

Technische Universität München
Lehrstuhl für Technologie der Brauerei 1

Analytische Erfassung und Interpretation der Stärkedegradation im Gersten- und
Malzkorn und die Aussagekraft für den Brauprozess

Matthias Thaddäus Keßler

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. Horst-Christian Langowski

Prüfer der Dissertation:

1. Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr. Ing. habil. Werner Back
2. Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. Friedrich Meuser, Technische Universität Berlin
3. Univ.-Prof. Dr. agr. Ludwig Narziß (em.)

Die Dissertation wurde am 29. März 2006 bei der Technischen Universität München
eingereicht und durch die Fakultät Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung,
Landnutzung und Umwelt am 16. Mai 2006 angenommen

Für meine Familie

Für Barbara

Danksagung

Nach meiner Diplomarbeit fing ich im Dezember 2002 am Lehrstuhl für Technologie der Brauerei I an diese Arbeit zu erstellen. Ich danke meinem Doktorvater **Prof. Werner Back** für die Überlassung des Themas und für das Vertrauen, dass er mir entgegengebracht hat. Vom ersten bis zum letzten Tag meiner Promotion empfang ich stets große Unterstützung und Förderung.

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

Genau dreieinhalb Jahre habe ich am Lehrstuhl verbracht, eine Zeit in der die schönen Momente deutlich überwiegen. Ich hatte das Glück, dass das Lehrstuhlteam ein hohes Engagement zu Tage legte und ich mich jederzeit bei Fragestellungen an eine Vielzahl von Kollegen wenden konnte. Neben veranstalteten Seminaren, die auf ein hohes Maß an positiver Resonanz gestoßen sind, wurde neben der täglichen Arbeit gemeinsam das Buch „Ausgewählte Kapitel der Brauereitechnologie“ geschrieben. Darüber hinaus wurde die alte Versuchs- und Lehrbrauerei demontiert und die neue aufgebaut.

Ich danke **Stefan Kreis**, der mich für das bearbeitete Thema vorgeschlagen hat und mich in langen und fruchtbaren Diskussionen bei meiner Arbeit unterstütz hat. Ich habe es auch ihm zu verdanken, dass ich meine Arbeit auf verschiedenen Veranstaltungen präsentieren konnte und somit einen tieferen Einblick in die Gerstensortenpolitik der deutschen Brauerbranche bekommen konnte.

Ich danke **Martin Zarnkow** für eine sehr spannende und erfolgreiche Zeit am Lehrstuhl und gemeinsame Beratungsreisen nach Brasilien. Er war es, der mich für seine Forschungsthemen begeisterte und mich mit einband. Die kurze aber sehr intensive Zusammenarbeit im Bierlabor war für mich eine große Bereicherung.

Ich danke **Felix Burberg, Klaus Hartmann, Martina Schütz** und **Elmar Spieleder** für ihre Unterstützung in meiner Arbeit, die vielen fachlichen Diskussionen sowie für die Zeit abseits der Forschungsarbeit.

Ich danke **Monika Braasch** und **Johanna Biechele** für die kollegiale Zusammenarbeit im Bierlabor und die Unterstützung in vielen Versuchen.

Ich danke **Steffi Gruner, Elisabeth Kiel, Daria Kraus** und **Saskia Marks** für die Durchführung großer Versuchsreihen, die die Grundlage dieser Arbeit darstellen.

Ich danke der Firma Winopal und Herrn **Stephan Büchele** für die Bereitstellung des RVA.

Ich danke **Karl-Heinz Bromig, Karl Glas** und **Peter König** vom BLQ für die Durchführung der Mineralstoffbestimmung.

Ich danke **Volker Landschütze** und **Michael Bäuerlein** von Bayer Cropscience für die Durchführung der DSC Messungen.

Ich danke **Prof. Friedrich Meuser**, dass er sich als Gutachter zur Verfügung gestellt hat.

Ich danke **Prof. Horst-Christan Langowski** für die zügige Durchführung meines Promotionsverfahrens.

Ich danke **Prof. Ludwig Narziß** für sein großes Interesse an meiner Arbeit und seine stete Unterstützung.

Ich danke meiner Verlobten **Barbara Hörmann** dafür, dass sie den eingeschlagenen Weg mit mir geht. In den dreieinhalb Jahren, die die Entbehrung vieler Wochenenden und Feiertage mit sich zog und Urlaub zu einem Fremdwort werden ließ, war sie stets an meiner Seite, obwohl sie selber durch Arbeit und Studium einen großen Kraftaufwand betreiben muss.

Ich danke meiner gesamten **Familie** für den großen Zusammenhalt, der mir die Gewissheit gibt, dass ich mich immer auf ihre Unterstützung verlassen kann.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis		IV
Tabellenverzeichnis		VII
Abkürzungen		VIII
1 Einleitung		1
2 Grundlagen und Literaturübersicht		3
2.1 Gerstenstärke		3
2.1.1 Amylose		3
2.1.2 Amylopektin		4
2.1.3 Stärkekörner		7
2.1.4 Lipidgehalt der Stärkekörner		9
2.1.5 Stärkesynthese		9
2.1.6 Verkleisterungseigenschaften von Stärke		11
2.1.6.1 Methodik und Terminologie		12
2.1.6.2 Eigenschaften der Gerstenstärke		13
2.2 Amylolytische Aktivitäten		14
2.2.1 α -Amylase		14
2.2.2 β -Amylase		15
2.2.3 Maltase		16
2.2.4 Grenzdextrinase		16
2.2.5 R-Enzym		17
2.3 Enzymatischer Abbau der Stärke		17
2.4 Modifikation der Amylose-Lipid-Komplexe		19
2.5 Umwelteinflüsse auf die Stärke		20
2.5.1 Temperatur		20
2.5.2 Salinität		21
2.5.3 Trockenheit		22
2.6 Analysenkennzahl VZ 45 °C		23

3	Material und Methoden	26
3.1	Gersten- und Malzmuster	26
3.2	Kleinmälzung	26
3.3	Malzanalytik	26
3.3.1	α -Amylase Aktivität	27
3.3.2	β -Amylase Aktivität	27
3.4	Labormaischen	27
3.5	Stärkeanalytik	28
3.5.1	Rotationsviskosimetrie	28
3.5.2	Kalorimetrische Analytik	29
3.6	Mineralstoffuntersuchungen	31
3.7	Statistische Betrachtung	31
3.7.1	Regressionsanalyse	31
3.7.2	Darstellung von Verteilungen	31
3.7.3	Vergleich von Verteilungen	32
4	Ergebnisse	34
4.1	Verkleisterungsverhalten	34
4.1.1	Rotationsviskosimetrie	34
4.1.2	Kalorimetrische Analytik	40
4.2	Untersuchungen zur VZ 45 °C	51
4.3	Mineralstoffgehalt	53
4.4	Lösung des Malzes in Labormaischen	61
4.4.1	Entwicklung der Extrakte	61
4.4.2	Entwicklung des löslichen Stickstoffs	64
4.5	Zusammenhänge zwischen der VZ 45 °C und amylytischen Kennzahlen	66
4.6	Zusammenhänge zwischen der VZ 45 °C und proteolytischen Kennzahlen	69
4.7	Zusammenhänge zwischen der VZ 45 °C und den Stärkeeigenschaften	71
4.7.1	Rotationsviskosimetrie	71
4.7.2	Kalorimetrie	72
4.8	Zusammenhänge zwischen der VZ 45 °C und den untersuchten Mineralien	75
4.9	Zusammenhänge zwischen DSC Analysen und Mineralstoffen	78

5	Diskussion der Ergebnisse	79
5.1	Aussage der VZ 45 °C	79
5.2	Unterschiede in der Amylolyse	82
5.3	Der Stärkelösung als Selektionskriterium in der Braugerstenzüchtung	86
5.4	Stärkemerkmale als Qualitätsmerkmale	87
6	Zusammenfassung	89
7	Literatur	91
	Anhang	101

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Amylopektin Molekül nach MANNERS _____	5
Abbildung 2: Super-Helix Model von BERTOFT [16] _____	6
Abbildung 3: Struktur des Stärkekorns auf verschiedenen Ebenen [35, 129] _____	8
Abbildung 4: Schematische Darstellung der Stärkesynthese [64, 129] _____	10
Abbildung 5: Temperatur-Zeit Regime für die Labormaischen _____	28
Abbildung 6: Beispielkurve RVA _____	29
Abbildung 7: Thermogramm einer Malzprobe _____	30
Abbildung 8: Beispiel einer Box & Whisker Darstellung _____	32
Abbildung 9: Beispiel einer multiplen Varianzanalyse _____	33
Abbildung 10: Bestimmung der VKT _____	34
Abbildung 11: Verteilung der VKT von Malz an acht Standorten _____	35
Abbildung 12: Verteilung der VKT von Malz von sechs Gerstensorten _____	36
Abbildung 13: Verteilung der TTP-Werte von Malz von acht Standorten _____	38
Abbildung 14: Verteilung der Viskositätsmaxima von Malz von acht Standorten _____	39
Abbildung 15: Verteilung der Viskositätsmaxima von Malz von sechs Gerstensorten _____	40
Abbildung 16: Verteilung der Onset-Temperatur von Gerste und Malz _____	41
Abbildung 17: Verteilung der Onset-Temperatur AP im Malz von sechs Standorten _____	42
Abbildung 18: Verteilung der Onset-Temperatur AP in Gerste an sechs Standorten _____	43
Abbildung 19: Verteilung der Peak-Temperatur AP in Gerste und Malz _____	44
Abbildung 20: Verteilung der Peak-Temperatur AP in Malz von sechs Standorten _____	45
Abbildung 21: Verteilung der Peak-Temperatur AP in Gerste an sechs Standorten _____	46
Abbildung 22: Verteilung der ΔH AP von Malz und Gerste _____	47
Abbildung 23: Verteilung der ΔH AP von Malze von vier Gerstensorten _____	47
Abbildung 24: Verteilung der Onset-Temperatur ALC von Gerste und Malz _____	49
Abbildung 25: Verteilung der Peak-Temperatur ALC von Gerste und Malz _____	50
Abbildung 26: Verteilung der ΔH ALC von Gerste und Malz _____	51
Abbildung 27: Verteilung der VZ-45-°C-Werte der untersuchten Standorte _____	52
Abbildung 28: Verteilung der VZ-45-°C-Werte der untersuchten Sorten _____	53
Abbildung 29: Verteilung von Calcium in Gerste und Malz. _____	54
Abbildung 30: Verteilung von Calcium in Gerste von sechs Standorten _____	55
Abbildung 31: Verteilung von Calcium in Malz von sechs Standorten _____	56
Abbildung 32: Verteilung von Natrium in Gerste und Malz _____	58

Abbildung 33: Verteilung von Natrium in Gerste von sechs Standorten	58
Abbildung 34: Verteilung von Natrium in Malz von sechs Standorten	59
Abbildung 35: Calcium in Gerste gegen Natrium in Gerste	60
Abbildung 36: Calcium in Malz gegen Natrium in Malz	61
Abbildung 37: Entwicklung des durchschnittlichen Extraktes	62
Abbildung 38: Korrelationskoeffizient r der Extrakte der Proben 0 bis 4 für jeweils 16 Muster	62
Abbildung 39: Extrakt der Probe 1 gegen Extrakt der Probe 2	63
Abbildung 40: Extrakt der Probe 3 gegen Extrakt der Probe 4	63
Abbildung 41: Entwicklung des Extraktes über die Proben	64
Abbildung 42: Entwicklung des gelösten Eiweißes	65
Abbildung 43: Löslicher Stickstoff der Kongresswürze gegen löslicher Stickstoff der 45-°C-Würze	65
Abbildung 44: VZ 45 °C gegen VZ 45 °C _{PF}	66
Abbildung 45: EVG gegen VZ 45 °C	67
Abbildung 46: VZ 45 °C gegen Extrakt der Kongresswürze	67
Abbildung 47: α -Amylase-Aktivität gegen VZ 45 °C	68
Abbildung 48: DK gegen VZ 45 °C	68
Abbildung 49: ELG gegen VZ 45 °C	69
Abbildung 50: FAN gegen VZ 45 °C	70
Abbildung 51: Löslicher Stickstoff gegen VZ 45 °C	70
Abbildung 52: VKT gegen VZ 45 °C in Malz	71
Abbildung 53: TTP gegen VZ 45 °C in Malz	72
Abbildung 54: Viskositätsmaximum gegen VZ 45 °C in Malz	72
Abbildung 55: VZ 45 °C gegen Onset-Temperatur AP in Gerste	73
Abbildung 56: VZ 45 °C gegen Peak-Temperatur AP in Gerste	73
Abbildung 57: VZ 45 °C gegen Peak-Temperatur AP im Malz	74
Abbildung 58: VZ 45 °C gegen ΔH AP im Malz	74
Abbildung 59: ΔH AP im Malz gegen Viskositätsmaximum	75
Abbildung 60: Natrium im Malz gegen die VZ 45 °C	76
Abbildung 61: Natrium im Malz gegen die VKT	76
Abbildung 62: Calcium im Malz gegen die VZ 45 °C	77
Abbildung 63: Calcium im Malz gegen die VKT	77
Abbildung 64: Natrium gegen ΔH ALC in Gerste	78

Abbildung 65: VZ 45 °C gegen Filtrierbarkeit aufgetragen _____ 80

Abbildung 66: Überblick über die Tagesdurchschnittstemperaturen an drei Standorten ____ 85

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Beurteilung der Lösungszahl nach HARTONG _____	23
Tabelle 2: Darstellung Irrtumswahrscheinlichkeiten und Korrelationskoeffizienten _____	31
Tabelle 3: Multiple Varianzanalyse der VKT von Malz an acht Standorten _____	36
Tabelle 4: Multiple Varianzanalyse der VKT von Malz von sechs Gerstensorten _____	37
Tabelle 5: Multiple Varianzanalyse der TTP-Werte von Malz von acht Standorten _____	38
Tabelle 6: Multiple Varianzanalyse der Viskositätsmaxima von Malz von acht Standorten _____	39
Tabelle 7: Multiple Varianzanalyse der Viskositätsmaxima von Malz von sechs Gerstensorten _____	40
Tabelle 8: Multiple Varianzanalyse der Onset-Temperatur AP im Malz von sechs Standorten _____	42
Tabelle 9: Multiple Varianzanalyse der Onset-Temperatur AP in Gerste von sechs Standorten _____	43
Tabelle 10: Multiple Varianzanalyse der Peak-Temperatur AP in Malz von sechs Standorten _____	45
Tabelle 11: Multiple Varianzanalyse der Peak-Temperatur AP in Gerste an sechs Standorten _____	46
Tabelle 12: Multiple Varianzanalyse der ΔH AP von Malz von vier Gerstensorten _____	48
Tabelle 13: Multiple Varianzanalyse der VZ-45-°C-Werte der untersuchten Standorte der Ernte 2004 _____	52
Tabelle 14: Multiple Varianzanalyse der VZ-45-°C-Werte der untersuchten Sorten _____	53
Tabelle 15: Multiple Varianzanalyse von Calcium in Gerste von sechs Standorten _____	56
Tabelle 16: Multiple Varianzanalyse von Calcium in Malz von sechs Standorten _____	57
Tabelle 17: Multiple Varianzanalyse von Natrium in Gerste von sechs Standorten _____	59
Tabelle 18: Multiple Varianzanalyse von Natrium in Malz von sechs Standorten _____	60
Tabelle 19: Korrelationskoeffizienten von der VZ 45 °C und diversen Bier- und Würzequalitäts-merkmalen _____	80
Tabelle 20: Unterschiede zwischen Annabell und Auriga _____	84

Abkürzungen

ALC	Amylose-Lipid-Komplex
AM	Amylose
AP	Amylopektin
DBE	Debranching Enzyme
DSC	Differential Scan Calorimeter
EC	Enzyme Commission
EVG	Endvergärungsgrad
HKM	Hoch-Kurz-Maischverfahren
HZ	Hartongzahl
pI	isoelektrischer Punkt
RVA	Rapid Viscoanalyser
SBE	Starch Branching Enzyme
SBEA	Starch Branching Enzyme A
SBEB	Starch Branching Enzyme B
SS	Starch Synthase
T _O	Onset-Temperatur
T _P	Peak-Temperatur
TTP	Time-to-Peak
VKT	Verkleisterungstemperatur
VZ 45 °C	Verhältniszahl 45 °C
ΔH	Schmelzenthalpie

1 Einleitung

Der Bierbereitungsprozess lässt sich vereinfacht in vier wesentliche Bereiche einteilen und zwar in die Malzbereitung, in die Würzebereitung sowie in die Gärung und Reifung. Die Würzebereitung lässt sich weiter in die Maischarbeit, dem Extrahieren des Malzextraktes, die Läuterarbeit (Festflüssigtrennung der Maische) und in die Würzekochung unterteilen. Die Maischarbeit wird dabei auch als die Weiterführung der Auflösungsprozesse des Gerstenkorns während der Mälzung angesehen, da beim Mälzen sowie beim Maischen die gleichen Enzymgruppen die Inhaltsstoffe der Gerste bzw. des Malzes hydrolysieren. Die drei mengenmäßig wichtigsten Stoffgruppen sind die Stärke, das Eiweiß und die Stütz- und Gerüstsubstanzen [96].

Schon in den ersten Lehrbüchern über die Kunst des Brauwesens wurde die Lösung des Malzes als das wichtigste Merkmal angesehen, auf das besonderer Wert gelegt werden müsse [68]. Die Beurteilung des Abbaus der drei genannten Stoffgruppen ist folglich ein wichtiger Bestandteil der Qualitätskontrolle. Zur Überprüfung des Eiweißabbaus (Proteolyse) im Malz wird der Eiweißlösungsgrad verwendet. Die Lösung der Zell- und Gerüstsubstanzen (Zytolyse) wird anhand des Friabilimeterwertes, des β -Glucangehaltes und der Viskosität von Laborwürzen überprüft. Die Kontrolle des Stärkeabbaus (Amylolyse) erfolgt mittels des Vergärungsgrades der Laborwürze, dem Zuckerspektrum sowie des Jodwertes der Labortreber. Zusätzlich können die Aktivitäten der α - und der β -Amylase bestimmt werden [97].

Die Malzspezifikation Verhältniszahl 45 °C (VZ 45 °C) beschreibt nach heutiger Lehrmeinung die Aktivität aller Enzyme mit Ausnahme der α -Amylase-Aktivität. Bei sachgerechter Keimung in der Mälzerei verläuft die VZ 45 °C parallel zur α -Amylase-Aktivität. Die VZ 45 °C beschreibt das Verhältnis des gelösten Extraktes einer bei 45 °C gemaischten Würze und dem Extrakt der Kongresswürze [104].

Seit der Entwicklung der Verhältniszahl 45 °C (VZ 45 °C) in den 1930er und 1940er Jahren durch HARTONG und KRETSCHMER [47] ist sie eine weit verbreitete Spezifikation zur Beurteilung der Qualität von Gerstenmalz. Sie ist im Malzqualitätsindex von BAUMER vertreten, der zur Beurteilung von Gerstensorten im Rahmen der amtlichen Sortenberatung benutzt wird. Auch für die Zulassung beim Bundessortenamt wird die Größe bestimmt. In der Brautechnologie wird insbesondere eine zu große Differenz zwischen dem Eiweißlösungsgrad

und der VZ 45 °C als Qualitätsmangel angesehen [1]. Trotz ihrer hohen Bedeutung wird ihre Aussagekraft kontrovers diskutiert und immer wieder angezweifelt.

In jüngster Zeit sind mit Neuzüchtungen wie Annabell und Pasadena Gerstensorten auf den Markt gekommen, die Malz mit einer niedrigen VZ 45 °C aufweisen, aber dennoch gute Brauqualität besitzen. So ergaben die sensorischen Prüfungen im Rahmen des Berliner Programms hervorragende Resultate, und die Biere schnitten im Forciertest vergleichsweise gut ab [1].

Vor dem Hintergrund des heute weit verbreiteten Hoch-Kurz-Maischverfahrens mit seiner hohen Einmaischtemperatur stellt sich die Frage, ob die VZ 45 °C noch ein geeignetes Kriterium für die Beurteilung der Qualität von Braumalz oder ein hilfreiches Selektionskriterium für die Braugerstenzüchtung darstellt. In der vorliegenden Arbeit wurden die wissenschaftlichen Beiträge über die VZ 45 °C zusammengetragen und deren Aussagen diskutiert. Die sich daraus ergebenden Fragestellungen wurden in die drei wesentlichen Abbauvorgänge des Mälzungs- und Brauprozess eingeteilt, und zwar in die Proteolyse, Zytolyse und Amylolyse, und durch geeignete Versuche beantwortet.

2 Grundlagen und Literaturübersicht

Die Trockensubstanz der Gerste enthält ca. 58–64 % Stärke, wobei der Gehalt von der Genetik sowie von Umwelteinflüssen abhängt. Neben Eiweiß (10–12%) und Nicht-Stärke Polysacchariden (10 %) enthält das Korn noch Mineralien [77]. Das Embryo enthält ca. 1–2 µg Mineralstoffe [25].

2.1 Gerstenstärke

Die Hauptkomponenten der Stärke sind die beiden Polysaccharide Amylose und Amylopektin, die in den meisten Arten in einem Verhältnis von ca. 25 % zu 75 % vorliegen, in solch einen Fall wird von „normaler“ Stärke gesprochen [129]. Ist der Amylosegehalt annähernd Null, so ist von „wachsiger“ Stärke die Rede. Des Weiteren gibt es amylosereiche Stärke, die bis zu 85 % davon enthalten kann [146]. Der Amyloseanteil von normaler Gerstenstärke wird im Literaturüberblick von MACGREGOR und FINCHER [77] im Bereich von 18,2–41,3 % angegeben. Diese zum Teil sehr großen Unterschiede sind durch die angewendete Analytik bedingt. Wird der Amylosegehalt mittels Iodfärbung bestimmt, so muss zuvor eine Entfettung der Stärke durchgeführt werden, da es sonst zu einer Unterbewertung des Amyloseanteils kommt. Es wird dann vom scheinbaren Amyloseanteil gesprochen. MORRISON et al. [89] haben bei der Untersuchung von acht Sorten einen scheinbaren Amylosegehalt von 21,4–22,6 % und einen absoluten von 27,5–29,4 % gemessen.

Des Weiteren enthält Gerstenstärke ca. 0,25–0,56 % Eiweiß, 0,16–1,17 % Lipide und 0,03–0,09 % freie Fettsäuren [77]. Der Phosphorgehalt von normaler Gerstenstärke beträgt ca. 0,045–0,052 % und liegt hauptsächlich in Form von Phospholipiden vor [120, 125].

2.1.1 Amylose

Amylose ist weitestgehend aus α -(1→4) glykosidischen Verbindungen aufgebaut und enthält ca. 0,1 % α -(1→6) Bindungen. Sie ist somit nur geringfügig verzweigt und hat einen durchschnittliche Polymerisationsgrad von ca. 1800 [38]. Das durchschnittliche Molekulargewicht der Amylose aus Gerstenstärke beträgt ca. $19\text{--}26 \times 10^4$ Da [77].

Amylose kann durch die gemeinsame Wirkung von β -Amylase und dem entzweigendem Enzym Isoamylase komplett [11, 62] und durch β -Amylase allein zu 93–95 % zu Maltose hydrolysiert werden [11].

In rein wässriger Lösung liegt Amylose in einem ungeordnetem Knäuel (Random-Coil) vor, dass keine Strukturen erkennen lässt [10]. Amylose ist in der Lage mit komplexierenden Stoffen, wie zum Beispiel Iod oder Butan-1-ol helikale Strukturen auszubilden [10]. Eine Helix in den z. B. ein Iod Molekül passt umfasst dabei 5–7 Glucoseeinheiten [108].

Über längere Lagerzeiten in rein wässriger Lösung neigt Amylose dazu zu retrogradieren, d. h. einen helikalen Komplex mit einem weiteren Amylosemolekül zu bilden [33]. In höher konzentrierten Lösungen bilden sich Gele aus [77].

2.1.2 Amylopektin

Amylopektin besteht wie Amylose aus α -(1 \rightarrow 4) glykosidisch verknüpften Glucoseresten, ist aber durch 4–5 % α -(1 \rightarrow 6) Bindungen stärker verzweigt. Die durchschnittliche Kettenlänge beträgt 21,7–25 Glucosereste. Das Molekulargewicht liegt bei ca. $3,6\text{--}4,1 \times 10^6$ Da [77].

Die Ketten des Amylopektins werden in drei Typen unterteilt, abhängig davon, wie sie in das Molekül eingebunden sind. Die A-Ketten sind mit dem reduzierenden Ende mit dem restlichen Molekül verbunden. Die B-Ketten, sind ebenfalls über eine glykosidische Bindung mit einer anderen Kette verbunden, tragen aber im Gegensatz zu den A-Ketten weitere Seitenketten. Die C-Kette verfügt über das einzige reduzierende Ende des Moleküls und über Seitenketten. In Abbildung 1 ist eine schematische Darstellung eines Amylopektinmoleküls nach MANNERS [80] dargestellt. Darin sind die Anordnungen der A und B Ketten zu erkennen.

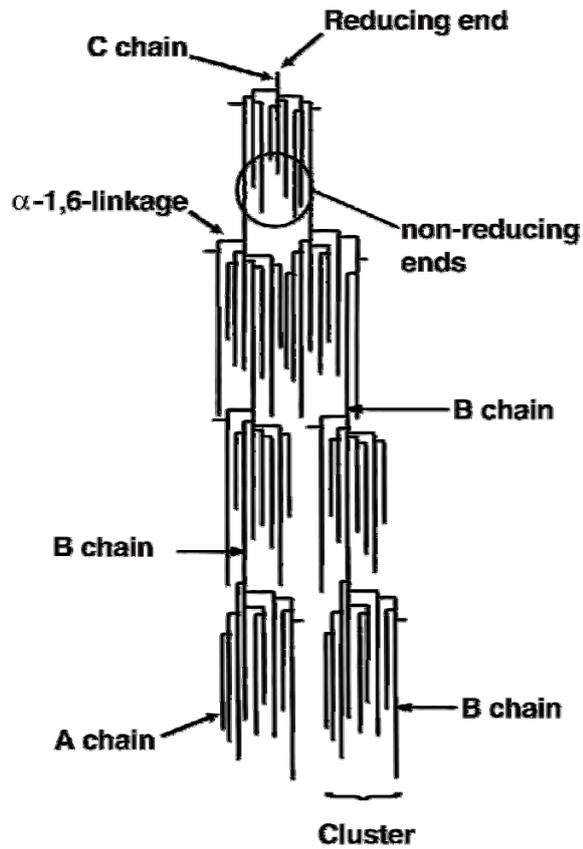


Abbildung 1: Amylopektin Molekül nach MANNERS

Am äußersten Rande des Moleküls bilden A und kurze B Ketten Doppelhelices aus. In Nacktgerste machen die Ketten mit einem Polymerisationsgrad von 5–17 einen Anteil von über 50 % aus. Die Ketten mit einer Länge von 18–34 machen 31,4–36,0 % aus und die Ketten mit einem Polymerisationsgrad von 35–67 stellen den Rest [70].

