

Technische Universität München
Lehrstuhl für Technologie der Brauerei I und Getränketechnologie

Untersuchungen zu enzymatischen Abbauprodukten beim Maischen im
Hinblick auf die Entwicklung eines Prozessführungssystems

Torsten Dickel

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. rer. nat., Dr. agr. habil. Harun Parlar

Prüfer der Dissertation: 1. Univ.-Prof. Dr.-Ing., Dr. Ing. habil. Werner Back
2. Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Antonius Delgado

Die Dissertation wurde am 17.06.03 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt am 21.07.03 angenommen.

Inhaltsverzeichnis

Tabellenverzeichnis	5
Abbildungsverzeichnis	8
Abkürzungen	12
1 Einleitung	13
2 Grundlagen	16
2.1 Makromoleküle in Gerste	16
2.1.1 Eiweißbestandteile des Gerstenkorns	16
2.1.2 Kohlenhydrate in Gerste	17
2.1.2.1 α -glycosidisch verbundene Kohlenhydrate	18
2.1.2.2 β -glycosidisch verbundene Kohlenhydrate	18
2.1.2.2.1 Aufbau des β -Glucans	20
2.1.2.2.2 Aufbau der Pentosane	21
2.2 Enzyme und ihre Eigenschaften	21
2.2.1 Bedeutung der Enzyme	21
2.2.2 Funktionen und Nomenklatur	22
2.2.3 Enzymatische Reaktionen und ihre Beeinflussung	24
2.3 Stoffliche Veränderungen während der Mälzung	25
2.3.1 Zellwandlösung im Korn	25
2.3.2 Eiweißlösung	28
2.3.3 Stärkelösung	29
2.4 Der Maischprozess als Lösungsvorgang	31
2.4.1 Physikalische und enzymatische Lösung	31
2.4.2 Maischparameter und deren Beeinflussung	33
2.4.2.1 pH-Wert	34
2.4.2.1.1 Brauwasser	34
2.4.2.1.2 Maischesäuerung	36
2.4.2.2 Maischekonzentration/Gussführung	37
2.4.2.3 Temperatur-Zeit-Führung	38
2.4.2.4 Dekoktion/Infusion	39
2.5 Kennzahlen zur Beurteilung der Lösungsvorgänge in Malz und Maische/Würze	39
2.5.1 Zytolytische Kennzahlen	40
2.5.2 Proteolytische Kennzahlen	41

2.5.3	Amylolytische Kennzahlen	42
2.6	Physikalische Eigenschaften von Extraktlösungen	44
2.6.1	Dichte	44
2.6.2	Schallgeschwindigkeit	44
2.6.3	Leitfähigkeit	45
2.6.4	Viskosität	45
3	Material und Methoden	47
3.1	Rohstoffe	47
3.1.1	Brauwasser	47
3.1.2	Malz	47
3.2	Labormaischen	51
3.3	Pilotbrauerei des Lehrstuhls	52
3.4	Messstrecke zur Erfassung der physikalischen Eigenschaften der Maische	55
3.5	Maischverfahren	57
3.6	Brauverfahren	59
3.7	Nasschemische Analysen der Maischen	62
3.7.1	Aufbereitung der Proben	62
3.7.2	FAN und alternative Eiweißerfassungsmethoden	62
3.7.3	Fotometrische Jodprobe	64
3.7.4	Fluorimetrische Messung des β -Glucan	64
3.7.5	Extraktmessung	64
3.8	Chromatographische Messmethoden an Maische	64
3.8.1.1	HPLC zur Zuckeranalytik:	65
3.8.2	Gelchromatographische Untersuchungen auf Molekülgrößenverteilung	65
3.8.2.1	β -Glucan-Analyse	66
3.8.2.2	Eiweißanalyse	67
3.8.3	Analyse der vergärbaren Zucker	68
3.9	Methoden zur Beurteilung der Bierqualität	68
3.9.1	Sensorische Analyse zur Beurteilung des Geschmacks	68
3.9.2	Sensorische Bewertung der Geschmacksstabilität	68
3.9.3	Beurteilung der Schaumhaltbarkeit	69
3.10	Rechnerische Methoden	69

3.10.1	Temperaturkorrektur der physikalischen Werte	69
3.10.2	Statistische Methoden	70
4	Ergebnisse und Diskussion	71
4.1	Labormaischen zur Methodenentwicklung	71
4.1.1	Eiweißmessmethoden und ihre Reproduzierbarkeit	71
4.1.2	Der Verlauf der fotometrischen Jodprobe und des Extraktes	79
4.1.3	Verhältnisse bezüglich β -Glucan	82
4.2	Maischen aus der Pilotsudanlage	84
4.2.1	Analytische Werte unter Abwandlung des Temperatur-Zeit-Profiles und der Malzqualität	85
4.2.1.1	Verlauf des β -Glucan	85
4.2.1.2	Verlauf des FAN	90
4.2.1.3	Verlauf des Extraktes	93
4.2.1.4	Zeitlicher Verlauf der Jodprobe	98
4.2.2	Korrelation der physikalischen Messungen mit nasschemischen Analysen	103
4.2.2.1	FAN und Leitfähigkeit	103
4.2.2.2	Viskosität und Phasen der Amylolyse	106
4.2.2.3	Dichte, Schallgeschwindigkeit und der Extraktgehalt	108
4.2.3	Betrachtung der Molekülgrößenverteilungen	110
4.2.3.1	β -Glucan	110
4.2.3.2	Eiweiß	113
4.2.3.3	Vergärbare Zucker	118
4.3	Qualität von Bieren aus abgewandelten Maischen	120
4.3.1	Biere aus unterschiedlich langen Praxismaisverfahren	120
4.3.2	Biere aus unterschiedlich langen Maischverfahren mit „Eybenrasten“	122
4.3.3	Biere aus Eybenmaischen mit unterschiedlicher Malzqualität	123
5	Schlussfolgerungen und Perspektiven	126
6	Zusammenfassung	129
7	Literaturverzeichnis	131
8	Tabellenanhang	137
	Lebenslauf	156

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	5-Jahres-Mittelwerte der Daten der Frühvermälzungen 1981-2000.....	14
Tabelle 2:	Hydrolasen beim Mälzen und Maischen”	23
Tabelle 3:	Enzyme des Malzes und ihr Verhalten beim Maischen	33
Tabelle 4:	Wasseranalytische Kennzahlen der Pilotsudanlage nach MEBAK.....	47
Tabelle 5:	Malzanalyse zweier verwendeter Malze	48
Tabelle 6:	Malzanalyse zweier weiterer verwendeter Malze.....	49
Tabelle 7:	Eiweißmolekülgrößenstandard zur Kalibrierung	68
Tabelle 8:	Konstanten zur Temperaturkorrektur	70
Tabelle 9:	Ergebnisse der sensorischen Prüfung von Bieren variiertes Maischen aus dem Malz Danuta	121
Tabelle 10:	Schaumzahlen nach Ross und Clark für Biere aus Maischen des Malze Danuta	122
Tabelle 11:	Ergebnisse der sensorischen Prüfung der Biere variiertes Maischen mit Eyben-Temperaturrasten	123
Tabelle 12:	Ergebnisse der sensorischen Prüfung der Biere von Eybenmaischen mit unterschiedlichen Malzqualitäten	124
Tabelle 13:	Schaumzahlen nach Ross und Clark für Biere aus Maischen verschiedener Malzmischungen.....	125
Tabelle 14:	Werte der Extinktionsdifferenz zu verschiedenen Zeitpunkten an verschiedenen Fotometern	137
Tabelle 15:	Extinktionswerte von Eiweißstandards verschiedener Konzentrationen	137
Tabelle 16:	Gegenüberstellung von Kjedahl und Coomassie-Blau-Färbung.....	137
Tabelle 17:	Eiweißgehalte (Coomassie-Blau-Färbung) in zwei Maischversuchen..	138
Tabelle 18:	Extinktionsdifferenzwerte 215-225 nm zweier Laboranten der gleichen Würzen	138
Tabelle 19:	Löslicher Stickstoff nach Kjedahl und zugehörige Werte der Extinktionsdifferenz über alle Labormaischversuche	139
Tabelle 20:	FAN-Werte und Lösl. N-Werte nach Kjedahl über drei Kongressmaischversuche und deren Mittelwerte.....	140

Tabelle 21: FAN-Werte und Lösl. N-Werte nach Kjehldahl über zwei Eybenmaischmaischversuche und deren Mittelwerte	140
Tabelle 22: Werte der Jodprobe und des Extraktes über zwei Kongressmaischverfahren im Labormaßstab.....	141
Tabelle 23: Werte der Jodprobe und des Extraktes über zwei Eybenmaischverfahren	141
Tabelle 24: β -Glucangehalte einer Kongressmaische gemessen mit Foss Tecator	142
Tabelle 25 β -Glucangehalte zweier Maischversuche mit dem Malz „Neruda“	142
Tabelle 26: β -Glucangehalte zweier Maischversuche mit dem Malz „Danuta“	142
Tabelle 27: β -Glucangehalte unterschiedlich langer Maischverfahren	143
Tabelle 28: β -Glucangehalte in 5 Eybenmaischen im Pilotsudwerk	143
Tabelle 29: FAN- Gehalte von 3 kurzen Pilotmaischen des Malzes “Neruda“ in mg/l	144
Tabelle 30: FAN- Gehalte von 3 kurzen Pilotmaischen des Malzes “Danuta“ in mg/l.	144
Tabelle 31: FAN-Gehalte unterschiedlich langer Maischverfahren.....	145
Tabelle 32: FAN-Werte in mg/100 ml über 6 Eybenmaischversuche im Pilotsudwerk.....	145
Tabelle 33: Extrakt-Gehalte in GG % von drei Maischversuchen mit Malz „Danuta“	146
Tabelle 34: Extrakt-Gehalte in GG % von drei Maischversuchen mit Malz „Neruda“	146
Tabelle 35: Extraktgehalte unterschiedlich langer Maischverfahren.....	147
Tabelle 36: Extraktgehalte in GG% über 6 Eybenmaischversuche im Pilotsudwerk	147
Tabelle 37: Werte der fotometrischen Jodprobe und Extraktwerte für drei Versuche eines Maischverfahrens mit Malz „Neruda“	148
Tabelle 38: Werte der fotometrischen Jodprobe und Extraktwerte für drei Versuche eines Maischverfahrens mit Malz „Danuta“	148
Tabelle 39: Werte der fotometrischen Jodprobe unterschiedlich langer Maischverfahren	149
Tabelle 40: Umrechnung der Jodprobenwerte von Tabelle 39 auf den Extraktgehalt 12 %GG	149

Tabelle 41: Werte der fotometrischen Jodprobe über 4 Versuche mit Eybenmaisverfahren im Pilotsudwerk auf 12 % berechnet	150
Tabelle 42: Umrechnung der Werte der fotometrischen Jodprobe für Tabelle 41 auf 12 % Extrakt.....	150
Tabelle 43: Werte der temperaturkorrigierten Leitfähigkeit in mS/cm und des FAN-Gehaltes in mg/100 ml für 5 gleich gehaltene Versuche nach dem Eybenmaisverfahren	151
Tabelle 44 Mittelwerte der Größen aus Tabelle 43.....	151
Tabelle 45: Werte der online-Jodprobe für ein Eybenmaisverfahren.....	152
Tabelle 46: Extraktwerte über 5 gleich gehaltene Eybenmaisverfahren	152
Tabelle 47: Werte der online gemessenen Dichte in g/l über 5 gleich gehaltene Eybenmaisverfahren	153
Tabelle 48: Werte der online gemessenen Schallgeschwindigkeit in m/s über 5 gleich gehaltene Eybenmaisverfahren	153
Tabelle 49: Kalibriereiweiße mit Molekülgröße und Retentionszeiten	154
Tabelle 50: Werte von Zuckern über ein Eybenmaisverfahren mit 100 % Spitzmalz	154
Tabelle 51: Werte von Zuckern in g/l über ein Eybenmaisverfahren mit 50 % Spitzmalz und 50 % Pilsener Malz.....	154
Tabelle 52: Werte von Zuckern in g/l über ein isothermes (60 °C) Maischverfahren mit 30 % Spitzmalz und 70 % Pilsener Malz	155

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Strukturformel einer Polypeptidkette	16
Abbildung 2:	Struktur von Stärkemolekülen	18
Abbildung 3:	Modell der Zellwandstruktur der stärkeführenden Zellen im Gerstenendosperm	19
Abbildung 4:	Cellobiose - Grundbaustein der Cellulose.....	20
Abbildung 5:	Aufbau eines β -Glucan-Moleküls	20
Abbildung 6:	Aufbau einer Pentosankette aus dem Mehlkörper	21
Abbildung 7:	Keimendes Gerstenkorn	25
Abbildung 8:	Schema des β -Glucanabbaus.....	26
Abbildung 9:	Schema des Pentosanabbaus	27
Abbildung 10:	Enzymatischer Abbau der Eiweißfraktionen	28
Abbildung 11:	Schema des Stärkeabbaus.....	30
Abbildung 12:	Lösungsvorgänge beim Maischen	32
Abbildung 13:	Aufbau des Pilotsudwerks	52
Abbildung 14:	Schema der Messanlage und ihrer Anbindung an den Maischbottich	55
Abbildung 15:	Temperatur-Zeit-Profil eines Kongressmaisverfahren.....	57
Abbildung 16:	Temperatur-Zeit-Profil eines Eyben-Maischverfahren	58
Abbildung 17:	Ausgangs-Temperatur-Zeit-Profil des variablen Maischverfahren	59
Abbildung 18:	Gär-, Reifungs- und Lagerverfahren der Biere	61
Abbildung 19:	Extinktionsdifferenzergebnisse zweier verschiedener Laboranten zu Werten des löslichen Stickstoffs derselben Würzen.....	72
Abbildung 20:	Werte der Extinktionsdifferenz an verschiedenen Photometern zu verschiedenen Zeitpunkten	72
Abbildung 21:	Löslicher Stickstoff nach Kjeldahl und Extinktionsdifferenz über alle Versuche	73
Abbildung 22:	Darstellung einer Kalibriergeraden der Coomassie-Blau- Färbemethode.....	74
Abbildung 23:	Eiweißgehalt von Würzen mit Coomassie-Färbung und löslichem Stickstoff nach Kjeldahl.....	75
Abbildung 24:	Verlauf der mittels Coomassie-Blau-Färbung erhaltenen Eiweißgehalte zweier Versuche über Kongressmaisverfahren unter Variation der Malzqualität.....	76

Abbildung 25:	Verlauf der Mittelwerte (n = 3) proteolytischer Kennzahlen über Kongressmaisversuche	78
Abbildung 26:	Verlauf der Mittelwerte (n = 2) proteolytischer Kennzahlen über Eybenmaisversuche	78
Abbildung 27:	Verlauf der fotometrischen Jodprobe und des Extraktes bei Kongressmaisverfahren im Labormaßstab.....	80
Abbildung 28:	Verlauf der fotometrischen Jodprobe und des Extraktes bei Eybenmaisverfahren im Labormaßstab.....	80
Abbildung 29:	Verlauf der auf 12 % Extraktgehalt berechneten fotometrischen Jodprobe bei Kongressmaisverfahren.....	81
Abbildung 30:	Verlauf der auf 12 % Extaktgehalt berechneten fotometrischen Jodprobe bei Eybenmaisverfahren.....	81
Abbildung 31:	Verlauf des hochmolekularen β -Glucan während eines Kongressmaisverfahrens.....	83
Abbildung 32:	Verlauf der β -Glucan-Konzentration zweier gleicher Versuche für ein kurz gehaltenes Maischverfahren mit Malz aus der Gerstensorte Neruda ...	86
Abbildung 33:	Verlauf der β -Glucan-Konzentration zweier gleicher Versuche für ein kurz gehaltenes Maischverfahren mit Malz aus der Gerstensorte Danuta ...	86
Abbildung 34:	Verlauf der β -Glucan-Konzentrationen für variierte Maischverfahren mit Malz aus der Gerstensorte Danuta	87
Abbildung 35:	Verlauf der β -Glucan-Konzentrationen in 5 Eybenmaischen im Pilotsudwerk	89
Abbildung 36:	Mittelwert (n = 5) der β -Glucan-Gehalte in Pilotmaischen	89
Abbildung 37:	Verlauf der FAN-Konzentration für drei Versuche eines kurz gehaltenen Maischverfahren mit Malz aus der Gerstensorte Neruda	90
Abbildung 38:	Verlauf der FAN-Konzentration für drei Versuche eines kurz gehaltenen Maischverfahren mit Malz aus der Gerstensorte Danuta	91
Abbildung 39:	Verlauf der FAN-Konzentrationen für variierte Maischverfahren mit Malz aus der Gerstensorte Danuta	91
Abbildung 40:	Verlauf der FAN-Konzentrationen in 6 Pilotmaischen mit einer Mischung aus 30 % Spitz- und 70 % Pilsener Malz	92
Abbildung 41:	Mittelwert (n = 6) der FAN-Gehalte in Pilotmaischen (Eybenverfahren)	93

Abbildung 42:	Verlauf des Extraktgehaltes für drei Versuche eines kurz gehaltenen Pilotmaisverfahren mit Malz aus der Gerstensorte Neruda	94
Abbildung 43:	Verlauf des Extraktgehaltes für drei Versuche eines kurz gehaltenen Pilotmaisverfahren mit Malz aus der Gerstensorte Danuta.....	94
Abbildung 44:	Verlauf der Extrakt-Konzentrationen für variierte Pilotmaisverfahren mit Malz aus der Gerstensorte Danuta	96
Abbildung 45:	Verlauf der Extraktgehalte in Eybenmaischen im Pilotsudwerk	97
Abbildung 46:	Mittelwert (n = 6) der Extraktgehalte von Pilotmaischen (Eybenverfahren)	97
Abbildung 47:	Verlauf der fotometrischen Jodprobe (berechnet auf 12 % Extrakt) für 3 Versuche eines kurz gehaltenen Maisverfahren mit Malz „Neruda“	99
Abbildung 48:	Verlauf der fotometrischen Jodprobe (berechnet auf 12 % Extrakt) für 3 Versuche eines kurz gehaltenen Maisverfahren mit Malz „Danuta“	99
Abbildung 49:	Verlauf der fotometrischen Jodprobe berechnet auf 12 % Extraktgehalt für variierte Pilotmaisverfahren mit Malz „Danuta“	101
Abbildung 50:	Verlauf der fotometrischen Jodprobe berechnet auf 12 % Extrakt in 4 Pilotsudwerkmaischen nach dem Eybenmaisverfahren	101
Abbildung 51:	Mittelwert (n = 4) der Werte der fotometrischen Jodprobe in Pilotmaischen (Eybenmaisverfahren).....	102
Abbildung 52:	Verläufe der auf 20 °C berechneten Leitfähigkeit und des FAN über 5 Maischversuche (Eybenverfahren)	103
Abbildung 53:	Verläufe der Mittelwerte (n = 5) von FAN und auf 20 °C berechneter Leitfähigkeit.....	104
Abbildung 54:	Wertepaare des FAN und der auf 20 °C berechneten Leitfähigkeit über 5 gleich gehaltene Maischversuche	104
Abbildung 55:	Wertepaare des FAN und der auf 20 °C berechneten Leitfähigkeit über 5 gleiche Maischversuche nur unterhalb der Stärkeverkleisterung	105
Abbildung 56:	Verlauf der auf 20 °C berechneten Viskosität und des Extraktes in 2 Maischversuchen	106
Abbildung 57:	Beispiel für den Verlauf der online-Jodprobe während eines Maischversuches	107
Abbildung 58:	Verlauf der Mittelwerte (n = 5) der Dichte der Maische (berechnet auf 20 °C) und des Extraktes (Labor) bei gleich gehaltenen Maischverfahren	108

Abbildung 59:	Verlauf der Mittelwerte (n = 5) der Schallgeschwindigkeit der Maische (berechnet auf 20 °C) und des Extraktes (Labor) bei gleich gehaltenen Maischverfahren	109
Abbildung 60:	Chromatogramm einer Maischeprobe zur Detektion von β -Glucan	111
Abbildung 61:	Chromatogramm des β -Glucan-Molekülgrößenkits	112
Abbildung 62:	Eichkurve der Molekülgrößentrennung der Säule HiLoad 26/60 Superdex 200 prep grade zur Eiweißtrennung.....	114
Abbildung 63:	Probenahmeplan bei Eybenmaischen	114
Abbildung 64:	Chromatogramme der Eiweißmolekülgrößenverteilung der Maischproben 1-4	115
Abbildung 65:	Chromatogramme der Eiweißmolekülgrößenverteilung der Maischproben 5-12	116
Abbildung 66:	Chromatogramme der Eiweißmolekülgrößenverteilung der Maischproben 13-16	117
Abbildung 67:	Verlauf von Zuckerkonzentrationen über ein Eybenmaischverfahren unter Verwendung von 100 % Spitzmalz.....	118
Abbildung 68:	Verlauf von Zuckerkonzentrationen über ein Eybenmaischverfahren unter Verwendung von 50 % Spitzmalz und 50 % Pilsener Malz	119
Abbildung 69:	Verlauf von Zuckerkonzentrationen über ein isothermes Maischverfahren unter Verwendung von 30 % Spitzmalz und 70 % Pilsener Malz	119
Abbildung 70:	Temperatur-Zeit-Profile der variierten Maischen mit Malz der Gerstensorte Danuta.....	120
Abbildung 71:	Temperatur-Zeit-Profile der am Eybenmaischverfahren orientierten Maischen	122

Abkürzungen

% GG	Gewichts-Gewichtsprozent = Massenanteil
aA	ausgeglichene Alkalität
ASBC	American Society of Brewing Chemists
ber. a.	berechnet auf
CIP	Cleaning in Place = automatische Reinigung
dest. Wasser	destilliertes Wasser
DLG:	Deutsche Landwirtschaftsgesellschaft, Frankfurt am Main
DMS	Dimethylsulfid
EBC	European Brewery Convention
ELG	Eiweißlösungsgrad
EVG _s	scheinbarer Endvergärungsgrad
FAN	freier Amino-Stickstoff
FIA	Fließ-Injektions-Analyse
GA	Gesamtalkalität
GPC	Gelpermeationschromatographie
HPLC	hochauflösende Flüssigchromatographie
KH	Karbonathärte
M Tr S	Malztrockensubstanz
max.	maximal
MEBAK	Mitteleuropäische Brautechnische Analysenkommission
MG	Molekulargewicht
MS-Differenz	Mehl-Schrot-Differenz
PC	Personal Computer
RA	Restalkalität
RI-Detektor	Refraktions-Index-Detektor
SEC	Größenausschlusschromatographie
SPS	Speicherprogrammierbare Steuerung
TUM	Technische Universität München
UV	ultraviolett
VZ 45 °C	Vergleichszahl 45 °C
VZ 65 °C	Vergleichszahl 65 °C
wfr.	wasserfrei

1 Einleitung

Bier ist ein Produkt aus natürlich gewachsenen Rohstoffen. Die Qualität des Wassers kann über Aufbereitungsverfahren reguliert und somit weitgehend konstant gehalten werden. Die physiologischen Eigenschaften der verwendeten Hefe sind durch Einsatz von Reinzuchthefer und definierten Aufzucht- und Gärverfahren annähernd gleich bleibend. Die Rohstoffe Hopfen und Malz bzw. Gerste unterliegen durch die Züchtung und die schwankenden Aufwuchsbedingungen einer starken Beeinflussung. Bei der Braugerste kommt neben Resistenz- und Ertragszüchtung auch Qualitätszüchtung zum Einsatz, um die folgenden Eigenschaften zu verbessern:

- Ausbeute von Malz,
- Verarbeitbarkeit (Beschleunigung aller kapazitätsbestimmenden Prozessschritte wie Maischen, Läuterung, Gärung, Reifung, Filtration) zum Bier,
- sensorisch fassbare Qualität des Bieres (Geruch, Geschmack, Vollmundigkeit, Reiz, Bittere, Farbe, Schaum),
- Geschmacks- und Trübungsstabilität des Bieres.

So ergeben sich durch den Züchtungsfortschritt – wie in Tabelle 1 dargestellt – trotz gleich gehaltener Mälzungsverfahren veränderte Malzeigenschaften.

Beim Maischen werden die Inhaltsstoffe des Malzes gelöst und weiter abgebaut. Hier kann auf veränderte Malzeigenschaften durch Variation von Prozessparametern ausgleichend reagiert werden. Um die Qualität der Maischen, der daraus gewonnenen Würzen und damit des Endproduktes Bier konstant zu halten, müsste die Malzqualität jeder verwendeten Charge und Mischung vorher bestimmt werden und ein entsprechendes Maischprogramm angepasst werden.

Tabelle 1: 5-Jahres-Mittelwerte der Daten der Frühvermälzungen 1981-2000¹

		1981 bis	1986 bis	1991 bis	1996 bis	Trend
Kennzahl	Einheit	1985	1990	1995	2000	
Extrakt, wfr.	%	81,1	81,4	81,1	82,6	↗
Viskosität	mPas, 8,6 %	1,507	1,496	1,461	1,458	↘
Friabilimeterwert	%	79,7	81,2	87,9	89,2	↗
Korneiweiß, wfr.	%	10,4	10,5	10,4	9,8	↘
löslicher Stickstoff	mg/100 g MTrS.	670	712	738	733	↗
Kolbachzahl	%	41,1	42,6	44,4	46,9	↗
VZ 45 °C	%	35,7	37,7	40,8	42,4	↗
EVG, scheinbar	%	81,2	80,7	81,8	83,2	↗
α-Amylase, wfr.	ASBC	43	45	56	55	↗

Maßgeblicher Parameter des Maischprozesses ist die Temperatur-Zeit-Führung. Diese wird vor allem empirisch und oft auch traditionell (Werbespruch: „nach jahrhundertealtem Rezept gebraut“) festgelegt. Wünschenswert wäre es jedoch, wenn während des Maischens Qualitätsschwankungen erkannt und direkt beeinflusst werden könnten, um die Qualität konstant zu halten.

Eine derartige Regelung würde im Zusammenhang mit der ständigen Verbesserung der Gersten- und damit der Malzqualität den Maischprozess gegenüber traditionellen Verfahren vereinfachen und deutlich abkürzen. Dadurch könnte die Sudfolge in vielen Brauereien erhöht werden, da das Maischen, insbesondere nachdem die Würzetrennverfahren bei Läuterbottich und Maischfilter stark verbessert worden sind, der begrenzende Prozessschritt im Sudhaus ist. Das Ergebnis dieser Erhöhung wäre eine verbesserte Kostenstruktur durch die gesteigerte Kapazitätsauslastung.²

Ein System, welches online den Fortschritt der Vorgänge beim Maischen erkennen und danach geregelt den Prozess führen könnte, brächte also zwei Vorteile:

¹ Vgl.: Arbeitsgemeinschaft zur Förderung des Qualitätsgerstenanbaues im Bundesgebiet e. V. (Hrsg.): Braugersten-Jahrbuch. Eichenau 1981-2001.

² Vgl.: Schwill-Miedaner, Annette et al.: Untersuchungen zur Zeitoptimierung von Maischverfahren. In: Brauwelt. Nr. 12. Nürnberg 1998. S. 466-471.

1. Qualitätskonstanz durch rohstoffabhängige Prozessführung
2. Zeitersparnis und dadurch Kostensenkung

Über prozessbegleitende Analytik beim Maischen zur Bestimmung des Prozessfortschritts wird in der Literatur bereits berichtet.^{3,4} Eine Rückkoppelung der Analysenergebnisse auf die Prozessführung wurde bisher aber noch nicht erreicht. Aus diesem Grunde wurde das Forschungsvorhaben „Entwicklung eines Prozessführungssystems zur Optimierung der zytolytischen, proteolytischen und amylolytischen Abbauvorgänge beim Maischen“ der Arbeitsgemeinschaft industrielle Forschungsvereinigung „Otto von Guericke“ e. V. (Forschungsvorhaben 12552N) eingeleitet. Dieses Projekt entstand unter Federführung des Lehrstuhls für Fluidmechanik und Prozessautomation in Zusammenarbeit mit dem Lehrstuhl für Technologie der Brauerei I und Getränketechnologie am Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt der Technischen Universität München.

Die vorliegende Arbeit stellt einen Teil des Forschungsprojektes. Zielsetzung war, den Fortschritt des Maischprozesses mittels Analyse der enzymatischen Abbauprodukte zu beurteilen und mit physikalischen online-Messmethoden darzustellen sowie im Hinblick auf die gewünschte Bierqualität zu beeinflussen.

³ Vgl.: Einsiedler, Frank et al.: Experimentelle Untersuchung komplexer biochemischer und technologischer Prozesse am Beispiel des Maischens. Teil 1-3. In: Monatsschrift für Brauwissenschaft. Hefte 9/10, 11/12 und Heft 1/2. Nürnberg 1997-1998.

⁴ Vgl.: Wilke, J. und B. Parthey: Prozessnahe Biermaische-Analytik. In: Monatsschrift für Brauwissenschaft. Heft 3/4. Nürnberg 1996. S. 115-118.

2 Grundlagen

2.1 Makromoleküle in Gerste

Der überwiegende Teil der Gerstenmasse besteht aus unlöslichen Makromolekülen, die das Korn – nachdem es niedermolekulare, gelöste Nährstoffe aufgenommen hat – zur Einlagerung aufbaut.⁵ Zum einen sind dies Kohlenhydrate, die Zucker als Grundbaustein haben, zum anderen Eiweiße, die aus Aminosäuren bestehen. Stärke als größte Kohlenhydratfraktion macht ca. 63 % der Gerstentrockenmasse aus, Eiweiß ca. 11 %.⁶

2.1.1 Eiweißbestandteile des Gerstenkorns

Innerhalb des Gerstenkorns befindet sich Eiweiß in der Kornumhüllung, im Keimling und im Mehlkörper. In diesem wiederum findet sich Eiweiß als Klebereiweiß in der Aleuronschicht, als Reserveeiweiß und als Gewebeeiweiß in den Zellmembranen des Endosperms.⁷ Eiweiße, auch Proteine genannt, sind Polypeptide, also durch Säure-Amid-Bindungen miteinander verknüpfte Aminosäuren mit einem Molekulargewicht von 10000 bis mehrere 100000 Da.⁸ Abbildung 1 zeigt die Struktur einer solchen Peptidkette.

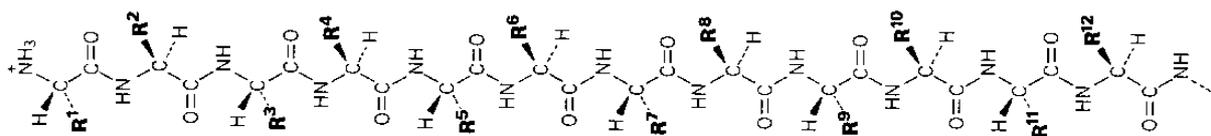


Abbildung 1: Strukturformel einer Polypeptidkette⁹

⁵ Vgl.: Heyse, Karl-Ullrich (Hrsg.): Handbuch der Brauerei-Praxis. 3. Aufl. Nürnberg 1995. S. 2.

⁶ Vgl.: Narziß, Ludwig: Die Bierbrauerei. Band 1: Die Technologie der Malzbereitung. 7. Aufl. Stuttgart 1999. S. 26.

⁷ Vgl.: ebenda, S. 35.

⁸ Vgl.: Karlson, Peter: Kurzes Lehrbuch der Biochemie für Mediziner und Naturwissenschaftler. 14. Aufl. Stuttgart 1994. S. 23.

⁹ Vgl.: ebenda, S. 24.

Die Eiweißkörper in der Gerste werden nach ihrer Löslichkeit in verschiedenen Lösungsmitteln in folgende Fraktionen unterteilt:¹⁰

- Albumine,
- Globuline,
- Prolamine (nach Hartong: Gliadine oder Hordeine),
- Gluteline.

Die nativen Gersteneiweißfraktionen lösen sich teilweise nicht in Wasser, sondern werden erst durch ihre Degradation während des Mälzungs- und Maischprozesses löslich gemacht.¹¹

2.1.2 Kohlenhydrate in Gerste

Kohlenhydrate sind Zucker oder zuckerähnliche Substanzen und höher- bis hochmolekulare Stoffe, die diese als Grundbaustein haben.¹² Sie stellen mit der Cellulose die mengenmäßig bedeutendste organische Verbindung in der Natur.¹³ Zum einen erfüllen sie Gerüstfunktionen als β -glycosidisch verbundene Kohlenhydrate, zum anderen dienen sie – α -glycosidisch verbunden – als Reservestoff bzw. Energieträger.¹⁴

¹⁰ Vgl.: Narziß, Ludwig: Die Bierbrauerei. Band 1: Die Technologie der Malzbereitung. 7. Aufl. Stuttgart 1999. S. 42 f.

¹¹ Vgl.: Hartong, B. D.: Die koagulierbaren und die kälteempfindlichen Eiweißkörper. In: Wochenschrift für Brauerei. Jahrgang Nr.5. Berlin 1937. S. 33 ff.

¹² Vgl.: Dellweg, Hanswerner (Hrsg.) et al.: Römpf Lexikon Biotechnologie. Stuttgart 1992. S. 433.

¹³ Vgl.: Falbe, Jürgen. u. Manfred Regitz (Hrsg.): Römpf Chemie Lexikon Band 3. 9. Aufl. Stuttgart 1990. S. 2283.

¹⁴ Vgl.: ebenda.

2.1.2.1 α -glycosidisch verbundene Kohlenhydrate

Den größten Teil der sogenannten α -Glucane stellt die Stärke. Diese teilt sich wiederum in 2 Fraktionen auf. Ein Anteil von 17-24 % der Gerstenstärke ist Amylose, eine lineare Helix aus 60-2000 α -1 \rightarrow 4-verbundenen Glucoseeinheiten mit einem Molekülgewicht von bis zu 500000 Da. Die restlichen 76-83 % der Stärke werden durch Amylopektin (auch iso-Amylose) gebildet. Dieses besteht aus verzweigten Molekülketten, die neben den linearen α -1 \rightarrow 4-Folgen auch α -1 \rightarrow 6-verbundene Verästelungen haben. Abbildung 2 veranschaulicht die Struktur dieser Verbindungen.

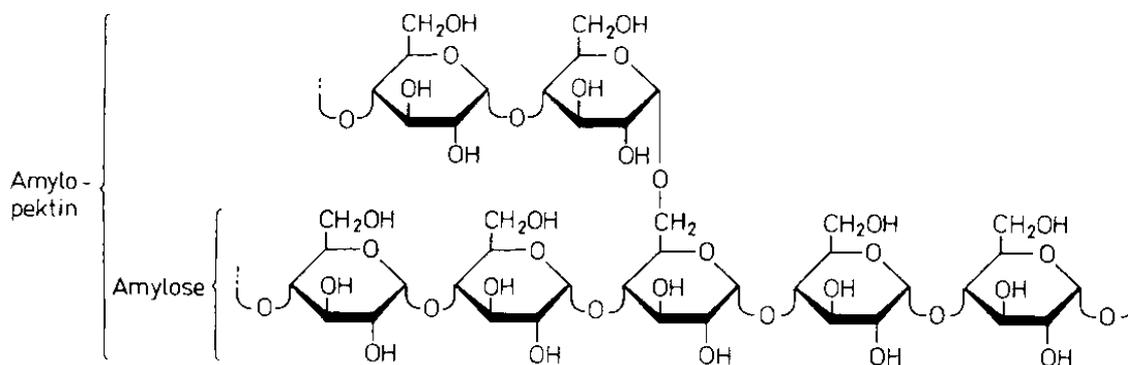


Abbildung 2: Struktur von Stärkemolekülen¹⁵

2.1.2.2 β -glycosidisch verbundene Kohlenhydrate

Die Gerüstsubstanz der Gerstenzellwände in den Spelzen, im Keimling sowie in Frucht- und Samenschale ist die Cellulose, während es im Mehlkörper die Hemicellulosen und Pentosane sind.¹⁶ Diese Stoffe sind β -glycosidisch verbundene Kohlenhydrat-Makromoleküle. Bamforth gibt ein Modell zum Aufbau der Zellwände des stärketragenden Gerstenendosperms an, wie es in Abbildung 3 dargestellt ist.

¹⁵ Vgl.: Dellweg, Hanswerner (Hrsg.) et al.: Römpp Lexikon Biotechnologie. Stuttgart 1992. S. 724.

¹⁶ Vgl.: Narziß, Ludwig: Die Bierbrauerei. Band 1: Die Technologie der Malzbereitung. 7. Aufl. Stuttgart 1999. S. 31.

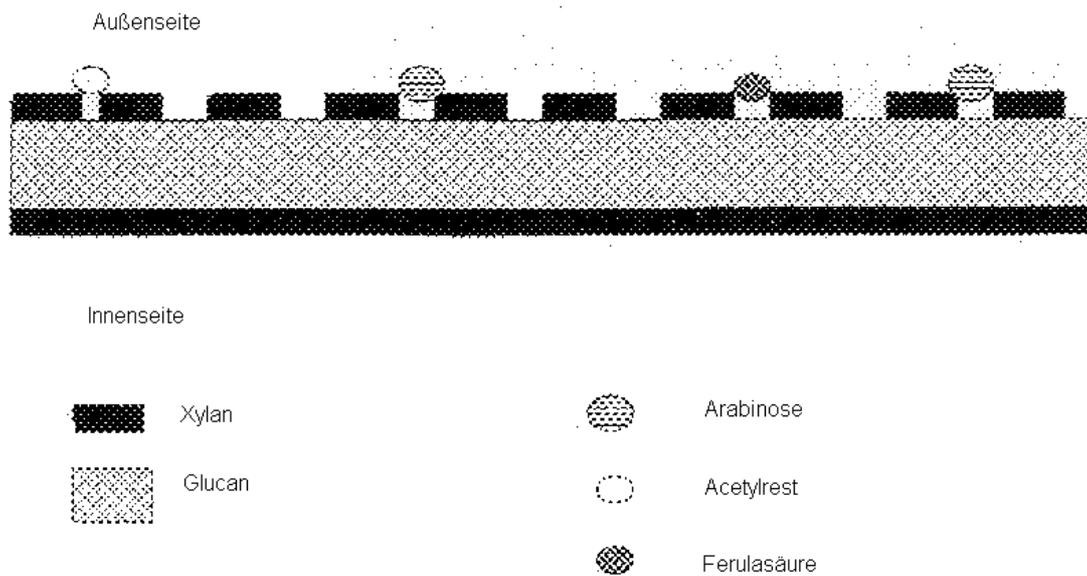


Abbildung 3: Modell der Zellwandstruktur der stärkeführenden Zellen im Gerstenendosperm¹⁷

Die Zellwand enthält als Gerüst β -Glucan, das nach außen hin durch Xylan, ein Pentosan, begrenzt wird. Auf der zelläußeren Seite sind neben Arabinose phenolische Reste (= Ferulasäure) und Acetylreste angelagert, welche fluoreszieren und so nachweisbar sind.¹⁸

¹⁷ Bamforth, Charles und Makoto Kanauchi: A Simple Model for the Cell Wall of the Starchy Endosperm in Barley. In: Journal of The Institute of Brewing. Volume 107. 2001. S. 239.

¹⁸ Vgl.: Fincher, G. B.: Ferulic Acid in Barley Cell Walls: A Fluorescence Study. In: Journal of the Institute of Brewing. Volume 82. 1976. S. 347-349.

2.1.2.2.1 Aufbau des β -Glucans

Zu den β -Glucanen sind unter anderem die Cellulose, sowie die Hemicellulosen zu zählen.¹⁹ Cellulose wie auch die Hemicellulosen bestehen aus Cellobiose, die, wie in Abbildung 4 dargestellt, zu Makromolekülen β -1 \rightarrow 4- und β -1 \rightarrow 3-glycosidisch verbunden ist.

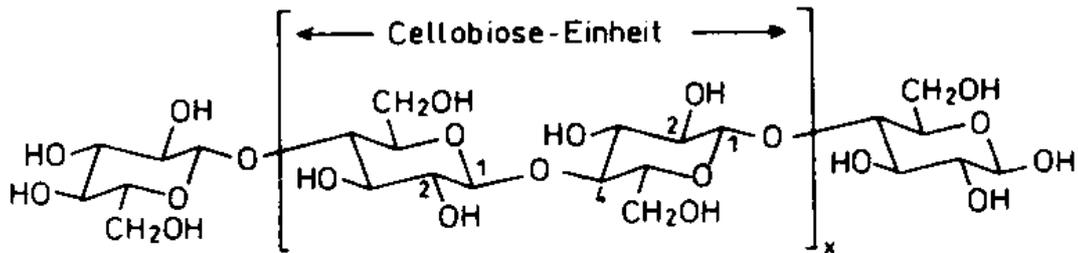


Abbildung 4: Cellobiose - Grundbaustein der Cellulose²⁰

Cellulose und Hemicellulosen unterscheiden sich nach Narziß²¹ in ihrer Struktur und in ihrer Löslichkeit aufgrund verschiedener Polymerisationsgrade.²² Neben β -1 \rightarrow 4-glycosidischen Bindungen (ca. 70 %), wie in Abbildung 4 dargestellt, sind in den Gerstenzellwandmakromolekülen auch β -1 \rightarrow 3-glycosidische Bindungen (ca. 30 %) in unregelmäßigen Sequenzen vorhanden.²³ Abbildung 5 demonstriert den Aufbau einer β -Glucan-Kette.

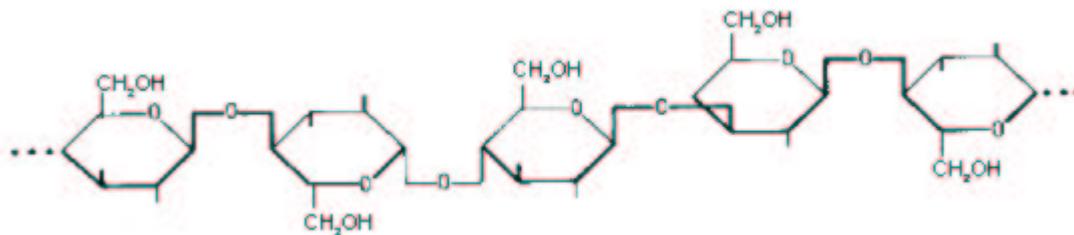


Abbildung 5: Aufbau eines β -Glucan-Moleküls²⁴

¹⁹ Vgl.: Narziß, Ludwig: Die Bierbrauerei. Band 1: Die Technologie der Malzbereitung. 7. Aufl. Stuttgart 1999. S. 31.

²⁰ Falbe, Jürgen u. Manfred Regitz (Hrsg.): Römpf Chemie Lexikon Band 1. Stuttgart. 9. Aufl. 1989. S. 613.

²¹ Vgl.: Narziß, Ludwig: a.a.O. S. 31.

²² Vgl.: Falbe, Jürgen u. Manfred Regitz (Hrsg.): a.a.O. S. 613.

²³ Vgl.: Narziß, Ludwig: a.a.O. S. 32.

²⁴ Narziß, Ludwig: a.a.O. S. 32.

2.1.2.2.2 Aufbau der Pentosane

Die Pentosane setzen sich meist aus einer Xylan-Kette (β -1 \rightarrow 4-verbundene D-Xylosepyranoseeinheiten) mit verschiedenen Seitenketten aus Xylose, Arabinose, Glucuronsäure und Ferulasäure zusammen. In chemischer Strukturformel gibt dies Abbildung 6 wieder.

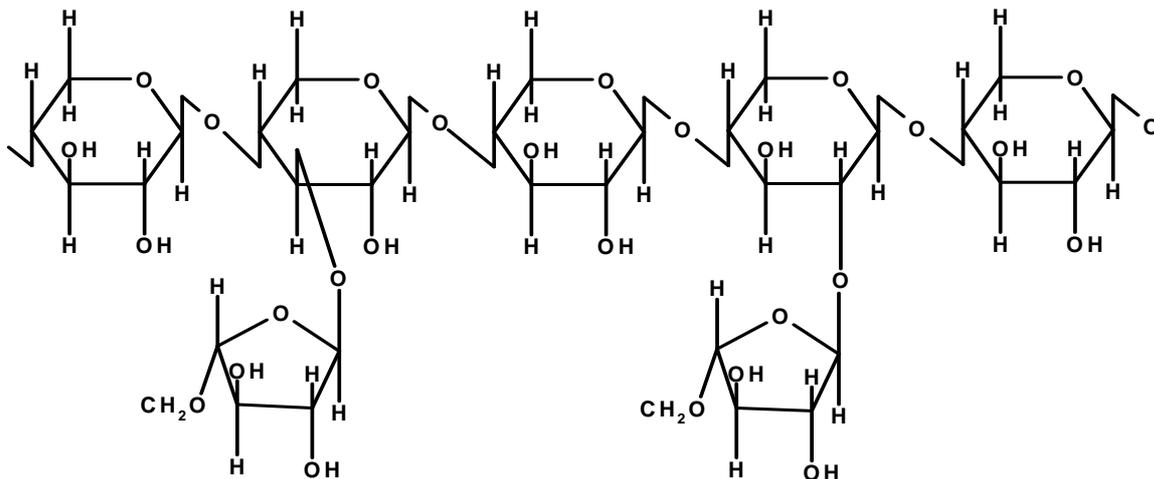


Abbildung 6: Aufbau einer Pentosankette aus dem Mehlkörper

Die Pentosane der Gerste sind zu 75 % in den Spelzen lokalisiert, 25 % sind in den Zellwänden des Endosperms zu finden.²⁵

2.2 Enzyme und ihre Eigenschaften

2.2.1 Bedeutung der Enzyme

Enzyme sind Biokatalysatoren, das heißt, sie erniedrigen die Aktivierungsenergie einer Reaktion und beschleunigen damit die Einstellung eines Gleichgewichtes zwischen Reaktionsedukt und -produkt. Die Reaktionen des Stoffwechsels werden von ihnen katalysiert, sowohl intra- wie auch extrazellulär.²⁶ Sie zeichnen sich durch eine hohe Substratspezifität aus, das heißt sie handhaben nur einen Metaboliten und

²⁵ Vgl.: Preece, I. A. und J. Hobkirk: Non-Starchy Polysaccharides of Cereal Grains. V. Some Hemicellulose Fractions. In: Journal of The Institute of Brewing. Volume 60. 1954. S. 490 ff.

²⁶ Vgl.: Karlson, Peter: Kurzes Lehrbuch der Biochemie für Mediziner und Naturwissenschaftler. 14. Aufl. Stuttgart 1994. S. 23.

dessen Stoffwechselprodukt. Außerdem sind sie durch Wirkungsspezifität charakterisiert. Sie beschleunigen nur eine bestimmte vieler möglicher Umwandlungsreaktionen des Metaboliten.²⁷ Fast alle Enzyme sind Proteine.²⁸ Innerhalb der Proteine sind die Enzyme den Globulären oder Sphäroproteinen zuzuordnen, das heißt sie sind in Wasser und verdünnten Salzlösungen löslich und ihre Moleküle sind sphärisch.²⁹ Ihr Molekulargewicht beträgt zwischen 10.000 und mehreren 100.000 Da.³⁰ Die räumliche Gestalt der Moleküle ist für ihre Spezifität und Effektivität verantwortlich.³¹

2.2.2 Funktionen und Nomenklatur

Die Enzyme sind ihrer Reaktionsspezifität nach eingeteilt. Diese Einteilung fand durch eine internationale Kommission statt und gliedert die Enzyme in sechs Klassen:³²

- Oxidoreduktasen,
- Transferasen,
- Hydrolasen,
- Lyasen,
- Isomerasen,
- Ligasen.

Während des Mälzens und Maischens sind vor allem die Hydrolasen wichtig – sie spalten unter Wassereinschluss Makromoleküle auf. Dies kann entweder vom Molekülende geschehen – dann handelt es sich bei dem entsprechenden Enzym um ein Exoenzym – oder von der Molekülmitte her, wenn ein Endoenzym die Spaltung bewirkt. Innerhalb der Hydrolasen wiederum sind für den Maischprozess neben den Esterasen die Glycoside und Peptidbindungen spaltenden Enzyme wichtig. Folgende Tabelle 2 gibt eine Übersicht der beim Mälzen und Maischen wichtigen makromolekülsplattendenden Enzyme wieder.

²⁷ Vgl.: Schlegel, Hans G.: Allgemeine Mikrobiologie. 2. Aufl. Stuttgart 1972. S 188.

²⁸ Vgl.: Karlson, Peter: Kurzes Lehrbuch der Biochemie für Mediziner und Naturwissenschaftler. 14. Aufl. Stuttgart 1994. S. 47.

²⁹ Vgl.: Karlson, Peter: ebenda. S. 23.

³⁰ Vgl.: Karlson, Peter: ebenda.

³¹ Vgl.: Belitz, Hans-Dieter et al.: Lehrbuch der Lebensmittelchemie. 5. Aufl. Berlin 2001. S. 90.

Tabelle 2: Hydrolasen beim Mälzen und Maischen^{33,34,35}

Enzym	katalysierte Reaktion
<i>Carbohydrasen</i>	<i>Abbau von Stärke, Hemicellulosen und Cellulose</i>
α -Amylase (dextrinogene Amylase)	Spaltung der α -1 \rightarrow 4-Bindungen der Amylose und des Amylopektins vom Innern zu Oligosacchariden
β -Amylase (saccharogene Amylase)	Spaltung der Amylose vom nichtreduzierenden Ende her zu Maltose, des Amylopektins bis zu Grenzdextrinen (Oligosaccharide mit α -1 \rightarrow 6-Bindungen)
Maltase	Spaltung von Maltose zu Glucose
Grenzdextrinase	Spaltung der α -1 \rightarrow 6-Bindungen von Grenzdextrinen
R-Enzym	Spaltung der α -1 \rightarrow 6-Bindungen von Grenzdextrinen und Amylopectin von außen
α -Glucosidase	Freisetzung von Glucose aus Amylose und Amylopektin
Saccharase	Spaltung von Saccharose zu Glucose und Fructose
β -Glucan-Solubilase	Herauslösen von Hemicellulosen- β -Glucan aus der Zellproteinmatrix
Endo- β -1 \rightarrow 4-Glucanase	Spaltung von β -1 \rightarrow 4-Bindungen in hochmolekularem β -Glucan
Endo- β -1 \rightarrow 3-Glucanase	Spaltung von β -1 \rightarrow 3-Bindungen in hochmolekularem β -Glucan
Exo- β -Glucanase	Abspaltung von Cellobiose und Laminaribiose von hochmolekularem β -Glucan
Endo-Xylanase	Spaltung von hochmolekularem Pentosan
Cellobiase	Spaltung von Cellobiose zu Glucose
Laminaribiase	Spaltung von Laminaribiose zu Glucose
Cellulase	Spaltung von Dextrinen zu Glucose
<i>Proteasen</i>	<i>Spaltung von Peptidbindungen</i>
Endopeptidasen	Aminosäuresequenzspezifischer Abbau hochmolekularer Proteine zu Poly- und Oligopeptiden
Carboxypeptidasen	Hydrolyse der Peptide vom Carboxylgruppenende her
Amino-peptidasen	Hydrolyse der Peptide vom Aminogruppenende her
Dipeptidasen	Abtrennung von Dipeptiden vom Molekülende her

³² Vgl.: Belitz, Hans-Dieter et al.: Lehrbuch der Lebensmittelchemie. 5. Aufl. Berlin 2001. S 92.

³³ Vgl.: Heyse, Karl-Ullrich (Hrsg.): Handbuch der Brauerei-Praxis. 3. Aufl. Nürnberg 1995. S. 4 ff.

³⁴ Vgl.: Narziß, Ludwig: Die Bierbrauerei. Band 1: Die Technologie der Malzbereitung. 7. Aufl. Stuttgart 1999. S. 61 ff.

³⁵ Vgl.: Belitz, Hans-Dieter et al.: a.a.O. S. 323 ff.

2.2.3 Enzymatische Reaktionen und ihre Beeinflussung

Enzyme erhöhen Reaktionsgeschwindigkeiten. Sie beschleunigen also die Einstellung des Gleichgewichtes von Edukt und Produkt einer Reaktion. Hierbei können sie in ihrer Wirkungsweise positiv und negativ beeinflusst werden. Dies kann durch die Substratkonzentration, das Ionenmilieu, die Anwesenheit von Aktivatoren bzw. Inhibitoren und die Umgebungstemperatur geschehen. Ab einer bestimmten Temperatur ist das Enzym jedoch denaturiert und damit irreversibel inaktiviert.³⁶ Es gibt also für die Enzymwirkung Optimalbedingungen, die der Mälzer oder der Brauer herstellen oder umgehen kann, je nachdem, ob er die Wirkung des Enzyms wünscht oder nicht. Während der Mälzung kann auf die Enzymarbeit durch folgende Parameter regulierend eingewirkt werden:³⁷

- Keimtemperatur.
- Keimgutfeuchte.
- Keimdauer.
- Verhältnis Frischluft/Umluft (O_2/CO_2).

Beim Maischen beeinflussen die Parameter

- Brauwasserzusammensetzung,
- Schüttung/Gussführung,
- Maische-pH,
- Temperatur-Zeitführung und

thermisch-physikalischer Aufschluss des Substrates durch Kochung (Dekoktion) das Wirkungsmaß der Enzyme.³⁸ Außerdem beeinflusst die Feinheit der Schrotung des Malzes die Angriffsmöglichkeiten für die Enzyme und somit deren Wirkung.³⁹ Dies ist jedoch ein Schrotungs- und kein Maischparameter.

³⁶ Vgl.: Falbe, Jürgen. u. Manfred Regitz (Hrsg.): Römpp Chemie Lexikon Band 2. 9. Aufl. Stuttgart 1990. S. 1185.

³⁷ Vgl.: Heyse, Karl-Ullrich (Hrsg.): Handbuch der Brauerei-Praxis. 3. Aufl. Nürnberg 1995. S. 29 f.

³⁸ Vgl.: Heyse, Karl-Ullrich (Hrsg.): ebenda. S. 112 f.

³⁹ Vgl.: Schwill-Miedaner, Annette et al.: Untersuchungen zur Zeitoptimierung von Maischen. In: Brauwelt Heft 12. Nürnberg 1998. S. 466.

2.3 Stoffliche Veränderungen während der Mälzung

Mälzen bedeutet, Getreidekörner zum Keimen zu bringen. Dies geschieht durch Wasserzugabe beim Prozessschritt „Weichen“, bis ein Wassergehalt von ca. 38 % erreicht ist. Hierdurch fangen zum einen bereits in der Rohgerste vorhandene Enzyme an zu wirken, zum anderen werden Enzyme gebildet. Diese lässt man während der Keimung bei einem Wassergehalt von 43-48 % und Temperaturen von 13-18 °C in ihrer Aktivität erstarken und wirken. Anschließend wird das sogenannte „Grünmalz“ gedarrt, um es haltbar zu machen und ein Aromaprofil auszubilden.⁴⁰ Ein keimendes Gerstenkorn mit eingezeichneten Gestaltsmerkmalen, die sich während des Mälzens verändern, ist in der Abbildung 7 im Querschnitt dargestellt.

