Technische Universität München

Lehrstuhl für Technologie der Brauerei I und Getränketechnologie

Der Einfluss von Polysacchariden aus Malz, Hefe und Bakterien auf die Filtrierbarkeit von Würze und Bier

Stefan Kreisz

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 (Dr.-Ing.)

genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Eberhard Geiger

Prüfer der Dissertation:
1. Univ.-Prof. Dr.-Ing., Dr. Ing. habil. Werner Back
2. apl. Prof. Dr.-Ing., Dr. Ing. habil. Heinz Miedaner
3. Univ.-Prof. Dr.-Ing. Karl Sommer

Die Dissertation wurde am 11.12.2002 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt am 04.02.2003 angenommen.

Für Renate, Nikolas und Aaron

Danksagung

Die Arbeit wurde von Anfang 1998 bis Ende 2002 am Lehrstuhl für Technologie der Brauerei I unter der Betreuung meines Doktorvaters **Univ.-Prof. Dr.-Ing. Werner Back** ausgearbeitet. Ihm gilt mein besonderer Dank für das Vertrauen, mit dem er mir dieses interessante Thema überlassen hat. Seine wissenschaftliche wie persönliche Unterstützung hat es mir ermöglicht, nicht nur das Thema dieser Arbeit, sondern auch andere brauereitechnologisch relevante Gebiete, zu erschließen.

Für die finanzielle Förderung der Arbeit bedanke ich mich bei der **Wissenschaftlichen Station für Brauerei in München e. V.**

Mein Dank gilt **Dr.-Ing. Bert Sacher** für die Zusammenarbeit im Malzlabor. Sein unerschöpfliches Wissen nicht nur über Gerste und Malz hat meine Arbeit bereichert.

Ausdrücklich möchte ich **Dipl.-Ing. (FH) Martin Zarnkow** für seine geduldige Korrekturarbeit danken.

Natürlich gilt mein Dank **allen Mitarbeitern des Lehrstuhls,** die am Gelingen der Arbeit beteiligt waren. Erwähnen möchte ich hier **Steffi Gruner**, **Linda Keckel** und **Daria Kraus,** die für mich im Malzlabor so manche Extraanalyse durchgeführt haben. **Dipl.-Brmst. Oskar Brand** der mir bei der Herstellung von Spezialmalz behilflich war. **Claudina Hernandez** die mir während Ihrer Zeit am Lehrstuhl bei mikrobiologischen Versuchen geholfen hat und **Dr.-Ing. Marc Stamm** der mir bei mehreren Computerausfällen beistand.

Besonders erwähnen möchte ich **Dipl. Ing Klaus Hartmann** und **Brmst. Alexander Lubenau** die mir im letzten halben Jahr der Promotion durch ihren unermüdlichen Einsatz im Malzlabor die Fertigstellung der Arbeit ermöglicht haben.

Nicht unerwähnt sollen die vielen Semester- und Diplomarbeiter bleiben, die großen Anteil am Gelingen der Arbeit hatten.

Für die menschliche wie finanzielle Unterstützung während des Studiums und der Promotion bedanke ich mich bei meiner Mutter **Adelheid Kreisz** und meiner Schwester **Natalie Kreisz**.

Nicht zuletzt gilt mein Dank meiner Frau **Renate** sowie meinen Söhnen **Nikolas** und **Aaron** ohne deren Unterstützung, Liebe und Geduld diese Arbeit nie zustande gekommen wäre.

Inhaltsverzeichnis

INHALTSVERZEICHNIS I

VERZEICHNIS DER VERWENDETEN ABKÜRZUNGEN V

ABBILDUNGSVERZEICHNIS VI

TABELLENVERZEICHNIS X

1. EINLEITUNG 1

2 GRUNDLAGEN UND LITERATURÜBERSICHT 3

2.1 Grundlagen der Bierfiltration 3

2.2 Einflussgrößen auf die Bierfiltration 4

2.3 Begriffsabgrenzung 6

2.4 Einflussgrößen auf die Filtrierbarkeit von Bier 7

2.5 Polysaccharide 9

2.5.1 Gerstenpolysaccharide 9

2.5.1.1 Gersten-β-Glucan 9

2.5.1.1.1 Der enzymatische Abbau des β-Glucans während der Mälzung 11

2.5.1.1.2 Der Einfluss der Sudhaustechnologie auf den Gehalt und die Struktur der β-Glucane 13

2.5.1.1.2.1 Der Einfluss der Maischarbeit auf den ß-Glucan-Gehalt und β-Glucan-Struktur der Würze 13

2.5.1.1.2.2 Der Einfluss von β-Glucanen auf die Läuterbarkeit der Würze 15

2.5.1.1.2.3 Der Einfluss der Kochung auf den β-Glucangehalt und β-Glucanstruktur in der Würze 18

2.5.1.1.3 Der Einfluss der Gärung und Lagerung auf den Gehalt und die Struktur der β-Glucane 20

2.5.1.2 Gersten-α-Glucane (Stärke) 22
2.5.1.3 Gersten-Pentosane 26
2.5.2 Bakterielle Polysaccharide 27
2.5.2.1 Dextran 28
2.5.2.2 Gellan 30
2.5.2.3 Xanthan 31
2.5.3 Hefepolysaccharide 32
2.5.3.1 Hefe-β-Glucan 33
2.5.3.2 Glykogen 33
2.5.3.3 Mannan 35

2.6 Filtertests 35
2.6.1 Laborfiltertests 36
2.6.2 Pilotanlagen mit Pumpenförderung 38

2.7 Grundlagen der Trübungsmessung 39

3 MATERIAL UND METHODEN 40

3.1 Malz und Malzanalytik 40

3.2 Würze- und Bieranalytik 41

3.3 Die Bestimmung der Filtrierbarkeit von Würze und Bier 42
3.3.1 Der Raible-Test 43
3.3.2 Zürcher-Filter 45
3.3.3 Der Filtrationstest für Würze 46
3.3.4 Die Trübungsmessung 46

3.4 Der enzymatische Abbau von Polysacchariden 47

3.5 Bakterien- und Hefepolysaccharide 47

3.6 Aufbereitung der Kieselgurfilterkuchen zum Nachweis filtrationshemmender Polysaccharide 48
3.6.1 Die Extraktion von β-Glucan aus dem Filterkuchen 48
3.6.2 Hydrolyse 49
3.6.3 HPLC-Analytik 49

3.7 Statistische Methoden **50**
3.7.1 Vergleich zweier Stichproben 50
3.7.2 Regressionsanalyse 51
3.7.3 Darstellung von Verteilungen 51

4 ERGEBNISSE 54

4.1 Die Vorhersage der Filtrierbarkeit von Bier aus der Würze **54**

4.2 Ergebnisse der Malzuntersuchungen **59**
4.2.1 Der Einfluss der Malzpolysaccharide auf die Viskosität der Würze 60
4.2.2 Der Einfluss von Sorte und Keimzeit auf die zytolytische Lösung von Gerstenmalz 62
4.2.3 Der Einfluss von Scherkräften auf die Viskosität von Würze 69
4.2.4 Der Einfluss von Sorte und Keimzeit auf das G-V-Potential von Malz 70
4.2.5 Zusammenhang zwischen dem Eiweißgehalt der Keimzeitverkürzung und dem G-V-Potential 72

4.3 Der Einfluss von Zellwandpolysacchariden und Scherung auf die Filtrierbarkeit von Würze und Bier **74**
4.3.1 Der Einfluss der Maischescherung auf die Filtrierbarkeit von Würze und Bier 74
4.3.2 Brauversuche zum Einfluss der Zellwandpolysaccharide auf die Filtrierbarkeit von Würze und Bier 79
4.3.2.1 Ergebnisse der Malzanalysen 81
4.3.2.2 Ergebnisse der Würzeuntersuchungen 82
4.3.2.3 Ergebnisse der Läuterarbeit 83
4.3.2.4 Ergebnisse der Filtration 85

4.4 Der Einfluss von Mikroorganismen und mikrobiellen Polysacchariden auf die Filtrierbarkeit von Bier. **86**

4.5 der Einfluss von Hefepolysacchariden auf die Filtrierbarkeit von Bier **94**

4.6 Der Nachweis von Polysacchariden aus der Kieselgur **98**
4.6.1 Der Nachweis von β-Glucan aus dem Filterkuchen 98

4.6.2 Der Nachweis von Polysacchariden aus dem Kieselgurkuchen mittels Hydrolyse 99

5 DISKUSSION DER ERGEBNISSE 100

5.1 Bewertung der Stufenkontrolle für die Filtrierbarkeit von Würze und Bier 100

5.1.1 Die Beurteilung des spezifischen Filtratvolumens von Würze und Bier 101

5.1.2 Interpretation der spezifischen Filtratvolumina einer Stufenkontrolle 102

5.2 Der Einfluss der Malzpolysaccharide auf die Viskosität von Würze 103

5.3 Der Einfluss der zytolytischen Lösung von Gerstenmalz auf die Filtrierbarkeit von Würze und Bier 105

5.4 Der Einfluss der Scherbeanspruchung auf die Filtrierbarkeit von Würze und Bier 108

5.5 Der Einfluss von mikrobiellen Polysacchariden und Hefepolysacchariden auf die Filtrierbarkeit von Bier. 110

5.6 Der Nachweis von Polysacchariden aus der Kieselgur 111

6 ZUSAMMENFASSUNG 112

LITERATURVERZEICHNIS 115

ANHANG 120

Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen

a. a .O	an angegebenem Ort
BSA	Bundessortenamt
bzw.	beziehungsweise
EBC	European Brewery Convention
FAN	Freier α-Amino-Stickstoff
FIA	Flow-Injection-Analysis
Fspez	spezifisches Filtratvolumen
g	Gramm
GG-%	Gewichts/Gewichts-Prozente (Gramm in 100 Gramm)
GV-%	Gewichts/Volumen-Prozente (Gramm in 100 Milliliter)
GPC	Gel-Permeations-Chromatographie
HPLC	High Performance Liquid Chromatography
lftr.	lufttrocken
MEBAK	Mitteleuropäische Brautechnische Analysenkommission
mg	Milligramm
ml	Milliliter
mm	Millimeter
mPas	Millipascalsekunden
Pa	Pascal
usw.	und so weiter
vgl.	vergleiche
Vol-%	Volumenprozente (ml in 100 Milliliter)
VZ	Verhältniszahl
wfr.	wasserfrei
z. B.	zum Beispiel

Zeitschriften:

Mschr.	Monatsschrift
Proc. of the EBC-Congress	Proceedings of the European Brewery Convention-Congress
MBAA Technical Quarterly	Master Brewers Association of the Americas Technical Quarterly
J. of the Inst. Brew.	Journal of the Institute of Brewing

J. Am. Soc. Brew. Chem. Journal of the American Society of Brewing Chemists

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Einflussgrößen auf die Bierfiltration nach Schur 4

Abbildung 2: Stoffliche Einflussgrößen auf die Filtrierbarkeit von Bier 8

Abbildung 3: Der Einfluss der Technologie auf die Filtrierbarkeit von Bier 8

Abbildung 4: Ausschnitt aus einem Gersten-β-Glucan 10

Abbildung 5: Ausschnitt eines Amylose-Polymers 22

Abbildung 6: Strukturmodel von Amylopektin 23

Abbildung 7: Strukturausschnitte aus dem mikrobiellen Polysaccharid Dextran 29

Abbildung 8: Strukturausschnitt aus dem mikrobiellen Polysaccharid Gellan 30

Abbildung 9: Strukturausschnitt aus dem mikrobiellen Polysaccharid Xanthan 31

Abbildung 10: Ausschnitt aus dem Hefepolysaccharid β-Glucan 33

Abbildung 11: Ausschnitt aus dem Hefepolysaccharid Glykogen 34

Abbildung 12: Strukturauschnitt aus dem Hefepolysaccharid Phosphomannan 35

Abbildung 13: Aufbau des modifizierten Raible-Testfilters 44

Abbildung 14: Aufbau des Zürcher-Filters 45

Abbildung 15: Filterkuchen eines Raibletests 48

Abbildung 16: Beispiel einer Box&Whisker-Darstellung 52

Abbildung 17: Beispiel eines multiplen Mittelwertvergleichs 53

Abbildung 18: Spezifische Filtratvolumen der Würzen und Biere aus den Malzmischungen M1–M5 55

Abbildung 19: Raible-Test von Würzen und Bieren aus schlecht gelöstem Malz verglichen mit Betriebswürzen und Bieren 56

Abbildung 20: Zürchertest von Würzen und Bieren aus schlecht gelöstem Malz verglichen mit Betriebswürzen und Bieren 57

Abbildung 21: Stufenkontrolle für die Filtrierbarkeit von Bier 58

Abbildung 22: Viskositätsabnahme einer VZ 65 °C Würze durch den Einsatz spezifischer Enzyme 61

Abbildung 23: Viskositätsabnahme einer Würze aus einem Hoch-Kurz-Maischverfahren durch den Einsatz spezifischer Enzyme 61

Abbildung 24: Viskosität der 65 °C-Würze von verschiedenen Sorten 63

Abbildung 25: Viskosität der 65 °C-Würze der verschiedenen Keimzeiten 64

Abbildung 26: β-Glucangehalt der 65 °C-Würze der verschiedenen Sorten 65

Abbildung 27: β-Glucangehalt der 65 °C-Würze bei verschiedenen Keimzeiten 66

Abbildung 28: Die Verteilung der Friabilimeterwerte in Abhängigkeit von der Sorte 67

Abbildung 29: Die Verteilung der Friabilimeterwerte in Abhängigkeit von der Keimzeit 68

Abbildung 30: Viskositäten der gescherten und nicht gescherten Proben 69

Abbildung 31: Die Verteilung des G-V-Potentials in Abhängigkeit von der Sorte 70

Abbildung 32: Die Verteilung des G-V-Potentials der verschiedenen Keimzeiten 71

Abbildung 33: G-V-Potential in Abhängigkeit vom Eiweißgehalt und der Keimzeit der Sorte Annabell 74

Abbildung 34: G-V-Potential in Abhängigkeit vom Eiweißgehalt und der Keimzeit der Sorte Danuta 74

Abbildung 35: Viskosität der Würze bei 78 °C 76

Abbildung 36: β-Glucan-Gehalt und Läuterzeiten der Versuchssude 77

Abbildung 37: Viskositäten der Würzen bei verschiedenen Temperaturen und Lagerbedingungen 79

Abbildung 38: Viskositätswerte von Würze und Bier 82

Abbildung 39: β-Glucan-Gehalte von Würze und Bier 82

Abbildung 40: Läuterdiagramme der Sude ohne Enzymeinsatz 83

Abbildung 41: Läuterdiagramme der Sude mit Enzymeinsatz 84

Abbildung 42: Filtrationsverlauf der Sude ohne Enzymeinsatz 85

Abbildung 43: Filtrationsverlauf der Sude mit Enzymeinsatz 85

Abbildung 44: F_{spez} von Würze und Bieren vergoren mit verschieden kontaminierten Hefen 87

Abbildung 45: F_{spez} verschieden kontaminierte Hefen mit Würze aus schlecht gelöstem Malz 88

Abbildung 46: Spezifische Filtratvolumen von Bieren vergoren mit kontaminierter Hefe aus gut und schlecht gelöstem Malz mit (Li) und ohne Abbau von β-Glucanen 89

Abbildung 47: Der Einfluss von Xanthan auf das spez. Filtratvolumen von Bier 90

Abbildung 48: Der Einfluss von Gellan auf das spez. Filtratvolumen von Bier 91

Abbildung 49: Der Einfluss von Dextran auf das spez. Filtratvolumen von Bier 92

Abbildung 50: Spezifisches Filtratvolumen verschiedener Hefequalitäten von Würze und Bier aus gut gelöstem Malz 94

Abbildung 51: Spezifisches Filtratvolumen verschiedener Hefequalitäten von Würze und Bier aus schlecht gelöstem Malz 95

Abbildung 52: Der Einfluss von Mannan auf die Filtrierbarkeit von Bier 96

Abbildung 53: Der Einfluss von Glykogen auf die Filtrierbarkeit von Bier 96

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Anforderungen an die zytolytische Lösung von hellem Gerstenmalz 13

Tabelle 2: Temperatur- und pH-Optima der β-Glucan abbauenden Enzyme nach Wagner 14

Tabelle 3:Temperatur und pH-Optima amylolytischer Enzyme 24

Tabelle 4: Temperatur- und pH-Optima Pentosan abbauender Enzyme 27

Tabelle 5: Filtertests im Vergleich 43

Tabelle 6: Malzanalysen des gut und schlecht gelösten Malz und der Mischungen 55

Tabelle 7: Ergebnisse der Stufenkontrollen in fünf Brauereien 58

Tabelle 8: Multipler Mittelwertsvergleich der Viskosität der 65 °C-Würze aller Sorten 63

Tabelle 9: Multipler Mittelwertsvergleich der Viskosität der 65 °C-Würze der Keimzeiten 64

Tabelle 10: Multipler Mittelwertsvergleich des β-Glucangehaltes der 65 °C-Würze der verschiedenen Sorten 65

Tabelle 11: Multipler Mittelwertsvergleich des β-Glucan-Gehaltes der 65 °C-Würze der Keimzeiten 66

Tabelle 12: Multipler Mittelwertsvergleich der Friabilimeterwerte der verschiedenen Sorten 67

Tabelle 13: Multipler Mittelwertsvergleich der Friabilimeterwerte der verschiedenen Keimzeiten 68

Tabelle 14: Multipler Mittelwertsvergleich der G-V-Potentiale der verschiedenen Keimzeiten 71

Tabelle 15: Multipler Mittelwertsvergleich der G-V-Potentiale der verschiedenen Keimzeiten 72

Tabelle 16: Ergebnisse der Malzanalysen 81

Tabelle 17: Ergebnisse der Trübungsmessung 86

Tabelle 18: Versuchsbedingungen und Gärdauer von verschieden kontaminierter Hefe 87

Tabelle 19: Ergebnisse der Trockenmasseuntersuchung nach der Zugabe von Xanthan 93

Tabelle 20: Veränderung des Zuckerspektrums durch den Zusatz von Diase 97

Tabelle 21: Abnahme der Filtrattrübung durch Diase in Abhäningkeit des Hefestamms und der Gärungstemperatur 97

Tabelle 22: β-Glucan-Gehalt von Kieselgurkuchen 98

Tabelle 23: Bewertung des spezifischen Filtratvolumens von Bier 102

1. Einleitung

Die Geschichte der Bierfiltration beginnt in der Mitte des 19. Jhd. Von Thausing noch sehr kritisch betrachtet[1] und nur zur Korrektur von Fehlern und Krankheiten des Bieres empfohlen, setzte sich der Gedanke, die natürliche Klärung des Bieres mittels eines Apparates zu unterstützen, durch. Die Vorteile, eine kürzere Produktionszeit und eine bessere Klärung des Bieres zu erreichen, lagen auf der Hand. Heute erwartet der Biertrinker, abgesehen von Weizenbieren und einigen Spezialitäten, wie z. B. Kellerbier, ein glanzfeines, ungetrübtes Bier, das diese Eigenschaft auch nach längerer Lagerzeit nicht verliert. Dies ist ohne apparative Hilfe nicht zu erreichen.

Die Filtrationstechnik entwickelte sich von Massefiltern hin zur Anschwemmfiltration. Dabei wurde früher Asbest als Filterhilfsmittel benutzt, welches aus den bekannten gesundheitsrelevanten Gründen durch Kieselgur ersetzt wurde. Die Kieselguranschwemmfiltration mittels Kerzenfilter, Horizontalfilter oder Rahmenfilter ist heutzutage Stand der Technik. Aber auch die Kieselgur und ihre Entsorgung ist bereits in die Kritik geraten. Sie ist aufgrund ihrer Struktur und Größe in cristobaliter Form lungengängig und im Verdacht Krebs zu erregen. Ihre Verarbeitung im Betrieb und ihre Entsorgung dürfte in naher Zukunft weitere Probleme und Kosten entstehen lassen. Deshalb wird bereits seit längerer Zeit versucht, die Kieselgur durch organische Filterhilfsmittel, z. B. Zellulose, zu ersetzen oder eine filterhilfsmittelfreie Filtration, wie z. B. die Membranfiltration für Bier zu etablieren. Auf der Interbrau 2001 wurde ein kieselgurfreies Membranfiltrationssystem, vorgestellt, das nach Auskunft des Herstellers sowohl von der Klärwirkung und den Filterstandzeiten als auch im Bereich der Filtrationskosten mit der Kieselguranschwemmfiltration mithalten kann. Der praxistaugliche Beweis steht aber noch aus.

Eine große Herausforderung bei der Entwicklung neuer Filtrationstechniken ist die Filtrierbarkeit des Bieres. Die Filtrierbarkeit von Bier kann innerhalb einer Charge aber vor allem von Charge zu Charge stark schwanken. Probleme, die durch eine unzureichende Filtrierbarkeit hervorgerufen werden, verursachen durch vermehrten Einsatz von Personal und Filterhilfsmittel einen starken Anstieg der Filtrationskosten und können im extremen Fällen sogar die Lieferfähigkeit der Brauerei in Frage stellen.

---

[1] Vgl.: Thausing, J.: Malzbereitung und Bierfabrikation. Leipzig 1877.

Aus diesem Grund ist die Filtrierbarkeit von Bier Gegenstand zahlreicher Forschungsarbeiten. Allein in Deutschland wurden bereits mehrere Dissertationen, die sich direkt oder indirekt mit dem Thema auseinander setzten, verfasst. Trotzdem sind weder die genauen Einflüsse einzelner Bierinhaltsstoffe noch der Einfluss der Technologie auf die Filtrierbarkeit restlos aufgeklärt. Einig sind sich alle Autoren, dass hochmolekulare Stoffe und hier vor allem Polysaccharide und Proteine die Filtrierbarkeit negativ beeinflussen können. Intensiv erforscht wurde vor allem das Malzpolysaccharid β-Glucan. Wenig beachtet wurden bisher mikrobielle Polysaccharide, die durch die Hefe oder mikrobielle Kontaminationen ins Bier gelangen können.

Es ist auch nicht oder nur unzureichend möglich, den Einfluss der Technologie und der Anlagen einer Brauerei auf die Filtrierbarkeit zu untersuchen. Bekannt ist, dass manche Brauereien empfindlicher auf jahrgangsbedingte Schwankungen in der Rohstoffqualität reagieren und zu Filtrationsproblemen neigen, andere wiederum selbst bei ungenügender Malzqualität kaum betroffen sind. In diesem Zusammenhang wird vor allem über Scher- und Dehnbeanspruchungen der Würze und des Bieres diskutiert.

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit dem Einfluss von Polysacchariden aus Malz , Hefe und Bakterien auf die Filtrierbarkeit von Würze und Bier und soll neue Möglichkeiten aufzeigen, sowohl die Polysaccharidquelle als auch den für Filtrierbarkeitsprobleme verantwortlichen technologischen Schritt in der Bierbereitung aufzudecken.

2 Grundlagen und Literaturübersicht

2.1 Grundlagen der Bierfiltration

Die Aufgabe der Filtration ist es, Suspensionen in ihre festen und flüssigen Bestandteile aufzutrennen. Dabei werden die beiden Phasen durch ein nur für Flüssigkeiten durchlässiges Filtermedium voneinander getrennt. Nach Gasper[2] lassen sich die hiefür angewendeten Filtrationsverfahren in die Klärfiltration und die Kuchenfiltration unterteilen. Das Ziel der Klärfiltration wird als vollständige Abtrennung aller Partikel aus einer Flüssigkeit mit geringem Feststoffanteil angegeben. Er nennt als Sonderformen der Klärfiltration die Anschwemmfiltration und die Siebfiltration. Die Kuchenfiltration soll einen hohen Feststoffanteil aus einer Suspension möglichst vollständig abtrennen. Des Weiteren lässt sich die Filtration nach ihren Filtrationsarten in Oberflächenfiltration, Tiefenfiltration und Kuchenfiltration einteilen. Für alle drei Arten sind Definitionen und Grundgleichungen formuliert worden[3]. Der Autor weißt darauf hin, dass in der Praxis fast immer alle Filtrationsarten gleichzeitig auftreten, wobei der Filtrationsablauf nach der dominierenden Filtrationsart bezeichnet wird.

Ziel der Bierfiltration ist es, zu minimierten Kosten ein klares, glanzfeines Produkt zu erzeugen. Dieser Zustand muss dabei nicht nur kurzfristig erzeugt werden, sondern soll wenigstens bis zum Ablauf des Mindesthaltbarkeitsdatums stabil bleiben. Da die Klarheit vom Konsumenten optisch kontrolliert wird, müssen aus dem Unfiltrat, welches immer eine zumindest leichte Trübung aufweißt, alle für das Auge als Trübung wahrnehmbaren Partikel entfernt werden. Die Trübung des Unfiltrates wird vor allem durch Hefen und Bakterien, deren Größen zwischen 0,45 µm und 10 µm liegen können, sowie durch hochmolekulare Bierinhaltstoffe, wie Proteine, Polyphenole und Polysaccharide, hervorgerufen. Um ein langfristig klares Bier zu erzeugen, müssen nicht nur die oben aufgezählten Trübungsbildner aus dem Bier abgetrennt werden sondern auch solche Stoffe, die während der Bieralterung agglomerieren können und somit zu einer nachträglichen Trübung führen können. Für die Bierfiltration ist das weltweit am weitesten verbreitete Verfahren die

---

[2] Vgl.: Gasper, H., D. Oechsle und E. Pongratz (Hrsg.):Handbuch der industriellen Fest/Flüssig Filtration. 2. Aufl. Wiley-VCH, Düren 1999, S. 10-16.

[3] Vgl.: Gasper, H., D. Oechsle und E. Pongratz (Hrsg.): Ebenda: Theoretische Grundlagen der Fest-/Flüssigfiltration. S. 22-34.

Anschwemmfiltration mit Kieselgur als Filterhilfsmittel. Nach Gaspers Einteilung handelt es sich dabei um eine Sonderform der Klärfiltration. Natürlich können auch andere Klärfiltrationen oder Kombinationen verschiedener Klärfiltrationen in der Brauerei eingesetzt werden.

2.2 Einflussgrößen auf die Bierfiltration

Schur (1989) unterteilt in einer Übersicht die Einflussgrößen auf die Bierfiltration in vier Bereiche[4].

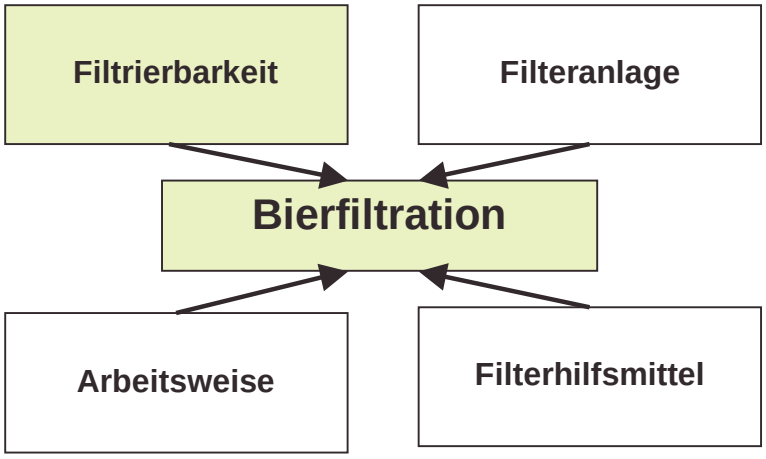


Abbildung 1: Einflussgrößen auf die Bierfiltration nach Schur

1. Die Filteranlage: Die Filtration von Bier wird in den meisten Fällen in mehreren Schritten mit verschiedenen hintereinander geschalteten Anlagen durchgeführt. Diese Anlagen müssen aufeinander abgestimmt und in ein Gesamtkonzept der Filtration integriert sein. Der erste Filtrationsschritt wird meistens durch eine Anschwemmfiltration in einem Kerzen- oder Horizontalfilter durchgeführt. Anschließend kann, je nach Haltbarkeitsanforderungen an das Bier, eine Stabilisierung mit PVPP folgen. Diese wird nach dem heutigen Stand der Technik durch eine Anschwemmfiltration meistens mit einem Horizontalfilter und PVPP als Filterhilfsmittel durchgeführt. Danach folgt entweder ein Trap-Filter oder ein Entkeimungsfilter. Nur die richtige Auslegung und Abstimmung der Apparate auf die benötigten, saisonabhängigen Kapazitäten der Brauerei kann einen negativen Einfluss der Anlage auf die Filtration ausschließen.
2. Die Filterhilfsmittel: Zum Aufbau des Filterkuchens bei der Anschwemmfiltration werden dem Unfiltrat Filterhilfsmittel zudosiert. Früher

wurde hierfür Asbest verwendet, welches aber wegen krebserregender Eigenschaften durch Kieselgur, Perlite, Cellulose oder Mischungen aus diesen ersetzt wurde. Kieselgur ist das gereinigte, getrocknete und vermahlene Gerüst von Kieselalgen (Diatomeen). Hauptbestandteil sind SiO_2-Modifikationen. Sie werden je nach Permeabilität und Korngrößenverteilung unterschieden in feine (Permeabilität < 0,1 Darcy), mittlere (Permeabilität 0,1-0,5 Darcy) und grobe Guren (Permeabilität > 0,5 Darcy). Perlite sind geglühte und gemahlene Blähtone vulkanischen Ursprungs (Rhyolite). Auch sie werden nach Permeabilität und Korngrößenverteilung in feine, mittlere und grobe Perlite unterschieden. Cellulolische Filterhilfsmittel entstehen durch Kochen, Bleichen und Mahlen von Cellulose, die aus Nadel- und Laubhölzern gewonnen werden. Man unterscheidet Filterhilfsmittel aus Cellulose nach Kornklassen. Diese reichen vom pulverigen Filterhilfsmittel (Kornklasse < 75µm) bis grobe, faserige Filterhilfsmittel (Kornklasse 300 µm–3000 µm). Die richtige Auswahl und Menge der Filterhilfsmittel für Voranschwemmung und Dosage entscheidet mit darüber, ob ein stabiler, gleichmäßiger Kuchen entsteht. Je feiner die gewählten Filterhilfsmittel sind desto klarer wird das Filtrat aber die Durchlässigkeit des Filterkuchens nimmt ab. Die Auswahl der geeigneten Filterhilfsmittel stellt also immer einen Kompromiss zwischen der Permeabilität des Kuchens, und damit der Höhe des Druckanstiegs am Filtereinlauf, und der Trübung des Filtrats am Filterauslauf dar.

3. Die Arbeitsweise: Vor allem der Automatisierungsgrad und die Steuerung und Regelung der Anlage können die Filtration beeinflussen. Hefestöße, Druckstöße und unterschiedliche Filtrierbarkeiten einzelner Chargen können die Bedingungen während der Filtration verändern. Moderne Filteranlagen können diese über Druck- und Trübungsmessungen erfassen und während der Filtration die Dosage anpassen. Damit lassen sich zu hohe Trübungswerte oder zu kurze Filterstandzeiten vermeiden. Des Weiteren ergeben sich durch die von Brauerei zu Brauerei unterschiedlichen Haltbarkeitsanforderungen unterschiedliche Ansprüche an die Qualität der Filtration. Je länger die vorgeschriebene Haltbarkeit des Bieres sein muss,

---

[4] Vgl.: Schur, F.: Bierfiltration und Einflüsse auf die Bierfiltrierbarkeit. Proc. of the 22th EBC Congress, Zürich 1989, S. 373.

desto vollständiger müssen trübungsbildende Partikel und potentielle Trübungsbildner entfernt werden. Soll die mikrobielle Stabilität durch eine geeignete Sterilfiltration und nicht durch eine thermische Behandlung des Bieres garantiert werden, muss ein weiterer Filtrationsschritt nach der Kieselgurfiltration folgen.

4. Die Filtrierbarkeit des Bieres: Die Filtrierbarkeit hat einen großen Einfluss auf den Erfolg der Filtration. Bei der Filtration soll das festgelegte Qualitätsziel zu möglichst niedrigen Kosten erreicht werden, wobei in modernen Filterkellern Kosten von < 0,5 Euro/hl Bier angestrebt werden. Dies ist nur dann möglich wenn das Bier gleichmäßig und ohne Störungen filtrierbar ist. Die Filtrierbarkeit von Bier ist Gegenstand dieser Arbeit und wird deshalb in den weiteren Kapiteln ausführlicher behandelt.

2.3 Begriffsabgrenzung

Nachdem sich die apparative Klärung des Bieres mittels eines Filters durchgesetzt hatte, wurde in den Brauereien erkannt, dass nicht nur ein Prozess zur Klärung des Bieres geschaffen wurde, sondern auch neue Probleme mit dem Verfahren verbunden sein können. Schnell wurde klar, dass die Bierfiltration stark von der Qualität des Unfiltrates abhängt. Mehrfach wurde aus Praxisbetrieben von Problemen bei der Bierfiltration berichtet. Entweder musste der Filter nach kurzer Standzeit wieder neu gerüstet werden, da der maximale Druckanstieg bereits nach kurzer Filtrationsdauer erreicht war, oder die Trübung des Bieres war trotz „scharfer“ Filtration nicht auf das gewünschte Maß reduzierbar. Folgerichtig beschäftigte sich die Forschung mit dem Thema. Daraus ergaben sich allein im deutschsprachigen Raum zahlreiche Fachveröffentlichungen [z. B. 5, 6, 7, 8, 9] und

---

[5] Vgl.: Schimpf, F.-W. et al.: Untersuchungen über die Filtrierbarkeit des Bieres. Monatschrift für Brauwissenschaft Nr. 12, Berlin, Dezember 1969, S. 353-361.

[6] Vgl.: Hug, H. und H. Pfenninger: Filtrationsschwierigkeiten – Ursachen und Möglichkeiten zur Behebung. Schweizer Brauerei-Rundschau. Jahrgang 85, Nr. 7, Juli 1974, S. 133-152.

[7] Vgl.: Narziß, L.: Über die Filtrierbarkeit des Bieres. Brauwelt, Jg. 115, Nr. 45, 6. Nov. 1975, S. 1491-1496.

[8] Vgl.: Schur, F.: Bierfiltration und Einflüsse auf die Bierfiltrierbarkeit. Proc. of the 22th EBC Congress, Zürich 1989. S. 371-383.

[9] Vgl.: Annemüller, G.: Über die Filtrierbarkeit des Bieres – Beurteilung und Einfluß der Inhaltstoffe. Monatsschrift für Brauwissenschaft, Heft 2/1991, S. 64-71.

Dissertationen [z. B. 10, 11, 12, 13, 14], die in der Literaturbesprechung näher diskutiert werden.

Um so verwunderlicher ist es, dass zwar ein Begriff für das Verhalten des Bieres während der Filtration, nämlich die Filtrierbarkeit des Bieres, eingeführt wurde aber weder eine klare Definition des Begriffs noch ein einheitlicher, analytischer Nachweis entwickelt wurde. Die Filtrierbarkeit von Bier, in die englische Sprache direkt mit filterability übersetzt, wird in den meisten Veröffentlichungen mit einem zu schnellen Druckanstieg am Filtereinlauf und geringen Filterstandzeiten verknüpft. Selten gehen die Autoren auf das eigentliche Ziel der Filtration, nämlich die Klärung des Bieres und deren Erfolg ein. Eine objektive Beurteilung der Filtration von Bier ist aber nur dann möglich, wenn sowohl der Druckanstieg am Filtereinlauf (bezogen auf das Filtrationsvolumen, Filtrationsfläche und Filtrationsdauer) als auch die Klärwirkung der Filtration gemessen in EBC-Trübungseinheiten betrachtet werden. Deshalb wird an dieser Stelle eine allgemeingültige Definition des Begriffes Filtrierbarkeit vorgeschlagen.

Die Filtrierbarkeit von Bier ist die Eigenschaft des Bieres, auf Grund seiner stofflichen Zusammensetzung die Qualität der Filtration zu beeinflussen. Als Qualitätsparameter gelten dabei das spezifische Filtratvolumen bzw. der Druckanstieg am Filtereinlauf sowie die Trübung am Filterauslauf.

2.4 Einflussgrößen auf die Filtrierbarkeit von Bier

In oben erwähnten Forschungsarbeiten wurden zum Teil der Einfluss einzelner Stoffgruppen und Mikroorganismen sowie der Brauereitechnologie auf die Filtrierbarkeit von Bier bereits beschrieben. Genannt werden Polysaccharide, Proteine, Polyphenole, Melanoidine, Mineralstoffe, Hefen und Bakterien sowie alle technologischen Schritte von der Schrotmühle bis zum Filterkeller. Nicht für alle Kriterien ist wissenschaftlich bewiesen, dass sie direkten Einfluss auf die Qualität der

---

[10] Vgl.: Lindemann, B.: Bewertung der Kieselgurfiltration von Bier. Dissertation D 83, Fachbereich 13, Nr. 317. Berlin , 1992.

[11] Vgl.: Wagner, N.: β-Glucan in Bier und Bedeutung dieser Stoffgruppe für die Bierfiltration. Dissertation D 83, Fachbereich 13, Nr. 288. Berlin , 1990.

[12] Vgl.: Linemann, A.: Untersuchungen der Struktureigenschafts-Beziehungen von β-Glucan bei der Bierherstellung. Dissertation D 83, Fachbereich 15, Nr. 055. Berlin , 1995.

[13] Vgl.: Eiselt, G.: Untersuchungen über hochmolekulares β-Glucan. Dissertation D 83, Fachbereich 15, Nr. 050. Berlin, 1995.

[14] Vgl.: Eisenring, R.: Untersuchung der Filtrierbarkeit und kolloidalen Stabilität von Bier und anderen Getränken. Dissertation ETH Zürich, Nr. 11101, 1995.

Filtration nehmen. Zum Teil werden auch unterschiedliche Angaben über die Grenzwerte und die Stärke des Einflusses einzelner Stoffe gemacht. Die Angaben können in zwei Abbildungen zusammengefasst werden. Abbildung 2 zeigt die stofflichen Einflussgrößen. Sie lassen sich nach ihrer Herkunft einteilen. Abbildung 3 zeigt den Einfluss der Technologischen Schritte in der Reihenfolge, in der das Produkt die Brauerei durchläuft.

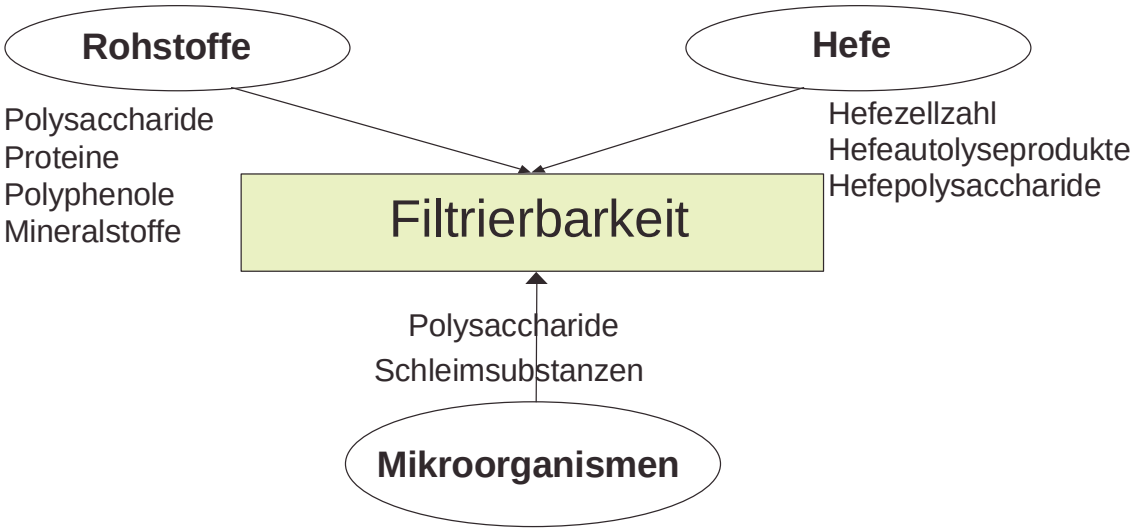


Abbildung 2: Stoffliche Einflussgrößen auf die Filtrierbarkeit von Bier

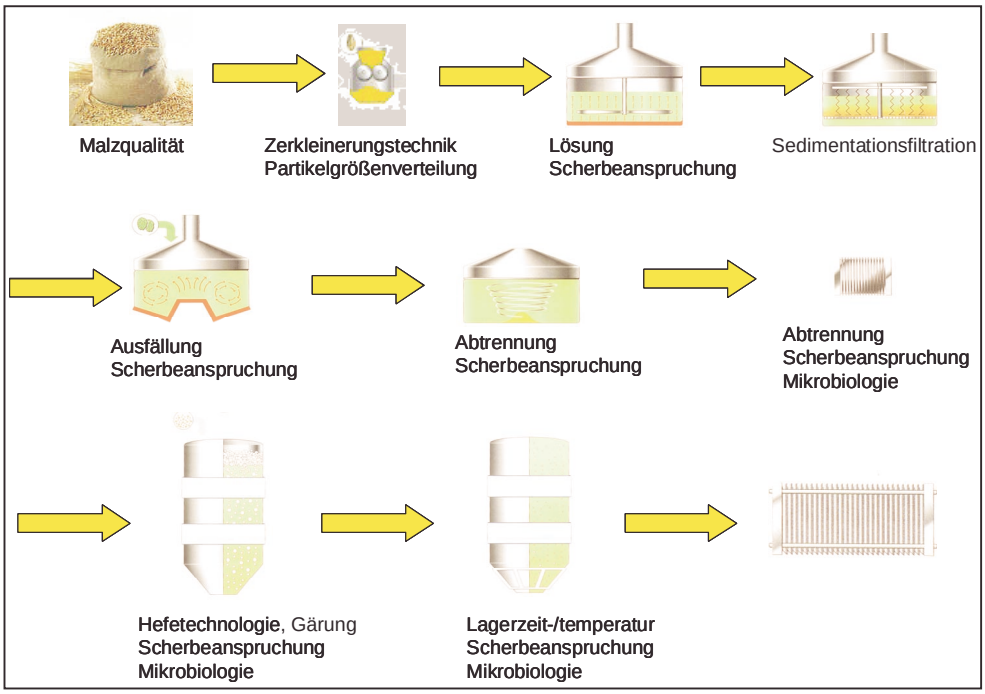


Abbildung 3: Der Einfluss der Technologie auf die Filtrierbarkeit von Bier

2.5 Polysaccharide

Polysaccharide sind hochpolymere Kohlenhydrate, deren Monosaccharide oder Monosaccharidderivate durch glykosidische Bindungen miteinander verknüpft sind. Diese Makromoleküle – deren Molekulargewichte zwischen einigen Tausend bis zu mehreren Millionen Dalton variieren – können aufgrund ihres chemischen Aufbaues wie folgt eingeteilt werden:[15,16,17]

- Homoglykane, die nur einen Monosaccharidbaustein (z. B.: D-Glucose, D-Mannose, D-Fructose, D-Galactose) enthalten. Diese können weiterhin in lineare (z. B.: Amylose, Levan, Scleroglucan) und verzweigte (z. B.: β-Glukan, Amylopektin, Mannan) Homopolysaccharide eingeteilt werden.
- Heteroglykane, die aus mehreren verschiedenen Grundbausteinen – meist nur zwei oder drei – bestehen. Sie können in langen unverzweigten oder als lange verzweigte Ketten (Pentosan, Gellan, Acetan, Xanthan) vorliegen.
- Glykokonjugate, wie z. B. Glykoproteine und Glykolipide.

Die folgenden Abschnitte geben eine Literaturübersicht über Polysaccharide einerseits aus Malz, andererseits aus der Brauereihefe *Saccharomyces cerevisiae* sowie einige Beispiele von mikrobiellen Polysacchariden und deren Verhalten im Brauprozess.

2.5.1 Gerstenpolysaccharide

2.5.1.1 Gersten-β-Glucan

Das Gersten-β-Glucan ist ein natürliches Polymer, dessen Vorkommen, Funktion und Struktur in Gerste weitgehend aufgeklärt ist. Aufgrund der viskositätserhöhenden Wirkung in Lösungen und seinem Gelbildungsvermögen ist das β-Glucan in Bezug auf die Filtrierbarkeit von Würze und Bier der am meistem diskutierte Bierinhaltstoff. Das Polysaccharid kommt vor allem in den Zellwänden des Mehlkörpers (Endosperm) als Stützsubstanz vor, tritt in geringen Mengen aber auch im Aleuron auf. Narziß berichtet, dass der Gehalt an β-Glucan in der Gerste, je nach Autor und Untersuchungsmethode,

---

[15] Vgl.: Karlson, P. et al.: Kurzes Lehrbuch der Biochemie für Mediziner und Naturwissenschaftler. 14. Aufl. Stuttgart 1994. S. 252.

[16] Vgl.: Scherz, H. und G. Bonn: Analytical chemistry of carbohydrates: Thieme organic chemistry monograph series. Stuttgart 1998. S. 17.

[17] Vgl.: Belitz, H.-D. und W. Grosch: Lehrbuch der Lebensmittelchemie. 4. Aufl. Berlin, 1992. S. 226.

mit 0,4 bis 8,6 % der Trockensubstanz angegeben wird[18]. Wood vergleicht die Ergebnisse von 9 Autoren, die mit fünf verschiedenen Methoden einen β-Glucan-Gehalt von 1,9 bis 10,7 % der Trockensubstanz ermittelt haben[19]. Eine neuere Arbeit von Edney ergab bei 60 kanadischen Gerstenmustern einen Gehalt, abhängig von Gerstensorte und Umweltbedingungen, von 2,5-5,2 % der Trockensubstanz[20].

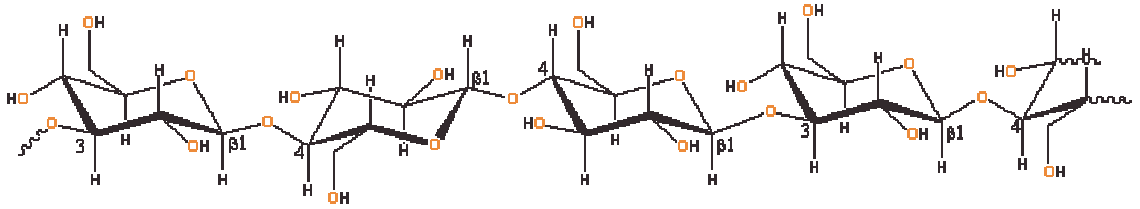


Abbildung 4: Ausschnitt aus einem Gersten-β-Glucan

Das Gersten-β-Glucan, dargestellt in Abbildung 4, ist ein lineares, aperiodisches Polysaccharid aus β-D-(1-4) (ca. 70 %) und β-D-(1-3)-glucosidisch (ca. 30 %) verknüpften Glucoseeinheiten. Die aus den Bindungen resultierenden Disaccharide werden Cellobiose β-D-(1-4) und Laminaribiose β-D-(1-3) genannt. Einen Überblick über die mögliche Sequenz der β-D-(1-4) und β-D-(1-3)-Bindungen und der daraus resultierenden Molekülform gibt Linemann[21]. Sie beschreibt, dass aus der unregelmäßigen Anordnung der β-glucosidischen Bindungen ein flexibles Molekül resultiert, welches sowohl vollkommen streckbar als auch verknäuelbar ist. Aus dieser Struktur resultiert die Wasserlöslichkeit bei relativ hohen Molekulargewichten und das Verhalten von β-Glucanen in wässrigen Lösungen. Über das Molekulargewicht von Gersten-β-Glucanen gibt es zahlreiche Untersuchungen mit sehr unterschiedlichen Angaben von 3×10^5 bis 2×10^6 Dalton. Linemann setzt sich kritisch mit den Untersuchungsmethoden der Autoren auseinander, gibt aber keinen realistischen Wert für das Molekulargewicht an. Auch neuere Veröffentlichungen weisen auf die Unterschiede der Bestimmungsmethoden des Molekulargewichtes hin, geben aber einen maximalen Wert von $2\text{-}3 \times 10^6$ g/mol an[22]. Es ist aber fraglich, ob die Größe und der β-Glucan-Gehalt der Gerste im Zusammenhang mit dem β-Glucan-Gehalt des Malzes,

---

[18] Vgl.: Narziß, L.: β-Glucan und Filtrierbarkeit. Brauwelt Nr. 37, 1992. S. 1696.

[19] Vgl.: Wood, P. J.: Physicochemical and technilogical and nutritional significance of cereal ß-glucans. In: Cereal polysaccharides in technology and nutrition. Hrsg.: V. F. Rasper. The american association of cereal chemists. St. Paul, 1984. S. 45.

[20] Vgl.: Edney, M. J. et al.: Relationship among the β-Glucan contents of barley, malt, malt congress extract and beer. J. Am. Soc. Brew. Chem. 56 (4): 1998. S. 164-168.

[21] Vgl.: Linemann, A.: Untersuchungen der Struktur-Eigenschafts-Beziehungen von β-Glucan bei der Bierherstellung. Dissertation 83/FB15 Nr. 055, Berlin, 1995, S. 11-17.

[22] Vgl.: Wood, P. J.: Cereal β-Glucans: Structure, Properties and Health Claim. Advanced Dietary Fibre technology. Hrsg.: B. V. McCleary and L. Prosky. Blackwell Science. S. 317.

der Würze und des Bieres stehen[23]. Edney[24] fand bei der Betrachtung von 60 Mustern keinen Zusammenhang zwischen dem β-Glucan-Gehalt der Gerste und den weiteren Verarbeitungsstufen Malz, Würze und Bier. Diese Erkenntnis überrascht vor dem Hintergrund der unterschiedlich starken Lösung der Zellwände bei verschiedenen Mälzungsverfahren und bei unterschiedlichen Maischprogrammen nicht.

2.5.1.1.1 Der enzymatische Abbau des β-Glucans während der Mälzung

Die Zellwände des Endosperms, die zu einem großen Teil aus β-Glucan bestehen, werden während der Keimung durch Enzyme abgebaut. Dieser Vorgang wird allgemein Zytolyse genannt und die daran beteiligten Enzyme sind in der Literatur[25,26] benannt. Narziß beschreibt den Abbau von β-Glucanen als ein Zusammenspiel von sieben Enzymen. Drei Endo-β-Glucanasen, eine Exo-β-Glucanase, eine β-Glucan-Solubilase sowie Laminaribase und Cellobiase. Die Endo-β-Glucanasen teilen sich auf in eine Endo-β-1-3-Glucanase, eine Endo-β-1-4-Glucanase und eine unspezifische Endo-β-1-3-1-4-Glucanase. Die Endo-Enzyme spalten die jeweilige Bindung im Inneren des β-Glucans und lösen kleinere Bruchstücke aus dem Polymer. Sie bauen dabei hochmolekulares β-Glucan zu niedermolekularen β-Glucan und weiter zu Glucan-Dextrinen bis hin zu den Disacchariden Laminaribiose und Cellubiose und letztendlich dem Monosaccharid Glucose ab. In der ruhenden Gerste ist nur eine Endo-β-1-4-Glucanase-Aktivität vorhanden, Aktivitäten der beiden anderen Enzyme sind noch nicht nachweisbar[27].

Die Exo-β-Glucanase baut das β-Glucan vom nichtreduzierenden Ende her ab und spaltet dabei Cellobiose ab. Es ist bereits im ruhenden Korn eine Exo-β-Glucanase-Aktivität messbar.

Die β-Glucan-Solubilase soll eine Doppelfunktion haben. Sie löst als Esterase hochmolekulares β-Glucan aus Esterbindungen mit histologischen Eiweiß [28]. Weiterhin

---

[23] Vgl.: Bamforth, Ch.: Enzymolysis of β-Glucan. Proc. of the 18th EBC Congress. Kopenhagen, 1981. S. 335-346.

[24] Vgl.: Edney, M. J. et al.: a.a.O., S. 164-168.

[25] Vgl.: Narziß, L.: Die Technologie der Malzbereitung. 7. Aufl. Enke Verlag Stuttgart, 1999. S. 157-163.

[26] Vgl.: Bamforth, Ch. und M. Kanauchi: A simple model for the cell wall of the starchy endosperm in barley. J. of the Inst. Brew., Volume 107, No. 4, 2001. S. 235-240.

[27] Vgl.: Narziß, L.: Die Technologie der Malzbereitung. A. a. O. S. 157-163.

[28] Vgl.: Bamforth, Ch.: Enzymolysis of β-Glucan. Proc. of the 18th EBC Congress. Kopenhagen, 1981. S. 335-346.

soll sie auch als Carboxypeptidase wirken, was Yin et al. aber bestreiten[29]. Sie soll im ruhenden Korn bereits vorhanden sein, erfährt während der Weiche und Keimung eine starke Zunahme und wird beim Darren nur geringfügig deaktiviert. Die Diskussion über die Wirkung oder noch weitergreifender über die Existenz[30] der β-Glucan-Solubilase ist noch nicht abgeschlossen. Einen aktuellen Überblick über den Stand der Forschung gibt Bamforth[31].

Cellobiase und Laminaribiase spalten das jeweilige Disaccharid zu Glucose-Einheiten. Die Bildung der Enzyme und ihre Aktivität kann durch die verschiedenen Keimungsparameter während des Weichens und Keimens beeinflusst werden. Die Auswirkungen der Variationen der Keimungsparameter sind durch Narziß und Mitarbeiter veröffentlicht[32]. Für den Abbau der β-Glucane ist vor allem die Keimdauer von Bedeutung[33]. Von der Solubilase gelöstes ß-Glucan wird dabei erst allmählich von einer zunehmenden Endo-β-Glucanasen-Aktivität abgebaut. Dies führt erst ab dem dritten Keimtag zu einer messbaren Abnahme von β-Glucan. Versuche von Bamforth et al.[34] ergaben ein Model für den Abbau der Zellwand der stärkeführenden Körner, die diese Beobachtung bestätigen. Demnach muss von anderen Enzymen wie Xylanasen und Esterasen erst die äußere Schicht der Zellwand abgebaut werden, bevor das ß-Glucan angegriffen werden kann.

Beim Darren werden die Aktivitäten der Enzyme verringert und die Lösungsverhältnisse im Korn fixiert. Die Aktivitäten nehmen je nach Darrverfahren und Hitzestabilität der Enzyme ab. Der Einfluss des Schwelkens und Darrens auf die Aktivität der Enzyme wurde von Narziß und Rusitzka ermittelt[35]. Sie konnten im fertigen Malz noch eine Endo β-1-3- Aktivität von 80 % ermitteln. Die Aktivität der Exo-Enzyme sank auf 20 %.

Es liegt im Sinne einer problemlosen Weiterverarbeitung der Malze, wenn die Zytolyse bereits im Malz gleichmäßig und nahezu vollständig abgeschlossen ist. Sie

---

[29] Vgl.: Yin, X. S. und A. W. Mc Gregor: Substrate specificity and nature of action of barley β-Glucan solubilase. J. of the Inst. Brew., No. 95, 1989. S. 105.

[30] Vgl.: Palmer, G. H.: Effect of mashing temperatures and endo-β-glucanase on β-glucan content of malt worts. J. of the Inst. Brew., Vol. 150, No. 4, 1999, S. 233-235.

[31] Vgl.: Bamforth, Ch.: Does “Solubilase” exist? Brewers Guardian. Vol. 131 Nr. 7, Juli 2002, S. 26-29.

[32] Vgl.: Narziß, L.: Die Technologie der Malzbereitung. a. a. O. S. 157-163..

[33] Vgl.: Kumada, J.: Über die Gummistoffe der Gerste und ihr Verhalten während der Malz- und Bierbereitung. Dissertation, Technische Universität München-Weihenstephan, 1967. S. 119.

