

# TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN

Lehrstuhl für Brau- und Getränketechnologie

Milchsaure Fermentation von Leguminosenproteinextrakten mit  
dem Ziel geschmacklicher Verbesserung

Björn Christof Klotzbücher

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt der Technischen Universität München zur Erlangung des akademischen Grades eines

Doktor-Ingenieurs

genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Univ.-Prof. Dr. K. Sommer (i.R.)

Prüfer der Dissertation:

1. Univ.-Prof. Dr. W. Back (i.R.)
2. Univ.-Prof. Dr. K. Wackerbauer (em.), Technische Universität Berlin  
(schriftliche Beurteilung)
3. Univ.-Prof. Dr. H.-Chr. Langowski

Die Dissertation wurde am 29.07.2009 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt am 02.12.2009 angenommen.

Für meine Familie

Vivat academia, vivant professores,  
vivat membrum quodlibet, vivat membra quaelibet,  
semper sint in flore!

(Aus einem alten Studentenlied)

---

## Danksagung

Diese Arbeit entstand zwischen April 2007 und Juli 2009 am Lehrstuhl für Technologie der Brauerei I, seit 01.04.2009 Lehrstuhl für Brau- und Getränketechnologie der Technischen Universität München, Weihenstephan, unter Leitung meines Doktorvaters Prof. Dr. Werner Back. Ihm sei an dieser Stelle für sein Vertrauen, für die Überlassung des Themas und für seine zahlreichen und wertvollen Anregungen gedankt, die zum Gelingen dieser Arbeit wesentlich beigetragen haben.

Herrn Prof. Dr. Wackerbauer und Herrn Prof. Dr. Langowski danke ich für Ihre Bereitschaft, als Prüfer meiner Arbeit zu fungieren, Herrn Prof. Dr. Sommer für die Übernahme des Vorsitzes der Prüfungskommission.

Herrn Dr. Frithjof Thiele danke ich für die großartige Unterstützung gerade zu Beginn dieser Arbeit, für sein immer offenes Ohr bei Fragen und Problemen aller Art und für seine Mitarbeit im Verkostungspanel. Herrn Dr. Markus Herrmann danke ich für zahlreiche Gespräche, hilfreiche Ratschläge und ebenfalls seine Mitarbeit im Verkostungspanel.

Frau Akad. Rätin Ingrid Bohak danke ich für das Vertrauen, das sie als Leiterin des AiF-Projektes in mich gesetzt, die Freiräume, die sie mir bei der Bearbeitung meines Themenfeldes eröffnet, und die Anregungen, die sie mir für meine Arbeit gegeben hat.

Stellvertretend für die Kollegen der beiden Projektpartner möchte ich Herrn Jürgen Bez und Herrn Michael Schott für die gute Zusammenarbeit danken, die nicht nur für das Gelingen des AiF-Projektes sondern insbesondere auch für das Gelingen dieser Arbeit essentiell war. Herrn Michael Frankl danke ich dafür, dass er seinen Fermenter für Versuche im Rahmen dieser Arbeit zur Verfügung gestellt hat.

Dem Leiter der Bayerischen Versuchs- und Lehrbrauerei, Herrn Dr. Udo Kattein, danke ich für die Möglichkeit, die Räumlichkeiten der Brauerei für die Upscale-Versuche zu nutzen.

Herrn Prof. Dr. Ulrich Kulozik und Herrn Dr. Alexander Tolkach danke ich für die Möglichkeit, am Lehrstuhl für Lebensmittelverfahrenstechnik und Molkereitechnologie Versuche zur Ultrahoherhitzung der Proteinextrakte durchzuführen.

Meinen Kollegen Stefan Hanke und Moritz Krahl gilt besonderer Dank für ihre Hilfe bei der Oligosaccharidanalytik, für zahlreiche Diskussionen und für ihre Freundschaft.

---

Der große analytische Aufwand, der im Rahmen dieser Arbeit geleistet werden musste, wäre ohne die Hilfe zahlreicher Kolleginnen und Kollegen nicht möglich gewesen. Besonders gedankt sei an dieser Stelle Nicole Gawlik, Raphael Kiener, Steffi Gruner, Markus Jakob, Katharina Jacob, Christina Stadler und Daniela Fitzka. Den Mitarbeitern der Werkstatt des Lehrstuhls für Systemverfahrenstechnik, insbesondere Walter Seidl und Sepp Rohrer gilt mein Dank für die Unterstützung beim Fermentertransport und bei technischen Problemen aller Art, ebenso Herrn Manfred Wallenwein.

Frau Dr. Martina Gastl, Cem Schwarz, Elisabeth Steiner, Florian Schüll, Felix Burberg und den zahlreichen Panelmitgliedern von Seiten des Fraunhofer-Instituts danke ich für ihre rege Teilnahme an den Verkostungen.

Meinem Bürokollegen Fei Qian danke ich für viele Anregungen, Tee in der Fastenzeit, seine Geduld mit meinem Schreibtisch und seine Begeisterung beim Verkosten der fermentierten Extrakte.

Allen Mitarbeitern des Lehrstuhls danke ich für die Kollegialität, die herzliche Aufnahme, die ich hier erfahren habe, und für manche Freundschaft, die daraus entstanden ist.

Meinen Semestranten und Diplomanden danke ich für interessante gemeinsame Projekte und die schöne und vertrauensvolle Zusammenarbeit. Besonderer Dank gilt hier meinem Diplomanden Jörn Schneider für seine umfangreiche Arbeit an den statistischen Fermentationen von Erbsenextrakt, meiner Diplomandin Agnes A. Auer für die moralische Unterstützung in schweren Zeiten und die Übernahme des Lektorats für diese Arbeit und meinem Hiwi Michael Kupetz.

Der guten Seele des Lehrstuhles, Daniela Schulte, danke ich für ihre Hilfsbereitschaft in einfach jeder Lage.

Dem Inhaber des Lehrstuhls für Brau- und Getränketechnologie, Herrn Prof. Dr. Thomas Becker, danke ich dafür, dass er mir in meinen letzten Monaten am Lehrstuhl den nötigen Freiraum zur Fertigstellung dieser Arbeit eröffnet hat.

Dem Fleischmann-Fonds danke ich für die Anschubfinanzierung meines Promotionsvorhabens.

Herrn Prof. Dr. Ludwig Narziss möchte ich danken, weil er durch sein Beispiel uns Jungen die Begeisterung für Brauwissenschaft und Brauwirtschaft gleichermaßen vermittelt. Wer ihn nicht kennt, kennt Weihenstephan nicht.

---

# Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	III
Abkürzungsverzeichnis	V
Abbildungsverzeichnis	VII
Tabellenverzeichnis	IX
1 Einleitung	1
2 Grundlagen	3
2.1 Leguminosen	3
2.1.1 Allgemeines	3
2.1.2 Erbse	5
2.1.3 Lupine	6
2.2 Milchsäure Fermentation	7
2.2.1 Geschichte und Anwendungsbereiche	7
2.2.2 Schema der Milchsäuregärung	8
2.2.3 Milchsäurebakterien und ihre Eigenschaften	10
2.3 Fermentationsreaktoren	14
3 Material und Methoden	16
3.1 Leguminosenproteinextrakte	16
3.2 Statistische Fermentationsversuche im Schüttelkolben	16
3.2.1 Verwendete Mikroorganismen	16
3.2.2 Untersuchte Fermentationsparameter	17
3.2.3 Statistische Versuchsplanung und –auswertung mit Stat-Ease Design Expert	17
3.2.4 Versuchsaufbau und -durchführung	20
3.2.5 Durchgeführte Untersuchungen zur Bewertung der Fermentationen	20
3.3 Fermentationen im 5 l-Maßstab	21
3.3.1 Verwendete Mikroorganismen	21
3.3.2 Fermenter	21
3.3.3 Fermentationsführung	22
3.4 Fermentationen im 30 l-Maßstab	22
3.4.1 Verwendete Mikroorganismen	22
3.4.2 Fermenter	23
3.4.3 Fermentationsführung	24
3.5 Fermentationen im 500l-Maßstab	24
3.5.1 Verwendeter Mikroorganismus	24
3.5.2 Fermenter	24
3.5.3 Fermentationsführung	26
3.6 Herführung der Inokuli	26
3.6.1 Herführung der Inokuli für statistische Fermentationen und Fermentationen im 5 l-Maßstab	26
3.6.2 Versuche zur Nutzung fermentierten Extraktes als Inokulum	26
3.6.3 Herführung der Inokuli für Fermentationen im 30 l- und 500 l-Maßstab	27
3.7 Versuche zur Keimzahlreduzierung	27
3.7.1 Pasteurisationsversuche	27
3.7.2 Versuche zur Ultrahocherhitzung	28
3.8 Zellzahlermittlungen	28
3.8.1 Thomazählkammer	28
3.8.2 Gussplatten	29

---

3.9 Trübungsmessung	29
3.10 Bestimmung der Zuckerzusammensetzung im Extrakt	30
3.11 Sensorische Bewertung von ursprünglichen und fermentierten Extrakten	31
3.11.1 Sensorische Bewertung der statistischen Fermentationen im Schüttelkolben	31
3.11.2 Sensorische Bewertung der Fermentationen durch das gemeinsame Panel von IVV und TUM	31
3.12 Bewertung der Proteinfunktionalität der fermentierten Extrakte	32
4 Ergebnisse und Diskussion	34
4.1 Statistische Fermentationen	34
4.1.1 Statistische Fermentationen von Lupineextrakt	34
4.1.2 Statistische Fermentationen von Erbsenextrakt	54
4.2 Fermentationen im 5 l-Maßstab	74
4.2.1 Fermentationen von Lupineextrakt im 5 l-Maßstab	74
4.2.2 Fermentationen von Erbsenextrakt im 5 l-Maßstab	75
4.2.3 Schlussfolgerungen aus den Fermentationen im 5 l-Maßstab	77
4.3 Fermentationen im 30 l-Maßstab	78
4.3.1 Fermentationen von Lupineextrakt im 30 l-Maßstab	78
4.3.2 Fermentationen von Erbsenextrakt im 30 l-Maßstab	79
4.3.3 Schlussfolgerungen aus den Fermentationen im 30 l-Maßstab	80
4.4 Fermentationen im 500 l-Maßstab	82
4.4.1 Fermentation von Lupineextrakt mit <i>L. plantarum</i> (L 1047) im 500 l-Maßstab	82
4.4.2 Fermentation von Erbsenextrakt mit <i>L. plantarum</i> (L 1047) im 500 l-Maßstab	83
4.5 Sensorische Bewertung der fermentierten Extrakte aus den Up-Scale-Versuchen	85
4.6 Bewertung der Proteinfunktionalitäten der fermentierten Extrakte	85
4.7 Versuche zur Keimzahlreduzierung	86
4.7.1 Pasteurisationsversuche	86
4.7.2 Versuche zur Ultrahoherhitzung	87
4.8 Versuche zur Nutzung fermentierten Extraktes als Inokulum	88
4.9 Zusammenfassende Betrachtung der Ergebnisse	88
5 Zusammenfassung	93
6 Literaturverzeichnis	96
7 Anhang	104

---

---

## Abkürzungsverzeichnis

1N	Eins-Normal
AiF	Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen
ATP	Adenosintriphosphat
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
CO <sub>2</sub>	Kohlenstoffdioxid
DNA	Desoxyribonucleic Acid (Desoxyribonukleinsäure)
DSMZ	Deutsche Sammlung von Mikroorganismen und Zellkulturen GmbH
dt	Dezitonne (Doppelzentner)
Δ	Differenz
et al.	et alia (und andere)
etc.	et cetera (und weitere(s))
Ext.	Extinktion
Fa.	Firma
h	Stunde(n)
ha	Hektar
HCl	Salzsäure
HPAEC-PAD	High Performance Anion Exchange Chromatography – Pulsed Amperometric Detection
IVV	Fraunhofer Institut für Verfahrenstechnik und Verpackung
KBE	Koloniebildende Einheiten
l	Liter
L.	Botanische oder zoologische Benennung nach Carl von Linné
Mio.	Million(en)
ml	Milliliter
MRS	Man-Rugosa-Sharp (Nährmedium für Milchsäurebakterien, benannt nach den Entwicklern)
µm	Mikrometer
NBB	Nährboden für bierschädliche Bakterien
Nm	Nanometer

---

o.ä.	oder ähnliche(s)
s.o.	siehe oben
sog.	sogenannt
Subsp.	Subspezies
ssp.	Subspezies
t	Tonne(n)
u.a.	und andere(s)
ZZ	Zellzahl
%	Prozent
%-GV	Gewichts-Volumen-Prozent

---

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Chemische Grundstruktur von Raffinose, Stachyose und Verbascose.....	4
Abbildung 2: Homofermentative Bildung von Lactat über Glykolyse (nach [9] und [18]).....	8
Abbildung 3: Heterofermentative Milchsäuregärung über den 6-Phosphogluconat-Weg (nach [7] und [14]) .....	9
Abbildung 4: Versuchskombinationen im Response Surface Design .....	18
Abbildung 5: 5 l-Fermenter .....	22
Abbildung 6: 30 l-Fermenter .....	23
Abbildung 7: Fermentationsbehälter für Fermentationen im 500 l-Maßstab ohne Peripherie.....	25
Abbildung 8: High Performance Anion Exchange Chromatography – Pulsed Amperometric Detection Anlage zur Bestimmung von vergärbaren Zuckern und Oligosacchariden .....	30
Abbildung 9: Mittelwerte für pH-Abfall und Trübungszunahme in den statistischen Fermentationen von Lupineextrakt mit L 1150.....	35
Abbildung 10: Abbau der Oligosaccharide Raffinose, Stachyose und Verbascose in den statistischen Fermentationen von Lupineextrakt mit L 1150 .....	37
Abbildung 11: Mittelwerte für pH und Trübung in den statistischen Fermentationen von Lupineextrakt mit L 532 .....	40
Abbildung 12: Abbau der Oligosaccharide Raffinose, Stachyose und Verbascose in den statistischen Fermentationen von Lupineextrakt mit L 532 .....	42
Abbildung 13: Mittelwerte für pH und Trübung in den statistischen Fermentationen von Lupineextrakt mit L 1047 .....	43
Abbildung 14: Abbau der Oligosaccharide Raffinose, Stachyose und Verbascose in den statistischen Fermentationen von Lupineextrakt mit L 1047 .....	46
Abbildung 15: Mittelwerte für pH und Trübung in den statistischen Fermentationen von Lupineextrakt mit P 75 .....	47
Abbildung 16: Anfangs- und Endkonzentrationen an Oligosacchariden für die statistischen Fermentationen von Lupineextrakt mit P 75 .....	49
Abbildung 17: Mittelwerte für pH und Trübung in den statistischen Fermentationen von Lupineextrakt mit P 113 .....	50
Abbildung 18: Abbau der Oligosaccharide Raffinose, Stachyose und Verbascose in den statistischen Fermentationen von Lupineextrakt mit P 113 .....	52
Abbildung 19: Mittelwerte für pH-Abfall und Trübungszunahme in den statistischen Fermentationen von Erbsenextrakt mit TL 5 .....	54
Abbildung 20: Anfangs- und Endkonzentrationen an Oligosacchariden für die statistischen Fermentationen von Erbsenextrakt mit TL 5 .....	56
Abbildung 21: Mittelwerte für pH und Trübung in den statistischen Fermentationen von Erbsenextrakt mit L 1150 .....	57
Abbildung 22: Anfangs- und Endkonzentrationen an Oligosacchariden für die statistischen Fermentationen von Erbsenextrakt mit L 1150.....	58
Abbildung 23: Anfangs- und Endkonzentrationen an Oligosacchariden für die statistischen Fermentationen von Erbsenextrakt mit L 1150 in Abhängigkeit von der Glucosezugabe.....	59
Abbildung 24: Mittelwerte für pH und Trübung in den statistischen Fermentationen von Erbsenextrakt mit L 532 .....	61

---

Abbildung 25: Anfangs- und Endkonzentrationen an Oligosacchariden für die statistischen Fermentationen von Erbsenextrakt mit L 532.....	62
Abbildung 26: Mittelwerte für pH und Trübung in den statistischen Fermentationen von Erbsenextrakt mit L 1047 .....	64
Abbildung 27: Anfangs- und Endkonzentrationen an Oligosacchariden für die statistischen Fermentationen von Erbsenextrakt mit L 1047.....	65
Abbildung 28: Anfangs- und Endkonzentrationen an Oligosacchariden für die statistischen Fermentationen von Erbsenextrakt mit L 1047 in Abhängigkeit von der Glucosezugabe.....	65
Abbildung 29: Mittelwerte für pH und Trübung in den statistischen Fermentationen von Erbsenextrakt mit P 75.....	67
Abbildung 30: Anfangs- und Endkonzentrationen an Oligosacchariden für die statistischen Fermentationen von Erbsenextrakt mit P 75 .....	69
Abbildung 31: Mittelwerte für pH und Trübung in den statistischen Fermentationen von Erbsenextrakt mit P 113.....	71
Abbildung 32: Anfangs- und Endkonzentrationen an Oligosacchariden für die statistischen Fermentationen von Erbsenextrakt mit P 113 .....	72
Abbildung 33: pH-Verlauf für Fermentationen von Lupineextrakt im 5 l-Maßstab .....	74
Abbildung 34: Prozentualer Verbleib von Oligosacchariden nach Fermentation von Lupineextrakt im 5 l-Maßstab .....	75
Abbildung 35: pH-Verlauf für Fermentationen von Erbsenextrakt im 5l-Maßstab .....	76
Abbildung 36: Prozentualer Verbleib von Oligosacchariden nach Fermentation von Erbsenextrakt im 5 l-Maßstab .....	77
Abbildung 37: pH-Verlauf für Fermentationen von Lupineextrakt im 30 l-Maßstab .....	78
Abbildung 38: Prozentualer Verbleib von Oligosacchariden nach Fermentation von Lupineextrakt im 30 l-Maßstab .....	79
Abbildung 39: pH-Verlauf für Fermentationen von Erbsenextrakt im 30 l-Maßstab .....	80
Abbildung 40: Oligosaccharidgehalt zu Beginn und zu Ende der Fermentation von Erbsenextrakt mit P 113 im 30 l-Maßstab .....	80
Abbildung 41: pH-Verlauf für die Fermentation von Lupineextrakt im 500 l-Maßstab.....	82
Abbildung 42: Verlauf der Oligosaccharidkonzentration in der Fermentation von Lupineextrakt mit L 1047 im 500 l-Maßstab.....	83
Abbildung 43: pH-Verlauf für die Fermentation von Erbsenextrakt im 500 l-Maßstab.....	84
Abbildung 44: Verlauf der Oligosaccharidkonzentration in der Fermentation von Erbsenextrakt mit L 1047 im 500 l-Maßstab.....	84
Abbildung 45: Keimzahlreduzierung durch verschiedene Verfahren zur thermischen Behandlung .....	86
Abbildung 46: pH-Abhängigkeit der Pasteurisation bei 65°C.....	87
Abbildung 47: Entwicklung der Erntezellzahl über drei Führungen bei gleich bleibendem Inokulum für L 1047.....	88

---

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Einordnung der Leguminosen innerhalb der Samenpflanzen ( <i>Spermatophyta</i> ). Tabelle erstellt nach [24].....	3
Tabelle 2: Übersicht über die in den statistischen Fermentationen verwendeten Mikroorganismen .....	16
Tabelle 3: Ursprüngliche Herkunft der verwendeten Mikroorganismen .....	17
Tabelle 4: Untersuchte Parameter und Eingangswerte der statistischen Fermentationsversuche..	17
Tabelle 5: Überblick über die in den 5l-Fermentationen verwendeten Mikroorganismen.....	21
Tabelle 6: Überblick über die in den 30l-Fermentationen verwendeten Mikroorganismen .....	23
Tabelle 7: Versuchskombinationen der Pasteurisationsversuche .....	28
Tabelle 8: Versuchskombinationen der Ultrahocherhitzungsversuche .....	28
Tabelle 9: Verkostungskriterien für die Verkostung fermentierten Lupineextrakt.....	32
Tabelle 10: Verkostungskriterien für die Verkostung fermentierter Erbsenextrakte.....	32
Tabelle A 1: Zuckergehalte von Lupine- und Erbsenextrakt vor der Fermentation .....	104
Tabelle A 2: Statistische Fermentationen - Zuordnung der Versuchsnummern zu den Eingangsparemtern.....	104
Tabelle A 3: Statistische Fermentationen von Lupineextrakt mit <i>L. paracasei</i> (L 1150) - Entwicklung der photometrischen Extinktion .....	105
Tabelle A 4: Kenndaten des mathematischen Modells zur Entwicklung der photometrischen Extinktion: L 1150 in Lupineextrakt.....	105
Tabelle A 5: Statistische Fermentationen von Lupineextrakt mit <i>L. paracasei</i> (L 1150) - Entwicklung des pH-Wertes.....	106
Tabelle A 6: Kenndaten des mathematischen Modells zur Entwicklung des pH-Wertes: L 1150 in Lupineextrakt.....	106
Tabelle A 7: Statistische Fermentationen von Lupineextrakt mit <i>L. paracasei</i> (L 1150) - Entwicklung der Oligosaccharidkonzentration Versuchsläufe 1-13.....	107
Tabelle A 8: Statistische Fermentationen von Lupineextrakt mit <i>L. paracasei</i> (L 1150) - Entwicklung der Oligosaccharidkonzentration Versuchsläufe 14-26 .....	108
Tabelle A 9: Kenndaten des mathematischen Modells zur Entwicklung des Raffinose-Gehaltes: L 1150 in Lupineextrakt .....	109
Tabelle A 10: Kenndaten des mathematischen Modells zur Entwicklung des Stachyose-Gehaltes: L 1150 in Lupineextrakt .....	109
Tabelle A 11: Kenndaten des mathematischen Modells zur Entwicklung des Verbascose-Gehaltes: L 1150 in Lupineextrakt.....	109
Tabelle A 12: Kenndaten des mathematischen Modells zur Entwicklung des Oligosaccharid-Gehaltes: L 1150 in Lupineextrakt.....	110
Tabelle A 13: Statistische Fermentationen von Lupineextrakt mit <i>L. perolens</i> (L 532) - Entwicklung der photometrischen Extinktion .....	110
Tabelle A 14: Kenndaten des mathematischen Modells zur Entwicklung der photometrischen Extinktion: L 532 in Lupineextrakt.....	111
Tabelle A 15: Statistische Fermentationen von Lupineextrakt mit <i>L. perolens</i> (L 532) - Entwicklung des pH-Wertes.....	111
Tabelle A 16: Kenndaten des mathematischen Modells zur Entwicklung des pH-Wertes: L 532 in Lupineextrakt.....	111

---

Tabelle A 17: Statistische Fermentationen von Lupineextrakt mit <i>L. perolens</i> (L 532) - Entwicklung der Oligosaccharidkonzentration Versuchsläufe 1-13.....	112
Tabelle A 18: Statistische Fermentationen von Lupineextrakt mit <i>L. perolens</i> (L 532) - Entwicklung der Oligosaccharidkonzentration Versuchsläufe 14-26 .....	113
Tabelle A 19: Statistische Fermentationen von Lupineextrakt mit <i>L. plantarum</i> (L 1047) - Entwicklung der photometrischen Extinktion.....	114
Tabelle A 20: Kenndaten des mathematischen Modells zur Entwicklung der photometrischen Extinktion: L 1047 in Lupineextrakt.....	114
Tabelle A 21: Statistische Fermentationen von Lupineextrakt mit <i>L. plantarum</i> (L 1047) - Entwicklung des pH-Wertes.....	115
Tabelle A 22: Kenndaten des mathematischen Modells zur Entwicklung des pH-Wertes: L 1047 in Lupineextrakt .....	115
Tabelle A 23: Statistische Fermentationen von Lupineextrakt mit <i>L. plantarum</i> (L 1047) - Entwicklung der Oligosaccharidkonzentration Versuchsläufe 1-13.....	116
Tabelle A 24: Statistische Fermentationen von Lupineextrakt mit <i>L. plantarum</i> (L 1047) - Entwicklung der Oligosaccharidkonzentration Versuchsläufe 14-26 .....	117
Tabelle A 25: Kenndaten des mathematischen Modells zur Entwicklung des Raffinose-Gehaltes: L 1047 in Lupineextrakt .....	118
Tabelle A 26: Kenndaten des mathematischen Modells zur Entwicklung des Stachyose-Gehaltes: L 1047 in Lupineextrakt .....	118
Tabelle A 27: Kenndaten des mathematischen Modells zur Entwicklung des Verbascose- Gehaltes: L 1047 in Lupineextrakt.....	118
Tabelle A 28: Kenndaten des mathematischen Modells zur Entwicklung des Oligosaccharid- Gehaltes: L 1047 in Lupineextrakt.....	118
Tabelle A 29: Statistische Fermentationen von Lupineextrakt mit <i>P. acidilactici</i> (P 75) - Entwicklung der photometrischen Extinktion.....	119
Tabelle A 30: Kenndaten des mathematischen Modells zur Entwicklung der photometrischen Extinktion: P 75 in Lupineextrakt .....	119
Tabelle A 31: Statistische Fermentationen von Lupineextrakt mit <i>P. acidilactici</i> (P 75) - Entwicklung des pH-Wertes.....	120
Tabelle A 32: Kenndaten des mathematischen Modells zur Entwicklung des pH-Wertes: P 75 in Lupineextrakt.....	120
Tabelle A 33: Statistische Fermentationen von Lupineextrakt mit <i>P. acidilactici</i> (P 75) - Entwicklung der Oligosaccharidkonzentration Versuchsläufe 1-13.....	121
Tabelle A 34: Statistische Fermentationen von Lupineextrakt mit <i>P. acidilactici</i> (P 75) - Entwicklung der Oligosaccharidkonzentration Versuchsläufe 14-26 .....	122
Tabelle A 35: Statistische Fermentationen von Lupineextrakt mit <i>P. pentosaceus</i> (P 113) - Entwicklung der photometrischen Extinktion.....	123
Tabelle A 36: Kenndaten des mathematischen Modells zur Entwicklung der photometrischen Extinktion: P 113 in Lupineextrakt.....	123
Tabelle A 37: Statistische Fermentationen von Lupineextrakt mit <i>P. pentosaceus</i> (P 113) - Entwicklung des pH-Wertes.....	124
Tabelle A 38: Kenndaten des mathematischen Modells zur Entwicklung des pH-Wertes: P 113 in Lupineextrakt.....	124
Tabelle A 39: Statistische Fermentationen von Lupineextrakt mit <i>P. pentosaceus</i> (P 113) - Entwicklung der Oligosaccharidkonzentration Versuchsläufe 1-13.....	125
Tabelle A 40: Statistische Fermentationen von Lupineextrakt mit <i>P. pentosaceus</i> (P 113) - Entwicklung der Oligosaccharidkonzentration Versuchsläufe 14-26 .....	126

---

Tabelle A 41: Kenndaten des mathematischen Modells zur Entwicklung des Raffinose-Gehaltes: P 113 in Lupineextrakt.....	127
Tabelle A 42: Kenndaten des mathematischen Modells zur Entwicklung des Stachyose-Gehaltes: P 113 in Lupineextrakt.....	127
Tabelle A 43: Kenndaten des mathematischen Modells zur Entwicklung des Verbascose- Gehaltes: P 113 in Lupineextrakt.....	127
Tabelle A 44: Kenndaten des mathematischen Modells zur Entwicklung des Oligosaccharid- Gehaltes: P 113 in Lupineextrakt.....	127
Tabelle A 45: Statistische Fermentationen von Erbsenextrakt mit <i>L. amylolyticus</i> (TL 5) - Entwicklung der photometrischen Extinktion.....	128
Tabelle A 46: Kenndaten des mathematischen Modells zur Entwicklung der photometrischen Extinktion: TL 5 in Erbsenextrakt .....	128
Tabelle A 47: Statistische Fermentationen von Erbsenextrakt mit <i>L. amylolyticus</i> (TL 5) - Entwicklung des pH-Wertes.....	129
Tabelle A 48: Kenndaten des mathematischen Modells zur Entwicklung des pH-Wertes: TL 5 in Erbsenextrakt.....	129
Tabelle A 49: Statistische Fermentationen von Erbsenextrakt mit <i>L. amylolyticus</i> (TL 5) - Entwicklung der Oligosaccharidkonzentration Versuchsläufe 1-13.....	130
Tabelle A 50: Statistische Fermentationen von Erbsenextrakt mit <i>L. amylolyticus</i> (TL 5) - Entwicklung der Oligosaccharidkonzentration Versuchsläufe 14-26 .....	131
Tabelle A 51: Kenndaten des mathematischen Modells zur Entwicklung des Raffinose-Gehaltes: TL 5 in Erbsenextrakt .....	132
Tabelle A 52: Kenndaten des mathematischen Modells zur Entwicklung des Stachyose-Gehaltes: TL 5 in Erbsenextrakt .....	132
Tabelle A 53: Kenndaten des mathematischen Modells zur Entwicklung des Verbascose- Gehaltes: TL 5 in Erbsenextrakt .....	132
Tabelle A 54: Kenndaten des mathematischen Modells zur Entwicklung des Oligosaccharid- Gehaltes: TL 5 in Erbsenextrakt .....	132
Tabelle A 55: Statistische Fermentationen von Erbsenextrakt mit <i>L. paracasei</i> (L 1150) - Entwicklung der photometrischen Extinktion.....	133
Tabelle A 56: Kenndaten des mathematischen Modells zur Entwicklung der photometrischen Extinktion: L 1150 in Erbsenextrakt.....	133
Tabelle A 57: Statistische Fermentationen von Erbsenextrakt mit <i>L. paracasei</i> (L 1150) - Entwicklung des pH-Wertes.....	134
Tabelle A 58: Kenndaten des mathematischen Modells zur Entwicklung des pH-Wertes: L 1150 in Erbsenextrakt.....	134
Tabelle A 59: Statistische Fermentationen von Erbsenextrakt mit <i>L. paracasei</i> (L 1150) - Entwicklung der Oligosaccharidkonzentration Versuchsläufe 1-13.....	135
Tabelle A 60: Statistische Fermentationen von Erbsenextrakt mit <i>L. paracasei</i> (L 1150) - Entwicklung der Oligosaccharidkonzentration Versuchsläufe 14-26 .....	136
Tabelle A 61: Kenndaten des mathematischen Modells zur Entwicklung des Raffinose-Gehaltes: L 1150 in Erbsenextrakt.....	137
Tabelle A 62: Kenndaten des mathematischen Modells zur Entwicklung des Stachyose-Gehaltes: L 1150 in Erbsenextrakt.....	137
Tabelle A 63: Kenndaten des mathematischen Modells zur Entwicklung des Verbascose- Gehaltes: L 1150 in Erbsenextrakt.....	137
Tabelle A 64: Kenndaten des mathematischen Modells zur Entwicklung des Oligosaccharid- Gehaltes: L 1150 in Erbsenextrakt.....	137

---

Tabelle A 65: Statistische Fermentationen von Erbsenextrakt mit <i>L. perolens</i> (L 532) - Entwicklung der photometrischen Extinktion.....	138
Tabelle A 66: Kenndaten des mathematischen Modells zur Entwicklung der photometrischen Extinktion: L 532 in Erbsenextrakt.....	138
Tabelle A 67: Statistische Fermentationen von Erbsenextrakt mit <i>L. perolens</i> (L 532) - Entwicklung des pH-Wertes.....	139
Tabelle A 68: Kenndaten des mathematischen Modells zur Entwicklung des pH-Wertes: L 532 in Erbsenextrakt.....	139
Tabelle A 69: Statistische Fermentationen von Erbsenextrakt mit <i>L. perolens</i> (L 532) - Entwicklung der Oligosaccharidkonzentration Versuchsläufe 1-13.....	140
Tabelle A 70: Statistische Fermentationen von Erbsenextrakt mit <i>L. perolens</i> (L 532) - Entwicklung der Oligosaccharidkonzentration Versuchsläufe 14-26 .....	141
Tabelle A 71: Kenndaten des mathematischen Modells zur Entwicklung des Raffinose-Gehaltes: L 532 in Erbsenextrakt.....	142
Tabelle A 72: Kenndaten des mathematischen Modells zur Entwicklung des Stachyose-Gehaltes: L 532 in Erbsenextrakt.....	142
Tabelle A 73: Kenndaten des mathematischen Modells zur Entwicklung des Verbascose- Gehaltes: L 532 in Erbsenextrakt.....	142
Tabelle A 74: Kenndaten des mathematischen Modells zur Entwicklung des Oligosaccharid- Gehaltes: L 532 in Erbsenextrakt.....	143
Tabelle A 75: Statistische Fermentationen von Erbsenextrakt mit <i>L. plantarum</i> (L 1047) - Entwicklung der photometrischen Extinktion.....	144
Tabelle A 76: Kenndaten des mathematischen Modells zur Entwicklung der photometrischen Extinktion: L 1047 in Erbsenextrakt.....	144
Tabelle A 77: Statistische Fermentationen von Erbsenextrakt mit <i>L. plantarum</i> (L 1047) - Entwicklung des pH-Wertes.....	145
Tabelle A 78: Kenndaten des mathematischen Modells zur Entwicklung des pH-Wertes: L 1047 in Erbsenextrakt.....	145
Tabelle A 79: Statistische Fermentationen von Erbsenextrakt mit <i>L. plantarum</i> (L 1047) - Entwicklung der Oligosaccharidkonzentration Versuchsläufe 1-13.....	146
Tabelle A 80: Statistische Fermentationen von Erbsenextrakt mit <i>L. plantarum</i> (L 1047) - Entwicklung der Oligosaccharidkonzentration Versuchsläufe 14-26 .....	147
Tabelle A 81: Kenndaten des mathematischen Modells zur Entwicklung des Raffinose-Gehaltes: L 1047 in Erbsenextrakt.....	148
Tabelle A 82: Kenndaten des mathematischen Modells zur Entwicklung des Stachyose-Gehaltes: L 1047 in Erbsenextrakt.....	148
Tabelle A 83: Kenndaten des mathematischen Modells zur Entwicklung des Verbascose- Gehaltes: L 1047 in Erbsenextrakt.....	148
Tabelle A 84: Kenndaten des mathematischen Modells zur Entwicklung des Oligosaccharid- Gehaltes: L 1047 in Erbsenextrakt.....	148
Tabelle A 85: Statistische Fermentationen von Erbsenextrakt mit <i>P. acidilactici</i> (P 75) - Entwicklung der photometrischen Extinktion.....	149
Tabelle A 86: Kenndaten des mathematischen Modells zur Entwicklung der photometrischen Extinktion: P 75 in Erbsenextrakt .....	149
Tabelle A 87: Statistische Fermentationen von Erbsenextrakt mit <i>P. acidilactici</i> (P 75) - Entwicklung des pH-Wertes.....	150
Tabelle A 88: Kenndaten des mathematischen Modells zur Entwicklung des pH-Wertes: P 75 in Erbsenextrakt.....	150

---

Tabelle A 89: Statistische Fermentationen von Erbsenextrakt mit <i>P. acidilactici</i> (P 75) - Entwicklung der Oligosaccharidkonzentration Versuchsläufe 1-13.....	151
Tabelle A 90: Statistische Fermentationen von Erbsenextrakt mit <i>P. acidilactici</i> (P 75) - Entwicklung der Oligosaccharidkonzentration Versuchsläufe 14-26 .....	152
Tabelle A 91: Kenndaten des mathematischen Modells zur Entwicklung des Raffinose-Gehaltes: P 75 in Erbsenextrakt .....	153
Tabelle A 92: Kenndaten des mathematischen Modells zur Entwicklung des Stachyose-Gehaltes: P 75 in Erbsenextrakt .....	153
Tabelle A 93: Kenndaten des mathematischen Modells zur Entwicklung des Verbascose- Gehaltes: P 75 in Erbsenextrakt .....	153
Tabelle A 94: Kenndaten des mathematischen Modells zur Entwicklung des Oligosaccharid- Gehaltes: P 75 in Erbsenextrakt .....	154
Tabelle A 95: Statistische Fermentationen von Erbsenextrakt mit <i>P. pentosaceus</i> (P 113) - Entwicklung der photometrischen Extinktion.....	155
Tabelle A 96: Kenndaten des mathematischen Modells zur Entwicklung der photometrischen Extinktion: P 113 in Erbsenextrakt .....	155
Tabelle A 97: Statistische Fermentationen von Erbsenextrakt mit <i>P. pentosaceus</i> (P 113) - Entwicklung des pH-Wertes.....	156
Tabelle A 98: Kenndaten des mathematischen Modells zur Entwicklung des pH-Wertes: P 113 in Erbsenextrakt.....	156
Tabelle A 99: Statistische Fermentationen von Erbsenextrakt mit <i>P. pentosaceus</i> (P 113) - Entwicklung der Oligosaccharidkonzentration Versuchsläufe 1-13.....	157
Tabelle A 100: Statistische Fermentationen von Erbsenextrakt mit <i>P. pentosaceus</i> (P 113) - Entwicklung der Oligosaccharidkonzentration Versuchsläufe 14-26 .....	158
Tabelle A 101: Kenndaten des mathematischen Modells zur Entwicklung des Raffinose-Gehaltes: P 113 in Erbsenextrakt.....	159
Tabelle A 102: Kenndaten des mathematischen Modells zur Entwicklung des Stachyose- Gehaltes: P 113 in Erbsenextrakt .....	159
Tabelle A 103: Kenndaten des mathematischen Modells zur Entwicklung des Verbascose- Gehaltes: P 113 in Erbsenextrakt .....	159
Tabelle A 104: Kenndaten des mathematischen Modells zur Entwicklung des Oligosaccharid- Gehaltes: P 113 in Erbsenextrakt .....	159
Tabelle A 105: Verlauf der Fermentation von Lupineextrakt mit <i>L. paracasei</i> (L 1150) im 5l- Maßstab.....	160
Tabelle A 106: Verlauf der Fermentation von Lupineextrakt mit <i>L. perolens</i> (L 532) im 5l- Maßstab.....	160
Tabelle A 107: Verlauf der Fermentation von Lupineextrakt mit <i>L. plantarum</i> (L 1047) im 5l- Maßstab.....	160
Tabelle A 108: Verlauf der Fermentation von Lupineextrakt mit <i>P. pentosaceus</i> (P 113) im 5l- Maßstab.....	160
Tabelle A 109: Verlauf der Fermentation von Erbsenextrakt mit <i>L. paracasei</i> (L 1150) im 5l- Maßstab.....	160
Tabelle A 110: Verlauf der Fermentation von Erbsenextrakt mit <i>L. perolens</i> (L 532) im 5l- Maßstab.....	160
Tabelle A 111: Verlauf der Fermentation von Erbsenextrakt mit <i>L. plantarum</i> (L 1047) im 5l- Maßstab.....	161
Tabelle A 112: Verlauf der Fermentation von Erbsenextrakt mit <i>P. pentosaceus</i> (P 113) im 5l- Maßstab.....	161

---

Tabelle A 113: Verlauf der Fermentation von Lupineextrakt mit <i>L. plantarum</i> (L 1047) im 30l-Maßstab.....	161
Tabelle A 114: Verlauf der Fermentation von Lupineextrakt mit <i>P. pentosaceus</i> (P 113) im 30l-Maßstab.....	161
Tabelle A 115: Verlauf der Fermentation von Erbsenextrakt mit <i>L. plantarum</i> (L 1047) im 30l-Maßstab.....	161
Tabelle A 116: Verlauf der Fermentation von Erbsenextrakt mit <i>P. pentosaceus</i> (P 113) im 30l-Maßstab.....	161
Tabelle A 117: Verlauf der Fermentation von Lupineextrakt mit <i>L. plantarum</i> (L 1047) im 500l-Maßstab.....	162
Tabelle A 118: Verlauf der Fermentation von Erbsenextrakt mit <i>L. plantarum</i> (L 1047) im 500l-Maßstab.....	162

# 1 Einleitung

Proteine haben in Lebensmitteln neben ihren ernährungsphysiologischen Funktionen zahlreiche weitere Eigenschaften, die sich technologisch zu Nutze gemacht werden können. Dazu zählen ihre Funktionen als Schaumbildner und –stabilisator, als Emulgator oder als Gelbildner [9]. Neben den technologisch bedeutsamen funktionellen Eigenschaften sind gerade pflanzliche Proteine auch durch verschiedene ernährungsphysiologische Charakteristika geprägt, die als vorteilhaft für die Gesundheit des Menschen eingestuft werden. Lupineprotein beispielsweise wird eine senkende Wirkung auf den Cholesterinspiegel zugeschrieben, die in Tierfütterungsstudien auch belegt ist [20]. Da die Verbraucherakzeptanz für tierische Produkte insgesamt aus verschiedenen Gründen in den letzten Jahren gesunken ist, ergibt sich für Proteinpräparate pflanzlicher Herkunft ein gewisses Potenzial [19]. Den postulierten ernährungsphysiologischen Vorteilen von Pflanzenproteinen steht eine geringere Verdaulichkeit im Vergleich mit tierischem Protein gegenüber. Protein aus Leguminosen bildet hierbei eine Ausnahme [10], was diese Pflanzen als Proteinquelle interessant macht. Proteinpräparate aus Leguminosen enthalten allerdings eine Vielzahl an antinutritiven und antiphysiologischen Inhaltsstoffen [26, 30], die einem breiten Einsatz in Lebensmitteln im Wege stehen. Zudem haben Proteinextrakte, die aus Erbsen oder Lupine gewonnen werden, einen sehr intensiven Eigengeschmack und –geruch, der den Einsatz in Lebensmitteln mit einem anderen, typischen Charakter erschwert. Gerade Erbsen und Lupine wären aber als Quelle für Proteinpräparate interessant, da ihr Anbau auch aus agronomischen Gründen wünschenswert ist [56] und sie im Gegensatz zum Soja, dessen Anbau sich aufgrund seiner hohen Ansprüche an Boden und Klima in Deutschland nicht durchgesetzt hat, hierzulande heimisch sind [42]. Das Fraunhofer Institut für Verfahrenstechnik und Verpackung in Freising, der Lehrstuhl für Technologie der Brauerei I der Technischen Universität München (heute Lehrstuhl für Brau- und Getränketechnologie) und das Lebensmittelchemische Institut der Universität Hannover haben daher in einem gemeinsamen Projekt im Rahmen der industriellen Gemeinschaftsforschung der AiF (AiF-Forschungsvorhaben Nr. 15045 N) ein neuartiges Verfahren zur Gewinnung von Proteinpräparaten aus Lupine und Erbsen erforscht. Innerhalb dieses Verfahrens wurden Proteinextrakte durch Zusatz von Milchsäurebakterien fermentiert, um bei weitestgehendem Erhalt der funktionellen

Eigenschaften der im Extrakt enthaltenen Proteine die hier ebenfalls enthaltenen antiphysiologischen Substanzen zu reduzieren und den intensiven Eigengeschmack der Extrakte zu verändern. Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit diesem für das Gesamtverfahren der Proteingewinnung essentiellen Verfahrensschritt. Einen Überblick über das Gesamtverfahren und eine umfassende Behandlung der der Fermentation vor- und nachgelagerten Prozesse bietet der Forschungsbericht zu diesem Vorhaben [2]. Diese Arbeit soll den interessierten Lesern einen tieferen Einblick in die Fermentation von Erbsen- und Lupineproteinextrakten durch Milchsäurebakterien geben. Dazu wurden sechs verschiedene Milchsäurebakterien auf ihre Eignung für solche Fermentationen unter verschiedenen Prozessbedingungen untersucht. Für ausgewählte Mikroorganismen wurde ferner ein Upscale des Verfahrens bis in den semi-industriellen Maßstab (500 Liter) durchgeführt und evaluiert.

## 2 Grundlagen

### 2.1 Leguminosen

#### 2.1.1 Allgemeines

Leguminosen (*Fabales*, *Leguminosae*) gehören innerhalb des Reiches der Pflanzen (*Plantae*) zur Abteilung der Samenpflanzen (*Spermatophyta*). Die Einordnung der Leguminosen nach Frohne [24] zeigt Tabelle 1. Die Verwandtschaftsverhältnisse innerhalb der Abteilung *Spermatophyta* sind umstritten [15], ebenso die Einordnung der Samenpflanzen innerhalb der Lebewesen insgesamt. Klassisch werden die *Spermatophyta* als eine Abteilung im Pflanzenreich angesehen, welches in 2 prokaryotische und 11 eukaryontische Abteilungen eingeteilt ist [24]. Nach einer neueren Klassifikation ist die Domäne der Eukaryonten in mehrere Übergruppen aufgeteilt. *Plantae* gehören dabei zur Übergruppe der *Archaeplastida*. Innerhalb der *Archaeplastida* sind *Plantae* den *Chloroplastida*, darin den *Charophyta* zugeordnet [1]. Innerhalb der Ordnung der *Leguminosae* werden drei Familien (*Mimosaceae*, *Caesalpinieae* und *Fabaceae*) unterschieden [24].

**Tabelle 1: Einordnung der Leguminosen innerhalb der Samenpflanzen (*Spermatophyta*). Tabelle erstellt nach [24]**

Abteilung	<i>Spermatophyta</i> (Samenpflanzen)
Unterabteilung	<i>Magnoliophytina</i> ( <i>Angiospermae</i> )
Klasse	<i>Magnoliatae</i> ( <i>Dicotyledonae</i> )
Unterklasse	<i>Rosidae</i>
Ordnung	<i>Fabales</i> ( <i>Leguminosae</i> )

Charakteristisches Merkmal der Leguminosen sind Wurzelknöllchen. Diese rühren aus einer symbiotischen Verbindung der Leguminosen mit Bakterien der Gattung *Rhizobium*, die dazu führt, dass die Leguminosen zur Assimilation von atmosphärischem Stickstoff imstande sind [24, 27, 69]. Aufgrund dieser Eigenschaft sind Leguminosen prädestiniert für den Einsatz im Rahmen der sog. Integrierten Pflanzenproduktion [35]. Die größte Bedeutung unter den landwirtschaftlich genutzten Leguminosen hat Soja. Im Jahre 1999 wurde etwa die Hälfte der weltweiten Leguminosenanbaufläche für Soja verwendet. Insgesamt werden jährlich ca. 57 Mio. t Leguminosen auf einer Fläche von ca. 68 Mio. ha produziert [28, 55]. Auch die Bedeutung von Leguminosen als Futterpflanzen

und als Proteinlieferant in der Humanernährung ergibt sich aus der Eigenschaft als Stickstoffassimilator. Eine weitere Besonderheit der Leguminosen besteht in ihrer Kohlenhydratzusammensetzung. Alle Leguminosen enthalten die Oligosaccharide Raffinose, Stachyose und Verbascose [29]. Es handelt sich dabei um  $\alpha$ -Galactoside, Saccharosederivate, die durch Anlagerung von Galactose über eine 1-6-Bindung an den Glucoseteil der Saccharose bzw. weitere Anlagerung einer oder mehrerer Galactoseeinheiten über 1-6-Bindungen an die erste Galactoseeinheit entstehen. Die chemische Grundstruktur von Raffinose, Stachyose und Verbascose im Vergleich zur Saccharose ist in Abbildung 1 schematisch dargestellt. Neben diesen drei Oligosacchariden gehören die Ajugose (vier Galactoseeinheiten) und höhermolekulare Verbindungen ohne Eigennamen zu den  $\alpha$ -Galactosiden [33]. Die flatulenzfördernde Eigenschaft der Leguminosen wird durch diese unverdaulichen Oligosaccharide hervorgerufen [9]. Für die analytische Erfassung dieser Oligosaccharide werden unterschiedlichste Methoden propagiert, wie Gas- und Flüssigkeitschromatographie [22, 33] oder Kapillarelektrophorese [23].

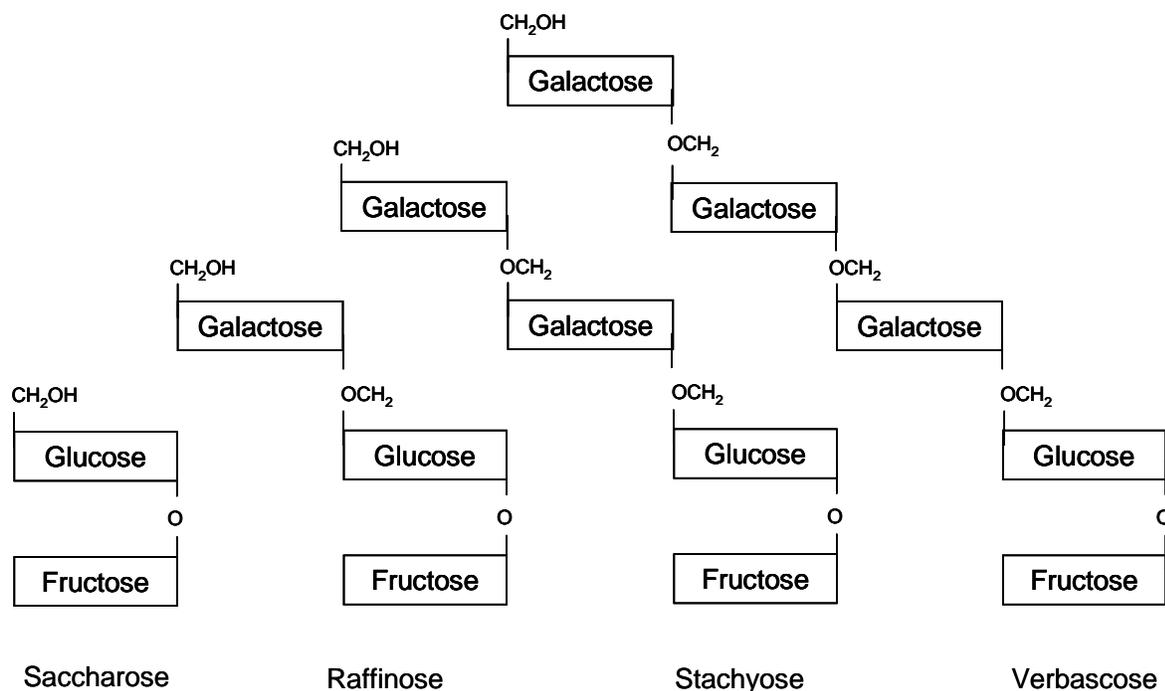


Abbildung 1: Chemische Grundstruktur von Raffinose, Stachyose und Verbascose

### 2.1.2 Erbse

Die Erbse (*Pisum*) gehört innerhalb der Ordnung der *Leguminosae* zur Familie der *Fabaceae* (Schmetterlingsblütler) und darin zur Unterfamilie der *Vicieae*. Andere Mitglieder dieser Unterfamilie sind Linse, Platterbse und Wicke [24, 52]. Innerhalb der Gattung *Pisum* werden zwei Arten, *Pisum sativum* und *Pisum fulvum* unterschieden. *Pisum sativum* L. umfasst mehrere Subspecies, nämlich die Wildformen *Pisum sativum* ssp. *elatius* und *Pisum sativum* ssp. *syriacum* sowie die Kulturformen *Pisum sativum* ssp. *asiaticum*, *Pisum sativum* ssp. *transcaucasicum*, *Pisum sativum* ssp. *abyssinicum* und *Pisum sativum* ssp. *sativum*. Letztere, die Körnererbse, ist die in Mitteleuropa ausschließlich angebaute Kulturform [63].

In Deutschland war die wirtschaftliche Bedeutung der Körnererbse in den vergangenen Jahren starken Schwankungen unterworfen. So stieg die bundesweite Anbaufläche für Futtererbsen von 1990 bis 1998 von 24.000 ha auf 168.000 ha an, wobei Erträge zwischen 25,8 und 37,1 dt je ha erzielt wurden. 2007 wurden wiederum nur 68.000 ha mit Erbsen bebaut, wobei ein durchschnittlicher Ertrag von 26,3 dt je ha erzielt wurde [14]. Eine begriffliche Unterscheidung zwischen Körner- und Futtererbsen wird von manchen Autoren vorgenommen [50], wogegen an anderer Stelle Futtererbsen unter die Körnererbsen subsummiert werden und die Begrifflichkeit Futtererbse sich ausschließlich auf die Verwendung bezieht. So führt das Bundessortenamt die in dieser Arbeit zur Extraktgewinnung zum Einsatz kommende Sorte Santana als Futtererbse [14], wogegen Pietsch et al. [50] sie als Körnererbse auflisten und von Futtererbsen abgrenzen.

Insbesondere im ökologischen Landbau haben Erbsen einschließlich der Sorte Santana eine große Bedeutung [3, 34, 39, 50]. Innerhalb Bayerns ist Santana die langjährige Standardsorte, wenn auch andere Sorten mittlerweile im Hinblick auf Ertrag und Standfestigkeit bessere Ergebnisse liefern [3]. Bundesweit ist Santana in den letzten Jahren die meistgezüchtete Sorte gewesen, wurde aber mittlerweile durch die Sorte Rocket überholt [14].

### 2.1.3 Lupine

Lupine (*Lupinus*) gehören ebenso wie die Erbse zur Familie der *Fabaceae*. Innerhalb dieser Familie gehören sie anders als die Erbse zur Unterfamilie der *Genisteeae*. Andere Mitglieder dieser Unterfamilie sind Ginster, Stechginster und Goldregen [24, 52]. Innerhalb der Gattung *Lupinus* haben *Lupinus albus* (Weiße Lupine), *Lupinus luteus* (Gelbe Lupine) und *Lupinus angustifolius* (Blaue Lupine) eine Bedeutung als Kulturpflanzen [42].

Im Rahmen dieser Arbeit kamen Extrakte zum Einsatz, die aus *Lupinus angustifolius vitabor* gewonnen wurden [2]. Diese Sorte zeichnet sich durch einen nur mittleren Proteingehalt (im Vergleich zu anderen Lupinesorten), dafür aber einen sehr geringen Alkaloidgehalt aus [14]. Während der Kornertrag der Lupine allgemein vergleichsweise gering ist (zwischen 11 und 25 dt je ha für Blaue Lupine) ist der Eiweißertrag aufgrund ihres sehr hohen Eiweißgehaltes (bis zu 40% bei Blauer Lupine) sehr gut [51]. Da Lupine weniger konkurrenzstark sind als andere Leguminosen, ist ihre Bedeutung für den ökologischen Landbau geringer als beispielsweise die der Erbse [39]. Anbautechnisch im Vorteil gegenüber Erbse und Ackerbohne ist die Blaue Lupine bei sandigen oder lehmigen Böden, da sie recht geringe Ansprüche an die Böden stellt [42].

Eine gewisse Bedeutung hat Lupine traditionell in verschiedenen Lebensmitteln. So kann Lupine beispielsweise als Sojaersatz bei der Herstellung von Tempe Verwendung finden, ebenso als Zusatz bei Brot und Nudeln [49]. Die Verwendung als Lebensmittelzusatz in verschiedensten Anwendungsbereichen fand in den letzten Jahren verstärkte Aufmerksamkeit [20].

## **2.2 Milchsäure Fermentation**

### **2.2.1 Geschichte und Anwendungsbereiche**

Unter Fermentation versteht man ganz allgemein einen verfahrenstechnischen Prozess, bei dem chemische Stoffumwandlungen durch Zugabe von Mikroorganismen oder Enzymen zu einem Substrat vorgenommen werden. Die Herstellung von Brot, Bier, Sauermilchprodukten, Käse und Essig sind nur einige Beispiele dafür, wie die Menschheit schon seit Jahrtausenden die Fermentation – zunächst unbewusst – für sich zu nutzen verstand [54]. Dabei waren sowohl die hinter den stattfindenden Umsetzungen steckenden chemischen Reaktionen als auch die Tatsache, dass daran Mikroorganismen beteiligt sind, unbekannt. Hefezellen, verantwortlich u.a. für die alkoholische Vergärung von Traubensaft zu Wein oder Würze zu Bier, wurden erst um 1680 durch Leeuwenhoek erstmals sichtbar gemacht [44, 48]. Zuvor war schon bekannt, dass die alkoholische Gärung sich durch Zugabe des Bodensatzes vorangegangener Gärungen beschleunigen lässt. Dass Hefezellen tatsächlich für die Gärung verantwortlich sind, wurde 1818 durch Erxleben festgestellt [21]. Der Nachweis der hierfür verantwortlichen Enzyme wurde von Buchner 1897 bewerkstelligt [13]. Die Milchsäuregärung wurde erstmals von Pasteur 1857 beschrieben [47]. Da Pasteur hier auch seine für die Mikrobiologie grundlegende Methode beschreibt, Mikroorganismen zu isolieren und als Reinkultur heranzuziehen, wird diese Arbeit als die Geburtsstunde der Mikrobiologie angesehen [59]. Milchsäure Fermentationen finden in Landwirtschaft und Lebensmittelherstellung heutzutage weit verbreitet Anwendung [5, 6, 64]. Die natürliche Milchsäuregärung spielt bei der Produktion von Silage, Sauerkraut und sauren Gurken ebenso eine Rolle wie bei der Haltbarmachung von Oliven. Auch Gemüsesäfte werden teilweise milchsauer vergoren, um die mikrobiologische Anfälligkeit dieser Produkte zu verringern [38]. Soja-Sauce, Soja-Paste und Berliner Weisse sind Beispiele für Lebensmittel, die in Mischfermentationen unter Verwendung von Milchsäurebakterien hergestellt werden [53, 64, 66, 67]. In Brauereien ist die Nutzung der Milchsäuregärung zur Herstellung von Sauergut verbreitet [8, 45].

## 2.2.2 Schema der Milchsäuregärung

Bei der Milchsäuregärung sind homofermentative und heterofermentative Gärung zu unterscheiden. Bei der homofermentativen Milchsäuregärung wird Glucose wie in Abbildung 2 gezeigt zunächst über den Abbauweg der Glykolyse zu Pyruvat und anschließend zu Lactat abgebaut. Dabei werden je Mol Glucose u.a. zwei Mol ATP und zwei Mol Lactat gebildet.  $\text{CO}_2$  wird bei diesem Reaktionsweg nicht gebildet.

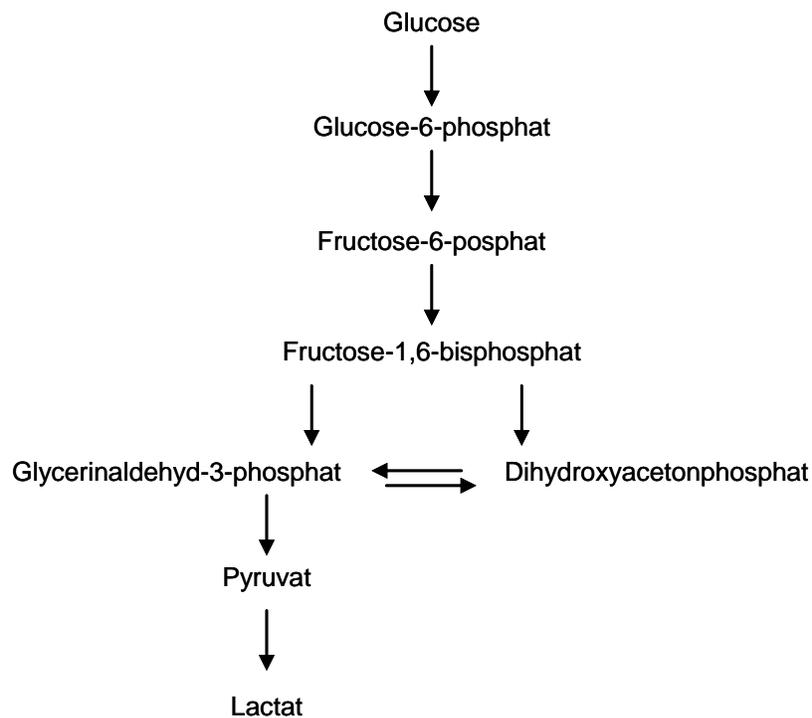


Abbildung 2: Homofermentative Bildung von Lactat über Glykolyse (nach [9] und [18])

Bei der heterofermentativen Milchsäuregärung über den 6-Phosphogluconat-Weg, wie er in Abbildung 3 gezeigt ist, entsteht neben Milchsäure auch Essigsäure und  $\text{CO}_2$ .