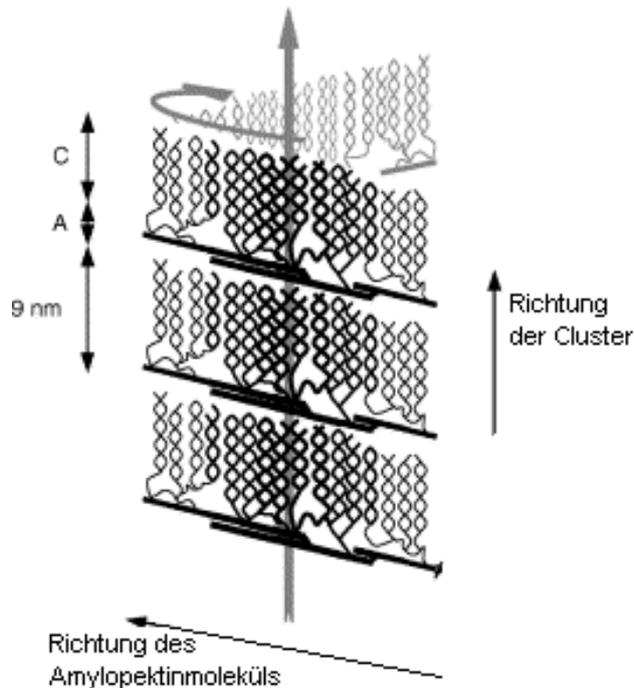


Abbildung 2: Super-Helix Model von BERTOFT [16]

Die Anordnung der einzelnen Ketten innerhalb des Amylopektinmoleküls ist bis heute Gegenstand der Forschung. Das Cluster Model von FRENCH aus dem Jahre 1972 ist im Wesentlichen bis heute akzeptiert. Cluster bestehen aus linearen Seitenketten, die zu Helices ausgebildet sind und somit kristalline Strukturen darstellen. Diese Cluster gehen auch in das neueste Modell von BERTOFT ein [16]. In Abbildung 2 ist der Super-Helix von BERTOFT dargestellt. Dieses Modell ist eine Weiterentwicklung der Modelle von HIZUKURI aus dem Jahre 1986 und von OOSTERGETEL und BRUGGEN [100] von 1993. Die Cluster sind annähernd rechtenwinklig zu den langen B-Ketten angeordnet, die im Gegensatz zu vorherigen Modellen ausschließlich in den amorphen Lamellen des Moleküls liegen. Mehrere amorphe und kristalline Lamellen bilden ein Blocklet [35], welches nach dem Modell von BERTOFT aus einem einzigen Amylopektinmolekül bestehen könnte [16].

Amylopektin führt im Gegensatz zu Amylose zu weniger viskosen Lösungen, was auf eine sehr kompakte Form in wässrigen Medien schließen lässt. Auf Grund des hohen Verzweigungsgrades wird Amylopektin von β -Amylase nur zu 58–64 % hydrolysiert, bei der gleichzeitigen Wirkung von Pullulanase kann eine vollständige Hydrolyse erfolgen [12].

Eine Komplexierung mit Iod ist auf Grund der kürzeren Ketten nur in einem geringen Maße möglich.

Der durchschnittliche Polymerisationsgrad des Amylopektins von Getreidestärke ist kleiner als der von Nichtgetreidestärke. Das führt zu einer langsameren Retrogradation und Gelbildung von Getreidestärke im Vergleich zu Nichtgetreidestärke, wie z. B. Kartoffelstärke [58].

2.1.3 Stärkekörner

Stärke liegt in Form von Körnern vor, deren Größe und Form von der botanischen Herkunft abhängt. In Gerste liegen die Körner wie in den meisten Getreidearten in einer bimodalen Verteilung vor. Die großen A-Körner, mit einem Durchmesser von 10–30 μm und die kleinen B-Körner mit einem Durchmesser von weniger als 6 μm . Die Masse der kleinen Körner macht ca. 10–20 % der Gesamtstärke aus, aber 80–90 % der Anzahl der Stärkekörner. Die großen Stärkekörner machen entsprechend 80–90 % der Masse und 10–20 % der Anzahl aus. Diese Angaben basieren auf einer Vielzahl von Publikationen, die von MACGREGOR und FINCHER zusammengefasst wurden [77].

Große Stärkekörner haben eine runde linsenförmige Form, während die kleinen Körner eine kugelartiges Erscheinungsbild aufweisen [97]. Zudem verfügen die großen Körner über kleine Poren, die entlang der äquatorialen Kerbe angeordnet sind [30].

Die Stärkeproteine lassen sich nach BALDWIN [7] in zwei Gruppen aufteilen: Die Speicherproteine, wie z. B. Gluten und Gliadin und die Stärkekorn assoziierten Proteine. In Weizenstärke sind der überwiegende Teil dieser Proteine Enzyme der Stärkesynthese, die während der Biosynthese in der Stärke zurückgeblieben sind [107].

Bei der Betrachtung von nativen Gerstenstärkekörnern sind unter dem Polarisationsmikroskop so genannte Malteserkreuze zu erkennen, die durch die Lichtbrechung in Erscheinung treten. Diese deuten auf eine hohe molekulare Ordnung hin, was aber nicht heißt, dass es sich dabei um eine kristalline Struktur handelt. Eine Aussage über die Kristallinität lässt sich mittels Röntgenbeugungsspektren machen, diese sind charakteristisch für die botanische Herkunft der untersuchten Stärke. Die meisten Getreidestärken [150], inklusive die der Gerste [128], gehören zum so genannten A-Typ. Die Stärke von Kartoffeln weist den B-Typ auf. Die Koexistenz dieser beiden Typen innerhalb einer Frucht, der C-Typ, kommt in Erbsen vor [20]. Der A-Typ verfügt über kompaktere Helices mit weniger Wasser als der B-Typ [132]. Eine vierte Form ist der V-Typ, der im Helixinneren Substanzen eingeschlossen hat. Dieser Typ tritt in gequollener Stärke auf [129]. Dadurch unterscheiden sich die beiden Stärken in ihren physikalischen Eigenschaften, auf die später noch eingegangen wird.

Das Stärkekorn ist semikristallin, der kristalline Anteil der Stärke kann je nach Getreide 20–51 % betragen [132], in sechszeiliger Gerste wurden Werte von 20,0–27,4 % gemessen, wobei der höchste Anteil in großen Körnern war [128]. Es konnten in der Literatur keine Werte für zweizeilige Gerste gefunden werden. Für die Kristallinität ist allein das Amylopektin verantwortlich.

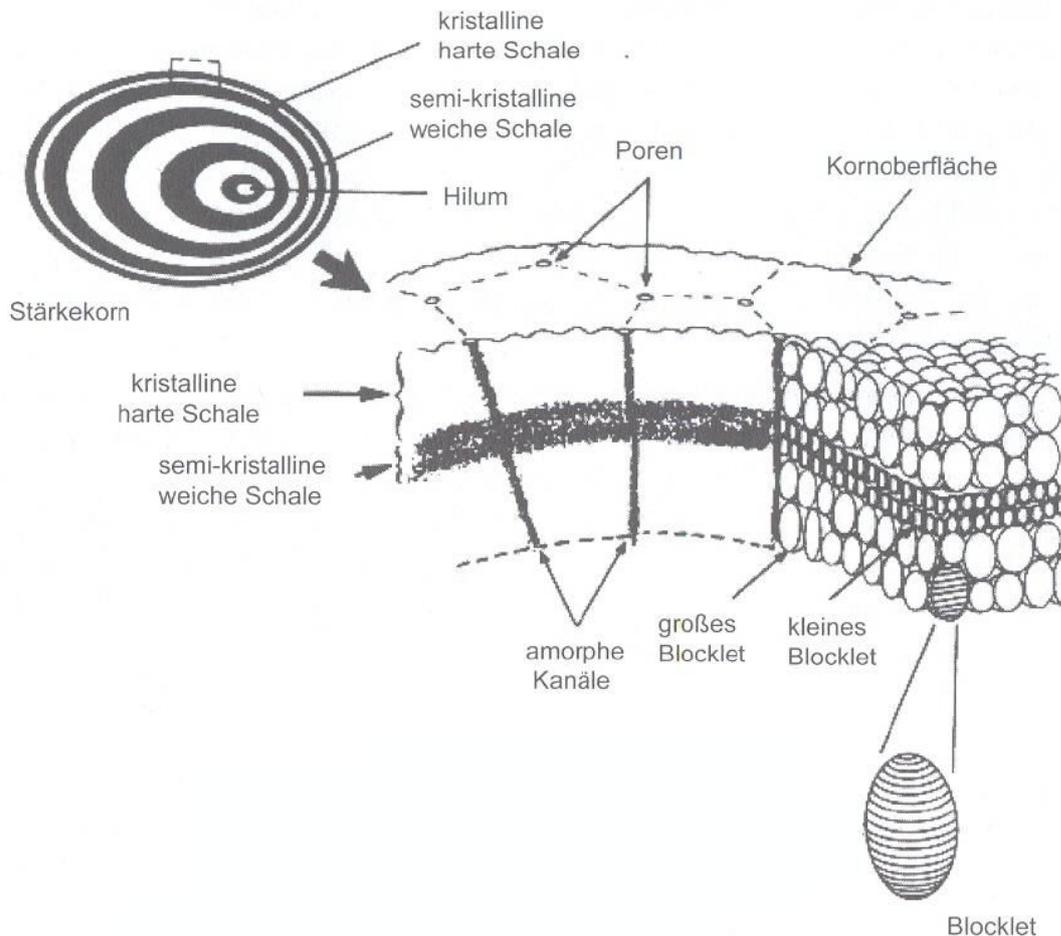


Abbildung 3: Struktur des Stärkekorns auf verschiedenen Ebenen [35, 129]

In Abbildung 3 ist eine schematische Darstellung einzelner Ebenen des Stärkekornaufbaus dargestellt. Wie zuvor erwähnt bildet vermutlich ein Amylopektinmolekül ein Blocklet, welches die amorphen und kristallinen Lamellen enthält. Die Größe der Blocklets hängt von der botanischen Herkunft der Stärke ab und liegt im Bereich von 20–500 nm [35]. Der Abbildung ist weiter zu entnehmen, dass kleine Blocklets die semikristalline Schale bilden und große Blocklets die kristalline. Diese als Wachstumsringe bezeichnete Erscheinung ist nicht zu erkennen, wenn die Stärke unter konstanter Beleuchtung synthetisiert wurde. [34]

Der Gehalt an Mineralien kann je nach Herkunft bis zu 1 % ausmachen, wobei Kalium und Magnesium den Hauptbestandteil ausmachen [129]. In Untersuchungen an Kartoffelstärke

wurden Unterschiede im Mineralstoffgehalt in Abhängigkeit von der Korngröße festgestellt [99]. In kleinen Körnern (13,6 µm Durchmesser) liegt der Natriumgehalt im Bereich von 78 ppm, in mittleren (70 µm) bei 70 ppm und in großen bei 57 ppm. Eine Zunahme bei abnehmender Korngröße wurde auch für Calcium (106 ppm; 142 ppm; 168 ppm) festgestellt [99].

Bezüglich eines Unterschiedes im Amylosegehalt zwischen großen und kleinen Körnern gehen die Untersuchungsergebnisse auseinander. So wurden in großen Körnern sowohl niedrigere [14, 147] als auch höhere [127] Anteile an Amylose gefunden. Während BATHGATE und PALMER einen höheren Amyloseanteil in den kleinen Körnern gemessen haben, konnte TAKEDA keine Unterschiede feststellen. Ein Grund für die unterschiedlichen Ergebnisse kann auf die verwendeten Methoden zurück zugeführt werden [136].

2.1.4 Lipidgehalt der Stärkekörner

Stärkekörner von normaler Stärke enthalten 0,16–1,17 % Lipide und 31–46 mg/100 g freie Fettsäuren [89]. Die Lipide liegen im Wesentlichen als Lysophospholipide vor [88].

Mit einem erhöhten Anteil an Amylose liegt auch ein erhöhter Anteil an Lipiden vor [140]. Den Untersuchungen von MORRISON et al. [90] zur Folge besteht ein linearer Zusammenhang zwischen dem Amyloseanteil und dem Lysophospholipidanteil. Dieser Zusammenhang ist für normale und wachsige Gerste verschieden. Die Lysophospholipide liegen in Komplexen mit Amylose vor und zwar in einem Verhältnis von 1 : 7. Bezogen auf die Gesamtstärke machen diese Amylose-Lipid-Komplexe (ALC) 6,1–7,2 % aus [90].

2.1.5 Stärkesynthese

Die Stärkesynthese ist bis heute noch nicht vollständig verstanden. In den vergangenen Jahren haben einige Autoren Literaturübersichten publiziert, in denen sie das bis dato veröffentlichte Wissen über die Biosynthese der Stärke zusammen getragen haben [21, 64, 117, 118, 129]. Die nachfolgende Darstellung ist überwiegend diesen Quellen entnommen und basiert nicht immer auf Erkenntnissen, die an Gerstenstärke gewonnen wurden.

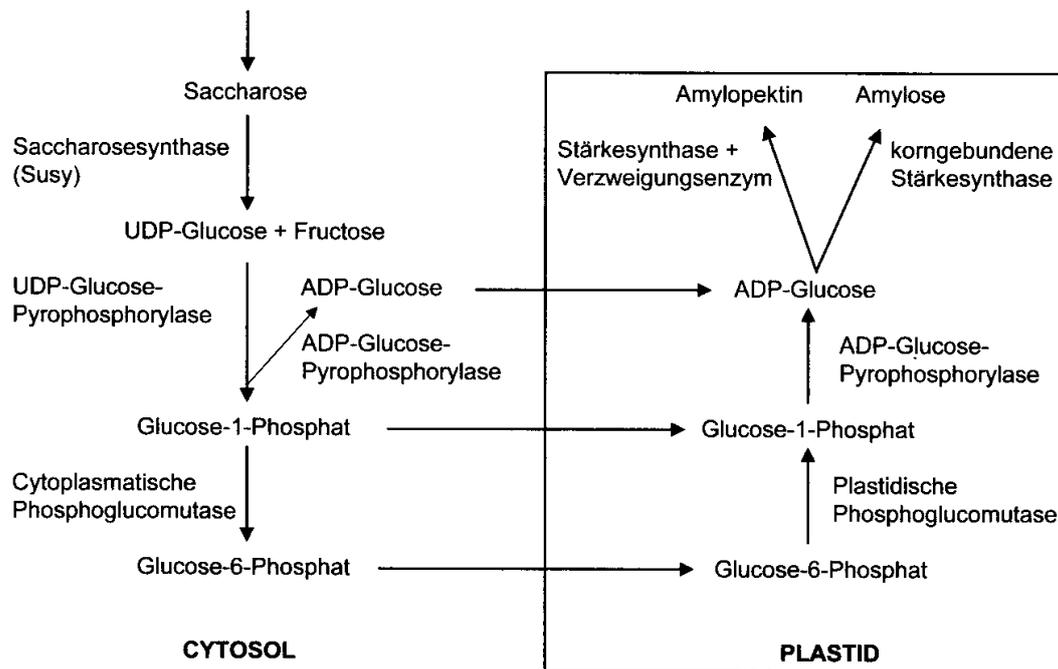


Abbildung 4: Schematische Darstellung der Stärkesynthese [64, 129]

In Abbildung 4 ist eine schematische Darstellung der Stärkesynthese skizziert. Stärke wird in den Amyloplasten (in der Abbildung als Plastid bezeichnet) gebildet. Saccharose, die Kohlenstoffquelle für die Stärkesynthese, wird zuerst in UDP-Glucose und Fructose gespalten, da nur Hexose durch die Membran des Amyloplasts transportiert werden kann [141].

UDP-Glucose wird durch UDP-Glucose-Phosphorylase zu Glucose-1-Phosphat umgesetzt. Das Enzym ADP-Glucose-Phosphorylase (AGPase) bildet aus UDP-Glucose ADP-Glucose. In Gerste ist die AGPase sowohl im Cytosol als auch im Amyloplast lokalisiert, wobei in den Amyloplasten die deutlich höhere Aktivität gemessen wurde. Ob die andere AGPase eine Funktion für die Stärkesynthese hat, ist unklar [139].

ADP-Glucose wird unter Freisetzung von ADP durch die katalytische Wirkung von Stärkesynthasen [EC 2.4.1.21] an das nicht reduzierende Ende eines α -Glucan angehängt. Von der Stärkesynthase existieren mehrere Isoformen. Für die Amylosesynthese ist die korngelagerte Stärkesynthase (GBSSI; granule-bound starch synthase) verantwortlich. Ist diese Aktivität nicht vorhanden oder nur sehr niedrig, so findet keine oder nur eine geringe Amylosebildung statt und es entsteht amylosefreie bzw. wachsiges Stärke [83].

Die so genannten löslichen Stärkesynthesen (SSI, SSII, SSIII und SSIV) sind entgegen früherer Annahmen zumindest teilweise sowohl in einer löslichen als auch in einer gebundenen Form vorhanden [118].

An der Synthese des Amylopektins sind neben den Stärkesynthesen auch noch stärkeverzweigenden Enzyme (SBE; starch branching enzyme) beteiligt. Vom SBE sind mindestens zwei Isoformen bekannt, das SBEA und SBEB. Sie sind für die α -(1 \rightarrow 6) Bindungen verantwortlich. Die Bedeutung der verschiedenen Stärkesynthesen und die zwei Isoformen der SBE sind noch nicht eindeutig geklärt. Es ist lediglich an einzelnen Pflanzen gezeigt worden, dass die Abwesenheit einer der Isoformen die Verteilung der Kettenlängen beeinflusst. Auch ist nicht jede der Isoformen in allen stärkebildenden Pflanzen nachgewiesen worden. [117] Eine weitere bedeutende aber nicht eindeutig geklärte Rolle hat das α -(1 \rightarrow 6) Bindungen spaltende Enzym Grenzextrinase bzw. Isoamylase (DBE; debranching enzyme) [117]. Bei Mutanten, die eine stark reduzierte R-Enzym [EC 3.2.1.41] Aktivität (α -(1 \rightarrow 6)-Bindungen spaltendes Enzym) aufwiesen, wurde keine Stärke gefunden, sondern ein hochverzweigtes α -Glucanpolymer, das Phytoglykogen [95].

Wie sich während der Stärkesynthese Stärkekörner bilden, ist noch nicht geklärt. Es wird davon ausgegangen, dass es sich dabei eher um rein physikalische Prozesse handelt als um biochemische [117].

2.1.6 Verkleisterungseigenschaften von Stärke

Werden Stärkekörner in einem wässrigen Medium erhitzt, so wird die Struktur der Stärke zerstört, was zu einem Quellen und einer Hydratisierung und einer Lösung der Stärkekörner führt. Die Vorgänge werden zusammengefasst als Verkleisterung bezeichnet [150]. Zu erkennen ist dies am Verlust der Doppelbrechung, am Röntgenstrahlen-beugungsmuster, an der Erhöhung der enzymatischen Angreifbarkeit, an der Veränderung der thermischen Eigenschaften und an der Zunahme der Viskosität [73, 77, 106, 150]. Insbesondere ist die enzymatische Angreifbarkeit der Stärke im Brauprozess von großer Bedeutung, da sie einen effizienten Abbau der Stärke gewährleistet [96].

Je nach Stärkeart setzt die Verkleisterung ab einer bestimmten Temperatur ein. Die Quellung geschieht durch die Einlagerung von Wasser in die Helices des kristallinen Bereichs. Wie oben erwähnt wurde, kann die Verkleisterung mit unterschiedlichen Methoden beschrieben werden und daher können die Angaben in der Literatur um einige Grad Celsius differieren [106].

Methodik und Terminologie

Die einfachste Methode ist die Beobachtung des Verschwindens der Doppelbrechung, die lediglich ein Mikroskop mit polarisiertem Licht und einem beheizbaren Objektisch erfordert [150]. STEVENS und ELTON [124] stellten 1971 die Anwendung der Differential-Abtast-Kalorimetrie (engl. Differential Scanning Calorimetry (DSC)) zur Bestimmung der Energie, die zum Schmelzen der Kristalle benötigt wird, vor. Das Messen der Viskosität einer Stärkesuspension, kann mit dem Brabender Amylographen [150] oder dem Rapid Viscoanalyser (RVA) erfolgen [138]. Beide Geräte stellen Rotationsviskosimeter dar. Das Prinzip des RVA wird im Kapitel 3.5 genauer beschrieben.

Im englischen Sprachgebrauch wird häufig die Temperatur des Viskositätsanstieges als *pasting temperature* bezeichnet, also die Verteilungstemperatur. Der Definition von ATWELL et al. [5] nach ist das Verteigen das Phänomen, das der Verkleisterung folgt. Es beinhaltet Quellen, Ausscheidung von molekularen Komponenten und eventuell die Desintegration der Körner. In der deutschsprachigen Literatur wird auch der Ausdruck Verkleisterungstemperatur verwendet [48, 129].

Verkleisterungstemperatur ins Englische übersetzt heißt *gelatinisation temperature*. Eine Definition für *gelatinisation* ist zwar publiziert worden [138], aber sie beinhaltet alle Veränderungen, die ein Stärkekorn beim Erhitzen in einer wässrigen Suspension erfährt. Im engeren Sinne verstehen ATWELL et al. [5] unter *gelatinisation* die Auflösung der kristallinen Struktur durch Wärmezufuhr.

Die Verteilung folgt also der Verkleisterung und somit sind diese beiden Erscheinungen zwei verschiedene Merkmale [133, 134]. Da die beiden Vorgänge aber ineinander übergehen, sind sie analytisch nicht exakt voneinander zu trennen.

In dieser Arbeit wurden zwei Geräte zur Bestimmung der Stärkeeigenschaften verwendet; ein DSC und ein RVA. Mit dem DSC wird die Energie gemessen, die von der Stärke-Wasser-Suspension absorbiert wird, während diese mit einem definierten Temperaturgradienten erhitzt wird. Es handelt sich dabei um zwei mögliche endotherme Reaktionen, zum einen um das Schmelzen der kristallinen Struktur des AP und zum anderen um das Schmelzen des ALC. In dieser Arbeit wird mit Onset-Temperatur-AP die Temperatur bezeichnet, bei der das Schmelzen des AP beginnt. Die Peak-Temperatur-AP ist die Temperatur, bei der die AP-Endotherme das Maximum hat. Eine genauere Beschreibung ist in Kapitel 3.5.2 zu finden.

Das Rotationsviskosimeter misst die Viskosität einer Stärke-Wasser-Suspension, während diese über ein definiertes Temperatur-Zeit-Profil geführt wird. Die Verkleisterungstemperatur (VKT) ist die Temperatur, bei der die Viskosität im Zuge des Quellens der Stärkekörner ansteigt.

Eigenschaften der Gerstenstärke

Die Verkleisterungstemperatur für Gerstenstärke wird in der Literatur in einer sehr großen Spanne angegeben. In einer Literaturzusammenfassung von MACGREGOR und FINCHER wird ein Temperaturbereich von 51,1–68,0 °C angegeben. Die Werte wurden aber durch verschiedene Meßsysteme ermittelt und der Amyloseanteil, sowie die Korngröße der untersuchten Proben, variiert. Ergebnisse, die mit einem Rotationsviskosimeter gemessen wurden, sind nicht enthalten [77].

Die Verkleisterung ist abhängig von einer Vielzahl von Faktoren, unter anderem von der Stärkekorngröße, vom kristallinen Anteil und von der Art der Kristallstruktur sowie von der Struktur der Stärke [72].

Der Unterschied in der T_0 von großen und kleinen Stärkekörnern wird in der Literatur kontrovers diskutiert. KANG et al. [59] und TANG et al. [128] haben tendenziell niedrigere Onset-Temperaturen für die kleinen Stärkekörner gemessen. BATHGATE und PALMER [14] haben mittels Kongo-Rot-Färbung für kleine Stärkekörner höhere Temperaturen gemessen. VASANTHAN und BHATTY [140] konnten bei ihren Untersuchungen am Amylographen und DSC keine Unterschiede in der Verkleisterungstemperatur bzw. Onset-temperatur zwischen großen und kleinen Stärkekörnern finden. Die Peak-Temperatur lag bei allen untersuchten Mustern bei den kleinen Stärkekörnern höher. MYLLÄRINEN et al. [93] haben bei der Bestimmung der Verkleisterungstemperatur mittels DSC die Peak-Temperatur ausgewählt und dabei für die kleinen Gerstenstärkekörner eine um 4 °C erhöhte Temperatur gemessen. Wird bei KANG et al. [59] ebenfalls die Peak-Temperatur zum Vergleich herangezogen, dann haben die kleinen Stärkekörner eine höhere Temperatur.

Der Einfluss des Amylosegehaltes muss differenziert betrachtet werden, ob bei der Bestimmung des Amylosegehaltes eine Entfettung durchgeführt wurde oder nicht. War dies nicht der Fall, so handelt es sich um den scheinbaren Amylosegehalt, der etwas niedriger liegt als der absolute [136]. Wachsige und amylosefreie Gerstenstärke haben eine niedrigere Onset-Temperatur als normale oder amylosereiche Gerstenstärke. Die mittels RVA gemessenen

Verkleisterungstemperatur und das Peakmaximum hingegen sind bei wachsigem und amylosefreien Stärken niedriger [75].

Einen weiteren Einfluss hat der Lipidanteil. Die als ALC vorliegenden Lipide haben einen inhibitorischen Effekt auf das Quellungsvermögen von Stärke und erhöhen die Peak-Temperatur [90, 133, 134, 136].

Wenn Fettsäuren in Stärkesuspensionen unterhalb der Verkleisterungstemperatur gegeben werden, entstehen Amylose-Lipid-Komplexe, die dann die Verkleisterungstemperatur erhöhen [67].

2.2 Amylytische Aktivitäten

Der enzymatische Abbau der Stärke (Amylyse) erfolgt mittels Hydrolasen, die die α -(1 \rightarrow 4) und α -(1 \rightarrow 6)-Bindungen unter Einbindung von Wasser spalten. In Gerste sind dies die α -Amylase (EC: 3.2.1.1), die β -Amylase (EC: 3.2.1.3), die Maltase (EC 3.2.1.20) und die Grenzdextrinase (EC 3.2.1.41) [8, 96]. In der Literatur wird auch häufig das R-Enzym erwähnt, welches fälschlicherweise als ein weiteres α -(1 \rightarrow 6) spaltendes Enzym betrachtet wurde. Nach heutigem Wissensstand sind die Grenzdextrinase und das R-Enzym dasselbe Enzym. Beide Namen finden heute noch Verwendung. Im Abschnitt 2.2.5 wird dies genauer erläutert.