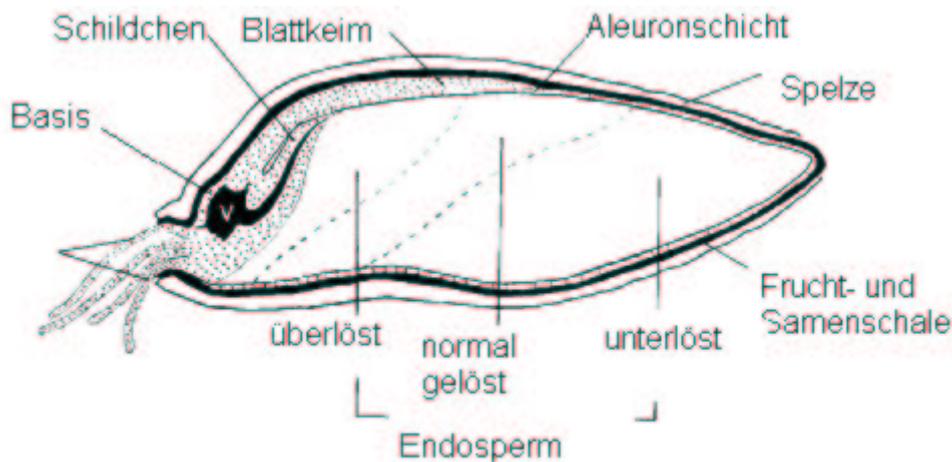


Abbildung 7: Keimendes Gerstenkorn⁴¹

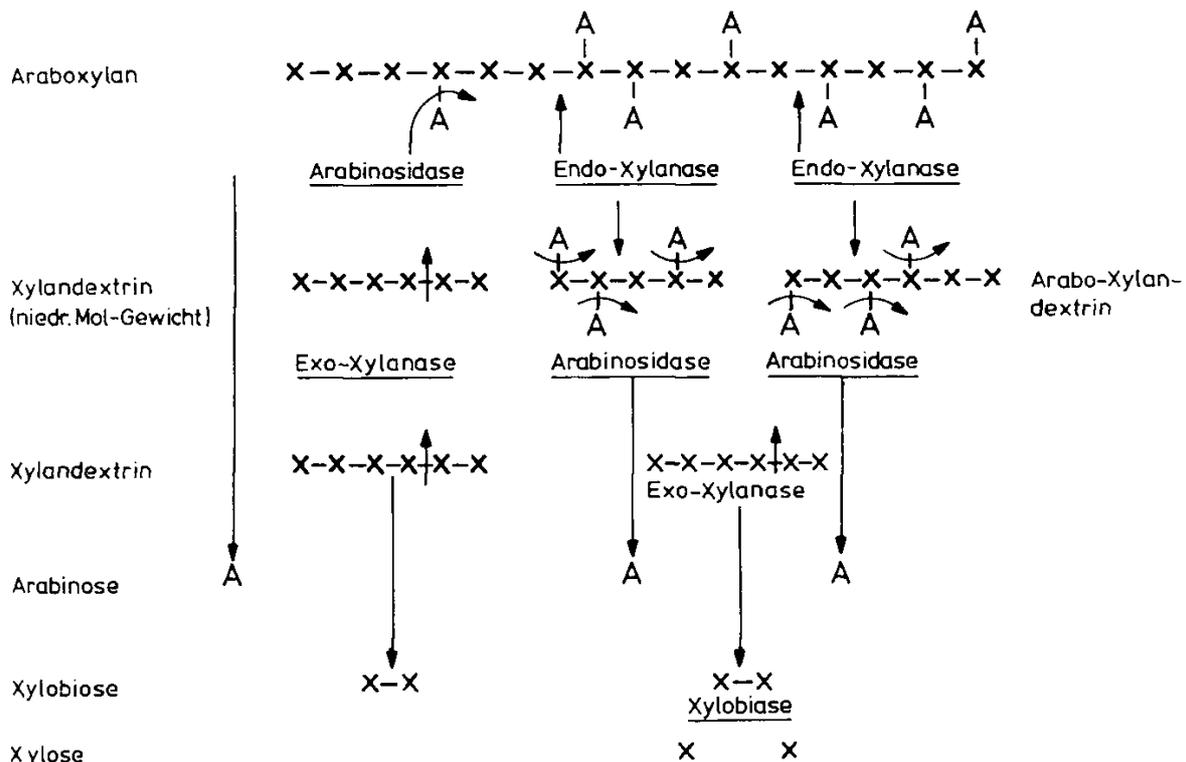
Die enzymatisch bedingten stofflichen Veränderungen von der Gerste zum Produkt Malz sind im Folgenden erläutert.

2.3.1 Zellwandlösung im Korn

Die Zellwandlösung oder Zytolyse beginnt beim Mälzen mit einem Aktivitätsanstieg der in der Gerste bereits vorhandenen Exoenzyme des Zellwandabbaus (siehe

⁴⁰ Vgl.: Heyse, Karl-Ullrich (Hrsg.): Handbuch der Brauerei-Praxis. 3. Aufl. Nürnberg 1995. S. 29 f.

⁴¹ Palmer, G. H.: Modes of Action of Gibberellins During Malting. In: European Brewery Convention. Proceedings of the 13th Congress Estoril 1971. Amsterdam 1972. S. 64.

Abbildung 9: Schema des Pentosanabbaus⁴⁷

Der Abbau der Zellwandbausteine bedeutet also zunächst die Lösung größerer Moleküle, die dann zu Dextrinen mittlerer Größe abgebaut werden, um schließlich zu Di- und Monosacchariden zerlegt zu werden. Dies geschieht allerdings beim Mälzungsverfahren bei weitem nicht vollständig. Während der Gehalt an hochmolekularem β -Glucan im Malz auf bis zu 5 % seines Ausgangswertes in Gerste sinken kann,⁴⁸ sind von den Pentosanen noch 80 % des ursprünglichen Gehaltes nach der Mälzung vorhanden.⁴⁹ Positiv beeinflusst werden kann die Zytolyse durch Keimtemperaturen um 13-15 °C und eine gute O₂-Versorgung,⁵⁰ vor allem aber durch einen höheren Weichgrad (= Wassergehalt) sowie längere Keimdauer.⁵¹

⁴⁷ Narziß, Ludwig: Die Bierbrauerei. Band 1 Die Technologie der Malzbereitung. 7. Aufl. Stuttgart 1999. S. 161.

⁴⁸ Vgl.: Schuster, K. et al.: Über die Gummistoffe der Gerste und ihr Verhalten während der Malz- und Bierbereitung. In: Brauwissenschaft Heft 4. Jahrgang 20. Nürnberg 1967. S. 186 ff.

⁴⁹ Vgl.: Narziß, Ludwig: a.a.O. S. 162.

⁵⁰ Vgl.: Narziß, Ludwig: ebenda. S. 158.

⁵¹ Vgl.: Narziß, Ludwig: ebenda. S. 162 f.

2.3.2 Eiweißlösung

Die hochmolekularen Eiweiße liegen im Gerstenkorn im Aleuron, unterhalb der Aleuronschicht als Reservesubstanz und im Endosperm als Kittsubstanz vor. Mit dem Abbau dieser Kittsubstanz ist zum einen die in den Endospermzellen gespeicherte Stärke für degradierende Enzyme zugänglich, zum anderen wird für den Aufbau eines Wurzel- und Blattkeims niedermolekulares Eiweiß, vor allem Aminosäuren, frei. Benötigt werden diese auch zur Synthese von weiteren hydrolytischen Enzymen.⁵² Abbildung 10 zeigt die Abbau- und Synthesewege der Proteine beim Mälzen.

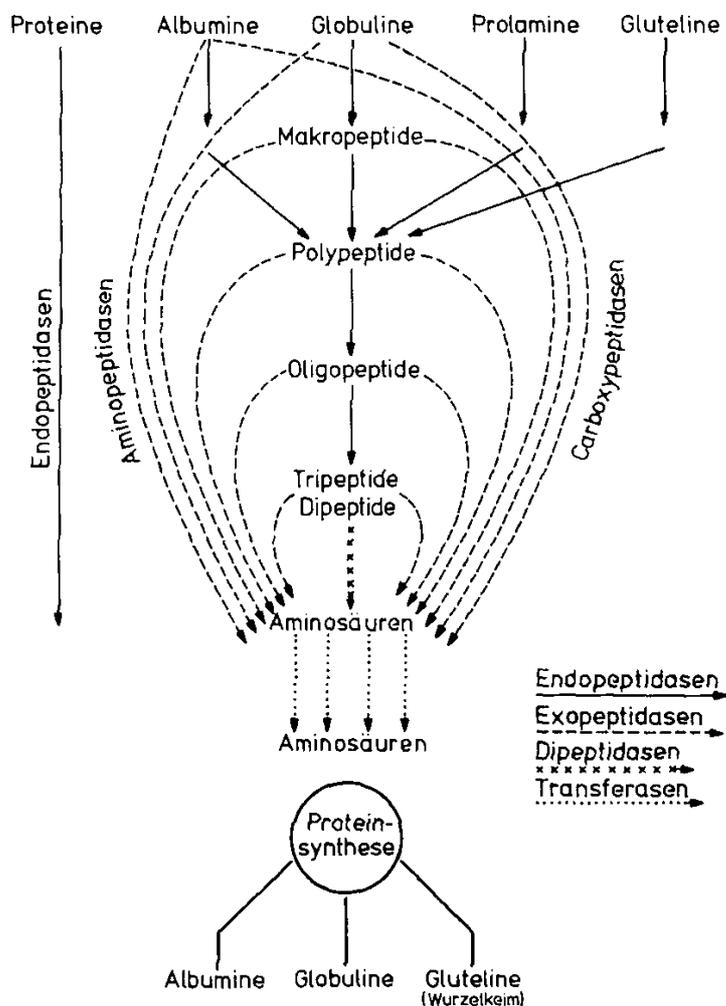


Abbildung 10: Enzymatischer Abbau der Eiweißfraktionen⁵³

⁵² Vgl.: Narziß, Ludwig: Die Bierbrauerei. Band 1 Die Technologie der Malzbereitung. 7. Aufl. Stuttgart 1999. S. 165.

⁵³ Narziß, Ludwig: ebenda. S. 166.

Hohe Weichgrade (um 43-48 %) fördern den Eiweißabbau stark. Ebenfalls sind eine gute O₂-Versorgung beim Weichen und Keimtemperaturen um 13-15 °C förderlich.^{54,55} Eine Erhöhung des Umluftanteils während der Keimung erhöht den im Korn verbleibenden Anteil gelösten Eiweißes. Dadurch wird nicht soviel „Baustoff“ in den Keim abtransportiert.⁵⁶

2.3.3 Stärkelösung

Die Stärke liegt in der Gerste in den Zellen des Endosperms als Körner verschiedener Größe vor. Diese Zellen sind von Hemicellulosemembranen umgeben und mit Proteinen verklebt. Bevor die Stärke angreifbar wird, muss also zunächst ein Zellwand- und Eiweißabbau stattfinden.⁵⁷ Ursprünglich befindet sich in der Gerste ein Anteil von ca. 2 % Mono- und Disacchariden, die zur Energiegewinnung für das Korn vor der Keimung dienen.⁵⁸ Während der Keimung wird die Stärke dann von α - und β -Amylase zu Zuckereinheiten abgebaut, die wiederum dem Keimling als Energieträger oder Baustoff für Stärke zur Verfügung stehen. Dabei fallen Abbauprodukte mit α -1 \rightarrow 6-Verzweigungen, die Dextrine, an.⁵⁹ Diese werden dann von der sogenannten Grenzextrinase weiter zersetzt. Einen Überblick über den enzymatischen Stärkeabbau gibt die Abbildung 11.

⁵⁴ Vgl.: Heyse, Karl-Ullrich (Hrsg.): Handbuch der Brauerei-Praxis. 3. Aufl. Nürnberg 1995. S. 28.

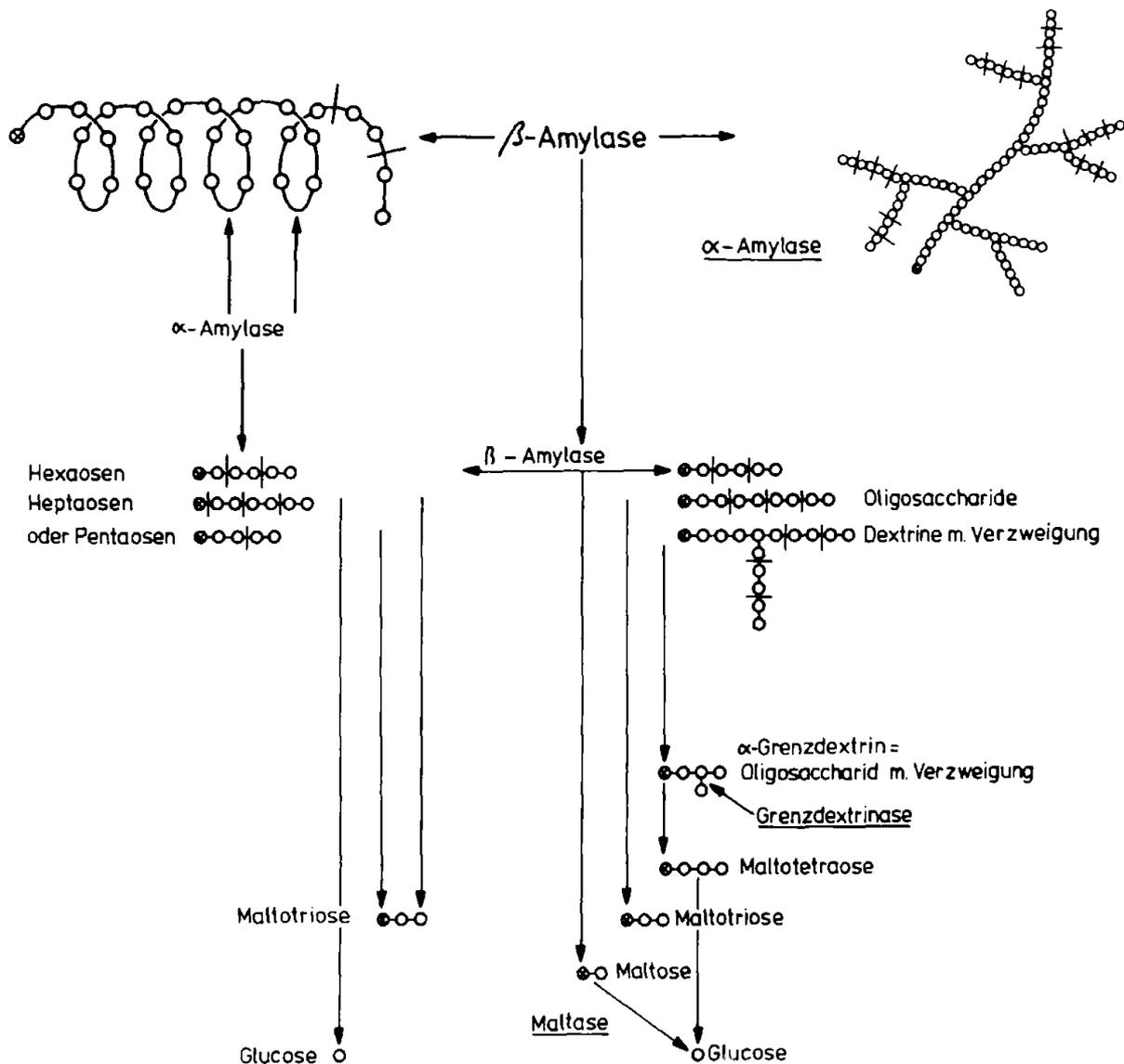
⁵⁵ Vgl.: Narziß, Ludwig: Die Bierbrauerei. Band 1 Die Technologie der Malzbereitung. 7. Aufl. Stuttgart 1999. S. 171.

⁵⁶ Vgl.: Narziß, Ludwig: ebenda. S. 171.

⁵⁷ Vgl.: Narziß, Ludwig: ebenda. S. 149.

⁵⁸ Vgl.: Narziß, Ludwig: ebenda. S. 142.

⁵⁹ Vgl.: Narziß, Ludwig: ebenda. S. 152.

Abbildung 11: Schema des Stärkeabbaus⁶⁰

Wichtig ist ein geringes Ausmaß des Stärkeabbaus beim Mälzen. Sie wird sonst als Zucker in den Stoffwechsel überführt und veratmet oder dem Blattkeim bzw. dem Wurzelkeim als Metabolit zur Verfügung gestellt und geht so als Extrakt verloren. Von Bedeutung ist vielmehr die ausgeprägte Aktivierung und Bildung von amyolytischen Enzymen beim Mälzen, die ihre Wirkung beim Maischen entfalten. Beeinflussbar ist dies bei der Keimung durch eine hohe Keimgutfeuchte (bis 46 %) und nicht mehr als 5 % CO₂-Gehalt in der dem Keimgut zugeführten Luft. Bei fallender Temperaturführung werden am Anfang der Keimung die Enzyme aktiviert und

⁶⁰ Vgl.: Narziß, Ludwig: Die Bierbrauerei. Band 1. Die Technologie der Malzbereitung. 7. Aufl. Stuttgart 1999. S. 151.

gebildet. Der Verlust von extraktbildender Stärke bzw. Zuckern wird jedoch gebremst. Mit steigender Keimzeit erstarken zwar die Enzyme, aber ebenfalls steigt der beschriebene Schwand.⁶¹

2.4 Der Maischprozess als Lösungsvorgang

Der Maischprozess hat die Aufgabe, Extrakt aus dem geschroteten Malz in Wasser zu lösen. Zum einen soll möglichst viel vergärbarer Extrakt (Zucker, Abbauprodukte der Stärke) gelöst werden, zum anderen möglichst wenig problembereitender Extrakt (filtrationshemmende hochmolekulare β -Glucane). Weiter sollen in der späteren Würze ausreichend, aber nicht zu viel hochmolekulares Eiweiß zur Schaumbildung und Aminosäuren zur Hefenahrung vorhanden sein. Zwar legt die Malzauflösung grundsätzlich die Grenzen der Möglichkeiten beim Maischen fest, dennoch ist es innerhalb dieser Grenzen möglich, mangelnder Malzlösung entgegenzusteuern bzw. die Würzezusammensetzung in einer gewünschten Art zu beeinflussen.⁶²

2.4.1 Physikalische und enzymatische Lösung

In der Bierbereitung wird zunächst das Malz geschrotet, also mechanisch zerkleinert, und anschließend gemaischt. Dies bedeutet eine Vermischung des Schrotetes, genannt Schüttung, mit Wasser, genannt Guss, also die Herstellung eines Fest-Flüssig-Gemisches, einer Suspension, genannt Maische. Diese Suspension verändert ihre Zusammensetzung mit der Zeit, da einerseits Inhaltsstoffe des Malzes unverändert physikalisch in Lösung gehen. Andererseits entfalten die Enzyme, die sich beim Mälzen gebildet haben, unter dem Einfluss des Wassers ihre Wirkung und verändern unlösliche Malzinhaltsstoffe so, dass sie in Lösung gehen. Abbildung 12 gibt einen Überblick über diese Lösungsvorgänge und ihr Zusammenwirken. Sie stellt auch die Fachbegriffe innerhalb dieser Prozesse dar.

⁶¹ Vgl.: Narziß, Ludwig: Die Bierbrauerei. Band 1. Die Technologie der Malzbereitung. 7. Aufl. Stuttgart 1999. S. 153 ff.

⁶² Vgl.: Schwill-Miedaner, Annette: Derzeitige Schwerpunkte der Brauereitechnologie. In: Der Weihenstephaner. 70. Jahrgang. Heft 1. Nürnberg 2002. S. 26.

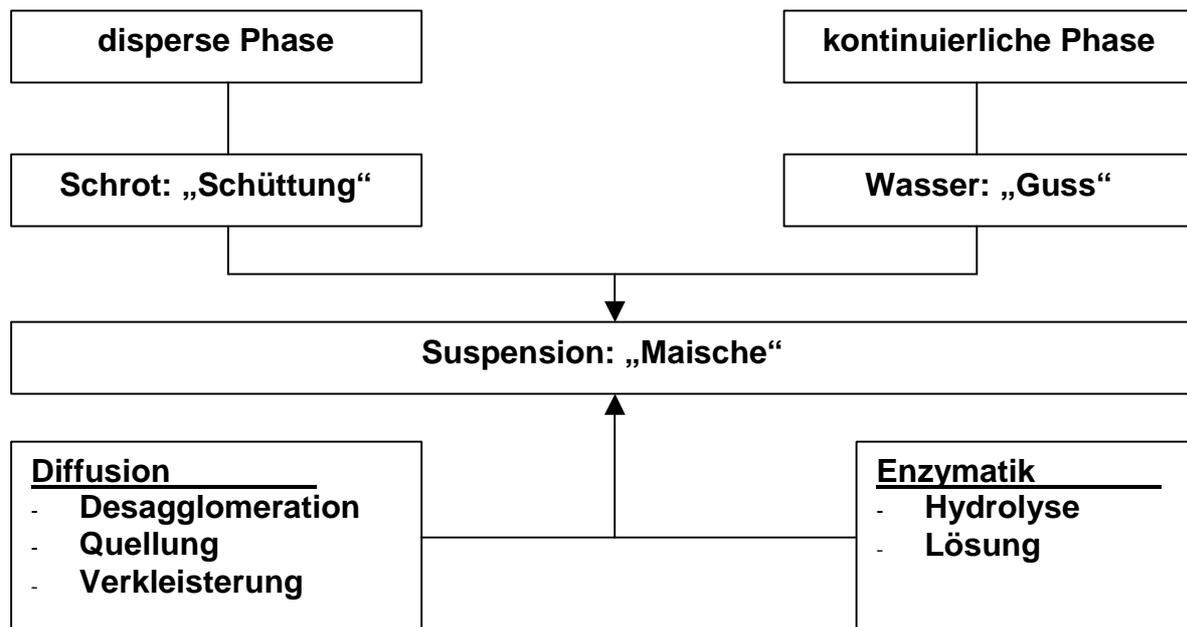


Abbildung 12: Lösungsvorgänge beim Maischen⁶³

Die Tabelle 3 listet beim Maischen aktive Malzenzyme mit ihren maischerelevanten Eigenschaften auf. Dies sind Wirkungsoptima und Inaktivierungstemperaturen der Enzyme.

⁶³ Vgl.: Herrmann, Jan: Entwicklung von Messmethoden zur Untersuchung der rheologischen Eigenschaften der Maische. Dissertation. TU München 2002. S. 31.

Tabelle 3: Enzyme des Malzes und ihr Verhalten beim Maischen⁶⁴

Enzym	Wirkungsoptima in Maische		Inaktivierungstemperatur/°C
	pH	Temperatur/°C	
<i>Hauptklasse 1: Oxidoreduktasen</i>			
Peroxidase		40-50	65
Lipoxigenase	6,5	40	70
Polyphenoloxidase		60-65	80
<i>Hauptklasse 3: Hydrolasen</i>			
Lipase	6,8	35-40	60
Saure Phosphatase	4,5-5,0	50-53	70
α -Amylase	5,6-5,8	70-75	80
β -Amylase	5,4-5,6	60-65	70
Cellulase	4,5-5,0	20	20
Laminarinase	5,0	37	50
Endo- β -1 \rightarrow 4-Glucanase	4,7-5,0	40-50	55
Grenzdextrinase	5,1	55-60	65
Maltase	6,0	35-40	40
β -Mannosidase	3-6	55	70
Invertase	5,5	50	55
Exo- und Endoxylanasen	5,0	45	
Endo- β -1 \rightarrow 3-Glucanase	4,7-5,0	40-45	55
Exo- β -Glucanasen	4,5	40	40
Pullulanase	5,0-5,2	40	70
Arabinosidase	4,6-4,7	40	60
β -Glucan-Solubilase mit Esteraseaktivität	6,6-7,0	62	73
β -Glucan-Solubilase mit Carboxypeptidaseaktivität	4,6-4,9	62	73
Aminopeptidasen	7,2	40-45	55
Carboxypeptidasen	5,2	50-60	70
Dipeptidasen	7,2-8,2	40-45	55
Endopeptidasen	5,0-5,2	50-60	70

2.4.2 Maischparameter und deren Beeinflussung

Die obige Tabelle 3 zeigt die Wirkungsoptima im pH-Wert und in der Temperatur der Malzenzyme beim Maischen. Außerdem besitzen die Enzyme Inaktivierungstemperaturen. Dies macht sie über die Maischparameter pH-Wert, Gussverhältnis und Temperatur-Zeit-Führung regulierbar.

⁶⁴ Vgl.: Heyse, Karl-Ullrich (Hrsg.): Handbuch der Brauerei-Praxis. 3. Aufl. Nürnberg 1995. S. 58.

2.4.2.1 pH-Wert

Auf den pH-Wert der Maische kann man über zwei Parameter Einfluss nehmen: Über die Zusammensetzung des Brauwassers und über die Maischesäuerung. Abgesehen von der Regulierung der Enzyme bietet ein niedriger pH-Wert beim Maischen die Vorteile, dass die Gerbstoffe weniger stark aus den Spelzen ausgelaugt sowie höhermolekulare Eiweiße beim Würzekochen stärker ausgeschieden werden. Die Bittere des entstehenden Bieres wird dadurch feiner und die kolloidale Stabilität erhöht. Zur besseren Ausdampfung von unerwünschten Aromastoffen (DMS: Dimethylsulfid) und zur höheren Hopfenbitterstoffausbeute ist ein hoher pH-Wert beim Kochen vorteilhaft.⁶⁵

2.4.2.1.1 Brauwasser

Wasser ist in der Natur nie chemisch rein vorhanden, sondern immer mit gelösten Salzen und Gasen versetzt. Diese gelösten Substanzen nehmen auf zusätzliche Lösungsvorgänge wie den Maischprozess Einfluss. Hier sind in erster Linie die Härtebildner, die Erdalkalimetalle (Beryllium – Be, Magnesium – Mg, Kalzium – Ca, Strontium – Sr und Barium – Ba)⁶⁶ und deren Karbonationen zu nennen. Der Gehalt an Kalzium und Magnesium, welche vorwiegend in natürlichen Wässern vorkommen, sowie an Hydrogenkarbonat (HCO_3^-) beeinflussen stark die Acidität, also die dissoziierten und die potenziell dissoziierenden Säuren in der Maische.⁶⁷ Kalzium und Magnesium wirken aciditätsfördernd, Hydrogenkarbonat wirkt aciditätsvernichtend. Die Hydrogenkarbonationen bewirken mit den sich aus dem Malz lösenden Phosphaten (H_2PO_4^- , primäres Phosphat) zunächst folgende Reaktion:



Unter Kohlendioxidfreisetzung (CO_2) entstehen hierbei schwach alkalische sekundäre Phosphate (HPO_4^{2-}), die wiederum zu stark alkalisch wirkenden tertiären Phosphaten (PO_4^{3-}) weiterreagieren können:



⁶⁵ Vgl.: Kunze, Wolfgang, Technologie Bauer und Mälzer. 8. Aufl. Berlin 1998. S. 216 u. 220.

⁶⁶ Vgl.: Christen, Hans Rudolf: Grundlagen der allgemeinen und anorganischen Chemie. 7. Aufl. Frankfurt am Main 1982. S. 560.

⁶⁷ Vgl.: Heyse, Karl-Ullrich (Hrsg.): Handbuch der Brauerei-Praxis. 3. Aufl. Nürnberg 1995. S. 70 ff.

Die aciditätsfördernde Wirkung des Kalziums und des Magnesiums wiederum beruht auf der Fähigkeit, mit den sekundären Phosphaten zu sauer wirkenden primären Phosphaten zu reagieren:



Das tertiäre Kalziumphosphat fällt aus, und die entstandenen primären Phosphate wirken sauer. Magnesium hat eine schwächer aciditätsfördernde Wirkung, es fällt als Salz mit tertiärem Phosphat nur unter hohen Temperaturen aus.

Um die aciditätsbeeinflussenden Wirkungen der Ionen gegenüberzustellen und eine Aussage über die brautechnologische Eignung eines Wassers treffen zu können, ist der Begriff der Restalkalität eingeführt worden. Er berücksichtigt, dass 3,5 mol Kalzium oder 7 mol Magnesium die aciditätsvernichtende Wirkung von 1 mol Hydrogenkarbonat aufheben können. Die Restalkalität (RA) ist folgendermaßen definiert:

$$\text{RA} = \text{GA} - \text{aA}$$

mit Gesamtalkalität (GA) = Karbonathärte (KH) = Gehalt an Karbonat $[\text{CO}_3^{2-}]$ und Hydrogenkarbonat $[\text{HCO}_3^-]$

sowie ausgeglichene Alkalität (aA) = $\frac{1}{3,5} * [\text{Ca}^{2+}] + \frac{1}{7} * [\text{Mg}^{2+}]$

Für den pH-Wert in Maische und die Restalkalität gilt der Zusammenhang, dass eine Erhöhung der Restalkalität um 10 °dH (= Grad deutscher Härte) den Maische-pH-Wert um 0,3 erhöht.⁶⁸

Einen Sonderfall stellen sodaalkalische Wässer dar. Soda ist ein basisch wirkendes Salz: Na_2CO_3 . Wenn die Karbonathärte des Wassers höher ist als die Summe von Kalzium- und Magnesiumhärte, spricht man von sodaalkalischem Wasser, da davon auszugehen ist, dass Natrium als ergänzendes Kation zu Hydrogenkarbonat vorhanden ist. Natrium hat keine aciditätsfördernde Wirkung; es geht keine Fällungsreaktion mit sekundären Phosphaten ein.⁶⁹ Sodaalkalische Wässer sollten durch Entsalzung aufbereitet werden.

⁶⁸ Vgl.: Heyse, Karl-Ullrich (Hrsg.): Handbuch der Brauerei-Praxis. 3. Aufl. Nürnberg 1995. S. 73f.

⁶⁹ Vgl.: Narziß, Ludwig: Die Bierbrauerei. Band 2. Die Technologie der Würzebereitung. 7. Aufl. Stuttgart 1992. S. 24.

Für helle Biere werden Wässer mit einer Restalkalität um 5 °dH empfohlen, für dunkle Biere dürfen Wässer mit höherer Restalkalität (ca. 10 °dH) verarbeitet werden. Die meisten Wässer müssen aufbereitet werden, um als Brauwasser geeignet zu sein.⁷⁰ Dies ist, wie die Definition der Restalkalität vorgibt, durch Erhöhung des Kalzium- und Magnesiumgehaltes möglich, oder aber durch Erniedrigung des Karbonat- und Hydrogenkarbonatgehaltes. Hierfür haben sich folgende Verfahren etabliert:

- Zugabe von Braugips (CaSO_4) oder Kalziumchlorid (CaCl_2),⁷¹
- Entkarbonisieren durch Zugabe von gelöschtem Kalk $\text{Ca}(\text{OH})_2$,
- Entsalzen durch Ionenaustauscher,
- Entsalzen durch Elektrodialyse,
- Entsalzen durch Umkehrosmose,
- Neutralisieren bzw. Fällung der Karbonate durch Säurezugabe.⁷²

Während im Ausland Mineralsäuren wie Phosphor-, Salz- oder Schwefelsäure für diesen Zweck verwendet werden, ist deutschen Brauereien nur die biologische Säuerung gestattet.⁷³ Diese wird im folgenden Teil besprochen.

2.4.2.1.2 Maischesäuerung

Während sich in unbehandelten Betriebsmaischen durch die Malzinhaltstoffe und Wassersalze bei entsprechender Brauwasseraufbereitung ein pH-Wert von 5,6-5,8 einstellt, ist es möglich, mittels Säuerung pH-Werte von 5,3-5,4 in Maische darzustellen.⁷⁴

⁷⁰ Vgl.: Heyse, Karl-Ullrich (Hrsg.): Handbuch der Brauerei-Praxis. 3. Aufl. Nürnberg 1995. S. 75.

⁷¹ Vgl.: Heyse, Karl-Ullrich (Hrsg.): ebenda. S. 80.

⁷² Vgl.: Kunze, Wolfgang: Technologie Bauer und Mälzer. 8. Aufl. Berlin 1998. S. 78.

⁷³ Vgl.: Kunze, Wolfgang: ebenda. S. 217.

⁷⁴ Vgl.: Kunze, Wolfgang: ebenda. S. 216.

Dies bringt folgende Vorteile:⁷⁵

- Verbessertes Wuchsstoffangebot für die Hefe (u. a. Zink).
- Verbesserte Eiweißausscheidung/Bruchbildung beim Kochen.
- Erhöhtes Redoxpotential, dadurch bessere Geschmacksstabilität.
- Beschleunigtes Läutern und Bierfiltrieren.
- Verbesserter Gärverlauf durch schnelleren pH-Sturz, bessere Trubausscheidung und höheren Vergärungsgrad im Keller.
- Vollerer, weicherer und runderer Biergeschmack.
- Hellere Farben und weniger Spelzenauslaugung.
- Angenehme Hopfenbittere.
- Verbesserte Rezenz.
- Höhere Schaumstabilität.
- Höhere chemisch-physikalische Stabilität.
- Höhere biologische Stabilität.

Außerdem steigt die Extraktausbeute, da die Maische den pH-Wirkungsoptima nahezu aller Enzyme der Malzlösung nähergebracht wird. Ausnahmen hiervon sind die α -Amylase, Lipase, Maltase, β -Glucansolubilase (Esterase), sowie die Aminopeptidasen und Dipeptidasen (vgl. Tabelle 3 in 2.4.1). Dennoch steigert die biologische Maischesäuerung die Eiweißlösung sehr stark.⁷⁶ Eine Schwächung der β -Glucansolubilase ist erwünscht, da so beim Maischen ein starker Eintrag von filtrationshemmendem β -Glucan gebremst wird. Durch Zugabe biologisch gewonnener Säure zur Maische kann der Brauer also Enzyme, deren Wirkung er wünscht, begünstigen und Enzyme, deren Wirkung er vermeiden will, schwächen.

2.4.2.2 Maischekonzentration/Gussführung

Der Begriff Gussführung bezieht sich eigentlich auf den später folgenden Läuterprozess, bei welchem zwischen dem Hauptguss und den Nachgüssen unterschieden wird. Die Gestaltung des Hauptgusses wirkt sich allerdings schon auf den Maischprozess aus, da ein groß gewählter Hauptguss eine geringe Konzentration an disperser Phase in der Maische bedeutet und umgekehrt. Die Wahl

⁷⁵ Vgl.: Back, Werner: Technische und technologische Voraussetzungen zur „kaltsterilen“ Abfüllung. In: Brauwelt. Heft 42. Nürnberg 1995. S. 2075.

⁷⁶ Vgl.: Heyse, Karl-Ullrich (Hrsg.): Handbuch der Brauerei-Praxis. 3. Aufl. Nürnberg 1995. S. 140.

der Gussführung kann technisch durch das Läuterverfahren oder technologisch durch die herzustellende Biersorte begründet sein. So benötigt ein Läuterbottich weniger Nachgüsse zum Erreichen einer hinreichenden Ausbeute als ein Maischefilter oder ein Strainmaster, und damit einen größeren Hauptguss.⁷⁷ Bei hellen Bieren wird der Hauptguss größer gewählt werden, um mit einer geringeren Maischekonzentration die enzymatischen Reaktionen zu beschleunigen und mit weniger Nachgüssen die Spelzen weniger stark auszulaugen. Bei dunklen Bieren nutzt man die bessere Ausbeute eines geringen Hauptgussvolumens bzw. des daraus resultierenden größeren Nachgussvolumens.⁷⁸ Zudem bilden sich bei höherer Maischekonzentration Schutzkolloide für die Enzyme, die – bis auf die α -Amylase – weitgehender wirken als bei großem Hauptguss. Um die Enzymwirkung zu optimieren, ist es auch möglich, zunächst mit hoher Konzentration zu maischen, und gewisse Zeit vor dem Abmaischen durch Wasserzugabe Optimalbedingungen für die α -Amylase zu schaffen.⁷⁹

2.4.2.3 Temperatur-Zeit-Führung

Entscheidenden Einfluss auf die Zusammensetzung der Würze hat das Temperatur-Zeit-Programm. Es ist möglich, die Enzymarbeit zu steuern, indem man die Maische entsprechende Zeit auf den jeweiligen Temperaturen hält. Dies beginnt bei der Wahl der Einmischtemperatur. Je nach vorliegendem Rohstoff ist mittels Halten von Rasten bei Temperaturwirkungsoptima der entsprechenden Enzyme eine Regulierung der Würzezusammensetzung möglich. Üblicherweise werden drei Rasten eingehalten:

- Die Eiweißrast bei 45-50 °C.
- Die Maltoserast bei 62-65 °C.
- Die Verzuckerungsrast bei 70-75 °C.⁸⁰

Dies rührt daher, dass im Temperaturbereich der Eiweißrast die Peptidasen, im Bereich der Maltoserast die β -Amylase und im Bereich der Verzuckerungsrast die α -Amylase ihr Temperaturoptimum haben und jeweilig ihre Wirkung entfalten.

⁷⁷ Vgl.: Narziß, Ludwig: Die Bierbrauerei. Band 2. Die Technologie der Würzebereitung. 7. Aufl. Stuttgart 1992. S. 156.

⁷⁸ Vgl.: Narziß, Ludwig: ebenda. S. 156.

⁷⁹ Vgl.: Heyse, Karl-Ullrich (Hrsg.): Handbuch der Brauerei-Praxis. 3. Aufl. Nürnberg 1995. S. 112 f.

⁸⁰ Vgl.: Kunze, Wolfgang: Technologie Bauer und Mälzer. 8. Aufl. Berlin 1998. S. 228.

2.4.2.4 Dekoktion/Infusion

Für die Temperaturführung der Maische gibt es zwei verschiedene Verfahrensweisen mit technologisch unterschiedlichen Auswirkungen. Bei Dekoktionsmaischen wird vor dem Ende einer Rast eine Teilmaische möglichst hoher Konzentration gezogen, die in einer Maischepfanne bis zum Kochen erhitzt wird. Dabei werden Malzinhaltsstoffe durch die Temperatureinwirkung physikalisch aufgeschlossen und so in Lösung gebracht bzw. für den weiteren enzymatischen Abbau angreifbar gemacht. Diese gekochte Teilmaische wird dann der restlichen Maische zugeführt, wobei sich eine Mischtemperatur einstellt, die der gewünschten nächsten Rast entspricht. In dieser Maische wirken nun die Enzyme zusätzlich zum physikalischen Aufschluss. Je nach Anzahl der Teilmaischen spricht man von Ein-, Zwei- und Dreimaischverfahren.⁸¹ Für diese Art Maischverfahren sind zwei Behälter nötig, die Maischepfanne, in der die Teilmaischen gekocht werden, und der Maischbottich, in dem die Restmaische ruht.

Neben den Kochmaisverfahren werden inzwischen in vielen Brauereien Infusionsmaisverfahren angewandt (englisch: Infusion = deutsch: Aufguss).⁸² Hierbei werden keine Teilmaischen gezogen, sondern der gesamte Maischbehälterinhalt auf die gewünschten Temperaturen der Rasten gebracht. So vollzieht sich nur noch enzymatischer, also chemisch-biologischer Stoffaufschluss, kein thermisch-physikalischer mehr. Ein weiteres Merkmal dieser Maischverfahren ist, dass nur noch ein Gerät, die Maischbottichpfanne, nötig ist, da keine Teilmaischen mehr gekocht werden müssen.

2.5 Kennzahlen zur Beurteilung der Lösungsvorgänge in Malz und Maische/Würze

Um Malz auf seine braufähigen Eigenschaften hin zu prüfen, wird es physiologischen, enzymatischen und mechanischen Tests unterzogen. Viele Untersuchungen werden allerdings mit einem Malzauszug – gewonnen nach dem sogenannten Kongressmaisverfahren (siehe 3.5) oder anderen Labormaisverfahren – durchgeführt. So lassen sich einige Kennzahlen für die Beurteilung von Malz auch auf Maische und Würze anwenden.

⁸¹ Vgl.: Narziß, Ludwig: Abriß der Bierbrauerei. 6. Aufl. Weinheim 2001. S. 124 ff.

⁸² Vgl.: Heyse, Karl-Ullrich (Hrsg.): Handbuch der Brauerei-Praxis. 3. Aufl. Nürnberg 1995. S. 115.

2.5.1 Zytolytische Kennzahlen

Zur Feststellung der Zellwandauflösung werden im allgemeinen die im folgenden aufgelisteten Kennzahlen ermittelt.

- *Mehl-Schrot-Differenz*⁸³

Sie wird durch Subtraktion der wasserfreien Extraktausbeuten des gleichen Malzes gebildet, einmal mit EBC-Feinschrot (90 % Mehlanteil) und einmal mit EBC-Grobschrot (25 % Mehlanteil) durch ein Kongressmaisverfahren gewonnen. Da die Griesanteile des Grobschrotes auch die unterlösten Teile der Malzkörner enthalten, welche als verhältnismäßig größere Partikeln schwer angreifbar sind, werden sie während des Kongressmaisverfahrens weniger aufgeschlossen und ergeben eine geringere Extraktausbeute. So ergibt sich eine höhere Mehl-Schrot-Differenz, je schlechter das Malz gelöst ist.

- *Viskosität der Würze*⁸⁴

Aus der Kongresswürze des Feinschrotes wird die Viskosität mittel Kugelfallviskosimeter bestimmt und zur besseren Vergleichbarkeit auf 8,6 % oder 12 % Extraktgehalt umgerechnet. Die hochmolekularen Bestandteile der Zellwände erhöhen in der Regel die Viskosität der Würze,⁸⁵ so dass Malze mit Viskositäten der Kongresswürze über 1,6 mPas (berechnet auf 8,6 %) als unterlöst gelten.⁸⁶ Noch größere Aussagekraft über die zytolytische Lösung und damit auch über die Filtrierbarkeit des entstehenden Bieres hat der Vergleich der Viskosität der Kongresswürze und der VZ 65 °C-Würze (60 min isothermes Maischen bei 65 °C).⁸⁷

- *Friabilimeterwert*

Der Friabilimeterwert ermittelt die Mürbigkeit des Malzes und damit die Auflösung der Zellwände. Dabei wird das Malz mit einer Walze an eine rotierende Drahtgittertrommel gedrückt. Die mürben Bestandteile passieren das Drahtgitter, während ungelöste Bestandteile in der Trommel verbleiben.⁸⁸ Beide Fraktionen werden gewogen.

⁸³ Vgl.: Pfenninger, Heinrich (Hrsg): Brautechnische Analysenmethoden. Band 1. 3. Aufl. Freising 1997. S. 230.

⁸⁴ Vgl.: Pfenninger, Heinrich (Hrsg): ebenda. S. 246.

⁸⁵ Vgl.: Heyse, Karl-Ullrich (Hrsg.): Handbuch der Brauerei-Praxis. 3. Aufl. Nürnberg 1995. S. 211.

⁸⁶ Vgl.: Pfenninger, Heinrich (Hrsg): ebenda. S. 249.

⁸⁷ Vgl.: Schwill-Miedaner, Annette und Heinz Miedaner: Die Viskosität – ihr Informationswert im Rahmen der Sudhausarbeit. In: Brauwelt. Heft 13/14. Nürnberg 1999. S. 593.

⁸⁸ Vgl.: Pfenninger, Heinrich (Hrsg): ebenda. S. 218 ff.

- *Carlsberg-Test*

Für den Carlsberg-Test werden die Malzkörner halbiert und mit dem Fluorochrom Calcofluor angefärbt. β -Glucane ab einem Molekülgewicht von 10000 Da gehen mit diesem Farbstoff einen fluoreszierenden Komplex ein, so dass unter UV-Lichtbestrahlung unaufgelöste Zellwände sichtbar werden. Dieser Test lässt eine Aussage über die Modifikation (= Auflösung) und die Homogenität der Zellwandlösung zu.⁸⁹

- *β -Glucan-Gehalt der Würze*

Um den Gehalt an β -Glucan in Kongress- und Betriebswürze zu analysieren existieren verschiedene Verfahren. Die MEBAK⁹⁰ und die EBC⁹¹ haben als Standardmethode ein Verfahren bestimmt, welches auch die Komplexbildung hochmolekularen β -Glucans mit Calcofluor benutzt. Hier wird automatisiert eine Würzprobe in einen mit Calcofluor versetzten Eluenten eingespritzt. Ein Lichtsensor fängt das durch die Anregung mittels UV-Licht-Bestrahlung emittierte Licht auf und misst dessen Intensität, welche mit dem Gehalt an β -Glucan korreliert.

2.5.2 Proteolytische Kennzahlen

Kennzahlen der Eiweißlösung in Malz und Würze sind im Folgenden dargestellt.

- *Rohproteingehalt*

Der Rohproteingehalt in Gerste und Malz wird über den Stickstoffgehalt nach Kjeldahl bestimmt. Hierbei wird der gesamte in der Probe enthaltene Stickstoff zu Ammoniak (NH_3) überführt und durch Titration erfasst.⁹² Ausgehend von der Annahme, dass Stickstoff ca. 16 % der Masse der Gerstenproteine stellt, multipliziert man mit dem Kehrwert 6,25, um den Proteingehalt zu erhalten.⁹³

- *löslicher Stickstoff/Kolbachzahl*

Der lösliche Stickstoff ist der mittels Kongressmaischverfahren extrahierte Stickstoff. Er wird ebenfalls mittels Kjeldahlmethode bestimmt. In das Verhältnis

⁸⁹ Vgl.: Pfenninger, Heinrich (Hrsg.): Brautechnische Analysenmethoden. Band 1. 3. Aufl. Freising 1997. S. 221.

⁹⁰ Vgl.: Miedaner, Heinz (Hrsg.): Brautechnische Analysenmethoden. Band 2. 4. Aufl. Freising 2002. S. 42 ff.

⁹¹ Vgl.: European Brewery Convention (Hrsg.): Analytica-EBC. Method 8.13.2 und Method 3.10.2. Nürnberg 1998.

⁹² Vgl.: Pfenninger, Heinrich (Hrsg.): a.a.O. S. 171 ff.

⁹³ Vgl.: Narziß, Ludwig: Abriß der Bierbrauerei. 6. Aufl. Weinheim 2001. S. 4.

zum Rohstickstoffgehalt gesetzt, wird die Kolbachzahl, auch Eiweißlösungsgrad genannt, erhalten, welche vor allem die Eiweißlösung charakterisiert.⁹⁴

- *FAN-Gehalt der Würze*⁹⁵

Der Freie Amino-Stickstoff-Gehalt (FAN-Gehalt) einer Würze erfasst Aminosäuren, Ammoniak und endständige Aminogruppen der Peptide und Proteine. Auch er wird in der Kongresswürze und in Betriebswürzen bestimmt, um das Ausmaß der Proteolyse zu erfassen.

- *VZ 45 °C*⁹⁶

Die „Verhältniszahl 45 °C“ erhält man durch das Dividieren der Extraktgehaltes einer isothermen Feinschrotmaische bei 45 °C durch den Extraktgehalt einer Kongressmaische. Die VZ 45 °C wird von der Aktivität aller Enzyme außer der α -Amylase beeinflusst. Sie verhält sich ähnlich wie der Eiweißlösungsgrad und gilt damit als Hinweis auf den proteolytischen Fortschritt.

2.5.3 Amylolytische Kennzahlen

Zur Beurteilung der amylytischen Kraft eines Malzes und ihrer Wirkung in der Würze dienen die im Folgenden beschriebenen Analysen.

- *Extrakt*⁹⁷

Der Extraktgehalt des Malzes wird durch die Messung der Dichte der Kongresswürze und die Umrechnung der gelösten Masse auf Malztrockensubstanz bestimmt. Er erfasst also alle Substanzen, die in Lösung gehen. Diese sind zum größten Teil Abbauprodukte der Stärke. Insofern kann der Extraktgehalt des Malzes bzw. der daraus gewonnenen Würze als Maß für den Stärkeabbau gelten.

⁹⁴ Vgl.: Pfenninger, Heinrich (Hrsg.): Brautechnische Analysenmethoden. Band 1. 3. Aufl. Freising 1997. S. 254 ff.

⁹⁵ Vgl.: Miedaner, Heinz (Hrsg.): Brautechnische Analysenmethoden. Band 2. 4. Aufl. Freising 2002. S. 62.

⁹⁶ Vgl.: Pfenninger, Heinrich (Hrsg.): a.a.O. S. 277 f.

⁹⁷ Vgl.: Miedaner, Heinz (Hrsg.): Brautechnische Analysenmethoden. Band 2. 4. Aufl. Freising 2002. S. 74 f.

- *diastatische Kraft*⁹⁸

Zu einer Stärkelösung wird ein Malzauszug gegeben und dies 30 min auf 20 °C temperiert, so dass nur die β -Amylase wirken kann. Die übrige Stärke wird anschließend durch Jod gefärbt und so die Aktivität der β -Amylase gemessen.

- *α -Amylase-Aktivität*⁹⁹

Eine Standard-Stärkelösung wird mit β -Amylase versetzt, und den übergebliebenen Grenzdextrinen wird ein Malzauszug zugeführt. Dessen α -Amylase-Aktivität bewirkt einen Abbau der Grenzdextrine, welche wiederum mit Jod angefärbt werden. Je stärker die Farbe ist, umso geringer ist die α -Amylase-Aktivität.

- *Endvergärungsgrad*¹⁰⁰

Die Bestimmung des Endvergärungsgrades (EVG) erfolgt durch eine vollständige Vergärung mit *Saccharomyces cerevisiae cerevisiae* an vorher abgekochter Kongresswürze. Der gelöste Extrakt vor und nach der Vergärung wird gemessen und die Differenz auf den Ausgangswert bezogen. Zur Verwendung kommt dabei der gemessene scheinbare Extrakt. Die Hefe vergärt nur Ein-, Zwei- und Dreifachzucker, die aus der Stärke des Malzes gebildet werden. Je stärker ausgeprägt die Amylolyse ist, umso größer ist der Anteil vergärbarer Zucker am Extrakt.

- *fotometrische Jodprobe*¹⁰¹

Jodmoleküle (J_2) lagern sich in Stärke ein und bilden dabei farbige Komplexe.¹⁰² Diese misst man fotometrisch (siehe 3.7.3) und erhält so eine Aussage über das Maß des Abbaus höhermolekularer α -Glucane.

⁹⁸ Vgl.: Pfenninger, Heinrich (Hrsg): Brautechnische Analysenmethoden. Band 1. 3. Aufl. Freising 1997. S. 261 ff.

⁹⁹ Vgl.: Pfenninger, Heinrich (Hrsg): ebenda. S. 265 ff.

¹⁰⁰ Vgl.: Miedaner, Heinz (Hrsg.): Brautechnische Analysenmethoden. Band 2. 4. Aufl. Freising 2002. S. 68.

¹⁰¹ Vgl.: Miedaner, Heinz (Hrsg.): ebenda. S. 34 f.

¹⁰² Vgl.: Schoch, Thomas J.: Starches and Amylases. In: American Society of Brewing Chemists. Proceedings. Annual Meeting 1961. USA 1961. S. 84.

2.6 Physikalische Eigenschaften von Extraktlösungen

Mit der Lösung des Extraktes beim Maischen ändern sich mit der Zusammensetzung der Suspension auch ihre physikalischen Eigenschaften. Besonders interessieren sollen in dieser Arbeit die im Folgenden beschriebenen Eigenschaften, sie sind zur Beurteilung des Fortschritts der enzymatische Reaktionen in der Maische herangezogen worden (siehe 4.2.2).

2.6.1 Dichte

Die Dichte eines Stoffes ist folgendermaßen definiert:¹⁰³

$$\text{Dichte } \rho = \frac{\text{Masse } m}{\text{Volumen } V}$$

Beim Maischen gehen feste Stoffe in Lösung – sie erhöhen die Masse der Lösung, ohne ihr Volumen im gleichen Verhältnis zu steigern. Der Fortschritt bzw. das Ausmaß des Extraktgehaltes der Lösung ist über den Zuwachs an Dichte gegenüber der reinen Substanz verfolgbar. Die Dichte wird entweder absolut in kg/m^3 bzw. als dimensionslose Verhältniszahl zu einer Substanz mit bekannter Dichte (Beispiel: Wasser bei 4 °C) angegeben. Im Brauwesen wird sie in Gewichts-Gewichts-Prozent (Massenanteil) angegeben. Eine weitere Eigenschaft der Dichte ist ihre Temperaturabhängigkeit.¹⁰⁴ Diese stört die Verfolgung des Extraktzuwachses beim Maischen und muss rechnerisch eliminiert werden (siehe 3.10.1).

2.6.2 Schallgeschwindigkeit

Der Gehalt einer Lösung an Substanzen ist dann nicht allein über die Dichte messbar, wenn gleichzeitig Stoffe gelöst sind, die die Dichte erhöhen (Kohlenhydrate in Wasser) und solche, die die Dichte erniedrigen (Alkohol in Wasser). Dennoch ist die Berechnung des Gehalts beider Substanzen über die Erfassung einer weiteren physikalischen Größe der Lösung möglich. Hierfür eignet sich die Schallgeschwindigkeit, die stoffspezifisch und abhängig von der Konzentration der gelösten Stoffe ist. Auch sie ist temperaturabhängig und muss entsprechend

¹⁰³ Vgl.: Falbe, Jürgen. u. Manfred Regitz (Hrsg.): Römpp Chemie Lexikon Band 2. 9. Aufl. Stuttgart 1990. S. 949.

¹⁰⁴ Vgl.: Walther, Eduard: Technische Formeln. 27. Aufl. Leipzig 1988. S. 111.

rechnerisch korrigiert werden.¹⁰⁵ Mittels Erfassung der Schallgeschwindigkeit sind Extrakt und Alkoholgehalte gleichzeitig in Gärgefäßen während der Fermentation online verfolgt worden.¹⁰⁶

2.6.3 Leitfähigkeit

Die elektrische Leitfähigkeit χ ist definiert als Reziproke des spezifischen Widerstandes ω :

$$\chi = \frac{1}{\omega}$$

Sie ist in Ionenleitern, wie sie eine Extraktlösung darstellt, vom Lösungsmittel, der Temperatur, der Konzentration und dem Dissoziationsgrad der gelösten Stoffe abhängig.¹⁰⁷ In Maische dürften sich hauptsächlich Aminosäuren, organische Säuren und Phosphate befinden, die zu Ionen dissoziieren und Redoxreaktionen eingehen und damit die Leitfähigkeit beeinflussen können.¹⁰⁸

2.6.4 Viskosität

Die Viskosität einer Flüssigkeit ist ihre Eigenschaft, der gegenseitigen laminaren Verschiebung zweier benachbarter Schichten einen Widerstand entgegenzusetzen. Es wird nach der dynamischen und der kinematischen Viskosität unterschieden. Die dynamische Viskosität η ist das Verhältnis der Schubspannung τ zum Geschwindigkeitsgradienten senkrecht zur Hauptströmungsrichtung, der Schergeschwindigkeit D :

$$\eta = \frac{\tau}{D}$$

Bei Newton'schem Fließverhalten ist dieser Quotient konstant. Das Fließverhalten wird bei brautechnologischen Messungen durch Einhalten laminarer

¹⁰⁵ Vgl.: Baumegger, Alfred: Dichte und Schallgeschwindigkeit im Brauereibetrieb. In: Brauwelt Heft 14. Nürnberg 1998. S. 615.

¹⁰⁶ Vgl.: Becker, Thomas et al.: Ultrasonic Velocity- A Noninvasive Method for the Determination of Density during Beer Fermentation. In: Engineering in Life Science. Heft 2. Weinheim 2001. S. 61-67.

¹⁰⁷ Vgl.: Falbe, Jürgen u. Manfred Regitz (Hrsg.): Römpp Chemie Lexikon Band 2. 9. Aufl. Stuttgart 1990. S. 1110.

¹⁰⁸ Vgl.: Falbe, Jürgen u. Manfred Regitz (Hrsg.): ebenda. S. 1120.

Strömungsverhältnisse entsprechend eingestellt, so dass für Messwerte der Viskosität keine Schergeschwindigkeit angegeben wird.