[34] Vgl.: Bamforth, Ch. und M. Kanauchi: a. a. O. S. 237

[35] Vgl.: Rusitzka, P.: Über die Veränderungen der Enzyme während des Schwelkens und Darrens. Dissertation, Technische Universität München, Weihenstephan 1979.

wird über eine Vielzahl von Malzanalysen kontrolliert. Dabei wird das β-Glucan als einziges Polysaccharid durch eine flourimetrische Methode[36] direkt bestimmt. Der β-Glucan-Gehalt kann sowohl in der Kongreßwürze als auch in der Würze einer isothermen 65 °C Feinschrotmaische (VZ 65 °C) bestimmt werden. Als Grenzwerte gibt Sacher[37] 200 mg/l in der Kongreßwürze und 350 mg/l in der Würze der isothermen 65 °C Feinschrotmaische. Er stellt für ein Hoch-Kurz-Maischverfahren die in Tabelle 1 dargestellten zytolytischen Anforderungen an ein helles Gerstenmalz auf

Tabelle 1: Anforderungen an die zytolytische Lösung von hellem Gerstenmalz

Friabilimeterwert (neue Einstellung)	> 85 %
Ganzglasige	< 2 %
Viskosität 65 °C auf 8,6 % bezogen	< 1,6 mPas
β-Glucan-Gehalt 65 °C	< 350 mg/l
Homogenität	> 75 %

2.5.1.1.2 Der Einfluss der Sudhaustechnologie auf den Gehalt und die Struktur der β-Glucane

Zusätzlich zu der Diskussion über den Gehalt und die Größe der β-Glucane muss in wässrigen Lösungen wie Maische und vor allem Würze die Struktur der β-Glucan-Moleküle sowie deren Beziehung untereinander betrachtet werden. Dafür ist es wichtig, weitere Größen nämlich die Scherbelastung bzw. die Dehnbeanspruchung der Polymere zu beachten. Durch ihren Einfluss kann die Struktur der β-Glucane dahingehend verändert werden, dass eine Vernetzung untereinander und eine damit verbundene Viskositätserhöhung eingeleitet wird. Die Versuche, die bisher auf diesem Gebiet gemacht wurden und die Quellen, die den oben beschriebenen Effekt belegen sollen, werden in jeweiligen Unterkapiteln zu den einzelnen Verarbeitungsschritten im Sudhaus angegeben.

2.5.1.1.2.1 Der Einfluss der Maischarbeit auf den ß-Glucan-Gehalt und β-Glucan-Struktur der Würze

In Abhängigkeit vor allem der Temperatur und des pH-Wertes aber auch der Gussverhältnisse und der Konzentration verschiedener Ionen, beginnen durch die

[36] Vgl.: Pfenninger, H. (Hrsg.): Brautechnische Analysenmethoden. Methodensammlung der MEBAK. Band 1. 3. Auflage, Weihenstephan, 1997. S. 190.

Zugabe von Wasser während des Maischens die im Malz vorhandenen Enzyme wieder zu wirken.

Wagner stellte in seiner Arbeit die pH- und Temperaturoptima der β-Glucan abbauenden Enzyme (Tabelle 2) mit den jeweiligen Quellen dar.

Tabelle 2: Temperatur- und pH-Optima der β-Glucan abbauenden Enzyme nach Wagner[38]

Enzym	pH-Optimum	Temp. Optimum	Inaktivierung
Endo-β-1-3-1-4-Glucanase	4,8	40 °C	65 °C
Endo-β-1-4-Glucanase	4,5–4,8	40-45 °C	> 55 °C
Endo-β-1-3-Glucanase	5,4	40–45 °C	> 55 °C
Exo-β-Glucanase	4,5	40 °C	> 40 °C
Cellobiase	4,5 – 5,0	20 °C	> 50 °C
Laminaribiase	5,0	37 °C	> 55 °C
β-Glucan-Solubilase	5,0–6,5	60–65 °C	73 °C

Narziß wiederum gibt für die Endo-β-1-3-Glucanase ein anderes Temperaturoptimum von 60 °C und eine Inaktivierungstemperatur von 70 °C an. Den Abbau der β-Glucane unterteilt er in fünf Abschnitte[39].

- Lösung der während der Mälzung bereits in lösliche Form überführten β-Glucane in die Flüssigkeit.
- Abbau der gelösten β-Glucane bei Temperaturen zwischen 35–50°C durch Endo-β-Glucanasen.
- Zunehmende Extraktlösung bei 45–55 °C, dabei wird neues hochmolekulares β-Glucan in Lösung gebracht, dessen Abbau zu Dextrinen im Bereich von Temperaturen > 50 °C Temperaturbereich bereits gehemmt wird.

---

[37] Vgl.: Sacher, B.: Hohe Einmaischtemperatur - Anforderungen an die Malzqualität. 40. Mälzereitechnische Arbeitstagung. Gräfelfing, Oktober 2001.

[38] Vgl.: Wagner, N.: β-Glucan in Bier und Bedeutung dieser Stoffgruppe für die Bierfiltration. Dissertation Berlin 1990. FB 13, Nr. 288. S. 9.

[39] Vgl.: Narziß, L..: Die Technologie der Würzebereitung. 7. Aufl., Enke Verlag Stuttgart, 1992. S. 137-140.

- Ab 60 °C bis ca. 70 °C wird durch die ß-Glucan-Solubilase und die Verkleisterung der Stärke verstärkt hochmolekulares β-Glucan in Lösung gebracht. Dieses kann bis 65 °C noch zu einem geringen Teil von der Endo-β-1-3-Glucanase abgebaut werden. Bei Temperaturen über 65 °C findet kein Abbau mehr statt.

- Das bei 70 °C bis zur vollständigen Inaktivierung der β-Glucan-Solubilase bei ca. 73 °C gelöste β-Glucan geht ohne weiteren Abbau in Lösung.

Entscheidend ist die Tatsache, dass das Temperaturoptimum und die Inaktivierungstemperatur der β-Glucan-Solubilase höher liegen als die der β-Glucan abbauenden Endo- oder Exo-β-Glucanasen. Dies führt zu dem beschriebenen Effekt, dass bei Maischtemperaturen von über 60 °C hochmolekulares β-Glucan, welches nur noch im geringen Umfang in Dextrine abgebaut wird, in Lösung geht. Vor dem Hintergrund, dass in Deutschland ca. 35 % des untergärigen Bieres heutzutage mit einem Hoch-Kurz-Maischverfahren mit Einmaischtemperaturen > 60 °C hergestellt werden und bei ca. 70 % aller Maischen die erste Rast bei Temperaturen über 60 °C gehalten wird[40], bedeutet dieses, dass bei sehr vielen untergärigen Bieren sowohl die bereits im Malz vorhandenen löslichen β-Glucane sowie die bei Temperaturen > 60 °C in Lösung gebrachten β-Glucane ohne nennenswerten Abbau in die Würze übergehen. Daraus folgt, dass für ein Hoch-Kurz-Maischverfahren die Zytolyse bereits während der Mälzung im ausreichenden Maße abgeschlossen werden muss.

2.5.1.1.2.2 Der Einfluss von β-Glucanen auf die Läuterbarkeit der Würze

Der enzymatische β-Glucanabbau ist ab Temperaturen über 73 °C, durch die vollständige Inaktivierung der beteiligten Enzyme beendet. In Lösung befinden sich niedermolekulare β-Glucane, Glucan-Dextrine bis 10000 Dalton und eine hochmolekulare Fraktion, die, nach der Zusammenfassung von Linemann, ein Molekulargewicht von $6{,}3 \times 10^5$–1×10^6 Dalton besitzt[41]. Zwischen dem hochmolekularen β-Glucan und der Viskosität der Würze konnten Narziß und Edney

---

[40] Vgl.: Kunert, M.: Umfrage zum Thema „Auftreten von Gushing“. Auswertung: Diplomarbeit D 300, Technische Universität München, Weihenstephan 2000, S.23.

[41] Vgl.: Linemann, A.: Untersuchungen der Struktur-Eigenschafts-Beziehungen von β-Glucan bei der Bierherstellung. Dissertation 83/FB15 Nr. 055, Berlin, 1995, S. 39.

einen hochsignifikanten Zusammenhang feststellen[42]. Nach der Grundgleichung der Filtration von Darcy[43] zur Beschreibung einer Kuchenfiltration hat die Viskosität einen Einfluss auf den Filtrationseffekt und damit auf das Läuterverhalten. Greffin und Krauß fassen 1978 die bis dahin ermittelten Zusammenhänge zwischen verschiedenen Malzqualitätsparameter wie der Mehl-Schrot-Differenz oder der Viskosität der Kongreßwürze und der Läuterzeit zusammen[44]. Es wurden je nach Autor und Untersuchungsmethode sehr unterschiedliche Ergebnisse ermittelt. Sie schlussfolgern, dass keine befriedigende Vorhersage der Läuterzeit an Hand einer oder mehrerer Malzanalysenparameter wie z. B. der Viskosität der Kongresswürze gemacht werden kann. Narziß merkt dazu an, dass neben den β-Glucanen und der Viskosität der Würze auch die Partikelgrößenverteilung der Maische und der Scherkrafteintrag der Rührer eine Rolle für das Läuterverhalten spielen könnten. Uhlig und Vasquez versuchen diesen Effekt über die Messung der „nicht-hydrolisierbaren Feststoffe“ zu beschreiben. Sie gehen davon aus, dass durch starke mechanische Beanspruchung β-Glucane in Lösung gehen, die sich beim Abmaischen als gelatinöse Schicht auf den Trebern absetzen und den Durchfluss der Würze verhindern[45]. Diese Hypothese wird aber durch die Ergebnisse der veröffentlichten Versuche nicht belegt. Bühler et al. beschreiben ein Model für den Läuterprozess und können zeigen, dass die beiden entscheidenden Größen die Viskosität der Würze und die Partikelgrößenverteilung der Feinfraktion < 2 µm sind[46]. Englmann und Wasmuht behaupten, der Zusammenhang zwischen Scherkräften, dem β-Glucangehalt sowie der Viskosität der Maische bzw. der Würze sei bereits bekannt, sie versäumen aber die dementsprechenden Quellen anzugeben. Ihre eigenen Versuchergebnisse sagen aus, dass die Viskosität der Würze (die Probennahme erfolgte zu verschiedenen Zeitpunkten der Maischarbeit, die Würze wurde durch Faltenfiltration der Maische gewonnen) durch die unterschiedliche Einstellung des Rührwerks beeinflusst wird. In einer extremen Einstellung läuft das

---

[42] Vgl.: Narziß, L. und M. J. Edney: Importance of β-glucan size and concentration in malting. Monatsschrift für Brauwissenschaft, Heft 11/1989. S. 434.

[43] Vgl.: Gasper, H., D. Oechsle und E. Pongratz (Hrsg.):Handbuch der industriellen Fest/Flüssig Filtration. 2. Aufl. Wiley-VCH, Düren 1999, S. 24-25.

[44] Vgl.: Greffin, W. und G. Krauß: Schroten und Läutern. Monatsschrift für Brauerei, Juni 1978. S. 201-203.

[45] Vgl.: Uhlig, K. und S. Vasquez: Zur Messung des Schereffektes während des Maischens. Brauwelt Nr. 10, 1991. S. 326.

[46] Vgl.: Bühler, T. M. et al.: A model describing the lautering process. Monatsschrift für Brauwissenschaft, Heft 7/8, 1996. S. 226-233.

Rührwerk über den kompletten Maischprozess mit maximaler Leistung. Die Viskosität der Würze liegt dabei um 21 % und die Läuterzeit um 14 % höher als ein Vergleichssud mit schonenderer Rührwerksarbeit. Leider wurden keine Aussagen über die zytolytische Lösung des Malzes und die β-Glucangehalte der Würzen gemacht[47]. Schwill-Miedaner und Miedaner veröffentlichten 1999 eine Forschungsarbeit zum Informationswert der Viskosität im Rahmen der Sudhausarbeit[48]. Sie können bei ihren Untersuchungen durch verschiedene Belastungen der Maische, wie erhöhte Strömungsgeschwindigkeiten und unterschiedliche Rührgeschwindigkeiten, keine oder nur geringe Viskositätsveränderungen, kein Anstieg des β-Glucangehaltes und keine Gelbildung in der filtrierten Maische feststellen. He untersuchte 1995 die Parameter Malzqualität, Rührgeschwindigkeit, Temperatur und Abkühlgeschwindigkeit der Würze an Hand der Glucanviskosität[49]. Mit dieser Methode wird der Anteil der β-Glucane an der Viskosität ermittelt. Sie lässt nach Eiselt eine Vorhersage auf die spätere Filtrierbarkeit des Bieres zu und berücksichtigt die Tatsache, dass nicht nur der Gesamtgehalt der β-Glucane sondern auch ihre Beziehung untereinander entscheidend für die Viskosität von Würze und Bier sind. Seine Ergebnisse zeigen, dass den größten Einfluss auf die Glucanviskosität die Malzqualität hat. Auch durch unterschiedliche Abkühlungsverfahren der Würze konnten Unterschiede in der Glucanviskosität festgestellt werden[50]. Durch die Erhöhung der Drehzahl von 100 U/min auf 200 U/min im Kongressmaischbad konnte zwar ein leichter Anstieg des β-Glucangehaltes festgestellt werden, aber keine Aussage zur Veränderung der Glucanviskosität gemacht werden. Da nach Angabe der Autoren die Rührerbelastung im Maischbad deutlich geringer als die im Sudhaus ist, wurde ein Extremversuch mit 1500 U/min bei verschiedenen Temperaturen durchgeführt. Dabei ergab sich, dass durch starkes Rühren bei Temperaturen über 80 °C ein starke Zunahme der Glucanviskosität bis zu einer Verdreifachung der Werte bei 100 °C gemessen werden kann. Die Tatsache, dass aus identischem Malz bei gleichem Maischverfahren und β-Glucan-Gehalt unterschiedliche Viskositätsverhältnisse entstehen können, erklären Grimm und Eiselt mit der Struktur und der Vernetzung der β-

---

[47] Vgl.: Englmann, J. und K. Wasmuht: Praxisorientierte Sudhausaspekte. Brauwelt Nr. 47, 1993, S. 2374-2380.

[48] Vgl.: Schwill-Miedaner, A. und H. Miedaner: Die Viskosität – ihr Informationswert im Rahmen der Sudhausarbeit. Brauwelt Nr 13/14, 1999, S. 593.

[49] Vgl.: He et al.: Einfluss von Malzqualität und Sudhausparametern auf die β-Glucanstruktur. Brauwelt Nr. 24/25, 1995, S. 1171-1178.

[50] Vgl.: Eiselt, G. et al.: Neue Methode der Würzeanalyse zur Vorhersage von Filtrationsproblemen die durch β-Glucane verursacht werden. Proc. of the 25th EBC-Congress, Brüssel 1995, S. 613.

Glucane untereinander[51]. Nach ihrem Modell liegt das β-Glucan in der Würze nicht nur als Einzelmolekül vor, sondern bildet Franzenmizellen aus; diese können sowohl als Abbauprodukte der Zellwände in die Würze gelangen als auch durch spontane Assoziation einzelner Molekülstränge entstehen. Die Menge der Franzenmizellen und ihr Vernetzungsgrad untereinander hängen von der zytolytischen Lösung der Malze und von der Scherkraftbelastung der Heißwürze sowie einer schnellen Abkühlung nach dem Würzekochen ab.

Die Literaturauswertung lässt folgende Schlussfolgerungen zu:

- Die zytolytische Lösung und damit der Abbau der β-Glucane des Malzes beeinflusst sowohl das Läuterverhalten als auch die Viskosität, der aus dem Malz gewonnenen Würze.
- Extreme mechanische Beanspruchung der Maische führt zu einer Verlängerung der Läuterzeit und abhängig von der Temperatur auch zu einer Erhöhung der Glucanviskosität der Würze. Ob die Zusammenlagerungen der β-Glucanmoleküle bei Maischtemperaturen und den in der Maische vorgefundenen β-Glucan-Konzentrationen spontan abläuft oder ob die Assoziatbildung nur vorbereitet wird und später beim Abkühlen der Würze stattfindet, ist umstritten. Nach Arbeiten von Böhm und Kulicke sind die Temperaturen für eine spontane Assoziatbildung zu hoch und die Konzentrationen zu niedrig[52]. Damit kann geschlossen werden, dass die Verlängerung der Läuterzeit bei starker Scherbeanspruchung eher von einer Verfeinerung der Partikel als von einer durch Zusammenlagerung von ß-Glucan-Molekülen verursachten Viskositätserhöhung in der Maische hervorgerufen wird.

2.5.1.1.2.3 Der Einfluss der Kochung auf den β-Glucangehalt und β-Glucanstruktur in der Würze

Durch die Inaktivierung der Enzyme und die Abtrennung der Würze vom Treber ist eine Zunahme der β-Glucane nicht mehr möglich. Man könnte vermuten, dass durch die Eiweisskoagulation beim Kochen und der Abscheidung des Heißtrubes auch der Gehalt an β-Glucanen abnimmt. Untersuchungen von Annemüller et al.[53] und Eiselt[54] haben

---

[51] Vgl.: Eiselt, G. et al.: Neue Methode der Würzeanalyse zur Vorhersage von Filtrationsproblemen die durch β-Glucane verursacht werden. Proc. of the 25th EBC-Congress, Brüssel 1995, S. 610.

[52] Vgl.: Böhm, N. und W. M. Kulicke: Rheological studies of barley (1-3)(1-4)-β-Glucan in concentrated solution: Mechanistic and kinetic investigation of the gel formation. Carbohydrate Research 315, 1999, S. 302-311.

[53] Vgl.: Annemüller, G. et al.: Der Endo-β-Glucanasegehalt- ein Maß für die cytolytische Kraft des Malzes. Brauwelt Nr. 5/6, 1995, S. 209.

aber keinen nennenswerten Unterschied im ß-Glucan-Gehalt der Pfanne-Voll-Würze und der Ausschlagwürze bzw. der Anstellwürze ergeben. Da sich die Viskosität noch ändern kann, stellt sich also die Frage, ob durch die Kochung die Struktur oder die Bindungsverhältnisse untereinander verändert werden können. He et al. begründen die Zunahme der Glucanviskosität durch starkes Rühren in der Maische bei hohen Temperaturen dadurch, dass bei diesen Temperaturen sich Wasserstoffbrücken lösen können und die Moleküle besonders beweglich werden und damit eine Assoziatbildung gefördert wird[55]. Dies würde bedeuten, dass bei Kochtemperaturen im Bereich von 100 °C eine starke Scherbelastung durch z. B. Umpumpen oder den Transport der Würze zu Assoziatbildung und den dementsprechenden Filtrationsproblemen führen müsste. Ausführliche Arbeiten von Eiselt bestätigen diese Behauptung. Er konnte feststellen, dass bei starkem Sieden der Würze bzw. bei starker Scherbeanspruchung der Würze mit einem Ultraturax bei Temperaturen > 80 °C die Fraktion der β-Glucane über 0,2 µm und die Glucanviskosität zunahmen, wobei der Gesamt-β-Glucan-Gehalt unverändert blieb. Er kommt zu der Schlussfolgerung, dass im Gegensatz zum Bier, bei welchem β-Glucan-Gel bei Temperaturen > 60 °C wieder in den Solzustand übergeht, in der Würze sich bei hohen Temperaturen β-Glucan-Assoziate zu größeren Molekülverbänden zusammenlagern. Diese Hypothese scheint in sofern fraglich, als dass die Assoziate über Wasserstoffbrückenbindungen zusammengelagert werden, die bei hohen Temperaturen instabil werden. Es ist aus der Arbeit auch nicht ersichtlich, ob die Trennung nach Größenklassen und die Viskositätsmessungen bei den beschriebenen Temperaturen durchgeführt wurden. Wahrscheinlicher ist, dass die Messungen nach Abkühlung der Würze bei niedrigeren Temperaturen (20 °C) durchgeführt wurden, da zumindest zur Bestimmung der Glucanviskosität hohe Temperaturen eine Inaktivierung der bei dieser Methode zudosierten Enzyme zur Folge hätte. Wurden die Messungen bei ca. 20 °C durchgeführt, so ist eine Assoziatbildung während der Abkühlungsphase wahrscheinlicher. Unabhängig von der Tatsache, bei welcher Temperatur die eigentliche Assoziatbildung stattfindet, beweist die Arbeit, dass die Kochung einen negativen Einfluss auf die spätere Filtrierbarkeit des Bieres haben kann.

Wenn auch noch nicht alle Mechanismen der Assoziatbildung von β-Glucanen bekannt sind, so lässt sich aus den bisher veröffentlichten Arbeiten ableiten, dass nicht nur die

---

[54] Vgl.: Eiselt, G.: Untersuchungen über hochmolekulares β-Glucan. Dissertation, Berlin 1995. S. 86.

[55] Vgl.: He et al.: a. a. O. S. 1171-1178.

Malzqualität sondern auch die Sudhausarbeit einen Einfluss auf die Struktur der β-Glucane und die daraus resultierenden Filtrationsprobleme hat.

2.5.1.1.3 Der Einfluss der Gärung und Lagerung auf den Gehalt und die Struktur der β-Glucane

Das große Interesse, das die β-Glucane in Praxis und Forschung erfahren haben, nimmt seinen Ursprung in der Beobachtung von massiven Filtrationsproblemen, die auf β-Glucane zurückzuführen waren. Im Laufe der Forschungsarbeiten, die sich mit diesem Thema beschäftigten, wurde klar, dass keine Korrelation zwischen dem Gesamt-β-Glucan-Gehalt und der Filtrierbarkeit von Bier nachgewiesen werden konnte[56,57]. Es mussten also entweder nur bestimmte Fraktionen der ß-Glucane oder ihre Struktur für die Filtrationsstörungen verantwortlich sein. Wie bereits erwähnt, ist eine Zunahme des Gersten-β-Glucan-Gehaltes nach Abtrennen der Treber von der Würze nicht mehr möglich. Da auf Grund der hochmolekularen Struktur der β-Glucane auszuschließen ist, dass die Bierhefe β-Glucan verstoffwechselt oder durch eigene Enzyme abbaut[58], beschränkt sich der Einfluss von Gärung und Lagerung auf eine eventuelle Abnahme des β-Glucan-Gehaltes durch Ausfällungen oder auf eine strukturelle Veränderung der β-Glucane. Während der Gärung verändert sich durch die Bildung von CO_2, Ethanol und Gärungsnebenprodukten das Milieu entscheidend. So sinkt bei einem hellen Vollbier der pH-Wert von ca. 5,5 auf einen Wert um 4,5 und der Alkoholgehalt nimmt von 0 Vol. % auf ca. 5 Vol. % zu. Danach folgt je nach Technologie eine ein- bis vierwöchige Lagerzeit bei Temperaturen um 0 °C. Der Einfluss dieser Veränderungen auf den Gesamt-β-Glucan-Gehalt wird sehr unterschiedlich diskutiert. Bamforth[59] beschreibt den β-Glucan-Gehalt während der Gärung und Lagerung als annähernd konstant. Diese Erkenntnis wird später von Krüger bestätigt[60]. Leedham[61] und Litzenburger[62]

---

[56] Vgl.: Wagner, N.: β-Glucan in Bier und Bedeutung dieser Stoffgruppe für die Bierfiltration. Dissertation Berlin 1990. FB 13, Nr. 288. S. 105.

[57] Vgl.: Narziß, L.:β-Glucan und Filtrierbarkeit. Brauwelt Nr.37/1992, S. 1703.

[58] Vgl.: Berghof, K. und U. Stahl: Verbesserung der Filtrierbarkeit von Bier durch Verwendung von β-Glucanase-aktiver Brauhefen. Bioengeneering.7 Nr.2, 1991, S.27–32.

[59] Vgl.: Bamforth, Ch.: Enzymolysis of ß-glucan. Proc. of the 18th EBC-Congress, Copenhagen 1981, S. 335-346.

[60] Vgl.: Krüger, E. et al.: Einflussgrößen bei der Bierfiltration. Brauwelt Nr. 50, 1989, S. 2434-2445.

[61] Vgl.: Leedham, P. A. et al.: Materials and methods of wort production that influence beer filtration. Proc. of the 15th EBC-Congress, Nizza 1975, S. 201-216.

[62] Vgl.: Litzenburger, K.: Filtrierbarkeit der Biere. Brauwelt 124, Nr.11. 1987. S. 425-433.

berichten, dass der ß-Glucan-Gehalt während der Gärung abnehmen kann und dass in solchen Fällen sich im Geläger β-Glucan anreichert. Auch während der Lagerung wurden solche Ausfällungen beobachtet. Letters beschreibt gelartige Sedimente in Lagertanks, die zum überwiegenden Teil aus β-Glucan bestehen und prägt den Begriff β-Glucan-Gel[63]. Wagner nimmt in seiner Dissertation diesen Begriff auf und unterteilt das ß-Glucan in β-Glucan im Solzustand und β-Glucan im Gelzustand. Er weißt nach, dass nur ß-Glucan im Gelzustand tatsächlich zu erheblichen Filtrierbarkeitsstörungen führt und erklärt damit, warum bisher weder zwischen dem Gesamt-β-Glucan-Gehalt noch zwischen dem Gehalt an hochmolekularem β-Glucan und der Filtrierbarkeit ein statistisch nachweisbarer Zusammenhang gefunden wurde. Er beschreibt die Einflussgrößen auf die Gelbildung und nennt als Faktoren den Gesamt-β-Glucan-Gehalt, die Temperatur, die Zeit, den Alkoholgehalt, Scherbeanspruchungen und die Zuckerkonzentration. So fördern hohe β-Glucan-Gehalte, tiefe Temperaturen, hohe Alkoholgehalte und starke Scherbeanspruchungen sowohl der Würze als auch von Bier die Gelbildung[64]. Er untersucht die Abtrennung von β-Glucan-Gel aus dem Unfiltrat und kommt zu dem Schluss, das weder eine lange Lagerung noch eine Separation zu einer vollständigen Abtrennung und damit zu einer Vermeidung von Filtrierbarkeitsstörungen führt. Allein das Erhitzen von Proben mit β-Glucan-Gel führt zu einer messbaren Verbesserung der Filtrierbarkeit. Die Ergebnisse zeigen, dass das Gel thermoreversibel ist und sich durch Erhitzen auf über 60 °C von dem Gel in den Solzustand überführen lässt. Eine Rückbildung findet innerhalb der für die Bierproduktion relevanten Zeiträume nicht statt[65]. Eiselt und Grimm nahmen, wie bereits erwähnt, die Aufteilung von Wagner auf und entwickelten ein Model, in dem β-Glucan sowohl als Einzelmolekül als auch zusammengelagert als sogenannte Fransenmizellen vorliegen kann. Diese Fransenmizellen können sich, unterstützt durch Scherbeanspruchungen zu größeren

---

[63] Vgl.: Letters, R. et al.: The complexity of beer ß-Glucans. Proc. of the 20th EBC-Congress, Helsinki 1985, S. 395-402.

[64] Vgl.: Wagner, N.: β-Glucan in Bier und Bedeutung dieser Stoffgruppe für die Bierfiltration. Dissertation Berlin 1990. FB 13, Nr. 288.

[65] Vgl.: Wagner N.: Bedeutung von β-Glucan-Gel für die Filtrierbarkeit von Bier. Brauwelt Nr. 12, 1991. S. 426-434.

Einheiten zusammenlagern. Diese entsprechen dem von Letters und Wagner beschriebenem Gel und rufen Filtrationsprobleme hervor[66].

Zusammenfassend lässt sich folgendes sagen: β-Glucane als Einzelmoleküle sind für die Filtration von Bier von nur geringem Einfluss. Liegen sie als größere Einheiten verbunden vor, können sie zu massiven Filtrierbarkeitsstörungen führen. Nach den bisherigen Erkenntnissen wird der Grundstein hierfür durch eine unzureichende Lösung des Malzes gelegt. Die Malzqualität ist aber nur eine von mehreren Einflussgrößen. Weiterhin scheinen starke Scherbeanspruchungen sowohl der heißen Würze als auch des Jungbieres eine große Wirkung zu haben, obwohl dazu bisher eine genaue quantitative Aussage fehlt. Wichtig ist in diesem Zusammenhang, dass durch Scherung eine Zusammenlagerung der β-Glucane infolge von einer Streckung der Moleküle vorbereitet werden kann, eine spontane Reaktion aber wegen der geringen Konzentration der β-Glucane nicht stattfindet, wie Böhm und Kulicke[67] beweisen konnten. Dies bedeutet, dass der Ursprungsort und Beginn einer Zusammenlagerung von β-Glucanen und der Ort und der Zeitpunkt ihrer nachweislichen Existenz sich zwangsläufig unterscheiden. Damit ist zum Zeitpunkt des Nachweises keine Aussage über den Ausgangspunkt der Filtrierbarkeitsstörung mehr möglich.

2.5.1.2 Gersten-α-Glucane (Stärke)

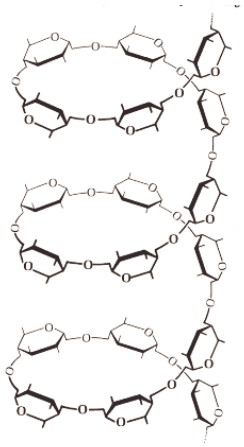


Abbildung 5: Ausschnitt eines Amylose-Polymers

Die Stärke ist der Menge sowie der Bedeutung im Mälzungs- und Brauprozess nach das wichtigste Polysaccharid der Gerste. Sie kann im Gerstenkorn einen Anteil von 55-66 % (wasserfrei) ausmachen. Ihr Aufbau, ihre Struktur sowie ihre Veränderung während des Mälzungs- und Brauprozess sind bereits aufgeklärt und in der Fachliteratur veröffentlicht[68]. Der Grundbaustein der Stärke ist die Glucose, wobei durch unterschiedliche

---

[66] Vgl.: Eiselt, G. et al.: Neue Methode der Würzeanalyse zur Vorhersage von Filtrationsproblemen die durch β-Glucane verursacht werden. Proc. of the 25th EBC-Congress, Brüssel 1995, S. 607-613.

[67] Vgl.: Böhm, N. und W. M. Kulicke: Rheological studies of barley (1-3)(1-4)-β-Glucan in concentrated solution: Mechanistic and kinetic investigation of the gel formation. Carbohydrate Research 315, 1999, S. 302-311.

[68] z. B. in: Narziß L.: Die Technologie der Malzbereitung, 7. Auflage, Stuttgart 1999. S. 27-31.

glycosidische Verbindungen zwei strukturell verschiedene Polysaccharide entstehen: Die Amylose und das Amylopectin. Die Amylose besteht aus 60-2000 α-1-4-glykosidische verbundenen Glucoseresten. Dies führt zu einer langen, unverzweigten und spiralig gewundenen Struktur (Abbildung 5) mit einem Molekulargewicht von 10000-500000 Dalton.

Das Amylopectin besitzt zusätzlich zu den α-1-4-glycosidischen Verbindungen ca. alle 15 Glucoseeinheiten eine α-1-6-glykosidisch gebundene Seitenkette. Daraus ergibt sich das in Abbildung 6 dargestellte Strukturmodell wobei in A und B-Seitenketten unterschieden wird. A-Seitenketten sind kurz und ohne eine weitere Verzweigung. B-Seitenketten sind länger und weisen mehrere Verzweigungen auf. Das Molekulargewicht von Amylopectin liegt bei 1-6x 10^6, dies entspricht ca. 6000-40000 Glucoseeinheiten.

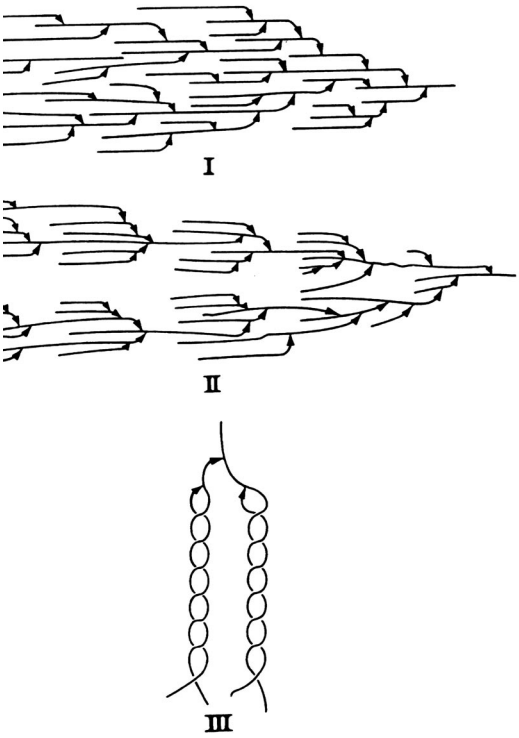


Abbildung 6: Strukturmodel von Amylopektin

Gerstenstärke ist in kaltem Wasser unlöslich. Durch Erwärmung beginnt sie zu quellen. Bei Temperaturen um 50 °C nehmen die Stärkekörner deutlich an Volumen zu, um bei Temperatur bis ca. 70 °C zu verkleistern. Die verkleisterte Stärke wird anschließend von den amylolytischen Enzymen α- und β-Amylase sowie Grenzdextrinase verflüssigt[69]. Dabei entsteht entweder direkt Maltose oder Dextrine, deren Molekulargewicht mit zunehmender Einwirkzeit abnimmt. Die Temperatur- und pH-Optima der stärkeabbauenden Enzyme in Maische werden von Narziß wie in Tabelle 3 dargestellt angegeben[70].

[69] Vgl.: Narziß, L.: Abriß der Bierbrauerei, 6. Auflage, Enke Verlag Stuttgart 1995, S. 114.
[70] Vgl.: Ebenda, S. 115.

Tabelle 3:Temperatur und pH-Optima amylolytischer Enzyme

Enzym	Temperatur-Opt.	pH-Optimum	Inaktivierungstemperatur
α-Amylase	72-75 °C	5,6-5,8	> 80 °C
β-Amylase	60-65 °C	5,4-5,6	> 70 °C
Grenzdextrinase	55-60 °C	5,1	> 65 °C

Wie beim Abbau der β-Glucane liegen die Temperaturoptima der Enzyme so weit auseinander, dass ein optimales Zusammenspiel der Enzyme und damit ein vollständiger Abbau auch von Dextrinen nicht möglich ist. Die von der α-Amylase bei Temperaturen über 70 °C erzeugten Stärkebruchstücke können weder von der β-Amylase noch von der Grenzdextrinase abgebaut werden, da diese bereits inaktiviert sind. Da die Stärke der Hauptlieferant von vergärbaren Zuckern in der Würze ist und sowohl nicht abgebaute Polysaccharide als auch nur zum Teil hydrolisierte Oligosaccharide von der Bierhefe nicht vergoren werden können, liegt es im Interesse des Brauers, eine möglichst vollständige, dem Biertyp angepasste, Hydrolyse zu erreichen. Wird der Abbau der Stärke durch eine unzureichende enzymatische Ausstattung des Malzes oder durch falsche Sudhaustechnologie behindert, bleiben vermehrt α-Glucane verschiedener Molekülgrößen in der Würze und im Bier zurück. Diese können zu Verarbeitungsschwierigkeiten, z. B. bei der Filtration, oder zu Qualitätsmängeln durch ungenügende Vergärungsgrade oder Trübungen im Bier führen. Die enzymatische Ausstattung des Malzes lässt sich durch die Malzanalysen α-Amylase-Aktivität und die Diastatische Kraft kontrollieren. Technologisch sind vor allen die Temperaturen und Dauer der Maischerasten sowie der pH-Wert der Maische aber auch das Gussverhältnis und bestimmte Ionenkonzentrationen wie z. B. der Calciumgehalt von Bedeutung. Ab einer Größe von 9 Glucoseeinheiten bei linearen Molekülen und etwa 60 Glucoseeinheiten bei verzweigten Molekülen ergeben die Dextrine mit Jod eine Farbreaktion. Je nach Größe der Moleküle ist diese schwach rot bis dunkelblau. Durch diese Reaktion lässt sich der Abbau der Stärke analytisch verfolgen und beurteilen. Die von der MEBAK empfohlene fotometrische Jodprobe misst die Extinktion nach der Jodreaktion bei 530 nm. Das Ergebnis sollte einen Wert von 0,45 nicht überschreiten[71]. Mehrere

[71] Vgl.: Pfenninger, H.(Hrsg.): Brautechnische Analysenmethoden. Methodensammlung der MEBAK. Band II, 3. Auflage. Weihenstephan 1993, S. 33.

Autoren[72,73] haben einen Zusammenhang zwischen der Filtrierbarkeit von Bier und einem erhöhten Gehalt von α-Glucanen gefunden. Es existiert aber keine nachgewiesene Korrelation zwischen der fotometrischen Jodprobe nach MEBAK und einem erhöhten Druckanstieg am Filtereinlauf.

Schur berichtete von 8 Vollmalz-Bierproben, die extrem hohe Jodwerte (0,57-2,45) aufwiesen und Filtrationsstörungen erzeugten[74]. Er fand einen Zusammenhang zwischen dem Jodwert der Labortreber aus Grobschrot und der Filtrierbarkeit von Bier, gibt aber keine Grenzwerte an[75]. Narziß und Esslinger[76] bestimmten über Fällungsreaktionen und enzymatischen Aufschluss den Gesamt-α-Glucan-Gehalt sowie eine hochmolekulare α-Glucan-Fraktion. Sie fanden einen hochsignifikanten Zusammenhang zwischen dem α-Glucan-Gehalt und der Bierviskosität sowie eine Korrelation von hochmolekularen α-Glucanen mit der Filtrierbarkeit von Bier. Annemüller empfiehlt in seinem Filtrierbarkeits-Check[77], die Jodreaktion bei zwei verschiedenen Wellenlängen zu messen, wobei die Fraktion $D_{425\ nm}$ einen Wert von 100 Einheiten und die Fraktion $D_{565\ nm}$ einen Wert von 40 Einheiten nicht überschreiten sollte. Die Veröffentlichungen beziehen sich meistens nur auf den Druckanstieg am Filtereinlauf und lassen bei den Messungen die Trübung außer Acht. Es ist aber möglich, dass durch α-Glucane eine durch Kieselgurfiltration nur teilweise oder gar nicht entfernbare Trübung entsteht, die in weiterführenden Versuchen auf jeden Fall Beachtung finden sollte[78].

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass den α-Glucanen in Bezug auf die Filtrierbarkeit von Würze und Bier weniger Beachtung geschenkt wurde. Dies mag daran liegen, dass eine ausreichende Verzuckerung der α-Glucane die eigentliche Hauptaufgabe des Maischens ist. Dementsprechende Beachtung findet dieser Prozess durch ausgedehnte Rasten im Temperaturoptimum der amylolytischen

---

[72] Vgl.: Narziß, L. und M. Esslinger: Über den Einfluß von β- und α-Glucanen auf die Filtrierbarkeit des Bieres. Proc. of the 20th EBC Congress, Helsinki 1985, S. 411-418.

[73] Vgl.: Annemüller, G. und T. Schnick: Ein Vorschlag für einen Filtrierbarkeits- und Stabilitäts-Check im unfiltrierten Lagerbier. Brauwelt Nr. 45, 1998, S. 2128.

[74] Vgl.: Schur, F. et al.: Charakterisierung filtrationshemmender Stoffe. Brauerei Rundschau, Jg. 89, Nr. 8, August 1978, S. 131.

[75] Vgl.: Schur, F.: Bierfiltration und Einflüsse auf die Bierfiltrierbarkeit. Proc. of the 22th EBC Congress, Zürich 1989. S. 371.

[76] Vgl.: Esslinger, M. und L. Narziß: Über den Einfluss von β- und α-Glucanen auf die Filtrierbarkeit des Bieres. Proc. of the EBC Congress 1985, S. 411.

[77] Vgl.: Annemüller, G. und T Schnick: Ein Vorschlag für einen Filtrierbarkeits- und Stabilitäts-Check im unfiltrierten Lagerbier. Brauwelt Nr. 45, 1998, S. 2128.

Enzyme. Misslingt dieser Schritt, ist bereits lange vor der Filtration, z. B. bei der Gärung, mit Produktionsschwierigkeiten zu rechnen. Mit einer schlechten Filtrierbarkeit ist in solchen Fällen also zu rechnen. Der Ursprung von Störungen dieser Art ist durch eine Jodprobe relativ einfach auszumachen und Abhilfe durch technologische Maßnahmen im Bereich des Sudhauses relativ einfach zu bewerkstelligen.

2.5.1.3 Gersten-Pentosane

Pentosane gehören wie β-Glucane zu den Hemicellulosen. Ähnlich wie die β-Glucane fungieren die Pentosane unter anderem als Gerüstsubstanzen im Aleuron und im Endosperm des Gerstenkorns. Der Gesamtgehalt der Gerste liegt, abhängig von der Gerstensorte und der Untersuchungsmethode, bei ca. 5-10 % der Trockensubstanz. Das Pentosan ist ein glucosefreies Polysaccharid, dass aus Xylose, Arabinose und Glucuronsäuren aufgebaut ist. Narziß unterscheidet zwei Typen von Pentosan, je nachdem ob es im Spelz oder im Mehlkörper vorkommt. Beide haben eine Hauptkette aus β-1-4-glykosidisch verbundenen Xyloseeinheiten. Der Typ Spelz hat Seitenketten aus Xylose, Arabinose und Glucuronsäuren die β-1-2 bzw. ß-1-3 glykosidisch gebunden sind. Die Pentosanketten des Mehlkörpers enthalten Ferulasäure[79,80]. Der enzymatische Abbau von Pentosanen ist weitgehend geklärt. Analog zum ß-Glucanabbau existieren eine Pentosan-Solubilase (Esterase), Endo- und Exo-Xylanasen sowie eine Feruloyl-Esterase die Esterbindungen zwischen Ferulasäure und Arabinose löst. Zusätzlich können die β-1-2 bzw. ß-1-3 Seitenketten durch eine Arabinosidase gelöst werden. Über pH- und Temperatur-Optima werden dabei die in Tabelle 4 dargestellten Angaben gemacht.

---

[78] Vgl.: Narziß, L. und W. Back: Abriß der Bierbrauerei. 6. Auflage, Enke Verlag Stuttgart 1995.S. 326.

[79] Vgl.: Cach, N. C. und G. Annemüller: Ein Beitrag über die Pentosane im Prozess der Bierherstellung. Monatsschrift für Brauwissenschaft Heft 7/8, 1995, S. 233-240.

[80] Vgl.: Narziß, L.: Die Technologie der Malzbereitung, 7. Auflage, Enke Verlag Stuttgart 1999. S. 31.

Tabelle 4: Temperatur- und pH-Optima Pentosan abbauender Enzyme

Enzym	Temperatur-Opt.	pH-Optimum	Inaktivierungstemperatur
Endo-Xylanase	45 °C	5,0	keine Angabe
Exo-Xylanase	45 °C	5,0	keine Angabe
Pentosan-Solubilase	keine Angabe	keine Angabe	> 65 °C
Arabinosidase	40 °C	4,6-4,7	50-60 °C

Das Verhalten der Pentosane während des Brauprozesses ist nur unzureichend erforscht. Die Meinungen über ihren Einfluss auf die Filtrierbarkeit gehen auseinander. Dies kann vor allem an den angewandten Nachweismethoden liegen, deren Ergebnisse stark voneinander abweichen. Leclercq et al. konnten einen negativen Einfluss von hochmolekularen Pentosanen auf das Läuterverhalten von Würze nachweisen[81]. Ein Zusammenhang zwischen der Filtrierbarkeit von Bier und dem Pentosangehalt wurde aber nicht untersucht. Cach et al. kommt in der aktuellsten Forschungsarbeit über Pentosane im Brauprozess zu dem Schluss, dass hochmolekulare Pentosane sicher an der Trübungsbildung im Prozess der Gärung und Reifung beteiligt sind. Einen Zusammenhang mit der Filtrierbarkeit findet er aber nicht[82]. Narziß ist der Auffassung, dass Pentosane nur eine untergeordnete Rolle im Brauprozess spielen und ihr Beitrag zur Würze und Bierviskosität gering ist. Auch die Pentosane sind in Bezug auf die Filtrierbarkeit von Würze und Bier sehr viel weniger betrachtet worden als die β-Glucane. Nach dem heutigen Stand der Forschung ist ihr Einfluss auf die Bierbereitung aus Gerstenmalz gering. Allerdings kann vor allem wegen der schwierigen und bisher wenig überzeugenden Analytik von Pentosanen in Würze und Bier kein abschließendes Urteil gefällt werden.

2.5.2 Bakterielle Polysaccharide

Mikroorganismen enthalten wie alle anderen Organismen Polysaccharide, die entweder als Gerüstsubstanzen (strukturelle Polysaccharide) oder als Reservestoffe (intrazelluläre Lagerformen) dienen. Neben diesen, an die Struktur der Zelle mehr oder weniger fest gebundenen Polysacchariden, werden von einigen Arten auch

[81] Vgl.: Leclercq, G. et al.: Barley and malt pentosan: structure and functionalities in the brewing industry. Proc. of the 27th EBC Congress, Cannes, 1999, S. 429-436.

[82] Vgl.: Cach, N. C. und G. Annemüller: Ein Beitrag über die Pentosane im Prozess der Bierherstellung. a. a. O. S. 233-240.

Polysaccharide außerhalb der organisierten Zelle gebildet (extrazelluläre Polysaccharide)[83]. Die außerhalb der Zellwand lokalisierten Polysaccharide fasst man auch als Exopolysaccharide zusammen. Nach ihren physikalischen Eigenschaften unterscheidet man zwischen Kapseln, die mit der Zellwand relativ fest verbunden sind, und Schleimen, die nur lose oder überhaupt nicht an die Zellwand angeheftet sind[84].

Es kann davon ausgegangen werden, dass polysaccharidproduzierende Bakterien im Malzbereitungs- und Brauprozeß vorkommen und u.a. zu Filtrationsproblemen führen können[85,86,87]. So wurde von Walker et al. festgestellt, dass Trübungen in Würzen und Jungbieren große Anteile von toten Malzbakterien (*Pantoea agglomerans* und *Pseudomonas sp*.) enthielten, die die Filtrierbarkeit wesentlich verschlechterten[88].

Drei verschiedene bakterielle Polysaccharide – die nur einen kleinen Auszug darstellen– werden nun näher besprochen.

2.5.2.1 Dextran

Dextrane, die durch Mikroorganismen synthetisiert werden, wurden zunächst nur in besonderen Fällen in Rohstoffen der Lebensmittelindustrie beobachtet. Es besteht aber durchaus die Möglichkeit, dass sie häufiger vorkommen, als auf Grund der damaligen Erkenntnisse anzunehmen ist[89]. Dextran wird z. B. von *Leuconostoc mesenteroides* und *L. dextranicum* aus Saccharose produziert. Es wird in der Medizin als Blutplasmaersatzmittel verwendet. Im Lebensmittelbereich kommt es als Verdickungsmittel und Stabilisator bei Backwaren und Süßwaren sowie bei Getränken und Speiseeis in Frage. Dextran besitzt durchgehend α-(1$\rightarrow$6) gebundene Glucose in der Hauptkette, mit variierenden Anteilen an α-(1$\rightarrow$2), α-

---

[83] Vgl.: Behrens, U. und M. Ringpfeil: Mikrobielle Polysaccharide. Berlin 1964, S. 9.

[84] Vgl.: Schlegel, H. G.: Allgemeine Mikrobiologie. 7. Aufl. Stuttgart 1992, S. 64.

[85] Vgl.: Back, W.: Farbatlas und Handbuch der Getränkebiologie, Teil 1: Kultivierung/Methoden Brauerei, Winzerei. Nürnberg 1994, S. 26.

[86] Vgl.: Gracey, D. E. F. und R.L. Barker: A new perspective on the composition of beer hazes. Proc. of the 18th EBC Congress, Copenhagen, 1981, S. 478.

[87] Vgl.: Haikara, A. et al.: Lactic starter cultures in malting – a novel solution to gushing problems. Proc. of the 24th EBC Congress, Oslo, 1993, S. 164.

[88] Vgl.: Walker, M. D. et al.: The influence of malt-derived bacteria on the haze and filterability of wort and beer. Proc. of the 26th EBC Congress, Maastricht 1997, S. 193.

[89] Vgl.: Acker, L. et al.: Handbuch der Lebensmittelanalytik, Band II/2.Teil: Analytik der Lebensmittel, Nachweis und Bestimmung von Lebensmittelinhaltsstoffen. Berlin 1967, S. 436.

(1→3) und α-(1→4)-Verzweigungen[90,91].Es ist ein extrazelluläres Umwandlungsprodukt von Saccharose durch den Enyzmkomplex Dextransaccharase [α-(1→6)-Glucan: D-fructose-2-glucosyltransferase EC 2.4.1.5.]. Die chemische Struktur der linearen bis hoch verzweigten Ketten und die sich daraus ergebenden Veränderungen der chemischen Eigenschaften variieren je nach Bakterienursprung sehr stark[92]. Das klassische Dextran, welches von *Leuconostoc mesenteroides* B-512F gebildet wird, besitzt zu 95 % Glucose-α-(1→6) Bindungen und relativ wenig (5 %) Glucose-α-(1→3)-Verzweigungen. Dextran von *Leuconostoc mesenteroides* B-742 besitzt 87 % Glucose-α-(1→6)-Bindungen und 13 % Glucose-α-(1→4)-Verzweigungen, anstatt Glucose-α-(1→3). Abbildung 7 zeigt einen kleinen Ausschnitt von den verschiedenen Arten von mikrobiellen Dextran[93]:

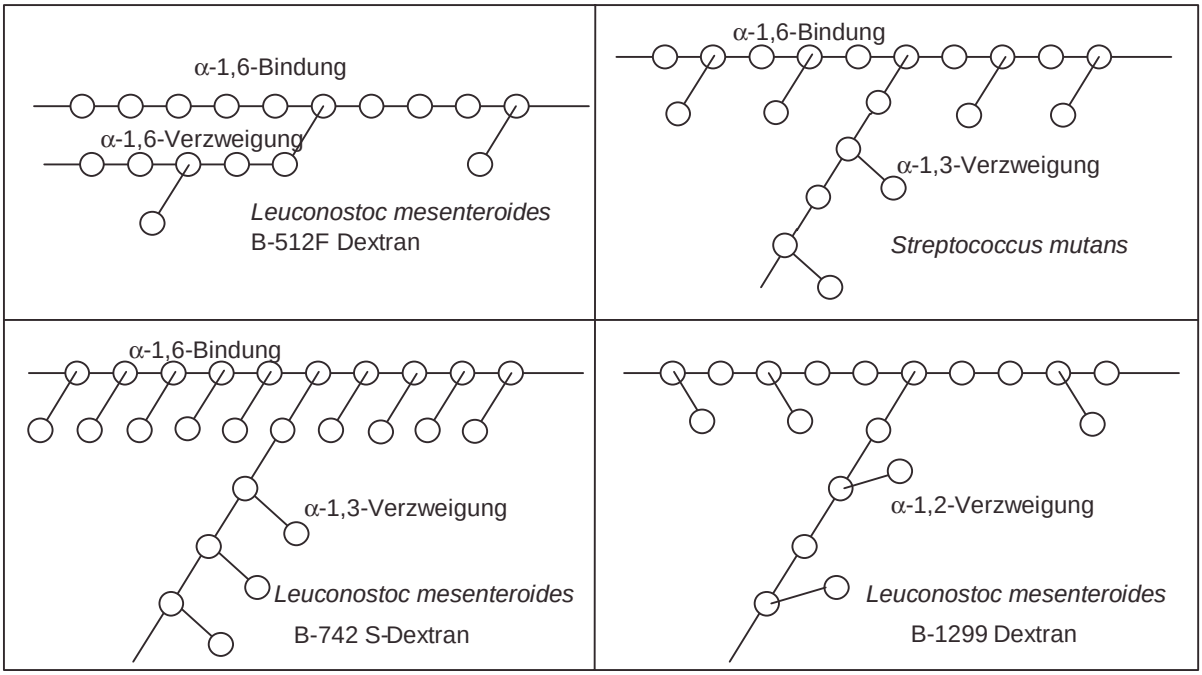


Abbildung 7: Strukturausschnitte aus dem mikrobiellen Polysaccharid Dextran

Dextran ist es ein neutrales, wasserlösliches Polysaccharid dessen Molekulargewicht je nach bakteriellen Ursprungs- und Milieubedingungen 4-100x10^6 Dalton beträgt[94].

---

[90] Vgl.: Alexander, R. J. und H. F. Zobel (Hrsg.): Developments in carbohydrate chemistry. St. Paul 1994, S. 265.

[91] Vgl.: Phillips, G. et al. (Hrsg.): Gums and stabilisers for the food industry. Proceedings of the 2nd international conference. Oxford, 1983, S. 452.

[92] Vgl.: Bushell, M. E.: Progress in industrial microbiology. Vol. 18 der Schriftenreihe Microbial Polysaccharides. Amsterdam, 1983, S. 2.

[93] Vgl.: Alexander, R. J. und H. F. Zobel (Hrsg.): Developments in carbohydrate chemistry. St. Paul 1994, S. 267.

[94] Vgl.: Belitz, H.-D. und W. Grosch: Lehrbuch der Lebensmittelchemie. 4. Aufl. Berlin 1992, S. 298.

Untersuchungen haben ergeben, dass Leuconostoc mesenteroides aus einem Liter einer Kulturlösung, die etwa 20 % Saccharose enthält, mit 0,5 g Bakterienmasse 50-80 g Dextran erzeugen kann. Der Anteil der für die Bildung des Enzymsystems notwendigen Zellmasse beträgt also weniger als 1 % des erzeugten Produktes[95].

2.5.2.2 Gellan

Gellan, früher auch unter der Bezeichnung S-60 oder PS-60 bekannt, ist ein extrazelluläres Heteropolysaccharid. Natürliches Gellan besteht aus sich wiederholenden, linearen Sequenzen von Tetrasaccharideinheiten die D-Glucuronopyranosyl, D-glucopyranosyl, L-Rhamnosepyranosyl und Acylgruppen beinhalten. Abbildung 8 zeigt einen Ausschnitt aus dem mikrobiellen Polysaccharid Gellan[96,97].

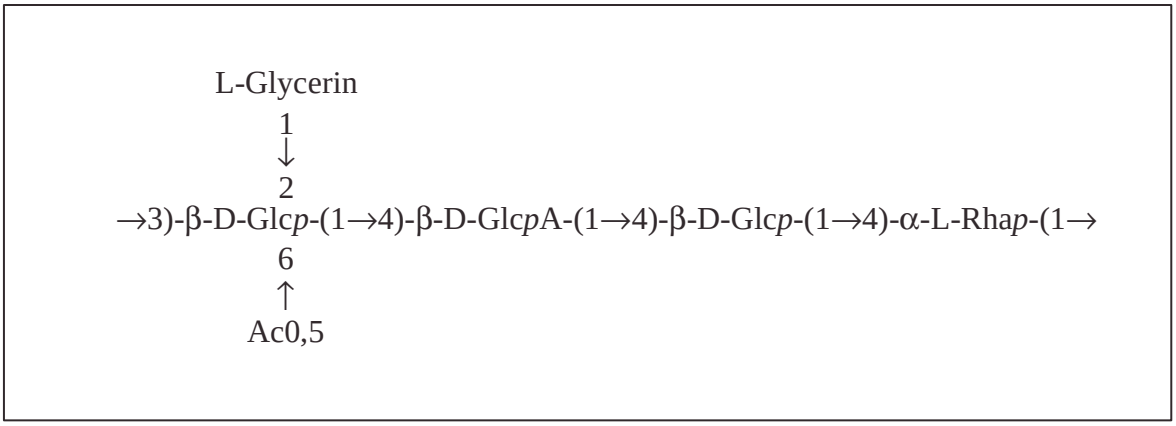


Abbildung 8: Strukturausschnitt aus dem mikrobiellen Polysaccharid Gellan

Gellan ergibt mit Wasser hochviskose Lösungen und formt thermoreversible Gele. Das Molekulargewicht wird auf 1-2 x 10^6 Dalton geschätzt[98]. Es wird von *Pseudomonas elodea,* welches früher fälschlicherweise als *Auromonas elodea* bezeichnet wurde, unter aeroben Gärbedingungen produziert[99,100].

---

[95] Vgl.: Behrens, U. und M. Ringpfeil: Mikrobielle Polysaccharide. Berlin, 1964, S. 10.

[96] Vgl.: Whistler, R. L. und J. N. BeMiller (Hrsg.): Industrial Gums: Polysaccharides and their derivatives. 3. Aufl. London, 1993, S. 373.

[97] Vgl.: Phillips, G. et al. (Hrsg.): Gums and stabilisers for the food industry. Proceedings of the 6th international conference. Oxford, 1992, S. 479.

[98] Vgl.: Phillips, G. et al. (Hrsg.): Gums and stabilisers for the food industry. Proceedings of the 2nd international conference. Oxford, 1983, S. 203.

[99] Vgl.: Phillips, G. et al. (Hrsg.): Gums and stabilisers for the food industry. Proceedings of the 8th international conference. Oxford, 1993, S. 341.

[100] Vgl.: Alistair, S. M. (Hrsg.): Food polysaccharides and their applications. New York, 1995, S. 29.