2.2.1 α -Amylase

α -Amylase ist ein Endo-Enzym, das Amylose und Amylopektin vom Inneren her spaltet. α -Amylase ist in der Lage native Stärke zu Dextrinen zu hydrolysieren. Der Name des Enzyms basiert darauf, dass das durch die Hydrolyse entstandene Spaltprodukt am neu hinzugekommenen reduzierenden Ende eine α -Konfiguration aufweist [92]. α -Amylase-Aktivität liegt in ungekeimter Gerste nicht vor. Sie wird erst während der Keimung gebildet. In der Gerste sind zwei Isoformen bekannt, die sich durch ihren Isoelektrischenpunkt (pI) differenzieren lassen. α -Amylase 1 (Amy-1) hat einen pI von 4,8–5,1. α -Amylase 2 (Amy-2) hat einen pI von 6,0–6,4. Eine dritte Form ist die α -Amylase 3 (Amy-3) mit einem pI von 6,4–6,6. Diese Form stellt einen Komplex aus Amy-1 und Amy-2 dar [92, 122].

Das Molekulargewicht der α -Amylase beträgt 20–55 kDa [92]. BERTOFT et al. [17] haben eine umfangreiche Untersuchung der Eigenschaften von Amy-1 und Amy-2 durchgeführt. Demzufolge ist Amy-2 im Malz die aktivere Isoform. Bei Abwesenheit von Calcium Ionen zeigt Amy-2 eine höhere Empfindlichkeit gegenüber höheren Temperaturen und niedrigeren

pH-Werten als Amy-1. Dies ist auf die für die Stabilität der tertiären Struktur von Amy-2 erforderlichen Calcium Ionen zurückzuführen [22].

In der einschlägigen Literatur des Brauwesens [96] wird das Temperaturoptimum der α -Amylase in Maische mit 70–75 °C und der optimale pH-Wert mit 5,6–5,8 angegeben. In reiner Stärkelösung liegt das Temperaturoptimum 10 °C niedriger [17].

Die Hydrolyse von gelöster Stärke erfolgt auf zwei verschiedene Weisen, den Einkettenangriff und den Mehrkettenangriff. Beim Einkettenangriff wird nach der Bildung des Enzym-Substrat-Komplexes und der Hydrolyse einer Bindung nur eines der beiden entstanden Moleküle freigelassen. Das am Enzym verbleibende Molekül wird entlang des aktiven Zentrums verschoben, und eine weitere Hydrolyse findet statt. Erst wenn das gesamte Molekül abgebaut ist, bindet das Enzym an ein neues Substrat [137].

Beim Mehrkettenangriff werden nach der Hydrolyse die beiden entstandenen Moleküle vom Enzym sofort wieder gelöst [96].

2.2.2 β -Amylase

β -Amylase ist ein Exo-Enzym, das Maltose durch die Hydrolyse der α -(1 \rightarrow 4)-Bindungen von Amylose und Amylopektin vom reduzierenden Ende her abspaltet. Das dadurch neu entstandene reduzierende Ende verfügt am C₁ Atom über eine β -Konfiguration. Das Molekulargewicht liegt bei 53–64 kDa.

β -Amylase ist bereits in der Gerste vorhanden und wird nicht während der Keimung gebildet. Sie liegt in zwei Formen vor, in der gebundenen und in der freien Form. Durch den Einsatz von reduzierenden Substanzen oder durch proteolytische Aktivitäten kann die gebundene Form in die freie überführt werden. Die gebundene Form ist im reifen Gerstenkorn mit den Stärkekörnern verbunden und wird während der Keimung durch verschiedene SH-Proteinasen durch die Abspaltung einer Peptidkette, die nicht das aktive Zentrum beeinflusst, aktiviert. Es existiert auch die Ansicht, dass die gebundene β -Amylase nicht inaktiv ist sondern das aktive Zentrum durch ein sterisches Hindernis blockiert wird [42, 121, 149].

In der Maische wird das Temperatur-Optimum bei 60–65 °C angegeben. Das pH-Optimum liegt im Bereich von 5,4–5,6. Die bei der Bestimmung dieser Eigenschaften verwendeten Methoden wurden über die maximale Maltoseausbeute bestimmt. Im Vergleich zur α -Amylase ist die β -Amylase sehr thermolabil. In Maische hat sie bei 65 °C nach 20 min

abhängig vom Schrot-Wasser-Verhältnis bereits 70–90 % ihrer anfänglichen Aktivität verloren [6, 91].

Es sind vier verschiedene Formen der β -Amylase bekannt, die sich durch ihre Thermostabilität unterscheiden [28]. Zwar wird in Deutschland sowie in Australien Forschung auf diesem Gebiet betrieben, aber derzeit befinden sich noch keine Gerstensorten auf dem deutschen Markt, die eine erhöhte Thermostabilität aufweisen.

2.2.3 Maltase

Maltase ist eine α -Glucosid-glucohydrolase (α -Glc) [97]. Sie hydrolysiert die α -(1 \rightarrow 4), α -(1 \rightarrow 3), α -(1 \rightarrow 2), α -(1 \rightarrow 6) und α -(1 \rightarrow 1) glykosidische Bindungen vom nicht reduzierenden Ende, dabei wird immer ein Glucosemolekül abgespalten [126]. Die Affinität gegenüber dem Substrat steigt mit abnehmendem Polymerisationsgrad und ist für Maltose am höchsten [32]. In Gerste ist es das einzige Enzym, das in der Lage ist, Maltose zu Glucose zu spalten [54]. Es kommen zwei Isoformen vor, die zum einen durch ihren Isoelektrischenpunkt differenziert werden können und zum anderen durch ihre Substrataffinität. α -Glc I hat einen niedrigeren pI als α -Glc II [126]. Das Temperaturoptimum in der Maische liegt bei 30–40 °C [96]. In neueren Untersuchungen von α -Glc II wurde eine sehr hohe Affinität gegenüber Maltose bei einer Temperatur von 45 °C und einem pH-Wert von 4,0–4,5 [32] gemessen. Oberhalb von pH 8,0 ist keine Aktivität mehr messbar [31].

2.2.4 Grenzdextrinase

Die Grenzdextrinase ist ein entzweigendes Enzym, das die α -(1 \rightarrow 6) glykosidischen Bindungen von Amylopektin spaltet [96]. Diese Bindungen stellen die Verzweigungen in Amylose und Amylopektin dar. Für eine vollständige Hydrolyse von Stärke ist dieses Enzym daher unabdingbar [76].

Grenzdextrinase kommt in Gerste in drei Formen vor, in freier, in einer latent gebundenen und in einer gebundenen. Das Molekulargewicht liegt bei ca. 105 kDa und der isoelektrische Punkt bei 4,5 [29]. Sie ist schon in der Gerste vorhanden und spielt eine Rolle bei der Biosynthese der Stärke. Beim Keimen wird sie durch Proteolyse aktiviert.

Das Temperaturoptimum dieses Enzymes wird in der Literatur sehr unterschiedlich angegeben. Während die gängigen Lehrbücher [96, 143] das Optimum bei 55–60 °C angeben, wird in neueren Untersuchungen [122, 123] das Optimum der Grenzdextrinase bei 60,0–

62,5 °C angegeben. Ein bemerkbare Inaktivierung der Grenzdextrinase setzt bei 65 °C ein, so ist die Restaktivität nach einer Stunde nur noch bei 35–45 % [122].

2.2.5 R-Enzym

Bei dem R-Enzym und der Grenzdextrinase handelt es sich um dasselbe Enzym. In der Literatur wurden sie anfänglich als zwei Enzyme dargestellt, die sich in ihrer Substratspezifität unterscheiden. Die hydrolytische Wirkung des R-Enzyms auf die α -(1→6) Bindungen von Amylopektin und β -Grenzdextrin wurde 1951 von HOBSON et al. [49] beschrieben. 1959 separierten MACWILLIAM und HARRIS [78] zwei Enzyme aus Malz, die die α -(1→6) glykosidischen Bindungen spalten. Die weiteren Untersuchungen ergaben unterschiedliche Substrataffinitäten der beiden Enzyme, so dass sie zu dem Schluss kamen, dass neben dem bekannten R-Enzym ein weiteres Enzym vorhanden war, die Grenzdextrinase. Für beide Enzyme fanden sie ein pH-Optimum von 5,1–5,3 und ein Temperaturoptimum von 40 °C. 1966 trennten MANNERS und SPARRA [82] mittels Gelelektrophorese zwei Aktivitäten aus dem Gerstenmalz, die sie als R-Enzym und Grenzdextrinase identifizierten. MANNERS et al. [81] weisen 1970 nach, dass Grenzdextrinase hydrolytische Aktivitäten gegenüber Amylopektin und β -Grenzdextrinen hat. DRUMMOND et al. [24] präsentieren 1970 Untersuchungen, in denen sie zeigen, dass das R-Enzym in starker Verdünnung seine Aktivität gegenüber Amylopektin verliert, sie aber gegenüber α - und β -Grenzdextrinen behält. In den siebziger Jahren wurden Zweifel daran erhoben, dass es sich um zwei Enzyme handelt, die durch DUNN et al. [26] und später auch durch MANNERS bestätigt wurden [79]. Ein Grund für die unterschiedlichen Erkenntnisse war, dass die Affinität des Enzyms gegenüber verschiedenen Substraten abhängig von der Konzentration sehr unterschiedlich war. So werden β -Grenzdextrine mit kurzen Seitenketten besser hydrolysiert als mit längeren Seitenketten. Dessen unbewusst, wurden zum Teil zu starke Verdünnungen verwendet, die die Hydrolyse einiger Substrate nicht mehr anzeigten [26]. Der Ausdruck R-Enzym wird heute noch verwendet, die EC Nummer ist jedoch wie für Grenzdextrinase [95]. Eine umfangreiche Literaturrecherche zu diesem Konflikt wurde von STENHOLM durchgeführt [122].

2.3 Enzymatischer Abbau der Stärke

Der enzymatische Abbau von nativen Stärkekörnern und gelöster Stärke unterscheidet sich in zwei wesentlichen Punkten. Der erste Punkt ist die Hydrolyse. Die Degradation von nativen Stärkekörnern ist sehr langsam im Vergleich zu vorverkleisterter Stärke [116]. Der zweite

Punkt sind die für den Abbau verantwortlichen Enzyme. Nur α -Amylase [116] und α -Glucosidase [126] sind in der Lage native Stärkekörner anzugreifen. *In-vivo* Versuche haben gezeigt, dass Amy-2 die höchste Aktivität gegenüber Stärkekörnern hat [126]. Zusammen mit α -Glc II kommt es zu einem synergetischen Effekt, der die Hydrolyse um ein Vielfaches verstärkt [126].

Die großen Stärkekörner der Gerste werden nicht wahllos an der Oberfläche angegriffen, sondern an Poren, die entlang des äquatorialen Rückens vorliegen [30]. Während der Keimung werden diese Poren weiter vertieft, so dass Enzyme in das Innere des Korns eindringen können. Die restliche Oberfläche des Stärkekorns bleibt dabei unversehrt [119].

Kleine Stärkekörner werden schneller hydrolysiert als große Körner [14, 19, 74], was durch das relativ große Verhältnis von Masse zu Fläche erklärt wird [77], zudem werden sie nicht durch Poren hydrolysiert, sondern durch eine Art Oberflächenerosion, die zu einer unter dem Elektronenmikroskop sichtbar werdenden Aufrauung führt [74]. Der Grund dafür sind Unterschiede in der Struktur der beiden Körner [18]. Während der Keimung werden die kleinen Stärkekörner in Gerste weitestgehend abgebaut, die großen Körner hingegen werden nur geringfügig enzymatisch angegriffen [101].

Die Bedeutung des Amyloseanteils bezüglich der enzymatischen Angreifbarkeit wurde in der Vergangenheit kontrovers diskutiert. Es wurde berichtet, dass wachsigere Gerste leichter angreifbar ist als normale und amylose-reiche Gerste [69, 77]. Dass der erhöhte Amyloseanteil für die verringerte Angreifbarkeit verantwortlich ist, wird angezweifelt [77, 116].

Beim Vergleich von Modellmaischen, bestehend aus isolierter Stärke mit unterschiedlichen Amyloseanteilen, Wasser und aufgereinigten Enzymen, wurde die stärkste Hydrolyse bei normaler Gerstenstärke gemessen. Während die Verkleisterungstemperatur (RVA-Messung) bei wachsigere Stärke geringer und bei amylose-reicher Stärke am höchsten war, ging eine niedrige Onset-Temperatur mit einer erleichterten Angreifbarkeit einher [75]. Die Angreifbarkeit von normaler Gerstenstärke, d. h. mit einem Amyloseanteil von 20–30 %, wird kontrovers diskutiert. Den Untersuchungen von WILLIAMS und DUFFUS [147] zufolge haben weder die Größe der Amyloplasten noch das Amylose zu Amylopektin Verhältnis einen Einfluss auf die Angreifbarkeit durch α -Amylasen. Vielmehr ist der Reifegrad der Amyloplasten relevant, so dass die Aussagen einiger Untersuchungen, bei denen dies nicht berücksichtigt wurde, zu Fehlinterpretationen geführt haben.

Die enzymatische Angreifbarkeit korreliert invers mit der Temperatur während des Aufwuchses [94]. Diese wiederum zieht nach den Ansichten von TESTER [130] ein höheres Maß an Kristallinität der Stärke nach sich. Folglich wäre die Aussage von BERTOFT [18] zutreffend, der Unterschiede in der Angreifbarkeit der Stärkekörner in der Stärkekornstruktur vermutet.

Während bei der Malzherstellung die Gewinnung von vergärbaren Zuckern eine untergeordnete Rolle spielt, ist dies beim Maischen umso wichtiger. Für einen effizienten Abbau der Stärke zu niedermolekularen Zuckern sind neben den erwähnten Enzymen α -Amylase und α -Glucosidase auch noch β -Amylase und Grenzdextrinase notwendig [77].

2.4 Modifikation der Amylose-Lipid-Komplexe

Wie bereits erwähnt, ist Amylose in der Lage mit Fettsäuren und Lysophospholipiden Komplexe zu bilden. In der Stärkeindustrie verursachen sie große Probleme, da diese Komplexe zum einen Trübungen verursachen und zum anderen enzymatisch äußerst schwer zu hydrolysieren sind. In der Stärke sind Amylose sowie Fettsäuren vorhanden [77].

Die T_0 des ALC ist höher als die des Amylopektins [90]. In normaler Gerstenstärke liegen sie im Bereich von 94,4–98,5°C [90]. In den kleinen Körnern ist die Dissoziationsenthalpie größer als in den A-Körnern, was auf den höheren Lipidanteil der B-Körner zurückzuführen ist [93]. Die Stärkelipide in Gerste setzen sich zu über 50 % aus 16:0 und 18:0 Fettsäuren zusammen [135].

Während des Mälzungsprozesses findet eine Modifikation der Amylose-Lipid-Komplexe statt. In Braugerste liegt die T_0 des ALC zwischen 94,6 und 95,3 °C und in dem dazugehörigen Gerstenmalz zwischen 77,6 und 82,0 °C. Die Schmelzenthalpie hingegen nimmt zu. [56] Der Grund dafür wird in der enzymatischen Freisetzung von freien Fettsäuren durch lipolytische Aktivitäten während der Keimung vermutet, die dann Komplexe mit Amylose eingehen können [60].

Es wird davon ausgegangen, dass die ALCs während des Maisch- und Bierbereitungsprozesses verschiedene Probleme verursachen können. Zum einen sind diese Komplexe enzymatisch schwer angreifbar, wodurch sie zu Ausbeuteverlusten führen können und zum anderen sind sie für Trübungen verantwortlich und können Filtrationsschwierigkeiten verursachen [23, 56].

2.5 Umwelteinflüsse auf die Stärke

Die Umweltbedingungen haben nicht nur auf den Ertrag der Gerstenpflanze einen Einfluss, sondern auch auf die Biosynthese der Stärke und somit auf ihre Eigenschaften. Diese Einflüsse sind die Temperatur, Tageslänge sowie Lichtintensität, Niederschlagfall, CO₂-Konzentration und die Zusammensetzung des Bodens [131].

2.5.1 Temperatur

Der Einfluss der Temperatur auf die Gerstenstärke ist schon in vielen Arbeiten untersucht und diskutiert worden [61, 94, 112, 113, 130, 131, 136, 144, 145]. Der Einfluss selber und die Erklärungen sind nicht immer übereinstimmend. Mit ein Grund dafür kann die zum Teil sehr schwierige Versuchsanordnung sein, die verlangt, dass tatsächlich nur der Parameter Temperatur variiert [130]. Eine einheitliche Aussage ist die, dass das Korngewicht um 5–30 % abnimmt auf Grund einer geringeren Stärkeeinlagerung [4, 111].

Untersuchungen haben ergeben, dass die Größe der A-Körner und B-Körner, sowie die Anzahl der B-Körner mit steigender Temperatur abnimmt [136].

Den Untersuchungen von TESTER [130] zufolge, hat eine Gerste, die einer Umgebungstemperatur von 20 °C während der Kornfüllungsphase ausgesetzt war, eine höhere Onset-Temperatur als eine Gerste, die bei 10 °C aufgewachsen ist. Des Weiteren wurden bei der Gerste, die bei 20 °C aufgewachsen ist, ein geringerer Stärkegehalt, ein höherer Proteingehalt und ein höherer Phosphatgehalt gemessen [136]. Der Phosphatgehalt wiederum korreliert mit dem Lipidgehalt der Stärke. Ebenso ist bei dieser auch eine stärkere Quellung gemessen worden. Folglich ist die Stärke, die bei 20 °C gebildet wurde, im Brauprozess weniger leicht enzymatisch zu hydrolysieren. Der Amylosegehalt variiert bei normaler Gerste nur geringfügig, bei amylosereicher Gerstenstärke nahm der Amyloseanteil mit steigender Temperatur deutlich ab [136]. Neuere Arbeiten [94] haben einen Anstieg im Amylosegehalt mit steigender Temperatur festgestellt. Diese Arbeit haben gemeinsam, dass der Probenumfang zum Teil nur sehr gering war. So wurden zum Beispiel zwei Sorten von zwei Jahrgängen untersucht.

Stärkelipide können, wie oben beschrieben, mit Amylose Komplexe eingehen. Bei der Bestimmung von Amylose mittels Iodfärbung, werden diese Komplexe nicht erfasst, sofern diese vorher nicht entfettet wurden. Diese Problematik ist zumindest zum Teil ein Grund für die unterschiedlichen Resultate. Denn in den Untersuchungen von TESTER [136] nimmt die Differenz zwischen gesamter Amylose und scheinbarer Amylose mit der Temperatur zu, d. h.

mit steigender Temperatur nehmen die Amylose-Lipid-Komplexe in der Stärke zu. Der Grund für die erhöhte Lipidkonzentration ist unklar. BARLOW et al. [13] haben in ihren Untersuchungen eine Zunahme der Lipidkonzentration in der Chalazal Zone bei erhöhten Temperaturen und Trockenheit gemessen. Es ist eine Abwehrreaktion der Pflanze, die durch die Anreicherung von Lipiden ein Zurückströmen des Wassers aus dem Korn in die Pflanze verhindert.

Neueren Untersuchungen zur Folge führen niedrige Temperaturen dazu, dass es bei der Ausbildung der Amylopektinkristalle zu Defekten kommt, die wiederum eine niedrigere Verkleisterungstemperatur zur Folge haben [61]. Somit geht die erhöhte VKT mit einer höheren bzw. perfekteren Kristallinität im Stärkekorn einher. Die erhöhte Kristallinität wird von TESTER [130] mit *in-vitro* Annealing gleichgesetzt. Annealing ist die Erhöhung der kristallinen Ordnung in Stärke durch Wärmeeinwirkung unterhalb der Onset-Temperatur bei Wassergehalten von 40 % [57].

Aus der Literatur kann geschlossen werden, dass erhöhte Temperaturen während der Stärkesynthese einen Anstieg der Verkleisterungstemperatur, des Lipidgehaltes und damit verbunden einen erhöhten Anteil an Amylose-Lipid-Komplexen zur Folge haben. Das Verhältnis an Amylose zu Amylopektin wird in anderen Stärkearten wie z. B. Reis durch erhöhte Temperaturen beeinflusst, in Gerste scheint der Einfluss marginal zu sein.

2.5.2 Salinität

Häufig wird Salinität mit Trockenheit in Verbindung gebracht. Diese beiden Umwelteinflüsse und die Reaktionen der Pflanzen differieren jedoch erheblich voneinander. Unter Salinität (Salzstress) wird das Überangebot an anorganischen Salzen verstanden, dabei kann Wasser im Übermaß vorliegen [87]. Gerste gehört zu den salztoleranten Glycophyten, d. h. dass Natriumchlorid in geringen Konzentrationen im Boden den Ertrag fördert. Ab einer elektrischen Leitfähigkeit von 8,0 dS/m, die ein Maß für den Salzgehalt des Bodens ist, nimmt der Ertrag ab [51]. Salzstress äußert sich in einem geringeren Ertrag [4, 55, 87], der bei Gerste jedoch erst viel später einsetzt als bei Weizen [103]. Hohe Salzkonzentrationen können Trockenheit simulieren, da das Salz im Boden viel Wasser bindet, das somit der Pflanze nicht zur Verfügung steht. Bei Pflanzen der Familie der Poacea wird die Na⁺-Konzentration und die Cl⁻-Konzentration im Zytoplasma niedrig gehalten [87].

Die Gerste gleicht das Überangebot dadurch aus, indem sie vermehrt NaCl aufnimmt. Primär geschieht dies in den Wurzeln. Der Natriumtransport in Blätter und Stengel wird als mäßig

eingestuft [86]. Pflanzen, die in einem stärkeren Maße Natrium in den oberirdischen Pflanzenteil transportieren, verfügen über einen verbesserten Wasserhaushalt. Dieser wird dadurch hervorgerufen, dass diese Pflanzen über einen schnelleren Stromataschluss (Spaltöffnung in der Pflanze, die dem Gasaustausch dient) den Wasserverlust in Form von Transpiration verhindern [41]. Erhöhte Salinität führt zu stomataler Conduction [55].

Natrium ist ein Antagonist des Calciums. In Pflanzen verdrängt es Calcium aus den Membranen und macht sie dadurch permeabler. Hohe Natriumgehalte führen dazu, dass das Wachstum der Pflanze geringer ausfällt, da zum einen viel Energie für die aktive Abscheidung von Natrium benötigt wird, und zum anderen benötigt die osmotische Anpassung viel Assimilat, das nicht für den Aufbau verwendet werden kann. Dies ist bei Gerste nicht der Fall, hier wird der Ertrag weniger stark beeinflusst, dafür aber das vegetative Wachstum, was sich in kleineren Blättern äußert.

2.5.3 Trockenheit

Trockenheit kann bei Pflanzen zu einer Mangelversorgung einiger Mineralien führen [52]. Über den Einfluss der Trockenheit auf die Gerste ist bisher wenig publiziert worden. Über die Auswirkungen auf die Stärke wird nur wenig berichtet [111].

Trockenheit führt zu einer Verkürzung der Kornfüllungsphase; dies hat eine geringere Stärkeeinlagerung zur Folge, die wiederum zu einem geringen Kornertrag führt. Aus dem Bereich der Weizenforschung ist bekannt, dass Trockenheit bei gleichzeitig hohen Temperaturen diesen Effekt verstärkt [112]. Die verschiedenen Gerstensorten verfügen über große Unterschiede in der Resistenz gegenüber Trockenheit [142].

2.6 Analysenkennzahl VZ 45 °C

Die VZ 45 °C wurde in den 30er Jahren, als Bestandteil eines Verfahrens zur Ermittlung der Löslichkeit von Malz im Labor von HARTONG [43] entwickelt. Er wählte vier Temperaturstufen (25 °C, 45 °C, 65 °C und 85 °C), bei denen für eine Stunde isotherm gemaischt wurde. Die 25-°C-Maische sollte über präexistierend gelösten Extrakt und die Aktivität der Phytase (einer Phosphat-Esterase), die 45-°C-Maische über proteolytische Aktivitäten, die 65-°C-Maische über die Aktivität aller Enzyme und die 85-°C-Maische über die Extraktlösung als Folge der Stärkeverkleisterung Aufschluss geben. Die vier Verhältniszahlen wurden gemittelt, um 60 gemindert und als Lösungszahl definiert. Tabelle 1 zeigt die Beurteilung der Lösungszahl nach HARTONG.

Hartongzahl	Malzbewertung
0–3,5	abnehmende Unterlösung
4–4,5	normale Lösung für Fassbiere
5	ideale Lösung
5,5–6	zweckentsprechende Überlösung für Flaschenbiere
6,5–10	zunehmende Überlösung

Tabelle 1: Beurteilung der Lösungszahl nach HARTONG

Ein wesentlicher Nachteil dieser Methode war der hohe Zeitaufwand [63]. Es herrschte Einigkeit darüber, dass der Schwerpunkt der Lösungszahl auf den Kohlenhydraten liegt, und dass der Lösungsvorgang während des Maischens von dem gesamten Enzymgehalt des Malzes und der Angreifbarkeit des Substrates beeinflusst wird, wobei die Angreifbarkeit in diesem Falle mit der Auflösung des Malzes gleich gesetzt wird [44]. Weiter sah HARTONG [45] in der Lösungszahl bzw. in den einzelnen relativen Extraktzahlen die Möglichkeit, die Brauqualität zu beurteilen aber auch die Ursachen für eventuelle Fehler des Malzes zu benennen.

1939 betrachtet HARTONG [46] die VZ 45 °C als eine Maßzahl für das Enzympotential der Gerste. 1953 modifizierten HARTONG und KRETSCHMER [47] die Analysenmethode. Anstelle von 25 °C wurde 20 °C gewählt und für 85 °C wurde die 80 °C-Maische eingeführt. Neben der Hartongzahl werden auch die einzelnen Verhältniszahlen betrachtet. Der VZ 45 °C wird eine besondere Bedeutung zugeteilt, da sie sowohl die Herstellung als auch die enzymatische Kraft des Malzes beurteilt. Sie schloss eine Lücke in der Malzanalytik. Als Standard wurde 36 % angegeben. Liegt die VZ 45 °C unter dem Standard, so ist das Malz durch eine fehlerhafte Behandlung enzymgeschwächt, was insbesondere die proteolytischen Enzyme betrifft. Fortan sollte die Betrachtung der Feingrobdifferenz, die Kaltextraktzahl, der

Längsschnitt sowie die VZ 45 °C ein Malz ausreichend genug beschreiben. Die HARTONG-Untersuchungsmethoden sollten die Beurteilung lediglich festigen. Dieser Wert ist heute bekannt als die „Lösungszahl nach HARTONG“ oder „Hartongzahl“ (HZ). VZ-45-°C und VZ-25-°C-Werte, die unter den Standardwerten 36 % bzw. 25 % liegen, können laut HARTONG und KRETSCHMER zu Schwierigkeiten bei der Läuterung, der Gärung, der Klärung, der Filtration sowie der Haltbarkeit führen. Der Grund wird in einer geschwächten Aktivität der proteolytischen Enzyme durch falsche Darrarbeit gesehen.