Durch Beziehen der dynamischen Viskosität η auf die Dichte ρ der Flüssigkeit erhält man die kinematische Viskosität ν :¹⁰⁹

$$\nu = \frac{\eta}{\rho}$$

Hochmolekulare Stoffe, die in Lösung gehen, verändern das sogenannte Fließverhalten dieser Lösungen. Es besteht die Möglichkeit, das vermehrte In-Lösung-Gehen hochmolekularer Substanzen über die Veränderung der Viskosität zu verfolgen. Auch der enzymatische Abbau solcher Stoffe ist so nachvollziehbar.¹¹⁰ Es haben sich schon mehrere Autoren mit der Beobachtung der einzelnen Vorgänge beim Maischen über die Viskosität der Matrix auseinandergesetzt.^{111,112,113,114}

Im Rahmen dieser Arbeit ist sie eines von mehreren physikalischen Merkmalen der Maische, die gemeinsam Aufschluss über den Fortschritt der Lösungsvorgänge geben sollen. Das Viskositätsmessverfahren wurde von Martin Mitzscherling entwickelt und betreut, auf seine Ausführungen sei hier verwiesen.¹¹⁵

¹⁰⁹ Vgl.: Falbe, Jürgen u. Manfred Regitz (Hrsg.): Römpp Chemie Lexikon Band 6. 9. Aufl. Stuttgart 1992. S. 4938.

¹¹⁰ Vgl.: Werner, F. und A. Mersmann: Zur Rheologie von Polymerlösungen – Teil 1: Eine einfache Methode zur Prüfung der Konsistenz von Datensätzen bei der Beschreibung der Rheologie von Polymerlösungen. In: Chemie Ingenieur Technik. Heft 7. Weinheim 1998. S. 890-894.

¹¹¹ Vgl.: Hoog, Dirk et al.: Rheologische Kontrolle von Labormaischen. In: Brauwelt Heft 37 Nürnberg 1997. S. 1606–1610.

¹¹² Vgl.: Hoog, Dirk et al.: Rheologische Kontrolle des großtechnischen Maischprozesses. In: Brauwelt Heft 19. Nürnberg 1998 S. 858–864.

¹¹³ Vgl.: Senge, Bernhard et al.: Rheologische Untersuchungen des Maischprozesses mittels eines Inline/Online-Meßverfahrens. In: Brauwelt Heft 9. Nürnberg 1996. S. 401–422.

¹¹⁴ Vgl.: Herrmann, Jan: Entwicklung von Messmethoden zur Untersuchung der rheologischen Eigenschaften der Maische. Dissertation. TU München 2002.

¹¹⁵ Vgl.: Mitzscherling, Martin: Dissertation. TU München. In Vorbereitung.

3 Material und Methoden

3.1 Rohstoffe

3.1.1 Brauwasser

Für die Labormaischverfahren wurde einfach destilliertes Wasser zum Maischen und Aufwiegen verwendet. Die Maischen im Pilotsudwerk wurden mit Brauwasser aus der Reserve der Bayerischen Versuchs- und Lehrbrauerei hergestellt. Tabelle 4 zeigt brautechnologisch wichtige Daten der Wasseranalyse.

Tabelle 4: Wasseranalytische Kennzahlen der Pilotsudanlage nach MEBAK¹¹⁶

Calciumhärte/°dH	3,2
Magnesiumhärte/°dH	4,1
Gesamthärte/°dH	7,3
m-Wert/ml	2,0
p-Wert/ml	0,1
Gesamtalkalität/°dH	5,6
Restalkalität/°dH	5,0

Diese Werte entsprechen denen eines konventionellen Brauwassers für helle Vollbiere.¹¹⁷

3.1.2 Malz

Für die Pilotmaischen kamen vier verschiedene Malze zur Anwendung. Hierbei wurden für die Versuche ohne 62 °C-Rast zwei Malze aus Versuchen des Berliner Programms verwendet. Die Werte der Malzanalysen sind in Tabelle 5 dargestellt.

¹¹⁶ Vgl. Pfenninger, Heinrich: Brautechnische Analysenmethoden. Band 1. 3. Aufl. Freising 1997. S. 35 ff, 40 ff, 46 ff.

¹¹⁷ Vgl. Heyse, Karl-Ullrich (Hrsg.): Handbuch der Brauerei-Praxis. 3. Aufl. Nürnberg 1995. S. 75.

Tabelle 5: Malzanalyse zweier verwendeter Malze

Analyse des Malzes Neruda				Analyse des Malzes Danuta			
Extraktgehalt wfr.			82,6 %	Extraktgehalt wfr.			82,3 %
Mehl-Schrot-Differenz			1,2 %	Mehl-Schrot-Differenz			1,2 %
Viskosität ber. a. 8.6 %GG Extrakt			1,529 mPa	Viskosität ber. a. 8.6 %GG Extrakt			1,475 mPa
Friabilimeterwert			89,3 %	Friabilimeterwert			86,1 %
Verzuckerungszeit			< 10 min	Verzuckerungszeit			< 10 min
Endvergärungsgrad			81,8 %	Endvergärungsgrad			78,3 %
Ablaufzeit	300	ml	50 min	Ablaufzeit	300	ml	50 min
Farbe			2,5 EBC	Farbe			2,6 EBC
pH			5,89	pH			5,97
Löslicher Stickstoff		498 mg/100 g MTrS		Löslicher Stickstoff		725 mg/100 g MTrS	
Eiweißlösungsgrad			33,7	Eiweißlösungsgrad			44,8 %

Beide in Tabelle 5 dargestellten Malzanalysen zeigen bei zytolytischen (Viskosität, Mehl-Schrot-Differenz, Friabilimeterwert und Ablaufzeit) und amylolytischen (Extrakt, Verzuckerungszeit, Endvergärungsgrad) Kennzahlen etwas unterschiedliche, aber normale Werte. Die proteolytischen Kennzahlen (löslicher Stickstoff, Eiweißlösungsgrad) zeigen bei Malz Danuta normale Lösung an, während Malz Neruda jedoch eiweißseitig stark unterlöst ist. Die Farbe der Kongresswürze zeigt an, dass es sich bei den Malzen um helle Braumalze handelt.

Für die anderen Maischen kamen Malze bzw. gekennzeichnete Mischungen aus Malzen zur Verwendung, deren Kennzahlen in Tabelle 6 dargestellt sind.

Tabelle 6: Malzanalyse zweier weiterer verwendeter Malze

Malzsorte:	Spitzmalz		
<u>Wasser- und Extraktwerte:</u>		<u>optische u. mechanische Eigenschaften:</u>	
Wassergehalt:	7,0	%	Geruch: normal
Extrakt lufttrocken:	76,1	%	Aussehen: klar
Extrakt wasserfrei:	81,9	%	Ablauf: normal
MS-Differenz:	5,6	%	
	Friabilität: 73,9%		
<u>Würzefarben</u>		Ganzglasige:	5,0 %
Farbe (Hellige):	2,5	EBC	
Farbe (Fotometer):	2,5	EBC	
<u>pH-Wert , VZ 45 °C,</u>		<u>Viskosität :</u>	
pH:	6,12		Viskosität ber. a. 8,6 % Extrakt: 2,00 mPas
VZ 45 °C:	28,2	%	Viskosität ber. a. 12 % Extrakt: 2,72 mPas
Verzuckerungszeit:	10-15	min	
<u>Stickstoffverhältnisse</u>			
Eiweiß:	11,6	%	
löslicher N:	579	mg/l	
ELG°:	31,2	%	

Malzsorte:

Pilsener Braumalz

Wasser- und Extraktwerte:

Wassergehalt:	4,0	%
Extrakt lufttrocken:	79,2	%
Extrakt wasserfrei:	82,6	%
MS-Differenz:	1,4	%

optische u. mechanische Eigenschaften:

Geruch:	normal
Aussehen:	klar
Ablauf:	normal

Friabilität: 84,3 %

Würzefarben

Farbe (Hellige):	3,0	EBC
Farbe (Fotometer):	3,0	EBC

Ganzglasige: 1,9 %

pH-Wert , VZ 45 °C,

pH:	5,89	
VZ 45 °C:	38,2	%
Verzuckerungszeit:	10-15	min

Viskosität :

Viskosität ber. a. 8,6 % Extrakt: 1,49 mPas

Viskosität ber. a. 12 % Extrakt: 1,77 mPas

Stickstoffverhältnisse

Eiweiß:	10,6	%
löslicher N:	698	mg/l
ELG°:	41,0	%

Aus den Malzanalysen in Tabelle 6 wird deutlich, dass das Spitzmalz gegenüber dem Pilsener Malz speziell proteolytisch (siehe löslicher N., ELG und VZ 45 °C) und zytolytisch (siehe MS-Differenz und Viskosität) stark unterlöst ist.

3.2 Labormaischen

Die verwendeten Malze wurden in einer Labormühle (MIAG, Braunschweig) mit einem Mahlspalt von 0,8 mm geschrotet. Das Einmaischwasser wurde in einem temperierbaren Topf auf die entsprechenden Temperaturen erwärmt. Die Labormaischen wurden in Maischbädern der Firma Bender & Hobein, München, hergestellt. Die Maischbehälter sind aus Messing, die Rührstäbe ebenfalls. Die Rührgeschwindigkeit betrug 100 min^{-1} . Es wurden jeweils 50 g Schrot mit 200 ml dest. Wasser eingemaischt. Bei entsprechend gekennzeichneten Maischen wurde bei Erreichen von $70 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 100 ml dest. Wasser zugegeben. Die Beendigung des Maischvorgangs wurde durch außenwandiges Spülen des Maischbechers mit Wasser von ca. $8 \text{ }^{\circ}\text{C}$ eingeleitet, die Maischetemperatur lag am Schluss des Maischens etwa bei Raumtemperatur. Nach dem Maischen wurde größtenteils, ebenfalls entsprechend gekennzeichnet, durch Zugabe von temperiertem (ca. $22 \text{ }^{\circ}\text{C}$) dest. Wasser auf 450 g aufgewogen. Anschließend wurden die Proben durch einen Papierfaltenfilter (Sartorius, Göttingen) filtriert, wobei die ersten 50 ml Filtrat zurückgegossen wurden.

3.3 Pilotbrauerei des Lehrstuhls

Für die Brauversuche im Pilotsudwerk wurde eine 2-Walzenmühle der Firma Künzel, Kulmbach, verwendet. Der Walzenabstand betrug 0,8 mm. Das geschrotete Malz wird direkt in einen tragbaren Schrotbehälter mit manueller Austragsschnecke geleitet, der auf den Maischbottich aufgeschraubt werden kann.

Die Pilotsudanlage des Lehrstuhls für Technologie der Brauerei I ist auf 60 l Ausschlagwürze ausgelegt und wurde von der Firma Kamm, Ottershausen, projektiert (Abbildung 13).

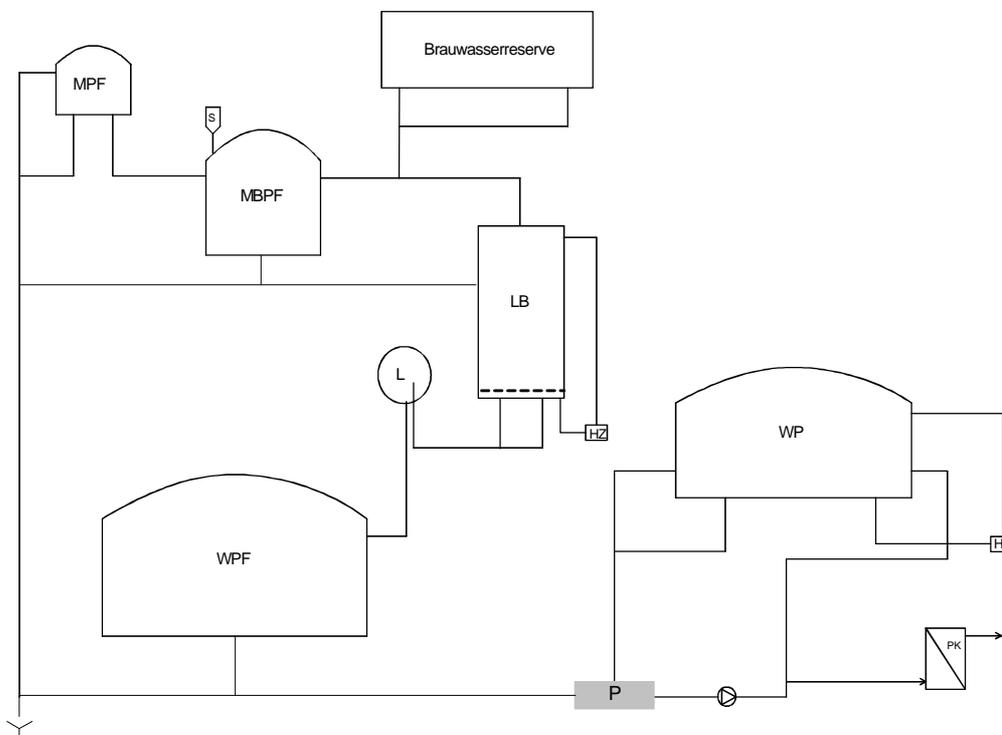


Abbildung 13: Aufbau des Pilotsudwerks

Die Anlage beinhaltet folgende Gerätschaften:

- | | |
|---|------|
| ▪ Brauwasserreserve (elektrisch beheizbar) | |
| ▪ Schrotbehälter | S |
| ▪ Maischepfanne | MPF |
| ▪ Maischebottichpfanne | MBPF |
| ▪ Läuterbottich (beheizbar) | LB |
| ▪ Läutergrant | L |
| ▪ Würzepfanne | WPF |
| ▪ Whirlpool (beheizbar über Heißwassermantel) | WP |
| ▪ Plattenkühler | PK |
| ▪ Heizung | HZ |
| ▪ Panel | P |

Die Energieversorgung der Anlage mit Frischdampf erfolgt über einen eigenen Dampferzeuger der Firma Stritzel, Mühlheim a. d. Ruhr. Die Anlage wird mit Brauwasser sowie kaltem und heißem Rohwasser durch die Versuchs- und Lehrbrauerei Weihenstephan versorgt. Die einzelnen Gefäße können über eine zentrale Steuerung separat angewählt und die Temperatur sowie die Programmschrittfolge manuell eingestellt werden. Das Aufheizen mit 1 °C/min und die Einhaltung der Temperaturresten (Temperaturmessung über eingebaute Temperaturfühler) erfolgt automatisch.

Brautechnische Daten (Pilotsudwerk):

- | | |
|--------------------------|------------------------------------|
| ▪ Läutergeschwindigkeit: | ca. 0,5-0,75 l/min |
| ▪ Ausbeute: | ca. 72 %, je nach Malz und Biertyp |
| ▪ Bitterstoffausbeute: | 30-33 % |
| ▪ Verdampfungsziffer: | ca. 11 % |

Der Kleingärkeller des Lehrstuhls für Technologie der Brauerei I besteht aus baugleichen geschlossenen zylindrokonischen Gärtanks der Firma Pantolsky, Neuried bei München, mit Mantel- und Konuskühlung. Die Regelung der Gärtemperatur erfolgt rechnergestützt mit Simatic S7-300. Die Nettovolumina der

Gärtanks betragen 10 l, 25 l und 50 l. Beim Anstellen wird die Würze mittels Venturidüse belüftet.

Für die Reifung und Lagerung des Bieres werden Container der Firma Cornelius, Langenfeld, mit Füllinhalten von 18 l bzw. 10 l verwendet. Während der Reifung und Lagerung werden sie in verschiedene Temperaturkammern umgestellt. Dabei wird der CO₂-Druck mittels eines Manometers kontrolliert und dieser auf ca. 1 bar bei 8-10 °C eingestellt. Weiterhin dienen die Cornelius-Container sowohl zum Transport zwischen Sudwerk und Gärkeller, als auch zwischen Filterkeller und Abfüllanlage. In abgewandelter Ausführung mit Kühl- bzw. Heizmantel dienen sie im Kleinsudwerk als Vorlauftank.

Die im Kleinsudwerk hergestellten Biere werden über einen Rundrahmen-Schichtenfilter der Firma Seitz, Bad Kreuznach, mit einer Druckdifferenz von max. 1 bar filtriert. Die Filtration erfolgt über eine Filterschicht (SEITZ-KS 80). Der Filter besteht aus vier Filterstationen und einem Wasserbad. Filter und Filterschicht werden zur Sterilisation mindestens 20 min mit Heißwasser gespült. Danach werden sie durch Spülen mit kaltem Wasser abgekühlt. Der Container mit Unfiltrat, der Filter mit Zu- und Ablauf sowie der Container für das Filtrat befinden sich während der Filtration in einem 4 °C-Wasserbad.

Die Abfüllung erfolgt isobarometrisch mit einem Langrohrfüller nach dreifacher Vorevakuierung der Flaschen. Die Abfüllanlage besteht aus einer Vakuumpumpe mit Flüssigkeitsabscheider, einem Container als CO₂-Puffertank zum Vorspannen (ca. 2,0 bar), einem Füllorgan und einer Einspannvorrichtung. Die zur Abfüllung benötigten Flaschen wurden gereinigt von der Staatsbrauerei Weihenstephan bezogen. Nach Arretierung der Flaschen in der Einspannvorrichtung wurden diese dreimal vorevakuiert, mit CO₂ vorgespannt und über das Füllorgan befüllt. Nach gewünschter Einstellung der Füllhöhe, Lösen der Arretierung und einem gezielten Überschäumen wurde die Flasche möglichst schnell mit einem manuellen Kronkorkenverschleißer der Firma Esau&Hueber, Schrobenhausen, verkorkt.

3.4 Messstrecke zur Erfassung der physikalischen Eigenschaften der Maische

In der folgenden Abbildung 14 ist die Messstrecke mit ihren Komponenten und ihrer Anbindung an den Maischbottich schematisch dargestellt.

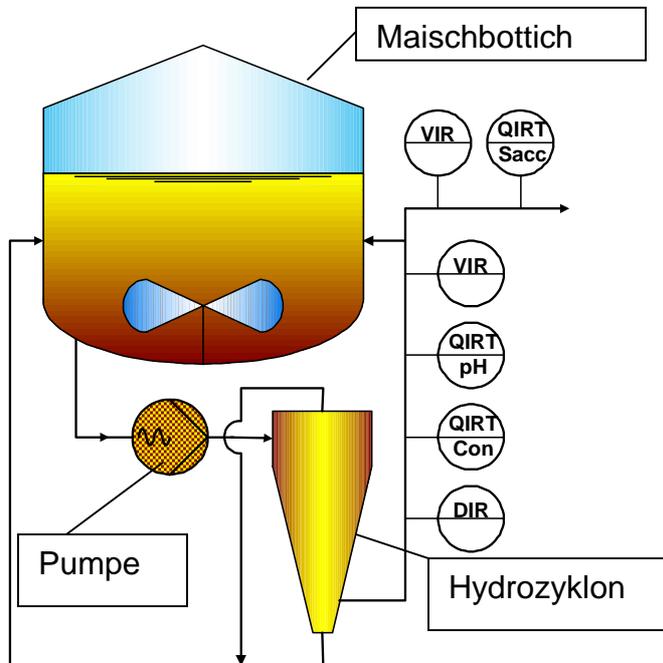


Abbildung 14: Schema der Messanlage und ihrer Anbindung an den Maischbottich¹¹⁸

Über die Pumpe (Exzentrerschneckenpumpe der Firma Delasco, Wiesbaden, maximaler Volumenstrom bis zu 2,4 m³/h unabhängig vom Druckverlust; integrierter Frequenzumformer zur Variation der Drehzahl und damit des Volumenstroms)¹¹⁹ wird die Maische einem Filterhydrozyklon zugeführt. Dieser wurde aus dem Hydrozyklon entwickelt, indem ein Teil des Konus als Filterfläche ausgeführt wird. Über die Filterfläche fließt, bedingt durch die Trennwirkung des Zyklons, Flüssigkeit mit den größeren Partikeln der Feststofffracht. Der verwendete Filtereinsatz besteht aus einem Drahtgewebe mit einer Maschenweite von 60 µm, welche den Grenzdurchmesser der verbleibenden Partikel festlegt.¹²⁰ Das Filtrat wird aus einer Kammer hinter dieser Filterfläche abgezogen. Oberlauf und Unterlauf werden direkt

¹¹⁸ Mitzscherling, Martin et al.: Abschlussbericht des Forschungsprojektes 12552N der AiF. „Otto von Guericke“ e. V., Bonn 2002. S. 10.

¹¹⁹ Vgl.: Mitzscherling, Martin et al.: ebenda. S. 8.

¹²⁰ Vgl.: Mitzscherling, Martin et al.: ebenda. S. 8.

in den Maischbehälter zurückgeführt. Die filtrierte Trägerflüssigkeit wird hinter der Filterfläche seitlich abgezogen und der Messstrecke zugeführt, in die die Sensoren integriert sind. Die Messstrecke mit einem durch die Einbautiefe der Sensoren bedingten Innendurchmesser von max. 80 mm nimmt alle Messfühler auf. Sie wurde so ausgestaltet, dass eine automatisierte Reinigung erfolgen kann und ist in die CIP-Reinigung des Sudhauses integriert. Die Trägerflüssigkeit wird fast vollständig in den Maischbottich zurückgeführt. Für die Messung der Online-Jodprobe, für die zweite Viskositätsmessung und alle Offline-Analysen ist eine Probenahme möglich.¹²¹ Hier wurden für die Referenzanalytik pro Probenahme jeweils 400 ml und für die Jodprobe und die zweite Viskositätsmessung ca. 20 ml entnommen.

Weitere Elemente der Messstrecke sind:

- pH- und Leitfähigkeitssensoren der Firma Mettler Toledo, Gießen.
- als Dichtemessgerät ein Prozessbiegeschwinger der Firma Bopp und Reuther, Mannheim.
- ein in den Biegeschwinger integrierter Pt100-Widerstandsthermometer zur Temperaturmessung innerhalb der Messstrecke.
- ein weiterer Pt100-Sensor zur Erfassung der Bottichtemperatur.

Zur Auswertung der Maischversuche lag daher sowohl die aktuelle Prozesstemperatur als auch die für die Messwerte relevante Temperatur in der Strecke vor.

Neben den analytischen Sensoren ist ein magnetisch-induktiver Durchflussmesser der Firma Krohne, Duisburg, eingebaut. Dieser Bestandteil der Messstrecke dient dazu, die ständige Versorgung der Sensoren mit Probeflüssigkeit aus dem Filterhydrozyklon zu überwachen. Außerdem ist ein Gerät der Firma Anton Paar, A-Graz, in die Strecke eingebaut, mit dem sowohl die Dichte als auch die Schallgeschwindigkeit in der Testflüssigkeit gemessen werden kann. Mit der Schallgeschwindigkeit stand damit ein weiterer Messparameter zur Verfügung.

¹²¹ Vgl.: Mitzscherling, Martin et al.: Abschlussbericht des Forschungsprojektes 12552N der AiF. „Otto von Guericke“ e. V., Bonn 2002. S. 9.

Für die Messwerterfassung wurde eine speicherprogrammierbare Steuerung (SPS) der Firma Siemens, Erlangen, gewählt, die mit einem PC verbunden ist. Die Sensoren sind zur Erfassung der Signale (4-20 mA) an die SPS angeschlossen. Mit dem PC erfolgte dann die Aufbereitung dieser Messwerte, ihre Visualisierung und die Speicherung.¹²²

3.5 Maischverfahren

In den Versuchsreihen kamen zwei feste Maischverfahren und ein in der Zeitführung variables Maischverfahren zur Anwendung. Die festen Maischverfahren sind in der Laborarbeit etablierte Verfahren¹²³, ihre Temperatur-Zeit-Profile sind in Abbildung 15 und Abbildung 16 dargestellt.

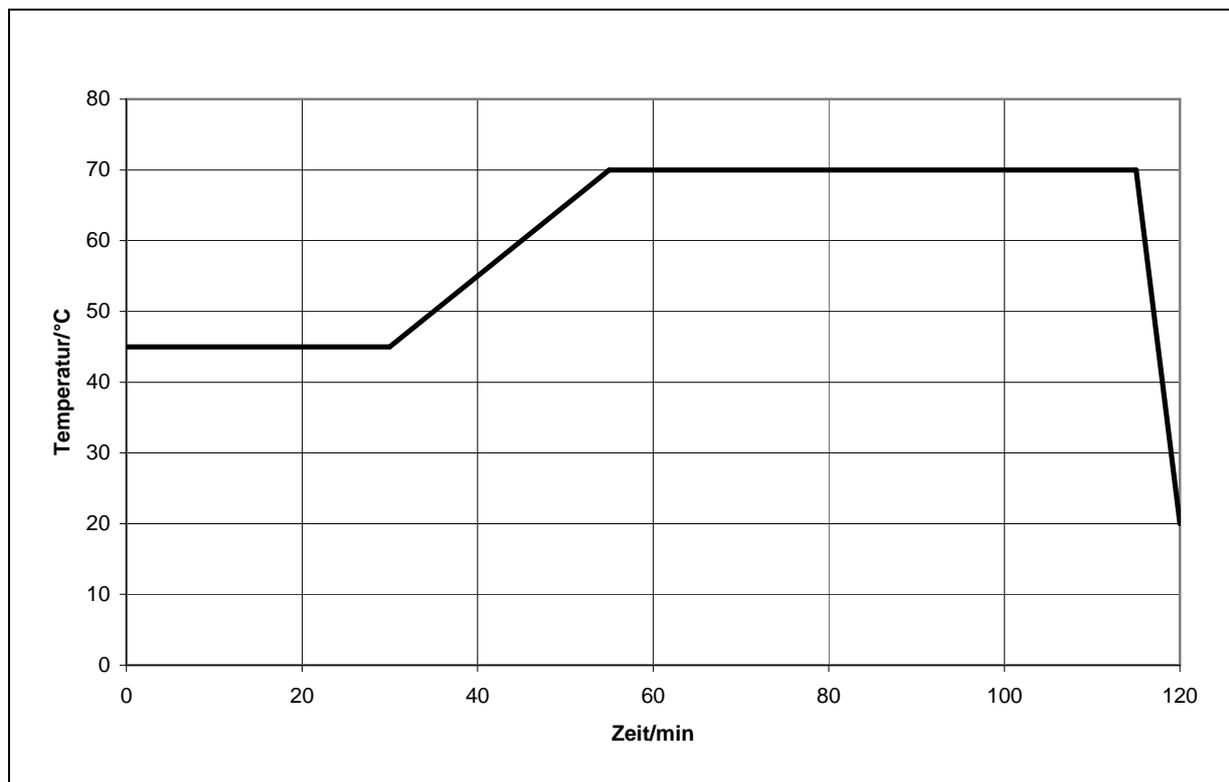


Abbildung 15: Temperatur-Zeit-Profil eines Kongressmaisverfahrens

¹²² Mitzscherling, Martin et al.: Abschlussbericht des Forschungsprojektes 12552N der AiF. „Otto von Guericke“ e. V., Bonn 2002. S. 9.

¹²³ Kongressmaisverfahren: European Brewery Convention (Hrsg.): Analytica-EBC: Method 4.5.1, 8 Procedure. Nürnberg 1998.

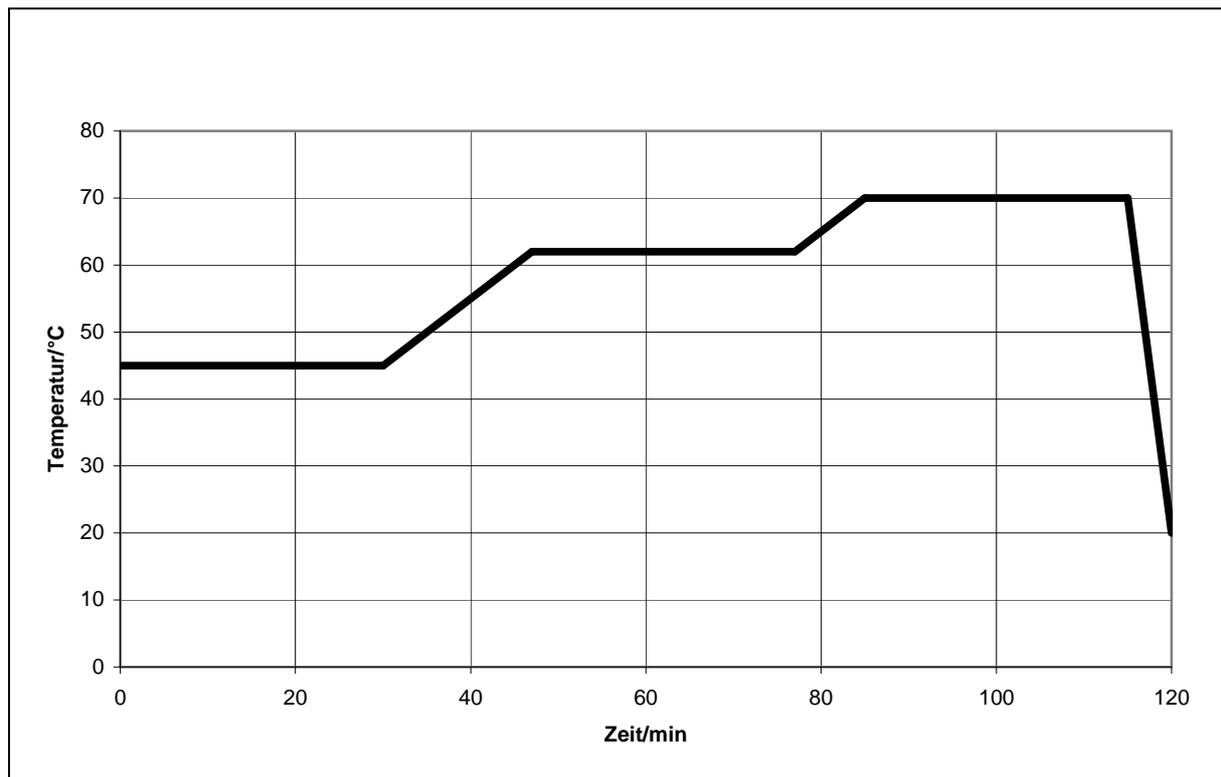


Abbildung 16: Temperatur-Zeit-Profil eines Eyben-Maischverfahren

Ein Vergleich dieser beiden Maischverfahren zeigt, dass sie sich beide an einer Gesamtdauer von 2 h orientieren. Das Eyben-Maischverfahren durchläuft jedoch im Gegensatz zum Kongressmaisverfahren eine Rast im Bereich der Optima der β -Amylase und der β -Glucan-Solubilase (62 °C) auf Kosten der Verzuckerungsrast bei 70 °C.

Neben diesen etablierten Labormaischverfahren kam ein weiteres praxistaugliches Verfahren zur Anwendung (siehe Abbildung 17).

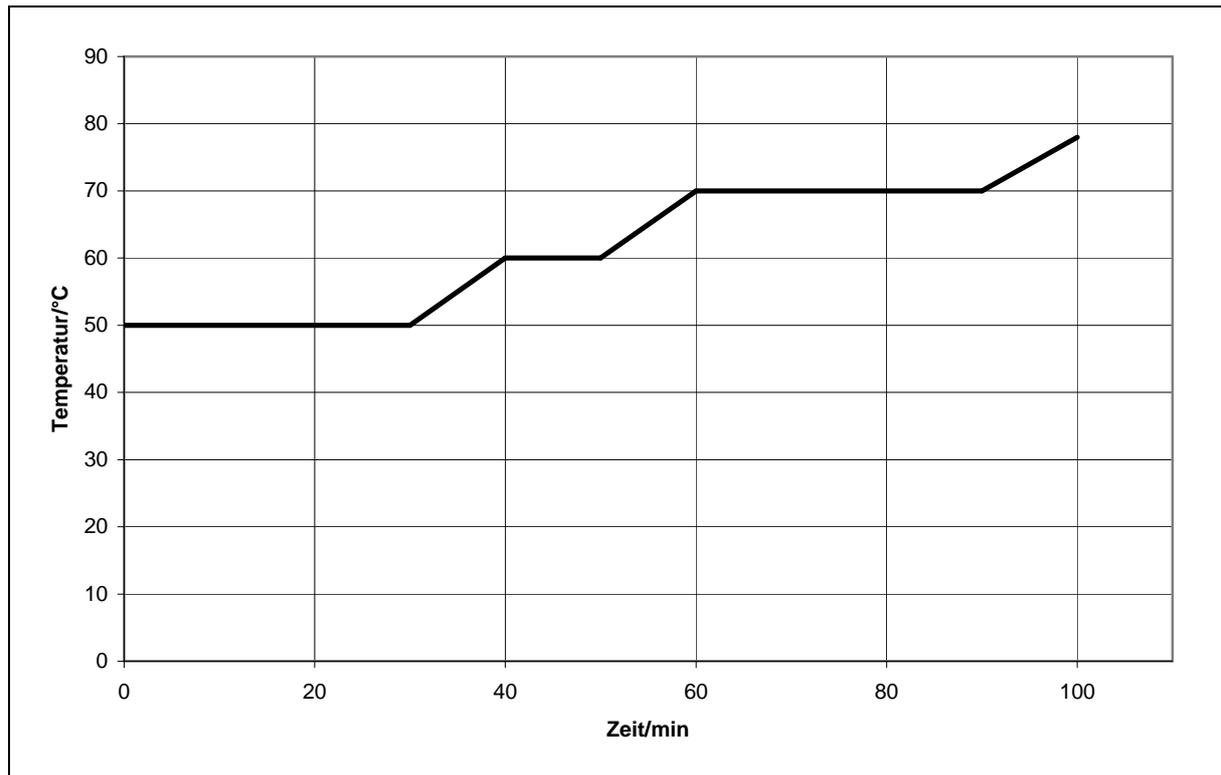


Abbildung 17: Ausgangs-Temperatur-Zeit-Profil des variablen Maischverfahren

In diesem T-t-Profil ist bereits ein Aufheizen auf 78 °C zum Abmaischen eingezeichnet, wie es bei allen im Pilotsudwerk hergestellten Maischen vollzogen wurde. Das Maischverfahren wurde insofern modifiziert, als die jeweiligen Rasten bei 50 °C, 60 °C und 70 °C um die jeweils gleiche Zeit verlängert oder verkürzt wurden.

In den Versuchen kamen als Labormaischen das Kongress- und das Eybenmaisverfahren zur Anwendung, die Pilotmaischen wurden mit dem Eyben- und dem variablen Maischverfahren hergestellt.

3.6 Brauverfahren

Alle im Rahmen dieser Forschungsarbeit hergestellten Biere durchliefen bis auf den Maischprozess ein Standardbrauverfahren. Alle Malze (jeweils 10 kg Schüttung) wurden mit dem Walzenabstand von 0,8 mm geschrotet. Als Hauptguss kamen zum Einmaischen immer 40 l Brauwasser, auf die jeweilige Einmischtemperatur gebracht, zur Verwendung. Nach den variierten Maischverfahren wurde unter zweimaligem Anschwänzen (1. Nachguss: 17 l, 2. Nachguss: 16 l) bis zu einem

Heißvolumen von 53 l Pfanne-voll-Würze geläutert. Anschließend erfolgte eine Kochung von 65 min Dauer mit drei Hopfengaben:

1. Hopfengabe: 20,3 g Bitterhopfen mit 9,8 % α - Säuregehalt; bei Kochbeginn (Hallertauer Northern Brewer)
2. Hopfengabe: 20,3 g Bitterhopfen mit 9,8 % α - Säuregehalt; 10 Minuten nach Kochbeginn (Hallertauer Northern Brewer)
3. Hopfengabe: 12,3 g Aromahopfen mit 8 % α - Säuregehalt; 50 Minuten nach Kochbeginn (Hallertauer Spalter Select)

Das Würzevolumen reduzierte sich während der Kochung auf 47 l Ausschlagwürze. Nach einer Whirlpoolrast von 20 min wurde die Würze über den Plattenkühler auf 10 °C innerhalb von ca. 10 min abgekühlt und in Corneliusbehältern mit 10 g/l dickbreiiger Hefe angestellt. Nach dem Transport zum Gärkeller wurde die Anstellwürze unter Belüftung (100 l/h) über eine Venturidüse mit CO₂ in den Gärtank innerhalb von 2-3 min umgedrückt. Die Temperaturführung der Gärung, Reifung und Lagerung ist in folgender Abbildung 18 dargestellt.

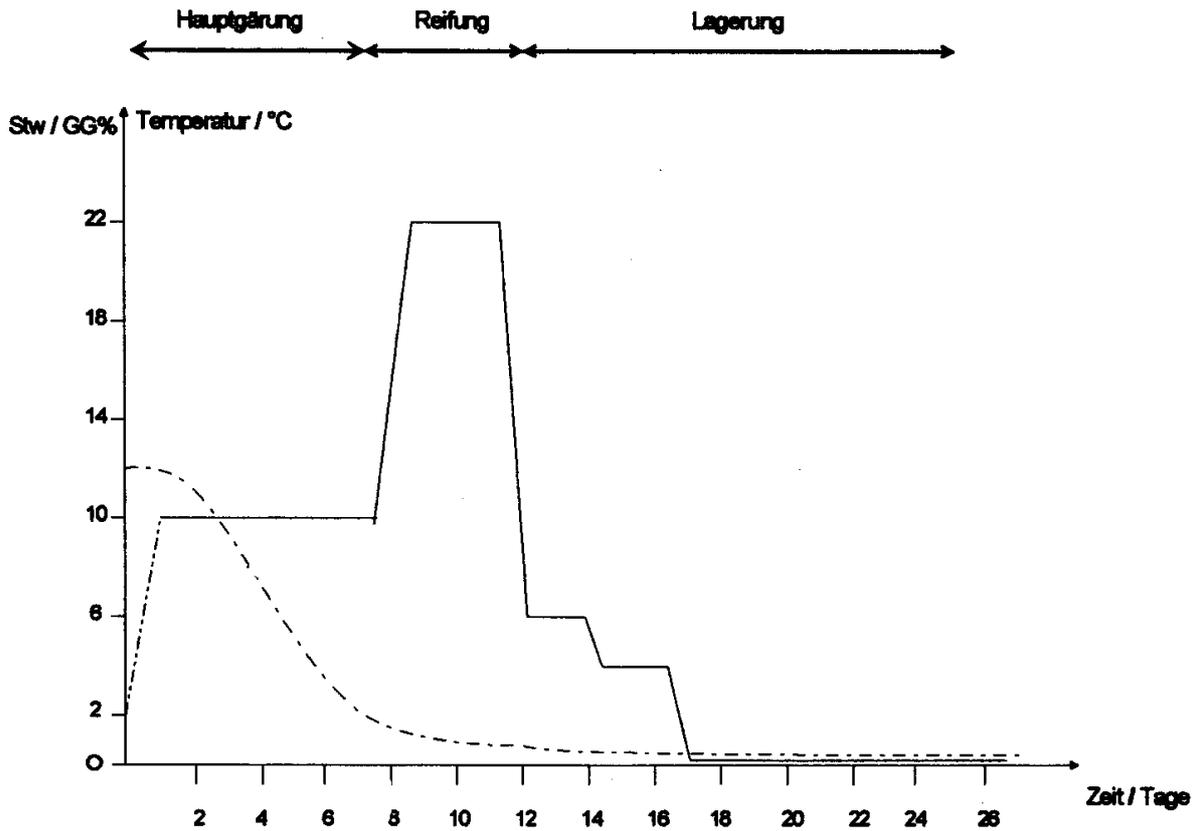


Abbildung 18: Gär-, Reifungs- und Lagerverfahren der Biere

Dieses Verfahren beinhaltet eine kalte Hauptgärung mit einer programmierten Reifung. Die Schlauchreife ist bei einem scheinbaren Extrakt $E_S < 3,5$ GG % erreicht. Nach dem Hefeabschlämmen wurde das Jungbier in Corneliusbehälter geschlaucht und zur Reifung für 3 Tage in die 22 °C-Kammer überführt. Zur Lagerung wurde das Bier auf 1 bar gespundet und für jeweils 2 Tage in der 6 °C-Kammer und 4 °C-Kammer gelagert. Anschließend wurden die Behälter in die 0 °C-Kammer überführt, wo der Solldruck von 1 bar regelmäßig kontrolliert wurde. Nach 21 bis 25 Tagen wurden die Biere filtriert und auf Flaschen abgefüllt.

3.7 Nasschemische Analysen der Maischen

Für die nasschemische Analytik standen verschiedene Gerätschaften im Bierlabor des Lehrstuhls für Technologie der Brauerei I zur Verfügung. Speziell für die fotometrischen Analysen war dies ein Spektralphotometer CADAS 200 der Firma Dr. Bruno Lange, Berlin. Für die Analysen des FAN und des β -Glucan stand teilweise ein automatisiertes Gerät Skalar San Plus Segmented/Continuous Flow Analyser SA 4000 mit Fluorimeter FL6300-D der Firma Skalar Analytical, De Breda (NL), zur Verfügung. Weiterhin kam für die Messung des β -Glucan ein Gerät Tecator 5700 β -Glucan Analyser der Firma Foss, Hamburg, zum Einsatz.

3.7.1 Aufbereitung der Proben

Die Maischeproben aus dem Pilotsudwerk wurden aus dem Probenahmehahn der dort eingebauten Messstrecke entnommen. Das Probevolumen war ca. 400 ml. Die Proben wurden in 0,5 l-Aluflaschen gezogen, sofort in ca. 8 °C kaltes Wasser gestellt und alle 5 min geschüttelt, so dass sie nach ca. 12 min unter 10 °C abgekühlt waren. Alle Proben, Labor- wie Pilotmaischproben wurden zunächst über Papierfaltenfilter (Best.-Nr.FT-4-321-320, Göttingen) filtriert. Bei den Labormaischen kam der gesamte Maischbecherinhalt zur Filtration, bei den Pilotmaischen der gesamte Flascheninhalt. Während 5 h Dauer wurden ca. 300 ml filtriert, die dann zur Weiterverarbeitung kamen oder eingefroren wurden.

3.7.2 FAN und alternative Eiweiß erfassungsmethoden

Die gängigste Analyse zur Erfassung von Eiweißabbauprodukten ist die des Freien Amino-Stickstoffs (FAN) mittels der Ninhydrin-Methode. Sie erfasst entweder fotometrisch die in der Probe enthaltenen Aminogruppen oder titrimetrisch das durch die Reaktion (oxidative Decarboxilierung) mit Ninhydrin freiwerdende CO₂.¹²⁴ Für diese Forschungsarbeit kam nur die fotometrische Ninhydrin-Methode zur Erfassung des FAN zur Anwendung, die auch die EBC und ASBC als Standardanalyse vorsehen.^{125,126}

¹²⁴ Vgl.: Miedaner, Heinz (Hrsg.): Brautechnische Analysenmethoden. Band 2. 4. Aufl. Freising 2002. S. 62 ff.

¹²⁵ Vgl.: European Brewery Convention (Hrsg.): Analytica-EBC. Method 8.9.1 Nürnberg 1998.

¹²⁶ Vgl.: American Society of Brewing Chemists: Methods of Analysis of the American Society of Brewing Chemists. Method Wort-12. 8. Aufl., St. Paul, USA

Außerdem sollten zunächst noch andere Methoden zur Erfassung von Eiweißfraktionen herangezogen werden. Die Differenz der Extinktionen verdünnter (1:100 in 0,5 %-iger NaCl-Lösung) ungehopfter Würzen bei 215 nm und 225 nm gibt laut Analytica-EBC¹²⁷ und anderen Autoren^{128,129} den Gehalt an löslichem Stickstoff, bestimmt nach Kjehldahl,¹³⁰ wieder.

Die Coomassie-Farbbindemethode nach Bradford verwendet Coomassie Brilliant Blue G-250 als Farbstoff, wodurch Proteine mit einem Molekulargewicht von über 4000-5000 Da erfasst werden.¹³¹ Ein großer Nachteil dieser Methode ist, dass verschieden reine Proteine verschiedene Farbwerte hervorrufen. Zur Erstellung einer Kalibriergeraden wurde 1 mg BSA-Standard in 1 ml destilliertem Wasser gelöst. Diese Stammlösung wurde auf Konzentrationen von 100 µg/ml, 50 µg/ml, 30 µg/ml und 10 µg/ml verdünnt. Die Verdünnungslösungen wurden wie normale Würzproben behandelt.

Reagenzien: BSA-Standardlösung (Sigma A 7030)

Coomassie[®] Brillantblau G 250 (Merck 115444)

Destilliertes Wasser

Versuchsdurchführung:

1 ml der filtrierten Würze wird in einen 10 ml Erlenmeyerkolben pipettiert und mit dest. Wasser bis zur Marke aufgefüllt. In ein Reaktionsgefäß werden 100 µl der Probe, 700 µl dest. Wasser und 200 µl Coomassie-Reagenz gegeben. Beim Blindwert werden die 100 µl der Probe durch dest. Wasser ersetzt. Nach Mischen wird die Extinktion der Probe im Fotometer bei 595 nm gegen den Blindwert gemessen.

¹²⁷ Vgl.: European Brewery Convention (Hrsg.): Analytica-EBC. Method 4.9.2. Nürnberg 1998.

¹²⁸ Vgl.: American Society of Brewing Chemists (Hrsg.): Methods of Analysis of the American Society of Brewing Chemists. Method Wort-17. 8. Aufl., St. Paul, USA.

¹²⁹ Vgl.: Waddell, William J.: A Simple Ultraviolet Spectrophotometric Method For The Determination Of Protein. In: J. Lab. + Clin. Med. 48, 1956. S. 311.

¹³⁰ Vgl.: American Society of Brewing Chemists: Methods of Analysis of the American Society of Brewing Chemists. Method Malt 5A. 8. Aufl., St. Paul, USA

¹³¹ Vgl.: Lewis, M. J. et al.: Dye-Binding Method for Measurement of Protein in Wort and Beer. In: Journal of the ASBC. Band 38. Nr. 2. 1980. S. 37-41.

3.7.3 Fotometrische Jodprobe

Die Analyse der fotometrischen Jodprobe wurde manuell nach MEBAK¹³² durchgeführt. Da die Werte bei den Pilotmaischen immer über 1 lagen, wurde das Volumen dieser Proben halbiert und der Rohwert verdoppelt. Außerdem wurden diese Proben teilweise nochmals durch eine Membran (Porengröße 0,45 µm, Sartorius, Göttingen, Best.-Nr.: 11106-47-N) filtriert. An Geräten kam weiterhin eine Kühlzentrifuge 6K15 der Firma Sigma, Osterode am Harz, zum Einsatz.

3.7.4 Fluorimetrische Messung des β -Glucan

Die β -Glucan-Gehalte der Proben wurden automatisiert ermittelt: Zum einen mittels des Tekator 5700 β -Glucan-Analyzers, zum anderen mit dem Skalar SanPlus System SA 4000 unter Verwendung des Fluorimeter FL6300-D. Welches Gerät verwendet wurde, ist jeweils gekennzeichnet. Beide Geräte verwenden die fluorimetrische Methode der MEBAK¹³³ und der EBC.¹³⁴

3.7.5 Extraktmessung

Der Extraktgehalt der Maischen wurde mit einem Dichtemessgerät „DMA 4500“ der Firma Anton Paar GmbH, A-8054 Graz gemessen. Diese Bestimmung erfolgt über einen Biegeschwinger.^{135,136}

3.8 Chromatographische Messmethoden an Maische

Für die chromatographischen Untersuchungen standen folgende Geräte zur Verfügung:

Gelpermeationschromatographie:

- Flüssigkeitschromatographiesteuergerät LCC-500 Amersham Pharmacia Biotech, Uppsala (S)

¹³² Vgl.: Miedaner, Heinz (Hrsg.): Brautechnische Analysenmethoden. Band 2. 4. Aufl. Freising 2002. S. 34 ff.

¹³³ Vgl.: Miedaner, Heinz (Hrsg.): ebenda. S. 42 ff.

¹³⁴ Vgl.: European Brewery Convention (Hrsg.): Analytica-EBC. Method 8.13.2 und Method 3.10.2. Nürnberg 1998.

¹³⁵ Vgl.: Miedaner, Heinz (Hrsg.): a.a.O. S. 74 f.

¹³⁶ Vgl.: European Brewery Convention (Hrsg.): Analytica-EBC. Method 8.3. Nürnberg 1998.

- Trennsäule Superose 12 prep grade, Amersham Pharmacia Biotech, Uppsala (S).
- Trennsäule HiLoad 26/60 Superdex 200 prep grade, Amersham Pharmacia Biotech, Uppsala (S).
- Fluoreszenzdetektor der Agilent 1100 Serie, Agilent Technologies, Hewlett-Packard, Wilmington (USA).

3.8.1.1 HPLC zur Zuckeranalytik:

- Flüssigkeitschromatograph aus der Hewlett-Packard 1050 Serie, Hewlett-Packard, Wilmington (USA).
- RI-Detektor ERC-7512, ERMA, Altegölsheim
- HPLC-Trennsäule YMC-Pack Polyamine 2; 5 µm; 120 Å; 250 * 4,6mm, YMC, Schermbeck
- Vorsäule YMC-Pack Polyamine 2; 10 * 40mm ID, YMC, Schermbeck

Auswertung:

- Agilent Software, Hewlett-Packard Wilmington (USA) zur Generierung und Auswertung der Chromatogramme.

3.8.2 Gelchromatographische Untersuchungen auf Molekülgrößenverteilung

Mittels der Gelpermeationschromatografie (GPC), auch Gelfiltrationschromatographie oder Größenausschlusschromatographie (SEC – Size Exclusion Chromatography) genannt, ist es möglich, Moleküle nach ihrer Größe bzw. dem Raum, den sie einnehmen, zu trennen. Das Gel, mit dem die Trennsäule befüllt ist, hat Poren, in die kleine Moleküle hinein diffundieren, während große Moleküle nicht eindringen können. Bei weiterem Spülen der Säule mit Eluent diffundieren die kleinen Moleküle aufgrund des Konzentrationsgefälles wieder in den Eluentenstrom und werden aus der Trennsäule ausgespült. Der an die Säule angeschlossene Detektor erzeugt also ein Chromatogramm, auf dem mit zunehmender Retentionszeit immer kleinere Moleküle erkennbar sind. Einfluss auf die Trennung haben dabei das verwendete

Gel, die Säulendimensionen, der Eluent, die Fließgeschwindigkeit und das Probenaufgabevolumen.¹³⁷

3.8.2.1 β -Glucan-Analyse

Zur Messung von hochmolekularem β -Glucan und seiner Größenverteilung gab es verschiedene Ansätze. Esslinger¹³⁸ versuchte, die nach der Trennung über eine GPC-Säule erhaltenen Fraktionen über enzymatische Analysen (Auflösen der β -Glucan-Makromoleküle zu Glucoseeinheiten, Messung der Glucose) zu charakterisieren. Foldager¹³⁹ trennte β -Glucane über eine GPC-Säule und analysierte die erhaltenen Fraktionen mittels Anfärbung mit Calcofluor sowie enzymatisch nach Säurehydrolyse. Wackerbauer¹⁴⁰ fällte den bereits gebildeten Calcofluor- β -Glucan-Komplex mit Ethanol, um ihn anschließend in Glycinpuffer wieder zu lösen, über eine GPC-Säule zu trennen und mittels FLD zu detektieren. Izawa^{141,142} beschreibt ein Verfahren, bei welchem der Probe nach der Trennung über einer GPC-Säule Calcofluor-Reagenz zugefügt wird, um über einen FLD ein Chromatogramm zu erhalten. In dieser Arbeit kam die von Wackerbauer vorgeschlagene Methode zur Anwendung. Außerdem wurde eine Methode entwickelt, die den Vorschlägen von Izawa folgt: Die Proben wurden membranfiltriert (0,45 μm), das Probeaufgabevolumen auf die Säule „Superose 12 prep grade“ betrug 0,5 ml. Als Eluent mit einem Fluss von 1 ml/min diente – angelehnt an die Fluoreszenzmethode der MEBAK¹⁴³ – ein Tris-Puffer (0,1 mol/l, pH 8,0) oder ein Phosphatpuffer (0,05 M, pH = 8,0). Nach der Trennung über die Säule wurde Calcofluor-Stammlösung in Tris-Puffer (1:10 V/V) bzw. Phosphatpuffer mit einem

¹³⁷ Vgl.: Amersham Biosciences (Hrsg.): Gel Filtration. Principles and Methods. Uppsala (S), 2002. S. 9 ff.

¹³⁸ Vgl.: Esslinger, Hans Michael: Einflussfaktoren auf die Filtrierbarkeit des Bieres. Dissertation. TU München. 1985. S. 28 ff.

¹³⁹ Vgl.: Foldager, Lars und Kim G. Jorgensen: The Molecular Weight Distribution of β -Glucan in Wort from Malts of Different Barley Varieties at Different Stages of Malting. In: Carlsberg Research Communications. Band 49. Heidelberg 1984. S. 525-534.

¹⁴⁰ Vgl.: Wackerbauer, Karl und Heinz-Michael Anger: Zur Differenzierung von β -Glucanen in Malz und Würze. In: Monatsschrift für Brauwissenschaft. Heft 4. Nürnberg 1988. S. 156 ff.

¹⁴¹ Vgl.: Izawa, Masayuki et al.: Determination Of High Molekular Weight β -Glucan In Wort And Beer Using A Post-Column Calcofluor Flow-Injection-Analysis (FIA) Method. In: Journal Of The Institute Of Brewing. Band 102. London 1996. S. 183-186.

¹⁴² Vgl.: Izawa, Masayuki et al.: Factors Influencing the Determination of β -Glucan in Malt, Wort and Beer Using Calcofluor Low-Injection Analysis. In: The Institute Of Brewing Proceedings, The Asia Pacific Section Proceedings Of The Twenty-Third Convention. Cowandilla, Australien 1994. S. 84-88.

¹⁴³ Vgl.: Pfenninger, Heinrich: Brautechnische Analysenmethoden. Band 2. 3. Aufl. Freising 1993. S. 42 ff.

Volumenstrom von 0,1 ml/min zugepumpt, so dass eine Calcofluor-Konzentration – wie von der MEBAK für die Fluoreszenzmethode vorgeschrieben – auf dem Weg zum FLD eingestellt war. Der FLD regte die Probe mit 380 nm an und maß die Emission bei 430 nm. Zur Kalibrierung wurde eine Lösung eines Molekülgrößenstandard aus Gersten- β -Glucan der Firma Megazyme, Wicklow (Irland), mit folgender Verteilung verwendet: 40 kDa, 123 kDa, 183 kDa, 245 kDa und 359 kDa.

3.8.2.2 Eiweißanalyse

Bier und Würze sind bereits von anderen Autoren über die Gelpermeationschromatographie auf die Molekülgrößen des Eiweiß hin untersucht worden.^{144,145,146,147,148} Allerdings verfolgen diese Autoren nicht den Eiweißabbau während des Maischen, sondern lediglich die endgültige Verteilung nach Abschluss eines Prozessschrittes. Des weiteren arbeiteten diese Autoren mit Extinktionen als Detektionsmethode. Für diese Arbeit sollte eine Methode der Detektion mittels FLD gefunden werden, um feinere Chromatogramme zu erhalten. Letztlich hat die Methodenentwicklung folgende Vorgehensweise hervorgebracht: Die Proben wurden membranfiltriert (0,45 μ m), das Probeaufgabevolumen auf die Säule „HiLoad 26/60 Superdex 200 prep grade“ betrug 1 ml. Mit einer Fließgeschwindigkeit von 1 ml/min wurde die Probe mit einem Phosphatpuffer (0,05 M, pH = 7,0) als Eluenten durch die Säule gepumpt und mittels FLD bei einer Anregung von 225 nm und einer Emissionsmessung von 340 nm detektiert. Als Kalibrierlösung wurde ein Molekülgrößenstandard der Firma Sigma-Aldrich, Taufkirchen, verwendet, wie in Tabelle 7 aufgeführt.

¹⁴⁴ Vgl.: Narziß, Ludwig und Werner Röttger: Überprüfung einiger Eiweißfraktionierungsmethoden sowie des Forciertests mit Hilfe der Molekularfiltration. In: Brauwissenschaft. Jahrgang 26. Heft 12. 1973. S. 366 ff.

