin and different types of fibre in rats inoculated with a human whole fecal flora.“ *British Journal of Nutrition* 74: 239-249

Römpp Lexikon (1995): „Lebensmittelchemie“, 416 in *Römpp Lexikon Lebensmittel-chemie*, herausgegeben von Eisenbrand, G; Schreier, P.; Falbe, J.; Regitz, M. Georg Thieme Verlag Stuttgart

Rowan, C.(1998): “Inulin – the long chain to success.” *International Food Ingredients No.1* : 36-37

Rowland, I.R.; Rumney, C.J.; Coutts, J.T.; Lievense, L. (1998): „Effects of Bifidobacterium longum and inulin on gut bacterial metabolism and carcinogen induced aberrant crypt foci in rats.“ *Carcinogenesis* 19(2): 281-285

Rumessen, J.J.; Gudmand-Hoyer, E. (1998): “Fructans of chicory: intestinal transport and fermentation of different chain lengths and relation of fructose and sorbitol malabsorption”. *American Journal of Clinical Nutrition* 68 (2): 357-364

Scheppach, W. (1996): „Ernährungsmedizinische Bedeutung von komplexen Kohlenhydraten.“ 19-23 in: *Kohlenhydrate in der Ernährungsmedizin unter besonderer Berücksichtigung des Zuckers (Supplement zu „Aktuelle Ernährungsmedizin“)*; Herausgegeben von Kluthe, R. und Kasper, H., Thieme Verlag Stuttgart

Scheppach, W.; Bartram, P.; Richter, A.; Richter, F.; Liepold, H.; Dusel, G.; Hofstetter, G.; Ruthlein, J.; Kasper, H. (1992): „Effect of short-chain fatty acids on the human colonic mucosa in vitro.“ *J. Parenter Enteral Nutr.* 16: 43-48

Scheppach, W.; Bartram, P.; Richter, F. (1995): „Role of short-chain fatty acids in the prevention of colorectal cancer.“ *European Journal of Cancer* 31A: 1077-1080

Schlegel, H.G. (1992): „Spezielle Gärungen“ in *Allgemeine Mikrobiologie*, 285-304, Georg Thieme Verlag Stuttgart

Schramm, G. (1995): „Kriechen und Rückverformung.“ 129-156 in *Einführung in Rheologie und Rheometrie*, Schramm, G. , Gebrüder HAAKE GmbH, Karlsruhe

Seibel, W.; Spicher, G. (1996): „Backwaren“, in *Lebensmitteltechnologie*, 167-180, Hrsg. Heiss, R. Springer Verlag Berlin

Simonovska, B. (2000): “Determination of inulin in foods.” *Journal of AOAC International* 83 (3): 675-678

Smeekens, S.; Ebskamp, M.; PilonSmits, L.; Weisbeek, P. (1996): “ Fructans”. *Engineering Plants for Commercial Products and Applications* 792: 20-25

Soete, de J.(1995): „Inulin und Oligofruktose – Geschmacks- und Texturverbesserung aus Zichorien“. *Lebensmitteltechnik*; 27(7/8): 39-40

Takeda, U.; Niizato, T. (1982): „Acute and subacute safety tests.“ in: *Proc 1st Neosugar Research Conference, Incorporated Foundation Academic Journal Publication Center, Tokyo*

Taper, H.; Lemort, C.; Roberfroid, M. (1998): „Inhibition effect of dietary inulin and oligofructose on the growth of transplantable mouse tumor.“ *Anticancer Research* 18: 4123-4126

Teeuwen, H. (1996): “Quantitative analysis of inulin in foods.” *Food Ingredients Europe*: 33-37

Teeuwen, H.; Thone, M.; Vandorpe, J. (1992): „Inulin – Vom traditionellen Nahrungsmittel zum vielseitigen Rohstoff“. *ZFL Internationale Zeitschrift für Lebensmittel-Technik, Marketing, Verpackung und Analytik* 43 (11/12): 732, 734, 737

Timmermans, J.W.; Leeuwen, M.B. van; Tournois, H.; Wit, D. de; Vliegthart, J.F.G. (1994): “Quantitative analysis of the molecular weight distribution of inulin by means of anion exchange HPLC with pulsed amperometric detection.” *Journal of carbohydrate chemistry*. New York 13 (6): 881-888

Tokunaga, T.; Oku, T.; Hosoya, N. (1986): „Influence of chronic intake a new sweetener fructooligosaccharide (Neosugar) on growth and gastrointestinal function in the rat.“ *Journal of Nutrition Science and Vitaminology* 3 2: 111-121

Tuohy, K.; Finlay, R.K.; Wynne, A.G.; Gibson, G.R. (2000): “An in vivo study on the fermentation of inulin – bacteria enumerated using fluorescent in situ hybridisation“(FISH)