PIRATZKY [105] vertrat die Meinung, dass die HZ erst in zweiter Linie von der Auflösung des Korngefüges beeinflusst wird, aber ein brauchbares Maß der enzymatischen Aktivität darstellt. Insbesondere die VZ 45 °C sah er als die aussagekräftigste Kennzahl an. 1963 folgerte SCRIBAN [114] aus seinen Untersuchungen, dass der Extrakt bei 45 °C und der pH-Wert der gleichen Würze eine umfangreiche Aussage über das Malz machen, besonders gut wird der α -Amylasegehalt beschrieben. Dem widersprach KRETSCHMER [66], der die α -Amylase-Aktivität durch die VZ 80 °C beurteilt.

1967 stellte KRETSCHMER [66] einen Zusammenhang zwischen einer unzulänglichen VZ 45 °C und einer geringen Hefevermehrung her, die wiederum einen negativen Einfluss auf Klärung, Aroma und Haltbarkeit hat. Er gab für die VZ 45 °C einen Grenzwert von mindestens 36 % an, für eine gute kolloidale Haltbarkeit des Bieres Werte von über 40 %.

Nach den Untersuchungen von LIE und RASCH [71] korreliert die VZ 45 °C mit dem FAN Gehalt der Würze. Eine VZ 45 °C von 38–40 % garantiert nach den Erfahrungen von BELLMER [15] eine ausreichende Versorgung der Hefe an assimilierbarem Stickstoff.

Die VZ 45 °C sowie einige andere Malzspezifikationen gelten als genetisch fixiert und sind damit von der Sorte abhängig [97].

Im europäischen Ausland hat die VZ 45 °C heute kaum noch eine Bedeutung; so wird sie in den jährlichen EBC Barley Trials seit der Ernte 1978 nicht mehr aufgeführt [40]. In den Jahren davor war sie nur eine optionale Analyse [39].

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass alle Autoren der Ansicht sind, dass die VZ 45 °C eine Aussage über die Lösung des Malzes macht. Im Brauwesen wird unter Lösungsvorgang die physikalische sowie die enzymatische Lösung verstanden. Somit werden diese Vorgänge von Enzymaktivitäten, physikalischen Einflussgrößen (z. B. Temperatur) sowie von den Eigenschaften des Substrats selber beeinflusst. Kennzahlen, die einen Lösungsvorgang beschreiben, erfassen somit immer mehrere Einflüsse.

Wenn durch die VZ 45 °C die Proteolyse beschrieben wird, dann muss es einen Zusammenhang zwischen der VZ 45 °C und einer der proteolytischen Kennzahlen des Malzes oder mit einem Würze- oder Bierqualitätsmerkmal geben.

Stellt die VZ 45 °C eine zytolytische Größe dar, dann muss sie mit einer Kennzahl korrelieren, die die Zytolyse beschreibt. Ist dies nicht der Fall, dann muss es einen Zusammenhang zu einem Würze- oder Bierqualitätsmerkmal geben, das die Zytolyse beschreibt, sonst ist die VZ 45 °C keine zytolytische Kennzahl.

Stellt die VZ 45 °C eine amylytische Größe dar, dann muss sie entweder mit einer der amylytischen Aktivitäten, einer produkt- oder einer substratbeschreibenden Größe korrelieren. Die wichtigsten amylytischen Aktivitäten sind die α -Amylase und β -Amylase. Die Produktgrößen sind vergärbare Zucker und Dextrine. Als Substratgrößen werden die physikalischen Eigenschaften der Stärke verstanden.

3 Material und Methoden

3.1 Gersten- und Malzmuster

Es wurden Gerstenmuster der Ernte 2003 und 2004 verwendet. Alle Muster waren Vergleichssorten des dritten Wertprüfungsjahres des Bundessortenamtes. Aus der Ernte 2003 wurden vier Sorten von vier Standorten, von der Ernte 2004 wurden sechs Sorten von acht Standorten untersucht.

3.2 Kleinmälzung

Die Gerstenmuster wiesen vor der Vermälzung eine Keimenergie von mindestens 95 % auf. Die Gerste wurde bei 15 °C geweicht und gekeimt mit einer maximalen Keimgutfeuchte von 45 %. Diese wurde durch zwei Nassweichen von je 5 h erreicht. Es wurden 24 h bei 50 °C geschwelkt und anschließend je eine Stunde bei 60 und 70 °C und 5 h bei 80 °C gedarrt.

3.3 Malzanalytik

Sämtliche Malzanalysen wurden frühestens nach einer einwöchigen Mälzungsruhe durchgeführt. Wenn nicht anders vermerkt, wurden die Analysen entsprechend den Methoden der Mitteleuropäischen Brautechnischen Analysenkommission (MEBAK) [104] durchgeführt.

Wassergehalt Malz	MEBAK I 4.1.4.1
Extrakt Malz	MEBAK I 4.1.4.2.2
Endvergärungsgrad	MEBAK I 4.1.4.10
Friabilimeter Mürbigkeit	MEBAK I 4.1.3.6.1
Ganzglasigkeit	MEBAK I 4.1.3.6.1
Teilglasigkeit	MEBAK I 4.1.3.6.1
Rohprotein Malz	MEBAK I 4.1.4.5.1.1
Löslicher Stickstoff Malz TrS.	MEBAK I 4.1.4.5.2
Eiweiss-Lösungsgrad	MEBAK I 4.1.4.5.3
Freier Amino-Stickstoff TrS.	MEBAK I 4.1.4.5.5
Viskosität (8,6 %)	MEBAK I 4.1.4.4.1
VZ 45 °C	MEBAK I 4.1.4.11

3.3.1 α -Amylase Aktivität

Die Aktivität der α -Amylase-Aktivität wurde nach der ICC-Schnellmethode Nr. 303 [53] bestimmt. Die Umrechnung in ABSC Einheiten erfolgte nach Gleichung 1.

$$(1) \text{ Enzymaktivität [U/g]} = 0,23 \times \text{Ceralpha Einheiten} + 0,61$$

3.3.2 β -Amylase Aktivität

Die Aktivität der β -Amylase wurde mit der MCCLEARY Methode [85] bestimmt und nach Gleichung 2 von Betamyl Units in Diastatische Kraft in WK umgerechnet [110].

$$(2) \text{ DP [WK]} = 0,365 \times \beta - \text{Amylase [U/g]} + 65,7$$

3.4 Labormaischen

Alle Labormaischen wurden im Kongressmaßstab durchgeführt, d. h. es wurden 50 g Feinschrot eingewogen und mit 200 ml temperiertem und destilliertem Wasser eingemischt. Nach dem Abkühlen auf 20 °C wurden die Maischen auf 450 g aufgewogen und über Faltenfilter filtriert. Die Entwicklung des Extraktes während des Kongressmaisverfahrens und der isothermen 45-°C-Maische wurde durch fünf Proben (Probe 0 bis Probe 4), die zu Beginn und zum Ende der Temperaturrasten der beiden Maischverfahren genommen wurden. In Abbildung 5 sind die Proben und die Maischverfahren dargestellt.

Das lösliche Eiweiß wurde nach Formel 3 aus dem löslichen Stickstoff berechnet.

$$(3) \text{ lösliches Eiweiß [g/100g]} = \text{lösl. Stickstoff [mg/100g]} \times 6,25 \times 10^{-3} \text{ g/mg}$$

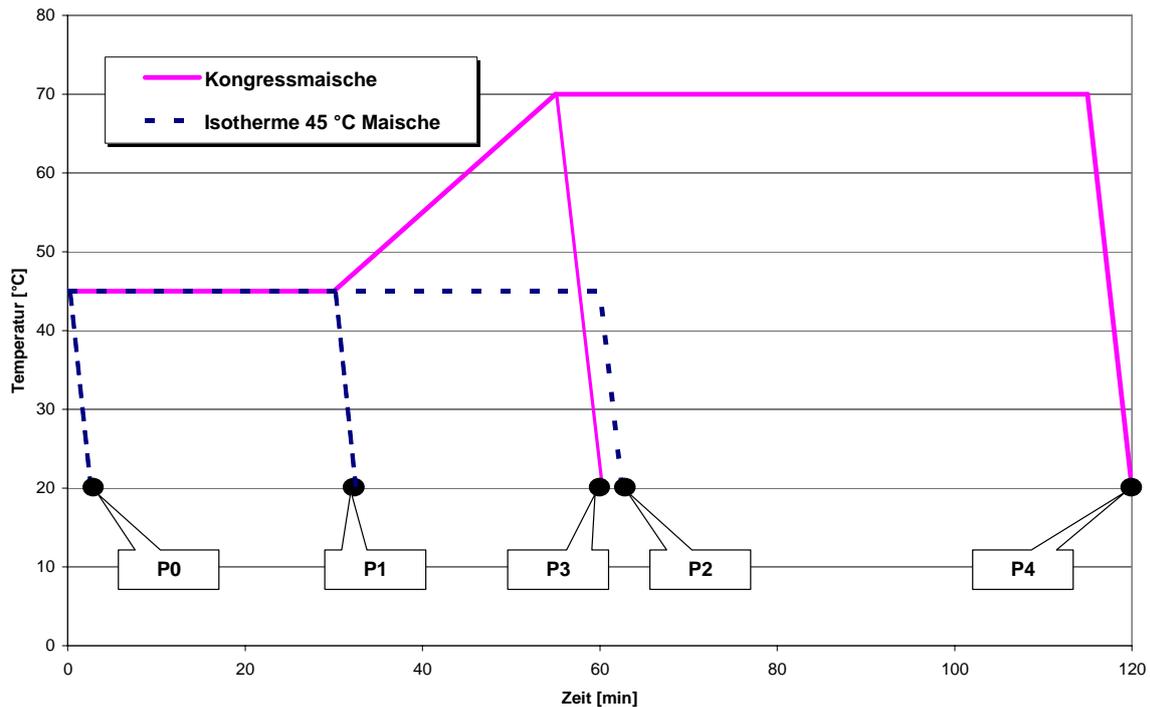


Abbildung 5: Temperatur-Zeit Regime für die Labormaischen

3.5 Stärkeanalytik

3.5.1 Rotationsviskosimetrie

Die Stärkeuntersuchungen wurden am computergesteuerten Rotationsviskosimeter RVA-4 von Newport Scientific Pty. Ltd., Warriewood, Australien mit der Software Thermocline for Windows 2.3 Build 10 durchgeführt. Die Verkleisterungstemperatur wurde mittels ICC Standard Nr. 162 [53] bestimmt. Die Vorschrift wurde insofern geändert, als das 7,5 g Malzschrot (bezogen auf 5 % GG Wassergehalt) und 15,0 g H₂O eingewogen wurden. Als Testprogramm wurde STD1 verwendet, die Datenerfassung erfolgte alle 0,5 s und nicht wie ursprünglich festgelegt alle 4 s. Das Malz wurde mit einer Labormühle (0,8 mm Siebweite, 16.800 U/min) von Perten, Hamburg zerkleinert.

In Abbildung 6 ist eine Beispielkurve einer RVA Messung. Eingezeichnet sind die Merkmale Verkleisterungstemperatur (VKT), Zeit bis zum Viskositätsmaximum (engl. Time-to-Peak (TTP)) und das Viskositätsmaximum.

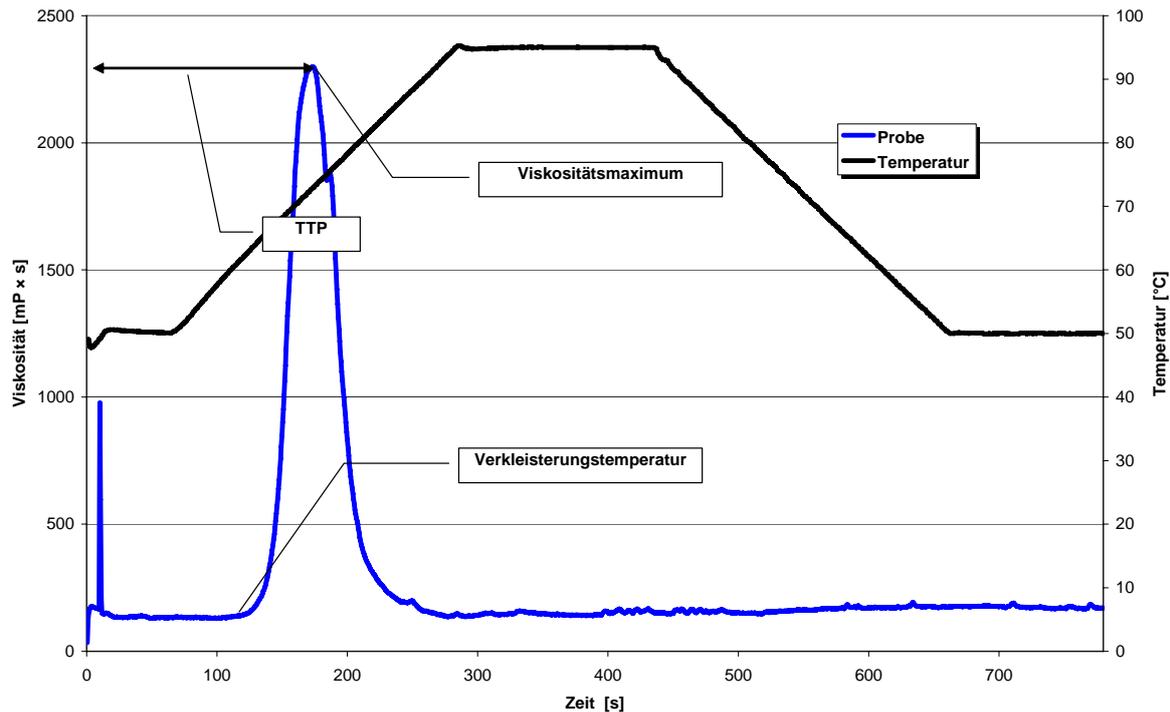


Abbildung 6: Beispielkurve RVA

3.5.2 Kalorimetrische Analytik

Mittels DSC Analytik lassen sich verschiedene Eigenschaften der Stärke beschreiben. Das Messprinzip der DSC beruht darauf, dass zwei geschlossene Pfännchen derart erwärmt werden, dass beide stets die gleiche Temperatur aufweisen. Ein Pfännchen enthält die Probe, das andere enthält Luft. In Abhängigkeit von der Temperatur wird die zum Ausgleich von physikalischen Änderungen, in diesem Fall das Schmelzen des Amylopektins oder der ALC, aufgewendete elektrische Leistung gemessen. Dabei zeigen exotherme Reaktionen, wie Kristallisationsvorgänge, positive Signale und endotherme Reaktionen, wie das Schmelzen, negative Signale.

In Abbildung 7 ist das Thermogramm einer Malzprobe abgebildet. Es ist ein AP-Peak und ein ALC-Peak zu sehen. Für beide Peaks sind die Onset-Temperatur, die Peak-Temperatur sowie die End-Temperatur eingetragen. Darüber hinaus sind die Peakflächen und die Reaktionsenthalpien ΔH angegeben.

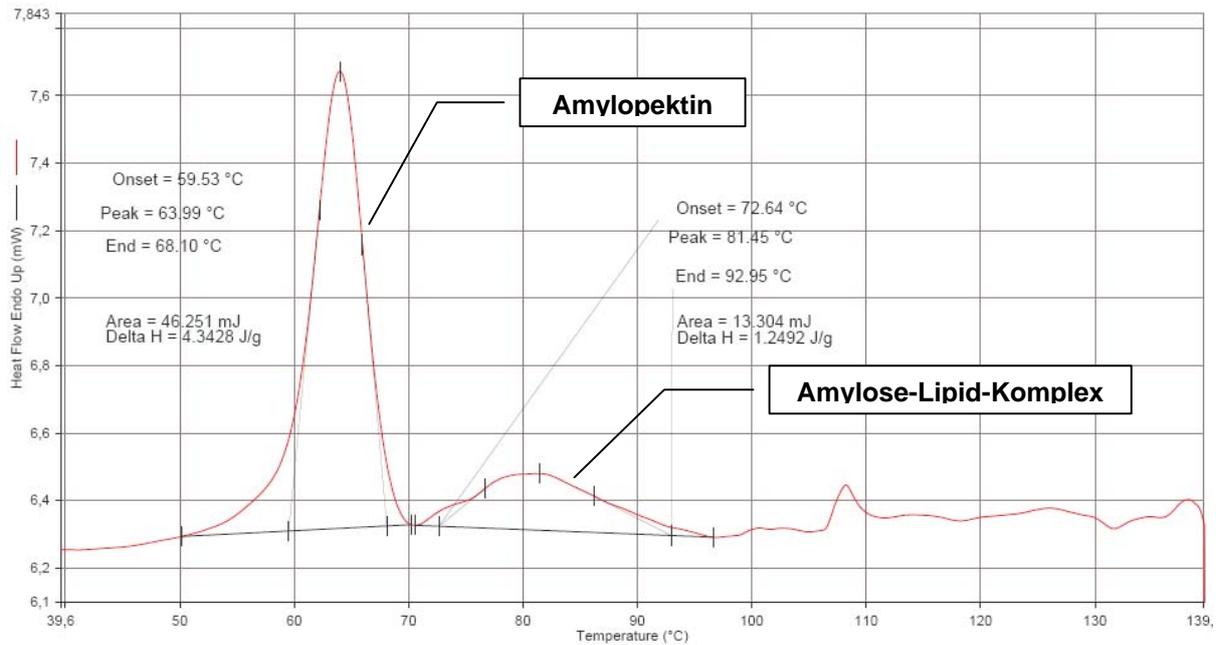


Abbildung 7: Thermogramm einer Malzprobe

In der vorliegenden Arbeit wurde das Mehl und nicht die isolierte Stärke untersucht. Die Ergebnisse der Untersuchungen am Mehl sind nicht direkt auf die Stärke zu übertragen. Den Ergebnissen von IZYDORCZYK et al. [56] zufolge sind die Peak-Temperaturen des Amylopektins und der ALC im Mehl höher als in der aufgereinigten Stärke, der Grund dafür ist die geringere Wasseraktivität, da im Mehl Proteine und Zellwandbestandteile einen Teil des Wassers binden.

Die Onset-Temperatur beschreibt das Einsetzen des Schmelzens der kristallinen Struktur des APs bzw. des ALCs. Die Fläche des APs entspricht der Schmelzwärme, die benötigt wird, um die AP Kristalle aufzulösen. Bezogen auf die Einwaage ergibt sich die Enthalpie ΔH . Sie ist ein Maß für die Menge an AP Kristallen [134]. Die Peak-Temperatur ist nach TESTER [130] ein Maß der Perfektion der Kristallinität.

In der DSC Graphik entspricht der zweite Ausschlag dem Schmelzen des ALCs. Die Onset-Temperatur beschreibt das Einsetzen des Schmelzens des ALCs und die Fläche beschreibt die dafür benötigte Energie und entspricht somit auch der Menge an ALCs. Sie ist ebenfalls ein Maß für den scheinbaren AM-Gehalt [130].

Die DSC Analysen wurden freundlicherweise von Bayer Cropscience, Berlin durchgeführt. Es handelt sich um Einfachbestimmungen. Die Enthalpieangaben beziehen sich auf die Trockensubstanz. Es wurde mit einer Heizrate von 10 K/min gearbeitet.

3.6 Mineralstoffuntersuchungen

Die Kationen Natrium (Na) und Calcium (Ca) in Malz und Gerste wurden mittels optischer Emissionsspektrometrie mit induktiv gekoppelter Plasma (ICP-OES) nach EN ISO 11885 E22 bestimmt. Die Untersuchungen wurden freundlicherweise vom Forschungszentrum für Brau- und Lebensmittelqualität, Freising durchgeführt. Die Analysen wurden in Doppelbestimmung durchgeführt.

3.7 Statistische Betrachtung

Zur Untersuchung von Zusammenhängen und Abhängigkeiten wurden verschiedene Instrumente der Statistik herangezogen. Die Berechnungen wurden mit der Computersoftware Microsoft Excel 2003 und WinSTAT für Microsoft Excel Version 1999.2 durchgeführt.

3.7.1 Regressionsanalyse

Die Frage, ob ein linearer Zusammenhang zwischen den beiden Merkmalen x und y vorliegt, wurden mit dem Pearsonschen Korrelationskoeffizienten r (vgl. Formel (4)) untersucht.

$$(4) \quad r = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n x_i \right) \left(\sum_{i=1}^n y_i \right)}{\sqrt{\left(\sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2 \right) \left(\sum_{i=1}^n y_i^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n y_i \right)^2 \right)}}$$

Der Korrelationskoeffizient r gibt in Abhängigkeit der Freiheitsgrade und der Irrtumswahrscheinlichkeit α , die Güte des Zusammenhangs an. In Tabelle 2 ist die Kennzeichnung von r in Abhängigkeit von der Irrtumswahrscheinlichkeit α dargestellt.

Tabelle 2: Darstellung Irrtumswahrscheinlichkeiten und Korrelationskoeffizienten

Korrelationskoeffizient	Irrtumswahrscheinlichkeit
r^{***}	$\alpha = 0,001$
r^{**}	$\alpha = 0,01$
r^*	$\alpha = 0,05$

3.7.2 Darstellung von Verteilungen

Die in der vorliegenden Arbeit benutzten Box & Whisker Diagramme zeigen eine graphische Darstellung der Verteilung der Messwerte. Dabei wird die Verteilung von oben betrachtet. Die Diagramme ermöglichen durch die Darstellung verschiedener Perzentile und des Medians der Verteilung Informationen über die gesamte Verteilung der Messwerte in einer Graphik

darzustellen. Abhängig von der Datenmenge werden die Perzentile (5 %, 25 %, 75 % und 95 %) dargestellt. Die dargestellten Perzentilen und der Median stellen den prozentualen Anteil der Proben dar, die in dem jeweiligen Bereich liegen. Der Median gibt also an, dass 50 % der Proben unterhalb bzw. oberhalb dieses Wertes liegen. In der Datentabelle unter dem Diagramm sind die gemessenen Minimal- bzw. Maximalwerte sowie die errechneten Werte für den Median und die Perzentile 25 % und 75 % aufgelistet.

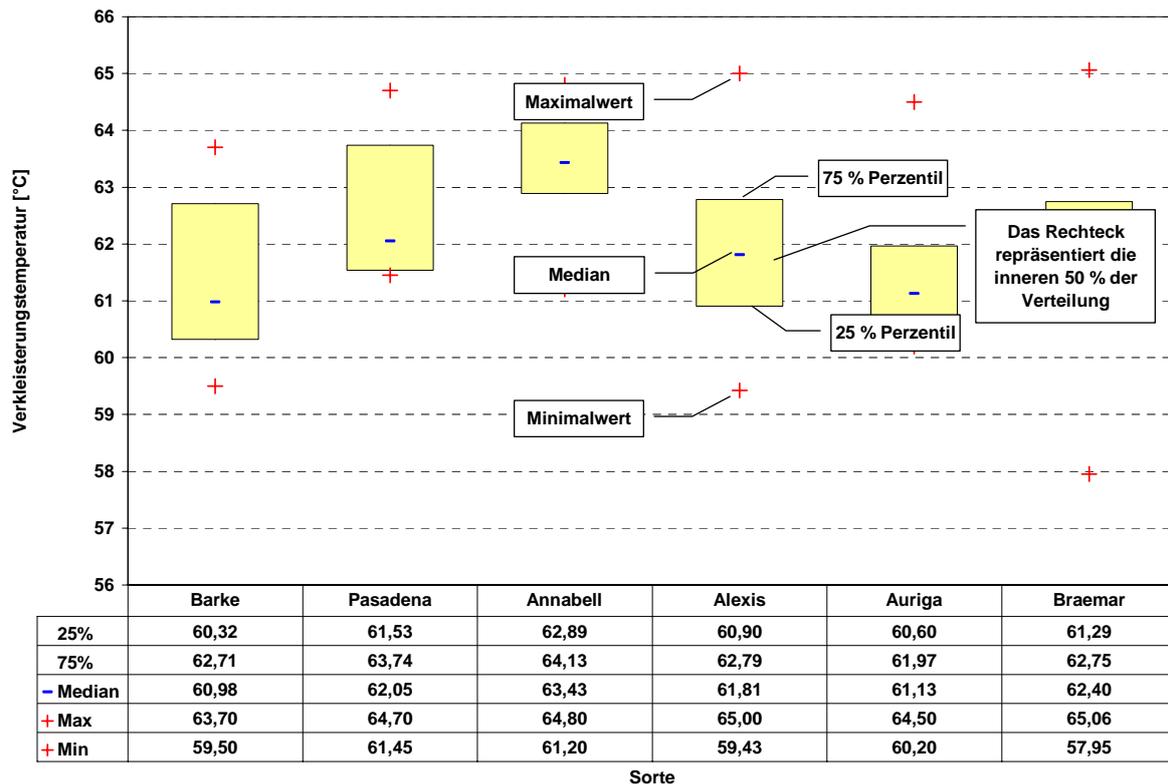


Abbildung 8: Beispiel einer Box & Whisker Darstellung

3.7.3 Vergleich von Verteilungen

Die in den Diagrammen dargestellten Unterschiede der Verteilungen wurden auf Signifikanz überprüft. Für den Vergleich von zwei Verteilungen, wie es bei dem Vergleich von Gerste und Malz häufiger der Fall war, wurde der verbundene t-Test durchgeführt. Der Test geht von der Null-Hypothese aus, nach der zwischen den Mittelwerten der Verteilung bei vorgegebener Irrtumswahrscheinlichkeit α kein Unterschied existiert. Wenn die Null-Hypothese mit der gewählten Irrtumswahrscheinlichkeit abgelehnt werden kann, dann existiert ein signifikanter Unterschied zwischen den Verteilungen. Andernfalls muss davon ausgegangen werden, dass Unterschiede in den Messreihen rein zufällig entstanden sind. Der Test beantwortet nur die

Frage, ob ein Unterschied zwischen zwei Messreihen existiert. Ob der gefundene Unterschied sinnvoll ist, muss nach der Auswertung interpretiert werden.

Wenn mehr als zwei Verteilungen miteinander verglichen wurden, wie es bei dem Vergleich von Sorten und Standorten der Fall war, wurde ein multipler Mittelwertsvergleich angewendet. Hier wird durch eine Varianzanalyse aus den Verteilungen eine für alle Vergleiche gültige kritische Mittelwertsdifferenz errechnet. Dann werden die Mittelwerte der Verteilungen verglichen. Ist die Differenz der Mittelwerte größer als die kritische Mittelwertsdifferenz so liegt bei gegebenem Signifikanzniveau (0,05) ein Unterschied zwischen den Verteilungen vor. Ein Beispiel ist in Abbildung 9 dargestellt. Im oberen Teil der Tabelle steht die errechnete kritische Mittelwertsdifferenz. Im Unteren werden die Differenzen der einzelnen Mittelwerte mit der kritischen Mittelwertsdifferenz verglichen. Ist die kritische Mittelwertsdifferenz größer als die Differenz der beiden verglichenen Mittelwerte, so liegt kein signifikanter Unterschied zwischen den Verteilungen vor. In der Tabelle wird dies mit Nein vermerkt. Besteht ein Unterschied, so steht in der Tabelle Ja.