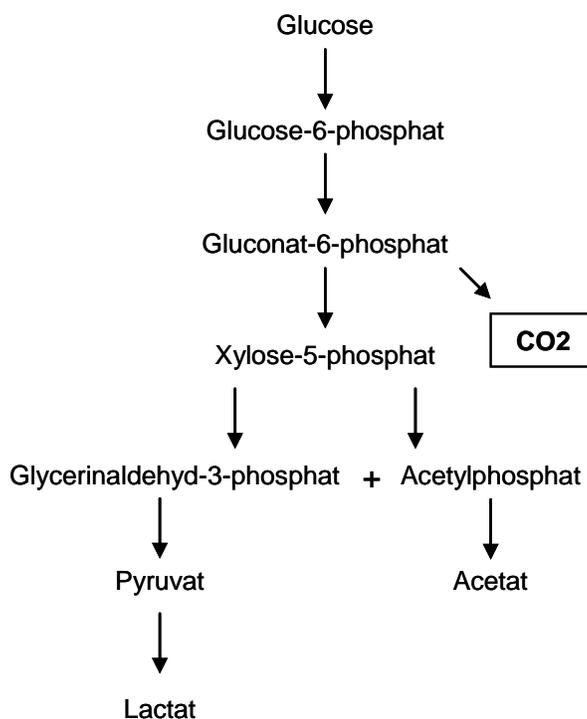


Abbildung 3: Heterofermentative Milchsäuregärung über den 6-Phosphogluconat-Weg (nach [7] und [14])

Ob die Milchsäuregärung auf dem homofermentativen oder dem heterofermentativen Weg erfolgt, ist abhängig vom jeweiligen Mikroorganismus. Homofermentative Mikroorganismen besitzen das Enzym Aldolase, das innerhalb der Glykolyse die Spaltung von Fructose-1,6-bisphosphat in Dihydroxyacetonphosphat und Glycerinaldehyd-3-phosphat (siehe Abbildung 2) katalysiert, sie besitzen jedoch weder Glucose-6-phosphatdehydrogenase noch 6-Phosphogluconatdehydrogenase. Fakultativ heterofermentative Mikroorganismen besitzen alle diese Enzyme, während obligat heterofermentative Mikroorganismen keine Aldolase besitzen [9]. Andere Hexosen wie Fructose und Galactose werden nach Phosphorylierung und gegebenenfalls Isomerisierung auf der Stufe von Glucose-6-phosphat oder Fructose-6-phosphat in die oben geschilderten Stoffwechselwege eingeschleust [4]. Die Konfiguration des in der Milchsäuregärung gebildeten Lactats ist ebenfalls stammabhängig. D-Lactat ist im Gegensatz zu L-Lactat für den menschlichen Organismus unverdaulich [9].

### 2.2.3 Milchsäurebakterien und ihre Eigenschaften

Milchsäurebakterien (*Lactobacteriaceae*) bilden eine morphologisch uneinheitliche Familie aus dem Reich der Bakterien [57]. Eine einheitliche Definition für Milchsäurebakterien existiert nicht [4], weshalb sich die Bezeichnung auf Bakterienstämme mit bestimmten Stoffwechseleigenschaften erstreckt, die nach einer morphologischen oder genetischen Zuordnung verschiedenen Familien zuzuordnen wären [12]. Ihre Mitglieder sind anaerob aber aerotolerant, Gram-positiv, Katalase-negativ, betreiben Lactat-Fermentation und bilden bis auf eine Ausnahme keine Sporen [57]. Die Familie der *Lactobacteriaceae* unterteilt sich in die Gattungen *Enterococcus*, *Lactobacillus*, *Lactococcus*, *Leuconostoc*, *Pediococcus* und *Streptococcus*. Die einzelnen Arten unterscheiden sich sowohl morphologisch (Stäbchen, Kokken) als auch in der Art der Lactat-Fermentation (homofermentativ, heterofermentativ) und der gebildeten Milchsäure voneinander [9, 57].

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit kommen verschiedene Milchsäurebakterien zum Einsatz, deren Eigenschaften im Folgenden näher beschrieben werden.

#### *Lactobacillus amylolyticus*:

Als eigene Art wurde *Lactobacillus amylolyticus* von Bohak et al. 1998 beschrieben [11]. Zugeordnet ist *L. amylolyticus* der Gruppe *L. acidophilus* innerhalb der Lactobacillen, wie sie von Schleifer et al. beschrieben wurde [58]. *L. amylolyticus* ist obligat homofermentativ und wächst nicht bei Temperaturen unter 20 °C, was ihn zu einem sehr gut geeigneten Mikroorganismus für die Herstellung von Sauergut zur biologischen Säuerung in Brauereien macht [8]. Sein Temperaturoptimum liegt bei 45 °C bis 48 °C, das pH-Optimum bei pH 5 bis pH 5,5. Über pH 6 bzw. unterhalb von pH 3 ist kein Wachstum mehr möglich. *L. amylolyticus* zählt zu den mikroaerophilen Mikroorganismen. Raffinose wird von einzelnen Stämmen unter gewissen Umständen vergoren. D- und L-Milchsäure werden gleichermaßen gebildet. Morphologisch handelt es sich bei *L. amylolyticus* um langgezogene Stäbchen mit einer Länge von 5 bis 20 µm und einer Breite von unter 1 µm, die einzeln, in Paaren oder in kurzen Ketten

vorkommen. Die Zellen sind unbeweglich. Auf MRS-Agar bildet *L. amylolyticus* beige bis schmutzig-weiße Kolonien mit flacher, rauer und glanzloser Oberfläche [11].

#### *Lactobacillus paracasei*:

Bei DNA-Untersuchungen stellten Collins et al. fest, dass verschiedene Stämme der Gruppe *L. casei* sich untereinander sehr ähnlich sind, sich vom Typstamm *L. casei subsp. casei* aber deutlich unterscheiden. Sie postulierten daher unter anderem die Existenz einer Spezies *L. paracasei* und beschrieben diese [16]. Diese Einordnung wurde 1991 von Dellaglio et al. in Frage gestellt [17], ist aber von der Judicial Commission of the International Committee on Systematics of Bacteria 2005 bestätigt worden [32]. *L. paracasei* ist sehr temperatortolerant und zeigt Wachstum zwischen 10 °C und 40 °C. *L. paracasei* ist fakultativ heterofermentativ und produziert L-Lactat. Morphologisch betrachtet handelt es sich um Stäbchen mit einer Länge von 2 bis 4 µm und einer Breite von 0,8 bis 1 µm, die einzeln oder in kurzen Ketten vorkommen [16]. In der Lebensmittelindustrie findet *L. paracasei* unter anderem als Starterkultur für die milchsaure Vergärung von Gemüsesäften Verwendung [7].

#### *Lactobacillus perolens*:

*L. perolens* wurde aus Orangenlimonade isoliert und 1999 erstmals von Back et al. beschrieben [6]. Genetisch gesehen handelt es sich bei *L. perolens* um ein Mitglied der *L. casei*-Gruppe. Morphologisch betrachtet handelt es sich um Stäbchen mit einer Länge von 0,7 bis 2,5 µm, die einzeln, paarweise oder in kurzen Ketten auftreten. Auf MRS-Agar bildet *L. perolens* beige bis schmutzig-weiße Kolonien mit flacher oder leicht gewölbter, rauer und glanzloser Oberfläche. Die Zellen sind unbeweglich. *L. perolens* ist fakultativ anaerob, sein Temperturoptimum liegt zwischen 28 °C und 32 °C, über 42 °C bzw. unter 15 °C findet kein Wachstum mehr statt. Das pH-Optimum liegt zwischen pH 5,5 und pH 6,5, unter pH 3,7 findet kein Wachstum mehr statt. *L. perolens* bildet L-Lactat [6].

#### *Lactobacillus plantarum*:

*L. plantarum* wurde bereits 1923 in der Erstausgabe von Bergey's Manual unter diesem Namen beschrieben [12]. Zuvor hatte Orla-Jensen den Mikroorganismus unter dem Namen *Streptobacterium plantarum* beschrieben [46]. Er kommt an Pflanzen vor und ist

zusammen mit *Leuconostoc* sp. an der Fermentation von Sauerkraut [57], sauren Gurken und Tafeloliven [9] beteiligt. Daneben ist er auch in verschiedenen Milchprodukten zu finden [12]. *L. plantarum* wächst bei 15 °C und 37 °C, in manchen Fällen auch noch bei 42 °C, wogegen bei 48 °C kein Wachstum mehr feststellbar ist. Das Temperaturoptimum liegt zwischen 30 °C und 35 °C. *L. plantarum* ist fakultativ heterofermentativ, Pentosen werden zu gleichen Teilen zu Milchsäure und Essigsäure fermentiert. Bei Vorhandensein von Gluconat im Medium ist eine CO<sub>2</sub>-Bildung zu beobachten. Es wird während der Gärung sowohl D- als auch L-Milchsäure gebildet sowie Diacetyl als Gärungsnebenprodukt. Raffinose wird durch *L. plantarum* vergoren [5, 12]. Das pH-Optimum liegt zwischen pH 5 und pH 6. Allerdings zeigt der Mikroorganismus auch bei pH 4 noch Wachstum [25]. Morphologisch handelt es sich bei *L. plantarum* um Stäbchen mit einer Länge von 3 bis 8 µm und einer Breite von etwa 1 µm. Sie kommen einzeln, in Paaren oder in kurzen Ketten vor [12]. In der Lebensmittelindustrie findet *L. plantarum* unter anderem als Starterkultur für die milchsaure Vergärung von Gemüsesäften Verwendung [7].

#### *Pediococcus acidilactici*:

*P. acidilactici* wurde erstmals 1887 von Lindner beschrieben [40] und daher von Henneberg ursprünglich als *P. lindneri* bezeichnet [31]. Von Lindner wurde der Mikroorganismus aus Maische isoliert, zudem ist er unter anderem auch in Sauerkraut zu finden [12]. Er ist sehr temperaturtolerant, erst ab 52 °C herrscht kein Wachstum mehr [5, 12]. Raffinose wird von *P. acidilactici* nur in Ausnahmefällen vergoren. Während der Gärung wird D- und L-Lactat gleichermaßen gebildet und nur in Ausnahmefällen Diacetyl als Gärungsnebenprodukt [5, 7]. *P. acidilactici* ist fakultativ anaerob und homofermentativ. Morphologisch betrachtet handelt es sich bei *P. acidilactici* um runde Zellen mit einem Durchmesser von 0,5 bis 0,8 µm, die einzeln, in Paaren oder in Tetraden vorkommen. Die Kolonien sind klein und rund, leicht gewölbt und von weißlicher Farbe. In der Lebensmittelindustrie findet *P. acidilactici* unter anderem bei Warmsäuerungsverfahren für Joghurt oder Quark Verwendung [7].

#### *Pediococcus pentosaceus*:

Die Bezeichnung *P. pentosaceus* stammt aus dem Jahre 1934 von Mees [12, 41]. Zuvor waren unter anderem die Bezeichnungen *Tetracoccus* [46] und *P. hennebergii* [61]

---

gebräuchlich. Ursprünglich aus Brauereimaische isoliert, ist der Mikroorganismus unter anderem in Sauerkraut, Silage und Getreidemaischen jeglicher Art zu finden [12]. *P. pentosaceus* ist homofermentativ und bildet D- und L-Lactat gleichermaßen [7]. Er wächst bei 15 °C ebenso wie bei 37 °C, in manchen Fällen auch noch bei 42 °C. Bei 48 °C ist kein Wachstum mehr feststellbar. Raffinose wird in einigen Fällen vergoren, in Ausnahmefällen findet Diacetylbildung statt. Morphologisch handelt es sich bei *P. pentosaceus* um runde Zellen mit einem Durchmesser von etwa 0,6 µm, die häufig als Tetraden vorliegen [5].

## **2.3 Fermentationsreaktoren**

Fermentationsreaktoren sind Behältnisse, in denen ein Substrat durch die Einwirkung lebender Mikroorganismen biochemisch verändert wird. Der Reaktor bildet dabei nicht nur die räumliche Grenze der ablaufenden Fermentation, er dient auch der Kontrolle der Fermentationsbedingungen und somit der Regelung des Fermentationsprozesses [60]. Dazu ist ein Fermentationsreaktor mit verschiedensten Mess- und Regelungsinstrumenten wie Temperatursonde, pH-Sonde, Trübungsmessung, Temperiereinrichtung etc. ausgestattet. Eine wichtige Anforderung an Fermentationsreaktoren ist die Sicherstellung einer weitestgehenden Homogenität des Fermenterinhalt, was durch geeignete Durchmischungseinrichtungen wie Rührwerke oder Umpumpvorrichtungen gewährleistet wird. Eine Ausnahme von dieser Anforderung bilden die deshalb so genannten heterogenen Systeme, bei denen sich das Fortschreiten des Fermentationsprozesses auch in der räumlichen Verlagerung des fermentierenden Substrates innerhalb des Reaktors widerspiegelt. Ein Beispiel für solche Reaktoren sind Röhrenreaktoren. Die Verwendung von Röhrenreaktoren ist zumeist mit der Anwendung kontinuierlicher Fermentationsverfahren verbunden. Die meisten Fermentationsverfahren in der Lebensmittelindustrie zählen zu den diskontinuierlichen oder Batch-Verfahren. Beispiel sind die Bier- und Weinherstellung oder die Herstellung von Joghurt und Käse. Der Grundprozess teilt sich hierbei in das sog. Upstream-Processing – die Substrataufbereitung vor der Fermentation –, die Fermentation selbst, die in einem geeigneten Fermentationsreaktor unter Zugabe der entsprechenden Mikroorganismenstämme erfolgt, sowie in das sog. Downstream-Processing, die weitergehende Substrataufbereitung nach der Fermentation [37]. Innerhalb der diskontinuierlichen Fermentationsverfahren lassen sich offene und geschlossene Verfahren unterscheiden. Bei den offenen Verfahren werden die zur Fermentation eingesetzten Mikroorganismen dem Substrat im Fermenter zugesetzt und verlassen den Fermenter zumindest teilweise gemeinsam mit dem fermentierten Substrat im Anschluss an die Fermentation. Bei geschlossenen Verfahren werden die Mikroorganismen im Reaktor in geeigneter Weise fixiert. Die Wahl des Fermentationsverfahrens bedingt also unterschiedliche Anforderungen an den zum Einsatz kommenden Reaktor. Wie erwähnt ist bei diskontinuierlichen Verfahren die Sicherstellung der Homogenität des Fermenterinhalt von herausragendem Interesse.

Dies hat verschiedene Gründe. Zum einen ist der Stoffwechsel von Mikroorganismen stark von der Substratzusammensetzung abhängig. Dauerhafte Unterschiede in der Substratzusammensetzung an verschiedenen Punkten innerhalb eines Fermentationsbehälters führen also zu inhomogenen Fermentationen bzw. zu einer unvorhersehbaren Bildung von Gärungsnebenprodukten. Zum anderen ist für die Geschwindigkeit mikrobiologisch katalysierter Stoffumsetzungen die gleichmäßige Verteilung von umzusetzenden Stoffen innerhalb eines Substrates und Mikroorganismen entscheidend. Im Falle aerober Fermentationen kommt die Notwendigkeit der möglichst feinen und gleichmäßigen Verteilung des gelösten Sauerstoffes im Medium hinzu. Für die Durchmischung eines Fermenters können verschiedenste Arten von Rührwerken, Umpumpeinrichtungen o.ä. zum Einsatz kommen. Die unterschiedlichen Effekte, die durch verschiedene Rührwerkskonfigurationen, Rührwerksgeschwindigkeiten, Umpumpgeschwindigkeiten etc. erzeugt werden, hängen dabei in erster Linie von der unterschiedlichen verursachten Primärströmung ab [36].

## 3 Material und Methoden

### 3.1 Leguminosenproteinextrakte

Die für diese Arbeit fermentierten Leguminosenproteinextrakte wurden im Rahmen des AiF-Forschungsprojektes 15045 N vom Fraunhofer Institut für Verfahrenstechnik und Verpackung hergestellt. Es handelte sich dabei zum einen um einen Totalproteinextrakt aus *Lupinus angustifolius vitabor* (Lupineproteinextrakt) und zum anderen um Totalproteinextrakt aus *Pisum sativum santana* (Erbsenproteinextrakt). Die Herstellungsverfahren der Extrakte sind im Forschungsbericht des AiF-Projektes detailliert dargelegt [2].

### 3.2 Statistische Fermentationsversuche im Schüttelkolben

#### 3.2.1 Verwendete Mikroorganismen

Für die statistischen Fermentationsversuche im Schüttelkolben kamen insgesamt sechs verschiedene Stämme von Milchsäurebakterien zum Einsatz. Die Bakterienstämme wurden ausnahmslos aus der Stammsammlung von Prof. Werner Back, Freising, bezogen. Einen Überblick über diese Stämme, ihren Einsatz innerhalb der statistischen Fermentationen und ihre exakte Bezeichnung in der Stammsammlung gibt Tabelle 2. Die ausführliche Beschreibung der Stämme und ihrer Eigenschaften wurde bereits im Kapitel Grundlagen vorgenommen (s.o.). Die ursprüngliche Herkunft der in der Stammsammlung befindlichen und in dieser Arbeit verwendeten Milchsäurebakterien ist in Tabelle 3 aufgeführt.

**Tabelle 2: Übersicht über die in den statistischen Fermentationen verwendeten Mikroorganismen**

<b>Mikroorganismus</b>	<b>Code Stammsammlung</b>	<b>Fermentierte Extrakte</b>
<i>Lactobacillus amylolyticus</i>	TL 5	Erbse
<i>Lactobacillus paracasei</i>	L 1150	Lupine, Erbse
<i>Lactobacillus perolens</i>	L 532	Lupine, Erbse
<i>Lactobacillus plantarum</i>	L 1047	Lupine, Erbse
<i>Pediococcus acidilactici</i>	P 75	Lupine, Erbse
<i>Pediococcus pentosaceus</i>	P 113	Lupine, Erbse

**Tabelle 3: Ursprüngliche Herkunft der verwendeten Mikroorganismen**

<b>Code Stammsammlung</b>	<b>Herkunft</b>
TL 5	Isoliert aus Maische
L 1150	DSMZ Braunschweig
L 532	Isoliert aus Orangenlimonade
L 1047	Isoliert aus Apfelschorle
P 75	Isoliert aus Maische
P 113	Isoliert aus Weißbier

### 3.2.2 Untersuchte Fermentationsparameter

Im Rahmen der statistischen Fermentationsversuche wurden für jeden der untersuchten Mikroorganismen die Parameter Fermentationstemperatur und Inokulum über jeweils drei Stufen variiert. Zusätzlich wurde der Einfluss eines erhöhten Glucosegehaltes des ansonsten unveränderten Extraktes durch gleichzeitige Fermentation von aufgezuckertem Extrakt und „naturbelassenem“ Extrakt untersucht. Einen Überblick über die untersuchten Parameter und Eingangswerte gibt Tabelle 4.

**Tabelle 4: Untersuchte Parameter und Eingangswerte der statistischen Fermentationsversuche**

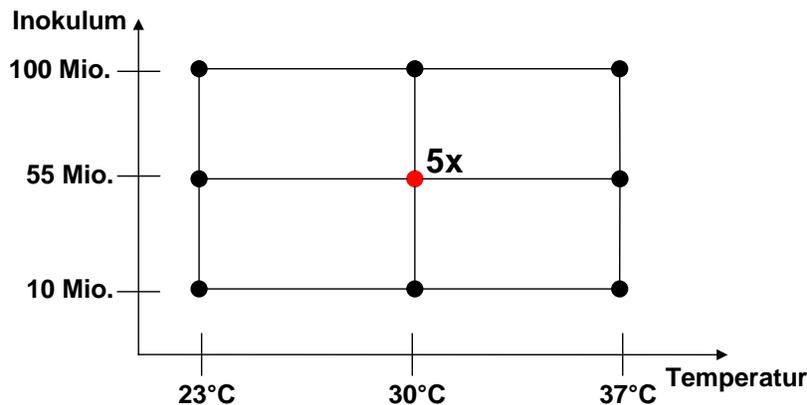
<b>Fermentationsparameter</b>	<b>Untersuchte Eingangswerte</b>
Fermentationstemperatur	23 °C 30 °C 37 °C
Inokulum	10 Mio. Zellen / ml 55 Mio. Zellen / ml 100 Mio. Zellen / ml
Glucosezugabe	Ohne 20 g/l

### 3.2.3 Statistische Versuchsplanung und –auswertung mit Stat-Ease Design Expert

Für Versuchsdesign und Versuchsauswertung wurde die Software Design-Expert 6.0.10 von Stat-Ease Inc. als Hilfsmittel herangezogen [62]. Dabei wurde ein Response Surface 3-Level Factorial Modell verwendet. Aus den unter 3.2.2 beschriebenen Variationen der Fermentationsparameter ergibt sich ein Design mit zwei numerischen Faktoren (Temperatur und Inokulum) und einem Kategoriefaktor (Zugabe von Glucose). Die numerischen Faktoren werden dabei über jeweils drei Stufen variiert (vgl. Tabelle 4). Aus der Existenz des Kategoriefaktors ergibt sich eine Verdoppelung der Anzahl an

Experimenten, da alle Versuchskombinationen zweifach (mit und ohne Glucose) durchgeführt werden. Die durchgeführten Versuche je Kategoriefaktor sind aus Abbildung 4 ersichtlich. Die Gesamtzahl der Versuche je Mikroorganismus belief sich demzufolge auf 26. Die softwaregestützte Versuchsauswertung erfolgte nach folgenden Parametern:

- Trübung nach Animpfen
- Trübung nach Fermentation
- Trübungsdifferenz zwischen Animpfen und Fermentationsende
- pH-Abfall bis Fermentationsende
- Abbau von Stachyose bis Fermentationsende
- Abbau von Verbascose bis Fermentationsende
- Abbau von Raffinose bis Fermentationsende
- Gesamtabbau von Oligosacchariden (Stachyose, Verbascose, Raffinose) bis Fermentationsende



**Abbildung 4: Versuchskombinationen im Response Surface Design**

Ziel der softwaregestützten Auswertung der statistischen Versuche ist die Bildung mathematischer Modelle für die Zusammenhänge von Eingangs- zu Ausgangsvariablen. Die Software schlägt hierbei verschiedene Modelle vor und bewertet deren Signifikanz. In der Regel handelt es sich um quadratische Modelle, vereinzelt auch um lineare. Die Nutzung der statistischen Versuchsplanung im Allgemeinen und die dahinter steckenden Theorien sind in der einschlägigen Literatur [43, 68] oder dem Nutzerhandbuch der Software [62] nachzulesen. Ferner behandelt Thiele in seiner Dissertation [65] die Verwendung der Software in der praktischen Versuchsdurchführung sehr eingehend.

Auf einzelne Kenngrößen, die die statistische Belastbarkeit der aus den Versuchsergebnissen hergeleiteten Modelle beschreiben, soll an dieser Stelle trotzdem kurz eingegangen werden.

F-Wert: Der F-Wert gibt das Verhältnis der Varianz des gewählten Modells zur Varianz der Residuen an. Geht der Wert gegen 1, so ist der Fehler des Modells genauso groß wie der mathematische Effekt des Modells, womit das Modell unbrauchbar wird. Der F-Wert sollte daher möglichst hoch sein.

p-Wert: Der p-Wert ist eine Kennzahl zur Bewertung des F-Wertes. Er gibt die Wahrscheinlichkeit an, mit der das zugehörige Modell aufgrund seines F-Wertes nicht signifikant ist. Liegt der p-Wert unter 0,05, so ist die Wahrscheinlichkeit, dass das beschriebene Modell nicht signifikant ist, kleiner als 5%.

F-Wert und p-Wert eignen sich sowohl für die Bewertung des Modells als solchem als auch für die Bewertung der einzelnen Eingangsparameter, sowie der Wechselwirkungen zwischen einzelnen Eingangsparameter beschreibenden Terme. Ein Vergleich der F-Werte der einzelnen Terme gibt Auskunft darüber, welche Faktoren den höchsten Einfluss auf den durch das Modell beschriebenen Ausgangsparameter haben.

„Lack of fit“: Diese Kennzahl beschreibt, wie groß die Streuung der tatsächlich gemessenen Daten um das ermittelte mathematische Modell herum im Vergleich mit der Streuung der aus den Mehrfachbestimmungen gewonnen Daten ist. Ist zwischen diesen beiden Streuungen ein deutlicher Unterschied erkennbar, so ergibt sich daraus ein signifikanter „Lack of fit“. Die tatsächlichen Messwerte und das ermittelte mathematische Modell stimmen dann nicht gut miteinander überein. Die Signifikanz des „Lack of fit“ wird wiederum über F- und p-Wert beschrieben. Da der „Lack of fit“ nicht signifikant sein sollte, sollte der F-Wert gegen 1 gehen und der p-Wert größer als 0,1 sein.

Im Rahmen der softwaregestützten Versuchsauswertung gibt es verschiedene Methoden, die Ergebnisse auf Ausreißer hin zu untersuchen und die erzielten mathematischen Modelle durch Eliminieren der Ausreißer zu optimieren. Für die dahinter stehenden Methoden und statistischen Theorien sei wiederum auf die angeführte Literatur [43, 62, 65, 68] verwiesen. Soweit innerhalb dieser Arbeit Messergebnisse als Ausreißer erkannt wurden und demzufolge nicht in die ermittelten statistischen Modelle eingehen, wird dies an entsprechender Stelle im Ergebnisteil erläutert.

Für alle im Rahmen dieser Arbeit ermittelten Modelle wurde eine Korrekturfunktion herangezogen, die bei der Modellbildung solche Terme ausschließt, deren p-Wert größer als 0,1 ist. Dadurch werden nur die tatsächlich relevanten Einflussgrößen berücksichtigt.

Bei der Betrachtung der in den statistischen Versuchen ermittelten mathematischen Modelle für den Einfluss der variierten Eingangsparameter auf die betrachteten Ausgangsparameter ist unbedingt zu beachten, dass diese nur in dem Bereich gültig sind, in denen die Eingangsparameter variiert wurden. Außerhalb des Betrachtungsraumes werden sich die Ausgangsparameter mit hoher Wahrscheinlichkeit anders verhalten als das mathematische Modell es impliziert. Innerhalb des betrachteten Variationsraumes ergibt ein mathematisches Modell, das in der Varianzanalyse als signifikant und dessen Lack of Fit als nicht signifikant ermittelt wurde, dagegen ein nützliches Hilfsmittel zur Vorhersage von Fermentationsverläufen bzw. zur Optimierung von Fermentationsbedingungen im Hinblick auf gewünschte Ausgangsparameter.

### **3.2.4 Versuchsaufbau und -durchführung**

Für jeden Versuch wurden 50 ml Extrakt in eine 200 ml-Duranglasflasche gegeben, mit 1N HCl auf pH 4,5 eingestellt und anschließend im Wasserbad bei 65 °C für 30 min pasteurisiert. Anschließend wurden die Proben entsprechend oben beschriebener Parameterkombinationen inokuliert. Die inokulierten Proben wurden auf Schüttler gegeben, um über den gesamten Fermentationsverlauf hinweg homogene Verhältnisse zu gewährleisten. Für die Fermentationen bei 30 °C und 37 °C waren diese Schüttler in temperierbare Wasserbäder integriert. Die Fermentationen bei 23 °C wurden bei Raumtemperatur durchgeführt. Inokulierung und Probenahmen wurden mit Pipetten mit Einwegspitzen in Gegenwart einer Flamme durchgeführt, um steriles Arbeiten zu ermöglichen.

### **3.2.5 Durchgeführte Untersuchungen zur Bewertung der Fermentationen**

Zweck der statistischen Fermentationen war es, den Einfluss der variierten Fermentationsparameter im Hinblick auf pH-Absenkung, Zellzahlentwicklung und

Oligosaccharidabbau zu untersuchen. Daher wurden im Abstand von 24 h folgende Messungen durchgeführt:

- pH-Wert
- Trübung mittels Photometer als Maß für die Zellzahlentwicklung
- Oligosaccharidkonzentration mittels HPAEC-PAD

Zusätzlich wurde die Konzentration der vergärbaren Zucker im Medium ebenfalls mittels HPAEC-PAD bestimmt.

Neben der softwaregestützten statistischen Versuchsauswertung wurde auch eine Auswertung der Verläufe von pH und Substratzusammensetzung vorgenommen.

### **3.3 Fermentationen im 5 l-Maßstab**

#### **3.3.1 Verwendete Mikroorganismen**

Im 5 l-Maßstab kamen die in Tabelle 5 aufgeführten Mikroorganismen zum Einsatz. Für nähere Informationen zu diesen Mikroorganismen sei auf die Kapitel 2.2.3 und 3.2.1 sowie auf Tabelle 3 verwiesen.

**Tabelle 5: Überblick über die in den 5l-Fermentationen verwendeten Mikroorganismen**

<b>Mikroorganismus</b>	<b>Kürzel Stammsammlung</b>	<b>Fermentierte Extrakte</b>
<i>Lactobacillus paracasei</i>	L 1150	Lupine, Erbse
<i>Lactobacillus perolens</i>	L 532	Lupine, Erbse
<i>Lactobacillus plantarum</i>	L 1047	Lupine, Erbse
<i>Pediococcus pentosaceus</i>	P 113	Lupine, Erbse

#### **3.3.2 Fermenter**

Die Fermentationen im 5 l-Maßstab wurden in dem in Abbildung 5 gezeigten Fermenter durchgeführt. Der Fermenter ist mit destilliertem Wasser bei 80 °C sterilisierbar. Für die Temperierung des Fermenters steht eine Manteltemperierung mit Wasser zur Verfügung. Die Temperaturmessung erfolgt über eine fest eingebaute Messsonde im Fermenter, die Ausgabe über die Steuereinheit des Fermenters. Eine hinreichende Durchmischung und weitgehende Homogenität des Fermenterinhalt wird über ein frequenzgesteuertes Propellerrührwerk gewährleistet. Die Messung des pH-Wertes erfolgt durch eine in den Fermentationsbehälter eingebrachte Messsonde der Fa. Mettler-Toledo, die Ausgabe des Wertes über die Steuereinheit des Fermenters.



Abbildung 5: 5 l-Fermenter

### 3.3.3 Fermentationsführung

Jede Fermentation wurde über 48 h durchgeführt und analytisch verfolgt. Vor der Fermentation wurde der zu fermentierende Extrakt mit 1N HCl auf pH 4,5 eingestellt, für 30 min bei 65 °C pasteurisiert und anschließend auf Fermentationstemperatur (37 °C) heruntergekühlt. Das Inokulum betrug jeweils 10 Mio. Zellen/ml. Die Herführung des Inokulums erfolgte nach der in Kapitel 3.6 beschriebenen Vorgehensweise. Zur Durchmischung des Fermenterinhaltess wurde das Rührwerk auf 100 U/min eingestellt.

## 3.4 Fermentationen im 30 l-Maßstab

### 3.4.1 Verwendete Mikroorganismen

Im 30 l-Maßstab kamen die in Tabelle 6 aufgeführten Mikroorganismen zum Einsatz. Für nähere Informationen zu diesen Mikroorganismen sei auf die Kapitel 2.2.3 und 3.2.1 sowie auf Tabelle 3 verwiesen.

Tabelle 6: Überblick über die in den 30l-Fermentationen verwendeten Mikroorganismen

Mikroorganismus	Kürzel Stammsammlung	Fermentierte Extrakte
<i>Lactobacillus plantarum</i>	L 1047	Lupine, Erbse
<i>Pediococcus pentosaceus</i>	P 113	Lupine, Erbse

### 3.4.2 Fermenter

Die Fermentationen im 30 l-Maßstab wurden in einem Biostat DU 30 Fermenter der Fa. Braun Biotech mit zugehöriger Steuereinheit durchgeführt. Der eingesetzte Fermenter ist in Abbildung 6 zu sehen. Er ist mit destilliertem Wasser bei 120 °C sterilisierbar. Zur Temperierung des Fermenters steht eine Manteltemperierung mit Wasser zur Verfügung. Die Messung der Temperatur im Fermenter erfolgt über eine fest eingebaute Messsonde, die Ausgabe der Werte über die Steuereinheit des Fermenters. Für eine hinreichende Durchmischung und weitgehende Homogenität des Fermenterinhalt sorgt ein frequenzgesteuertes Rushton-Rührwerk. Die Messung des pH-Wertes erfolgt durch eine in den Fermentationsbehälter eingebrachte Messsonde der Fa. Mettler-Toledo, die Ausgabe des Wertes über die Steuereinheit des Fermenters.



Abbildung 6: 30 l-Fermenter

### **3.4.3 Fermentationsführung**

Jede Fermentation wurde über 48 h durchgeführt und analytisch verfolgt. Vor der Fermentation wurde der zu fermentierende Extrakt mit 1N HCl auf pH 4,5 eingestellt, für 30 min bei 65 °C pasteurisiert und anschließend auf Fermentationstemperatur (37 °C) heruntergekühlt. Das Inokulum betrug jeweils 10 Mio. Zellen/ml. Die Herführung des Inokulums erfolgte jeweils wie in Kapitel 3.6 beschrieben. Zur Durchmischung des Fermenterinhaltess wurde das Rührwerk auf 100 U/min eingestellt.

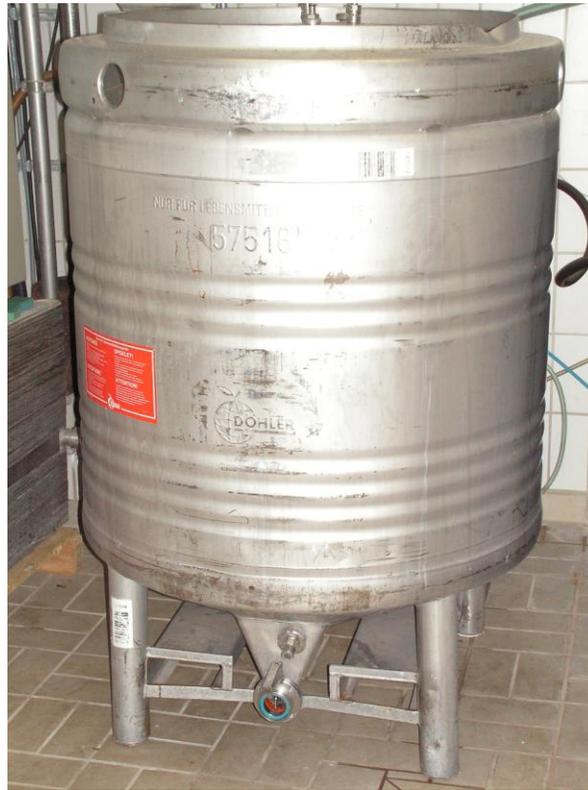
## **3.5 Fermentationen im 500l-Maßstab**

### **3.5.1 Verwendeter Mikroorganismus**

Die Versuche im 500 l-Maßstab wurden mit *L. plantarum* durchgeführt. Für nähere Informationen zu *L. plantarum* sei auf die Kapitel 2.2.3 und 3.2.1, hier insbesondere auf Tabelle 2 und Tabelle 3 verwiesen.

### **3.5.2 Fermenter**

Die Fermentationen im 500 l-Maßstab wurden in einem Grundstoffbehälter mit einem Fassungsvermögen von 800 l durchgeführt. Abbildung 7 zeigt den eingesetzten Grundstoffbehälter ohne die im Folgenden beschriebene Peripherie.



**Abbildung 7: Fermentationsbehälter für Fermentationen im 500 l-Maßstab ohne Peripherie**

Die Durchmischung erfolgt bei dieser Anlage über eine Umpumpleitung, in die auch die Instrumente zur analytischen Verfolgung der Fermentation eingebaut sind. In der Umpumpleitung befindet sich eine nicht geregelte Pumpe mit einem Volumenstrom von ca. 2000 l/h, so dass der komplette Tankinhalt viermal pro Stunde umgewälzt wird. Die Temperierung erfolgt in der Umpumpleitung über einen Wärmetauscher, der wiederum an ein Wasserbad angeschlossen ist. Für die Pasteurisierung der zu fermentierenden Extrakte wurde ein leistungsfähigerer Wärmetauscher eingesetzt, der direkt mit Dampf bzw. Kaltwasser beschickt wird. Trotzdem liegen die Aufheiz- und Abkühlraten deutlich unter denen der im 5 l- und 30 l-Maßstab zum Einsatz gekommenen Fermenter. Die Messung des pH-Wertes erfolgt nach Probenahme mit dem Mikroprozessor pH-mV-Meter „pH 526“ der Firma WTW in Weilheim. Die Messung der Temperatur erfolgt über eine Messsonde der Fa. Ifm electronics, Essen (TAD 971), die Auswertung über das auf einem Laptop installierte Auswerteprogramm.

### 3.5.3 Fermentationsführung

Jede Fermentation wurde über 48 h durchgeführt und analytisch verfolgt. Vor der Fermentation wurde der zu fermentierende Extrakt für 30 min bei 65 °C pasteurisiert und anschließend auf Fermentationstemperatur (37 °C) heruntergekühlt. Aufgrund der nur unzulänglichen Aufheiz- und Abkühlrate wurden aber wesentlich längere Einwirkungszeiten bei hoher Temperatur erreicht. Das Inokulum betrug jeweils 10 Mio. Zellen/ml. Die Herführung des Inokulums erfolgte jeweils wie in Kapitel 3.6 beschrieben.

## 3.6 Herführung der Inokuli

### 3.6.1 Herführung der Inokuli für statistische Fermentationen und Fermentationen im 5 l-Maßstab

Die aus der Stammsammlung von Prof. Werner Back, Freising, stammenden Mikroorganismen wurden in NBB-Boullion (L 1150, L 532, L 1047, P 75, P 113), bezogen bei Doehler, oder in MRS-Boullion (TL 5), bezogen bei Merck, herangezogen. Dabei wurden Zellkonzentrationen zwischen  $5 \cdot 10^8$  und  $5 \cdot 10^9$  Zellen/ml erreicht: Somit lag das Inokulum in den statistischen Fermentationen (Fermentationsvolumen 50 ml) zwischen 0,1 ml (minimales Inokulum bei maximaler Ausgangskonzentration) und 10 ml (maximales Inokulum bei minimaler Ausgangszellzahl). In den 5 l-Fermentationen lag das Inokulum zwischen 10 ml und 100 ml.

### 3.6.2 Versuche zur Nutzung fermentierten Extraktes als Inokulum

Für die Animpfung der Fermentationen im 30 l- und 500 l-Maßstab war die Herführung der Inokuli in der benötigten Menge nicht sinnvoll auf Nährmedien zu bewerkstelligen. Zudem sollte in den Upscale-Versuchen auch bezüglich des Inokulums ein Verfahren gefunden werden, dass nicht nur semi-industriell sondern auch im industriellen Maßstab praktikabel ist. Daher wurden Versuche zur wiederholten Inokulierung von Extrakt mit bereits fermentiertem Extrakt durchgeführt. Dazu wurde jeweils 1 Liter eines Lupineproteinextraktes mit 10 Mio. Zellen/ml von *L. paracasei* (L 1150), *L. perolens* (L 532), *L. plantarum* (L 1047) und *P. pentosaceus* (P 113) angeimpft. Nach einer Inkubationszeit von 72 h wurde die dann erreichte Zellzahl mit der in Kapitel 3.8.2 geschilderten

Methode ermittelt. Von den fermentierten Extrakten wurde jeweils so viel zu wiederum jeweils 1 Liter unfermentiertem Lupineextrakt gegeben, dass ein Inokulum von 10 Mio. Zellen/ml erreicht wurde. Diese Prozedur wurde zweifach wiederholt, so dass die Zellzahlentwicklung über drei Führungen hinweg beobachtet wurde.

### **3.6.3 Herführung der Inokuli für Fermentationen im 30 l- und 500 l-Maßstab**

Die Inokuli für die Versuche im 30 l- und 500 l-Maßstab wurden zunächst wie unter 3.6.1 beschrieben vorbereitet. Damit wurde ein Extrakt im 5 l-Fermenter inokuliert und dieser über 72 h fermentiert. Der fermentierte Extrakt wurde nach Ermittlung der erreichten Zellzahl wie unter 3.8.1 beschrieben zum Anstellen des Extraktes im 30 l-Maßstab verwendet. Zum Anstellen der Extrakte im 500 l-Maßstab wurde jeweils eine weitere Propagationsstufe im 30 l-Fermenter dazwischengeschaltet.

## **3.7 Versuche zur Keimzahlreduzierung**

### **3.7.1 Pasteurisationsversuche**

Die zu fermentierenden Extrakte haben eine umfangreiche unerwünschte Begleitflora. Die Zellzahl der unerwünschten Mikroorganismen steigt während der Extraktion gegenüber der Zellzahl im Rohstoff sogar noch an [2]. Zur deutlichen Reduzierung der Keimzahl wurden verschiedene Pasteurisationsverfahren mit Lupineextrakt durchgeführt und durch Ermittlung der nach der Pasteurisierung noch vorhandenen Lebendkeimzahl im Vergleich zur Ausgangskeimzahl im Lupineextrakt evaluiert. Die Ermittlung der Lebendkeimzahl erfolgte wie in Kapitel 3.8.2 beschrieben. Die verschiedenen Pasteurisationsverfahren unterschieden sich in Temperatur, Temperaturhaltezeit und pH-Einstellung und sind in Tabelle 7 im Überblick dargestellt.

**Tabelle 7: Versuchskombinationen der Pasteurisationsversuche**

Versuchsnummer	Temperatur	Haltezeit	pH
1	65°C	30 min	ca. 7, nicht eingestellt
2	65°C	30 min	5,0
3	65°C	30 min	4,5
4	65°C	30 min	4,0
5	72°C	5 min	ca. 7, nicht eingestellt
6	72°C	10 min	ca. 7, nicht eingestellt
7	72°C	2x 5 min, dazwischen 10 h bei 20°C	ca. 7, nicht eingestellt
8	80°C	5 min	ca. 7, nicht eingestellt
9	80°C	10 min	ca. 7, nicht eingestellt
10	80°C	2x 5 min, dazwischen 10 h bei 20°C	ca. 7, nicht eingestellt

### 3.7.2 Versuche zur Ultrahoherhitzung

Als alternatives Verfahren zur Keimreduzierung wurde im Kleinstmaßstab die Ultrahoherhitzung evaluiert. Dabei wurde Lupineextrakt in jeweils 5 ml fassende Edelstahlröhrchen eingefüllt und in einen Erhitzungsbehälter eingebracht. Die Erhitzung erfolgte durch Dampf, die an die Temperaturhaltezeit anschließende Rückkühlung durch Wasser. Heiz- und Kühlzeit nahmen zusammen bei jedem Versuch 20 sec. ein. Alle Versuche erfolgten nach der Einstellung des Lupineextraktes auf pH 4,5 mit 1N HCl. Die Kombinationen von Temperatur und Temperaturhaltezeit in den Versuchen zur Ultrahoherhitzung ist in Tabelle 8 dargestellt. Die Keimzahlermittlung in den Extrakten erfolgte wie in Kapitel 3.8.2 beschrieben.

**Tabelle 8: Versuchskombinationen der Ultrahoherhitzungsversuche**

Versuchsnummer	Temperatur	Haltezeit
1, 2	120°C	20 sec
3, 4	125°C	20 sec
5, 6	130°C	1 sec

## 3.8 Zellzahlermittlungen

### 3.8.1 Thomazählkammer

Die Zählkammer nach Thoma besteht aus 16 Großquadraten, die wiederum in jeweils 16 Kleinquadraten unterteilt sind. Die auszuwertende Suspension wird in die Zählkammer eingebracht und unter dem Mikroskop ausgezählt. Dabei ist die Suspension zuvor so zu verdünnen, dass in den 16 Großquadraten 200 bis 400 Zellen vorliegen. Unter 200 Zellen ist die Auszählung statistisch unsicher, bei mehr als 400 Zellen sind so viele Zellen im Gesichtsfeld, dass die für eine sachgemäße Auszählung notwendige

Übersichtlichkeit nicht mehr gegeben ist. Die Suspension muss vor dem Einbringen in die Thomakammer gut homogenisiert werden. Die Zellzahl berechnet sich nach folgender Gleichung:

$$ZZ \text{ Mio./ml} = \frac{\text{Anzahl} * 4}{256} * f$$

Dabei ist f der jeweilige Verdünnungsfaktor der Suspension.

### **3.8.2 Gussplatten**

Von der auszuwertenden Suspension sind vier Verdünnungsstufen so zu wählen, dass die letzte Verdünnungsstufe zwischen 1 und 10 Kolonien ergibt und die weiteren Verdünnungsstufen jeweils um den Faktor 10 weniger verdünnt sind. Um die hierzu notwendige Verdünnung abzuschätzen ist zuvor eine Zellzahlermittlung mittels Thomazählkammer vorzunehmen. Von jeder Verdünnungsstufe werden jeweils 1 ml in zwei Petrischalen eingebracht (Doppelbestimmung) und diese mit einem Nährmedium aufgefüllt. Die Petrischalen werden zur gleichmäßigen Verteilung von Probe und Nährmedium vorsichtig geschwenkt und anschließend mit CO<sub>2</sub> begast. Nach einer Woche werden die Kolonien ausgezählt und die Zellzahl über den Mittelwert aus den Verdünnungsstufen errechnet.

### **3.9 Trübungsmessung**

Als Maß für die Trübung der fermentierten Proben wurde die Extinktion einer Probe bei 560 nm gemessen. Messapparatur war ein CADAS 200 Spektralphotometer von Dr. Lange. Bei der gewählten Messmethode wird 1 ml der zu vermessenden Suspension in eine Küvette pipettiert. Die Probe wird mit 500 µl 1N Natronlauge in den alkalischen Bereich gebracht, um Proteinausfällungen rückzulösen. Die gemessene Extinktion korreliert direkt mit dem in der Suspension gelösten Extrakt und dem Wachstum der Mikroorganismen.

### **3.10 Bestimmung der Zuckers Zusammensetzung im Extrakt**

Der Abbau von Oligosacchariden und die Verstoffwechslung vergärbbarer Zucker durch die Mikroorganismen während der Fermentation wurden mittels High Performance Anion Exchange Chromatography – Pulsed Amperometric Detection (HPAEC-PAD) verfolgt. Die hierzu verwendete Anlage ist in Abbildung 8 zu sehen. Es handelt sich um eine Anlage der Fa. Dionex mit der Auswertesoftware Chromeleon.



**Abbildung 8: High Performance Anion Exchange Chromatography – Pulsed Amperometric Detection Anlage zur Bestimmung von vergärbbaren Zuckern und Oligosacchariden**

Um Informationen über das Vorliegen vergärbbarer Zucker in den Extrakten zu gewinnen wurden die Konzentrationen von Glucose, Fructose und Saccharose mittels HPAEC-PAD erfasst. Die dabei eingesetzte Messmethode basiert darauf, dass sowohl Monosaccharide als auch Saccharose schwache Säuren darstellen. Bei hohem pH-Wert werden diese teilweise ionisiert und im Anschluss auf einer basen-stabilen Polymer-Anionenaustauschersäule aufgetrennt. Als Eluenten dienen Natronlauge und bidest. Wasser. Die Detektion erfolgt mittels gepulster Amperometrie. Als Kalibrierstandard dient eine wässrige Lösung von Glucose, Fructose, Saccharose, Maltose und Maltotriose.

Um den Abbau und die Verstoffwechslung von Oligosacchariden während der Fermentation beobachten zu können, wurden die Konzentrationen von Raffinose, Stachyose und Verbascose ebenfalls mittels HPAEC-PAD erfasst. Dabei erfolgen

Auftrennung und Detektion der Oligosaccharide wie für die vergärbaren Zucker beschrieben. Die Kalibrierung erfolgt über eine wässrige Lösung von Raffinose (R0514), Stachyose (S4001) und Verbascose (56217), jeweils bezogen von Sigma-Aldrich Deutschland, in fünf Verdünnungsstufen. Alle Messungen in Lupineextrakt wurden mit externem Standard durchgeführt. Für die Messungen mit Erbsenextrakt wurde Maltotriose (M8378, Sigma-Aldrich) als interner Standard verwendet. Alle Proben werden vor der Analyse zentrifugiert, 1:50 verdünnt und über einen 0,45 µm-Filter filtriert.

### ***3.11 Sensorische Bewertung von ursprünglichen und fermentierten Extrakten***

#### **3.11.1 Sensorische Bewertung der statistischen Fermentationen im Schüttelkolben**

Um Unterschiede im sensorischen Profil in Abhängigkeit von der Fermentationsführung zu beschreiben, wurden die Produkte der statistischen Fermentationen verkostet. Aufgrund der geringen Probemenge zur Verkostung und der hohen Probeanzahl, wurde für diese Bewertungen auf ein kleines Panel von zwei geschulten Verkostern zurückgegriffen. Die Verkostung erfolgte rein beschreibend.

#### **3.11.2 Sensorische Bewertung der Fermentationen durch das gemeinsame Panel von IVV und TUM**

Zur Beschreibung des Geschmacks- und Aromaprofils der fermentierten Extrakte sowie zum Vergleich dieser Extrakte mit den unfermentierten Proben wurden Verkostungen von einem gemeinsamen Panel des Lehrstuhls für Technologie der Brauerei I (heute Lehrstuhl für Brau- und Getränketechnologie) und dem Fraunhofer Institut für Verfahrenstechnik und Verpackung (IVV) durchgeführt. Diese Verkostungen erfolgten für Lupineextrakt nach den in Tabelle 9 und für Erbsenextrakt nach den in Tabelle 10 aufgeführten Kriterien. Im Einzelnen wurden diese Verkostungen für die Ausgangsextrakte, für die Zentralwerte der statistischen Fermentationen sowie für alle Fermentationen in den Upscale-Versuchen durchgeführt. Verkostungsschemata, Aufbau

des Panels und Auswertungsmethodik der Verkostungen sind im Forschungsbericht zum AiF-Projekt 15045 N ausführlich dargestellt [2].

**Tabelle 9: Verkostungskriterien für die Verkostung fermentierten Lupineextrakt**

Kategorie	Einzelkriterium	Schema
Orthonasal	Gummiartig	Offene Skala von 0 (nicht vorhanden) bis 10 (sehr stark)
	Dumpf	
Retronasal	Getreidig	
	Unreifes Gemüse	
Mundgefühl	Bitter	
	Belegend	
	Mehlig	

**Tabelle 10: Verkostungskriterien für die Verkostung fermentierter Erbsenextrakte**

Kategorie	Einzelkriterium	Schema
Aroma	Muffig	Bewertung nach: Nicht vorhanden, vorhanden, dominant
	Faulig	
	Milchsauer	
	Diacetylarartig	
	Weißbierig	
	Zitronigsauer	
	Sauerkrautartig	
	Schwarzteeartig	
	Gerösteter Sesam	
	Kaffeeartig (wie Kaffeesatz)	
	Sonstige	
Orthonasal	Grün, Mais, Gras	Offene Skala von 0 (nicht vorhanden) bis 10 (sehr stark)
	Süßlich, fruchtig	
Retronasal	Zuckerschote, süßlich	
	Paprika, grünes Gemüse	
	Pappig	
Mundgefühl	Bitter	
	Belegend	
	Adstringierend	

### **3.12 Bewertung der Proteinfunktionalität der fermentierten Extrakte**

Im Rahmen des AiF-Forschungsvorhabens 15045 N war die Erhaltung der Proteinfunktionalität der fermentierten Extrakte ein entscheidendes Kriterium. Daher wurden die fermentierten Extrakte vom Fraunhofer Institut für Verfahrenstechnik und Verpackung (IVV) auf folgende Kriterien bezüglich der Proteinfunktionalität untersucht:

- Schaumaktivität
- Schaumstabilität
- Schaumdichte
- Emulgierkapazität

- Proteinlöslichkeit
- Wasserbindevermögen

Da diese Untersuchungen nicht Gegenstand der vorliegenden Arbeit waren, sei für die detaillierte Beschreibung der hierfür zum Einsatz gekommenen Materialien und Methoden auf den Forschungsbericht des Projektes verwiesen [2].

## 4 Ergebnisse und Diskussion

### 4.1 Statistische Fermentationen

#### 4.1.1 Statistische Fermentationen von Lupineextrakt

Die Ausgangsgehalte an vergärbaren Zuckern in Lupineextrakt sind in Tabelle A 1 im Anhang aufgeführt. Die Gültigkeit dieser für einen Extrakt beispielhaft gemessenen Werte für alle Fermentationen ist jedoch fraglich, da die Extrakte für die statistischen Fermentationen trotz gleichbleibendem Extraktionsverfahren schwankende Ausgangsgehalte an Oligosacchariden aufwiesen.

##### 4.1.1.1 Statistische Fermentation von Lupineextrakt mit *L. paracasei* (L 1150)

Tabelle A 2 zeigt die Zuordnung der Probennummern in den statistischen Versuchen zu den Fermentationsparametern. Die Messwerte für die einzelnen Fermentationschargen über 90 h und die Auswertungen der Varianzanalysen der daraus errechneten mathematischen Modelle sind in Tabelle A 3 bis Tabelle A 12 gezeigt.

Abbildung 9 zeigt die Differenzen in pH und Trübung zwischen Beginn und Ende der Fermentationen aufgetrennt nach den Mittelwerten für ungezuckerte Extrakte einerseits und den Mittelwerten für Extrakte mit Zugabe von Glucose andererseits. Sowohl der Abfall des pH-Wertes, als auch die durch die Trübungsdifferenz zum Ausdruck kommende Zellvermehrung, werden durch die Zugabe von Glucose stark erhöht.

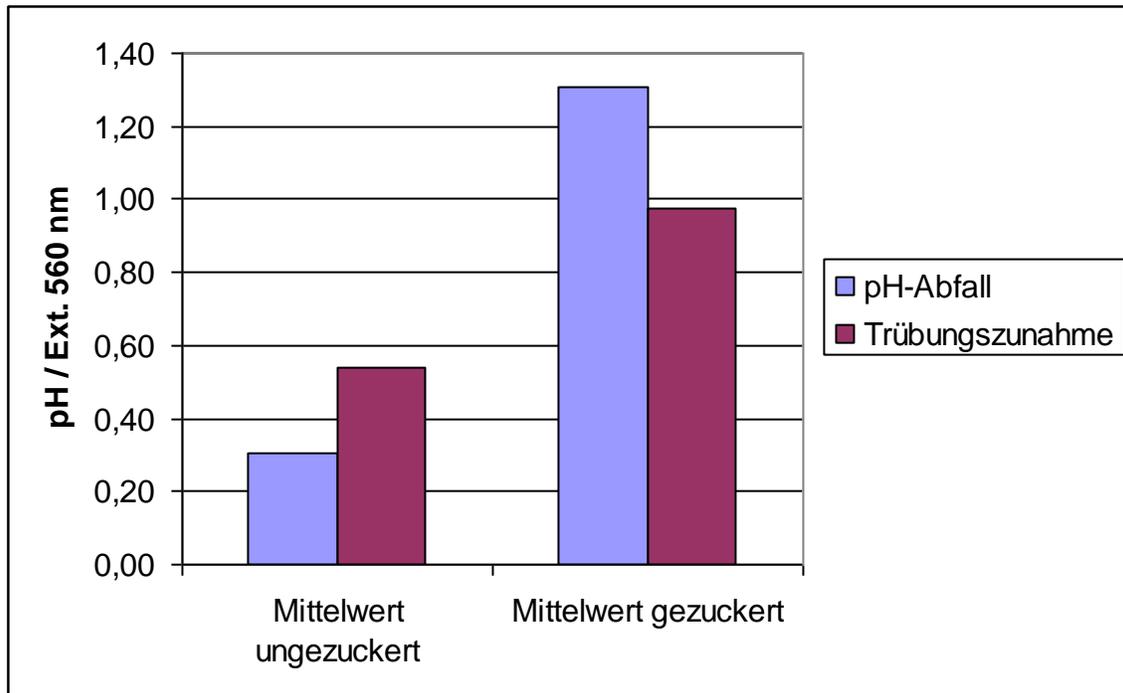


Abbildung 9: Mittelwerte für pH-Abfall und Trübungszunahme in den statistischen Fermentationen von Lupineextrakt mit L 1150

Die statistische Auswertung der Trübungszunahme während der Fermentation unter Nutzung der Software Design Expert 6.0 ergibt ein quadratisches Modell. F-Wert und p-Wert für das Modell kennzeichnen dieses als signifikant. F-Wert und p-Wert für den „Lack of fit“ kennzeichnen den „Lack of fit“ als nicht signifikant. Das Modell ist also für die Berechnung der Trübungszunahme innerhalb der gewählten Grenzen der Fermentationsparameter und bei einem Ausgangs-pH von 4,5 nutzbar.

Gleichung (1) beschreibt die Veränderung der Extinktion bei 560 nm über den Fermentationsverlauf in codierten Faktoren:

$$\Delta Ext.(560nm) = 0,79 + 0,089 * A + 0,22 * C - 0,067 * A^2 - 0,088 * A * C \quad (1)$$

In dieser Gleichung steht A für die Temperatur und C für die Glucosegabe. Die variable B, die für die Fermentationstemperatur steht, hat auf die Trübungszunahme keinen relevanten Einfluss, ebenso wenig haben dies die Terme B<sup>2</sup>, A\*B oder B\*C. Daher wurde B aus dem Modell entfernt. Da C ein Kategoriefaktor ist und daher nur die Werte „vorhanden“ oder „nicht vorhanden“ annimmt, kann bei Einsetzen der tatsächlichen Fermentationsparameter und Bildung von zwei Gleichungen die Glucosegabe als

eigenständiger Faktor aus den Gleichungen eliminiert werden. Es gilt dann Gleichung (2) für Fermentationen ohne Zugabe von Glucose und Gleichung (3) für Fermentationen mit Zugabe von Glucose (20 g/l).

$$\Delta Ext.(560nm) = -1,42 + 0,11 * Temperatur[^\circ C] - 1,4 * 10^{-3} * Temperatur[^\circ C]^2 \quad (2)$$

$$\Delta Ext.(560nm) = -0,23 + 0,082 * Temperatur[^\circ C] - 1,4 * 10^{-3} * Temperatur[^\circ C]^2 \quad (3)$$

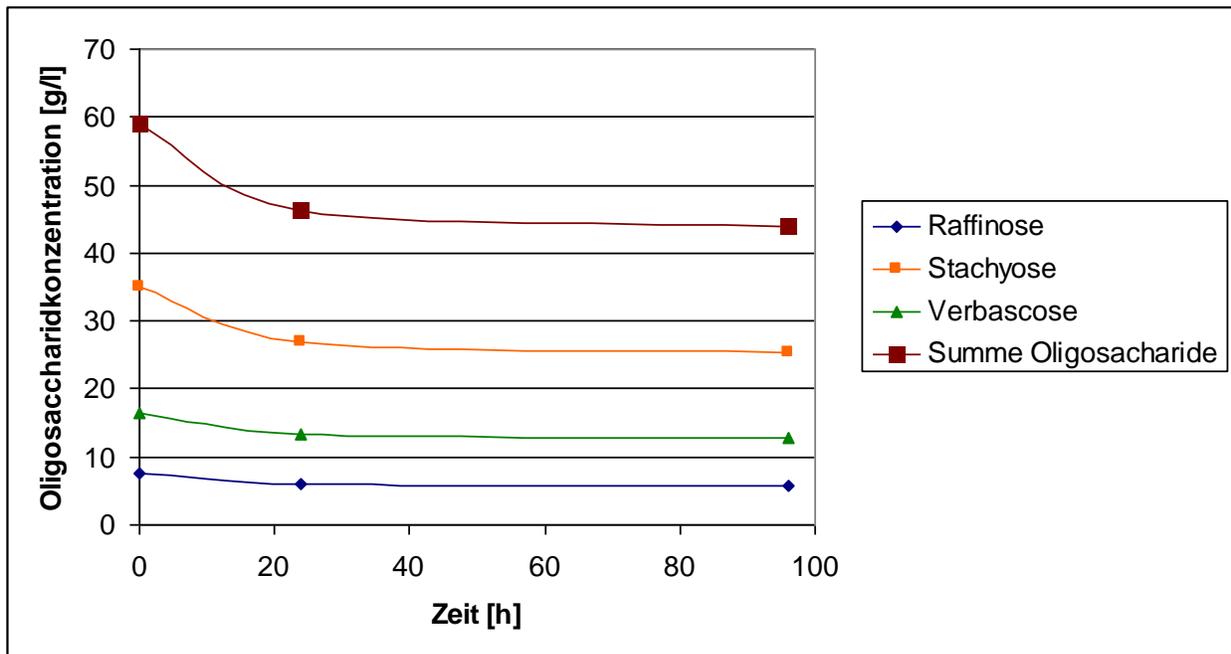
Die beiden Gleichungen unterscheiden sich im Vorfaktor des Temperaturtermes, wodurch der Einfluss der Glucosegabe auf die Auswirkung dieses Parameters zum Ausdruck kommt, sowie in der Konstanten, die den Unterschied durch die Glucosegabe selbst zum Ausdruck bringt. Durch die Zugabe von 20 g/l Glucose wird der Einfluss der Fermentationstemperatur auf die Trübungszunahme geringfügig verkleinert. Innerhalb des untersuchten Temperaturbereiches zwischen 23 °C und 100 °C wirkt sich eine Erhöhung der Temperatur erhöhend auf die Trübungszunahme aus. Allerdings nimmt dieser Effekt mit zunehmender Temperatur ab, was auf den wachsenden Einfluss des quadratischen Terms der Temperatur, der einen negativen Vorfaktor besitzt, zurückzuführen ist. Insgesamt ist die Glucosegabe der dominierende Faktor für die Trübungszunahme.