2.5.2.3 Xanthan

Xanthan ist ein extrazelluläres Heteropolysaccharid, bestehend aus D-Glucose, D-Mannose, D-Glucuronsäure, Acetyl und Brenztraubensäure. Abbildung 9 zeigt einen Ausschnitt aus dem Polymer Xanthan[101]:

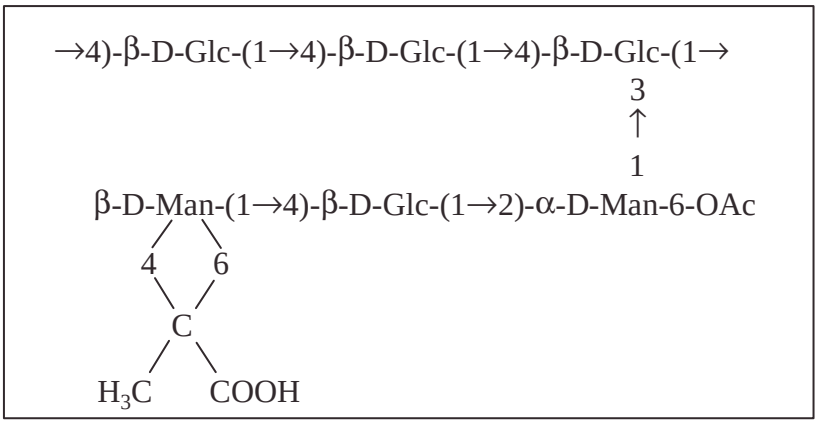


Abbildung 9: Strukturausschnitt aus dem mikrobiellen Polysaccharid Xanthan

Das Molekulargewicht von Xanthan liegt zwischen 3×10^5-50×10^6 Dalton. Wässerige Lösungen von Xanthan sind hoch viskos und haben einen ausgesprochen plastischen Charakter. So hat eine 1 %-ige Lösung eine dynamische Viskosität von 2000 mPas. Die Viskosität ist extrem scherabhängig. Mit Dextrin oder Galaktomannanen weist es eine synergistische Viskositätserhöhung auf[102].

Bildung: Viele Arten von *Xanthomonas* produzieren Xanthan, indem sie als Substrat D-Glucose, Saccharose, Stärke und hydrolysierte Stärke verwenden. Folgende Arten sind effiziente Xanthanproduzenten[103,104].

Xanthomonas campestris

Xanthomonas phaseoli

Xanthomonas juglandis

Xanthomonas carotae

Xanthomonas oryzae

---

[101] Vgl.: Alistair, S. M. (Hrsg.): Food polysaccharides and their applications. New York, 1995, S 343.

[102] Vgl.: Bartholomè, E. et al. (Hrsg.): Ullmanns Enzyklopädie der technischen Chemie. Band 19. Stichwort: Polysaccharide. 4. Aufl., Weinheim, 1980, S. 246.

[103] Vgl.: Alistair, Stephen M. (Hrsg.): Food polysaccharides and their applications. New York 1995. S. 343.

[104] Vgl.: Bartholomè, E. et al. (Hrsg.): Ullmanns Enzyklopädie der technischen Chemie. Band 19. Stichwort: Polysaccharide. 4. Aufl., Weinheim, 1980, S. 246.

2.5.3 Hefepolysaccharide

Die Bierhefe wird in der Brauerei als Gärungsmikroorganismus eingesetzt. Sie kommt deshalb in der untergärigen oder obergärigen Form in zum Teil beträchtlichen Mengen vor. Während bei gut abgelagerten Bieren 0,05-0,2 x 10^6 Zellen/ml vorkommen, können in kurz gelagerten Bieren bis zu 1 x 10^7 Zellen/ml vorhanden sein. Bei solch hohen Hefezellzahlen oder bei ungeeigneten Tankausläufen treten Hefestöße auf, die einen raschen Abfall der Filterleistung hervorrufen können[105]. Neben diesen Erscheinungen können aber auch von der Hefe exkretierte Polysaccharide zu Filtrationsstörungen oder Biertrübungen führen[106].

Je nach Rasse, Kulturbedingungen und physiologischem Zustand der Brauereihefe kann der Kohlenhydratgehalt in der Trockensubstanz zwischen 15-37 % liegen. Die Polysaccharide kommen sowohl im Protoplasma und Vakuolen als auch in der Zellwand vor.

Durch Bedingungen wie: Crossflow-Membranfiltration, Ice-Beer-Produktion,[107] Hefestamm, High-Gravity-Brauen, hohe Gärtemperaturen, pH-Wert des Bieres[108], lange Lagerung der Hefe bei Temperaturen > 10 °C[109], Scherkräfte bzw. mechanische Effekte[110], schlechter physiologischer Zustand der Hefe (Anzahl der Führungen, Art der Hefewirtschaft)[111] und Zentrifugation[112] können Hefepolysaccharide, die teilweise zur Gelbildung befähigt sind, von der Hefezelle an die Umgebung abgegeben werden. So konnte Siebert[113] nachweisen, dass Trübungen von meist schwer filtrierbaren Bieren als Hauptbestandteile die Hefepolysaccharide Mannan oder Glykogen enthielten.

---

[105] Vgl.: Narziß, L. und W. Back: Abriß der Bierbrauerei. 6. Auflage, Enke Verlag Stuttgart 1995, S. 329.

[106] Vgl.: Back, W.: Filtrationsprobleme durch Kontaminationen mit Bakterien. Brauwelt 1995, Nr. 7, S. 270.

[107] Vgl.: Letters, R.: Carbohydrate gels. A problem with newer brewing technologies. In: Proceedings of the convention institute of brewing (Central and southern central African section) 1995, S. 120.

[108] Vgl.: Malcorps, Ph. et al.: Glycogen released by the yeast as a cause of unfiltrable haze in the beer. Proceedings of the 27th EBC Congress, Cannes 1999, S. 838.

[109] Vgl.: Schur, F.: Bierfiltration und Einflüsse auf die Bierfiltrierbarkeit. In: Proc. of the 22th EBC Congress, Zürich 1989, S. 379.

[110] Vgl.: Lewis, M. J. und W. M. Poerwantaro: Release of haze material from the cell walls of agitated yeast. Journal of the American Society of Brewing Chemists 1991, Volume 49, Nr. 2, S. 43

[111] Vgl.: Back, W.: Filtrationsprobleme durch Kontaminationen mit Bakterien. a. a. O.

[112] Vgl.: Siebert, K. J. et al.: Filtration difficulties resulting from damage to yeast during centrifugation. MBAA Technical Quaterly 1987, Vol. 24, S. 1.

[113] Vgl.: Siebert, K. J. et al.: Characterisation of amorphus-particle haze. In: Journal of the American Society of Brewing Chemists, 1981, Volume 39, Nr. 1, S. 1.

2.5.3.1 Hefe-β-Glucan

β-Glucan ist das eigentliche Strukturpolysaccharid der Hefezellwand mit einem Anteil von etwa 30 %[114]. Der prozentuale Anteil an der gesamten Hefemasse beträgt etwa 8 %[115]. Die Molekülmassen variieren zwischen 2×10^4 bis 3×10^5 Dalton. Durch die unterschiedlichen Verzweigungsarten streuen auch die chemischen und physikalischen Eigenschaften sehr stark. Hefe-β-glucan unterscheidet sich von cerealem Beta-Glucan (aus z. B: Gerste oder Hafer) durch längere β-1-6 glykosidisch gebundene Seitenketten aus. Abbildung 10 zeigt verzweigtes Hefe-β-Glucane, wie es in der Zellwand von *Saccharomyces cerevisiae* vorkommt[116]:

```
β-D-Glc-(1→ ··· 3)- β-D-Glc      ···3)β-D-Glc
                        1                1
                        ↓                ↓
                        6                6
     β-D-Glc          β-D-Glc          β-D-Glc-(1→3)- β-D-Glc
        1                1                                1
        ↓                ↓                                ↓
        6                6                                6
→ 3)-β-D-Glc-(1→3)-β-D-Glc-(1→3)-β-D-Glc-(1→3)-β-D-Glc
                                                         1
                                                         ↓
                                                         6
                                                β-D-Glc-(1→3)-β-D-Glc
                                                                  1
                                                                  ↓
```

Abbildung 10: Ausschnitt aus dem Hefepolysaccharid β-Glucan

2.5.3.2 Glykogen

Glykogen ist im Plasma vorwiegend als Reservekohlenhydrat vorhanden. Bei genügend Nährstoffzufuhr reichert es sich in der Zelle an und wird im Hungerzustand wieder verbraucht. Deshalb schwankt der Glykogengehalt von Hefe zwischen 3-15 %[117]. Glykogen ist ein hochverzweigtes, wasserlösliches Polysaccharid, das mit Jod eine braune Färbung gibt. Das Molekülgewicht ist außerordentlich variabel und

---

[114] Vgl.: Reiff, F. et al. (Hrsg.): Die Hefen. Band 1: Die Hefen in der Wissenschaft. Nürnberg 1960, S. 354.

[115] Vgl.: Narziß, L. und W. Back: Abriß der Bierbrauerei. 6. Auflage, Enke Verlag Stuttgart 1995. S. 195.

[116] Vgl.: Bushell, M. E.: Progress in industrial microbiology. Vol. 18 der Schriftenreihe Microbial Polysaccharides. Amsterdam, 1983, S. 134.

[117] Vgl.: Narziß, L. und W. Back: Abriß der Bierbrauerei. 6. Auflage, Enke Verlag Stuttgart 1995., S. 195.

beträgt zwischen 10^5-10^7 Dalton. Die Ketten sind aus Glucose in α-(1→4)-Bindung aufgebaut und haben an jedem 8. bis 12. Glucoserest eine α-(1→6)-Verzweigung[118,119]. Es unterscheidet sich von Gersten-Polysaccharid Amylopektin nur in der Häufigkeit der α-(1→6)-Verzweigung und ist deshalb analytisch nur schwer von Amylopektin zu unterscheiden. Ein Ausschnitt aus dem Molekül ist in Abbildung 11 dargestellt[120].

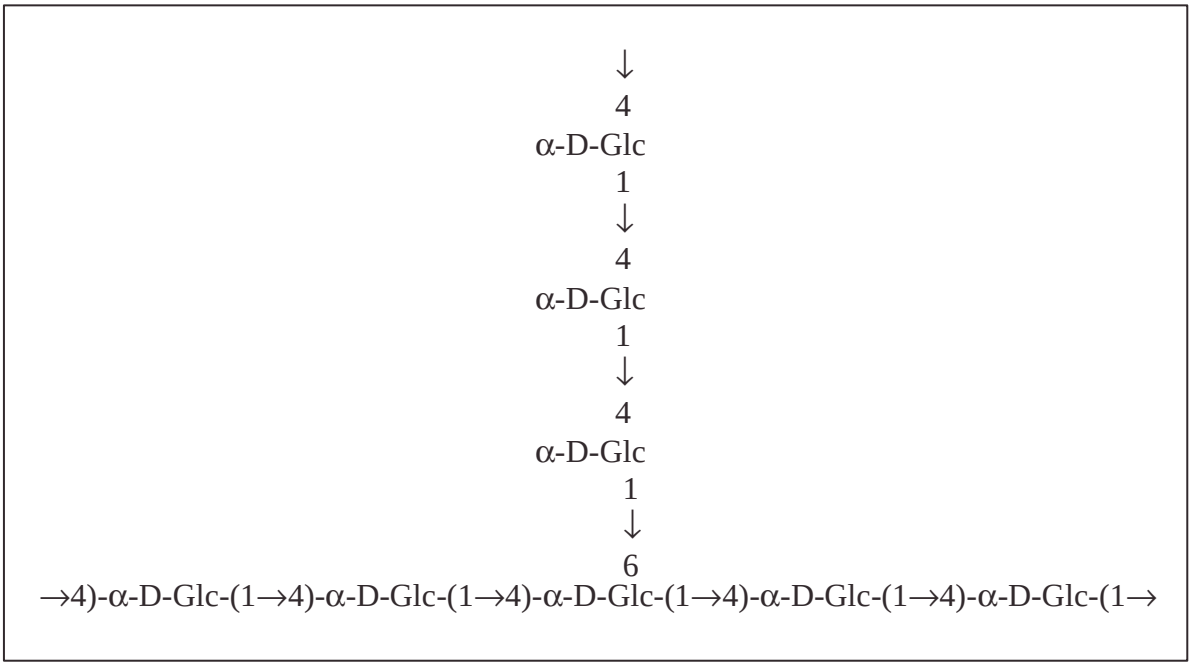


Abbildung 11: Ausschnitt aus dem Hefepolysaccharid Glykogen

Glykogen kann von *Saccharomyces cerevisiae* spontan ausgeschieden werden und im Bier sogenannte „unsichtbare Trübungen“ verursachen, d.h. Trübungen, die mit bloßem Auge nicht sichtbar sind, aber bei der Trübungsmessung mit einem Messwinkel von 90 ° erhöhte Werte anzeigen. Diese Trübungen, die aus intrazellulären Glykogenpartikel bestehen, werden während der Hauptgärung freigesetzt. Das Phänomen hängt sehr stark vom Hefestamm, vom physiologischen Zustand der Hefe, vom Extraktgehalt der Würze und der Gärtemperatur ab. Bei sehr hohen Glykogenkonzentrationen kann auch der Druckanstieg am Filtereinlauf erhöhte Werte anzeigen[121].

---

[118] Vgl.: Schlegel, H. G.: Allgemeine Mikrobiologie. 7. Aufl., Stuttgart, 1992, S. 73.

[119] Vgl.: Karlson, P. et al.: Kurzes Lehrbuch der Biochemie für Mediziner und Naturwissenschaftler. 14. Aufl., Stuttgart, 1994, S. 259.

[120] Vgl.: Bushell, M. E.: Progress in industrial microbiology. Vol. 18 der Schriftenreihe Microbial Polysaccharides. Amsterdam, 1983, S. 147.

[121] Vgl.: Malcorps, Ph. et al.: Glycogen released by the yeast as a cause of unfiltrable haze in the beer. Proceedings of the 27th EBC Congress, Cannes 1999, S. 833.

2.5.3.3 Mannan

Mannan, früher auch als Hefegummi bezeichnet, ist ebenfalls ein Hauptbestandteil (30 %) der Hefezellwand. Die absolute Höhe des Mannangehaltes der Hefe ist sehr unterschiedlich (2,5-10 %) und hängt weitgehend vom physiologischen Zustand, den Milieubedingungen und der Rasse ab[122,123].

Das Molekulargewicht Mannan beträgt etwa 10^5 Dalton. Es ist in der Hefezellwand mit Proteinen und anderen Zellwandbestandteilen verbunden**.** Mannoproteine der Hefe haben nicht nur Strukturaufgaben, sondern sie beeinflussen auch das Flockungsverhalten von Hefen und kommen in verschiedenen Enzymen (Invertase, Saure Phosphatase) vor. Abbildung 12 zeigt einen Ausschnitt aus dem Molekül Phosphomannan von *Saccharomyces cerevisiae*[124].

```
                α-D-Man-(1→6)-α-D-Man-(1→6)-α-D-Man-(1→6)-α-D-Man-(1→6)-α-D-Man-(1→
                      2                2                2                2
                      ↑                ↑                ↑                ↑
                      1                1                1                1
        P→6 α-D-Man        α-D-Man        α-D-Man        α-D-Man
        ↑             2                2                2
α-D-Man             ↑                ↑                ↑
        3             1                1                1
        ↑       α-D-Man        α-D-Man        α-D-Man
                      3                3
                      ↑                ↑
```

Abbildung 12: Strukturauschnitt aus dem Hefepolysaccharid Phosphomannan

2.6 Filtertests

Wie bereits erwähnt ist bisher keine einheitliche Definition und Analytik des Begriffs Filtrierbarkeit festgelegt worden. Einzig die MEBAK hat eine Vorschrift zur Messung der Filtrierbarkeit nach Esser veröffentlicht[125]. Der folgende Abschnitt stellt die bisher entwickelten Filtertests für Bier vor[126]. Sie lassen sich nach ihrem Funktionsprinzip in Laborfiltertests mit Gleichdruck (konstanter Druck und variable Durchsatzleistung)

---

[122] Vgl.: Narziß, L. und W. Back: Abriß der Bierbrauerei. 6. Auflage, Enke Verlag Stuttgart 1995, S. 195.

[123] Vgl.: Reiff, F. et al. (Hrsg.): Die Hefen. Band 1: Die Hefen in der Wissenschaft. Nürnberg 1960, S. 364.

[124] Vgl.: Bushell, M. E.: Progress in industrial microbiology. Vol. 18 der Schriftenreihe Microbial Polysaccharides. Amsterdam 1983, S. 149.

[125] Vgl.: Brautechnische Analysenmethoden. Methodensammlung der MEBAK. Band II, 3. Auflage. Weihenstephan 1993. S. 187.

[126] Vgl.: Lindemann, B.: Bewertung der Kieselgurfiltration von Bier. Dissertation D 83, Fachbereich 13, Nr. 317. Berlin , 1992, S. 8-12.

und in Pilotanlagen mit Pumpenförderung (konstante Durchsatzleistung bei variablem Druck) einteilen.

Zu den Laborfiltertests zählen:

- Membranfiltertest nach Esser[127].
- Filtrationstest nach Siebert[128]. Eine Variante des Essertests.
- Kieselgurfiltertest nach Raible[129].
- Kieselgurfiltertest nach Raible, Heinrich und Niemsch. Eine vereinfachte Variante des Raible-Tests[130].
- Filtrationstest nach Webster und Molzahn[131]. Kieselgurfiltertest mit Voranschwemmung.

Die Pilotanlagen mit Pumpenförderung sind:

- Zürcher-Test.
- Kieselgurkerzenfilter nach Reed[132].

2.6.1 Laborfiltertests

Die Laborfilter sind sich von Aufbau und Durchführung der Messung sehr ähnlich. Einzig das Filtermittel und die dadurch definierte Filterart begründet den Unterschied zwischen den Messverfahren. Der Esser-Test und seine Varianten benutzen als Filtermittel eine Membran (0,2 µm oder 0,45 µm Porengröße) und verzichten auf die Zugabe von Filterhilfsmittel. Damit handelt es sich bei diesen Tests um eine Oberflächenfiltration. Beim Raible-Test und seinen Weiterentwicklungen wird dem Unfiltrat Kieselgur als Filterhilfsmittel zugegeben und damit eine Laboranschwemmfiltration (mit oder ohne Voranschwemmung) durchgeführt. Die aktuellen Versionen des Raible-Tests nutzen dabei ein Drahtgewebe mit einer Maschenweite von 15 µm als Filtermittel. Beide Filtrationstests arbeiten mit einem

---

[127] Vgl.: Esser, K. D.: Zur Messung der Filtrierbarkeit. Mschr. Brauerei 25, Nr. 6, 1972. S. 145 – 151.

[128] Vgl.: Siebert, K. J. et al.: Assesment of filterability of beer and wort. MBAA Technical Quaterly 21, Nr. 3, 1984. S. 112-123.

[129] Vgl.: Raible, K. und H. Bantleon : Über die Filtrationseigenschaften von Bier. Mschr. Brauerei 21, Nr. 10, 1968. S. 277-285.

[130] Vgl.: Raible, K. et al.: Eine einfache neue Methode zur Bewertung der Filtrationseigenschaften von Bier. Brauwissenschaft 43, Nr. 2, 1990. S. 60-65.

[131] Vgl.: Webster, R. D. J. und S. W. Malzahn: The influence of beer quality on filtration performance. Proc. of the 19th EBC-Congress, London 1983, S. 233-240.

[132] Vgl.: Reed, R. et al.: Beer filterability – Evaluation and alternative approaches to processing. Proc. of the 19th EBC-Congress, London 1983, S. 225-232.

konstantem Druck und messen pro Zeiteinheit entweder volumetrisch oder gravimetrisch den Bierdurchsatz.

Der Esser-Test wurde 1972 von Esser eingeführt. Das Ergebnis des Essertests wird als G_{max} (gravimetrisch) oder V_{max} (volumetrisch) angegeben. Der Wert gibt dabei die maximale Biermenge bzw. das maximale Biervolumen in g bzw. ml an, die in unbegrenzter Zeit durch den Filter laufen würde und berechnet sich nach folgender Formel[133].

$$G\max\,[g] = \frac{t2 - t1}{\frac{t2}{G2} - \frac{t1}{G1}} \quad \text{mit} \quad \begin{array}{l} t1 = Messzeitpunkt1\,[s] \\ t2 = Messzeitpunkt2\,[s] \\ G1 = Filtratgewicht\ zur\ Zeit\ t1\,[g] \\ G2 = Filtratgewicht\ zur\ Zeit\ t2\,[g] \end{array} \qquad (1)$$

1968 stellten Raible und Bantleon eine Methode vor, bei der erstmals die Filtrationseigenschaften von Kieselgur gegenüber Bier untersucht wurden. Es wurde dabei die zu den Filtrationszeiten t_1 und t_2 gehörigen spezifischen Filtratvolumina V (in ml/cm^2) gemessen und in einem t/V, V – Diagramm dargestellt. Nach einer Formel von Dreier[134] (die Formel konnte in der Orginalquelle nicht überprüft werden, sie ergibt sich aber aus der von Darcy aufgestellten Formel für Kuchenfiltrationen mit konstantem Druck und inkompressiblem Kuchen[135]) gilt für die Gleichdruckkuchenfiltration $\boldsymbol{t = aV^2 + bV}$ **(2)** mit dem Filterkuchenfaktor a und dem Primärschichtfaktor b. Dabei stellt der Filterkuchenfaktor a eine Sammelgröße für die Durchlässigkeit des sich bei der Filtration aufbauenden, und aus Kieselgur und Bierinhaltstoffen bestehenden Filterkuchen dar. Der Primärschicht-Faktor b ist eine Größe, die die Durchlässigkeit des Filtergewebes und der aufgebrachten Grundanschwemmung charakterisiert. Bei Verwendung von identischer Kieselgur für die Anschwemmung und die Dosage stellt der Filterkuchenfaktor a ein Maß für die Filtrierbarkeit des Bieres dar. Aufgrund der aufwendigen Apparatur und der umständlichen Durchführung wurde dieses Verfahren in der Praxis kaum angewandt.[136]

---

[133] Vgl.: Brautechnische Analysenmethoden. Methodensammlung der MEBAK. Band II, 3. Auflage. Weihenstephan 1993. S. 188.

[134] Vgl.: Dreier, W.: Dissertation ETH Zürich Nr. 2549. 1957. Die Quelle konnte an der ETH Zürich nicht ausgeliehen werden und dementsprechend auch nicht überprüft werden.

[135] Vgl.: Gasper, H., D. Oechsle und E. Pongratz (Hrsg.):Handbuch der industriellen Fest/Flüssig Filtration. 2. Aufl. Wiley-VCH, Düren 1999, S. 27-28.

[136] Vgl.: Raible, K. und H. Bantleon: Über die Filtrationseigenschaften von Bier. In: Monatsschrift für Brauerei 1968, S. 278.

1990 beschrieben Raible, Heinrich und Niemsch[137] eine vereinfachte Version zu der bereits 1968 entwickelten Laboranschwemmfiltration. Sie verzichteten auf die Voranschwemmung und filtrierten Bier mit Feingur-Dosage direkt über ein Drahtgewebe mit einer Maschenweite von 15 µm. Sie behaupten, die Durchlässigkeit des Drahtgewebes sei sehr groß und damit der Primärschichtfaktor b genügend klein, um das Produkt bV vernachlässigen zu können.[138] Damit ergibt sich aus (2) eine vereinfachte Formel (2) für den Filterkuchenfaktor a. $\boldsymbol{a = t / V^2}$ **(3)**

Da nach Ansicht der Autoren der Filterkuchenfaktor a für die Praxis eine nicht genügend aussagefähige Einheit [s/ml^2] besitzt, wird er in das spezifische Filtratvolumen (F_{spez}), angegeben in hl/m²·h, umgerechnet. Die Formel für F_{spez} lautet:

$$\text{mit } \boldsymbol{t} = 3.600\ \boldsymbol{s / h} \text{ und } \boldsymbol{V} = \frac{\sqrt{3.600}}{\boldsymbol{a}}$$

$$\boldsymbol{F_{spez}} = \sqrt{\frac{3.600}{\boldsymbol{a}}} \cdot 0{,}1\, \boldsymbol{hl / m^2 h} \text{ oder für die Messung vereinfacht:} \qquad \textbf{(4)}$$

$$\boldsymbol{F_{spez}} = 0{,}346 \cdot \boldsymbol{v\ Gesamtvolumen}\,[\boldsymbol{ml}] \cdot \sqrt{\frac{1}{\boldsymbol{t}\,[\boldsymbol{s}]}} = [\boldsymbol{hl / m^2 h}]$$

Diese Umrechnung muss kritisch betrachtet werden, da das spezifische Filtratvolumen ein Kunstprodukt ist, dessen Umrechnung, wie oben angegeben, nicht korrekt ist und die Einheit [hl/m^{2}h] für eine Gleichdruckfiltration nicht geeignet scheint.

2.6.2 Pilotanlagen mit Pumpenförderung

Die auf Seite 36 erwähnten Pilotanlagen arbeiten alle mit Pumpenförderung und können bei variablem Druck einen konstanten Durchsatz fördern. Auch bei diesen Tests sind Aufbau und Durchführung für alle Varianten ähnlich, nur das Filtermittel (Stützschicht oder Kerze) unterscheidet sich. Die Variante mit Kieselguranschwemmung auf eine Stützschicht wurde 1972 von Zürcher[139] und Mitarbeitern entwickelt. Das Bier wird dabei mit einer Drillingskolbenpumpe gefördert, wobei zwei Kolben für das Unfiltrat und ein Kolben für die Dosage des Filterhilfsmittels zuständig sind. Als Ergebnis können sowohl der Druckanstieg am

---

[137] Vgl.: Raible, K. Th. Heinrich und K. Niemsch: Eine einfache, neue Methode zur Bewertung der Filtrationseigenschaften von Bier. Monatsschrift für Brauwissenschaft Heft 2, 1990. S. 60-65.

[138] Vgl.: Lindemann, B., et al.: Der Einfluß filtrationshemmender Stoffe auf die Vorhersage der Filtrierbarkeit des Bieres. Teil 2: Einflußfaktoren auf das Ergebnis des Kieselgurfiltertests nach Raible. In: Monatsschrift für Brauwissenschaft 1991, Heft 11, S. 337.

[139] Vgl.: Zürcher, Ch. et al.: Vorhersage der Filtrierbarkeit von Bier. In: Monatsschrift für Brauerei 1972, S. 179.

Filtereinlauf als auch die Trübung am Filterauslauf gemessen werden. Diese Versuchsapparatur kommt in ihrer Funktion und Filtrationscharakteristik der in der Praxis allgemein üblichen Kieselguranschwemmfiltration sehr nahe.[140]

2.7 Grundlagen der Trübungsmessung

Licht breitet sich in einem optisch homogenen Medium geradlinig aus. Trifft es dabei auf ein Hindernis (Partikel), wird es von seiner Bahn abgelenkt. Dieser Prozess wird Streuung genannt und ist von der Wellenlänge des Lichtes, dem Medium und der Beschaffenheit der Partikel abhängig. Sind in einer flüssigen Phase wie z. B. Bier, Partikel suspendiert, so können diese in Abhängigkeit ihrer Anzahl, Größe und Form Licht streuen. Dieses Phänomen kann teilweise mit dem menschlichen Auge oder aber mit Messgeräten erfasst werden. Ist die Lichtstreuung mit dem Auge wahrnehmbar, erscheint der visuelle Eindruck der Trübe. Da die visuelle Beurteilung eine subjektive Beurteilung mit wenig Differenzierungsmöglichkeiten ist, hat sich in der Brauerei die Messung der Trübung mittels Trübungsmessgeräten durchgesetzt. Diese Messgeräte können entweder In-line im Produktstrom messen oder als Laborgeräte verwendet werden. Gemessen wird meistens die Intensität des Streulichts bei einem oder mehreren Messwinkeln. Das Ergebnis der Messung wird Trübungswert genannt und in der europäischen Braubranche in EBC-Einheiten, die auf einen Vergleich mit einem Formazin-Trübungsstandard beruhen, angegeben. Einen Überblick über die Theorie der Streulichtmessung gibt Huber[141].

---

[140] Vgl.: Lindemann, B.: Bewertung der Kieselgurfiltration von Bier. Dissertation Berlin 1992, S. 10.

[141] Vgl.: Huber, E.: Die Trübungsmessung: Grundlagen, Anwendung und Grenzen. Sonderuck der Sigrist-Photometer AG. Ennetbürgen.1997.

3 Material und Methoden

3.1 Malz und Malzanalytik

Für die Malzuntersuchungen wurden Proben der Wertprüfung des Bundessortenamtes der Ernte 2001 benutzt. Auf Grund der Daten dieser Prüfung, die jährlich am Lehrstuhl für Technologie der Brauerei I durchgeführt wird, werden neue Braugerstensorten in Deutschland zugelassen. Es handelt sich dabei um orthogonale Versuche, bei denen an acht verschiedenen Standorten sowohl die zur Zulassung angemeldeten neuen Sorten als auch bekannte Vergleichs- und Verrechnungssorten angebaut werden. Aus diesem Sortiment wurden die sechs Verleichssorten (Barke, Annabell, Extract, Neruda, Danuta und Alexis) ausgesucht und jeweils nach dem MEBAK-Standardverfahren[142] im 1 kg-Maßstab vermälzt. Desweiteren wurde die Keimzeit um jeweils ein bzw. zwei Keimtage verkürzt und die Mälzung wiederholt. Dadurch entstanden 144 Malzmuster die im kompletten Umfang oder teilweise je nach Fragestellung untersucht wurden.

Für die Brauversuche an den lehrstuhleigenen Pilotsudwerken wurden alle verwendeten Malze am Lehrstuhl hergestellt und je nach Fragestellung durch Variation der Keimzeit die Lösung der Malze eingestellt. Die jeweils verwendeten Gerstensorten sind im Kapitel Ergebnisse den Versuchen zugeordnet.

Die Malzanalysen wurden wenn nicht anders vermerkt nach MEBAK[143] durchgeführt:

Analysenbezeichnung	Methode
Wassergehalt Malz	MEBAK I 4.1.4.1
Sortierung > 2,8 mm Malz	MEBAK I 2.3.1
Sortierung 2,5 - 2,8 mm Malz	MEBAK I 2.3.1
Sortierung 2,2 - 2,5 mm Malz	MEBAK I 2.3.1
Abputz Malz	MEBAK I 2.3.1
Extrakt Malz	MEBAK I 4.1.4.2.2
Extrakt Malz TrS.	MEBAK I 4.1.4.2.2
Mehl-Schrot-Differenz	MEBAK I 4.1.4.2.10
Kochfarbe Fotometer	MEBAK I 4.1.4.2.8.2
pH-Wert	MEBAK I 4.1.4.2.7

[142] Vgl.: Pfenninger, H. (Hrsg.).: Brautechnische Analysenmethoden. Methodensammlung der MEBAK. Band I, 3. Auflage. Weihenstephan 1997. S. 179.

[143] Vgl.: Pfenninger, H. (Hrsg.).: Brautechnische Analysenmethoden. Methodensammlung der MEBAK. Band I, 3. Auflage. Weihenstephan 1997.

Ablauf	MEBAK I 4.1.4.2.5
Verzuckerungszeit	MEBAK I 4.1.4.2.4
Endvergärungsgrad	MEBAK I 4.1.4.10
Friabilmeter Mürbigkeit	MEBAK I 4.1.3.6.1
Ganzglasigkeit	MEBAK I 4.1.3.6.1
Teilglasigkeit	MEBAK I 4.1.3.6.1
Rohprotein Malz	MEBAK I 4.1.4.5.1.1
Löslicher Stickstoff Malz TrS.	MEBAK I 4.1.4.5.2
Eiweiss-Lösungsgrad	MEBAK I 4.1.4.5.3
Freier Amino-Stickstoff TrS.	MEBAK I 4.1.4.5.5
Viskosität (8,6 %)	MEBAK I 4.1.4.4.1
VZ 45 °C	MEBAK I 4.1.4.11
Diastatische Kraft	MEBAK I 4.1.4.6
Alpha-Amylase	MEBAK I 4.1.4.7
Beta-Glucan	MEBAK I 4.1.4.9.2
Viskosität 65 °C (8,6 %)	MEBAK I 4.1.4.4.1
Beta-Glucan 65 °C	MEBAK I 4.1.4.9.2

3.2 Würze- und Bieranalytik

Alle Würzen und Biere, wurden, wenn nicht anders vermerkt, am Lehrstuhl für Technologie der Brauerei I entweder im Kleinsudwerk (1,5 kg Schüttung) oder im Pilotsudwerk (10 kg Schüttung) nach dem Standardverfahren (Sudprotokolle siehe Anhang Seite 120) des Lehrstuhls hergestellt.

Die Würze- und Bieranalytik wurde, wenn nicht anders erwähnt, nach MEBAK[144]. durchgeführt.

Analysenbezeichnung	Methode
β-Glucan	MEBAK II 2.5.2
Viskosität	MEBAK I 4.1.4.4
Photometrische Jodprobe	MEBAK II 2.3.2
Gesamtstickstoff	MEBAK II 2.9.1.1
Freier Amino-Sickstoff	MEBAK II 2.9.4.1.1

Der Nachweis von β-Glucan-Gel in Bier wurde nach Krüger, Wagner und Esser ausgeführt[145]. Dabei wird eine Bierprobe in zwei Aliquaote aufgeteilt und eine der

[144] Vgl.: Pfenninger, H. (Hrsg.).: Brautechnische Analysenmethoden. Methodensammlung der MEBAK. Band II, 3. Auflage. Weihenstephan 1993.

beiden Proben bei 80 °C 10 min erhitzt. Nach dem Abkühlen werden beide Proben zentrifugiert (10 min, 3500 g) und anschließend der β-Glucan-Gehalt des Überstandes bestimmt. Durch die Erhitzung wurde das β-Glucan von dem Gel in den Solzustand überführt und damit detektierbar gemacht. Der β-Glucan-Gel-Gehalt errechnet sich folglich aus der Differenz zwischen dem β-Glucan-Gehalt der erhitzten Probe weniger dem der nicht erhitzten Probe. Durch die Differenzmessung addieren sich die Analysenfehler der beiden Messungen, dieses führt nach Angaben der Autoren zu einer relativ hohen Nachweisgrenze von 10 mg/l.

3.3 Die Bestimmung der Filtrierbarkeit von Würze und Bier

In diesem Abschnitt soll die Auswahl der Filtertests für die vorliegende Arbeit unter Berücksichtigung der auf Seite 7 verfassten Definition begründet werden. Ziel der Auswahl war es, sowohl einen Laborfiltertest als auch eine Pilotanlage, mit der Möglichkeit eine Kieselguranschwemmfiltration durchzuführen, zur Verfügung zu haben. Es wurden vier Filtertests überprüft: Von den Laborfiltertests der Esser- und Raibletest mit Voranschwemmung sowie von den Pilotanlagen der Zürchertest, der sowohl mit Kieselgurschichtenfilter als auch mit Kerzenfilter untersucht wurde. Der Vergleich ist in Tabelle 5 dargestellt.

Die modifizierte Form des Raibletests (mit Voranschwemmung) und der Kieselgurschichtenfilter erwiesen sich als flexibler bzw. als stabiler als der Essertest und der Kerzenfilter. Der Raibletest ermöglicht im Gegensatz zum Essertest eine Kieselgurfiltration, nach der auch die Unterschiede einzelner Proben in der Filtrattrübung gemessen werden können. Des weiteren bietet der Raibletest die Möglichkeit, die Anschwemmung und die Dosage zu variieren und damit verschiedene Filtrationssituationen zu simulieren. Durch die Gewinnung des Kieselgurkuchens können zusätzlich filtrationshemmende Stoffe aus ihm isoliert werden. Außerdem bestätigten sich beim Vergleich der Laborfiltertests die Zweifel von Lindemann[146], dass durch eine Membranfiltration (Oberflächenfiltration) das Verhalten von Bier bei einer Anschwemmfiltration nur ungenügend vorhergesagt werden kann.

---

[145] Vgl.: Krüger, E, N. Wagner und K. D. Esser: Analytik und Bedeutung hochmolekularer β-Glucane im Bier. Mschr. Brauwissenschaft 41, Nr. 10, S.384-395.

[146] Vgl.: Lindemann, B.: Bewertung der Kieselgurfiltration von Bier. Dissertation D 83, Fachbereich 13, Nr. 317. Berlin , 1992. S. 39.

Der Kieselgurschichtenfilter erwies sich im Gegensatz zu dem Kerzenfilter als stabiler. Bei der Kerzenfiltration mit einer Kerze ist eine gleichmäßige Anschwemmung schwer zu erreichen und der Kuchen wurde durch die händische Umstellung der Ventile instabil.

Tabelle 5: Filtertests im Vergleich

	Essertest	Raibletest	Kieselgurschichten filter	Kerzenfilter
Art	Gleichdruckmem-branfiltration	Gleichdruckan-schwemmmfiltration	Schichtenfiltration mit Anschwemmung	Kerzenfiltration mit Anschwemmung
ermittelte Werte	G_{max}	Filterkuchenfaktor a Spez. Filtratvolumen F_{spez} (Trübung in EBC)	Druckanstieg Trübung in EBC	Druckanstieg Trübung in EBC
Einsatz	Filtrierbarkeits-vorhersage aus Bier	Filtrierbarkeits-vorhersage aus Würze und Bier	Filtrierbarkeits-vorhersage aus Bier	Filtrierbarkeits-vorhersage aus Bier
Vorteile	-einfache Handhabung -geringes Probevolumen	-einfache Handhabung -geringes Probevolumen -Simulation einer Anschwemmfiltration	-besserer Bezug zur Praxis -aussagekräftigere Ergebnisse	-besserer Bezug zur Praxis -aussagekräftigere Ergebnisse
Nachteile	-Oberflächenfiltration -geringes Probevolumen -Reproduzierbarkeit durch Unterschiede der Membranen nicht immer gegeben	-geringes Probevolumen	-großer Aufwand -Genauigkeit der Dosage	-großer Aufwand -Genauigkeit der Dosage -ungleichmäßige Anschwemmung -Stabilität des Filterkuchens

Im Folgenden werden die für die Arbeit ausgewählten Tests genauer beschrieben.

3.3.1 Der Raible-Test

Da die vorliegende Arbeit von Anfang an in enger Zusammenarbeit mit mehreren Brauereien angelegt war, die zum Teil mit der von Raible und Niemsch beschriebenen Apparatur in der Praxis arbeiten, wurden die Filtrationsergebnisse für diese Arbeit trotz der auf Seite 38 angeführten Kritik an der Umrechnung nach der dort genannten Formel als spezifisches Filtratvolumen F_{spez} angegeben. Dabei wurden folgende Änderungen vorgenommen: Da die Voranschwemmung aus Wasser und Grobgur (DIC von Seitz Schenk Permeabilität 1,3 Darcy) besteht, wurde zuerst über Extraktmessungen festgestellt, ab welchem durchgeflossenen Volumen keine Bier-Wassermischung sondern nur noch Bier den Filter verlässt. Dann wurde durch die Aufnahme von Filterkurven ermittelt, in welchem Bereich des t/V-V-Diagramms sich tatsächlich eine Gerade ergibt. Dieser Bereich wurde als

Messstrecke festgelegt. Das Volumen dieser Messtrecke betrug immer 80 ml. Der Beginn der Messung wurde als t = 0 s festgelegt.

Bei der Interpretation des spezifischen Filtratvolumens muss beachtet werden, dass bedingt durch die Formel $F_{spez} \approx \sqrt{1/t}$, eine Zeitdifferenz im Bereich von kurzen Filtrationszeiten (und damit hohen F_{spez} Werten) eine sehr viel größere Änderung des Absolutwertes nach sich zieht als bei langen Filtrationszeiten und niedrigen F_{spez} Werten. Zum Beispiel bringt eine Verlängerung der Filtrationszeit von 20 s auf 30 s eine Verringerung des spezifischen Filtratvolumens von 7,7 hl/m^{2}h auf 6,3 hl/m^{2}h mit sich, eine Verlängerung der Filtrationszeit von 120 s auf 130 s nur eine Änderung von 3,2 hl/m^{2}h auf 3,0 hl/m^{2}h.

Es ist weiterhin zu beachten, dass die Höhe des Filterkuchenfaktors a oder des spezifischen Filtratvolumens F_{spez} von der verwendeten Kieselgur (verwendete Feingur: CBL von Seitz Schenk Permeabilität 0,11 Darcy) abhängt. Bei der Bestimmung der Filtrierbarkeit von verschiedenen Bieren muss - aufgrund der Vergleichbarkeit - immer die gleiche Kieselgurqualität und -charge verwendet werden.

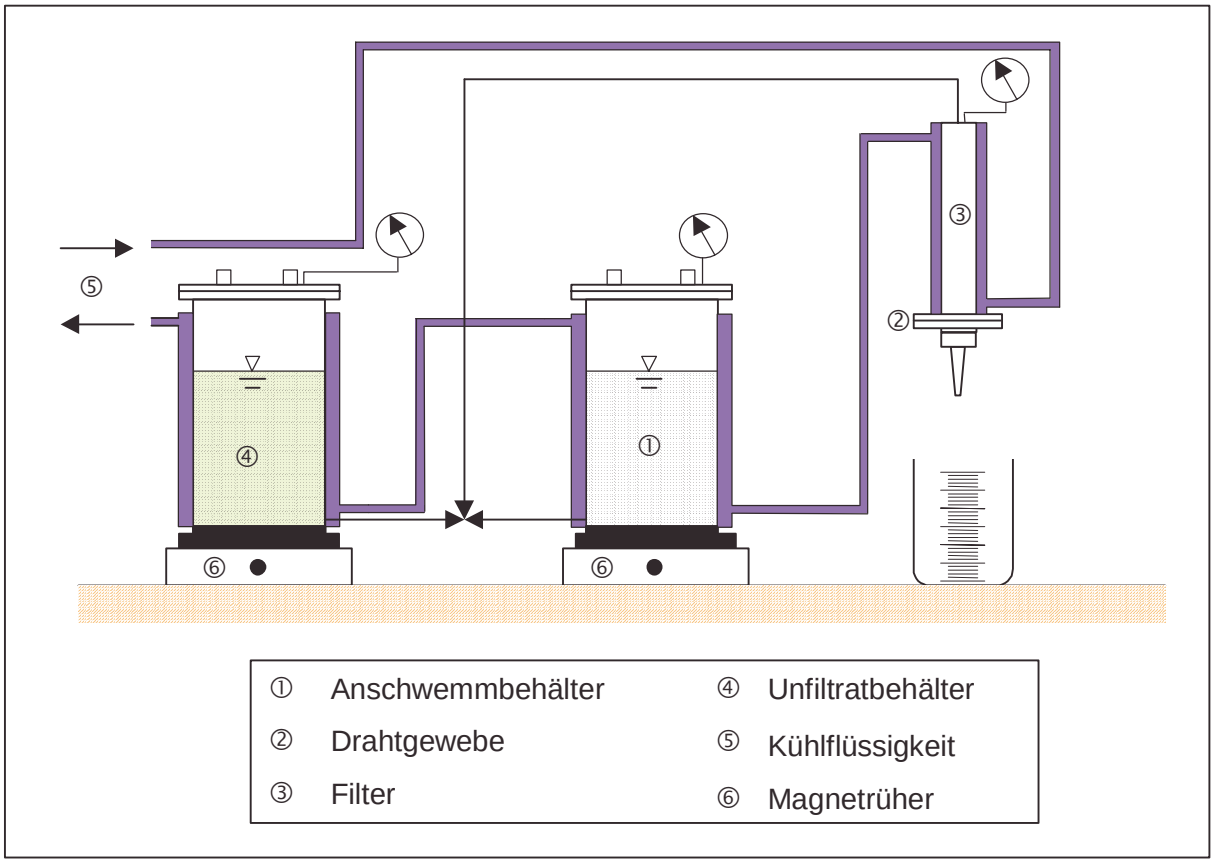


Abbildung 13: Aufbau des modifizierten Raible-Testfilters

Abbildung 13 zeigt den Aufbau des am Lehrstuhl verwendeten Filters mit den folgenden Eigenschaften. Als Filtermittel diente ein Drahtgewebe (2) mit einer Maschenweite von 15 µm und einer freien Filterfläche von 9,63 cm². Die Behälter für die Voranschwemmung (1) und die Untersuchungsflüssigkeit (4) sowie der Filter (3) wurden auf 0°C gekühlt und können mit Hilfe von CO_2 unter einen Druck von 1 bar gesetzt werden. Damit sich die Kieselgur während der Voranschwemmung bzw. Filtration nicht absetzen kann, befinden sich unter den beiden Behältern Magnetrührer (6). Zu Beginn der Filtration wurde zuerst der Anschwemmbehälter mit 1700 ml kaltem Wasser, in dem 0,98 g Grobgur (dies entspricht einer Voranschwemmung von 1 kg/m²) dispergiert war, befüllt. Anschließend wurde der Probebehälter mit 500 ml Untersuchungsflüssigkeit, in dem 0,4 g Feingur (dies entspricht einer Dosage von 80 g/hl) dispergiert waren, befüllt. Nachdem beide Behälter unter den Filtrationsdruck von 1 bar gesetzt sind, kann mit der Filtration begonnen werden. Nach der Voranschwemmung wird über den Dreiwegehahn die Probeflüssigkeit in den Filter gefördert und die Zeit, die zum Durchlaufen der Messstrecke benötigt wird, gemessen.

3.3.2 Zürcher-Filter

Der am Lehrstuhl eingesetzte Zürcher-Filter setzte sich aus einem Schichtenfilter mit einem Durchmesser der Filterfläche von 14 cm, einer Drillingskolbenpumpe, einem Kieselguranschwemmgefäß mit Magnetrührer und einem Kohlensäure-Versorgungssystem zusammen. Der Hub jedes Kolbens der Pumpe war einzeln einstellbar. Zwei Kolben der Pumpe dienten dazu, Unfiltrat durch den Filter zu fördern. Der dritte Kolben förderte die Dosage. Am Filtereinlauf war ein Manometer angebracht, an dem der Überdruck abgelesen werden kann. Außerdem ist ein Schreiber angeschlossen. Abbildung 14 zeigt den Aufbau des Zürcher-Filters. Vor der Filtration wird das ganze Leitungssystem mit Wasser gefüllt und der Filter entlüftet. Alle angeschlossen Behälter werden über das CO_2-Versorgungssystem unter den konstanten Druck von 2 bar gesetzt.

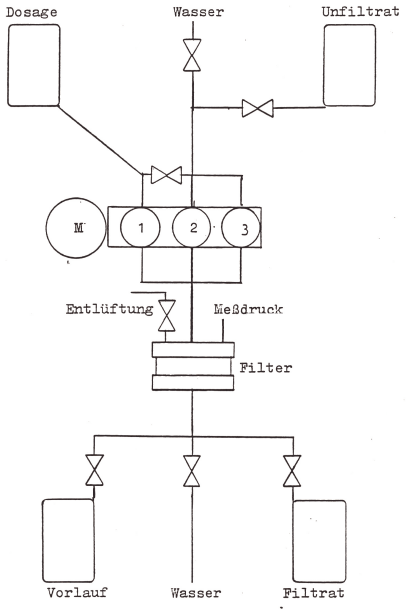


Abbildung 14: Aufbau des Zürcher-Filters

Anschließend wird die Grobgur im Dosagegefäß mit Wasser aufgeschlämmt und über alle drei Kolben auf die Stützschicht aufgetragen. Nach der Voranschwemmung wird die Dosage mit Bier im Dosiergefäß gemischt und die Kolben so eingestellt, dass zwei Kolben das Unfiltrat fördern, während der dritte Kolben die Kieselgursuspension dosiert.

3.3.3 Der Filtrationstest für Würze

Ausgiebige Tests in der Vorbereitungsphase (Ergebnisse Seite 54) der Arbeit ergaben, dass ein Filtrationstest mit unbehandelter Würze, egal zu welchem Produktionszeitpunkt sie entnommen wurde, keine befriedigende Vorhersage von Filtrationsproblemen zulässt. Daher wurde eine Methode entwickelt, die die Milieuänderungen während der Gärung berücksichtigt aber den Einfluss der Hefe auf die Filtrierbarkeit ausschließt. Dabei wird die Würze mit Ethanol und Zitronensäure auf einen Alkoholgehalt von 5 % Vol. Ethanol sowie einen pH-Wert von 4,5 eingestellt und eine Woche bei 0 °C gelagert. Dadurch sollten Agglomerationen und Ausfällungsvorgänge, die normalerweise während der Gärung und Lagerung ablaufen, simuliert werden. Anschließend wird die Würze dem oben beschriebenen Raibletest unterzogen[147]. Die Ergebnisse der Versuchsreihen werden in Kapitel 4 besprochen. Die Möglichkeit der Vorhersage von Filtrationsschwierigkeiten bereits aus der Würze, erlaubt es, die Entwicklung der Filtrierbarkeit über den ganzen Produktionsprozess zu verfolgen und damit eine Stufenkontrolle für die Filtrierbarkeit von Würze und Bier einzuführen. Im Rahmen dieser Arbeit wurden in mehreren Betrieben Stufenkontrollen durchgeführt, auf deren Ergebnisse auf Seite 59 eingegangen wird.

3.3.4 Die Trübungsmessung

Die Trübungsmessung wurde wenn nicht anders vermerkt mit dem Labortrübungsmessgerät Labscat, Sigrist Photometer AG, CH-6373 Ennetbürgen durchgeführt. Das Gerät kann sowohl eine 25 °als auch eine 90 ° Streulichtmessung durchführen. Die Messwellenlänge beträgt 650 nm.

---

[147] Vgl.: Kreisz, S. und W. Back: Neue Aspekte der Filtrierbarkeit von Bier. Proc. of the 27th EBC Congress, Cannes 1999, S. 779-786.

3.4 Der enzymatische Abbau von Polysacchariden

Eiselt stellt in seiner Dissertation den spezifischen Abbau von β-Glucan durch das Enzym Lichenase vor. Er misst vor und nach Einsatz des Enzyms die Viskosität in Würze. Die Differenz stellt den Anteil der abgebauten Substanz an der Gesamtviskosität dar. Er nennt diesen Wert Glucanviskosität[148]. Diese Vorgehensweise lässt sich auf jedes Polysaccharid in Würze und Bier übertragen. Folgende Enzyme kamen in dieser Arbeit zum Einsatz.

Für die Viskositätsuntersuchungen:

Lichenase	Megazyme
Xylanase M 4	Megazyme
α-L-Arabinofuranosidase	Megazyme
Amyloglucosidase	Megazyme

Für die Brauversuche wurden aus Kostengründen industrielle Enzyme verwendet deren Reinheit nicht mit den analytischen Enzymen vergleichbar ist. Die Angaben der Hersteller können im Anhang (Seite 130) eingesehen werden.

Enzym	Hersteller	Hauptaktivität
Ultraflo®	Novozym	Thermostabile β-Glucanase, Xylanase, Cellulase
Diase®	DSM	Amyloglucosidase

3.5 Bakterien- und Hefepolysaccharide

Für die Versuche wurden die folgenden Polysaccharide benutzt.

Dextran	ICN Biomedicals Inc., CAS 9004-54-0
Mannan	Sigma Chemical Co., CAS 51395-96-1
Gellan	Sigma Chemical Co., CAS 71010-52-1
Xanthan	Sigma Chemical Co. CAS 11138-66-2
Glykogen	Sigma Chemical Co., CAS 9005-79-2

[148] Vgl.: Eiselt, G.: Untersuchungen über hochmolekulares β-Glucan. Dissertation D 83, Fachbereich 15, Nr. 050. Berlin , 1995. S. 61.

3.6 Aufbereitung der Kieselgurfilterkuchen zum Nachweis filtrationshemmender Polysaccharide

Um die in der Kieselgur zurückgebliebenen filtrationshemmenden Stoffe untersuchen zu können, wird anschließend an die Filtration noch 100 ml Wasser durch den Filter gedrückt, um niedermolekulare Substanzen auszuspülen, anschließend wird der Kuchen mit Druckluft getrocknet. Der getrocknete Kuchen kann dann von dem Filtermittel abgehoben werden.

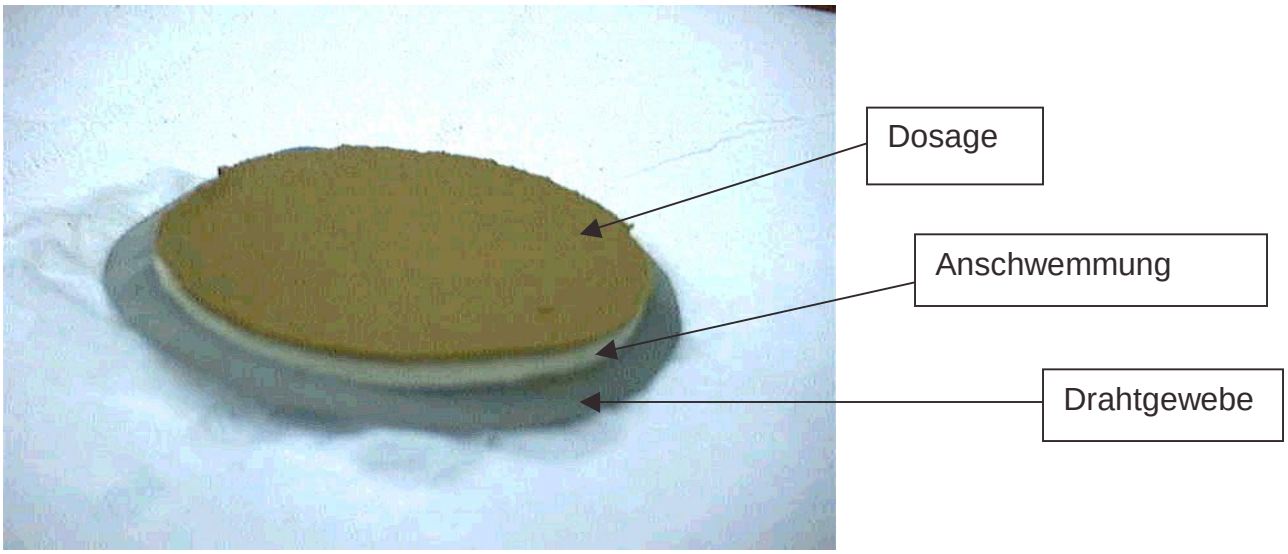


Abbildung 15: Filterkuchen eines Raibletests

3.6.1 Die Extraktion von β-Glucan aus dem Filterkuchen

Eiselt[149] stellte in seiner Dissertation einen verbesserten Nachweis von β-Glucan-Gel vor. Bei dieser Analyse handelt es sich im Prinzip um eine Miniaturkieselgufiltration. Kieselgur wird in eine Fritte gefüllt und eine kleine Menge Unfiltrat (20 ml) durch die Kieselgur geleitet und das darin zurückbleibende β-Glucan durch Extraktion anschließend analysiert und auf die eingesetzte Menge Bier umgerechnet. Diese Methode hat den Vorteil, dass im Gegensatz zu der Methode von Wagner (siehe Seite 41) keine Differenzmessung stattfindet und damit eine große Fehlerquelle dieser Methode eliminiert wurde. In Anlehnung an die von Eiselt vorgestellte Analyse wurde das β-Glucan mit 40 ml 1,5 %Natronlauge durch 30 minütiges Erhitzen auf 80°C aus der Kieselgur gelöst. Danach wurde die Probe zentrifugiert und mittels der β-Glucan-Gehalt mittels FIA bestimmt.

---

[149] Vgl.: Eiselt, G.: Untersuchungen über hochmolekulares β-Glucan, a. a. O. S. 22-39.

3.6.2 Hydrolyse

Die Filterkuchen wurde nach der Hydrolyse-Methode für Diätbier sauer hydrolysiert[150]. Anstelle der 25 %igen Salzsäure wurde 25 %ige Schwefelsäure verwendet und die nach MEBAK vorgesehene 16 %ige Natronlauge wurde durch 16 %iges Bariumhydroxid ersetzt. Bei der Neutralisation entsteht somit statt dem löslichen Natriumchlorid das unlösliche Bariumsulfat, welches durch Filtration mit einem Faltenfilter abgetrennt werden kann. Mit diesem Verfahren werden störende Einflüsse auf die Probe, zum Beispiel Überschäumen während der anschließenden Gefriertrocknung, eliminiert. Die hydrolysierten und neutralisierten Proben wurden für 6 h bei -20 °C in einen Gefrierschrank eingefroren. Anschließend wurde bei -35 °C für 20 h gefriergetrocknet und für maximal 3 h bei -30 °C nachgetrocknet. Nach dem Gefriertrocknen wurde der Rückstand mit 50 ml des Eluentengemisches Acetonitril/Wasser (Verhältnis 80:20) bzw. mit 50 ml entmineralisierten Wasser aus den Schalen herausgelöst und für die HPLC vorbereitet.