¹⁴⁵ Vgl.: Dellweg, H. et al.: Über die Eiweißstoffe im Bier, ihre analytische Erfassung und Aminosäurezusammensetzung. In: Monatsschrift für Brauerei. 23. Jahrgang. Nummer 8. Berlin 1970. S. 209 ff.

¹⁴⁶ Vgl.: Narziß, Ludwig und Elisabeth Reicheneder: Chemische Untersuchungen über die Veränderung der Eiweiß-Fractionen von der Gerste bis hin zum Bier unter Variation des Mälzungsverfahrens. In: European Brewery Convention. Proceedings of the 11th Congress. Madrid 1967. Amsterdam 1968. S. 303 ff.

¹⁴⁷ Vgl.: Djurtoft, Robert: Fractionating Of Beer Constituents By Gel-Filtration. In: European Brewery Convention. Proceedings of the Congress Vienna 1961. Amsterdam 1961. S. 298 ff.

¹⁴⁸ Vgl.: Lintz, Bruno: Über den Einfluß technologischer Faktoren beim Mälzen und Maischen auf die Aktivität einiger proteolytischer Enzyme. Dissertation. Technische Universität München 1974. S. 22 ff und 108 ff.

Tabelle 7: Eiweißmolekülgrößenstandard zur Kalibrierung

Proteine	Molekulargewicht/kDa
Cytochrome c	12,4
Carbonic Anhydrase	29
Albumin	66
Alkohol Dehydrogenase	150
β-Amylase	200

3.8.3 Analyse der vergärbaren Zucker

Vergärbare Zucker sind Fructose, Glucose, Saccharose, Maltose und Maltotriose.¹⁴⁹ Sie wurden mittels HPLC nach dem Prüfverfahren HPLC001/96 des Lehrstuhls für Technologie der Brauerei I der TUM ermittelt. Hierbei wird die Probe zunächst membranfiltriert (0,45 µm). Die Zucker werden auf einer Aminophase (Eluent: Acetonitril/Wasser im V/V-Verhältnis 74/26) durch isokratische Elution getrennt. Als Standard dient ein Gemisch aus Standards für Einzelzucker (Sigma-Aldrich, Taufkirchen).

3.9 Methoden zur Beurteilung der Bierqualität

3.9.1 Sensorische Analyse zur Beurteilung des Geschmacks

Um die Qualität des Biergeschmacks zu bewerten, wurden die hergestellten Biere nach den Richtlinien des Qualitätstests der Deutschen-Landwirtschafts-Gesellschaft, Frankfurt am Main, verkostet.¹⁵⁰

3.9.2 Sensorische Bewertung der Geschmacksstabilität

Die Geschmackstabilität der Biere wurde durch Verkosten der Biere nach den Richtlinien von Eichhorn ermittelt.¹⁵¹ Die forcierten Probemuster wurden durch 24-stündiges Schütteln und 4-tägige Lagerung bei 40 °C vorbehandelt.

¹⁴⁹ Vgl.: Heyse, Karl-Ullrich (Hrsg.): Handbuch der Brauerei-Praxis. 3. Aufl. Nürnberg 1995. S. 169.

¹⁵⁰ Vgl.: Miedaner, Heinz (Hrsg.): Brautechnische Analysemethoden. Band 2. Freising 2002. S. 207 ff.

¹⁵¹ Vgl.: Eichhorn, Peter: Untersuchungen zur Geschmacksstabilität des Bieres. Dissertation. TU München 1987.

3.9.3 Beurteilung der Schaumhaltbarkeit

Die Schaumhaltbarkeit von Bier wurde mittels der Methode nach Ross und Clark festgestellt.¹⁵²

3.10 Rechnerische Methoden

3.10.1 Temperaturkorrektur der physikalischen Werte

Zur Bestimmung der Temperaturabhängigkeit wurde Maische nach Ende eines Versuchs auf 80 °C aufgeheizt und auf 40 °C abgekühlt. Aus dieser Temperaturrampe konnten Gleichungen zur Kompensation des Temperatureinflusses entwickelt werden. Es zeigte sich, dass diese Gleichungen, die mit Hilfe von fertiger Maische aufgestellt wurden, unabhängig von der Prozesszeit gültig waren und auch am Anfang des Maischprozesses angewendet werden konnten. Als Bezugstemperatur wurde 60 °C gewählt. Dies ist die mittlere Prozesstemperatur, so dass Ungenauigkeiten bei der Korrektur kleinstmögliche Auswirkungen haben. Die Korrektur erfolgte nach folgender Gleichung:

$$M_{60} = M \cdot (k_0 + k_1 \cdot \vartheta + k_2 \cdot \vartheta^2)$$

mit

M_{60} : Messwert bezogen auf 60 °C,

M : zu korrigierender Messwert,

k_0, k_1, k_2 : Konstanten

ϑ : Temperatur in °C

¹⁵² Vgl.: Miedaner, Heinz (Hrsg.): Brautechnische Analysemethoden. Band 2. Freising 2002. S. 118 f.

Die Konstanten für die einzelnen Messgrößen sind in folgender Tabelle 8 aufgeführt:

Tabelle 8: Konstanten zur Temperaturkorrektur

Messgröße	k_0	k_1	k_2
Dichte	$9,8 \cdot 10^{-1}$	$1,9 \cdot 10^{-4} \cdot 1/\vartheta$	$3,4 \cdot 10^{-6} \cdot 1/\vartheta^2$
Leitfähigkeit	2,5	$-3,8 \cdot 10^{-2} \cdot 1/\vartheta$	$2,0 \cdot 10^{-4} \cdot 1/\vartheta^2$
Schall	1,1	$-2,0 \cdot 10^{-3} \cdot 1/\vartheta$	$1,4 \cdot 10^{-5} \cdot 1/\vartheta^2$
Viskosität	$6,8 \cdot 10^{-1}$	$5,4 \cdot 10^{-3} \cdot 1/\vartheta$	$0 \cdot 1/\vartheta^2$

Die Jodwertmessung und die zweite Viskositätsmessung erfolgten bei 20 °C.^{153,154}

3.10.2 Statistische Methoden

Zur Abschätzung, ob die Referenzanalytik mit der Online-Datenerfassung korreliert, kam die Regressionsanalyse zur Anwendung. Sie untersucht den Zusammenhang einer abhängigen mit einer oder mehreren unabhängigen Variablen.¹⁵⁵ Hier sollte speziell der Zusammenhang der Abhängigkeit der Online-Daten von den Referenzdaten untersucht werden. Zur weiteren Untersuchung auf Linearität der Zusammenhänge wurde die Korrelationsanalyse benutzt.¹⁵⁶ Die Berechnungen bzw. deren Auswertungen wurden mit dem Programm WinSTAT vorgenommen.

¹⁵³ Vgl.: Mitzscherling, Martin et al.: Abschlussbericht des Forschungsprojektes 12552N der AiF. „Otto von Guericke“ e.V., Bonn 2002. S. 22.

¹⁵⁴ Vgl.: Mitzscherling, Martin: Ohne Titel. Dissertation. TU München. in Vorbereitung.

¹⁵⁵ Vgl.: Precht, Manfred: Bio-Statistik. Band 2. 5. Aufl. München 1993. S. 237 ff.

¹⁵⁶ Vgl.: Precht, Manfred: ebenda. S. 249 ff.

4 Ergebnisse und Diskussion

4.1 Labormaischen zur Methodenentwicklung

Um den Fortschritt der Degradation der Makromoleküle festzustellen, ist es möglich, die Konzentration des Reaktionsproduktes oder die Konzentration der Abbauprodukte zu verfolgen. Hierzu sollten zunächst Methoden gefunden werden, die möglichst wenig aufwändig, rasch durchführbar und kostengünstig sind. Um ihre Aussagekraft über den Maischprozess zu überprüfen, wurden Labormaischen angesetzt und diese mittels verschiedener Methoden überprüft.

4.1.1 Eiweißmessmethoden und ihre Reproduzierbarkeit

- *Löslicher Stickstoff fotometrisch*

Die Referenzmethode für die Eiweißbestimmung ist die Methode nach Kjeldahl. Hiermit lässt sich das gesamte beim Maischen in Lösung gebrachte Eiweiß bestimmen. Über den gemessenen löslichen Stickstoff bzw. den daraus errechneten Eiweißgehalt lässt sich der Fortschritt der Eiweißlösung beim Maischen feststellen. Zur Durchführung einer solchen Analyse sind jedoch giftige und problematisch zu handhabende Chemikalien wie Borsäure, Schwefelsäure, Natronlauge und Katalysatoren nötig. Außerdem dauert eine Analyse nach Kjeldahl ca. 2 h. All dies macht es wünschenswert, aus Gründen der Zeit- und Geldersparnis diese Analyse zu substituieren. Einige Autoren wie auch die EBC schlagen hierfür eine spektralfotometrische Messung von Extinktionen bei 215 und 225 nm der gefilterten Würze und Bildung derer Differenz vor. Diese soll Korrelation mit der Analyse nach Kjeldahl aufweisen und so eine Möglichkeit zu deren Substitution darstellen.

Um dies zu überprüfen, wurden Würzeproben aus dem Laborbetrieb des Malzlabors des Lehrstuhls mit bekanntem, stark unterschiedlichem Gehalt an löslichem Stickstoff nach Kjeldahl dieser Methode unterzogen. Es wurde festgestellt, dass die Steigung und Lage der Ausgleichsgeraden der Auftragung der Extinktionsdifferenzwerte gegen die Kjeldahlwerte vom Laboranten (Abbildung 19), vom Fotometer und vom Zeitpunkt der Messung (Abbildung 20) abhängig ist. Außerdem variierten diese Ergebnisse von Versuchstag zu Versuchstag. Eine Übersicht über die Ergebnisse aller Versuche zeigt Abbildung 21.

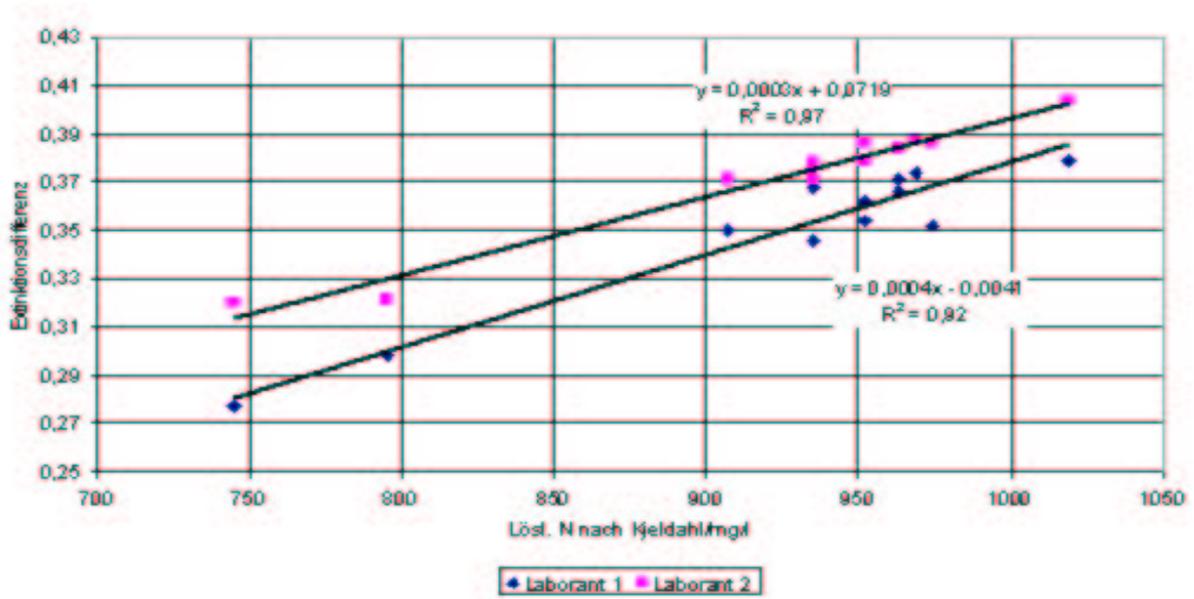


Abbildung 19: Extinktionsdifferenzergebnisse zweier verschiedener Laboranten zu Werten des löslichen Stickstoffs derselben Würzen (vgl.: Tabelle 18 - Anhang)

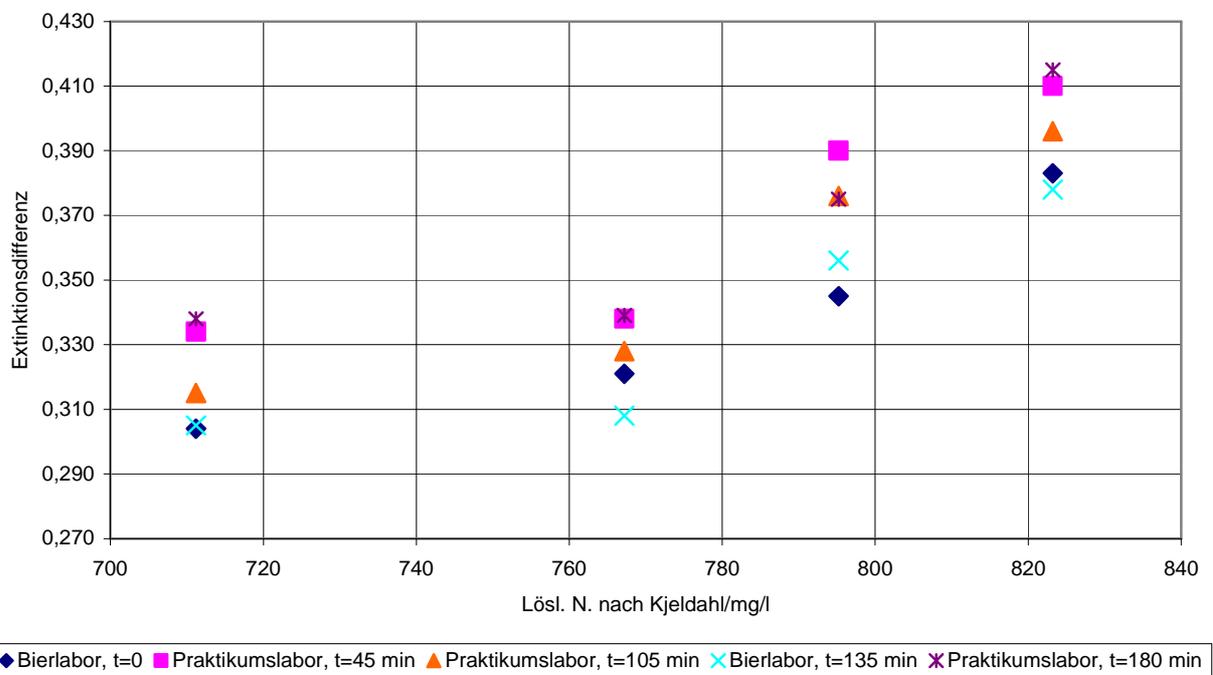


Abbildung 20: Werte der Extinktionsdifferenz an verschiedenen Photometern zu verschiedenen Zeitpunkten (vgl.: Tabelle 14 - Anhang)

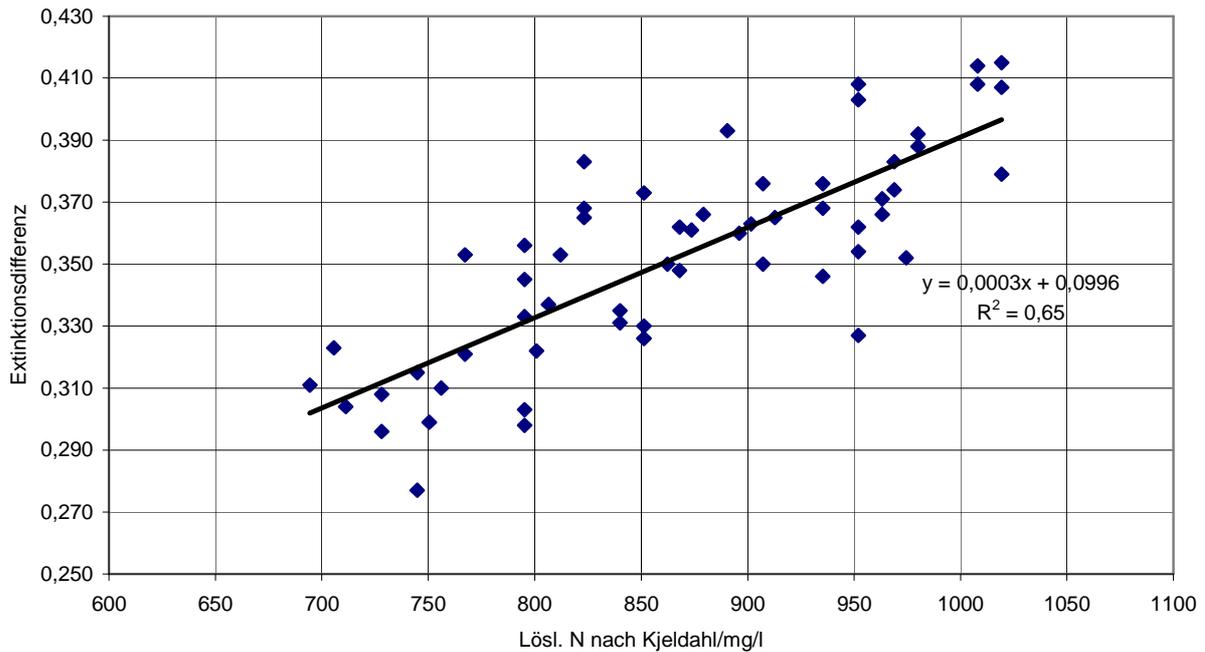


Abbildung 21: Löslicher Stickstoff nach Kjeldahl und Extinktionsdifferenz über alle Versuche (vgl. Tabelle 19 – Anhang)

Die Abbildung 19 zeigt, dass für die einzelnen Laboranten Korrelationen mit Bestimmtheitsmaßen R^2 nahe 0,95 zu Stande kommen. Dies könnte für eine Substitution der Messung des löslichen Stickstoffs ausreichen. Allerdings zeigt sich, dass die Werte zwischen den Laboranten insgesamt stark streuen: Zum Kjeldahl-Wert 745 mg/l ergeben sich Extinktionsdifferenzen von 0,277 und 0,320. Die Abbildung 20 zeigt ebenfalls starke Schwankungen der Messung derselben Würzen mit unterschiedlichem Gerät zu verschiedener Zeit auf. Die Auftragung aller Versuchsergebnisse in Abbildung 21 macht deutlich, dass mit einem Bestimmtheitsmaß von $R^2 = 0,65$ die Korrelation von Extinktionsdifferenz und Kjeldahlanalyse für eine Substitution nicht ausreicht. Die Gleichung, die von anderen Autoren (Waddell:¹⁵⁷ Lösl. N. = 2304 * ΔE ; Franken-Luykx¹⁵⁸: Lösl. N. = 2321 * ΔE - 16) für diesen Zusammenhang angegeben wurde, konnte nicht erreicht werden (eigene Gleichung: Lösl. N. = 2235,7 * ΔE + 80,2). Eine Substitution der Kjeldahlanalyse durch die Bestimmung der Differenz der Extinktionen bei 215 und 225 nm als proteolytische Leitkennzahl „Löslicher Stickstoff“ war nicht möglich.

¹⁵⁷ Vgl.: Waddell, William J.: A Simple Ultraviolet Spectrophotometric Method For The Determination Of Protein. In: J. Lab. and Clin. Med. 48, 1956. S. 311.

¹⁵⁸ Vgl.: Franken-Luykx, Josepha M.: Spectrophotometric Determination of Nitrogen in Wort. In: Journal of the Institute of Brewing. Volume 73 1967. S. 188.

- *Eiweißbestimmung mittels Anfärbung mit Coomassie-Blau*

Eine weitere Methode den Eiweißgehalt zu erfassen, stellt die Färbung des Eiweißes mit Coomassie-Blau dar. Auch diese Methode ist fotometrisch, das heißt, sie ist schnell durchführbar. Zur Anfärbung der Eiweißmoleküle wird der Farbstoff Coomassie-Blau benötigt. Außerdem erfordert die Erstellung einer Kalibrierkurve, die vor jedem Analysentag neu durchzuführen ist, die Verwendung eines Eiweißstandards. Die Forderung der Zeitersparnis gegenüber der Bestimmung des Löslichen Stickstoffs nach Kjeldahl ist bei dieser Methode also erfüllt, die der Geldersparnis nur teilweise.

Die Erstellung der Kalibriergeraden stellte sich speziell in den Bereichen niedriger Konzentrationen als problematisch dar, wie Abbildung 22 zeigt.

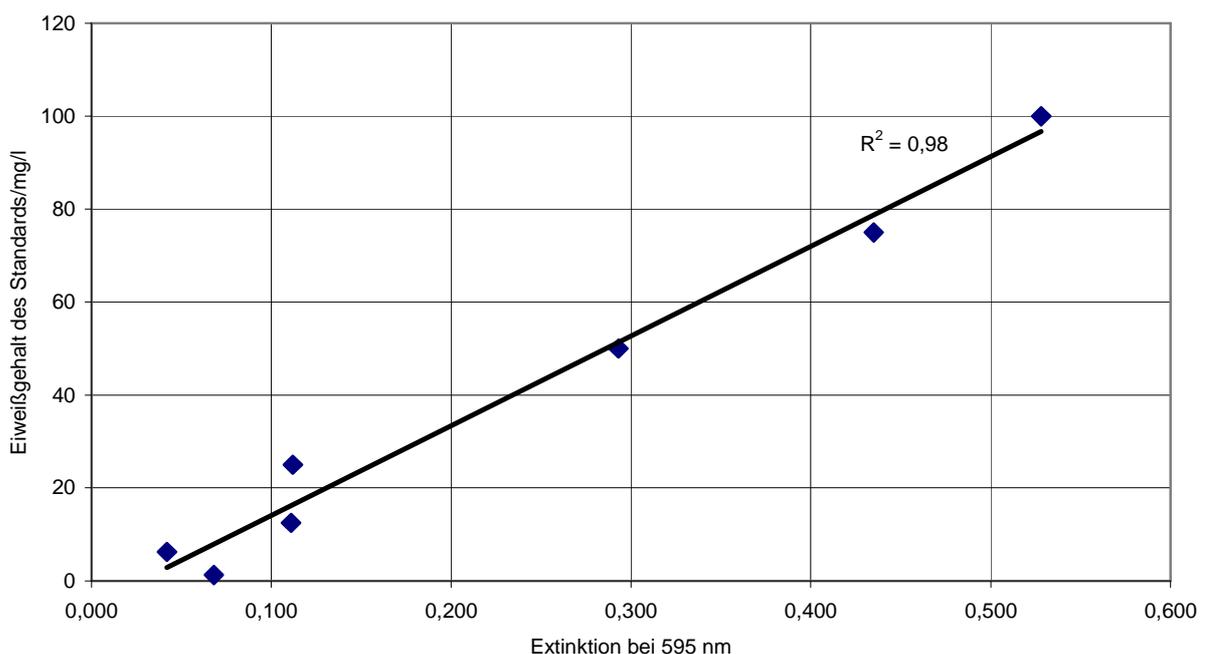


Abbildung 22: Darstellung einer Kalibriergeraden der Coomassie-Blau-Färbemethode (vgl.: Tabelle 15 – Anhang)

Die Kalibriergerade in Abbildung 22 zeigt ein hohes Bestimmtheitsmaß $R^2 = 0,98$. Im Bereich geringer Konzentrationen jedoch lassen sich einer Extinktion von 0,11 die Eiweißgehalte 13 mg/l und 25 mg/l zuordnen. Dies stellt eine zu große Abweichung dar. In Abbildung 23 sind Eiweißgehalte von Würzen, die mittels Coomassie-Blau-Färbung und mittels Kjeldahl-Methode ermittelt wurden, gegeneinander aufgetragen.

Hier zeigt sich, dass diese Methoden mit einem Bestimmtheitsmaß $R^2 = 0,01$ nicht miteinander korrelieren. Die Bestimmung des Eiweißgehaltes mit der Coomassie-Blau-Färbung kann also mit dem Eiweißgehalt nach Kjeldahl nicht in Zusammenhang gebracht werden und diesen nicht substituieren.

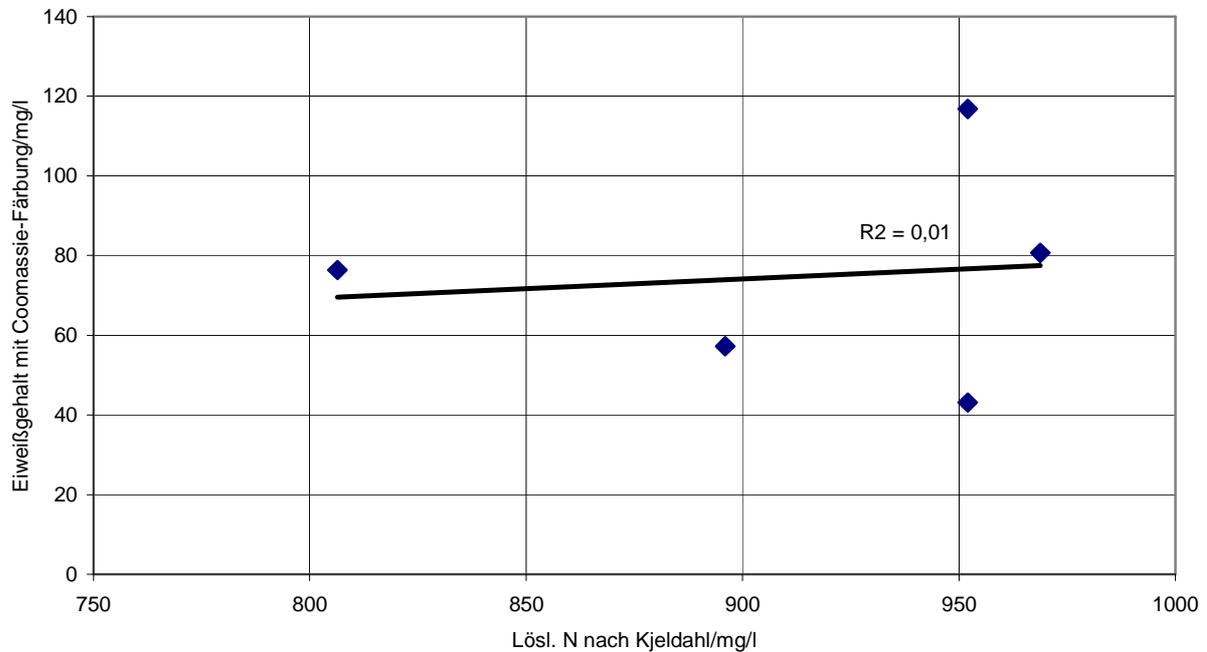


Abbildung 23: Eiweißgehalt von Würzen mit Coomassie-Färbung und löslichem Stickstoff nach Kjeldahl (vgl.: Tabelle 16 – Anhang)

In Abbildung 24 ist der Verlauf des Eiweißgehaltes mittels Coomassie-Blau-Färbung über ein Kongressmaischverfahren aufgetragen. Die Bestimmung erfolgte für ein gut gelöstes und ein knapp gelöstes Malz. Der Verlauf der Kurven ermöglicht keine Interpretation zur Lösung oder zur Degradation von Eiweiß in der Maische.

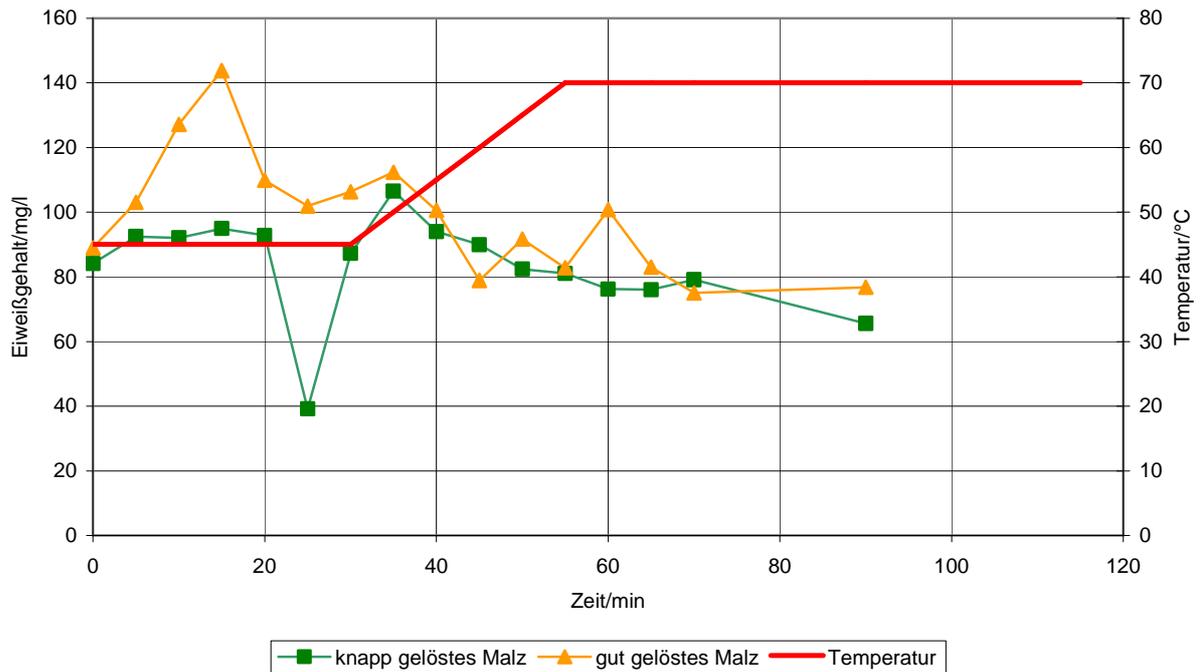


Abbildung 24: Verlauf der mittels Coomassie-Blau-Färbung erhaltenen Eiweißgehalte zweier Versuche über Kongressmaisverfahren unter Variation der Malzqualität (vgl. Tabelle 17 – Anhang)

Die Notwendigkeit der Verwendung teurer Färbe- und Kalibriersubstanzen und die schlechte Korrelation zur Referenzmethode ließen die Coomassie-Blau-Färbung als Methode zur Beurteilung des proteolytischen Fortschritts beim Maischen ausscheiden.

- *Freier Amino-Stickstoff (FAN)*

Die Abbauprodukte der Proteolyse sind die Aminosäuren. Sie werden in der Summe der Aminogruppen als Freier Amino-Stickstoff (FAN) ermittelt. Der Fortschritt der Eiweißlösung in der Maische und der Fortschritt der Eiweißdegradation ist über die Erfassung des FAN möglich. Dies wurde bereits von anderen Autoren so durchgeführt: Einsiedler¹⁵⁹ addierte die mittels HPLC erfassten Konzentrationen der einzelnen Aminosäuren, um so einen Wert des Gesamt-FAN zu erhalten. Dies geschah, um Berechnungen zur Reaktionskinetik der Proteolyse zu ermöglichen. Um dies nachzuvollziehen, wurden Labormaischen angesetzt und – wie bei den oben beschriebenen Analysen – der zeitliche Verlauf der Kennzahl FAN erfasst. Um die Labormaischen den Praxisverfahren anzunähern, wurden 50 g Malz mit 200 ml Wasser vermengt und dieses Gemenge nicht weiter verdünnt. Außerdem wurde für das Kongressmaischverfahren ein gut gelöstes Pilsener Malz verwendet. Dagegen kam bei den Eybenmaischverfahren ein knapp gelöstes Spitzmalz zur Verwendung. Die Mittelwerte der FAN-Bestimmung und der des löslichen Stickstoffes nach Kjeldahl für die Kongressmaischen sind in Abbildung 25 dargestellt. Die gleichen Kennzahlen für die Eybenmaischen finden sich in Abbildung 26. In beiden Abbildungen ist ein Anstieg des FAN während der proteolytisch relevanten Rast bei 45 °C zu sehen. Während der folgenden Rasten verhält sich die Kurve nicht mehr steigend. Dies stimmt mit den Ergebnissen von Einsiedler überein, der bei isothermen Maischen mit 35 °C und 50 °C Steigerungen des FAN feststellen konnte. Bei 65 °C war dies nicht mehr der Fall. Ebenso konnte hier kein Anstieg des FAN bei Überschreiten von 60 °C diagnostiziert werden. Die proteolytischen Enzyme sind offensichtlich bei dieser Temperatur größtenteils inaktiviert. Dies ist auch am Verlauf des löslichen Stickstoffs zu erkennen, welcher ebenfalls während der 45 °C-Rast und des Aufheizens ansteigt und anschließend keine Steigung mehr zeigt. Der FAN ist also zur Verfolgung des proteolytischen Fortschritts in Maischen geeignet. Er ist als fotometrische Analyse sehr schnell (innerhalb einer Stunde) durchführbar und benötigt wenig kostenintensive und problematische Chemikalien. Daher wurde der FAN als Analyse zur Messung der Proteolyse gewählt.

¹⁵⁹ Vgl.: Einsiedler, Frank et al.: Experimentelle Untersuchungen und Modellierung komplexer biochemischer und technologischer Prozesse am Beispiel des Maischens. Teil 1: Proteolyse. In: Monatsschrift für Brauwissenschaft. Heft 9/10. Nürnberg 1997. S. 164-171.

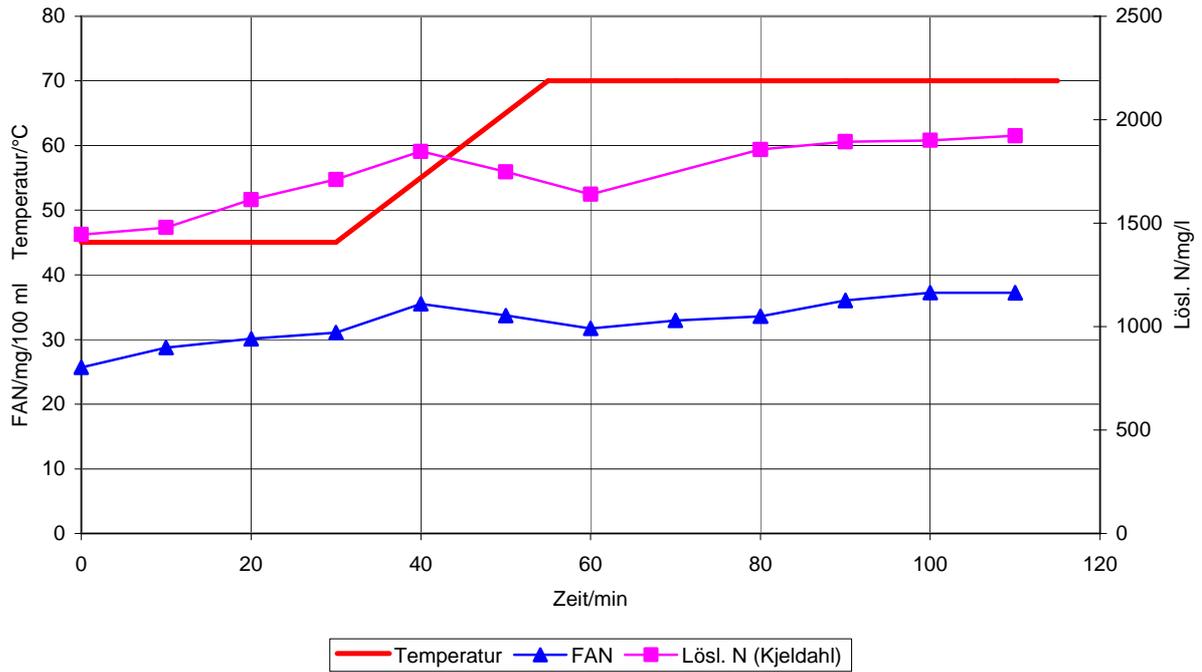


Abbildung 25: Verlauf der Mittelwerte (n = 3) proteolytischer Kennzahlen über Kongressmaischversuche (vgl.: Tabelle 20 – Anhang)

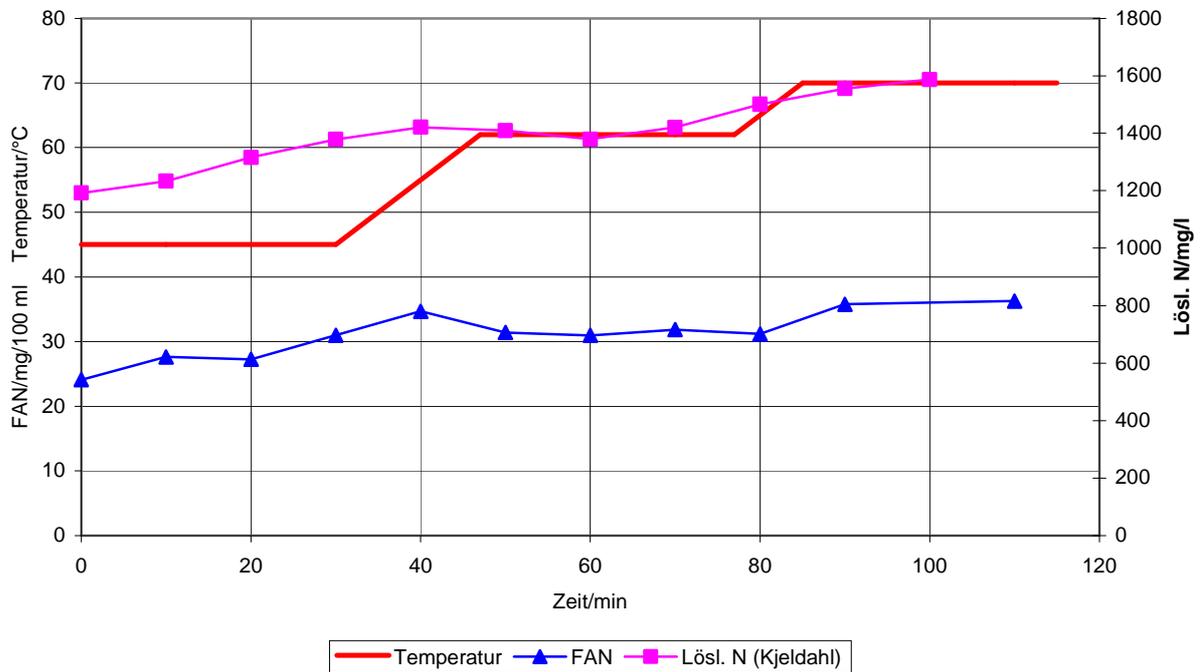


Abbildung 26: Verlauf der Mittelwerte (n = 2) proteolytischer Kennzahlen über Eybenmaischversuche (vgl.: Tabelle 21 – Anhang)

4.1.2 Der Verlauf der fotometrischen Jodprobe und des Extraktes

Die fotometrische Jodprobe erfasst unabgebaute Stärke. Ein Absinken des Wertes der Jodprobe bedeutet einen Abbau hochmolekularerer Stärke. Diese muss zunächst in Lösung gehen, um mit dem Jod den farbgebenden Komplex, welcher gemessen wird, eingehen zu können.

Zunächst zeigt eine Betrachtung der Abbildung 27 und der Abbildung 28 keinen technologisch deutbaren Verlauf der Werte der Jodprobe. Zwar fallen die Kurven im Bereich der Rast der α -Amylase bei 70 °C leicht ab, aber dies geschieht unter Schwankungen, die eine Interpretation erschweren. Die MEBAK gibt 0,3 für die fotometrische Jodprobe als Normwert für Ausschlagwürzen mit einem Extraktgehalt von 12 % an.¹⁶⁰ Dieser Wert wird in beiden Abbildungen von jeweils einer Kurve nicht erreicht. Eine Interpretation zur Lösung und Degradation der Stärke ist so über die fotometrische Jodprobe nicht möglich.

Deutlich erkennbar ist jedoch die Charakteristik des Extraktverlaufes. Bei beiden Maischverfahren erhöht sich der Extraktgehalt während der Rast bei 45 °C von ca. 6 bis knapp 10 %. Bei Aufheizen auf 60 °C schnellte der Extraktgehalt auf ca. 17 % hoch, um bis zum Ende der 70 °C-Rast noch bis ca. 19 % zu steigen. Zunächst findet hierbei die Quellung und Verkleisterung der Stärkekörner in der Maische statt. Anschließend werden die gequollenen Stärkepartikel hydrolysiert. Die sogenannte Verflüssigung stellt sich ein. Diese Aneinanderreihung von physikalischen und enzymatischen Lösungsvorgängen äußert sich im raschen Anstieg des Extraktes (siehe Abschnitt 4.2.1.3).

Bei Einbindung des Extraktgehaltes in die Werte der Jodprobe gibt sich für die fotometrische Jodprobe ein anderes Bild. Der Normwert der Jodprobe ist für Würzen mit 12 % Extraktgehalt angegeben (s. o.). Abbildung 29 und Abbildung 30 zeigen die auf 12 % Extraktgehalt umgerechneten Werte der Jodproben während der beschriebenen Maischverfahren.

¹⁶⁰ Vgl.: Miedaner, Heinz (Hrsg.): Brautechnische Analysenmethoden. Band 2. 4. Aufl. Freising 2002. S. 34 f.

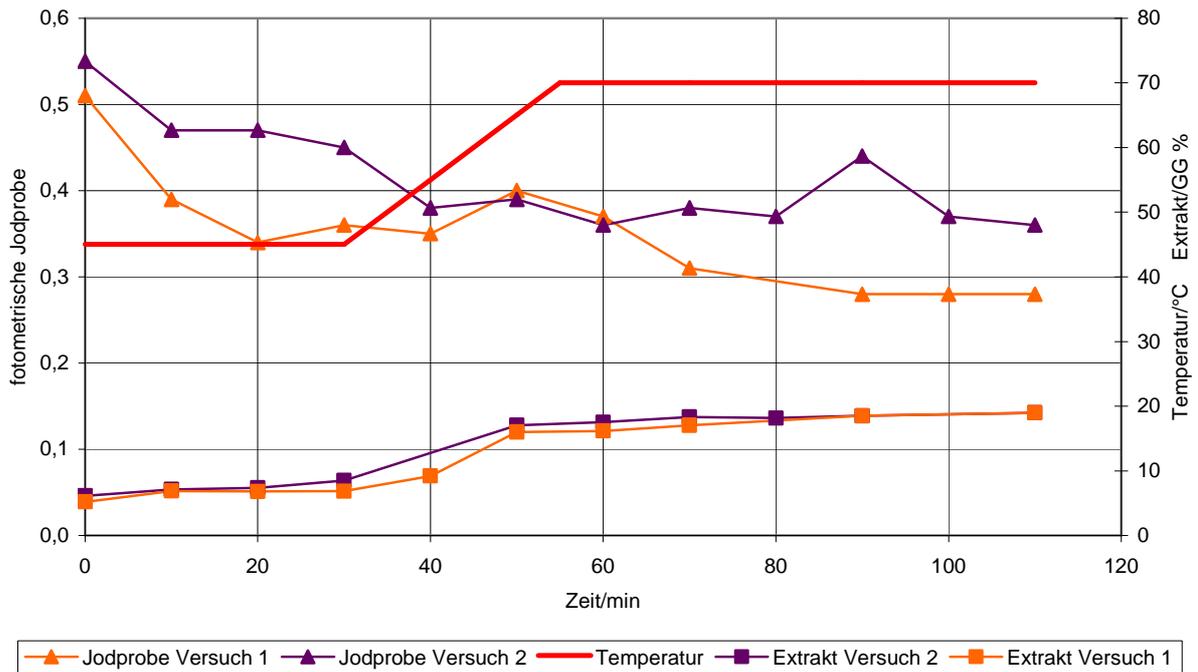


Abbildung 27: Verlauf der fotometrischen Jodprobe und des Extraktes bei Kongressmaischverfahren im Labormaßstab (vgl.: Tabelle 22 – Anhang)

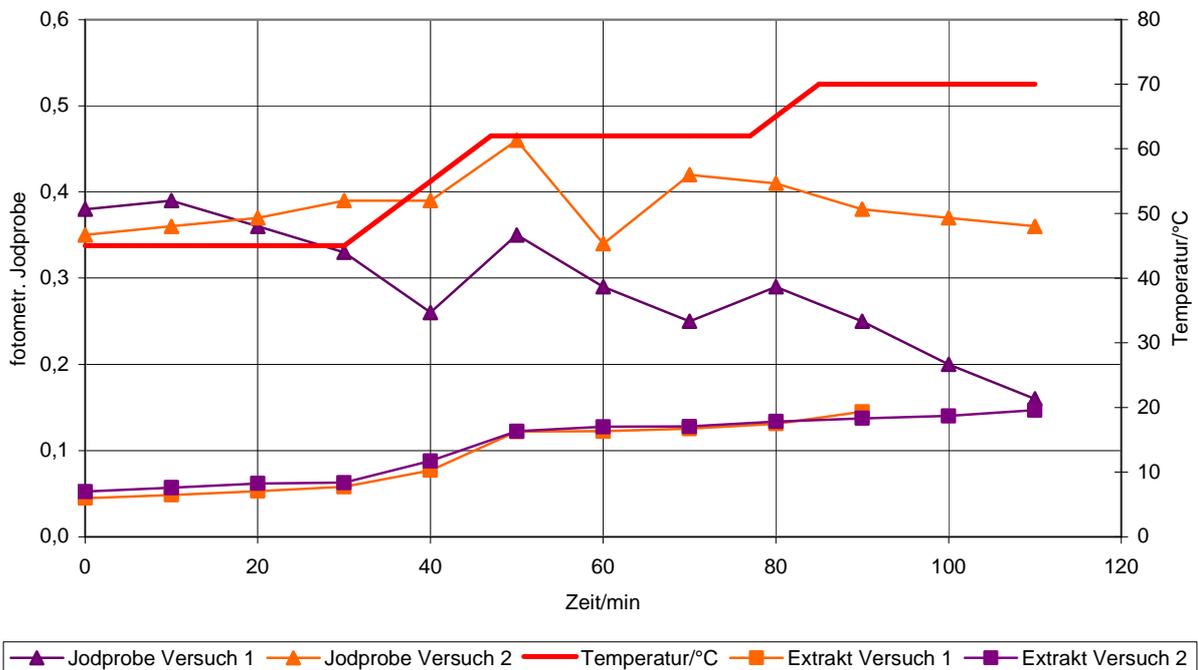


Abbildung 28: Verlauf der fotometrischen Jodprobe und des Extraktes bei Eybenmaischverfahren im Labormaßstab (vgl.: Tabelle 23 – Anhang)

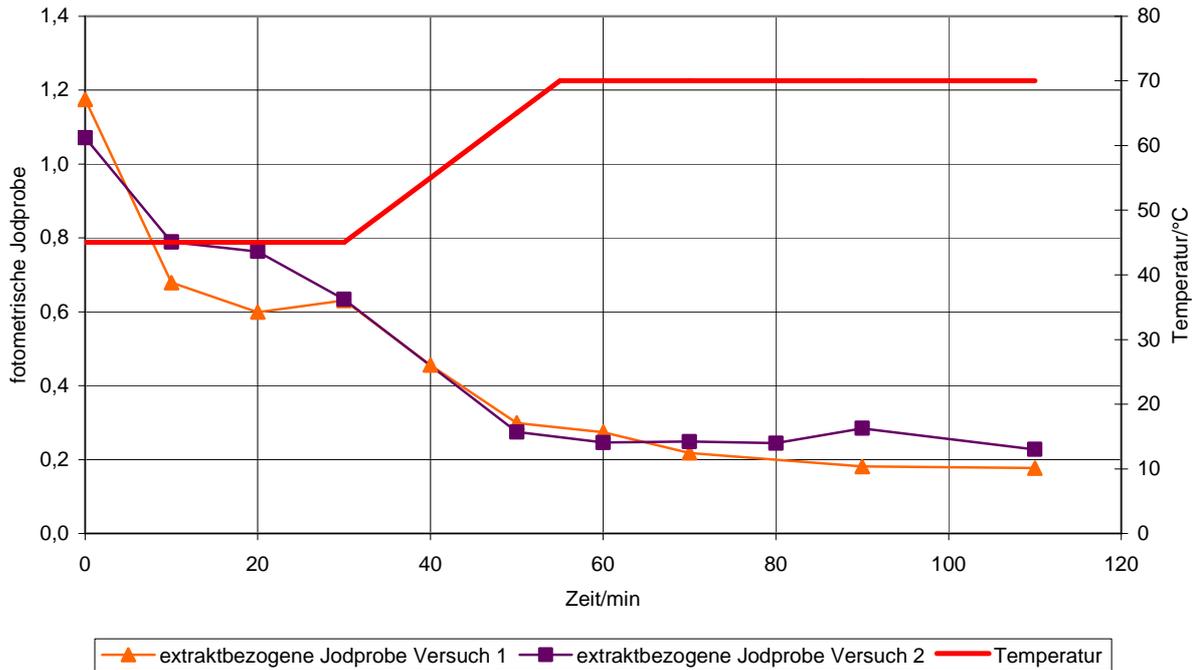


Abbildung 29: Verlauf der auf 12 % Extraktgehalt berechneten fotometrischen Jodprobe bei Kongressmaischverfahren (vgl.: Tabelle 22 – Anhang)

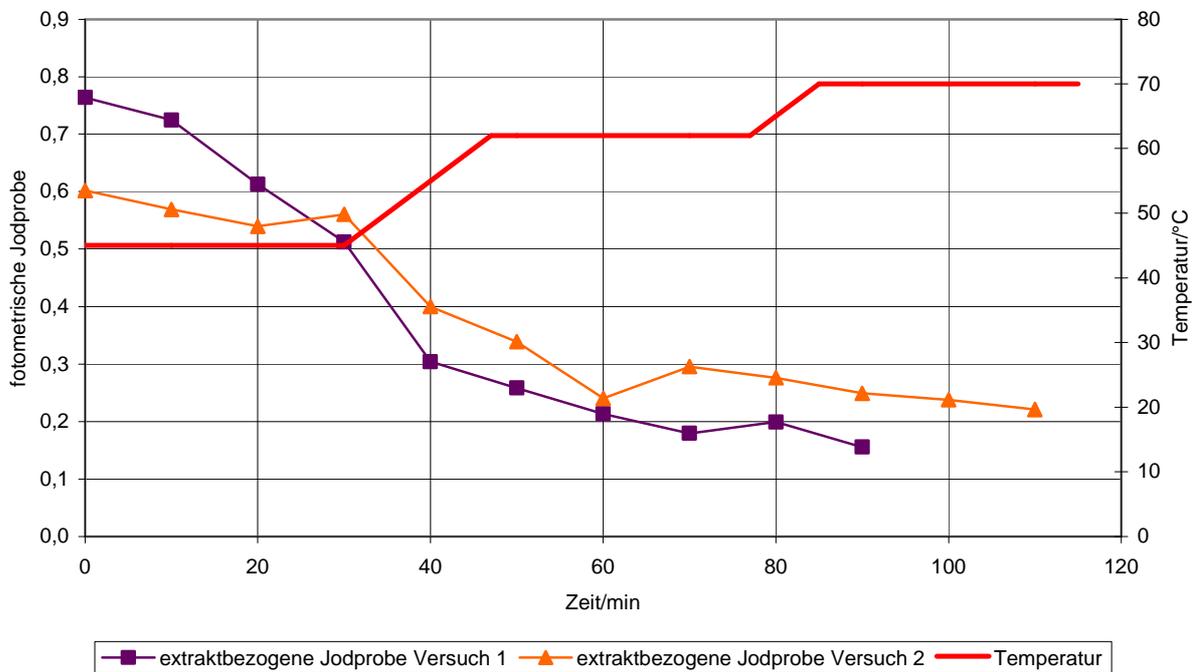


Abbildung 30: Verlauf der auf 12 % Extaktgehalt berechneten fotometrischen Jodprobe bei Eybenmaischverfahren (vgl.: Tabelle 23 – Anhang)

Aus den extraktbezogenen Werten wird deutlich, dass zunächst ein hoher Anteil des Stärkeextraktes hochmolekular in Lösung kommt. Schon anfänglich, aber vor allem bei Erreichen von 60 °C, fällt dieser Anteil ab, um kurz nach Erreichen von 70 °C überall unter dem geforderten Wert von 0,3 zu liegen. Deutlich wird, dass die fotometrische Jodprobe von der Wirkung der α -Amylase abzuhängen scheint, die ihr Optimum bei über 70 °C aufweist. In beiden Diagrammen fällt der Wert erst bei Durchlaufen der 70 °C-Rast auf deutlich unter 0,3. Zu Beginn der 62 °C-Rast des Eyben-Maischverfahrens (Abbildung 30) hält sich ein Graf noch über dieser Marke auf.

4.1.3 Verhältnisse bezüglich β -Glucan

Als problemlos messbare Stoffgruppe der Zytolyse sind die hochmolekularen β -Glucane zu nennen. Ihre Erfassung über die Anfärbung mit Calcofluor und Messung der Fluoreszenz ist automatisierbar sowie schnell und ohne gefährliche Chemikalien zu handhaben. Der Nachweis ausreichenden Zellwandabbaus in Maische ist mit dem selben Problem wie der Maischprozess selbst behaftet: Die β -Glucansolubilase löst erst dann große Teile des nicht zersetzten β -Glucans, wenn die degradierenden Enzyme bereits thermisch inaktiviert sind. So tritt die anfärbbare Problemsubstanz erst dann in Erscheinung, wenn sie nicht mehr regulierbar ist. Dennoch kann man über ihre Konzentration beim Abmaischen und die Geschwindigkeit des Anstiegs bei Verkleisterungstemperatur Rückschlüsse über die Qualität des vorangegangenen Zellwandabbaus ziehen. Einsiedler et al.¹⁶¹ stellen bei isothermen Maischen folgende Erscheinungen fest:

Bei 50 °C bleibt der Gehalt an β -Glucan über die Zeit konstant nahe 0. Sich lösendes hochmolekulares β -Glucan wird durch die anwesenden β -Glucanasen, die nahe ihres Temperaturoptimums gehalten werden, sofort degradiert. Die Lösung hochmolekularen β -Glucans selbst ist gebremst, da die β -Glucansolubilase sich nicht im thermischen Optimalbereich befindet.

¹⁶¹ Vgl.: Einsiedler, Frank et al.: Experimentelle Untersuchungen und Modellierung komplexer biochemischer und technologischer Prozesse am Beispiel des Maischens. Teil 3: Cytolyse. In: Monatsschrift für Brauwissenschaft. Heft 1/2. Nürnberg 1998. S. 12 ff.

Bei 70 °C steigt der β -Glucan-Gehalt sehr schnell auf einen Wert, der dann konstant bleibt. Die degradierenden β -Glucanasen sind bei dieser Temperatur sehr schnell inaktiviert. Bereits gelöstes β -Glucan wird nicht mehr abgebaut. Die β -Glucansolubilase ist noch eine Zeit wirksam und bringt noch hochmolekulares β -Glucan in Lösung, bis auch sie vollständig inaktiviert ist. Der β -Glucan-Gehalt bleibt dann konstant.

In Abbildung 31 ist der β -Glucan-Verlauf eines Kongressmaisochverfahrens aufgetragen. Wie erwartet, ist der β -Glucan-Gehalt während der Optimalbedingungen für die β -Glucanasen nahe 0. Beim Aufheizen zu deren Inaktivierungstemperatur und über die Optimaltemperatur der β -Glucansolubilase steigt der β -Glucan-Gehalt rasch an. Dort sollte er konstant bleiben, was in dieser Darstellung nur mit einer sehr starken Streuung geschieht. Die folgenden Werte der Pilotsudmaisochungen sind ohne diesen Fehler gemessen.