Für den Abfall des pH-Wertes ergibt sich ein zweifach lineares Modell. Das bedeutet, dass der Kategoriefaktor Glucosegabe nicht nur den Vorfaktor der beiden resultierenden Gleichungen beeinflusst, sondern auch den Vorfaktor einzelner anderer Eingangsparameter. Im vorliegenden Fall ist das Inokulum für den pH-Abfall ohne Einfluss und wird daher bei der Modellbildung nicht berücksichtigt. Die Temperatur ist in ihrem Einfluss von der Glucosegabe abhängig, daneben übt die Glucosegabe auch noch einen eigenen Einfluss aus. Anhand der F-Werte lässt sich zeigen, dass der Einfluss der Glucosegabe gegenüber allen anderen Einflussgrößen dominiert. Für den pH-Abfall in den Fermentationen von Lupineextrakt mit L 1150 ohne Glucosezusatz gilt Gleichung (4), für Fermentationen mit Glucosezusatz gilt Gleichung (5):

$$-\Delta pH = -0,65 + 0,032 * Temperatur[^\circ C] \quad (4)$$

$$-\Delta pH = 1,07 + 8,10 * Temperatur[^\circ C] \quad (5)$$

Den Abbau der unerwünschten Oligosaccharide Raffinose, Stachyose und Verbascose in den Fermentationen von Lupineextrakt mit L 1150 zeigt Abbildung 10. Im Mittel werden 26 % der Oligosaccharide in den Fermentationen abgebaut.



**Abbildung 10: Abbau der Oligosaccharide Raffinose, Stachyose und Verbascose in den statistischen Fermentationen von Lupineextrakt mit L 1150**

Die statistische Auswertung des Oligosaccharidabbaus liefert bei Einbeziehung aller vorhandenen Messwerte keine signifikanten Modelle. Dabei ist anzumerken, dass für Versuchslauf 16 keine auswertbaren Ergebnisse der HPAEC-PAD-Analyse existieren. Für den Abbau der Stachyose, der Verbascose und der Oligosaccharide insgesamt lässt sich ein signifikantes Modell erzeugen, wenn die Ergebnisse des Versuchslaufes 24 als Ausreißer ignoriert werden. Das Ignorieren dieses Wertes ist angesichts der durchweg überhöhten Werte gegenüber den unter gleichen Parametern verlaufenen Proben 15, 23, 25 und 26 gerechtfertigt. Die dadurch entstehenden Modelle verfügen auch über einen nicht-signifikanten „Lack of fit“, sind also für die Beschreibung des Oligosaccharidabbaus in den Grenzen der gewählten Fermentationsparameter nutzbar. Für den Abbau von Raffinose ist auch mit dieser Modifikation kein signifikantes Modell

erstellbar. Der Abbau dieses Oligosaccharides lässt sich also in den durchgeführten Versuchen nicht mathematisch beschreiben.

Für den Oligosaccharidabbau in Fermentationen von Lupineextrakt mit L 1150 ergeben sich die Gleichungen (6) und (7) für den Stachyoseabbau, die Gleichungen (8) und (9) für den Verbascoseabbau sowie die Gleichungen (10) und (11) für den Abbau der Summe an Oligosacchariden. Die Gleichungen (6), (8) und (10) gelten dabei für Fermentationen ohne Glucosegabe, die Gleichungen (7), (9) und (11) für Fermentationen mit Glucosezugabe.

$$\begin{aligned}
 -\Delta\text{Stachyose} &= 41,04 - 2,22 * \text{Temperatur}[\text{°C}] + 0,027 * \text{Inokulum}[\text{Mio. Zellen / ml}] \\
 &+ 0,037 * \text{Temperatur}[\text{°C}]^2 - 8,2 * 10^{-4} * \text{Inokulum}[\text{Mio. Zellen / ml}]^2 \\
 &+ 2,7 * 10^{-3} * \text{Temperatur}[\text{°C}] * \text{Inokulum}[\text{Mio. Zellen / ml}]
 \end{aligned} \tag{6}$$

$$\begin{aligned}
 -\Delta\text{Stachyose} &= 41,46 - 2,22 * \text{Temperatur}[\text{°C}] - 0,025 * \text{Inokulum}[\text{Mio. Zellen / ml}] \\
 &+ 0,037 * \text{Temperatur}[\text{°C}]^2 - 8,2 * 10^{-4} * \text{Inokulum}[\text{Mio. Zellen / ml}]^2 \\
 &+ 2,7 * 10^{-3} * \text{Temperatur}[\text{°C}] * \text{Inokulum}[\text{Mio. Zellen / ml}]
 \end{aligned} \tag{7}$$

$$\begin{aligned}
 -\Delta\text{Verbascose} &= 14,98 - 0,98 * \text{Temperatur}[\text{°C}] + 0,068 * \text{Inokulum}[\text{Mio. Zellen / ml}] \\
 &+ 0,018 * \text{Temperatur}[\text{°C}]^2 - 4,9 * 10^{-4} * \text{Inokulum}[\text{Mio. Zellen / ml}]^2
 \end{aligned} \tag{8}$$

$$\begin{aligned}
 -\Delta\text{Verbascose} &= 16,15 - 0,98 * \text{Temperatur}[\text{°C}] + 0,042 * \text{Inokulum}[\text{Mio. Zellen / ml}] \\
 &+ 0,018 * \text{Temperatur}[\text{°C}]^2 - 4,9 * 10^{-4} * \text{Inokulum}[\text{Mio. Zellen / ml}]^2
 \end{aligned} \tag{9}$$

$$\begin{aligned}
 -\Delta\text{Oligos} &= 63,12 - 3,83 * \text{Temperatur}[\text{°C}] + 0,20 * \text{Inokulum}[\text{Mio. Zellen / ml}] \\
 &+ 0,068 * \text{Temperatur}[\text{°C}]^2 - 1,5 * 10^{-3} * \text{Inokulum}[\text{Mio. Zellen / ml}]^2
 \end{aligned} \tag{10}$$

$$\begin{aligned}
 -\Delta\text{Oligos} &= 66,05 - 3,83 * \text{Temperatur}[\text{°C}] + 0,10 * \text{Inokulum}[\text{Mio. Zellen / ml}] \\
 &+ 0,068 * \text{Temperatur}[\text{°C}]^2 - 1,5 * 10^{-3} * \text{Inokulum}[\text{Mio. Zellen / ml}]^2
 \end{aligned} \tag{11}$$

Die beiden Gleichungen für jeden der drei Parameter unterscheiden sich untereinander nur durch den Vorfaktor, der die Glucosegabe berücksichtigt und durch den Faktor Inokulum. Im betrachteten Bereich für das Inokulum (über 10 Mio. Zellen/ml) ist der

Faktor Inokulum gegenüber dem Faktor Inokulum<sup>2</sup> allerdings relativ bedeutungslos. Dies wird auch dadurch deutlich, dass die p-Werte des Faktors Inokulum für alle drei Ausgangsparameter größer als 0,1 sind. Dass das Inokulum dennoch nicht aus den Gleichungen herausgestrichen wird, liegt an seiner Bedeutung in den relevanten höheren Termen. Die bedeutendste Rolle für den Abbau der Oligosaccharide spielt die Temperatur, ferner hat auch die Zugabe von Glucose einen Einfluss.

Die sensorische Bewertung der statistischen Fermentationen mit L 1150 nach Kapitel 3.11.1 ergab für die Versuchsläufe ohne Glucosegabe einen fauligen, schwach sauren Geschmack und einen muffigen, erdnussartigen Geruch. Für die Versuchsläufe 14 bis 26 wurde ein neutraler, saurer Geschmack und ein schwacher Erdnussgeruch festgestellt.

#### *4.1.1.2 Statistische Fermentation von Lupineextrakt mit L. perolens (L 532)*

Tabelle A 2 zeigt die Zuordnung der Probennummern in den statistischen Versuchen zu den Fermentationsparametern. Die Messwerte für die einzelnen Fermentationschargen über 96 h und die Auswertungen der Varianzanalysen der daraus resultierenden mathematischen Modelle sind in Tabelle A 13 bis Tabelle A 18 gezeigt.

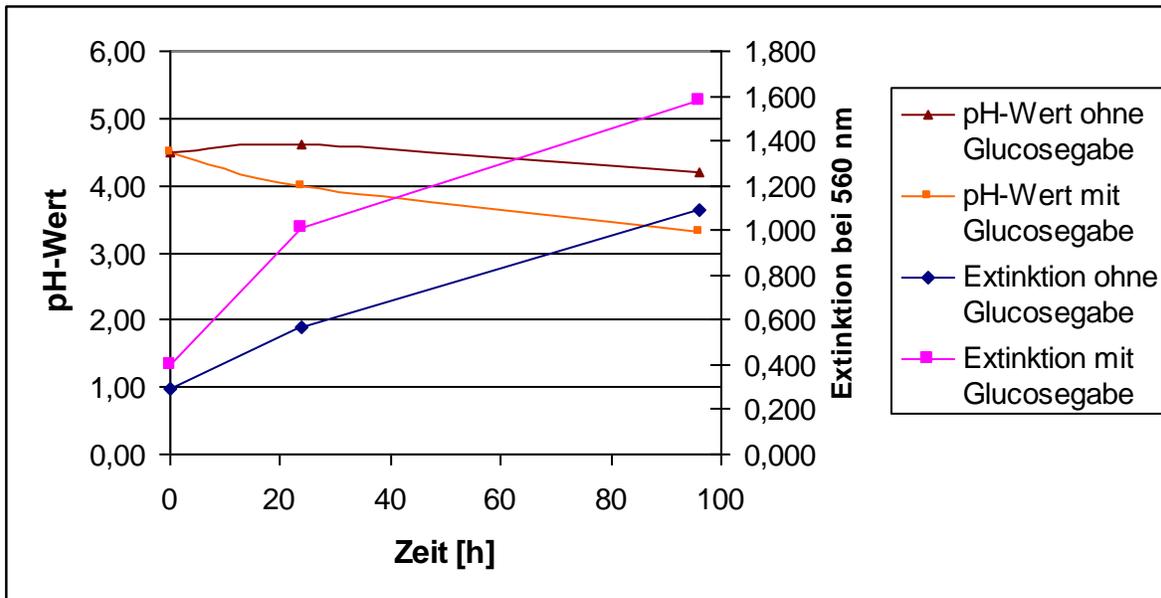


Abbildung 11: Mittelwerte für pH und Trübung in den statistischen Fermentationen von Lupineextrakt mit L 532

Abbildung 11 zeigt die Mittelwerte der pH- und Extinktionsentwicklung in den statistischen Fermentationen mit L 532. Sowohl der Abfall des pH-Wertes als auch die durch die Trübungsdifferenz zum Ausdruck kommende Zellvermehrung werden durch die Zugabe von Glucose stark erhöht. Der pH-Abfall ohne Glucosezugabe ist äußerst gering und zu Beginn der Fermentation steigt der pH sogar an, was aus mikrobiologischer Sicht riskant ist.

Die statistische Auswertung ergibt für die Abnahme des pH-Wertes bis zum Ende der Fermentationen ein lineares Modell. F-Wert und p-Wert des Modells kennzeichnen dieses als signifikant. Der „Lack of fit“ ist nicht signifikant, so dass das Modell im Rahmen der gewählten Variationen der Fermentationsparameter und bei einem Start-pH von 4,5 anwendbar ist. Die Terme für Fermentationstemperatur und Inokulum sowie alle darauf aufbauenden höheren Terme sind ohne Bedeutung, so dass der pH-Abfall ausschließlich von der Glucosegabe abhängt. In codierten Faktoren ergibt sich für den pH-Abfall die Gleichung (12).

$$-\Delta pH = 0,76 + 0,44 * C \quad (12)$$

Der Faktor C, die Zugabe von Glucose, ist ein Kategoriefaktor und nimmt als solcher den Wert -1 an, wenn keine Zugabe von Glucose stattfindet, und den Wert +1, wenn Glucose, hier 20 g/l zugegeben wird. Daraus ergibt sich jeweils eine Konstante für Fermentationen ohne Glucosezusatz und für Fermentationen mit Glucosezusatz.

Auch für die Trübungszunahme existiert ein lineares Modell. P-Wert und f-Wert des Modells kennzeichnen dieses als signifikant, P-Wert und f-Wert des „Lack of fit“ kennzeichnen diesen als nicht signifikant. Das Modell ist daher im Rahmen der gewählten Variationen der Fermentationsparameter zur Beschreibung der Trübungszunahme geeignet. Wie schon für den pH-Abfall sind Fermentationstemperatur und Inokulum sowie alle darauf aufbauenden höheren Terme ohne Bedeutung. Daher ergibt sich für die Trübungszunahme die Gleichung (13). Daraus ergibt sich jeweils eine Konstante für Fermentationen ohne Glucosezusatz und für Fermentationen mit Glucosezusatz.

$$-\Delta pH = 0,99 + 0,19 * C \quad (13)$$

Für den Abbau der unerwünschten Oligosaccharide Raffinose, Stachyose und Verbascose in den Fermentationen von Lupineextrakt mit L 532 liegen nur für die Versuchsläufe ohne Glucosezusatz und den Versuchslauf 14 Daten vor. Für die übrigen Versuchsläufe lieferte die HPAEC-PAD keine auswertbaren Daten. Den Verlauf des Oligosaccharidabbaus während der Fermentation zeigt Abbildung 12. Im Mittel sinkt die Konzentration der Oligosaccharide insgesamt im Verlaufe der Fermentation um 25 %. Auffällig ist der annähernd lineare Verlauf des Oligosaccharidabbaus mit L 532.

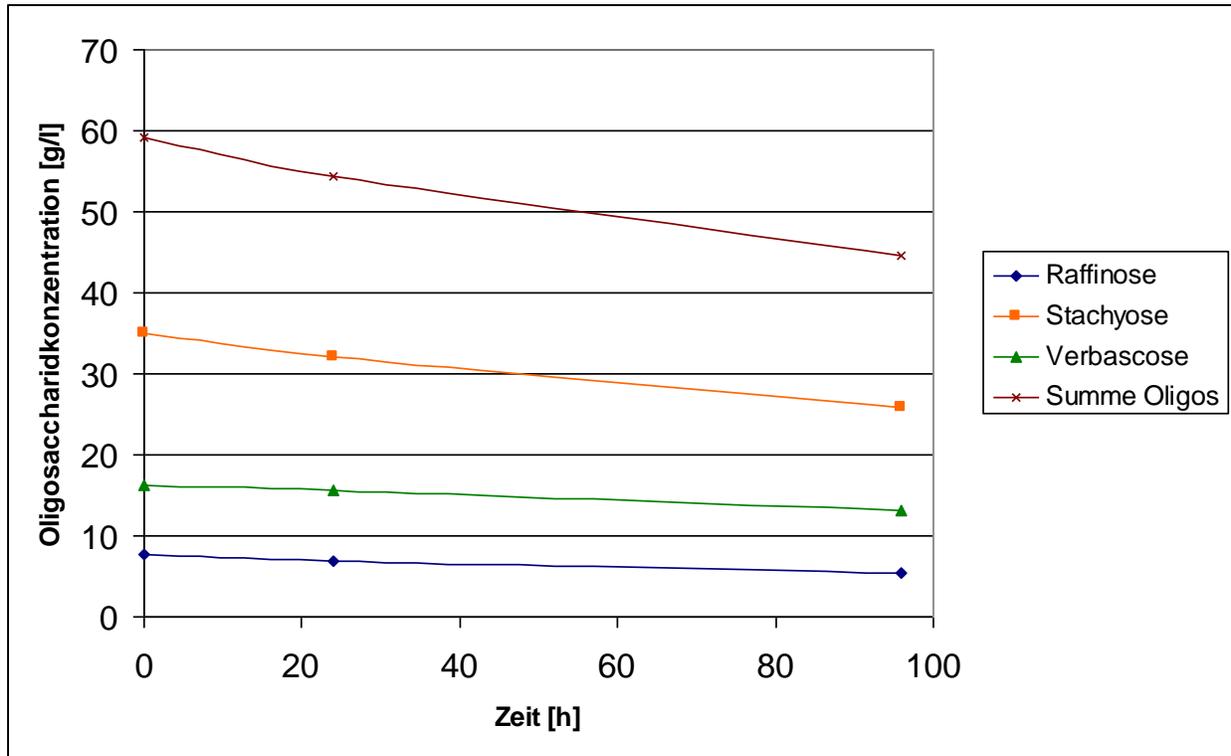


Abbildung 12: Abbau der Oligosaccharide Raffinose, Stachyose und Verbascose in den statistischen Fermentationen von Lupineextrakt mit L 532

Die sensorische Bewertung der statistischen Fermentationen mit L 532 nach Kapitel 3.11.1 ergab für die Versuchsläufe ohne Glucosegabe einen ausgeprägten Geruch nach Diacetyl, teilweise mit heu- oder silageartigem Unterton. Für die Versuchsläufe 14 bis 26 wurde ein saurer, teilweise unreifer und teilweise joghurtartiger Geschmack und ein starker Diacetylgeruch mit muffigen Noten festgestellt.

#### 4.1.1.3 Statistische Fermentation von Lupineextrakt mit *L. plantarum* (L 1047)

Tabelle A 2 zeigt die Zuordnung der Probennummern in den statistischen Versuchen zu den Fermentationsparametern. Die Messwerte für die einzelnen Fermentationschargen über 90 h und die Auswertungen der Varianzanalysen der daraus errechneten mathematischen Modelle sind in Tabelle A 19 bis Tabelle A 28 gezeigt.

Auffällig ist für L 1047 die deutliche Absenkung des pH-Wertes über alle Versuchsläufe, die auch mit einem deutlichen Zellwachstum, feststellbar über die Trübungszunahme, einhergeht. Abbildung 13 zeigt den Verlauf der Mittelwerte von pH und Trübung getrennt

nach Versuchsläufen unter Zugabe von Glucose und Versuchsläufen ohne Glucosezugabe.

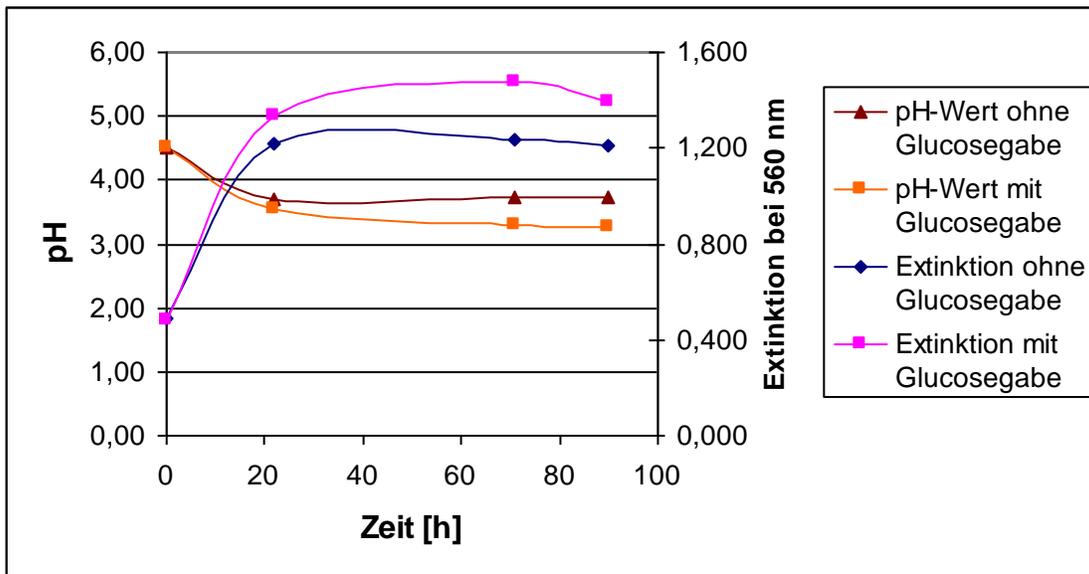


Abbildung 13: Mittelwerte für pH und Trübung in den statistischen Fermentationen von Lupineextrakt mit L 1047

Die statistische Auswertung des pH-Abfalls im Verlaufe der Fermentation unter Nutzung der Software Design Expert 6.0 ergibt ein lineares Modell für die pH-Abnahme. F-Wert und p-Wert für das Modell und den „Lack of fit“ kennzeichnen das Modell als signifikant und den „Lack of fit“ als nicht signifikant, so dass das Modell für die Berechnung des pH-Wertes am Ende der Fermentation innerhalb der gewählten Grenzen und bei einem Ausgangs-pH von 4,5 nutzbar ist.

Für Fermentationen ohne Zusatz von Glucose ergibt sich Gleichung (14) für den pH-Abfall:

$$-\Delta pH = 0,55 + 6,3 \cdot 10^{-3} \cdot \text{Temperatur}[\text{°C}] + 4,4 \cdot 10^{-4} \cdot \text{Inokulum}[\text{Mio.Zellen / ml}] \quad (14)$$

Für Fermentationen mit Zusatz von Glucose ergibt sich Gleichung (15) für den pH-Abfall:

$$-\Delta pH = 1,02 + 6,3 \cdot 10^{-3} \cdot \text{Temperatur}[\text{°C}] + 4,4 \cdot 10^{-4} \cdot \text{Inokulum}[\text{Mio.Zellen / ml}] \quad (15)$$

Aus dem Vergleich der beiden Gleichungen wird deutlich, dass die Wirkung von Temperatur und Inokulum von der Zuckerzusammensetzung unabhängig ist. Ferner zeigen die Gleichungen, dass sowohl eine Erhöhung der Fermentationstemperatur als auch eine Erhöhung des Inokulums den Abfall des pH-Wertes fördern. Dabei wirkt sich die Fermentationstemperatur stärker aus als das Inokulum, wie auch der Vergleich der F-Werte der beiden Faktoren zeigt. Die F-Werte zeigen auch, dass die Glucosegabe den höchsten Einfluss auf den pH-Abfall hat, wie es auch Abbildung 13 nahe legt.

Die statistische Auswertung der Differenz der Trübung zwischen Beginn und Ende der Fermentation ergibt ein zweigeteiltes lineares Modell. Hierbei gelten – anders als bei oben gezeigtem Modell für die pH-Abnahme – unterschiedliche Faktoren bei Temperatur und Inokulum, je nachdem ob Glucose zugesetzt wurde oder nicht. Auch dieses Modell ist signifikant und hat einen nicht signifikanten „Lack of fit“.

Für Fermentationen ohne Zusatz von Glucose ergibt sich Gleichung (16) für die Trübungszunahme:

$$\Delta Ext.(560nm) = 1,04 - 6,7 * 10^{-3} * Temperatur[^\circ C] - 2,1 * 10^{-3} * Inokulum[Mio.Zellen / ml] \quad (16)$$

Für Fermentationen mit Zusatz von Glucose ergibt sich Gleichung (17) für die Trübungszunahme:

$$\Delta Ext.(560nm) = 0,93 - 3,6 * 10^{-4} * Temperatur[^\circ C] - 6,7 * 10^{-5} * Inokulum[Mio.Zellen / ml] \quad (17)$$

Der Vergleich der Gleichungen (16) und (17) zeigt, dass die Einflüsse von Temperatur und Inokulum auf das Zellwachstum ihrerseits vom Glucosegehalt abhängig sind. Dies wird durch die unterschiedlichen Faktoren vor diesen Parametern deutlich. Die Richtung der Beeinflussung ist in beiden Fällen gleich. Sowohl bei Zugabe von Glucose als auch ohne Zugabe von Glucose führt eine Erhöhung von Temperatur oder Inokulum zu einer verringerten Trübungszunahme. Dies liegt im Falle des Inokulums daran, dass der Unterschied in der Ausgangstrübung höher ist als der in der resultierenden Trübung. Im Falle der Temperatur legt diese Beobachtung genau wie die Betrachtung der

Einzelwerte (siehe Tabelle A 19) nahe, dass das Wachstumsoptimum für *L. plantarum* näher an 23 °C als an 30 °C liegt.

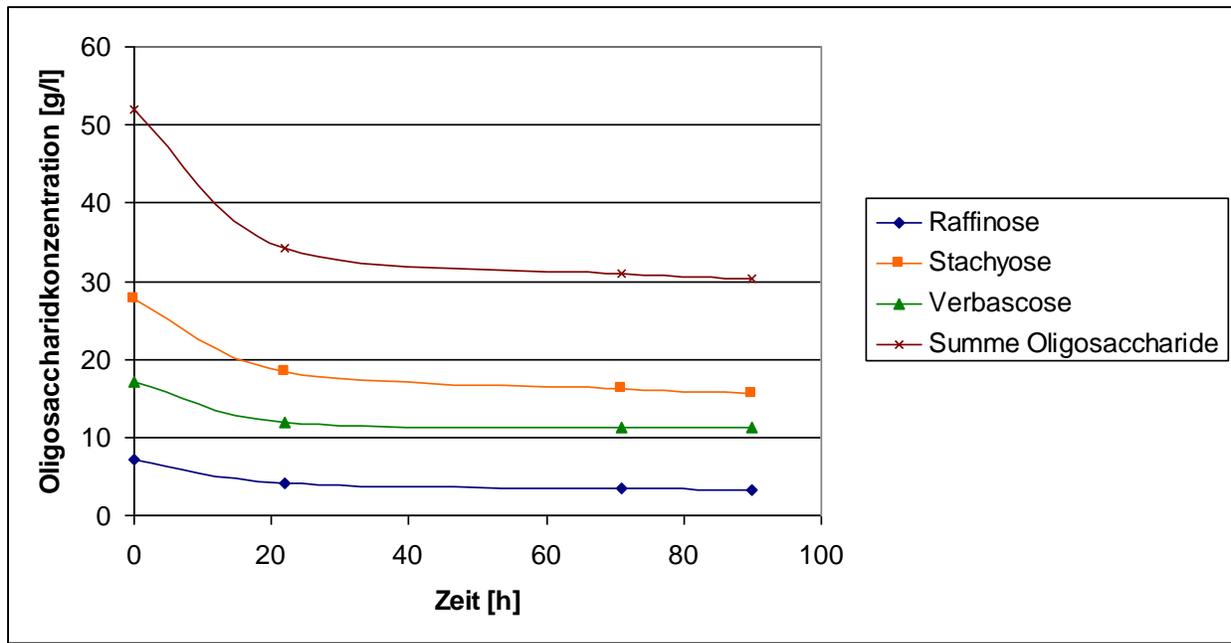
Der Unterschied bei Trübungszunahme und pH-Abfall in den Abhängigkeiten zwischen dem Zumischen von Glucose einerseits und dem Einfluss von Temperatur und Inokulum andererseits wird auch deutlich, wenn man anstelle der Gleichungen (14) und (15) bzw. (16) und (17) die Gleichungen (18) und (19) betrachtet. Erstere arbeiten mit den tatsächlichen Fermentationsfaktoren und rechnen den Kategoriefaktor Glucosegabe in die Konstanten ein. Letztere basieren auf codierten Faktoren.

$$-\Delta pH = 1,00 + 0,044 * A + 0,020 * B + 0,23 * C \quad (18)$$

$$\Delta Ext.(560nm) = 0,82 - 0,025 * A - 0,049 * B + 0,096 * C + 0,022 * A * C + 0,046 * B * C \quad (19)$$

Die Faktoren A (Temperatur [°C]), B (Inokulum [Mio. Zellen/ml]) und C (Glucosegabe, -1 für nicht vorhanden, +1 für vorhanden) sind in Gleichung (18) voneinander unabhängig. In Gleichung (19) beeinflusst dagegen der Kategoriefaktor C sowohl die Wirkung von Faktor A als auch die Wirkung von Faktor B. Die beiden numerischen Faktoren A und B haben allerdings untereinander keine Wechselwirkung, was die Aufstellung von zwei jeweils linearen Gleichungen für die Fermentationen mit bzw. ohne Glucosegabe möglich macht.

Die unerwünschten Oligosaccharide Raffinose, Stachyose und Verbascose werden in den Fermentationen von Lupineextrakt mit L 1047 deutlich in ihrer Konzentration reduziert. Den Verlauf der Konzentration dieser drei Zucker über die Fermentation zeigt Abbildung 14.



**Abbildung 14: Abbau der Oligosaccharide Raffinose, Stachyose und Verbascose in den statistischen Fermentationen von Lupineextrakt mit L 1047**

Auch für die Abnahme der einzelnen Oligosaccharide bis zum Ende der Fermentation sowie für die Abnahme von deren Summe ergeben sich lineare Modelle. Die Modelle aller vier Parameter sind signifikant und verfügen über einen nicht signifikanten „Lack of fit“. Der Kategoriefaktor C (Glucosegabe) hat in keinem der Modelle einen signifikanten Einfluss. Er fällt daher heraus und es gilt jeweils eine Gleichung, die nur von den Faktoren Fermentationstemperatur und Inokulum abhängig ist. Eine Erhöhung von Temperatur oder Inokulum führt jeweils auch zu einem weitergehenden Abbau der unerwünschten Oligosaccharide. Dabei ist der Einfluss der Temperatur jeweils höher als der des Inokulums. Für den Oligosaccharidabbau in Fermentationen von Lupineextrakt mit L 1047 ergeben sich die Gleichungen (20) bis (23).

$$-\Delta\text{Raffinose} = 1,18 + 0,080 * \text{Temperatur}[\text{°C}] + 3,6 * 10^{-3} * \text{Inokulum}[\text{Mio. Zellen / ml}] \quad (20)$$

$$-\Delta\text{Stachyose} = 1,57 + 0,33 * \text{Temperatur}[\text{°C}] + 0,015 * \text{Inokulum}[\text{Mio. Zellen / ml}] \quad (21)$$

$$-\Delta\text{Verbascose} = 0,66 + 0,15 * \text{Temperatur}[\text{°C}] + 0,015 * \text{Inokulum}[\text{Mio. Zellen / ml}] \quad (22)$$

$$-\Delta\text{Oligos} = 3,40 + 0,55 * \text{Temperatur}[\text{°C}] + 0,034 * \text{Inokulum}[\text{Mio. Zellen / ml}] \quad (23)$$

Die sensorische Bewertung der statistischen Fermentationen mit L 1047 nach Kapitel 3.11.1 ergab für die Versuchsläufe ohne Glucosegabe einen neutralen, schwach sauren Geschmack und einen buttermilch- oder kefirartigen Geruch. Für die Versuchsläufe mit Glucosezusatz wurde ein neutraler, sehr saurer Geschmack und ein Geruch nach Diacetyl oder Kefir festgestellt.

#### 4.1.1.4 Statistische Fermentation von Lupineextrakt mit *P. acidilactici* (P 75)

Tabelle A 2 im Anhang zeigt die Zuordnung der Probennummern in den statistischen Versuchen zu den Fermentationsparametern. Die Messwerte für die einzelnen Fermentationschargen über 90 h und die Auswertungen der Varianzanalysen der daraus errechneten mathematischen Modelle sind in Tabelle A 29 bis Tabelle A 34 gezeigt.

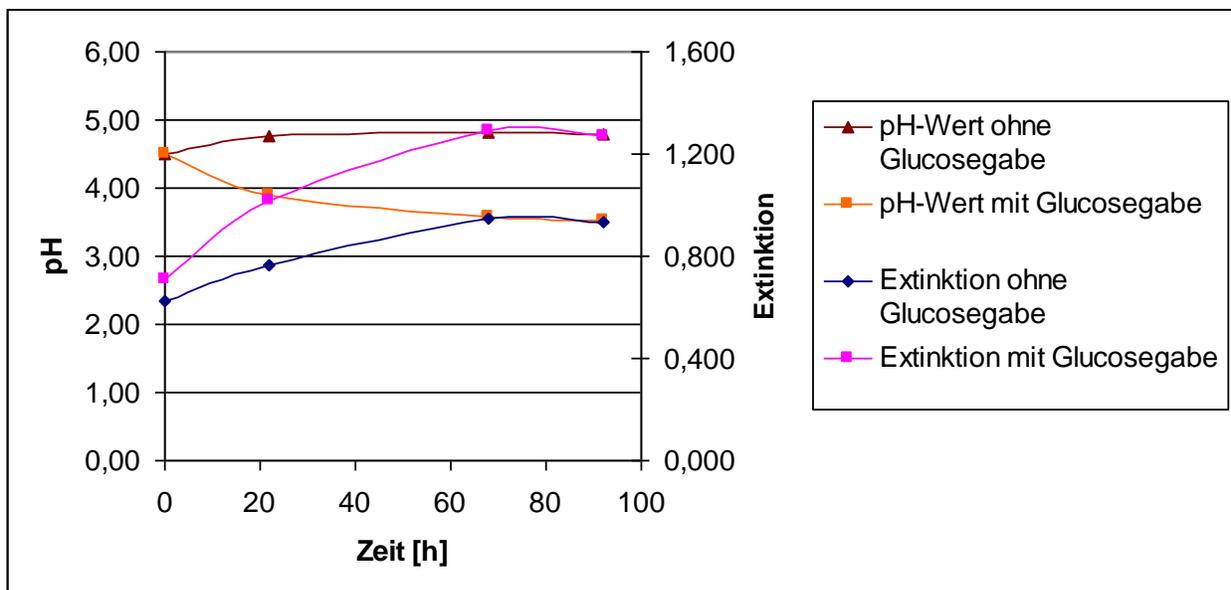


Abbildung 15: Mittelwerte für pH und Trübung in den statistischen Fermentationen von Lupineextrakt mit P 75

In Abbildung 15 sind die Verläufe der Mittelwerte für pH und Extinktion in den statistischen Fermentationen mit P 75 dargestellt. Sowohl der Abfall des pH-Wertes als auch die durch die Trübungsdifferenz zum Ausdruck kommende Zellvermehrung werden durch die Zugabe von Glucose stark erhöht. In den Versuchsläufen ohne Glucosegabe steigt der pH im Verlauf der Fermentation an, was aus mikrobiologischer Sicht riskant ist. Mit Glucosegabe ist der pH-Sturz zwar genügend, verläuft aber schleppend.

Die statistische Auswertung des pH-Abfalls unter Nutzung der Software Design Expert 6.0 ergibt ein lineares Modell für die pH-Abnahme, F-Wert und p-Wert kennzeichnen das Modell als signifikant. Der „Lack of fit“ ist nicht signifikant, so dass das Modell für die Charakterisierung des pH-Abfalls bis zum Ende der Fermentation innerhalb der gewählten Grenzen und bei einem Ausgangs-pH von 4,5 nutzbar ist. Die Gleichungen (24) und (25) charakterisieren den pH-Abfall in den Fermentationen ohne (24) und mit (25) Glucose:

$$-\Delta pH = -0,82 + 0,018 * Temperatur[^\circ C] \quad (24)$$

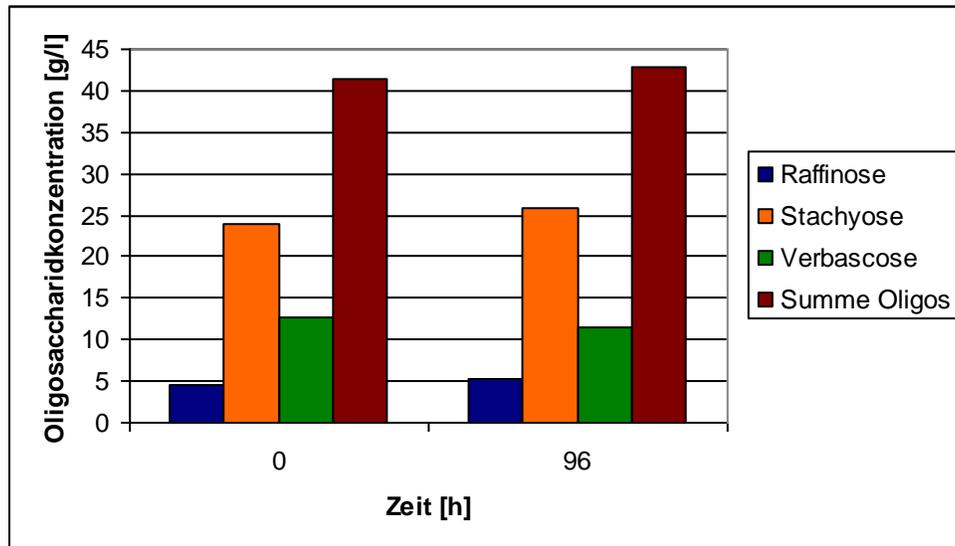
$$-\Delta pH = +0,43 + 0,018 * Temperatur[^\circ C] \quad (25)$$

Aus den beiden Gleichungen wird deutlich, dass die Glucosegabe einen sehr viel höheren Einfluss hat, als die Temperatur. Dies ist auch aus den jeweiligen F-Werten ersichtlich. Der Einfluss des Inokulums ist so gering, dass es nicht in das Modell einfließt. Tendenziell führt eine Erhöhung der Fermentationstemperatur auch zu einer Erhöhung der Trübungszunahme.

Für die Trübungszunahme in den Fermentationen mit P 75 ergibt sich in der statistischen Auswertung ebenfalls ein lineares Modell. Für die Trübungszunahme spielt das Inokulum im Gegensatz zum pH-Abfall eine Rolle, allerdings ist auch hier die Glucosegabe der entscheidende Faktor. Die Zunahme der Trübung in den Fermentationsverläufen ohne Glucosezusatz wird in Gleichung (26) beschrieben, die Trübungszunahme in den Fermentationen ohne Glucosezusatz in Gleichung (27):

$$\Delta Ext.(560nm) = 0,13 + 9,6 * 10^{-3} * Temperatur[^\circ C] - 2,0 * 10^{-3} * Inokulum[Mio.Zellen / ml] \quad (26)$$

$$\Delta Ext.(560nm) = 0,38 + 9,6 * 10^{-3} * Temperatur[^\circ C] - 2,0 * 10^{-3} * Inokulum[Mio.Zellen / ml] \quad (27)$$



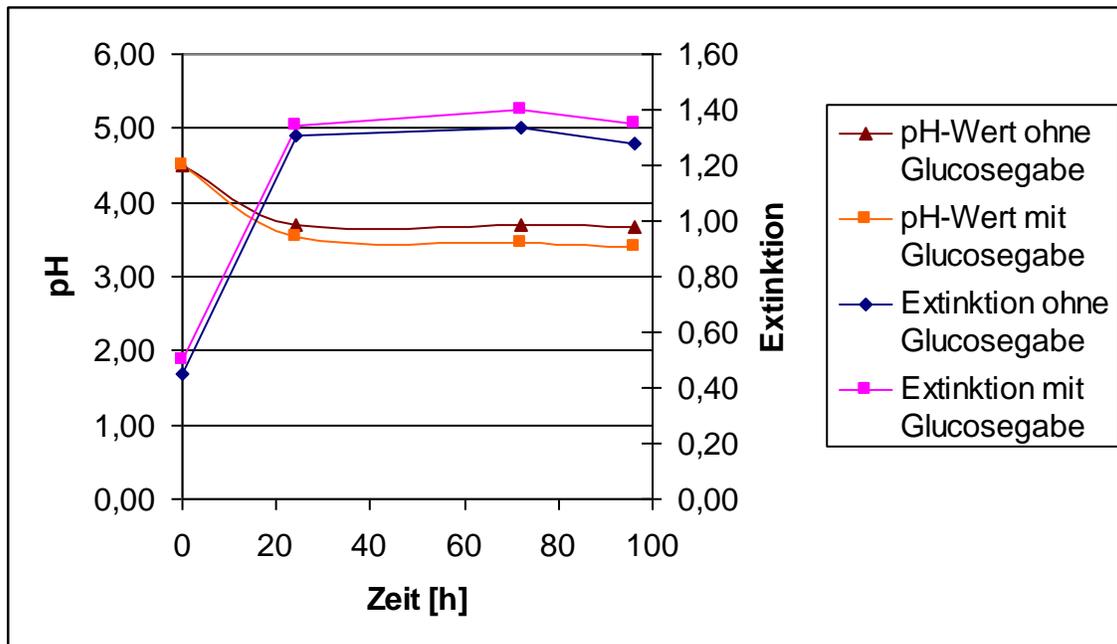
**Abbildung 16: Anfangs- und Endkonzentrationen an Oligosacchariden für die statistischen Fermentationen von Lupineextrakt mit P 75**

Abbildung 16 zeigt die Mittelwerte der Konzentrationen an Oligosacchariden zu Beginn und zu Ende der statistischen Fermentationen von Lupineextrakt mit P 75. Die zugehörigen Einzeldaten sind im Anhang aufgeführt. Es ist auffällig, dass die Konzentration der gemessenen Oligosaccharide nicht nur nicht absinkt sondern sogar ansteigt. Dies gilt insbesondere für die Fermentationen mit Glucosezusatz. Hier wird ein Anstieg von bis zu 30 % für die Gesamtoligosaccharidkonzentration verzeichnet, während ohne Zusatz von Glucose in einzelnen Fermentationen ein Abbau von über 50 % bezogen auf die Anfangskonzentration stattfindet. Eine statistische Auswertung dieser Versuchsläufe war aufgrund von unauswertbaren HPAEC-PAD-Ergebnissen für einige Läufe nicht möglich.

Die sensorische Bewertung der statistischen Fermentationen mit P 75 nach Kapitel 3.11.1 ergab für die Versuchsläufe ohne Glucosegabe einen leicht muffigen Geruch und einen unreinen, vereinzelt leicht fauligen, im Unterton noch bohigen, diacetylartigen Geschmack. Für die Versuchsläufe mit Glucosezusatz wurde ebenfalls ein dumpfer Geruch und ein saurer, vereinzelt noch leicht unreifer Geschmack festgestellt.

#### 4.1.1.5 Statistische Fermentation von Lupineextrakt mit *P. pentosaceus* (P113)

Tabelle A 2 im Anhang zeigt die Zuordnung der Probennummern in den statistischen Versuchen zu den Fermentationsparametern. Die Messwerte für die einzelnen Fermentationschargen über 96 h und die Auswertungen der Varianzanalysen der daraus errechneten mathematischen Modelle sind in Tabelle A 35 bis Tabelle A 44 gezeigt.



**Abbildung 17: Mittelwerte für pH und Trübung in den statistischen Fermentationen von Lupineextrakt mit P 113**

Abbildung 17 zeigt die Verläufe der Mittelwerte von pH und Extinktion bei 560 nm über die Fermentationszeit aufgeteilt nach Fermentationen mit und ohne Glucosezusatz. Im Vergleich mit den übrigen statistischen Fermentationen von Lupineextrakt fällt auf, dass sowohl pH-Abfall als auch Wachstum unabhängig von der Zugabe von Glucose sehr zügig vonstatten gehen. P 113 ist also offensichtlich für sein Wachstum nicht auf den Zusatz von Glucose angewiesen. Diese Annahme wird durch die statistische Versuchsauswertung der Trübungszunahme eindeutig bestätigt. Es ergibt sich hier ein lineares Modell, bei dem der Kategoriefaktor C (Glucosegabe) wegen Irrelevanz herausfällt. F-Wert und p-Wert kennzeichnen das Modell als signifikant. Der „Lack of fit“ ist nicht signifikant, so dass das Modell für die Charakterisierung der Trübungszunahme bis zum Ende der Fermentation innerhalb der gewählten Grenzen gültig ist. Für die Zunahme der Extinktion bei 560 nm ergibt sich Gleichung (28).

$$\Delta Ext.(560nm) = 1,14 - 7,4 * 10^{-3} * Temperatur[{}^{\circ}C] - 1,4 * 10^{-3} * Inokulum[Mio.Zellen / ml] \quad (28)$$

Eine Erhöhung von Temperatur oder Inokulum führt zu einer verringerten Trübungszunahme. Dies liegt im Falle des Inokulums daran, dass der Unterschied in der Ausgangstrübung höher ist als der in der resultierenden Trübung. Im Falle der Temperatur legt diese Beobachtung genau wie die Betrachtung der Einzelwerte (siehe Tabelle A 19) nahe, dass das Wachstumsoptimum für *P. pentosaceus* näher an 23 °C als an 30 °C liegt.

Für den pH-Abfall ergibt die statistische Auswertung ein quadratisches Modell. F-Wert und p-Wert kennzeichnen das Modell als signifikant, der „Lack of fit“ ist nicht signifikant. Das Modell ist also innerhalb der gewählten Grenzen und bei einem Ausgangs-pH von 4,5 gültig. Im Gegensatz zur Trübungszunahme ist für den pH-Abfall die Glucosegabe ein relevanter Faktor. Da auch Wechselwirkungen zwischen Glucosegabe und dem Einfluss der Faktoren Temperatur und Inokulum bestehen, wird die Bedeutung der Glucosegabe bei Betrachtung der pH-Verläufe in Abbildung 17 unterschätzt. Anhand der F-Werte wird ersichtlich, dass die Glucosegabe der mit Abstand wichtigste Faktor für den pH-Abfall ist, gefolgt von der Temperatur und dem Term  $A^{\circ}C$ , der die Wechselwirkung zwischen Temperatur und Glucosezusatz beschreibt. Die Abnahme des pH-Wertes im Laufe der Fermentation wird ohne Glucosezusatz durch Gleichung (29) und mit Glucosezusatz durch Gleichung (30) charakterisiert.

$$-\Delta pH = -1,08 + 0,10 * Temperatur[{}^{\circ}C] + 1,9 * 10^{-3} * Inokulum[Mio.Zellen / ml] - 1,4 * 10^{-3} * Temperatur[{}^{\circ}C]^2 \quad (29)$$

$$-\Delta pH = -0,14 + 0,085 * Temperatur[{}^{\circ}C] - 1,4 * 10^{-3} * Temperatur[{}^{\circ}C]^2 \quad (30)$$

Aus den Gleichungen wird ersichtlich, dass der Einfluss des Inokulums auf den pH-Abfall äußerst gering ist und bei Zusatz von Glucose vollständig verschwindet.

Abbildung 18 zeigt die Verläufe der Mittelwerte der Konzentrationen an den gemessenen Oligosacchariden in den statistischen Fermentationen von Lupineextrakt

mit P 113. Es ist ein insgesamt sehr deutlicher Abbau dieser unerwünschten Extraktinhaltsstoffe zu erkennen. Die Gesamtkonzentration an Oligosacchariden wurde im Mittel um 36 % bezogen auf die Ausgangskonzentration vermindert. Bei einer Fermentationstemperatur von 37 °C und einem Inokulum von 100 Mio. Zellen/ml konnte unter Verzicht auf eine Zugabe von Glucose sogar eine Absenkung der Gesamtoligosaccharidmenge um über 60 % erreicht werden (Versuchslauf 9).

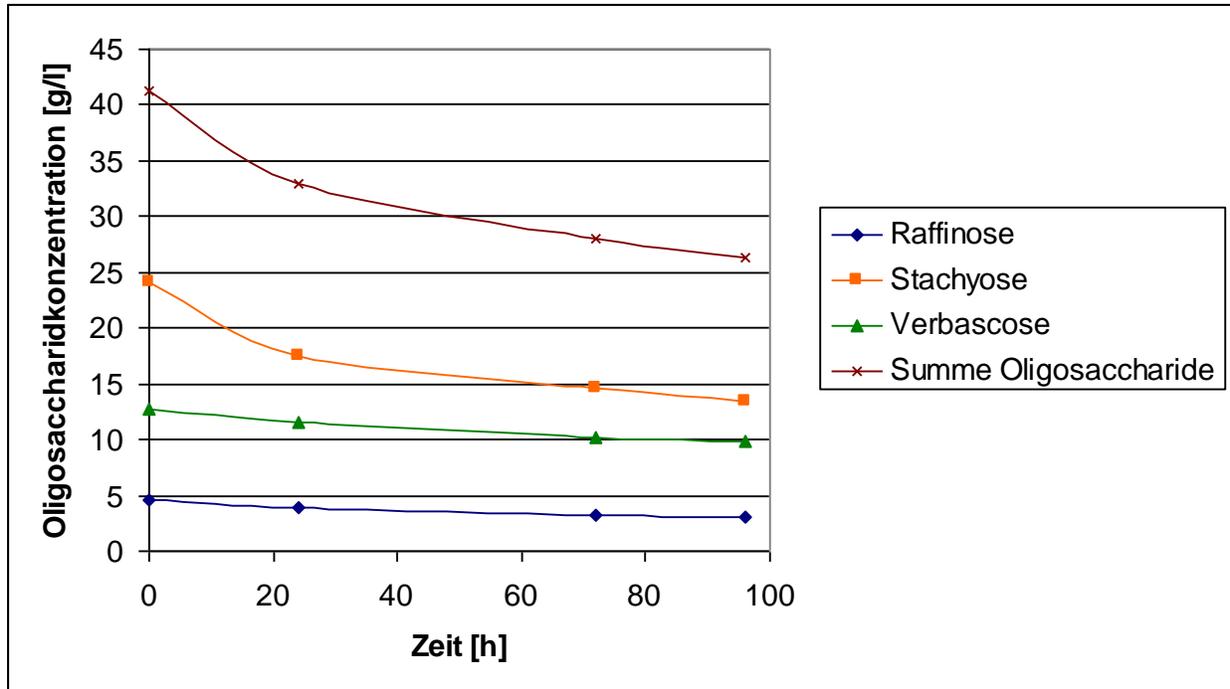


Abbildung 18: Abbau der Oligosaccharide Raffinose, Stachyose und Verbascose in den statistischen Fermentationen von Lupineextrakt mit P 113

Die statistische Versuchsauswertung ergibt für den Abbau aller drei Oligosaccharide sowie für deren Summe gültige Modelle. Für Stachyose, Verbascose und die Summe der Oligosaccharide ergibt sich jeweils ein lineares Modell und für Raffinose ein zweifach lineares Modell, bei dem der Kategoriefaktor Glucosegabe seinerseits einen Einfluss auf den Einfluss der Temperatur hat. Das Inokulum zeigt auf keinen der Oligosaccharide einen Einfluss und fällt in allen vier Modellen heraus. Es ergeben sich Gleichung (31) und (32) für den Abbau der Raffinose, Gleichung (33) und (34) für den Abbau der Stachyose, Gleichung (35) und (36) für den Abbau der Verbascose sowie Gleichung (37) und (38) für den Oligosaccharidabbau insgesamt. Die Gleichungen (31),

(33), (35) und (37) gelten für Fermentationen ohne Zusatz von Glucose, die Gleichungen (32), (34), (36) und (38) für solche mit Glucosezusatz.

$$-\Delta\text{Raffinose} = 3,49 - 0,029 * \text{Temperatur}[\text{°C}] \quad (31)$$

$$-\Delta\text{Raffinose} = -1,29 + 0,056 * \text{Temperatur}[\text{°C}] \quad (32)$$

$$-\Delta\text{Stachyose} = 6,59 + 0,24 * \text{Temperatur}[\text{°C}] \quad (33)$$

$$-\Delta\text{Stachyose} = 2,6 * 10^{-3} + 0,24 * \text{Temperatur}[\text{°C}] \quad (34)$$

$$-\Delta\text{Verbas cosine} = 1,18 + 0,12 * \text{Temperatur}[\text{°C}] \quad (35)$$

$$-\Delta\text{Verbas cosine} = -2,16 + 0,12 * \text{Temperatur}[\text{°C}] \quad (36)$$

$$-\Delta\text{Oligos} = 9,99 + 0,37 * \text{Temperatur}[\text{°C}] \quad (37)$$

$$-\Delta\text{Oligos} = -2,12 + 0,37 * \text{Temperatur}[\text{°C}] \quad (38)$$

In fast allen Fällen wirkt sich eine Erhöhung der Temperatur förderlich auf den Abbau von Oligosacchariden aus. Eine Ausnahme stellt der Raffinoseabbau im mit Glucose versetzten Extrakt dar.

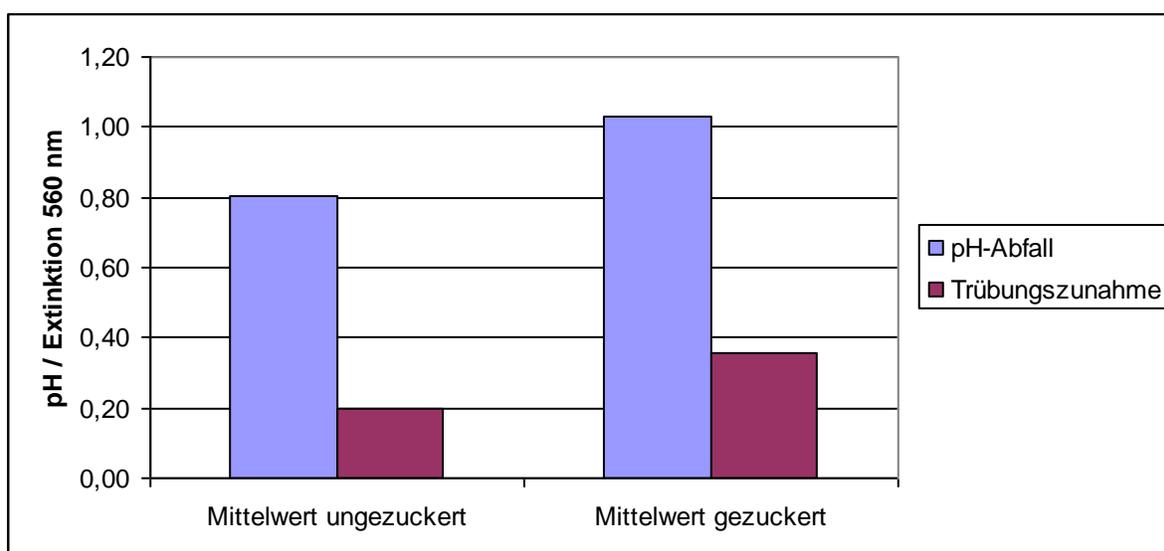
Die sensorische Bewertung der statistischen Fermentationen mit P 113 nach Kapitel 3.11.1 ergab für die Versuchsläufe ohne Glucosegabe einen intensiv buttrigen, diacetylartigen Geruch und Geschmack. Für die Versuchsläufe mit Glucosezusatz wurde ein stärker saurer, ansonsten sehr ähnlicher Geschmack und ein vergleichbarer Geruch festgestellt.

## 4.1.2 Statistische Fermentationen von Erbsenextrakt

Die Ausgangsgehalte an vergärbaren Zuckern in Erbsenextrakt sind in Tabelle A 1 im Anhang aufgeführt. Die Gültigkeit dieser für einen Extrakt beispielhaft gemessenen Werte für alle Fermentationen ist jedoch fraglich, da die Extrakte für die statistischen Fermentationen trotz gleichbleibendem Extraktionsverfahren schwankende Ausgangsgehalte an Oligosacchariden aufwiesen.

### 4.1.2.1 Statistische Fermentation von Erbsenextrakt mit *L. amylolyticus* (TL 5)

Tabelle A 2 im Anhang zeigt die Zuordnung der Probennummern in den statistischen Versuchen zu den Fermentationsparametern. Die Messwerte für die einzelnen Fermentationschargen über 96 h und die Auswertungen der Varianzanalysen der daraus errechneten mathematischen Modelle sind in Tabelle A 45 bis Tabelle A 54 gezeigt.



**Abbildung 19: Mittelwerte für pH-Abfall und Trübungszunahme in den statistischen Fermentationen von Erbsenextrakt mit TL 5**

Abbildung 19 zeigt den mittleren pH-Abfall und die mittlere Extinktionszunahme über die Fermentationszeit aufgeteilt nach Fermentationen mit und ohne Glucosezusatz. Sowohl pH-Abfall als auch Trübungszunahme werden durch Zusatz von Glucose deutlich erhöht. Die Betrachtung der Werte der Einzelversuche in Tabelle A 45 und Tabelle A 47

zeigt eine breite Streuung auch innerhalb der Versuche mit und ohne Glucosegabe sowohl in Bezug auf die pH-Entwicklung als auch in Bezug auf die gemessenen Trübungen. Für den pH-Wert zeigt die Auswertung der Varianzanalyse (siehe Tabelle A 48), dass in erster Linie die Fermentationstemperatur für den pH-Abfall maßgeblich ist. Die Zugabe von Glucose ist zwar statistisch relevant, jedoch im Vergleich mit der Fermentationstemperatur relativ unbedeutend. Die geringste Bedeutung hat das Inokulum, allerdings ist auch dieser Faktor noch von signifikantem Einfluss. Die Abnahme des pH-Wertes im Laufe der Fermentation wird ohne Glucosezusatz durch Gleichung (39) und mit Glucosezusatz durch Gleichung (40) charakterisiert.

$$\begin{aligned}
 -\Delta pH &= -4,90 + 0,46 * Temperatur[^\circ C] + 1,2 * 10^{-3} * Inokulum[Mio.Zellen/ml] \\
 &- 8,6 * 10^{-3} * Temperatur[^\circ C]^2
 \end{aligned}
 \tag{39}$$

$$\begin{aligned}
 -\Delta pH &= -5,45 + 0,48 * Temperatur[^\circ C] + 1,4 * 10^{-3} * Inokulum[Mio.Zellen/ml] \\
 &- 8,6 * 10^{-3} * Temperatur[^\circ C]^2
 \end{aligned}
 \tag{40}$$

Für die Trübungszunahme ist alleine die Zugabe von Glucose maßgeblich (siehe Tabelle A 46). Die mathematische Charakterisierung der Trübungszunahme erfolgt in codierten Faktoren durch Gleichung (41), die demzufolge nur eine Variable besitzt. Bei Unterscheidung nach Fermentationen mit und ohne Glucosegabe ergeben sich jeweils Konstanten.

$$-\Delta Ext.(560nm) = 0,28 + 0,078 * C
 \tag{41}$$

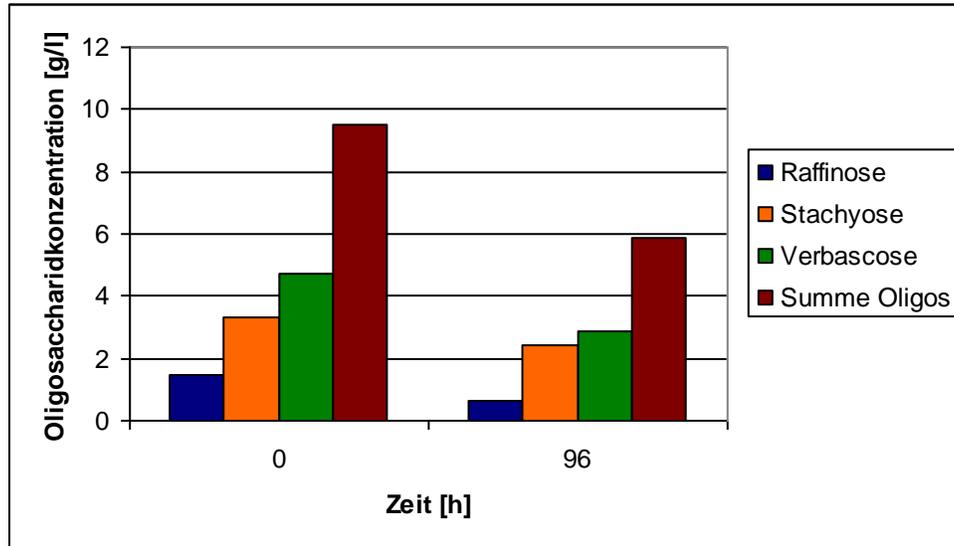


Abbildung 20: Anfangs- und Endkonzentrationen an Oligosacchariden für die statistischen Fermentationen von Erbsenextrakt mit TL 5

Abbildung 20 zeigt die Anfangs- und Endkonzentrationen an Oligosacchariden in den statistischen Fermentationen von Erbsenextrakt mit TL 5. Insgesamt ist ein sehr deutlicher Abbau dieser unerwünschten Extraktinhaltsstoffe zu erkennen. Die statistische Versuchsauswertung ergibt für den Abbau von Raffinose und Stachyose sowie die Summe der Oligosaccharide gültige mathematische Modelle. Für den Abbau von Verbascose ergibt sich zwar ebenfalls theoretisch ein gültiges Modell, allerdings ist für keine der Prozessvariablen ein signifikanter Einfluss feststellbar, weshalb sich für den Abbau von Verbascose eine Konstante ergibt. Die Abnahme der Stachyose und der Gesamtabbau an Oligosacchariden sind nur von der Fermentationstemperatur abhängig. Gleichung (42) beschreibt den Abbau von Raffinose in ungezuckertem Extrakt, Gleichung (43) den Abbau von Raffinose in gezuckertem Extrakt, Gleichung (44) den Abbau von Stachyose und Gleichung (45) den Gesamtabbau an Oligosacchariden.

$$-\Delta\text{Raffinose} = -0,67 + 0,11 * \text{Temperatur}[\text{°C}] - 1,6 * 10^{-3} * \text{Inokulum}[\text{Mio.Zellen / ml}] - 1,9 * 10^{-3} * \text{Temperatur}[\text{°C}]^2 \quad (42)$$

$$-\Delta\text{Raffinose} = -1,17 + 0,13 * \text{Temperatur}[\text{°C}] + 7,4 * 10^{-4} * \text{Inokulum}[\text{Mio.Zellen / ml}] - 1,9 * 10^{-3} * \text{Temperatur}[\text{°C}]^2 \quad (43)$$

$$-\Delta\text{Stachyose} = 0,054 + 0,028 * \text{Temperatur} [^{\circ}\text{C}] \quad (44)$$

$$-\Delta\text{Oligos} = 1,66 + 0,055 * \text{Temperatur} [^{\circ}\text{C}] \quad (45)$$

Die sensorische Bewertung der statistischen Fermentationen von Erbsenextrakt mit TL 5 nach Kapitel 3.11.1 ergab für die Versuchsläufe ohne Glucosegabe einen saueren, teils unreifen Geschmack und einen teilweise heuartigen, teilweise an Kaffeesatz erinnernden Geruch. Für die Versuchsläufe mit Glucosezusatz wurde der saure Geschmack noch verstärkt, der Geruch war teilweise heuartig und erdig, mehrheitlich getreideartig.