3.6.3 HPLC-Analytik

Die Proben werden wie folgt aufbereitet:

- Die Lösung wird durch einen Membranfilter (HPLV, Porendurchmesser: 45 µm) filtriert.
- Reagenzien:
  Destilliertes Wasser HOLC-Qualität
  Acetonitril
  Eluent: Mischung aus Acetonitril und Wasser, Verhältnis 74/26 V/V
- Geräte:
  Membranfilter Pall GHP Acrodisc; 25 mm
  Pumpe (1050 Hewlett Packard)
  Chromato-Integrator (D-200 Merck/Hitachi)
  RI-Detektor (ERC-7512)
  Probeninjektionsventil (Rheodyne)
  HPLC-Trennsäule YMC-Pack Polyamine 2

[150] Vgl.: Pfenninger, H. (Hrsg.).: Brautechnische Analysenmethoden. Methodensammlung der MEBAK. Band II, 3. Auflage. Weihenstephan 1993. S. 246.

Vorsäule. YMC-Pack Polyamine 2

- HPLC-Bedingungen:
  Fluß: 0,250 ml/min
  Säulenofentemperatur: 30 °C
  Detektorofen: 35 °C

3.7 Statistische Methoden

Da das Datenmaterial zumindest bei den Malzuntersuchungen einen größeren Umfang hatte, wurden zu deren Auswertung folgende statistische Methoden herangezogen.

3.7.1 Vergleich zweier Stichproben

Die Fragestellung, ob sich zwei Messreihen durch Veränderung eines Parameters bei der Aufnahme der zweiten Messreihe signifikant unterscheiden, ergab sich in dieser Arbeit mehrfach (z. B. bei der Auswertung der Malzanalysen ab Seite 59). Unter der Vorraussetzung, dass die Stichproben normal verteilt sind, kann je nach Ausgangssituation, hierfür ein ungebundener bzw. einen gebundener T-Test anwendet werden. Der Test geht von der Null-Hypothese aus, dass zwischen den Mittelwerten der Verteilung bei vorgegebener Irrtumswahrscheinlichkeit kein Unterschied existiert. Kann die Nullhypothese mit der gewählten Irrtumswahrscheinlichkeit abgelehnt werden, dann existiert ein signifikanter Unterschied zwischen den Messreihen. Kann die Nullhypothese nicht abgelehnt werden, muss davon ausgegangen werden, dass Unterschiede in den Messreihen rein zufällig entstanden sind. Der Test beantwortet nur die Frage, ob ein Unterschied zwischen zwei Messreihen existiert. Ob der gefundene Unterschied eine sinnvolle Größe darstellt, muss nach der Auswertung interpretiert werden. Die Formeln zur Berechnung und Durchführung des T-Tests sind in einer Vielzahl von Literaturquellen veröffentlicht [z. B.151]. Für die Auswertung dieser Arbeit wurde das Statistik-Programm WinSTAT[152] verwendet. Die Resultate der Berechnungen wurden entweder in Tabellenform oder Diagrammen im Ergebnisteil angegeben oder befinden sich im Anhang.

---

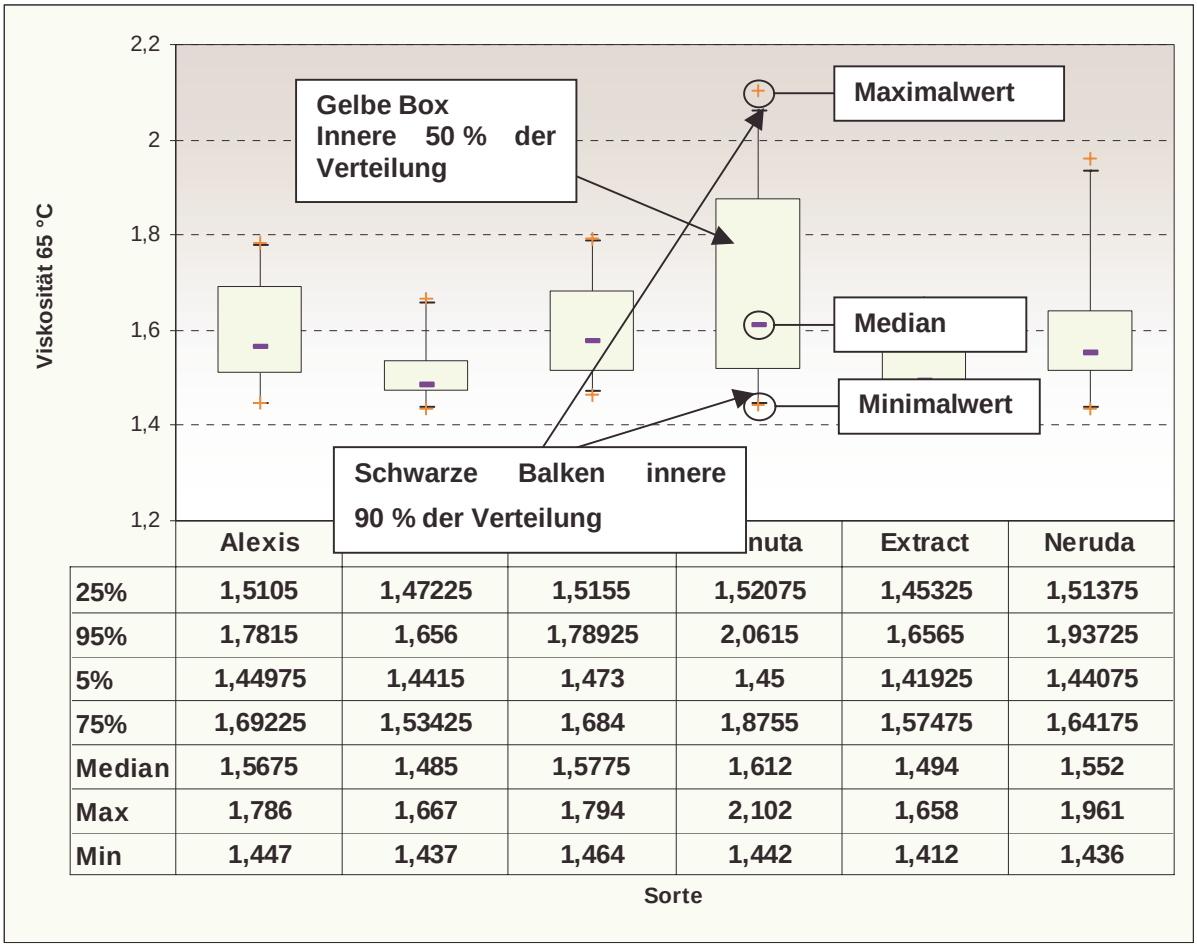
[151] Vgl.: Precht, M. und R. Kraft: Biostatistik 2. 5. Auflage. Oldenburg Verlag München. S. 19.
[152] Vgl.: Beneke, T. und W. Schwippert: WinSTAT für Excel. http://www.winstat.de.

3.7.2 Regressionsanalyse

Die Regressionsanalyse untersucht den Zusammenhang einer abhängigen Variablen mit einer oder mehreren unabhängigen Variablen. Die in der Arbeit angewandte eindimensionale lineare Regression untersucht lineare Zusammenhänge zwischen einer Zielgröße und einer Einflussgröße. Sie lässt eine Aussage über die Güte von linearen Zusammenhängen zu.

3.7.3 Darstellung von Verteilungen

Die in der Arbeit benutzten Box & Whisker Diagramme zeigen eine graphische Darstellung der Verteilung der Messwerte. Dabei wird die Verteilung aus der Vogelperspektive von oben betrachtet. Die Diagramme ermöglichen bei einer größeren Datenmenge, durch die Darstellung von verschiedenen Perzentilen und dem Median der Verteilung mehr Informationen über die gesamte Verteilung der Messwerte in einer Graphik darzustellen. Für das Verständnis der Graphik ist es wichtig anzumerken, dass die dargestellten Perzentile und der Median die Anzahl der Proben die in dem jeweiligen Bereich liegen darstellen. Der Median gibt also an, dass 50 % der Proben unterhalb bzw. oberhalb dieses Wertes liegen. Er entspricht aber nicht dem Mittelwert der Verteilung. In der Datentabelle unter dem Diagramm (Abbildung 16) sind die gemessenen Minimal- bzw. Maximalwerte sowie die errechneten Werte von Median und den Perzentilen aufgelistet.



	Alexis			nuta	Extract	Neruda
25%	1,5105	1,47225	1,5155	1,52075	1,45325	1,51375
95%	1,7815	1,656	1,78925	2,0615	1,6565	1,93725
5%	1,44975	1,4415	1,473	1,45	1,41925	1,44075
75%	1,69225	1,53425	1,684	1,8755	1,57475	1,64175
Median	1,5675	1,485	1,5775	1,612	1,494	1,552
Max	1,786	1,667	1,794	2,102	1,658	1,961
Min	1,447	1,437	1,464	1,442	1,412	1,436

Abbildung 16: Beispiel einer Box&Whisker-Darstellung

In den Diagrammen erkennbare Unterschiede müssen auf ihre Signifikanz überprüft werden. Für den Vergleich von mehr als zwei Verteilungen miteinander wurde ein multipler Mittelwertsvergleich angewendet. Hier wird durch eine Varianzanalyse aus den Verteilungen eine für alle Vergleiche gültige kritische Mittelwertsdifferenz errechnet und dann die Mittelwerte der Verteilungen verglichen. Ist die Differenz der Mittelwerte größer als die kritische Mittelwertsdifferenz so liegt bei gegebenem Signifikanzniveau (0,05) ein Unterschied zwischen den Verteilungen vor. Die Auswertung wird in einer Tabelle (Beispiel Abbildung 17) dargestellt. Dabei wird im oberen Teil die errechnete kritische Mittelwertsdifferenz angegeben und im unteren Teil die Frage, ob ein Unterschied zwischen den Verteilungen besteht mit Ja (Kritische Mittelwertsdifferenz < Differenz der Mittelwerte) oder Nein (Kritische Mittelwertsdifferenz > Differenz der Mittelwerte) beantwortet.

Kritische Mittelwertsdifferenz 0,066

Es besteht bei gegebenem Signifikanzniveau (0,05) ein Unterscheid zwischen den Verteilungen

Es besteht bei gegebenem Signifikanzniveau (0,05) kein Unterscheid zwischen den Verteilungen

	(Mittelwert)	Annabell	Extract	Neruda	Alexis	Barke	Danuta
Annabell	1,512	----					
Extract	1,51						
Neruda	1,59						
Alexis	1,59				----		
Barke	1,605	ja	ja	nein	nein	----	
Danuta	1,671	ja	ja	ja	ja	nein	----

Abbildung 17: Beispiel eines multiplen Mittelwertvergleichs

4 Ergebnisse

4.1 Die Vorhersage der Filtrierbarkeit von Bier aus der Würze

Die Auswertung der Literatur ergab zwei wichtige Erkenntnisse

1. Die Filtrierbarkeit von Bier ist nicht nur von der Malzqualität abhängig, sondern wird auch von der Technologie und der Anlagen- und Fördertechnik in der Brauerei beeinflusst.
2. Polysaccharide scheinen die Hauptquelle für Filtrierbarkeitsstörungen zu sein. Als Quelle stehen über das Malz hinaus auch Mikroorganismen und die Hefe in Verdacht filtrationshemmende Polysaccharide zu bilden.

Daraus folgte, dass ein Messsystem entwickelt werden musste, mit dem es möglich ist, die Entwicklung der Filtrierbarkeit über den kompletten Produktionsprozess zu verfolgen. Damit könnte die Ursache und die Quelle der Filtrierbarkeitsstörungen in einer Stufenkontrolle, wie sie von der mikrobiologischen Betriebskontrolle bekannt ist, identifiziert werden. Es wurde entschieden, die Würze und den Laborfiltertest nach Raible so zu modifizieren, dass er auch für Würze anwendbar ist, und die Möglichkeit besteht, die Stoffe, die in der Kieselgur zurückbleiben, identifizieren zu können. Erste Versuche mit reiner Betriebswürze brachten keinen Erfolg. Deshalb wurde die in Kapitel 3 beschriebene Milieuveränderung der Würze (pH 4,5, 5 % Vol. Ethanol) und eine anschließende Kaltlagerung (0 °C) von sieben Tagen eingeführt. Der Filtertest wurde wie beschrieben mit einem Gefäß für die Voranschwemmung versehen. Zusätzlich wurde es ermöglicht, den Filterkuchen nach der Filtration von dem Drahtgewebe abzuheben und eine kieselgurfreie Trübungsmessung am Filtrat durchzuführen.

In einem ersten Versuch wurde aus einem gut und einem schlecht gelöstem Malz in fünf verschiedenen Mischungen nach dem Standardverfahren (Anhang Seite 120) des Kleinsudwerks (1,5 kg Schüttung) Würze und Bier hergestellt und das spezifische Filtratvolumen mit dem Raible-Test bestimmt.

Tabelle 6: Malzanalysen des gut und schlecht gelösten Malz und der Mischungen

Malzmischung	M1	M2	M3	M4	M5
Friabilimeterwert in %	67,3	71,7	80,8	84,8	93,1
Viskosität (8,6 %) mPas	1,735	1,644	1,541	1,484	1,451
Viskosität 65°C (8,6 %) mPas	2,447	2,127	1,785	1,604	1,501
β-Glucan mg/l	778	525	358	201	81

M1 ⇨ 100 % 4 Tage Malz
M2 ⇨ 75 % 4 Tage Malz + 25 % 8 Tage Malz
M3 ⇨ 50 % 4 Tage Malz + 50 % 8 Tage Malz
M4 ⇨ 25 % 4 Tage Malz + 75 % 8 Tage Malz
M5 ⇨ 100 % 8 Tage Malz

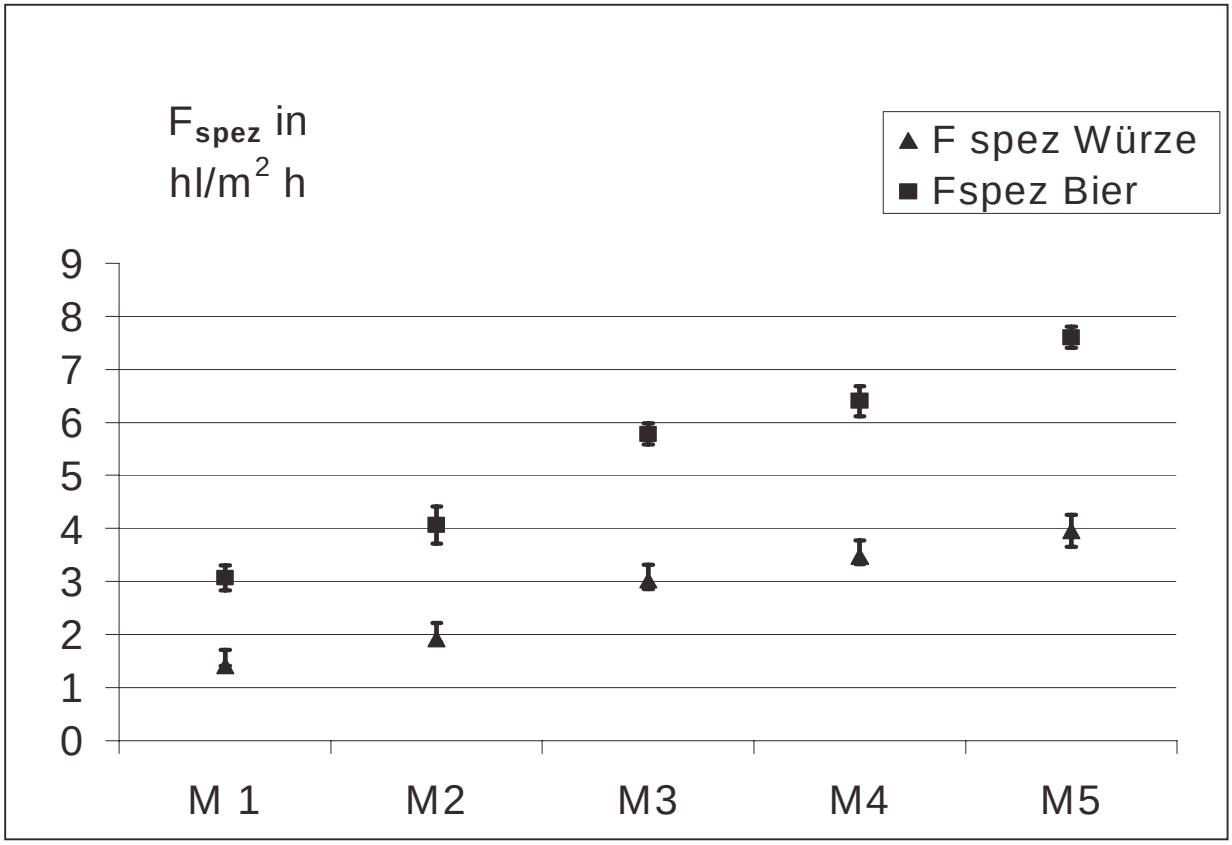


Abbildung 18: Spezifische Filtratvolumen der Würzen und Biere aus den Malzmischungen M1–M5

Die Ergebnisse zeigen, dass mit Abnahme des unterlösten Malzes das spezifische Filtratvolumen sowohl der Würzen als auch der Biere zunimmt. Da von den Suden jeweils nur Einzelbestimmungen (die eingezeichneten Konfidenzintervalle ergeben sich aus der Dreifachmessung des Filtertests) gemacht wurden, sollen hier keine Absolutwerte diskutiert werden. Erkennbar ist, dass gut (M4 und M5) und schlecht filtrierbare Biere (M1 und M2) deutliche Unterschiede zeigen und dass Störungen aufgrund schlechter Malzqualitäten bereits in der Würze mit einem Filtertest detektierbar sind. In einem nächsten Versuch wurde Würze und Bier aus einem schlecht gelöstem Malz (Malzanalyse siehe Anhang Seite 123) im Pilotsudwerk (10 kg Schüttung) hergestellt und mit Betriebswürzen aus zwei Brauereien verglichen. Anschließend wurden die Biere sowohl mit dem Raible-Test als auch mit dem Zürcher-Test auf ihre Filtrierbarkeit untersucht. Abbildung 19 und Abbildung 20 zeigen die Mittelwerte von drei Suden mit schlecht gelöstem Malz und drei Betriebswürzen bzw. Bieren aus zwei Brauereien

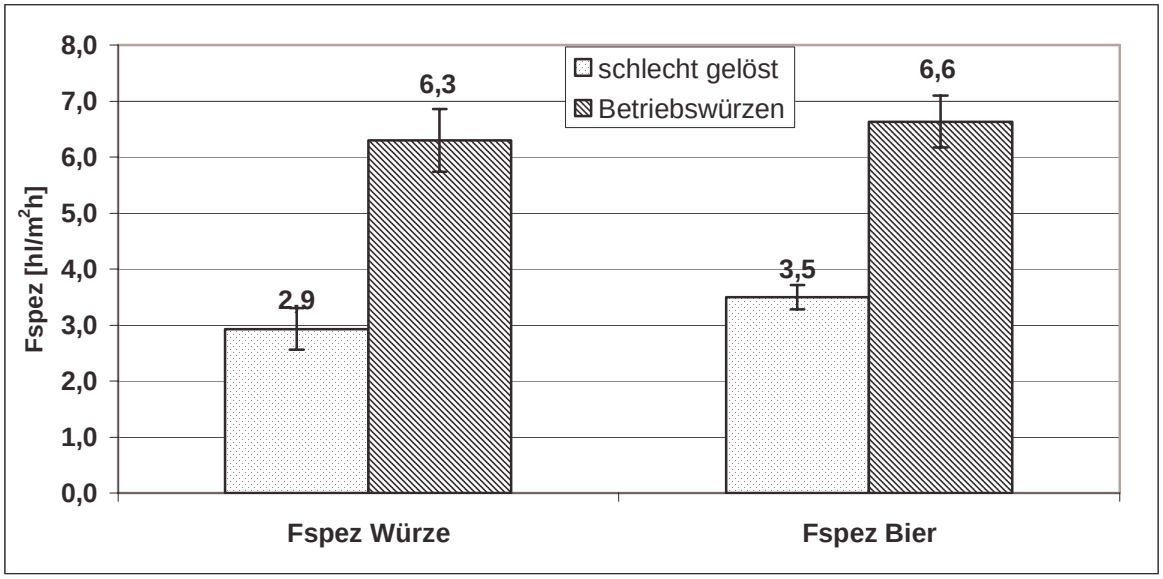


Abbildung 19: Raible-Test von Würzen und Bieren aus schlecht gelöstem Malz verglichen mit Betriebswürzen und Bieren

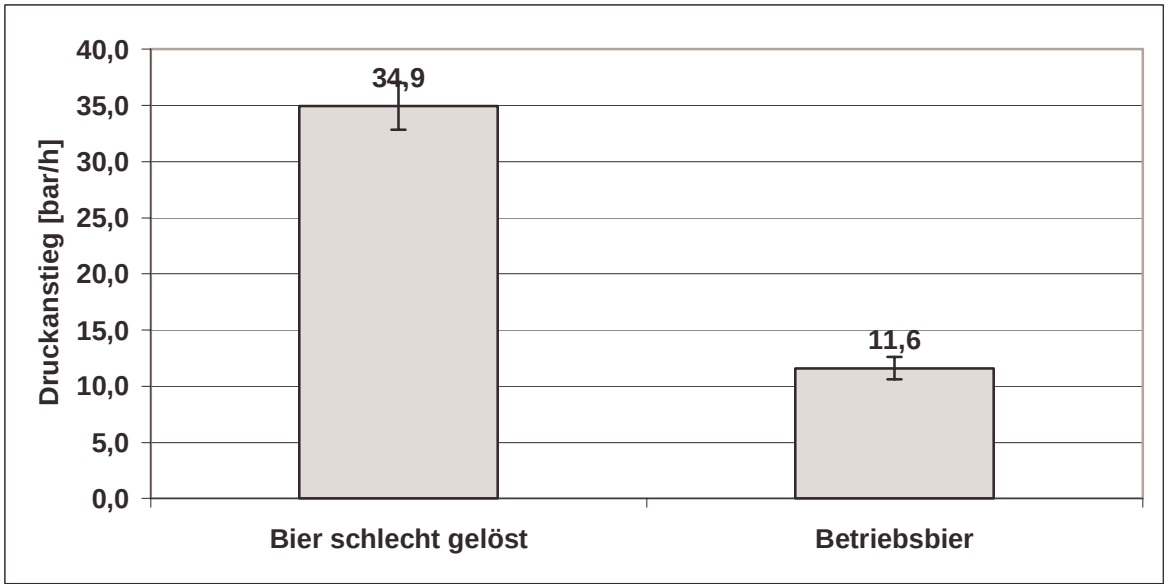


Abbildung 20: Zürchertest von Würzen und Bieren aus schlecht gelöstem Malz verglichen mit Betriebswürzen und Bieren

Die Betriebsbiere waren nach Aussage der Brauerein gut filtrierbar. Die Filtrationen wiesen einen niedrigen Druckanstieg (< 0,3 bar/h) und gute Trübungswerte (< 0,5 EBC) auf. Im Vergleich unterscheidet sich die Würze und das Bier aus schlecht gelöstem Malz stark von den Betriebswürzen und gibt einen Anhaltspunkt, dass Störungen der Filtrierbarkeit im Bereich von einem spezifischen Filtratvolumen von < 4,0 hl/m^{2}h gemessen werden können. Aufgrund dieser Ergebnisse wurden während der Forschungsarbeit in fünf Brauereien Stufenkontrollen zum Teil mit unterschiedlichen Biertypen durchgeführt. In drei Brauereien (C, D und E) wurde die Stufenkontrolle auf Grund akuter Filtrierbarkeitsstörungen durchgeführt.

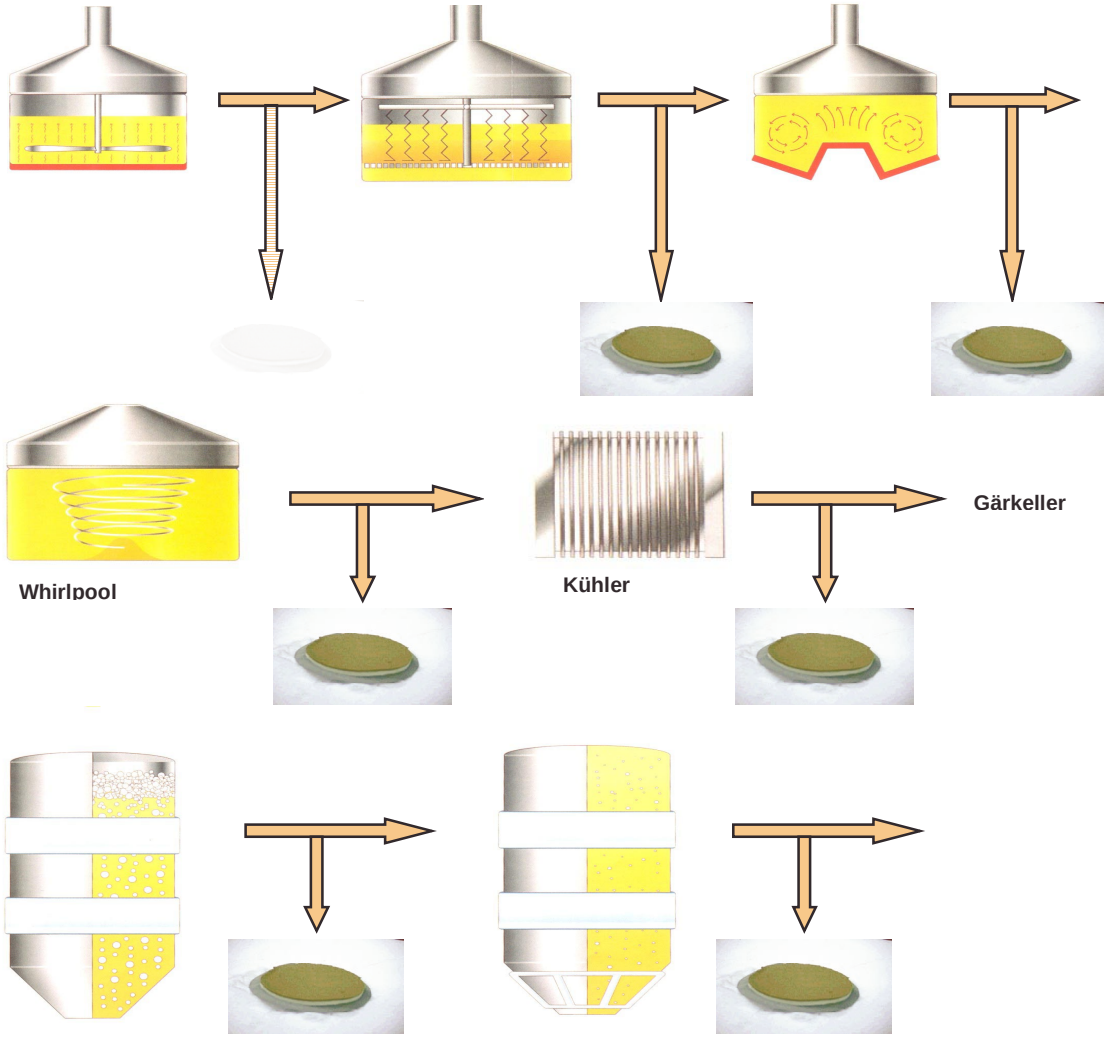


Abbildung 21: Stufenkontrolle für die Filtrierbarkeit von Bier

Tabelle 7: Ergebnisse der Stufenkontrollen in fünf Brauereien

F spez hl/m²h	Biersorte	Ausschlagwürze	nach Whirlpool	nach Plattenkühler	Jungbier	Unfiltrat
Brauerei A	Export	4,9	4,9	4,8		5,6
Brauerei A	Helles Vollbier		5,9	5,7	6,1	5,9
Brauerei B	Pils	5,6		6,1		7,0
Brauerei C	Helles Vollbier	5,1		5,9	3,2	3,7
Brauerei D	Helles Vollbier	5,9		3,9		3,3
Brauerei E	Starkbier	3,1		3,0		3,2

Brauerei A und B waren die Referenzbrauereien für gut filtrierbare Biere. Das Export in Brauerei A zeigt bei den Würzewerten eine etwas niedrigere Filtrierbarkeit als das helle Vollbier. Der Unterschied bei den spezifischen Filtratvolumen im Bier ist aber gering. Brauerei C war die erste Brauerei mit akutem Filtrationsproblem. Auffällig ist, dass die schlechte Filtrierbarkeit sich erst im Bier darstellt. Auf Grund der Würzewerte waren keine Filtrationsprobleme zu erwarten. In dieser Brauerei konnten im Bereich der Würzebelüftung Kontaminationen der Würze und starke Scherbeanspruchungen festgestellt werden. In Brauerei D konnte eine Verschlechterung des spezifischen Filtratvolumens bereits bei den Würzewerten nach dem Whirlpool festgestellt werden. Hier wurde eine kavitierende Heißwürzepumpe identifiziert. Das Bockbier aus Brauerei E ist ein Beispiel für malzbedingte Filtrationsschwierigkeiten. Obwohl andere, leichter eingebraute Biere in dieser Brauerei keine Filtrationsprobleme verursachten, kam es bei dem stärker eingebraute Bockbier wegen der höheren Würzekonzentrationen und der verwendeten Malzqualität zu Störungen der Filtrierbarkeit.
Die Stufenkontrolle ermöglichte es, die unterschiedlichen Ursachen für schlechte Filtrierbarkeiten zu identifizieren, und zeigt auf, dass die Gründe für eine schlechte Filtrierbarkeit nicht unbedingt in der Malzqualität zu suchen sind.

4.2 Ergebnisse der Malzuntersuchungen

Malzpolysaccharide können, wie im Kapitel 2.4.1 bereits ausführlich beschrieben zu erheblichen Verarbeitungsschwierigkeiten in der Brauerei führen. Dabei besteht ein Zusammenspiel aus der Menge und der Struktur der über das Malz eingebrachten Polysaccharide und der in der Brauerei durch z. B. Pump- oder Separationsvorgänge eingebrachten Scherbeanspruchung. Jede Brauerei vereinbart mit dem Mälzer individuelle Malzqualitätsanforderungen um Verarbeitungsschwierigkeiten durch Malzpolysacharide zu verhindern. Dabei können von der Brauerei Grenzwerte für das Polysaccharid β-Glucan und zytolytische Kennzahlen wie z. B. die Viskosität der 65 °C-Maische oder Friabilimeterwert vorgegeben werden. Es ist Aufgabe des Mälzers, diese Vorgaben einzuhalten und dabei die gewünschte Malzqualität so günstig wie möglich zu erzeugen. Ein wichtiger Kostenfaktor bei der Produktion von Malz ist die Keimzeit. Durch eine Verkürzung der Keimzeit lassen sich Energie für Lüfter, Wender und Temperaturregulierung einsparen, und je nach Flexibilität der Mälzerei die Kapazität ausweiten. Es wäre also von Vorteil für den Mälzer, wenn er

auf Grund von Untersuchungen an der Gerste die kürzest mögliche Keimzeit vorhersagen könnte.

Die folgenden Malzuntersuchungen sollten bisher gemachte Aussagen zum Einfluss von Polysacchariden auf die Verarbeitbarkeit von Malz in der Brauerei überprüfen und wenn nötig ergänzen. Des weiteren sollte die Möglichkeit der Vorhersage der benötigten Keimzeit aus der Gerste untersucht werden. Die Untersuchungen wurden mit Proben der auf Seite 40 beschriebenen 144 Malzproben, hergestellt aus Gersten der Wertprüfung des Bundessortenamtes der Ernte 2001, durchgeführt.

4.2.1 Der Einfluss der Malzpolysaccharide auf die Viskosität der Würze

In einer ersten Versuchsreihe wurde der Anteil der drei verschiedenen Malzpolysaccharide α-Glucan, β-Glucan und Pentosan an der Viskosität von zwei verschiedenen Würzen untersucht. Die erste Würze wurde aus der 65 °C isothermen Maische (VZ 65 °C) gewonnen; die zweite Würze wurde durch ein Hoch-Kurzmaischverfahren (Rasten: 30 min 62 °C und 30 min. 72 °C) im Kongreßmaßstab gewonnen. Die Würzen wurden mit den auf Seite 47 angegebenen Enzymen Lichenase (Lich), Xylanase (Xyl), α-L-Arabinofuranosidase (Ara) und Amyloglucosidase (Amy) versetzt. Die Abnahme der Viskosität bezogen auf 8,6 % Extrakt wurde durch die Differenzmessung zu einer unbehandelten Nullprobe bei 20 °C ermittelt. Diese Untersuchung wurde mit zwei Sorten (Annabell, Danuta) mit Mustern von drei Standorten durchgeführt, dadurch entstanden pro Enzym und Maischverfahren sechs Werte (Anhang Seite 124).

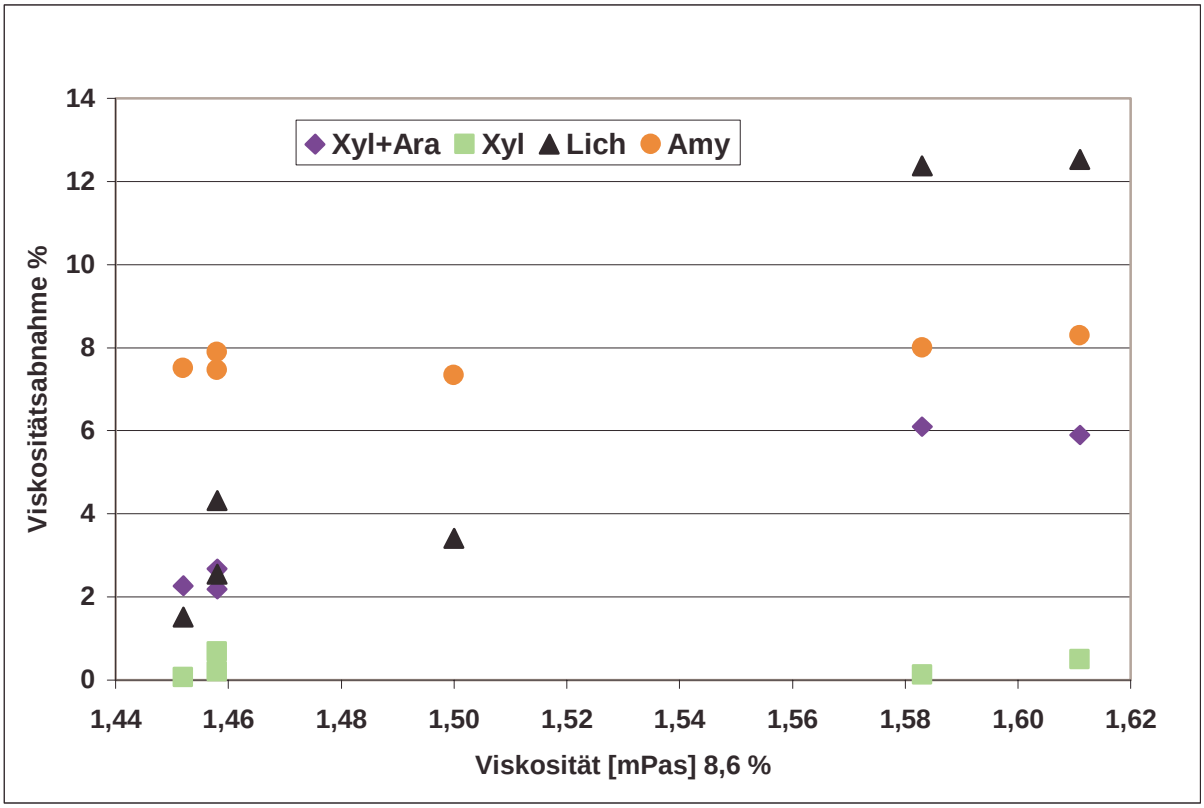


Abbildung 22: Viskositätsabnahme einer VZ 65 °C Würze durch den Einsatz spezifischer Enzyme

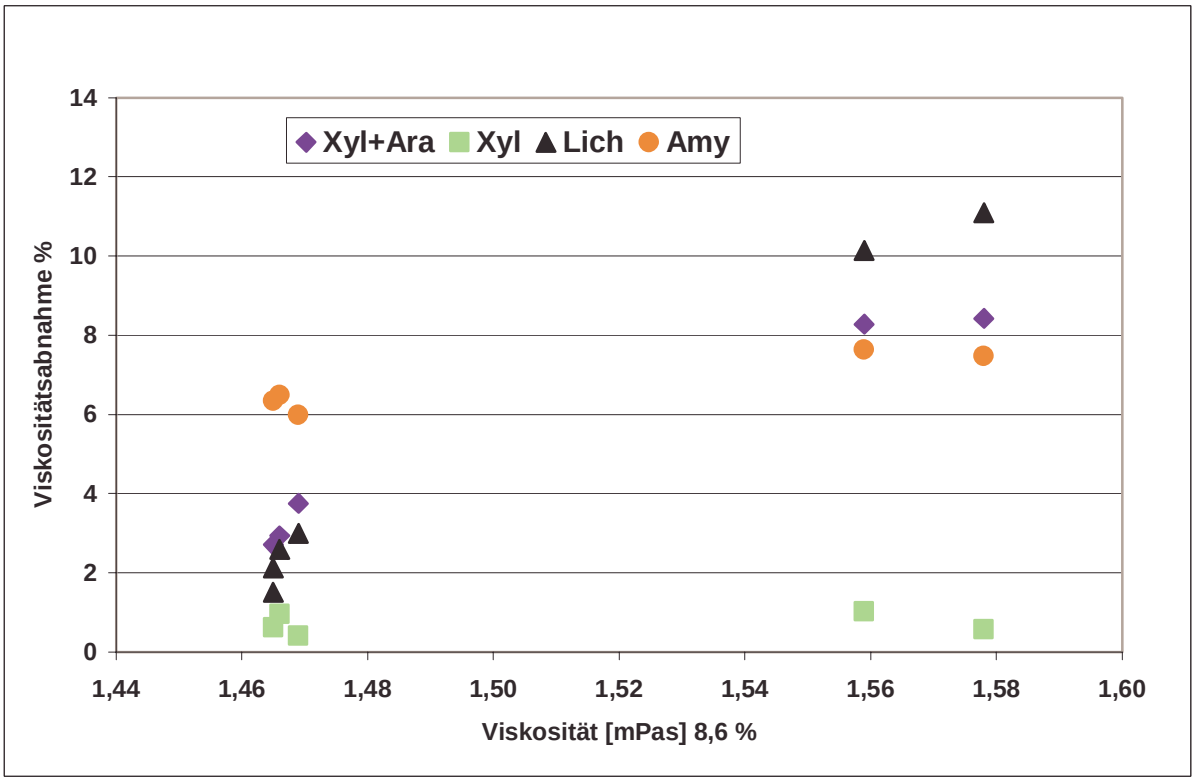
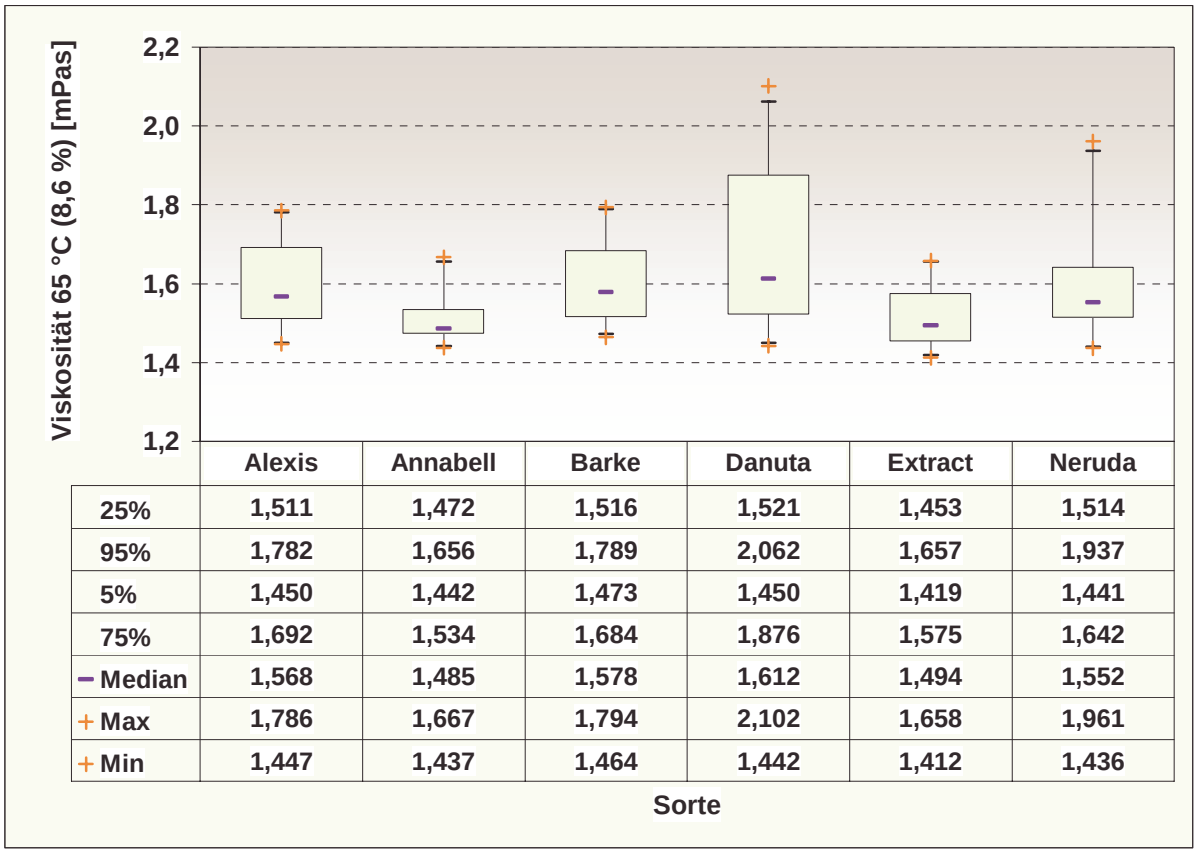


Abbildung 23: Viskositätsabnahme einer Würze aus einem Hoch-Kurz-Maischverfahren durch den Einsatz spezifischer Enzyme

Abbildung 22 zeigt den enzymatischen Abbau der Viskosität der Würze einer 65 °C Maische durch polysaccharidabbauende Enzyme. Erkennbar ist, dass der Anteil der Zellwandpolysaccharide an der Ausgangsviskosität von dieser abhängt. Der Einfluss der Zellwandpolysaccharide auf die Gesamtviskosität ist damit von der zytolytischen Lösung der Malze abhängig. Der Abbau der α-Glucane ist von der Ausgangsviskosität unabhängig und bleibt auch bei zytolytische schlecht gelösten Malzen auf einem Niveau von ca. 8 %. Pentosane lassen sich nur durch das Zusammenspiel von Xylanase und α-L-Arabinofurosidase abbauen. Bei gut gelösten Malzen liegt der Anteil an der Gesamtviskosität ungefähr im Bereich der der β-Glucane bei ca. 2 %. Der Einfluss steigt mit abnehmender Lösung der Malze (6 %) fällt aber im Verhältnis hinter die β-Glucane (12 %) zurück. Auch das Hoch-Kurzmaischverfahren (Abbildung 23) zeigt ein ähnliches Bild, wobei sowohl das Ausgangsniveau als auch der prozentuale Abbau der einzelnen Enzyme etwas niedriger ausfällt.

4.2.2 Der Einfluss von Sorte und Keimzeit auf die zytolytische Lösung von Gerstenmalz

Untersucht wurden die zytolytischen Parameter: Viskosität der 65 °C-Würze, β-Glucane der 65 °C-Würze und der Friabilimeterwert (Analysendaten Anhang Seite 125). Die Darstellung der Ergebnisse erfolgt in der auf Seite 52 beschriebenen Box-Whisker-Darstellung. Die Unterschiede zwischen den Verteilungen wurden wie auf Seite 53 beschrieben mit einer Varianzanalyse und anschließendem multiplen Mittelwertsvergleich auf signifikante Unterschiede (Signifikanzniveau 0,05) bei einem einheitlichen kritischen Mittelwertsunterschied getestet.



	Alexis	Annabell	Barke	Danuta	Extract	Neruda
25%	1,511	1,472	1,516	1,521	1,453	1,514
95%	1,782	1,656	1,789	2,062	1,657	1,937
5%	1,450	1,442	1,473	1,450	1,419	1,441
75%	1,692	1,534	1,684	1,876	1,575	1,642
− Median	1,568	1,485	1,578	1,612	1,494	1,552
+ Max	1,786	1,667	1,794	2,102	1,658	1,961
+ Min	1,447	1,437	1,464	1,442	1,412	1,436

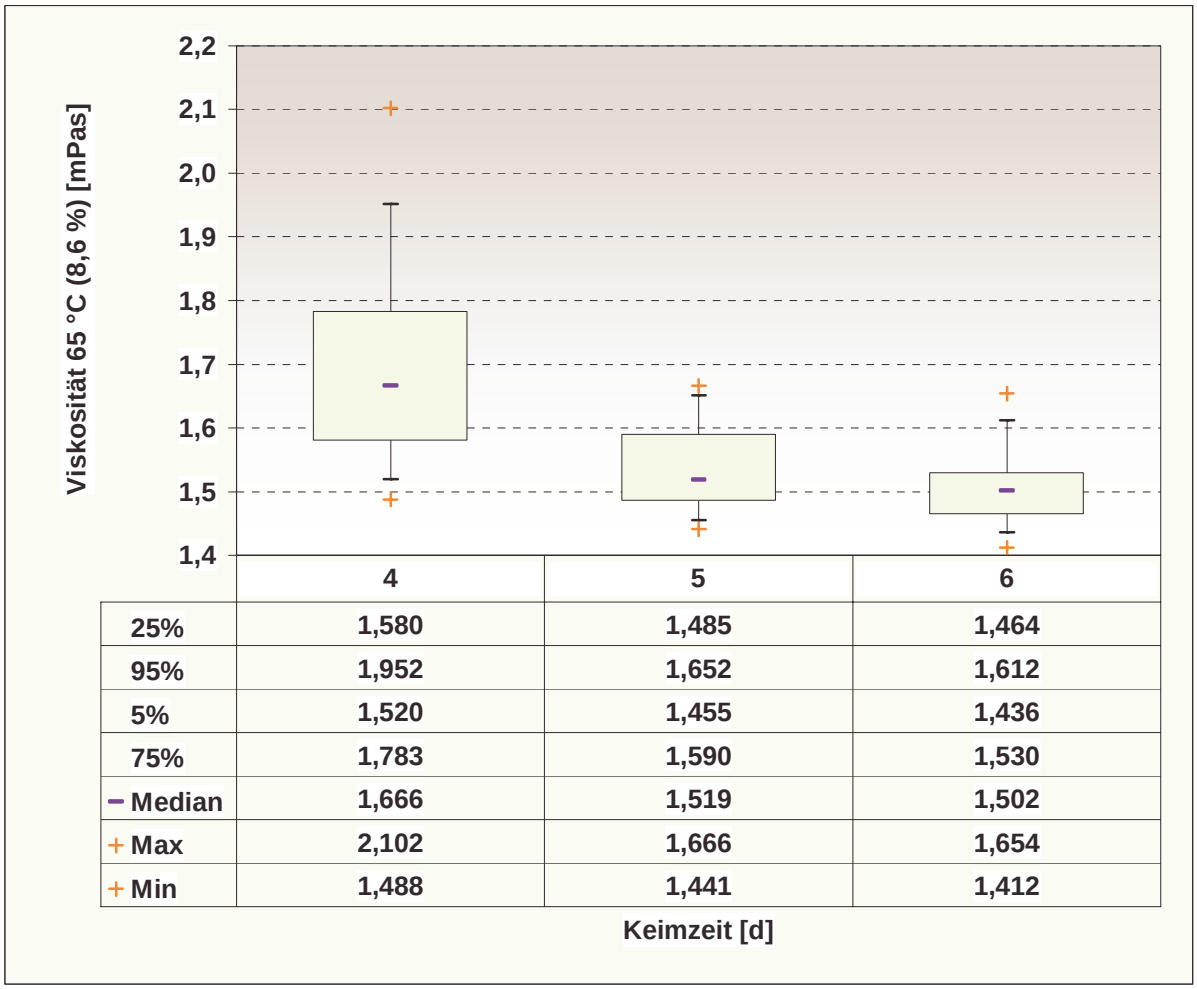
Abbildung 24: Viskosität der 65 °C-Würze von verschiedenen Sorten

Tabelle 8: Multipler Mittelwertsvergleich der Viskosität der 65 °C-Würze aller Sorten

Kritische Mittelwertsdifferenz 0,066

	(Mittelwert)	Annabell	Extract	Neruda	Alexis	Barke	Danuta
Annabell	1,512	----					
Extract	1,512	nein	----				
Neruda	1,593	ja	ja	----			
Alexis	1,593	ja	ja	nein	----		
Barke	1,605	ja	ja	nein	nein	----	
Danuta	1,671	ja	ja	ja	ja	nein	----

Die Viskosität 65 °C zeigt von der Sorte abhängige Unterschiede (Abbildung 24), wobei bei den sehr gut gelösten Malzen im Bereich der Minimalwerte die Unterschiede gering sind, jedoch im Bereich der schlechter gelösten Malze deutliche Differenzen bestehen. Der Mittelwertsvergleich (Tabelle 8) zeigt, dass die Sorten nach dem Merkmal Viskosität 65 °C in drei Gruppen eingeteilt werden können. Sorten mit niedriger Viskosität (Annabell, Extract), Sorten mit mittlerer Viskosität (Alexis, Neruda) und Sorten mit erhöhter Viskosität (Barke, Danuta).



	4	5	6
25%	1,580	1,485	1,464
95%	1,952	1,652	1,612
5%	1,520	1,455	1,436
75%	1,783	1,590	1,530
− Median	1,666	1,519	1,502
+ Max	2,102	1,666	1,654
+ Min	1,488	1,441	1,412

Abbildung 25: Viskosität der 65 °C-Würze der verschiedenen Keimzeiten

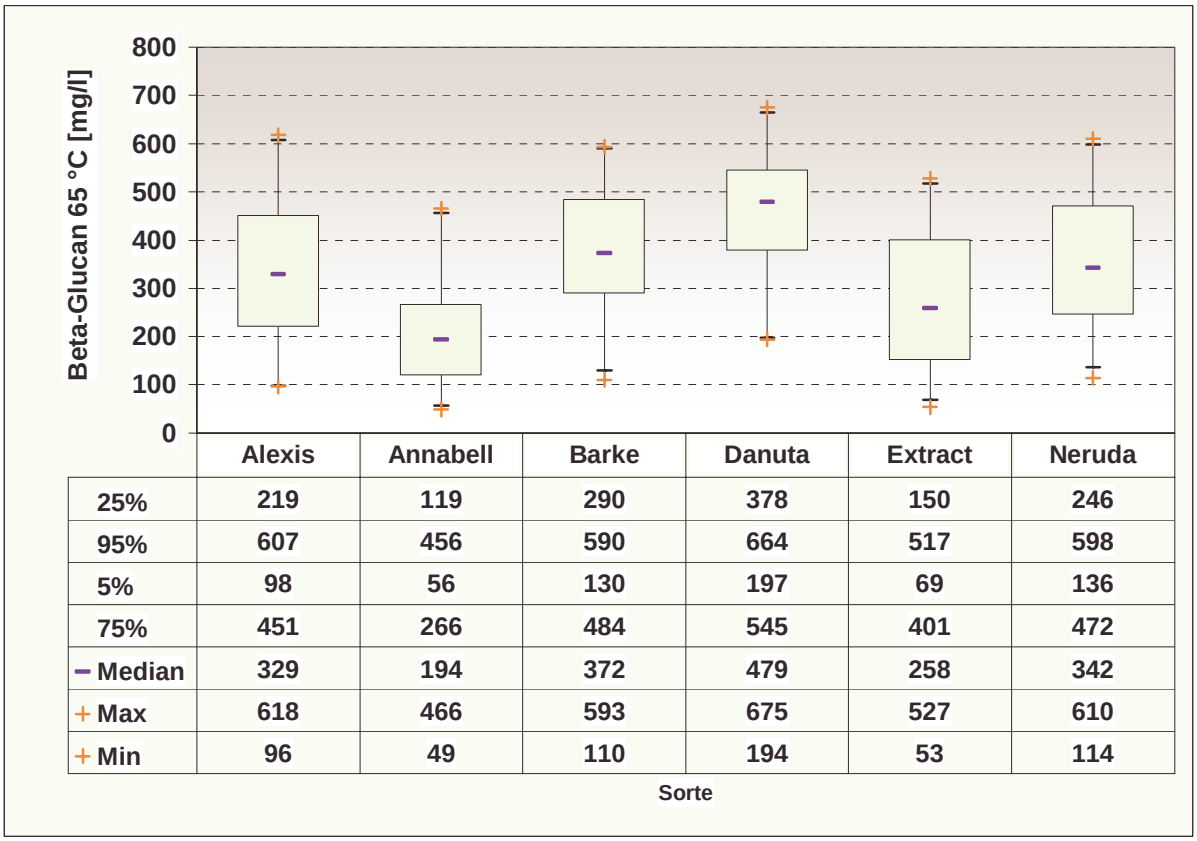
Tabelle 9: Multipler Mittelwertsvergleich der Viskosität der 65 °C-Würze der Keimzeiten

Kritische Mittelwertsdifferenz 0,0381

	Mittelwert	6 Tage	5 Tage	4 Tage
6 Tage	1,5025	----		
5 Tage	1,5407	ja	----	
4 Tage	1,7000	ja	ja	----

Abbildung 25 zeigt, dass eine Verkürzung der Keimzeit eine Zunahme der Viskosität bewirkt. Wobei der Unterschied der Mittelwerte der Keimzeit von sechs Tagen und fünf Tagen exakt der kritischen Mittelwertsdifferenz entspricht (Tabelle 9) und somit der Unterschied bei gegebenen Signifikanzniveau gerade noch existent und sehr klein ist. Die Verkürzung auf vier Tage ergibt einen starken Anstieg der Viskosität. Setzt man die auf Seite 13 vorgestellte Spezifikation voraus (Viskosität 65 °C < 1,6

mPas), würde diese nur von knapp über 25 % der Proben erfüllt.