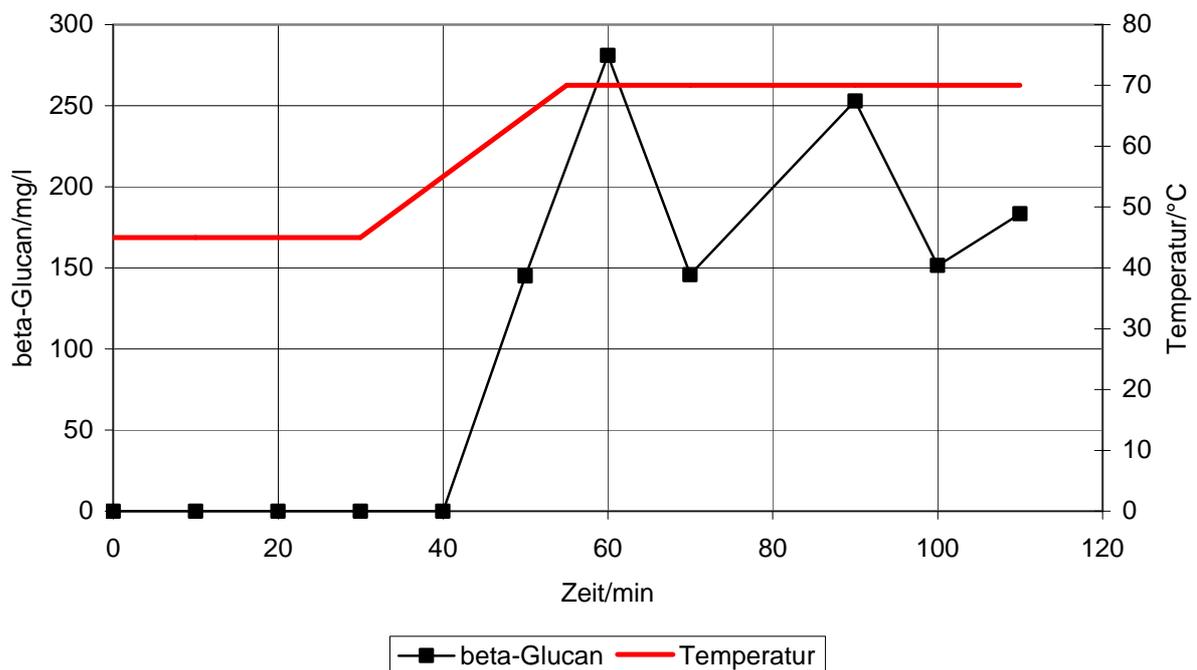


Abbildung 31: Verlauf des hochmolekularen β -Glucan während eines Kongressmaisochverfahrens (vgl.: Tabelle 24 – Anhang)

Ähnliche Verläufe des β -Glucans-Gehaltes werden von Einsiedler et al. für ein Maisochverfahren mit mehreren Temperaturstufen dargestellt.

4.2 Maischen aus der Pilotsudanlage

Zur Erstellung der Referenzverläufe der enzymatischen Abbauvorgänge wurden Analysen ausgewählt und auf ihre Anwendbarkeit an Labormaischen überprüft (4.1). An Maischen aus der Pilotsudanlage fand danach wiederum eine Überprüfung der ausgewählten Analysen auf die Anwendbarkeit in Betriebsmaischen statt. Dies erfolgte mit verschiedenen Maischprogrammen und unterschiedlicher Malzqualität. Hierfür standen die standardvermälzten Gerstensorten Neruda und Danuta des Berliner Programms zur Braugerstenprüfung zur Verfügung. Der am stärksten ausgeprägte Unterschied dieser Malze war eine eiweißseitige Unterlösung des Malzes „Neruda“. Das Malz „Danuta“ war eiweißseitig sehr gut gelöst (3.1.2).

Nach der Beurteilung der Referenzanalytik in Betriebsmaischen wurden Versuche mit gleichzeitiger Erfassung der physikalischen Größen in der Messstrecke und der nasschemischen Referenzanalytik durchgeführt. Hierbei sollten Mischungen aus gut gelöstem Pilsener Malz und sehr knapp gelöstem Spitzmalz verschiedene Malzqualitäten darstellen. Bei diesen Versuchen wurde zumeist nach dem Eybenmaisverfahren gearbeitet, da es die drei klassischen Rasten (Eiweiß-, Maltose- und Verzuckerungsrast) standardisiert mit jeweils 0,5 h durchläuft.

Diese Eybenmaischen aus unterschiedlicher Malzqualität wurden auf Molekülgrößenverteilung analysiert. Hieraus sollten erweiterte Aussagen zur Qualitätsbeeinflussung beim Maischen getroffen werden.

4.2.1 Analytische Werte unter Abwandlung des Temperatur-Zeit-Profiles und der Malzqualität

4.2.1.1 Verlauf des β -Glucan

Der β -Glucan-Verlauf entwickelte sich in den Maischen wie schon in den Labormaischversuchen gezeigt: Die Abbildung 32 und die Abbildung 33 zeigen während der 50 °C-Rast, bei welcher die β -Glucanasen noch wirken, keinen bzw. nur einen leichten Anstieg an in Lösung gehendem hochmolekularem β -Glucan. Mit völliger Inaktivierung der β -Glucanasen und Erreichen des Temperaturoptimums der β -Glucansolubilasen bei 60 °C steigt der β -Glucan-Gehalt rasch an, um dann nahezu auf gleichem Niveau bei 70 °C zu verharren. Die Schwankungen zwischen den Messreihen (Gerät: Foss Tecator), vor allem in Abbildung 33, sind offensichtlich sehr stark. Die Charakteristik der Kurven ist dennoch gut erkennbar. Die zytolytischen Daten der Analyse beider Malze (3.1) lassen keine eindeutige Aussage über eine bessere Lösung eines Malzes zu. So ist auch durch die hier dargestellten Messreihen keine Aussage über eine bessere Zellwandlösung möglich, da sich die Werte am Ende des Maischprozesses überschneiden.

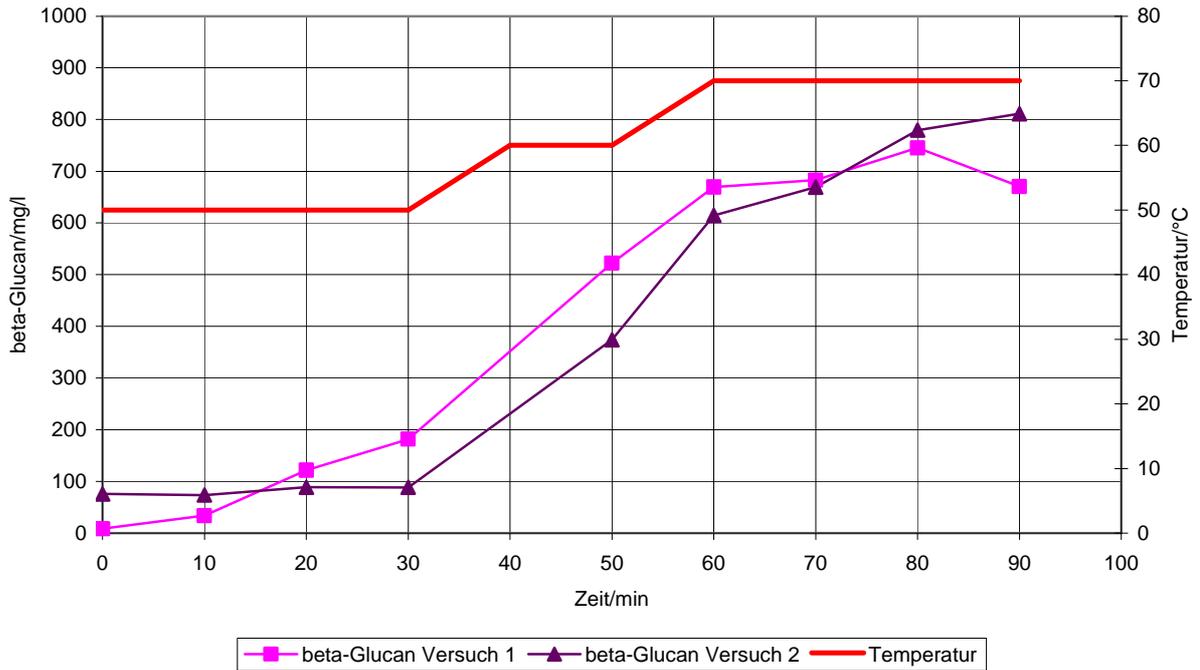


Abbildung 32: Verlauf der β -Glucan-Konzentration zweier gleicher Versuche für ein kurz gehaltenes Maischverfahren mit Malz aus der Gerstensorte Neruda (vgl.: Tabelle 25 – Anhang)

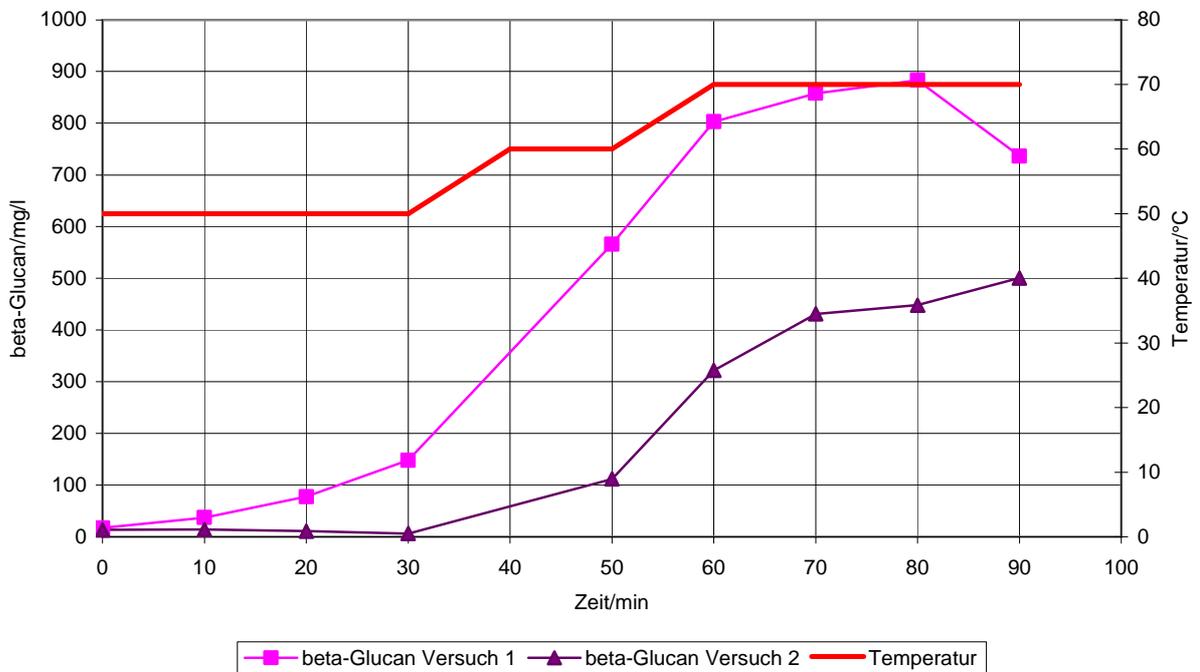


Abbildung 33: Verlauf der β -Glucan-Konzentration zweier gleicher Versuche für ein kurz gehaltenes Maischverfahren mit Malz aus der Gerstensorte Danuta (vgl.: Tabelle 26 – Anhang)

Diese Endwerte sind mit 500-811 mg/l sehr hoch im Vergleich zu den Normwerten. In der Anstellwürze ergeben sie auf einen Extraktgehalt von 12 % berechnet ca. 350 bis 690 mg/l. Auf den typischen Extraktgehalt einer Kongresswürze, der bei 9 % liegt, berechnet ergeben sie ca. 260-520 mg/l. Für eine Kongresswürze gilt die Obergrenze eines Gehaltes von 200 mg/l, um die Würzen und Biere problemlos verarbeiten zu können. Die zytolytischen Werte der Malzanalyse sind im bzw. über dem Normbereich, so dass hier eine Minderbehandlung der Zytolyse im Maischverfahren vorzuliegen scheint. Um dies auszugleichen und den Einfluss der Temperaturführung festzustellen, wurden 4 Maischen mit gleichen Temperaturstufen der Rasten, aber verlängerten Zeiten hergestellt. Die Gesamtzeiten variierten von 90 min (kurz) über 125 min (mittel) und 160 min (lang) bis zu 195 min (extrem lang). Die Maischdiagramme und die Ergebnisse der β -Glucan-Analysen sind in Abbildung 34 dargestellt.

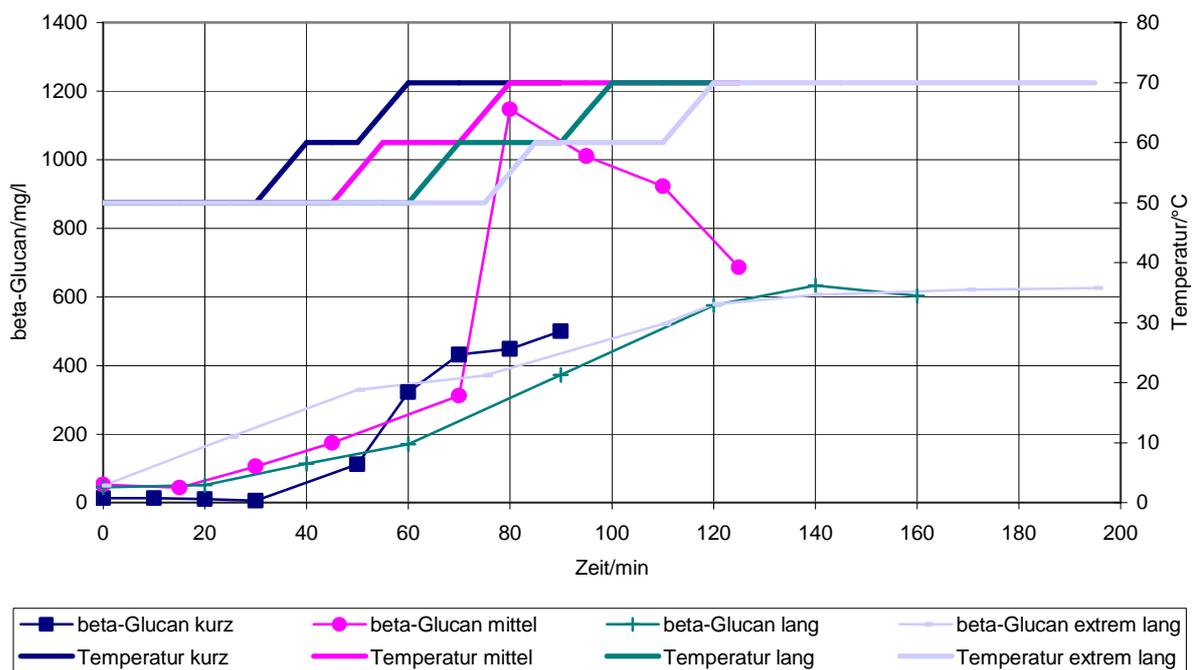


Abbildung 34: Verlauf der β -Glucan-Konzentrationen für variierte Maischverfahren mit Malz aus der Gerstensorte Danuta (vgl.: Tabelle 27 – Anhang)

Wieder ist in Abbildung 34 mit dem β -Glucan-Gehalt des „mittel“ dauernden Maischverfahrens eine Messkurve (Gerät: Foss Tecator) erhalten worden, die stark

streut. Dies macht die hohen Werte unglaubwürdig und einen Verfahrens- oder Messfehler in dieser Messreihe wahrscheinlich. Die anderen Messkurven jedoch zeigen wieder das oben beschriebene Verhalten des Anstiegs bei der ersten Temperaturerhöhung. Weiter bleiben sie wie bisher konstant. Der Endwert allerdings ist bei den drei Kurven „kurz“, „lang“ und „extrem lang“ nicht unterschiedlich, was einen Einfluss der Temperaturführung beim Maischen auf die Zytolyse unwahrscheinlich macht. Offensichtlich kann man hier nur mit Säuerung im Maischprozess entgegensteuern. Ansonsten scheint das Ausmaß der Zytolyse in der Mälzerei festgelegt zu werden.

Um die Referenzanalytik mit den physikalischen Daten der Messstrecke rechnerisch gut vergleichen zu können, wurde die Reproduzierbarkeit der ganzen Versuchsaufstellung überprüft. Hierzu war das Eybenmaisverfahren als Standard gesetzt. Zur Verwendung kam eine Malzmischung aus 70 % Pilsener Malz und 30 % Spitzmalz. Es konnten so 5 Maischversuche mit gleicher Probenahme und ohne Fehler während der Analysen durchgeführt werden (Messgerät: Skalar). Die dabei gewonnenen Werte sind in Abbildung 35 dargestellt. Diese Messreihe zu einer Mittelwertsreihe mit eingezeichneter Stichprobenstandardabweichung zusammengefasst findet sich in Abbildung 36. Aus beiden Diagrammen ist der bekannte Verlauf zu entnehmen: Bei 45 °C ist kein hochmolekulares β -Glucan messbar. Seine Konzentration steigt beim Aufheizen und während der 62 °C-Rast stark an und flacht bei der 70 °C-Rast ab. Die Schwankungen sind zwar nach wie vor vorhanden, der Kurvenverlauf ist in seiner Charakteristik jedoch gut reproduzierbar.

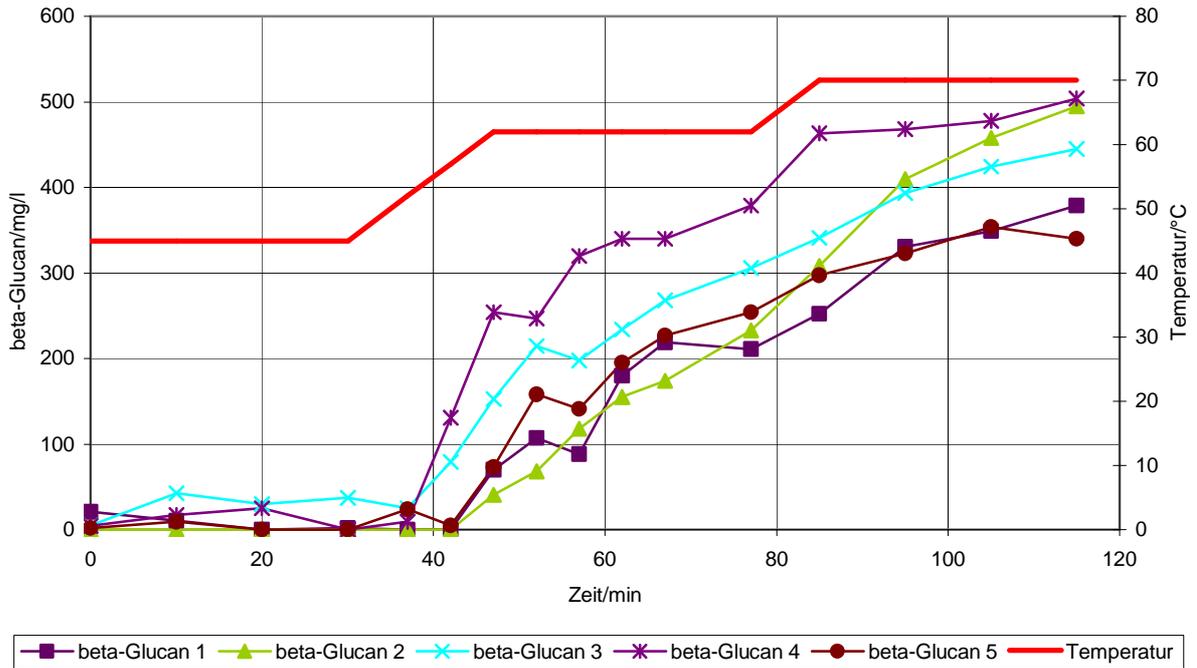


Abbildung 35: Verlauf der β -Glucan-Konzentrationen in 5 Eybenmaischen im Pilotsudwerk (vgl.: Tabelle 28 – Anhang)

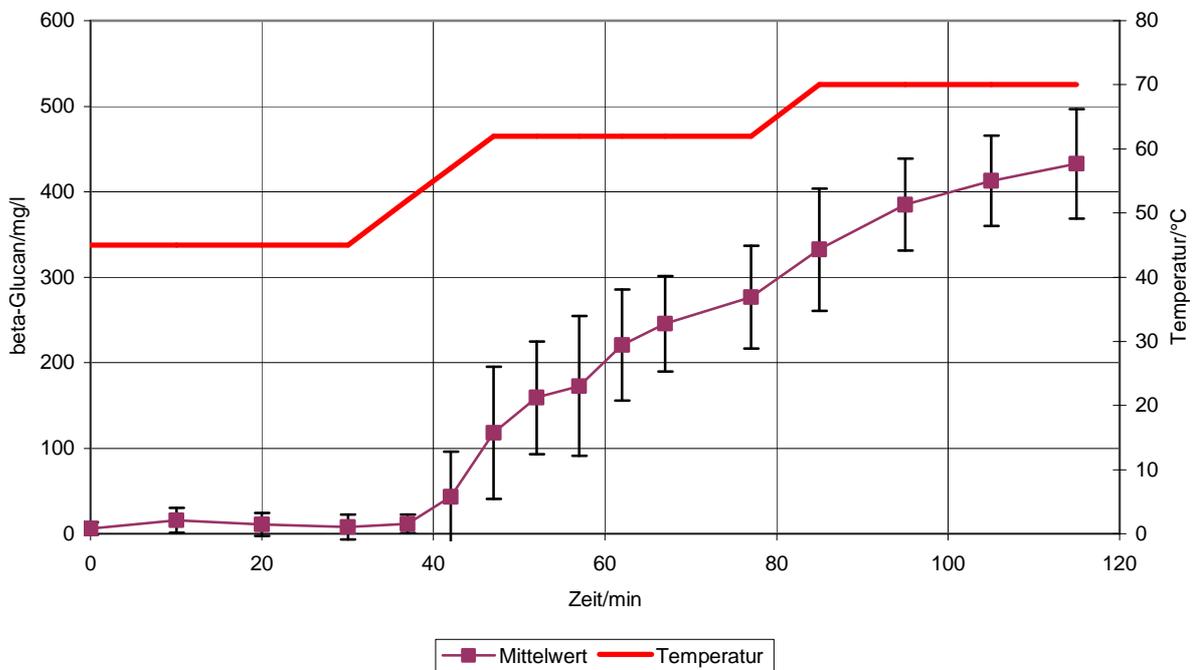


Abbildung 36: Mittelwert (n = 5) der β -Glucan-Gehalte in Pilotmaischen (Eybenverfahren; vgl. Tabelle 28 – Anhang)

4.2.1.2 Verlauf des FAN

Bei den Betriebsmaischen verläuft auch der FAN ähnlich wie bei den Labormaischen, wie Abbildung 37 und Abbildung 38 zeigen. Vom Maischbeginn bis zur zweiten Probenahme ist ein starkes Ansteigen des FAN-Gehaltes zu verzeichnen. Dies zeigt, dass zunächst beim Mälzen vorgelöster Aminostickstoff physikalisch in Lösung geht. Mit weiterer Durchschreitung der 50 °C-Rast sind die proteolytischen Enzyme aktiv und bewirken somit einen Anstieg des FAN-Gehaltes. Bei höheren FAN-Gehalten sind die Schwankungen in der Messung stärker. Da diese Ausschläge allerdings nach oben und unten zeigen, ist davon auszugehen, dass der wirkliche Wert wie in den Laborversuchen konstant bleibt. Deutlich zu sehen ist der Einfluss der Malzqualität: Das Malz aus der Gerste Danuta (Abbildung 38, ELG: 44 %) startet vom Probenahmepunkt des Einmaischen weg auf einem deutlich höheren Niveau (ca. 200-270 mg/l) als das Malz aus der Gerste Neruda (Abbildung 39, ELG: 33 %, ca. 105-120 mg/l). Um den Einfluss der Zeitführung des Maischprozesses darzustellen, sind die Ergebnisse des FAN der bereits oben gezeigten in der Dauer variierten Versuchsmaischen in Abbildung 39 aufgeführt.

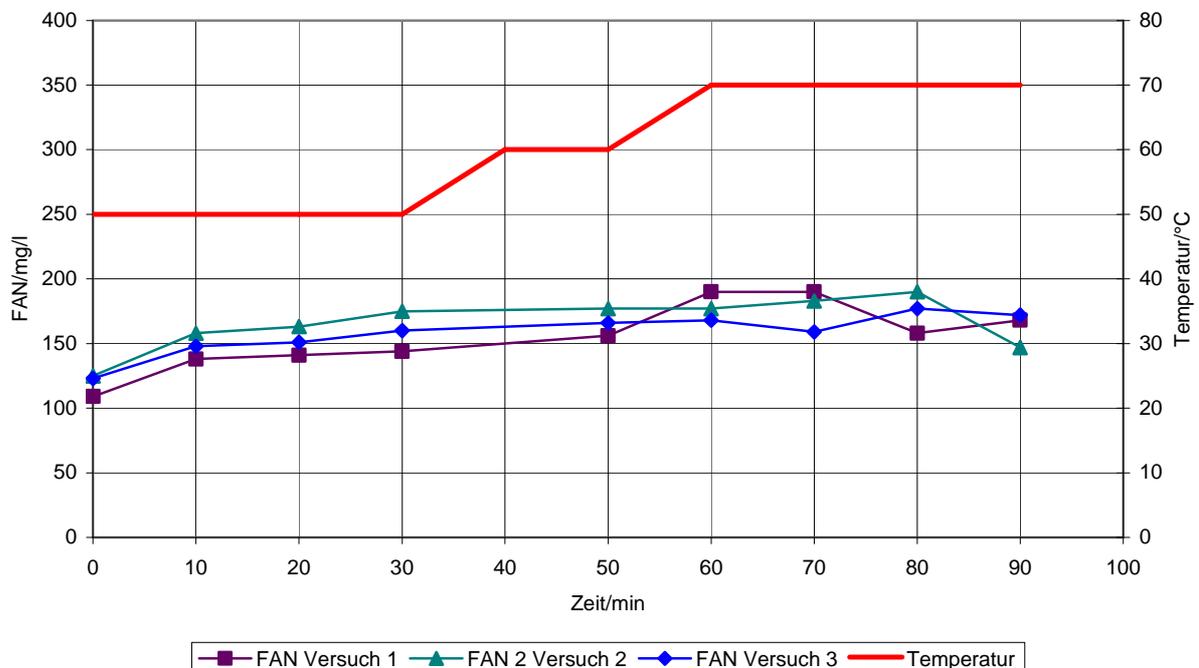


Abbildung 37: Verlauf der FAN-Konzentration für drei Versuche eines kurz gehaltenen Maischverfahren mit Malz aus der Gerstensorte Neruda (vgl.: Tabelle 29 – Anhang)

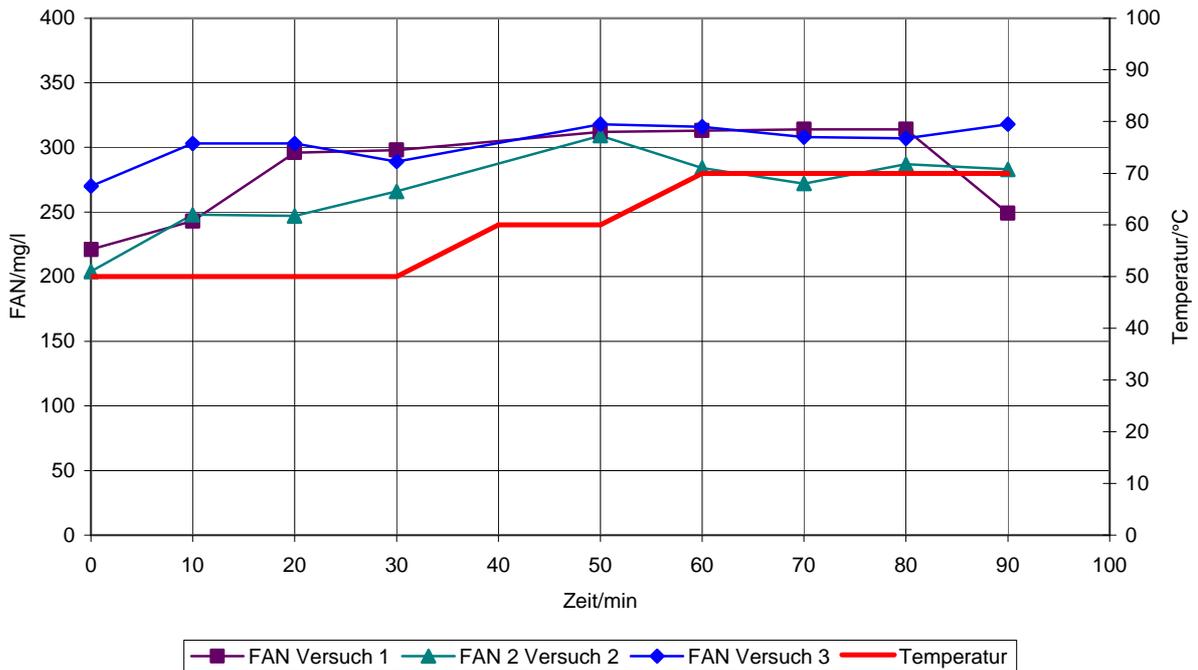


Abbildung 38: Verlauf der FAN-Konzentration für drei Versuche eines kurz gehaltenen Maischverfahren mit Malz aus der Gerstensorte Danuta (vgl.: Tabelle 30 – Anhang)

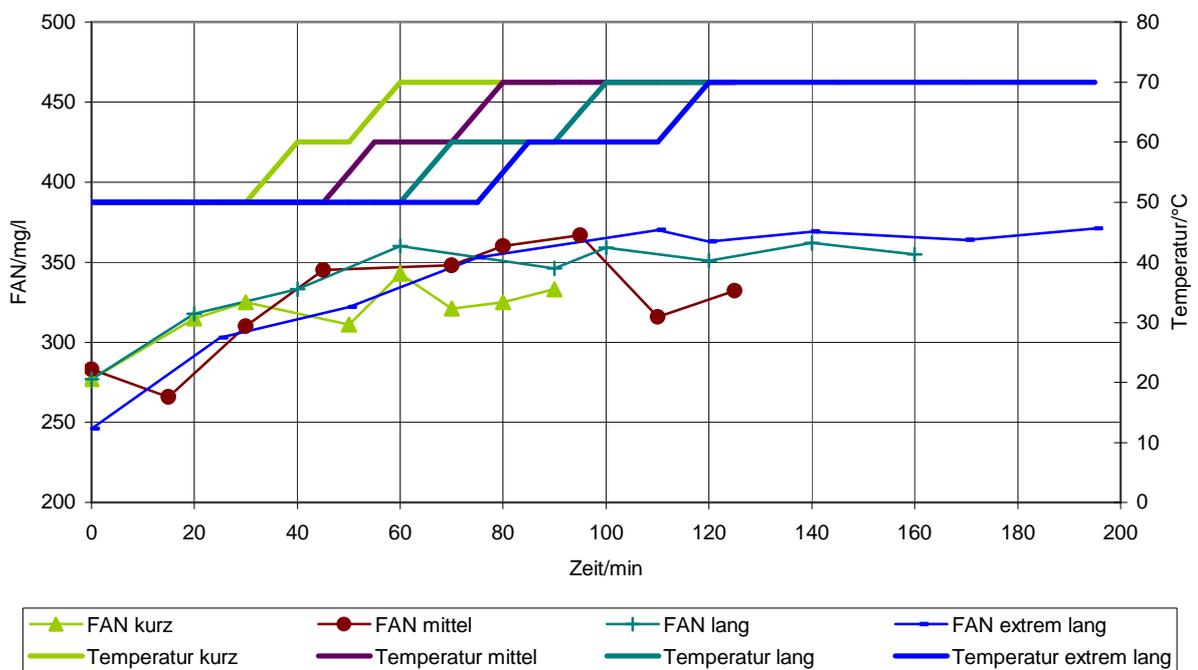


Abbildung 39: Verlauf der FAN-Konzentrationen für variierte Maischverfahren mit Malz aus der Gerstensorte Danuta (vgl.: Tabelle 31 – Anhang)

Auch die in Abbildung 39 dargestellten FAN-Kurven zeigen, dass – unter Berücksichtigung der Schwankungen vor allem bei den Maischverfahren kurzer und mittlerer Dauer – mit dem Verlassen des Temperaturoptimums der proteolytischen Enzyme der FAN-Wert nicht mehr steigt. Der Endgehalt an FAN ist bei dem extrem lang gehaltenen Maischverfahren höher als bei dem kurzen, der Zugewinn an FAN (ca. 370 mg/l zu ca. 320 mg/l) ist aber bei weitem geringer als unter Verwendung eines eiweißseitig besser gelösten Malzes (ca. 290 mg/l zu ca. 160 mg/l, siehe Abbildungen darüber).

Die Reproduzierbarkeit der FAN-Analytik in der endgültigen Versuchsaufstellung zeigen Abbildung 40 und Abbildung 41 für ein Eybenmaischverfahren mit 30 % Spitzmalz und 70 % Pilsener Malz. Hier sind 6 Versuchsreihen mit gleicher Probenahme dargestellt. In Abbildung 40 sind die Ergebnisse der Versuchsreihen aufgetragen. In Abbildung 41 ist der Verlauf des Mittelwertes mit eingezeichneter Stichprobenstandardabweichung dargestellt.

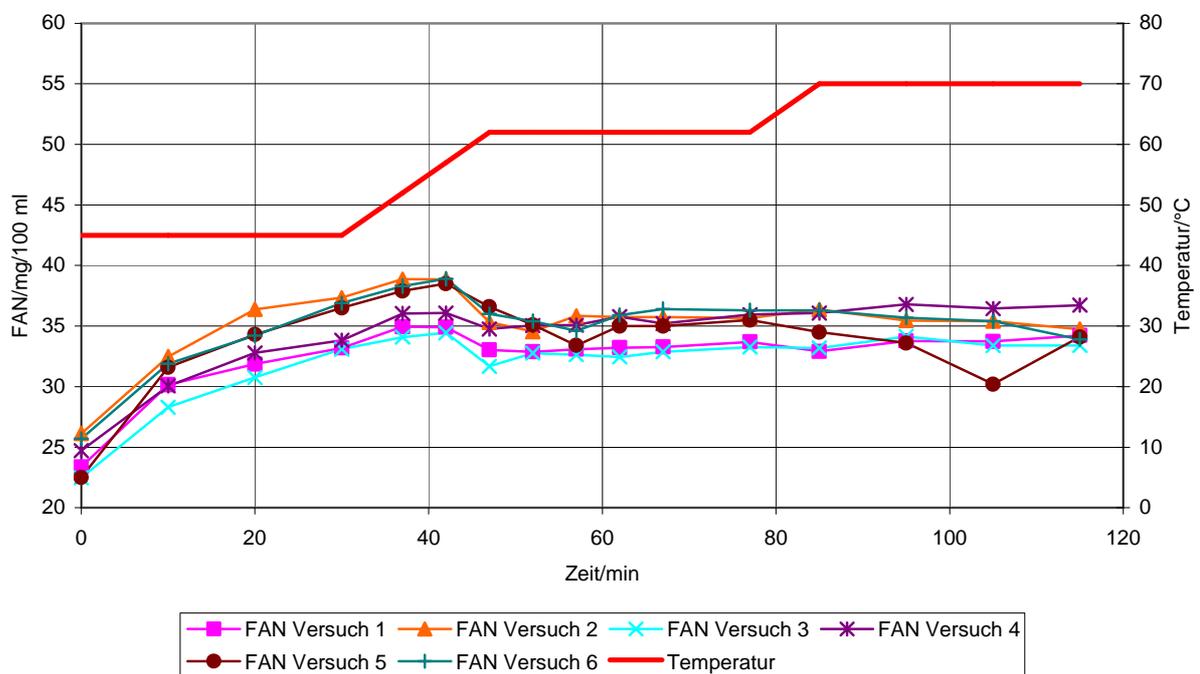


Abbildung 40: Verlauf der FAN-Konzentrationen in 6 Pilotmaischen mit einer Mischung aus 30 % Spitz- und 70 % Pilsener Malz (vgl.: Tabelle 32 – Anhang)

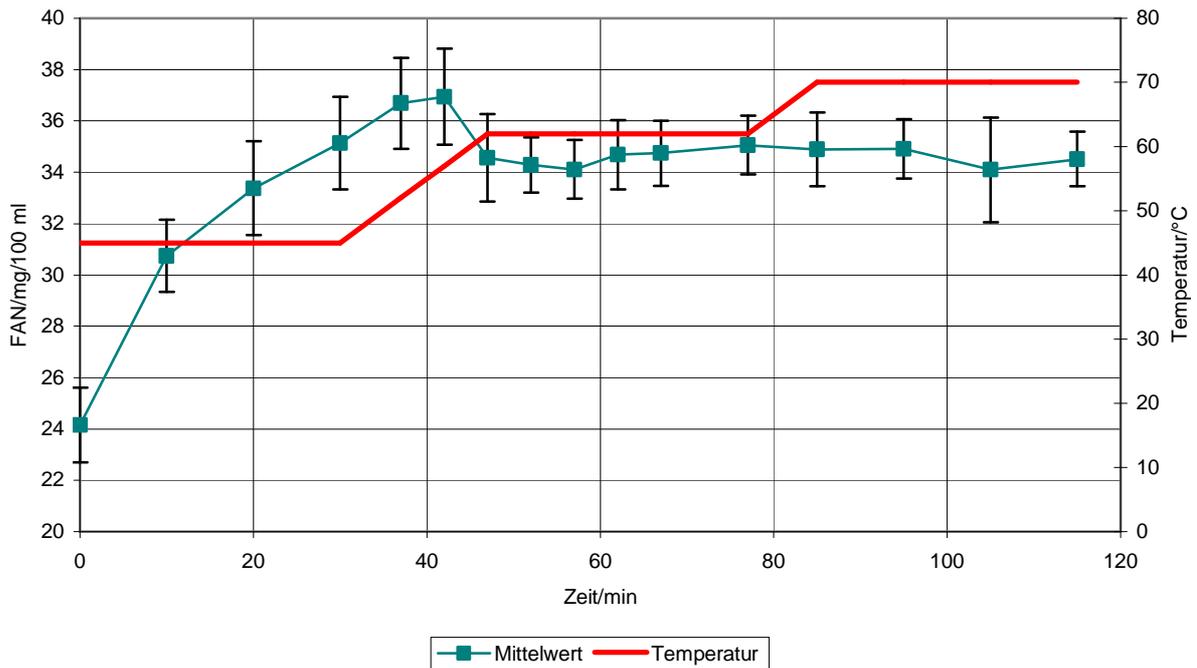


Abbildung 41: Mittelwert (n = 6) der FAN-Gehalte in Pilotmaischen (Eybenverfahren; vgl.: Tabelle 32 – Anhang)

Die Kurvenverläufe sind sowohl in der Charakteristik als auch in den Absolutwerten nur mit geringen Schwankungen behaftet. Alle Kurven haben den stärksten Anstieg zwischen Maischbeginn und zweiter Probenahme. Während der 45 °C-Rast steigt die Konzentration wie auch in den bisherigen Darstellungen an. Nach einem leichten Abfall bei Erreichen der Maltoserast (62 °C) und damit der Stärkeverkleisterung/-verflüssigung (siehe nächster Abschnitt) bleibt der FAN-Gehalt konstant. Die Wirkung der Proteasen ist eingestellt.

4.2.1.3 Verlauf des Extraktes

In Abbildung 42 und Abbildung 43 sind die Kurven des Extraktgehaltes in Pilotmaischen unter Variation der Malzqualität aufgetragen.

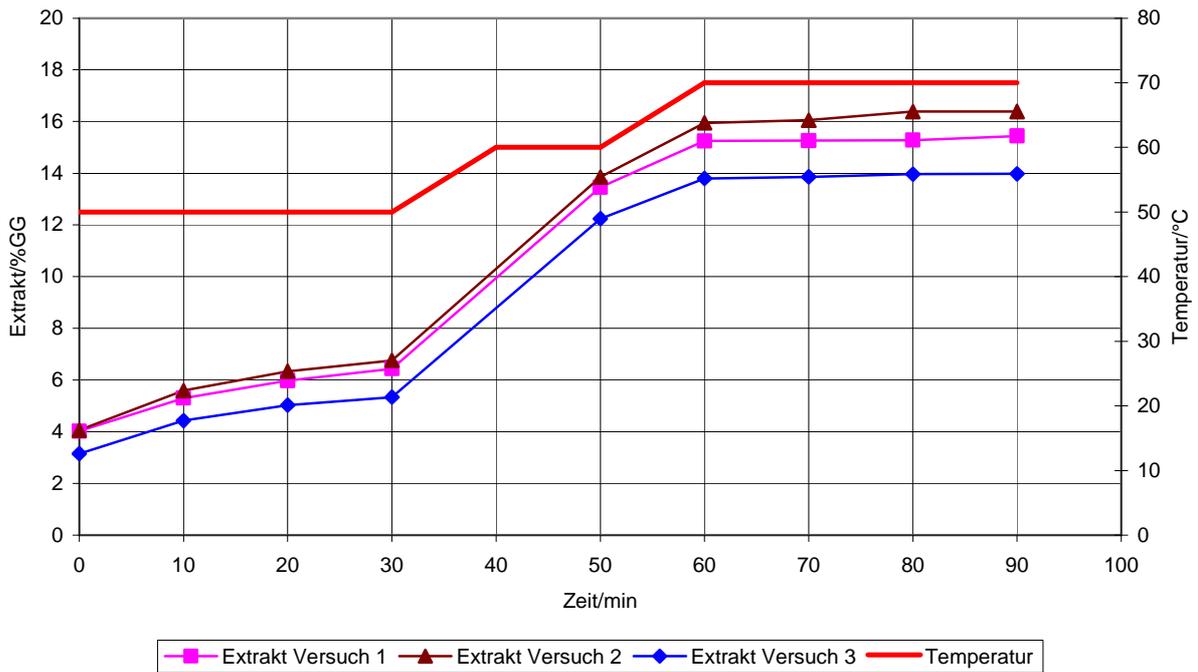


Abbildung 42: Verlauf des Extraktgehaltes für drei Versuche eines kurz gehaltenen Pilotmaisverfahren mit Malz aus der Gerstensorte Neruda (vgl.: Tabelle 34 – Anhang)

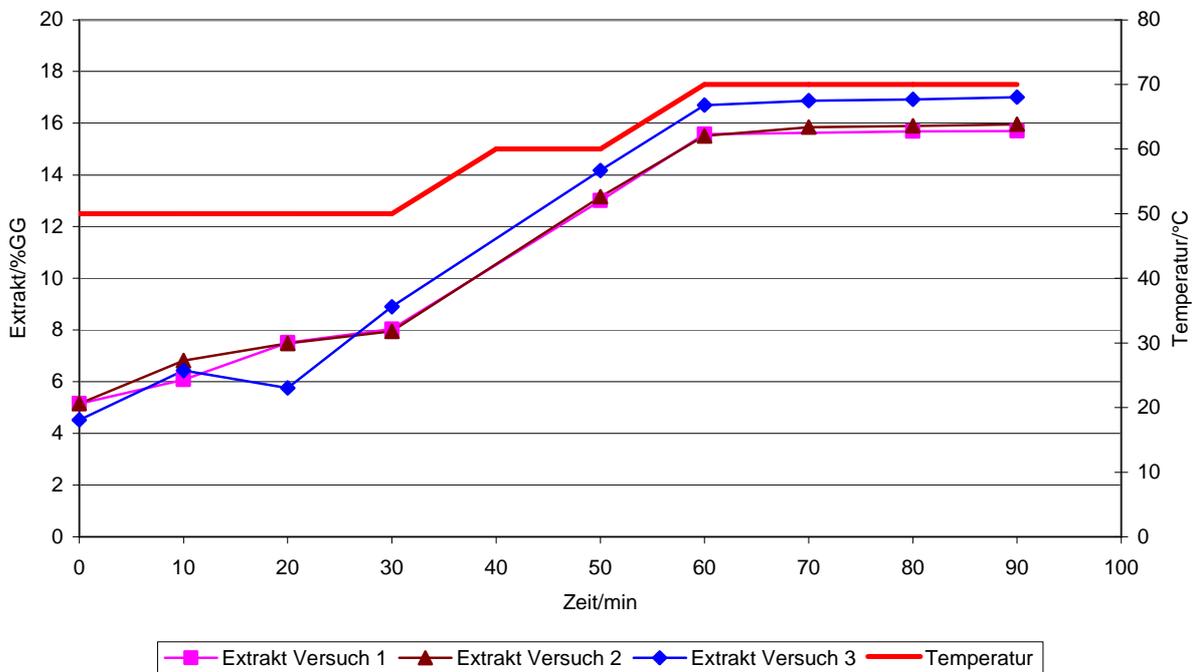


Abbildung 43: Verlauf des Extraktgehaltes für drei Versuche eines kurz gehaltenen Pilotmaisverfahren mit Malz aus der Gerstensorte Danuta (vgl.: Tabelle 33 – Anhang)

Die Kurven zeigen, dass sich während der 50 °C-Rast nur knapp 40 % des Extraktes lösen. Mit dem Aufheizen auf 60 °C erfahren die Extraktverläufe einen starken Anstieg. Eine nochmalige, etwas schwächere Steigerung erfolgt beim Aufheizen auf 70 °C. Dieses rasche In-Lösung-Gehen der extraktbildenden Stärke bei Erreichen von 60 °C liegt in den physikalischen und enzymatischen Vorgängen der Stärkequellung und -verkleisterung (= Einlagern von Wasser in die Makromolekülzwischenräume, physikalisch) und der Verflüssigung (Degradation der Stärkemakromoleküle, enzymatisch). Die Stärkekörner bilden zunächst einen Teil der dispersen Phase der Suspension Maische. Erst durch thermische Einwirkung ist die Einlagerung von Wasser in die Stärke möglich. Diese wiederum ermöglicht den enzymatischen Angriff der Stärke. Die abgespaltenen Zucker und Dextrine lösen sich weitestgehend in der kontinuierlichen Phase. Dies äußert sich im raschen Anstieg des messbaren Extraktgehaltes der Maische.

Ausgehend von den amylolytischen Kennzahlen der Malzanalyse beider Malze, speziell der Extraktwerte (Neruda: Extrakt wfr. 82,6 %; Danuta: Extrakt wfr. 82,3 %) ist in den Endgehalten der Maischen kein Unterschied zu erwarten. Dennoch liegt der Extraktgehalt des Malzes aus der Gerste Danuta im Durchschnitt etwas höher. Der Einfluss einer längeren Maischzeit auf den Extraktgehalt ist der Abbildung 44 zu entnehmen, die wieder die Werte vier variierten Maischverfahren enthält.

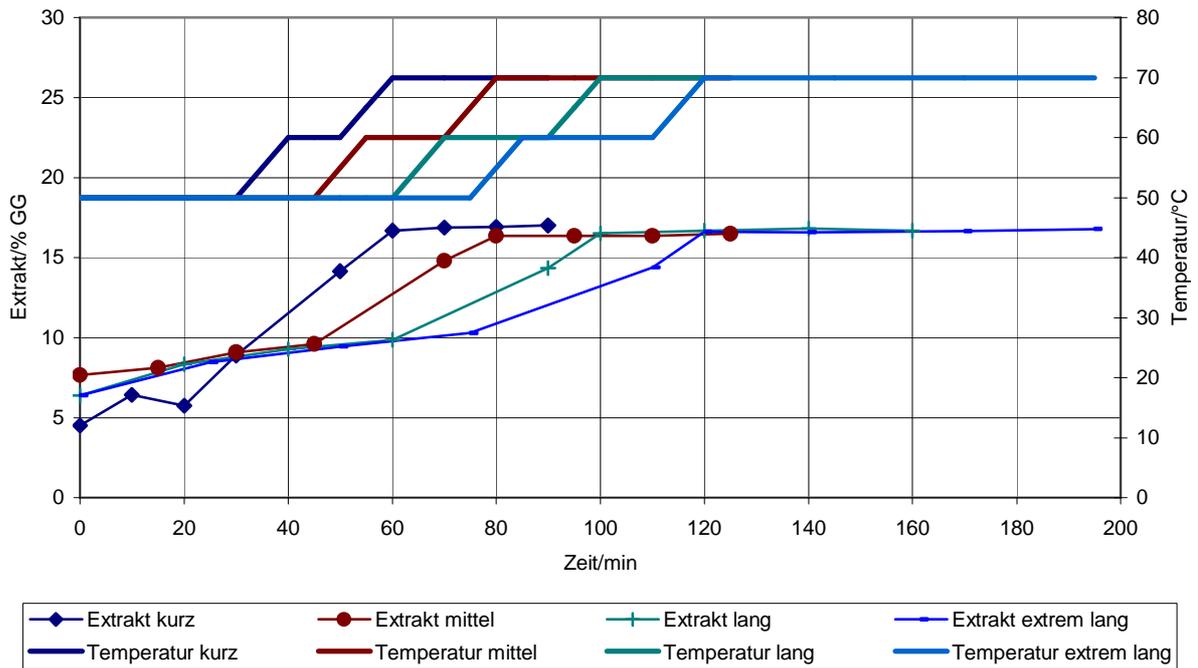


Abbildung 44: Verlauf der Extrakt-Konzentrationen für variierte Pilotmaisverfahren mit Malz aus der Gerstensorte Danuta (vgl.: Tabelle 35 – Anhang)

Abbildung 44 macht deutlich, dass eine Verlängerung des Maischverfahrens nicht zur Extraktgewinnung beiträgt. Bereits das kürzeste Maischverfahren lässt den Amylasen mit 10 min auf 60 °C und 0,5 h bei 70 °C genug Zeit, ihre Wirkung vollständig zu entfalten. Zur Steigerung der Extraktausbeute ist eine Verlängerung der Rasten über diese Zeit hinaus unnötig.

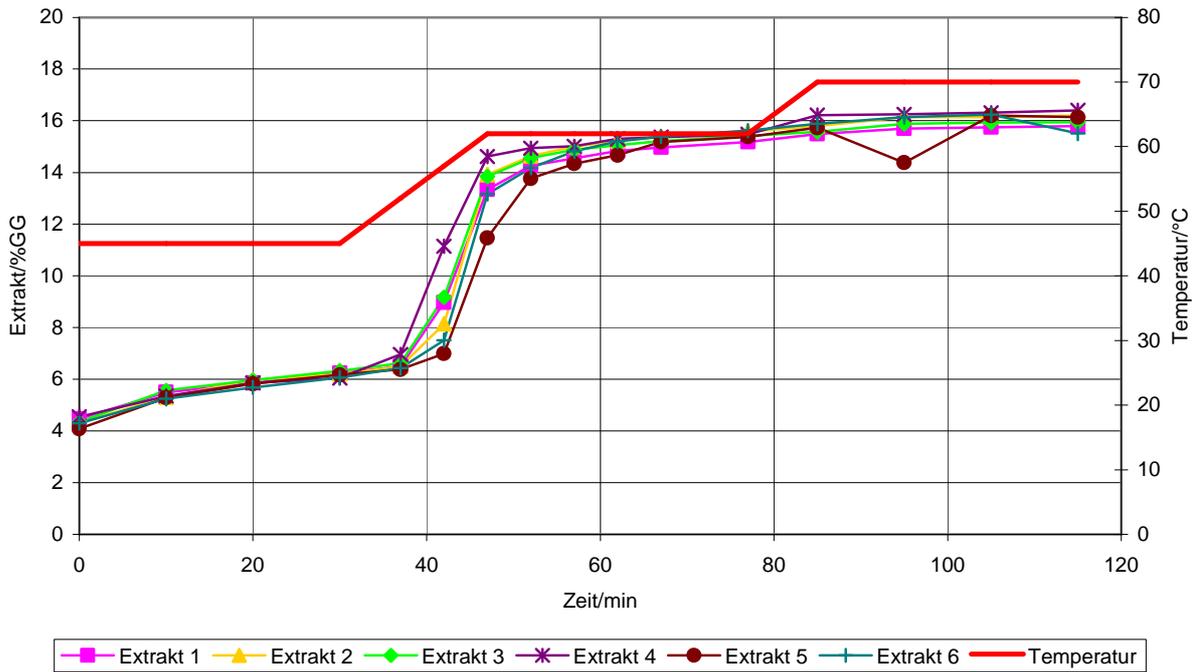


Abbildung 45: Verlauf der Extraktgehalte in Eybenmaischen im Pilotsudwerk (vgl. Tabelle 36 – Anhang)

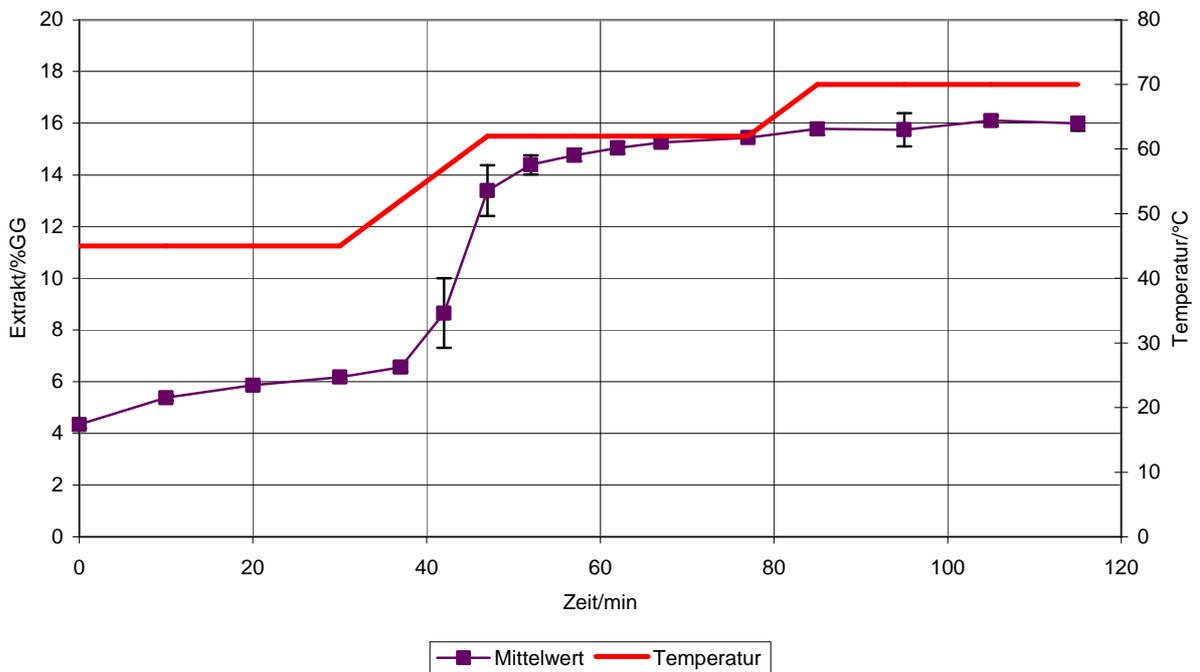


Abbildung 46: Mittelwert (n=6) der Extraktgehalte von Pilotmaischen (Eybenverfahren; vgl. Tabelle 36 – Anhang)

Die oben beschriebenen Reproduzierbarkeitsversuche mit einer Schüttung von 30 % Spitzmalz und 70 % Pilsener Malz nach dem Eybenverfahren sind auch auf Extraktgehalt analysiert worden. Abbildung 45 zeigt den Verlauf der sechs Versuchsreihen. Abbildung 46 zeigt ihren Mittelwert mit eingezeichneter Stichprobenstandardabweichung. Aus den Abbildungen ist zu entnehmen, dass der Extraktgehalt gut reproduzierbar mit geringer Streuung verläuft. Wie schon während der vorhergehenden Versuche steigt er im Laufe der 45 °C-Rast langsam an, um beim Aufheizen auf 62 °C stark und während der 62 °C-Rast immer schwächer anzusteigen. Bei 70 °C ergibt sich in den ersten Minuten der Rast ein leichter Extraktzugewinn. Danach bleibt der Extraktgehalt konstant. Hier bestätigt sich die Beobachtung, dass eine Verlängerung des Maischverfahrens zur weiteren Extraktgewinnung bzw. zur Ausbeutesteigerung nicht genutzt werden kann.