#### 4.1.2.2 Statistische Fermentation von Erbsenextrakt mit *L. paracasei* (L 1150)

Tabelle A 2 im Anhang zeigt die Zuordnung der Probennummern in den statistischen Versuchen zu den Fermentationsparametern. Die Messwerte für die einzelnen Fermentationschargen über 72 h und die Auswertungen der Varianzanalysen der daraus errechneten mathematischen Modelle sind in Tabelle A 55 bis Tabelle A 64 gezeigt.

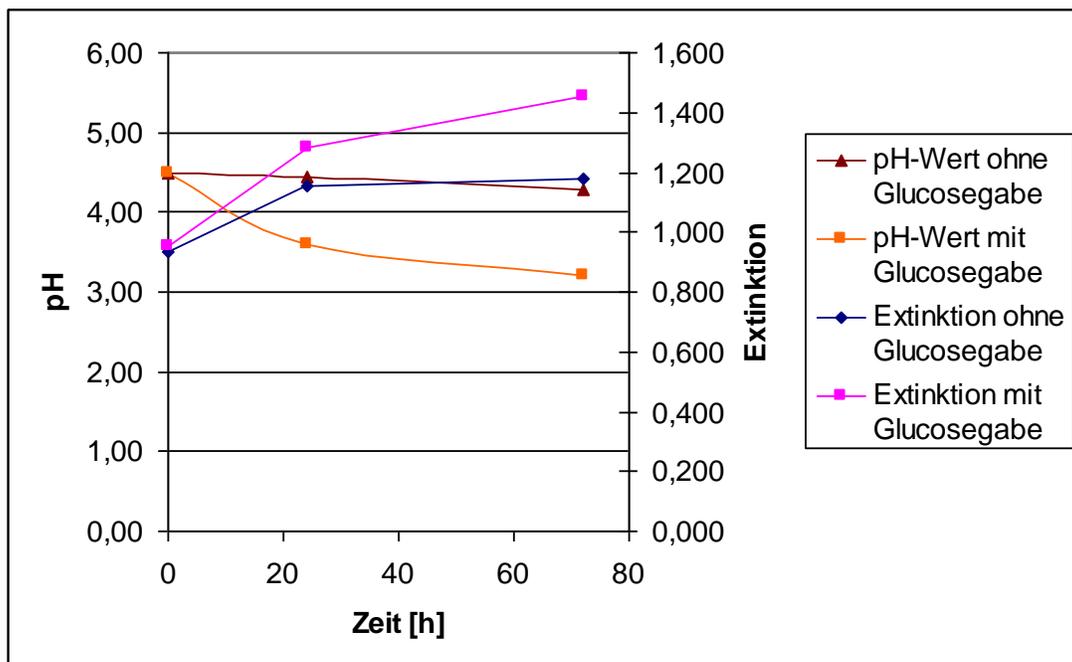
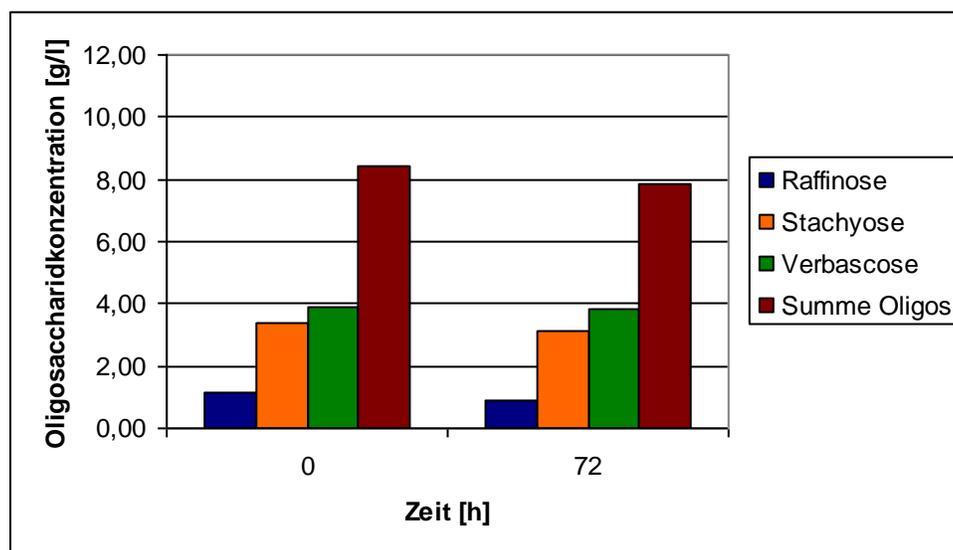
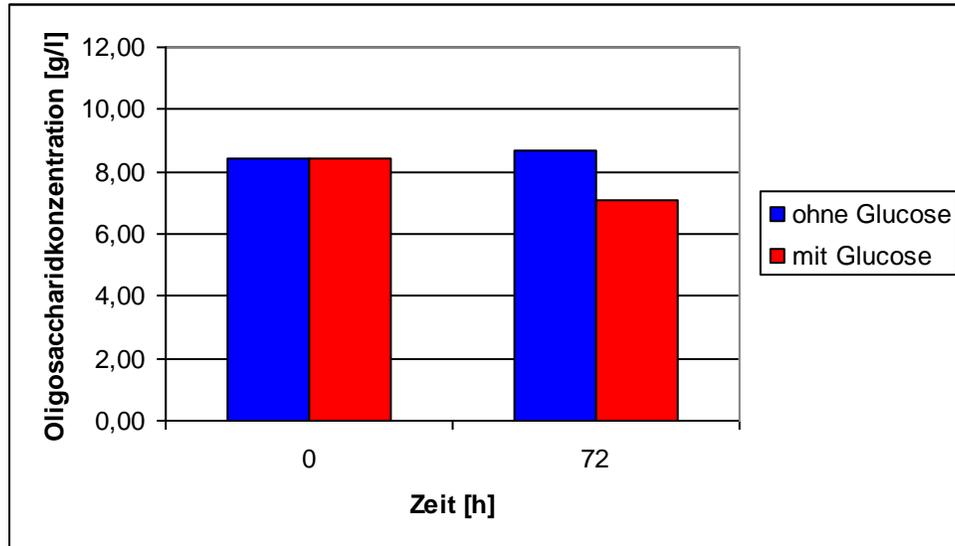


Abbildung 21: Mittelwerte für pH und Trübung in den statistischen Fermentationen von Erbsenextrakt mit L 1150

Abbildung 21 zeigt den Verlauf der Mittelwerte von pH und Extinktion bei der Fermentation von Erbsenextrakt mit L 1150 aufgeteilt nach Fermentationen mit und ohne Glucosezusatz. Sehr deutlich beeinflusst der Zusatz von 2 % Glucose sowohl den pH-Abfall im Verlaufe der Fermentation in Bezug auf Zügigkeit und erreichten Endwert, als auch die zellwachstumsbedingte Trübungszunahme. Allerdings lässt sich für diese beiden Parameter kein mathematisches Modell aus den verschiedenen Versuchsläufen ableiten, dass den statistischen Anforderungen genügt. Sowohl für die Extinktionszunahme als auch für den pH-Abfall über die Gesamtdauer der Fermentationen werden die mathematischen Modelle zwar als signifikant ausgegeben, der zugehörige Lack of Fit aber auch, was die Modelle nicht belastbar macht (siehe Tabelle A 56 und Tabelle A 58).



**Abbildung 22: Anfangs- und Endkonzentrationen an Oligosacchariden für die statistischen Fermentationen von Erbsenextrakt mit L 1150**



**Abbildung 23: Anfangs- und Endkonzentrationen an Oligosacchariden für die statistischen Fermentationen von Erbsenextrakt mit L 1150 in Abhängigkeit von der Glucosezugabe**

Abbildung 22 zeigt den Mittelwert der Konzentrationen der einzelnen Oligosaccharide zu Beginn und zu Ende der Fermentationen, Abbildung 23 zeigt die Mittelwerte der Oligosaccharidgesamtkonzentrationen zu Beginn und zu Ende der Fermentationen aufgeteilt nach Fermentationen mit Glucosegabe und solchen ohne. Die Messwerte für Versuchslauf 13 wurden dabei als Ausreißer identifiziert und nicht in die Mittelwertberechnung mit einbezogen. Bei Betrachtung der Werte für die einzelnen Fermentationen, aufgeführt in Tabelle A 59 und Tabelle A 60, fällt auf, dass in einzelnen Fermentationen, überwiegend in solchen ohne Zusatz von Glucose, die Oligosaccharidkonzentration am Ende der Fermentation höher ist als zu Beginn. Dies gilt bei niedrigen und mittleren Fermentationstemperaturen. Diese Beobachtung wird durch die statistisch ermittelten mathematischen Modelle zum Oligosaccharidabbau gestützt. Belastbare Modelle lassen sich für den Abbau von Stachyose, Verbascose und den Gesamtabbau an Oligosacchariden ermitteln. Für den Abbau von Raffinose ergibt sich zwar ein signifikantes Modell, allerdings ist dessen Lack of fit ebenfalls signifikant. Während der Verbascoseabbau und der Gesamtabbau neben der Temperatur auch von der Glucosegabe abhängen, ist der Abbau von Stachyose von diesem Kategoriefaktor unabhängig, weshalb sich der Stachyoseabbau durch eine einzelne Gleichung, Gleichung (46), beschreiben lässt.

$$-\Delta\text{Stachyose} = -1,08 + 0,044 * \text{Temperatur} [^{\circ}\text{C}] \quad (46)$$

Den Abbau von Verbascose beschreiben die Gleichungen (47) und (48), den Gesamtabbau der Oligosaccharide die Gleichungen (49) und (50). Dabei gelten die Gleichungen (47) und (49) für Fermentationen ohne Zusatz von Glucose, die Gleichungen (48) und (50) für solche mit Glucosezusatz.

$$-\Delta\text{Verbascose} = -1,88 + 0,052 * \text{Temperatur} [^{\circ}\text{C}] \quad (47)$$

$$-\Delta\text{Verbascose} = -1,11 + 0,052 * \text{Temperatur} [^{\circ}\text{C}] \quad (48)$$

$$-\Delta\text{Oligos} = -4,80 + 0,15 * \text{Temperatur} [^{\circ}\text{C}] \quad (49)$$

$$-\Delta\text{Oligos} = -3,17 + 0,15 * \text{Temperatur} [^{\circ}\text{C}] \quad (50)$$

Bei der sensorischen Bewertung der statistischen Fermentationen von Erbsenextrakt mit L 1150 nach Kapitel 3.11.1 zeigten die Fermentationen durchgehend einen schwach erdnußartigen Geruch. Der Geschmack der ungezuckerten Extrakte war durchgehend leicht faulig und schwach sauer. Im gezuckerten Extrakt war ein saurer Geschmack ohne faulige Noten festzustellen. Sensorisch akzeptabel waren aufgrund der fauligen Noten in den ungezuckerten Extrakten nur die Fermentationen mit Glucosegabe.

#### 4.1.2.3 Statistische Fermentation von Erbsenextrakt mit *L. perolens* (L 532)

Tabelle A 2 im Anhang zeigt die Zuordnung der Probennummern in den statistischen Versuchen zu den Fermentationsparametern. Die Messwerte für die einzelnen Fermentationschargen über 96 h und die Auswertungen der Varianzanalysen der daraus errechneten mathematischen Modelle sind in Tabelle A 65 bis Tabelle A 74 gezeigt.

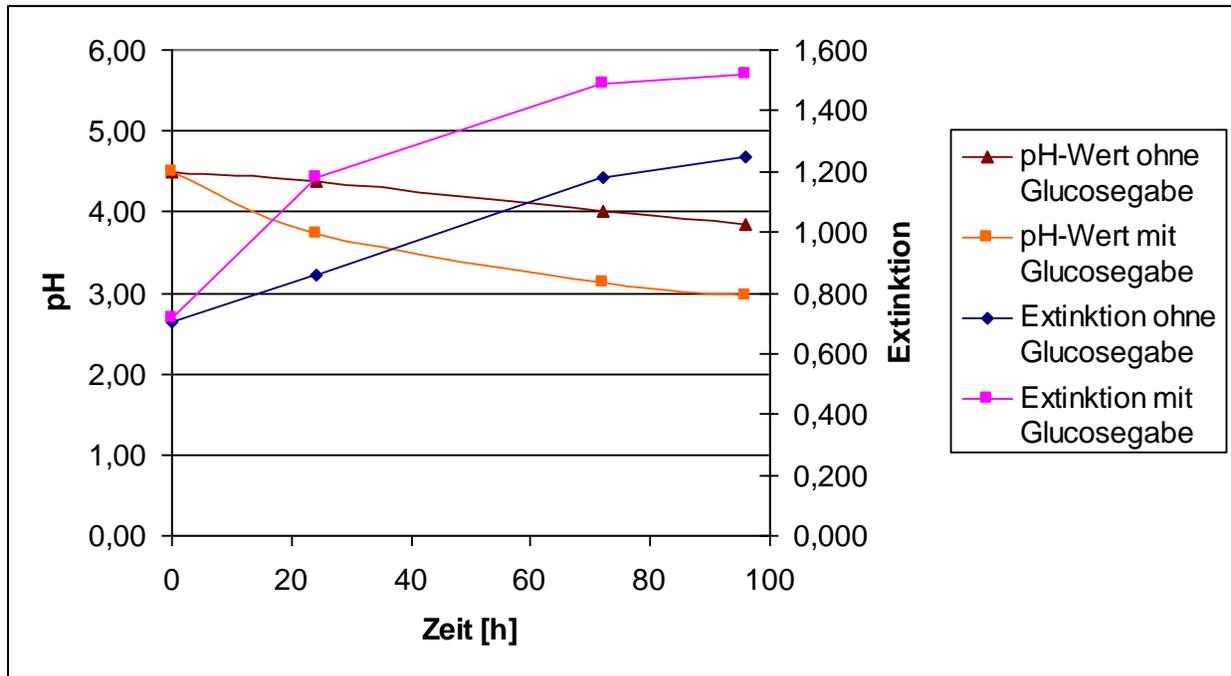
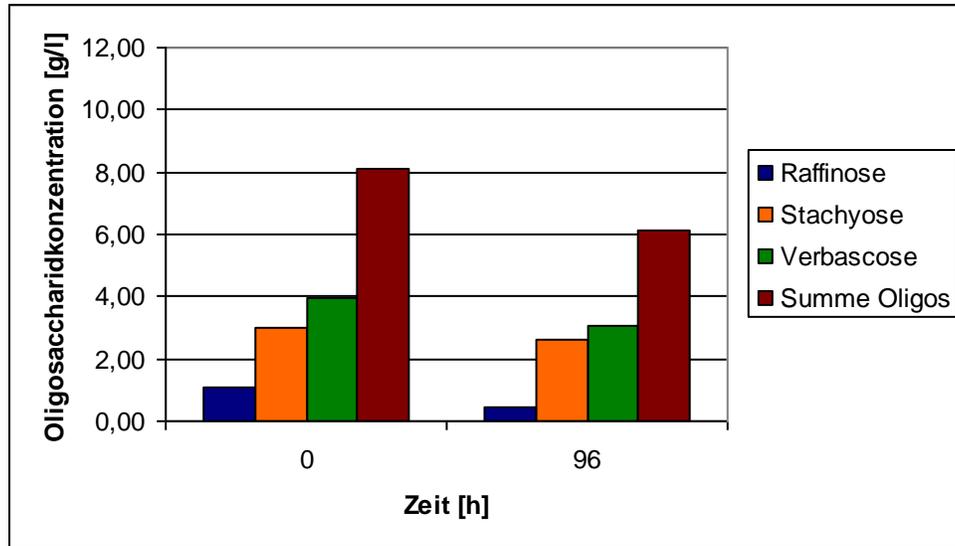


Abbildung 24: Mittelwerte für pH und Trübung in den statistischen Fermentationen von Erbsenextrakt mit L 532

Abbildung 24 zeigt den Verlauf der Mittelwerte von pH und Extinktion in den statistischen Fermentationen aufgeteilt nach solchen mit und solchen ohne Glucosezusatz. Sowohl der Abfall des pH-Wertes als auch das Zellwachstum und die daraus resultierende Extinktionszunahme werden durch die Zugabe von Glucose gefördert. Temperatur und Inokulum haben keinen oder nur einen geringen Einfluss auf diese Parameter, wie sowohl die Betrachtung der Einzelwerte aus den Fermentationen in Tabelle A 65 und Tabelle A 67 als auch die statistische Auswertung zeigt. Sie werden daher in der statistischen Auswertung aller Fermentationen eliminiert. So ergibt sich sowohl für die Abnahme des pH-Wertes als auch für die Zunahme der Extinktion eine Gleichung, die als einzigen codierten Faktor den Kategoriefaktor C enthält. Bei Unterscheidung nach gezuckertem und ungezuckertem Extrakt ergibt sich jeweils eine Konstante. Gleichung (51) beschreibt die Extinktionszunahme, Gleichung (52) den pH-Abfall über die gesamte Fermentation jeweils in codierten Faktoren.

$$\Delta Ext.(560) = 0,67 + 0,13 * C \quad (51)$$

$$-\Delta pH = 1,10 + 0,43 * C \quad (52)$$



**Abbildung 25: Anfangs- und Endkonzentrationen an Oligosacchariden für die statistischen Fermentationen von Erbsenextrakt mit L 532**

Abbildung 25 zeigt die Mittelwerte der Anfangs- und Endkonzentrationen an Oligosacchariden in den Fermentationen. Insgesamt werden die Oligosaccharide durch die Fermentation um ca. 25 % abgebaut. Den relativ gesehen deutlichsten Abbau erfährt Raffinose mit 60 %, Stachyose wird mit einem Abbau von nur 14 % am geringfügigsten reduziert. Die statistische Auswertung der Fermentationen ergibt für den Abbau aller drei Oligosaccharide sowie für den summarischen Abbau belastbare mathematische Modelle. Die Auswertung der Varianzanalysen (Tabelle A 71 bis Tabelle A 74) zeigt, dass die Glucosezugabe der wichtigste Faktor für den Oligosaccharidabbau ist. Das Inokulum ist ebenfalls relevant und geht quadratisch in die Modelle ein. Die Temperatur spielt nur bezogen auf den Stachyose-Abbau und hier in seiner Wechselwirkung mit Inokulum und Glucosezusatz eine Rolle. Die Gleichungen (53) und (54) beschreiben den Raffinoseabbau, die Gleichungen (55) und (56) den Stachyoseabbau, die Gleichungen (57) und (58) den Verbascoseabbau und die Gleichungen (59) und (60) den Oligosaccharidabbau insgesamt. Die Gleichungen (53), (55), (57) und (59) gelten dabei für Fermentationen ohne Zusatz von Glucose, die Gleichungen (54), (56), (58) und (60) für solche mit Zusatz von Glucose.

$$\begin{aligned}
 -\Delta\text{Raffinose} &= 1,14 - 0,017 * \text{Inokulum}[\text{Mio.Zellen} / \text{ml}] \\
 &+ 1,6 * 10^{-4} * \text{Inokulum}[\text{Mio.Zellen} / \text{ml}]^2
 \end{aligned}
 \tag{53}$$

$$\begin{aligned}
-\Delta\text{Raffinose} &= 0,76 - 0,017 * \text{Inokulum}[\text{Mio.Zellen} / \text{ml}] \\
&+ 1,6 * 10^{-4} * \text{Inokulum}[\text{Mio.Zellen} / \text{ml}]^2
\end{aligned} \tag{54}$$

$$\begin{aligned}
-\Delta\text{Stachyose} &= 0,46 + 0,018 * \text{Temperatur}[\text{°C}] + 3,7 * 10^{-3} * \text{Inokulum}[\text{Mio.Zellen} / \text{ml}] \\
&+ 1,8 * 10^{-4} * \text{Inokulum}[\text{Mio.Zellen} / \text{ml}]^2 \\
&- 7,5 * 10^{-4} * \text{Temperatur}[\text{°C}] * \text{Inokulum}[\text{Mio.Zellen} / \text{ml}]
\end{aligned} \tag{55}$$

$$\begin{aligned}
-\Delta\text{Stachyose} &= -1,35 + 0,068 * \text{Temperatur}[\text{°C}] + 3,7 * 10^{-3} * \text{Inokulum}[\text{Mio.Zellen} / \text{ml}] \\
&+ 1,8 * 10^{-4} * \text{Inokulum}[\text{Mio.Zellen} / \text{ml}]^2 \\
&- 7,5 * 10^{-4} * \text{Temperatur}[\text{°C}] * \text{Inokulum}[\text{Mio.Zellen} / \text{ml}]
\end{aligned} \tag{56}$$

$$\begin{aligned}
-\Delta\text{Verbas cosine} &= 1,84 - 0,039 * \text{Inokulum}[\text{Mio.Zellen} / \text{ml}] \\
&+ 3,8 * 10^{-4} * \text{Inokulum}[\text{Mio.Zellen} / \text{ml}]^2
\end{aligned} \tag{57}$$

$$\begin{aligned}
-\Delta\text{Verbas cosine} &= 1,20 - 0,039 * \text{Inokulum}[\text{Mio.Zellen} / \text{ml}] \\
&+ 3,8 * 10^{-4} * \text{Inokulum}[\text{Mio.Zellen} / \text{ml}]^2
\end{aligned} \tag{58}$$

$$\begin{aligned}
-\Delta\text{Oligos} &= 3,95 - 0,074 * \text{Inokulum}[\text{Mio.Zellen} / \text{ml}] \\
&+ 7,1 * 10^{-4} * \text{Inokulum}[\text{Mio.Zellen} / \text{ml}]^2
\end{aligned} \tag{59}$$

$$\begin{aligned}
-\Delta\text{Oligos} &= 2,63 - 0,074 * \text{Inokulum}[\text{Mio.Zellen} / \text{ml}] \\
&+ 7,1 * 10^{-4} * \text{Inokulum}[\text{Mio.Zellen} / \text{ml}]^2
\end{aligned} \tag{60}$$

Die sensorische Bewertung der statistischen Fermentationen von Erbsenextrakt mit L 532 nach Kapitel 3.11.1 ergab für die Fermentationen ohne Glucosezusatz einen schwarzteeartigen, teilweise getreidigen Geruch und Geschmack. Für die Fermentationen mit Glucosezusatz wurde zusätzlich ein verstärkt saurer Eindruck festgestellt.

#### 4.1.2.4 Statistische Fermentation von Erbsenextrakt mit *L. plantarum* (L1047)

Tabelle A 2 im Anhang zeigt die Zuordnung der Probennummern in den statistischen Versuchen zu den Fermentationsparametern. Die Messwerte für die einzelnen Fermentationschargen über 92 h und die Auswertungen der Varianzanalysen der daraus errechneten mathematischen Modelle sind in Tabelle A 75 bis Tabelle A 84 gezeigt.

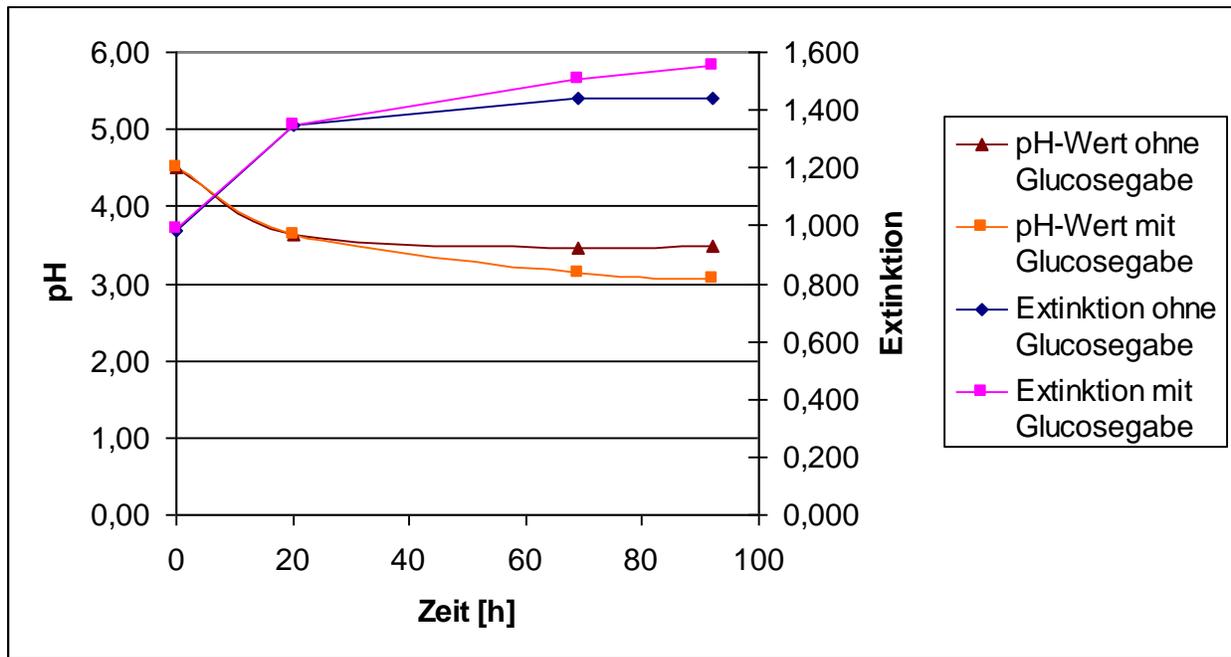


Abbildung 26: Mittelwerte für pH und Trübung in den statistischen Fermentationen von Erbsenextrakt mit L 1047

Abbildung 26 zeigt die Mittelwerte für pH und Extinktion im Verlaufe der Fermentationen aufgeteilt nach Fermentationen mit Glucosegabe und solchen ohne Glucosezusatz. Zwar wird ein Unterschied bezüglich der Intensität des pH-Abfalls und der Trübungszunahme in Abhängigkeit von der Glucosegabe deutlich, allerdings verlaufen pH-Abfall und Zellwachstum auch in den Fermentationen ohne Glucosezusatz sehr weitgehend und zufriedenstellend. Dies ist in guter Übereinstimmung mit den Ergebnissen der statistischen Fermentationen von Lupineextrakt (s.o.). Aus der statistischen Auswertung der Fermentationen von Erbsenextrakt ergeben sich für den pH-Abfall und ebenso die Trübungszunahme keine belastbaren mathematischen Modelle. Die hierfür vorgeschlagenen Modelle sind zwar signifikant, haben aber einen ebenfalls signifikanten Lack of fit.

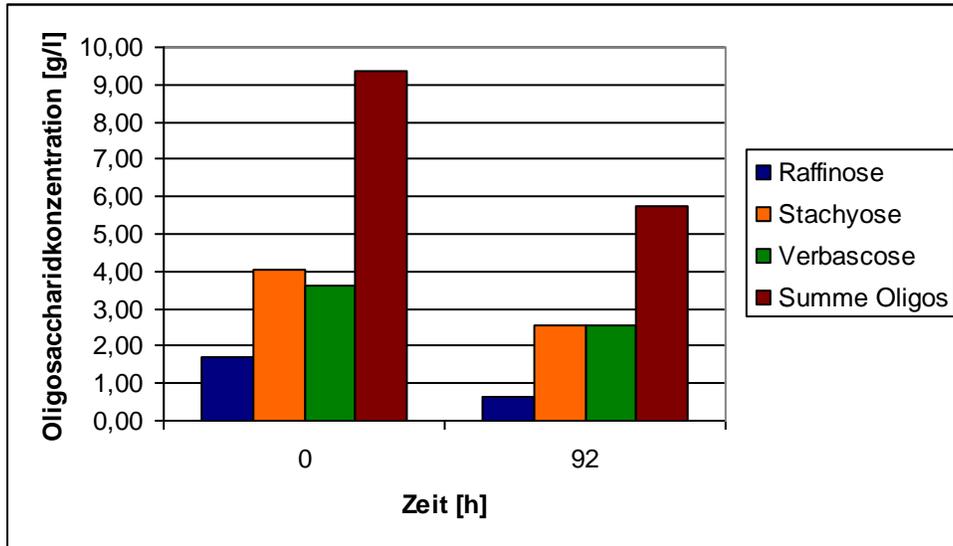


Abbildung 27: Anfangs- und Endkonzentrationen an Oligosacchariden für die statistischen Fermentationen von Erbsenextrakt mit L 1047

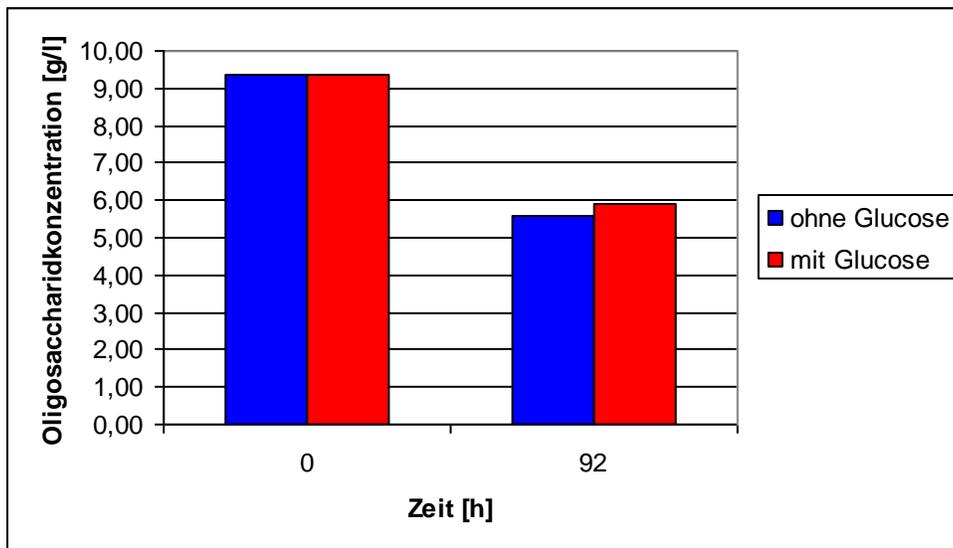


Abbildung 28: Anfangs- und Endkonzentrationen an Oligosacchariden für die statistischen Fermentationen von Erbsenextrakt mit L 1047 in Abhängigkeit von der Glucosezugabe

Abbildung 27 zeigt den Mittelwert der Konzentrationen der einzelnen Oligosaccharide zu Beginn und zu Ende der Fermentationen, Abbildung 28 zeigt die Mittelwerte der Oligosaccharidgesamtkonzentrationen zu Beginn und zu Ende der Fermentationen aufgeteilt nach Fermentationen mit Glucosegabe und solchen ohne. Insgesamt werden die Oligosaccharide um mehr als 38 % abgebaut. Den relativ größten Anteil daran hat die Raffinose mit einem Abbau um über 60 %, während der Gehalt an Verbascose durch die Fermentation nur um etwas weniger als 30 % abnimmt. Der durchschnittliche

Oligosaccharidabbau ist in Fermentationen ohne Glucosezusatz nur leicht höher (ca. 40 %) als in solchen mit Glucosezusatz (ca. 37 %). Die statistische Auswertung des Oligosaccharidabbaus in den Fermentationen ergibt für alle drei Oligosaccharide sowie für die Gesamtkonzentration belastbare mathematische Modelle. Für den Stachyoseabbau ergibt sich eine Konstante, es ist also keinerlei signifikanter Einfluss der Fermentationsbedingungen auf diesen Parameter zu erkennen. Der Abbau der Verbascose sowie der Gesamtabbau an Oligosacchariden ist rein von der Zugabe von Glucose abhängig, Fermentationstemperatur und Inokulum spielen keine signifikante Rolle. Der Abbau von Verbascose wird in Gleichung (61), der Gesamtoligosaccharidabbau in Gleichung (62), jeweils in codierten Faktoren, beschrieben. Der Raffinoseabbau hängt von Temperatur, Glucosezusatz und den Wechselwirkungen dieser beiden Faktoren mit dem Inokulum ab. Die Kenndaten der Varianzanalyse (siehe Tabelle A 81) zeigen, dass die Temperatur den größten Einfluss hat gefolgt vom Kategoriefaktor Glucosegabe. Gleichung (63) beschreibt den Raffinoseabbau in Fermentationen ohne Glucosezusatz, Gleichung (64) in solchen mit Glucosezusatz.

$$-\Delta\text{Verbascose} = 1,06 - 0,16 * C \quad (61)$$

$$-\Delta\text{Oligos} = 3,56 - 0,28 * C \quad (62)$$

$$\begin{aligned} -\Delta\text{Raffinose} &= -0,025 + 0,035 * \text{Temperatur}[\text{°C}] + 0,013 * \text{Inokulum}[\text{Mio.Zellen/ml}] \\ &- 3,7 * 10^{-4} * \text{Temperatur}[\text{°C}] * \text{Inokulum}[\text{Mio.Zellen/ml}] \end{aligned} \quad (63)$$

$$\begin{aligned} -\Delta\text{Raffinose} &= +0,048 + 0,035 * \text{Temperatur}[\text{°C}] \\ &+ 9,8 * 10^{-3} * \text{Inokulum}[\text{Mio.Zellen/ml}] \\ &- 3,7 * 10^{-4} * \text{Temperatur}[\text{°C}] * \text{Inokulum}[\text{Mio.Zellen/ml}] \end{aligned} \quad (64)$$

Die sensorische Bewertung der statistischen Fermentationen von Erbsenextrakt mit L 1047 nach Kapitel 3.11.1 ergab für die Fermentationen ohne Glucosezusatz einen heu- und strohartigen Geruch und einen leicht sauren bis sauren, neutralen Geschmackseindruck. In den Fermentationen mit Glucosezusatz ergab sich teilweise

zusätzlich ein fruchtiger oder marzipanartiger Geruchseindruck. Der saure Geschmackseindruck war hier verstärkt, ansonsten war auch hier nur ein sehr neutraler Geschmack feststellbar.

#### 4.1.2.5 Statistische Fermentation von Erbsenextrakt mit *P. acidilactici* (P 75)

Tabelle A 2 im Anhang zeigt die Zuordnung der Probennummern in den statistischen Versuchen zu den Fermentationsparametern. Die Messwerte für die einzelnen Fermentationschargen über 72 h und die Auswertungen der Varianzanalysen der daraus errechneten mathematischen Modelle sind in Tabelle A 85 bis Tabelle A 94 gezeigt.

Abbildung 29 zeigt den Verlauf der Mittelwerte von pH und Extinktion in den statistischen Fermentationen aufgeteilt nach solchen mit und solchen ohne Glucosezusatz.

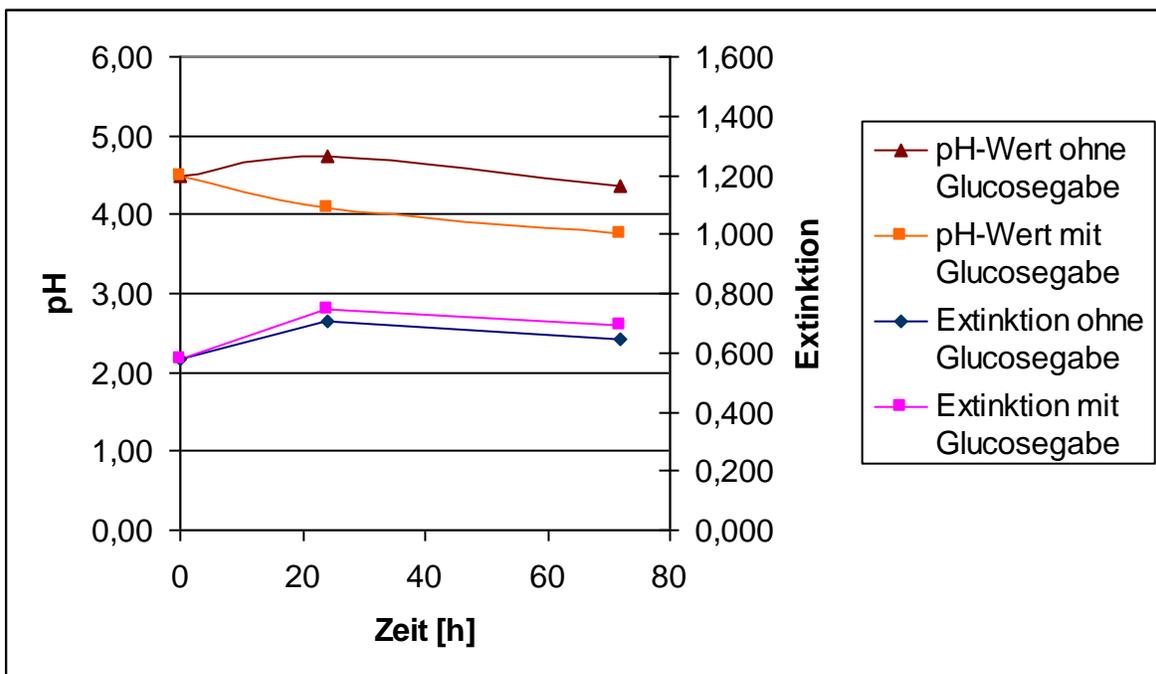


Abbildung 29: Mittelwerte für pH und Trübung in den statistischen Fermentationen von Erbsenextrakt mit P 75

Ohne Zusatz von Glucose ist kaum ein Abfall des pH-Wertes bemerkbar. Bei Betrachtung der Einzelwerte (siehe Tabelle A 87) fällt auf, dass überhaupt nur eine Fermentation ohne Glucosegabe (Versuchslauf Nr. 6) einen pH-Wert unter 4,0 erreicht.

Einige Fermentationen zeigen überhaupt keinen pH-Abfall. Nach 24 h haben alle der Fermentationen ohne Glucosezusatz einen pH oberhalb des Ausgangs-pH. Bei Zugabe von Glucose fällt der pH-Wert im Mittel um 0,75 Punkte ab. Die mathematische Beschreibung des pH-Abfalls geben Gleichung (65) für Fermentationen ohne Glucosezusatz und Gleichung (66) für Fermentationen mit Glucosezusatz. Die Extinktionszunahme wird in erster Linie von der Temperatur beeinflusst, wie auch die Kenndaten zur Varianzanalyse in Tabelle A 86 zeigen. Inokulum und Glucosegabe haben zwar einen Einfluss, gegenüber der im Quadrat in die die Extinktionszunahme beschreibenden mathematischen Modelle eingehenden Temperatur sind sie aber von geringer Bedeutung. Die Zunahme der Extinktion wird für Fermentationen ohne Glucosezusatz durch Gleichung (67) beschrieben, für solche mit Glucosezusatz durch Gleichung (68).

$$-\Delta pH = -0,56 + 0,024 * Temperatur[^\circ C] \quad (65)$$

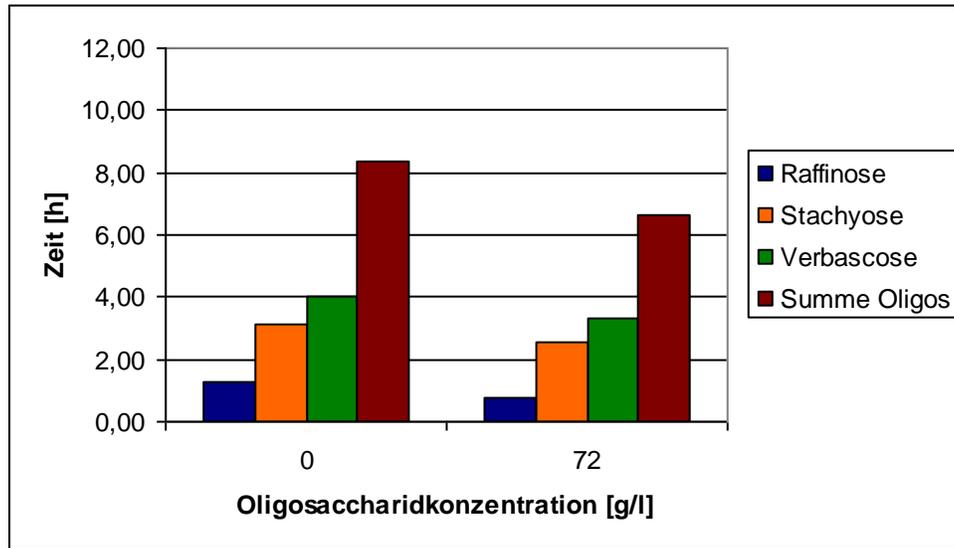
$$-\Delta pH = 0,026 + 0,024 * Temperatur[^\circ C] \quad (66)$$

$$\begin{aligned} \Delta Ext.(560nm) = & 1,94 - 0,13 * Temperatur[^\circ C] - 6,5 * 10^{-4} * Inokulum[Mio.Zellen / ml] \\ & + 2,2 * 10^{-3} * Temperatur[^\circ C]^2 \end{aligned} \quad (67)$$

$$\begin{aligned} \Delta Ext.(560nm) = & 1,93 - 0,13 * Temperatur[^\circ C] + 1,0 * 10^{-3} * Inokulum[Mio.Zellen / ml] \\ & + 2,2 * 10^{-3} * Temperatur[^\circ C]^2 \end{aligned} \quad (68)$$

Abbildung 30 zeigt die Anfangs- und Endkonzentrationen der unerwünschten Oligosaccharide Raffinose, Verbascose und Stachyose in den Fermentationen von Erbsenextrakt mit P 75. Insgesamt werden die Oligosaccharide im Mittel um ca. 20 % abgebaut, wobei Raffinose mit ca. 40 % relativ am stärksten abgebaut wird. Die durchschnittlichen Abbauwerte für die Summe der Oligosaccharide in den Fermentationen ohne Glucosezusatz sind denen in den Fermentationen mit Glucosezusatz nahezu gleich. Dementsprechend ist aus den Kenndaten der Varianzanalyse des Gesamtoligosaccharidabbaus (Tabelle A 94) ein hoher Einfluss der Temperatur und ein nur marginaler Einfluss von Inokulum und Glucosezusatz zu

erkennen. Diese beiden Faktoren sind aber aufgrund ihrer Wechselwirkung untereinander und mit der Fermentationstemperatur gleichwohl relevant. Auch für den Abbau der einzelnen Oligosaccharide ist die Fermentationstemperatur der einflussreichste Faktor (siehe Tabelle A 91 bis Tabelle A 93).



**Abbildung 30: Anfangs- und Endkonzentrationen an Oligosacchariden für die statistischen Fermentationen von Erbsenextrakt mit P 75**

Die statistische Auswertung der Fermentationen ergibt für den Abbau der drei einzelnen Oligosaccharide sowie für den Gesamtoligosaccharidabbau belastbare mathematische Modelle. Der Abbau der Raffinose wird durch Gleichung (69) und Gleichung (70), der Abbau der Stachyose durch Gleichung (71) und Gleichung (72), der Abbau der Verbascose durch Gleichung (73) und Gleichung (74) und der Gesamtoligosaccharidabbau durch Gleichung (75) und Gleichung (76) beschrieben. Dabei gelten die Gleichungen (69), (71), (73) und (75) für Fermentationen mit Zusatz von Glucose, die Gleichungen (70), (72), (74) und (76) für solche ohne Glucosezusatz.

$$\begin{aligned}
 -\Delta\text{Raffinose} &= -0,97 + 0,051 * \text{Temperatur} [^{\circ}\text{C}] \\
 &+ 9,0 * 10^{-3} * \text{Inokulum} [\text{Mio. Zellen} / \text{ml}] \\
 &- 3,4 * 10^{-4} * \text{Temperatur} [^{\circ}\text{C}] * \text{Inokulum} [\text{Mio. Zellen} / \text{ml}]
 \end{aligned} \tag{69}$$

$$\begin{aligned}
 -\Delta\text{Raffinose} &= -0,31 + 0,024 * \text{Temperatur} [^{\circ}\text{C}] + 0,013 * \text{Inokulum} [\text{Mio. Zellen} / \text{ml}] \\
 &- 3,4 * 10^{-4} * \text{Temperatur} [^{\circ}\text{C}] * \text{Inokulum} [\text{Mio. Zellen} / \text{ml}]
 \end{aligned} \tag{70}$$

$$\begin{aligned}
 -\Delta\text{Stachyose} &= -0,86 + 0,058 * \text{Temperatur}[\text{°C}] + 0,014 * \text{Inokulum}[\text{Mio.Zellen / ml}] \\
 &- 6,2 * 10^{-4} * \text{Temperatur}[\text{°C}] * \text{Inokulum}[\text{Mio.Zellen / ml}]
 \end{aligned}
 \tag{71}$$

$$\begin{aligned}
 -\Delta\text{Stachyose} &= -1,58 + 0,058 * \text{Temperatur}[\text{°C}] + 0,023 * \text{Inokulum}[\text{Mio.Zellen / ml}] \\
 &- 6,2 * 10^{-4} * \text{Temperatur}[\text{°C}] * \text{Inokulum}[\text{Mio.Zellen / ml}]
 \end{aligned}
 \tag{72}$$

$$\begin{aligned}
 -\Delta\text{Verbascose} &= -1,29 + 0,073 * \text{Temperatur}[\text{°C}] + 0,021 * \text{Inokulum}[\text{Mio.Zellen / ml}] \\
 &- 8,6 * 10^{-4} * \text{Temperatur}[\text{°C}] * \text{Inokulum}[\text{Mio.Zellen / ml}]
 \end{aligned}
 \tag{73}$$

$$\begin{aligned}
 -\Delta\text{Verbascose} &= -1,71 + 0,073 * \text{Temperatur}[\text{°C}] + 0,031 * \text{Inokulum}[\text{Mio.Zellen / ml}] \\
 &- 8,6 * 10^{-4} * \text{Temperatur}[\text{°C}] * \text{Inokulum}[\text{Mio.Zellen / ml}]
 \end{aligned}
 \tag{74}$$

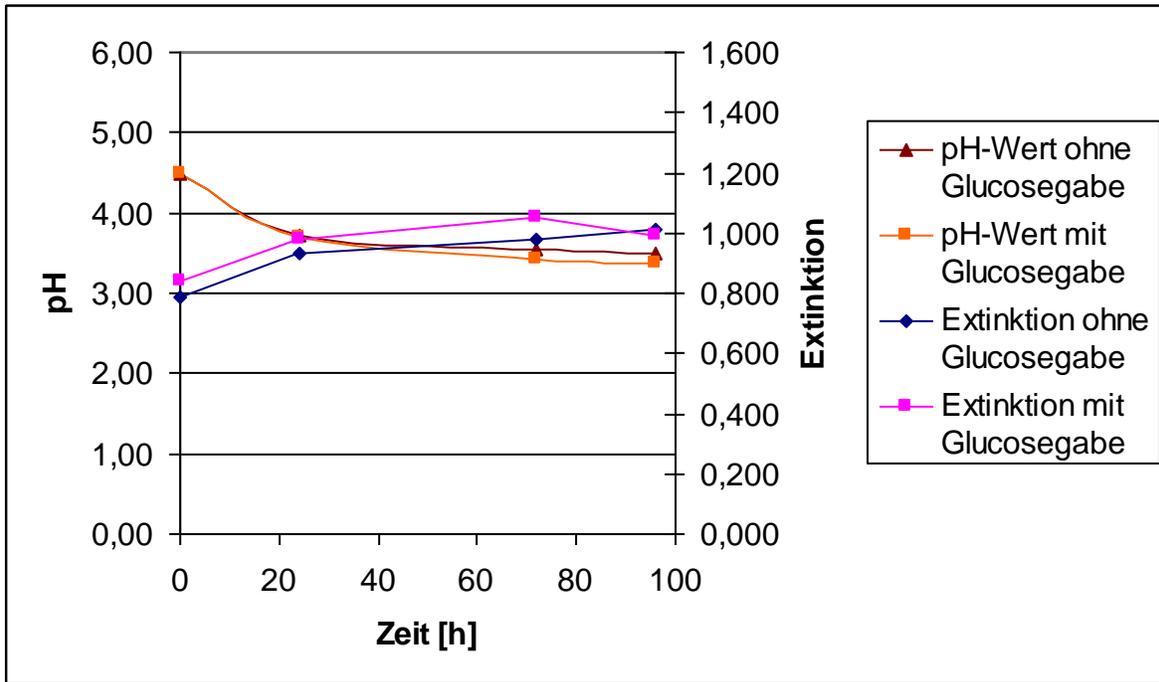
$$\begin{aligned}
 -\Delta\text{Oligos} &= -3,62 + 0,20 * \text{Temperatur}[\text{°C}] + 0,041 * \text{Inokulum}[\text{Mio.Zellen / ml}] \\
 &- 1,7 * 10^{-3} * \text{Temperatur}[\text{°C}] * \text{Inokulum}[\text{Mio.Zellen / ml}]
 \end{aligned}
 \tag{75}$$

$$\begin{aligned}
 -\Delta\text{Oligos} &= -2,87 + 0,13 * \text{Temperatur}[\text{°C}] + 0,062 * \text{Inokulum}[\text{Mio.Zellen / ml}] \\
 &- 1,7 * 10^{-3} * \text{Temperatur}[\text{°C}] * \text{Inokulum}[\text{Mio.Zellen / ml}]
 \end{aligned}
 \tag{76}$$

Die sensorische Bewertung der statistischen Fermentationen von Erbsenextrakt mit P 75 nach Kapitel 3.11.1 ergab einen leicht muffigen Geruch mit teilweise holzigen oder kaffeersatzartigen Noten. Der Geschmack der Fermentationschargen ohne Glucosezusatz war deutlich unreif, in den Chargen mit Glucosezusatz dominierte ein saurer Geschmackseindruck.

#### 4.1.2.6 Statistische Fermentation von Erbsenextrakt mit *P. pentosaceus* (P 113)

Tabelle A 2 im Anhang zeigt die Zuordnung der Probennummern in den statistischen Versuchen zu den Fermentationsparametern. Die Messwerte für die einzelnen Fermentationschargen über 96 h und die Auswertungen der Varianzanalysen der daraus errechneten mathematischen Modelle sind in Tabelle A 95 bis Tabelle A 104 gezeigt.

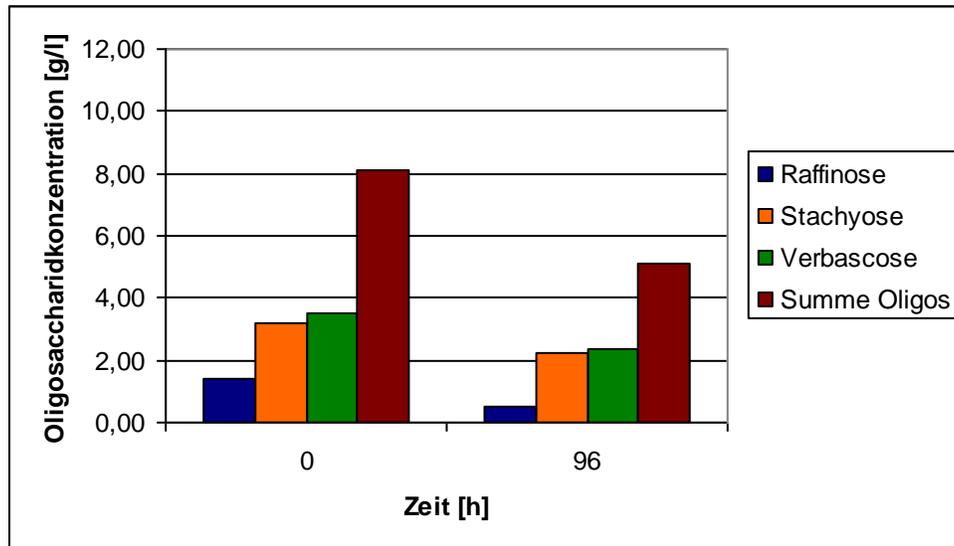


**Abbildung 31: Mittelwerte für pH und Trübung in den statistischen Fermentationen von Erbsenextrakt mit P 113**

Abbildung 31 zeigt den Verlauf der Mittelwerte von pH und Extinktion in den statistischen Fermentationen aufgeteilt nach solchen mit und solchen ohne Glucosezusatz. Insbesondere der Abfall des pH-Wertes ist für die Fermentationen mit und ohne Glucosezusatz sehr ähnlich. Die statistische Auswertung der Versuche im Hinblick auf den pH-Abfall (siehe Tabelle A 98) zeigt denn auch, dass keiner der variierten Eingangsfaktoren Fermentationstemperatur, Inokulum und Glucosezusatz einen signifikanten Einfluss auf den pH-Abfall bis zum Ende der Fermentation hat. Es ergibt sich somit als mathematisches Modell für den pH-Abfall eine Konstante. Die Extinktionszunahme und damit das Zellwachstum werden von der Fermentationstemperatur und dem Zusatz von Glucose signifikant beeinflusst, wie die Varianzanalyse der statistischen Auswertung in Tabelle A 96 zeigt. Mathematisch lässt sich die Extinktionszunahme für Fermentationen ohne Glucosezusatz durch Gleichung (77) und für solche mit Glucosezusatz durch Gleichung (78) beschreiben. Aus dem Vergleich der beiden Gleichungen lässt sich erkennen, dass sich die Glucosegabe nicht förderlich auf das Zellwachstum auswirkt.

$$\Delta Ext.(560nm) = 0,023 + 6,7 * 10^{-3} * Temperatur[^\circ C] \quad (77)$$

$$\Delta Ext.(560nm) = -0,043 + 6,7 * 10^{-3} * Temperatur[^\circ C] \quad (78)$$



**Abbildung 32: Anfangs- und Endkonzentrationen an Oligosacchariden für die statistischen Fermentationen von Erbsenextrakt mit P 113**

Abbildung 32 zeigt die Mittelwerte der Anfangs- und Endkonzentrationen der unerwünschten Oligosaccharide Raffinose, Stachyose und Verbascose sowie der Summe an Oligosacchariden in den statistischen Fermentationen von Erbsenextrakt mit P 113. Insgesamt werden die Oligosaccharide im Mittel um ca. 37 % abgebaut. Den relativ größten Abbau zeigt Raffinose mit über 60 %. Zwischen Fermentationen mit Glucosezusatz und solchen ohne gibt es kaum einen Unterschied im Abbau der Oligosaccharide. Dies kommt auch in den mathematischen Modellen zum Ausdruck, die sich aus der statistischen Auswertung sowohl des Abbaus der einzelnen Oligosaccharide als auch des Gesamtoligosaccharidabbaus ergeben (siehe Tabelle A 101 bis Tabelle A 104). In allen Fällen ist das Inokulum bzw. die Wechselwirkung zwischen Inokulum und Temperatur der wichtigste Einflussfaktor. Für den Abbau der Verbascose und den Gesamtoligosaccharidabbau ist das Inokulum sogar der einzige signifikante Einflussfaktor, wogegen Fermentationstemperatur und Glucosezusatz keinen Einfluss haben. Der Glucosezusatz ist auch für den Raffinose- und den Stachyoseabbau kein signifikanter Einflussfaktor, wodurch der Abbau aller Oligosaccharide jeweils durch nur eine Gleichung beschrieben werden kann, da die Unterscheidung nach Fermentationen ohne Glucosezusatz und solchen mit

Glucosezusatz entfällt. Den Abbau der Raffinose beschreibt Gleichung (79), den Abbau der Stachyose Gleichung (80), den Abbau der Verbascose Gleichung (81) und den Gesamtoligosaccharidabbau Gleichung (82).

$$\begin{aligned}
 -\Delta\text{Raffinose} &= -0,71 + 0,046 * \text{Temperatur}[\text{°C}] + 0,023 * \text{Inokulum}[\text{Mio.Zellen / ml}] \\
 &- 6,3 * 10^{-4} * \text{Temperatur}[\text{°C}] * \text{Inokulum}[\text{Mio.Zellen / ml}]
 \end{aligned}
 \tag{79}$$

$$\begin{aligned}
 -\Delta\text{Stachyose} &= -1,94 + 0,081 * \text{Temperatur}[\text{°C}] + 0,060 * \text{Inokulum}[\text{Mio.Zellen / ml}] \\
 &- 1,7 * 10^{-3} * \text{Temperatur}[\text{°C}] * \text{Inokulum}[\text{Mio.Zellen / ml}]
 \end{aligned}
 \tag{80}$$

$$-\Delta\text{Verbascose} = 0,57 + 0,011 * \text{Inokulum}[\text{Mio.Zellen / ml}]
 \tag{81}$$

$$-\Delta\text{Oligos} = 1,69 + 0,024 * \text{Inokulum}[\text{Mio.Zellen / ml}]
 \tag{82}$$

Die sensorische Bewertung der statistischen Fermentationen von Erbsenextrakt mit P 113 nach Kapitel 3.11.1 ergab einen in erster Linie nussigen Geruchseindruck. In den Fermentationen ohne Glucosezusatz kam teilweise ein muffiger Unterton hinzu. Der Geschmackseindruck der Fermentationen ohne Glucosezusatz war in erster Linie neutral und mild mit schwach saurer Note. In den Fermentationen mit Zusatz von Glucose war ein stark saurer, ansonsten neutraler Geschmack festzustellen.

## 4.2 Fermentationen im 5 l-Maßstab

### 4.2.1 Fermentationen von Lupineextrakt im 5 l-Maßstab

Die Messwerte für die einzelnen Fermentationen für Lupineproteinextrakt im 5 l-Maßstab sind in Tabelle A 105 bis Tabelle A 108 im Anhang dargestellt. Auffällig ist – wie schon in den statistischen Fermentationen ersichtlich – die sehr rasche und weitgehende pH-Absenkung durch L 1047. Diese ist in Abbildung 33 im Vergleich zum pH-Verlauf der anderen verwendeten Mikroorganismen abgebildet. Einen aus Sicht der mikrobiologischen Sicherheit ebenfalls akzeptablen pH-Abfall zeigt die Fermentation mit P 113. Dagegen geht die Absenkung des pH mit L 1150 nur sehr zögerlich vonstatten. In der Fermentation mit L 532 ist sogar zunächst ein Anstieg des pH-Wertes zu beobachten, was in guter Übereinstimmung mit den Beobachtungen in den statistischen Fermentationen ist (siehe Kapitel 4.1.1.2). Insgesamt erreichen weder L 1150, noch L 532 oder P 113 einen vergleichbar niedrigen pH-Wert wie L 1047.