	Alexis	Annabell	Barke	Danuta	Extract	Neruda
25%	219	119	290	378	150	246
95%	607	456	590	664	517	598
5%	98	56	130	197	69	136
75%	451	266	484	545	401	472
− Median	329	194	372	479	258	342
+ Max	618	466	593	675	527	610
+ Min	96	49	110	194	53	114

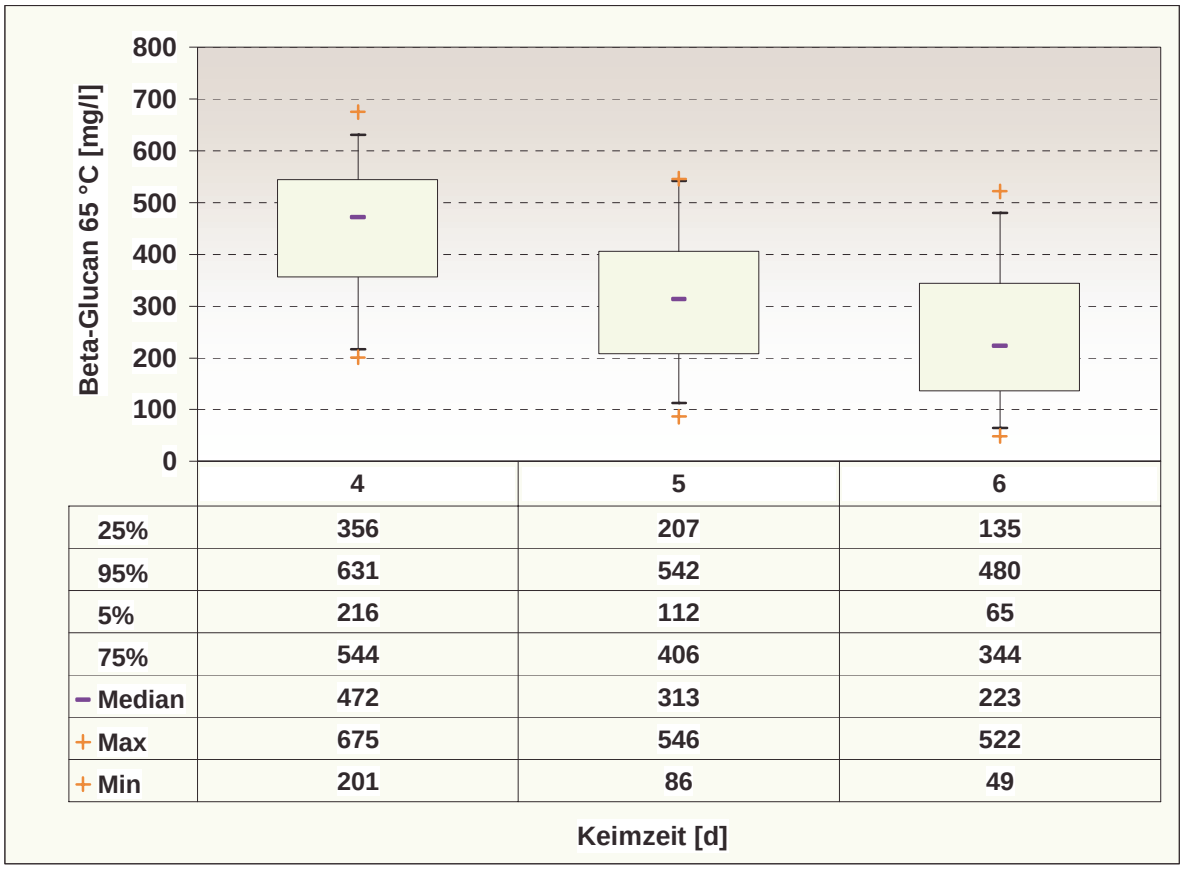
Abbildung 26: β-Glucangehalt der 65 °C-Würze der verschiedenen Sorten

Tabelle 10: Multipler Mittelwertsvergleich des β-Glucangehaltes der 65 °C-Würze der verschiedenen Sorten

Kritische Mittelwertsdifferenz 76

	(Mittelwert)	Annabell	Extract	Alexis	Neruda	Barke	Danuta
Annabell	210	----					
Extract	282	nein	----				
Alexis	334	ja	nein	----			
Neruda	356	ja	nein	nein	----		
Barke	376	ja	ja	nein	nein	----	
Danuta	461	ja	ja	ja	ja	ja	----

Bei der Auswertung der β-Glucan-Analysen ergibt sich ein ähnliches Bild (Abbildung 26,Tabelle 10). Auch hier bestehen statistisch nachweisbare Unterschiede zwischen einzelnen Sorten. Die Sorten die bereits bei der Viskosität den größten Unterschied zeigten (Annabell und Danuta), weisen diesen auch bei dem β-Glucan-Gehalt auf.



	4	5	6
25%	356	207	135
95%	631	542	480
5%	216	112	65
75%	544	406	344
– Median	472	313	223
+ Max	675	546	522
+ Min	201	86	49

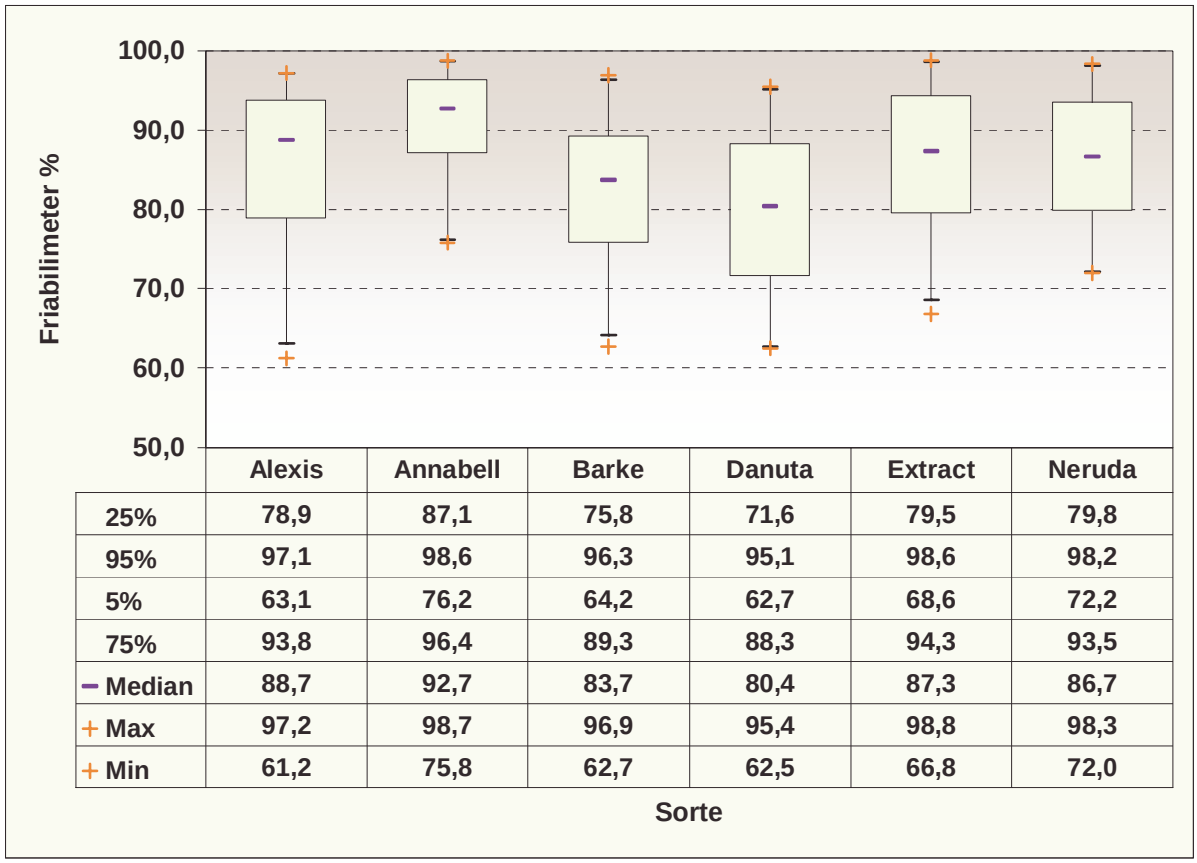
Abbildung 27: β-Glucangehalt der 65 °C-Würze bei verschiedenen Keimzeiten

Tabelle 11: Multipler Mittelwertsvergleich des β-Glucan-Gehaltes der 65 °C-Würze der Keimzeiten

Kritische Mittelwertsdifferenz 50

	(Mittelwert)	6 Tage	5 Tage	4 Tage
6 Tage	243	----		
5 Tage	312	ja	----	
4 Tage	454	ja	ja	----

Durch die Verkürzung der Keimzeit steigt der β-Glucan-Gehalt der Würze an. Auch hier ergibt sich bei der Verkürzung von sechs auf fünf Tage nur eine leichte Erhöhung, die im multiplen Mittelwertsvergleich knapp über dem kritischen Mittelwertsunterschied liegt. Die Verkürzung der Keimzeit auf vier Tage führt zu einem starken Anstieg des β-Glucan-Gehaltes. Wiederum würden nur etwas mehr als 25 % der Malzproben die Spezifikation erfüllen.



	Alexis	Annabell	Barke	Danuta	Extract	Neruda
25%	78,9	87,1	75,8	71,6	79,5	79,8
95%	97,1	98,6	96,3	95,1	98,6	98,2
5%	63,1	76,2	64,2	62,7	68,6	72,2
75%	93,8	96,4	89,3	88,3	94,3	93,5
− Median	88,7	92,7	83,7	80,4	87,3	86,7
+ Max	97,2	98,7	96,9	95,4	98,8	98,3
+ Min	61,2	75,8	62,7	62,5	66,8	72,0

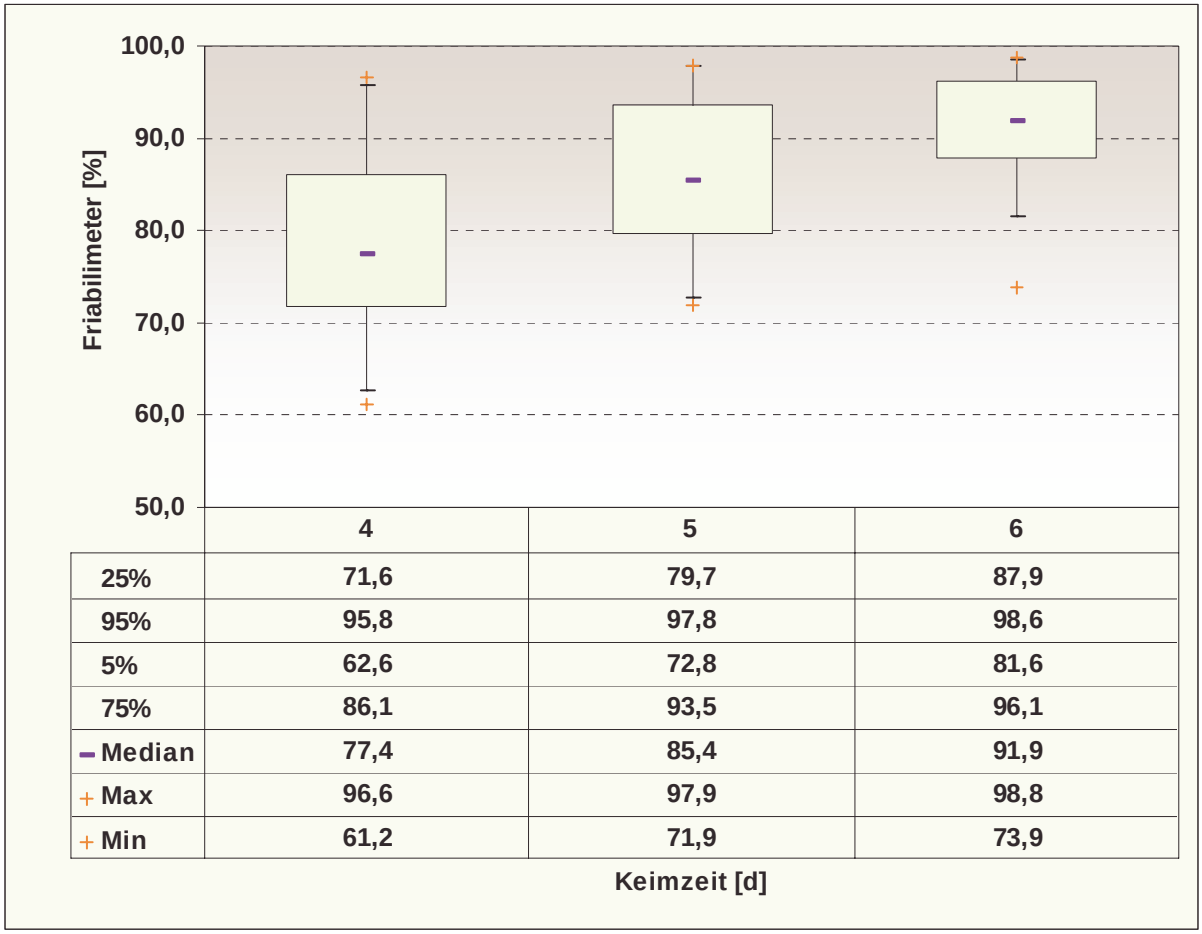
Abbildung 28: Die Verteilung der Friabilimeterwerte in Abhängigkeit von der Sorte

Tabelle 12: Multipler Mittelwertsvergleich der Friabilimeterwerte der verschiedenen Sorten

Kritische Mittelwertsdifferenz 5,0

	(Mittelwert)	Danuta	Barke	Alexis	Extract	Neruda	Annabell
Danuta	79,9	----					
Barke	82,3	nein	----				
Alexis	85,8	ja	nein	----			
Extract	86,3	ja	nein	nein	----		
Neruda	87,0	ja	nein	nein	nein	----	
Annabell	91,5	ja	ja	ja	ja	nein	----

Die Unterschiede im Friabilimeterwert zwischen den einzelnen Sorten sind nicht so ausgeprägt wie die der anderen zytolytischen Merkmale (Abbildung 28). Wobei auch hier die beiden Sorten Annabell und Danuta den größten statistisch nachweisbaren Unterschied aufweisen (Tabelle 12). Im Bereich der Maximalwerte ist kein Unterschied zwischen den Sorten mehr nachweisbar. Die Mittelwerte zeigen aber auch hier große Unterschiede zwischen den gut und schlecht lösenden Sorten.



	4	5	6
25%	71,6	79,7	87,9
95%	95,8	97,8	98,6
5%	62,6	72,8	81,6
75%	86,1	93,5	96,1
Median	77,4	85,4	91,9
Max	96,6	97,9	98,8
Min	61,2	71,9	73,9

Abbildung 29 Die Verteilung der Friabilimeterwerte in Abhängigkeit von der Keimzeit

Tabelle 13: Multipler Mittelwertsvergleich der Friabilimeterwerte der verschiedenen Keimzeiten

	(Mittelwert)	4 Tage	5 Tage	6 Tage
		Kritische Mittelwertsdifferenz 3,2		
4 Tage	78,8	----		
5 Tage	86,4	ja	----	
6 Tage	91,3	ja	ja	----

Mit der Verkürzung der Keimzeit nimmt der Friabilimeterwert ab. Im Gegensatz zum β-Glucan-Gehalt und der Viskosität fällt die Abnahme bei der Verkürzung von sechs auf fünf Keimtage bereits deutlicher aus (Abbildung 29). Sie liegt klar über der kritischen Mittelwertsdifferenz (Tabelle 13). Die Verkürzung auf vier Keimtage senkt den Friabilimeterwert noch deutlicher. Auch hier würden nur etwas mehr als 25 % der Muster die Spezifikation (> 85 %) erfüllen.

4.2.3 Der Einfluss von Scherkräften auf die Viskosität von Würze

Wie in den Grundlagen erwähnt, sind nicht nur die zytolytische Lösung des Malzes ausschlaggebend für Verarbeitungsschwierigkeiten in der Brauerei sondern auch Scherbeanspruchungen, die während des Verarbeitungsprozesse das Produkt belasten. Mit der folgenden Versuchsreihe sollte untersucht werden, ob eine glucanbedingte Viskositätserhöhung durch Scherung nachweisbar ist und ob diese Viskositätserhöhung sorten- und keimzeitabhängig ist.

Die Würzen der 65 °C-Maischen aller 144 Proben wurden zur Inaktivierung der Enzyme kurz aufgekocht und in zwei gleiche Portionen geteilt. Die eine Hälfte wurde mit einem Rührer (Omni-Mixer, hergestellt von Sorvall, mittlerer Durchmesser 40 mm) bei 2500 U/min geschert und dann abgekühlt die andere Hälfte wurde nur abgekühlt. Die eingebrachte Schubspannung lässt sich für den hier beschriebenen Versuch abschätzen. Dabei ergibt sich eine Schubspannung von ca. 28000 Pascal (Berechnung Anhang Seite 128). Die abgekühlten Proben wurden wie auf Seite 46 beschrieben mit Säure und Ethanol behandelt (Abkürzung APH) und nach einer Lagerzeit von sieben Tagen bei 0 °C die Viskosität (20 °C) gemessen.

Abbildung 30: Viskositäten der gescherten und nicht gescherten Proben

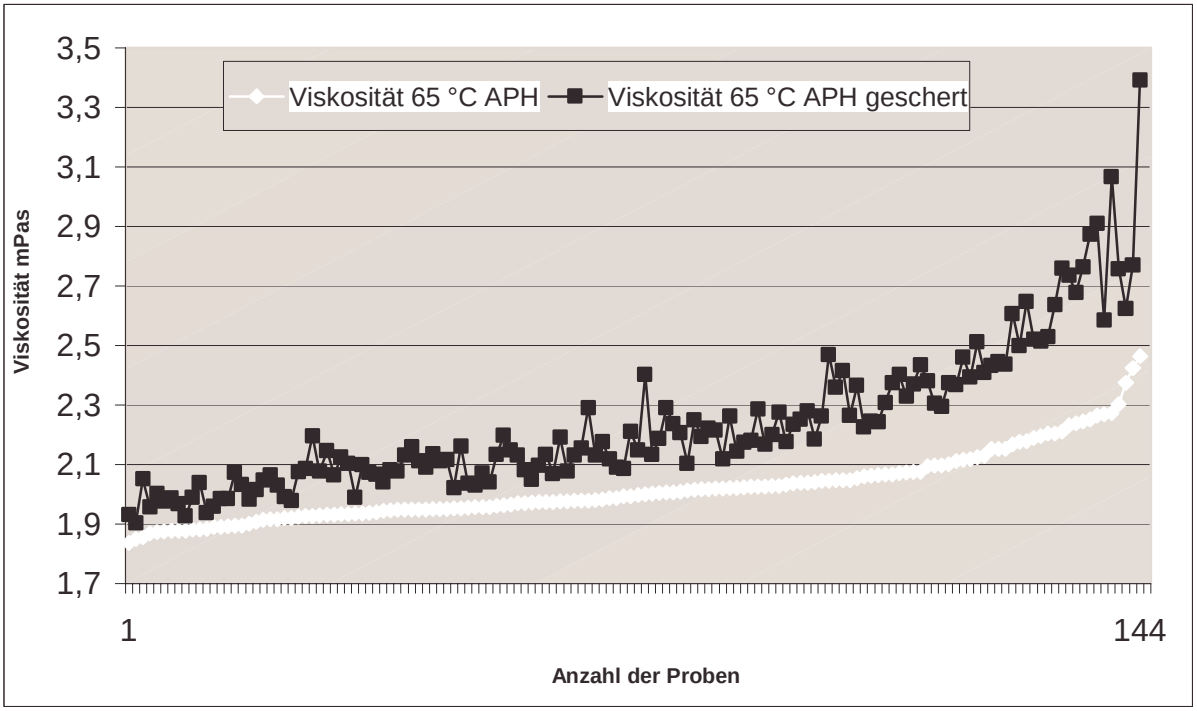
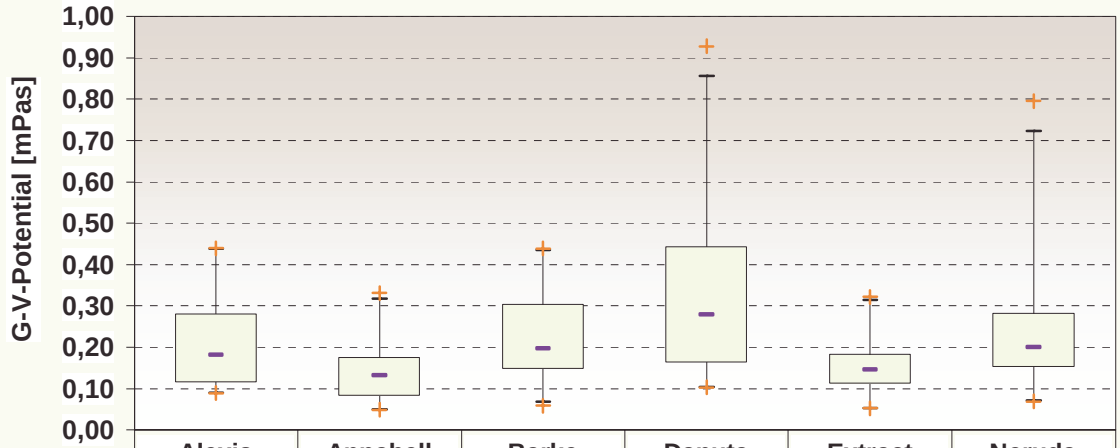


Abbildung 30 zeigt, dass alle Proben durch Scherung eine Viskositätszunahme erfahren haben. Der T-Test ergab bei einem mittleren Unterschied von 0,22 mPas eine signifikante Zunahme der Viskosität durch die Scherung. Die maximale

Zunahme lag bei 0,928 mPas. Dieser Versuch wurde mit 6 Malzproben wiederholt, (ausgewählt wurden auf Grund ihrer guten bzw. eher knappen zytolytischen Lösungsmerkmale die drei Proben der Sorten Annabell und Danuta,) wobei hier die Polysaccharide der Zellwände, β-Glucane und Pentosane bereits beim Maischen durch ein Enzymgemisch aus thermostabilen β-Glucanasen, Xylanasen und Cellulasen (Utraflo®) abgebaut wurden. Der T-Test ergab auch hier einen signifikanten Unterschied der Viskositäten vor und nach Scherung, wobei die mittlere Viskositätszunahme nach Scherung mit 0,049 mPas sehr viel niedriger als bei den Proben ohne Glucan-Abbau lag. Prozentual ausgedrückt lassen sich je nach Sorte und Keimzeit ca. 75–96 % der scherungsbedingten Viskositätszunahme durch die Zellwandglucane β-Glucane und Pentosane erklären (Analysendaten Anhang Seite 128). Dieses glucanbedingte Viskositätszunahmepotential durch Scherung soll im folgenden G-V-Potential genannt werden.

4.2.4 Der Einfluss von Sorte und Keimzeit auf das G-V-Potential von Malz



	Alexis	Annabell	Barke	Danuta	Extract	Neruda
25%	0,11	0,08	0,15	0,16	0,11	0,15
95%	0,44	0,32	0,44	0,86	0,32	0,72
5%	0,09	0,05	0,07	0,10	0,05	0,07
75%	0,28	0,18	0,30	0,44	0,18	0,28
– Median	0,18	0,13	0,20	0,28	0,15	0,20
+ Max	0,44	0,33	0,44	0,93	0,32	0,80
+ Min	0,09	0,05	0,06	0,10	0,05	0,07

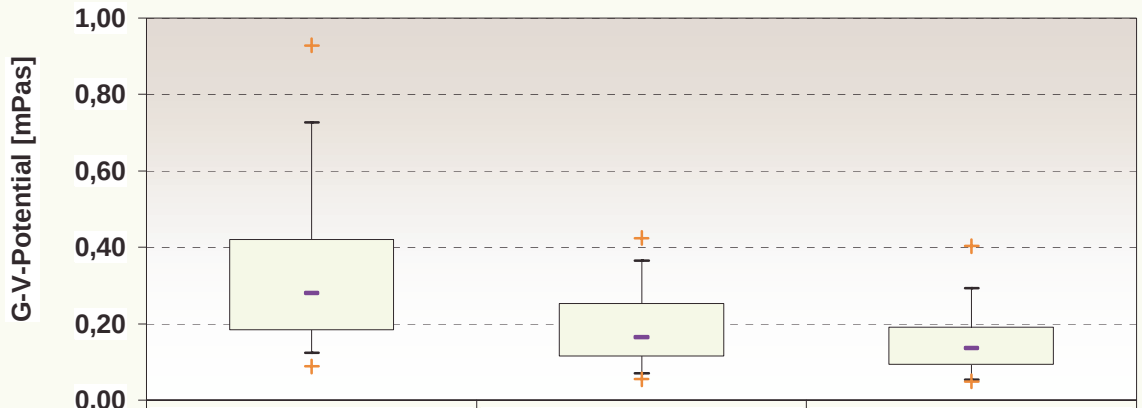
Sorte

Abbildung 31: Die Verteilung des G-V-Potentials in Abhängigkeit von der Sorte

Tabelle 14: Multipler Mittelwertsvergleich der G-V-Potentiale der verschiedenen Keimzeiten

	(Mittelwert)	Annabell	Extract	Alexis	Barke	Neruda	Danuta
		Kritische Mittelwertsdifferenz 0,073					
Annabell	0,140	----					
Extract	0,156	nein	----				
Alexis	0,217	ja	nein	----			
Barke	0,221	ja	nein	nein	----		
Neruda	0,241	ja	ja	nein	nein	----	
Danuta	0,331	ja	ja	ja	ja	ja	----

Die Ergebnisse (Abbildung 31,Tabelle 14) zeigen ein ähnliches Bild wie bei den zytolytischen Kennzahlen. Es existieren sortenbedingte Unterschiede im G-V-Potential. Die Sorten mit dem schlechteren zytolytischen Daten zeigen auch ein höheres G-V-Potential. Im Bereich der Minimalwerte gleichen sich das G-V-Potential der verschiedenen Sorten an. Im Bereich der Maximalwerte sind deutliche Unterschiede zu erkennen.



	4	5	6
25%	0,18	0,12	0,09
95%	0,73	0,36	0,29
5%	0,12	0,07	0,05
75%	0,42	0,25	0,19
– Median	0,28	0,16	0,14
+ Max	0,93	0,42	0,40
+ Min	0,09	0,05	0,05

Keimzeit [d]

Abbildung 32: Die Verteilung des G-V-Potentials der verschiedenen Keimzeiten

Tabelle 15: Multipler Mittelwertsvergleich der G-V-Potentiale der verschiedenen Keimzeiten

	(Mittelwert)	6 Tage	5 Tage	4 Tage
		Kritische Mittelwertsdifferenz 0,049		
6 Tage	0,148	----		
5 Tage	0,185	nein	----	
4 Tage	0,315	ja	ja	----

Betrachtet man den Mittelwertsvergleich der Keimtage (Tabelle 15), so lässt sich erkennen, dass im Fall des G-V-Potentials die kritische Mittelwertsdifferenz zwischen fünf und sechs Keimtagen knapp unterschritten wird und somit bei gegebenem Signifikanzniveau ein Unterschied zwischen den Verteilungen nicht nachweisbar ist. Die Verkürzung um einen weiteren Keimtag auf vier Tage kann aber zu einer starken Erhöhung des G-V-Potentials führen. Die Streuung der Werte nimmt mit Verkürzung der Keimzeit zu. Dies liegt auch darin begründet, dass die untersuchten Sorten unterschiedlich auf die Keimzeitverkürzung reagieren.

4.2.5 Zusammenhang zwischen dem Eiweißgehalt der Keimzeitverkürzung und dem G-V-Potential

Abschließend sollte geklärt werden, ob es möglich ist, die Reaktion einer Gerstenpartie auf die Keimzeitverkürzung anhand von einfach zu bestimmenden Merkmalen wie Sorte und Eiweißgehalt vorauszusagen. Es wird bisher davon ausgegangen, dass mit steigendem Eiweißgehalt die zytolytische Lösung des Malzes abnimmt. Könnte dieser Zusammenhang bestätigt werden, wäre es vielleicht möglich, bei bekannter zytolytischer Reaktion auf eine Verkürzung der Keimzeit einer Sorte und dem Eiweißgehalt die optimale Keimzeit einer Partie zu ermitteln. Da diese beiden Größen in Abbildung 33 und Abbildung 34 mit dem G-V-Potential aufgetragen werden sollen, soll an dieser Stelle eine Abschätzung über die verträgliche Höhe des G-V-Potential einer Malzpartie gemacht werden. Das G-V-Potential verhält sich, wie oben beschrieben, ähnlich wie die untersuchten zytolytischen Parameter, ein linearer Zusammenhang besteht aber nicht. Dies wurde durch einen Regressionsanalyse mit dem G-V-Potential und den zytolytischen Parametern ermittelt (Anhang Seite 129). Trotzdem sollen die Regressionsgeraden dafür verwendet werden, einen Schätzwert in Bezug auf die bereits mehrfach angesprochene Spezifikation zu ermitteln. Demnach sollte das G-V-Potential nicht höher als 0,015–0,025 mPas liegen. Abbildung 33 und Abbildung 34 zeigen noch einmal deutlich den Unterschied der

beiden Sorten Annabell und Danuta. Annabell reagiert kaum auf die Verkürzung der Keimzeit und kann auch im Bereich höherer Eiweißgehalte noch sehr kurz vermälzt werden. Vier Muster mit höherem Eiweißgehalt der kurz gemälzten Malze (Keimzeit vier Tage) erreichen oder übersteigen den geschätzten Grenzwert für das G-V-Potential. Ein Vergleich mit dem Friabilimeterwert der Proben ergibt, dass zwei der Proben einen Friabilimeterwert unter 80 % aufweisen und damit nicht handelsfähig wären. Die Sorte Danuta (Abbildung 34) reagiert mit einer starken Zunahme des G-V-Potentials auf die Verkürzung der Keimzeit. Nur im Bereich extrem niedriger, für die Praxis nicht relevanter, Eiweißgehalte (< 8,5 %) scheint eine Verkürzung der Keimzeit möglich. Bei höheren Eiweißgehalten ist bereits die Verkürzung um einen Keimtag kritisch und bei sehr hohen Eiweißgehalten (> 11,5 %) existieren Muster, die selbst bei intensiver Lösung die Spezifikation nicht erfüllen. Die Sorte Annabell (Abbildung 33) repräsentiert eine neue Generation von Gerstensorten, die sich vor allem durch eine starke Zytolyse bei moderater Proteolyse auszeichnen. Dies ist ein Fortschritt, der durch intensive Bemühungen seitens der Braugerstenzüchter geleistet wurde. Auch im Zulassungsjahr 2001 sind neue Sorten (Ursa, Braemar, Cellar, Auriga) hinzugekommen, die zytolytisch ein ähnliches Verhalten wie Annabell zeigen. Erste Versuche haben bestätigt, dass auch diese Sorten mit sehr kurzen Keimzeiten zu gut gelösten Malzen zu verarbeiten sind. Auch bei diesen Versuchen ist das Phänomen aufgetreten, dass einzelne Muster im Bereich höherer Eiweißgehalte durch eine Verkürzung der Keimzeit aus der Spezifikation herausgefallen sind, andere Muster ähnlichen Eiweißgehaltes aber die Spezifikation ohne Probleme erfüllt haben. Damit ist der Versuch, die notwendige Keimzeit allein über die Kenntnis der Sorte und des Eiweißgehaltes zu bestimmen gescheitert. Es wird Gegenstand weiterer Forschungsarbeiten sein, mit welchen Analysen diese Gerstenpartien identifizierbar sind.

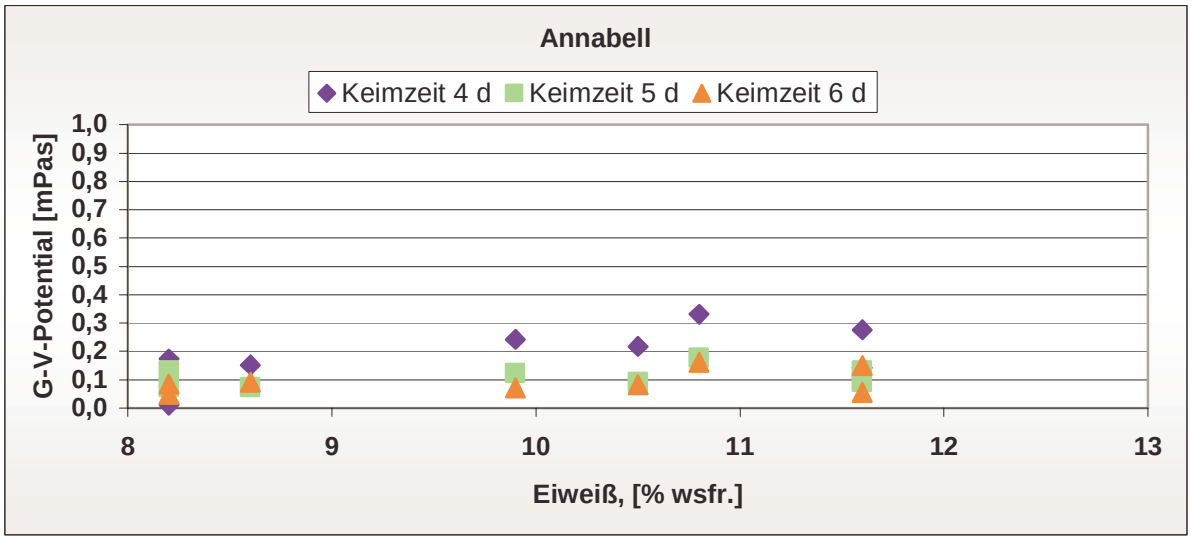


Abbildung 33: G-V-Potential in Abhängigkeit vom Eiweißgehalt und der Keimzeit der Sorte Annabell

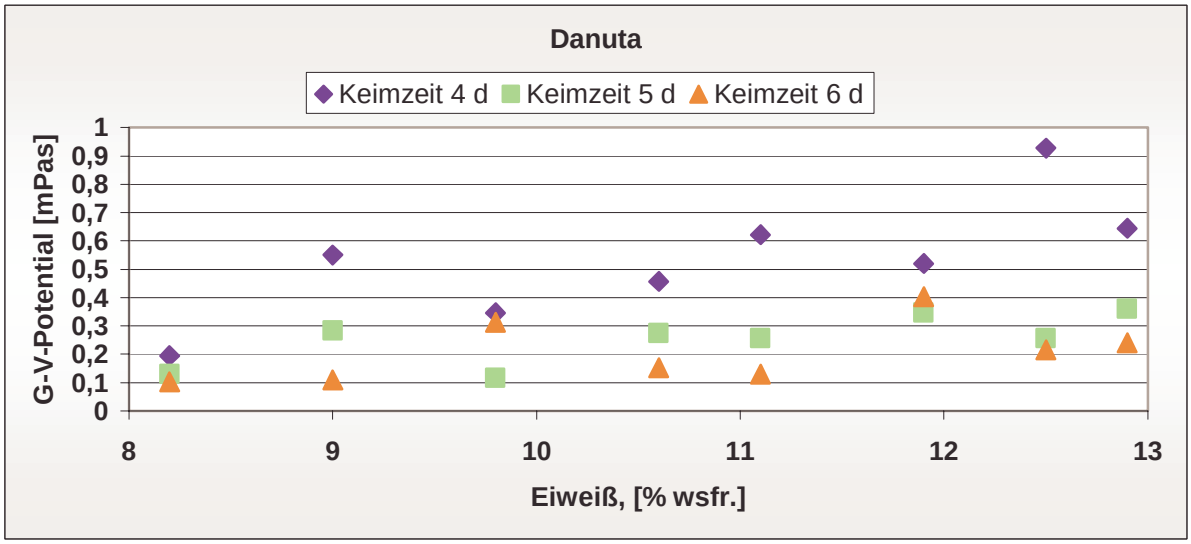


Abbildung 34: G-V-Potential in Abhängigkeit vom Eiweißgehalt und der Keimzeit der Sorte Danuta

4.3 Der Einfluss von Zellwandpolysacchariden und Scherung auf die Filtrierbarkeit von Würze und Bier

4.3.1 Der Einfluss der Maischescherung auf die Filtrierbarkeit von Würze und Bier

In einer Versuchsreihe wurde in Zusammenarbeit mit dem Lehrstuhl für Maschinen- und Apparatekunde der Technischen Universität München in einer zweiteiligen Arbeit zuerst der Einfluss der Scherung der Maische auf das Läuterverhalten der Würze erforscht. Als nächstes wurden im Rahmen dieser Arbeit die daraus gewonnen

Würzen untersucht. Ziel der Maischversuche war es, die spontane Reaktion der β-Glucane auf Scherung während des Maischens und damit den Einfluss einer möglichen Gelbildung auf den Läutervorgang abzuklären. Absicht der Untersuchungen der Würze war es, die Reaktion der Würze über einen längeren Zeitraum nach dem Läutervorgang zu untersuchen. Hierbei sollte festgestellt werden, ob die Scherung der Maische eine spätere Gelbildung induzieren kann.

Mit einem neuartigen Meßsystem (Aufbau siehe Anhang Seite 130) ist es Herrmann gelungen, sowohl die Viskosität der dispersen Phase (Maische) als auch der flüssigen Phase (Würze) bei Prozesstemperaturen zu messen. Dies hat den Vorteil, dass die Einflüsse des Würzekühlens bei der Probenaufbereitung ausgeschaltet werden können, und ein weitergehender enzymatischer Abbau von Würzeinhaltstoffen nach der Probennahme verhindert werden kann. Die Viskosität der dispersen Phase wird dabei über die Leistungsaufnahme eines Ankerrührers ermittelt. Mit einem Hubkolben und über einem 50 µm Filter können in kurzer Zeit und ohne Temperaturänderung aus der Maische Würzeproben gezogen werden, deren Viskosität direkt durch ein Kapilarviskosimeter bestimmt wird.

Für die Versuchsreihe wurde ein gut gelöstes Malz der Gerstensorte Barke benutzt (Malzanalyse siehe Anhang Seite 131). Die Maische wurde am Lehrstuhl für Maschinen- und Apparatekunde (Maischprogramm siehe Anhang Seite 130) hergestellt und anschließend im Kleinsudwerk des Lehrstuhls für Technologie der Brauerei I abgeläutert. Nach dem Kühlen der Würze wurde die Viskosität bei 20 °C und die Viskosität nach Einstellung von Alkoholgehalt und pH-Wert (APH) sowie Kaltlagerung gemessen. Des Weiteren wurde die Würze endvergoren und auf β-Glucan-Gelbildung untersucht. Um den Einfluss der Zellwandpolysaccharide und der Scherung auf das Läuterverhalten und die Viskosität der Würze zu erfassen, wurden vier Versuchsansätze gewählt. Wobei jeweils die identische Maische durch Scherung mit einem Ultraturax und/oder der Zugabe von Ultraflo, einem Enzymgemisch, das wie erwähnt hauptsächlich thermostabile β-Glucanase und als Nebenaktivitäten auch Xylanasen und Cellulasen besitzt, verändert wurde. Die Versuchsansätze im einzelnen waren:

1. Standardsud ohne Scherung und Enzymzugabe (0-Sud)
2. Sud geschert ohne Enzymzugabe (geschert)
3. Standardsud mit Enzymzugabe (0-Sud + E)
4. Sud geschert mit Enzymzugabe (geschert +E)

Hermann[153] ermittelte bei 78 °C die in Abbildung 35 dargestellt Viskosität der flüssigen Phase der Maische.

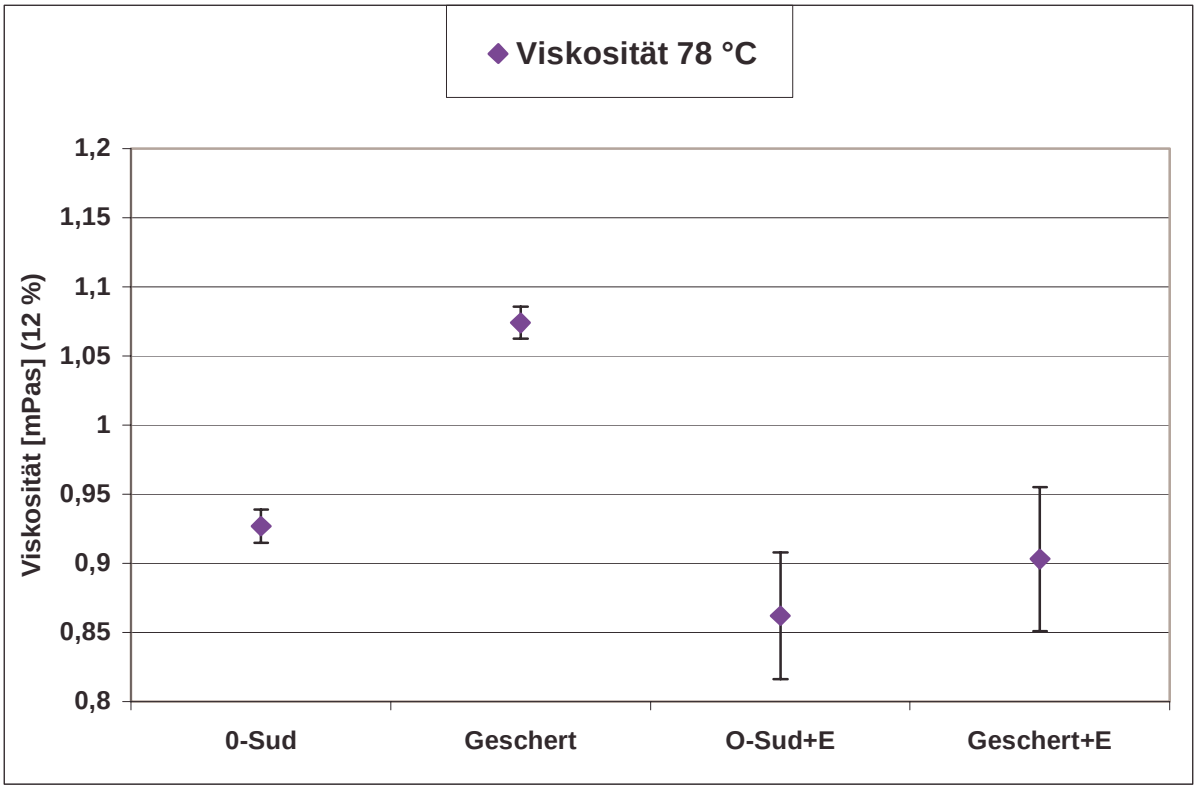


Abbildung 35: Viskosität der Würze bei 78 °C

Die Scherung verursacht einen signifikanten Anstieg der Viskosität, aber wie Abbildung 36 zeigt auch einen signifikanten Anstieg der β-Glucan-Gehalte. Herrmann folgert daraus, dass die Zugabe der Enzyme zeigt, dass die Viskositätserhöhung der Würze durch die Scherung eindeutig auf Zellwandpolysaccharide zurückzuführen ist, da die gescherte Würze mit Enzymzugabe keinen Unterschied in der Viskosität im Vergleich zur ungescherten Referenzwürze aufweist. Da der Gesamt-β-Glucan-Gehalt im Gegensatz zu den bisherigen Untersuchungen auf diesem Gebiet entscheidend zugenommen hat, kann zwar die Aussage, dass die Viskositätszunahme von Zellwandpolysacchariden verursacht wird, bestätigt werden. Eine eindeutige Aussage, ob diese Zunahme von einer Strukturveränderung der Polysaccharide oder von dem höheren Gehalt in der flüssigen Phase herrührt, kann aber nicht gemacht werden. Betrachtet man in diesem Zusammenhang zusätzlich die Läuterzeiten, ist festzustellen, dass nur ein geringer Unterschied zwischen dem

[153] Vgl.: Herrmann, J.: Entwicklung von Messmethoden zur Untersuchung der rheologischen Eigenschaften der Maische. Dissertation, Technische Universität München-Weihenstephan, 2002.

Standardsud und dem Standardsud mit Enzymeinsatz existiert. Die β-Glucanmenge eines gut gelösten Malz in einer normal gerührten Maische reicht nicht aus, um eine nennenswerte Änderung der Würzeviskosität oder der Läuterzeit zu verursachen.

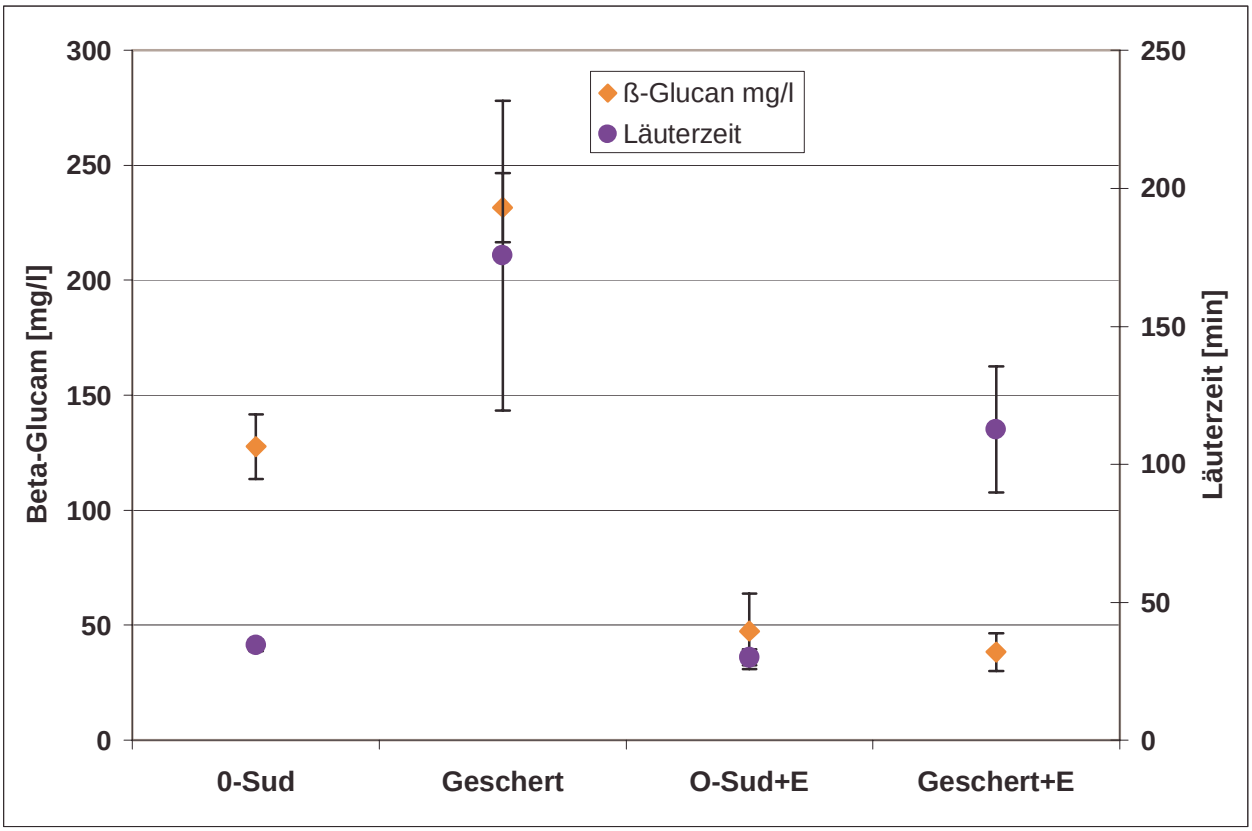


Abbildung 36: β-Glucan-Gehalt und Läuterzeiten der Versuchssude

Die beiden gescherten Proben zeigen unabhängig, ob Zellwandpolysacharide abgebaut wurden oder nicht, eine sehr viel längere Läuterzeit als die ungescherten Sude. Dieser Umstand wird besonders dann deutlich wenn man den Nullsud mit den beiden Suden mit Enzymeinsatz vergleicht. Die Würzen von allen drei Versuchen wiesen bei 78 °C keinen Unterschied in der Viskosität auf (Abbildung 37), die Läuterzeit des gescherten Sudes mit Enzymeinsatz war aber dreimal so lang wie die der beiden anderen Sude. Herrmann folgert daraus, dass die Ursache für die längere Läuterung in der grobdispersen nichtlöslichen Spelzenfraktion zu finden sei, die den Treberkuchen ausbildet. Er untersuchte die Spelzen und stellte fest, dass durch die Scherung die Spelzen zerkleinert werden und damit die Größe der Spelzen einen großen Einfluss auf die Durchlässigkeit des Treberkuchens bei gleicher Würzeviskosität haben. Der Einfluss der Zellwandpolysaccharide und eine mögliche spontane Gelbildung können auch bei diesen Versuchen nicht ausgeschlossen werden. Zwar besteht statistisch kein Unterschied zwischen der Läuterzeit des

gescherten Sudes und des gescherten Sudes mit Enzymeinsatz, was gegen einen Einfluss von Polysacchariden sprechen würde, aber die Konfidenzintervalle der Läuterzeit sind extrem groß und damit eine Interpretation der Ergebnisse nur bedingt möglich. Die großen Unterschiede der Läuterzeiten der gescherten Sude lassen sich durch die fehlende Aufhackvorrichtung im Läuterbottich des Kleinsudwerks erklären.

Bei weiterer Betrachtung der Würzeuntersuchungen (Abbildung 37) ist bemerkenswert, dass die Viskosität des Standardsudes bei 20 °C im Gegensatz zu den Messungen bei 78 °C einen Unterschied zu den beiden Suden mit Enzymeinsatz aufweist. Daraus folgt, dass der Abkühlvorgang eine Viskositätserhöhung hervorgerufen hat, die ohne Zellwandpolysaccharide nicht zustande kommt. Keine Aussage ist über das Verhalten der gescherten Polysaccharide möglich. Die Viskosität ist auch bei 20 °C und nach Lagerung mit Milieuveränderung am höchsten. Ob diese Tatsache durch die Änderung des ß-Glucan-Gehaltes oder durch eine Strukturänderung hervorgerufen wird, lässt sich aber nicht abschließend beurteilen. Um zu überprüfen ob die Scherung eine spätere Gelbildung im Bier hervorruft wurde die Würze endvergoren und nach einwöchiger Lagerung bei 0 °C der β-Glucan-Gelgehalt bestimmt. Es konnte in den endvergorenen Würzen keine reproduzierbare Gelbildung nachgewiesen werden (siehe Anhang Seite 132) . Dies spricht gegen eine Induzierung der Gelbildung durch die Scherung der Maische wobei auch hier gilt, dass die Unterschiede der Einzelsude zu groß waren als das eine abschließende Aussage möglich wäre.

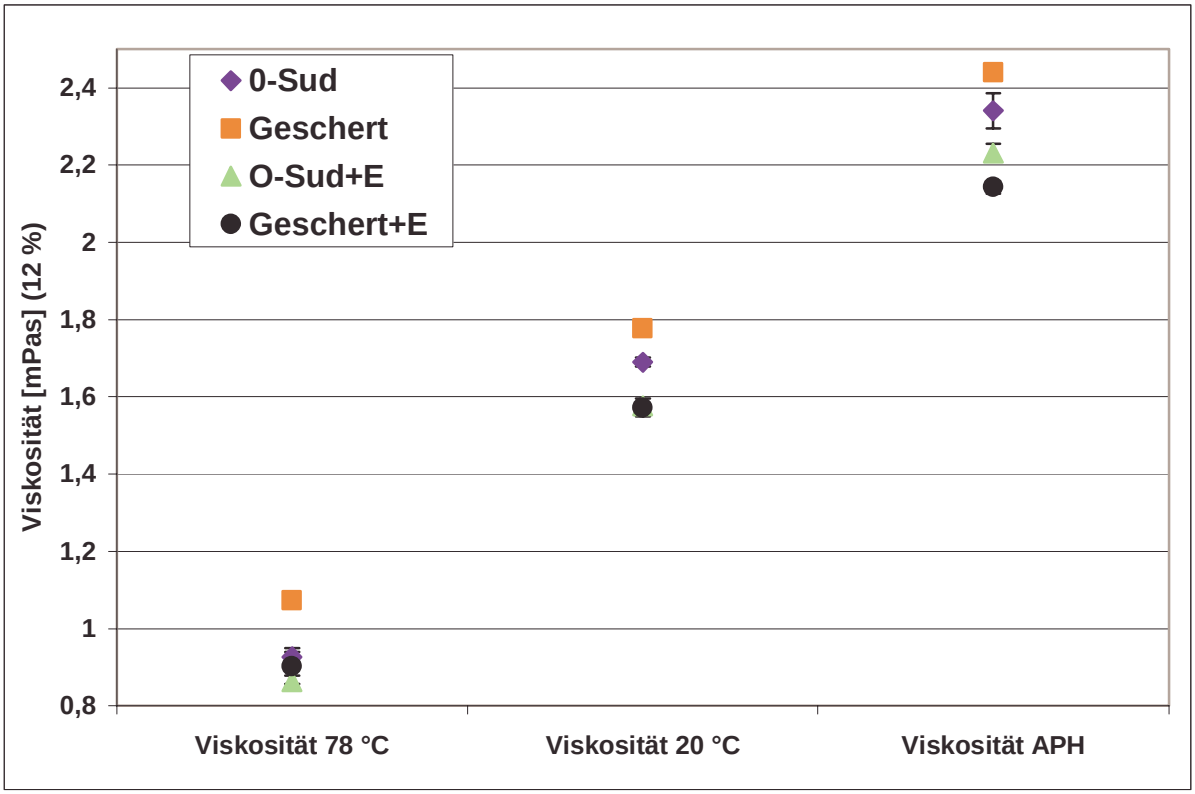


Abbildung 37: Viskositäten der Würzen bei verschiedenen Temperaturen und Lagerbedingungen

4.3.2 Brauversuche zum Einfluss der Zellwandpolysaccharide auf die Filtrierbarkeit von Würze und Bier

Um den Einfluss von Zellwandpolysacchariden auf den Bierbereitungsprozess zu beschreiben, wurden zwei Versuchsreihen durchgeführt. Oberdieck[154] untersuchte die Änderung des Läuter- und Filtrationsverhaltens von Würzen und Bieren aus sechs verschiedenen Malzqualitäten mit und ohne Zugabe mehrere thermostabilen Glucanasen (Ultraflo L).

Die sechs verschiedenen Malzqualitäten wurden aus vier verschiedenen Gerstensorten gewonnen. Es wurden also zwei Gerstensorten zweimal vermälzt und durch die Reduzierung der Keimtage von sechs auf vier jeweils ein gut und ein schlecht gelöstes Malz hergestellt.

Folgende Malzsorten wurden hergestellt und verarbeitet:

ESTEREL *Französische sechszeilige Wintergerste, französische Sorte*

Sud 1: gut gelöst

[154] Vgl.: Oberdieck, M.: Untersuchungen zur Wirkung und Wirtschaftlichkeit des Einsatzes von thermostabilen β-Glucanasen in der Brauerei. Diplomarbeit. Weihenstephan 2001.

SCARLETT *Französische zweizeilige Sommergerste, deutsche Sorte*

Sud 2: normal gelöst

Sud 3: unterlöst

HARRINGTON *Kanadische zweizeilige Sommergerste, kanadische Sorte*

Sud 4: normal gelöst

EXCEL *Kanadische sechszeilige Sommergerste, US-amerikanische Sorte*

Sud 5: normal gelöst

Sud 6: unterlöst

Von jedem Malz wurden im Kleinsudwerk (Schüttung 10 kg) zwei Sude hergestellt. Beide Sude wurden im Standardverfahren des Lehrstuhls verbraut, wobei jeweils zum zweiten Sud thermostabile Glucanasen (Utraflo L) beim Einmaischen zugegeben wurden. Der erste Sud wurde ohne (**A**) und der zweite mit (**B**) Enzymzugabe eingebraut. Mit der Sudnummer und dem entsprechenden Buchstaben ergibt sich die Bezeichnung für den jeweiligen Einzelsud. Die Sude wurden bis zur Verkostung analytisch verfolgt, wobei besonderes Augenmerk auf das Läuterverhalten und die Filtrierbarkeit gelegt wurden. Die Filtrationstests wurden mit dem auf Seite 38 beschriebenen Zürcher-Filter durchgeführt. Um eine statistisch abgesicherte Aussage über den Einfluss der Glucanasen zu erhalten, wurden jeweils die sechs Standardsude mit einem T-Test mit den Enzymsuden verglichen und bei einem Signifikanzniveau von 95 % auf Unterschiede getestet. Um den Einfluss der Partikelgrößenverteilung des Schrotes auszuschließen, wurde die Schrotsortierung der Mühle zweifach kontrolliert. Die Ergebnisse können in Anhang Seite 132 eingesehen werden. Die Trübung der Filtrate wurde mit dem aus Seite 46 angegebenen Labortrübungsmessgerät gemessen.