	(Mittelwert)	Barke	Auriga	Alexis	Braemar	Pasadena	Annabell
		kritische Mittelwertsdifferenz = 1,5					
Barke	61,4	----					
Auriga	61,4	nein	----				
Alexis	61,9	nein	nein	----			
Braemar	62,0	nein	nein	nein	----		
Pasadena	62,6	nein	nein	nein	nein	----	
Annabell	63,4	ja	ja	nein	nein	nein	----

Zwischen Pasadena und Annabell besteht kein signifikanter Unterschied

Zwischen Annabell und Auriga besteht ein signifikanter Unterschied

Abbildung 9: Beispiel einer multiplen Varianzanalyse

4 Ergebnisse

4.1 Verkleisterungsverhalten

4.1.1 Rotationsviskosimetrie

Die Software gestützte Auswertung der VKT gibt die Temperatur an, bei der die Viskosität in einem definierten Zeitintervall in 0,1 min um $24 \text{ mPa} \times \text{s}$ ansteigt. Auf Grund des starken Rauschens der Basislinie führt diese Auswertung zu Fehlern. Dieses Problem wurde zuvor durch eine Vergrößerung der Intervalle behoben [148]. Diese Methode setzt aber voraus, dass die Stärken der untersuchten Muster alle die gleiche Verkleisterungsgeschwindigkeit aufweisen. Wie in Abbildung 10 zu sehen ist, unterscheiden sich Muster zum Teil sehr deutlich im Viskositätsanstieg. Es ist daher eine manuelle Auswertung durchgeführt worden; außerdem ist die Temperatur als VKT bestimmt worden, bei der die Kurve einen Anstieg zeigt, der nicht auf das Rauschen der Basislinie zurückzuführen ist. In Abbildung 10 ist ein Beispiel zu sehen.

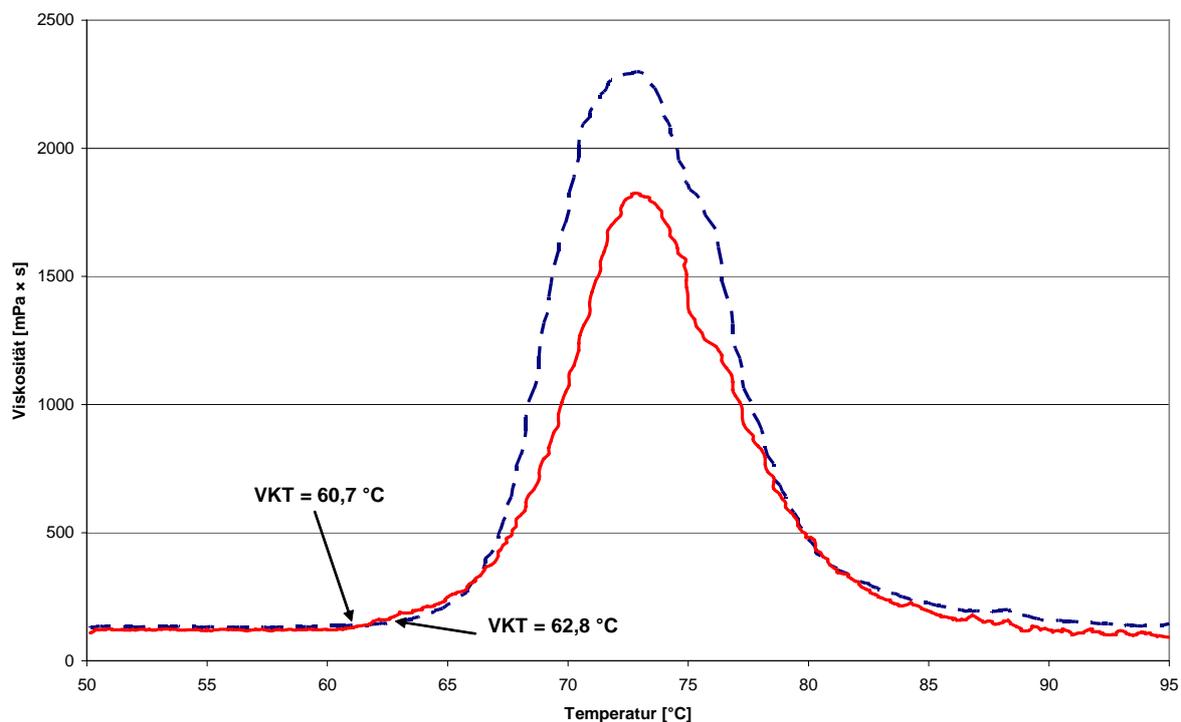


Abbildung 10: Bestimmung der VKT

Die Darstellung der Ergebnisse erfolgt mit der in Kapitel 3.7 beschriebenen Box-Whisker-Darstellung. Unterschiede zwischen den Verteilungen wurden mit einer Varianzanalyse und einem anschließenden multiplen Mittelwertsvergleich auf signifikante Unterschiede

(Irrtumswahrscheinlichkeit $\alpha = 0,05$) bei einem einheitlichen kritischen Mittelwertsunterschied getestet.

In Abbildung 11 und Abbildung 12 sind die Verteilungen der Verkleisterungstemperaturen der untersuchten Muster dargestellt. Es sind sowohl Sortenabhängigkeiten als auch Standortabhängigkeiten gegeben. Die Varianzanalyse mit anschließendem multiplen Mittelwertsvergleich in Tabelle 3 und Tabelle 4 zeigt drei Untergruppen. Straßmoos hat eine hohe VKT, Gudendorf und Prenzlau eine niedrige und die übrigen Standorte haben eine mittlere VKT. Die Sorten können in zwei Untergruppen aufgeteilt werden, wobei Barke und Auriga eine sortenabhängige niedrige VKT haben.

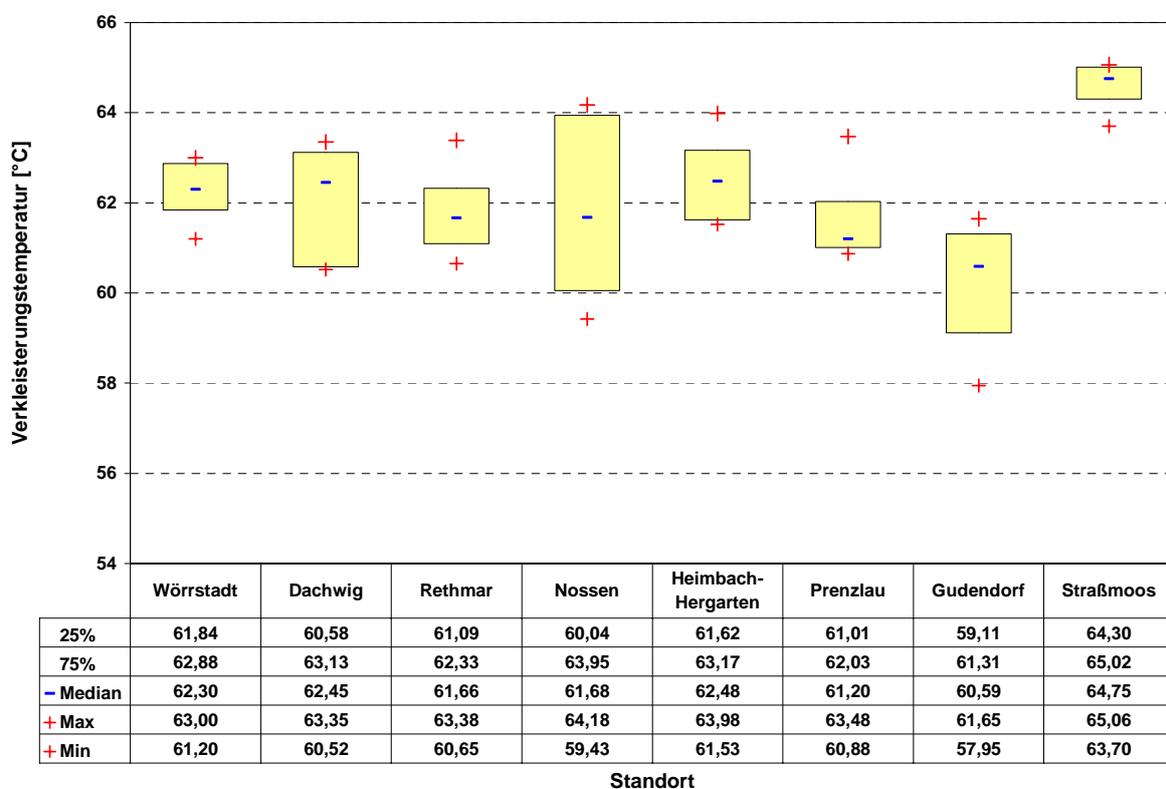


Abbildung 11: Verteilung der VKT von Malz an acht Standorten

Tabelle 3: Multiple Varianzanalyse der VKT von Malz an acht Standorten

	(Mittelwert)	Gudendorf	Prenzlau	Rethmar	Nossen	Dachwig	Wörrstadt	Heimbach-Hergarten	Straßmoos
kritische Mittelwertsdifferenz = 1,4									
Gudendorf	60,2	----							
Prenzlau	61,6	nein	----						
Rethmar	61,8	ja	nein	----					
Nossen	61,8	ja	nein	nein	----				
Dachwig	62,1	ja	nein	nein	nein	----			
Wörrstadt	62,3	ja	nein	nein	nein	nein	----		
Heimbach-Hergarten	62,5	ja	nein	nein	nein	nein	nein	----	
Straßmoos	64,6	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	----

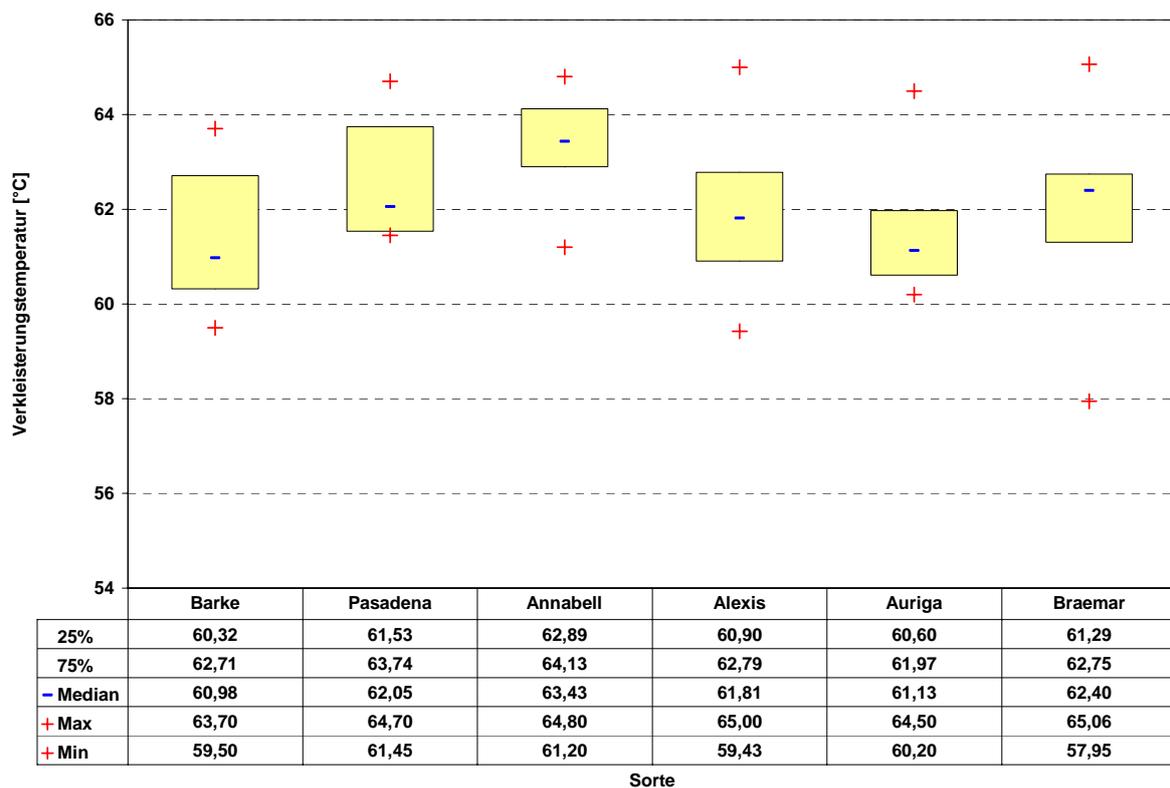


Abbildung 12: Verteilung der VKT von Malz von sechs Gerstensorten

Tabelle 4: Multiple Varianzanalyse der VKT von Malz von sechs Gerstensorten

	(Mittelwert)	Barke	Auriga	Alexis	Braemar	Pasadena	Annabell
		kritische Mittelwertsdifferenz = 1,5					
Barke	61,4	----					
Auriga	61,4	nein	----				
Alexis	61,9	nein	nein	----			
Braemar	62,0	nein	nein	nein	----		
Pasadena	62,6	nein	nein	nein	nein	----	
Annabell	63,4	ja	ja	nein	nein	nein	----

Die Time-to-Peak (TTP) gibt die Zeit und somit die Temperatur an, bei der die viskositätssteigernden und die viskositätserniedrigenden Prozesse im Gleichgewicht sind [129]. Die Untersuchungen haben signifikante Unterschiede zwischen den Standorten ergeben. Straßmoos weist mit 3,1 min den höchsten Wert auf. Prenzlau, Heimbach-Hergarten und Gudendorf haben die niedrigste TTP (vgl. Tabelle 5 und Abbildung 13).

Eine Sortenabhängigkeit konnte mittels multipler Varianzanalyse nicht ermittelt werden. Die Durchführung des unverbundenen t-Tests ergab, dass Annabell (Mittelwert = 2,93 min) im Vergleich zu Auriga (Mittelwert = 2,85 min) einen signifikant höheren TTP-Wert hat.

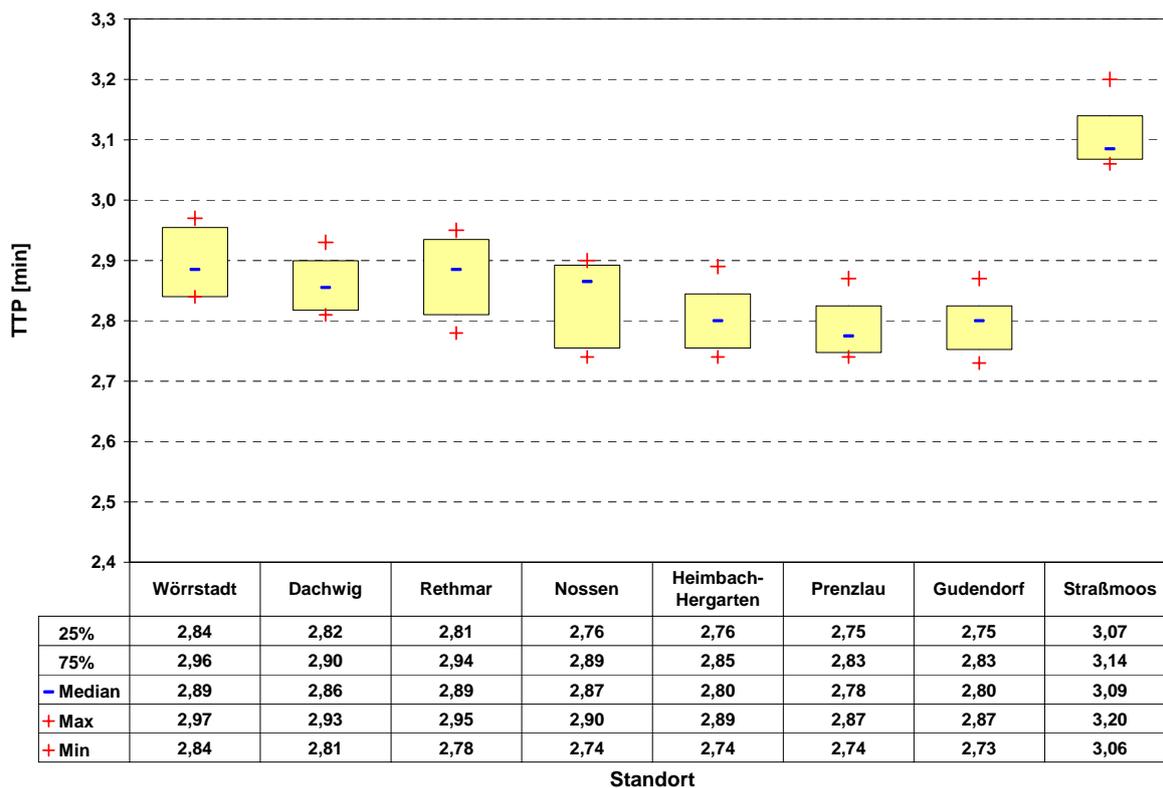


Abbildung 13: Verteilung der TTP-Werte von Malz von acht Standorten

Tabelle 5: Multiple Varianzanalyse der TTP-Werte von Malz von acht Standorten

(Mittelwert)	Prenzlau	Gudendorf	Heimbach-Hergarten	Nossen	Dachwig	Rethmar	Wörrstadt	Straßmoos
	kritische Mittelwertsdifferenz = 0,07							
Prenzlau 2,79	----							
Gudendorf 2,80	nein	----						
Heimbach-Hergarten 2,80	nein	nein	----					
Nossen 2,84	nein	nein	nein	----				
Dachwig 2,86	ja	nein	nein	nein	----			
Rethmar 2,88	ja	ja	ja	nein	nein	----		
Wörrstadt 2,90	ja	ja	ja	nein	nein	nein	----	
Straßmoos 3,10	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	----

In Abbildung 14 sind die Verteilungen der Viskositätsmaxima dargestellt. Das ist die zum TTP dazugehörige Viskosität. Gudendorf und Nossen haben den niedrigsten Mittelwert und unterscheiden sich signifikant von Heimbach-Hergarten (vgl. Tabelle 6).

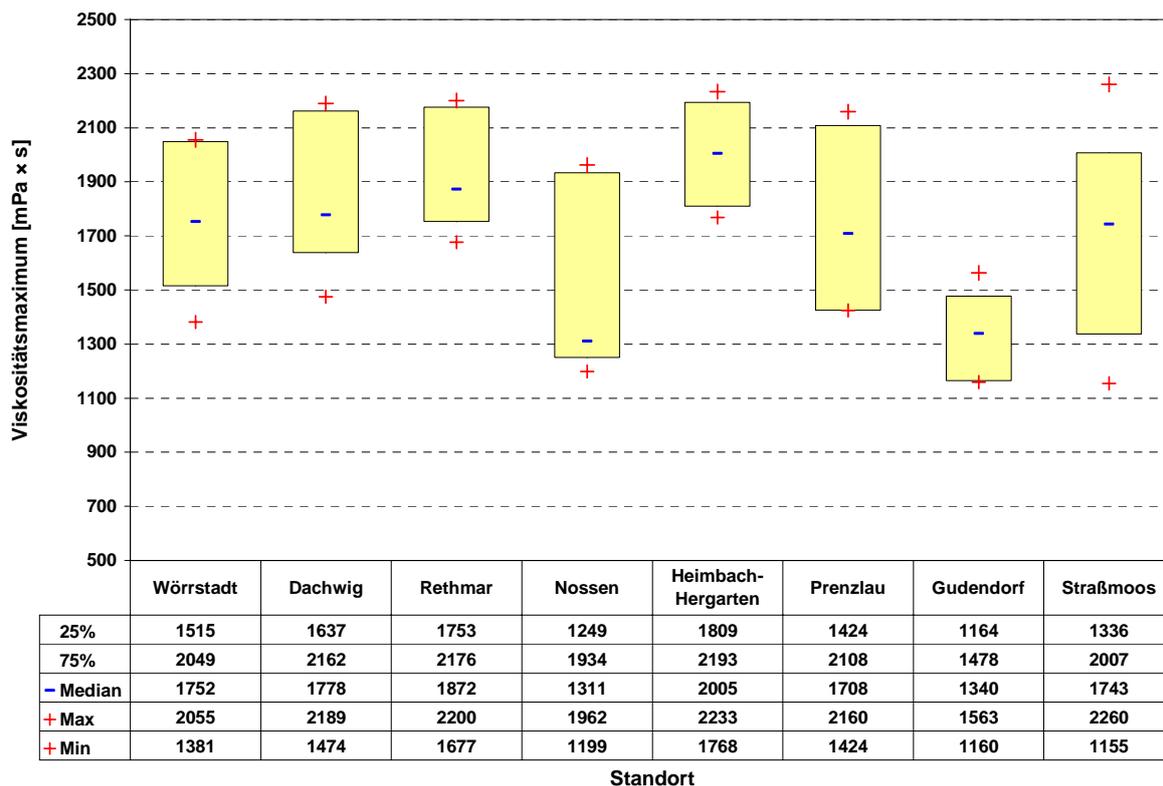


Abbildung 14: Verteilung der Viskositätsmaxima von Malz von acht Standorten

Tabelle 6: Multiple Varianzanalyse der Viskositätsmaxima von Malz von acht Standorten

(Mittelwert)	Gudendorf	Nossen	Straßmoos	Prenzlau	Wörrstadt	Dachwig	Rethmar	Heimbach-Hergarten
	kritische Mittelwertsdifferenz = 334							
Gudendorf	1336	----						
Nossen	1496	nein	----					
Straßmoos	1703	ja	nein	----				
Prenzlau	1753	ja	nein	nein	----			
Wörrstadt	1758	ja	nein	nein	nein	----		
Dachwig	1844	ja	ja	nein	nein	nein	----	
Rethmar	1928	ja	ja	nein	nein	nein	nein	----
Heimbach-Hergarten	2002	ja	ja	nein	nein	nein	nein	nein

In Abbildung 15 sind die Verteilungen der sechs untersuchten Sorten dargestellt. Annabell und Braemar haben die niedrigsten Werte. Auriga und Barke haben die höchsten. Basierend auf einer kritischen Mittelwertdifferenz liegt ein signifikanter Unterschied vor (vgl. Tabelle 7).

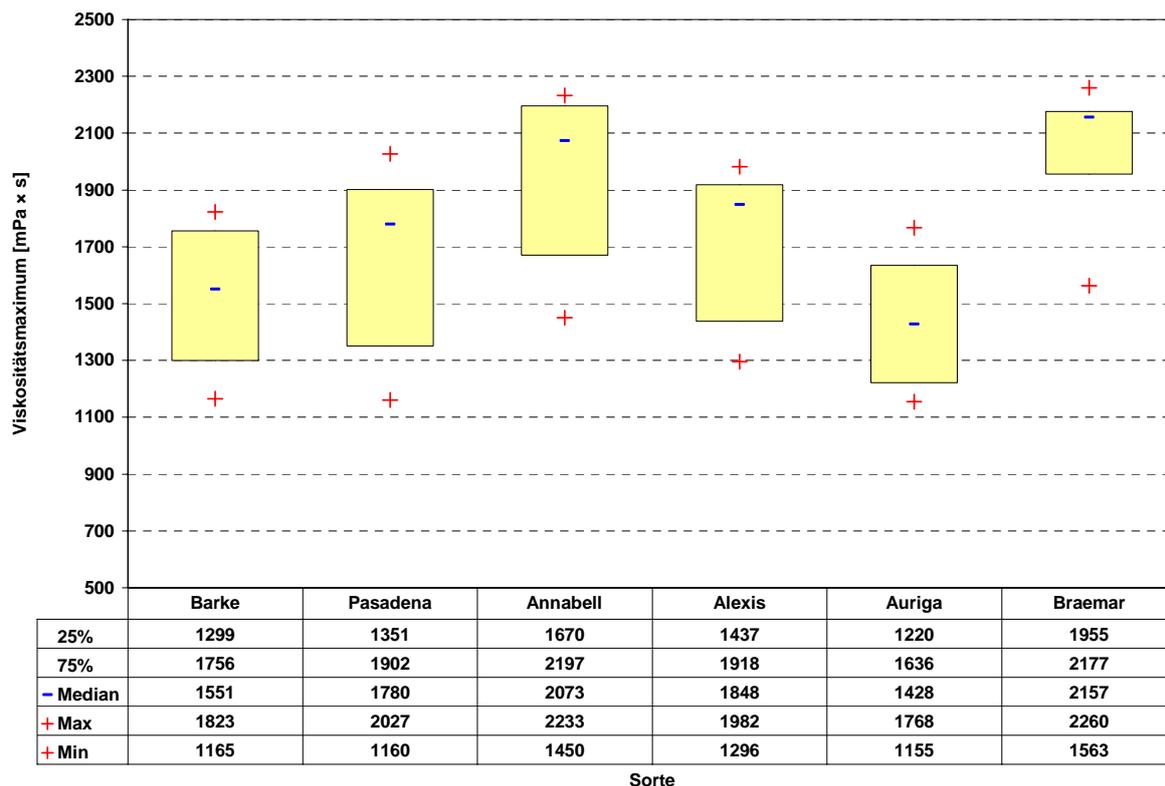


Abbildung 15: Verteilung der Viskositätsmaxima von Malz von sechs Gerstensorten

Tabelle 7: Multiple Varianzanalyse der Viskositätsmaxima von Malz von sechs Gerstensorten

(Mittelwert)	Auriga	Barke	Pasadena	Alexis	Annabell	Braemar
	kritische Mittelwertsdifferenz = 266					
Auriga	1431	----				
Barke	1528	nein	----			
Pasadena	1660	nein	nein	----		
Alexis	1720	ja	nein	nein	----	
Annabell	1969	ja	ja	ja	nein	----
Braemar	2057	ja	ja	ja	ja	nein

4.1.2 Kalorimetrische Analytik

In Abbildung 16 ist die Verteilung der Onset-Temperatur AP der Amylopektinendotherme für Gerste und die dazugehörigen Malze dargestellt. Der t-Test ergab bei einem mittleren Unterschied von 1,7 eine signifikante Anhebung der Onset-Temperatur von Gerste zu Malz. Standortabhängigkeiten wurden in Gerste und Malz gefunden. Die höchsten Werte in der Gerste und im Malz sind am Standort Straßmoos. Der niedrigste Wert in der Gerste ist am

Standort Gudendorf, Prenzlau und Heimbach-Hergarten (vgl. Tabelle 9 und Abbildung 18). Im Malz sind die Standorte Gudendorf und Heimbach-Hergarten (vgl. Tabelle 8 und Abbildung 17). Signifikante Unterschiede zwischen den Sorten konnten mittels multipler Varianzanalyse weder bei den Gerste- noch bei den Malzmustern gemessen werden. Mit dem t-Test konnte aber ein Unterschied in der Onset-Temperatur der Gerste zwischen den Sorten Annabell (MW = 58,43 °C) und Auriga (MW = 58,03 °C) ermittelt werden. Annabell hat im Mittel eine um 0,6 ($\alpha = 0,05$) höhere Onset-Temperatur als Auriga.