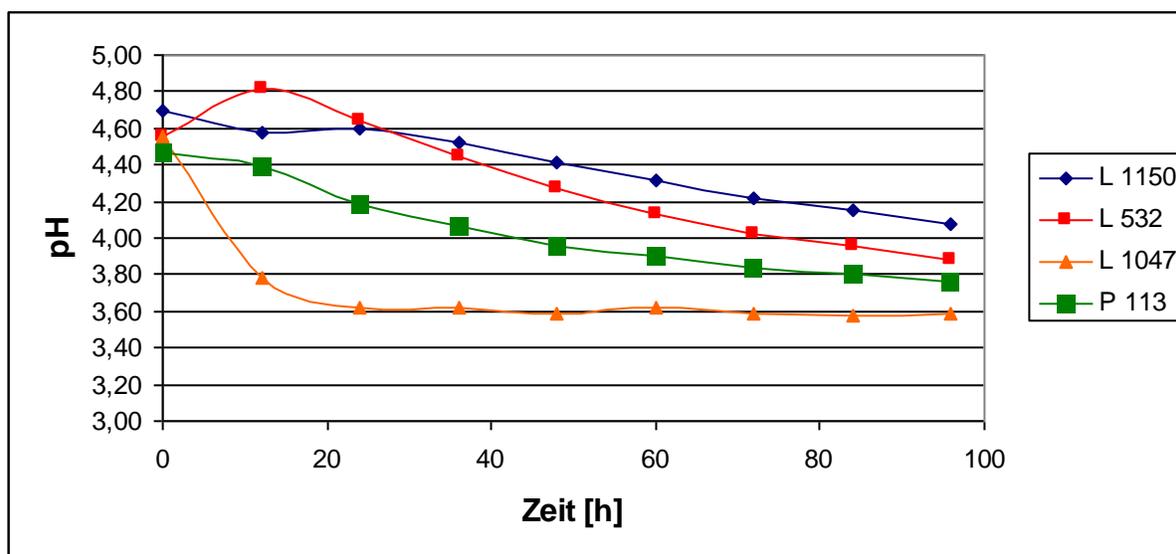
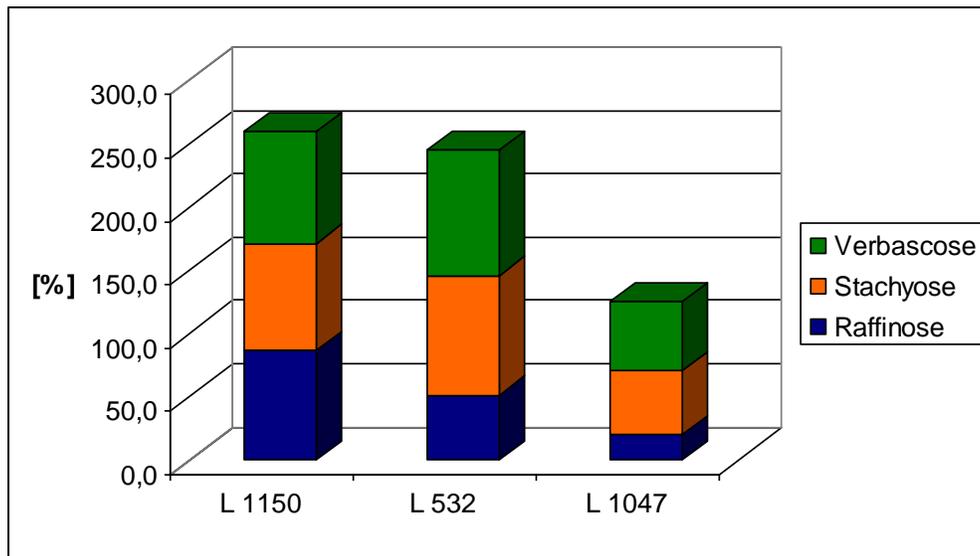


Abbildung 33: pH-Verlauf für Fermentationen von Lupineextrakt im 5 l-Maßstab

Den deutlichsten Abbau an Oligosacchariden zeigt ebenfalls L 1047. Allerdings fällt bei diesem Mikroorganismus auf, dass sowohl bei den Ausgangswerten für den Extrakt als auch bei den erreichten Endwerten nach der Fermentation der Wert für Verbascose im Vergleich zu den Werten für Raffinose und Stachyose ungewöhnlich hoch ist. Zwar sind die Peaks für Verbascose in den fraglichen HPAEC-PAD-Messungen in einem Fall

durch sog. Fronting und im anderen Fall durch sog. Tailing geprägt. Die im Anhang dargelegten Werte resultieren jedoch schon aus einer entsprechenden Bearbeitung der Peaks. Den schlechtesten Oligosaccharidabbau zeigt L 532. Für P 113 konnten keine auswertbaren HPAEC-Ergebnisse gewonnen werden. Abbildung 34 zeigt den prozentualen Anteil der einzelnen gemessenen Oligosaccharide gegenüber dem Ausgangsextrakt nach den Fermentationen von Lupineproteinextrakt im 5 l-Maßstab. Dabei entspricht der Ausgangswert jedes Oligosaccharids dem Wert 100%, wodurch sich die Gesamtskalierung auf 300% ergibt.



**Abbildung 34: Prozentualer Verbleib von Oligosacchariden nach Fermentation von Lupineextrakt im 5 l-Maßstab**

#### 4.2.2 Fermentationen von Erbsenextrakt im 5 l-Maßstab

Die Messwerte für die einzelnen Fermentationen für Erbsenproteinextrakt im 5 l-Maßstab sind in Tabelle A 109 bis Tabelle A 112 im Anhang dargestellt. Die Entwicklung der pH-Werte in den einzelnen Fermentationen ist in Abbildung 35 dargestellt. Aufgrund eines Ausfalls der Messeinrichtung liegen für L 532 keine pH-Werte für den Verlauf der Fermentation vor. Der nach der Fermentation mittels externer Messung festgestellte pH-Wert liegt bei 4,25. Insofern zeigte L 532 einen ungenügenden pH-Abfall, der so gering auch aufgrund der statistischen Versuche in Erbsenextrakt nicht zu erwarten war (vgl. Kap. 4.1.2.3). Für L 1047 wurde im 5 l-Maßstab versuchsweise auf eine Ansäuerung verzichtet, da dieser Mikroorganismus in den statistischen Versuchen (vgl. Kap. 4.1.1.3

und Kap. 4.1.2.4) einen ausgeprägt zügigen und weitgehenden pH-Sturz verursacht hat. Trotz des hohen Start-pH erreichte L 1047 auch in der 5 l-Fermentation in einer kurzen Zeit einen akzeptabel niedrigen pH.

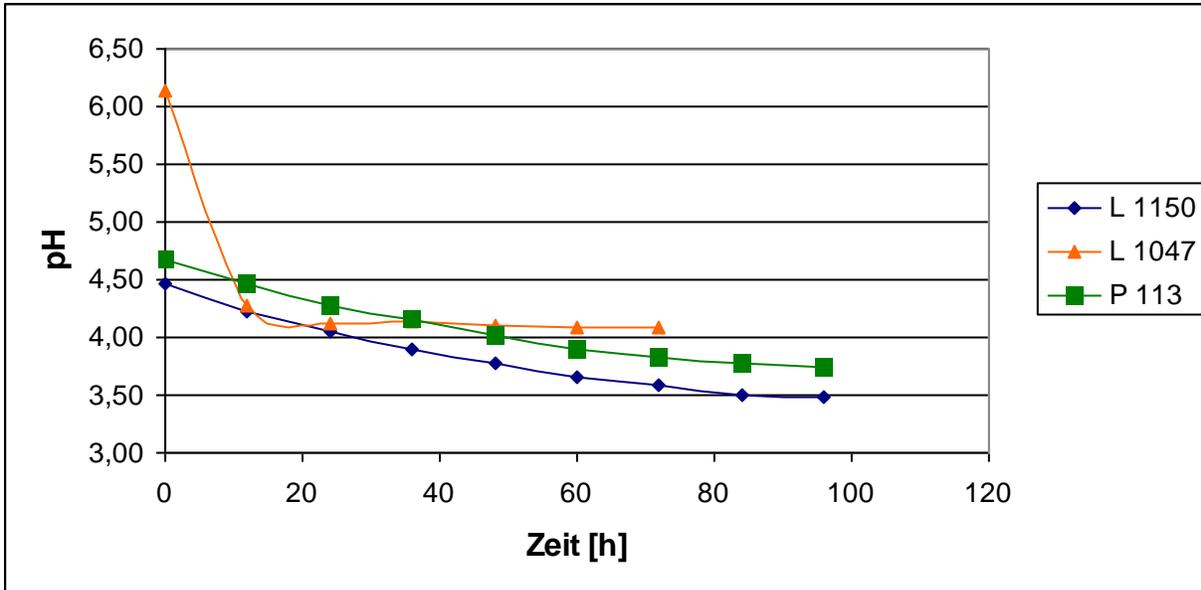
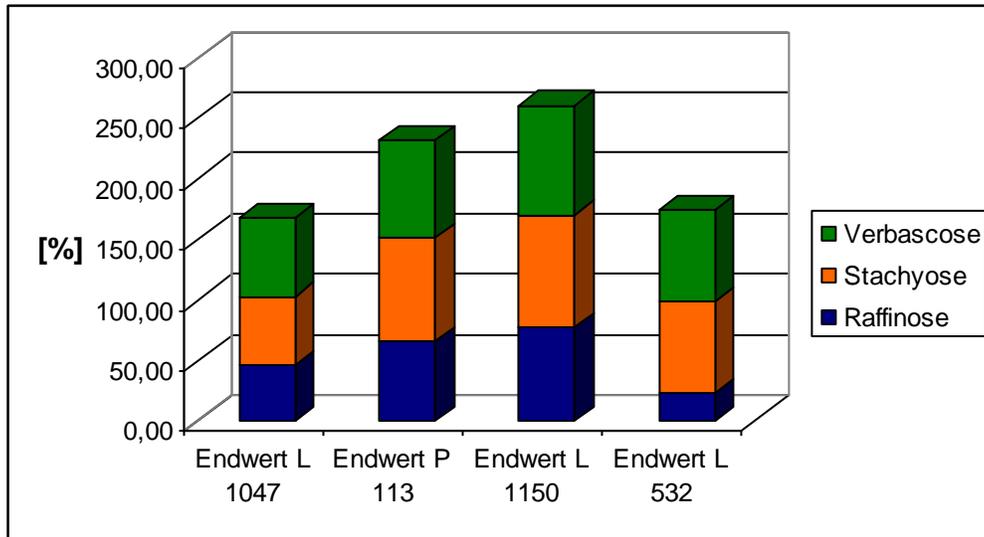


Abbildung 35: pH-Verlauf für Fermentationen von Erbsenextrakt im 5l-Maßstab

Abbildung 36 zeigt den prozentualen Anteil der einzelnen gemessenen Oligosaccharide gegenüber dem Ausgangsextrakt nach den Fermentationen von Erbsenproteinextrakt im 5 l-Maßstab. Dabei entspricht der Ausgangswert jedes Oligosaccharids dem Wert 100%, wodurch sich die Gesamtskalierung auf 300% ergibt. L 532 und L 1047 zeigen den besten Abbau von Oligosacchariden, L 532 baut in erster Linie Raffinose deutlich ab. Insgesamt ist der Abbau der Raffinose bei allen vier Mikroorganismen weitgehender als der Abbau der übrigen Oligosaccharide.



**Abbildung 36: Prozentualer Verbleib von Oligosacchariden nach Fermentation von Erbsenextrakt im 5 l-Maßstab**

#### 4.2.3 Schlussfolgerungen aus den Fermentationen im 5 l-Maßstab

Die Fermentationen im 5 l-Maßstab zeigen eine gute Reproduzierbarkeit gegenüber den statistischen Fermentationen. L 1047 zeigt sowohl bezüglich des pH-Abfalls als auch bezüglich des Abbaus von Oligosacchariden eine besondere Eignung zur Fermentation sowohl von Lupine- als auch von Erbsenproteinextrakt. L 532 erbringt in Erbsenextrakt einen guten Abbau der Oligosaccharide, in Lupineproteinextrakt ist der Abbau dagegen eher mangelhaft. Insgesamt ist L 532 aber schon aufgrund des schlechten pH-Sturzes aus mikrobiologischen Gründen ungeeignet, solch sensible Substrate wie Leguminosenproteinextrakte zu fermentieren. L 1150 zeigt zwar in Erbsenextrakt einen guten pH-Sturz, jedoch ist der pH-Abfall in Lupineextrakt nicht zufriedenstellend. Der Mikroorganismus baut sowohl in Lupineextrakt als auch in Erbsenextrakt nur in geringfügigem Maße Oligosaccharide ab. P 113 zeigt neben L 1047 die besten Eigenschaften eine zügige und weitgehende Senkung des pH-Wertes betreffend. Nachteilig ist der zumindest bei der Fermentation von Erbsenproteinextrakt nur geringfügige Abbau von Oligosacchariden.

Als Schlussfolgerung aus den Versuchen im 5 l-Maßstab ergibt sich die Auswahl von L 1047 und P 113 für die Versuche im 30 l-Maßstab.

### 4.3 Fermentationen im 30 l-Maßstab

#### 4.3.1 Fermentationen von Lupineextrakt im 30 l-Maßstab

Die Messwerte für die beiden im 30 l-Maßstab durchgeführten Fermentationen mit Lupineproteinextrakt sind in Tabelle A 113 und Tabelle A 114 im Anhang dargestellt. Bezüglich der pH-Verläufe ist der unerwartet niedrige pH-Abfall bei der Fermentation mit L 1047 bemerkenswert. Der pH-Abfall in der Fermentation mit P 113 fällt ebenfalls etwas niedriger aus als in den statistischen Fermentationen und in der entsprechenden Fermentation im 5 l-Maßstab. Der pH-Verlauf für die beiden Fermentationen ist in Abbildung 37 dargestellt.

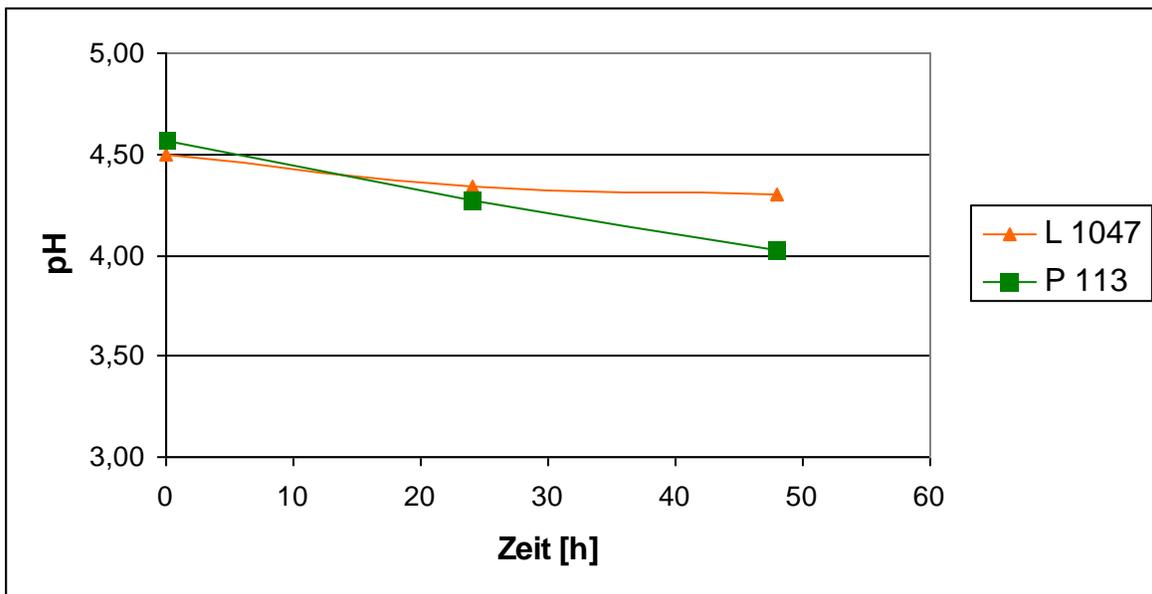


Abbildung 37: pH-Verlauf für Fermentationen von Lupineextrakt im 30 l-Maßstab

Abbildung 38 zeigt den prozentualen Anteil der einzelnen gemessenen Oligosaccharide gegenüber dem Ausgangsextrakt nach Fermentation von Lupineproteinextrakt mit L 1047 und P 113. Dabei entspricht der Ausgangswert jedes Oligosaccharids dem Wert 100 %, wodurch sich die Gesamtskalierung auf 300 % ergibt. Beide Mikroorganismen zeigen einen sehr guten Abbau von Oligosacchariden. Insgesamt wird der Oligosaccharidgehalt des Lupineproteinextraktes jeweils fast halbiert.

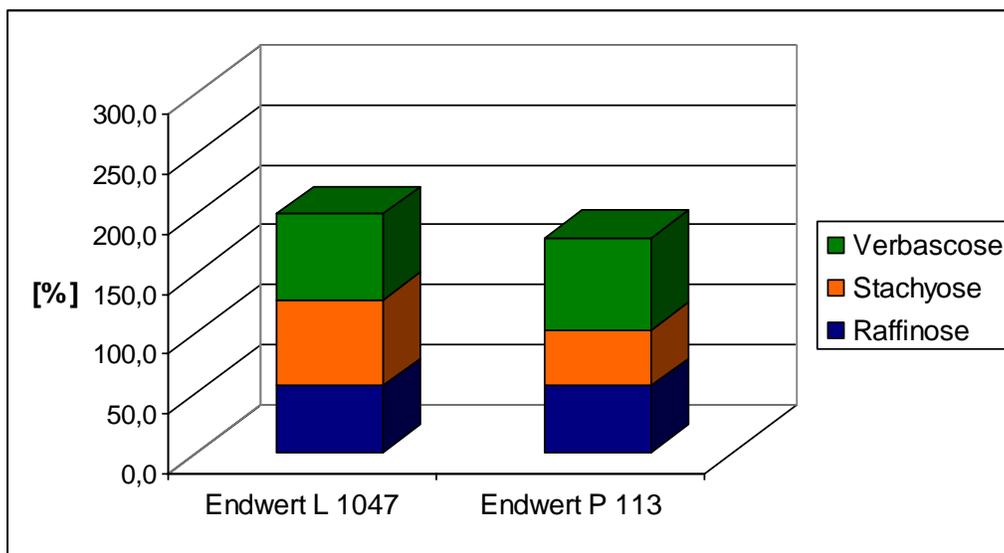


Abbildung 38: Prozentualer Verbleib von Oligosacchariden nach Fermentation von Lupineextrakt im 30 I-Maßstab

#### 4.3.2 Fermentationen von Erbsenextrakt im 30 I-Maßstab

Die Messwerte für die beiden im 30 I-Maßstab durchgeführten Fermentationen mit Erbsenproteinextrakt sind in Tabelle A 115 und Tabelle A 116 im Anhang dargestellt. Die beiden dafür verwandten Mikroorganismen L 1047 und P 113 zeigen jeweils einen guten pH-Abfall, wie in Abbildung 39 gezeigt ist. Der pH-Sturz bei L 1047 ist zügiger und weitgehender als bei P 113. Der Abbau unerwünschter Oligosaccharide durch P 113 erfolgt je nach Substanz zu 10 % bis 20 %. Der weitestgehende Abbau ist dabei für Raffinose zu verzeichnen. Einen Vergleich zwischen der Oligosaccharidkonzentration im Ausgangsextrakt und im mit P 113 fermentierten Erbsenextrakt zeigt Abbildung 40. Für L 1047 lieferte die HPAEC-PAD keine auswertbaren Daten.

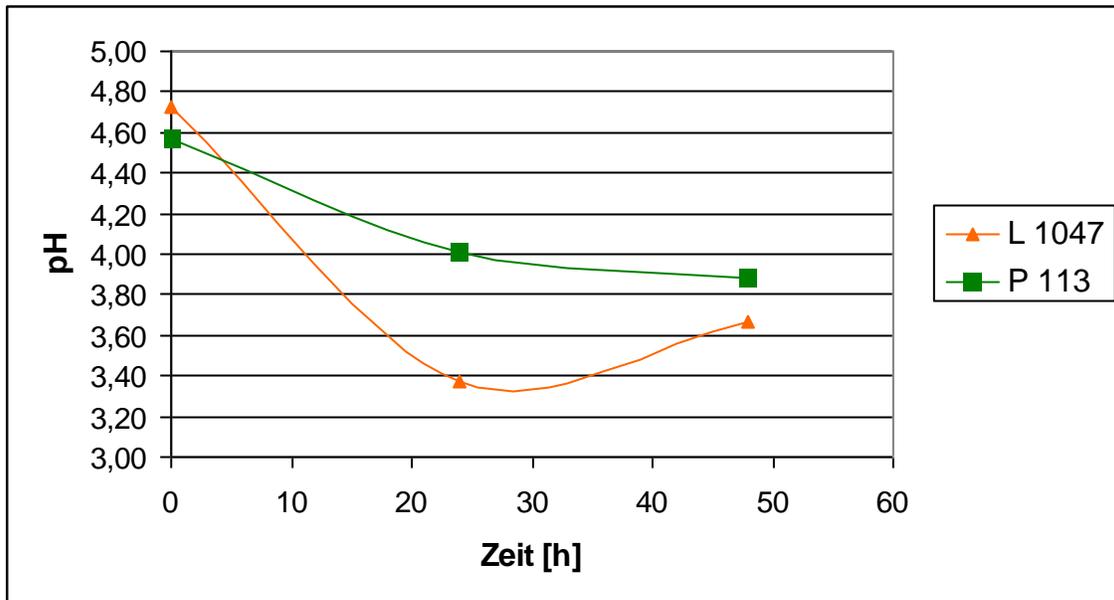


Abbildung 39: pH-Verlauf für Fermentationen von Erbsenextrakt im 30 l-Maßstab

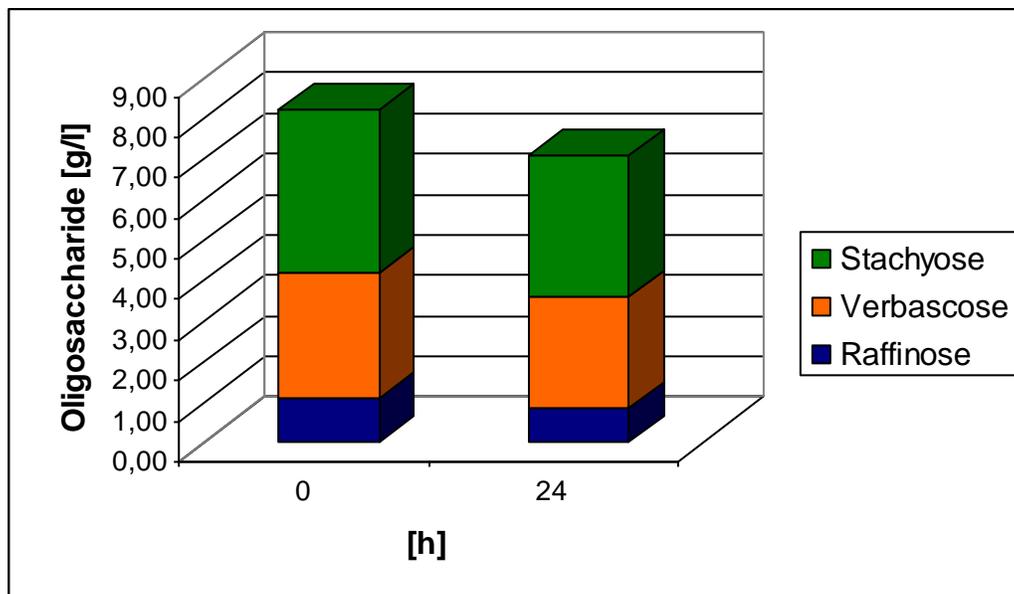


Abbildung 40: Oligosaccharidgehalt zu Beginn und zu Ende der Fermentation von Erbsenextrakt mit P 113 im 30 l-Maßstab

#### 4.3.3 Schlussfolgerungen aus den Fermentationen im 30 l-Maßstab

Die Versuche im 30 l-Maßstab zeigen, dass beide eingesetzten Mikroorganismen prinzipiell zur Fermentation von Leguminosenproteinextrakten geeignet sind. Die Fermentationen von Lupineproteinextrakten verliefen aus Sicht des Oligosaccharidabbaus zufriedenstellender als diejenigen von Erbsenproteinextrakten, wobei hier nur für P 113 eine Aussage getroffen werden kann. In einer

Gesamtbetrachtung über alle statistischen Versuche ebenso wie über die Versuche im 5 l- und 30 l-Maßstab lässt sich feststellen, dass L 1047 die deutlich zuverlässigsten Eigenschaften im Hinblick auf einen zügigen und weitgehenden pH-Sturz und ebenso im Hinblick auf einen weitgehenden Abbau der unerwünschten Oligosaccharide gezeigt hat. Als Schlussfolgerung daraus wird L 1047 im 500 l-Maßstab sowohl für die Fermentation von Lupineproteinextrakt als auch für die Fermentation von Erbsenproteinextrakt eingesetzt.

## 4.4 Fermentationen im 500 l-Maßstab

### 4.4.1 Fermentation von Lupineextrakt mit *L. plantarum* (L 1047) im 500 l-Maßstab

Die Messergebnisse für die Fermentation von Lupineproteinextrakt mit L 1047 im 500 l-Maßstab sind in Tabelle A 117 im Anhang dargestellt. Die Versuche im 500 l-Maßstab unterlagen jeweils einem sehr engen Zeitplan. Die notwendige Menge Extrakt musste zunächst am Fraunhofer IVV hergestellt und auf den erforderlichen pH von 4,5 eingestellt werden, wurde dann durch die Betriebstechnik an den Lehrstuhl für Technologie der Brauerei (heute Lehrstuhl für Brau- und Getränketechnologie) transportiert, dort pasteurisiert und fermentiert, wiederum durch die Betriebstechnik an das Fraunhofer IVV zurücktransportiert und dort nach Rückstellen des pH auf 7,0 sprühgetrocknet. Deshalb und um unter für die Industrie realistischen, d.h. möglichst wirtschaftlichen Bedingungen zu fermentieren, wurde die Fermentationsdauer von vornherein auf 48 h festgelegt. Aufgrund der gewählten Anlagenkonfiguration (siehe Kapitel 3.5.2) war zudem die Pasteurisierung sehr zeitintensiv. Dies alles führt dazu, dass die Fermentationen nur über jeweils 40 h messtechnisch erfasst wurden.

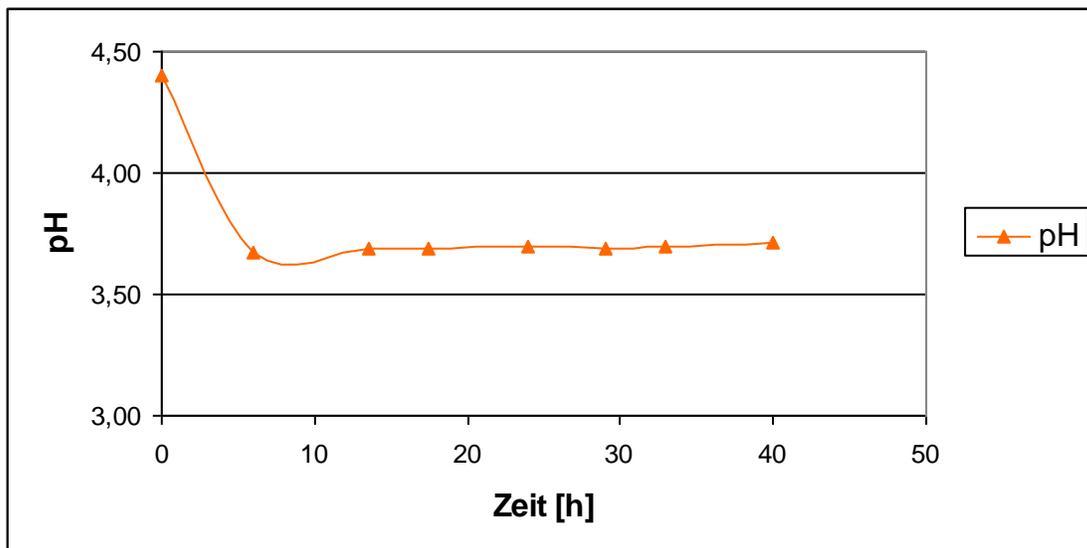


Abbildung 41: pH-Verlauf für die Fermentation von Lupineextrakt im 500 l-Maßstab

Abbildung 41 zeigt den Verlauf des pH-Wertes über die Fermentationsdauer. Wie schon in den vorangegangenen Versuchen mit L 1047 sinkt der pH-Wert sehr zügig ab.

Allerdings wird in diesem Maßstab nur ein pH von 3,7 erreicht. Ein Abbau der unerwünschten Oligosaccharide Raffinose, Verbascose und Stachyose findet zwar statt, ist aber gegenüber den Fermentationen in kleineren Maßstäben geringfügiger. Insgesamt werden 25 % der Oligosaccharide gemessen am Gehalt des Ausgangsextraktes abgebaut. Am deutlichsten fällt dieser Abbau für Raffinose aus, welche zu über 50 % abgebaut wird. Der Verlauf der Konzentration an den gemessenen Oligosacchariden ist in Abbildung 42 dargestellt.

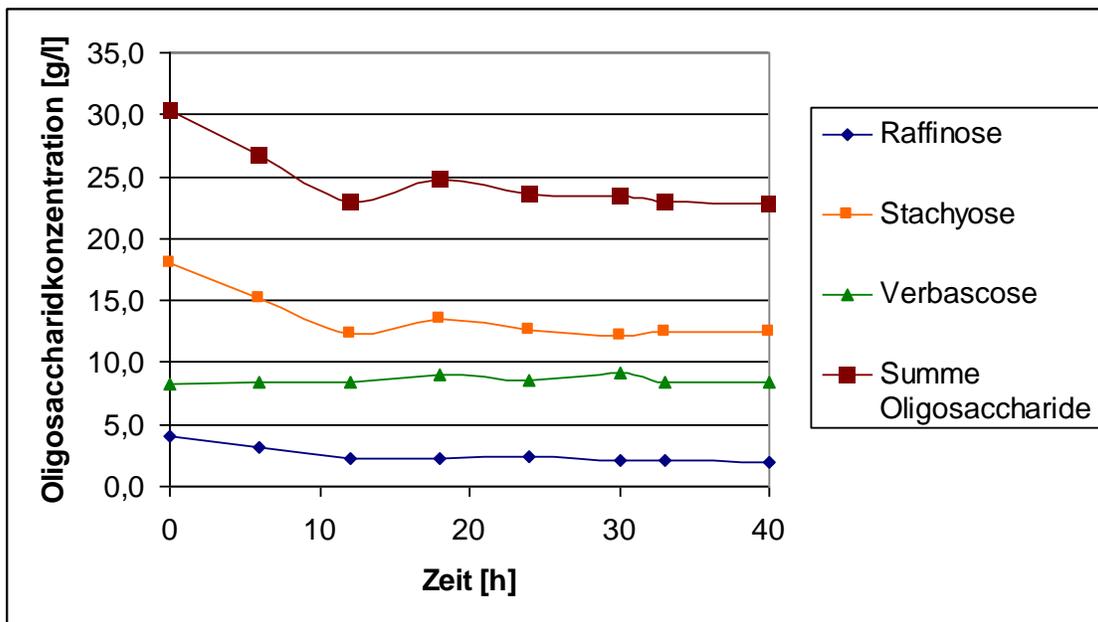


Abbildung 42: Verlauf der Oligosaccharidkonzentration in der Fermentation von Lupineextrakt mit L 1047 im 500 l-Maßstab

#### 4.4.2 Fermentation von Erbsenextrakt mit *L. plantarum* (L 1047) im 500 l-Maßstab

Die Messergebnisse für die Fermentation von Erbsenproteinextrakt mit L 1047 im 500 l-Maßstab sind in Tabelle A 118 im Anhang dargestellt. Wie in Kapitel 4.4.1 näher erläutert, wurde die Fermentation nur für die Dauer von 40 h messtechnisch erfasst. Abbildung 43 zeigt den Verlauf des pH-Wertes während der Fermentation. Der pH-Sturz setzt hier erst sehr spät ein, was für L 1047 gemessen an den vorangegangenen Fermentationen in kleineren Maßstäben ungewöhnlich ist. Ebenso ungewöhnlich ist es, dass ein Abbau der unerwünschten Oligosaccharide in diesem Maßstab nicht stattfindet.

Der Verlauf der Konzentrationen an den gemessenen Oligosacchariden über die Fermentation ist in Abbildung 44 dargestellt.

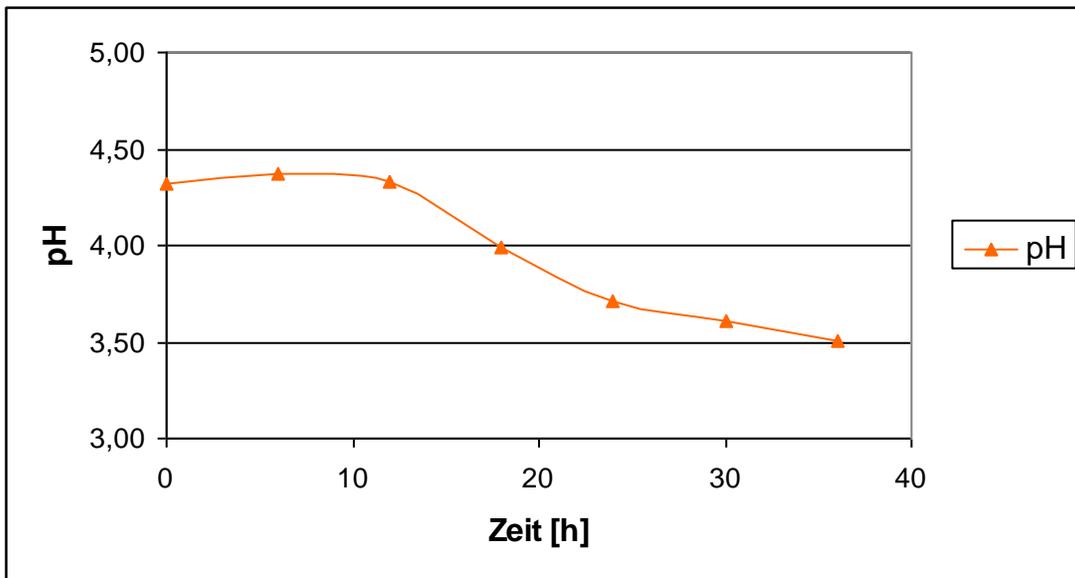


Abbildung 43: pH-Verlauf für die Fermentation von Erbsenextrakt im 500 l-Maßstab

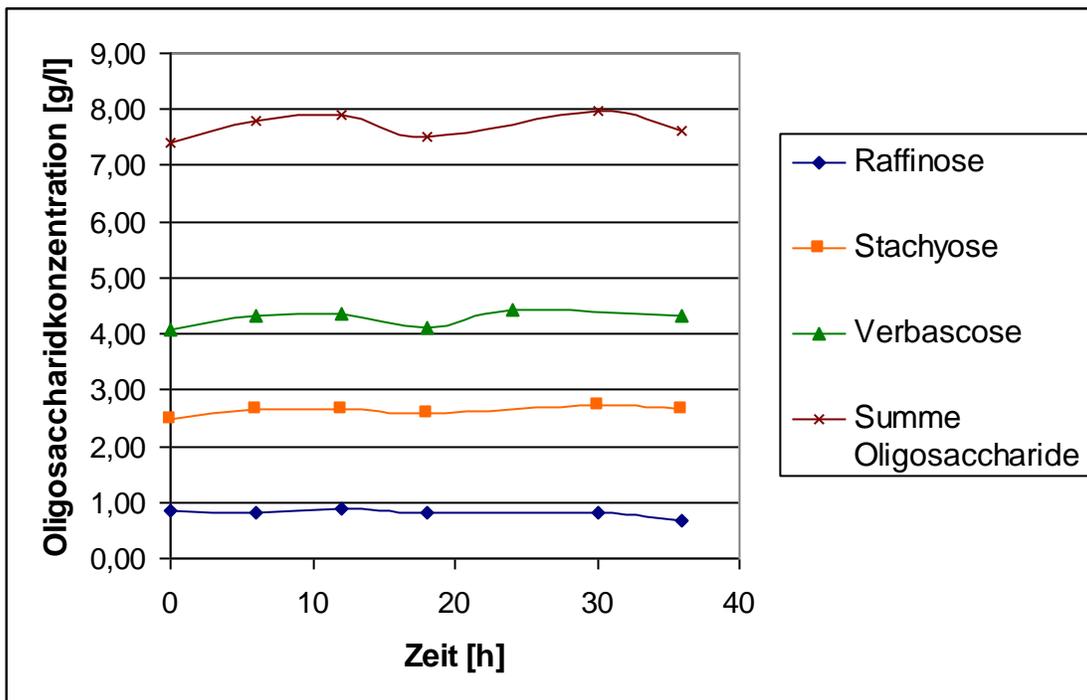


Abbildung 44: Verlauf der Oligosaccharidkonzentration in der Fermentation von Erbsenextrakt mit L 1047 im 500 l-Maßstab

#### **4.5 Sensorische Bewertung der fermentierten Extrakte aus den Up-Scale-Versuchen**

Für die verschiedenen Mikroorganismen konnten in den Verkostungen des gemeinsamen Panels von Fraunhofer IVV und Lehrstuhl für Technologie der Brauerei I (heute Lehrstuhl für Brau- und Getränketechnologie) nur geringfügige Unterschiede in Geschmack und Geruch der fermentierten Extrakte festgestellt werden. Deutliche Unterschiede zeigten sich bei Lupineextrakt in der Textur. Tendenziell am besten schnitten für Lupineextrakt die Stämme L 1047 und P 113 ab. Für Erbsenextrakt konnte in dem mit L 532 fermentierten Extrakt die geringste Intensität unreifer, grüner Noten festgestellt werden, dafür herrschte jedoch eine pappige Geschmacksnote vor. Zwischen den übrigen Extrakten gab es im Verkosterpanel keine mikroorganismenspezifische Präferenz. Eine Lagerung sprühgetrockneter Proben fermentierten Extraktes aus Fermentationen von L 1047 über 12 Wochen bei 20 °C und 37 °C zeigte keine negative Beeinflussung des sensorischen Profils gegenüber dem fermentierten Extrakt. Im Detail sind diese Ergebnisse im Forschungsbericht zum AiF-Projekt 15045 N dargestellt [2]. Es lässt sich festhalten, dass die positive Beeinflussung von Geruch und Geschmack der Proteinextrakte sowohl für Lupine als auch für Erbse erfolgreich war.

#### **4.6 Bewertung der Proteinfunktionalitäten der fermentierten Extrakte**

Technofunktionelle Eigenschaften der fermentierten Proteinextrakte und die Proteinausbeuten des Gesamtverfahrens sind ausführlich im Forschungsbericht zum AiF-Projekt 15045 N dargestellt [2]. Insgesamt kann für die Fermentationen mit L 1047 festgestellt werden, dass die untersuchten technofunktionellen Eigenschaften der Proteinextrakte auch nach Ansäuerung, Pasteurisation und Fermentation der Extrakte weitgehend erhalten blieben. Dies gilt für die Versuchsläufe im 5 l-Maßstab ebenso wie für die weiteren Upscale-Schritte im 30 l- und 500 l-Maßstab. Ebenso ließ sich die Proteinausbeute der 5 l-Verfahren auch in größeren Maßstäben reproduzieren.

## 4.7 Versuche zur Keimzahlreduzierung

### 4.7.1 Pasteurisationsversuche

Abbildung 45 zeigt die erreichte Keimzahlreduzierung mit den verschiedenen untersuchten Pasteurisationsverfahren. Ab einer Pasteurisationstemperatur von 72 °C kann die Keimzahlreduktion durch die Erhöhung von Temperatur, Verweilzeit oder einer Kombination aus beiden Parametern nicht mehr wesentlich gesteigert werden. Dies gilt auch für Verfahren mit zweimaliger Pasteurisation und zwischenzeitlicher Lagerung. In allen diesen Verfahren wird die Keimzahl um ca. drei Zehnerpotenzen bezogen auf den Ausgangsextrakt reduziert. Bei 65 °C und einer Temperaturhaltezeit von 30 min lässt sich die Keimzahl dagegen nur um zwei Zehnerpotenzen reduzieren.

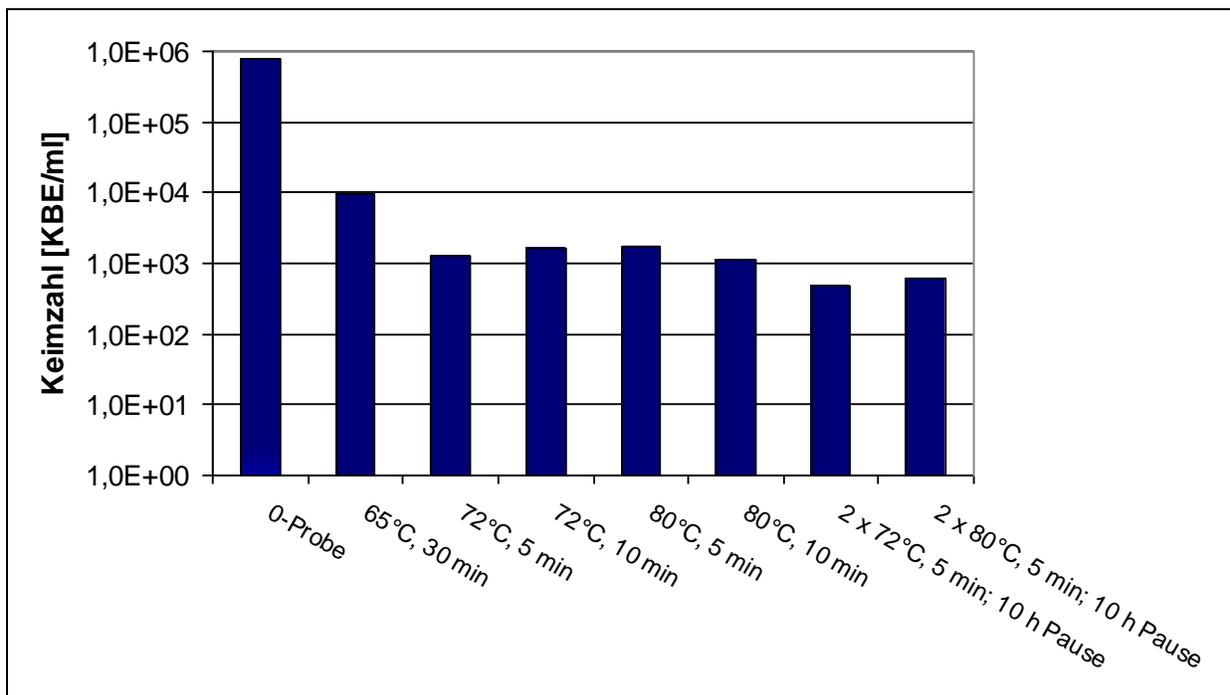


Abbildung 45: Keimzahlreduzierung durch verschiedene Verfahren zur thermischen Behandlung

Um dennoch bei 65 °C und somit mit möglichst geringer thermischer Belastung pasteurisieren zu können, wurde der Einfluss eines verringerten pH-Wertes auf die Keimzahlreduktion in einem Pasteurisationsverfahren bei 65 °C mit einer Temperaturhaltezeit von 30 min untersucht. Die Ergebnisse dieser Versuchsreihe sind in Abbildung 46 dargestellt. Es zeigt sich, dass bei einer pH-Absenkung auf pH 5 oder

darunter eine Keimzahlreduktion in der Größenordnung von drei Zehnerpotenzen auch mit dem gewählten Pasteurisationsverfahren möglich ist. Eine Absenkung des pH auf unter 5 hat keine weitere positive Auswirkung auf die Keimzahlreduktion.

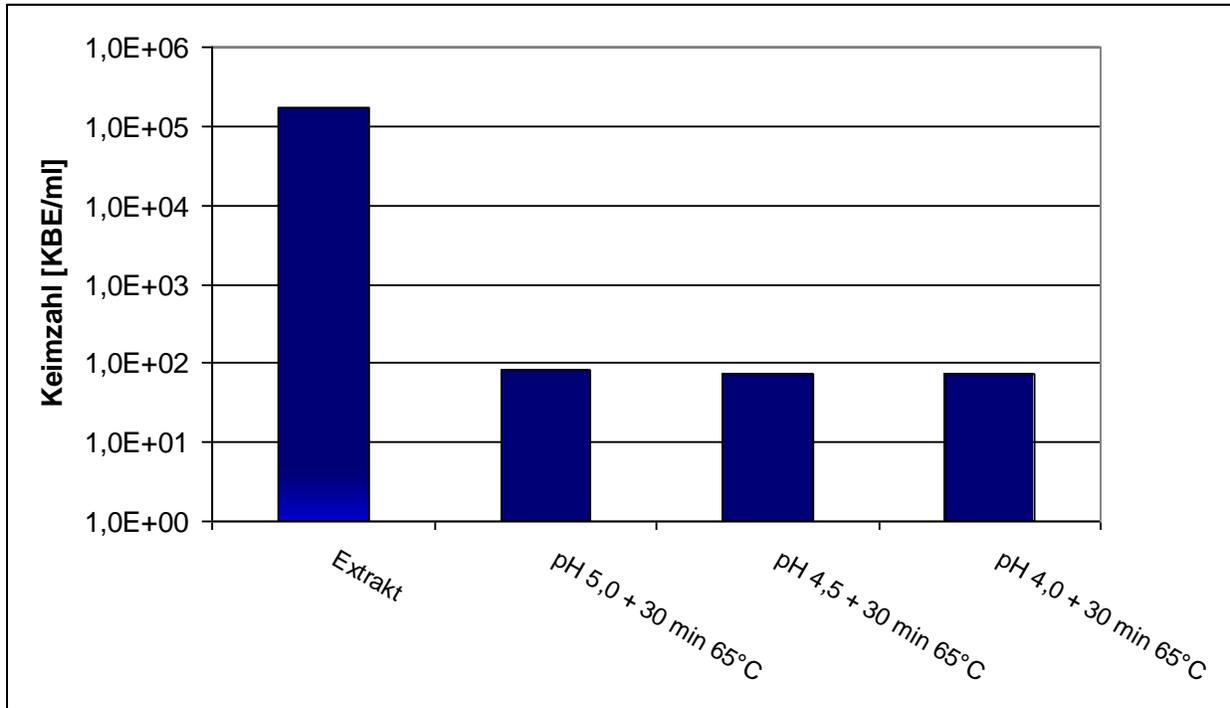


Abbildung 46: pH-Abhängigkeit der Pasteurisation bei 65°C

#### 4.7.2 Versuche zur Ultrahoherhitzung

Die Versuche zur Ultrahoherhitzung lieferten mikrobiologisch nicht auswertbare Extrakte. Schon nach den in der Versuchsreihe angewandten extrem kurzen Heißhaltzeiten waren die im Extrakt enthaltenen Proteine derartig denaturiert, dass eine einigermaßen homogene Probenahme zur Keimzahlbestimmung nicht mehr möglich war. Da es überdies eine Nebenbedingung für die Entwicklung eines praxistauglichen Fermentationsverfahren für Lupine- und Erbsenproteinextrakt ist, dass die Funktionalität der Proteine weitestgehend erhalten bleiben soll, wurden die Versuche zur Ultrahoherhitzung nach dieser Versuchsreihe nicht weiter verfolgt.

#### 4.8 Versuche zur Nutzung fermentierten Extraktes als Inokulum

Für alle Mikroorganismen konnten in den Versuchen zur wiederholten Inokulierung von Lupineextrakt mit bereits fermentiertem Extrakt Erntefaktoren zwischen 50 und 5000 realisiert werden. Beispielhaft ist die Entwicklung der Erntezellzahl bei gleichbleibendem Inokulum von 10 Mio. Zellen/ml für L 1047 in Abbildung 47 dargestellt. Die durchgeführten Versuchsreihen zeigen, dass dieses Verfahren, zu fermentierendes Substrat mit bereits fermentiertem Substrat zu inokulieren, für die Fermentation von Lupineextrakt praxistauglich ist.

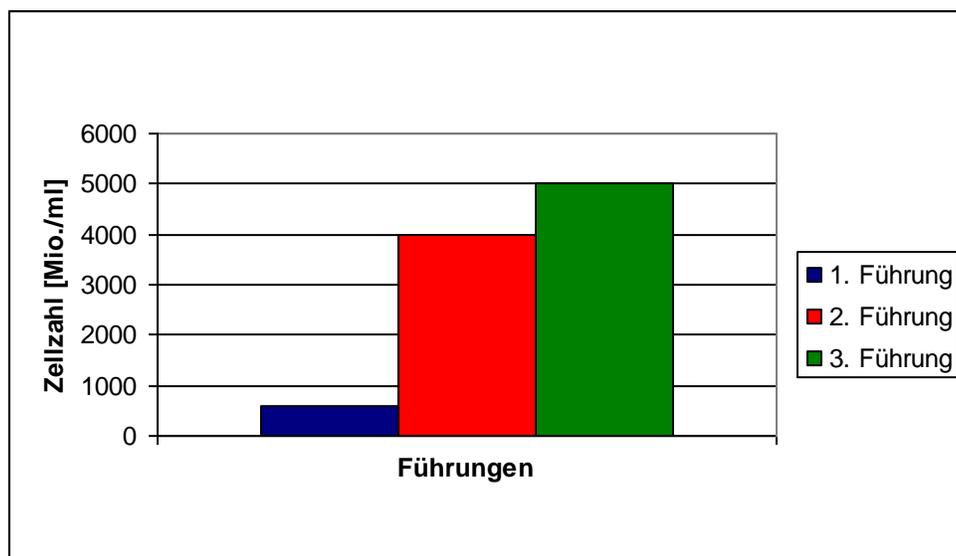


Abbildung 47: Entwicklung der Erntezellzahl über drei Führungen bei gleich bleibendem Inokulum für L 1047

#### 4.9 Zusammenfassende Betrachtung der Ergebnisse

Die Zielsetzung der im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Versuche war die Entwicklung eines praxistauglichen Verfahrens zur fermentativen Umsetzung von Erbsen- und Lupineproteinextrakten zur geschmacklichen Verbesserung und zum Abbau der darin enthaltenen Oligosaccharide. Der Oligosaccharidabbau war insbesondere in Lupineextrakt von sehr großer Bedeutung, da hier in den Extrakten sehr hohe Oligosaccharidgehalte selbst gegenüber der Rohfrucht vorhanden waren. Um die gesteckten Ziele zu erreichen, wurden verschiedene Mikroorganismenstämme und verschiedene Fermentationsparameter in ihrer Wirkung auf das resultierende

Fermentationsprodukt überprüft. Eine wichtige Nebenbedingung bestand im weitgehenden Erhalt der funktionellen Eigenschaften der darin enthaltenen Proteine als wertgebenden Bestandteilen der Extrakte.

Aufgrund der mikrobiologischen Grundbelastung des Extraktes war eine thermische Behandlung der Extrakte vor der Fermentation notwendig. Die dazu durchgeführten Versuche ergaben, dass eine Pasteurisierung der Extrakte bei 65 °C bei einer Temperaturhaltezeit von 30 min innerhalb des jeweiligen Fermentationsgefäßes nach Ansäuerung mit HCl auf pH 4,5 mit einer Keimzahlreduktion um ca. 3 Zehnerpotenzen eine hinreichende mikrobiologische Sicherheit liefert (siehe Abbildung 45 und Abbildung 46).

*L. amylolyticus* (TL 5) zeigt in Erbsenextrakt einen sehr guten pH-Sturz, sowohl in ungezuckerten als auch in gezuckerten Extrakten. Die Entwicklung des pH-Wertes hängt in erster Linie von der Fermentationstemperatur ab. Eine Erhöhung der Fermentationstemperatur innerhalb des untersuchten Bereiches verstärkt den pH-Abfall. Die Trübungszunahme ist nur schwach ausgeprägt. Die unerwünschten Oligosaccharide werden im Mittel der statistischen Versuche zu ca. 38 % abgebaut. Sensorisch kann TL 5 nicht überzeugen, da unreife Noten zumindest unterschwellig vorhanden sind. Wie in den Grundlagen ausgeführt hat *L. amylolyticus* sein Temperaturoptimum zwischen 45 °C und 48 °C. Er ist daher im gewählten Temperaturspektrum nicht optimal eingesetzt. Für die Temperaturwahl gaben allerdings andere technologische Erwägungen (Vermeidung von Oxidationsvorgängen, Erhaltung der Technofunktionalität der Proteine, geringer Energieeinsatz) den Ausschlag.

*L. paracasei* (L 1150) zeigt sowohl in Erbsen- als auch in Lupineextrakt nur unter Zusatz von Glucose zum Extrakt einen befriedigenden pH-Abfall unter pH 4. Auch das Zellwachstum wird durch Zusatz von Glucose deutlich erhöht. Ein Abbau von Oligosacchariden erfolgt nur in Lupineextrakt zu immerhin ca. 25 % im Mittel der statistischen Fermentationen, in Erbsenextrakt erfolgt durch die Fermentation teilweise sogar eine Erhöhung der Konzentration der gemessenen Oligosaccharide. Eine mögliche Erklärung wäre das anfängliche Vorhandensein höhermolekularer Oligosaccharide ähnlicher Grundstruktur (z.B. Ajugose), die im Verlaufe der Fermentation abgebaut werden, deren Abbauprodukte dann aber nicht mehr im gleichen

Maße verstoffwechselt werden. Sensorisch akzeptabel sind für Lupine- und Erbsenproteinextrakt gleichermaßen nur die Fermentationen unter Zusatz von Glucose. Die Fermentationen der ungezuckerten Extrakte liefern Produkte mit fauligen Geruchs- und Geschmacksnoten.

*L. perolens* (L 532) zeigt in ungezuckerten Lupine- und Erbsenproteinextrakten nur einen langsamen und unzureichenden pH-Abfall. Die Trübungszunahme wird durch Zusatz von Glucose ebenfalls entschieden erhöht. Die unerwünschten Oligosaccharide werden im Mittel der Fermentationen um 25 % reduziert. Sensorisch ist in den Fermentationen von Lupineproteinextrakt ein ausgeprägter Diacetylgeschmack feststellbar, wobei die ungezuckerten Proben reiner im Geschmack sind. Die Fermentationen von Erbsenproteinextrakt führen zu Produkten mit schwarzteeartigem, insgesamt sehr angenehmem Geschmack.

*L. plantarum* (L 1047) zeigt sowohl in Lupine- als auch in Erbsenproteinextrakt auch bei ungezuckerten Extrakten einen hinreichenden und zügigen pH-Abfall und eine deutliche Zunahme der Extinktion. Unerwünschte Oligosaccharide werden in beiden Extrakten im Mittel der Fermentationen um ca. 40 % reduziert. Die Fermentation mit L 1047 führt zu Produkten mit saurem, ansonsten neutralen Geschmackseindruck. Der Geruchseindruck variiert nach Extraktart und geht für Lupineproteinextrakte in eine buttermilch- bzw. kefirartige Richtung und für Erbsenproteinextrakt in eine eher heu- oder strohartige Richtung.

*P. acidilactici* (P 75) zeigt in ungezuckerten Lupine- und Erbsenproteinextrakten nur einen langsamen und unzureichenden pH-Abfall. Die Extinktionszunahme und damit das Zellwachstum wird durch den Zusatz von Glucose zum zu fermentierenden Extrakt positiv beeinflusst. In Lupineproteinextrakt findet nur bei Extrakten ohne Glucosezusatz überhaupt ein Abbau der unerwünschten Oligosaccharide statt. Die Fermentationen von Lupineproteinextrakt unter Zusatz von Glucose führen dagegen zu einer Erhöhung der Konzentration an Oligosacchariden. Wie bereits für L 1150 ausgeführt wäre eine mögliche Erklärung das Vorhandensein und der Abbau von Ajugose oder anderen, höhermolekularen Oligosacchariden. In Erbsenextrakt findet ein Abbau der Oligosaccharide von 20 % im Mittel der Fermentationen statt. Sensorisch gesehen führen die Fermentationen mit P 75 nicht zu akzeptablen Produkten. Hier herrschen muffige und unreife Geruchs- und Geschmackseindrücke vor. Wie in den Grundlagen ausgeführt ist *P. acidilactici* sehr temperaturtolerant und zeigt erst ab Temperaturen über 52 °C kein

Wachstum mehr. Er ist daher im gewählten Temperaturspektrum nicht optimal eingesetzt. Die Wahl der Temperatur ist aber aus technologischen Gründen (s.o.) auf einen niedrigeren Bereich gefallen.

*P. pentosaceus* (P 113) zeigt sowohl in Lupine- als auch in Erbsenproteinextrakt auch bei ungezuckerten Extrakten einen hinreichenden und zügigen pH-Abfall und eine deutliche Zunahme der Extinktion. Er liefert damit zusammen mit L 1047 die höchste technologische Sicherheit im Hinblick auf die mikrobiologisch reine und saubere Führung der Fermentation. Ein Abbau der unerwünschten Oligosaccharide erfolgt in Lupine- und Erbsenproteinextrakt im Mittel der Fermentationen um 36 % bzw. um 37 %. Sensorisch führt die Fermentation mit P 113 bei Lupineproteinextrakt zu stark diacetylartigen und sauren Geruchs- und Geschmacksnoten, bei Erbsenproteinextrakt zu neutralen und sauren Produkten.

Aufgrund der guten Fermentationseigenschaften, des weitgehenden Oligosaccharidabbaus und der zufriedenstellenden sensorischen Ergebnisse wurden L 1047 und P 113 für die Versuche im 5 l-Maßstab ausgesucht. L 532 wurde aufgrund der angenehmen sensorischen Eigenschaften ebenfalls ausgesucht. Zusätzlich wurden im 5 l-Maßstab Fermentationen mit L 1150 durchgeführt.

Die Fermentationen im 5 l-Maßstab zeigen eine gute Reproduzierbarkeit gegenüber den statistischen Fermentationen. Wie schon in den statistischen Versuchen zeigten auch hier L 1047 und P 113 sowohl im Hinblick auf die Fermentationsführung als auch bezüglich des Abbaus von Oligosacchariden besonders gute Fermentationseigenschaften. L 532 und L 1150 zeigen in diesem Maßstab in beiderlei Hinsicht keine vergleichbar gute Eignung zur Fermentation von Leguminosenproteinextrakten. Als Schlussfolgerung aus den Versuchen im 5 l-Maßstab ergibt sich die Auswahl von L 1047 und P 113 für die Versuche im 30 l-Maßstab.

Diese beiden Mikroorganismen liefern auch im 30 l-Maßstab Fermentationen, deren Verläufe und Fermentationsprodukte mit denen in kleinerem Maßstab vergleichbar sind.

In der Gesamtbetrachtung von den statistischen Fermentationen bis zu den Fermentationen im 30 l-Maßstab liefert L 1047 die besten Ergebnisse. Die Fermentationen sind mikrobiologisch einwandfrei, technologisch gut beherrschbar und

liefern sensorisch ansprechende Produkte. Diese Ergebnisse konnten mit L 1047 auch im semi-industriellen Maßstab (500 l) verifiziert werden.

Der Anspruch der weitgehenden Erhaltung der Proteinfunktionalität konnte erfüllt werden. Ebenso wurden die im Rahmen dieser Arbeit fermentierten Produkte erfolgreich in Lebensmitteln (z. B. Mayonnaise) eingesetzt [2].

## 5 Zusammenfassung

Proteine haben in Lebensmitteln sowohl ernährungsphysiologische als auch technologische Funktionen. Der Einsatz von Proteinpräparaten als Zusatz von Lebensmitteln ist daher weit verbreitet. Dabei kommen auch pflanzliche Proteinpräparate zum Einsatz, häufig als Ersatz für tierisches Protein. Leguminosen stellen aufgrund ihres hohen Eiweißgehaltes eine gute Quelle für pflanzliches Protein dar. Ihr Nachteil besteht aber in dem intensiven Eigengeschmack, der den aus Leguminosen gewonnenen Proteinextrakten zu Eigen ist und der ihre Verwendungsfähigkeit als Lebensmittelzusatz stark einschränkt. Eine weitere Einschränkung in der Verwendung dieser Extrakte in Lebensmitteln besteht im hohen Gehalt an unverdaulichen Oligosacchariden wie Raffinose, Stachyose und Verbascose.