4.3.2.1 Ergebnisse der Malzanalysen

Tabelle 16: Ergebnisse der Malzanalysen

		1A 1B	2A 2B	3A 3B	4A 4B	5A 5B	6A 6B
Malz		**Esterel**	**Scarlett**	**Scarlett**	**Harrington**	**Excel**	**Excel**
Keimdauer	d	6	6	4	6	6	4
Wassergehalt Malz	%	4,7	4,6	4,5	4,1	4,0	4,4
Extrakt ltr.	%	78,2	80,2	79,8	78,6	72,2	76,4
Extrakt wfr.	%	82,1	84,1	83,6	82,0	78,3	79,9
MSD	%	2,1	1,2	3,1	2,2	0,0	2,1
Viskosität (8,6 %)	mPas	1,55	1,48	1,83	1,39	1,40	1,50
Friabilimeterwert	%	90,2	94,2	76,2	99,1	97,0	74,0
Ganz glasige Körner	%	1,7	1,2	0,5	0,0	0,0	0,3
Teilglasige Körner	%	8,1	4,6	23,3	0,9	3,0	25,7
Endvergärungsgrad	%	84,5	83,6	78,4	86,2	85,8	83,5
pH		5,81	5,77	5,8	5,82	5,84	5,94
Eiweiß wfr.	%	9,0	9,4	9,5	8,5	10,4	10,5
löslicher Stickstoff	mg/100 g TrS	728	754	662	774	895	810
Eiweißlösungsgrad	%	50,6	49,9	43,6	57,1	53,7	48,4
Freier Aminostickstoff	mg/100 g TrS	181	182	145	201	222	192
VZ 45 °C	%	40,0	45,3	35,1	53,0	52,0	40,9
β-Glucan	mg/l	173	97	733	82	25	442
β-Glucan (65 °C)	mg/l	393	144	826	261	55	892

Die Malzanalysen zeigen, dass das verwendete 6-Tage-Standardmälzungsverfahren zu eindeutig überlösten Malzen führte. Vor allem die ausländischen Sorten reagieren mit einer starken proteolytischen Überlösung auf das angewendete Mälzungsverfahren. Weiterhin zeigen die kürzer gemälzten Sorten die erwartete zytolytische Unterlösung, überraschen aber mit einer sehr hohen proteolytischen Lösung. Die Messungen wurden auf Grund der untypisch hohen Eiweißlösungen mehrfach wiederholt und über den Vergleich mit einem Standardmalz (EBC – Malz) abgesichert. Auf die Beurteilung des Einflusses von Polysacchariden auf das Läuterverhalten und die Filtrierbarkeit von Bier sollte die proteolytische Überlösung aber keinen Einfluss haben.

4.3.2.2 Ergebnisse der Würzeuntersuchungen

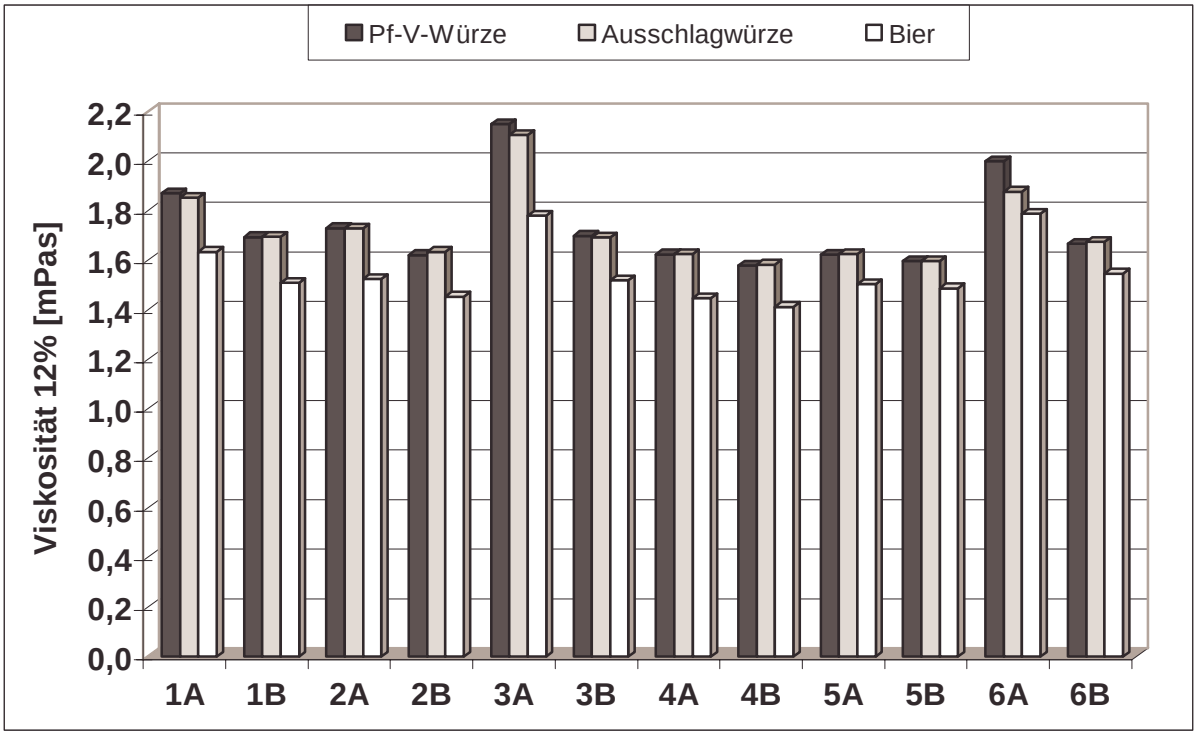


Abbildung 38: Viskositätswerte von Würze und Bier

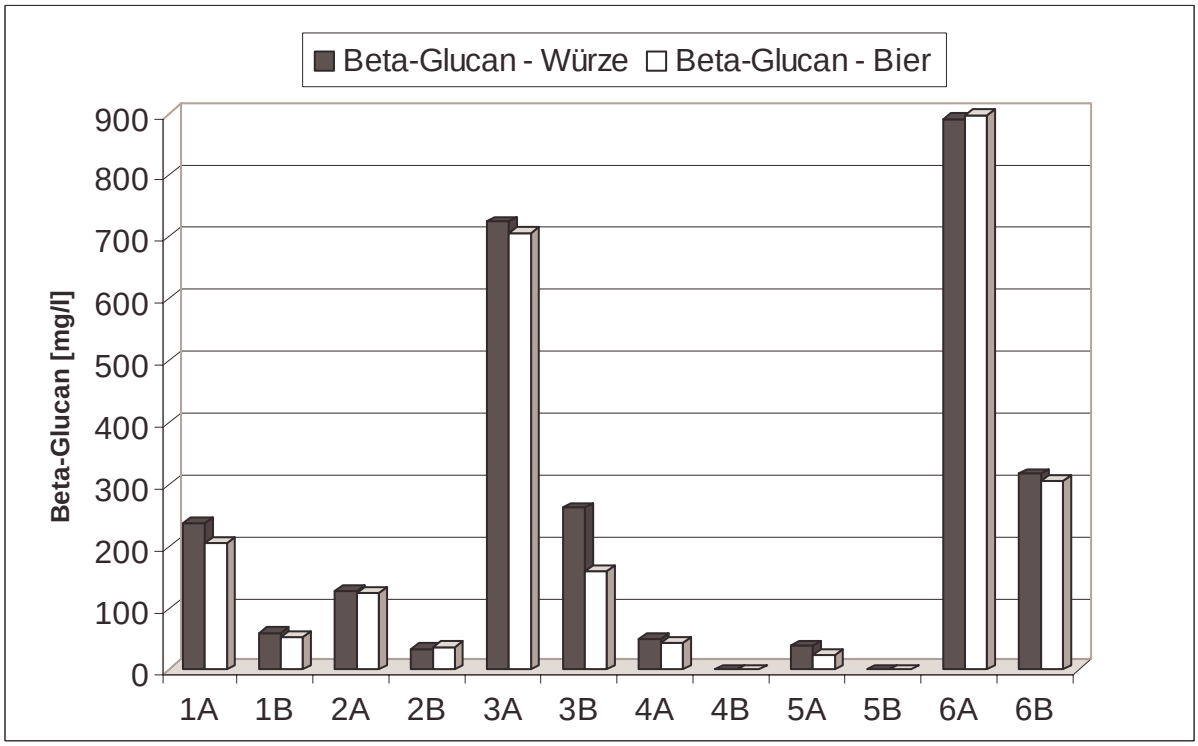


Abbildung 39: β-Glucan-Gehalte von Würze und Bier

Abbildung 38 und Abbildung 39 zeigen die Änderung der Viskosität (bezogen auf 12 °P) und den Abbau der β-Glucane der verschiedenen Würzen und Biere durch den Einsatz der Enzyme deutlich auf. (Analysenwerte siehe Anhang Seite 134, 135) Der t-Test errechnet einen signifikanten Unterschied der Viskosität von Pfanne-Voll-Würze, Ausschlagwürze und Bier. Die mittlere Differenz liegt bei ca. 0,15 mPas, die maximale Differenz bei 0,48 mPas (Sud 3 Pfanne-Voll-Würze). Alle Würzen und Biere zeigen durch den Einsatz der Enzyme eine Abnahme des β-Glucan-Gehaltes. Die stark überlösten Malze (Sud 4 und Sud 5) weisen schon ohne den Einsatz von Enzymen einen sehr niedrigen β-Glucan-Gehalt auf. Der β-Glucan-Gehalt dieser Würzen und Biere sinkt nach Enzymzugabe unter die Nachweisgrenze. Trotz der offensichtlichen Wirkung der Enzyme, lässt sich durch den großen Unterschied in den Malzlösungen nur für ein Signifikanzniveau von 94,5 % ein Unterschied im β-Glucan-Gehalt der beiden Versuchsreihen errechnen. Der mittlere Unterschied liegt bei 234 mg/l der maximale Unterschied bei 576 mg/l.

4.3.2.3 Ergebnisse der Läuterarbeit

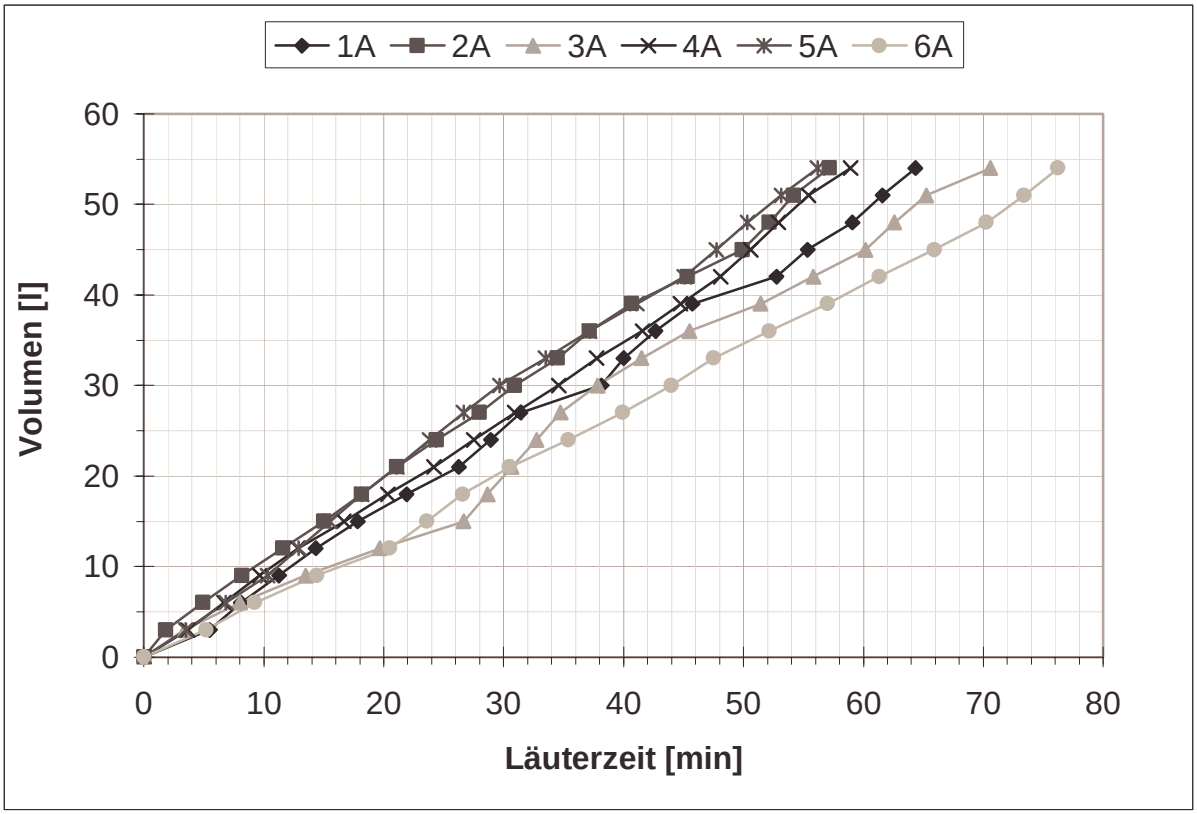


Abbildung 40: Läuterdiagramme der Sude ohne Enzymeinsatz

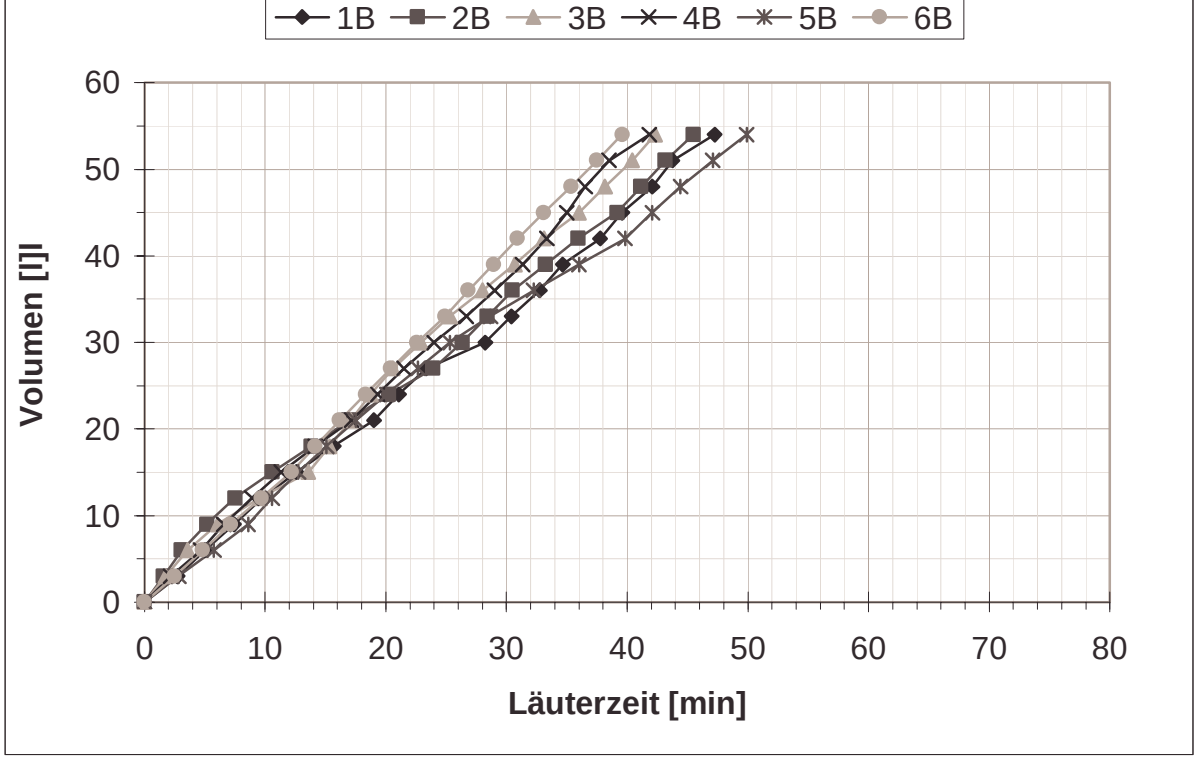


Abbildung 41: Läuterdiagramme der Sude mit Enzymeinsatz

Durch den Enzymeinsatz verkürzen sich die Läuterzeiten von allen sechs Suden (Abbildung 40, Abbildung 41). Der T-Test errechnet einen signifikanten Unterschied in der Läuterzeit der beiden Versuchsreihen. Die minimale Verkürzung der Läuterzeit liegt bei ca. 7 min (11 %) bei gut gelösten Malzen (Sud 5) und für die unterlösten Malze bei über 40 min (fast 50 %).

Der Vergleich aller Malze zeigt, dass die großen Unterschiede in der Läuterzeit der unterschiedlich gelösten Malze durch den Einsatz der Enzyme verringert oder aufgehoben werden. Die Läuterzeiten der Sude mit Enzymeinsatz sind grundsätzlich akzeptabel, d. h., Läuterschwierigkeiten, die durch unterlöstes Malz verursacht werden, sind bei gleicher Schrotfeinheit auf Zellwandpolysaccharide zurückzuführen.

4.3.2.4 Ergebnisse der Filtration

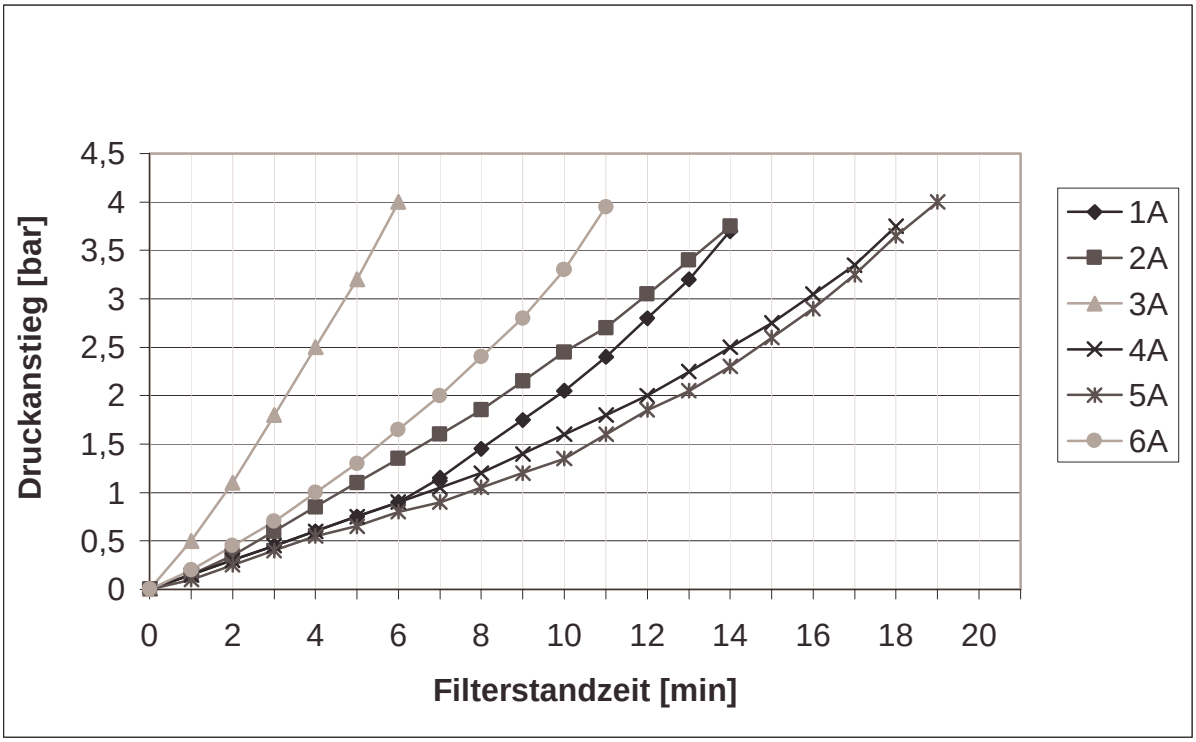


Abbildung 42: Filtrationsverlauf der Sude ohne Enzymeinsatz

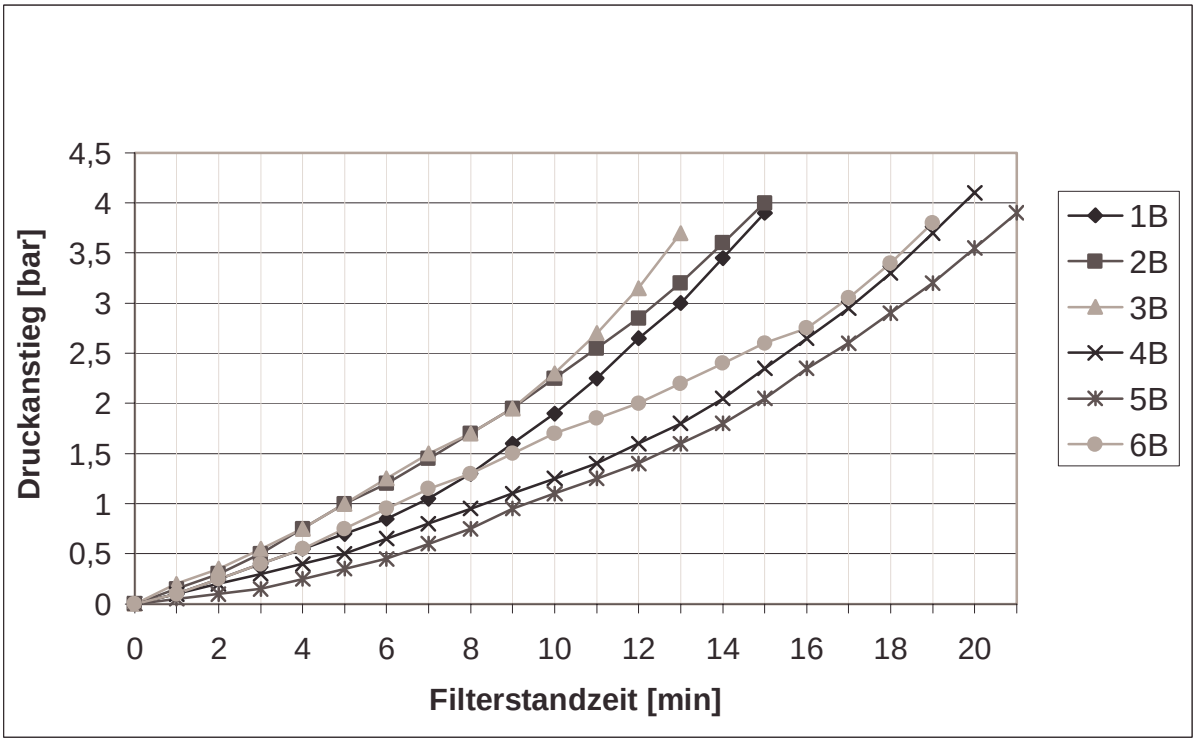


Abbildung 43: Filtrationsverlauf der Sude mit Enzymeinsatz

Der Vergleich der Filtrationskurven der Biere mit (Abbildung 43) und ohne (Abbildung 42) Enzymeinsatz zeigt ein ähnliches Bild wie die Ergebnisse der Läuterversuche. Durch den Einsatz der Enzyme verkürzen sich die Filterstandzeiten und die, durch die Malzlösung bedingten Unterschiede in der Filtrierbarkeit nehmen ab. Der T-Test ergab, dass der Unterschied von durchschnittlich vier Minuten signifikant ist. Auch hier können die Unterschiede auf Zellwandpolysaccharide zurückgeführt werden. Eine Probe (3A) zeigte ohne Enzymeinsatz eine nachweisbare Gelbildung, was in der sehr kurzen Filterstandzeit zum Ausdruck kommt. Die Gelbildung wurde durch den Abbau der Zellwandpolysaccharide verhindert. Die Trübungswerte (Tabelle 17) zeigen keine statistisch nachweisbaren Unterschiede durch den Enzymeinsatz.

Tabelle 17: Ergebnisse der Trübungsmessung

Sudnummer	A1	B1	A2	B2	A3	B3	A4	B4	A5	B5	A6	B6
Trübung [EBC]	1,05	0,75	0,18	0,30	0,19	0,16	0,29	0,46	0,19	0,18	0,18	0,15

4.4 Der Einfluss von Mikroorganismen und mikrobiellen Polysacchariden auf die Filtrierbarkeit von Bier.

Wie im Kapitel Grundlagen bereits erwähnt, besteht seit längerem der Verdacht, dass Kontaminationen der Würze oder der Hefe zu Störungen bei der Filtration führen können. Dabei können auch nicht bierschädliche Kontaminanten eine Rolle spielen. Diese Bakterien sind in der Lage, im Produktionsprozess Schleimkapseln zu bilden, die zum größten Teil aus Polysacchariden bestehen. In den folgenden Versuchsreihen wurde untersucht, ob die beschriebenen Kontaminationen tatsächlich zu Filtrationsstörungen führen. Des Weiteren wurde Bier mit mikrobiellen Polysacchariden versetzt. Deren Einfluss auf die Filtrierbarkeit von Bier in Abhängigkeit der Dosage wurde gemessen und untersucht. Von besonderem Interesse war, ob Wechselwirkungen zwischen Malzpolysacchariden und mikrobiellen Polysacchariden möglich sind.

In einer Versuchsreihe, die z. T. von Pönner[155] durchgeführt wurde, wurden aus einer Brauereiwürze neun Sude mit drei verschiedenen Hefequalitäten vergoren, und nach anschließender Lagerung die Filtrierbarkeit gemessen. Die Hefen wurden mit jeweils

[155] Vgl.: Pönner, D.: Der Einfluss von Polysacchariden auf die Filtrierbarkeit von Bier. Diplomarbeit D 298. Lehrstuhl für Technologie der Brauerei I. März 2000.

10^6 Zellen/ml mit *Gluconobacter frateurii* und *Pantoea agglomerans* vor dem Anstellen kontaminiert.

Tabelle 18: Versuchsbedingungen und Gärdauer von verschieden kontaminierter Hefe

	Nicht kontaminierte Hefe	*Hefe mit Gluconobacter*	*Hefe mit Pantoea*
% tote Hefen	6,2	7,2	5,7
Gärdauer	4 Tage	6 Tage	5 Tage
pH-Werte	4,49	4,62	4,56
Stammwürze [G/V-%]	12,61	12,50	12,89

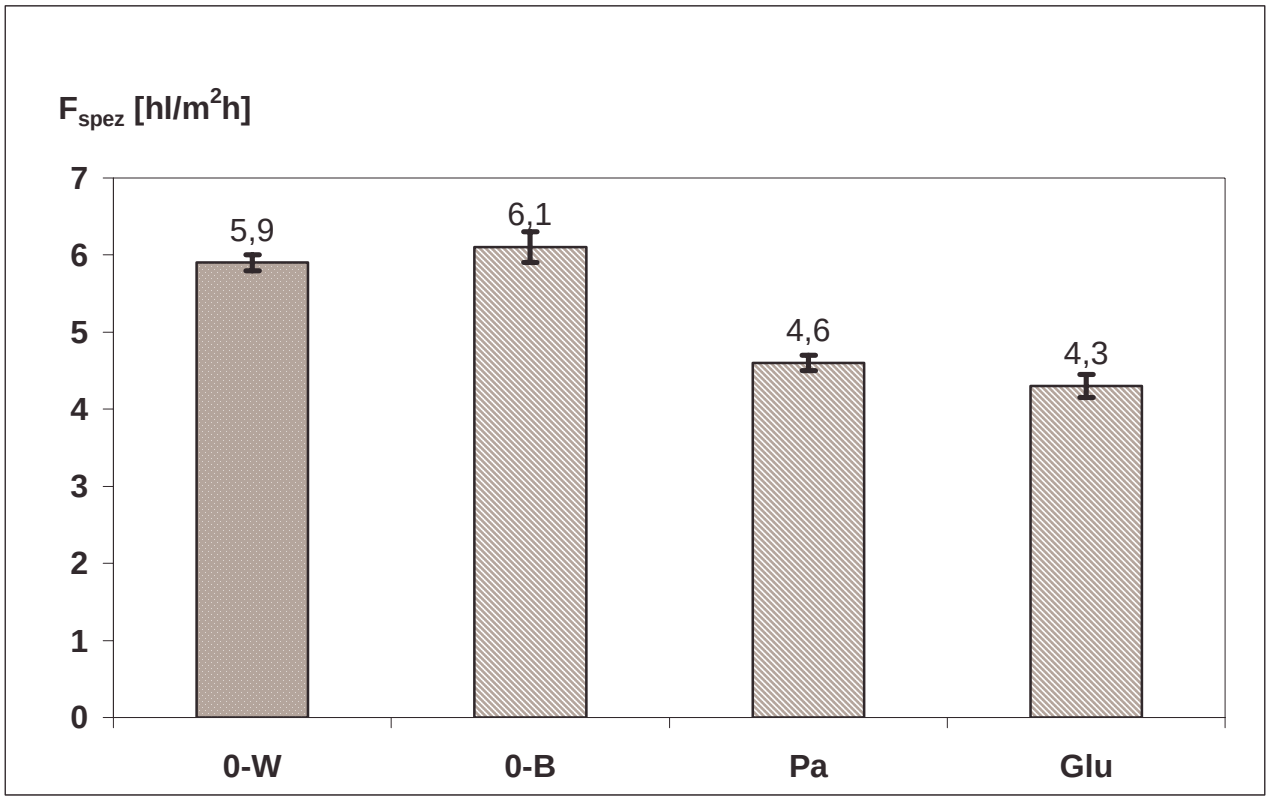


Abbildung 44: F_{spez} von Würze und Bieren vergoren mit verschieden kontaminierten Hefen

0-W Würze (APH)

0-B Bier angestellt mit nicht kontaminierter Hefe

En Bier angestellt mit kontaminierter Hefe (*Pantoea*)

Glu Bier angestellt mit kontaminierter Hefe (*Gluconobacter*)

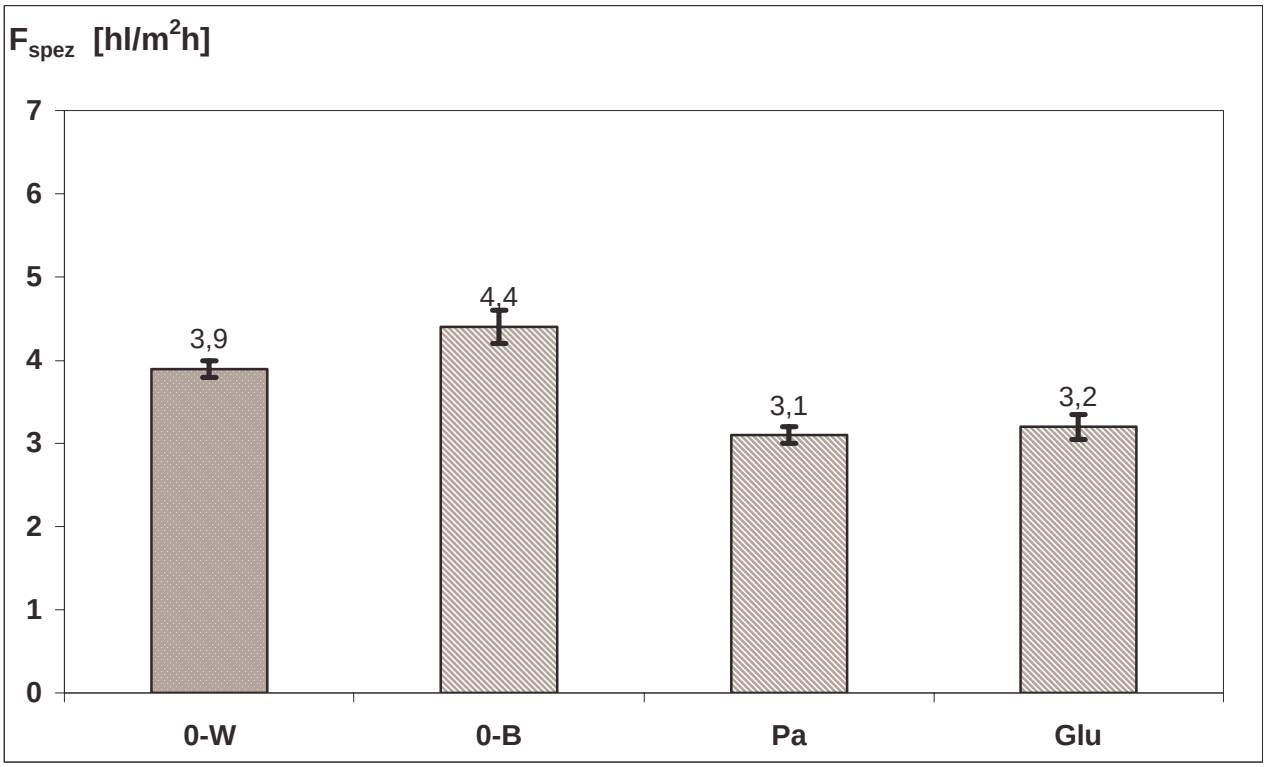


Abbildung 45: F_{spez} verschieden kontaminierte Hefen mit Würze aus schlecht gelöstem Malz

Die Würze aus gut gelöstem Malz (Abbildung 44) war mit einem F_{spez} von 5,9 hl/m^{2}h gut filtrierbar und lies malzseitig keine Filtrierbarkeitsstörungen erwarten. Auch das mit nicht kontaminierter Hefe vergorene Bier zeigte mit einem spezifischen Filtratvolumen von 6,1 hl/m^{2}h die erwartete gute Filtrierbarkeit. Bei den kontaminierten Bieren war eine Abnahme der Filtrierbarkeit zu erkennen. Sie verschlechterten sich von einem gut filtrierbaren Bier zu einem Bier, das bereits als kritisch (4,5 hl/m^{2}h) einzustufen ist. Der Versuch wurde mit einer Würze aus schlecht gelöstem Malz wiederholt (Abbildung 45). Die Würze des schlecht gelösten Malz zeigte mit einem F_{spez} von 3,9 hl/m^{2}h bereits malzseitig Filtrationsprobleme an. Das daraus gewonnene Bier ist als kritisch einzustufen. Die kontaminierten Sude ergaben eine deutliche Abnahme des spezifischen Filtratvolumens auf Werte von 3,1 hl/m^{2}h bzw. 3,2 hl/m^{2}h. Diese Biere gelten bereits als schlecht filtrierbar. Daraus lässt sich erkennen, dass die kontaminierten Hefen das spezifische Filtratvolumen von Bier absenken. In einem weiteren Versuch wurde untersucht, in wieweit die filtrationsverschlechternde Wirkung der Kontaminationen vom β-Glucan-Gehalt des Bieres abhängig ist: Dafür wurden alle Proben, die mit kontaminierte Hefe vergoren wurden, mit Lichenase (β-Glucanase) behandelt und nach einer Einwirkzeit von 48 h erneut auf ihre Filtrierbarkeit getestet.

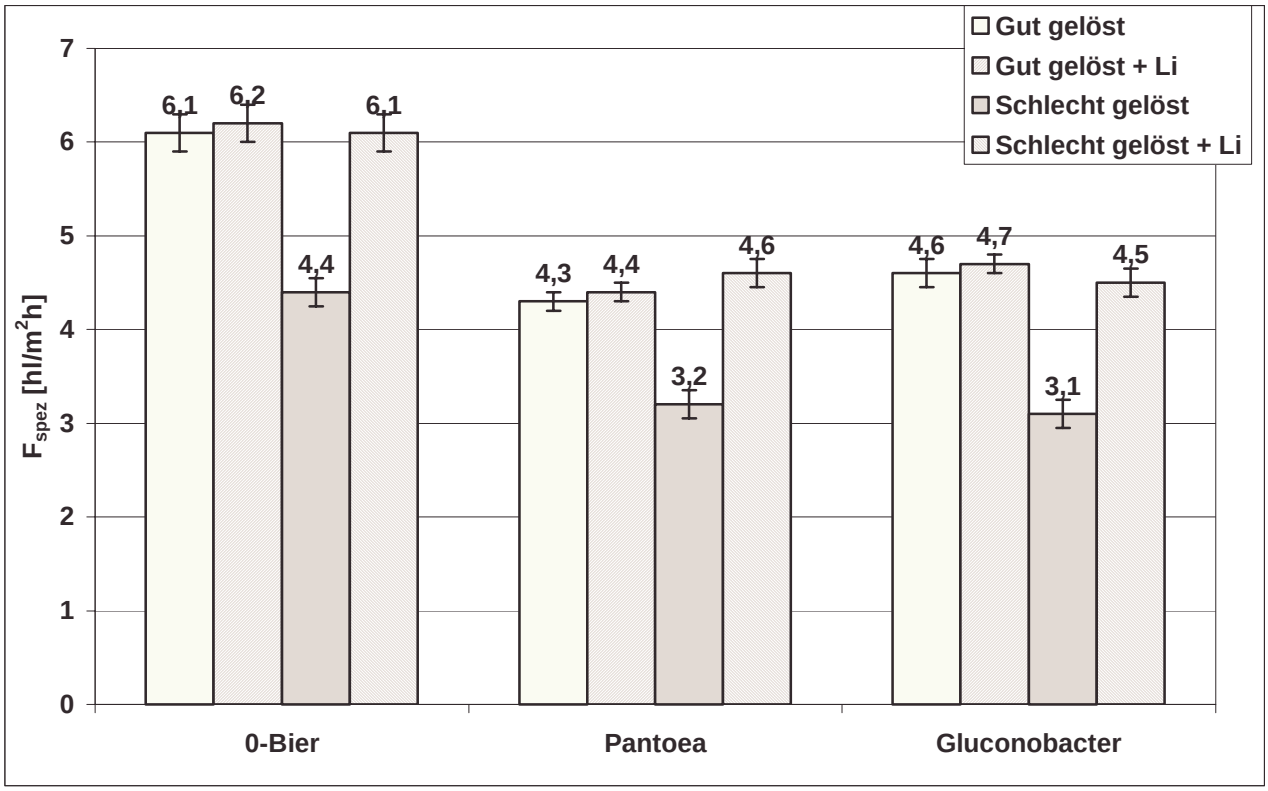


Abbildung 46: Spezifische Filtratvolumen von Bieren vergoren mit kontaminierter Hefe aus gut und schlecht gelöstem Malz mit (Li) und ohne Abbau von β-Glucanen

Die Ergebnisse zeigen (Abbildung 46), dass die Kontaminationen alleine, also bei vollständigem Abbau der β-Glucane, ungefähr den selben negativen Effekt auf die Filtrierbarkeit von Bier haben wie eine Unterlösung des Malzes. In Kombination mit einem unterlösten Malz addieren sich die negativen Effekte, wobei die Wirkung der Kontaminationen unabhängig vom β-Glucan-Gehalt ist.

Nachdem aufgezeigt wurde, dass eine Kontamination durch Bakterien die Filtrierbarkeit verschlechtern kann, wurden in einer weiteren Arbeit von Wagner[156] Biere direkt mit den ab Seite 27 beschriebenen mikrobiellen Polysacchariden versetzt. Die Polysaccharide wurden vorher in Wasser gelöst und in Konzentrationen von 5-50 mg/l dem Bier zugegeben. Nach einer Kaltlagerung von einer Woche bei 0 °C wurde das spezifische Filtratvolumen und die Trübung des Filtrats gemessen.

[156] Vgl.: Wagner, F.: Der Einfluss von mikrobiellen Polysacchariden auf die Filtrierbarkeit von Bier und deren Nachweis aus der Kieselgur. Diplomarbeit D 331. Lehrstuhl für Technologie der Brauerei I. Juni 2001.

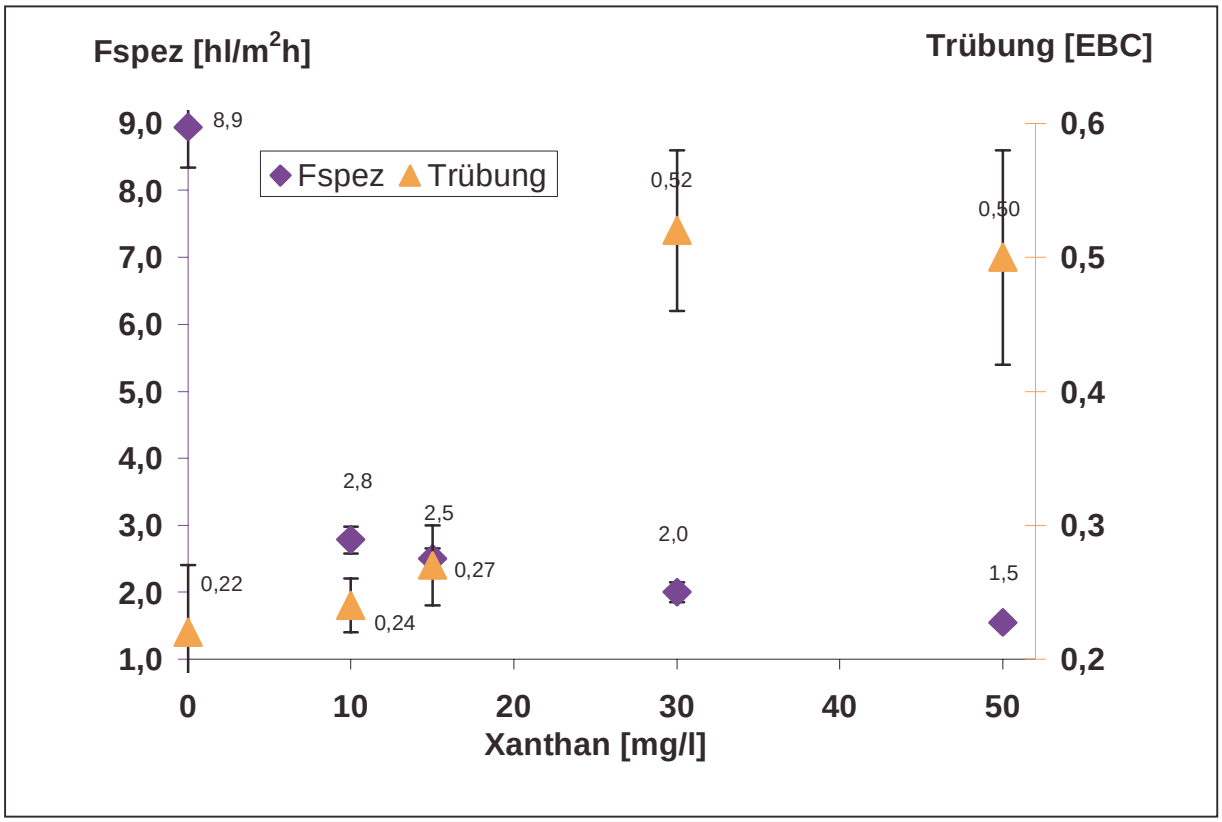


Abbildung 47: Der Einfluss von Xanthan auf das spez. Filtratvolumen von Bier

Abbildung 47 zeigt, dass die Zugabe von 10 mg Xanthan pro Liter Bier das F_{spez} von 8,9 hl/m^{2}h auf 2,8 hl/m^2 h verringert. 30 mg/l Xanthan senken den Wert auf 2,0 hl/m^{2}h, 50 mg/l auf 1,5 hl/m^{2}h. Die Qualität der Filtration verschlechterte sich von gut filtrierbar schon bei einer Zugabe von 10 mg/l auf schlecht filtrierbar und ab ca. 30 mg/l auf unfiltrierbar. Die Trübung stieg ab einer Zugabe von 30 mg/l auf einen Wert von 0,5 EBC und blieb auch bei weiterer Erhöhung der Xanthanzugabe auf diesem Niveau konstant.

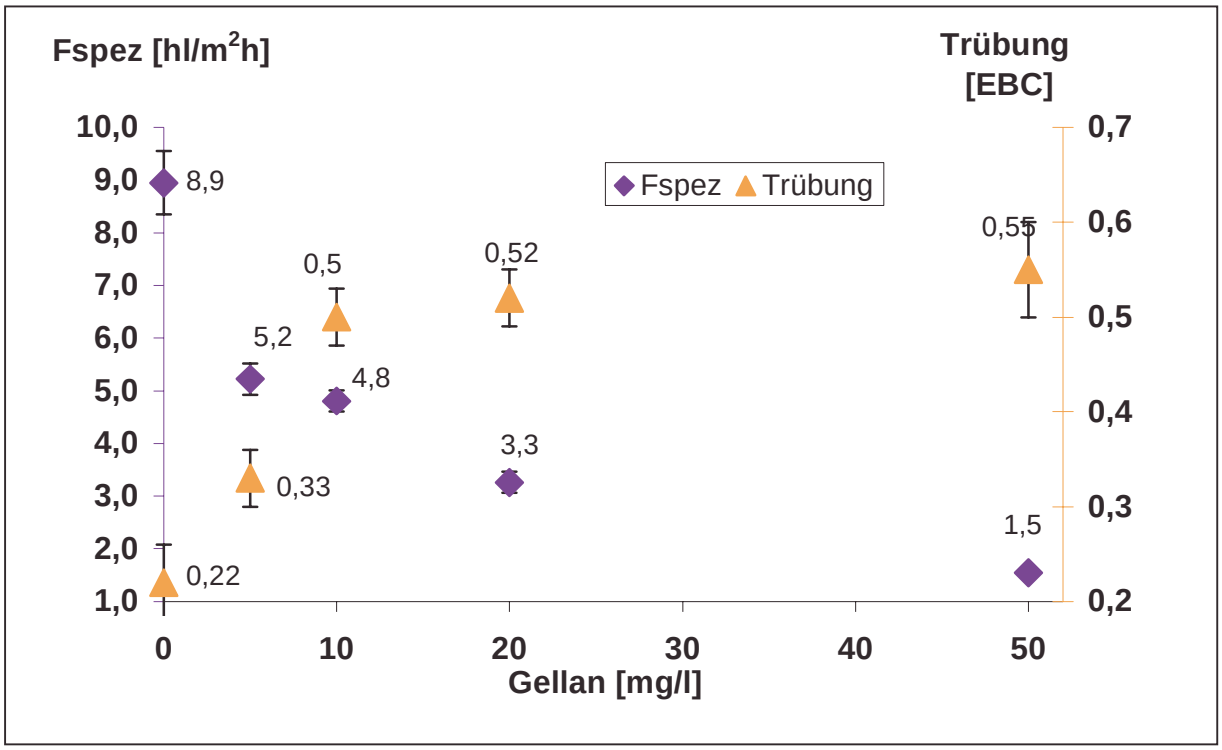


Abbildung 48: Der Einfluss von Gellan auf das spez. Filtratvolumen von Bier

Die Zugabe von Gellan zeigte ein ähnliches Bild wie Xanthan(Abbildung 48). Auch die Zugabe von Gellan verschlechterte die Filtrierbarkeit von Bier bereits bei einer Zugabe von 10 mg/l deutlich, wobei die Abnahme nicht so stark wie bei Xanthan war. Ab einer Zugabe von 20 mg/l war das Bier schlecht filtrierbar. Die Steigerung der Gellanmenge auf 50 mg/l führte zu einem unfiltrierbaren Bier. Die Trübung stieg bereits bei einer Dosage von 10 mg/l auf einen Wert von 0,5 EBC und nahm dann auch bei höheren Gellangaben nicht mehr zu.

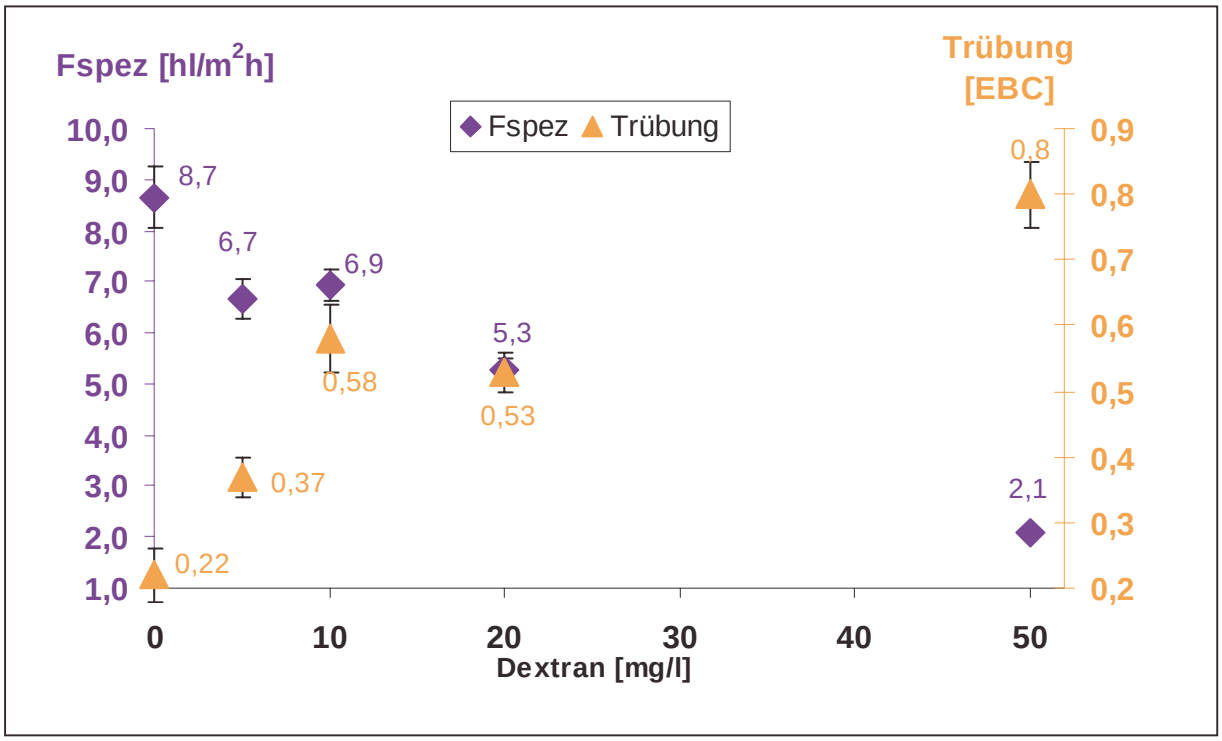


Abbildung 49: Der Einfluss von Dextran auf das spez. Filtratvolumen von Bier

Der Einfluss von Dextran auf das spezifische Filtratvolumen (Abbildung 49) war nicht so ausgeprägt wie der von Xanthan oder Gellan. Die Filtrierbarkeit nimmt mit zunehmender Menge an Dextran ab. Wobei ein Zugabe von 20 mg/l noch ein gut filtrierbares Bier ergibt. Erst die Zugabe von 50 mg/l führte zu einer starken Abnahme des Fspez auf 2,1 hl/m^{2}h und damit zu einem schlecht bis unfiltrierbaren Bier. Die Trübung stieg bereits nach einer Zugabe von 10 mg/l auf ca. 0,5 EBC an und steigerte sich bei 50 mg/l nochmals auf 0,8 EBC.

Nachdem die mikrobiellen Polysaccharide verglichen mit den Malzpolysacchariden wie z. B. β-Glukan (durchschnittlicher Gehalt bei normal gelöstem Malz ca. 100-250 mg/l) in geringeren Konzentrationen (bei Xanthan 5 mg/l) zu einer starken Verschlechterung der Filtrierbarkeit führten, wurde in der nächsten Messreihe überprüft, ob Synergieeffekte mit Bierinhaltstoffen zu dieser Verschlechterung führen. Dafür wurde eine Massenbilanz erstellt. Die Biere wurden mit jeweils 20 mg/l bzw. 30 mg/l Xanthan versetzt und die filtrierbaren Feststoffe mit einer Probe ohne Xanthan-Zugabe verglichen. Dabei wurden die Proben gemäß der Feststoffbestimmungsmethode in Würze[157] über einen Papierfilter filtriert und der Feststoffanteil nach Trocknung bestimmt. Tabelle 19 zeigt die Ergebnisse.

[157] Vgl :: Pfenninger, H (Hrsg.).: Brautechnische Analysenmethoden. Methodensammlung der Mitteleuropäischen Brautechnischen Analysenkommission. Band II, 3. Auflage. Weihenstephan 1993. S. 46.

Tabelle 19: Ergebnisse der Trockenmasseuntersuchung nach der Zugabe von Xanthan

Einwaage Xanthan [mg/0,5 l]	Gewicht Trockensubstanz (Mittel aus drei Versuchen) [mg/0,5 l]
0	51
10	147
15	126

Für den Versuch lässt sich die folgende Massenbilanz aufstellen.

$G_R - G_0 + G_E = X$ (5) mit

G_0 [mg/0,5 l] = Gewicht des Rückstandes der Nullprobe

G_E [mg/0,5 l] = Gewicht der Einwaage

G_R [mg/0,5 l] = Gewicht des Rückstandes nach Einwaage

Das Ergebnis X der Massenbilanz kann in zwei Bereiche eingeteilt werden.

X # 0: Das Polysaccharid erhöht den Filterrückstand maximal um die eingewogene Masse. Ein Einfluss auf andere Bierinhaltstoffe und deren Filtergänigkeit besteht nicht.

X > 0: Das Polysaccharid erhöht den Filterrückstand um mehr als die eingewogene Masse. Ein Einfluss auf andere Bierinhaltstoffe ist gegeben. Das Polysaccharid bindet an Bierinhaltsstoffe die dadurch ihre Filltergänigkeit verlieren.

Die Ergebnisse aus Tabelle 19 eingesetzt in die Gleichung 5 ergaben für die Einwaage von 10 mg/0,5 l ein Wert von 86 mg/0,5l und bei einer Einwaage von 15 mg/0,5 l ein Wert von 60 mg/0,5 l. Daraus lässt sich erkennen, dass die Zugabe von Xanthan zu einer Erhöhung des Gewichts des Filterrückstandes führte, der um das vier bis achtfache größer als die Einwaage war. Das bedeutet, dass sich durch den Zusatz von Xanthan nachträglich Agglomerate mit Bierinhaltstoffen gebildet haben, die den Rückstand auf dem Papierfilter erhöht haben. Dis starke Wirkung von geringen Mengen Xanthan auf die Filtrierbarkeit von Bier lässt sich also auch über Wechselwirkungen mit Bierinhaltsstoffen erklären.

4.5 der Einfluss von Hefepolysacchariden auf die Filtrierbarkeit von Bier

Parallel zu den Versuchen mit kontaminierten Hefen wurde eine Versuchsreihe mit stark scherbeanspruchter Hefe durchgeführt. Dabei wurde ein Teil der Hefe bei 3000 U/min zehn Minuten gerührt. Nach dieser Scherbeanspruchung wurde durch den Methylenblautest ein hoher Anteil an toten Hefezellen festgestellt. Im mikroskopischen Bild waren deformierte, zum Teil auch beschädigte Hefezellen zu erkennen. Diese Hefesuspension wurde mit unbehandelter gärkräftiger Hefe gemischt. Dabei wurde das Verhältnis der beiden Hefesuspensionen so gewählt, dass in der Mischung 10 % tote Zellen mit dem Methylenblautest nachweisbar waren.