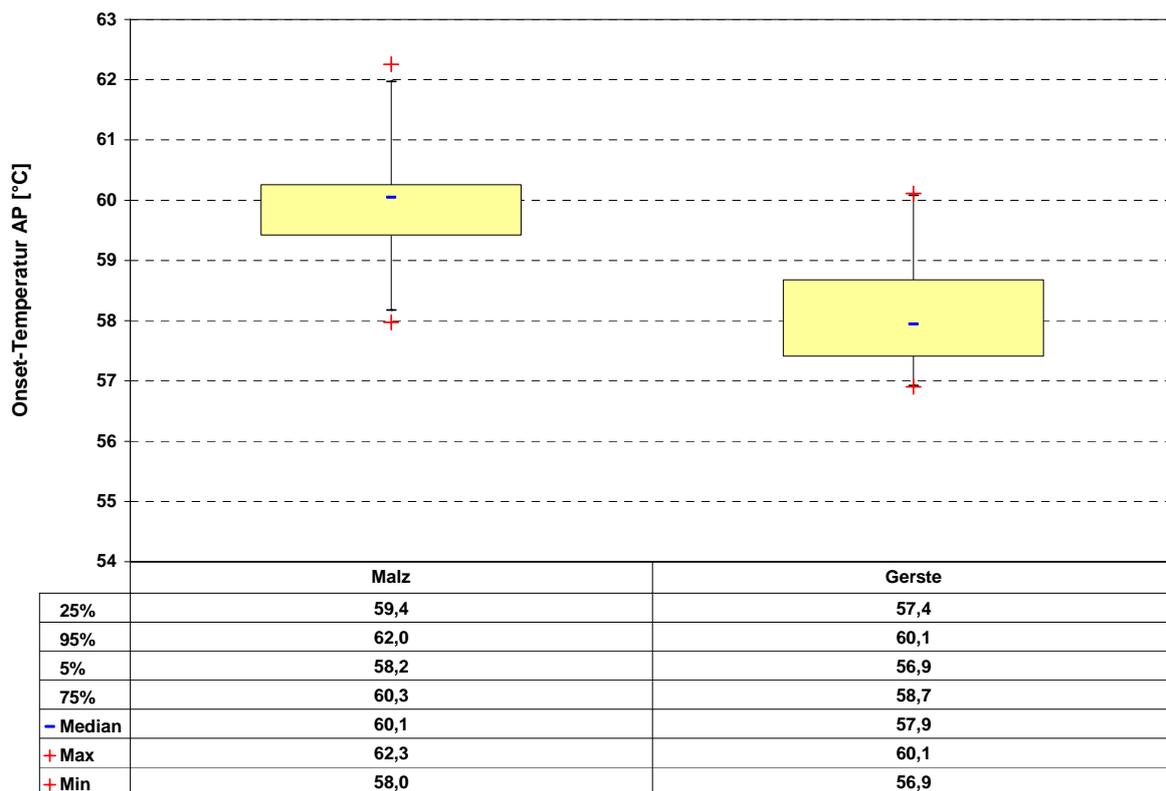


Abbildung 16: Verteilung der Onset-Temperatur von Gerste und Malz

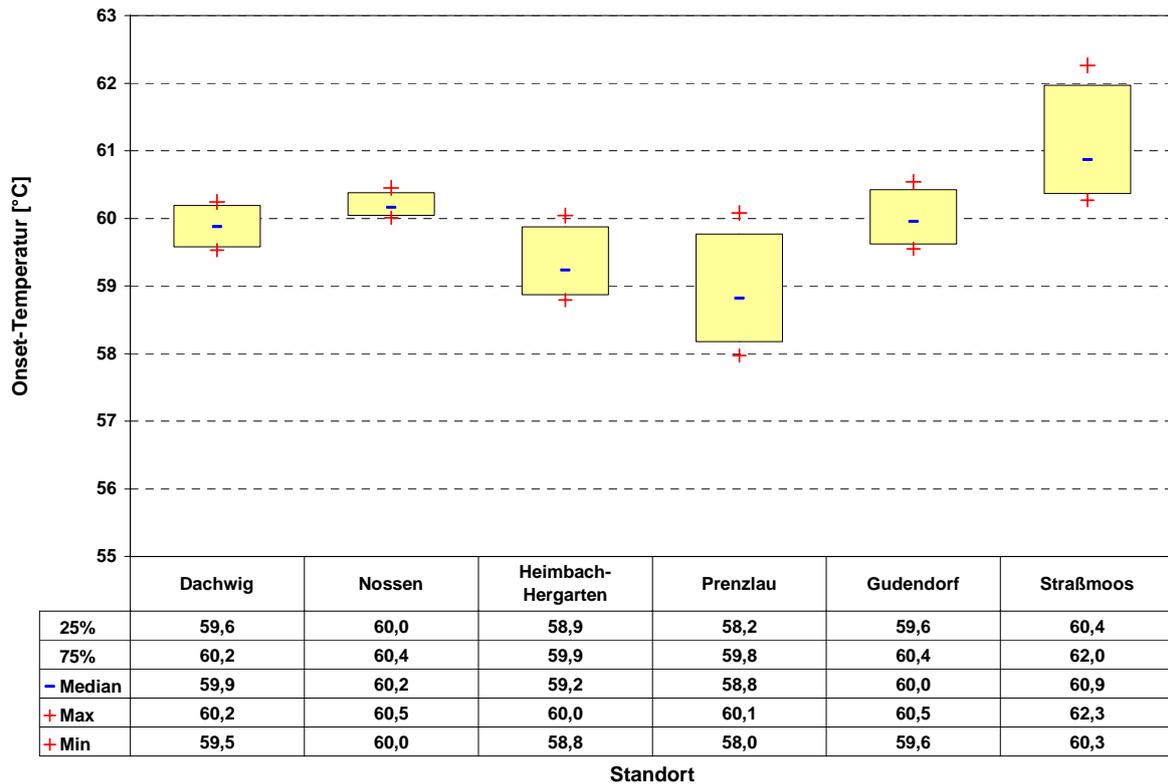


Abbildung 17: Verteilung der Onset-Temperatur AP im Malz von sechs Standorten

Tabelle 8: Multiple Varianzanalyse der Onset-Temperatur AP im Malz von sechs Standorten

(Mittelwert)	Prenzlau	Heimbach-Hergarten	Dachwig	Gudendorf	Nossen	Straßmoos
	kritische Mittelwertsdifferenz = 0,9					
Prenzlau	58,9	----				
Heimbach-Hergarten	59,3	nein	----			
Dachwig	59,9	ja	nein	----		
Gudendorf	60,0	ja	nein	nein	----	
Nossen	60,2	ja	nein	nein	nein	----
Straßmoos	61,1	ja	ja	ja	ja	nein

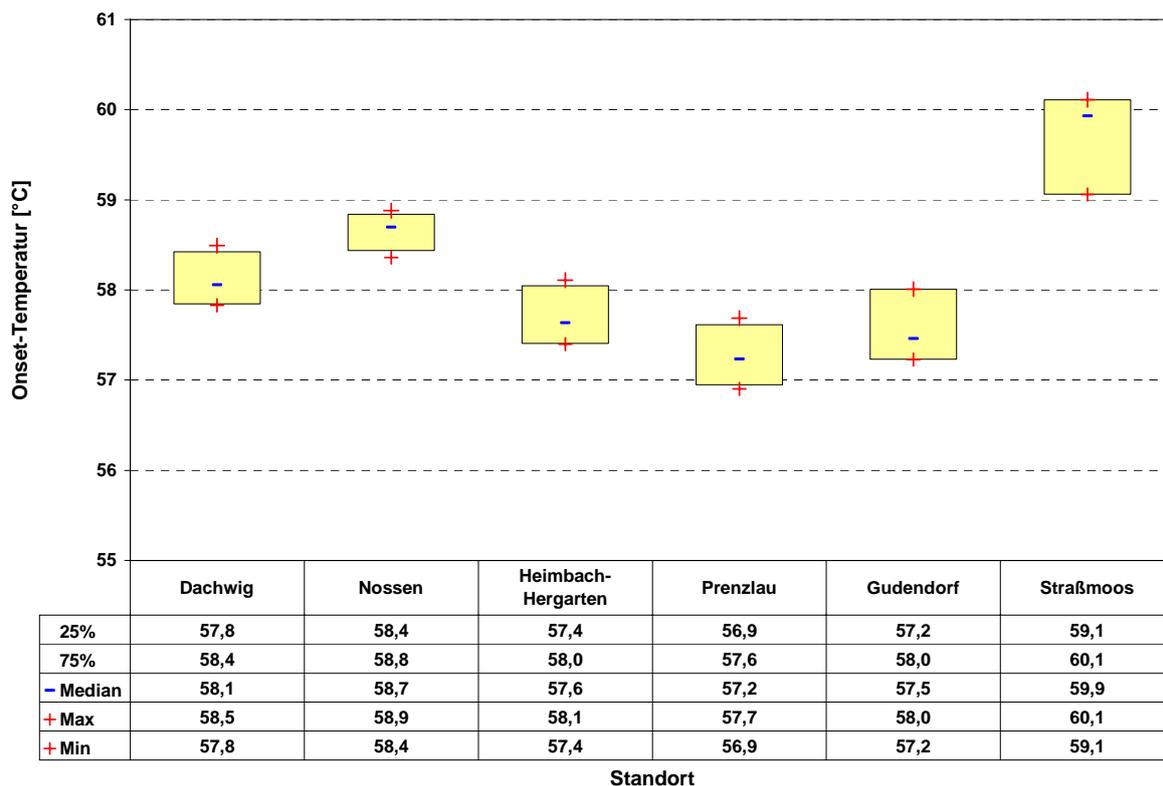


Abbildung 18: Verteilung der Onset-Temperatur AP in Gerste an sechs Standorten

Tabelle 9: Multiple Varianzanalyse der Onset-Temperatur AP in Gerste von sechs Standorten

(Mittelwert)	Prenzlau	Gudendorf	Heimbach-Hergarten	Dachwig	Nossen	Straßmoos
	kritische Mittelwertsdifferenz = 0,6					
Prenzlau	57,3	----				
Gudendorf	57,6	nein	----			
Heimbach-Hergarten	57,7	nein	nein	----		
Dachwig	58,1	ja	nein	nein	----	
Nossen	58,7	ja	ja	ja	ja	----
Straßmoos	59,7	ja	ja	ja	ja	ja

Die Peak-Temperatur hängt nach TESTER [133] mit der Perfektion der AP Kristalle zusammen. Der t-Test ergab einen signifikanten Unterschied in der Peak-Temperatur, die von Gerste zu Malz ansteigt (vgl. Abbildung 19). Wie in Abbildung 20 zu sehen ist, hat das Malz vom Standort Straßmoos die höchste Perfektion und vom Standort Gudendorf die niedrigste. In Gerste hat ebenfalls der Standort Straßmoos die höchste. Die niedrigsten Werte haben Gudendorf, Heimbach-Hergarten und Prenzlau (vgl. Abbildung 21, Tabelle 10 und

Tabelle 11). Folglich kommt es während der Mälzung zu einem höheren Maß an kristalliner Perfektion. Dies deckt sich mit den Ergebnissen von IZYDORCZYK und MACGREGOR [56], die ebenfalls einen Anstieg der Peak-Temperatur feststellen konnten. Sortenabhängigkeiten konnten mittels multipler Varianzanalyse nicht nachgewiesen werden.

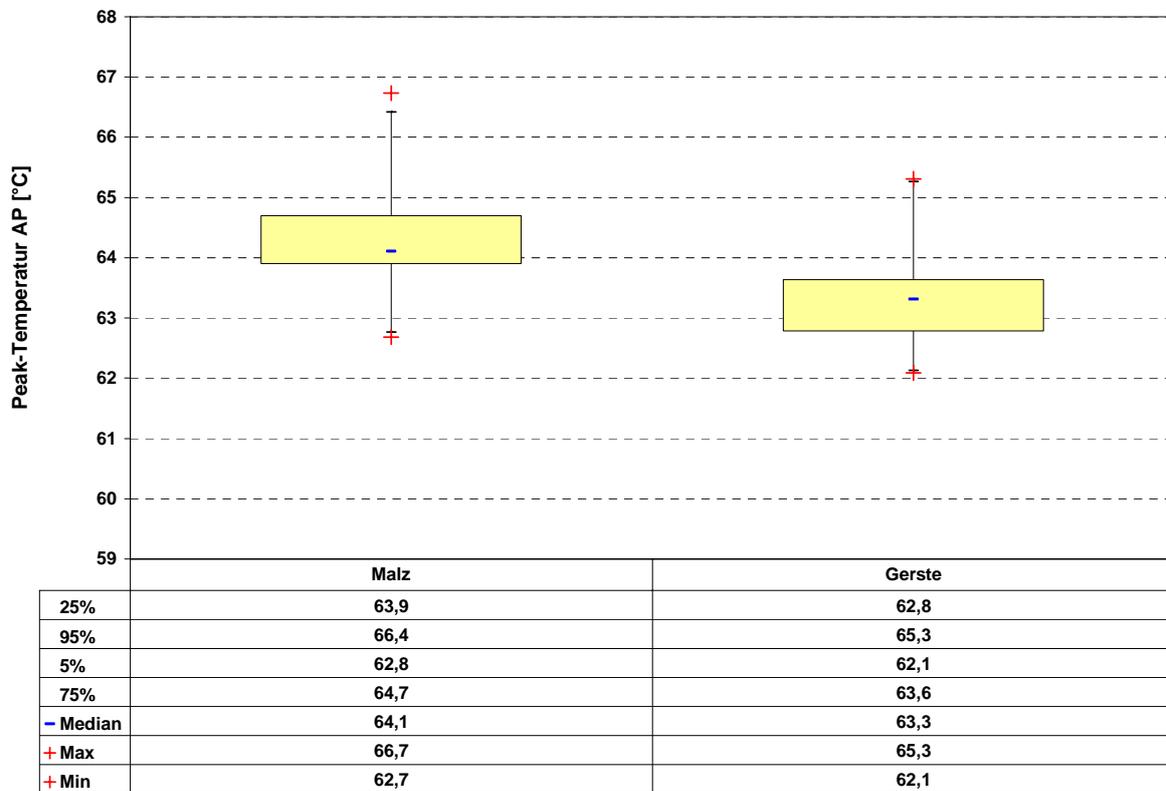


Abbildung 19: Verteilung der Peak-Temperatur AP in Gerste und Malz

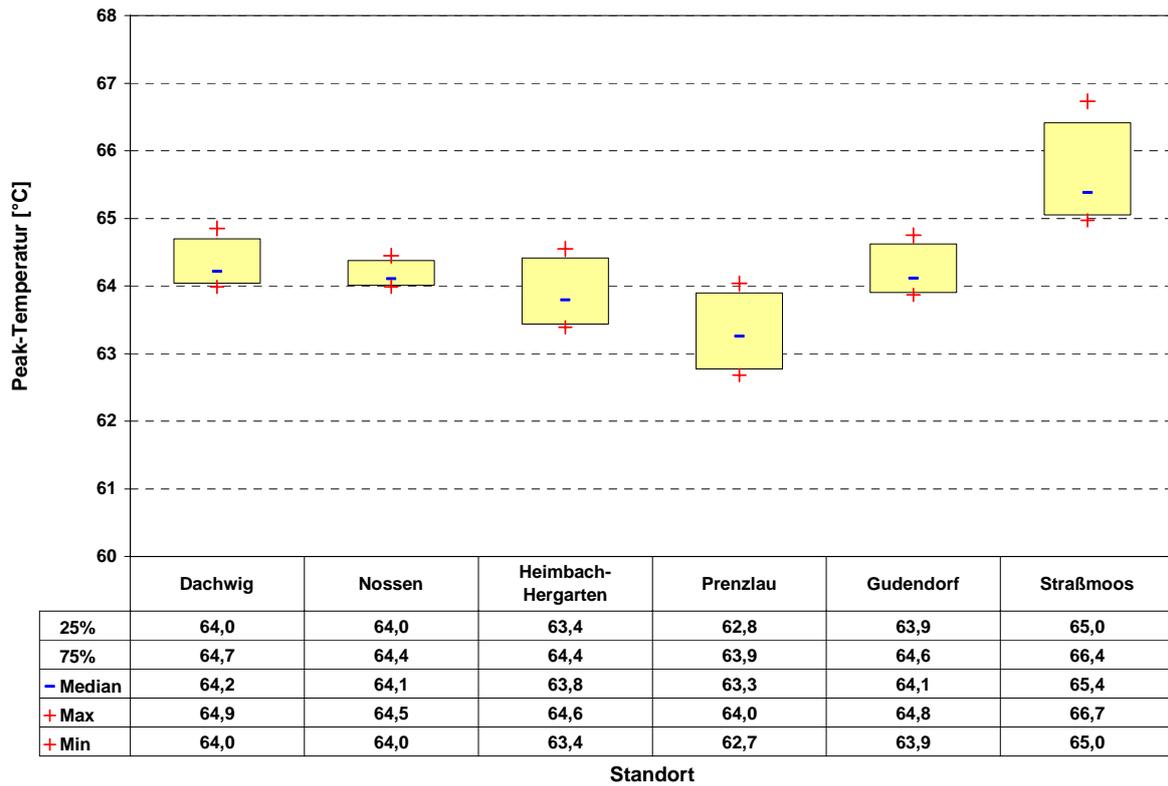


Abbildung 20: Verteilung der Peak-Temperatur AP in Malz von sechs Standorten

Tabelle 10: Multiple Varianzanalyse der Peak-Temperatur AP in Malz von sechs Standorten

	(Mittelwert)	Prenzlau	Heimbach-Hergarten	Nossen	Gudendorf	Dachwig	Straßmoos
		kritische Mittelwertsdifferenz = 0,8					
Prenzlau	63,3	----					
Heimbach-Hergarten	63,9	nein	----				
Nossen	64,2	ja	nein	----			
Gudendorf	64,2	ja	nein	nein	----		
Dachwig	64,3	ja	nein	nein	nein	----	
Straßmoos	65,6	ja	ja	ja	ja	ja	----

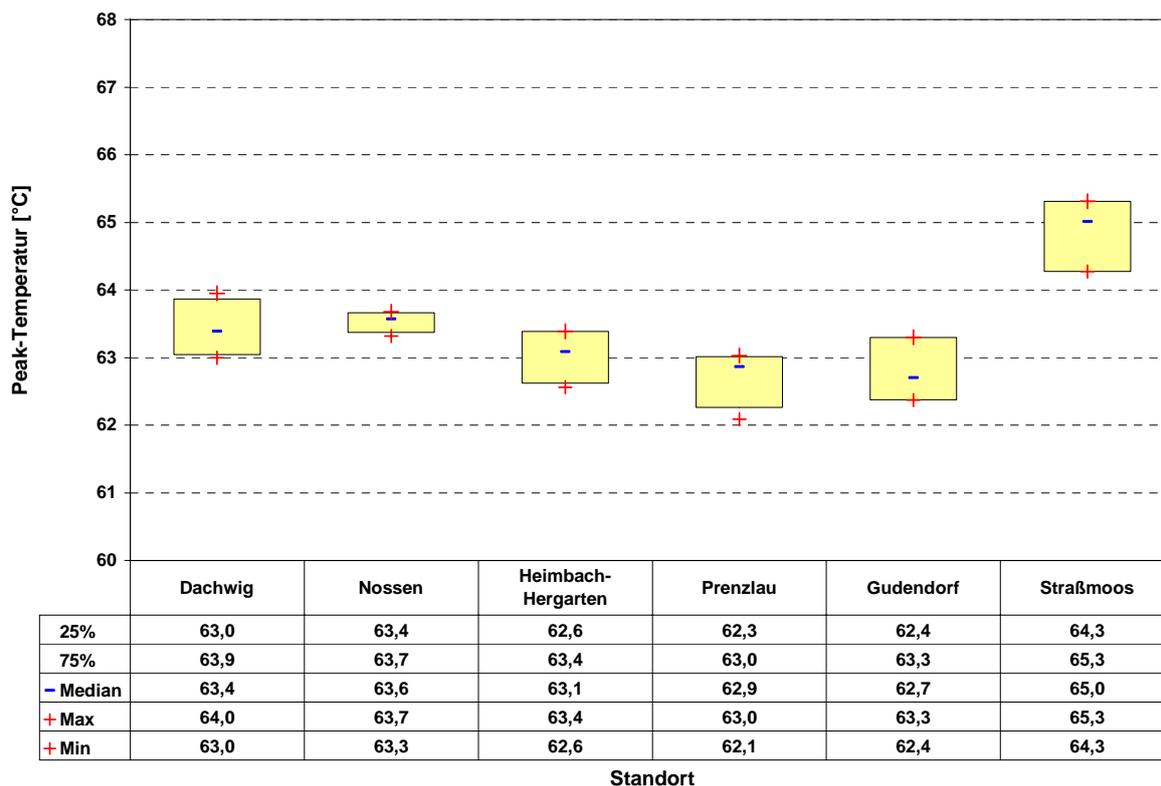


Abbildung 21: Verteilung der Peak-Temperatur AP in Gerste an sechs Standorten

Tabelle 11: Multiple Varianzanalyse der Peak-Temperatur AP in Gerste an sechs Standorten

(Mittelwert)	Prenzlau	Gudendorf	Heimbach-Hergarten	Dachwig	Nossen	Straßmoos
	kritische Mittelwertsdifferenz = 0,7					
Prenzlau	62,7	----				
Gudendorf	62,8	nein	----			
Heimbach-Hergarten	63,0	nein	nein	----		
Dachwig	63,4	ja	nein	nein	----	
Nossen	63,5	ja	ja	nein	nein	----
Straßmoos	64,9	ja	ja	ja	ja	----

In Abbildung 22 ist die Verteilung der Schmelzenthalpie (ΔH) AP von Gerste und Malz dargestellt. Der t-Test ergab eine signifikante Abnahme der ΔH von Gerste zu Malz. Der Mittlere Unterschied zwischen Gerste und Malz betr at 2,49. Eine Standortabh angigkeit konnte mittels Multipler Varianzanalyse nicht ermittelt werden. Der t-Test ergab aber f ur Malz einen Unterschied zwischen Stra moos und Gudendorf. Die Sorte Annabell hat eine signifikant h ohere ΔH im Malz als Auriga (vgl. Abbildung 23 und Tabelle 12).

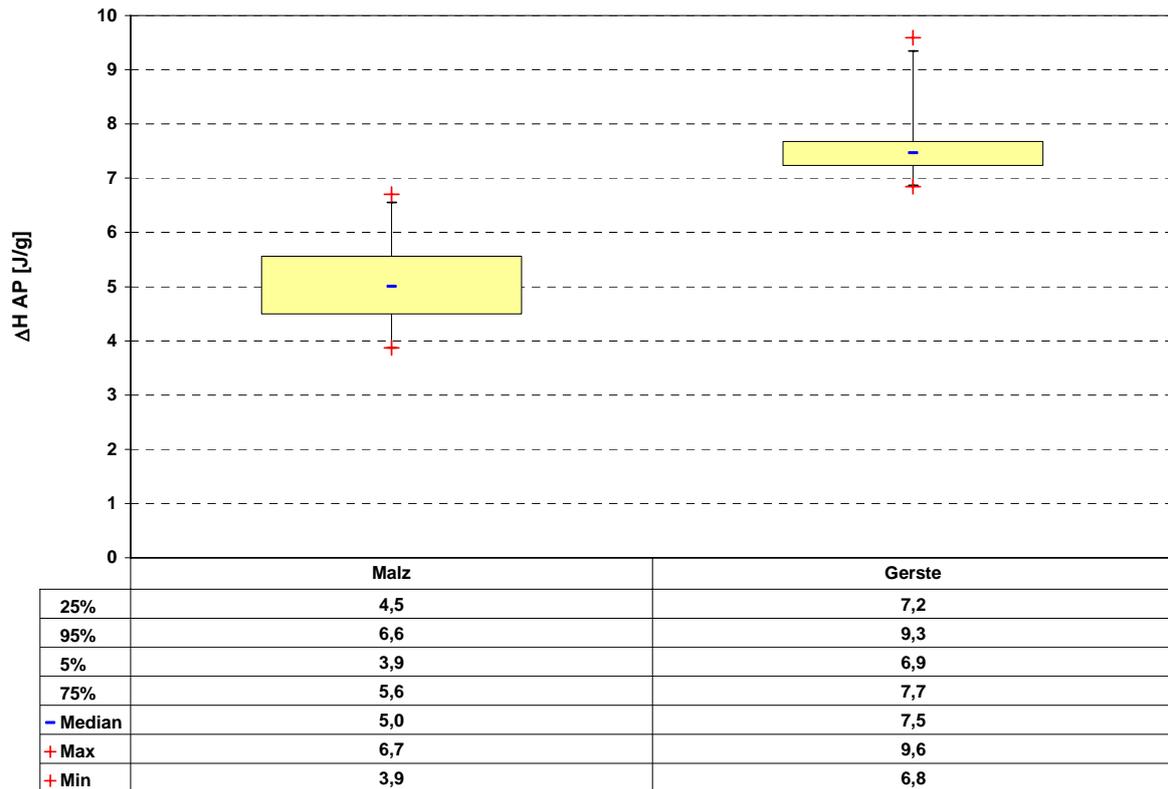


Abbildung 22: Verteilung der ΔH_{AP} von Malz und Gerste

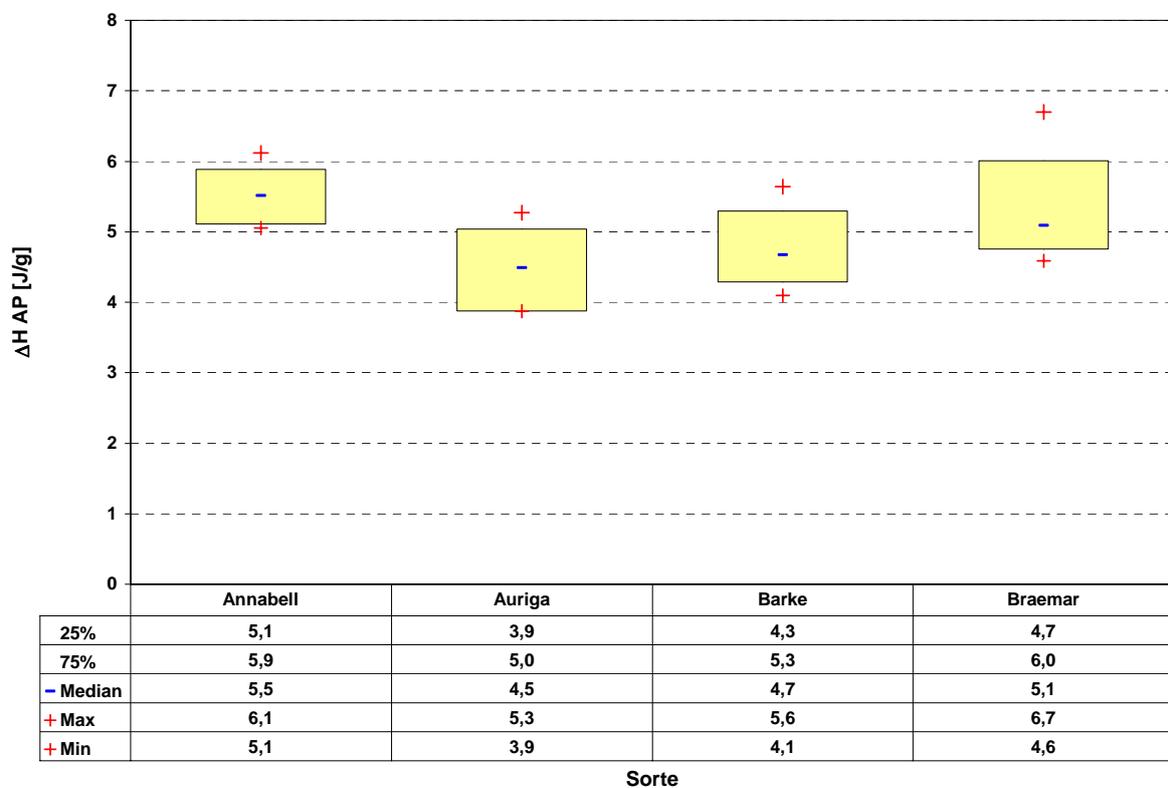


Abbildung 23: Verteilung der ΔH_{AP} von Malze von vier Gerstensorten

Tabelle 12: Multiple Varianzanalyse der ΔH_{AP} von Malz von vier Gerstensorten

	(Mittelwert)	Auriga	Barke	Braemar	Annabell
		kritische Mittelwertsdifferenz = 0,73			
Auriga	4,49	----			
Barke	4,77	nein	----		
Braemar	5,34	ja	nein	----	
Annabell	5,52	ja	ja	nein	----

Die Auswertung der Amylose-Lipid-Komplex (ALC) Endotherme war nur eingeschränkt möglich, da nicht alle Proben ausgewertet werden konnten. Grund dafür ist die sehr geringe Enthalpie. Im Anhang ist ein vollständiger Überblick über die Daten der DSC Analyse.