Im Rahmen dieser Arbeit wurde ein Verfahren zur milchsäuren Fermentation von Proteinextrakten aus Blauer Lupine (*Lupinus angustifolius vitabor*) und Erbse (*Pisum sativum* ssp. *sativum santana*) mit dem Ziel eines weitgehenden Abbaus von unverdaulichen Oligosacchariden und eines weitgehend neutralen Geschmacks- und Aromaprofils bei gleichzeitigem Erhalt der funktionellen Eigenschaften der Proteine entwickelt.

Im ersten Schritt wurde die Keimreduktion der zu fermentierenden Ausgangsextrakte durch verschiedene thermische Behandlungsverfahren untersucht. Anschließend wurden für Lupineproteinextrakt statistische Fermentationsversuche mit fünf verschiedenen Stämmen von Milchsäurebakterien und für Erbsenproteinextrakt mit sechs verschiedenen Stämmen von Milchsäurebakterien durchgeführt. Dabei wurden jeweils die Fermentationstemperatur und das Inokulum über drei Stufen variiert. Als zusätzlicher Parameter wurde ein Teil der Extrakte unter Zusatz von 2 %-GV Glucose fermentiert, während der andere Teil der Extrakte ohne Glucosezusatz fermentiert wurde. Die Fermentationen wurden statistisch ausgewertet und die Einflüsse der variierten Parameter auf die Zellzahlentwicklung, den pH-Wert im Fermentationsmedium und den Abbau der unverdaulichen Oligosaccharide Raffinose, Stachyose und Verbascose untersucht und mathematisch beschrieben. Ferner wurden die fermentierten Proben sensorisch bewertet. Parallel dazu wurden Versuche zur

Propagation der genutzten Milchsäurebakterienstämme in den Medien Erbsenextrakt und Lupineextrakt durchgeführt.

Die in den statistischen Fermentationsversuchen gewonnenen Erkenntnisse wurden genutzt, um mit ausgewählten Mikroorganismen Fermentationen in den Maßstäben 5 l, 30 l und 500 l durchzuführen. Diese Fermentationen wurden ebenfalls auf Zellzahlentwicklung, pH-Entwicklung, Oligosaccharidabbau und Sensorik der fermentierten Extrakte hin untersucht und bewertet. Die Extrakte im 30 l- und im 500 l-Maßstab wurden zudem auf die Proteinfunktionalität nach der Fermentation hin untersucht.

Im Ergebnis lieferten die Up-Scale-Versuche bis hin in den semi-industriellen Maßstab von 500 l gegenüber den statistischen Fermentationen reproduzierbare Ergebnisse. Die durch das im Rahmen dieser Arbeit entwickelte Verfahren gewonnenen Extrakte zeichnen sich durch einen gegenüber den Ausgangsextrakten deutlich verringerten Gehalt an Oligosacchariden ebenso aus wie durch einen sehr neutralen Geschmack und Geruch und einen weitgehenden Erhalt der Proteinfunktionalität. Die Extrakte wurden erfolgreich als Zusatzstoff in verschiedenen Lebensmitteln eingesetzt.

## Summary

Proteins in food have both physiological and technological functions. The use of protein preparations as food compounds therefore is very common. Also protein preparations from vegetables are used, often as a supplement for protein from animal sources. Because of their high protein content legumes are a very good source of vegetable protein. On the other hand their very intense taste that can also be found in protein extracts from legumes jeopardizes their suitability to replace animal protein in foods. Beside that the high content of undigestible oligosaccharids like raffinose, stachyose and verbascose is one more disadvantage of protein extracts from legumes.

In this thesis a process for lactic acid fermentation of protein extracts from lupine (*Lupinus angustifolius vitabor*) and pea (*Pisum sativum ssp. sativum santana*) was developed aiming for a widely reduced content of oligosaccharides and a neutral taste

---

and smell of fermented extracts while conserving the functional characteristics of proteins.

In a first step different thermal processes were evaluated regarding their suitability to reduce the amount of microorganisms existent in the unfermented extracts. Afterwards statistical fermentations were conducted with both lupine extract and pea extract using five different strains of lactic acid bacteria for the lupine extract fermentations and six different strains for the pea extract fermentations. In these experiments the fermentation temperature was varied over three steps as well as the inoculum. All experiments were conducted with unmodified extracts as well as with extracts where 20 g/l glucose were added. Fermentations were evaluated statistically and the influence of the three varied parameters on cell count, pH-value and reduction of raffinose, stachyose and verbascose was determined and described as mathematical models. The fermented extracts were evaluated sensorial as well. Additional experiments were done to develop a practical propagation process for the employed lactic acid bacteria strains in pea and lupine extract.

The informations got from the statistical fermentations were used to up-scale fermentations in three steps to 5 l, 30 l and 500 l. Those fermentations as well were evaluated regarding cell count, pH-value, reduction of oligosaccharides and sensorial profile. Extracts fermented in 30 l- and 500 l-scale in addition were evaluated regarding protein functionality.

The scale-up fermentations showed good comparability to the statistical fermentations. The extracts fermented with the process developed in this thesis are characterized by significantly reduced content of oligosaccharides, very neutral smell and taste and a good conservation of protein functionality. Those extracts were used successfully as supplements in different kinds of food.

## 6 Literaturverzeichnis

- [1] Adl, S.M. et al.: The New Higher Level Classification of Eukaryotes with Emphasis on the Taxonomy of Protists. *Journal of Eukaryotic Microbiology*, 52 (5), 399-451, 2005
- [2] AiF-Schlussbericht für das Vorhaben Nr. AiF-Fv 15045 N: Sensorisch verbesserte, technofunktionelle Proteinpräparate aus Leguminosenmehlen durch Fermentation mit Milchsäurebakterien, 2009
- [3] Aigner, A. und Brummer, A.: Versuchsergebnisse aus Bayern 2008: Futtererbsen. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, Freising, 2008.
- [4] Axelsson, L.: Lactic Acid Bacteria: Classification and Physiology. In: *Lactic Acid Bacteria: Microbiology and Functional Aspects*. 2. Auflage, New York 1998
- [5] Back, W.: Farbatlas und Handbuch der Getränkebiologie. Teil 1 Kultivierung/Methoden, Brauerei, Winzerei. Nürnberg 1994
- [6] Back, W., Bohak, I., Ehrmann, M., Ludwig, W., Pot, B., Kersters, K. und Schleifer, K.-H.: *Lactobacillus perolens* sp. nov., a Soft Drink Spoilage Bacterium. *Systematic and Applied Microbiology*, 22, 354-359, 1999
- [7] Back, W.: Farbatlas und Handbuch der Getränkebiologie. Teil 2, Nürnberg 2000
- [8] Back, W.: *Ausgewählte Kapitel der Brauereitechnologie*. 2. aktualisierte Auflage, Nürnberg 2008
- [9] Belitz, H.-D., Grosch, W. und Schieberle, P.: *Lehrbuch der Lebensmittelchemie*. 5. vollständig überarbeitete Auflage, Berlin 2001

- [10] Biesalski, K., Grimm, P.: Taschenatlas der Ernährung. 1. Auflage, Stuttgart 1999
- [11] Bohak, I., Back, W., Richter, L., Ehrmann M., Ludwig, W. und Schleifer, K.H.: *Lactobacillus amylolyticus* sp. nov., Isolated from Beer Malt and Beer Wort. *Systematic and Applied Microbiology* 21, 360-364, 1998
- [12] Buchanan, R.E. und Gibbons, N.E.: *Bergey's Manual of Determinative Bacteriology*. 7. Auflage, Baltimore 1975
- [13] Buchner, E.: Alkoholische Gahrung ohne Hefezellen. *Berichte der Deutschen Chemischen Gesellschaft* (30), 117-124, 1897
- [14] Bundessortenamt: Beschreibende Sortenliste. Getreide, Mais, olfruchte, Leguminosen (grokornig), Hackfruchte. 2008. Hannover, 2008
- [15] Burleigh, J.G. und Mathews, S.: Phylogenetic Signal in Nucleotide Data from Seed Plants: Implications for Resolving the Seed Plant Tree of Life. *American Journal of Botany* 91 (10), 1599-1613, 2004
- [16] Collins, M.D., Phillips, B.A. und Zanoni, P.: Deoxyribonucleic Acid Homology Studies of *Lactobacillus casei*, *Lactobacillus paracasei* sp. nov., subsp. *paracasei* and subsp. *tolerans*, and *Lactobacillus rhamnosus* sp. nov., comb. nov.. *International Journal of Systematic Bacteriology* 39 (2), 105-108, 1989
- [17] Dellaglio, F., Dicks, L.M.T., du Toit, M. und Torriani, S.: Designation of ATCC 334 in Place of ATCC 393 (NCDO 161) as the Neotype Strain of *Lactobacillus casei* subsp. *casei* and Rejection of the Name *Lactobacillus paracasei* (Collins et al., 1989) Request for an Opinion. *International Journal of Systematic Bacteriology* 41 (2), 340-342, 1991
- [18] Dellweg, H.: *Biotechnologie verstandlich*. Berlin, 1994
- [19] Fraunhofer Institut fur Verfahrenstechnik und Verpackung: Jahresbericht 1999

- [20] Fraunhofer Institut für Verfahrenstechnik und Verpackung: Jahresbericht 2006/07
- [21] Frey, C.N.: History of the Development of Active Dry Yeast. In: Mc Williams, C.S. and Peterson, M.S.: Yeast – a Symposium. Washington DC, 1957
- [22] Frias, J., Hedley, C.L., Price, K.R., Fenwick, G.R. und Vidal-Valverde, C.: Improved Methods of Oligosaccharide Analysis for Genetic Studies of Legume Seeds. *Journal of Liquid Chromatography* 17 (11), 2469-2483, 1994
- [23] Frias, J., Price, K.R., Fenwick, G.R., Hedley, C.L., Sørensen, H. und Vidal-Valverde, C.: Improved method for the analysis of  $\alpha$ -galactosides in pea seeds by capillary zone electrophoresis. Comparison with high-performance liquid chromatography – triple-pulsed amperometric detection. *Journal of Chromatography A* 719, 213-219, 1996
- [24] Frohne, D. und Jensen, U.: Systematik des Pflanzenreichs. 4., neu bearbeitete Auflage, Stuttgart-Hohenheim 1992
- [25] Fu, W. und Mathews, A.P.: Lactic acid production from lactose by *Lactobacillus plantarum*: kinetic model and effects of pH, substrate and oxygen. *Biochemical Engineering Journal* 3, 163-170, 1999
- [26] Fuhrmeister, H.: Herstellung von Proteinprodukten auf der Grundlage eines Verfahrens zur Stärkegewinnung aus Markerbsen. Dissertation, Technische Universität Berlin, 2001
- [27] Hedley, C.L.: The Grain Legumes. In: Hedley, C.L.: Carbohydrates in grain Legume Seeds: Improving Nutritional Quality and Agronomic Characteristics. Oxon, 2001

- 
- [28] Hedley, C.L.: Grain Legume Production. In: Hedley, C.L.: Carbohydrates in grain Legume Seeds: Improving Nutritional Quality and Agronomic Characteristics. Oxon, 2001
- [29] Hedley, C.L.: Grain Legume Carbohydrates. In: Hedley, C.L.: Carbohydrates in grain Legume Seeds: Improving Nutritional Quality and Agronomic Characteristics. Oxon, 2001
- [30] Hedley, C.L.: Grain Legume Carbohydrates. In: Hedley, C.L.: Carbohydrates in grain Legume Seeds: Improving Nutritional Quality and Agronomic Characteristics. Oxon, 2001
- [31] Henneberg, W.: Handbuch der Gärungsbakteriologie, II. Band, Spezielle Pilzkunde, Berlin 1926
- [32] Judicial Commission of the International Committee on Systematics of Bacteria: Opinion 82. International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology 58, 1764-1765, 2008
- [33] Kadlec, P.: Carbohydrate Chemistry. In: Hedley, C.L.: Carbohydrates in grain Legume Seeds: Improving Nutritional Quality and Agronomic Characteristics. Oxon, 2001
- [34] Karalus, W.: Sortenempfehlungen 2009. Körnererbsen, Ackerbohnen, Blaue Lupinen. Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Dresden, 2008
- [35] Keller, E.R.: Körner- und Futterleguminosen in der Integrierten Produktion. In: Keller, E.R., Hanus, H. und Heyland, K.-U.: Handbuch des Pflanzenbaues. Band 3: Knollen- und Wurzelfrüchte, Körner- und Futterleguminosen. Stuttgart, 1999.
- [36] Kraume, M.: Mischen und Rühren – Grundlagen moderner Verfahren. Weinheim 2003

- [37] Kulozik, U.M.: Verfahrenstechnik kontinuierlicher Fermentationen dargestellt am Beispiel der Milchsäure- und Biomassegewinnung im Rohrfermenter. Habilitationsschrift, Technische Universität München, 1991.
- [38] Leitsätze für Gemüsesaft und Gemüsenektar vom 28./29. Oktober 1981. Bundesanzeiger Nr. 117 A, 1.7.1982
- [39] Lindenthal, T., Klingbacher, E. und Kranzler, A.: Schwerpunktthema Körnerleguminosen und Mischfruchtanbau. Bionet Beraterbroschüre Version 1/2008, Forschungsinstitut für biologischen Landbau, Wien, 2008
- [40] Lindner, P.: Über ein neues in Malzmaischen vorkommendes, milchsäurebildendes Ferment. Wochenschrift Brau 4, 437-440, 1887
- [41] Mees, R.H.: Onderzoekingen over de Biersarcina. Abschlussarbeit, Technische Universität Delft, Holland, 1934
- [42] Mielke, H. und Schöber-Butin, B.: Anbau und Pflanzenschutz Nachwachsender Rohstoffe (Sonderkulturen). Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt für Land und Forstwirtschaft Berlin-Dahlem. Heft 395, Berlin 2004
- [43] Montgomery, D.C.: Design and analysis of experiments. 5. Auflage, New York, 2001
- [44] Müller-Hill, B.: The lac Operon: A Short History of a genetic Paradigm. 1996
- [45] Narziß, L.: Abriss der Bierbrauerei. 7., aktualisierte und erweiterte Auflage, Weinheim 2005
- [46] Orla-Jensen, S.: The lactic acid bacteria. Kopenhagen, 1919

- [47] Pasteur, L.: Memoire sur la fermentation appelée lactique. In: Memoires de la Société des Science, de l'Agriculture et des arts de Lille, séance du 3 août 1857, 2e Série, V, 13-26
- [48] Pasteur, L.: Mémoire sur la fermentation alcoolique. Ann. De Chem. et de Phys., 3. Série, 58, 323-426, 1861
- [49] Petterson, D.S.: Composition and Food Uses of Lupins. In: Gladstones, J.S., Atkins, C. und Hamblin, J.: Lupins as Crop Plants. Biology, Production and Utilization. Oxon, 1998
- [50] Pietsch, G., Starz, W., Wagentristl, H., Gabler, C. und Freyer, B.: Optimierung von Körner- und Futtererbsenanbau und –verwertung unter den Bedingungen des Ökologischen Landbaus im pannonischen Klimagebiet. Endbericht Projekt-Nr. 1290 des Österreichischen Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft. Institut für Ökologischen Landbau, Universität für Bodenkultur, Wien, 2006
- [51] Plarre, W.: Lupine. In: Keller, E.R., Hanus, H. und Heyland, K.-U.: Handbuch des Pflanzenbaues. Band 3: Knollen- und Wurzelfrüchte, Körner- und Futterleguminosen. Stuttgart, 1999.
- [52] Polhill, R.M. und van der Maesen, L.J.G.: Taxonomy of Grain Legumes. In: Summerfield, R.J. und Roberts, E.H.: Grain Legume Crops. London, 1985.
- [53] Reddy, N.R., Pierson, M.D., Salunkhe, D.K.: Legume-based Fermented Foods. Boca Raton, 1986
- [54] Rehm, H.J. und Präve, P.: Biotechnologie – Geschichte, Verfahren und Produkte. In: Präve, P., Faust, U., Sittig, W. und Sukatsch, D.A.: Handbuch der Biotechnologie. 2. Auflage, München 1984

- 
- [55] Richter, A.: Züchtung mit transgenen Pflanzen: Kombination rekombinanter Pilzresistenzgene mittels Kreuzung transgener Erbsenlinien (*Pisum sativum* L.). Dissertation, Universität Hannover, 2005.
- [56] Roth-Maier, D.A., Paulicks, B.R., Steinhöfel, O. und Weiß, J.: Inhaltsstoffe, Futterwert und Einsatz von Lupinen in der Nutztierfütterung. UFOP-Praxisinformation, aktualisierte Auflage, Berlin 2004
- [57] Schlegel, H.G.: Allgemeine Mikrobiologie. 7. überarbeitete Auflage, Stuttgart 1992
- [58] Schleifer, K.H. und Ludwig, W.: Phylogeny of the genus *Lactobacillus* and related genera. *Systematic and Applied Microbiology* 18, 461-467, 1995
- [59] Schwartz, M.: The life and works of Louis Pasteur. *Journal of Applied Microbiology* 91, 597-601, 2001
- [60] Schügerl, K. und Sittig, W.: Bioreaktoren. In: Präve, P., Faust, U., Sittig, W. und Sukatsch, D.A.: *Handbuch der Biotechnologie*. 2. Auflage, München 1984
- [61] Sollied, P.R.: Studien über einen Einfluß von Alkohol auf die verschiedenen Brauerei- und Brennereimaterialien sich verfindenden Organismen sowie Beschreibung einer gegen Alkohol sehr widerstandsfähigen neuen Pediokokkusart. *Z Spiritusind.* 26, 491-493, 1903
- [62] Stat-Ease Inc.: Design Expert, software for design of experiments. Design Expert 6 User's Guide. 2002
- [63] Stelling, D.: Erbse: Biologische und ökologische Grundlagen. In: Keller, E.R., Hanus, H. und Heyland, K.-U.: *Handbuch des Pflanzenbaues*. Band 3: Knollen- und Wurzelfrüchte, Körner- und Futterleguminosen. Stuttgart, 1999.
- [64] Teuber, M., Geis, A., Krusch, U., Lembke, J. und Moebus, O.: Biotechnologische Verfahren zur Herstellung von Lebensmitteln und Futtermitteln. In: Präve, P.,

- 
- Faust, U., Sittig, W. und Sukatsch, D.A.: Handbuch der Biotechnologie. 2. Auflage, München 1984
- [65] Thiele, F.: Einfluss der Hefevitalität und der Gärparameter auf die Stoffwechselprodukte der Hefe und auf die Geschmacksstabilität. Dissertation, Technische Universität München, 2006
- [66] Wackerbauer, K. und Methner, F.-J.: The microorganisms of „Berliner Weissbier“ and their influence on the beer flavour. Brauwelt International, 385-388, 1988
- [67] Wackerbauer, K. und Methner, F.-J.: On the formation of acids and esters in „Berliner Weissbier“. Brauwelt International, 68-74, 1989
- [68] Wember, T.: Technische Statistik und statistische Versuchsplanung.
- [69] Werner, D.: Biologische Stickstoff-Fixierung (BNF). In: Keller, E.R., Hanus, H. und Heyland, K.-U.: Handbuch des Pflanzenbaues. Band 3: Knollen- und Wurzelfrüchte, Körner- und Futterleguminosen. Stuttgart, 1999.

## 7 Anhang

**Tabelle A 1: Zuckergehalte von Lupine- und Erbsenextrakt vor der Fermentation**

	Lupineextrakt	Erbsenextrakt
Glucose [g/l]	1,38	1,25
Fructose [g/l]	0,80	0,32
Saccharose [g/l]	5,24	3,22

**Tabelle A 2: Statistische Fermentationen - Zuordnung der Versuchsnummern zu den Eingangsparametern**

Vers. Nr.	Fermentationstemperatur [°C]	Inokulum [Mio. Zellen/ml]	Glucosegabe [GV-%]
1	23	10	0
2	30	10	0
3	37	10	0
4	23	55	0
5	30	55	0
6	37	55	0
7	23	100	0
8	30	100	0
9	37	100	0
10	30	55	0
11	30	55	0
12	30	55	0
13	30	55	0
14	23	10	2
15	30	10	2
16	37	10	2
17	23	55	2
18	30	55	2
19	37	55	2
20	23	100	2
21	30	100	2
22	37	100	2
23	30	55	2
24	30	55	2
25	30	55	2
26	30	55	2

**Tabelle A 3: Statistische Fermentationen von Lupineextrakt mit *L. paracasei* (L 1150) - Entwicklung der photometrischen Extinktion**

Vers. Nr.	Beginn	Nach 96 h	Differenz
1	0,320	0,721	0,401
2	0,324	0,928	0,604
3	0,307	1,011	0,704
4	0,428	0,785	0,357
5	0,400	0,991	0,591
6	0,399	1,068	0,669
7	0,481	0,782	0,301
8	0,416	1,065	0,649
9	0,388	1,134	0,746
10	0,469	0,948	0,479
11	0,374	0,901	0,527
12	0,469	0,935	0,466
13	0,435	0,951	0,516
14	0,408	1,285	0,877
15	0,391	1,499	1,108
16	0,428	1,357	0,929
17	0,430	1,360	0,930
18	0,438	1,423	0,985
19	0,432	1,265	0,833
20	0,449	1,369	0,920
21	0,441	1,378	0,937
22	0,460	1,435	0,975
23	0,459	1,464	1,005
24	0,449	1,473	1,024
25	0,380	1,508	1,128
26	0,462	1,483	1,021

**Tabelle A 4: Kenndaten des mathematischen Modells zur Entwicklung der photometrischen Extinktion: L 1150 in Lupineextrakt**

Source	Sum of Squares	DF	Mean Square	F Wert	p-Wert Prob > F	
Model	1,37673742	4	0,34418435	75,20	< 0.0001	significant
A	0,09540833	1	0,09540833	20,85	0.0002	
C	1,17366954	1	1,17366954	256,43	< 0.0001	
A2	0,02795962	1	0,02795962	6,11	0.0226	
AC	0,091875	1	0,091875	20,07	0.0002	
Residual	0,09154002	20	0,004577			not significant
Lack of Fit	0,06968047	13	0,00536004	1,72	0.2412	
Pure Error	0,02185955	7	0,00312279			
Cor Total	1,46827744	24				

**Tabelle A 5: Statistische Fermentationen von Lupineextrakt mit *L. paracasei* (L 1150) - Entwicklung des pH-Wertes**

Vers. Nr.	Beginn	Nach 96 h	Differenz
1	4,50	4,38	0,12
2	4,50	4,21	0,29
3	4,50	3,93	0,57
4	4,50	4,37	0,13
5	4,50	4,19	0,31
6	4,50	3,98	0,52
7	4,50	4,38	0,12
8	4,50	4,13	0,37
9	4,50	3,88	0,62
10	4,50	4,39	0,11
11	4,50	4,16	0,34
12	4,50	4,28	0,22
13	4,50	4,27	0,23
14	4,50	3,31	1,19
15	4,50	3,22	1,28
16	4,50	3,13	1,37
17	4,50	3,27	1,23
18	4,50	3,16	1,34
19	4,50	3,15	1,35
20	4,50	3,24	1,26
21	4,50	3,16	1,34
22	4,50	3,20	1,30
23	4,50	3,15	1,35
24	4,50	3,18	1,32
25	4,50	3,15	1,35
26	4,50	3,16	1,34

**Tabelle A 6: Kenndaten des mathematischen Modells zur Entwicklung des pH-Wertes: L 1150 in Lupineextrakt**

Source	Sum of Squares	DF	Mean Square	F Wert	p-Wert Prob > F	
Model	6,61465897	3	2,20488632	525,32	< 0.0001	significant
A	0,2352	1	0,2352	56,04	< 0.0001	
C	6,29612564	1	6,29612564	1500,08	< 0.0001	
AC	0,08333333	1	0,08333333	19,85	0.0002	
Residual	0,08814103	21	0,00419719			not significant
Lack of Fit	0,05576103	14	0,00398293	0,86	0.6173	
Pure Error	0,03238	7	0,00462571			
Cor Total	6,7028	24				

**Tabelle A 7: Statistische Fermentationen von Lupineextrakt mit *L. paracasei* (L 1150) - Entwicklung der Oligosaccharidkonzentration Versuchsläufe 1-13**

Vers. Nr.	Fermentationsdauer [h]	0	24	96	Abnahme Oligosaccharidkonzentration	
					[g/l]	[%]
1	Raffinose	7,7	7,3	6,4	1,3	16,4
	Stachyose	35,1	30,5	27,1	8,0	22,7
	Verbascose	16,3	16,8	14,5	1,8	11,0
	Summe	59,1	54,6	48,1	11,0	18,7
2	Raffinose	7,7	7,2	6,6	1,1	13,8
	Stachyose	35,1	27,1	27,2	7,9	22,5
	Verbascose	16,3	14,6	14,4	1,9	11,7
	Summe	59,1	48,9	48,2	10,9	18,4
3	Raffinose	7,7	7,0	6,2	1,5	19,2
	Stachyose	35,1	26,4	25,8	9,3	26,6
	Verbascose	16,3	14,1	13,4	3,0	18,1
	Summe	59,1	47,5	45,4	13,7	23,3
4	Raffinose	7,7	5,0	4,8	2,9	37,4
	Stachyose	35,1	20,1	21,9	13,2	37,6
	Verbascose	16,3	11,1	11,3	5,0	30,7
	Summe	59,1	36,2	38,0	21,1	35,6
5	Raffinose	7,7	6,4	5,4	2,3	30,0
	Stachyose	35,1	24,9	22,9	12,2	34,7
	Verbascose	16,3	13,5	11,9	4,5	27,3
	Summe	59,1	44,7	40,2	18,9	32,0
6	Raffinose	7,7	5,4	5,2	2,4	31,7
	Stachyose	35,1	21,2	22,3	12,7	36,3
	Verbascose	16,3	11,2	11,3	5,0	30,7
	Summe	59,1	37,8	38,9	20,2	34,2
7	Raffinose	7,7	5,3	5,8	1,8	23,9
	Stachyose	35,1	21,4	25,0	10,0	28,6
	Verbascose	16,3	11,4	12,9	3,5	21,2
	Summe	59,1	38,1	43,8	15,3	26,0
8	Raffinose	7,7	6,1	6,5	1,2	15,7
	Stachyose	35,1	23,9	27,2	7,9	22,4
	Verbascose	16,3	12,4	14,0	2,3	14,1
	Summe	59,1	42,4	47,7	11,4	19,2
9	Raffinose	7,7	5,4	5,4	2,3	29,9
	Stachyose	35,1	21,8	22,7	12,4	35,4
	Verbascose	16,3	11,6	11,6	4,7	29,1
	Summe	59,1	38,9	39,6	19,5	32,9
10	Raffinose	7,7	5,4	6,8	0,8	10,9
	Stachyose	35,1	23,9	25,9	9,2	26,2
	Verbascose	16,3	12,8	13,6	2,7	16,6
	Summe	59,1	42,1	46,4	12,8	21,6
11	Raffinose	7,7	5,8	5,8	1,9	24,4
	Stachyose	35,1	24,7	23,5	11,6	33,0
	Verbascose	16,3	12,2	11,6	4,7	28,8
	Summe	59,1	42,6	40,9	18,2	30,7
12	Raffinose	7,7	5,9	6,5	1,2	15,3
	Stachyose	35,1	25,0	26,1	9,0	25,6
	Verbascose	16,3	12,5	13,4	2,9	17,8
	Summe	59,1	43,4	46,1	13,0	22,1
13	Raffinose	7,7	k.A.	5,4	2,3	30,2
	Stachyose	35,1	k.A.	21,9	13,2	37,7
	Verbascose	16,3	k.A.	11,1	5,3	32,2
	Summe	59,1	k.A.	38,3	20,8	35,2

**Tabelle A 8: Statistische Fermentationen von Lupineextrakt mit *L. paracasei* (L 1150) - Entwicklung der Oligosaccharidkonzentration Versuchsläufe 14-26**

Vers. Nr.	Fermentationsdauer [h]	0	24	96	Abnahme Oligosaccharidkonzentration	
					[g/l]	[%]
14	Raffinose	7,7	5,9	5,7	2,0	25,9
	Stachyose	35,1	25,2	24,5	10,6	30,3
	Verbascose	16,3	12,4	12,4	3,9	23,9
	Summe	59,1	43,5	42,6	16,5	27,9
15	Raffinose	7,7	5,8	5,3	2,4	31,4
	Stachyose	35,1	24,5	25,9	9,1	26,0
	Verbascose	16,3	11,8	12,7	3,6	22,0
	Summe	59,1	42,1	44,0	15,1	25,6
16	Raffinose	7,7	5,6	k.A.	k.A.	k.A.
	Stachyose	35,1	27,1	k.A.	k.A.	k.A.
	Verbascose	16,3	13,6	k.A.	k.A.	k.A.
	Summe	59,1	46,3	k.A.	k.A.	k.A.
17	Raffinose	7,7	6,0	5,5	2,1	27,8
	Stachyose	35,1	28,7	26,4	8,7	24,7
	Verbascose	16,3	14,7	13,2	3,2	19,4
	Summe	59,1	49,4	45,1	14,0	23,6
18	Raffinose	7,7	5,7	5,8	1,9	24,1
	Stachyose	35,1	27,5	27,2	7,9	22,5
	Verbascose	16,3	13,6	13,1	3,3	20,0
	Summe	59,1	46,8	46,1	13,0	22,1
19	Raffinose	7,7	6,5	5,0	2,7	34,7
	Stachyose	35,1	30,3	24,4	10,7	30,4
	Verbascose	16,3	14,1	11,6	4,7	28,8
	Summe	59,1	50,8	41,1	18,0	30,5
20	Raffinose	7,7	7,6	6,6	1,1	14,3
	Stachyose	35,1	34,4	30,5	4,5	13,0
	Verbascose	16,3	16,4	14,3	2,0	12,2
	Summe	59,1	58,3	51,5	7,6	12,9
21	Raffinose	7,7	k.A.	6,2	1,4	18,8
	Stachyose	35,1	k.A.	28,5	6,6	18,7
	Verbascose	16,3	k.A.	13,7	2,6	16,2
	Summe	59,1	k.A.	48,5	10,6	18,0
22	Raffinose	7,7	4,9	5,4	2,3	30,1
	Stachyose	35,1	38,0	25,8	9,3	26,5
	Verbascose	16,3	14,0	12,3	4,0	24,6
	Summe	59,1	56,9	43,5	15,6	26,4
23	Raffinose	7,7	6,9	6,2	1,5	19,6
	Stachyose	35,1	31,5	29,0	6,0	17,2
	Verbascose	16,3	14,4	13,8	2,6	15,8
	Summe	59,1	52,7	49,0	10,1	17,1
24	Raffinose	7,7	6,3	3,5	4,2	54,3
	Stachyose	35,1	29,1	17,1	18,0	51,3
	Verbascose	16,3	12,2	8,0	8,4	51,2
	Summe	59,1	47,6	28,6	30,5	51,7
25	Raffinose	7,7	6,3	5,9	1,8	23,6
	Stachyose	35,1	28,9	27,6	7,5	21,4
	Verbascose	16,3	13,6	13,0	3,3	20,4
	Summe	59,1	48,8	46,5	12,6	21,4
26	Raffinose	7,7	6,1	6,1	1,6	20,6
	Stachyose	35,1	28,8	28,6	6,5	18,6
	Verbascose	16,3	13,2	13,6	2,8	16,9
	Summe	59,1	48,1	48,2	10,9	18,4

**Tabelle A 9: Kenndaten des mathematischen Modells zur Entwicklung des Raffinose-Gehaltes: L 1150 in Lupineextrakt**

	Sum of		Mean	F	p-Wert	
Source	Squares	DF	Square	Wert	Prob > F	
Model	3,45932991	6	0,57655499	2,60	0.0562	not significant
A	0,4906379	1	0,4906379	2,22	0.1548	
B	0,02616274	1	0,02616274	0,12	0.7352	
C	0,19262014	1	0,19262014	0,87	0.3639	
A2	1,77461046	1	1,77461046	8,02	0.0115	
B2	0,91633459	1	0,91633459	4,14	0.0578	
BC	1,00188094	1	1,00188094	4,53	0.0483	
Residual	3,76280342	17	0,22134138			
Lack of Fit	1,88104842	10	0,18810484	0,70	0.7064	not significant
Pure Error	1,881755	7	0,26882214			
Cor Total	7,22213333	23				

**Tabelle A 10: Kenndaten des mathematischen Modells zur Entwicklung des Stachyose-Gehaltes: L 1150 in Lupineextrakt**

	Sum of		Mean	F	p-Wert	
Source	Squares	DF	Square	Wert	Prob > F	
Model	90,4022248	7	12,9146035	5,29	0.0028	significant
A	5,67359044	1	5,67359044	2,33	0.1468	
B	1,0021481	1	1,0021481	0,41	0.5307	
C	33,9790508	1	33,9790508	13,92	0.0018	
A2	16,6838139	1	16,6838139	6,84	0.0188	
B2	14,3742859	1	14,3742859	5,89	0.0274	
AB	4,67859488	1	4,67859488	1,92	0.1852	
BC	13,8790973	1	13,8790973	5,69	0.0298	
Residual	39,0433752	16	2,44021095			
Lack of Fit	22,7624552	9	2,52916169	1,09	0.4667	not significant
Pure Error	16,28092	7	2,32584571			
Cor Total	129,4456	23				

**Tabelle A 11: Kenndaten des mathematischen Modells zur Entwicklung des Verbascose-Gehaltes: L 1150 in Lupineextrakt**

	Sum of		Mean	F	p-Wert	
Source	Squares	DF	Square	Wert	Prob > F	
Model	14,3933686	6	2,39889476	3,46	0.0203	significant
A	3,1046348	1	3,1046348	4,48	0.0494	
B	0,0291894	1	0,0291894	0,04	0.8399	
C	0,41940566	1	0,41940566	0,60	0.4475	
A2	3,93457405	1	3,93457405	5,67	0.0292	
B2	5,22295237	1	5,22295237	7,53	0.0138	
BC	3,66183889	1	3,66183889	5,28	0.0346	
Residual	11,7926939	17	0,69368788			
Lack of Fit	6,21933893	10	0,62193389	0,78	0.6509	not significant
Pure Error	5,573355	7	0,79619357			
Cor Total	26,1860625	23				

**Tabelle A 12: Kenndaten des mathematischen Modells zur Entwicklung des Oligosaccharid-Gehaltes: L 1150 in Lupineextrakt**

	Sum of		Mean	F	p-Wert	
Source	Squares	DF	Square	Wert	Prob > F	
Model	196,143164	6	32,6905273	4,09	0.0102	significant
A	27,6400687	1	27,6400687	3,45	0.0805	
B	1,92175913	1	1,92175913	0,24	0.6303	
C	33,8986324	1	33,8986324	4,24	0.0552	
A2	57,9385906	1	57,9385906	7,24	0.0155	
B2	47,0471949	1	47,0471949	5,88	0.0267	
BC	50,2306743	1	50,2306743	6,28	0.0227	
Residual	136,009799	17	8,00057639			not significant
Lack of Fit	77,3754435	10	7,73754435	0,92	0.5605	
Pure Error	58,634355	7	8,37633643			
Cor Total	332,152963	23				

**Tabelle A 13: Statistische Fermentationen von Lupineextrakt mit L. perolens (L 532) - Entwicklung der photometrischen Extinktion**

Vers. Nr.	Beginn	Nach 24 h	Nach 96 h	Differenz
1	0,239	0,289	1,212	0,973
2	0,237	0,456	0,949	0,712
3	0,248	0,627	0,953	0,705
4	0,280	0,394	0,895	0,615
5	0,283	0,591	1,149	0,866
6	0,291	0,750	1,191	0,900
7	0,332	0,450	1,052	0,720
8	0,339	0,721	1,090	0,751
9	0,335	0,671	1,082	0,747
10	0,319	0,690	1,419	1,100
11	0,312	0,724	1,343	1,031
12	0,281	0,540	0,920	0,639
13	0,286	0,516	0,895	0,609
14	0,406	0,385	1,485	1,079
15	0,411	0,743	1,603	1,192
16	0,378	0,938	1,486	1,108
17	0,432	0,713	1,561	1,129
18	0,421	1,268	1,675	1,254
19	0,440	1,229	1,517	1,077
20	0,348	0,795	1,531	1,183
21	0,434	1,160	1,658	1,224
22	0,418	1,252	1,492	1,074
23	0,321	1,236	1,643	1,322
24	0,391	1,088	1,634	1,243
25	0,377	1,160	1,622	1,245
26	0,432	1,215	1,662	1,230

**Tabelle A 14: Kenndaten des mathematischen Modells zur Entwicklung der photometrischen Extinktion: L 532 in Lupineextrakt**

	Sum of		Mean	F	p-Wert	
Source	Squares	DF	Square	Wert	Prob > F	
Model	0,958464	1	0,958464	58,86	< 0.0001	significant
C	0,958464	1	0,958464	58,86	< 0.0001	
Residual	0,39079646	24	0,01628319			not significant
Lack of Fit	0,18739566	16	0,01171223	0,46	0.9110	
Pure Error	0,2034008	8	0,0254251			
Cor Total	1,34926046	25				

**Tabelle A 15: Statistische Fermentationen von Lupineextrakt mit *L. perolens* (L 532) - Entwicklung des pH-Wertes**

Vers. Nr.	Beginn	Nach 24 h	Nach 96 h	Differenz
1	4,50	4,99	4,06	0,44
2	4,50	4,76	4,39	0,11
3	4,50	4,51	4,39	0,11
4	4,50	4,81	4,33	0,17
5	4,50	4,51	4,39	0,11
6	4,50	4,33	3,96	0,54
7	4,50	4,64	4,20	0,30
8	4,50	4,52	4,22	0,28
9	4,50	4,53	4,21	0,29
10	4,50	4,51	3,68	0,82
11	4,50	4,54	3,70	0,80
12	4,50	4,59	4,42	0,08
13	4,50	4,60	4,45	0,05
14	4,50	4,87	3,45	1,05
15	4,50	4,26	3,30	1,20
16	4,50	3,89	3,30	1,20
17	4,50	4,28	3,37	1,13
18	4,50	3,87	3,25	1,25
19	4,50	3,65	3,29	1,21
20	4,50	4,14	3,38	1,12
21	4,50	3,77	3,26	1,24
22	4,50	3,61	3,28	1,22
23	4,50	3,85	3,27	1,23
24	4,50	3,85	3,27	1,23
25	4,50	3,85	3,27	1,23
26	4,50	3,84	3,28	1,22

**Tabelle A 16: Kenndaten des mathematischen Modells zur Entwicklung des pH-Wertes: L 532 in Lupineextrakt**

	Sum of		Mean	F	p-Wert	
Source	Squares	DF	Square	Wert	Prob > F	
Model	5,02480385	1	5,02480385	138,26	< 0.0001	significant
C	5,02480385	1	5,02480385	138,26	< 0.0001	
Residual	0,87224615	24	0,03634359			not significant
Lack of Fit	0,23028615	16	0,01439288	0,18	0.9982	
Pure Error	0,64196	8	0,080245			
Cor Total	5,89705	25				

**Tabelle A 17: Statistische Fermentationen von Lupineextrakt mit *L. perolens* (L 532) - Entwicklung der Oligosaccharidkonzentration Versuchsläufe 1-13**

Vers. Nr.	Fermentationsdauer [h]	0	24	96	Abnahme Oligosaccharidkonzentration	
					[g/l]	[%]
1	Raffinose	7,7	6,6	4,9	2,7	35,8
	Stachyose	35,1	29,8	23,8	11,3	32,2
	Verbascose	16,3	14,4	12,8	3,5	21,6
	Summe	59,1	50,8	41,5	17,6	29,7
2	Raffinose	7,7	6,3	5,9	1,8	23,0
	Stachyose	35,1	29,5	27,4	7,7	21,9
	Verbascose	16,3	14,0	13,4	3,0	18,2
	Summe	59,1	49,7	46,7	12,4	21,0
3	Raffinose	7,7	6,2	5,8	1,9	24,8
	Stachyose	35,1	29,0	26,4	8,7	24,8
	Verbascose	16,3	13,8	13,2	3,1	19,1
	Summe	59,1	49,1	45,4	13,7	23,2
4	Raffinose	7,7	6,7	5,7	1,9	25,1
	Stachyose	35,1	31,6	26,0	9,1	25,8
	Verbascose	16,3	15,0	12,9	3,5	21,4
	Summe	59,1	53,3	44,6	14,5	24,5
5	Raffinose	7,7	6,8	5,6	2,1	26,7
	Stachyose	35,1	31,5	25,2	9,9	28,1
	Verbascose	16,3	15,3	13,1	3,3	20,1
	Summe	59,1	53,6	43,9	15,2	25,7
6	Raffinose	7,7	6,5	3,1	4,6	59,8
	Stachyose	35,1	29,9	15,3	19,7	56,3
	Verbascose	16,3	14,9	8,5	7,8	47,8
	Summe	59,1	51,2	27,0	32,1	54,4
7	Raffinose	7,7	6,6	5,5	2,1	27,8
	Stachyose	35,1	31,4	26,1	9,0	25,6
	Verbascose	16,3	15,6	13,1	3,3	20,0
	Summe	59,1	53,5	44,7	14,4	24,3
8	Raffinose	7,7	13,9	9,3	-1,6	-21,2
	Stachyose	35,1	61,9	41,9	-6,8	-19,4
	Verbascose	16,3	31,3	22,0	-5,7	-34,6
	Summe	59,1	107,1	73,2	-14,1	-23,8
9	Raffinose	7,7	7,3	6,9	0,8	10,4
	Stachyose	35,1	34,7	34,1	1,0	2,8
	Verbascose	16,3	16,9	16,8	-0,4	-2,7
	Summe	59,1	58,9	57,8	1,3	2,3
10	Raffinose	7,7	5,2	3,4	4,3	55,4
	Stachyose	35,1	23,9	17,2	17,9	50,9
	Verbascose	16,3	11,5	9,5	6,9	41,9
	Summe	59,1	40,5	30,1	29,9	49,0
11	Raffinose	7,7	5,5	3,9	3,8	49,8
	Stachyose	35,1	25,2	19,5	15,6	44,5
	Verbascose	16,3	12,3	10,8	5,5	33,7
	Summe	59,1	43,0	34,2	24,9	42,2
12	Raffinose	7,7	6,2	6,1	1,6	20,7
	Stachyose	35,1	29,2	27,6	7,5	21,3
	Verbascose	16,3	14,1	13,7	2,6	16,2
	Summe	59,1	49,5	47,4	11,7	19,8
13	Raffinose	7,7	6,1	5,3	2,3	30,5
	Stachyose	35,1	28,4	24,7	10,4	29,5
	Verbascose	16,3	13,6	12,2	4,2	25,6
	Summe	59,1	48,1	42,2	16,9	28,6

**Tabelle A 18: Statistische Fermentationen von Lupineextrakt mit *L. perolens* (L 532) - Entwicklung der Oligosaccharidkonzentration Versuchsläufe 14-26**

Vers. Nr.	Fermentationsdauer [h]	0	24	96	Abnahme Oligosaccharidkonzentration	
					[g/l]	[%]
14	Raffinose	7,7	6,3	5,1	2,6	33,9
	Stachyose	35,1	28,0	22,4	12,7	36,2
	Verbascose	16,3	12,6	10,7	5,6	34,5
	Summe	59,1	46,8	38,2	20,9	35,4
15	Raffinose	7,7	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
	Stachyose	35,1	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
	Verbascose	16,3	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
	Summe	59,1	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
16	Raffinose	7,7	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
	Stachyose	35,1	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
	Verbascose	16,3	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
	Summe	59,1	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
17	Raffinose	7,7	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
	Stachyose	35,1	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
	Verbascose	16,3	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
	Summe	59,1	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
18	Raffinose	7,7	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
	Stachyose	35,1	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
	Verbascose	16,3	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
	Summe	59,1	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
19	Raffinose	7,7	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
	Stachyose	35,1	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
	Verbascose	16,3	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
	Summe	59,1	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
20	Raffinose	7,7	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
	Stachyose	35,1	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
	Verbascose	16,3	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
	Summe	59,1	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
21	Raffinose	7,7	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
	Stachyose	35,1	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
	Verbascose	16,3	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
	Summe	59,1	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
22	Raffinose	7,7	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
	Stachyose	35,1	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
	Verbascose	16,3	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
	Summe	59,1	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
23	Raffinose	7,7	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
	Stachyose	35,1	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
	Verbascose	16,3	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
	Summe	59,1	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
24	Raffinose	7,7	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
	Stachyose	35,1	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
	Verbascose	16,3	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
	Summe	59,1	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
25	Raffinose	7,7	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
	Stachyose	35,1	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
	Verbascose	16,3	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
	Summe	59,1	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
26	Raffinose	7,7	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
	Stachyose	35,1	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
	Verbascose	16,3	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
	Summe	59,1	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.

**Tabelle A 19: Statistische Fermentationen von Lupineextrakt mit *L. plantarum* (L 1047) - Entwicklung der photometrischen Extinktion**

Vers. Nr.	Beginn	Nach 22 h	Nach 71 h	Nach 90 h	Differenz
1	0,386	1,149	1,229	1,295	0,909
2	0,455	1,305	1,355	1,240	0,785
3	0,415	1,200	1,281	1,135	0,720
4	0,476	1,298	1,278	1,235	0,759
5	0,442	1,228	1,196	1,197	0,755
6	0,493	1,233	1,225	1,226	0,733
7	0,530	1,179	1,184	1,178	0,648
8	0,547	1,204	1,185	1,169	0,622
9	0,578	1,230	1,152	1,158	0,580
10	0,482	1,205	1,220	1,216	0,734
11	0,520	1,237	1,263	1,243	0,723
12	0,524	1,203	1,208	1,204	0,680
13	0,457	1,193	1,267	1,198	0,741
14	0,499	1,160	1,460	1,380	0,881
15	0,502	1,320	1,505	1,400	0,898
16	0,393	1,364	1,473	1,355	0,962
17	0,471	1,283	1,479	1,392	0,921
18	0,462	1,339	1,481	1,426	0,964
19	0,458	1,331	1,480	1,372	0,914
20	0,455	1,272	1,474	1,375	0,920
21	0,475	1,327	1,504	1,447	0,972
22	0,520	1,379	1,411	1,351	0,831
23	0,560	1,329	1,442	1,416	0,856
24	0,506	1,404	1,519	1,419	0,913
25	0,470	1,416	1,494	1,392	0,922
26	0,483	1,388	1,449	1,404	0,921

**Tabelle A 20: Kenndaten des mathematischen Modells zur Entwicklung der photometrischen Extinktion: L 1047 in Lupineextrakt**

Source	Sum of Squares	DF	Mean Square	F Wert	p-Wert Prob > F	
Model	0,30415551	5	0,0608311	36,94	< 0.0001	significant
A	0,00740033	1	0,00740033	4,49	0.0467	
B	0,028227	1	0,028227	17,14	0.0005	
C	0,23769985	1	0,23769985	144,34	< 0.0001	
AC	0,00598533	1	0,00598533	3,63	0.0711	
BC	0,024843	1	0,024843	15,09	0.0009	
Residual	0,03293587	20	0,00164679			not significant
Lack of Fit	0,02371187	12	0,00197599	1,71	0.2261	
Pure Error	0,009224	8	0,001153			
Cor Total	0,33709138	25				

**Tabelle A 21: Statistische Fermentationen von Lupineextrakt mit *L. plantarum* (L 1047) - Entwicklung des pH-Wertes**

Vers. Nr.	Beginn	Nach 22 h	Nach 71 h	Nach 90 h	Differenz
1	4,50	3,85	3,76	3,80	0,70
2	4,50	3,72	3,74	3,76	0,74
3	4,50	3,72	3,69	3,67	0,83
4	4,50	3,68	3,74	3,77	0,73
5	4,50	3,67	3,71	3,72	0,78
6	4,50	3,69	3,67	3,67	0,83
7	4,50	3,68	33,76	3,78	0,72
8	4,50	3,66	3,71	3,72	0,78
9	4,50	3,68	3,68	3,68	0,82
10	4,50	3,67	3,72	3,73	0,77
11	4,50	3,67	3,71	3,75	0,75
12	4,50	3,69	3,75	3,81	0,69
13	4,50	3,68	3,71	3,74	0,76
14	4,50	3,75	3,40	3,38	1,12
15	4,50	3,59	3,30	3,28	1,22
16	4,50	3,51	3,29	3,29	1,21
17	4,50	3,62	3,34	3,32	1,18
18	4,50	3,51	3,27	3,23	1,27
19	4,50	3,44	3,30	3,27	1,23
20	4,50	3,56	3,33	3,30	1,20
21	4,50	3,47	3,26	3,22	1,28
22	4,50	3,42	3,25	3,24	1,26
23	4,50	3,52	3,29	3,26	1,24
24	4,50	3,52	3,26	3,24	1,26
25	4,50	3,54	3,26	3,24	1,26
26	4,50	3,54	3,29	3,25	1,25

**Tabelle A 22: Kenndaten des mathematischen Modells zur Entwicklung des pH-Wertes: L 1047 in Lupineextrakt**

Source	Sum of Squares	DF	Mean Square	F Wert	p-Wert Prob > F	
Model	1,44999295	3	0,48333098	509,91	< 0.0001	significant
A	0,02340833	1	0,02340833	24,70	< 0.0001	
B	0,0048	1	0,0048	5,06	0.0348	
C	1,42178462	1	1,42178462	1499,97	< 0.0001	
Residual	0,02085321	22	0,00094787			not significant
Lack of Fit	0,01533321	14	0,00109523	1,59	0.2594	
Pure Error	0,00552	8	0,00069			
Cor Total	1,47084615	25				

**Tabelle A 23: Statistische Fermentationen von Lupineextrakt mit *L. plantarum* (L 1047) - Entwicklung der Oligosaccharidkonzentration Versuchsläufe 1-13**

Vers. Nr.	Fermentationsdauer [h]	0	22	71	90	Abnahme Oligosaccharidkonzentration	
						[g/l]	[%]
1	Raffinose	7,1	4,3	3,6	3,5	3,6	50,4
	Stachyose	27,8	19,0	17,1	16,7	11,1	39,8
	Verbascose	17,2	12,0	12,1	12,5	4,7	27,2
	Summe	52,0	35,3	32,8	32,8	19,3	37,1
2	Raffinose	7,1	4,7	3,9	3,9	3,2	44,8
	Stachyose	27,8	20,4	17,2	17,7	10,0	36,1
	Verbascose	17,2	13,1	12,2	13,2	4,0	23,5
	Summe	52,0	38,1	33,3	34,8	17,3	33,1
3	Raffinose	7,1	3,4	2,8	2,8	4,3	60,7
	Stachyose	27,8	15,2	13,6	13,1	14,7	52,9
	Verbascose	17,2	10,3	10,3	10,5	6,7	38,8
	Summe	52,0	28,9	26,7	26,4	25,7	49,3
4	Raffinose	7,1	4,2	3,7	3,6	3,5	49,1
	Stachyose	27,8	18,9	17,2	17,8	10,0	35,8
	Verbascose	17,2	12,4	11,1	11,4	5,8	33,6
	Summe	52,0	35,6	32,0	32,8	19,2	36,9
5	Raffinose	7,1	4,2	3,3	3,6	3,5	49,6
	Stachyose	27,8	18,7	15,8	16,2	11,6	41,6
	Verbascose	17,2	11,8	10,9	11,6	5,6	32,3
	Summe	52,0	34,7	30,0	31,4	20,6	39,6
6	Raffinose	7,1	4,2	3,3	2,8	4,3	60,7
	Stachyose	27,8	18,4	15,8	14,0	13,8	49,5
	Verbascose	17,2	12,4	11,3	10,4	6,8	39,7
	Summe	52,0	35,0	30,3	27,2	24,9	47,8
7	Raffinose	7,1	4,3	3,6	3,7	3,4	48,2
	Stachyose	27,8	18,4	16,5	17,0	10,8	38,9
	Verbascose	17,2	12,0	11,0	11,7	5,5	31,9
	Summe	52,0	34,7	31,1	32,3	19,7	37,9
8	Raffinose	7,1	4,1	4,1	3,6	3,5	49,2
	Stachyose	27,8	17,9	18,9	17,2	10,5	37,9
	Verbascose	17,2	11,4	13,8	13,1	4,1	23,8
	Summe	52,0	33,4	36,8	33,9	18,1	34,8
9	Raffinose	7,1	4,2	3,6	2,7	4,4	62,5
	Stachyose	27,8	18,6	16,1	12,7	15,0	54,1
	Verbascose	17,2	12,4	9,8	9,6	7,6	44,2
	Summe	52,0	35,3	29,5	25,0	27,1	52,0
10	Raffinose	7,1	4,6	3,7	3,4	3,7	51,8
	Stachyose	27,8	20,6	17,3	16,4	11,4	40,9
	Verbascose	17,2	13,5	12,2	12,2	5,0	29,2
	Summe	52,0	38,8	33,2	32,0	20,1	38,5
11	Raffinose	7,1	4,5	3,2	3,3	3,8	53,4
	Stachyose	27,8	19,4	15,2	15,7	12,1	43,6
	Verbascose	17,2	12,3	10,4	11,3	5,9	34,3
	Summe	52,0	36,2	28,8	30,2	21,8	41,9
12	Raffinose	7,1	3,9	3,6	3,0	4,0	57,2
	Stachyose	27,8	17,2	16,6	14,8	13,0	46,7
	Verbascose	17,2	11,1	11,2	10,2	7,0	40,6
	Summe	52,0	32,2	31,4	28,0	24,0	46,1
13	Raffinose	7,1	4,3	3,5	3,3	3,8	53,1
	Stachyose	27,8	19,0	16,3	15,7	12,1	43,6
	Verbascose	17,2	11,6	11,0	10,8	6,4	37,3
	Summe	52,0	34,9	30,9	29,8	22,3	42,8

**Tabelle A 24: Statistische Fermentationen von Lupineextrakt mit *L. plantarum* (L 1047) - Entwicklung der Oligosaccharidkonzentration Versuchsläufe 14-26**

Vers. Nr.	Fermentationsdauer [h]	0	22	71	90	Abnahme Oligosaccharidkonzentration	
						[g/l]	[%]
14	Raffinose	7,1	4,8	4,1	4,7	2,3	33,0
	Stachyose	27,8	21,0	18,3	20,8	7,0	25,1
	Verbascose	17,2	14,1	12,7	14,5	2,7	15,7
	Summe	52,0	40,0	35,1	40,0	12,0	23,1
15	Raffinose	7,1	4,7	4,0	3,4	3,7	52,2
	Stachyose	27,8	20,4	18,8	16,0	11,8	42,4
	Verbascose	17,2	14,2	13,8	12,1	5,1	29,8
	Summe	52,0	39,3	36,6	31,5	20,6	39,5
16	Raffinose	7,1	4,1	3,5	3,0	4,1	57,8
	Stachyose	27,8	18,5	17,0	14,5	13,3	47,7
	Verbascose	17,2	13,3	13,2	11,8	5,4	31,3
	Summe	52,0	35,9	33,7	29,3	22,7	43,7
17	Raffinose	7,1	k.A.	3,9	4,2	2,9	40,5
	Stachyose	27,8	k.A.	17,5	18,6	9,2	33,0
	Verbascose	17,2	k.A.	12,4	12,9	4,2	24,7
	Summe	52,0	k.A.	33,8	35,8	16,3	31,3
18	Raffinose	7,1	4,0	k.A.	3,4	3,7	51,6
	Stachyose	27,8	18,1	k.A.	15,7	12,1	43,4
	Verbascose	17,2	12,6	k.A.	11,3	5,9	34,1
	Summe	52,0	34,7	k.A.	30,5	21,6	41,4
19	Raffinose	7,1	3,6	2,6	2,8	4,3	60,4
	Stachyose	27,8	16,9	13,9	13,0	14,8	53,3
	Verbascose	17,2	11,5	9,4	10,2	7,0	40,7
	Summe	52,0	32,0	25,9	26,0	26,1	50,1
20	Raffinose	7,1	3,7	3,8	3,6	3,5	48,8
	Stachyose	27,8	17,1	17,0	16,3	11,4	41,2
	Verbascose	17,2	10,8	10,5	11,4	5,8	33,8
	Summe	52,0	31,6	31,3	31,3	20,7	39,8
21	Raffinose	7,1	4,0	3,4	3,1	4,0	56,1
	Stachyose	27,8	17,8	15,9	14,8	13,0	46,8
	Verbascose	17,2	11,1	11,1	10,7	6,5	37,7
	Summe	52,0	32,9	30,3	28,6	23,5	45,1
22	Raffinose	7,1	3,4	2,3	2,7	4,4	62,0
	Stachyose	27,8	16,2	13,0	12,6	15,2	54,7
	Verbascose	17,2	9,9	8,4	9,8	7,4	43,1
	Summe	52,0	29,4	23,8	25,1	27,0	51,9
23	Raffinose	7,1	4,0	3,5	3,3	3,7	53,0
	Stachyose	27,8	18,0	16,8	15,5	12,3	44,2
	Verbascose	17,2	10,7	10,3	11,4	5,8	33,9
	Summe	52,0	32,7	30,6	30,2	21,9	42,0
24	Raffinose	7,1	3,7	3,1	2,9	4,2	59,6
	Stachyose	27,8	17,5	15,3	14,0	13,8	49,5
	Verbascose	17,2	10,9	9,9	10,0	7,1	41,5
	Summe	52,0	32,1	28,4	26,9	25,1	48,2
25	Raffinose	7,1	3,8	3,0	2,9	4,2	58,8
	Stachyose	27,8	17,6	15,1	14,0	13,8	49,6
	Verbascose	17,2	11,1	9,8	8,9	8,3	48,3
	Summe	52,0	32,5	27,9	25,8	26,3	50,5
26	Raffinose	7,1	3,8	3,1	3,2	3,9	55,4
	Stachyose	27,8	17,0	15,3	14,7	13,1	47,2
	Verbascose	17,2	10,9	10,1	11,2	6,0	35,0
	Summe	52,0	31,7	28,5	29,0	23,1	44,3

**Tabelle A 25: Kenndaten des mathematischen Modells zur Entwicklung des Raffinose-Gehaltes: L 1047 in Lupineextrakt**

	Sum of		Mean	F	p-Wert	
Source	Squares	DF	Square	Wert	Prob > F	
Model	4,03866667	2	2,01933333	23,75	< 0.0001	significant
A	3,71853333	1	3,71853333	43,74	< 0.0001	
B	0,32013333	1	0,32013333	3,77	0.0647	
Residual	1,95544487	23	0,08501934			
Lack of Fit	1,55312487	15	0,10354166	2,06	0.1521	not significant
Pure Error	0,40232	8	0,05029			
Cor Total	5,99411154	25				

**Tabelle A 26: Kenndaten des mathematischen Modells zur Entwicklung des Stachyose-Gehaltes: L 1047 in Lupineextrakt**

	Sum of		Mean	F	p-Wert	
Source	Squares	DF	Square	Wert	Prob > F	
Model	67,9796167	2	33,9898083	29,31	< 0.0001	significant
A	62,3352083	1	62,3352083	53,75	< 0.0001	
B	5,64440833	1	5,64440833	4,87	0.0376	
Residual	26,6743987	23	1,15975647			
Lack of Fit	22,5175587	15	1,50117058	2,89	0.0668	not significant
Pure Error	4,15684	8	0,519605			
Cor Total	94,6540154	25				

**Tabelle A 27: Kenndaten des mathematischen Modells zur Entwicklung des Verbascose-Gehaltes: L 1047 in Lupineextrakt**

	Sum of		Mean	F	p-Wert	
Source	Squares	DF	Square	Wert	Prob > F	
Model	18,1100167	2	9,05500833	9,50	0.0010	significant
A	12,3830083	1	12,3830083	12,99	0.0015	
B	5,72700833	1	5,72700833	6,01	0.0222	
Residual	21,9191833	23	0,95300797			
Lack of Fit	14,9313433	15	0,99542289	1,14	0.4438	not significant
Pure Error	6,98784	8	0,87348			
Cor Total	40,0292	25				

**Tabelle A 28: Kenndaten des mathematischen Modells zur Entwicklung des Oligosaccharid-Gehaltes: L 1047 in Lupineextrakt**

	Sum of		Mean	F	p-Wert	
Source	Squares	DF	Square	Wert	Prob > F	
Model	206,621908	2	103,310954	20,30	< 0.0001	significant
A	178,101075	1	178,101075	34,99	< 0.0001	
B	28,5208333	1	28,5208333	5,60	0.0267	
Residual	117,058107	23	5,08948292			
Lack of Fit	90,7313071	15	6,0487538	1,84	0.1940	not significant
Pure Error	26,3268	8	3,29085			
Cor Total	323,680015	25				