4.2.1.4 Zeitlicher Verlauf der Jodprobe

Die oben (4.1) erarbeiteten Ergebnisse legen das Umrechnen der fotometrischen Jodprobe auf den Extraktgehalt 12 % GG nahe, um bessere Aussagen über die Degradation der Stärke treffen zu können. Im folgenden Abschnitt sind daher alle Werte der fotometrischen Jodprobe auf diesen Extraktgehalt umgerechnet.

Die Umsetzung der Analytik von Labor- auf Pilotmaischen mit zu Grunde gelegtem kurzem Maischverfahren unter Veränderung der Malzqualität ist in Abbildung 47 und Abbildung 48 dargestellt. Aus den amylolytischen Kennzahlen der Malzanalyse (Verzuckerungszeit < 10 min für beide Malze; Neruda: EVG_s : 81,8 %; Danuta EVG_s : 78,3 %) lässt sich bezüglich der α -amylolytischen Aktivität für das Malz „Neruda“ ein leichter Vorteil ableiten. Dennoch verlaufen die Jodprobenkurven des in Abbildung 48 dargestellten Danuta-Malzes im Durchschnitt niedriger als die in Abbildung 47 gezeigten Verläufe des Neruda-Malzes. In beiden Abbildungen fallen die Kurven während des Aufheizens oder der 60 °C-Rast. Die Verkleisterung erniedrigt die Werte der fotometrischen Jodprobe stark. Ähnlich wie die oben beschriebenen (4.2.1.3) Kurven des Extraktes während der 70 °C-Rast nur am Anfang steigen und dann konstant bleiben, fallen hier die Kurven während dieser Rast immer langsamer.

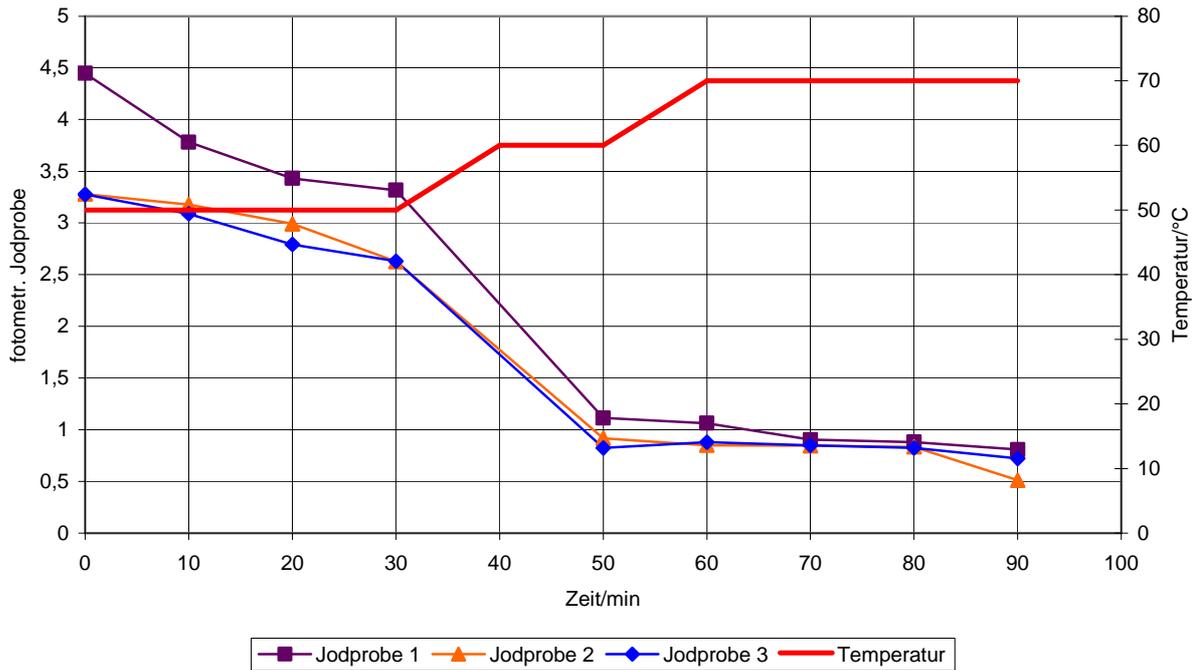


Abbildung 47: Verlauf der fotometrischen Jodprobe (berechnet auf 12 % Extrakt) für 3 Versuche eines kurz gehaltenen Maischverfahren mit Malz „Neruda“ (vgl.: Tabelle 37 – Anhang)

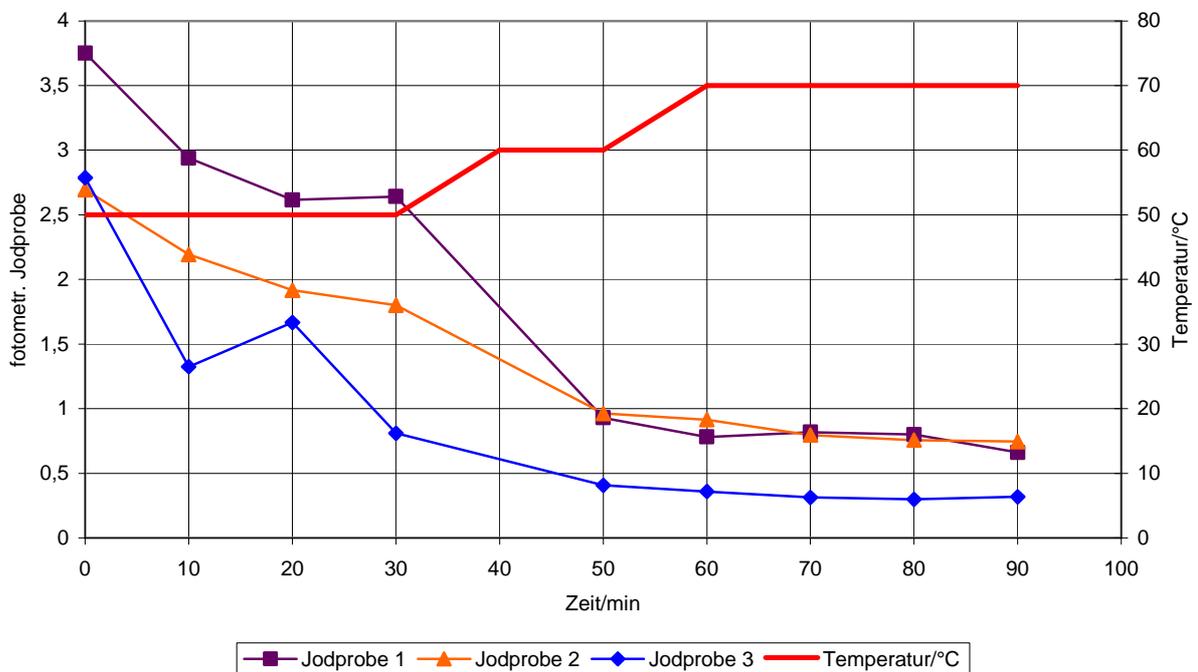


Abbildung 48: Verlauf der fotometrischen Jodprobe (berechnet auf 12 % Extrakt) für 3 Versuche eines kurz gehaltenen Maischverfahren mit Malz „Danuta“ (vgl.: Tabelle 38 – Anhang)

Den für Ausschlagwürzen angegebenen Normwert von 0,3 erreicht, auch auf 12 % Extraktgehalt berechnet, keine dieser Jodprobenkurven. Allerdings findet bis zum Zustand der Ausschlagwürze noch eine Nachverzuckerung im Läuterbottich statt, die den Wert der Jodprobe noch weiter erniedrigt. So wurde eine aus einer dieser Maischen gewonnenen Würze zu Bier weiterverarbeitet. Die fotometrische Jodprobe der Ausschlagwürze wurde dabei gemessen. Der in Maische ermittelte Wert von 0,32, berechnet auf 12 % Extraktgehalt, ist bis zur Ausschlagwürze auf 0,17 bei einem Extraktgehalt von 12,5 % gefallen. Dennoch scheint zu gelten, dass zwar der Absolutwert der Kurvenpunkte nicht zur Bewertung des amylytischen Fortschritts herangezogen werden kann, wohl aber trifft die Charakteristik der Kurve eine Aussage über den Fortschritt des bzw. über noch möglichen amylytischen Abbau bei 70 °C.

Der Einfluss der Dauer der Rasten auf die Analyse der fotometrischen Jodprobe sollte auch festgestellt werden. Hierzu wurden die in der Dauer variierten Maischverfahren ebenfalls mit dieser Analyse verfolgt. Die Ergebnisse sind in Abbildung 49 dargestellt.

Diese bestätigen die in den vorangegangenen Versuchen getroffene Aussage. Mit verlängertem Maischverfahren stellt sich keine Erniedrigung der Absolutwerte der Jodprobe ein. Die Charakteristik der Kurven bleibt jedoch insofern gleich, als alle Kurven während der 60 °C-Rast deutlich fallen und während der 70 °C-Rast nur noch anfänglich sinken. Diese Anfangsphase beträgt bei den drei Verfahren „kurz“, „mittel“ und „lang“ ca. 10-20 min. Das Verfahren „extrem lang“ zeigt danach nochmals einen Abfall. Dieser ist jedoch vermutlich auf einen fehlerhaften, weil zu hohen Wert der Analyse im zweiten Messpunkt nach Beginn der 70 °C-Rast, zurückzuführen.

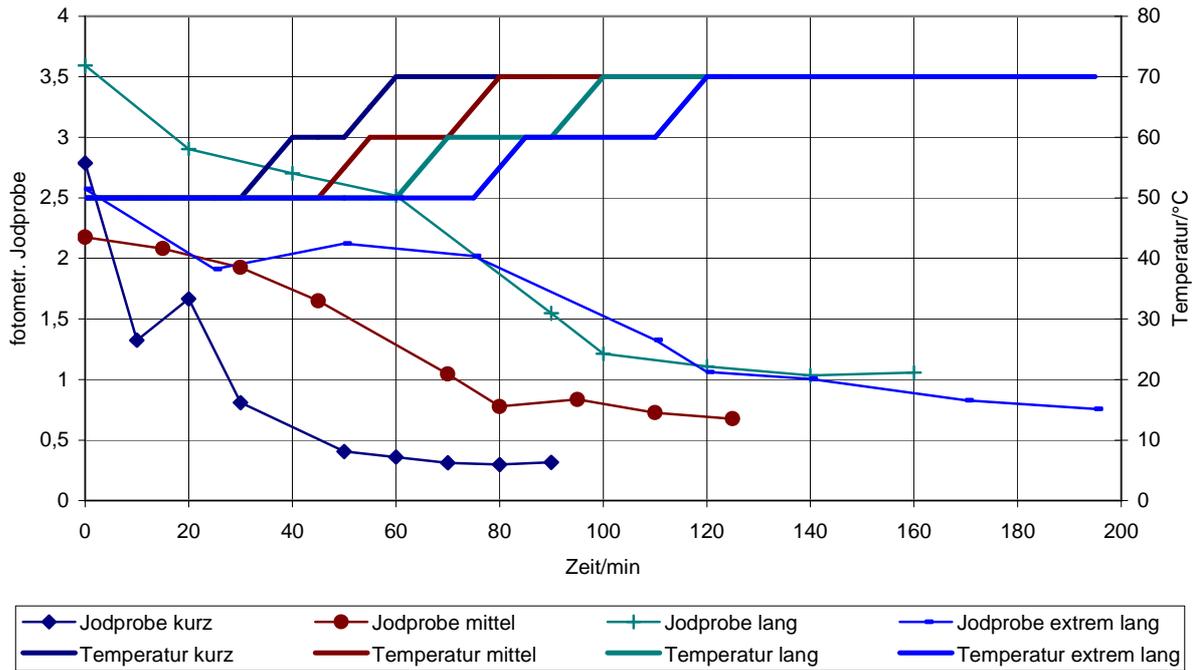


Abbildung 49: Verlauf der fotometrischen Jodprobe berechnet auf 12 % Extraktgehalt für variierte Pilotmaisverfahren mit Malz „Danuta“ (vgl.: Tabelle 39 und Tabelle 40 – Anhang)

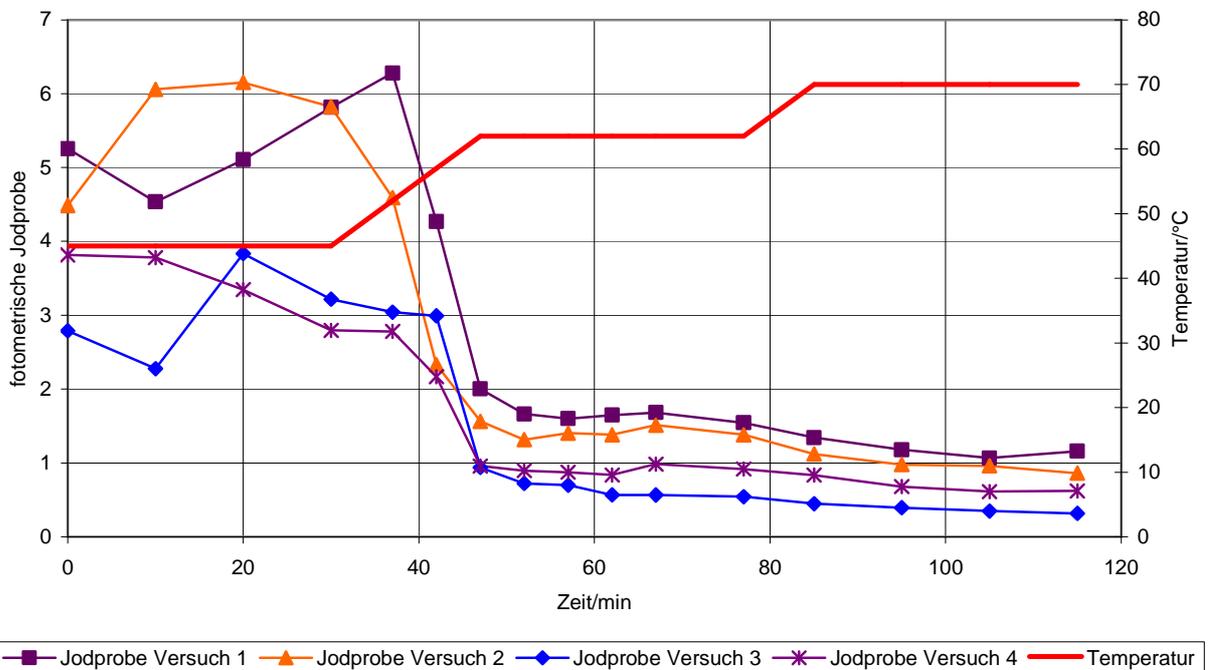


Abbildung 50: Verlauf der fotometrischen Jodprobe berechnet auf 12 % Extrakt in 4 Pilotsudwerkmaischen nach dem Eybenmaisverfahren (vgl.: Tabelle 41 und Tabelle 42 – Anhang)

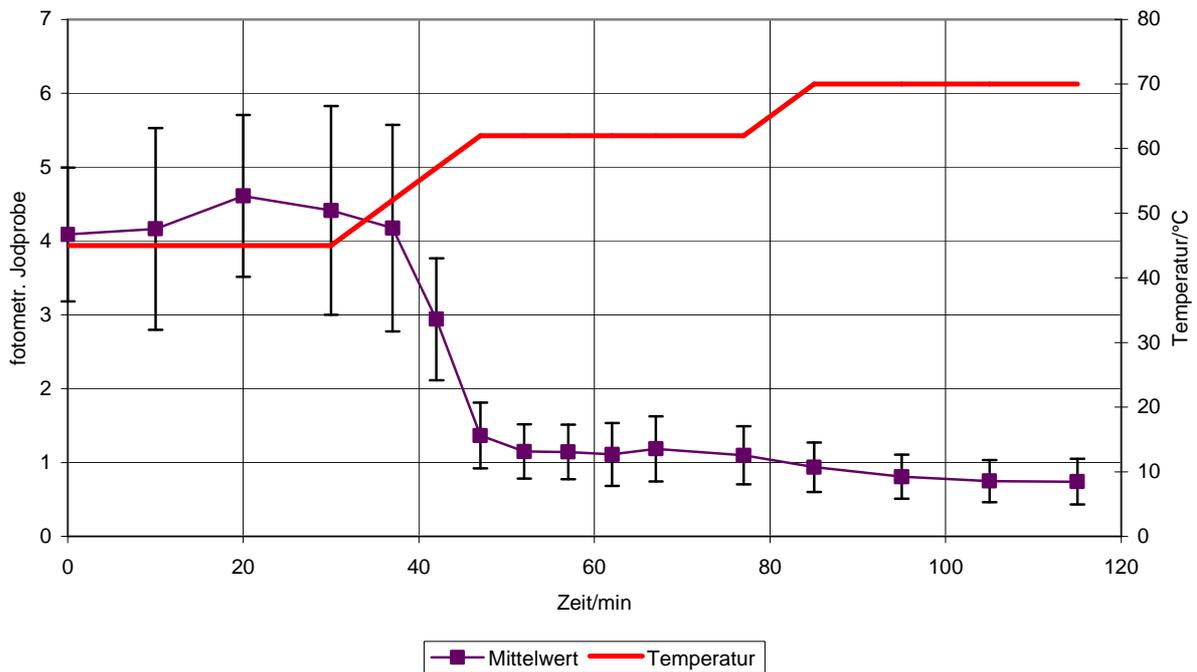


Abbildung 51: Mittelwert ($n = 4$) der Werte der fotometrischen Jodprobe in Pilotmaischen (Eybenmaischverfahren; vgl.: Tabelle 41 – Anhang)

Die Ergebnisse der Versuche zur Reproduzierbarkeit mit der 70:30-Pilsener-Spitzmalzmischung unter zugrundelegen des Eybenmaischverfahren sind in Abbildung 50 und Abbildung 51 dargestellt. Die Versuchsreihen sind wieder einzeln (siehe Abbildung 50) und als Mittelwertverlauf mit eingezeichneter Stichprobenstandardabweichung (siehe Abbildung 51) dargestellt. Es zeigen sich sehr starke Schwankungen der Werte unterhalb der Stärkeverkleisterung und -verflüssigung während der 45 °C-Rast. Mit dem Aufheizen auf 62 °C fallen die Werte wiederum stark ab, und die Schwankungen werden geringer. Auch hier zeigt sich während der 70 °C-Rast, dass die Kurven immer flacher abfallen. Enzymatische Degradation von hochmolekularen Stärkemolekülen findet offensichtlich nach mehr als 10 min nicht mehr in hohem Maße statt.

4.2.2 Korrelation der physikalischen Messungen mit nasschemischen Analysen

4.2.2.1 FAN und Leitfähigkeit

Bei Betrachtung der Verläufe der auf 20 °C berechneten Leitfähigkeit über 5 gleich gehaltenen Maischverfahren, wie sie in Abbildung 52 zusammen mit dem Verlauf des FAN dargestellt ist, fällt eine starke Gleichheit der Kurvencharakteristik auf. Noch deutlicher macht dies ein Vergleich der Mittelwerte beider Größen, wie er in Abbildung 53 zu finden ist. Vor allem trifft dies auf den Verlauf der Kurven bis zum Eintreten der Stärkeverkleisterung und -verflüssigung zu (eingezeichnet in Abbildung 53). Dies legt nahe, dass beide Werte miteinander korrelieren könnten und somit die Analyse des FAN durch die Messung der Leitfähigkeit substituiert werden könnte. Zur Überprüfung dieser Vermutung sind in Abbildung 54 und Abbildung 55 die FAN-Gehalte gegen die gemessene Leitfähigkeit und das Bestimmtheitsmaß der linearen Regression aufgetragen. Dies geschah einmal mit allen Werten und andererseits nur mit den Werten vor der Stärkeverkleisterung.

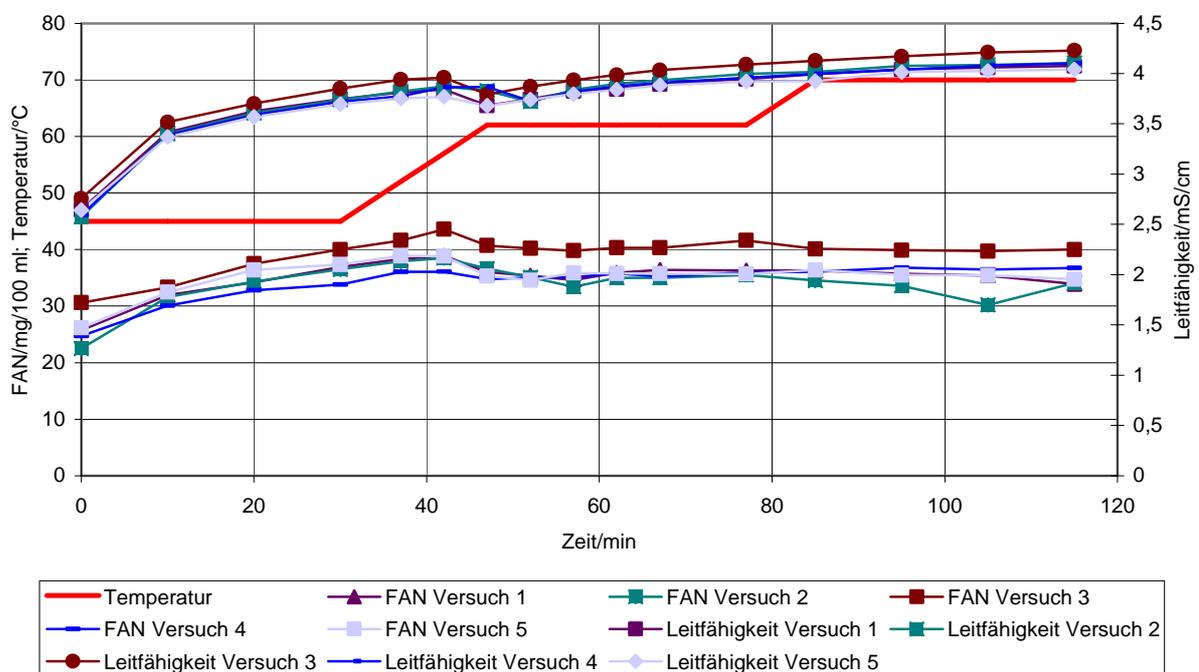


Abbildung 52: Verläufe der auf 20 °C berechneten Leitfähigkeit und des FAN über 5 Maischversuche (Eybenverfahren; vgl.: Tabelle 43 – Anhang)

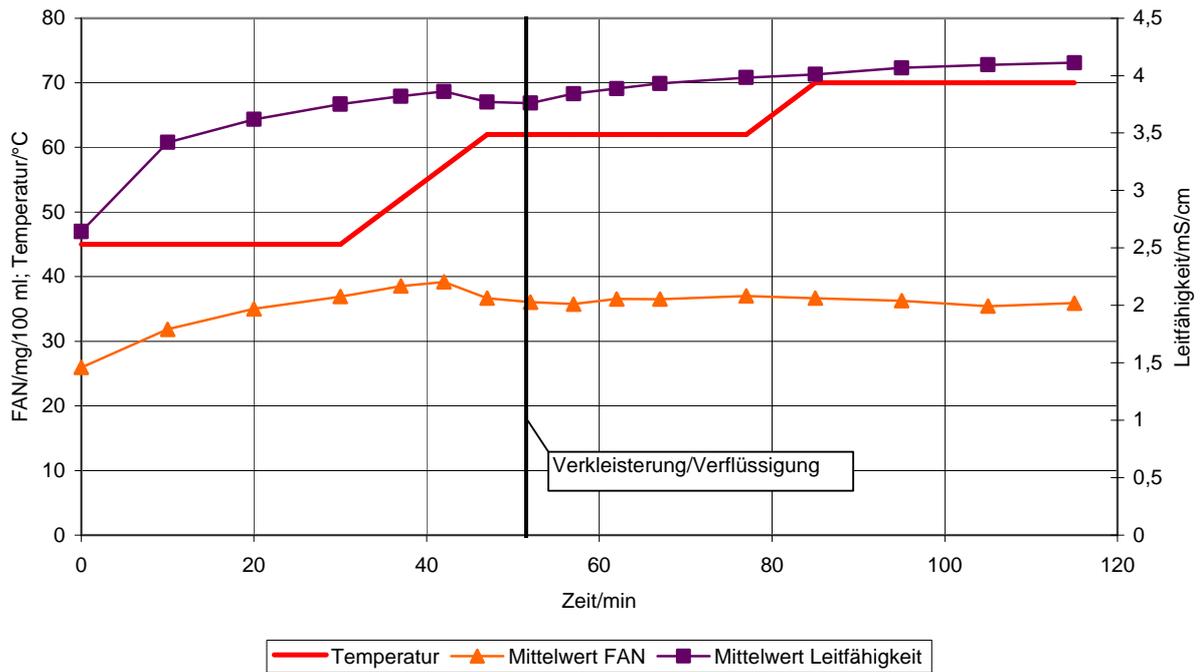


Abbildung 53: Verläufe der Mittelwerte (n = 5) von FAN und auf 20 °C berechneter Leitfähigkeit (vgl.: Tabelle 44 – Anhang)

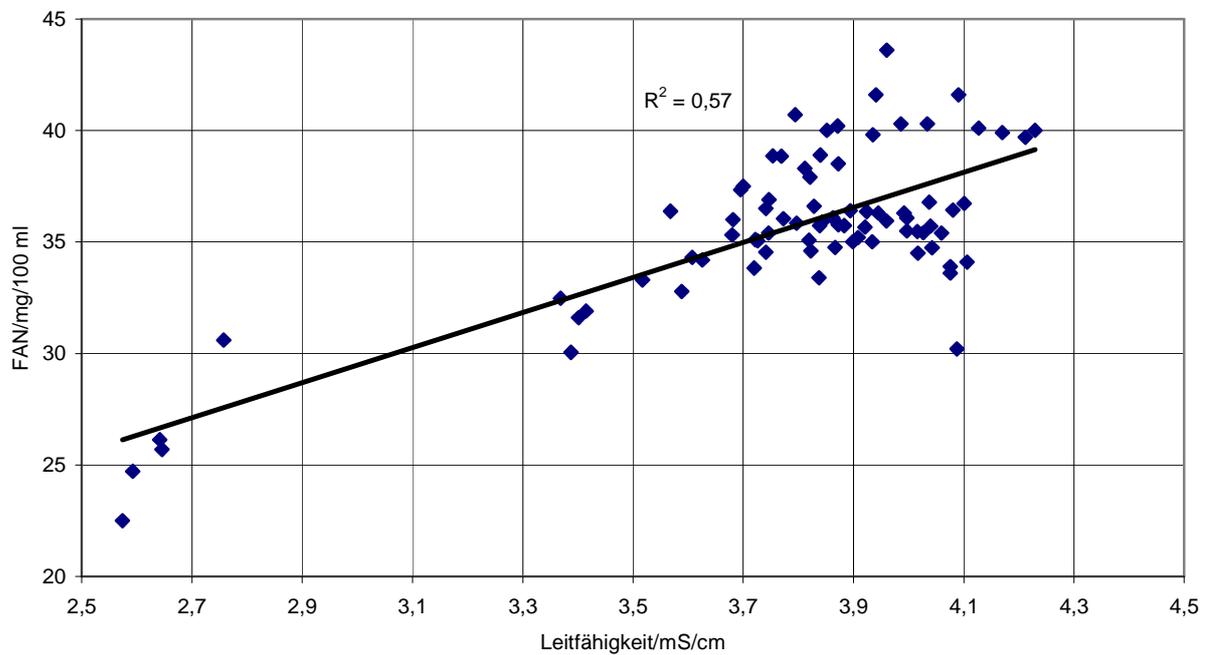


Abbildung 54: Wertepaare des FAN und der auf 20 °C berechneten Leitfähigkeit über 5 gleich gehaltene Maischversuche (vgl.: Tabelle 43 – Anhang)

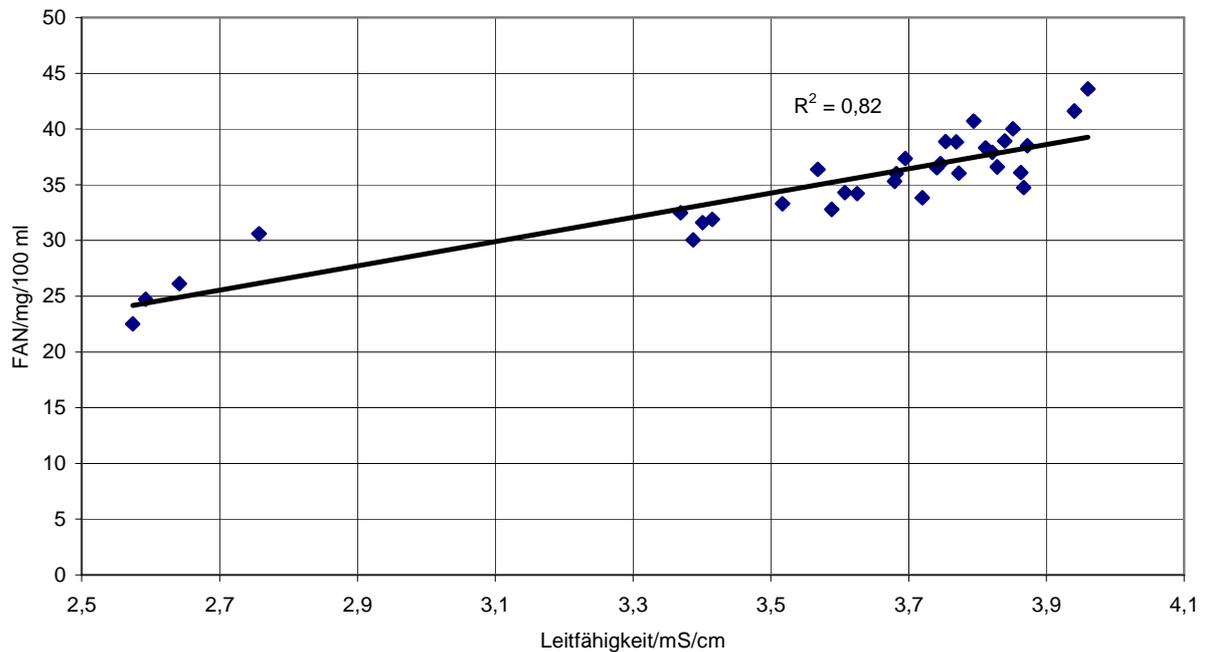


Abbildung 55: Wertepaare des FAN und der auf 20 °C berechneten Leitfähigkeit über 5 gleiche Maischversuche nur unterhalb der Stärkeverkleisterung (vgl.: Tabelle 43 – Anhang)

Wie die Gegenüberstellung der Kurvenverläufe des FAN und der Leitfähigkeit schon vermuten ließen, korrelieren beide Messwertreihen unterhalb der Verkleisterungstemperatur mit einem Bestimmtheitsmaß $R^2 = 0,82$ besser als über den gesamten Maischprozess mit $R^2 = 0,57$. Proteolytisch relevant ist allerdings nur die Prozesswirkung unterhalb der Verkleisterung. Hier liegt günstigerweise der Zusammenhang mit der besseren Korrelation. Dies schafft die Grundlage dafür, die Proteolyse beim Maischen zu regeln. Zur Erreichung eines gewünschten FAN-Gehaltes muss ein bestimmter Leitfähigkeitswert erreicht werden. In dem hier beschriebenen Fall liegt beispielsweise kein FAN-Wert unterhalb von 30 mg/100 ml, wenn die auf 20 °C berechnete Leitfähigkeit der Maische über 3,3 mS/cm beträgt.

4.2.2.2 Viskosität und Phasen der Amylyse

Die Viskosität der Maische wird von allen Makromolekülen beeinflusst, die Wasser binden. Stärkemoleküle bilden in Maische den größten gelösten Mengenanteil. Das Maximum des Verlaufes der Viskosität über einen Maischvorgang ist bei der Stärkeverkleisterung zu erwarten. Während des Verflüssigungsvorganges sollte die Viskosität wieder abfallen. Herrmann¹⁶² beschreibt den „Verkleisterungspeak“ für Viskosität in Maische. Die erhaltenen Ergebnisse bestätigen dies, wie Abbildung 56 zeigt.

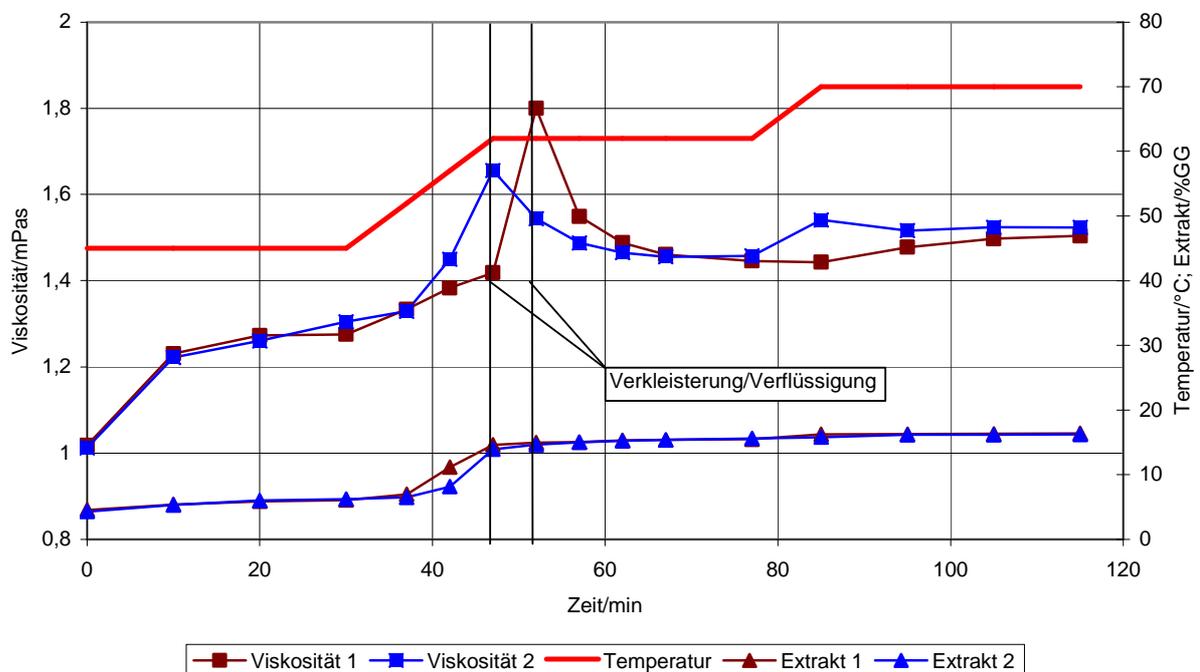


Abbildung 56: Verlauf der auf 20 °C berechneten Viskosität und des Extraktes in 2 Maischversuchen

Die temperaturkorrigierte Viskosität steigt während der 45 °C-Rast langsam an, so wie es der Zuwachs an gelösten hochmolekularen Stoffen erwarten lässt. Beim Aufheizen auf 62 °C steigt die Viskosität steil an, um bei bzw. kurz nach Erreichen dieser Temperatur wieder steil abzufallen. Danach verhält sich die Viskosität konstant, bis mit Aufheizen auf 70 °C nochmals Extrakt gelöst wird, der wiederum die

¹⁶² Vgl.: Herrmann, Jan: Entwicklung von Messmethoden zur Untersuchung der rheologischen Eigenschaften der Maische. Dissertation. TU München 2002. S. 59.

Viskosität noch etwas erhöht. Einen weiteren Beleg für einen raschen Konzentrationsanstieg und sofort folgenden Abbau hochmolekularer α -Glucane zeigt Abbildung 57. Darin ist der Verlauf der per Fließinjektion in der Maische gemessenen online-Jodprobe eingezeichnet. Diese soll in einem weiteren Forschungsvorhaben in die Messstrecke integriert werden.

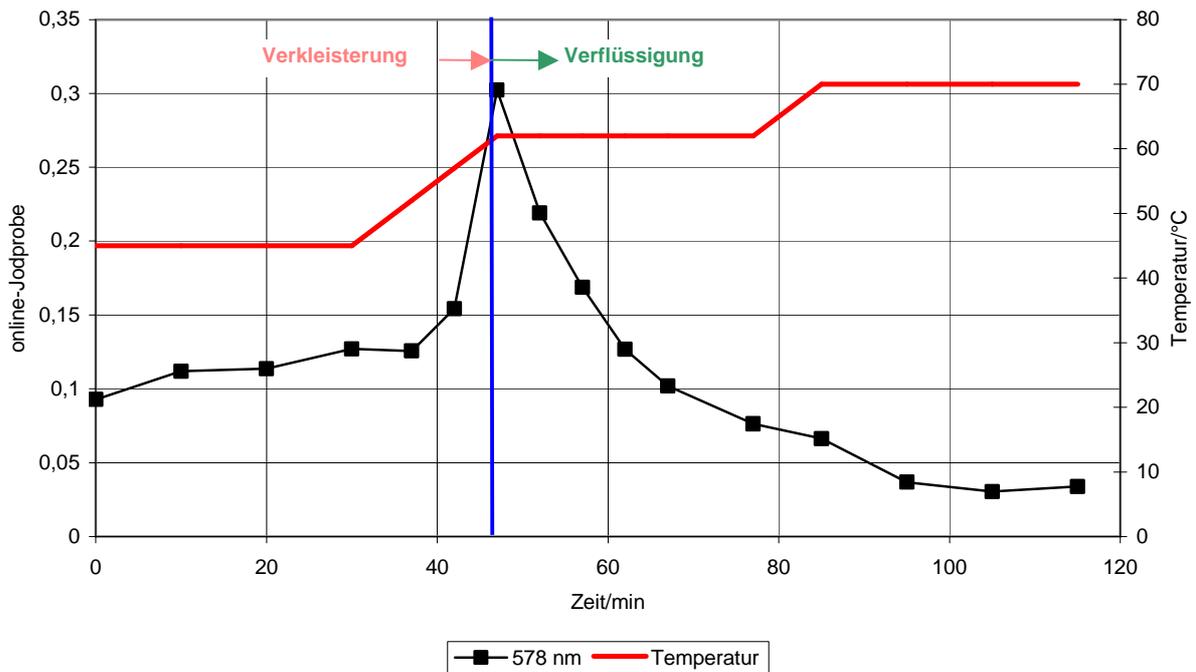


Abbildung 57: Beispiel für den Verlauf der online-Jodprobe während eines Maischversuches¹⁶³ (vgl.: Tabelle 45 – Anhang)

Wie Abbildung 57 zeigt, steigt auch die online-Jodprobe, die – wie die Jodprobe nach MEBAK – ebenfalls fotometrisch bei 578 nm gemessen wird, mit der Stärkeverkleisterung an und fällt mit der Verflüssigung schnell wieder ab.

¹⁶³ Vgl.: Fischer, Gunther: Dissertation. TU München, in Vorbereitung.

4.2.2.3 Dichte, Schallgeschwindigkeit und der Extraktgehalt

Der Vergleich des Verlaufes der in der Maische gemessenen Dichte, berechnet auf 20 °C, und des im Labor gemessenen Extraktes ist in Abbildung 58 dargestellt. Er zeigt, dass die Kurven zunächst unterschiedlich verlaufen. Ab der Stärkeverkleisterung jedoch zeigen die Kurven starke Ähnlichkeit im Verlauf. Dies war zu erwarten, da beides eine Dichtebestimmung mittels Biegeschwinger ist. Der Unterschied besteht in der Filtration der Laborprobe. Hierdurch lässt sich auch der unterschiedliche Kurvenverlauf vor der Verkleisterung erklären: Die Stärkekörner, die sich bereits in der Suspension als disperse Phase befinden, beeinflussen die Messung des online-Gerätes in der Messstrecke. Bei der Aufbereitung durch Filter für die Labormessung werden sie aus der Matrix herausgenommen, da sie nicht im Wasser gelöst sind. Während der Verkleisterung jedoch lösen sie sich im Wasser und beeinflussen dann als Teil der kontinuierlichen Phase der Suspension das Messergebnis im Labor.

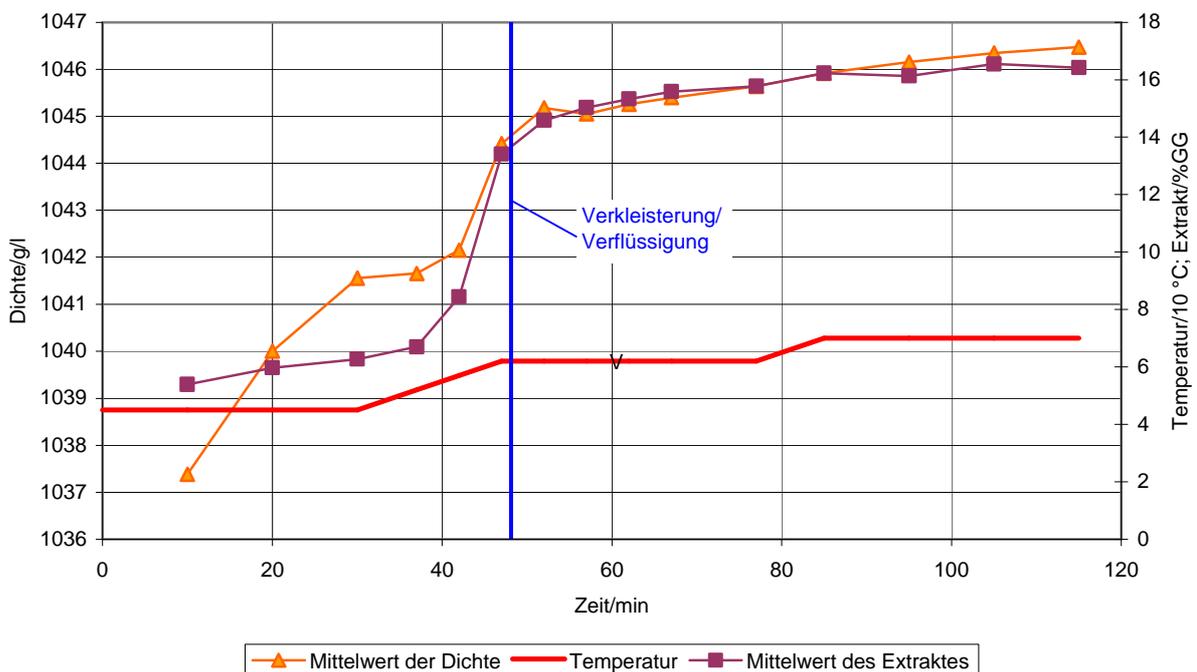


Abbildung 58: Verlauf der Mittelwerte (n = 5) der Dichte der Maische (berechnet auf 20 °C) und des Extraktes (Labor) bei gleich gehaltenen Maischverfahren (vgl.: Tabelle 46 und Tabelle 47 –Anhang)

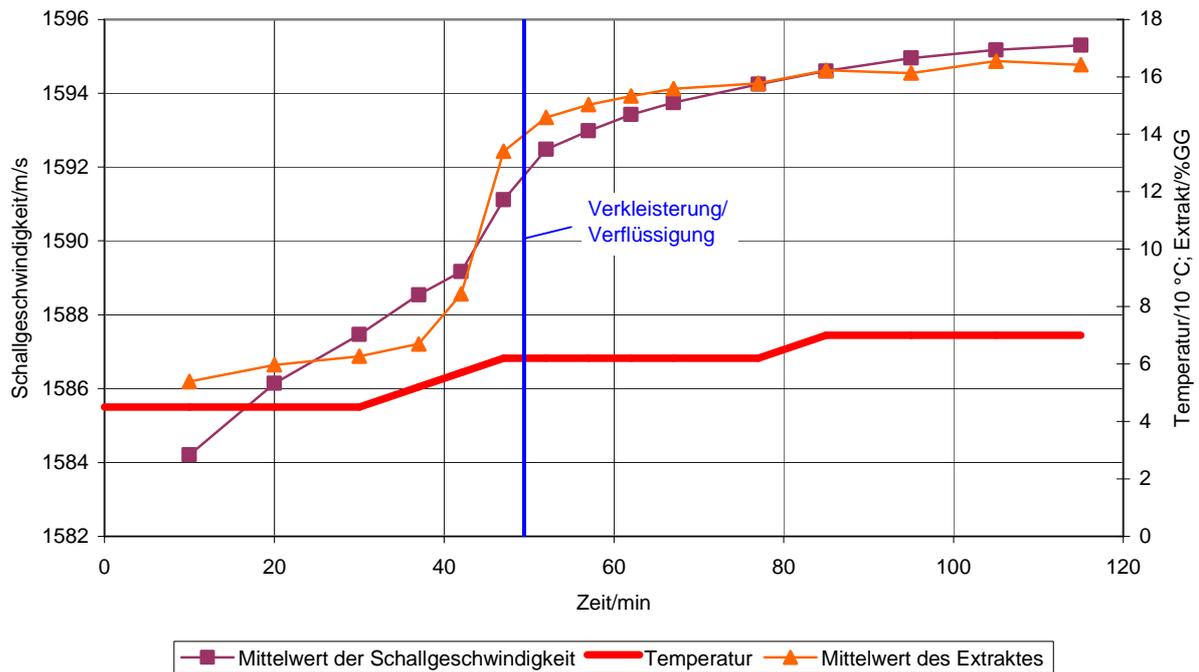


Abbildung 59: Verlauf der Mittelwerte ($n = 5$) der Schallgeschwindigkeit der Maische (berechnet auf 20 °C) und des Extraktes (Labor) bei gleich gehaltenen Maischverfahren (vgl.: Tabelle 46 und Tabelle 48 – Anhang)

Aus Abbildung 59, die den Verlauf der Mittelwerte der auf 20 °C berechneten Schallgeschwindigkeit in der Maische im Vergleich zum Verlauf des Mittelwertes des Extraktes darstellt, ist zu sehen, dass sich hier ähnliche Verhältnisse zeigen wie bei Dichte und Extrakt. Die Charakteristik der Verläufe nähert sich während der Verkleisterung stark. Ab der Verflüssigung verlaufen die Kurven nahezu kongruent.

Die Entwicklung des Extraktes ist durch die online gemessene Dichte und die Schallgeschwindigkeit im relevanten Bereich (vor allem bei 70 °C) verfolgbar.

4.2.3 Betrachtung der Molekülgrößenverteilungen

4.2.3.1 β -Glucan

Die zu erarbeitende Methode zur Molekülgrößenverteilung von β -Glucan sollte unkompliziert zu handhaben und schnell durchzuführen sein. Wie bereits in 3.8.1.1 beschrieben, haben schon mehrere Autoren β -Glucan über Gelpermeationschromatografie in Größenfraktionen getrennt. Die Detektion der Moleküle geschah zumeist jedoch nicht inline, sondern nach einer Aufbereitung enzymatisch oder fluoreszenzphotometrisch. Zielsetzung der hier beschriebenen Versuche war, die Detektion mittels Calcofluor-Fluorensenzfärbung der β -Glucane inline nach der gelchromatografischen Auftrennung in den apparativen Aufbau zu integrieren.

Zunächst wurde versucht, die von Wackerbauer¹⁶⁴ vorgeschlagene Methode nachzuvollziehen und zu verfeinern. Dies scheiterte jedoch an der großen Verdünnung, die eine Fällung mit Alkohol und anschließende Lösung in Glycin-Puffer mit sich bringt. Nach der Trennung durch die Säule waren keine eindeutigen Peaks mehr zu detektieren.

Danach wurde in Anlehnung an das FIA-Verfahren, wie in der Analysensammlung der MEBAK beschrieben, ein Tris-Puffer mit Calcofluor als Eluent für die Auftrennung benutzt. Dies stellte sich jedoch als problematisch heraus, da das Calcofluor offensichtlich Wechselwirkungen mit dem Säulenmaterial oder eingelagerten Rückständen einging. Nach 3 Läufen schimmerte die Säule fluoreszierend-gelblich, und ein gestörtes Signal wurde vom Detektor abgegeben.

Schließlich wurde eine Nachsäulenderivatisierung durchgeführt: Als Eluent durch die Gelsäule wurde reiner Tris-Puffer benutzt. Nach der Säule wurde über ein T-Stück Calcofluor-Lösung im entsprechenden Verhältnis dazugepumpt. Die Färbung der β -Glucane war so gut möglich.

¹⁶⁴ Wackerbauer, Karl und Heinz-Michael Anger: Zur Differenzierung von β -Glucanen in Malz und Würze. In: Monatsschrift für Brauwissenschaft. Heft 4. Nürnberg 1988. S. 156 ff.

Abbildung 60 zeigt ein mit über die Gelsäule getrennter Maische erzeugtes Chromatogramm. Die geringen regelmäßigen Störungen entsprechen dem Umschaltrhythmus der Nachderivatisierungspumpe.

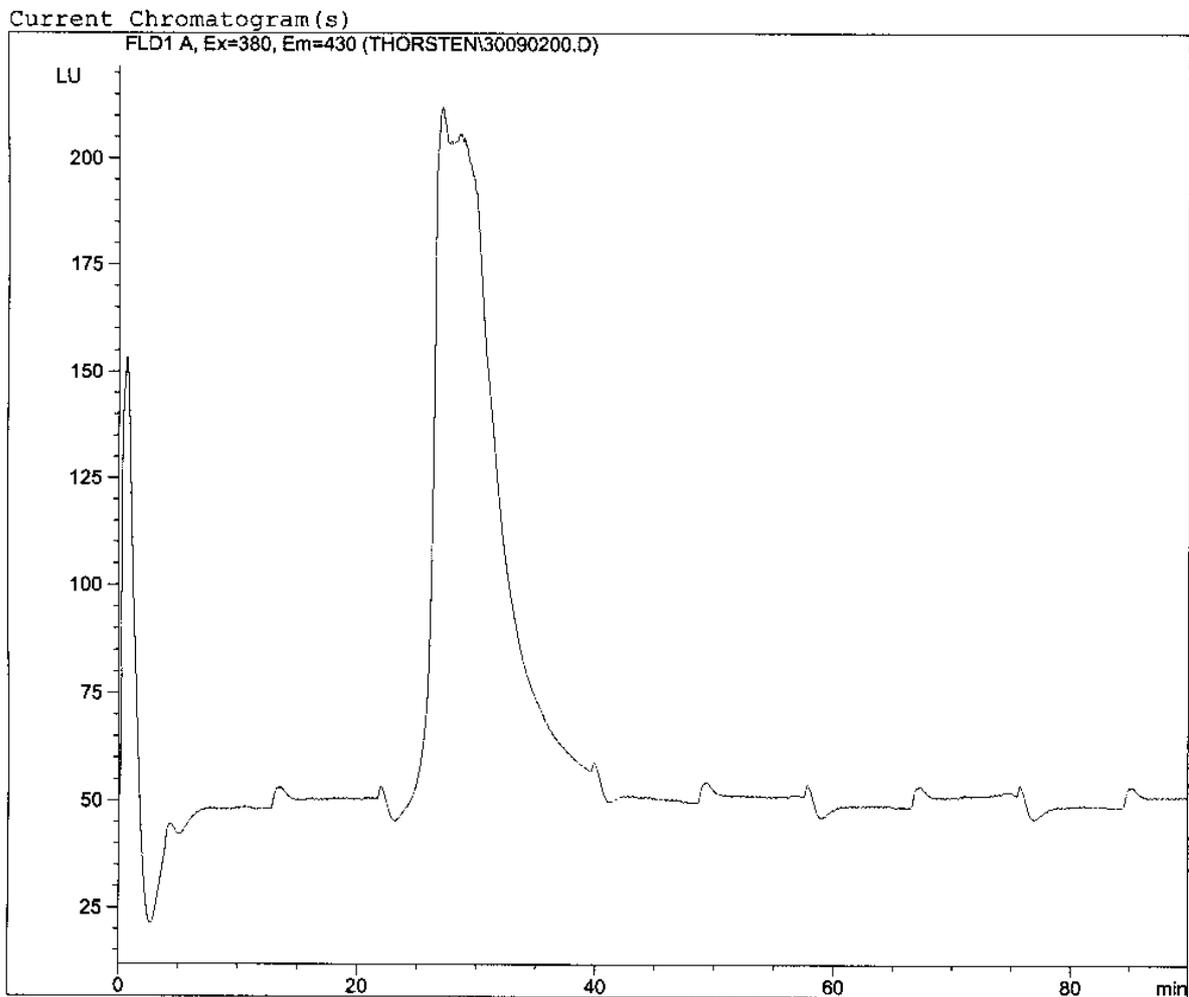


Abbildung 60: Chromatogramm einer Maischeprobe zur Detektion von β -Glucan

Dem Chromatogramm ist nur ein schmaler Peak zu entnehmen. Das gleiche Bild zeigt sich in Abbildung 61. Hier wurde die Säule mit einem Molekülgrößenkit beschickt, welches von 40 kDa bis knapp 360 kDa reichte. Es entsteht als Chromatogramm ein sehr breiter Peak. Daraus ist zu folgern, dass die Säule die nötigen Molekülgrößen nicht trennen kann. Für zukünftige Bestimmungen zur Verteilung der β -Glucan-Größenfraktionen müsste also eine Säule verwendet werden, die die entsprechenden Größenbereiche besser trennt.

Dann allerdings wäre ein Verfahren gefunden, welches relativ schnell und einfach zu handhaben wäre.