Die Verteilung der Onset-Temperatur des ALC ist für Gerste und Malz in Abbildung 24 dargestellt. Die Onset-Temperatur ALC nimmt von Gerste zu Malz ab. Der t-Test ergab einen signifikanten mittleren Unterschied von 10,6 °C. Zwischen den Sorten Annabell und Auriga besteht im Malz ein signifikanter Unterschied. Annabell (MW = 75,2 °C) hat im Mittel eine um ein Grad höhere Onset-Temperatur ALC als Auriga (MW = 74,1 °C). Standortabhängigkeiten konnten nicht nachgewiesen werden.

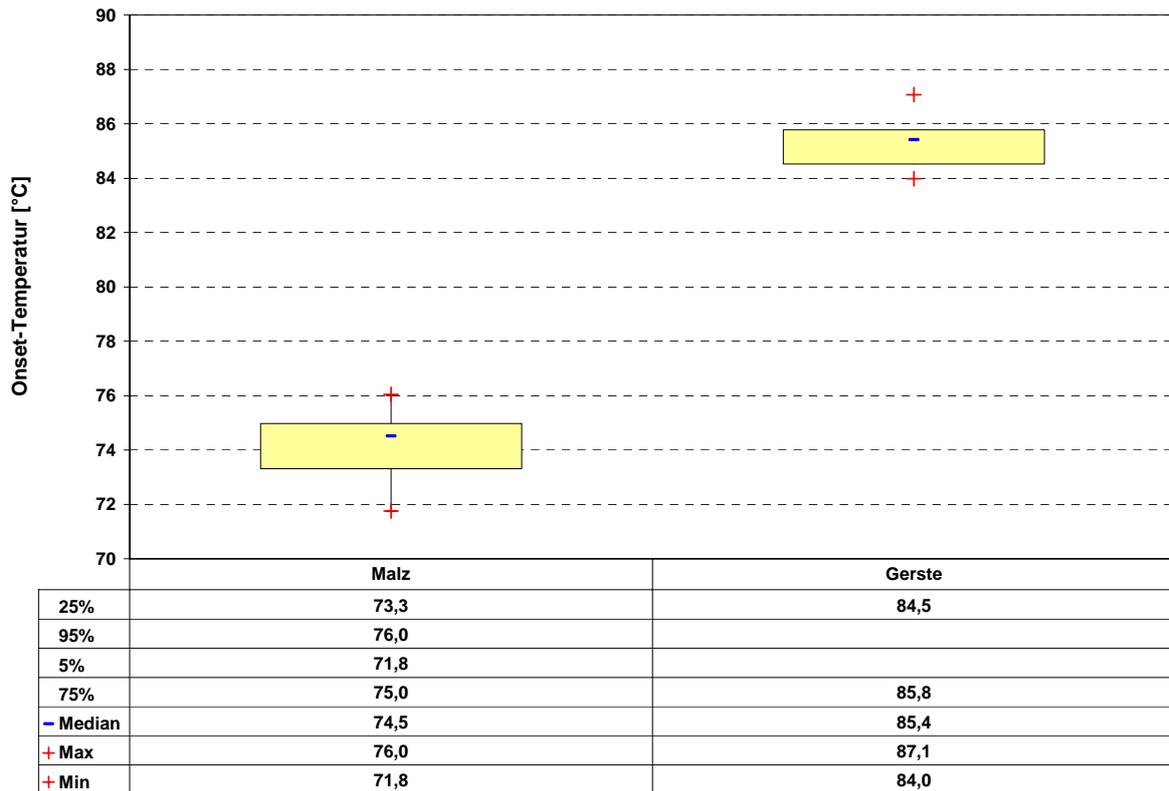


Abbildung 24: Verteilung der Onset-Temperatur ALC von Gerste und Malz

Die Peak-Temperatur ALC von Gerste und Malz ist in Abbildung 25 dargestellt. Der Mittelwert für Gerste liegt bei 94,9 °C. Im Malz wurde ein Mittelwert von 81,7 °C ermittelt. Der t-Test ergab bei einem mittleren Unterschied von 10,9 °C eine signifikante Abnahme von Gerste zu Malz. Eine Analyse über Standortabhängigkeiten war aufgrund des geringen Datenmaterials nicht möglich.

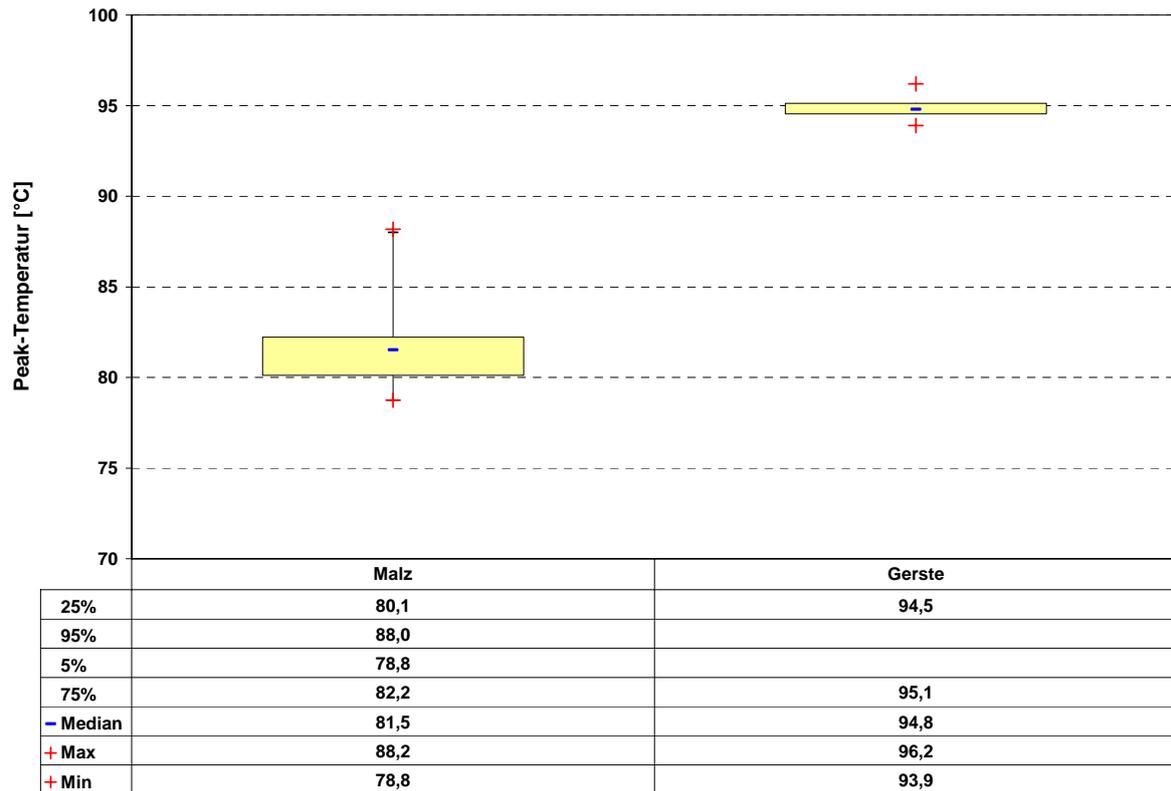


Abbildung 25: Verteilung der Peak-Temperatur ALC von Gerste und Malz

Die ΔH ALC nimmt von Gerste zu Malz im Mittel um 0,40 J/g signifikant ab (vgl. Abbildung 26). Sorten- und Standortabhängigkeiten konnten nicht ermittelt werden.

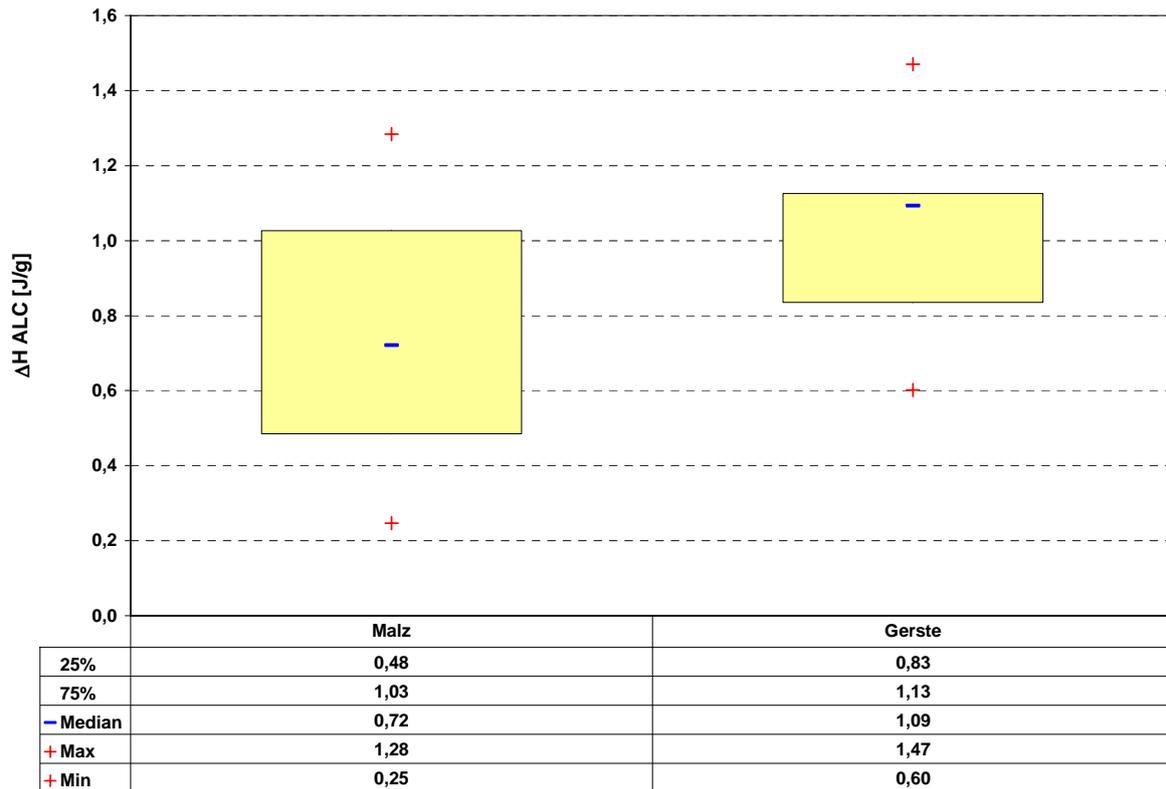


Abbildung 26: Verteilung der ΔH ALC von Gerste und Malz

4.2 Untersuchungen zur VZ 45 °C

In Abbildung 27 und Abbildung 28 sind die Ergebnisse der VZ 45 °C der Ernte 2004 dargestellt. Die multiple Varianzanalyse hat signifikante Unterschiede zwischen den Standorten (vgl. Tabelle 13) und zwischen den Sorten (vgl. Tabelle 14) ergeben. Der Standort Gudendorf weist die höchsten Werte auf und der Standort Straßmoos die niedrigsten.

Die Sorte Annabell hat den niedrigsten gemittelten VZ-45-°C-Wert und unterscheidet sich signifikant von Auriga, die den höchsten gemittelten Wert hat.

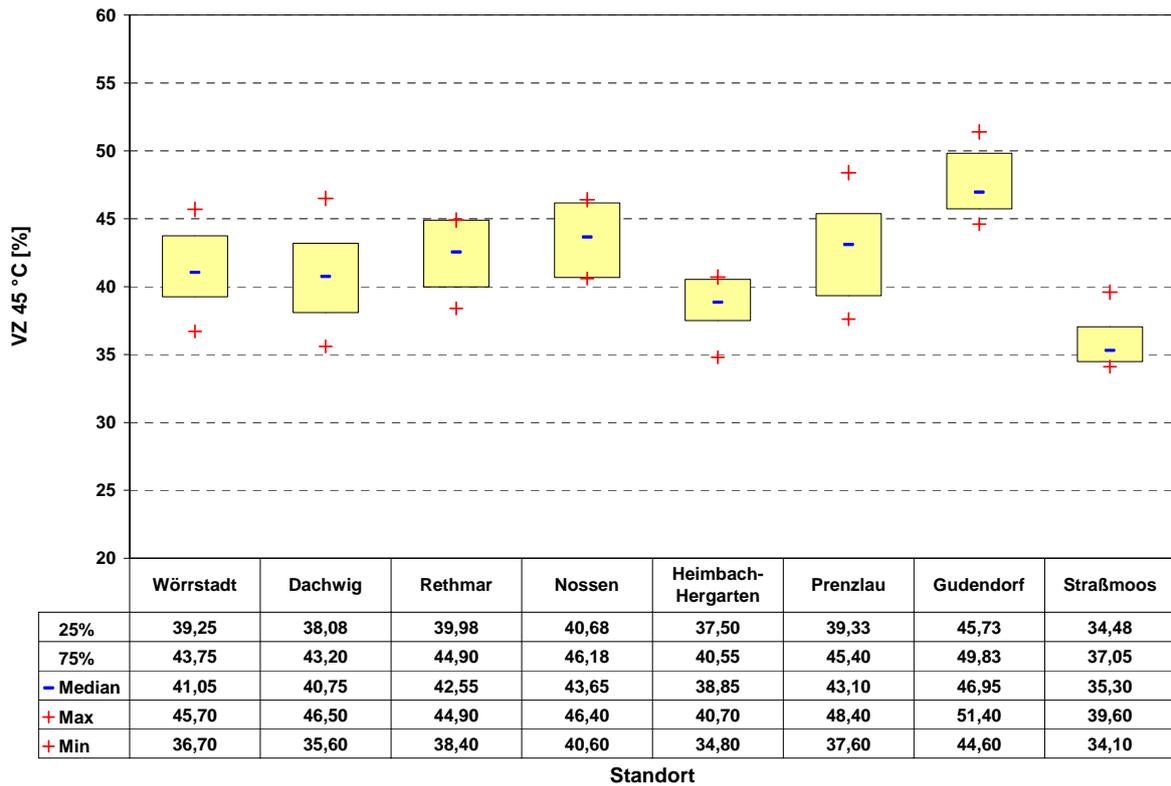


Abbildung 27: Verteilung der VZ-45-°C-Werte der untersuchten Standorte

Tabelle 13: Multiple Varianzanalyse der VZ-45-°C-Werte der untersuchten Standorte der Ernte 2004

(Mittelwert)	Straßmoos	Heimbach-Hergarten	Dachwig	Wörrstadt	Rethmar	Prenzlau	Nossen	Gudendorf
	kritische Mittelwertsdifferenz = 3,3							
Straßmoos 35,9	----							
Heimbach-Hergarten 38,7	nein	----						
Dachwig 40,8	ja	nein	----					
Wörrstadt 41,3	ja	nein	nein	----				
Rethmar 42,3	ja	ja	nein	nein	----			
Prenzlau 42,8	ja	ja	nein	nein	nein	----		
Nossen 43,5	ja	ja	nein	nein	nein	nein	----	
Gudendorf 47,6	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	----

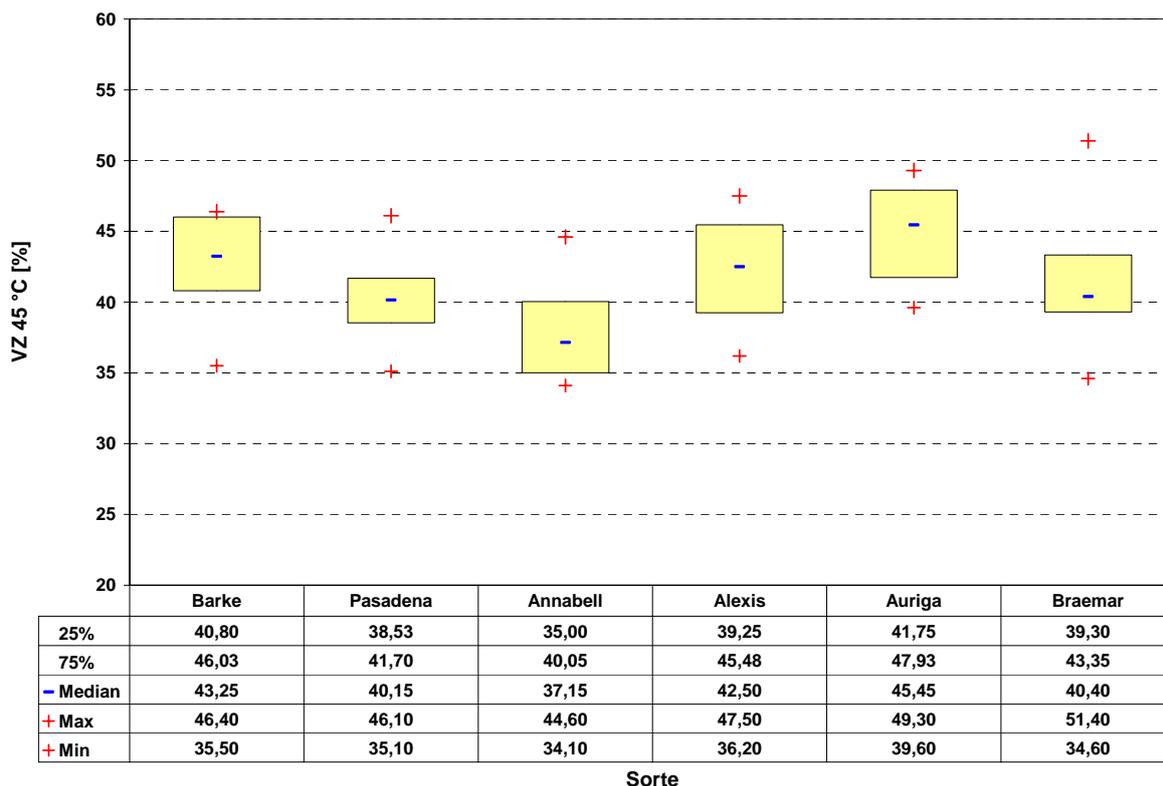


Abbildung 28: Verteilung der VZ-45-°C-Werte der untersuchten Sorten

Tabelle 14: Multiple Varianzanalyse der VZ-45-°C-Werte der untersuchten Sorten

(Mittelwert)	Annabell	Pasadena	Braemar	Alexis	Barke	Auriga
	kritische Mittelwertsdifferenz = 3,8					
Annabell	37,8	----				
Pasadena	40,2	nein	----			
Braemar	41,5	nein	nein	----		
Alexis	42,3	ja	nein	nein	----	
Barke	42,7	ja	nein	nein	nein	----
Auriga	45,0	ja	ja	nein	nein	nein

4.3 Mineralstoffgehalt

In Abbildung 29 ist der Gehalt von Calcium in Gerste und Malz dargestellt. Mittels t-Test konnte eine signifikante Abnahme des Calciumgehalts von Gerste zu Malz nachgewiesen werden. Zwischen den Standorten herrschen signifikante Unterschiede im Calciumgehalt (vgl. Abbildung 30 und Tabelle 15). In der Gerste hat der Standort Gudendorf den geringsten Gehalt, Prenzlau und Straßmoos haben die höchsten. Nossen hat einen durchschnittlichen

Wert. Im Malz haben die Proben vom Standort Gudendorf ebenfalls die niedrigsten Werte und Straßmoos und Prenzlau die höchsten. Mittels Varianzanalyse konnten weder in der Gerste noch im Malz signifikante Unterschiede zwischen den Sorten gefunden werden.

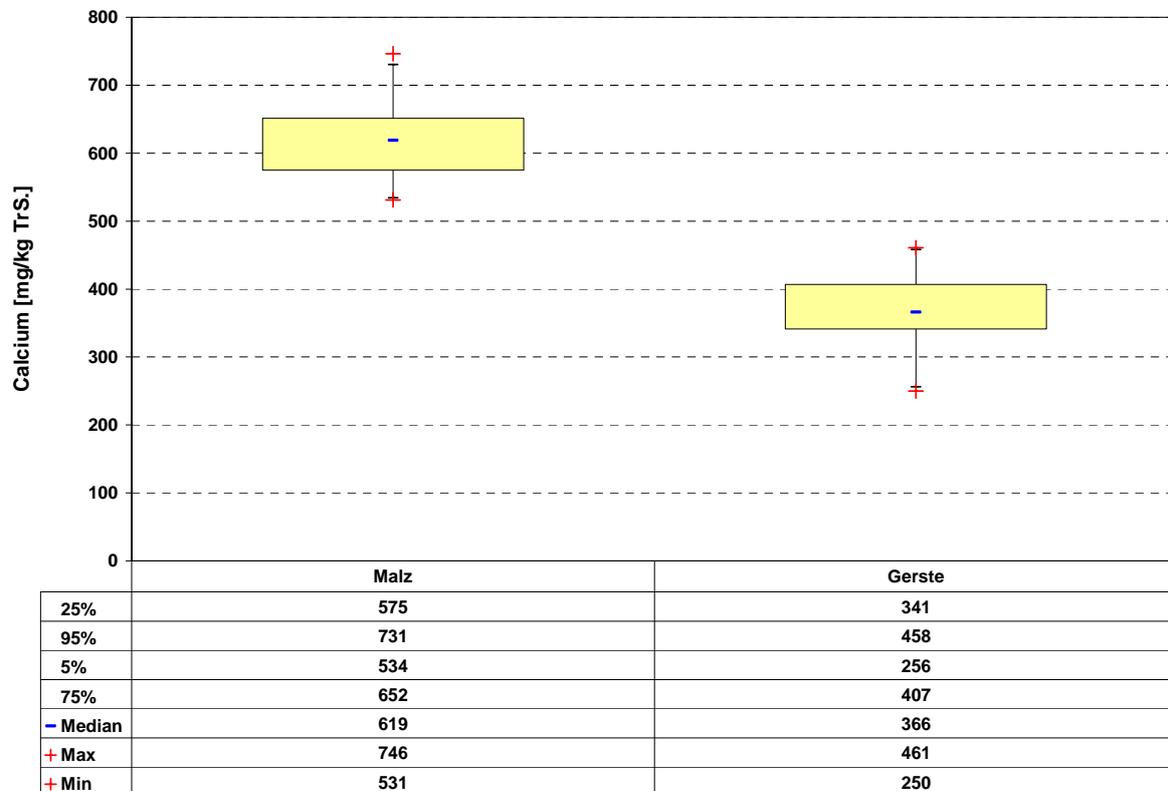


Abbildung 29: Verteilung von Calcium in Gerste und Malz.