**Tabelle A 29: Statistische Fermentationen von Lupineextrakt mit *P. acidilactici* (P 75) - Entwicklung der photometrischen Extinktion**

Vers. Nr.	Beginn	Nach 22 h	Nach 68 h	Nach 90 h	Differenz
1	0,581	0,490	0,833	0,753	0,172
2	0,539	0,876	0,939	0,921	0,382
3	0,503	0,955	1,110	1,019	0,516
4	0,537	0,652	0,883	0,805	0,268
5	0,633	0,802	0,889	0,972	0,339
6	0,601	0,837	1,028	0,921	0,320
7	0,655	0,658	0,794	0,826	0,171
8	0,733	0,765	0,916	0,975	0,242
9	0,750	0,905	1,030	1,143	0,393
10	0,661	0,790	0,933	0,885	0,224
11	0,589	0,789	1,161	1,117	0,528
12	0,659	0,723	0,893	0,919	0,260
13	0,664	0,736	0,893	0,919	0,260
14	0,649	0,629	1,132	1,278	0,629
15	0,599	1,185	1,258	1,258	0,686
16	0,657	1,140	1,377	1,336	0,679
17	0,697	0,669	1,280	1,238	0,541
18	0,665	1,058	1,294	1,321	0,656
19	0,680	1,223	1,328	1,261	0,581
20	0,771	0,696	1,157	1,097	0,326
21	0,803	1,040	1,331	1,241	0,438
22	0,823	1,254	1,297	1,244	0,421
23	0,712	1,093	1,400	1,289	0,577
24	0,736	1,086	1,274	1,293	0,557
25	0,689	1,084	1,344	1,273	0,584
26	0,721	1,108	1,340	1,338	0,617

**Tabelle A 30: Kenndaten des mathematischen Modells zur Entwicklung der photometrischen Extinktion: P 75 in Lupineextrakt**

Source	Sum of Squares	DF	Mean Square	F Wert	p-Wert Prob > F	
Model	0,55368128	3	0,18456043	26,84	< 0.0001	significant
A	0,05373408	1	0,05373408	7,81	0.0105	
B	0,09594408	1	0,09594408	13,95	0.0011	
C	0,40400312	1	0,40400312	58,75	< 0.0001	
Residual	0,15127583	22	0,00687617			not significant
Lack of Fit	0,08176983	14	0,0058407	0,67	0.7536	
Pure Error	0,069506	8	0,00868825			
Cor Total	0,70495712	25				

**Tabelle A 31: Statistische Fermentationen von Lupineextrakt mit *P. acidilactici* (P 75) - Entwicklung des pH-Wertes**

Vers. Nr.	Beginn	Nach 22 h	Nach 68 h	Nach 90 h	Differenz
1	4,50	4,44	5,10	5,08	-0,58
2	4,50	4,87	4,88	4,88	-0,38
3	4,50	4,81	4,75	4,69	-0,19
4	4,50	4,40	4,91	4,89	-0,39
5	4,50	4,87	4,89	4,85	-0,35
6	4,50	4,82	4,78	4,71	-0,21
7	4,50	4,44	4,91	4,90	-0,40
8	4,50	4,87	4,88	4,84	-0,34
9	4,50	4,80	4,78	4,73	-0,23
10	4,50	4,90	4,93	4,89	-0,39
11	4,50	4,92	3,86	3,88	0,62
12	4,50	4,89	4,88	4,88	-0,38
13	4,50	4,96	4,96	4,94	-0,44
14	4,50	4,29	3,88	3,76	0,74
15	4,50	3,95	3,57	3,50	1,00
16	4,50	3,72	3,47	3,45	1,05
17	4,50	4,20	3,79	3,69	0,81
18	4,50	3,90	3,53	3,50	1,00
19	4,50	3,62	3,46	3,48	1,02
20	4,50	4,11	3,77	3,69	0,81
21	4,50	3,83	3,48	3,43	1,07
22	4,50	3,64	3,46	3,44	1,06
23	4,50	3,89	3,52	3,48	1,02
24	4,50	3,89	3,53	3,48	1,02
25	4,50	3,89	3,53	3,50	1,00
26	4,50	3,86	3,50	3,47	1,03

**Tabelle A 32: Kenndaten des mathematischen Modells zur Entwicklung des pH-Wertes: P 75 in Lupineextrakt**

Source	Sum of Squares	DF	Mean Square	F Wert	p-Wert Prob > F	
Model	10,3963199	2	5,19815994	124,47	< 0.0001	significant
A	0,19000833	1	0,19000833	4,55	0.0438	
C	10,2063115	1	10,2063115	244,39	< 0.0001	
Residual	0,96053013	23	0,04176218			not significant
Lack of Fit	0,13953013	15	0,00930201	0,09	1.0000	
Pure Error	0,821	8	0,102625			
Cor Total	11,35685	25				

**Tabelle A 33: Statistische Fermentationen von Lupineextrakt mit *P. acidilactici* (P 75) - Entwicklung der Oligosaccharidkonzentration Versuchsläufe 1-13**

Vers. Nr.	Fermentationsdauer [h]	0	22	68	90	Abnahme Oligosaccharidkonzentration	
						[g/l]	[%]
1	Raffinose	4,5	4,9	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
	Stachyose	24,0	18,8	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
	Verbascose	12,8	10,6	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
	Summe	41,3	34,3	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
2	Raffinose	4,5	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
	Stachyose	24,0	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
	Verbascose	12,8	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
	Summe	41,3	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
3	Raffinose	4,5	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
	Stachyose	24,0	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
	Verbascose	12,8	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
	Summe	41,3	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
4	Raffinose	4,5	k.A.	k.A.	3,7	0,9	19,6
	Stachyose	24,0	k.A.	k.A.	14,9	9,1	37,8
	Verbascose	12,8	k.A.	k.A.	9,1	3,6	28,5
	Summe	41,3	k.A.	k.A.	27,7	13,6	33,0
5	Raffinose	4,5	4,3	4,4	k.A.	k.A.	k.A.
	Stachyose	24,0	16,0	16,2	k.A.	k.A.	k.A.
	Verbascose	12,8	9,0	9,2	k.A.	k.A.	k.A.
	Summe	41,3	29,3	29,9	k.A.	k.A.	k.A.
6	Raffinose	4,5	4,4	4,0	4,1	0,4	9,0
	Stachyose	24,0	16,6	14,9	14,9	9,1	37,9
	Verbascose	12,8	9,5	8,6	8,8	4,0	31,1
	Summe	41,3	30,4	27,5	27,9	13,5	32,6
7	Raffinose	4,5	2,9	3,4	3,0	1,6	34,3
	Stachyose	24,0	15,0	16,6	13,7	10,4	43,2
	Verbascose	12,8	8,4	9,6	8,3	4,4	34,8
	Summe	41,3	26,3	29,5	25,0	16,4	39,6
8	Raffinose	4,5	3,6	3,7	k.A.	k.A.	k.A.
	Stachyose	24,0	13,2	13,4	k.A.	k.A.	k.A.
	Verbascose	12,8	7,7	7,8	k.A.	k.A.	k.A.
	Summe	41,3	24,5	24,8	k.A.	k.A.	k.A.
9	Raffinose	4,5	4,0	5,3	3,0	1,5	33,0
	Stachyose	24,0	15,2	18,3	11,5	12,5	52,0
	Verbascose	12,8	8,6	10,6	6,4	6,4	50,1
	Summe	41,3	27,7	34,2	21,0	20,4	49,3
10	Raffinose	4,5	4,3	4,1	5,2	-0,6	-13,7
	Stachyose	24,0	16,7	15,2	23,9	0,1	0,6
	Verbascose	12,8	9,2	8,2	11,5	1,3	10,3
	Summe	41,3	30,3	27,5	40,5	0,8	2,0
11	Raffinose	4,5	4,3	4,1	5,5	-0,9	-20,9
	Stachyose	24,0	17,0	16,2	25,2	-1,2	-4,9
	Verbascose	12,8	9,2	8,7	12,3	0,5	3,8
	Summe	41,3	30,5	29,0	43,0	-1,6	-3,9
12	Raffinose	4,5	4,9	5,2	6,2	-1,7	-4,9
	Stachyose	24,0	17,6	19,0	29,2	-5,2	-21,6
	Verbascose	12,8	9,1	10,4	14,1	-1,3	-10,1
	Summe	41,3	31,6	34,6	49,5	-8,1	-19,7
13	Raffinose	4,5	4,3	4,5	6,1	-1,6	-34,3
	Stachyose	24,0	17,1	17,5	28,4	-4,4	-18,2
	Verbascose	12,8	9,1	9,4	13,6	-0,8	-6,3
	Summe	41,3	30,5	31,5	48,1	-6,7	-16,3

**Tabelle A 34: Statistische Fermentationen von Lupineextrakt mit *P. acidilactici* (P 75) - Entwicklung der Oligosaccharidkonzentration Versuchsläufe 14-26**

Vers. Nr.	Fermentationsdauer [h]	0	22	68	90	Abnahme Oligosaccharidkonzentration	
						[g/l]	[%]
14	Raffinose	4,5	4,9	5,1	6,7	-2,1	-47,1
	Stachyose	24,0	19,6	20,2	26,0	-2,0	-8,1
	Verbascose	12,8	10,4	10,6	14,1	-1,3	-10,3
	Summe	41,3	34,9	35,8	46,8	-2,1	-47,1
15	Raffinose	4,5	6,3	5,8	5,5	-1,0	-21,9
	Stachyose	24,0	25,0	23,2	26,8	-2,8	-11,6
	Verbascose	12,8	13,4	12,5	12,1	0,6	5,0
	Summe	41,3	44,6	41,5	44,5	-3,2	-7,6
16	Raffinose	4,5	4,3	3,8	6,4	-1,8	-40,7
	Stachyose	24,0	17,1	15,8	30,5	-6,4	-26,8
	Verbascose	12,8	8,9	8,4	13,7	-1,0	-7,5
	Summe	41,3	30,3	28,1	50,6	-9,3	-22,4
17	Raffinose	4,5	4,1	3,3	6,4	-1,8	-39,8
	Stachyose	24,0	17,7	14,5	30,4	-6,3	-26,4
	Verbascose	12,8	9,3	7,7	13,0	-0,2	-1,5
	Summe	41,3	31,0	25,6	49,7	-8,3	-20,2
18	Raffinose	4,5	3,9	2,7	6,6	-2,0	-44,2
	Stachyose	24,0	14,7	10,6	32,2	-8,2	-34,0
	Verbascose	12,8	8,0	5,4	14,5	-1,8	-13,9
	Summe	41,3	26,6	18,7	53,3	-12,0	-28,9
19	Raffinose	4,5	3,0	2,3	5,6	-1,1	-23,6
	Stachyose	24,0	11,6	9,9	28,3	-4,2	-17,7
	Verbascose	12,8	7,0	7,3	13,1	-0,4	-2,7
	Summe	41,3	21,6	19,6	47,0	-5,7	-13,7
20	Raffinose	4,5	4,4	4,2	4,1	0,4	9,9
	Stachyose	24,0	18,4	17,2	35,3	-11,3	-47,1
	Verbascose	12,8	10,1	9,5	11,8	0,9	7,2
	Summe	41,3	32,9	30,9	51,3	-9,9	-24,0
21	Raffinose	4,5	4,3	k.A.	5,7	-1,1	-25,0
	Stachyose	24,0	18,0	k.A.	28,4	-4,4	-18,4
	Verbascose	12,8	10,0	k.A.	12,6	0,2	1,2
	Summe	41,3	32,3	k.A.	46,7	-5,4	-13,0
22	Raffinose	4,5	k.A.	k.A.	3,9	0,6	13,2
	Stachyose	24,0	k.A.	k.A.	35,8	-11,8	-49,0
	Verbascose	12,8	k.A.	k.A.	12,4	0,4	2,9
	Summe	41,3	k.A.	k.A.	52,1	-10,8	-26,1
23	Raffinose	4,5	k.A.	k.A.	4,6	-0,0	-1,0
	Stachyose	24,0	k.A.	k.A.	37,2	-13,2	-54,9
	Verbascose	12,8	k.A.	k.A.	12,8	-0,1	-0,4
	Summe	41,3	k.A.	k.A.	54,6	-13,3	-32,1
24	Raffinose	4,5	k.A.	k.A.	5,8	-1,2	-27,0
	Stachyose	24,0	k.A.	k.A.	28,4	-4,4	-18,2
	Verbascose	12,8	k.A.	k.A.	12,3	0,4	3,4
	Summe	41,3	k.A.	k.A.	46,5	-5,2	-12,5
25	Raffinose	4,5	k.A.	k.A.	6,3	-1,8	-38,9
	Stachyose	24,0	k.A.	k.A.	31,0	-7,0	-29,1
	Verbascose	12,8	k.A.	k.A.	14,1	-1,3	-10,3
	Summe	41,3	k.A.	k.A.	51,4	-10,1	-24,4
26	Raffinose	4,5	k.A.	k.A.	6,2	-1,7	-36,8
	Stachyose	24,0	k.A.	k.A.	30,1	-6,1	-25,4
	Verbascose	12,8	k.A.	k.A.	13,2	-0,4	-3,1
	Summe	41,3	k.A.	k.A.	49,5	-8,2	-19,8

**Tabelle A 35: Statistische Fermentationen von Lupineextrakt mit *P. pentosaceus* (P 113) - Entwicklung der photometrischen Extinktion**

Vers. Nr.	Beginn	Nach 23 h	Nach 72 h	Nach 96 h	Differenz
1	0,436	1,337	1,480	1,433	0,997
2	0,442	1,378	1,320	1,318	0,876
3	0,431	1,298	1,252	1,251	0,820
4	0,467	1,301	1,372	1,312	0,845
5	0,411	1,364	1,305	1,279	0,868
6	0,402	1,302	1,283	1,180	0,778
7	0,403	1,237	1,390	1,259	0,856
8	0,458	1,394	1,402	1,228	0,770
9	0,521	1,231	1,224	1,183	0,662
10	0,485	1,262	1,320	1,262	0,777
11	0,459	1,357	1,327	1,351	0,892
12	0,509	1,284	1,380	1,255	0,746
13	0,418	1,290	1,310	1,288	0,870
14	0,536	1,313	1,411	1,375	0,839
15	0,403	1,322	1,444	1,373	0,970
16	0,424	1,372	1,366	1,290	0,866
17	0,569	1,348	1,453	1,407	0,838
18	0,503	1,333	1,360	1,365	0,862
19	0,515	1,445	1,367	1,250	0,735
20	0,548	1,362	1,463	1,368	0,820
21	0,509	1,370	1,422	1,299	0,790
22	0,544	1,393	1,308	1,257	0,713
23	0,507	1,319	1,376	1,352	0,845
24	0,494	1,318	1,439	1,383	0,889
25	0,502	1,290	1,364	1,414	0,912
26	0,430	1,307	1,452	1,388	0,958

**Tabelle A 36: Kenndaten des mathematischen Modells zur Entwicklung der photometrischen Extinktion: P 113 in Lupineextrakt**

Source	Sum of Squares	DF	Mean Square	F Wert	p-Wert Prob > F	
Model	0,07989083	2	0,03994542	12,43	0.0002	significant
A	0,03213675	1	0,03213675	10,00	0.0044	
B	0,04775408	1	0,04775408	14,86	0.0008	
Residual	0,07392778	23	0,00321425			not significant
Lack of Fit	0,04930978	15	0,00328732	1,07	0.4839	
Pure Error	0,024618	8	0,00307725			
Cor Total	0,15381862	25				

**Tabelle A 37: Statistische Fermentationen von Lupineextrakt mit *P. pentosaceus* (P 113) - Entwicklung des pH-Wertes**

Vers. Nr.	Beginn	Nach 23 h	Nach 72 h	Nach 96 h	Differenz
1	4,50	3,72	3,97	4,04	0,46
2	4,50	3,69	3,72	3,74	0,76
3	4,50	3,79	3,63	3,61	0,89
4	4,50	3,66	3,74	3,73	0,77
5	4,50	3,65	3,62	3,61	0,89
6	4,50	3,77	3,61	3,59	0,91
7	4,50	3,70	3,79	3,78	0,72
8	4,50	3,64	3,56	3,54	0,96
9	4,50	3,75	3,60	3,57	0,93
10	4,50	3,69	3,71	3,71	0,79
11	4,50	3,67	3,61	3,60	0,90
12	4,50	3,69	3,66	3,65	0,85
13	4,50	3,67	3,67	3,68	0,82
14	4,50	3,61	3,52	3,44	1,06
15	4,50	3,56	3,43	3,37	1,13
16	4,50	3,55	3,46	3,44	1,06
17	4,50	3,58	3,50	3,44	1,06
18	4,50	3,53	3,43	3,37	1,13
19	4,50	3,53	3,45	3,44	1,06
20	4,50	3,56	3,48	3,43	1,07
21	4,50	3,51	3,42	3,39	1,11
22	4,50	3,48	3,44	3,43	1,07
23	4,50	3,53	3,41	3,37	1,13
24	4,50	3,55	3,41	3,36	1,14
25	4,50	3,54	3,42	3,37	1,13
26	4,50	3,55	3,41	3,37	1,13

**Tabelle A 38: Kenndaten des mathematischen Modells zur Entwicklung des pH-Wertes: P 113 in Lupineextrakt**

Source	Sum of Squares	DF	Mean Square	F Wert	p-Wert Prob > F	
Model	0,68067637	6	0,11344606	49,00	< 0.0001	significant
A	0,0507	1	0,0507	21,90	0.0002	
B	0,02083333	1	0,02083333	9,00	0.0074	
C	0,50680385	1	0,50680385	218,90	< 0.0001	
A2	0,03080586	1	0,03080586	13,31	0.0017	
AC	0,0507	1	0,0507	21,90	0.0002	
BC	0,02083333	1	0,02083333	9,00	0.0074	
Residual	0,04398901	19	0,00231521			
Lack of Fit	0,03530901	11	0,00320991	2,95844248	0.0672	not significant
Pure Error	0,00868	8	0,001085			
Cor Total	0,72466538	25				

**Tabelle A 39: Statistische Fermentationen von Lupineextrakt mit *P. pentosaceus* (P 113) - Entwicklung der Oligosaccharidkonzentration Versuchsläufe 1-13**

Vers. Nr.	Fermentationsdauer [h]	0	23	72	96	Abnahme Oligosaccharidkonzentration	
						[g/l]	[%]
1	Raffinose	4,5	3,7	22,2	1,9	2,7	58,9
	Stachyose	24,0	18,3	13,7	11,9	12,2	50,6
	Verbascose	12,8	13,0	11,1	9,3	3,4	26,9
	Summe	41,3	35,0	27,0	23,1	18,3	44,2
2	Raffinose	4,5	3,2	2,1	1,5	3,0	66,6
	Stachyose	24,0	16,2	12,4	8,5	15,5	64,5
	Verbascose	12,8	10,4	9,5	7,2	5,5	43,4
	Summe	41,3	29,9	23,9	17,3	24,1	58,2
3	Raffinose	4,5	3,3	2,5	2,4	2,1	47,3
	Stachyose	24,0	14,8	11,1	9,7	14,3	59,6
	Verbascose	12,8	10,6	9,0	7,9	4,8	37,9
	Summe	41,3	28,7	22,6	20,0	21,3	51,6
4	Raffinose	4,5	3,4	1,9	2,0	2,5	55,8
	Stachyose	24,0	16,8	12,2	12,9	11,2	46,5
	Verbascose	12,8	11,9	9,2	9,7	3,0	23,7
	Summe	41,3	32,1	23,4	24,6	16,7	40,5
5	Raffinose	4,5	3,2	2,1	1,9	2,6	57,6
	Stachyose	24,0	16,4	11,9	10,5	13,6	56,4
	Verbascose	12,8	11,3	9,7	8,3	4,5	35,2
	Summe	41,3	31,0	23,7	20,7	20,7	50,0
6	Raffinose	4,5	k.A.	2,7	2,5	2,1	46,0
	Stachyose	24,0	k.A.	11,0	9,4	14,6	60,7
	Verbascose	12,8	k.A.	8,4	7,8	4,9	38,7
	Summe	41,3	k.A.	22,0	19,7	21,6	52,3
7	Raffinose	4,5	3,2	2,2	1,9	2,7	58,6
	Stachyose	24,0	15,9	13,8	11,9	12,1	50,5
	Verbascose	12,8	10,5	10,1	9,3	3,4	26,9
	Summe	41,3	29,7	26,1	23,1	18,2	44,1
8	Raffinose	4,5	3,1	1,8	1,5	3,0	66,0
	Stachyose	24,0	15,2	9,3	8,0	16,1	66,8
	Verbascose	12,8	10,7	7,7	7,3	5,5	42,8
	Summe	41,3	29,0	18,7	16,8	24,5	59,3
9	Raffinose	4,5	3,2	2,3	2,1	2,4	53,2
	Stachyose	24,0	14,5	9,0	7,2	16,8	69,9
	Verbascose	12,8	9,8	7,5	6,8	6,0	47,1
	Summe	41,3	27,5	18,8	16,1	25,2	61,0
10	Raffinose	4,5	3,1	2,2	1,8	2,8	60,5
	Stachyose	24,0	16,2	13,2	11,5	12,6	52,3
	Verbascose	12,8	9,7	9,7	8,9	3,9	30,2
	Summe	41,3	29,0	25,1	22,2	19,2	46,4
11	Raffinose	4,5	2,8	1,6	1,6	3,0	65,9
	Stachyose	24,0	13,9	11,6	9,8	14,2	59,2
	Verbascose	12,8	9,2	8,3	7,2	5,6	43,7
	Summe	41,3	25,8	21,5	18,5	22,8	55,2
12	Raffinose	4,5	3,4	2,3	2,0	2,5	56,0
	Stachyose	24,0	16,9	13,1	11,1	12,9	53,6
	Verbascose	12,8	9,3	9,0	8,0	4,8	37,2
	Summe	41,3	29,7	24,4	21,2	20,2	48,8
13	Raffinose	4,5	3,3	2,1	1,9	2,6	58,0
	Stachyose	24,0	16,5	12,5	10,0	14,0	58,5
	Verbascose	12,8	9,3	8,2	7,7	5,1	39,9
	Summe	41,3	29,2	22,8	19,6	21,8	52,7

**Tabelle A 40: Statistische Fermentationen von Lupineextrakt mit *P. pentosaceus* (P 113) - Entwicklung der Oligosaccharidkonzentration Versuchsläufe 14-26**

Vers. Nr.	Fermentationsdauer [h]	0	23	72	96	Abnahme Oligosaccharidkonzentration	
						[g/l]	[%]
14	Raffinose	4,5	4,5	3,8	4,7	-0,1	-3,2
	Stachyose	24,0	19,4	16,6	18,9	5,1	21,1
	Verbascose	12,8	10,9	9,4	12,8	-0,0	-0,4
	Summe	41,3	34,8	29,8	36,5	4,9	11,8
15	Raffinose	4,5	4,6	4,4	4,3	0,2	4,9
	Stachyose	24,0	19,1	17,9	17,4	6,7	27,8
	Verbascose	12,8	12,5	12,0	11,8	1,0	7,9
	Summe	41,3	36,3	34,4	33,4	7,9	19,1
16	Raffinose	4,5	4,6	3,7	3,3	1,2	26,8
	Stachyose	24,0	19,2	15,7	13,9	10,1	42,2
	Verbascose	12,8	12,7	11,2	10,2	2,6	20,2
	Summe	41,3	36,4	30,6	27,4	13,9	33,7
17	Raffinose	4,5	4,7	4,6	4,6	-0,1	-1,6
	Stachyose	24,0	19,5	18,7	19,0	5,0	20,9
	Verbascose	12,8	12,5	11,9	12,1	0,7	5,2
	Summe	41,3	36,7	35,2	35,7	5,6	13,6
18	Raffinose	4,5	4,9	4,6	4,2	0,4	8,2
	Stachyose	24,0	20,2	18,4	16,9	7,1	29,6
	Verbascose	12,8	13,7	11,9	10,9	1,9	15,0
	Summe	41,3	38,8	34,9	31,9	9,4	22,7
19	Raffinose	4,5	4,5	4,1	3,8	0,7	16,4
	Stachyose	24,0	18,6	16,9	15,5	8,5	35,5
	Verbascose	12,8	11,9	11,6	10,9	1,9	14,5
	Summe	41,3	34,9	32,6	30,2	11,1	26,9
20	Raffinose	4,5	4,5	4,3	4,2	0,4	7,8
	Stachyose	24,0	18,9	17,7	17,2	6,8	28,5
	Verbascose	12,8	12,3	11,5	11,4	1,4	10,9
	Summe	41,3	35,7	33,5	32,8	8,6	20,8
21	Raffinose	4,5	4,8	4,5	4,4	0,1	2,3
	Stachyose	24,0	19,7	17,4	17,0	7,0	29,3
	Verbascose	12,8	12,6	11,9	11,6	1,2	9,4
	Summe	41,3	37,0	33,8	33,0	8,4	20,2
22	Raffinose	4,5	4,5	4,2	4,0	0,5	11,2
	Stachyose	24,0	18,0	16,5	15,7	8,4	34,8
	Verbascose	12,8	12,2	11,7	11,4	1,4	11,0
	Summe	41,3	34,6	32,4	31,1	10,3	24,9
23	Raffinose	4,5	4,4	4,4	4,2	0,3	6,9
	Stachyose	24,0	18,2	17,3	17,3	6,8	28,2
	Verbascose	12,8	12,2	11,7	11,8	0,9	7,2
	Summe	41,3	34,8	33,4	33,3	8,0	19,4
24	Raffinose	4,5	4,2	3,9	3,8	0,7	16,4
	Stachyose	24,0	18,1	16,2	15,1	8,9	37,0
	Verbascose	12,8	12,5	11,5	10,5	2,3	17,7
	Summe	41,3	34,8	31,6	29,4	11,9	28,8
25	Raffinose	4,5	4,9	4,6	4,5	0,1	2,0
	Stachyose	24,0	19,7	18,4	17,4	6,6	27,4
	Verbascose	12,8	13,1	12,3	11,7	1,1	8,6
	Summe	41,3	37,7	35,2	33,6	7,8	18,8
26	Raffinose	4,5	4,4	3,9	4,1	0,4	8,8
	Stachyose	24,0	18,4	16,5	16,8	7,3	30,3
	Verbascose	12,8	12,3	11,1	11,9	0,8	6,6
	Summe	41,3	35,1	31,5	32,8	8,5	20,6

**Tabelle A 41: Kenndaten des mathematischen Modells zur Entwicklung des Raffinose-Gehaltes: P 113 in Lupineextrakt**

	Sum of		Mean	F	p-Wert	
Source	Squares	DF	Square	Wert	Prob > F	
Model	33,9651449	3	11,321715	162,13	< 0.0001	significant
A	0,10453333	1	0,10453333	1,50	0.2341	
C	32,8163115	1	32,8163115	469,93	< 0.0001	
AC	1,0443	1	1,0443	14,95	0.0008	
Residual	1,53632051	22	0,06983275			
Lack of Fit	1,18668051	14	0,08476289	1,94	0.1743	not significant
Pure Error	0,34964	8	0,043705			
Cor Total	35,5014654	25				

**Tabelle A 42: Kenndaten des mathematischen Modells zur Entwicklung des Stachyose-Gehaltes: P 113 in Lupineextrakt**

	Sum of		Mean	F	p-Wert	
Source	Squares	DF	Square	Wert	Prob > F	
Model	316,78914	2	158,39457	156,76	< 0.0001	significant
A	34,374675	1	34,374675	34,02	< 0.0001	
C	282,414465	1	282,414465	279,51	< 0.0001	
Residual	23,2392635	23	1,01040276			
Lack of Fit	17,7658635	15	1,1843909	1,73	0.2190	not significant
Pure Error	5,4734	8	0,684175			
Cor Total	340,028404	25				

**Tabelle A 43: Kenndaten des mathematischen Modells zur Entwicklung des Verbascose-Gehaltes: P 113 in Lupineextrakt**

	Sum of		Mean	F	p-Wert	
Source	Squares	DF	Square	Wert	Prob > F	
Model	80,2844346	2	40,1422173	104,46	< 0.0001	significant
A	7,8732	1	7,8732	20,49	0.0002	
C	72,4112346	1	72,4112346	188,43	< 0.0001	
Residual	8,83841538	23	0,38427893			
Lack of Fit	5,53921538	15	0,36928103	0,90	0.5944	not significant
Pure Error	3,2992	8	0,4124			
Cor Total	89,12285	25				

**Tabelle A 44: Kenndaten des mathematischen Modells zur Entwicklung des Oligosaccharid-Gehaltes: P 113 in Lupineextrakt**

	Sum of		Mean	F	p-Wert	
Source	Squares	DF	Square	Wert	Prob > F	
Model	1044,47207	2	522,236036	166,38	< 0.0001	significant
A	80,9121333	1	80,9121333	25,78	< 0.0001	
C	963,559938	1	963,559938	306,98	< 0.0001	
Residual	72,1943744	23	3,13888584			
Lack of Fit	52,9628544	15	3,53085696	1,47	0.2979	not significant
Pure Error	19,23152	8	2,40394			
Cor Total	1116,66645	25				

**Tabelle A 45: Statistische Fermentationen von Erbsenextrakt mit *L. amylolyticus* (TL 5) - Entwicklung der photometrischen Extinktion**

Vers. Nr.	Beginn	Nach 96 h	Differenz
1	0,955	1,129	0,174
2	0,933	1,164	0,231
3	0,920	1,142	0,222
4	0,861	1,094	0,233
5	0,918	1,321	0,403
6	0,897	1,318	0,421
7	0,975	1,066	0,091
8	0,963	1,209	0,246
9	1,199	1,063	-0,136
10	1,166	1,159	-0,007
11	0,987	1,383	0,396
12	1,031	1,173	0,142
13	1,075	1,212	0,137
14	0,836	1,211	0,375
15	1,024	1,513	0,489
16	0,938	1,190	0,252
17	0,847	1,153	0,306
18	0,922	1,318	0,396
19	0,996	1,283	0,287
20	0,948	1,141	0,193
21	0,983	1,509	0,526
22	0,909	1,332	0,423
23	0,998	1,388	0,390
24	1,034	1,406	0,372
25	1,126	1,373	0,247
26	1,009	1,367	0,358

**Tabelle A 46: Kenndaten des mathematischen Modells zur Entwicklung der photometrischen Extinktion: TL 5 in Erbsenextrakt**

Source	Sum of Squares	DF	Mean Square	F Value	Prob > F	
Model	0,15316987	1	0,15316987	8,41	0.0081	significant
C	0,15316987	1	0,15316987	8,41	0.0081	
Residual	0,41900517	23	0,01821762			not significant
Lack of Fit	0,27536717	15	0,01835781	1,02	0.5114	
Pure Error	0,143638	8	0,01795475			
Cor Total	0,57217504	24				

**Tabelle A 47: Statistische Fermentationen von Erbsenextrakt mit *L. amylolyticus* (TL 5) - Entwicklung des pH-Wertes**

Vers. Nr.	Beginn	Nach 96 h	Differenz
1	4,50	3,55	0,95
2	4,50	3,47	1,03
3	4,50	4,33	0,17
4	4,50	3,54	0,96
5	4,50	3,48	1,02
6	4,50	4,08	0,42
7	4,50	3,48	1,02
8	4,50	3,49	1,01
9	4,50	4,59	-0,09
10	4,50	3,49	1,01
11	4,50	3,58	0,92
12	4,50	3,49	1,01
13	4,50	3,49	1,01
14	4,50	3,51	0,99
15	4,50	3,31	1,19
16	4,50	4,25	0,25
17	4,50	3,49	1,01
18	4,50	3,30	1,20
19	4,50	4,06	0,44
20	4,50	3,46	1,04
21	4,50	3,30	1,20
22	4,50	3,92	0,58
23	4,50	3,60	0,90
24	4,50	3,32	1,18
25	4,50	3,30	1,20
26	4,50	3,29	1,21

**Tabelle A 48: Kenndaten des mathematischen Modells zur Entwicklung des pH-Wertes: TL 5 in Erbsenextrakt**

Source	Sum of Squares	DF	Mean Square	F Value	Prob > F	
Model	2,89714534	6	0,48285756	37,16	< 0.0001	significant
A	1,34273359	1	1,34273359	103,34	< 0.0001	
B	0,00035298	1	0,00035298	0,03	0.8709	
C	0,1216142	1	0,1216142	9,36	0.0068	
A2	1,0716287	1	1,0716287	82,48	< 0.0001	
AC	0,04286726	1	0,04286726	3,30	0.0860	
BC	0,03644788	1	0,03644788	2,81	0.1112	
Residual	0,23387866	18	0,01299326			not significant
Lack of Fit	0,15567866	10	0,01556787	1,59262052	0.2608	
Pure Error	0,0782	8	0,009775			
Cor Total	3,131024	24				

**Tabelle A 49: Statistische Fermentationen von Erbsenextrakt mit *L. amylolyticus* (TL 5) - Entwicklung der Oligosaccharidkonzentration Versuchsläufe 1-13**

Vers. Nr.	Fermentationsdauer [h]	0	96	Abnahme Oligosaccharidkonzentration	
				[g/l]	[%]
1	Raffinose	1,5	0,0	1,5	98,6
	Stachyose	3,3	0,1	3,3	98,2
	Verbascose	4,3	0,1	4,2	97,4
	Summe	9,1	0,2	8,9	97,9
2	Raffinose	1,5	0,6	0,9	60,1
	Stachyose	3,3	2,6	0,7	22,0
	Verbascose	4,3	3,5	0,8	18,8
	Summe	9,1	6,7	2,4	26,7
3	Raffinose	1,5	0,5	1,0	66,9
	Stachyose	3,3	2,3	1,0	31,3
	Verbascose	4,3	3,0	1,3	31,2
	Summe	9,1	5,7	3,4	37,0
4	Raffinose	1,5	0,6	0,9	61,5
	Stachyose	3,3	2,3	1,0	29,8
	Verbascose	4,3	3,1	1,2	28,6
	Summe	9,1	6,0	3,1	34,4
5	Raffinose	1,5	0,7	0,8	52,7
	Stachyose	3,3	3,0	0,3	8,4
	Verbascose	4,3	3,9	0,4	8,6
	Summe	9,1	7,7	1,4	15,7
6	Raffinose	1,5	0,8	0,7	45,3
	Stachyose	3,3	2,3	1,1	32,2
	Verbascose	4,3	2,4	1,9	43,5
	Summe	9,1	5,5	3,6	39,7
7	Raffinose	1,5	0,7	0,8	55,4
	Stachyose	3,3	2,7	0,7	19,9
	Verbascose	4,3	2,8	1,5	34,0
	Summe	9,1	6,2	2,9	32,3
8	Raffinose	1,5	0,6	0,9	60,8
	Stachyose	3,3	2,3	1,0	29,8
	Verbascose	4,3	2,5	1,8	41,9
	Summe	9,1	5,4	3,7	40,5
9	Raffinose	1,5	0,7	0,8	53,4
	Stachyose	3,3	2,4	0,9	26,5
	Verbascose	4,3	2,7	1,6	37,7
	Summe	9,1	5,8	3,3	36,2
10	Raffinose	1,5	0,5	1,0	64,2
	Stachyose	3,3	2,4	0,9	27,7
	Verbascose	4,3	2,6	1,7	39,8
	Summe	9,1	5,5	3,6	39,3
11	Raffinose	1,5	0,5	1,0	67,6
	Stachyose	3,3	2,3	1,0	29,8
	Verbascose	4,3	2,5	1,8	41,4
	Summe	9,1	5,3	3,8	41,4
12	Raffinose	1,5	0,5	1,0	64,2
	Stachyose	3,3	2,4	0,9	28,3
	Verbascose	4,3	2,6	1,7	39,8
	Summe	9,1	5,5	3,6	39,6
13	Raffinose	1,5	0,5	0,9	63,5
	Stachyose	3,3	2,4	0,9	27,1
	Verbascose	4,3	2,7	1,7	38,4
	Summe	9,1	5,6	3,5	38,4

**Tabelle A 50: Statistische Fermentationen von Erbsenextrakt mit *L. amylolyticus* (TL 5) - Entwicklung der Oligosaccharidkonzentration Versuchsläufe 14-26**

Vers. Nr.	Fermentationsdauer [h]	0	96	Abnahme Oligosaccharidkonzentration	
				[g/l]	[%]
14	Raffinose	1,5	0,8	0,7	45,9
	Stachyose	3,3	2,9	0,5	14,2
	Verbascose	4,3	3,0	1,4	31,4
	Summe	9,1	6,6	2,5	27,5
15	Raffinose	1,5	0,6	0,9	57,4
	Stachyose	3,3	2,4	0,9	26,5
	Verbascose	4,3	2,6	1,7	38,6
	Summe	9,1	5,7	3,4	37,3
16	Raffinose	1,5	0,6	0,8	56,8
	Stachyose	3,3	2,4	1,0	28,6
	Verbascose	4,3	2,5	1,8	42,3
	Summe	9,1	5,5	3,6	39,7
17	Raffinose	1,5	0,8	0,7	44,6
	Stachyose	3,3	2,7	0,6	19,3
	Verbascose	4,3	2,8	1,6	36,0
	Summe	9,1	6,3	2,9	31,3
18	Raffinose	1,5	0,5	1,0	64,2
	Stachyose	3,3	2,3	1,0	31,3
	Verbascose	4,3	2,3	2,0	47,0
	Summe	9,1	5,1	4,0	44,1
19	Raffinose	1,5	0,6	0,9	62,8
	Stachyose	3,3	1,9	1,4	41,6
	Verbascose	4,3	2,2	2,1	49,5
	Summe	9,1	4,7	4,4	48,8
20	Raffinose	1,5	0,7	0,8	54,7
	Stachyose	3,3	2,5	0,8	23,8
	Verbascose	4,3	2,6	1,7	39,3
	Summe	9,1	5,8	3,3	36,2
21	Raffinose	1,5	0,6	0,9	62,2
	Stachyose	3,3	2,3	1,1	31,6
	Verbascose	4,3	2,9	1,4	32,3
	Summe	9,1	5,7	3,4	36,9
22	Raffinose	1,5	0,6	0,9	62,8
	Stachyose	3,3	2,0	1,3	40,1
	Verbascose	4,3	2,6	1,7	38,6
	Summe	9,1	5,2	3,9	43,1
23	Raffinose	1,5	0,6	0,9	59,5
	Stachyose	3,3	2,1	1,2	36,7
	Verbascose	4,3	2,8	1,6	36,0
	Summe	9,1	5,5	3,7	40,1
24	Raffinose	1,5	0,6	0,9	60,1
	Stachyose	3,3	2,4	0,9	28,3
	Verbascose	4,3	3,0	1,3	30,9
	Summe	9,1	5,9	3,2	34,7
25	Raffinose	1,5	0,6	0,9	61,5
	Stachyose	3,3	2,4	0,9	28,0
	Verbascose	4,3	3,0	1,3	30,9
	Summe	9,1	5,9	3,2	34,8
26	Raffinose	1,5	0,6	0,9	57,4
	Stachyose	3,3	2,4	0,9	27,1
	Verbascose	4,3	3,1	1,2	28,4
	Summe	9,1	6,1	3,0	32,6

**Tabelle A 51: Kenndaten des mathematischen Modells zur Entwicklung des Raffinose-Gehaltes: TL 5 in Erbsenextrakt**

	Sum of		Mean	F		
Source	Squares	DF	Square	Value	Prob > F	
Model	0,11577367	6	0,01929561	3,87	0.0118	significant
A	0,00595598	1	0,00595598	1,19	0.2890	
B	0,00092197	1	0,00092197	0,18	0.6724	
C	0,00612605	1	0,00612605	1,23	0.2825	
A2	0,05427623	1	0,05427623	10,88	0.0040	
AC	0,01901721	1	0,01901721	3,81	0.0667	
BC	0,01901721	1	0,01901721	3,81	0.0667	
Residual	0,08982633	18	0,00499035			
Lack of Fit	0,04982633	10	0,00498263	1,00	0.5121	not significant
Pure Error	0,04	8	0,005			
Cor Total	0,2056	24				

**Tabelle A 52: Kenndaten des mathematischen Modells zur Entwicklung des Stachyose-Gehaltes: TL 5 in Erbsenextrakt**

	Sum of		Mean	F		
Source	Squares	DF	Square	Value	Prob > F	
Model	0,43520584	1	0,43520584	11,14	0.0029	significant
A	0,43520584	1	0,43520584	11,14	0.0029	
Residual	0,89839416	23	0,03906062			
Lack of Fit	0,51039416	15	0,03402628	0,70	0.7363	not significant
Pure Error	0,388	8	0,0485			
Cor Total	1,3336	24				

**Tabelle A 53: Kenndaten des mathematischen Modells zur Entwicklung des Verbascose-Gehaltes: TL 5 in Erbsenextrakt**

	Sum of		Mean	F		
Source	Squares	DF	Square	Value	Prob > F	
Model	0	0				
Residual	3,3104	24	0,13793333			
Lack of Fit	1,4704	16	0,0919	0,40	0.9437	not significant
Pure Error	1,84	8	0,23			
Cor Total	3,3104	24				

**Tabelle A 54: Kenndaten des mathematischen Modells zur Entwicklung des Oligosaccharid-Gehaltes: TL 5 in Erbsenextrakt**

	Sum of		Mean	F		
Source	Squares	DF	Square	Value	Prob > F	
Model	1,60030511	1	1,60030511	5,27	0.0312	significant
A	1,60030511	1	1,60030511	5,27	0.0312	
Residual	6,98609489	23	0,30374326			
Lack of Fit	2,29009489	15	0,15267299	0,26	0.9881	not significant
Pure Error	4,696	8	0,587			
Cor Total	8,5864	24				

**Tabelle A 55: Statistische Fermentationen von Erbsenextrakt mit *L. paracasei* (L 1150) - Entwicklung der photometrischen Extinktion**

Vers. Nr.	Beginn	Nach 24 h	Nach 72 h	Differenz
1	0,910	0,906	1,059	0,149
2	0,930	1,098	1,191	0,261
3	0,936	1,123	1,311	0,375
4	0,929	0,997	1,166	0,237
5	0,924	1,078	1,121	0,197
6	0,913	1,171	1,236	0,323
7	1,004	1,077	1,080	0,076
8	0,946	1,223	1,296	0,350
9	0,990	1,730	1,279	0,289
10	0,942	1,129	1,130	0,188
11	0,923	1,171	1,140	0,217
12	0,887	1,115	1,145	0,258
13	0,941	1,167	1,137	0,196
14	0,900	0,979	1,292	0,392
15	0,912	1,243	1,398	0,486
16	0,869	1,318	1,524	0,655
17	0,900	1,178	1,337	0,437
18	0,983	1,349	1,542	0,559
19	0,991	1,392	1,493	0,502
20	1,044	1,198	1,364	0,320
21	1,011	1,356	1,540	0,529
22	1,039	1,384	1,512	0,473
23	0,948	1,301	1,497	0,549
24	0,918	1,319	1,439	0,521
25	0,908	1,329	1,479	0,571
26	0,945	1,291	1,441	0,496

**Tabelle A 56: Kenndaten des mathematischen Modells zur Entwicklung der photometrischen Extinktion: L 1150 in Erbsenextrakt**

Source	Sum of Squares	DF	Mean Square	F Value	Prob > F	
Model	0,52217772	2	0,26108886	71,96	< 0.0001	significant
A	0,08433633	1	0,08433633	23,25	< 0.0001	
C	0,43784138	1	0,43784138	120,68	< 0.0001	
Residual	0,08344674	23	0,00362812			
Lack of Fit	0,07655514	15	0,00510368	5,92	0.0079	significant
Pure Error	0,0068916	8	0,00086145			
Cor Total	0,60562446	25				

**Tabelle A 57: Statistische Fermentationen von Erbsenextrakt mit *L. paracasei* (L 1150) - Entwicklung des pH-Wertes**

Vers. Nr.	Beginn	Nach 24 h	Nach 72 h	Differenz
1	4,50	4,38	4,46	0,04
2	4,50	4,48	4,27	0,23
3	4,50	4,36	3,99	0,51
4	4,50	4,40	4,42	0,08
5	4,50	4,49	4,31	0,19
6	4,50	4,38	4,14	0,36
7	4,50	4,46	4,40	0,10
8	4,50	4,70	4,49	0,01
9	4,50	4,21	3,90	0,60
10	4,50	4,47	4,32	0,18
11	4,50	4,49	4,35	0,15
12	4,50	4,43	4,28	0,22
13	4,50	4,50	4,38	0,12
14	4,50	4,17	3,41	1,09
15	4,50	3,68	3,21	1,29
16	4,50	3,43	3,11	1,39
17	4,50	3,76	3,32	1,18
18	4,50	3,48	3,16	1,34
19	4,50	3,40	3,10	1,40
20	4,50	3,73	3,35	1,15
21	4,50	3,50	3,19	1,31
22	4,50	3,40	3,11	1,39
23	4,50	3,54	3,17	1,33
24	4,50	3,56	3,18	1,32
25	4,50	3,57	3,18	1,32
26	4,50	3,57	3,19	1,31

**Tabelle A 58: Kenndaten des mathematischen Modells zur Entwicklung des pH-Wertes: L 1150 in Erbsenextrakt**

Source	Sum of Squares	DF	Mean Square	F Value	Prob > F	
Model	7,90747885	2	3,95373942	608,85	< 0.0001	significant
A	0,336675	1	0,336675	51,85	< 0.0001	
C	7,57080385	1	7,57080385	1165,86	< 0.0001	
Residual	0,14935577	23	0,00649373			significant
Lack of Fit	0,14295577	15	0,00953038	11,91	0.0007	
Pure Error	0,0064	8	0,0008			
Cor Total	8,05683462	25				

**Tabelle A 59: Statistische Fermentationen von Erbsenextrakt mit *L. paracasei* (L 1150) - Entwicklung der Oligosaccharidkonzentration Versuchsläufe 1-13**

Vers. Nr.	Fermentationsdauer [h]			Abnahme Oligosaccharidkonzentration	
		0	72	[g/l]	[%]
1	Raffinose	1,2	3,4	-2,3	-194,8
	Stachyose	3,4	3,5	-0,1	-3,3
	Verbascose	3,9	5,0	-1,1	-27,4
	Summe	8,4	11,9	-3,4	-40,8
2	Raffinose	1,2	1,0	0,2	13,8
	Stachyose	3,4	3,1	0,2	7,1
	Verbascose	3,9	4,4	-0,5	-11,8
	Summe	8,4	8,5	-0,1	-0,7
3	Raffinose	1,2	0,5	0,6	55,2
	Stachyose	3,4	2,6	0,8	23,4
	Verbascose	3,9	3,4	0,5	12,8
	Summe	8,4	6,5	1,9	22,9
4	Raffinose	1,2	1,3	-0,1	-11,2
	Stachyose	3,4	3,4	0,0	-0,9
	Verbascose	3,9	4,2	-0,3	-7,4
	Summe	8,4	8,9	-0,5	-5,3
5	Raffinose	1,2	1,1	0,0	1,7
	Stachyose	3,4	3,4	0,0	-0,9
	Verbascose	3,9	4,1	-0,2	-5,6
	Summe	8,4	8,7	-0,2	-2,7
6	Raffinose	1,2	0,9	0,3	25,9
	Stachyose	3,4	3,3	0,1	2,7
	Verbascose	3,9	4,0	-0,1	-1,8
	Summe	8,4	8,1	0,3	3,8
7	Raffinose	1,2	1,3	-0,2	-12,9
	Stachyose	3,4	3,5	-0,1	-3,9
	Verbascose	3,9	4,1	-0,2	-4,6
	Summe	8,4	8,9	-0,5	-5,5
8	Raffinose	1,2	1,1	0,0	3,4
	Stachyose	3,4	3,3	0,0	0,9
	Verbascose	3,9	3,9	0,0	-0,5
	Summe	8,4	8,4	0,1	0,6
9	Raffinose	1,2	0,5	0,6	54,3
	Stachyose	3,4	2,7	0,7	19,9
	Verbascose	3,9	3,1	0,8	21,0
	Summe	8,4	6,3	2,1	25,1
10	Raffinose	1,2	1,1	0,0	1,7
	Stachyose	3,4	3,4	-0,1	-2,1
	Verbascose	3,9	4,1	-0,2	-5,1
	Summe	8,4	8,7	-0,3	-3,0
11	Raffinose	1,2	1,3	-0,1	-9,5
	Stachyose	3,4	3,5	-0,2	-4,5
	Verbascose	3,9	4,1	-0,2	-5,6
	Summe	8,4	8,9	-0,5	-5,7
12	Raffinose	1,2	1,1	0,1	6,9
	Stachyose	3,4	3,2	0,2	6,2
	Verbascose	3,9	5,7	-1,8	-46,5
	Summe	8,4	10,0	-1,5	-18,1
13	Raffinose	1,2	1,2	-0,1	-6,0
	Stachyose	3,4	3,4	0,0	-0,6
	Verbascose	3,9	4,6	-0,7	-17,4
	Summe	8,4	9,2	-0,8	-9,1

**Tabelle A 60: Statistische Fermentationen von Erbsenextrakt mit *L. paracasei* (L 1150) - Entwicklung der Oligosaccharidkonzentration Versuchsläufe 14-26**

Vers. Nr.	Fermentationsdauer [h]			Abnahme Oligosaccharidkonzentration	
		0	72	[g/l]	[%]
14	Raffinose	1,2	0,8	0,4	35,3
	Stachyose	3,4	2,6	0,8	23,1
	Verbascose	3,9	3,5	0,4	11,3
	Summe	8,4	6,8	1,6	19,3
15	Raffinose	1,2	0,5	0,7	56,9
	Stachyose	3,4	3,9	-0,6	-16,6
	Verbascose	3,9	3,8	0,1	2,6
	Summe	8,4	8,2	0,2	2,4
16	Raffinose	1,2	0,7	0,5	41,4
	Stachyose	3,4	2,5	0,9	25,2
	Verbascose	3,9	3,3	0,6	14,6
	Summe	8,4	6,5	1,9	22,5
17	Raffinose	1,2	0,9	0,3	21,6
	Stachyose	3,4	2,9	0,5	13,4
	Verbascose	3,9	3,8	0,1	3,6
	Summe	8,4	7,6	0,8	10,0
18	Raffinose	1,2	0,8	0,4	35,3
	Stachyose	3,4	2,7	0,7	19,9
	Verbascose	3,9	3,5	0,5	11,8
	Summe	8,4	6,9	1,5	18,2
19	Raffinose	1,2	0,7	0,4	37,9
	Stachyose	3,4	2,5	0,8	24,9
	Verbascose	3,9	3,3	0,6	15,9
	Summe	8,4	6,5	1,9	22,5
20	Raffinose	1,2	0,6	0,6	50,9
	Stachyose	3,4	4,2	-0,8	-24,9
	Verbascose	3,9	3,9	0,1	1,5
	Summe	8,4	8,6	-0,2	-2,3
21	Raffinose	1,2	0,5	0,6	54,3
	Stachyose	3,4	3,0	0,4	11,3
	Verbascose	3,9	3,5	0,4	10,7
	Summe	8,4	7,0	1,4	16,9
22	Raffinose	1,2	0,4	0,7	62,9
	Stachyose	3,4	2,7	0,7	19,6
	Verbascose	3,9	2,9	1,0	26,1
	Summe	8,4	6,0	2,4	28,6
23	Raffinose	1,2	0,6	0,6	48,3
	Stachyose	3,4	3,5	-0,1	-3,6
	Verbascose	3,9	3,9	0,1	1,5
	Summe	8,4	7,9	0,5	5,9
24	Raffinose	1,2	0,4	0,7	62,9
	Stachyose	3,4	2,5	0,9	27,3
	Verbascose	3,9	2,9	1,1	27,1
	Summe	8,4	5,7	2,7	32,1
25	Raffinose	1,2	0,6	0,6	51,7
	Stachyose	3,4	3,0	0,3	10,1
	Verbascose	3,9	3,6	0,4	9,2
	Summe	8,4	7,1	1,3	15,4
26	Raffinose	1,2	0,5	0,7	60,3
	Stachyose	3,4	3,0	0,3	10,1
	Verbascose	3,9	3,3	0,6	15,6
	Summe	8,4	6,8	1,7	19,5

**Tabelle A 61: Kenndaten des mathematischen Modells zur Entwicklung des Raffinose-Gehaltes: L 1150 in Erbsenextrakt**

	Sum of		Mean	F		
Source	Squares	DF	Square	Value	Prob > F	
Model	6,35740385	5	1,27148077	9,77	< 0.0001	significant
A	1,61333333	1	1,61333333	12,39	0.0022	
B	0,40333333	1	0,40333333	3,10	0.0937	
C	2,58615385	1	2,58615385	19,86	0.0002	
AB	0,55125	1	0,55125	4,23	0.0529	
AC	1,20333333	1	1,20333333	9,24	0.0065	
Residual	2,60413462	20	0,13020673			
Lack of Fit	2,51613462	12	0,20967788	19,06	0.0001	significant
Pure Error	0,088	8	0,011			
Cor Total	8,96153846	25				

**Tabelle A 62: Kenndaten des mathematischen Modells zur Entwicklung des Stachyose-Gehaltes: L 1150 in Erbsenextrakt**

	Sum of		Mean	F		
Source	Squares	DF	Square	Value	Prob > F	
Model	1,14083333	1	1,14083333	6,67	0.0163	significant
A	1,14083333	1	1,14083333	6,67	0.0163	
Residual	4,10262821	24	0,17094284			
Lack of Fit	3,40662821	16	0,21291426	2,45	0.1007	not significant
Pure Error	0,696	8	0,087			
Cor Total	5,24346154	25				

**Tabelle A 63: Kenndaten des mathematischen Modells zur Entwicklung des Verbascose-Gehaltes: L 1150 in Erbsenextrakt**

	Sum of		Mean	F		
Source	Squares	DF	Square	Value	Prob > F	
Model	5,45948718	2	2,72974359	13,12	0.0002	significant
A	1,61333333	1	1,61333333	7,75	0.0105	
C	3,84615385	1	3,84615385	18,48	0.0003	
Residual	4,78666667	23	0,20811594			
Lack of Fit	2,32666667	15	0,15511111	0,50	0.8794	not significant
Pure Error	2,46	8	0,3075			
Cor Total	10,2461538	25				

**Tabelle A 64: Kenndaten des mathematischen Modells zur Entwicklung des Oligosaccharid-Gehaltes: L 1150 in Erbsenextrakt**

	Sum of		Mean	F		
Source	Squares	DF	Square	Value	Prob > F	
Model	30,5642949	2	15,2821474	19,95	< 0.0001	significant
A	13,4408333	1	13,4408333	17,54	0.0004	
C	17,1234615	1	17,1234615	22,35	< 0.0001	
Residual	17,6207051	23	0,76611761			
Lack of Fit	14,0167051	15	0,93444701	2,07	0.1496	not significant
Pure Error	3,604	8	0,4505			
Cor Total	48,185	25				

**Tabelle A 65: Statistische Fermentationen von Erbsenextrakt mit *L. perolens* (L 532) - Entwicklung der photometrischen Extinktion**

Vers. Nr.	Beginn	Nach 24 h	Nach 72 h	Nach 96 h	Differenz
1	0,764	0,702	1,092	1,193	0,429
2	0,658	0,784	1,261	1,334	0,676
3	0,679	1,014	1,271	1,328	0,649
4	0,660	0,760	1,178	1,223	0,563
5	0,675	0,911	1,285	1,330	0,655
6	0,671	0,711	1,139	1,118	0,447
7	0,768	1,025	1,340	1,382	0,614
8	0,755	0,940	1,361	1,379	0,624
9	0,794	1,039	1,347	1,348	0,554
10	0,692	0,752	1,028	1,140	0,448
11	0,697	0,967	1,035	1,191	0,494
12	0,676	0,778	0,985	1,108	0,432
13	0,681	0,774	1,013	1,112	0,431
14	0,779	0,694	1,359	1,440	0,661
15	0,686	1,067	1,519	1,516	0,830
16	0,696	1,235	1,516	1,546	0,850
17	0,686	0,912	1,444	1,502	0,816
18	0,701	1,256	1,533	1,607	0,906
19	0,688	1,380	1,440	1,495	0,807
20	0,758	1,105	1,463	1,504	0,746
21	0,803	1,358	1,562	1,565	0,762
22	0,823	1,462	1,583	1,569	0,746
23	0,677	1,070	1,532	1,492	0,815
24	0,701	1,418	1,457	1,484	0,783
25	0,647	1,231	1,465	1,491	0,844
26	0,705	1,182	1,509	1,527	0,822

**Tabelle A 66: Kenndaten des mathematischen Modells zur Entwicklung der photometrischen Extinktion: L 532 in Erbsenextrakt**

Source	Sum of Squares	DF	Mean Square	F Value	Prob > F	
Model	0,43732246	1	0,43732246	67,10	< 0.0001	significant
C	0,43732246	1	0,43732246	67,10	< 0.0001	
Residual	0,15641369	24	0,00651724			not significant
Lack of Fit	0,11219369	16	0,00701211	1,27	0.3798	
Pure Error	0,04422	8	0,0055275			
Cor Total	0,59373615	25				

**Tabelle A 67: Statistische Fermentationen von Erbsenextrakt mit *L. perolens* (L 532) - Entwicklung des pH-Wertes**

Vers. Nr.	Beginn	Nach 24 h	Nach 72 h	Nach 96 h	Differenz
1	4,50	4,59	3,90	3,78	0,72
2	4,50	4,46	3,81	3,62	0,88
3	4,50	4,12	3,70	3,53	0,97
4	4,50	4,57	3,86	3,69	0,81
5	4,50	4,21	3,81	3,62	0,88
6	4,50	4,57	4,36	4,13	0,37
7	4,50	4,05	3,69	3,53	0,97
8	4,50	4,14	3,76	3,57	0,93
9	4,50	4,05	3,71	3,56	0,94
10	4,50	4,59	4,42	4,21	0,29
11	4,50	4,54	4,39	4,19	0,31
12	4,50	4,55	4,41	4,19	0,31
13	4,50	4,57	4,41	4,23	0,27
14	4,50	4,52	3,33	3,09	1,41
15	4,50	3,96	3,13	2,97	1,53
16	4,50	3,53	3,06	2,93	1,57
17	4,50	4,16	3,25	3,05	1,45
18	4,50	3,58	3,08	2,94	1,56
19	4,50	3,45	3,07	2,95	1,55
20	4,50	3,92	3,20	3,04	1,46
21	4,50	3,50	3,05	2,93	1,57
22	4,50	3,36	3,01	2,90	1,60
23	4,50	3,65	3,11	2,98	1,52
24	4,50	3,61	3,12	2,97	1,53
25	4,50	3,61	3,12	2,97	1,53
26	4,50	3,60	3,11	2,96	1,54

**Tabelle A 68: Kenndaten des mathematischen Modells zur Entwicklung des pH-Wertes: L 532 in Erbsenextrakt**

Source	Sum of Squares	DF	Mean Square	F Value	Prob > F	
Model	4,79880385	1	4,79880385	102,92	< 0.0001	significant
C	4,79880385	1	4,79880385	102,92	< 0.0001	
Residual	1,11904615	24	0,04662692			not significant
Lack of Fit	0,84324615	16	0,05270288	1,53	0.2770	
Pure Error	0,2758	8	0,034475			
Cor Total	5,91785	25				

**Tabelle A 69: Statistische Fermentationen von Erbsenextrakt mit *L. perolens* (L 532) - Entwicklung der Oligosaccharidkonzentration Versuchsläufe 1-13**