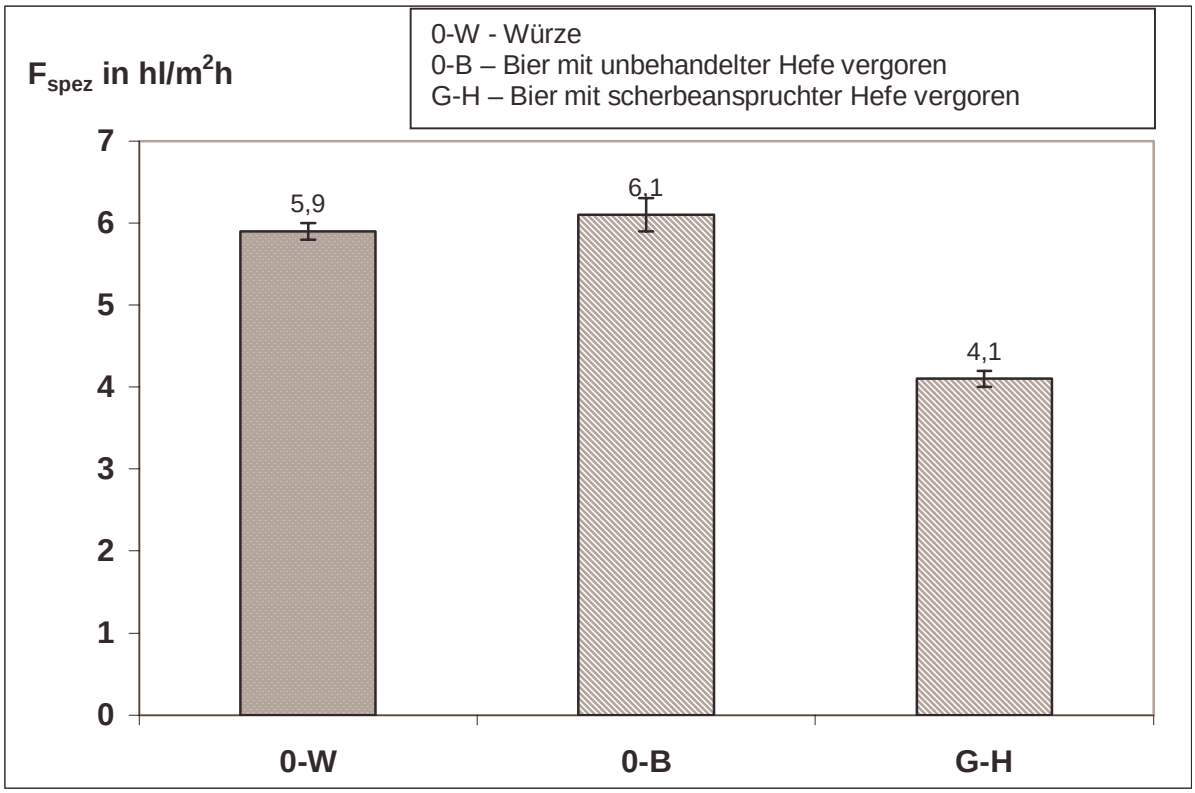


Abbildung 50: Spezifisches Filtratvolumen verschiedener Hefequalitäten von Würze und Bier aus gut gelöstem Malz

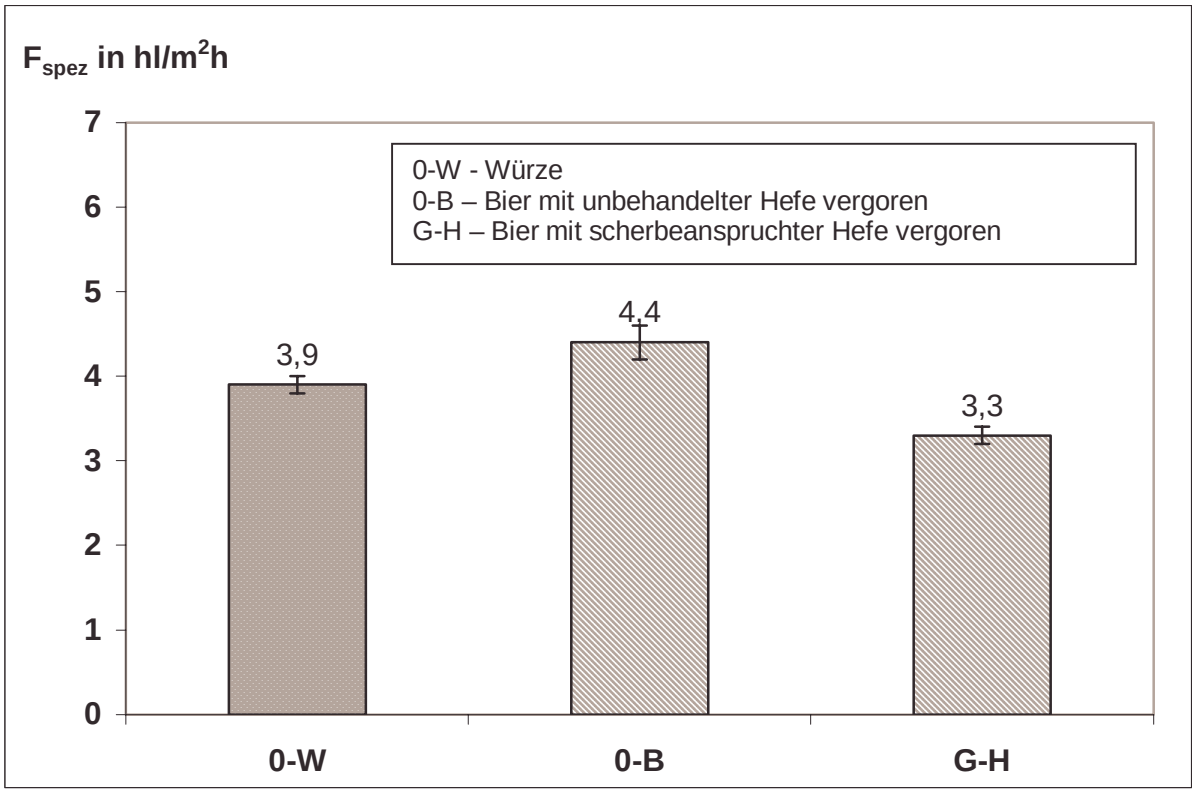


Abbildung 51: Spezifisches Filtratvolumen verschiedener Hefequalitäten von Würze und Bier aus schlecht gelöstem Malz

Die Ergebnisse zeigen, dass sowohl das spezifische Filtratvolumen von einem normalerweise gut filtrierbaren Biere (Abbildung 50) als auch das spezifische Filtratvolumen von einem bereits durch unterlöstes Malz vorbelastetem Bier (Abbildung 51) durch die Scherbeanspruchung der Hefe abnimmt. Um zu klären, ob diese Abnahme. durch die Hefepolysaccharide Mannan oder Glykogen verursacht werden können, wurde parallel zu den Versuchen mit mikrobiellen Polysacchariden eine Versuchsreihe mit Glycogen und Mannan durchgeführt. Dabei wurden die Polysaccharide in aufsteigenden Konzentrationen dem Bier zugesetzt und nach Kaltlagerung die Filtrierbarkeit bestimmt.

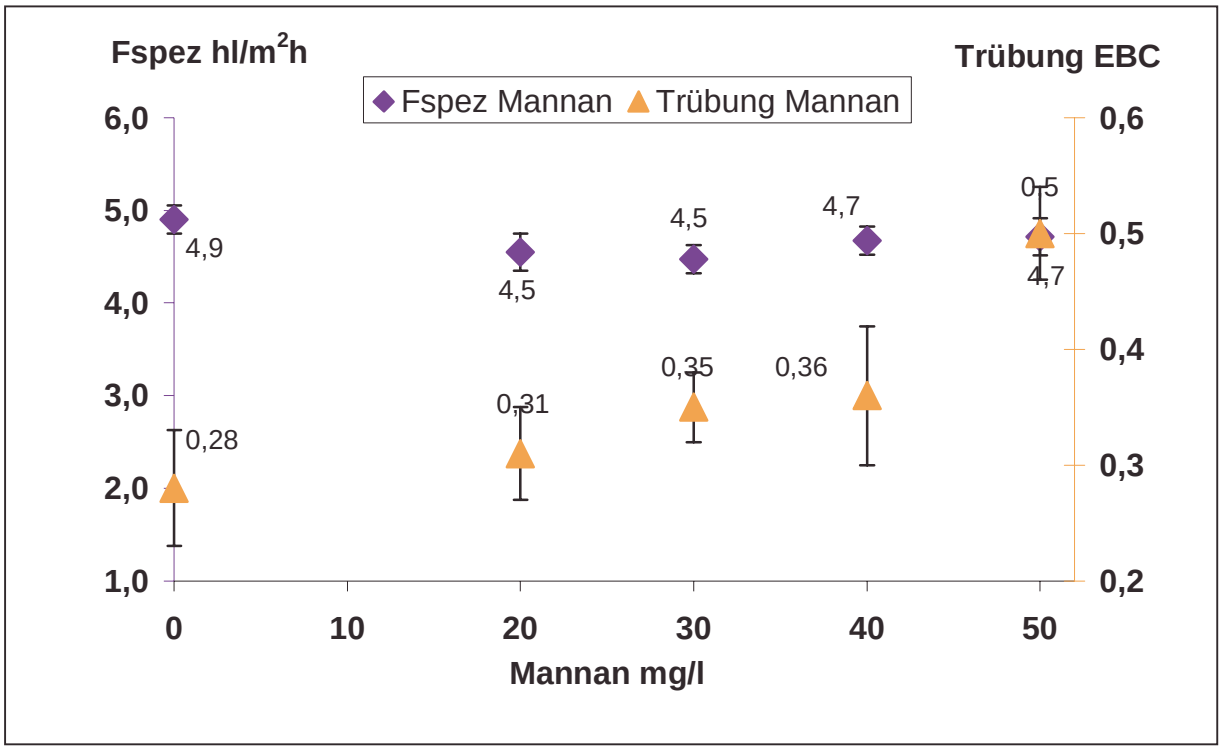


Abbildung 52: Der Einfluss von Mannan auf die Filtrierbarkeit von Bier

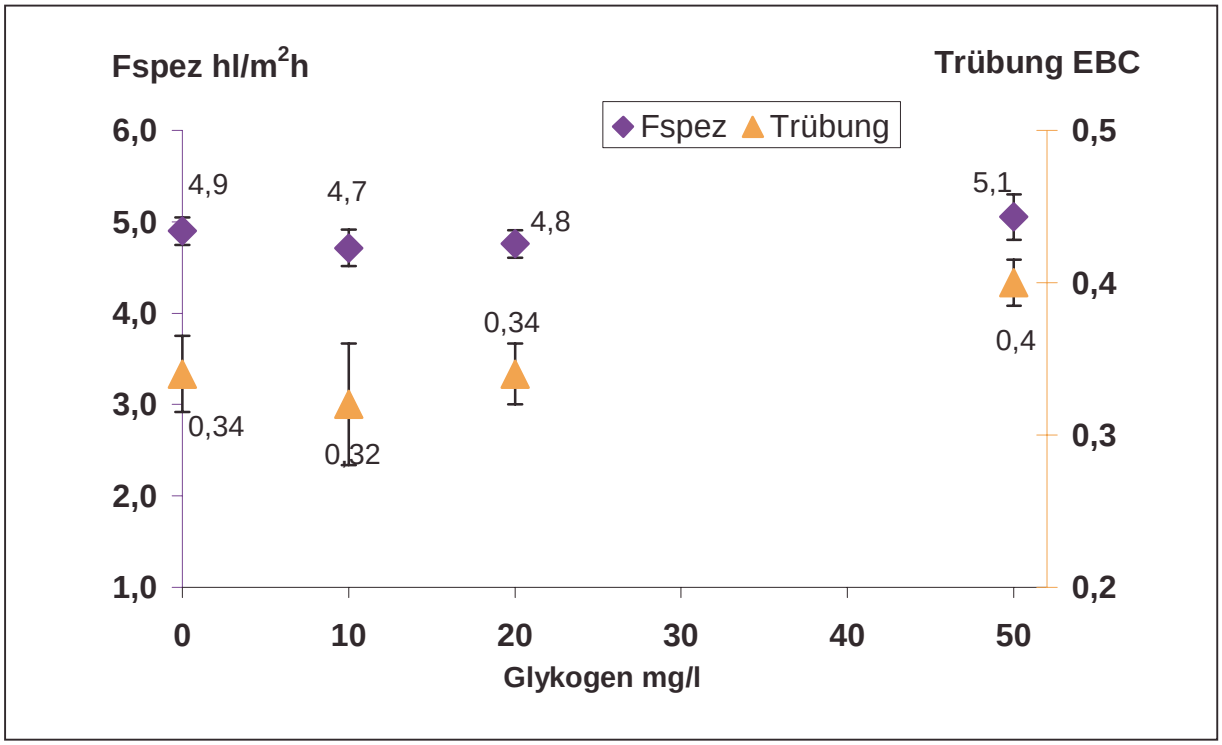


Abbildung 53: Der Einfluss von Glykogen auf die Filtrierbarkeit von Bier

Im Gegensatz zu den mikrobiellen Polysacchariden zeigen die Polysaccharide Mannan (Abbildung 52) und Glykogen (Abbildung 53) keinen Einfluss auf das spezifische Filtratvolumen von Bier. Sie erhöhen in Konzentrationen von 50 mg/l aber

die Trübung des Filtrates. Nach der Veröffentlichung von Malcorps et al.[158] wurde Hefeglykogen als Ursache unfiltrierbarer Trübungen identifiziert. Diese Aussage wurde in einer Versuchsreihe von Spieleder[159] überprüft. Da Glykogen sich analytisch nur sehr schlecht von Amylopektin unterscheiden lässt, wurden die in der Würze vorhandenen α-Glucane mit dem Enzym Diase (Amyloglucosidase) vollständig abgebaut. Der Abbau wurde über das Zuckerspektrum der Würze kontrolliert. Anschließend wurde die enzymatisch behandelte Würze mit zwei verschiedenen Hefestämmen angestellt und bei 13 °C sowie bei 17 °C vergoren. Nach der Filtration wurde die Trübung im Filtrat bestimmt und kontrolliert, ob ein Abbau der Trübung durch einen erneuten Einsatz von Diase möglich war.

Tabelle 20: Veränderung des Zuckerspektrums durch den Zusatz von Diase

	Konzentration der Probe in g/l				
Probenbezeichnung	Fruktose	Glukose	Saccharose	Maltose	Maltotriose
mit Diase	2,06	102,84	3,93	0	0
Ohne Diase	1,84	9,83	3,54	59,76	10,56

Tabelle 21: Abnahme der Filtrattrübung durch Diase in Abhäningkeit des Hefestamms und der Gärungstemperatur

Hefestamm	Gärungstemperatur	Trübung Filtrat 90 ° in EBC	Trübungsabnahme durch Diase in %
Stamm 1	13 °C	0,45	0
Stamm 1	17 °C	0,63	0
Stamm 2	13 °C	0,49	0
Stamm 2	17 °C	0,45	29

Die Ergebnisse der Untersuchung zeigen, dass der Hefestamm 2 trotz vorherigem Abbau der α-Glucane bei einer Gärtemperatur von 17 °C eine Trübungsabnahme durch den Einsatz von Diase zeigt. Dies lässt den Schluss zu, dass während der Gärung α-Glucane von der Hefe an das Bier abgegeben wurden. Weil die Trübung

[158] Vgl.: Malcorps, Ph. et al.: Glycogen released by the yeast as a cause of unfiltrable haze in the beer. Proceedings of the 27th EBC Congress, Cannes 1999. S.831-838.

[159] Vgl.: Spieleder, E.: Der Einfluss der Hefetechnologie auf die Filtrierbarkeit von Bier. Diplomarbeit. Lehrstuhl für Technologie der Brauerei I, Weihenstephan November 2002.

durch Amyloglucosidase abgebaut werden konnte, muss es sich dabei um Glykogen handeln.

4.6 Der Nachweis von Polysacchariden aus der Kieselgur

Nachdem mit der Stufenkontrolle eine Möglichkeit geschaffen war, den Ort der Filtrierbarkeitsprobleme zu identifizieren, sollte mit dem Nachweis von Polysacchariden aus dem Filterkuchen eine weitere Methode zur Aufklärung von Filtrationsschwierigkeiten geschaffen werden. Dabei wurde der Kieselgurkuchen nach der Filtration zur Weiterverarbeitung von dem Drahtgewebe abgehoben. Anschließend wurden die im Kuchen zurückgebliebenen Polysaccharide wieder ausgelöst. Da nur für die β-Glucane eine direkte Bestimmungsmethode zur Verfügung stand, sollten alle anderen Polysaccharide nach saurer Hydrolyse an Hand des entstandenen Zuckerspektrums identifiziert werden. Der Grundgedanke war, dass außer α- und β-Glucanen, die nur aus verschieden glykosidisch verbundenen Glukose-Einheiten bestehen, alle anderen Polysaccharide aus unterschiedlichen Pentosen, Hexosen sowie anderen Substituenten bestehen. Werden die Polysaccharide durch saure Hydrolyse in ihre Einzelbausteine aufgetrennt, müsste für jedes Polysaccharid eine charakteristische Zusammensetzung entstehen. So müsste z. B. durch den Aufschluss von Pentosanen ein erhöhter Gehalt an Arabinose und Xylose nachweisbar sein oder eine Hydrolyse von Mannan einen erhöhten Mannose-Gehalt ergeben.

4.6.1 Der Nachweis von β-Glucan aus dem Filterkuchen

Nachdem das β-Glucan das einzige Polysaccharid ist, das mit vorhandener Analytik ohne Hydrolyse bestimmt werden konnte, wurde von drei verschiedenen Bieren der ß-Glucangehalt des Filterkuchens bestimmt. Bei einem der Biere konnte nach der Methode von Wagner (Seite 41) β-Glucan-Gel festgestellt werden.

Tabelle 22: β-Glucan-Gehalt von Kieselgurkuchen

Probe	Fspez in hl/m^2h	β-Glucan-Gel Unfiltrat in mg/l	β-Glucan-Gehalt Kieselgurkuchen in mg/l	Konfidenzinterval
1	1,4	42	110	18
2	4,4	nicht nachweisbar	18	4,5
3	4,9	nicht nachweisbar	15	5,5

Die Ergebnisse (Tabelle 22) zeigen, dass im Gegensatz zu den Ergebnissen von Eiselt[160] bei allen drei Proben β-Glucan im Kieselgurkuchen nachgewiesen werden konnte. Die Probe, bei der bereits im Unfiltrat β-Glucan-Gel nachgewiesen werden konnte, weist einen sehr viel höheren Wert auf als die Proben, ohne nachweisbaren β-Glucan-Gel-Gehalt im Unfiltrat. Des weiteren konnte im Kieselgurkuchen fast dreimal soviel β-Glucan wie β-Glucan-Gel im Unfiltrat nachgewiesen werden.

4.6.2 Der Nachweis von Polysacchariden aus dem Kieselgurkuchen mittels Hydrolyse

Wie oben beschrieben wurde versucht, über das Zuckerspektrum nach einer saueren Hydrolyse filtrationshemmende Polysaccharide zu identifizieren, um damit Rückschlüsse auf die Polysaccharidquelle ziehen zu können. Leider konnte dieses Vorhaben mit den am Lehrstuhl bestehenden analytischen Möglichkeiten noch nicht zu einem befriedigendem Abschluss gebracht werden. Grundsätzlich konnten zwischen hydrolisierten Extrakten aus Filterkuchen von normalen Unfiltratproben und mit Xanthan versetzten Proben Unterschiede im Zuckerspektrum festgestellt werden. Es gelang aber bisher nicht, die Zucker eindeutig zu identifizieren und diese Ergebnisse reproduzierbar darzustellen.

[160] Vgl.: Eiselt, G.: Untersuchungen über hochmolekulares β-Glucan. Dissertation D 83, Fachbereich 15, Nr. 050. Berlin, 1995. S. 26.

5 Diskussion der Ergebnisse

5.1 Bewertung der Stufenkontrolle für die Filtrierbarkeit von Würze und Bier

Mit der Stufenkontrolle für die Filtrierbarkeit von Würze und Bier wurde ein Instrument entwickelt, mit dem die Veränderung der Filtrierbarkeit über den gesamten Produktionsprozess verfolgt werden konnte. Damit ist es erstmals möglich, zwei für die Erklärung verschiedener Filtrationsstörungen wichtige Parameter zu erfassen. Es wird durch das abschnittsweise Vorgehen berücksichtigt, dass außer dem Malz weitere Quellen filtrationshemmender Substanzen wie Hefe und Bakterien existieren, und dass die vom Malz eingebrachten Polysaccharide während des Produktionsprozesses z. B. durch Scherbeanspruchung strukturelle Veränderungen erfahren können. Die Methode erfasst direkt die Veränderungen der Filtrierbarkeit im Laufe des Produktionsprozesses. Damit lässt sich der Entstehungsort und in Kombination mit z. B. β-Glucan-Gel Messungen auch die Quelle der Filtrationsschwierigkeiten detektieren. Indirekt wird auch der Einfluss von Scherbeanspruchungen auf Würze und Bier gemessen. Obwohl weiterhin keine Quantifizierung der eingebrachten Scherbeanspruchung möglich ist, und eine genaue Bestimmung der Strukturveränderung von z. B. β-Glucan nicht erfolgt, können durch die Stufenkontrolle die Produktionsschritte und damit die Apparate, die für eine erhöhte Scherbeanspruchung verantwortlich sind, identifiziert werden. Des weiteren kann die Frage geklärt werden, welchen Anteil die Malzqualität und welchen Anteil die Brauereitechnologie an Filtrationsstörungen in einer Brauerei haben.

5.1.1 Die Beurteilung des spezifischen Filtratvolumens von Würze und Bier

Die Interpretation des spezifischen Filtratvolumens erfordert es nochmals, auf die bereits auf Seite 44 beschriebenen Eigenschaften dieses Wertes einzugehen. Bei der Bewertung des F_{spez}-Wertes ist zu berücksichtigen, dass das spezifische Filtratvolumen proportional zu $\sqrt{1/t}$ ist. Während der vorliegenden Arbeit wurden in mehreren Brauereien Stufenkontrollen zur Behebung akuter Filtrationsstörungen durchgeführt. Es waren aber nicht alle Brauereien bereit, ihre Filtrationsdiagramme zur Auswertung zur Verfügung zu stellen. So mussten teilweise die mündlichen Mitteilungen über den Erfolg der Filtration für eine Auswertung der Ergebnisse ausreichen. Deswegen beruht die folgende Bewertung des spezifischen Filtratvolumens von Würze und Bier auf der „Erfahrung“ des Autors. Folgende Aussagen können getroffen werden:

- Schwankungen in der Filtrierbarkeit von Bier wirken sich in verschiedenen Brauereien mit verschiedenen Filteranlagen unterschiedlich aus. Ein Grenzwert für eine akzeptable Filtrierbarkeit muss in jeder Brauerei individuell ermittelt werden.
- Eine Einteilung in fünf Kategorien lässt sich mit geschätzten Werten für das spezifische Filtratvolumen aufstellen.

Tabelle 23: Bewertung des spezifischen Filtratvolumens von Bier

Bewertung	**Geschätzter Bereich F_{spez} hl/m²h**	**Beschreibung**
sehr gut	5,5 - 9	Niedriger Druckanstieg. Die Filtration wird nicht durch die Überschreitung des maximalen Anlagendrucks begrenzt.
gut	4,6 – 5,5	Unauffälliger Druckanstieg. Nur in Fällen unterdimensionierter Filteranlagen kann die Überschreitung des maximalen Anlagendrucks die Filtration begrenzen.
kritisch	3,8 – 4,6	Erhöhter Druckanstieg. Geplante Filterstandzeiten werden nicht erreicht. Ohne ausreichenden Kapazitätspuffer muss die Filtration wegen Überschreitung des maximalen Anlagendrucks vorzeitig abgebrochen werden.
schlecht	2,4 –3,8	Die Filtration muss auch bei größerem Kapazitätspuffer wegen des zu schnellen Druckanstiegs vorzeitig abgebrochen werden. Es entstehen Probleme in der Vor- und Nachlaufwirtschaft.
unfiltrierbar	1,2 – 2,4	Der maximalen Analagendruck wird bereits nach 20 % der normalen Filterstandzeit erreicht. In Spitzenausstoßzeiten ist die Lieferfähigkeit der Brauerei gefährdet.

5.1.2 Interpretation der spezifischen Filtratvolumina einer Stufenkontrolle

Die in Abbildung 21 und Tabelle 7 auf Seite 58 dargestellten Ergebnisse der in den Brauereien durchgeführten Stufenkontrollen verglichen mit den im Pilotsudwerk ermittelten Werten (Abbildung 18, Seite 55) zeigen, dass die spezifischen Filtratvolumina für Würzen in den meisten Fällen etwas niedriger ausfallen als die dazugehörigen Bierwerte. Bei einer normalen Entwicklung der Filtrierbarkeit ist also davon auszugehen, dass sich im Verlauf der Produktion, ausgehend von den Würzewerten, das spezifische Filtratvolumen bis zum Unfiltrat etwas verbessert.

Sinkt das spez. Filtratvolumen während der Produktion deutlich ab (Beispiel Brauerei C und Brauerei D), so kann der dafür verantwortliche Produktionsabschnitt identifiziert werden. Es ist möglich, zuerst mit Probennahmen aus drei Produktionsabschnitten (Pfannevollwürze, Anstellwürze, Unfiltrat) eine Orientierung zu erhalten. Zeigt bereits die Pfannevollwürze eine schlechte Filtrierbarkeit (Beispiel Brauerei E), sollte die Malzqualität genauer untersucht werden. Fällt die Filtrierbarkeit von Pfannevollwürze zur Anstellwürze ab (Beispiel Brauerei D), so ist mit starken Scherbeanspruchungen im Sudhaus zu rechnen. Zeigt die Anstellwürze noch eine gute Filtrierbarkeit das Unfiltrat aber eine schlechte (Beispiel Brauerei C), so müssen der Kaltbereich und die Hefewirtschaft genauer untersucht werden.

5.2 Der Einfluss der Malzpolysaccharide auf die Viskosität von Würze

Wie bereits eingehend ab Seite 9 beschrieben, ist das Malz die Haupquelle von Polysacchariden in Würze und Bier. Dabei werden beim Maischen die Zellwandpolysaccharide β-Glucan und Pentosan sowie α-Glucane als Bestandteil der Stärke in verschiedenen Molekulargrößen und Konzentrationen in Lösung gebracht. In einer ersten Versuchsreihe (Abbildung 22 und Abbildung 23) wurde der Einfluss dieser drei Polysaccharide auf die Viskosität der Würze untersucht. Die Ergebnisse lassen folgende Schlussfolgerungen zu.

Der Anteil der Zellwandpolysaccharide an der Gesamtviskosität hängt von der zytolytischen Lösung des Malzes ab, wobei der Anteil der β-Glucane an der Gesamtviskosität mit abnehmender zytolytischer Lösung stärker ansteigt als der der Pentosane. Der Anteil der α-Glucane an der Gesamtviskosität wird von der zytolytischen Lösung kaum beeinflusst.

Die Gerstenpentosane lassen sich nur durch die Kombination der Enzyme Xylanase und α-L-Arabinofuranosidase abbauen. Dies kann einen Hinweis auf ihre Struktur geben. Nach Cleemput et al.[161] kann Pentosan (in diesem Fall Arabinoxylan) nur dann von β-Endo-Xylanase gespalten werden, wenn mindestens fünf unsubstituierte Xylose-Einheiten aufeinander folgen. Nachdem ein Abbau der Viskosität erst nach dem Einsatz von α-L-Arabinofuranosidase (dieses Enzym spaltet Arabinose-

[161] Vgl.: Cleemput et al.: Purification and Characterization of a α-D-Xylosidase and an Endo-Xylanase from Wheat Flour. Plant Physiology 133 (1997) S. 377-386.

Substituenten von dem Xylose-Hauptstrang ab) möglich ist, ist davon auszugehen, dass Gerstenarabinoxylan einen hohen Substitutionsgrad besitzt. Vergleicht man die Ergebnisse dieser Arbeit mit der Arbeit von Kessler[162], der die Viskositätsabnahme in Weizenmalzwürzen mit den gleichen Enzymen untersucht hat, wie sie für die Gerstenmalzwürze verwendet wurden, so können grundlegend verschiedene Verhaltensweisen der Polysaccharide in den Gersten- und Weizenmalzwürzen erkannt werden. Kessler untersuchte 13 Kristallweizenwürzen und konnte bei einer höheren Ausgangsviskosität einen Viskositätsabbau von 13–21 % durch den Einsatz von Endo-Xylanase feststellen, ohne dass ein vorheriger Abbau der Substituenten durch α-L-Arabinofuranosidase stattfand. Der Anteil der β-Glucane an der Viskosität der Kristallweizenwürze lag bei ca. 5 %. Daraus folgt, dass in Gerstenmalzwürzen das β-Glucan die Viskosität dominiert. In Weizenmalzwürzen dominieren Pentosane. Weizenarabinoxylan unterscheidet sich von Gerstenarabinoxylan durch den direkten Abbau durch β-Endo-Xylanase, was auf einen geringeren Substitutionsgrad schließen lässt.

Der Anteil der α-Glucane bleibt unabhängig von der zytolytischen Lösung des Malzes annähernd konstant. Die Verkleisterung der Stärke und die anschließende Verzuckerung ist die Hauptaufgabe des Maischvorgangs und wird durch die Ausrichtung der Rastdauern und Rasttemperaturen dementsprechend betont. Natürlich kann sich die Gewichtung der Viskositätsanteile der Malzpolysaccharide durch eine unzureichende Verzuckerung verschieben, und es kann zu den von z. B. von Schur[163] beschriebenen Fällen von α-Glucan bedingten Filtrationsstörungen kommen. Eine unzureichende Verzuckerung, wie sie von Schur beschrieben wurde, hat aber weitreichendere Konsequenzen als „nur“ Filtrationsprobleme. Durch einen sogenannten „Blausud“ sind nicht nur die Filtration sondern auch die Gärung, Aroma, Geschmack und Stabilität und damit die Qualität des Bieres in Frage gestellt. Auch auf die durch Scherbeanspruchung induzierte Gelbildung haben α-Glucane keinen oder nur einen geringen Einfluss. Dies ergibt sich aus der Betrachtung der Ergebnisse der Scherversuche (Abbildung 30) nach denen die Viskositätszunahme mit 75 – 98 % durch Scherung von Zellwandpolysacharide erklärbar ist. Auch hier

---

[162] Vgl.: Kessler, M.: Untersuchungen zur Filtrierbarkeit von Weizenbieren. Technische Universität München. Lehrstuhl für Technologie der Brauerei I, Diplomarbeit. Weihenstephan, 2002.

[163] Vgl.: Schur, F. et al.: Charakterisierung filtrationshemmender Stoffe. Brauerei Rundschau, Jg. 89, Nr. 8, August 1978, S. 131.

gilt, das bei schwächerer zytolytischer Lösung der Einfluss der Zellwandpolysaccharide auf die Gelbidung steigt. Damit dürfte der Einfluss der α-Glucane auf die Viskosität von Würze und Bier über den Produktionsprozess konstant bleiben und ihr Einfluss auf den Druckanstieg am Filtereinlauf (eine ausreichende Verzuckerung vorrausgesetzt) gering sein. Dagegen haben die α-Glucane auf die Trübung des filtrierten Bieres einen größeren Einfluss.

5.3 Der Einfluss der zytolytischen Lösung von Gerstenmalz auf die Filtrierbarkeit von Würze und Bier

Wie bereits erwähnt geht der Trend in den Brauereien zu kurzen Maischprogrammen mit hohen Einmaischtemperaturen. Dadurch reduzieren sich die enzymatischen Abbauvorgänge in der Brauerei auf die Amylolyse. Somit müssen Zytolyse wie Proteolyse bereits in der Mälzerei bis zu dem von der Brauerei gewünschten Maß vorangetrieben werden. Sacher veröffentlichte die auf Seite 13 beschriebenen Grenzwerte für die zytolytischen Kennzahlen, die dieser Entwicklung Rechnung tragen und zum Teil weit über die bisher geltenden Grenzwerte hinaus gehen. Diese zytolytisch anspruchsvolleren Werte sollen das Risiko der durch Zellwandpolysaccharide verursachten Produktionsstörungen minimieren. Die Ergebnisse der Scherversuche (Abbildung 30) und der Sude mit und ohne Enzymzusatz (Abbildung 40 bis Abbildung 43) zeigten, dass mit abnehmender Zytolyse nicht nur die Viskosität der Würzen und Biere anstiegen (und damit die Läuterzeiten zunahmen bzw. die Filterstandzeiten abnahmen), sondern dass auch das Risiko von Scherbeanspruchungen induzierter Gelbildung mit abnehmender zytolytischer Lösung zunimmt. Die Scherbeanspruchung ist wiederum eine individuelle Brauereigröße, die bisher nicht quantifiziert werden kann. Es wäre also sinnvoll, für jede Brauerei spezifische zytolytische Kennzahlen zu ermitteln. Diese sollten auf einer Auswertung der zytolytischen Malzqualitätsdaten und den daraus resultierenden Läuterzeiten und Filterstandzeiten basieren. Zur Überprüfung der Zytolyse von Malz sollten die Parameter Viskosität der VZ 65 °C, (β-Glucan-Gehalt der VZ 65 °C), Friabilimeterwert sowie bei Handelsmalzen die Homogenität ausreichen. Auch die Messung der Mehl-Schrot-Differenz kann Informationen über den Lösungszustand des Malzes geben. Durch die Differenzmessung zweier Extraktmessungen ist diese Methode aber sehr fehleranfällig. Außerdem ist der durch die Subtraktion zweier Extraktanalysen entstehende Wert im Verhältnis zu den

einzelnen Extraktgehalten sehr klein. Es entsteht also ein „kleiner Wert mit großem Fehler“. Dieser Umstand und die Tatsache, dass von der Analyse im Vergleich mit den oben genannten Analysen keine zusätzliche Information zu erwarten ist, kann zur Bewertung der Zytolyse auf die Mehl-Schrot-Differenz verzichtet werden. Ein weiterer Parameter der z. B. auch vom Bundessortenamt zur Beurteilung des zytolytischen Lösungsverhaltens von neugezüchteten Braugerstensorten herangezogen wird, ist die Viskosität der Kongressmaische. Die Viskositätsmessung ist eine sehr gut reproduzierbare Analyse, die sowohl bei der Messung der VZ 65 °C-Würze als auch bei der Kongresswürze angewandt wird. Kritisch zu sehen ist die Viskosität der Kongresswürze aufgrund des angewandten Kongressmaischprogramms. Bei diesem Maischprogramm wir durch eine halbstündige Rast bei 45 °C der β-Glucan-Abbau durch die malzeigenen β-Glucanasen forciert. Danach wird der für die Lösung von hochmolekularem β-Glucan kritische Temperaturbereich zwischen 65 °C und 68 °C nur innerhalb der Aufheizphase, bei einer Aufheizrate von 1 °C/min, in vier Minuten durchlaufen. Damit beschreibt die Kongresswürze ein praxisfremdes und zu gut bewertetes Bild der Zytolyse. Mögliche Qualitätsmängel und Unterschiede in der Malzqualität werden weniger deutlich aufgezeigt als durch die Viskosität der VZ 65 °C. Das Maischprogramm dieser Analyse verhindert durch die hohe Einmaischtemperatur einen Abbau von β-Glucan durch β-Glucanasen und betont durch die einstündige Rast auf diesem Temperaturniveau die Lösung von hochmolekularem β-Glucan durch die β-Glucansolubilase. Die VZ 65 °C beschreibt somit das zytolytisch ungünstigste Szenario und deckt Qualitätsmängel und Qualitätsunterschiede auf. Die selbe Begründung gilt auch für die Messung des β-Glucan-Gehaltes. Auch bei diesem Analysenwert sind die Werte der VZ 65 °C aussagekräftiger als die der Kongressmaische. Diese Argumentation begründet die bereits angesprochene Empfehlung die Zytolyse grundsätzlich durch die Parameter Friabilimeterwert, Viskosität der VZ 65 °C und Homogenität zu überprüfen. Ergibt sich aus diesen Werte ein zytolytisch knapp oder unterlöstes Malz, kann der Analysenumfang durch den β-Glucan-Gehalt der VZ 65 °C erweitert werden. Ausgehend von den von Sacher geforderten Werten (Friabilimeterwert > 85 %, Viskosität VZ 65 °C < 1,6 mPas (8,6 %) Homogenität > 75 % und β-Glucan-Gehalt VZ 65 °C < 350 mg/l) kann nun in jeder Brauerei individuell ermittelt werden, ob auch eine geringere zytolytische Lösung praktikabel ist. Zu beachten ist, dass die Zytolyse hauptsächlich eine

Produktionsgröße ist. Ihr Einfluss auf die Produktionssicherheit ist groß, ihr Einfluss auf die spätere Bierqualität aber gering.

Vielfach wird eine höhere Viskosität mit einem besseren Schaumhaltbarkeit, einer besseren Vollmundigkeit der Biere und teilweise auch mit einer geringeren Gushing-Neigung des Bieres in Verbindung gebracht. Neuere Forschungsergebnisse[164,165] sowie die im Rahmen der Arbeit von Oberdieck[166] ausgewerteten Ergebnisse können diese Aussagen nicht bestätigen. Es konnten durch den enzymatischen Abbau der β-Glucane zwar signifikant niedrigere Viskositäten in Würze und Bier gemessen werden, ein signifikanter Unterschied in der Schaumhaltbarkeit und bei der Vollmundigkeit der Biere konnte aber nicht festgestellt werden. Damit kann eine Begrenzung der Zytolyse nicht empfohlen werden. Es ist im Gegensatz dazu ratsam sich im Hinblick auf mögliche Scherbeanspruchungen im Brauprozess von der Zytolyse so unabhängig wie möglich zu machen. Die Lösung des Malzes sollte hauptsächlich durch die Eiweißlösung vorgegeben werde. Deren Einfluss auf die Qualität und Stabilität des Bieres ist nachweislich sehr viel größer ist als der Einfluss der Zytolyse.

Die Auswertung der Malzanalysen beweist erneut, dass die Sorte und die Keimzeit einen großen Einfluss auf die zytolytische Lösung des Malzes haben. Nicht alle Sorten, wie z. B. Danuta, sind in der Lage die zytolytischen Anforderungen auch nach sechs Tagen Keimzeit zu erfüllen. Diese Sorten reagieren auf eine Keimzeitverkürzung mit einem starken Rückgang der zytolytischen Lösung und mit einem Anstieg des G-V-Potentials und damit der Gefahr einer Gelbildung. Andere Sorten, wie z. B. Annabell, liefern noch nach einer Reduktion von zwei Keimtagen zumindest teilweise Malze, die die Spezifikation erfüllen würden und die Gefahr der Gelbildung wiederum gemessen über das G-V-Potential zumindest minimieren. Die Notwendigkeit, eine bessere Zytolyse in kürzerer Zeit zu erreichen, wurde von den Züchtern von Braugerste bereits vor längerer Zeit erkannt. Betrachtet man das zytolytische Potential aktueller Neuzüchtungen, wie die Sorten Ursa, Braemar oder Marnie[167], so können diese (bei sonst qualitativ hochwertigerer Malzanalyse) mit dem

---

[164] Vgl.: Potrek, M. und M. Rauschmann. VLB Jahrbuch. http://www.tu-berlin.de/brauwesen/Berichte99/06_99.html.

[165] Vgl.: Lusk et al.: Barley β–Glucan and Foam Stability. Journal ASBC. 59, 2001, S.183-186.

[166] Vgl.: Oberdieck, M.: Untersuchungen zur Wirkung und Wirtschaftlichkeit des Einsatzes von thermostabilen β-Glucanasen in der Brauerei. Diplomarbeit. Weihenstephan 2001.

[167] Vgl.: Kreisz, S, K. Hartmann und W. Back: Mälzungs und Malzqualitätsdaten der Frühvermälzung der Ernte 2002. Brauwelt. Dezember 2002.

zytolytischen Potential von Annabell gut mithalten oder dieses sogar überbieten. Es dürfte nach der Ablösung von Sorten wie z. B. Scarlett, Barke oder Danuta durch Neuzüchtungen in Zukunft kein Problem mehr sein die von Sacher geforderten Lösungseigenschaften auch nach einer Verkürzung der Keimzeit darzustellen. Die Verkürzung der Keimzeit wird dann auch nicht mehr von der Zytolyse begrenzt sondern von Qualitätsparametern wie Extraktgehalt, Ezympotential oder Endvergärungsgrad.

Das G-V-Potential eröffnet die Möglichkeit, zusätzlich zu den bekannten zytolytischen Lösungsmerkmalen, Malz auf sein Gelbildungspotential zu testen. Die Analyse ist aber insgesamt zu aufwendig, um sie in die Routineanalytik aufzunehmen. Obwohl keine lineare Korrelation zwischen den gemessenen Parametern Viskosität VZ 65 °C, β-Glucan-Gehalt VZ 65 °C sowie dem Friabilimeterwert nachgewiesen werden konnte, verhält sich das G-V-Potential im Trend wie die allgemeine zytolytische Lösung des Malzes. Die oben erwähnten Parameter reagieren tendenziell ähnlich auf die Verkürzung der Keimzeit. Abhängig von der Gerstensorte und dem Eiweißgehalt kommt es durch die Keimzeitverkürzung zu einem mehr oder weniger starken Abfall der zytolytischen Parameter, wobei der Friabilimeterwert bereits durch die Verkürzung von einem Keimtag eine deutliche Verringerung der Werte aufzeigt. Die Parameter Viskosität und β-Glucan-Gehalt reagieren nur bei den zytolytische schlecht lösenden Sorten bereits deutlich auf die Verkürzung der Keimzeit um einen Tag. Für gut lösende Sorten konnte zum Teil statistisch kein Unterschied zwischen der Probe mit fünf und der mit sechs Keimtagen nachgewiesen werden.

5.4 Der Einfluss der Scherbeanspruchung auf die Filtrierbarkeit von Würze und Bier

Nachdem in mehreren Arbeiten bereits der Einfluss von Scherbeanspruchungen auf die Maische und die Würze und deren Auswirkungen auf die Viskosität berichtet wurde, konnten in dieser Arbeit verschiedene Aussagen wie folgt bestätigt bzw. erklärt werden.

1. Durch starke Scherbeanspruchung (durch Schubspannungen von ca. 28000 Pascal) erhöht sich die Viskosität von Würze und Bier.

2. Die Viskositätserhöhung wird zum größten Teil durch die Scherbeanspruchung von Zellwandpolysacchariden verursacht und hängt von der Zytolytischen Lösung des Malzes ab.
3. Die Wirkung der Scherung auf die Zellwandpolysaccharide lässt sich mit den angewandten Analysen nicht spontan feststellen. Zwischen Scherung und nachweislicher Viskositätserhöhung muss eine gewisse Zeit, in der die Bildung der Cluster vollzogen werden kann, vergehen. Diese Zeitspanne wurde für die Untersuchungen auf eine Woche bei einer Temperatur von 0 °C festgelegt.
4. Tiefe Temperaturen begünstigen die Bildung der Cluster. Sie kann durch die Behandlung der Würze mit Säure und Ethanol forciert werden.
5. Das intensive Scheren der Maische verlängert die Läuterzeit und erhöht die Viskosität der Würze. Die Verlängerung der Läuterzeit ist vor allem auf eine Verfeinerung der Spelzenbestandteile zurückzuführen. Inwieweit die durch die Scherung verursachte Viskositätserhöhung die Läuterzeit beeinflusst hat, und ob die Viskositätserhöhung durch die Bildung von β-Glucan-Clustern oder durch die Erhöhung des Gesamt-β-Glucan-Gehaltes zustande gekommen ist, konnte nicht abschließend geklärt werden. Auch die Induzierung einer späteren Clusterbildung im Bier konnte nicht bewiesen werden.

In zwei Brauereien mit akuten Filtrationsschwierigkeiten konnte mithilfe der Stufenkontrolle der Ort bzw. der Apparat, der für die schlechte Filtrierbarkeit verantwortlich war, ausgemacht werden. In beiden Fällen waren eindeutig strömungsmechanisch bedenkliche bzw. nicht geeignete Bauteile im Produktionsprozess integriert. Dies können falsch dimensionierte Pumpen oder Doppelkrümmer direkt am Pumpeneinlauf sein. In einem konkreten Fall wurde eine defekte Heißwürzepumpe durch eine nicht richtig dimensionierte Ersatzpumpe ausgewechselt, was zu Kavitation führte. Auch falsch installierte Belüftungseinrichtungen oder Separatoren mit defekten Scheiben können starke Scherbeanspruchungen verursachen. Wie bereits erwähnt, ist bisher keine Quantifizierung der für eine Verschlechterung der Filtrierbarkeit notwendigen Scherbeanspruchung möglich. In dem Zeitraum dieser Arbeit konnte aber keiner Förder-, Belüftungs- oder Separationseinrichtung, die richtig dimensioniert in den Prozess eingebunden war, ein negativer Effekt nachgewiesen werden. Die Schubspannungen die durch normale turbulente Rohrströmungen oder

Rührströmungen verursacht werden liegen nach Werner[168] im Bereich von 20 – 1000 Pa. und damit deutlich unter den Belastungen der Würze- und Maischeversuche. D. h. durch schonende Förderung und Behandlung von Würze und Bier werden Filtrationsstörungen infolge von Scherbeanspruchung vermieden. Einer Beeinträchtigung der Filtrierbarkeit durch Scherung liegt eine offensichtliche, strömungsmechanisch unbedachte Veränderung des Prozesses zu Grunde. Deshalb sollte bei spontan auftretenden Filtrationsschwierigkeiten zusätzlich zu der Überprüfung der Malz- und der Hefequalität eine Prüfung der letzten Änderungen oder Umbauten im Bierbereitungsprozess erfolgen.

5.5 Der Einfluss von mikrobiellen Polysacchariden und Hefepolysacchariden auf die Filtrierbarkeit von Bier.

Die Ergebnisse der Kontaminationsversuche zeigen, dass Bakterien wie *Pantoea agglomerans* oder *Gluconobater frateurii* die Filtrierbarkeit nachhaltig beeinflussen können. Die Dosage verschiedener bakterieller Polysaccharide ergab, dass geringe Konzentrationen von weniger als 50 mg/l dieser Polysaccharide ausreichen, um das spezifische Filtratvolumen oder die Trübung und in manchen Fällen auch beides negativ zu beeinflussen. Es konnte nachgewiesen werden, dass sich die bakteriellen Polysaccharide mit anderen Bierinhaltsstoffen zusammenlagern können und somit zu einem sehr viel größeren Rückstand im Filter führen. Noch können die bakteriellen Polysaccharide nicht direkt aus dem Kieselgurkuchen bestimmt werden. Es ist auch fraglich, ob und unter welchen Bedingungen tatsächlich einzelne Polysaccharide in Lösung gehen. Vergleicht man die Werte des spezifischen Filtratvolumens der Kontaminationsversuche mit der Dosage von Polysacchariden, so würden ca. 5 mg/l von z. B. Xanthan in gelöster Form ausreichen, um den selben negativen Effekt wie eine Kontamination der Hefe zu erzielen. Möglich ist auch, dass die Schleimkapseln der Bakterien selber den Filter verlegen (ohne dass die Polysaccharide dieser Kapseln tatsächlich in Lösung gehen) und zu der nachgewiesenen Absenkung des F_{spez} führen. Ein Einfluss auf das spezifische Filtratvolumen durch die Hefepolysaccharide Mannan und Glykogen konnte nicht nachgewiesen werden. Die Aussagen von Malcorps et. al.[169] über glykogenverursachte Trübungen konnte bei

---

[168] Vgl.: Werner, F.: Rheologie – Seminar. Freising – Weihenstephan (1998), Lehrstuhl für Fluidmechanik und Prozessautomation Kursunterlagen, Vortrag

[169] Vgl.: Malcorps, Ph. et al.: Glycogen released by the yeast as a cause of unfiltrable haze in the beer. Proceedings of the 27th EBC Congress, Cannes 1999. S. 833.

einem Hefestamm und hohen Gärungstemperaturen (17 °C) nachvollzogen werden, wobei die Filtrattrübung im Gegensatz zu der Veröffentlichung von Malcorps et. al. (1,2-2 EBC) sehr viel geringer war. Da aber keine Malz-α-Glukane mehr im Bier vorhanden waren, kann die Trübungsabnahme durch den Einsatz von Diase nur durch die Anwesenheit von Glykogen erklärt werden.

5.6 Der Nachweis von Polysacchariden aus der Kieselgur

Polysaccharide, die während der Filtration im Filterkuchen hängen bleiben, können nach der Filtration wieder aus dem Filterkuchen herausgelöst werden. Die β-Glucan-Analysen belegen, dass auf Grund der Menge der bestimmten Polysaccharide die Ursachen von Störungen der Filtrierbarkeit identifiziert werden können. Leider war der Nachweis von Pentosan und mikrobiellen Polysacchariden während dieser Arbeit nicht mehr möglich. Nachdem der in der Arbeit beschriebene Ansatz nicht zum Erfolg geführt hat, wurde ein neues Konzept ausgearbeitet, welches im Moment umgesetzt wird. Dabei werden der sauren Hydrolyse zwei Aufbereitungsschritte vorgeschaltet. Zuerst werden die Polysaccharide wie beschrieben aus der Kieselgur herausgelöst. Dann wird der Ansatz in zwei Aliquote aufgeteilt. Bei einem Teil werden die Malzpolysaccharide mit spezifischen Enzymen hydrolysiert. Nach einer Eiweißfällung werden beide Ansätze mittels Gel-Permeations-Chromatographie (GPC) präparativ in Größenklassen aufgeteilt und dann, nach saurer Hydrolyse der einzelnen Fraktionen, mit einer neuen und empfindlicheren HPLC-Analyse das Zuckerspektrum bestimmt.

6 Zusammenfassung

Polysaccharide aus Malz, Hefe und Bakterien beeinflussen die Viskosität und die Filtrierbarkeit von Würze und Bier entscheidend, wobei der Einfluss von einzelnen Polysacchariden über den gesamten Produktionsprozess zunehmen kann. Sie lassen sich nach ihrem Ursprung in Malz-, Hefe- und Bakterienpolysaccharide einteilen und können zum Teil in geringen Mengen (< 50 mg/l) sowohl das spezifische Filtratvolumen als auch die Trübung des Filtrats verändern. Sie sind damit einerseits für einen zu schnellen Druckanstieg am Filtereinlauf und andererseits für zu hohe Trübung im Filtrat verantwortlich.

Die Malzpolysaccharide lassen sich nach ihrer strukturellen Aufgabe als auch nach ihrer Wirkung auf die Viskosität und die Filtrierbarkeit in zwei Gruppen einteilen: Einerseits die Zellwandpolysaccharide β-Glucan und Pentosan, deren Aufgabe vor allem eine Stützfunktion der Zellwände ist und deren Einfluss auf die Viskosität und Filtrierbarkeit mit abnehmender Zytolyse des Malzes zunimmt. Andererseits das α-Glucan, das hydrolisiert den Hauptlieferant von vergärbaren Zuckern darstellt und dessen Einfluss auf die Viskosität und die Filtrierbarkeit entscheidend vom Maischverfahren und nicht von der zytolytischen Lösung des Malzes abhängt. Es konnte nachgewiesen werden, dass diese Aufteilung auch für den Einfluss von Scherbeanspruchungen der Würze gilt.

Durch umfangreiche Untersuchungen mit sechs verschiedenen Gerstensorten aus acht verschiedenen Provenienzen konnte der Einfluss der Sorte und der Keimzeit auf die zytolytischen Lösung des Malzes beschrieben werden. Zusätzlich wurde der Einfluss von Scherbeanspruchung auf die Viskosität der Würze, die aus diesen Proben gewonnen wurde, untersucht. Dabei wurde mit dem G-V-Potential eine neue analytische Kennzahl entwickelt, die die Viskositätszunahme durch intensive Scherbeanspruchung beschreibt, und mit der sich das Risiko scherbeanspruchungsbedingter Filtrationsschwierigkeiten abschätzen lässt. Die Ergebnisse zeigen, dass die Viskositätszunahme durch Scherung überwiegend durch die Zellwandpolysaccharide verursacht werden. Sie hängt damit auch von der zytolytischen Lösung des Malzes ab.

Die Scherbeanspruchung von Würze und Bier ist eine je nach Aufbau und Verfahrenstechnik der Brauerei individuelle Größe und derzeit quantitativ nicht erfassbar. Jede Brauerei sollte deshalb eigene Grenzwerte für die Parameter

Viskosität VZ 65 °C, Friabilimeterwert und Homogenität ausgehend von der in dieser Arbeit angegebenen zytolytischen Spezifikation ermitteln. Es ist dabei zu beachten, dass die zytolytische Lösung einen großen Einfluss auf die beiden Filtrationsprozesse Läutern und Bierfiltration und somit auch auf die Produktionskosten hat. Sie spielt für die spätere Bierqualität aber nur eine untergeordnete Rolle. Aus verarbeitungstechnischen Gründen ist es deshalb empfehlenswert, auf eine schonende Förderung von Würze und Bier zu achten, um möglichst unabhängig von der Zytolyse die Qualitätsparameter Eiweißlösung, Extraktgehalt und Endvergärung als entscheidende Größen in den Mittelpunkt stellen zu können. Somit kann auch flexibel auf jahrgangsbedingte Schwankungen in der Rohstoffqualität reagiert werden.

Bakterielle Kontaminationen der Hefe sowie bakterielle Polysaccharide als Reinsubstanz haben einen negativen Einfluss auf die Filtrierbarkeit von Bier. Es konnte sowohl bei der Kontamination von normaler Betriebshefe mit *Gluconobacter frateurii* und *Pantoea agglomerans* sowie durch die Zugabe der bakteriellen Polysaccharide Xanthan, Dextran und Gellan eine Abnahme des spezifischen Filtratvolumens und eine Zunahme der Trübung festgestellt werden. Die starke Wirkung der bakteriellen Polysaccharide auf das spezifische Filtratvolumen konnte am Beispiel von Xanthan über Wechselwirkungen mit Bierinhaltstoffen erklärt werden.

Auch die Hefepolysaccharide Mannan und Glykogen haben einen wenn auch geringeren Einfluss auf die Filtrierbarkeit von Bier. In Versuchen mit scherbeanspruchter Hefe konnte eine Abnahme des spezifischen Filtratvolumens durch gezielte Verschlechterung des Hefezustandes nachgewiesen werden. Die Dosage von bis zu 50 mg/l der oben genannten Hefepolysaccharide zum Bier ergab aber keine Verschlechterung des spezifischen Filtratvolumens sondern einen Anstieg der Trübungswerte. In einer weiteren Versuchsreihe konnte der Einfluss von Glykogen in Abhängigkeit der Gärungstemperatur und des Hefestamms auf die Trübung von Bier bestätigt werden.

Wie bereits erwähnt ist die Filtrierbarkeit nicht durch die aus dem Malz in Lösung gegangenen Polysaccharide mit dem Abläutern oder Kochen der Würze fixiert. Sie kann sich während des gesamten Produktionsprozesses durch starke Scherung von Würze und Bier sowie durch den Einfluss von Hefe und Bakterien im Kaltbereich noch entscheidend verändern. Dabei liegen der Zeitpunkt und Ort des Auftretens der

Schwierigkeiten, nämlich am Filtereinlauf bzw. Filterauslauf, und der Zeitpunkt und der Ort ihrer Entstehung zwangsläufig auseinander. Es war bisher nur unzureichend oder gar nicht möglich, die Quelle und den Ursprungsort der Filtrierbarkeitsstörungen zu identifizieren. Mit der Stufenkontrolle der Filtrierbarkeit von Würze und Bier und einem Konzept zur Identifikation von Polysacchariden aus der Kieselgur ist es mit dieser Arbeit gelungen, die Filtrierbarkeit über den gesamten Produktionsprozess zu verfolgen. Erstmals kann der Einfluss der drei Polysaccharidquellen Malz, Hefe und bakterieller Kontaminationen sowie der Einfluss einzelner technologischer Schritte direkt gemessen werden.

Summary

Polysaccharides from malt, yeast and bacteria do influence the viscosity and the filterability of wort and beer. The intensity of the influence may change in the course of the production process. By combining a filtertest with the measurement of viscosity and turbidity it is possible to describe the individual influence of the different polysaccharide. To detect the origin of filtration problems and to describe the changes in filterability during the production process a step control was developed and prooved in several breweries. Furthermore it is possible to identify filtration repressing polysaccharides after filtration by separating them from the diatomaceous earth. By the hydrolysis of the polysaccharides and the detection of the Monosaccharide with HPLC it is possible to attribute the spectrum of saccharine to the respective polysaccharide.

Literaturverzeichnis

Acker, L. et al.: Handbuch der Lebensmittelanalytik, Band II/2.Teil: Analytik der Lebensmittel, Nachweis und Bestimmung von Lebensmittelinhaltsstoffen. Berlin 1967.

Alexander, R. J. und H. F. Zobel (Hrsg.): Developments in carbohydrate chemistry. St. Paul 1994.

Alistair, S. M. (Hrsg.): Food polysaccharides and their applications. New York 1995.

Annemüller, G. et al.: Der Endo-β-Glucanasegehalt- ein Maß für die cytolytische Kraft des Malzes. Brauwelt Nr. 5/6, 1995, S. 206-210.

Annemüller, G. und T. Schnick: Ein Vorschlag für einen Filtrierbarkeits- und Stabilitäts-Check im unfiltrierten Lagerbier. Brauwelt Nr. 45, 1998, S. 2128-2135.

Annemüller, G.: Über die Filtrierbarkeit des Bieres – Beurteilung und Einfluß der Inhaltstoffe. Monatsschrift für Brauwissenschaft, Heft 2/1991, S. 64-71.

Back, W.: Filtrationsprobleme durch Kontaminationen mit Bakterien. Brauwelt Nr. 7, 1995, S. 270.

Back, W.: Farbatlas und Handbuch der Getränkebiologie, Teil 1: Kultivierung/Methoden Brauerei, Winzerei. Nürnberg 1994.

Bamforth, Ch.: Enzymolysis of ß-glucan. Proc. of the 18th EBC-Congress, Copenhagen 1981, S. 335-346.

Bamforth, Ch.: Does “Solubilase” exist? Brewers Guardian. Vol. 131, Nr. 7, Juli 2002, S. 26-29.

Bamforth, Ch. und M. Kanauchi: A simple model for the cell wall of the starchy endosperm in barley. J. of the Inst. Brew., Volume 107, No. 4, 2001. S. 235-240.

Bartholomè, E. et al. (Hrsg.): Ullmanns Enzyklopädie der technischen Chemie. Band 19. Stichwort: Polysaccharide. 4. Aufl., Weinheim, 1980, S. 246.

Behrens, U. und M. Ringpfeil: Mikrobielle Polysaccharide. Berlin 1964.