Van den Heuvel, E.G.; Muys, T.; van Dokkum, W.; Schaafsma, G. (1999): „Oligofructose stimulates calcium absorption in adolescents.“ *American Journal of Clinical Nutrition* 69: 544-548

Van den Heuvel, E.G.; Schaafsma, G.; Muys, T.; van Dokkum, W. (1998): „Nondigestible oligosaccharides do not interfere with calcium and nonheme-iron absorption in young healthy men.“ *American Journal of Clinical Nutrition* 67: 445-451

Van Loo, J. (1995): “Dietary fiber inulin and oligofructose as food ingredients”. *Voeding* 56 (4): 6-9

Van Loo, J. Coussement, P.; de Leenheer, L.; Hoebregs, H.; Smits, G. (1995): „On the presence of inulin and oligofructose as natural ingredients in the western diet.“ *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 35: 525-552

Van Loo, J.; Cummings, J.H.; Delzenne, N.; Englyst, H.N.; Franck, A. ; Hopkins, M.J. ; Kok, N. ; MacFarlane, G.T. ; Newton, D.F. ; Quigley, M.E. ; Roberfroid, M.B., van Vliet, T. ; Van den Heuvel, E.G.H. (1999): “Functional food properties of non digestible oligosaccharides : a consensus report from ENDO project (DGXII AIRII-CT94-1095).” *British Journal of Nutrition* 81: 121-132

VandenEnde, W.; Mintiens, A.; Speleers, H.; Onuoha, A.A.; VanLaere, A. (1996a): “The metabolism of fructans in roots of *Cichorium intybus* during growth, storage and forcing.” *New Phytologist* 132 (4): 555-563

VandenEnde, W.; Vanlaere, A. (1996b): “De-novo synthesis of fructans from sucrose in vitro by a combination of two purified enzymes (Sucrose:sucrose 1-fructosyl transferase and

fructan:fructan 1-fructosyltransferase) from chicory roots (*Cichorium intybus* L.)” *Planta* 200 (3): 335-342

VandenEnde, W.; vanLaere, A. (1996c): “Fructan synthesizing and degrading activities in chicory roots (*Cichorium intybus* L.) during field-growth, storage and forcing.” *Journal of Plant Physiology* 149 (1-2): 43-50

VandenEnde, W.; VanWanterghem, D.; Dewil, E.; Verhaert, P.; Deloof, A.; Vanlaere, A. (1996d): “Purification and characterization of 1-SST, the key enzyme initiating fructan biosynthesis in young chicory roots (*Cichorium intybus*).” *Physiologia Plantarum* 98 (3): 455-466

VandenEnde, W.; VanWanterghem, D.; Verhaert, P.; Dewil, E.; VanLaere, A. (1996e): “Purification and characterization of fructan: Fructan fructosyl transferase from chicory (*Cichorium intybus* L.) roots.” *Planta* 199 (4): 493-502

Vendrell-Pascuas, S.; Castellote-Bargallo, A.I.; Lopez-Sabater, M.C. (2000): “Determination of inulin in meat products by high-performance liquid chromatography with refractive index detection.” *Journal of chromatography A* 881 (1-2): 591-597

Wada, K. (1990): “In vitro fermentability of oligofructose and inulin by some species of human intestinal flora.” Report prepared for ORAFIT, Tienen, B.

Wang, X. ; & Gibson, G.R. (1993): “Effects of the in vitro fermentation of oligofructose and inulin by bacteria growing in the human large intestine.” *Journal of Applied Bacteriology* 75 (4): 373-380

Weipert, D. (1993): „Brotgetreide und seine Produkte“, in *Rheologie der Lebensmittel*, 303-363, Hrsg. Weipert, D; Tscheuschner, H.-D.; Windhab, E, Behr’s Verlag Hamburg

Wight, A.W.; Niekerk, P.J. van (1983): “Determination of Reducing Sugars, Sucrose, and Inulin in Chicory Root by High Performance Liquid Chromatography.” *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 31: 282-285

Wright, R.S.; Anderson, J.W.; Bridges, S.R. (1990): „Propionate inhibits hepatocyte lipid synthesis.“ *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.* 195: 26-29

Younes, H.; Remesy, C.; Behr, S.; Demigne, C. (1997): „Fermentable carbohydrate exerts a urea-lowering effect in normal and nephrectomized rats.“ *Am-J-Physiol* 272: 515-521

Younes, H.; Remesy, C.; Demigne, C. (1996): „Acidic fermentation in the caecum increases absorption of calcium and magnesium in the large intestine of the rat.“ *British Journal of Nutrition* 75: 301-314

Zimmermann, F.K.; Entian, K.-D. (1997): „Yeast sugar metabolism“ – *Biochemistry, Genetics, Biotechnology and Applications*, 225-233, Technomic Publishing Company Lancaster