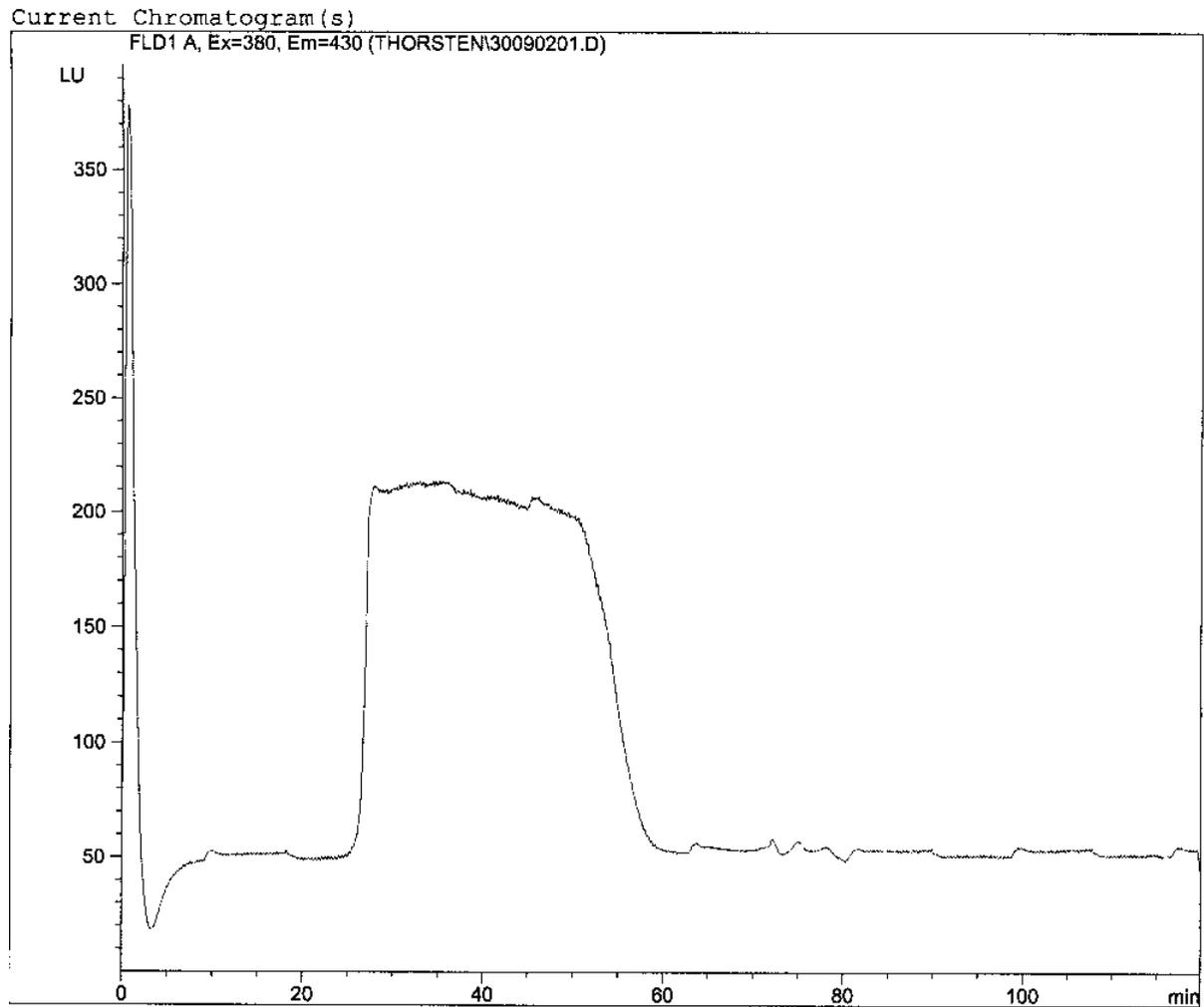


Abbildung 61: Chromatogramm des β -Glucan-Molekülgrößenkits

4.2.3.2 Eiweiß

Es gibt verschiedene Methoden, um Eiweiß nach einer Auftrennung zu detektieren. Zur einfachen Verfolgung sollte hier eine Methode gefunden werden, die wenig aufwändig und möglichst weitgehend automatisiert gehandhabt werden kann. Aus diesem Grunde sollte die Eiweißdetektion mittels FLD stattfinden. Hierzu wurden zunächst Eiweißlösungen ohne vorherige Auftrennung durch den Detektor geleitet und mit Anregungswellenlängenscans und Emissionswellenlängenscans untersucht. Nachdem die Wellenlängen mit der stärksten Empfindlichkeit gefunden waren (Anregung: 225 nm; Emission: 340 nm), wurden würzeähnliche Lösungen von α - und β -Glucanen hergestellt und ebenfalls durch den Detektor geleitet. Sie ergaben kein Signal. Die eiweißspezifische Eigenschaft dieser Detektion wurde nochmals mit einer würzeähnlichen Glucanlösung unter Beimischung der gleichen Eiweißkonzentration wie bei den Versuchen zur Findung des Wellenlängenoptimums überprüft. Es ergab sich ein gleiches Chromatogramm wie bei eben diesen Versuchen.

Weiterhin wurde die Gelsäule (siehe 3.8.2.2) auf ihre Trenneigenschaften untersucht bzw. eine Kalibrierkurve zur Molekülgrößentrennung dieser Säule mit einem Molekülgrößenstandard erstellt. Das Ergebnis ist der Abbildung 62 zu entnehmen. Für das Bestimmtheitsmaß R^2 der Regression errechnet WinSTAT für Excel den Wert 0,99.

Die Proben einer Eybenmaische unter Verwendung von 100 % Spitzmalz kamen zur Überprüfung auf Eiweißmolekülgrößenverteilung. Das Probenahmeschema war das gleiche wie bei den bisher diskutierten Eybenmaisichen. Abbildung 63 zeigt dieses Schema mit durchnummerierten Probenahmepunkten, auf die sich die in den darauf folgenden Abbildungen dargestellten Chromatogramme beziehen.

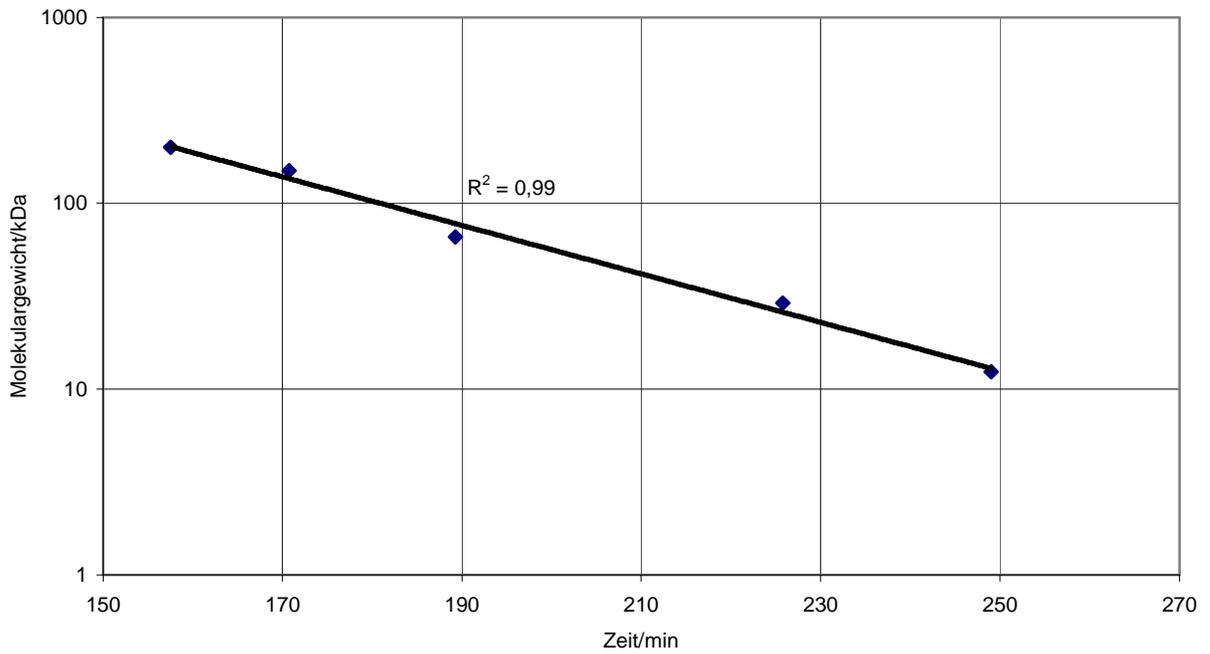


Abbildung 62: Eichkurve der Molekülgrößentrennung der Säule HiLoad 26/60 Superdex 200 prep grade zur Eiweißtrennung (vgl.: Tabelle 49 – Anhang)

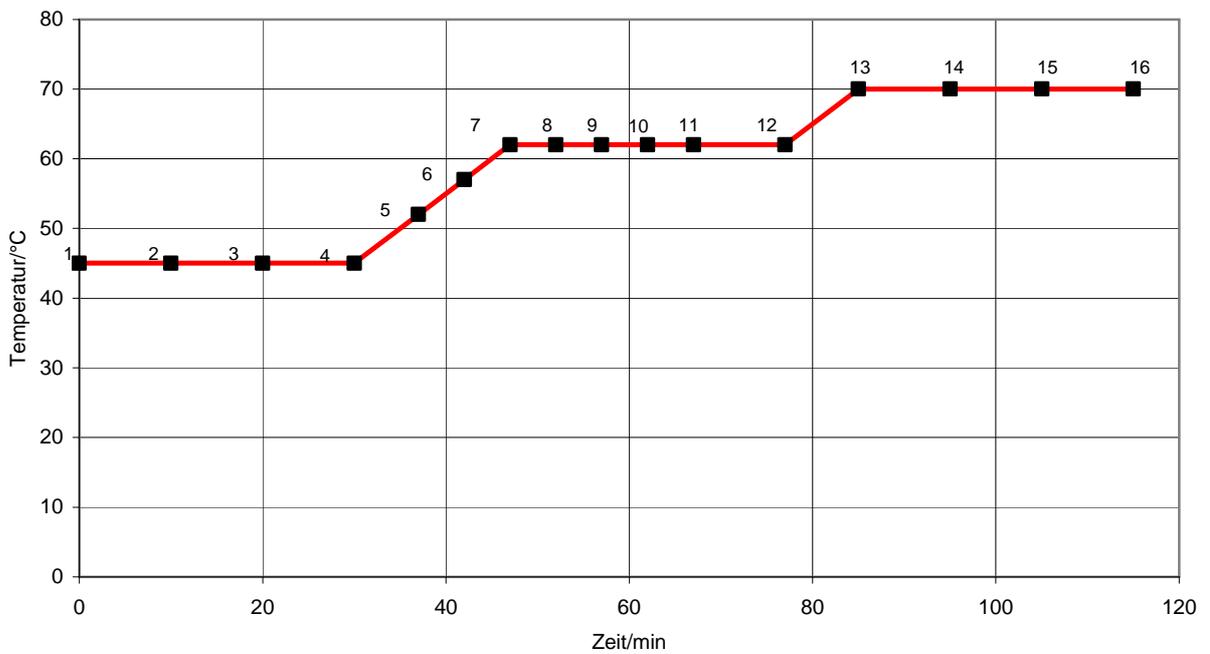


Abbildung 63: Probenahmeplan bei Eybenmaischen

Für alle Proben (Abbildung 64 - Abbildung 66) ergeben sich 4 Peaks bei den Retentionszeiten 250, 270, 300 und 330 min. Dies entspricht Molekülgrößen von < 10 kDa. Diese sind nicht schaumpositiv.¹⁶⁵ Die größeren Eiweißmoleküle scheinen auf dem Weg der Probenaufbereitung ausgefallen zu sein. Dies könnte durch Einfrieren und Filtration nach dem Auftauen geschehen sein. Bei Weizenbierfiltrationen sind solche filtrationshemmenden Eiweißnetzungen vermutet worden. Erwartungsgemäß wachsen die Peaks der kleinen Eiweißfraktionen mit zunehmender Maischzeit relativ zu denen der großen Fraktionen aufgrund der enzymatischen Degradation.

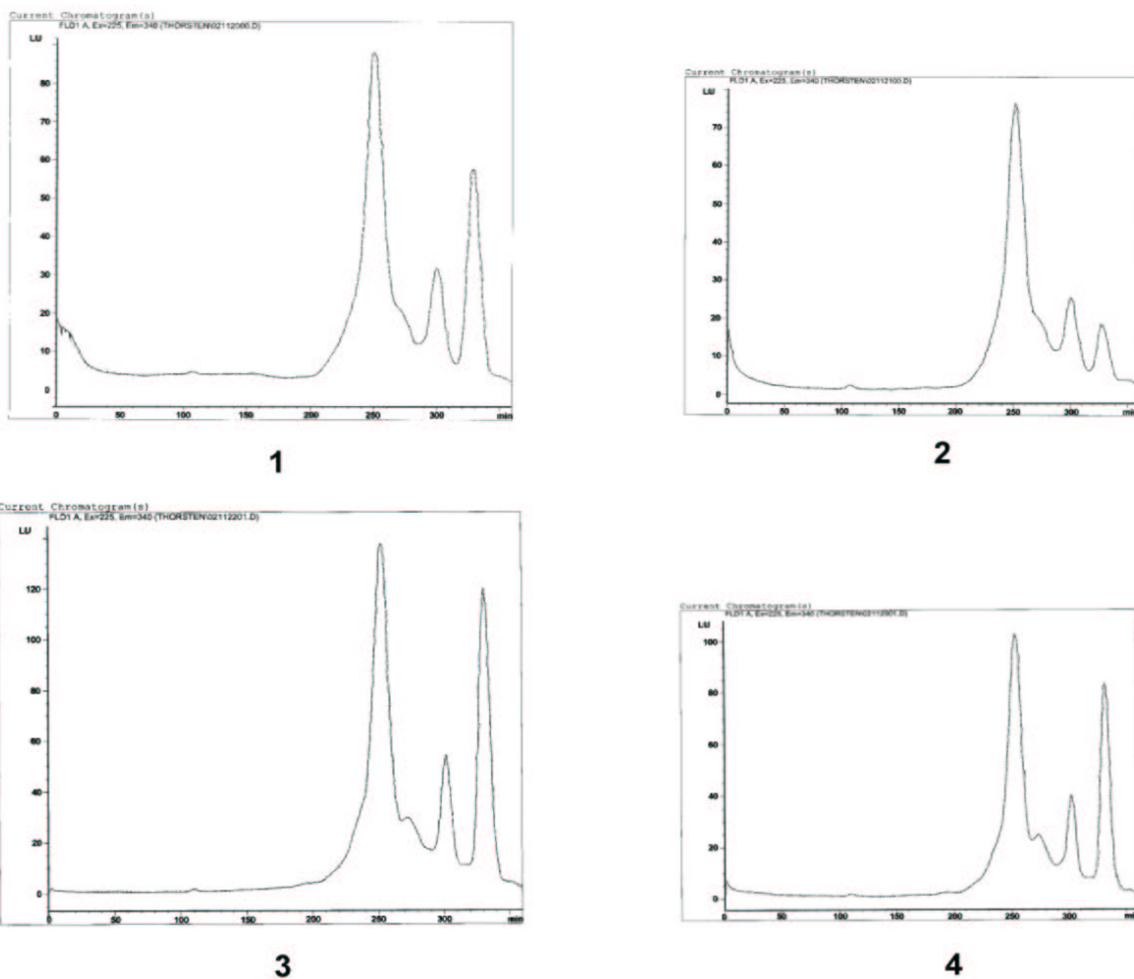


Abbildung 64: Chromatogramme der Eiweißmolekülgrößenverteilung der Maischproben 1-4

¹⁶⁵ Stamm, Marc: Enzymchemische und technologische Untersuchungen über den Einfluss von Hefeenzymen – speziell Hefeproteinase auf den Bierschaum. Dissertation. Technische Universität München 2000.

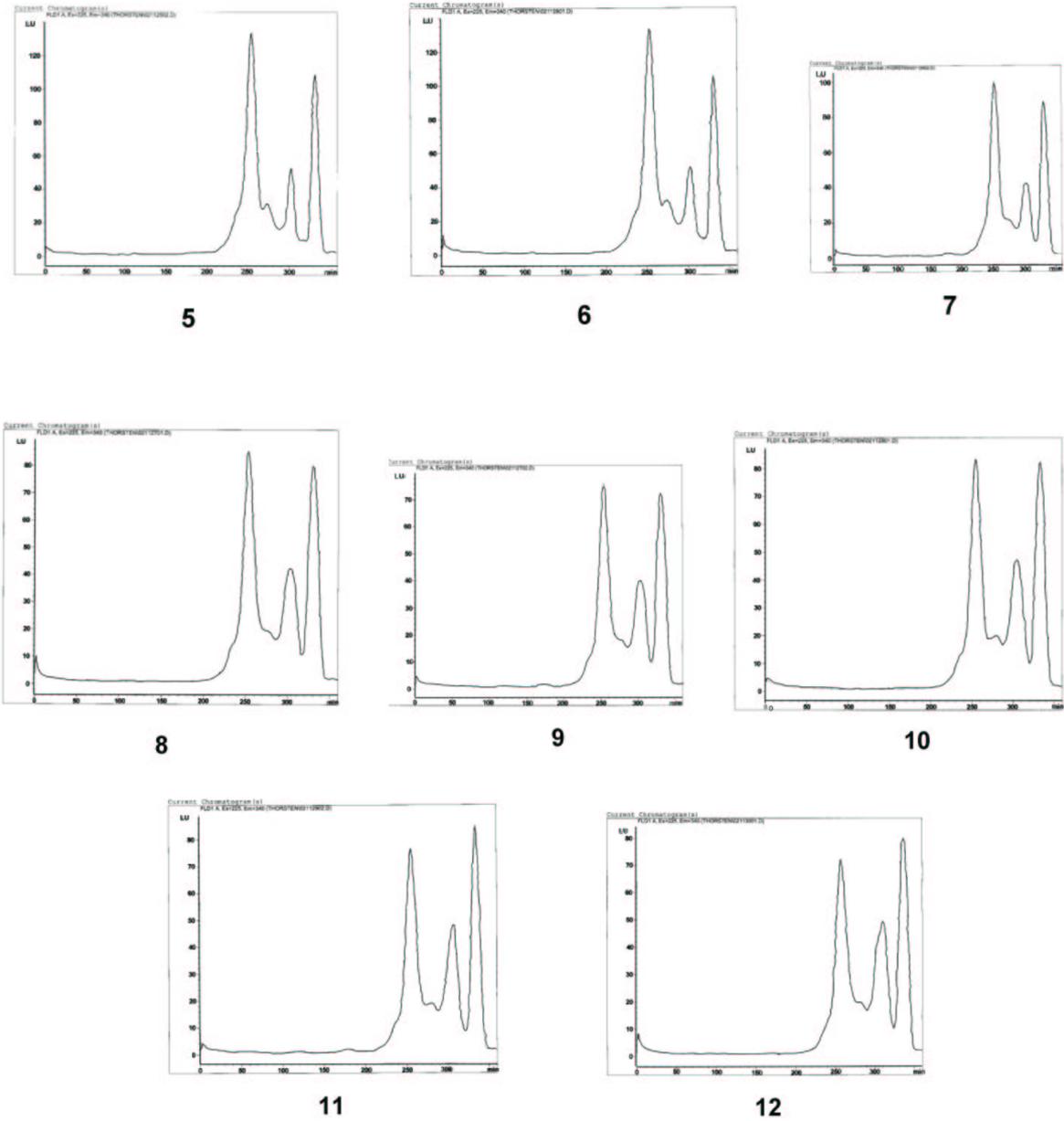


Abbildung 65: Chromatogramme der Eiweißmolekülgrößenverteilung der Maischproben 5-12

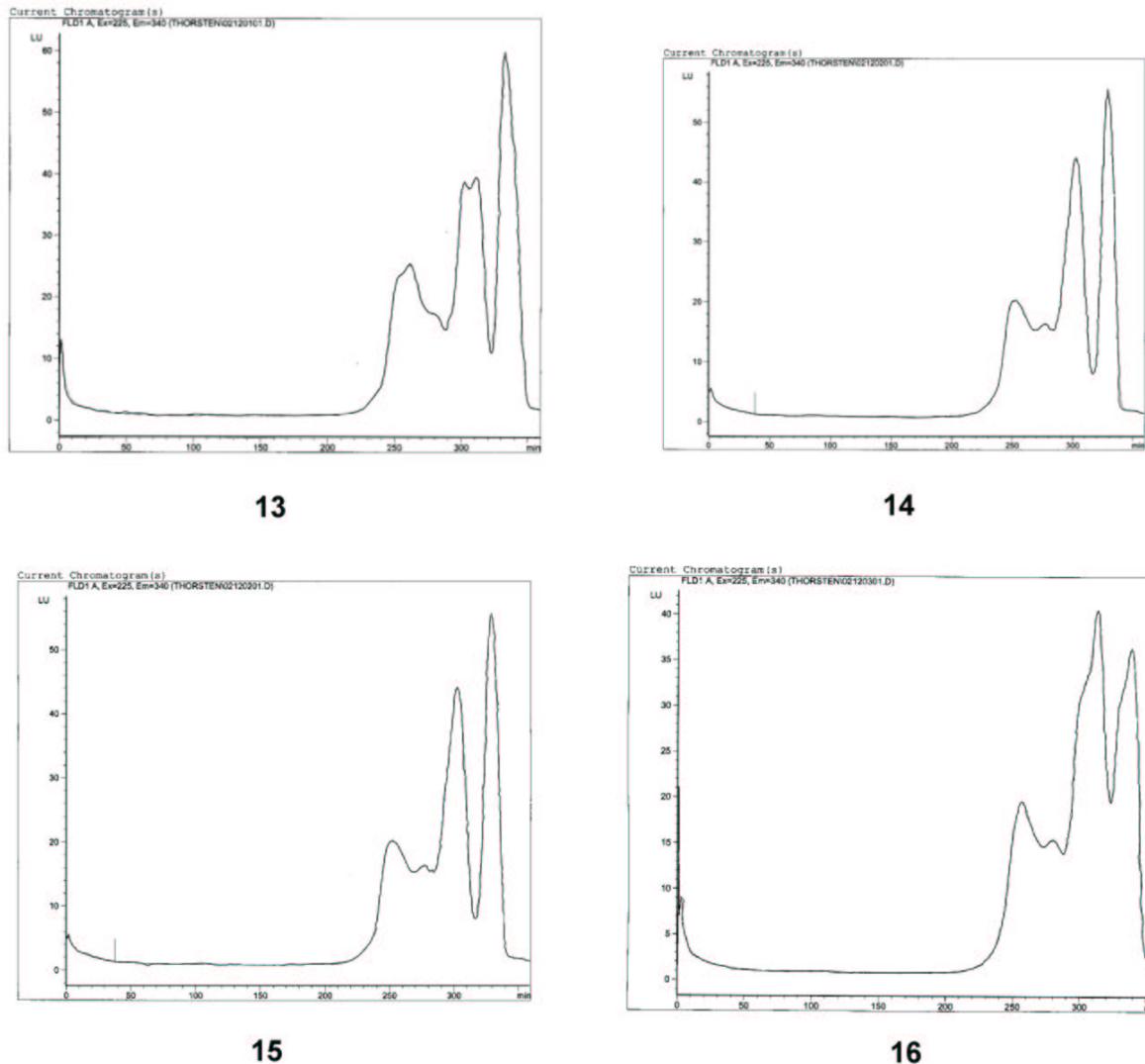


Abbildung 66: Chromatogramme der Eiweißmolekülgrößenverteilung der Maischproben 13-16

Aus der diskreten Molekülgrößenverteilung der ersten Proben entwickelt sich vor allem ab Erreichen der 60 °C-Rast eine stetige Verteilung, gekennzeichnet durch die Darstellung als „Gebirge“ im Chromatogramm. Hierdurch scheint sich Temperaturoptima der Endopeptidasen bis zu 60 °C zu bestätigen. Mittelgroße (MG < 10 kDa) Eiweißabbauprodukte entstehen im Maischprozess auch während der Maltoserast. Auch bei der 70 °C-Rast ist eine weitere relative Verbreiterung dieser Peaks zu beobachten. Die Degradation hochmolekularer zu kleinen bis mittelgroßen Eiweißen findet offensichtlich auch bei hohen Temperaturrasten (70 °C) statt.

4.2.3.3 Vergärbare Zucker

Zur Untersuchung auf Molekülgrößenverteilung kommen bei den α -Glucanen nur die kleinsten Einheiten in Betracht: Die Mono-, Di- und Trisaccharide der α -1 \rightarrow 4-glycosidisch verbundenen Glucose; dies sind Glucose, Maltose und Maltotriose. Der Verlauf ihrer Konzentrationen ist in Abbildung 67 und Abbildung 68 für verschiedene Malzmischungen bei gleichem Maischverfahren dargestellt.

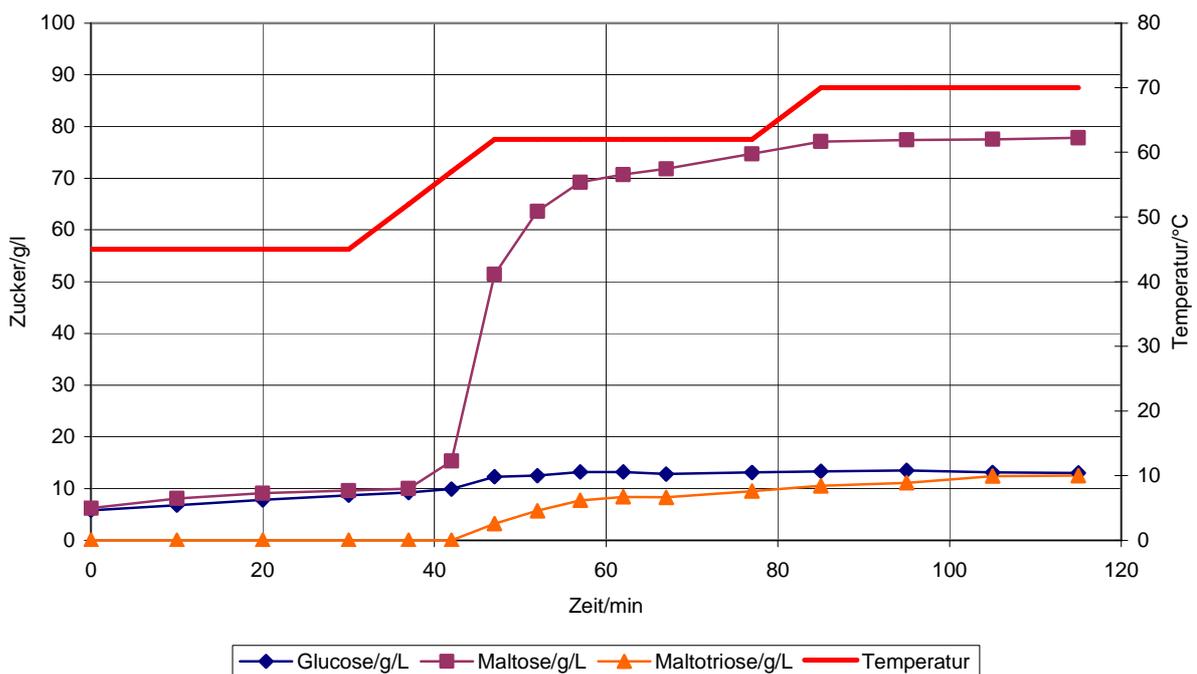


Abbildung 67: Verlauf von Zuckerkonzentrationen über ein Eybenmaisverfahren unter Verwendung von 100 % Spitzmalz (vgl.: Tabelle 50 – Anhang)

In beiden Versuchen entwickeln sich die Zuckerkonzentrationen ähnlich und erreichen vergleichbare Endwerte. Lediglich die Maltotriose, die in messbaren Konzentrationen erst mit der Verkleisterung in Lösung kommt, solubilisiert sich bei der Maische mit dem größeren Anteil gut gelösten Malzes schneller. Dies spricht entweder für eine stärkere Wirkung der α -Amylase, die Maltotriose produziert, oder für einen zur Wirkung kommenden Einfluss der Vorlösung des Malzes. Die Konzentration an Maltose sollte von der β -Amylase stark beeinflusst werden. Um dies genauer zu überprüfen, fand eine Beprobung eines isothermen Maischverfahrens statt, welches 1,5 h lang die β -Amylase im thermischen Wirkungsoptimum hielt. Die Ergebnisse sind in Abbildung 69 dargestellt.

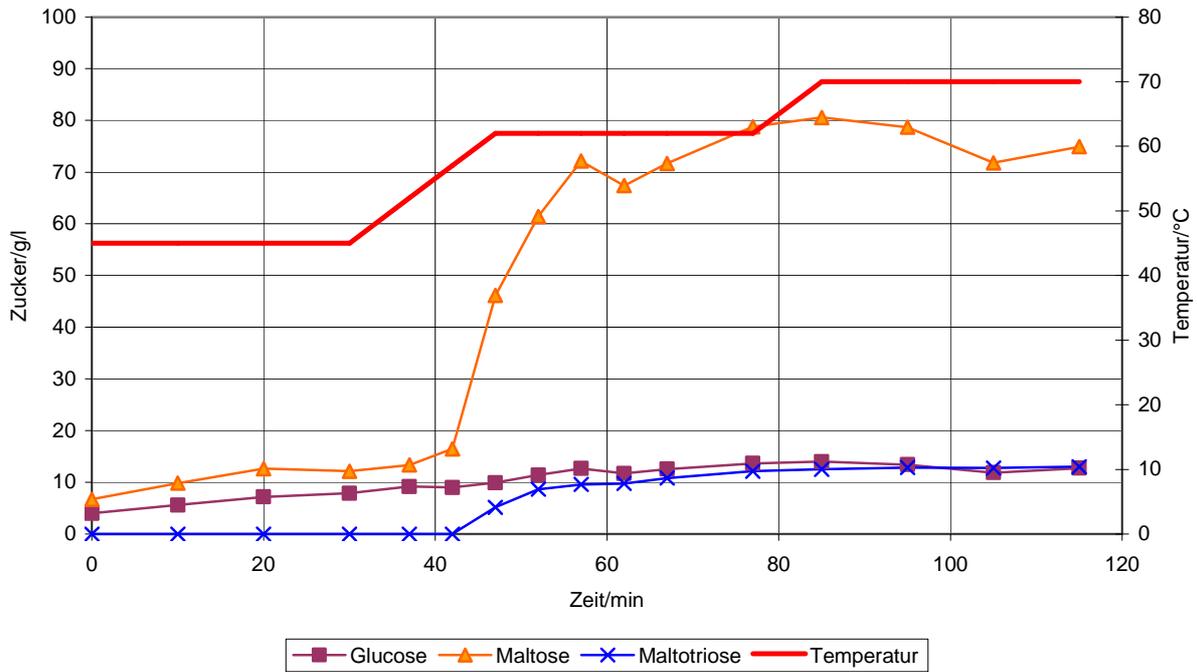


Abbildung 68: Verlauf von Zuckerkonzentrationen über ein Eyben-maischverfahren unter Verwendung von 50 % Spitzmalz und 50 % Pilsener Malz (vgl.: Tabelle 51 – Anhang)

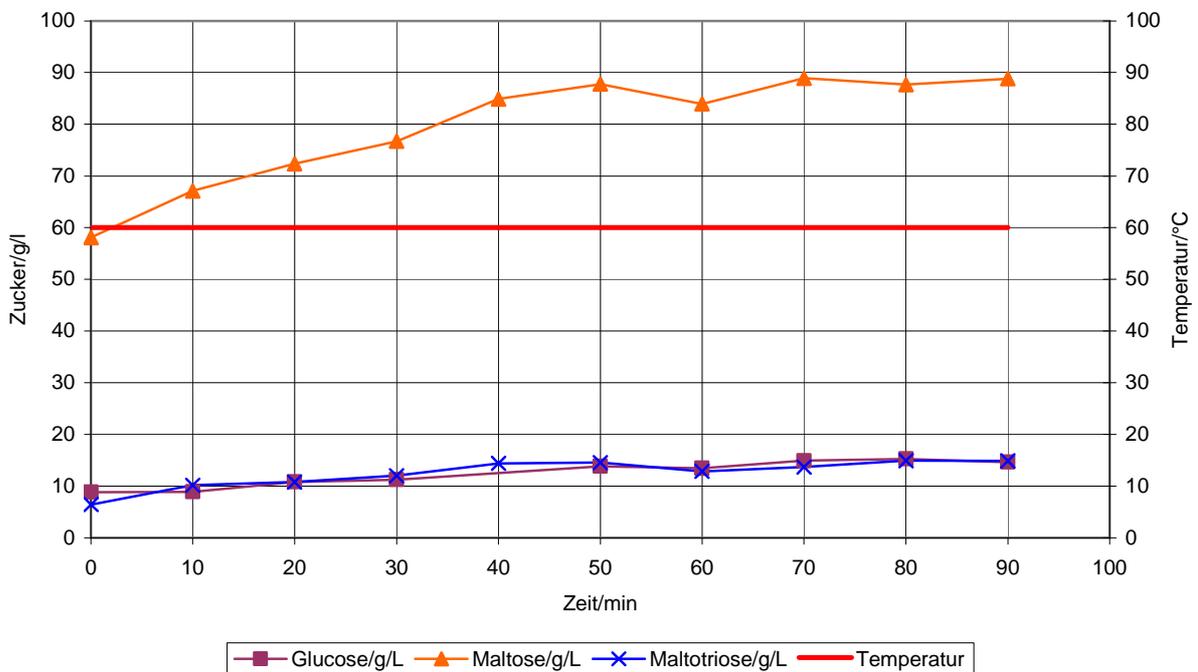


Abbildung 69: Verlauf von Zuckerkonzentrationen über ein isothermes Maischverfahren unter Verwendung von 30 % Spitzmalz und 70 % Pilsener Malz (vgl.: Tabelle 52 – Anhang)

In Abbildung 69 ist erkennbar, dass das Lösen von Glucose und Maltotriose etwas langsamer vonstatten geht, wenn der Prozess der Stärkeverkleisterung und -verflüssigung nicht thermisch von der Maische durchlaufen wird. Die Maltose als Produkt der Wirkung der β -Amylase erreicht ihren Endwert nicht aufgrund des längeren Haltens der Temperatur. Er wird nach 40 min genau wie bei den anderen Maischen erreicht. Lediglich sein Niveau ist höher, was am größeren Anteil besser gelösten Malzes liegen dürfte.

4.3 Qualität von Bieren aus abgewandelten Maischen

4.3.1 Biere aus unterschiedlich langen Praxismaisverfahren

Unter Verwendung des Malzes aus der Gerstensorte Danuta wurden 3 Maischen angesetzt, die bis zu 160 min gehalten wurden, wie Abbildung 70 zeigt. Die Maischen wurden bis zum fertigen Bier gebraut und diese Biere auf ihre Qualität beurteilt.

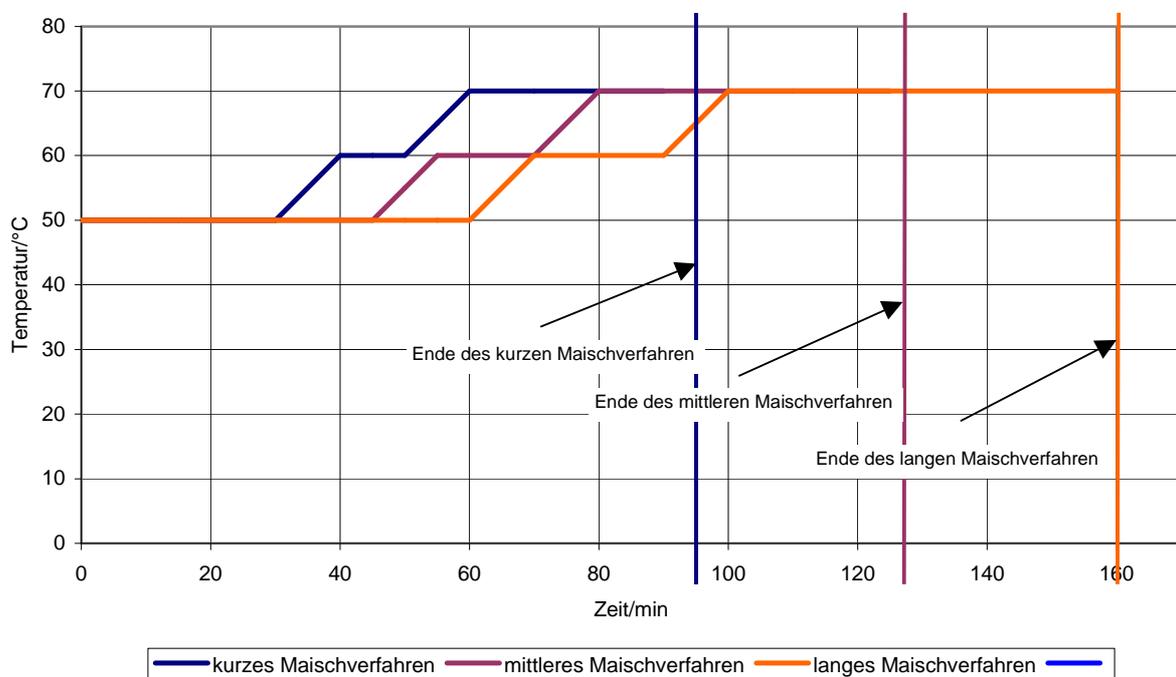


Abbildung 70: Temperatur-Zeit-Profile der variierten Maischen mit Malz der Gerstensorte Danuta

Die Beurteilung auf Qualität erfolgte zum einen sensorisch, zum anderen wurde die Schaumhaltigkeit untersucht. Die Ergebnisse der Verkostungen nach DLG und Alterungsverkostung nach Eichhorn sind in Tabelle 9 aufgeführt.

Tabelle 9: Ergebnisse der sensorischen Prüfung von Bieren variiertes Maischen aus dem Malz Danuta

frisches Bier	90 min Maischen	125 min Maischen	160 min Maischen
DLG	4,40	4,39	4,24
Alterungsverkostung	1	1	1
Akzeptanz/%	100	98	100
gealtertes Bier	90 min Maischen	125 min Maischen	160 min Maischen
DLG	3,80	3,85	3,63
Alterungsverkostung	1,8	1,7	2,1
Akzeptanz/%	70	76	56

Der Tabelle 9 ist zu entnehmen, dass längeres Maischen die Qualität des frischen Bieres etwas negativ beeinflusst. Bei gealtertem Bier wird deutlich, dass sich die Geschmacksstabilität der Biere durch langes Maischen stark verschlechtert. Da das Malz mit einem ELG von 44 % proteolytisch stark gelöst ist, ist davon auszugehen, dass sich durch die längere thermische Belastung der Maischen über die Maillard-Reaktion aus Aminosäuren und Zuckern Carbonyle gebildet haben, die die Geschmacksstabilität vermindern.

Langes Maischen im proteolytisch relevanten Temperaturbereich könnte auch über die Degradation der schaumpositiven großen Eiweißmoleküle zu schaumnegativen mittel- und niedermolekularen Eiweißen die Schaumhaltigkeit negativ beeinflussen. Deshalb wurden die Biere aus diesen Maischen auch auf ihre Schaumhaltigkeit überprüft. Die Ergebnisse, dargestellt in Tabelle 10, unterscheiden sich aber nicht deutlich. Starke Degradation des hochmolekularen Eiweißes hat sich nicht bis zur schaummindernden Wirkung hin eingestellt.

Tabelle 10: Schaumzahlen nach Ross und Clark für Biere aus Maischen des Malze Danuta

90 min Maischen	125 min Maischen	160 min Maischen
107	99	103

4.3.2 Biere aus unterschiedlich langen Maischverfahren mit „Eybenrasten“

Auch aus den Maischen mit Malzmischungen aus Spitzmalz (30 %) und Pilsener Malz (70 %) wurden Biere mit unterschiedlich langen Rasten hergestellt, die sich jedoch an den Temperaturstufen des Eybenmaisverfahrens orientierten. Die Maischzeiten gehen von 55 min bis 160 min. Abbildung 71 zeigt die Rasten und Temperaturverläufe.

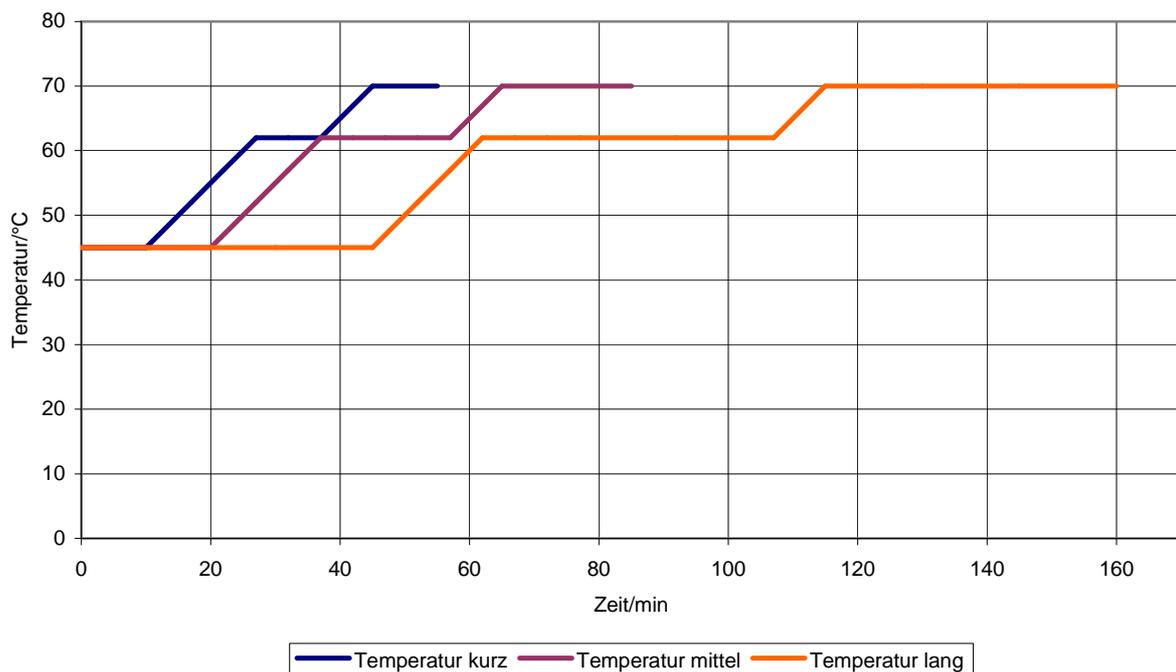


Abbildung 71: Temperatur-Zeit-Profile der am Eybenmaisverfahren orientierten Maischen

In Tabelle 11 sind die Ergebnisse der sensorischen Prüfung der aus diesen Maischen hergestellten Biere aufgeführt. Daraus ist ersichtlich, dass das Bier mit dem kurzen Maischverfahren den anderen Bieren sowohl im Geschmack nach DLG

wie auch in der Geschmacksstabilität unterliegt. Dies läuft den Ergebnissen von 4.3.1 entgegen. Ursache könnte die durch die Verwendung von Spitzmalz stark herabgesetzte proteolytische Lösung des Malzes sein, die kein Absinken der Qualität bei längerer thermischer Belastung verursacht.

Tabelle 11: Ergebnisse der sensorischen Prüfung der Biere variiertes Maischen mit Eyben-Temperaturrasten

frisches Bier	55 min Maischen	85 min Maischen	160 min Maischen
DLG	3,89	4,08	4,13
Alterungsverkostung	1,0	1,0	1,0
Akzeptanz/%	100	100	100
gealtertes Bier	55 min Maischen	85 min Maischen	160 min Maischen
DLG	3,50	3,63	3,75
Alterungsverkostung	2,0	1,8	1,9
Akzeptanz/%	60	72	72

4.3.3 Biere aus Eybenmaischen mit unterschiedlicher Malzqualität

Um den Einfluss speziell der verwendeten Malzqualitäten auf die Bierqualität zu ermitteln, wurden Eybenmaischen mit unterschiedlicher Malzmischung angesetzt und daraus resultierende Biere untersucht. Die Malzzusammensetzung war folgendermaßen:

- 100 % Pilsener Malz
- 50 % Pilsener Malz und 50 % Spitzmalz
- 100 % Spitzmalz

Die Verkostungsergebnisse, die in Tabelle 12 aufgelistet sind, zeigen, dass mit dem Anteil an Spitzmalz die Geschmacksbewertung und die Bewertung der Geschmackstabilität steigt. Offensichtlich ist bei einem intensiven Maischverfahren, wie dem Eybenmaischverfahren mit seinen drei halbstündigen Rasten, eine niedrige Malzlösung von Vorteil.

Zur Erreichung guter Geschmackseigenschaften darf offensichtlich keine proteolytische Überlösung stattfinden. Insgesamt schneiden allerdings die Biere, die aus gut gelöstem Malz mit kurzem Maischverfahren hergestellt sind (4.3.1), besser ab als diejenigen, die aus knapp gelöstem Malz mit intensivem Maischverfahren erzeugt sind. Dies könnte an einer geringeren thermischen Belastung liegen.

Tabelle 12: Ergebnisse der sensorischen Prüfung der Biere von Eybenmaischen mit unterschiedlichen Malzqualitäten

frisches Bier	100 % Pilsener Malz	50 % Pilsener Malz und 50 % Spitzmalz	100 % Spitzmalz
DLG	3,60	3,50	3,76
Alterungsverkostung	1,5	1,4	1,0
Akzeptanz/%	78	80	98
gealtertes Bier	100 % Pilsener Malz	50 % Pilsener Malz und 50 % Spitzmalz	100 % Spitzmalz
DLG	3,38	3,34	3,71
Alterungsverkostung	2,7	2,7	1,8
Akzeptanz/%	24	22	66

Die Biere unterschiedlicher Malzmischungen wurden noch auf das Qualitätskriterium der Schaumhaltigkeit untersucht. Tabelle 13 gibt die Ergebnisse wieder. Mit steigendem Anteil an knapp gelöstem Malz verschlechtert sich die Schaumhaltigkeit etwas. Dies könnte daran liegen, dass das proteolytisch knapp gelöste Malz nicht so viel schaumpositives hochmolekulares Eiweiß in Lösung bringt wie das gut gelöste Pilsener Malz.

Tabelle 13: Schaumzahlen nach Ross und Clark für Biere aus Maischen verschiedener Malzmischungen

100 % Pilsener Malz	50 % Pilsener Malz und 50 % Spitzmalz	100 % Spitzmalz
121	117	110

5 Schlussfolgerungen und Perspektiven

Die Versuche im Labormaßstab haben gezeigt, dass sich in Maischen der Fortschritt der

- Zytolyse mittels Bestimmung des β -Glucan-Gehaltes
- Proteolyse mittels Bestimmung der FAN-Konzentration
- Amylolyse und die Ausbeute mittels fotometrischer Jodprobe, bezogen auf 12 %, und durch den Extraktgehalt

zeitlich verfolgen lässt. Dies ist auch in Betriebsmaischen der Fall, wie ausführliche Versuche zeigten. Es stellte sich über alle Versuche heraus, dass die Ausprägung der zytolytischen Lösung weitestgehend malzabhängig ist. Beeinflussbar durch die Temperatur-Zeit-Führung beim Maischen sind die Proteolyse und die Amylolyse. Die Auswirkung einer Maischesäuerung ist sicherlich gerade in Bezug auf die Zytolyse erheblich. In dieser Versuchsanordnung ist sie jedoch kein steuerbarer Parameter. Eine entsprechende Ausweitung der Steuerparameter und weiterführende Untersuchungen in dieser Richtung sind für die Zukunft ein interessantes Versuchsfeld.

Aus den Versuchsergebnissen lässt sich ableiten, dass bei Verwendung von gut gelösten Malzen die Maischverfahren kurz gehalten werden können, und dennoch Biere guter Qualität resultieren. Dies deckt sich mit Ergebnissen anderer Autoren.¹⁶⁶ Erst bei einer Gesamtmaiszeit von 55 min unter Verwendung eines Anteils (30 %) schlecht gelösten Malzes ergeben sich sensorisch schlechtere Bierqualitäten. Ein Einfluss der Maischzeit auf die Schaumhaltbarkeit konnte ebenso nicht festgestellt werden wie ein Einfluss der Malzqualität. Mit steigender Maischzeit bilden sich offenbar mehr niedermolekulare Peptide, die zu Alterungskarbohlen durch thermische Einwirkung weiterreagieren, und die Geschmacksstabilität des Bieres verschlechtern.

¹⁶⁶ Schwill-Miedaner, Annette et al.: Untersuchungen zur Zeitoptimierung von Maischverfahren. In: Brauwelt. Nr. 12. Nürnberg 1998. S. 466-471.

Die Erfassung der Verteilung der Eiweißmolekülgrößen zeigt, dass auch bei hohen Temperaturreihen noch niedermolekulare Peptide gebildet werden, die auch Edukte für die Bildung von Alterungskarboxylen darstellen. Auch dies spricht für möglichst kurz gehaltene Maischverfahren, um die Bierqualität zu erhöhen.

Dass der Erhalt einer schlechten Bierqualität auf Eiweißüberlösung und thermische Belastung zurückzuführen ist, bekräftigen auch die Ergebnisse der Variation der Malzqualität bei konstantem und länger gehaltenem Maischverfahren: Das am knappsten gelöste Malz erzielte unter diesem Maischverfahren die besten sensorischen Beurteilungen.

Das Bier mit den besten Qualitätsmerkmalen ist aus einem gut gelösten Malz mit einem relativ kurzen Maischverfahren entstanden. Es ist also angezeigt, aus Gründen der Qualitätsverbesserung gut gelöste Malze in knappen Maischverfahren zu verwenden, was außerdem durch Kapazitätserhöhung im Sudhaus Kostensenkungen ergeben kann.

Die Antwort auf die Frage, wie lange nun ein Maischverfahren bei gegebener Malzqualität zu halten ist bzw. wie die Temperatur-Zeit-Führung mit den einzelnen Reihen zu regeln ist, gibt die chronologische Verfolgung der enzymatischen Stoffumsetzungen: Die Eiweißreihe muss solange gehalten werden, bis ausreichend FAN zur Hefeernährung in der Würze vorliegt (unter Berücksichtigung der Verdünnung bis zur Anstellwürze). Die Maltoserreihe ist zu beenden, wenn der Prozess der Stärkeverkleisterung und -verflüssigung durchlaufen ist. Die Verzuckerungsreihe kann dann abgebrochen werden, wenn die Extraktausbeute als ausreichend betrachtet wird bzw. die Steigerung des Extraktgehaltes der Maische abflacht. Dies ist mit der eingesetzten Messstrecke regelbar: Die Leitfähigkeit der Maische korreliert mit ihrem FAN-Gehalt unterhalb des Verkleisterungsprozesses gut genug, um einen Wert anzuzeigen, bei welchem mit ausreichender Sicherheit hinlänglich viel Stickstoff zur Hefenahrung zur Verfügung steht. Die Beendigung des Stärkelösungsprozesses, des Verkleisterns/Verflüssigens, ist durch die konstante Viskosität der Maische nach Durchlaufen eines Maximums und durch einen ebensolchen Verlauf der online-Jodprobe gekennzeichnet. Der Extraktgehalt der Maische ist online durch die Dichte und die Schallgeschwindigkeit verfolgbar.

Das Ziel des Projektes, den Fortschritt des Maischprozesses mittels Analyse der enzymatischen Abbauprodukte zu beurteilen und seine Beobachtbarkeit mit physikalischen online-Messmethoden zu erreichen sowie seinen Einfluss auf die Bierqualität zu ermessen, ist also weitestgehend erreicht.

Dennoch besteht weiterhin Forschungsbedarf. Die weiteren auf die Maischarbeit Einfluss nehmenden Parameter wie Säuerung, veränderte Schrotfeinheit, die Verwendung anderer Brauwässer, unterschiedliche Gussführungen sowie andere Maischverfahren, wie Hoch-Kurz-Maischen oder Dekoktionsmaischen, sollten auf die Beobachtbarkeit ihrer enzymatischen Degradationsvorgänge überprüft werden.

6 Zusammenfassung

Aufgrund von Züchtungs- und Wettereinflüssen ändert sich die Qualität des Rohstoffes Malz ständig. Der Prozessschritt innerhalb der Bierbereitung, bei dem Schwankungen der Malzeigenschaften ausgeglichen werden müssen, ist das Maischen. Bisher wird dieser Prozessschritt weitgehend empirisch über Temperatur-Zeit-Programme gesteuert, wobei Schwankungen in der Malzqualität nicht ausreichend berücksichtigt werden. Hieraus können sich große Verarbeitungsprobleme in Bezug auf die Filtrierbarkeit des Bieres und erhebliche Qualitätseinbußen bei der Schaumhaltbarkeit und dem Geschmack sowie der Geschmacksstabilität des Bieres ergeben. Diese Schwierigkeiten sind nach Beendigung des Maischprozesses nicht mehr zu beheben. Es wäre wünschenswert, den Maischprozess online zu beobachten und dadurch rückgekoppelt steuern zu können, um die Würze- und die Bierqualität konstant zu halten. Somit können diese Probleme vermieden werden.

Um dieses Ziel zu erreichen, wurden Analysen zur chronologischen Beobachtung von Maischprozessen ausgesucht und angewendet. Dies waren der β -Glucan-Gehalt zur Diagnose der Zytolyse (Zellwandlösung), der FAN-Gehalt zur Beurteilung der Proteolyse (Eiweißlösung) und die fotometrische Jodprobe sowie der Extraktgehalt zur Erfassung der Amylolyse (Stärkelösung).

Bezüglich der Zytolyse wurde festgestellt, dass ihr Ausmaß erst rückwirkend beurteilt werden kann und nicht während sie beeinflussbar ist. Die Proteolyse ist in ihrem Fortschritt am FAN-Gehalt erkennbar. Dieser nimmt einen ähnlichen Kurvenverlauf wie der lösliche Stickstoff. Die Amylolyse ist hauptsächlich durch Zuwachs an Extrakt in der Lösung charakterisiert.

Physikalische Daten wurden mittels einer an den Maischbottich angeschlossenen Messstrecke generiert. Dies waren die Dichte, die Schallgeschwindigkeit, die Leitfähigkeit und die Viskosität der Maische. Außerdem ist an die Messstrecke ein Gerät zur online-Messung der Jodprobe anschließbar. Die im Labor gewonnenen Analysendaten wurden mit den physikalischen Daten verglichen

Dieser Vergleich ergab, dass der Fortschritt der Proteolyse durch die Erfassung der Leitfähigkeit der Maische beobachtbar ist, da diese mit dem FAN-Gehalt korreliert. Der physikalische und enzymatische Prozess der Amylolyse mit den Teilprozessen Stärkeverkleisterung und Stärkeverflüssigung ist online über die Viskosität der Maische zu erkennen. Das Ausmaß der Malzausbeute, welches die Amylolyse am Ende des Maischprozesses charakterisiert, ist über die dem Extraktgehalt ähnlich verlaufende Schallgeschwindigkeit und die Dichte der Maische online nachzuvollziehen.

Die klassischen Rasten des Maischprozesses werden durch diese Verfolgbarkeit der Degradationsvorgänge regelbar gemacht: So zeigt das Erreichen einer bestimmten Leitfähigkeit der Maische eine ausreichende Eiweißrast an. Die Beobachtung der Viskosität der Maische und der online-Jodprobe ermöglicht die Erkennung der Stärkeverkleisterung und -verflüssigung. Dadurch lässt sich die Maltoserast zeitlich eingrenzen. Die Ausbeute ist durch die Dichte und die Schallgeschwindigkeit verfolgbar. Dies erlaubt die Regelung der Verzuckerungsrast.

Neben der Möglichkeit, eine definierte Würzequalität herstellen zu können, wird durch dieses neue System eine zeitliche Optimierung des Maischprozesses erreicht. Dadurch ist auch eine Erhöhung der Sudfolge und somit eine Steigerung der Sudhauskapazität möglich. Dies hat in vielen Brauereien Kostensenkungen zur Folge, da der Maischprozess zeitlich limitierender Faktor ist.

Variierende Maischverfahren und unterschiedliche Malzqualitäten wurden untersucht, um Grenzen der Einflussnahme auf die Bierqualität über den Maischprozess festzustellen. Hierbei ergab sich das beste Resultat für ein kurzes Maischverfahren unter Verwendung gut gelösten Malzes. Dennoch konnten mit online-Beobachtung des Maischens auch unter Verwendung sehr knapp gelöster Malze Biere guter Qualität hergestellt werden.

Dies bedeutet, dass mit dieser neuen Möglichkeit der Regelung des Maischprozesses rohstoffunabhängig die Herstellung einer guten Bierqualität möglich ist. Darüber hinaus ist eine optimale Zeitanpassung des Maischprozesses möglich, was zu Kostensenkungen durch Kapazitätssteigerungen führt.