Vers. Nr.	Fermentationsdauer [h]	0	96	Abnahme Oligosaccharidkonzentration	
				[g/l]	[%]
1	Raffinose	1,1	0,3	0,8	75,7
	Stachyose	3,0	2,4	0,7	22,4
	Verbascose	4,0	2,5	1,5	37,5
	Summe	8,1	5,1	3,0	37,1
2	Raffinose	1,1	0,2	0,9	83,8
	Stachyose	3,0	2,2	0,8	26,4
	Verbascose	4,0	2,5	1,5	38,0
	Summe	8,1	4,9	3,2	40,0
3	Raffinose	1,1	0,2	1,0	86,5
	Stachyose	3,0	1,7	1,3	43,6
	Verbascose	4,0	2,0	2,0	50,1
	Summe	8,1	3,8	4,3	52,7
4	Raffinose	1,1	0,2	0,9	84,7
	Stachyose	3,0	2,2	0,8	26,4
	Verbascose	4,0	2,5	1,5	37,0
	Summe	8,1	4,9	3,2	39,6
5	Raffinose	1,1	0,2	1,0	86,5
	Stachyose	3,0	2,0	1,0	33,7
	Verbascose	4,0	2,4	1,6	39,5
	Summe	8,1	4,6	3,6	43,8
6	Raffinose	1,1	0,3	0,8	70,3
	Stachyose	3,0	2,8	0,3	8,9
	Verbascose	4,0	3,4	0,6	14,6
	Summe	8,1	6,5	1,6	20,1
7	Raffinose	1,1	0,2	1,0	86,5
	Stachyose	3,0	1,6	1,5	48,5
	Verbascose	4,0	1,8	2,2	54,4
	Summe	8,1	3,5	4,6	56,6
8	Raffinose	1,1	0,2	0,9	82,9
	Stachyose	3,0	1,9	1,1	37,6
	Verbascose	4,0	2,1	1,8	46,3
	Summe	8,1	4,2	3,9	48,1
9	Raffinose	1,1	0,2	1,0	86,5
	Stachyose	3,0	2,7	0,4	11,6
	Verbascose	4,0	1,7	2,2	56,2
	Summe	8,1	4,6	3,5	43,6
10	Raffinose	1,1	0,4	0,7	61,3
	Stachyose	3,0	2,6	0,4	13,2
	Verbascose	4,0	3,5	0,5	13,1
	Summe	8,1	6,5	1,6	19,7
11	Raffinose	1,1	0,5	0,6	56,8
	Stachyose	3,0	2,8	0,2	7,3
	Verbascose	4,0	3,6	0,3	8,6
	Summe	8,1	6,9	1,2	14,7
12	Raffinose	1,1	0,6	0,6	49,5
	Stachyose	3,0	3,2	-0,2	-6,9
	Verbascose	4,0	4,3	-0,3	-8,1
	Summe	8,1	8,1	0,0	0,2
13	Raffinose	1,1	0,5	0,7	59,5
	Stachyose	3,0	2,9	0,1	3,6
	Verbascose	4,0	3,9	0,1	2,5
	Summe	8,1	7,2	0,9	10,7

**Tabelle A 70: Statistische Fermentationen von Erbsenextrakt mit *L. perolens* (L 532) - Entwicklung der Oligosaccharidkonzentration Versuchsläufe 14-26**

Vers. Nr.	Fermentationsdauer [h]	0	96	Abnahme Oligosaccharidkonzentration	
				[g/l]	[%]
14	Raffinose	1,1	0,5	0,6	56,8
	Stachyose	3,0	2,9	0,2	5,6
	Verbascose	4,0	3,6	0,4	10,6
	Summe	8,1	6,9	1,2	15,0
15	Raffinose	1,1	0,4	0,7	61,3
	Stachyose	3,0	2,7	0,3	10,6
	Verbascose	4,0	3,4	0,6	15,1
	Summe	8,1	6,5	1,6	19,7
16	Raffinose	1,1	0,3	0,8	69,4
	Stachyose	3,0	2,4	0,7	21,5
	Verbascose	4,0	3,0	1,0	25,2
	Summe	8,1	5,7	2,4	29,8
17	Raffinose	1,1	0,5	0,6	55,9
	Stachyose	3,0	2,8	0,2	6,9
	Verbascose	4,0	3,5	0,4	10,8
	Summe	8,1	6,9	1,3	15,5
18	Raffinose	1,1	0,4	0,7	66,7
	Stachyose	3,0	2,5	0,5	17,8
	Verbascose	4,0	3,1	0,9	22,2
	Summe	8,1	6,0	2,2	26,6
19	Raffinose	1,1	0,8	0,3	27,0
	Stachyose	3,0	2,6	0,5	14,9
	Verbascose	4,0	3,4	0,6	14,4
	Summe	8,1	6,8	1,3	16,3
20	Raffinose	1,1	0,5	0,6	57,7
	Stachyose	3,0	2,8	0,2	7,6
	Verbascose	4,0	3,5	0,5	12,3
	Summe	8,1	6,8	1,4	16,8
21	Raffinose	1,1	0,4	0,7	66,7
	Stachyose	3,0	2,5	0,5	16,8
	Verbascose	4,0	3,1	0,9	21,4
	Summe	8,1	6,0	2,1	25,9
22	Raffinose	1,1	0,4	0,8	67,6
	Stachyose	3,0	2,5	0,5	17,8
	Verbascose	4,0	3,1	0,8	21,2
	Summe	8,1	6,0	2,1	26,3
23	Raffinose	1,1	1,0	0,1	7,2
	Stachyose	3,0	2,8	0,3	8,6
	Verbascose	4,0	3,6	0,4	8,8
	Summe	8,1	7,4	0,7	8,5
24	Raffinose	1,1	1,2	-0,1	-6,3
	Stachyose	3,0	3,1	-0,1	-1,7
	Verbascose	4,0	4,1	-0,1	-2,8
	Summe	8,1	8,3	-0,2	-2,8
25	Raffinose	1,1	1,0	0,1	12,6
	Stachyose	3,0	2,6	0,5	15,8
	Verbascose	4,0	3,5	0,5	12,3
	Summe	8,1	7,0	1,1	13,7
26	Raffinose	1,1	1,1	0,0	0,9
	Stachyose	3,0	3,0	0,1	2,6
	Verbascose	4,0	3,8	0,2	4,5
	Summe	8,1	7,8	0,3	3,3

**Tabelle A 71: Kenndaten des mathematischen Modells zur Entwicklung des Raffinose-Gehaltes: L 532 in Erbsenextrakt**

	Sum of		Mean	F		
Source	Squares	DF	Square	Value	Prob > F	
Model	1,61282051	3	0,53760684	13,26	< 0.0001	significant
B	0,00333333	1	0,00333333	0,08	0.7770	
C	0,96153846	1	0,96153846	23,72	< 0.0001	
B2	0,64794872	1	0,64794872	15,98	0.0006	
Residual	0,89179487	22	0,04053613			
Lack of Fit	0,39179487	14	0,02798535	0,45	0.9099	not significant
Pure Error	0,5	8	0,0625			
Cor Total	2,50461538	25				

**Tabelle A 72: Kenndaten des mathematischen Modells zur Entwicklung des Stachyose-Gehaltes: L 532 in Erbsenextrakt**

	Sum of		Mean	F		
Source	Squares	DF	Square	Value	Prob > F	
Model	2,25152473	6	0,37525412	3,70	0.0132	significant
A	0,00083333	1	0,00083333	0,01	0.9287	
B	0,00333333	1	0,00333333	0,03	0.8581	
C	0,61538462	1	0,61538462	6,07	0.0235	
B2	0,81322344	1	0,81322344	8,02	0.0107	
AB	0,45125	1	0,45125	4,45	0.0484	
AC	0,3675	1	0,3675	3,62	0.0722	
Residual	1,92693681	19	0,10141773			
Lack of Fit	0,85493681	11	0,07772153	0,58	0.8020	not significant
Pure Error	1,072	8	0,134			
Cor Total	4,17846154	25				

**Tabelle A 73: Kenndaten des mathematischen Modells zur Entwicklung des Verbascose-Gehaltes: L 532 in Erbsenextrakt**

	Sum of		Mean	F		
Source	Squares	DF	Square	Value	Prob > F	
Model	6,69875458	3	2,23291819	8,62	0.0006	significant
B	0,16333333	1	0,16333333	0,63	0.4356	
C	2,71384615	1	2,71384615	10,48	0.0038	
B2	3,82157509	1	3,82157509	14,76	0.0009	
Residual	5,69663004	22	0,25893773			
Lack of Fit	3,11663004	14	0,22261643	0,69	0.7401	not significant
Pure Error	2,58	8	0,3225			
Cor Total	12,3953846	25				

**Tabelle A 74: Kenndaten des mathematischen Modells zur Entwicklung des Oligosaccharid-Gehaltes: L 532 in Erbsenextrakt**

	Sum of		Mean	F		
Source	Squares	DF	Square	Value	Prob > F	
Model	1,61282051	3	0,53760684	13,26	< 0.0001	significant
B	0,00333333	1	0,00333333	0,08	0.7770	
C	0,96153846	1	0,96153846	23,72	< 0.0001	
B2	0,64794872	1	0,64794872	15,98	0.0006	
Residual	0,89179487	22	0,04053613			
Lack of Fit	0,39179487	14	0,02798535	0,45	0.9099	not significant
Pure Error	0,5	8	0,0625			
Cor Total	2,50461538	25				

**Tabelle A 75: Statistische Fermentationen von Erbsenextrakt mit *L. plantarum* (L 1047) - Entwicklung der photometrischen Extinktion**

Vers. Nr.	Beginn	Nach 20 h	Nach 69 h	Nach 92 h	Differenz
1	0,944	1,156	1,365	1,382	0,438
2	0,953	1,274	1,393	1,544	0,591
3	0,928	1,347	1,446	1,406	0,478
4	0,991	1,251	1,496	1,534	0,543
5	0,997	1,407	1,395	1,433	0,436
6	0,983	1,401	1,502	1,240	0,257
7	1,043	1,333	1,449	1,454	0,411
8	1,012	1,404	1,468	1,491	0,479
9	1,029	1,377	1,446	1,428	0,399
10	0,972	1,366	1,415	1,471	0,499
11	0,972	1,455	1,446	1,468	0,496
12	0,973	1,404	1,432	1,436	0,463
13	0,976	1,364	1,446	1,475	0,499
14	0,925	1,118	1,245	1,420	0,495
15	0,928	1,329	1,505	1,694	0,766
16	0,955	1,216	1,327	1,198	0,243
17	0,998	1,268	1,512	1,619	0,621
18	0,968	1,360	1,516	1,535	0,567
19	1,007	1,466	1,534	1,584	0,577
20	1,016	1,344	1,618	1,661	0,645
21	1,065	1,431	1,575	1,730	0,665
22	1,017	1,445	1,556	1,518	0,501
23	0,998	1,407	1,513	1,568	0,570
24	0,998	1,397	1,534	1,578	0,580
25	0,973	1,391	1,587	1,561	0,588
26	0,979	1,378	1,541	1,573	0,594

**Tabelle A 76: Kenndaten des mathematischen Modells zur Entwicklung der photometrischen Extinktion: L 1047 in Erbsenextrakt**

Source	Sum of Squares	DF	Mean Square	F Value	Prob > F	
Model	0,16319331	3	0,05439777	11,86	0.0001	significant
A	0,0198916	1	0,0198916	4,34	0.0510	
B	0,01549829	1	0,01549829	3,38	0.0817	
C	0,13788343	1	0,13788343	30,07	< 0.0001	
Residual	0,0871353	19	0,00458607			
Lack of Fit	0,0839335	12	0,00699446	15,29	0.0007	significant
Pure Error	0,0032018	7	0,0004574			
Cor Total	0,25032861	22				

**Tabelle A 77: Statistische Fermentationen von Erbsenextrakt mit *L. plantarum* (L 1047) - Entwicklung des pH-Wertes**

Vers. Nr.	Beginn	Nach 20 h	Nach 69 h	Nach 92 h	Differenz
1	4,50	4,02	3,49	3,45	1,05
2	4,50	3,73	3,46	3,54	0,96
3	4,50	3,59	3,338	3,36	1,14
4	4,50	3,84	3,52	3,52	0,98
5	4,50	3,59	3,50	3,58	0,92
6	4,50	3,52	3,40	3,39	1,11
7	4,50	3,75	3,52	3,51	0,99
8	4,50	3,51	3,42	3,43	1,07
9	4,50	3,50	3,35	3,45	1,05
10	4,50	3,58	3,47	3,46	1,04
11	4,50	3,60	3,49	3,52	0,98
12	4,50	3,59	3,49	3,53	0,97
13	4,50	3,57	3,49	3,61	0,89
14	4,50	4,27	3,16	3,05	1,45
15	4,50	3,71	3,10	3,04	1,46
16	4,50	3,77	3,34	3,29	1,21
17	4,50	3,78	3,28	3,20	1,30
18	4,50	3,55	3,08	33,02	1,48
19	4,50	3,46	3,10	3,06	1,44
20	4,50	3,69	3,26	3,17	1,33
21	4,50	3,50	3,06	2,99	1,51
22	4,50	3,40	3,08	3,04	1,46
23	4,50	3,56	3,06	2,98	1,52
24	4,50	3,55	3,06	2,98	1,52
25	4,50	3,54	3,08	2,98	1,52
26	4,50	3,55	3,06	2,95	1,55

**Tabelle A 78: Kenndaten des mathematischen Modells zur Entwicklung des pH-Wertes: L 1047 in Erbsenextrakt**

Source	Sum of Squares	DF	Mean Square	F Value	Prob > F	
Model	1,14670863	2	0,57335431	140,30	< 0.0001	significant
A	0,03025	1	0,03025	7,40	0.0132	
C	1,11645863	1	1,11645863	273,19	< 0.0001	
Residual	0,08173485	20	0,00408674			
Lack of Fit	0,07197985	13	0,00553691	3,97	0.0375	significant
Pure Error	0,009755	7	0,00139357			
Cor Total	1,22844348	22				

**Tabelle A 79: Statistische Fermentationen von Erbsenextrakt mit *L. plantarum* (L 1047) - Entwicklung der Oligosaccharidkonzentration Versuchsläufe 1-13**

Vers. Nr.	Fermentationsdauer [h]	0	92	Abnahme Oligosaccharidkonzentration	
				[g/l]	[%]
1	Raffinose	1,7	1,1	0,6	34,9
	Stachyose	4,1	3,1	1,0	23,7
	Verbascose	3,6	2,9	0,7	19,1
	Summe	9,4	7,1	2,2	24,0
2	Raffinose	1,7	0,6	1,1	66,3
	Stachyose	4,1	2,8	1,2	29,9
	Verbascose	3,6	2,2	1,4	38,5
	Summe	9,4	5,6	3,7	39,8
3	Raffinose	1,7	0,4	1,3	76,9
	Stachyose	4,1	2,3	1,7	42,2
	Verbascose	3,6	2,1	1,5	41,8
	Summe	9,4	4,8	4,5	48,3
4	Raffinose	1,7	0,4	1,3	76,3
	Stachyose	4,1	2,4	1,7	41,7
	Verbascose	3,6	2,4	1,3	34,6
	Summe	9,4	5,1	4,2	45,2
5	Raffinose	1,7	0,7	1,0	60,4
	Stachyose	4,1	3,0	1,1	25,9
	Verbascose	3,6	2,7	0,9	24,4
	Summe	9,4	6,4	3,0	31,6
6	Raffinose	1,7	0,6	1,1	66,9
	Stachyose	4,1	2,7	1,3	32,6
	Verbascose	3,6	2,5	1,1	31,3
	Summe	9,4	5,8	3,6	38,3
7	Raffinose	1,7	0,4	1,3	74,6
	Stachyose	4,1	2,2	1,8	44,7
	Verbascose	3,6	2,2	1,4	39,3
	Summe	9,4	4,9	4,5	48,0
8	Raffinose	1,7	0,7	1,0	60,4
	Stachyose	4,1	3,0	1,1	26,9
	Verbascose	3,6	2,7	0,9	24,9
	Summe	9,4	6,3	3,0	32,2
9	Raffinose	1,7	0,4	1,3	78,1
	Stachyose	4,1	2,4	1,7	41,5
	Verbascose	3,6	2,2	1,4	39,3
	Summe	9,4	4,9	4,4	47,3
10	Raffinose	1,7	0,4	1,3	79,3
	Stachyose	4,1	2,4	1,7	42,0
	Verbascose	3,6	2,3	1,4	37,7
	Summe	9,4	5,0	4,4	47,1
11	Raffinose	1,7	0,4	1,3	75,7
	Stachyose	4,1	2,4	1,7	41,5
	Verbascose	3,6	2,4	1,3	34,6
	Summe	9,4	5,1	4,2	45,0
12	Raffinose	1,7	0,4	1,3	75,1
	Stachyose	4,1	2,3	1,8	44,0
	Verbascose	3,6	2,2	1,4	38,0
	Summe	9,4	4,9	4,4	47,3
13	Raffinose	1,7	0,5	1,2	70,4
	Stachyose	4,1	2,7	1,3	32,6
	Verbascose	3,6	3,3	0,4	9,7
	Summe	9,4	6,5	2,9	30,6

**Tabelle A 80: Statistische Fermentationen von Erbsenextrakt mit *L. plantarum* (L 1047) - Entwicklung der Oligosaccharidkonzentration Versuchsläufe 14-26**

Vers. Nr.	Fermentationsdauer [h]	0	92	Abnahme Oligosaccharidkonzentration	
				[g/l]	[%]
14	Raffinose	1,7	0,4	1,3	79,3
	Stachyose	4,1	0,8	3,3	80,5
	Verbascose	3,6	1,7	1,9	51,8
	Summe	9,4	2,9	6,5	69,2
15	Raffinose	1,7	0,5	1,2	71,6
	Stachyose	4,1	2,5	1,6	39,3
	Verbascose	3,6	2,6	1,0	26,9
	Summe	9,4	5,6	3,8	40,3
16	Raffinose	1,7	1,2	0,5	26,6
	Stachyose	4,1	3,0	1,0	24,9
	Verbascose	3,6	3,1	0,6	15,5
	Summe	9,4	7,3	2,0	21,6
17	Raffinose	1,7	0,8	0,9	50,9
	Stachyose	4,1	2,7	1,3	32,3
	Verbascose	3,6	2,6	1,0	26,9
	Summe	9,4	6,2	3,1	33,6
18	Raffinose	1,7	0,7	1,0	58,0
	Stachyose	4,1	2,7	1,4	33,8
	Verbascose	3,6	2,6	1,0	27,7
	Summe	9,4	6,0	3,4	35,8
19	Raffinose	1,7	0,7	1,0	60,4
	Stachyose	4,1	2,7	1,3	32,6
	Verbascose	3,6	2,8	0,8	23,3
	Summe	9,4	6,2	3,2	34,0
20	Raffinose	1,7	0,8	0,9	52,1
	Stachyose	4,1	2,8	1,3	30,9
	Verbascose	3,6	2,8	0,8	22,2
	Summe	9,4	6,4	2,9	31,3
21	Raffinose	1,7	0,7	1,0	56,8
	Stachyose	4,1	2,7	1,4	34,1
	Verbascose	3,6	2,8	0,8	22,2
	Summe	9,4	6,2	3,1	33,6
22	Raffinose	1,7	0,6	1,1	62,1
	Stachyose	4,1	2,6	1,5	36,0
	Verbascose	3,6	2,6	1,0	26,9
	Summe	9,4	5,9	3,5	37,2
23	Raffinose	1,7	0,8	0,9	52,1
	Stachyose	4,1	2,8	1,3	31,1
	Verbascose	3,6	2,9	0,8	20,8
	Summe	9,4	6,5	2,9	30,9
24	Raffinose	1,7	0,7	1,0	56,8
	Stachyose	4,1	2,8	1,3	31,1
	Verbascose	3,6	2,9	0,7	18,6
	Summe	9,4	6,5	2,9	30,9
25	Raffinose	1,7	0,6	1,1	64,5
	Stachyose	4,1	2,5	1,6	38,3
	Verbascose	3,6	2,6	1,0	27,1
	Summe	9,4	5,7	3,6	38,7
26	Raffinose	1,7	0,6	1,1	62,7
	Stachyose	4,1	2,5	1,6	38,8
	Verbascose	3,6	2,6	1,0	28,0
	Summe	9,4	5,7	3,6	38,9

**Tabelle A 81: Kenndaten des mathematischen Modells zur Entwicklung des Raffinose-Gehaltes: L 1047 in Erbsenextrakt**

	Sum of		Mean	F		
Source	Squares	DF	Square	Value	Prob > F	
Model	0,32987992	5	0,06597598	2,89	0.0458	significant
A	0,10011905	1	0,10011905	4,38	0.0516	
B	0,00277358	1	0,00277358	0,12	0.7318	
C	0,08983333	1	0,08983333	3,93	0.0638	
AB	0,07778571	1	0,07778571	3,40	0.0825	
BC	0,06164151	1	0,06164151	2,70	0.1188	
Residual	0,38838095	17	0,02284594			
Lack of Fit	0,29288095	10	0,0292881	2,15	0.1614	not significant
Pure Error	0,0955	7	0,01364286			
Cor Total	0,71826087	22				

**Tabelle A 82: Kenndaten des mathematischen Modells zur Entwicklung des Stachyose-Gehaltes: L 1047 in Erbsenextrakt**

	Sum of		Mean	F		
Source	Squares	DF	Square	Value	Prob > F	
Model	0	0				
Residual	1,2773913	22	0,05806324			
Lack of Fit	0,8778913	15	0,05852609	1,03	0.5166	not significant
Pure Error	0,3995	7	0,05707143			
Cor Total	1,2773913	22				

**Tabelle A 83: Kenndaten des mathematischen Modells zur Entwicklung des Verbascose-Gehaltes: L 1047 in Erbsenextrakt**

	Sum of		Mean	F		
Source	Squares	DF	Square	Value	Prob > F	
Model	0,60619565	1	0,60619565	14,43	0.0011	significant
C	0,60619565	1	0,60619565	14,43	0.0011	
Residual	0,8825	21	0,04202381			
Lack of Fit	0,6325	14	0,04517857	1,27	0.3929	not significant
Pure Error	0,25	7	0,03571429			
Cor Total	1,48869565	22				

**Tabelle A 84: Kenndaten des mathematischen Modells zur Entwicklung des Oligosaccharid-Gehaltes: L 1047 in Erbsenextrakt**

	Sum of		Mean	F		
Source	Squares	DF	Square	Value	Prob > F	
Model	1,8577108	1	1,8577108	5,35	0.0309	significant
C	1,8577108	1	1,8577108	5,35	0.0309	
Residual	7,29098485	21	0,34718975			
Lack of Fit	5,42298485	14	0,38735606	1,45	0.3195	not significant
Pure Error	1,868	7	0,26685714			
Cor Total	9,14869565	22				

**Tabelle A 85: Statistische Fermentationen von Erbsenextrakt mit *P. acidilactici* (P 75) - Entwicklung der photometrischen Extinktion**

Vers. Nr.	Beginn	Nach 24 h	Nach 72 h	Differenz
1	0,564	0,648	0,654	0,090
2	0,561	0,669	0,656	0,095
3	0,603	0,720	0,746	0,143
4	0,515	0,670	0,705	0,190
5	0,518	0,612	0,610	0,092
6	0,499	0,741	0,720	0,221
7	0,570	0,778	0,605	0,035
8	0,601	0,767	0,593	-0,008
9	k.A.	1,045	1,144	k.A.
10	0,630	0,739	0,656	0,026
11	0,632	0,722	0,536	-0,096
12	0,596	0,700	0,655	0,059
13	0,632	0,722	0,536	-0,053
14	0,533	0,790	0,732	0,199
15	0,551	0,695	0,095	-0,456
16	0,563	0,825	0,717	0,154
17	0,560	0,763	0,784	0,224
18	0,524	0,669	0,678	0,154
19	0,560	0,690	0,792	0,232
20	0,589	0,708	0,720	0,131
21	0,575	0,765	0,825	0,250
22	0,445	0,768	0,753	0,308
23	0,723	0,751	0,789	0,066
24	0,624	0,786	0,659	0,035
25	0,626	0,741	0,736	0,110
26	0,615	0,750	0,701	0,086

**Tabelle A 86: Kenndaten des mathematischen Modells zur Entwicklung der photometrischen Extinktion: P 75 in Erbsenextrakt**

Source	Sum of Squares	DF	Mean Square	F Value	Prob > F	
Model	0,14475338	5	0,02895068	6,45	0.0013	significant
A	0,00732452	1	0,00732452	1,63	0.2178	
B	0,00071028	1	0,00071028	0,16	0.6955	
C	0,04047338	1	0,04047338	9,01	0.0076	
A2	0,06794897	1	0,06794897	15,13	0.0011	
BC	0,0138269	1	0,0138269	3,08	0.0963	
Residual	0,08082958	18	0,00449053			not significant
Lack of Fit	0,04822758	10	0,00482276	1,18	0.4137	
Pure Error	0,032602	8	0,00407525			
Cor Total	0,22558296	23				

**Tabelle A 87: Statistische Fermentationen von Erbsenextrakt mit *P. acidilactici* (P 75) - Entwicklung des pH-Wertes**

Vers. Nr.	Beginn	Nach 24 h	Nach 72 h	Differenz
1	4,50	4,65	4,51	-0,01
2	4,50	4,67	4,41	0,09
3	4,50	4,68	4,21	0,29
4	4,50	4,69	4,53	-0,03
5	4,50	4,67	4,37	0,13
6	4,50	4,66	3,86	0,64
7	4,50	4,76	4,64	-0,14
8	4,50	4,70	4,41	0,09
9	4,50	5,46	4,53	-0,03
10	4,50	4,66	4,07	0,43
11	4,50	4,68	4,40	0,10
12	4,50	4,66	4,36	0,14
13	4,50	4,70	4,44	0,06
14	4,50	4,33	3,88	0,62
15	4,50	4,02	3,71	0,79
16	4,50	4,02	3,67	0,83
17	4,50	4,30	3,88	0,62
18	4,50	4,00	3,74	0,76
19	4,50	4,07	3,71	0,79
20	4,50	4,26	3,86	0,64
21	4,50	4,00	3,72	0,78
22	4,50	4,02	3,66	0,84
23	4,50	4,00	3,71	0,79
24	4,50	3,99	3,72	0,78
25	4,50	4,01	3,74	0,76
26	4,50	4,00	3,73	0,77

**Tabelle A 88: Kenndaten des mathematischen Modells zur Entwicklung des pH-Wertes: P 75 in Erbsenextrakt**

Source	Sum of Squares	DF	Mean Square	F Value	Prob > F	
Model	2,46385461	2	1,23192731	101,61	< 0.0001	significant
A	0,30985045	1	0,30985045	25,56	< 0.0001	
C	2,04643242	1	2,04643242	168,79	< 0.0001	
Residual	0,25460789	21	0,01212419			not significant
Lack of Fit	0,16684789	13	0,01283445	1,17	0.4253	
Pure Error	0,08776	8	0,01097			
Cor Total	2,7184625	23				

**Tabelle A 89: Statistische Fermentationen von Erbsenextrakt mit *P. acidilactici* (P 75) - Entwicklung der Oligosaccharidkonzentration Versuchsläufe 1-13**

Vers. Nr.	Fermentationsdauer [h]	0		72		Abnahme Oligosaccharidkonzentration	
		[g/l]	[g/l]	[g/l]	[g/l]	[g/l]	[%]
1	Raffinose	1,3	1,0	0,3		22,2	
	Stachyose	3,1	2,7	0,4		12,9	
	Verbascose	4,0	3,8	0,2		5,0	
	Summe	8,4	7,5	0,9		10,5	
2	Raffinose	1,3	0,7	0,5		42,1	
	Stachyose	3,1	2,3	0,9		27,3	
	Verbascose	4,0	3,0	1,0		24,0	
	Summe	8,4	6,0	2,3		28,0	
3	Raffinose	1,3	0,5	0,8		60,3	
	Stachyose	3,1	1,8	1,3		40,8	
	Verbascose	4,0	2,6	1,4		36,0	
	Summe	8,4	4,9	3,5		41,5	
4	Raffinose	1,3	1,0	0,2		18,3	
	Stachyose	3,1	2,7	0,4		14,1	
	Verbascose	4,0	3,6	0,4		9,3	
	Summe	8,4	7,3	1,0		12,4	
5	Raffinose	1,3	0,8	0,5		35,7	
	Stachyose	3,1	2,5	0,6		18,3	
	Verbascose	4,0	3,4	0,6		14,0	
	Summe	8,4	6,8	1,6		18,9	
6	Raffinose	1,3	0,5	0,8		63,5	
	Stachyose	3,1	2,1	1,0		31,8	
	Verbascose	4,0	3,0	1,0		24,0	
	Summe	8,4	5,6	2,8		32,9	
7	Raffinose	1,3	1,0	0,3		24,6	
	Stachyose	3,1	2,5	0,6		20,6	
	Verbascose	4,0	3,4	0,7		16,3	
	Summe	8,4	6,8	1,6		19,1	
8	Raffinose	1,3	0,9	0,4		29,4	
	Stachyose	3,1	2,7	0,4		13,8	
	Verbascose	4,0	3,7	0,3		7,8	
	Summe	8,4	7,3	1,1		13,3	
9	Raffinose	1,3	k.A.	k.A.		k.A.	
	Stachyose	3,1	k.A.	k.A.		k.A.	
	Verbascose	4,0	k.A.	k.A.		k.A.	
	Summe	8,4	k.A.	k.A.		k.A.	
10	Raffinose	1,3	0,6	0,6		50,0	
	Stachyose	3,1	2,2	0,9		29,9	
	Verbascose	4,0	3,2	0,8		20,0	
	Summe	8,4	6,0	2,4		28,2	
11	Raffinose	1,3	0,8	0,4		34,9	
	Stachyose	3,1	2,6	0,6		17,7	
	Verbascose	4,0	3,5	0,5		12,3	
	Summe	8,4	6,9	1,5		17,7	
12	Raffinose	1,3	0,8	0,5		37,3	
	Stachyose	3,1	2,5	0,6		19,0	
	Verbascose	4,0	3,4	0,6		14,3	
	Summe	8,4	6,7	1,6		19,5	
13	Raffinose	1,3	0,9	0,4		29,4	
	Stachyose	3,1	2,7	0,4		13,8	
	Verbascose	4,0	3,6	0,4		9,5	
	Summe	8,4	7,2	1,2		14,1	

**Tabelle A 90: Statistische Fermentationen von Erbsenextrakt mit *P. acidilactici* (P 75) - Entwicklung der Oligosaccharidkonzentration Versuchsläufe 14-26**

Vers. Nr.	Fermentationsdauer [h]			Abnahme Oligosaccharidkonzentration	
		0	96	[g/l]	[%]
	Oligosaccharide	[g/l]	[g/l]	[g/l]	[%]
14	Raffinose	1,3	1,1	0,2	15,9
	Stachyose	3,1	3,2	-0,1	-1,9
	Verbascose	4,0	3,9	0,2	3,8
	Summe	8,4	8,1	0,3	3,5
15	Raffinose	1,3	0,7	0,5	42,9
	Stachyose	3,1	2,8	0,3	10,3
	Verbascose	4,0	3,3	0,7	18,3
	Summe	8,4	6,8	1,6	19,0
16	Raffinose	1,3	0,6	0,6	50,8
	Stachyose	3,1	2,6	0,5	15,1
	Verbascose	4,0	3,2	0,8	20,0
	Summe	8,4	6,5	1,9	22,8
17	Raffinose	1,3	0,6	0,6	50,8
	Stachyose	3,1	2,6	0,5	15,1
	Verbascose	4,0	3,1	0,9	22,5
	Summe	8,4	6,4	2,0	24,0
18	Raffinose	1,3	0,9	0,3	25,4
	Stachyose	3,1	2,9	0,3	8,4
	Verbascose	4,0	3,4	0,6	14,3
	Summe	8,4	7,2	1,2	13,7
19	Raffinose	1,3	0,7	0,6	44,4
	Stachyose	3,1	2,6	0,5	15,1
	Verbascose	4,0	3,0	1,0	24,5
	Summe	8,4	6,4	2,0	24,0
20	Raffinose	1,3	0,5	0,8	60,3
	Stachyose	3,1	2,5	0,6	19,9
	Verbascose	4,0	2,9	1,1	26,5
	Summe	8,4	5,9	2,4	29,2
21	Raffinose	1,3	0,8	0,5	35,7
	Stachyose	3,1	2,7	0,4	13,2
	Verbascose	4,0	3,2	0,8	19,8
	Summe	8,4	6,7	1,7	19,7
22	Raffinose	1,3	0,6	0,6	49,2
	Stachyose	3,1	2,4	0,7	21,9
	Verbascose	4,0	2,9	1,1	28,5
	Summe	8,4	5,9	2,4	29,2
23	Raffinose	1,3	0,6	0,7	51,6
	Stachyose	3,1	2,5	0,6	19,0
	Verbascose	4,0	2,9	1,1	26,5
	Summe	8,4	6,1	2,3	27,5
24	Raffinose	1,3	0,7	0,6	43,7
	Stachyose	3,1	2,8	0,3	10,3
	Verbascose	4,0	3,3	0,7	17,5
	Summe	8,4	6,8	1,6	18,8
25	Raffinose	1,3	0,7	0,6	43,7
	Stachyose	3,1	2,8	0,3	8,7
	Verbascose	4,0	3,4	0,6	16,0
	Summe	8,4	6,9	1,5	17,4
26	Raffinose	1,3	0,7	0,5	41,3
	Stachyose	3,1	2,8	0,3	8,7
	Verbascose	4,0	3,4	0,6	15,8
	Summe	8,4	7,0	1,4	17,0

**Tabelle A 91: Kenndaten des mathematischen Modells zur Entwicklung des Raffinose-Gehaltes: P 75 in Erbsenextrakt**

	Sum of		Mean	F		
Source	Squares	DF	Square	Value	Prob > F	
Model	0,51139611	6	0,08523269	7,44	0.0005	significant
A	0,16563823	1	0,16563823	14,45	0.0014	
B	0,00590273	1	0,00590273	0,51	0.4827	
C	0,02159383	1	0,02159383	1,88	0.1877	
AB	0,07438156	1	0,07438156	6,49	0.0208	
AC	0,09039457	1	0,09039457	7,89	0.0121	
BC	0,06991941	1	0,06991941	6,10	0.0244	
Residual	0,19485389	17	0,01146199			
Lack of Fit	0,07485389	9	0,0083171	0,55	0.8012	not significant
Pure Error	0,12	8	0,015			
Cor Total	0,70625	23				

**Tabelle A 92: Kenndaten des mathematischen Modells zur Entwicklung des Stachyose-Gehaltes: P 75 in Erbsenextrakt**

	Sum of		Mean	F		
Source	Squares	DF	Square	Value	Prob > F	
Model	1,41266908	5	0,28253382	11,95	< 0.0001	significant
A	0,30027053	1	0,30027053	12,70	0.0022	
B	0,00036582	1	0,00036582	0,02	0.9024	
C	0,40260203	1	0,40260203	17,02	0.0006	
AB	0,24852353	1	0,24852353	10,51	0.0045	
BC	0,33444411	1	0,33444411	14,14	0.0014	
Residual	0,42566425	18	0,02364801			
Lack of Fit	0,22566425	10	0,02256643	0,90	0.5690	not significant
Pure Error	0,2	8	0,025			
Cor Total	1,83833333	23				

**Tabelle A 93: Kenndaten des mathematischen Modells zur Entwicklung des Verbascose-Gehaltes: P 75 in Erbsenextrakt**

	Sum of		Mean	F		
Source	Squares	DF	Square	Value	Prob > F	
Model	1,53963384	5	0,30792677	8,09	0.0004	significant
A	0,32686261	1	0,32686261	8,58	0.0089	
B	0,00264898	1	0,00264898	0,07	0.7950	
C	0,11112426	1	0,11112426	2,92	0.1048	
AB	0,48118644	1	0,48118644	12,64	0.0023	
BC	0,49886791	1	0,49886791	13,10	0.0020	
Residual	0,68536616	18	0,0380759			
Lack of Fit	0,40936616	10	0,04093662	1,19	0.4122	not significant
Pure Error	0,276	8	0,0345			
Cor Total	2,225	23				

**Tabelle A 94: Kenndaten des mathematischen Modells zur Entwicklung des Oligosaccharid-Gehaltes: P 75 in Erbsenextrakt**

	Sum of		Mean	F		
Source	Squares	DF	Square	Value	Prob > F	
Model	8,16015917	6	1,36002653	8,32	0.0003	significant
A	2,51703018	1	2,51703018	15,40	0.0011	
B	0,0326373	1	0,0326373	0,20	0.6606	
C	0,04972798	1	0,04972798	0,30	0.5884	
AB	1,76398501	1	1,76398501	10,79	0.0044	
AC	0,54151361	1	0,54151361	3,31	0.0864	
BC	2,00795162	1	2,00795162	12,29	0.0027	
Residual	2,77817417	17	0,16342201			
Lack of Fit	1,28617417	9	0,14290824	0,77	0.6518	not significant
Pure Error	1,492	8	0,1865			
Cor Total	10,9383333	23				

**Tabelle A 95: Statistische Fermentationen von Erbsenextrakt mit *P. pentosaceus* (P 113) - Entwicklung der photometrischen Extinktion**

Vers. Nr.	Beginn	Nach 24 h	Nach 72 h	Nach 96 h	Differenz
1	0,755	0,762	0,923	0,947	0,192
2	0,785	0,947	1,152	1,095	0,310
3	0,800	0,932	1,059	1,070	0,270
4	0,811	0,981	0,901	0,995	0,184
5	0,804	0,911	0,971	1,042	0,238
6	0,764	0,881	1,064	1,016	0,252
7	0,777	0,973	0,876	0,943	0,166
8	0,793	0,946	0,916	0,986	0,193
9	0,805	0,966	1,150	1,193	0,388
10	0,787	0,950	0,902	1,013	0,226
11	0,781	0,945	0,927	0,982	0,201
12	0,770	0,921	0,937	0,940	0,170
13	0,823	1,002	0,942	0,941	0,118
14	0,858	0,806	0,960	0,955	0,097
15	0,729	0,918	1,031	0,853	0,124
16	0,773	1,063	1,116	k.A.	k.A.
17	0,887	0,968	1,015	0,995	0,108
18	0,841	0,990	1,030	0,955	0,114
19	0,887	1,021	1,117	1,022	0,135
20	0,857	0,974	1,037	1,028	0,171
21	0,847	0,968	1,028	k.A.	k.A.
22	0,846	1,090	1,145	1,076	0,230
23	0,813	1,014	1,080	1,012	0,199
24	0,800	0,930	1,023	1,036	0,236
25	0,747	1,028	1,129	1,030	0,283
26	0,943	1,012	0,994	0,930	-0,013

**Tabelle A 96: Kenndaten des mathematischen Modells zur Entwicklung der photometrischen Extinktion: P 113 in Erbsenextrakt**

Source	Sum of Squares	DF	Mean Square	F Value	Prob > F	
Model	0,05355066	2	0,02677533	5,47	0.0122	significant
A	0,023851	1	0,023851	4,88	0.0385	
C	0,02611314	1	0,02611314	5,34	0.0311	
Residual	0,10273068	21	0,00489194			not significant
Lack of Fit	0,03902868	13	0,00300221	0,38	0.9428	
Pure Error	0,063702	8	0,00796275			
Cor Total	0,15628133	23				

**Tabelle A 97: Statistische Fermentationen von Erbsenextrakt mit *P. pentosaceus* (P 113) - Entwicklung des pH-Wertes**

Vers. Nr.	Beginn	Nach 24 h	Nach 72 h	Nach 96 h	Differenz
1	4,50	3,45	3,33	3,31	1,19
2	4,50	3,90	3,63	3,57	0,93
3	4,50	3,88	3,71	3,70	0,80
4	4,50	4,23	4,03	3,98	0,52
5	4,50	3,79	3,60	3,54	0,96
6	4,50	3,49	3,43	3,42	1,08
7	4,50	3,72	3,60	3,57	0,93
8	4,50	3,70	3,52	3,48	1,02
9	4,50	4,00	3,76	3,62	0,88
10	4,50	3,48	3,42	3,30	1,20
11	4,50	3,49	3,31	3,15	1,35
12	4,50	3,58	3,49	3,42	1,08
13	4,50	3,49	3,41	3,35	1,15
14	4,50	3,47	3,14	3,08	1,42
15	4,50	3,87	3,53	3,45	1,05
16	4,50	3,47	3,35	k.A.	k.A.
17	4,50	3,80	3,51	3,45	1,05
18	4,50	3,78	3,50	3,44	1,06
19	4,50	3,61	3,47	3,46	1,04
20	4,50	3,64	3,40	3,35	1,15
21	4,50	3,55	3,34	k.A.	k.A.
22	4,50	3,66	3,49	3,47	1,03
23	4,50	3,71	3,45	3,39	1,11
24	4,50	3,42	3,19	3,15	1,35
25	4,50	3,81	3,52	3,43	1,07
26	4,50	3,74	3,50	3,40	1,10

**Tabelle A 98: Kenndaten des mathematischen Modells zur Entwicklung des pH-Wertes: P 113 in Erbsenextrakt**

Source	Sum of Squares	DF	Mean Square	F Value	Prob > F	
Model	0	0				
Residual	0,79373333	23	0,03451014			
Lack of Fit	0,65237333	15	0,04349156	2,46	0.1003	not significant
Pure Error	0,14136	8	0,01767			
Cor Total	0,79373333	23				

**Tabelle A 99: Statistische Fermentationen von Erbsenextrakt mit *P. pentosaceus* (P 113) - Entwicklung der Oligosaccharidkonzentration Versuchsläufe 1-13**

Vers. Nr.	Fermentationsdauer [h]	0	96	Abnahme Oligosaccharidkonzentration	
				[g/l]	[%]
1	Raffinose	1,4	1,0	0,4	25,9
	Stachyose	3,2	2,9	0,4	10,9
	Verbascose	3,5	3,0	0,5	13,5
	Summe	8,1	6,9	1,2	14,6
2	Raffinose	1,4	0,4	1,0	72,7
	Stachyose	3,2	2,2	1,1	32,8
	Verbascose	3,5	2,5	1,0	29,0
	Summe	8,1	5,0	3,1	38,0
3	Raffinose	1,4	0,4	1,0	74,1
	Stachyose	3,2	2,0	1,2	36,6
	Verbascose	3,5	2,5	1,0	29,3
	Summe	8,1	4,9	3,2	39,9
4	Raffinose	1,4	0,6	0,8	59,7
	Stachyose	3,2	2,3	1,0	29,7
	Verbascose	3,5	2,5	1,0	27,9
	Summe	8,1	5,3	2,8	34,1
5	Raffinose	1,4	0,3	1,1	77,0
	Stachyose	3,2	2,1	1,1	33,1
	Verbascose	3,5	1,8	1,7	48,3
	Summe	8,1	4,3	3,8	47,2
6	Raffinose	1,4	0,7	0,7	48,9
	Stachyose	3,2	2,6	0,6	19,1
	Verbascose	3,5	2,6	0,9	24,4
	Summe	8,1	5,9	2,1	26,5
7	Raffinose	1,4	0,1	1,3	93,5
	Stachyose	3,2	0,4	2,8	86,3
	Verbascose	3,5	1,8	1,7	48,6
	Summe	8,1	2,3	5,8	71,3
8	Raffinose	1,4	0,4	1,0	74,8
	Stachyose	3,2	2,3	0,9	29,4
	Verbascose	3,5	1,8	1,7	48,6
	Summe	8,1	4,4	3,7	45,5
9	Raffinose	1,4	0,2	1,2	82,7
	Stachyose	3,2	1,6	1,6	49,7
	Verbascose	3,5	1,3	2,2	61,8
	Summe	8,1	3,2	4,9	60,6
10	Raffinose	1,4	0,7	0,7	46,8
	Stachyose	3,2	2,5	0,7	20,9
	Verbascose	3,5	2,7	0,8	22,1
	Summe	8,1	6,0	2,1	25,9
11	Raffinose	1,4	0,2	1,2	84,2
	Stachyose	3,2	1,8	1,5	45,3
	Verbascose	3,5	2,8	0,7	20,1
	Summe	8,1	4,8	3,3	41,1
12	Raffinose	1,4	0,4	1,0	70,5
	Stachyose	3,2	2,5	0,7	21,6
	Verbascose	3,5	3,0	0,5	13,5
	Summe	8,1	5,9	2,1	26,5
13	Raffinose	1,4	0,8	0,6	43,9
	Stachyose	3,2	2,9	0,3	8,4
	Verbascose	3,5	2,9	0,6	16,7
	Summe	8,1	6,6	1,5	18,1

**Tabelle A 100: Statistische Fermentationen von Erbsenextrakt mit *P. pentosaceus* (P 113) - Entwicklung der Oligosaccharidkonzentration Versuchsläufe 14-26**

Vers. Nr.	Fermentationsdauer [h]	0	96	Abnahme Oligosaccharidkonzentration	
				[g/l]	[%]
14	Raffinose	1,4	1,1	0,3	22,3
	Stachyose	3,2	3,1	0,1	3,4
	Verbascose	3,5	3,0	0,5	14,9
	Summe	8,1	7,1	0,9	11,6
15	Raffinose	1,4	0,6	0,8	57,6
	Stachyose	3,2	2,6	0,6	20,0
	Verbascose	3,5	2,6	0,8	24,1
	Summe	8,1	5,8	2,3	28,3
16	Raffinose	1,4	0,5	0,9	66,9
	Stachyose	3,2	2,3	0,9	29,1
	Verbascose	3,5	2,7	0,8	23,6
	Summe	8,1	5,4	2,7	33,2
17	Raffinose	1,4	0,7	0,7	46,8
	Stachyose	3,2	2,8	0,5	14,1
	Verbascose	3,5	2,8	0,7	20,1
	Summe	8,1	6,3	1,8	22,3
18	Raffinose	1,4	0,2	1,2	84,9
	Stachyose	3,2	0,9	2,3	71,9
	Verbascose	3,5	0,8	2,7	76,1
	Summe	8,1	1,9	6,1	76,0
19	Raffinose	1,4	0,5	0,9	66,9
	Stachyose	3,2	2,3	0,9	27,5
	Verbascose	3,5	2,3	1,2	34,5
	Summe	8,1	5,1	3,0	37,3
20	Raffinose	1,4	0,2	1,2	82,7
	Stachyose	3,2	0,9	2,3	73,1
	Verbascose	3,5	0,7	2,8	79,3
	Summe	8,1	1,8	6,3	77,4
21	Raffinose	1,4	0,4	1,0	72,7
	Stachyose	3,2	2,3	0,9	28,4
	Verbascose	3,5	2,6	0,9	25,3
	Summe	8,1	5,3	2,8	34,7
22	Raffinose	1,4	0,5	0,9	65,5
	Stachyose	3,2	2,4	0,8	24,4
	Verbascose	3,5	2,4	1,1	30,5
	Summe	8,1	5,3	2,8	34,1
23	Raffinose	1,4	0,6	0,8	59,0
	Stachyose	3,2	2,5	0,7	21,3
	Verbascose	3,5	2,4	1,1	31,9
	Summe	8,1	5,5	2,6	32,3
24	Raffinose	1,4	0,8	0,6	46,0
	Stachyose	3,2	2,8	0,4	11,3
	Verbascose	3,5	2,5	1,0	29,0
	Summe	8,1	6,1	2,0	24,9
25	Raffinose	1,4	0,6	0,8	54,0
	Stachyose	3,2	2,6	0,6	19,1
	Verbascose	3,5	2,4	1,1	31,6
	Summe	8,1	5,6	2,5	30,5
26	Raffinose	1,4	0,5	0,9	66,2
	Stachyose	3,2	2,4	0,8	24,1
	Verbascose	3,5	2,4	1,1	30,2
	Summe	8,1	5,3	2,7	34,0

**Tabelle A 101: Kenndaten des mathematischen Modells zur Entwicklung des Raffinose-Gehaltes: P 113 in Erbsenextrakt**

	Sum of		Mean	F		
Source	Squares	DF	Square	Value	Prob > F	
Model	0,79083333	3	0,26361111	7,60	0.0011	significant
A	0,0675	1	0,0675	1,95	0.1769	
B	0,40333333	1	0,40333333	11,63	0.0025	
AB	0,32	1	0,32	9,23	0.0060	
Residual	0,76301282	22	0,0346824			
Lack of Fit	0,30301282	14	0,02164377	0,38	0.9473	not significant
Pure Error	0,46	8	0,0575			
Cor Total	1,55384615	25				

**Tabelle A 102: Kenndaten des mathematischen Modells zur Entwicklung des Stachyose-Gehaltes: P 113 in Erbsenextrakt**

	Sum of		Mean	F		
Source	Squares	DF	Square	Value	Prob > F	
Model	4,49541667	3	1,49847222	5,56	0.0054	significant
A	0,10083333	1	0,10083333	0,37	0.5471	
B	2,08333333	1	2,08333333	7,73	0.0109	
AB	2,31125	1	2,31125	8,57	0.0078	
Residual	5,93112179	22	0,26959645			
Lack of Fit	2,76712179	14	0,19765156	0,50	0.8775	not significant
Pure Error	3,164	8	0,3955			
Cor Total	10,4265385	25				

**Tabelle A 103: Kenndaten des mathematischen Modells zur Entwicklung des Verbascose-Gehaltes: P 113 in Erbsenextrakt**

	Sum of		Mean	F		
Source	Squares	DF	Square	Value	Prob > F	
Model	2,80333333	1	2,80333333	9,75	0.0046	significant
B	2,80333333	1	2,80333333	9,75	0.0046	
Residual	6,90012821	24	0,28750534			
Lack of Fit	3,84812821	16	0,24050801	0,63	0.7945	not significant
Pure Error	3,052	8	0,3815			
Cor Total	9,70346154	25				

**Tabelle A 104: Kenndaten des mathematischen Modells zur Entwicklung des Oligosaccharid-Gehaltes: P 113 in Erbsenextrakt**

	Sum of		Mean	F		
Source	Squares	DF	Square	Value	Prob > F	
Model	13,8675	1	13,8675	9,42	0.0053	significant
B	13,8675	1	13,8675	9,42	0.0053	
Residual	35,3221154	24	1,47175481			
Lack of Fit	20,7421154	16	1,29638221	0,71	0.7331	not significant
Pure Error	14,58	8	1,8225			
Cor Total	49,1896154	25				

**Tabelle A 105: Verlauf der Fermentation von Lupineextrakt mit *L. paracasei* (L 1150) im 5l-Maßstab**

Zeit [h]	0	12	24	36	48	60	72	84	96	Differenz
Temp. [°C]										
pH	4,70	4,58	4,60	4,52	4,41	4,32	4,22	4,15	4,08	0,62
Raffinose [g/l]	5,4	k.A.	5,4	k.A.	k.A.	k.A.	5,4	k.A.	4,7	0,7
Stachyose [g/l]	24,3	k.A.	23,6	k.A.	k.A.	k.A.	16,9	k.A.	20,5	3,9
Verbascose [g/l]	13,6	k.A.	13,2	k.A.	k.A.	k.A.	9,4	k.A.	12,0	1,6

**Tabelle A 106: Verlauf der Fermentation von Lupineextrakt mit *L. perolens* (L 532) im 5l-Maßstab**

Zeit [h]	0	12	24	36	48	60	72	84	96	Differenz
Temp. [°C]										
pH	4,55	4,81	4,64	4,45	4,27	4,13	4,02	3,96	3,88	0,67
Raffinose [g/l]	3,5	k.A.	1,8	1,7						
Stachyose [g/l]	22,1	k.A.	20,9	1,2						
Verbascose [g/l]	12,6	k.A.	12,5	0,1						

**Tabelle A 107: Verlauf der Fermentation von Lupineextrakt mit *L. plantarum* (L 1047) im 5l-Maßstab**

Zeit [h]	0	12	24	36	48	60	72	84	96	Differenz
Temp. [°C]										
pH	4,55	3,78	3,62	3,62	3,59	3,62	3,59	3,58	3,59	0,96
Raffinose [g/l]	5,2	k.A.	1,0	4,1						
Stachyose [g/l]	13,9	k.A.	7,0	6,9						
Verbascose [g/l]	21,4	k.A.	11,7	9,7						

**Tabelle A 108: Verlauf der Fermentation von Lupineextrakt mit *P. pentosaceus* (P 113) im 5l-Maßstab**

Zeit [h]	0	12	24	36	48	60	72	84	96	Differenz
Temp. [°C]										
pH	4,47	4,39	4,19	4,06	3,96	3,90	3,84	3,80	3,76	0,71
Raffinose [g/l]	k.A.									
Stachyose [g/l]	k.A.									
Verbascose [g/l]	k.A.									

**Tabelle A 109: Verlauf der Fermentation von Erbsenextrakt mit *L. paracasei* (L 1150) im 5l-Maßstab**

Zeit [h]	0	12	24	36	48	60	72	84	96	Differenz
Temp. [°C]	37,5	38,1	38,0	38,0	38,2	38,2	38,2	38,2	38,3	
pH	4,47	4,23	4,05	3,89	3,77	3,65	3,58	3,50	3,49	0,98
Raffinose [g/l]	2,1	k.A.	1,0	1,06						
Stachyose [g/l]	7,1	k.A.	3,0	4,16						
Verbascose [g/l]	7,6	k.A.	3,9	3,78						

**Tabelle A 110: Verlauf der Fermentation von Erbsenextrakt mit *L. perolens* (L 532) im 5l-Maßstab**

Zeit [h]	0	12	24	36	48	60	72	84	96	Differenz
Temp. [°C]	37,9	38,2	38,1	38,2	38,2	38,3	38,5	38,3	38,2	
pH	4,50	k.A.	4,25	k.A.						
Raffinose [g/l]	2,1	k.A.	1,0	1,1						
Stachyose [g/l]	7,1	k.A.	3,0	4,2						
Verbascose [g/l]	7,6	k.A.	3,9	3,8						

**Tabelle A 111: Verlauf der Fermentation von Erbsenextrakt mit *L. plantarum* (L 1047) im 5l-Maßstab**

Zeit [h]	0	12	24	36	48	60	72	Differenz
Temp. [°C]	37,2	38,1	38,1	38,1	38,2	38,2	38,2	
pH	6,13	4,28	4,12	4,13	4,10	4,09	4,08	2,05
Raffinose [g/l]	2,1	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	1,3	0,8
Stachyose [g/l]	7,2	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	5,1	2,1
Verbascose [g/l]	7,7	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	2,2	5,5

**Tabelle A 112: Verlauf der Fermentation von Erbsenextrakt mit *P. pentosaceus* (P 113) im 5l-Maßstab**

Zeit [h]	0	12	24	36	48	60	72	84	96	Differenz
Temp. [°C]	37,8	37,8	37,7	37,8	38,1	38,2	38,2	38,0	38,1	
pH	4,67	4,47	4,27	4,15	4,01	3,90	3,82	3,78	3,74	0,93
Raffinose [g/l]	1,3	k.A.	1,1	k.A.	k.A.	k.A.	0,9	k.A.	0,9	0,5
Stachyose [g/l]	3,2	k.A.	3,1	k.A.	k.A.	k.A.	2,7	k.A.	3,0	0,3
Verbascose [g/l]	4,3	k.A.	4,0	k.A.	k.A.	k.A.	3,5	k.A.	3,9	0,4

**Tabelle A 113: Verlauf der Fermentation von Lupineextrakt mit *L. plantarum* (L 1047) im 30l-Maßstab**

Zeit [h]	0	24	48	Differenz
Temp. [°C]	37,0	37,0	37,0	
pH	4,52	4,34	4,30	0,22
Raffinose [g/l]	7,1	k.A.	4,0	3,1
Stachyose [g/l]	27,8	k.A.	19,9	7,9
Verbascose [g/l]	17,2	k.A.	12,4	4,8

**Tabelle A 114: Verlauf der Fermentation von Lupineextrakt mit *P. pentosaceus* (P 113) im 30l-Maßstab**

Zeit [h]	0	24	48	Differenz
Temp. [°C]	37,0	37,0	37,0	
pH	4,57	4,27	4,02	0,55
Raffinose [g/l]	6,8	k.A.	3,8	3,0
Stachyose [g/l]	28,0	k.A.	13,2	14,8
Verbascose [g/l]	15,4	k.A.	28,8	21,4

**Tabelle A 115: Verlauf der Fermentation von Erbsenextrakt mit *L. plantarum* (L 1047) im 30l-Maßstab**

Zeit [h]	0	24	48	Differenz
Temp. [°C]	37,0	37,0	37,0	
pH	4,73	3,73	3,67	1,06
Raffinose [g/l]	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
Stachyose [g/l]	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
Verbascose [g/l]	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.

**Tabelle A 116: Verlauf der Fermentation von Erbsenextrakt mit *P. pentosaceus* (P 113) im 30l-Maßstab**

Zeit [h]	0	24	48	Differenz
Temp. [°C]	37,0	37,0	37,0	
pH	4,57	4,01	3,88	0,69
Raffinose [g/l]	1,1	k.A.	0,9	0,2
Stachyose [g/l]	3,1	k.A.	2,7	0,4
Verbascose [g/l]	4,0	k.A.	3,5	0,6

**Tabelle A 117: Verlauf der Fermentation von Lupineextrakt mit *L. plantarum* (L 1047) im 500l-Maßstab**

Zeit [h]	0	6	12	18	24	30	35	40	Differenz
Temp. [°C]	43,0	41,5	39,2	38,1	37,3	38,7	38,3	37,5	
pH	4,40	3,67	3,69	3,69	3,70	3,69	3,70	3,71	0,69
Raffinose [g/l]	4,1	k.A.	2,3	2,2	2,3	2,2	2,1	1,9	2,2
Stachyose [g/l]	18,0	k.A.	12,3	13,5	12,7	12,1	12,5	12,5	5,5
Verbascose [g/l]	8,3	k.A.	8,4	9,1	8,6	9,1	8,4	8,5	-0,1

**Tabelle A 118: Verlauf der Fermentation von Erbsenextrakt mit *L. plantarum* (L 1047) im 500l-Maßstab**

Zeit [h]	0	6	12	18	24	30	40	Differenz
Temp. [°C]	41,6	38,8	39,2	39,6	39,1	39,1	38,8	
pH	4,32	4,37	4,33	3,99	3,71	3,61	3,51	0,81
Raffinose [g/l]	0,9	0,8	0,9	0,8	k.A.	0,8	0,7	-0,2
Stachyose [g/l]	2,5	2,6	2,7	2,6	k.A.	2,7	2,6	-0,2
Verbascose [g/l]	4,1	4,3	4,3	4,1	k.A.	4,4	4,3	-0,2

## Lebenslauf

Name: Björn Christof Klotzbücher

Geboren am 18.09.1978 in Freiburg im Breisgau

- |                        |   |
|------------------------|---|
| <b>09/1985-07/1989</b> | Grundschule Löffingen-Göschweiler   |
| <b>08/1989-06/1998</b> | Fürstenberg-Gymnasium, Donaueschingen<br>Abschluss: Abitur  |
| <b>11/1996-09/1998</b> | Löwenbrauerei Kalb Bräunlingen: Aushilfskraft in der<br>Produktion  |
| <b>10/1998-09/2000</b> | Deutsche Marine: Reserveoffizierslaufbahn, derzeitiger<br>Dienstgrad Leutnant z. See d. Reserve   |
| <b>01/2001-09/2001</b> | Praktika bei Parkbrauerei Pirmasens, Badischer<br>Staatsbrauerei Rothaus, Brauerei Rogg Lenzkirch,<br>Reserveübungen  |
| <b>10/2001-04/2007</b> | Technische Universität München: Studium Brauwesen und<br>Getränketechnologie<br>Abschluss: Dipl.-Ing.   |
| <b>01/2002-07/2004</b> | Aushilfskraft im Liegenschaftskataster der Erzbischöflichen<br>Finanzkammer München und Freising  |
| <b>10/2003-09/2004</b> | Studentischer Vertreter in Senat und Verwaltungsrat der<br>Technischen Universität München  |
| <b>08/2004-12/2004</b> | Praktikum bei der Trumer Privatbrauerei Josef Sigl  |
| <b>10/2004-04/2007</b> | Mitglied der Vertreterversammlung des Studentenwerks<br>München   |
| <b>11/2004-09/2005</b> | Vorsitzender des Fachschaftenrates der Technischen<br>Universität München   |
| <b>01/2005-04/2007</b> | Studentische Hilfskraft am Lehrstuhl für Fluidmechanik und<br>Prozessautomation, Technische Universität München   |
| <b>10/2005-09/2006</b> | Stipendium der Friedrich-Naumann-Stiftung   |
| <b>04/2007-06/2007</b> | Wissenschaftliche Hilfskraft am Lehrstuhl für<br>Fluidmechanik und Prozessautomation der Technischen<br>Universität München   |
| <b>Seit 07/2007</b>    | Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für<br>Technologie der Brauerei I (seit 01.04.2009 Lehrstuhl für<br>Brau- und Getränketechnologie) der Technischen<br>Universität München |