Belitz, H.-D. und W. Grosch: Lehrbuch der Lebensmittelchemie. 4. Aufl. Berlin 1992.

Beneke, T. und W. Schwippert: WinSTAT für Excel. http://www.winstat.de.

Berghof, K. und U. Stahl: Verbesserung der Filtrierbarkeit von Bier durch Verwendung von β-Glucanase-aktiver Brauhefen. Bioengeneering Nr.2, 1991, S. 27-32.

Böhm, N. und W. M. Kulicke: Rheological studies of barley (1-3)(1-4)-β-Glucan in concentrated solution: Mechanistic and kinetic investigation of the gel formation. Carbohydrate Research 315, 1999, S. 302-311.

Bühler, T. M. et al.: A model describing the lautering process. Monatsschrift für Brauwissenschaft, Heft 7/8 1996. S. 226-233.

Bushell, M. E.: Progress in industrial microbiology. Vol. 18 der Schriftenreihe Microbial Polysaccharides. Amsterdam, 1983, S. 2.

Cach, N. C. und G. Annemüller: Ein Beitrag über die Pentosane im Prozess der Bierherstellung. Monatsschrift für Brauwissenschaft, Heft 7/8 1995, S. 233-240.

Cleemput, O. et al.: Purification and Characterization of a α-D-Xylosidase and an Endo-Xylanase from Wheat Flour. Plant Physiology 133 (1997) S. 377-386.

Dreier, W.: Dissertation ETH Zürich Nr. 2549. 1957.

Edney, M. J. et al.: Relationship among the β-Glucan contents of barley, malt, malt congress extract and beer. J. Am. Soc. Brew. Chem. 56 (4): 1998. S. 164-168.

Eiselt, G. et al.: Neue Methode der Würzeanalyse zur Vorhersage von Filtrationsproblemen, die durch β-Glucane verursacht werden. Proc. of the 25th EBC-Congress, Brüssel 1995, S. 613.

Eiselt, G.: Untersuchungen über hochmolekulares β-Glucan. Dissertation D 83, Fachbereich 15, Nr. 050. Berlin 1995.

Eisenring, R.: Untersuchung der Filtrierbarkeit und kolloidalen Stabilität von Bier und anderen Getränken. Dissertation ETH Zürich, Nr. 11101, 1995.

Englmann, J. und K. Wasmuht: Praxisorientierte Sudhausaspekte. Brauwelt Nr. 47, 1993, S. 2374-2380.

Esser, K. D.: Zur Messung der Filtrierbarkeit. Monatsschrift für Brauerei 25, Nr. 6, 1972. S. 145-151.

Esslinger, M. und L. Narziß: Über den Einfluss von β- und α-Glucanen auf die Filtrierbarkeit des Bieres. Proc. of the 20th EBC Congress, Helsinki 1985, S. 411-418.

Gasper, H., D. Oechsle und E. Pongratz (Hrsg.):Handbuch der industriellen Fest/Flüssig Filtration. 2. Aufl., Wiley-VCH-Verlag, Düren 1999.

Gracey, D. E. F. und R. L. Barker: A new perspective on the composition of beer hazes. Proc. of the 18th EBC Congress, Copenhagen, 1981, S. 471-478.

Greffin, W.und G. Krauß: Schroten und Läutern. Monatsschrift für Brauerei, Juni 1978. S. 201-203.

Haikara, A. et al.: Lactic starter cultures in malting – a novel solution to gushing problems. Proc. of the 24th EBC Congress, Oslo, 1993, S. 164.

He et al.: Einfluss von Malzqualität und Sudhausparametern auf die β-Glucanstruktur. Brauwelt Nr. 24/25, 1995, S. 1171-1178.

Herrmann, J.: Entwicklung von Messmethoden zur Untersuchung der rheologischen Eigenschaften der Maische. Dissertation, Technische Universität München-Weihenstephan, 2002.

Huber, E.: Die Trübungsmessung: Grundlagen, Anwendung und Grenzen. Sonderuck der Sigrist-Photometer AG. Ennetbürgen, 1997.

Hug, H. und H. Pfenninger: Filtrationsschwierigkeiten – Ursachen und Möglichkeiten zur Behebung. Schweizer Brauerei-Rundschau. Jahrgang 85, Nr. 7, Juli 1974, S. 133-152.

Karlson, P. et al.: Kurzes Lehrbuch der Biochemie für Mediziner und Naturwissenschaftler. 14. Aufl. Stuttgart, 1994.

Kessler, M.: Untersuchungen zur Filtrierbarkeit von Weizenbieren. Technische Universität München. Lehrstuhl für Technologie der Brauerei I, Diplomarbeit. Weihenstephan, 2002.

Kreisz, S., K. Hartmann und W. Back: Mälzungs und Malzqualitätsdaten der Frühvermälzung der Ernte 2002. Brauwelt. Dezember 2002.

Kreisz, S. und W. Back: Neue Aspekte der Filtrierbarkeit von Bier. Proc. of the 27th EBC Congress, Cannes 1999, S. 779-786.

Krüger, E. et al.: Einflussgrößen bei der Bierfiltration. Brauwelt Nr. 50, 1989, S. 2434-2445.

Krüger, E, N. Wagner und K. D. Esser: Analyrik und Bedeutung hochmolekularer β-Glucane im Bier. Brauwissenschaft 41, Nr. 10, S. 384-395.

Kumada, J.: Über die Gummistoffe der Gerste und ihr Verhalten während der Malz- und Bierbereitung. Dissertation, Technische Universität München-Weihenstephan, 1967.

Kunert, M.: Umfrage zum Thema „Auftreten von Gushing". Auswertung: Diplomarbeit D 300, Technische Universität München, Weihenstephan 2000.

Leclercq, G. et al.: Barley and malt pentosan: structure and functionalities in the brewing industry. Proc. of the 27th EBC Congress, Cannes, 1999, S. 429-436.

Leedham, P. A. et al.: Materials and methods of wort production that influence beer filtration. Proc. of the 15th EBC-Congress, Nizza 1975, S. 201-216.

Letters, R. et al.: The complexity of beer ß-glucans. Proc. of the 20th EBC-Congress, Helsinki 1985, S. 395-402.

Letters, R.: Carbohydrate gels. A problem with newer brewing technologies. Proceedings of the convention institute of brewing (central and southern central African section) 1995, S. 120.

Lewis, M. J. und W. M. Poerwantaro: Release of haze material from the cell walls of agitated yeast. Journal of the American Society of Brewing Chemists 1991, Volume 49, Nr. 2, S. 43.

Lindemann, B., et al.: Der Einfluß filtrationshemmender Stoffe auf die Vorhersage der Filtrierbarkeit des Bieres. Teil 2: Einflußfaktoren auf das Ergebnis des Kieselgurfiltertests nach Raible. Monatsschrift für Brauwissenschaft 1991, Heft 11, S. 337.

Lindemann, B.: Bewertung der Kieselgurfiltration von Bier. Dissertation D 83, Fachbereich 13, Nr. 317. Berlin, 1992.

Linemann, A.: Untersuchungen der Struktur-Eigenschafts-Beziehungen von β-Glucan bei der Bierherstellung. Dissertation 83/FB15 Nr. 055, Berlin, 1995.

Litzenburger, K.: Filtrierbarkeit der Biere. Brauwelt 124, Nr.11. 1987. S. 425-433.

Lusk, T. et al.: Barley b–Glucan and Foam Stability. Journal of the American Society of Brewing Chemists. 59, 2001, S. 183-186.

Malcorps, Ph. et al.: Glycogen released by the yeast as a cause of unfiltrable haze in the beer. Proceedings of the 27th EBC Congress, Cannes 1999. S. 831-838.

Narziß, L.: Die Technologie der Malzbereitung, 7. Auflage, Enke Verlag Stuttgart, 1999.

Narziß, L.: Die Technologie der Würzebereitung. 7. Auflage, Enke Verlag Stuttgart, 1992.

Narziß, L.: β-Glucan und Filtrierbarkeit. Brauwelt Nr.37, 1992, S. 1696-1706.

Narziß, L. und W. Back: Abriß der Bierbrauerei. 6. Auflage, Enke Verlag Stuttgart 1995.

Narziß, L.: Über die Filtrierbarkeit des Bieres. Brauwelt Nr. 45 1975, S. 1491-1496.

Narziß, L. und M. J. Edney: Importance of β-Glucan size and concentration in malting. Monatsschrift für Brauwissenschaft, Heft 11/1989. S. 434.

Oberdieck, M.: Untersuchungen zur Wirkung und Wirtschaftlichkeit des Einsatzes von thermostabilen β-Glucanasen in der Brauerei. Diplomarbeit. Weihenstephan, 2001.

Palmer, G. H.: Effect of Mashing Temperatures and Endo-β-Glucanase on β-Glucan Content of Malt Worts. J. Inst. Brew., Vol. 150, No. 4, 1999, S. 233-235.

Pfenninger, H. (Hrsg.): Brautechnische Analysenmethoden. Methodensammlung der MEBAK. Band I. 3. Auflage, Weihenstephan, 1997.

Pfenninger, H (Hrsg.).: Brautechnische Analysenmethoden. Methodensammlung der MEBAK. Band II, 3. Auflage. Weihenstephan 1993.

Phillips, G. et al. (Hrsg.): Gums and stabilisers for the food industry. Proceedings of the 2nd international conference. Oxford, 1983.

Phillips, G. et al. (Hrsg.): Gums and stabilisers for the food industry. Proceedings of the 6th international conference. Oxford, 1992.

Phillips, G. et al. (Hrsg.): Gums and stabilisers for the food industry. Proceedings of the 8th international conference. Oxford, 1993.

Pönner, D.: Der Einfluss von Polysacchariden auf die Filtrierbarkeit von Bier. Diplomarbeit D 298. Lehrstuhl für Technologie der Brauerei I. März 2000.

Potrek, M. und M. Rauschmann. VLB Jahrbuch. http://www.tu-berlin.de/brauwesen/Berichte99/06_99.html.

Precht, M. und R. Kraft: Biostatistik 2. 5. Auflage. Oldenburg Verlag München. S. 19.

Raible, K., Th. Heinrich und K. Niemsch: Eine einfache, neue Methode zur Bewertung der Filtrationseigenschaften von Bier. Monatsschrift für Brauwissenschaft. Heft 2, 1990. S. 60-65.

Raible, K. und H. Bantleon : Über die Filtrationseigenschaften von Bier. Monatsschrift für Brauerei 21, Nr. 10, 1968. S. 277-285.

Reed, R. et al.: Beer filterability – Evaluation and alternative approaches to processing. Proc. of the 19th EBC-Congress, London 1983, S. 225-232.

Reiff, F. et al. (Hrsg.): Die Hefen. Band 1: Die Hefen in der Wissenschaft. Nürnberg 1960.

Rusitzka, P.: Über die Veränderungen der Enzyme während des Schwelkens und Darrens. Dissertation, Technische Universität München, Weihenstephan, 1979.

Sacher, B.: Hohe Einmaischtemperatur - Anforderungen an die Malzqualität. 40. Mälzereitechnische Arbeitstagung. Gräfelfing, Oktober 2001.

Scherz, H. und G. Bonn: Analytical chemistry of carbohydrates: Thieme organic chemistry monograph series. Stuttgart 1998.

Schimpf, F.-W. et al.: Untersuchungen über die Filtrierbarkeit des Bieres. Monatschrift für Brauwissenschaft Nr. 12, Berlin, Dezember 1969, S. 353-361.

Schlegel, H. G.: Allgemeine Mikrobiologie. 7. Aufl. Stuttgart, 1992.

Schur, F.: Bierfiltration und Einflüsse auf die Bierfiltrierbarkeit. Proc. of the 22th EBC Congress, Zürich 1989.

Schur, F. et al.: Charakterisierung filtrationshemmender Stoffe. Brauerei Rundschau, Jg. 89, Nr. 8, 1978.

Schwill-Miedaner, A. und H. Miedaner: Die Viskosität – ihr Informationswert im Rahmen der Sudhausarbeit. Brauwelt, Nr 13/14, 1999. S. 593.

Siebert, K. J. et al.: Assesment of filterability of beer and wort. MBAA Technical Quaterly 21, Nr. 3, 1984. S. 112-123.

Siebert, K. J. et al.: Characterisation of amorphus-particle haze. Journal of the American Society of Brewing Chemists, 1981, Volume 39, Nr. 1, S. 1.

Siebert, K. J. et al.: Filtration difficulties resulting from damage to yeast during centrifugation. MBAA Technical Quarterly 1987, Vol. 24, S. 1.

Thausing, J.: Malzbereitung und Bierfabrikation. Leipzig, 1877.

Uhlig, K. und S. Vasquez: Zur Messung des Schereffektes während des Maischens. Brauwelt Nr. 10, 1991. S. 326-328.

Wagner, N.: β-Glucan in Bier und Bedeutung dieser Stoffgruppe für die Bierfiltration. Dissertation Berlin 1990. FB 13, Nr. 288.

Wagner, N.: Bedeutung von β-Glucan-Gel für die Filtrierbarkeit von Bier. Brauwelt Nr. 12. 1991. S. 426-434.

Wagner, F.: Der Einfluss von mikrobiellen Polysacchariden auf die Filtrierbarkeit von Bier und deren Nachweis aus der Kieselgur. Diplomarbeit D 331. Lehrstuhl für Technologie der Brauerei I. Juni 2001.

Walker, M. D. et al.: The influence of malt-derived bacteria on the haze and filterability of wort and beer. Proc. of the 26th EBC Congress, Maastricht 1997

Webster, R. D. J. und S. W. Malzahn: The influence of beer quality on filtration performance. Proc. of the 19th EBC-Congress, London 1983, S. 233-240.

Werner, F.: Rheologie – Seminar. Freising – Weihenstephan (1998), Lehrstuhl für Fluidmechanik und Prozessautomation Kursunterlagen, Vortrag

Whistler, R. L. und J. N. BeMiller (Hrsg.): Industrial Gums: Polysaccharides and their derivatives. 3. Aufl. London, 1993, S. 373.

Wood P. J.: Cereal β-Glucans: Structure, Properties and Health Claim. In Advanced Dietary Fibre technology. Hrsg.: B. V. McCleary and L. Prosky. Blackwell Science. S. 317.

Wood, P. J.: Physicochemical and technilogical and nutritional significance of cereal ß-glucans. In: Cereal polysaccharides in technology and nutrition. Hrsg.: V. F. Rasper. The american association of cereal chemists. St. Paul, 1984. S. 45.

Yin, X. S. und A. W. Mc Gregor: Substrate specificity and nature of action of barley β-Glucan solubilase. J. Inst. Brew., No. 95, 1989. S. 105-109.

Zürcher, Ch. et al.: Vorhersage der Filtrierbarkeit von Bier. In: Monatsschrift für Brauerei 1972, S. 178-186.

Anhang

Bierbereitung im Klein bzw. Pilotsudwerk (1,5 bzw. 10 kg Schüttung)

Sudprotokoll

Sudnummer:

Datum: **Biersieder:**

Biersorte: *Helles Vollbier*

Schüttung: *10 kg (1,5 kg)* Malzsorte:

Schrotsortierung bestimmen, um Reproduzierbarkeit beim Schroten mit Zweiwalzenmühle zu gewährleisten.

Gesamtwassermenge: *75 l*

Hauptguß: *40 l*

Nachgüsse: *35 l* (1. *20 l*; 2. *15 l*)

Würzegewinnung am Kleinsudwerk des Lehrstuhls

1. Maischarbeit

Vorlegen von Einmaischwasser (*52 °C*)

Einmaischen bei *52 °C* Zeit:

Eiweißrast bei ***52 °C*** (*30 min.*) Zeit:

Aufheizen auf *62 °C* (*1 °C/ min.*) Zeit:

Maltoserast bei ***62 °C*** (*30 min.*) Zeit:

Aufheizen auf *72* °C (*1 °C/ min.*) Zeit:

Verzuckerungsrast bei ***72 °C*** (*30 min.*) Zeit:

Verzuckerungszeit (Jodnormalität) min.

Aufheizen auf *78* °C (*1 °C/ min.*) Zeit:

Abmaischrast bei ***78 °C*** (*10 min.*) Zeit:

2. Läuterarbeit

vorgelegte Wassermenge im Läuterbottich 1 l

Abmaischen Zeit:

Trubrast (*10 min.*) Zeit:

Trubwürzemenge (Vorschießen) 3 l

Abläutern der Vorderwürze Zeit:

Vorderwürze:

Menge (fixes Volumen in Probeversuch festzustellen) Const. l

Stammwürze %-mas.

pH-Wert

Viskosität (Kugelfallviskosimeter) mPas

Tiefschnitt vor Anschwänzen

1. Nachguß (15 l) Zeit:

2. Nachguß (10 l) Zeit:

Aufhacken vermeiden. Nur bei dringendem Bedarf!!

Läuterzeit Zeit:

Läuterdiagramm: Stammwürzeverlauf, Druckverlauf

Pfanne-voll-Würze:

Menge (fixes Volumen in Probeversuch festzustellen) Const. l

Stammwürze %-mas.

pH-Wert

Viskosität mPas

Glattwasser:

Menge l

Stammwürze %-mas.

Sudhausausbeuteberechnung über Treberanalyse:

Auswaschbarer Extrakt ($E_{ausw.}$)

Aufschließbarer Extrakt ($E_{aufschl.}$)

Gesamtextrakt der Trebertrockensubstanz: $GE = E_{ausw.} + E_{aufschl.}$

Berechnung des aus 100 kg Malz in den Trebern zurückbleibenden Extraktes mit entsprechender Formel (DIN 8777)

3. Würzekochung

Aufheizen auf *100 °C* (*1 °C/ min.*) Zeit:

Würzekochung bei ***100 °C*** (≈ *90 min.*) Zeit:

Kochung bis Erreichen der gewünschten Stammwürze von **12 %-mas.**

Hopfengabe

Bittereinheiten SOLL *22 BE*

α-Säure SOLL *66 mg/l*

1. Hopfengabe, g, 90 min. kochen

2. Hopfengabe, g, 15 min. kochen

Ausschlagen in **Whirlpool** Zeit:

Heißtrub vermeiden. Trubkegel! **fixe Menge anstellen**

Whirlpoolrast (*20 min.*) Zeit:

Ausschlagwürze:

Stammwürze (11,5 -) **12,0** %-mas.

Menge l

pH-Wert

Freier Aminostickstoff (FAN) mg/100 ml

Koagulierbarer Stickstoff (Koag-N) mg/100 ml

Extrakt %-mas.

Endvergärungsgrad (scheinbar, $V_{s,end}$) Gem.-% (mg/100 ml)

Jodwert (photometrisch)

β-Glucan mg/l

Viskosität mPas

Filtrierbarkeit: Einstellen auf einen Alkoholgehalt von 5 %-vol. und pH-Wert von 4,5; mind. 7d bei 0 °C; filtrieren

4. Würzekühlung

Kühlung Zeit:

5. Anstellen

Belüftung mg/l

Hefestamm (UG, Hefe von gleicher Vitalität) W 3470

Menge (15×10^6 Zellen/ ml Würze) 5 ml dickbreiige Hefe/l Würze

= ml

Anstelltemperatur 8 °C

6. Gärung und Lagerung

Stammwürzeverlauf und Temperaturverlauf versus Zeit

Hauptgärung: 8 °C; Spundung auf einen CO_2-Gehalt von 5 g/l

Warmreifung: 1 d, 22 °C; je 1 d bei 6 °C und 4 °C; Lagerung: 24 d, 0°C

Zwickelbier:

β-Glucan-Gel (1 Probeflasche)

Filtrierbarkeit (3 Probeflaschen)

Malzanalyse (Versuch Filtertest)

Sorte Scarlett

Wassergehalt Malz	%	4,3
Extrakt Malz	%, lftr.	79,4
Extrakt Malz TrS.	%, wfr.	83,0
Mehl-Schrot-Differenz	%	2,6
Viskosität (8,6 %)	mPas	1,56
Friabilimeter Mürbigkeit	%	78,8
Ganzglasigkeit	%	0,6
Teilglasigkeit	%	20,6
Verzuckerungszeit	min.	10
Endvergärungsgrad	%, schb.	81,5
Ablauf	klar/opal	Klar
Farbe Fotometer	EBC	2,6
Kochfarbe Fotometer	EBC	5,8
pH-Wert		5,89
Rohprotein Malz	%, wfr.	10,5
Löslicher Stickstoff Malz TrS.	mg/100g Malz-TrS.	666
Eiweiss-Lösungsgrad	%	39,6
Freier Amino-Stickstoff TrS.	mg/100g Malz TrS.	133
VZ 45 °C	%	33,5
Alpha-Amylase	ASBC, wfr.	55
DMS-Vorläufer	ppm, lftr.	8,7
Viskosität (8,6 %) 65 °C	mPas	1,76
β-Glucan	mg/l	316
β_Glucan 65 °C	mg/l	769

Einfluss der Malzpolysaccharide auf die Viskosität von Würze

VZ 65		KM Nummer	0-Probe 8,6 %	Xy + Ara	Xy	Li	Amy
Annabell	Wörrstadt	123/1	1,458	1,419	1,448	1,421	1,343
Annabell	Nossen	187/1	1,5			1,449	1,390
Annabell	Dachwig	201/1	1,452	1,419	1,451	1,430	1,343
Danuta	Wörrstadt	127/1	1,611	1,516	1,603	1,409	1,477
Danuta	Nossen	191/1	1,583	1,486	1,581	1,387	1,456
Danuta	Dachwig	205/1	1,458	1,426	1,455	1,395	1,349

62 °C / 72 °C 30´

		KM Nummer	0-Probe 8,6 %	Xy + Ara	Xy	Li	Diase
Annabell	Wörrstadt	123/1	1,466	1,423	1,452	1,428	1,371
Annabell	Nossen	187/1	1,465			1,443	1,372
Annabell	Dachwig	201/1	1,465	1,425	1,456	1,434	
Danuta	Wörrstadt	274/2	1,469	1,414	1,463	1,425	1,381
Danuta	Nossen	298/2	1,559	1,430	1,543	1,401	1,44
Danuta	Dachwig	340/2	1,578	1,445	1,569	1,403	1,46

Analysendaten der Malzuntersuchungen

Sorte	Standort	Keimzeit	Friabilimeter %	Visk 65 °C	β-Glucan 65 °C	Visk 65 °C APH	Viskt 65 °C APH geschert
Alexis	Wörrstadt	4	78,6	1,751	556	2,205	2,636
Alexis	Nossen	4	61,2	1,768	664	2,167	2,607
Alexis	Dachwig	4	93,3	1,564	387	2,025	2,180
Alexis	Hartenhof	4	92,9	1,745	639	2,152	2,433
Alexis	Heimbach	4	83,9	1,764	579	2,204	2,528
Alexis	Gießen	4	76,9	1,675	608	2,129	2,408
Alexis	Döggingen	4	76,9	1,786	766	2,152	2,445
Alexis	Rethmar	4	68,9	1,698	824	2,496	2,585
Alexis	Wörrstadt	5	83,9	1,583	385	2,037	2,234
Alexis	Nossen	5	72,1	1,606	724	2,067	2,374
Alexis	Dachwig	5	95,3	1,485	212	1,944	2,041
Alexis	Hartenhof	5	97,2	1,460	149	2,032	2,176
Alexis	Heimbach	5	94,4	1,568	289	1,907	2,015
Alexis	Gießen	5	83,4	1,549	491	2,038	2,251
Alexis	Döggingen	5	88,7	1,575	410	2,026	2,285
Alexis	Rethmar	5	79,6	1,574	526	2,059	2,226
Alexis	Wörrstadt	6	91,8	1,508	217	1,931	2,065
Alexis	Nossen	6	81,5	1,557	468	1,970	2,130
Alexis	Dachwig	6	96,2	1,447	128	1,890	1,984
Alexis	Hartenhof	6	96,8	1,458	136	1,877	1,968
Alexis	Heimbach	6	93,9	1,530	326	1,975	2,191
Alexis	Gießen	6	90,8	1,567	522	1,963	2,198
Alexis	Döggingen	6	92,0	1,510	303	1,951	2,115
Alexis	Rethmar	6	88,7	1,512	392	1,987	2,089
Annabell	Wörrstadt	4	75,8	1,623	429	2,117	2,393
Annabell	Nossen	4	77,2	1,667	570	2,071	2,402
Annabell	Dachwig	4	96,6	1,515	308	1,960	2,133
Annabell	Hartenhof	4	86,0	1,537	272	1,979	2,130
Annabell	Heimbach	4	96,4	1,551	268	2,166	2,176
Annabell	Gießen	4	87,3	1,526	410	2,026	2,167
Annabell	Döggingen	4	86,1	1,618	556	2,048	2,265
Annabell	Rethmar	4	85,6	1,597	621	2,066	2,308
Annabell	Wörrstadt	5	87,0	1,499	228	2,012	2,104
Annabell	Nossen	5	91,8	1,508	352	1,979	2,155
Annabell	Dachwig	5	97,9	1,455	151	1,920	1,992
Annabell	Hartenhof	5	90,9	1,486	258	1,956	2,029
Annabell	Heimbach	5	96,4	1,483	115	1,914	2,046
Annabell	Gießen	5	92,6	1,472	258	1,986	2,118
Annabell	Döggingen	5	92,7	1,484	210	1,993	2,085
Annabell	Rethmar	5	89,0	1,508	356	1,973	2,096
Annabell	Wörrstadt	6	89,6	1,473	131	1,935	1,989
Annabell	Nossen	6	94,3	1,479	253	1,936	2,098
Annabell	Dachwig	6	98,7	1,437	65	1,878	1,927
Annabell	Hartenhof	6	96,0	1,472	194	1,892	1,984
Annabell	Heimbach	6	98,4	1,484	122	1,957	2,041

Annabell	Gießen	6	95,4	1,482	289	1,915	2,065
Annabell	Döggingen	6	98,3	1,462	106	1,955	2,036
Annabell	Rethmar	6	96,1	1,465	182	1,952	2,022
Barke	Wörrstadt	4	73,3	1,768	623	2,238	2,677
Barke	Nossen	4	62,7	1,766	677	2,125	2,511
Barke	Dachwig	4	91,4	1,552	373	2,021	2,143
Barke	Hartenhof	4	83,0	1,775	732	2,196	2,514
Barke	Heimbach	4	75,6	1,764	653	2,190	2,520
Barke	Gießen	4	76,2	1,564	590	2,065	2,243
Barke	Döggingen	4	69,2	1,794	791	2,152	2,437
Barke	Rethmar	4	68,5	1,703	772	2,375	2,624
Barke	Wörrstadt	5	79,0	1,624	531	2,097	2,294
Barke	Nossen	5	73,6	1,623	689	2,045	2,469
Barke	Dachwig	5	94,6	1,504	305	1,977	2,078
Barke	Hartenhof	5	87,3	1,575	425	2,040	2,185
Barke	Heimbach	5	85,3	1,592	439	1,993	2,211
Barke	Gießen	5	84,3	1,500	435	2,023	2,175
Barke	Döggingen	5	80,8	1,627	579	2,054	2,365
Barke	Rethmar	5	77,0	1,580	525	2,008	2,206
Barke	Wörrstadt	6	87,0	1,513	255	1,938	2,072
Barke	Nossen	6	81,8	1,530	480	1,973	2,134
Barke	Dachwig	6	96,9	1,464	146	1,920	1,979
Barke	Hartenhof	6	92,8	1,512	264	1,894	2,073
Barke	Heimbach	6	92,2	1,617	467	2,015	2,250
Barke	Gießen	6	89,2	1,538	513	1,950	2,136
Barke	Döggingen	6	89,3	1,523	435	1,953	2,162
Barke	Rethmar	6	84,4	1,510	338	1,973	2,069
Danuta	Wörrstadt	4	63,4	2,102	704	2,464	3,392
Danuta	Nossen	4	62,5	1,940	668	2,265	2,909
Danuta	Dachwig	4	81,6	1,577	577	2,020	2,214
Danuta	Hartenhof	4	82,9	1,918	840	2,210	2,760
Danuta	Heimbach	4	71,5	1,893	789	2,424	2,770
Danuta	Gießen	4	68,8	1,883	799	2,244	2,764
Danuta	Döggingen	4	71,4	1,918	842	2,302	2,758
Danuta	Rethmar	4	63,3	1,853	900	2,251	2,873
Danuta	Wörrstadt	5	78,3	1,641	728	2,111	2,367
Danuta	Nossen	5	71,9	1,666	719	2,075	2,435
Danuta	Dachwig	5	92,9	1,492	428	1,947	2,077
Danuta	Hartenhof	5	95,4	1,474	275	2,006	2,290
Danuta	Heimbach	5	83,1	1,585	607	1,915	2,030
Danuta	Gießen	5	78,0	1,652	721	2,115	1,461
Danuta	Döggingen	5	79,2	1,598	545	2,101	2,375
Danuta	Rethmar	5	74,3	1,618	618	2,073	2,328
Danuta	Wörrstadt	6	87,8	1,517	491	1,930	2,145
Danuta	Nossen	6	73,9	1,585	650	2,021	2,262
Danuta	Dachwig	6	94,2	1,442	258	1,874	1,977
Danuta	Hartenhof	6	91,7	1,474	282	1,876	1,986

Danuta	Heimbach	6	88,4	1,606	628	1,979	2,291
Danuta	Gießen	6	88,1	1,654	796	1,999	2,402
Danuta	Döggingen	6	92,1	1,481	371	1,924	2,076
Danuta	Rethmar	6	83,3	1,532	601	2,002	2,132
Extract	Wörrstadt	4	75,6	1,658	557	2,177	2,499
Extract	Nossen	4	66,8	1,586	582	2,006	2,237
Extract	Dachwig	4	95,0	1,488	372	1,939	2,066
Extract	Hartenhof	4	89,0	1,595	455	1,997	2,048
Extract	Heimbach	4	87,7	1,624	474	2,038	2,279
Extract	Gießen	4	79,3	1,578	635	2,062	2,246
Extract	Döggingen	4	74,0	1,652	703	2,028	2,199
Extract	Rethmar	4	76,0	1,565	649	2,074	2,369
Extract	Wörrstadt	5	80,0	1,492	303	1,970	2,081
Extract	Nossen	5	82,7	1,500	480	1,949	2,111
Extract	Dachwig	5	97,9	1,441	176	1,883	1,938
Extract	Hartenhof	5	96,1	1,457	179	1,949	2,091
Extract	Heimbach	5	92,0	1,511	278	1,881	1,989
Extract	Gießen	5	82,2	1,481	499	1,965	2,148
Extract	Döggingen	5	85,0	1,496	342	1,948	2,130
Extract	Rethmar	5	78,5	1,475	347	1,956	2,071
Extract	Wörrstadt	6	89,4	1,445	165	1,872	2,001
Extract	Nossen	6	85,2	1,473	338	1,882	2,038
Extract	Dachwig	6	98,8	1,412	71	1,850	1,903
Extract	Hartenhof	6	96,7	1,446	153	1,837	1,931
Extract	Heimbach	6	97,0	1,500	274	1,945	2,081
Extract	Gießen	6	86,9	1,511	546	1,934	2,103
Extract	Döggingen	6	92,1	1,452	180	1,895	2,032
Extract	Rethmar	6	87,8	1,452	261	1,901	1,982
Neruda	Wörrstadt	4	72,8	1,961	649	2,272	3,068
Neruda	Nossen	4	72,0	1,827	642	2,178	2,648
Neruda	Dachwig	4	91,6	1,526	407	1,980	2,131
Neruda	Hartenhof	4	85,2	1,601	475	2,004	2,186
Neruda	Heimbach	4	9,2	1,616	445	2,044	2,263
Neruda	Gießen	4	77,8	1,665	677	2,094	2,380
Neruda	Döggingen	4	72,7	1,866	813	2,096	2,305
Neruda	Rethmar	4	78,8	1,635	751	2,232	2,735
Neruda	Wörrstadt	5	85,0	1,644	562	2,047	2,358
Neruda	Nossen	5	77,1	1,651	659	2,047	2,416
Neruda	Dachwig	5	97,7	1,455	270	1,889	1,958
Neruda	Hartenhof	5	93,7	1,510	347	1,950	2,112
Neruda	Heimbach	5	96,3	1,540	296	1,929	2,077
Neruda	Gießen	5	86,7	1,527	548	2,017	2,221
Neruda	Döggingen	5	85,4	1,572	510	2,028	2,276
Neruda	Rethmar	5	82,6	1,555	468	2,016	2,193
Neruda	Wörrstadt	6	84,6	1,500	321	1,927	2,085
Neruda	Nossen	6	86,6	1,549	418	1,932	2,125
Neruda	Dachwig	6	98,3	1,436	152	1,869	1,957

Neruda	Hartenhof	6	95,2	1,504	387	1,855	2,051
Neruda	Heimbach	6	97,3	1,536	299	2,020	2,119
Neruda	Gießen	6	91,4	1,557	590	1,927	2,196
Neruda	Döggingen	6	88,8	1,525	413	1,948	2,158
Neruda	Rethmar	6	93,0	1,481	296	1,972	2,049

Schätzung der Schubspannung

Nach XY gilt

$$\tau \approx \rho \cdot u_e^{\ 2}$$

$u_e = \pi \cdot d_d \cdot n$

ρ = Dichte der Würze, d_d = mittlerer Rührerdurchmesser, n = Umdrehungen pro Sekunde.

Damit ergibt sich für u_e = 3,1416 * 0,04 m * 41,67 1/s =5,236 m/s

τ = 1036 kg/m^3 * (5,236 m/s)^2 = 28402 Pa

Auswertung. Einfluss der Zellwandpolysaccharide auf das GV-Potential.

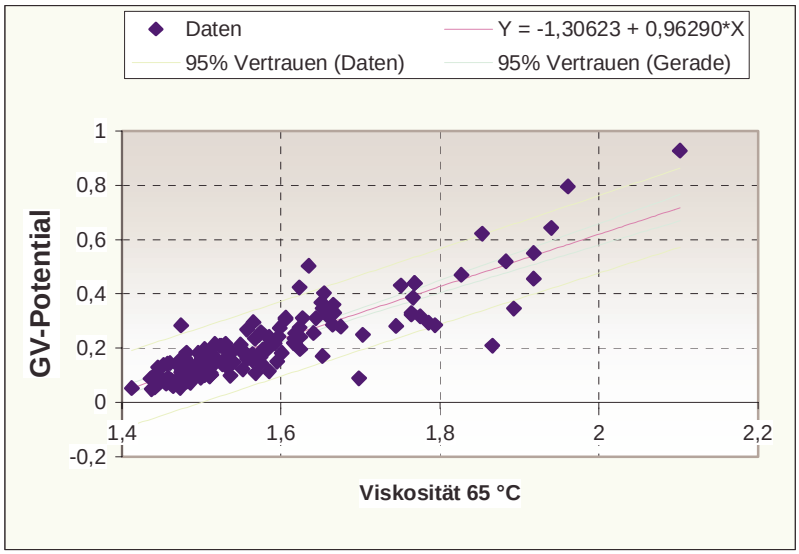
	Visk APH	Visk SAPH	Visk APHE	Visk SAPHE	Delta Visk	Delta VIskE	% Visk betagl
121/2 Barke	2,035	2,474	1,785	1,867	0,439	0,082	81,32
123/2 Annabell	1,939	2,249	1,799	1,876	0,31	0,077	75,16
124/2 Alexis	1,983	2,523	1,795	1,848	0,54	0,053	90,19
125/2 Extract	1,827	2,371	1,792	1,869	0,544	0,077	85,85
126/2 Neruda	2,035	2,986	1,798	1,871	0,951	0,073	92,32
127/2 Danuta	2,051	3,373	1,828	1,882	1,322	0,054	95,92

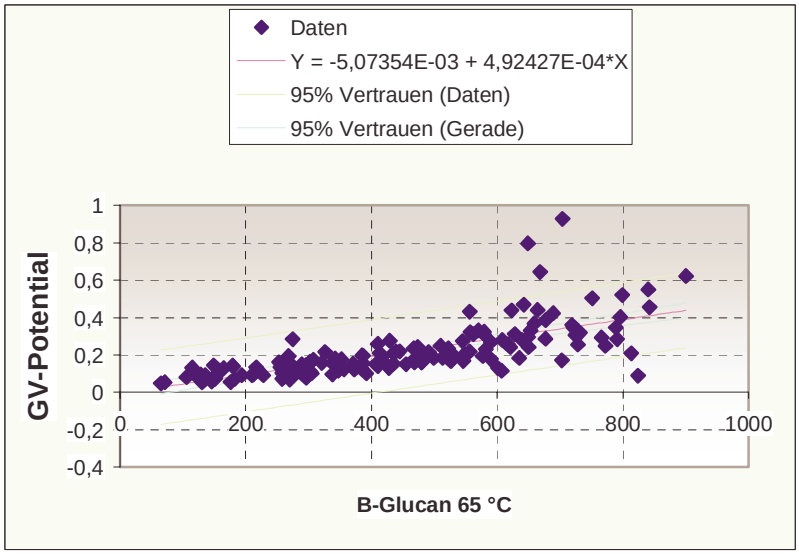
APH - Proben wurden wie beschrieben mit Säure und Ethanol versetzt

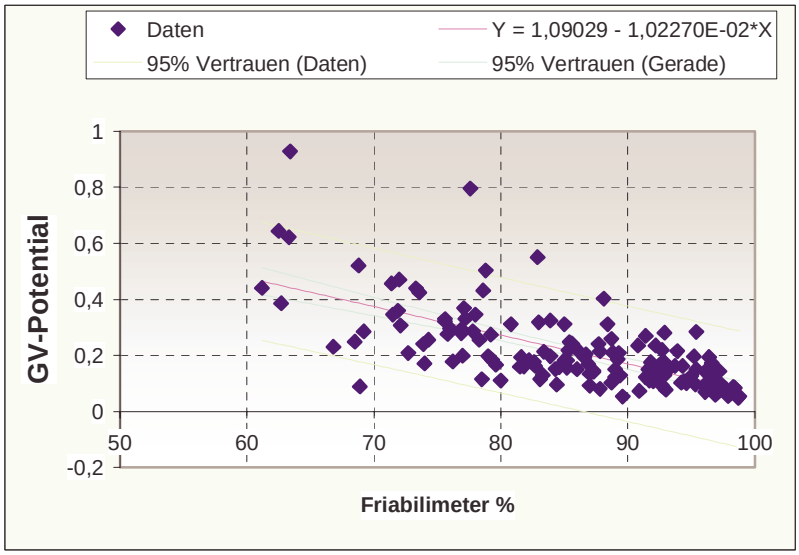
SAPH - Proben wurden wie beschrieben mit Säure und Ethanol versetzt und geschert

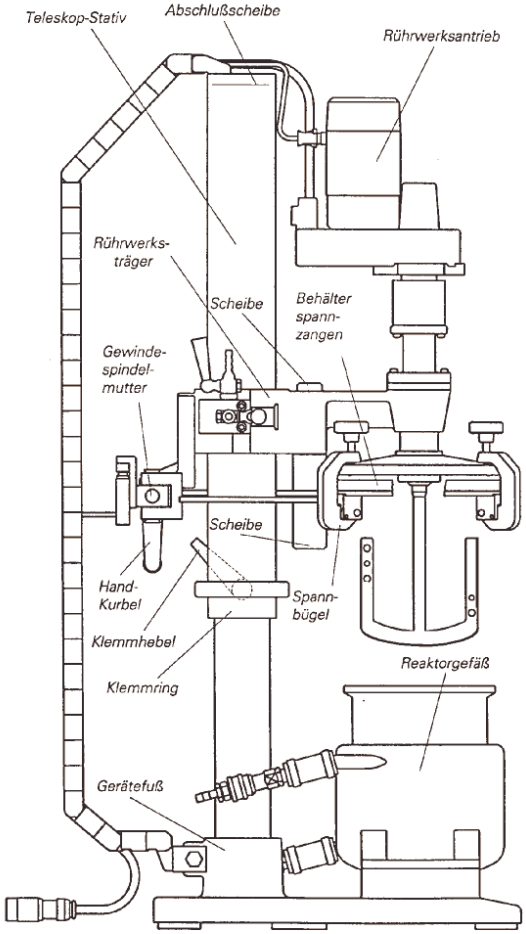
E - Proben wurden mit der Enzymmischung Ultraflow versetzt.

Regressionsanalysen GV-Potential-Zytolytische Parameter

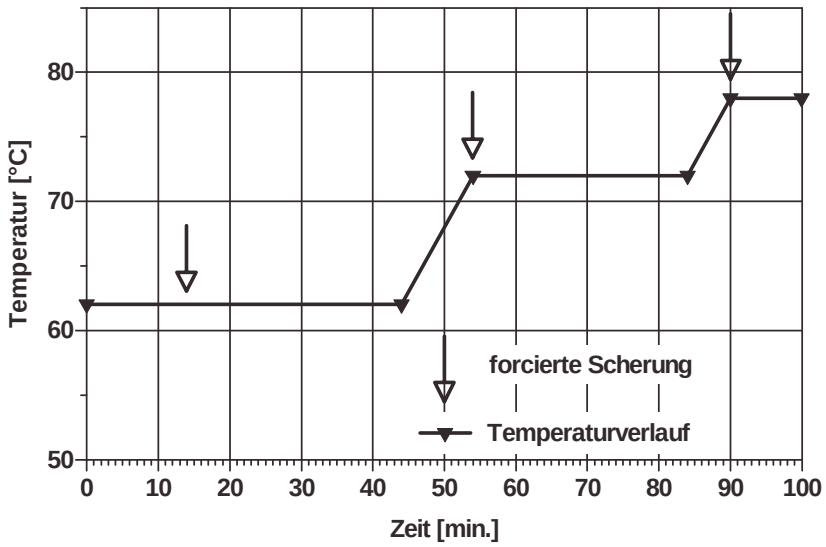








Versuchsstand nach Hermann



Maischprogramm mit forcierter Scherung

Malzanalyse (Versuch Maischescherung)

Sorte Barke

Wassergehalt Malz	%	4,8
Extrakt Malz	%, lftr.	80,1
Extrakt Malz TrS.	%, wfr.	84,1
Mehl-Schrot-Differenz	%	1,3
Viskosität (8,6 %)	mPas	1,505
Friabilimeter Mürbigkeit	%	91,1
Ganzglasigkeit	%	0,1
Teilglasigkeit	%	8,8
Verzuckerungszeit	min.	10
Endvergärungsgrad	%, schb.	85,1
Ablauf	klar/opal	Klar
Farbe Fotometer	EBC	2,8
Kochfarbe Fotometer	EBC	4,5
pH-Wert		5,67
Rohprotein Malz	%, wfr.	9,5
Löslicher Stickstoff Malz TrS.	mg/100g Malz-TrS.	714
Eiweiss-Lösungsgrad	%	46,9
VZ 45 °C	%	47,5
Alpha-Amylase	ASBC, wfr.	63
	%	77
Modifikation	%	95

Der Einfluss der Maischescherung auf die Filtrierbarkeit von Würze und Bier

Sud geschert

		Sud 1	Sud 2	Sud 3	
Läuterzeit	min	240	150	137	176
Visk direkt 12 %	mPas	1,773	1,779	1,778	1,777
Visk APH	mPas	2,417	2,457	2,445	2,440
Visk SAPH	mPas	2,432	2,503	2,467	2,467
ß-Glucane (12 %)	mg/l	247	217	231	232
ß-Glucan-Gel	mg/l	0	10	21	10,33333

Standardsud		Sud 4	Sud 5	Sud 6	
Läuterzeit	min	32	35	36	34
Visk direkt 12 %	mPas	1,677	1,7	1,692	1,690
Visk APH	mPas	2,307	2,309	2,406	2,341
Visk SAPH	mPas	2,318	2,302	2,468	2,363
ß-Glucane (12 %)	mg/l	142	114	127	128
ß-Glucan-Gel	mg/l	17	14	3	11,333

Standardsud + Enzyme		Sud 7	Sud 8	Sud 9	
Läuterzeit	min	ca.50	32	28	30
Visk direkt 12 %	mPas	1,604	1,566	1,562	1,577
Visk APH	mPas	2,244	2,238	2,212	2,231
Visk SAPH	mPas	2,247	2,205	2,234	2,229
ß-Glucane (12 %)	mg/l	66	35	41	47,333
ß-Glucan-Gel	mg/l	0	1	0	0,333

Geschert +Enzyme		Sud 10	Sud 11	Sud 12	
Läuterzeit	min	131	120	87	113
Visk direkt 12 %	mPas		1,576	1,568	1,572
Visk APH	mPas	2,162	2,148	2,117	2,142
Visk SAPH	mPas	2,16	2,135	2,116	2,137
ß-Glucane (12 %)	mg/l	47	31	37	38,333
ß-Glucan-Gel	mg/l	0	13		6,500

Überprüfung der Schrotsortierung zu Einfluss der Zellwandpolysaccharide auf die Filtrierbarkeit von Würze und Bier

Schrotsortierung								
	Excel 6 d - 1		Excel 6 d - 2		Scarlett 4 d - 1		Scarlett 4 d - 2	
Spelzen	40,6 g	285 ml	40,7 g	280 ml	56,5 g	250 ml	57,1 g	250 ml
Spelzenvolumen ml/100 g								
[ ]	g	%	g	%	g	%	g	%
Gesamtmasse	147,1	100	146,4	100	194,8	100	197,3	100
Spelzen	40,6	27,6	40,7	27,8	56,5	29,0	56,8	28,8
Grobgrieß	18,3	12,4	18,2	12,4	24,0	12,3	24,4	12,4
Feingrieß I	32,1	21,8	32,1	21,9	39,0	20,0	39,5	20,0
Feingrieß II	20,1	13,7	20,1	13,7	24,2	12,4	24,6	12,5
Griesmehl	13,9	9,4	14,1	9,6	19,8	10,2	20,2	10,2
Pudermehl	22,1	15,0	21,2	14,5	31,4	16,1	31,8	16,1

Viskositätswerte von Würze und Bier

Pfanne-Voll-Würze	A	B	
	mPas	mPas	
Esterel **1**	1,870	1,693	0,177
Scarlett **2**	1,729	1,621	0,108
Harrington **4**	1,623	1,578	0,045
Excel **5**	1,622	1,596	0,026
Scarlett 4 d 3	2,149	1,698	0,451
Excel 4 d **6**	1,999	1,666	0,333
mittlere Differenz			0,190

Ausschlagwürze	A	B	
	mPas	mPas	
Esterel **1**	1,853	1,695	0,158
Scarlett **2**	1,727	1,634	0,093
Harrington **4**	1,624	1,581	0,043
Excel **5**	1,625	1,596	0,029
Scarlett 4 d 3	2,106	1,692	0,414
Excel 4 d **6**	1,876	1,674	0,202
mittlere Differenz			0,157

Viskosität (12 °P)	A	B	
Bier	mPas	mPas	
Esterel **1**	1,634	1,507	0,127
Scarlett **2**	1,524	1,453	0,071
Harrington **4**	1,447	1,411	0,036
Excel **5**	1,502	1,486	0,016
Scarlett 4 d 3	1,779	1,519	0,260
Excel 4 d **6**	1,788	1,546	0,242
mittlere Differenz			0,125

β-Glucan-Gehalte von Würze und Bier

β-Glucan - Würze	A	B	
	mg/l	mg/l	
Esterel **1**	237	60	177
Scarlett **2**	128	33	95
Harrington **4**	51	0	51
Excel **5**	39	0	39
Scarlett 4 d 3	725	262	463
Excel 4 d **6**	893	317	576
mittlere Differenz			234

β-Glucan - Bier	A	B	
	mg/l	mg/l	
Esterel **1**	206	54	152
Scarlett **2**	127	37	90
Harrington **4**	39	0	39
Excel **5**	23	0	23
Scarlett 4 d 3	730	156	574
Excel 4 d **6**	898	288	610
mittlere Differenz			248

Product Sheet (Produktbeschreibung) – Ultraflo® L

Description

Ultraflo L is a heat-stable multi-active beta-glucanase preparation produced by a selected strain of Humicola insolens. The most important side activities of Ultraflo L are cellulase, xylanase, pentosanase and arabanase.

Product Properties

Appearance:

Ultraflo L is a brown liquid preparation with a density of approx. 1.2 g/ml.

Activity:

Ultraflo L is standardized to contain 45 FBG/g and contains a range of side activities as mentioned in the introduction. The analytical method for determination of FBG (Fungal Beta Glucanase units) is available.

Enzyme characteristics:

Ultraflo L is specifically developed for the mashing process.

Other characteristics:

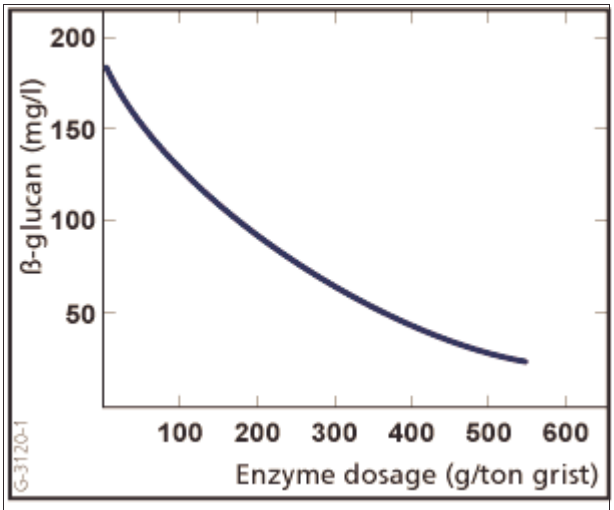
Ultraflo L complies with the recommended purity specifications for food-grade enzymes given by the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA) and the Food Chemicals Codex (FCC), supplemented with maximum limits of 5 x 104/g for total viable count and 102/g for moulds.

Temperature

Ultraflo L remains active during the major part of mashing. Figure 1 shows that even at 75°C Ultraflo L has a significant effect. Therefore, beta-glucan and other polysaccharides which are extracted towards the end of the mashing process will be effectively hydrolyzed. On the other hand, wort boiling will quickly and completely inactivate Ultraflo L, so that no active enzyme will be present during fermentation or in the final beer.

pH

The different enzymes in Ultraflo L have optimal activities and stabilities at typical mashing pH values.



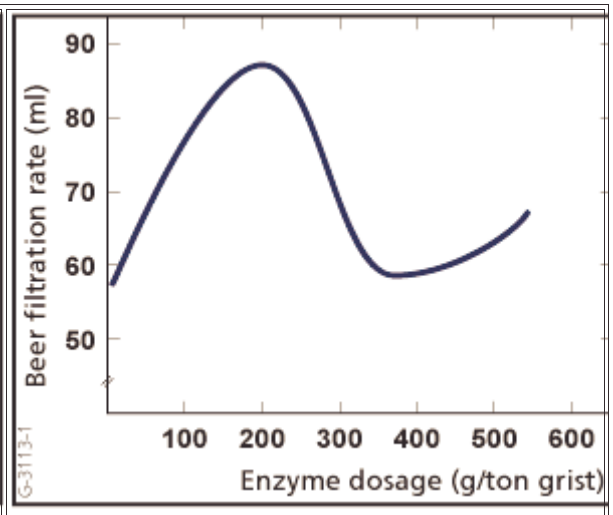
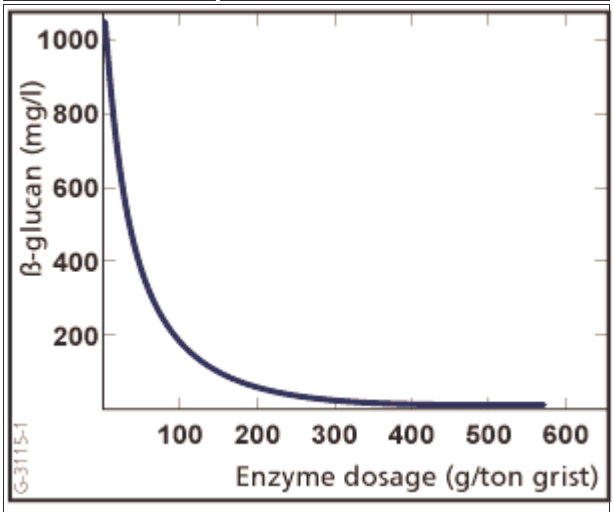


Fig.1. Influence of Ultraflo on wort β-glucan.

Fig. 2. Effect of Ultraflo on beer filtration rate.

Substrate: Temperature: Incubation time:	Sweet wort, 10.1 °P 75°C 30 minutes	Grist:	80% malt + 20% barley



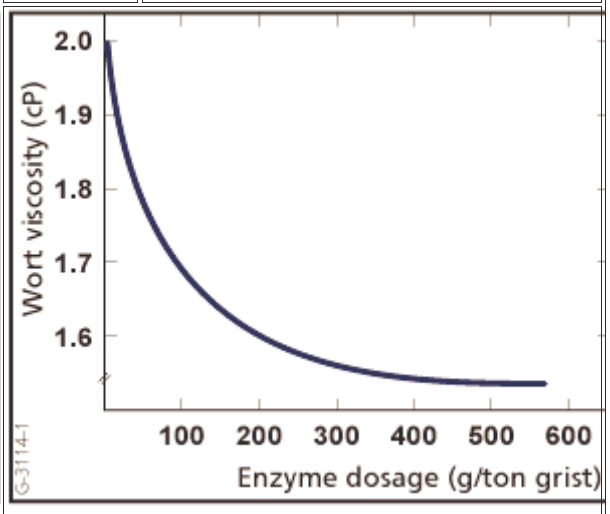


Fig. 3. Effect of Ultraflo on wort beta-glucan.

Fig. 4. Effect of Ultraflo on wort viscosity.

Grist:	80% malt + 20% barley	Grist:	80% malt + 20% barley

Application

Ultraflo L is used for beer-brewing in the mashing process to ensure efficient breakdown of beta-glucans, pentosans and other gums. Two important reasons for poor lautering are high beta-glucan levels in the wort and lauter tun overload. High

beta-glucan levels also give poor beer filtration. Reduction in load and/or the addition of extra beta-glucanases at mashing-in are therefore usually effective in increasing the lauter tun and beer filter capacity. Recent research work has shown that filtration rates can be significantly influenced by other polysaccharides than beta-glucans, in particular pentosans, which are polysaccharides containing a backbone of xylan to which side chains of single arabinose units are attached. Therefore, there has been an increasing interest in beta-glucanase preparations with pentosanase and other gum-hydrolyzing activities.

A2.4 Reaction Parameters

Enzyme dosage:

For initial trials we recommend a dosage of 200 g Ultraflo L per ton of total raw materials, added at mashing-in.

The optimal dosage, however, depends on the raw materials composition and the specific process parameters and should be determined by testing different dosages at the brewery.

Application example:

Filtration trials were conducted in laboratory scale for predicting the beer filtration.

Increasing dosages of Ultraflo L were added at mashing-in, and a standard mashing programme was applied to a grist composition of 80% malt and 20% barley. The beta-glucan content and the viscosity were measured in the filtered wort.

After the wort boiling, pH was adjusted and alcohol added to give the wort beer-like properties (modified Esser test), and the modified wort was filtered.

In the trials, an Ultraflo L dosage of 200 g per ton of total raw materials gave the highest beer filtration rate (Figure 2), whereas the beta-glucan level (Figure 3) and viscosity (Figure 4) continued to fall with higher dosages. This indicates that the beta-glucan level and the viscosity are not the only factors influencing beer filtration rates.

Lebenslauf

Stefan Kreisz

Verheiratet mit Renate Kreisz

Zwei Kinder: Nikolas und Aaron Kreisz

1970	Geboren in Stuttgart Bad Cannstatt als Sohn von Ferenc und Adelheid Kreisz.
1976	Grundschule Weilimdorf bis 1980
1980	Gymnasium Korntal bis 1989. Abschluss mit allgemeiner Hochschulreife
1989	Zivildienst in München bis 1990.
1991	Industriepraktikum bei der Calwer-Eck-Brauerei Stuttgart und der Stuttgarter Hofbräu AG
1991	Brauwesen und Getränketechnologiestudium an der Technischen Universität München in Weihenstephan mit dem Abschluss zum Diplom Ingenieur 1997.
Dez. 1997	Doktorarbeit am Lehrstuhl für Technologie der Brauerei I bis Dez. 2002.
April 1999	Stellvertretender Leiter des Malzlabors am Lehrstuhl für Technologie der Brauerei I
Juli 2002	Leiter des Malzlabors am Lehrstuhl für Technologie der Brauerei I