7 Literaturverzeichnis

1. American Society of Brewing Chemists: Methods of Analysis of the American Society of Brewing Chemists. 8. Aufl., St. Paul, USA.
2. Amersham Biosciences (Hrsg.): Gel Filtration. Principles and Methods. Uppsala (S), 2002.
3. Arbeitsgemeinschaft zur Förderung des Qualitätsgerstenanbaues im Bundesgebiet e. V. (Hrsg.): Braugersten-Jahrbuch. Eichenau 1981-2001.
4. Back, Werner: Technische und technologische Voraussetzungen zur „kaltsterilen“ Abfüllung. In: Brauwelt. Heft 42. Nürnberg 1995. S. 2068-2076.
5. Bamforth, C.W.: Enzymolysis of β -Glucan. In: European Brewery Convention Proceedings of the 11th Congress Copenhagen 1981. London 1981. S. 335-346.
6. Bamforth, Charles und Makoto Kanauchi: A Simple Model for the Cell Wall of the Starchy Endosperm in Barley. In: Journal of The Institute of Brewing. Volume 107. 2001. S. 235-239.
7. Baumegger, Alfred: Dichte und Schallgeschwindigkeit im Brauereibetrieb. In: Brauwelt Heft 14. Nürnberg 1998. S. 613-616.
8. Becker, Thomas et al.: Ultrasonic Velocity- A Noninvasive Method for the Determination of Density during Beer Fermentation. In: Engineering in Life Science. Heft 2. Weinheim 2001. S. 61-67.
9. Belitz, Hans-Dieter et al.: Lehrbuch der Lebensmittelchemie. 5. Aufl. Berlin 2001.
10. Christen, Hans Rudolf: Grundlagen der allgemeinen und anorganischen Chemie. 7. Aufl. Frankfurt am Main 1982.
11. Dellweg, H. et al.: Über die Eiweißstoffe im Bier, ihre analytische Erfassung und Aminosäurezusammensetzung. In: Monatsschrift für Brauerei. 23. Jahrgang. Nummer 8. Berlin 1970. S. 209-217.
12. Dellweg, Hanswerner (Hrsg.) et al.: Römpf Lexikon Biotechnologie. Stuttgart 1992.

13. Djurtoft, Robert: Fractionating Of Beer Constituents By Gel-Filtration. In: European Brewery Convention. Proceedings of the Congress Vienna 1961. Amsterdam 1961.
14. Eichhorn, Peter: Untersuchungen zur Geschmacksstabilität des Bieres. Dissertation. Technische Universität München 1987.
15. Einsiedler, Frank et al.: Experimentelle Untersuchungen und Modellierung komplexer biochemischer und technologischer Prozesse am Beispiel des Maischens. Teil 1: Proteolyse. In: Monatsschrift für Brauwissenschaft. Heft 9/10. Nürnberg 1997. S. 164-171.
16. Einsiedler, Frank et al.: Experimentelle Untersuchungen und Modellierung komplexer biochemischer und technologischer Prozesse am Beispiel des Maischens. Teil 2: Amylolyse. In: Monatsschrift für Brauwissenschaft. Heft 11/12. Nürnberg 1997. S. 202-208.
17. Einsiedler, Frank et al.: Experimentelle Untersuchungen und Modellierung komplexer biochemischer und technologischer Prozesse am Beispiel des Maischens. Teil 3: Cytolyse. In: Monatsschrift für Brauwissenschaft. Heft 1/2. Nürnberg 1998. S. 11-21.
18. Erdal, K. und Gjertsen, P.: β -Glucans in Malting and Brewing. In: European Brewery Convention Proceedings of the 11th Congress Madrid 1967. Amsterdam 1968. S. 295-307.
19. Esslinger, Hans Michael: Einflussfaktoren auf die Filtrierbarkeit des Bieres. Dissertation. Technische Universität München 1985.
20. European Brewery Convention (Hrsg.): Analytica-EBC. Nürnberg 1998
21. European Brewery Convention (Hrsg.): Elsevier's Dictionary of Brewing. Amsterdam (NL) 1983.
22. Falbe, Jürgen. u. Manfred Regitz (Hrsg.): Römpp Chemie Lexikon Band 1. 9. Aufl. Stuttgart 1989.
23. Falbe, Jürgen. u. Manfred Regitz (Hrsg.): Römpp Chemie Lexikon Band 2. 9. Aufl. Stuttgart 1990.
24. Falbe, Jürgen. u. Manfred Regitz (Hrsg.): Römpp Chemie Lexikon Band 3. 9. Aufl. Stuttgart 1990.
25. Falbe, Jürgen. u. Manfred Regitz (Hrsg.): Römpp Chemie Lexikon Band 6. 9. Aufl. Stuttgart 1992.

26. Fincher, G. B.: Ferulic Acid in Barley Cell Walls: A Fluorescence Study. In: Journal of the Institute of Brewing. Volume 82. 1976. S. 347-349.
27. Fischer, Gunther: Ohne Titel. Dissertation. Technische Universität München, in Vorbereitung.
28. Foldager, Lars und Kim G. Jorgensen: The Molecular Weight Distribution of β -Glucan in Wort from Malts of Different Barley Varieties at Different Stages of Malting. In: Carlsberg Research Communications. Band 49. Heidelberg 1984. S. 525-534.
29. Franken-Luykx, Josepha M.: Spectrophotometric Determination of Nitrogen in Wort. In: Journal of the Institute of Brewing. Volume 73 1967. S. 188 ff.
30. Hartong, B. D.: Die koagulierbaren und die kälteempfindlichen Eiweißkörper. In: Wochenschrift für Brauerei. Jahrgang Nr. 5. Berlin 1937. S. 33 ff.
31. Herrmann, Jan: Entwicklung von Messmethoden zur Untersuchung der rheologischen Eigenschaften der Maische. Dissertation. TU München 2002.
32. Heyse, Karl-Ullrich (Hrsg.): Handbuch der Brauerei-Praxis. 3. Aufl. Nürnberg 1995.
33. Hoog, Dirk et al.: Rheologische Kontrolle des großtechnischen Maischprozesses. In: Brauwelt Heft 19. Nürnberg 1998 S. 858–864.
34. Hoog, Dirk et al.: Rheologische Kontrolle von Labormaischen. In: Brauwelt Heft 37 Nürnberg 1997. S. 1606–1610.
35. Izawa, Masayuki et al.: Determination Of High Molekular Weight β -Glucan In Wort And Beer Using A Post-Column Calcofluor Flow-Injection-Analysis (FIA) Method. In: Journal Of The Institute Of Brewing. Band 102. London 1996. S. 183-189
36. Izawa, Masayuki et al.: Factors Influencing the Determination of β -Glucan in Malt, Wort and Beer Using Calcofluor Low-Injection Analysis. In: The Institute Of Brewing Proceedings, The Asia Pacific Section. Proceedings Of The Twenty-Third Convention. Cowandilla, Australien 1994. S. 84-88.
37. Izawa, Masayuki et al.: Inhibitor of Fluorescence Reactions Between Calcofluor and β -(1,3)(1,4)-D-Glucan In Beer And Wort. In: Journal Of The Institute Of Brewing. Band 102. London 1996. S. 87-91.

38. Karlson, Peter: Kurzes Lehrbuch der Biochemie für Mediziner und Naturwissenschaftler. 14. Aufl. Stuttgart 1994.
39. Kunze, Wolfgang: Technologie Bauer und Mälzer. 8. Aufl. Berlin 1998
40. Lewis, M. J. et al.: Dye-Binding Method for Measurement of Protein in Wort and Beer. In: Journal of the ASBC. Band 38. Nr. 2. 1980.
41. Lintz, Bruno: Über den Einfluß technologischer Faktoren beim Mälzen und Maischen auf die Aktivität einiger proteolytischer Enzyme. Dissertation. Technische Universität München 1974.
42. Miedaner, Heinz (Hrsg.): Brautechnische Analysemethoden. Band 2. 4. Aufl. Freising 2002.
43. Mitzscherling, Martin: Ohne Titel. Dissertation. TU München. In Vorbereitung.
44. Mitzscherling, Martin et al.: Abschlussbericht des Forschungsprojektes 12552N der AiF. „Otto von Guericke“ e. V. Bonn 2002.
45. Munck, L. et al.: The EBC Methods for Determination of High Molecular Weight β -Glucan in Barley, Malt, Wort and Beer. In: Monatsschrift für Brauwissenschaft Heft 4. Nürnberg 1989. S. 162-165.
46. Narziß, Ludwig und Elisabeth Reicheneder: Chemische Untersuchungen über die Veränderung der Eiweiß-Fractionen von der Gerste bis hin zum Bier unter Variation des Mälzungsverfahrens. In: European Brewery Convention Proceedings of the 11th Congress Madrid 1967. Amsterdam 1968.
47. Narziß, Ludwig und Werner Röttger: Überprüfung einiger Eiweißfraktionierungsmethoden sowie des Forciertests mit Hilfe der Molekularfiltration. In: Brauwissenschaft. Jahrgang 26. Heft 12. 1973. S. 366ff.
48. Narziß, Ludwig: Abriß der Bierbrauerei. 6. Aufl. Weinheim 2001.
49. Narziß, Ludwig: Die Bierbrauerei. Band 1: Die Technologie der Malzbereitung. 7. Aufl. Stuttgart 1999.
50. Narziß, Ludwig: Die Bierbrauerei. Band 2: Die Technologie der Würzebereitung. 7. Aufl. Stuttgart 1992.
51. Palmer, G. H.: Modes of Action of Gibberellins During Malting. In: European Brewery Convention Proceedings of the 13th Congress Estoril 1971. Amsterdam 1972

52. Pfenninger, Heinrich (Hrsg): Brautechnische Analysenmethoden. Band 1. 3. Aufl. Freising 1997.
53. Precht, Manfred: Bio-Statistik. Band 2. 5. Aufl. München 1993.
54. Preece, I. A. und J. Hobkirk: Non-Starchy Polysaccharides of Cereal Grains. V. Some Hemicellulose Fractions. In: Journal of The Institute of Brewing. Volume 60. 1954. S. 490ff.
55. Schlegel, Hans G.: Allgemeine Mikrobiologie. 2. Aufl. Stuttgart 1972.
56. Schoch, Thomas J.: Starches and Amylases. In: American Society of Brewing Chemists. Proceedings. Annual Meeting 1961. USA 1961. S. 83-93.
57. Schuster, K. et al.: Über die Gummistoffe der Gerste und ihr Verhalten während der Malz- und Bierbereitung. In: Brauwissenschaft Heft 4. Jahrgang 20. Nürnberg 1967. S. 185-205.
58. Schwill-Miedaner, Annette et al.: Untersuchungen zur Zeitoptimierung von Maischen. In: Brauwelt Heft 12. Nürnberg 1998. S. 466-471.
59. Schwill-Miedaner, Annette und Heinz Miedaner: Die Viskosität – ihr Informationswert im Rahmen der Sudhausarbeit. In: Brauwelt. Heft 13/14. Nürnberg 1999. S. 593-596.
60. Schwill-Miedaner, Annette: Derzeitige Schwerpunkte der Brauereitechnologie. In: Der Weihenstephaner. 70. Jahrgang. Heft 1. Nürnberg 2002. S. 21-28.
61. Senge, Bernhard et al.: Rheologische Untersuchungen des Maischprozesses mittels eines Inline/Online-Meßverfahrens. In: Brauwelt Heft 9. Nürnberg 1996. S. 401–422.
62. Stamm, Marc: Enzymchemische und technologische Untersuchungen über den Einfluss von Hefeenzymen – speziell Hefeproteinasen auf den Bierschaum. Dissertation. Technische Universität München 2000.
63. Stritzel Dampftechnik GmbH: Bedienungsanleitung PS 200. Mühlheim/Ruhr 2001.
64. Thompson, R. G. und D. E. LaBerge: Barley Endosperm Cell Walls: A Review of Cell Wall Polysaccharides and Cell Wall-Degrading Enzymes. MBAA Technical Quarterly. Volume 14. Nr. 4. 1977. S. 238-243.

-
65. Wackerbauer, Karl und Heinz-Michael Anger: Zur Differenzierung von β -Glucanen in Malz und Würze. In: Monatsschrift für Brauwissenschaft. Heft 4. Nürnberg 1988. S. 156-158.
66. Waddell, William J.: A Simple Ultraviolet Spectrophotometric Method For The Determination Of Protein. In: J. Lab. and Clin. Med. 48, 1956. S. 311-313.
67. Walther, Eduard: Technische Formeln. 27. Aufl. Leipzig 1988.
68. Werner, F. und A. Mersmann: Zur Rheologie von Polymerlösungen – Teil 1: Eine einfache Methode zur Prüfung der Konsistenz von Datensätzen bei der Beschreibung der Rheologie von Polymerlösungen. In: Chemie Ingenieur Technik. Heft 7. Weinheim 1998. S. 890-894.
69. Wilke, J. und B. Parthey: Prozessnahe Biermaische-Analytik. In: Monatsschrift für Brauwissenschaft. Heft 3/4. Nürnberg 1996. S. 115-118.

8 Tabellenanhang

Tabelle 14: Werte der Extinktionsdifferenz zu verschiedenen Zeitpunkten an verschiedenen Fotometern

Würze	lösl. N/m g/l	Bierlabor, t=0	Praktikumslabor, t=45 min	Praktikumslabor, t=105 min	Bierlabor, t=135 min	Praktikumslabor, t=180 min
01W01	795,2	0,345	0,390	0,376	0,356	0,375
01W05	711,2	0,304	0,334	0,315	0,305	0,338
01W09	767,2	0,321	0,338	0,328	0,308	0,339
01W13	823,2	0,383	0,410	0,396	0,378	0,415

Tabelle 15: Extinktionswerte von Eiweißstandards verschiedener Konzentrationen

Standard	$\lambda_{595\text{nm}}$	Konzentration/ $\mu\text{g/ml}$
04CS1	0,068	1,25
04CS3	0,042	6,25
04CS5	0,111	12,5
04CS6	0,112	25
04CS7	0,293	50
04CS8	0,435	75
04CS9	0,528	100

Tabelle 16: Gegenüberstellung von Kjehldahl und Coomassie-Blau-Färbung

Würze	lösl. N nach Kjehldahl/mg/l	Extinktion $\square_{595\text{nm}}$	N nach Coomassie-Blau-Färbung/mg/l
04W01	806,4	0,243	76,33
04W05	952,0	0,355	116,79
04W07	952,0	0,151	43,10
04W09	896,0	0,190	57,19
04W11	968,8	0,255	80,67

Tabelle 17: Eiweißgehalte (Coomassie-Blau-Färbung) in zwei Maischversuchen

Probe	Zeit/ min	T/°C	Eiweiß nach Coomassie/mg/l, Versuch mit schlecht gelöstem Malz	Eiweiß nach Coomassie/mg/l, Versuch mit gut gelöstem Malz
0	0	45	84,13	88,95
1	5	45	92,43	103,05
2	10	45	92,04	127,18
3	15	45	94,94	143,78
4	20	45	92,82	109,8
5	25	45	39,15	101,89
6	30	45	87,22	106,33
7	35	50	106,52	112,31
8	40	55	93,97	100,54
9	45	60	89,92	78,92
10	50	65	82,39	91,66
11	55	70	81,04	82,78
12	60	70	76,21	100,73
13	65	70	76,02	82,97
14	70	70	79,11	75,06
15	90	70	65,60	76,79

Tabelle 18: Extinktionsdifferenzwerte 215-225 nm zweier Laboranten der gleichen Würzen

Lösl. N nach Kjeldahl/mg/l	Extinktionsdifferenz Laborant 1	Extinktionsdifferenz Laborant 2
744,8	0,277	0,32
963,2	0,366	0,384
935,2	0,368	0,378
968,8	0,374	0,387
963,2	0,371	0,384
952	0,362	0,379
952	0,354	0,386
935,2	0,346	0,371
795,2	0,298	0,321
1019,2	0,379	0,404
907,2	0,35	0,371
974,4	0,352	0,386

Tabelle 19: Löslicher Stickstoff nach Kjehldahl und zugehörige Werte der Extinktionsdifferenz über alle Labormaischversuche

lösl. N nach Kjehldahl/mg/l	Extinktionsdifferenz 215-225 nm	lösl. N nach Kjehldahl/mg/l	Extinktionsdifferenz 215-225 nm
795,2	0,345	851,2	0,373
711,2	0,304	795,2	0,303
767,2	0,321	868	0,348
823,2	0,383	728	0,296
744,8	0,277	851,2	0,326
963,2	0,366	750,4	0,299
935,2	0,368	840	0,331
968,8	0,374	795,2	0,333
963,2	0,371	823,2	0,365
952	0,362	868	0,362
952	0,354	728	0,308
935,2	0,346	795,2	0,356
795,2	0,298	823,2	0,368
1019,2	0,379	862,4	0,350
907,2	0,350	935,2	0,376
974,4	0,352	907,2	0,376
800,8	0,322	812	0,353
756	0,310	1008	0,414
851,2	0,330	1008	0,408
840	0,335	1019,2	0,407
952	0,327	1019,2	0,415
806,4	0,337	890,4	0,393
952	0,408	873,6	0,361
952	0,403	767,2	0,353
896	0,360	694,4	0,311
968,8	0,383	705,6	0,323
980	0,392	980	0,388
744,8	0,315	901,6	0,363
879,2	0,366	912,8	0,365

Tabelle 20: FAN-Werte und Lösl. N-Werte nach Kjedahl über drei Kongressmaischversuche und deren Mittelwerte

Probe	Zeit/min	T/°C	FAN/mg/l Versuch 1	FAN/mg/l Versuch 2	FAN/mg/l Versuch 3	FAN- Mittelwert/mg/l	lösl. N nach Kjedahl/mg/l Versuch 1	lösl. N nach Kjedahl/mg/ Versuch 2	lösl. N nach Kjedahl/mg/ Versuch 3	Mittelwert lösl. N nach Kjedahl/mg/l
1	0	45	26,50	26,44	24,14	25,7	1393,0	1384,6	1556,8	1444,8
2	10	45	28,38	32,18	25,72	28,8	1493,8	1650,6	1293,6	1479,3
3	20	45	31,62	32,18	26,52	30,1	1628,2	1555,4	1656,2	1613,3
4	30	45	33,07	31,66	28,49	31,1	1772,4	1614,2	1744,4	1710,3
5	40		35,58	40,94	30,07	35,5	1754,2	1957,2	1828,4	1846,6
6	50		34,99	37,50	28,65	33,7	1762,6	1776,6	1703,8	1747,7
7	60	70	33,15	33,88	28,17	31,7	1668,8	1562,4	1685,6	1638,9
8	70	70	35,41		30,49	33,0				
9	80	70	38,01		29,19	33,6	1874,6		1836,8	1855,7
10	90	70	39,08	39,06	30,04	36,1	1930,6	1863,4	1884,8	1892,9
11	100	70	36,61	43,07	32,08	37,3	1794,8	2017,4	1888,6	1900,3
12	110	70	36,99	41,90	32,81	37,2		1922,2		1922,2

Tabelle 21: FAN-Werte und Lösl. N-Werte nach Kjedahl über zwei Eybenmaischversuche und deren Mittelwerte

Zeit [min]	T [°C]	lösl.N/mg/l Versuch1	lösl.N/mg/l Versuch2	Mittelwert lösl. N/mg/l	FAN/mg/100 ml Versuch1	FAN/mg/100ml Versuch2	Mittelwert FAN/mg/100 ml
0	45	1482,6	901,6	1192,1	22,6	25,5	24,1
10	45	1531,6	935,2	1233,4	23,8	31,4	27,6
20	45	1597,4	1034,6	1316,0	25,6	28,9	27,3
30	45	1677,2	1080,8	1379,0	27,5	34,5	31,0
40		1716,4	1125,6	1421,0	27,6	41,8	34,7
50	62	1834,0	984,2	1409,1	29,3	33,4	31,4
60	62	1766,8	992,6	1379,7	29,1	32,8	31,0
70	62	1822,8	1017,8	1420,3	28,2	35,5	31,8
80		1848,0	1153,6	1500,8	30,3	32,0	31,2
90	70	2041,2	1069,6	1555,4	32,2	39,3	35,8
100	70	1981,0	1192,8	1586,9			
110	70				33,1	39,4	36,3

Tabelle 22: Werte der Jodprobe und des Extraktes über zwei Kongressmaisverfahren im Labormaßstab

Probe	Zeit/ min	Temperatur /°C	Jodprobe Versuch 1	Extrakt Versuch 1/ GG %	extrakt- bezogene Jodprobe Versuch 1	Jodprobe Versuch 2	Extrakt Versuch 2/GG %	extrakt- bezogene Jodprobe Versuch 2
1	0	45	0,51	5,21	1,17	0,55	6,16	1,07
2	10	45	0,39	6,89	0,68	0,47	7,15	0,79
3	20	45	0,34	6,81	0,60	0,47	7,39	0,76
4	30	45	0,36	6,85	0,63	0,45	8,52	0,63
5	40	55	0,35	9,21	0,46	0,38		
6	50	65	0,40	16,01	0,30	0,39	17,04	0,27
7	60	70	0,37	16,19	0,27	0,36	17,53	0,25
8	70	70	0,31	17,06	0,22	0,38	18,33	0,25
9	80	70				0,37	18,15	0,24
10	90	70	0,28	18,53	0,18	0,44	18,53	0,28
11	100	70	0,28			0,37		
12	110	70	0,28	18,98	0,18	0,36	18,98	0,23

Tabelle 23: Werte der Jodprobe und des Extraktes über zwei Eybenmaisverfahren

Probe	Zeit/ min	Temperatur /°C	Jodprobe Versuch 1	Extrakt Versuch 1 /GG%	extrakt- bezogene Jodprobe Versuch 1	Jodprobe Versuch 2	Extrakt Versuch 2/GG%	extrakt- bezogene Jodprobe Versuch 2
1	0	45	0,38	5,97	0,76	0,35	6,98	0,60
2	10	45	0,39	6,46	0,72	0,36	7,59	0,57
3	20	45	0,36	7,05	0,61	0,37	8,23	0,54
4	30	45	0,33	7,73	0,51	0,39	8,35	0,56
5	40	55	0,26	10,26	0,30	0,39	11,70	0,40
6	50	62	0,35	16,26	0,26	0,46	16,30	0,34
7	60	62	0,29	16,32	0,21	0,34	16,99	0,24
8	70	62	0,25	16,72	0,18	0,42	17,06	0,30
9	80	65	0,29	17,48	0,20	0,41	17,82	0,28
10	90	70	0,25	19,32	0,16	0,38	18,30	0,25
11	100	70	0,20			0,37	18,68	0,24
12	110	70	0,16			0,36	19,57	0,22

Tabelle 24: β -Glucangehalte einer Kongressmaische gemessen mit Foss Tecator

Probe	Zeit/min	T/°C	β -Glucan/mg/l
1	0	45	0,0
2	10	45	0,0
3	20	45	0,0
4	30	45	0,0
5	40		0,0
6	50		145,1
7	60	70	281,0
8	70	70	145,9
9	80	70	
10	90	70	252,9
11	100	70	151,4
12	110	70	183,3

Tabelle 25 β -Glucangehalte zweier Maischversuche mit dem Malz „Neruda“

Zeit/min	Temperatur/°C	Extrakt 291101/GG%	b-Glucan 291101/mg/l	Extrakt 051201/GG%	b-Glucan 051201/mg/l
0	50	4,06	8,5	3,15	75,9
10	50	5,59	33,8	4,43	73,8
20	50	6,34	121,7	5,03	88,7
30	50	6,76	181,8	5,34	88,6
50	60	13,85	522,2	12,24	374,2
60	70	15,95	669,5	13,8	614,7
70	70	16,05	682,6	13,86	669,4
80	70	16,38	745,1	13,97	779,5
90	70	16,39	670,5	13,98	811,3

Tabelle 26: β -Glucangehalte zweier Maischversuche mit dem Malz „Danuta“

Zeit/min	Temperatur/°C	Extrakt 131201/GG%	b-Glucan 131201/mg/l	Extrakt 160102/GG%	b-Glucan 160102/mg/l
0	50	5,15	17,1	4,52	13,7
10	50	6,82	37,1	6,43	14,1
20	50	7,48	77,6	5,76	10,9
30	50	7,95	147,9	8,9	6,3
50	60	13,16	566	14,17	112,1
60	70	15,51	802,9	16,7	322
70	70	15,85	857,7	16,87	431,3
80	70	15,9	883,3	16,92	448
90	70	15,96	736,3	17,01	500,5

Tabelle 27: β -Glucangehalte unterschiedlich langer Maischverfahren

Zeit	beta-Glucan kurz/mg/l	beta-Glucan mittel/mg/l	beta-Glucan lang/mg/l	beta-Glucan extrem lang/mg/l
0	13,7	53,1	46,1	49,4
10	14,1			
15		43,2		
20	10,9		52,2	
25				193
30	6,3	105,7		
40			113,2	
45		173,5		
50	112,1			328,9
55				
60	322		171,5	
70	431,3	312,4		
75				370,8
80	448	1147		
85				
90	500,5		373,2	
95		1011,2		
100				
110		922,6		521
120			576,1	579,4
125		686		
140			632,9	605,7
145				
160			603,7	
170				621,9
195				625,9

Tabelle 28: β -Glucangehalte in 5 Eybenmaischen im Pilotsudwerk

Probe	Zeit/min	Temperatur /°C	b-Glucan/mg/l 30.07.02	b-Glucan/mg/l 19.06.02	b-Glucan/mg/l 06.08.02	b-Glucan/mg/l 29.05.02	b-Glucan/mg/l 30.04.02	Mittelwert/mg/l	Standardabweichung
1	0	45	20,6	0	4,9	4	2	6,3	7,3
2	10	45	10,1	0	42,4	17	9	15,7	14,4
3	20	45	0	0	29,6	25	0	10,92	13,5
4	30	45	2,1	0	37,1	0	0	7,84	14,7
5	37	52	0	0	25,1	9	24	11,62	11,1
6	42	57	0	0	78,8	131	5	42,96	53,2
7	47	62	70,1	41	152,3	254	73	118,08	77,4
8	52	62	107,1	68	214,8	247	158	158,98	66,1
9	57	62	88,3	118	197,4	320	141	172,94	81,8
10	62	62	179,7	155	234,1	340	195	220,76	64,9
11	67	62	218,6	174	268,2	340	227	245,56	55,9
12	77	62	210,9	233	305,6	379	254	276,5	60,1
13	85	70	252,4	308	340,9	463	297	332,26	71,2
14	95	70	330,6	410	393,5	468	323	385,02	53,6
15	105	70	348,9	458	424,5	478	354	412,68	52,9
16	115	70	378,9	495	444,9	504	340	432,56	64,2

Tabelle 29: FAN- Gehalte von 3 kurzen Pilotmaischen des Malzes "Neruda" in mg/l

Zeit/min	Temperatur/°C	FAN Versuch 1	FAN Versuch 2	FAN Versuch 3
0	50	109	125	123
10	50	138	158	148
20	50	141	163	151
30	50	144	175	160
50	60	156	177	166
60	70	190	177	168
70	70	190	183	159
80	70	158	190	177
90	70	168	147	172

Tabelle 30: FAN- Gehalte von 3 kurzen Pilotmaischen des Malzes "Danuta" in mg/l

Zeit/min	Temperatur	FAN Versuch 1	FAN Versuch 2	FAN Versuch 3
0	50	221	204	270
10	50	243	248	303
20	50	296	247	303
30	50	298	266	289
50	60	312	309	318
60	70	313	284	316
70	70	314	272	308
80	70	314	287	307
90	70	249	283	318

Tabelle 31: FAN-Gehalte unterschiedlich langer Maischverfahren

Zeit	FAN kurz/mg/l	FAN mittel/mg/l	FAN lang/mg/l	FAN extrem lang/mg/l
0	277	283	277	246
15		266		
20	315		318	
25				303
30	325	310		
40			333	
45		345		
50	311			322
60	343		360	
70	321	348		
75				353
80	325	360		
90	333		346	
95		367		
100			359	
110		316		370
120			351	363
125		332		
140			362	369
160			355	
170				364
195				371

Tabelle 32: FAN-Werte in mg/100 ml über 6 Eybenmaischversuche im Pilotsudwerk

Zeit/min	Temperatur /°C	FAN Versuch 1	FAN Versuch 2	FAN Versuch 3	FAN Versuch 4	FAN Versuch 5	FAN Versuch 6	Mittelwert	Standardabweichung
0	45	23,38	26,13	22,47	24,72	22,5	25,7	24,15	1,46
10	45	30,16	32,47	28,3	30,05	31,6	31,9	30,7467	1,40
20	45	31,85	36,38	30,76	32,78	34,3	34,2	33,3783	1,83
30	45	33,19	37,35	33,1	33,83	36,5	36,9	35,145	1,80
37	52	34,95	38,86	34,08	36,04	37,9	38,3	36,6883	1,78
42	57	34,91	38,84	34,44	36,08	38,5	38,9	36,945	1,87
47	62	33,04	35,31	31,68	34,75	36,6	36	34,5633	1,70
52	62	32,87	34,55	32,77	35,05	35,1	35,4	34,29	1,07
57	62	33,09	35,84	32,64	35,08	33,4	34,6	34,1083	1,15
62	62	33,22	35,74	32,46	35,77	35	35,9	34,6817	1,35
67	62	33,27	35,73	32,87	35,2	35	36,4	34,745	1,27
77	62	33,7	35,67	33,27	35,94	35,5	36,3	35,0633	1,15
85	70	32,91	36,37	33,2	36,08	34,5	36,3	34,8933	1,44
95	70	33,77	35,47	34,14	36,79	33,6	35,7	34,9117	1,16
105	70	33,74	35,41	33,39	36,44	30,2	35,4	34,0967	2,03
115	70	34,23	34,74	33,4	36,73	34,1	33,9	34,5167	1,07

Tabelle 33: Extrakt-Gehalte in GG % von drei Maischversuchen mit Malz „Danuta“

Zeit/min	Temperatur/ °C	Extrakt Versuch 1	Extrakt Versuch 2	Extrakt Versuch 3
0	50	4,02	4,06	3,15
10	50	5,3	5,59	4,43
20	50	5,98	6,34	5,03
30	50	6,44	6,76	5,34
50	60	13,46	13,85	12,24
60	70	15,25	15,95	13,8
70	70	15,26	16,05	13,86
80	70	15,28	16,38	13,97
90	70	15,44	16,39	13,98

Tabelle 34: Extrakt-Gehalte in GG % von drei Maischversuchen mit Malz „Neruda“

Zeit	Temperatur	Extrakt Versuch 1	Extrakt Versuch 2	Extrakt Versuch 3
0	50	5,15	5,15	4,52
10	50	6,08	6,82	6,43
20	50	7,51	7,48	5,76
30	50	8,04	7,95	8,9
50	60	13,01	13,16	14,17
60	70	15,58	15,51	16,7
70	70		15,85	16,87
80	70	15,69	15,9	16,92
90	70	15,7	15,96	17,01

Tabelle 35: Extraktgehalte unterschiedlich langer Maischverfahren

Zeit	Extrakt kurz/GG%	Extrakt mittel/GG%	Extrakt lang/GG%	Extrakt extrem lang/GG%
0	4,52	7,67	6,38	6,39
10	6,43			
15		8,13		
20	5,76		8,35	
25				8,47
30	8,9	9,1		
40			9,28	
45		9,6		
50	14,17			9,44
60	16,7		9,87	
70	16,87	14,82		
75				10,28
80	16,92	16,36		
90	17,01		14,35	
95		16,37		
100			16,53	
110		16,35		14,38
120			16,68	16,62
125		16,49		
140			16,83	16,6
160			16,68	
170				16,65
195				16,8

Tabelle 36: Extraktgehalte in GG% über 6 Eybenmaisversuche im Pilotsudwerk

Zeit/min	Temperatur/°C	Extrakt Versuch 1 30.07.02	Extrakt Versuch 2 19.06.02	Extrakt Versuch 3 06.08.02	Extrakt Versuch 4 29.05.02	Extrakt Versuch 5 15.05.02	Extrakt Versuch 6 30.04.02	Mittelwert	Standardabweichung
0	45	4,47	4,31	4,34	4,55	4,09	4,3	4,34	0,14
10	45	5,5	5,31	5,57	5,35	5,29	5,25	5,38	0,12
20	45	5,86	5,98	5,96	5,86	5,83	5,68	5,86	0,10
30	45	6,24	6,2	6,33	6,05	6,17	6,07	6,18	0,10
37	52	6,5	6,5	6,62	6,96	6,38	6,44	6,57	0,19
42	57	8,97	8,14	9,17	11,15	6,99	7,51	8,66	1,35
47	62	13,34	13,92	13,84	14,62	11,47	13,17	13,39	0,98
52	62	14,27	14,64	14,56	14,94	13,77	14,18	14,39	0,37
57	62	14,55	15	14,88	15,01	14,34	14,82	14,77	0,24
62	62	14,83	15,21	15,06	15,3	14,67	15,2	15,05	0,22
67	62	14,97	15,38	15,22	15,37	15,18	15,39	15,25	0,15
77	62	15,18	15,59	15,41	15,48	15,38	15,62	15,44	0,15
85	70	15,49	15,79	15,57	16,22	15,73	15,89	15,78	0,24
95	70	15,7	16,15	15,88	16,25	14,38	16,14	15,75	0,64
105	70	15,75	16,15	15,93	16,31	16,2	16,24	16,10	0,19
115	70	15,79	16,2	15,94	16,4	16,14	15,51	16,00	0,29

Tabelle 37: Werte der fotometrischen Jodprobe und Extraktwerte für drei Versuche eines Maischverfahrens mit Malz „Neruda“

Extrakt/ GG% Versuch 1	Jodprobe Versuch 1	auf 12 %	Extrakt/ GG% Versuch 2	Jodprobe Versuch 2	auf 12 %	Extrakt/ GG% Versuch 3	Jodprobe Versuch 3	auf 12 %
4,02	1,49	4,45	4,06	1,11	3,28	3,15	0,86	3,28
5,3	1,67	3,78	5,59	1,48	3,18	4,43	1,14	3,09
5,98	1,71	3,43	6,34	1,58	2,99	5,03	1,17	2,79
6,44	1,78	3,32	6,76	1,48	2,63	5,34	1,17	2,63
13,46	1,25	1,11	13,85	1,06	0,92	12,24	0,84	0,82
15,25	1,35	1,06	15,95	1,13	0,85	13,8	1,01	0,88
15,26	1,15	0,90	16,05	1,13	0,85	13,86	0,98	0,85
15,28	1,12	0,88	16,38	1,14	0,84	13,97	0,96	0,83
15,44	1,04	0,81	16,39	0,7	0,51	13,98	0,84	0,72

Tabelle 38: Werte der fotometrischen Jodprobe und Extraktwerte für drei Versuche eines Maischverfahrens mit Malz „Danuta“

Extrakt/ GG% Versuch 1	Jodprobe Versuch 1	auf 12 %	Extrakt/ GG% Versuch 2	Jodprobe Versuch 2	auf 12 %	Extrakt/ GG% Versuch 3	Jodprobe Versuch 3	auf 12 %
5,15	1,61	3,75	7,08	1,59	2,69	4,52	1,05	2,79
6,82	1,67	2,94	8,26	1,51	2,19	6,43	0,71	1,33
7,48	1,63	2,62	8,64	1,38	1,92	5,76	0,8	1,67
7,95	1,75	2,64	9,33	1,4	1,80	8,9	0,6	0,81
13,16	1,02	0,93	14,83	1,19	0,96	14,17	0,48	0,41
15,51	1,01	0,78	16,67	1,27	0,91	16,7	0,5	0,36
15,85	1,08	0,82	17,5	1,16	0,80	16,87	0,44	0,31
15,9	1,06	0,80	17,63	1,11	0,76	16,92	0,42	0,30
15,96	0,88	0,66	17,7	1,1	0,75	17,01	0,45	0,32

Tabelle 39: Werte der fotometrischen Jodprobe unterschiedlich langer Maischverfahren

Zeit	Jodprobe kurz	Jodprobe mittel	Jodprobe lang	Jodprobe extrem lang
0	2,79	2,17	3,59	2,57
10	1,33			
15		2,08		
20	1,67		2,90	
25				1,91
30	0,81	1,93		
40			2,70	
45		1,65		
50	0,41			2,12
60	0,36		2,52	
70	0,31	1,04		
75				2,02
80	0,30	0,78		
90	0,32		1,55	
95		0,84		
100			1,21	
110		0,73		1,33
120			1,11	1,06
125		0,68		
140			1,03	1,00
160			1,06	
170				0,83
195				0,76

Tabelle 40: Umrechnung der Jodprobenwerte von Tabelle 39 auf den Extraktgehalt 12 %GG

Extrakt/ GG% kurz	Jod- probe kurz	auf 12 %	Extrakt/ GG% mittel	Jod- probe mittel	auf 12 %	Extrakt/ GG% lang	Jod- probe lang	auf 12 %	Extrakt/ GG% extrem lang	Jod- probe extrem lang	auf 12 %
4,52	1,05	2,79	7,67	1,39	2,17	6,38	1,91	3,59	6,39	1,37	2,57
6,43	0,71	1,33	8,13	1,41	2,08	8,35	2,02	2,90	8,47	1,35	1,91
5,76	0,8	1,67	9,1	1,46	1,93	9,28	2,09	2,70	9,44	1,67	2,12
8,9	0,6	0,81	9,6	1,32	1,65	9,87	2,07	2,527	10,28	1,73	2,02
14,17	0,48	0,41	14,82	1,29	1,04	14,35	1,85	1,547	14,38	1,59	1,33
16,7	0,5	0,36	16,36	1,06	0,78	16,53	1,67	1,21	16,62	1,47	1,06
16,87	0,44	0,31	16,37	1,14	0,84	16,68	1,54	1,11	16,6	1,39	1,00
16,92	0,42	0,30	16,35	0,99	0,73	16,83	1,45	1,03	16,65	1,15	0,83
17,01	0,45	0,32	16,49	0,93	0,68	16,68	1,47	1,06	16,8	1,06	0,76

Tabelle 41: Werte der fotometrischen Jodprobe über 4 Versuche mit Eybenmaischverfahren im Pilotsudwerk auf 12 % berechnet (siehe Tabelle 42)

Zeit/ min	Temperatur /°C	Jodprobe Versuch 1	Jodprobe Versuch 2	Jodprobe Versuch 3	Jodprobe Versuch 4	Mittelwert	Standard- abw.
0	45	5,25	4,49	2,79	3,82	4,09	0,91
10	45	4,54	6,06	2,28	3,78	4,16	1,36
20	45	5,11	6,15	3,84	3,35	4,61	1,10
30	45	5,81	5,82	3,22	2,80	4,41	1,41
37	52	6,28	4,59	3,04	2,78	4,17	1,40
42	57	4,27	2,33	2,99	2,17	2,94	0,83
47	62	2,00	1,56	0,94	0,96	1,37	0,45
52	62	1,66	1,31	0,72	0,90	1,15	0,37
57	62	1,60	1,40	0,70	0,87	1,14	0,37
62	62	1,65	1,38	0,57	0,84	1,11	0,43
67	62	1,68	1,51	0,57	0,98	1,19	0,44
77	62	1,54	1,38	0,54	0,92	1,10	0,39
85	70	1,35	1,127	0,45	0,84	0,94	0,34
95	70	1,18	0,98	0,40	0,68	0,81	0,30
105	70	1,07	0,96	0,35	0,61	0,75	0,29
115	70	1,16	0,86	0,32	0,62124565	0,74	0,31

Tabelle 42: Umrechnung der Werte der fotometrischen Jodprobe für Tabelle 41 auf 12 % Extrakt

Versuch 1 19.6.02	Extrakt/ GG%	auf 12 %	Versuch 2 29.5.02	Extrakt/ GG%	auf 12 %	Versuch 3 15.5.02	Extrakt/ GG%	auf 12 %	Versuch 4 30.4.02	Extrakt/ GG%	auf 12 %
1,89	4,31	5,25	1,70	4,55	4,49	0,95	4,09	2,79	1,37	4,30	3,82
2,01	5,31	4,54	2,70	5,35	6,06	1,00	5,29	2,28	1,65	5,25	3,78
2,54	5,98	5,11	3,00	5,86	6,15	1,87	5,83	3,84	1,58	5,68	3,35
3,00	6,2	5,81	2,94	6,05	5,82	1,65	6,17	3,22	1,41	6,07	2,80
3,40	6,5	6,28	2,66	6,96	4,59	1,62	6,38	3,04	1,49	6,44	2,78
2,90	8,14	4,27	2,17	11,15	2,33	1,74	6,99	2,99	1,36	7,51	2,17
2,32	13,92	2,00	1,91	14,62	1,56	0,90	11,47	0,94	1,05	13,17	0,96
2,03	14,64	1,66	1,64	14,94	1,31	0,83	13,77	0,72	1,06	14,18	0,90
2,00	15	1,60	1,76	15,01	1,40	0,84	14,34	0,70	1,08	14,82	0,87
2,09	15,21	1,65	1,76	15,3	1,38	0,70	14,67	0,57	1,06	15,20	0,84
2,16	15,38	1,68	1,94	15,37	1,51	0,72	15,18	0,57	1,26	15,39	0,98
2,01	15,59	1,54	1,78	15,48	1,38	0,70	15,38	0,54	1,19	15,62	0,92
1,77	15,79	1,34	1,51	16,22	1,12	0,59	15,73	0,45	1,11	15,89	0,84
1,59	16,15	1,18	1,32	16,25	0,98	0,47	14,38	0,40	0,91	16,14	0,68
1,44	16,15	1,07	1,31	16,31	0,96	0,47	16,2	0,35	0,83	16,24	0,61
1,57	16,2	1,16	1,18	16,4	0,86	0,42	16,14	0,32	0,80	15,51	0,62

Tabelle 43: Werte der temperaturkorrigierten Leitfähigkeit in mS/cm und des FAN-Gehaltes in mg/100 ml für 5 gleich gehaltene Versuche nach dem Eybenmaischverfahren

Zeit/min	Temperatur/°C	Leitfähigkeit Versuch 1	FAN Versuch 1	Leitfähigkeit Versuch 2	FAN Versuch 2	Leitfähigkeit Versuch 3	FAN Versuch 3	Leitfähigkeit Versuch 4	FAN Versuch 4	Leitfähigkeit Versuch 5	FAN Versuch 5
0	45	2,6454	25,7	2,5739	22,5	2,7574	30,6	2,5927	24,72	2,6417	26,13
10	45	3,4149	31,9	3,4012	31,6	3,5172	33,3	3,3873	30,05	3,3688	32,47
20	45	3,6254	34,2	3,6073	34,3	3,7000	37,5	3,5885	32,78	3,5682	36,38
30	45	3,7466	36,9	3,7408	36,5	3,8516	40,0	3,7197	33,83	3,6952	37,35
37	52	3,8117	38,3	3,8211	37,9	3,9407	41,6	3,7730	36,04	3,7537	38,86
42	57	3,8396	38,9	3,8725	38,5	3,9601	43,6	3,8629	36,08	3,7692	38,84
47	62	3,6819	36	3,8286	36,6	3,7942	40,7	3,8669	34,75	3,6797	35,31
52	62	3,7461	35,4	3,7224	35,1	3,8714	40,2	3,7264	35,05	3,7408	34,55
57	62	3,8226	34,6	3,8373	33,4	3,9350	39,8	3,8191	35,08	3,7968	35,84
62	62	3,8430	35,9	3,8988	35,0	3,9857	40,3	3,8725	35,77	3,8386	35,74
67	62	3,8941	36,4	3,9339	35,0	4,0338	40,3	3,9082	35,20	3,8830	35,73
77	62	3,9451	36,3	3,9970	35,5	4,0905	41,6	3,9599	35,94	3,9207	35,67
85	70	3,9918	36,3	4,0166	34,5	4,1273	40,1	3,9967	36,08	3,9238	36,37
95	70	4,0399	35,7	4,0758	33,6	4,1701	39,9	4,0373	36,79	4,0155	35,47
105	70	4,0598	35,4	4,0875	30,2	4,2119	39,7	4,0804	36,44	4,0263	35,41
115	70	4,0754	33,9	4,1058	34,1	4,2294	40,0	4,1009	36,73	4,0423	34,74

Tabelle 44 Mittelwerte der Größen aus Tabelle 43

Zeit/min	Temperatur/°C	Mittelwert Leitfähigkeit/mS/cm	Mittelwert FAN/mg/100 ml
0	45	2,6422	25,93
10	45	3,4179	31,86
20	45	3,6179	35,03
30	45	3,7508	36,92
37	52	3,8200	38,54
42	57	3,8609	39,18
47	62	3,7702	36,67
52	62	3,7614	36,06
57	62	3,8422	35,74
62	62	3,8877	36,54
67	62	3,9306	36,53
77	62	3,9826	37,00
85	70	4,0112	36,67
95	70	4,0677	36,29
105	70	4,0932	35,43
115	70	4,1108	35,89

Tabelle 45: Werte der online-Jodprobe für ein Eybenmischverfahren

Probe	Zeit/min	Temperatur/°C	Ext. bei 578 nm
1	0	45	0,09283333
2	10	45	0,11194383
3	20	45	0,11364683
4	30	45	0,12705233
5	37	52	0,12564983
6	42	57	0,15430517
7	47	62	0,30221183
8	52	62	0,21909033
9	57	62	0,16872717
10	62	62	0,12674383
11	67	62	0,10198300
12	77	62	0,07627417
13	85	70	0,06621900
14	95	70	0,03674967
15	105	70	0,03044217
16	115	70	0,03395867

Tabelle 46: Extraktwerte über 5 gleich gehaltene Eybenmischverfahren

Extrakt Versuch /GG%	1	Extrakt Versuch /GG%	2	Extrakt Versuch /GG%	3	Extrakt Versuch /GG%	4	Extrakt Versuch /GG%	5	Extrakt-Mittelwert/ GG%
5,25	5,75	5,29	5,35	5,31	5,39					
5,68	6,51	5,83	5,86	5,98	5,97					
6,07	6,88	6,17	6,05	6,20	6,27					
6,44	7,23	6,38	6,96	6,50	6,70					
7,51	8,42	6,99	11,15	8,14	8,44					
13,17	13,85	11,47	14,62	13,92	13,41					
14,18	15,40	13,77	14,94	14,64	14,59					
14,82	16,00	14,34	15,01	15,00	15,03					
15,20	16,27	14,67	15,3	15,21	15,33					
15,39	16,61	15,18	15,37	15,38	15,59					
15,62	16,82	15,38	15,48	15,59	15,78					
15,89	17,52	15,73	16,22	15,79	16,23					
16,14	17,74	14,38	16,25	16,15	16,13					
16,24	17,84	16,20	16,31	16,15	16,55					
15,51	17,85	16,14	16,40	16,20	16,42					

Tabelle 47: Werte der online gemessenen Dichte in g/l über 5 gleich gehaltene Eybenmaisverfahren

Dichte Paar temperaturkorriert Versuch 1	Dichte Paar temperaturkorriert Versuch 2	Dichte Paar temperaturkorriert Versuch 3	Dichte Paar temperaturkorriert Versuch 4	Dichte Paar temperaturkorriert Versuch 5	Dichte- Mittelwert
1021,68257	1031,10229	1027,20304	1024,16155	1013,38902	1023,50769
1034,83394	1044,8429	1035,92923	1036,26199	1035,05373	1037,38436
1036,92814	1048,09018	1038,48943	1039,06594	1037,43263	1040,00126
1038,68307	1049,32865	1039,88215	1040,46343	1039,43199	1041,55786
1038,63709	1049,19248	1040,00647	1041,08971	1039,36138	1041,65743
1039,32138	1049,73613	1040,28461	1041,25288	1040,1553	1042,15006
1043,68236	1051,91233	1042,47597	1041,56847	1042,43836	1044,4155
1043,22409	1051,37794	1043,9241	1044,36374	1043,0034	1045,17866
1042,96455	1051,41187	1043,75076	1043,8697	1043,25714	1045,0508
1043,32303	1051,47325	1043,77788	1044,27707	1043,4302	1045,25629
1043,5392	1051,56645	1043,80745	1044,45548	1043,61463	1045,39664
1043,80995	1051,72925	1044,00546	1044,73442	1043,915	1045,63882
1044,09124	1051,91401	1044,41364	1044,87639	1044,28942	1045,91694
1044,35415	1052,03878	1044,71633	1045,11208	1044,54198	1046,15266
1044,5124	1052,20239	1044,87019	1045,41931	1044,72606	1046,34607
1044,65834	1052,27947	1045,02344	1045,55489	1044,85041	1046,47331

Tabelle 48: Werte der online gemessenen Schallgeschwindigkeit in m/s über 5 gleich gehaltene Eybenmaisverfahren

Schall temperaturkorriert Versuch 1	Schall temperaturkorriert Versuch 2	Schall temperaturkorriert Versuch 3	Schall temperaturkorriert Versuch 4	Schall temperaturkorriert Versuch 5	Schallgeschwin- digkeit- Mittelwert
1582,66105	1589,02332	1583,13735	1583,50998	1582,69553	1584,20545
1584,21191	1591,46167	1585,09034	1585,49758	1584,45248	1586,1428
1585,65357	1592,66287	1586,323	1586,68327	1586,00331	1587,4652
1586,80788	1593,39549	1587,30065	1588,13261	1587,08578	1588,54448
1587,57766	1593,88776	1587,99276	1588,52081	1587,86799	1589,16939
1590,86483	1595,93772	1589,42543	1588,94657	1590,39376	1591,11366
1591,62871	1596,59375	1591,49761	1591,2106	1591,45925	1592,47798
1591,85931	1597,086	1592,02371	1591,94975	1591,98262	1592,98028
1592,3365	1597,45028	1592,40531	1592,58619	1592,33534	1593,42272
1592,66874	1597,76022	1592,66138	1592,98974	1592,64604	1593,74522
1593,18005	1598,26083	1593,14162	1593,54227	1593,10723	1594,2464
1593,58348	1598,38045	1593,6448	1593,8289	1593,56987	1594,6015
1593,91954	1598,63207	1594,08701	1594,20051	1593,92509	1594,95284
1594,09044	1598,83793	1594,26327	1594,58544	1594,07703	1595,17082
1594,2316	1598,96599	1594,40227	1594,72234	1594,1622	1595,29688

Tabelle 49: Kalibriereiweiße mit Molekülgröße und Retentionszeiten

Proteine	Retentionszeit/min	Molekulargewicht/kDa
Cytochrome c	249	12,4
Carbonic Anhydrase	225,782	29
Albumin	189,281	66
Alkohol Dehydrogenase	170,734	150
β-Amylase	157,557	200

Tabelle 50: Werte von Zuckern über ein Eybenmaisverfahren mit 100 % Spitzmalz

Probe	Zeit/min	Glucose/g/l	Maltose/g/l	Maltotriose/g/l
1	0	5,8	6,2	0
2	10	6,8	8,1	0
3	20	7,8	9,1	0
4	30	8,7	9,6	0
5	37	9,2	10	0
6	42	9,9	15,3	0
7	47	12,3	51,4	3,2
8	52	12,5	63,6	5,7
9	57	13,2	69,2	7,7
10	62	13,2	70,7	8,4
11	67	12,8	71,8	8,3
12	77	13,1	74,7	9,5
13	85	13,3	77,1	10,5
14	95	13,5	77,4	11,1
15	105	13,1	77,5	12,4
16	115	13	77,8	12,5

Tabelle 51: Werte von Zuckern in g/l über ein Eybenmaisverfahren mit 50 % Spitzmalz und 50 % Pilsener Malz

Probe	Zeit/min	Glucose	Maltose	Maltotriose
1	0	4,02	6,69	0,00
2	10	5,62	9,85	0,00
3	20	7,20	12,64	0,00
4	30	7,87	12,15	0,00
5	37	9,17	13,34	0,00
6	42	8,99	16,50	0,00
7	47	9,94	46,15	5,17
8	52	11,42	61,40	8,67
9	57	12,68	72,12	9,59
10	62	11,71	67,38	9,78
11	67	12,57	71,68	10,83
12	77	13,69	78,76	12,15
13	85	14,02	80,56	12,54
14	95	13,40	78,69	12,85
15	105	11,88	71,80	12,78
16	115	12,73	74,92	13,00

Tabelle 52: Werte von Zuckern in g/l über ein isothermes (60 °C) Maischverfahren mit 30 % Spitzmalz und 70 % Pilsener Malz

Probe	Zeit	Glucose/g/l	Maltose/g/l	Maltotriose/g/l
1	0	8,83	58,09	6,42
2	10	8,90	67,11	10,18
3	20	10,85	72,35	10,79
4	30	11,26	76,74	12,03
5	40		84,91	14,41
6	50	13,85	87,77	14,55
7	60	13,46	83,93	12,86
8	70	14,92	88,91	13,72
9	80	15,26	87,68	14,92
10	90	14,66	88,84	14,89

Lebenslauf

Persönliche Daten

Name Torsten Dickel
Anschrift Werdenfelser Str. 5
85356 Freising
geboren 17.06.1974 in Hamburg

Berufserfahrung

seit Januar 2000 wissenschaftlicher Angestellter
am Lehrstuhl für Technologie der Brauerei I und Getränketechnologie,
Wissenschaftszentrum Weihenstephan
für Ernährung, Landnutzung und Umwelt,
Technische Universität München

1996-1999

studentische Hilfskraft
am Lehrstuhl für Fluidmechanik und Prozessautomation:
Organisation und Durchführung von Probenahmeplänen
am Lehrstuhl für Technologie der Brauerei I und Getränketechnologie:
Laborbetreuung von Studentenpraktika

1994

Betriebspraktikum (6 Monate) bei Kapplerbräu Altomünster

Promotionsstudium

seit Januar 2000

Thema: Untersuchungen zu enzymatischen Abbauprodukten beim Maischen im
Hinblick auf die Entwicklung eines Prozessführungssystems
am Lehrstuhl für Technologie der Brauerei I und Getränketechnologie
Technische Universität München
Angestrebter Titel: Dr.-Ing.

Studium

November 1994-Dezember 1999

Brauwesen und Getränketechnologie an der
Technischen Universität München
Freising-Weihenstephan
Abschluss: Dipl.-Ing. (Univ.)
Diplomarbeit: Einfluss des Trubeintrages auf den Geschmack und die
Geschmacksstabilität von Bier

Wehrdienst

Juli 1993-Juni 1994

Grundwehrdienst in Traunstein

Schulbildung

September 1984-Juli 1993

Louise-Schroeder-Gymnasium, München
Abschluss: Abitur

September 1980-Juli 1984

Grundschule an der Grandstraße, München

Veröffentlichungen

deutsch

- M. Mitzscherling, G. Fischer, A. Delgado, T. Dickel, M. Krottenthaler und W. Back: „Entwicklung eines Messsystems zur Beobachtung der Abbauvorgänge beim Maischen.“ Der Weihenstephaner. Heft 1. Nürnberg 2003. S. 18-21.
- T. Dickel, G. Berngruber, M. Krottenthaler, B. Sacher und W. Back: „Einfluss der Temperaturführung auf die Abbauvorgänge beim Maischen.“ In: Der Weihenstephaner. Heft 1. Nürnberg 2002. S. 30-33.
- T. Dickel, M. Krottenthaler und W. Back: „Untersuchungen zum Einfluss des Kühltrubeintrages auf die Bierqualität.“ In: Brauwelt Heft 33/34. Nürnberg 2000. S. 1330-1332.
- T. Dickel, M. Krottenthaler und W. Back: „Untersuchungen zum Einfluss des Kühltrubeintrages auf die Bierqualität.“ In: Monatsschrift für Brauwissenschaft. Heft 5/6. Nürnberg 2000. S. 95-100.

Lebenslauf

englisch

- T. Dickel, M. Krottenthaler and W. Back: "Investigations into the Influence of Residual Cold Break on Beer Quality". Brauwelt International 2002. P. 23.
- M. Zarnkow, Ch. Schönberger, T. Dickel and W. Back: "Weihenstephan – The Dawn of Brewing Technology." Proceedings of the 16th Conference of the International Commission for the Anthropology of Food (ICAF) 2001.
- G. Fischer, M. Mitzscherling, A. Delgado, T. Dickel, M. Krottenthaler and W. Back: "Development of a Control System for the Optimisation of Cytolytic, Proteolytic and Amylolytic Degradation during Mashing." Proceedings of the 28th EBC Congress Budapest 2001. P. 699.