Zuleta, A.; Sambucetti, M.E. (2001): “Inulin Determination for Food Labeling.” *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 49: 4570-4572

8. Begriffserklärungen und Abkürzungsverzeichnis

8.1 Begriffserklärungen

Die Begriffserklärungen dienen zum besseren Verständnis der unterschiedlich angewandten Bezeichnungen für ein und den selben Begriff:

Begriff	unterschiedlich angewandte Bezeichnungen und Erklärungen
Inulin	Fructooligosaccharid(e); Raftiline [®] ; Fructan
Raftiline[®] GR	Inulin GR; GR; niedermolekulares Inulin; Inulin mit einem DP von 10
Raftiline[®] HP	Inulin HP; HP; hochmolekulares Inulin; Inulin mit einem DP von 25
Hefeteig/e	Bezeichnung für Teige aus Weizenmehl mit max. 5 Teilen Saccharose (Zucker) und Erdnussfett – Weizenbrot, Weißbrot
Hefefeinteig/e	Bezeichnung für Teige aus Weizenmehl mit mind. 10 Teilen Saccharose (Zucker) und Erdnussfett - Kastenstuten
Hefe(fein)teig/e	Die Bezeichnung umfaßt alle Teige aus Weizenmehl, mit 5 Teilen bis 20 Teilen Erdnussfett und 5 Teilen bis 10 Teilen Saccharose
Backhefe / Hefe	Diese Begriffe bezeichnet ausschließlich <i>Saccharomyces cerevisiae</i>
Sucrose	Weitere Bezeichnung für Saccharose, Zucker
... Teile	Der Begriff bzw. die Mengenangabe „Teile“ bezieht sich jeweils auf 100 Teile Getreidemahlerzeugnisse (Mehl) (100% Mehl)

8.2 Abkürzungen

%	Prozent
°C	Grad Celsius
A	Ampere
Abb.	Abbildung
ADI-Wert	acceptable daily intake
BE	Brabender-Einheiten – Extensogramm-Einheiten
bzgl.	bezüglich
bzw.	beziehungsweise
Ca	Calcium
ca.	cirka
DC	Dünnschicht-Chromatographie

d.h.	das heißt
DP	Degree of Poylmerisation (durchschnittlicher Polymerisationsgrad)
et al.	und andere
etc.	ecetera
evtl.	eventuell
F	Fructose
FE	Farinogramm-Einheiten
Fe	Eisen
FLA	Fermentation mit <i>Lactobacillus acidophilus</i>
FLS	Fermentation mit <i>Lactobacillus sanfranciscensis</i>
FO	Fermentation ohne Inokulum
FOSHU	Foods for Specified Health Uses
FSF	Fermentation mit <i>Saccharomyces cerevisiae</i> (Frisch-Backhefe)
FST	Fermentation mit <i>Saccharomyces cerevisiae</i> (Trocken-Backhefe)
G	Glucose
g	Gramm
GAT	Glutenaggregations-Test
GA-Zeit	Glutenaggregations-Zeit
GC	Gas-Chromatographie
GF _n	Fructooligosaccharide
GPC	Gel-Permeations-Chromatographie
h	Stunde
HPAEC-PAD	high-performance anion-exchange chromatography – pulsed amperometric detection
HPLC	high-performance liquid chromatography
i.Tr.	in Trockensubstanz
kg	Kilogramm
Kap.	Kapitel
L	Liter
<i>L. acidophilus</i>	<i>Lactobacillus acidophilus</i>
<i>L. sanfranciscensis</i>	<i>Lactobacillus sanfranciscensis</i>
max.	maximal(e)

Mg	Magnesium
mg	Milligramm
min.	Minuten
mL	Milliliter
N	Newton
n	Anzahl
NaCl	Natriumchlorid, Kochsalz
NaOH	Natriumhydroxid (Natronlauge)
NaOAc	Natriumacetat
NDO	non-digestible oligosaccharides (unverdauliche Oligosaccharide)
NDP	non-digestible polysaccharides (unverdauliche Polysaccharide)
o.a.	oben angeführt
OD / OD%	optische Dichte / optische Dichte %
PE	Polyethylen
ppm	parts per million
ppb	parts per billion
rel.	relative
s	Sekunde
<i>S. cerevisiae</i>	<i>Saccharomyces cerevisiae</i> (Backhefe)
SCFA	short chain fatty acid
Tab.	Tabelle
Versuchs-Nr.	Versuchsnummer
z.B.	zum Beispiel
µm	Mikrometer

9. Anhang

Der Anhang befindet sich auf der beiliegenden CD-ROM.

*„Hier mein Geheimnis.
Es ist ganz einfach:
man sieht nur mit dem Herzen gut.
Das Wesentliche ist für die Augen unsichtbar.“*

*Der Fuchs in „Der Kleine Prinz“
Antoine de Saint-Exupéry*