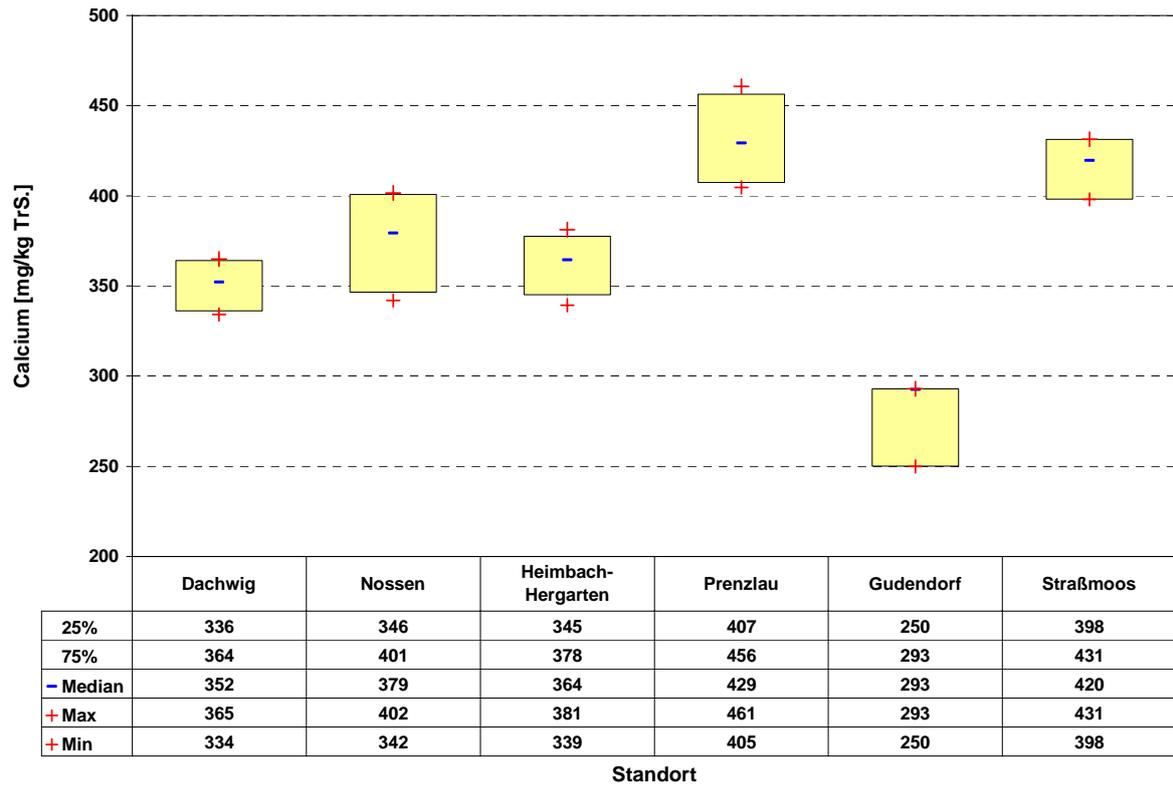


Abbildung 30: Verteilung von Calcium in Gerste von sechs Standorten

Tabelle 15: Multiple Varianzanalyse von Calcium in Gerste von sechs Standorten

	(Mittelwert)	Gudendorf	Dachwig	Heimbach-Hergarten	Nossen	Straßmoos	Prenzlau
kritische Mittelwertsdifferenz = 39							
Gudendorf	279	----					
Dachwig	351	ja	----				
Heimbach-Hergarten	362	ja	nein	----			
Nossen	376	ja	nein	nein	----		
Straßmoos	416	ja	ja	ja	ja	----	
Prenzlau	431	ja	ja	ja	ja	nein	----

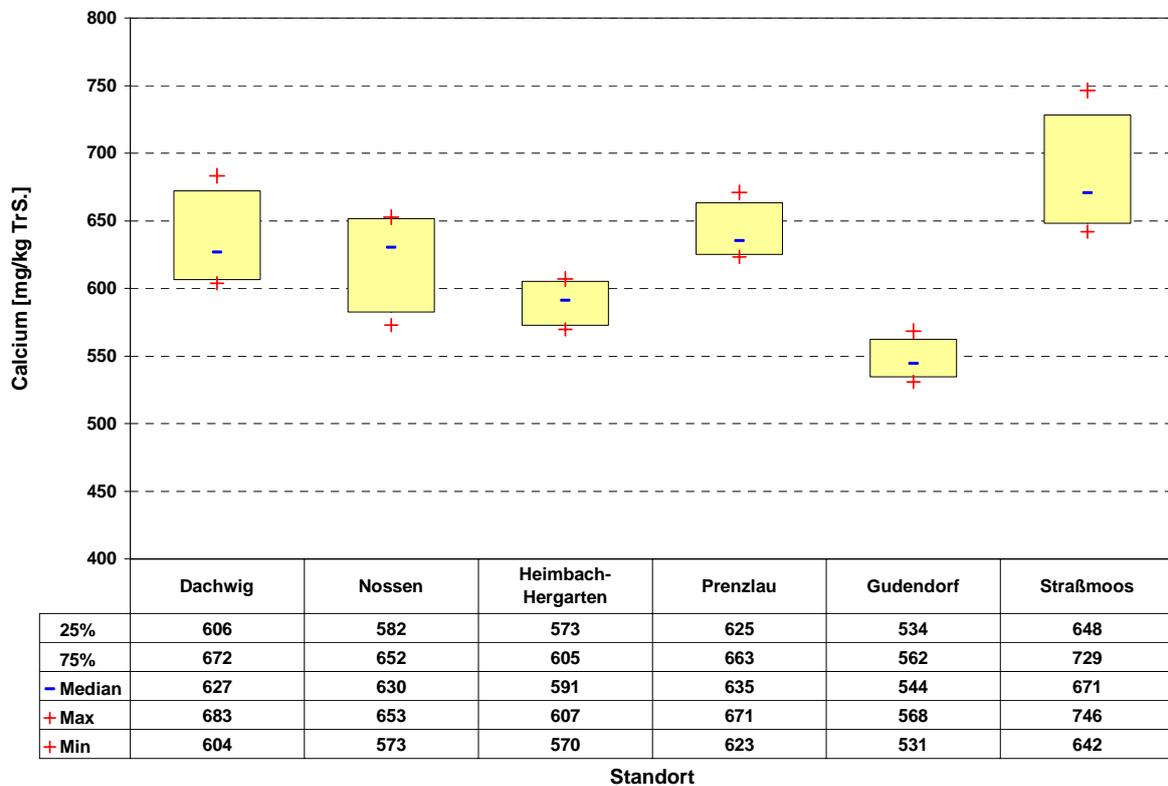


Abbildung 31: Verteilung von Calcium in Malz von sechs Standorten

Tabelle 16: Multiple Varianzanalyse von Calcium in Malz von sechs Standorten

	(Mittelwert)	Gudendorf	Heimbach- Hergarten	Nossen	Dachwig	Prenzlau	Straßmoos
		kritische Mittelwertsdifferenz = 46					
Gudendorf	547	----					
Heimbach- Hergarten	590	nein	----				
Nossen	621	ja	nein	----			
Dachwig	635	ja	nein	nein	----		
Prenzlau	641	ja	ja	nein	nein	----	
Straßmoos	682	ja	ja	ja	ja	nein	----

In Abbildung 32 ist der Gehalt von Natrium in Gerste und Malz dargestellt. Mittels t-Test konnte eine signifikante Abnahme des Natriumgehalts von Gerste zu Malz nachgewiesen werden. Die multiple Varianzanalyse hat Unterschiede zwischen den Standorten ergeben. Straßmoos hat den niedrigsten Natriumgehalt. Der Standort Gudendorf weist den höchsten Gehalt an Natrium auf, dieser liegt um mehr als das vierfache höher als am Standort Straßmoos. Im Malz sind ebenfalls signifikante Unterschiede, diese fallen aber deutlich geringer aus (vgl. Abbildung 33, Abbildung 34, Tabelle 17 und Tabelle 18). Signifikante Unterschiede zwischen den Sorten waren nicht vorhanden.

Diese Resultate decken sich teilweise mit denen von HOPULELE und PIENDL [50], die den Einfluss der einzelnen Prozessschritte während der Mälzung auf die Veränderungen einiger Mineralien untersuchten. Sie konnten bei steigenden Weichgraden eine deutliche Zunahme an Calcium und Natrium feststellen. Die Zunahme wird durch die Absorption aus dem Weichwasser erklärt, welches eine verhältnismäßig hohe Konzentration dieser beiden Elemente aufweist. In der vorliegenden Arbeit konnte nur bei Calcium eine Zunahme festgestellt werden, nicht aber bei Natrium.

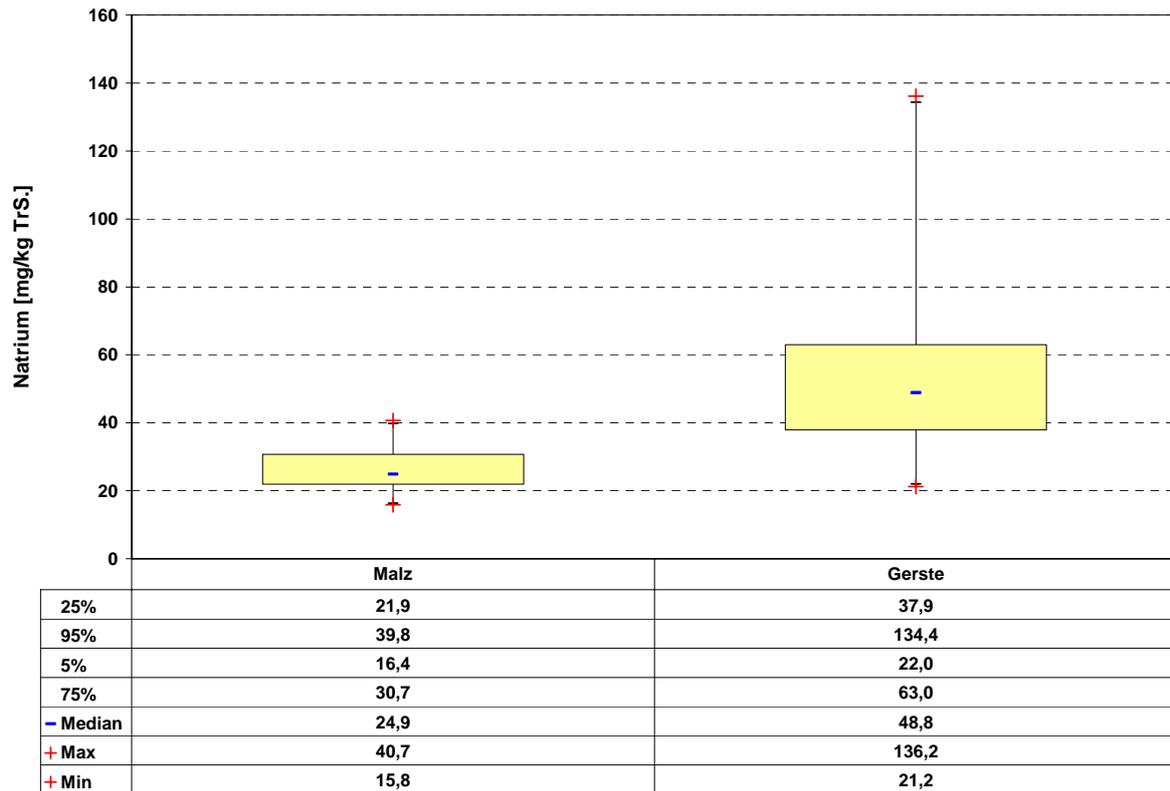


Abbildung 32: Verteilung von Natrium in Gerste und Malz

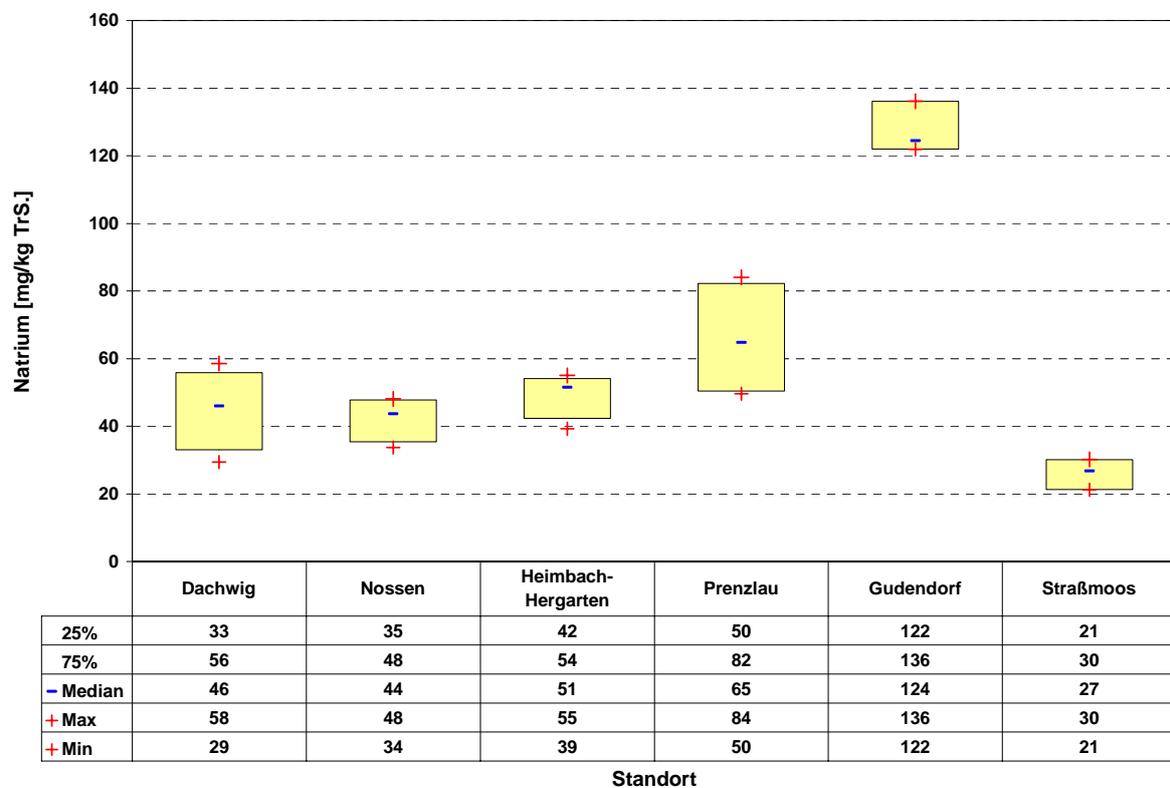


Abbildung 33: Verteilung von Natrium in Gerste von sechs Standorten

Tabelle 17: Multiple Varianzanalyse von Natrium in Gerste von sechs Standorten

	(Mittelwert)	Straßmoos	Nossen	Dachwig	Heimbach-Hergarten	Prenzlau	Gudendorf
Straßmoos	26,0	----	17,0	17,0	17,0	17,0	18,1
Nossen	42,3	nein	----	15,7	15,7	15,7	17,0
Dachwig	44,9	ja	nein	----	15,7	15,7	17,0
Heimbach-Hergarten	49,3	ja	nein	nein	----	15,7	17,0
Prenzlau	65,7	ja	ja	ja	ja	----	17,0
Gudendorf	127,5	ja	ja	ja	ja	ja	----

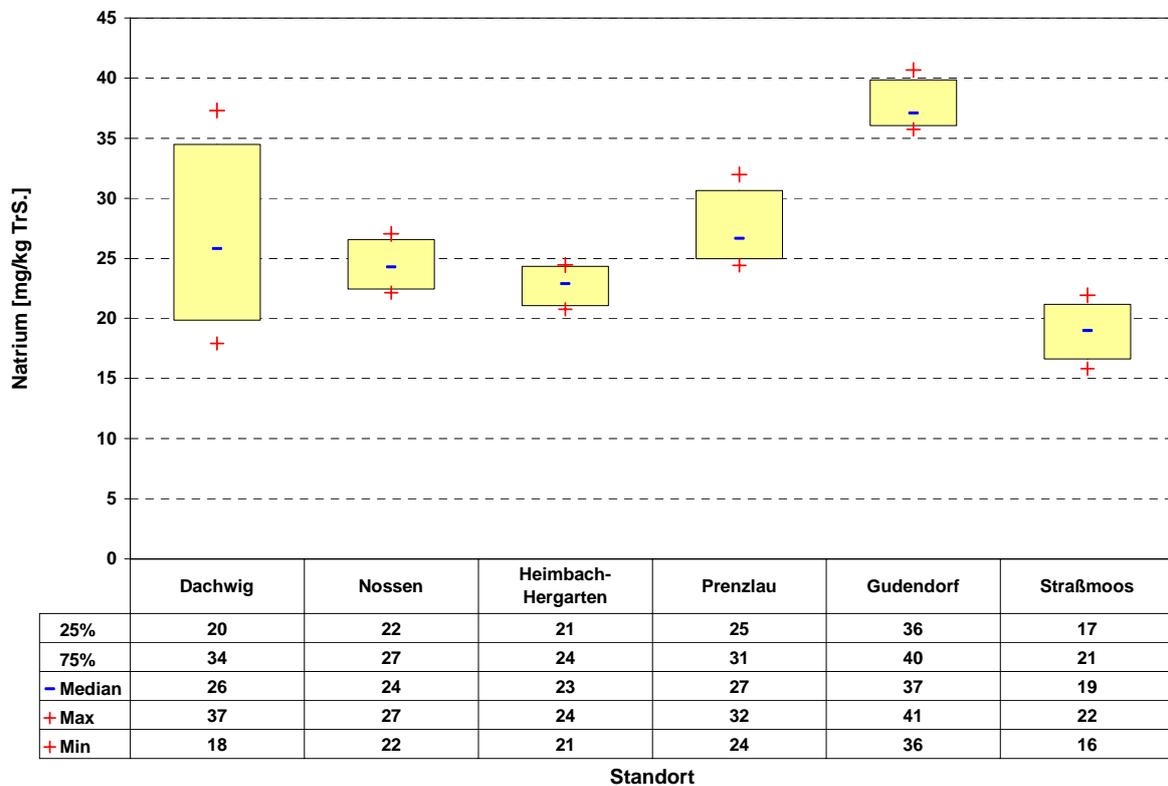


Abbildung 34: Verteilung von Natrium in Malz von sechs Standorten

Tabelle 18: Multiple Varianzanalyse von Natrium in Malz von sechs Standorten

	(Mittelwert)	Straßmoos	Heimbach-Hergarten	Nossen	Dachwig	Prenzlau	Gudendorf
		kritische Mittelwertsdifferenz = 5,8					
Straßmoos	18,9	----					
Heimbach-Hergarten	22,7	nein	----				
Nossen	24,4	nein	nein	----			
Dachwig	26,7	ja	nein	nein	----		
Prenzlau	27,4	ja	nein	nein	nein	----	
Gudendorf	37,6	ja	ja	ja	ja	ja	----

Zwischen den beiden Elementen Natrium und Calcium herrscht ein hochsignifikanter Zusammenhang im Malz ($r = -0,56$) sowie in der Gerste ($r = 0,66$).

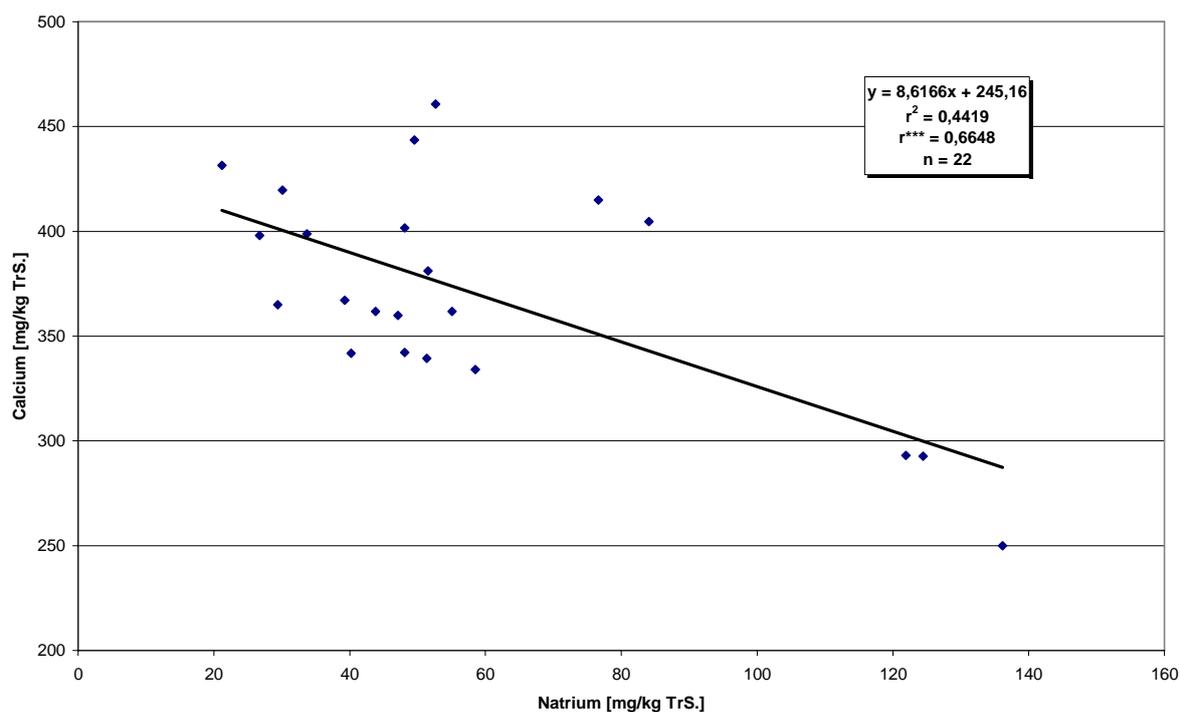


Abbildung 35: Calcium in Gerste gegen Natrium in Gerste

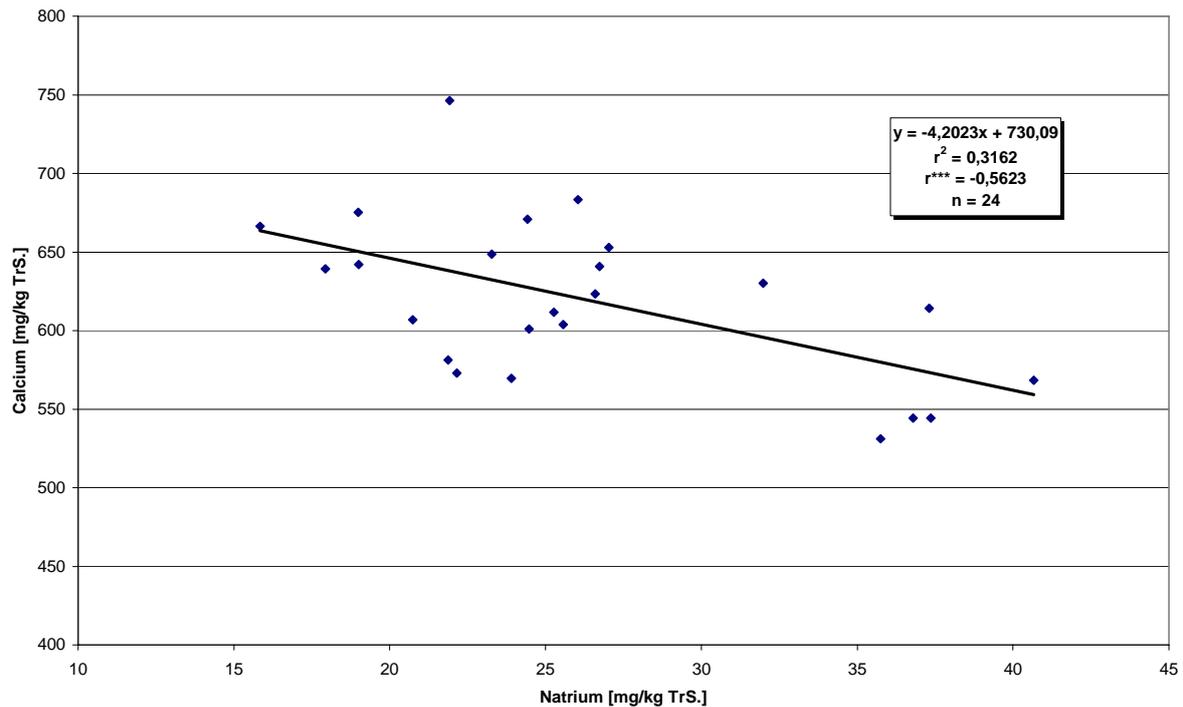


Abbildung 36: Calcium in Malz gegen Natrium in Malz

4.4 Lösung des Malzes in Labormaischen

4.4.1 Entwicklung der Extrakte

Der Verlauf der Extraktentwicklung ist anhand von 16 Gerstenmalzmustern der Ernte 2003 untersucht worden. Die in Abbildung 37 dargestellten Werte sind die Durchschnittswerte der 16 Muster sowie das jeweilige Maximum und Minimum. Probe 0 weist bereits einen Extrakt von 19,7 % auf. Nach 30 Minuten bei 45 °C beträgt der Extrakt 28,5 % und am Ende der isothermen 45-°C-Maische (Probe 3) 32,7 %. Nach dem Aufheizen auf 70 °C sind 81,5 % gelöst worden. Probe 4, d. h. die Kongresswürze, enthält im Mittel 83,0 % Extrakt.

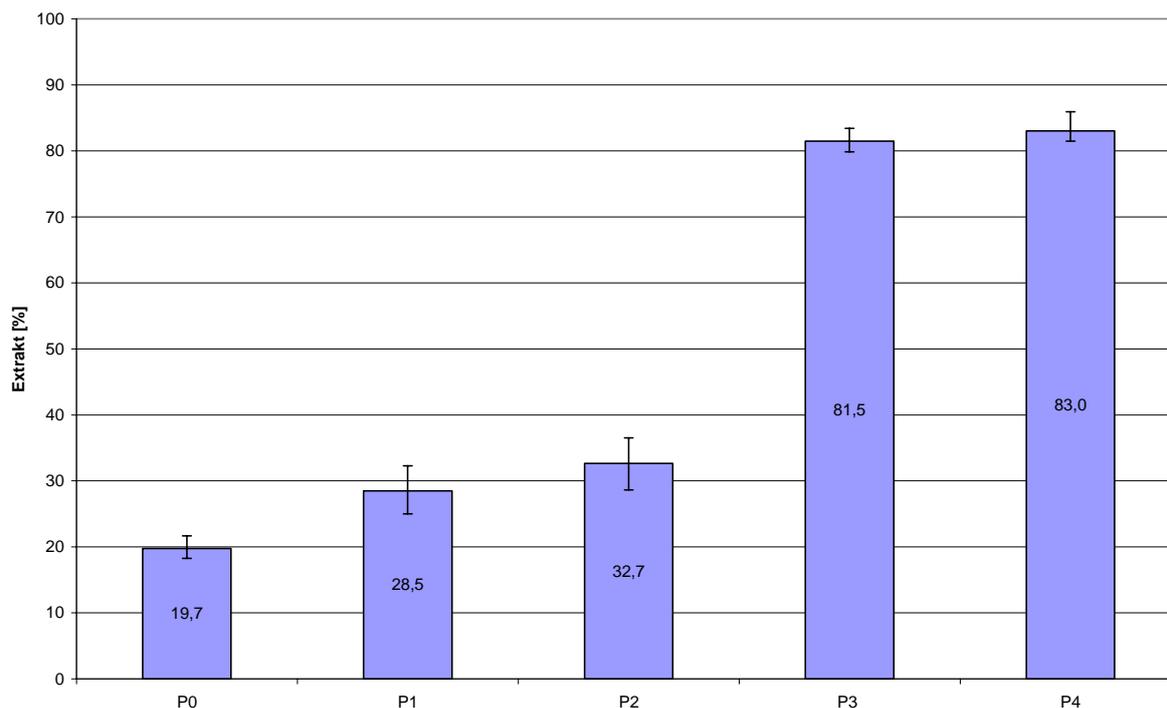


Abbildung 37: Entwicklung des durchschnittlichen Extraktes

Die Differenz zwischen dem Maximum und dem Minimum ist bei den Proben 1 und 2 mit 7,3 % und 7,9 % deutlich größer als bei den Proben 0 (3,0 %), 3 (3,6 %) und 4 (4,4 %).

In Abbildung 38 sind die Korrelationskoeffizienten der Extrakte der Proben 0 bis 4 dargestellt. Es besteht ein hochsignifikanter linearer Zusammenhang zwischen den Proben 1 und 2 (vgl. Abbildung 39) sowie 3 und 4 (vgl. Abbildung 40). Die Extrakte der 16 Muster verlaufen folglich zwischen Probe 1 und 2 sowie 3 und 4 parallel. In Abbildung 41 sind stellvertretend drei Muster dargestellt.

	P1	P2	P3	P4
P0	0,71	0,63	0,04	-0,13
P1		0,96	-0,06	0,02
P2			-0,05	0,02
P3				0,93

Abbildung 38: Korrelationskoeffizient r der Extrakte der Proben 0 bis 4 für jeweils 16 Muster

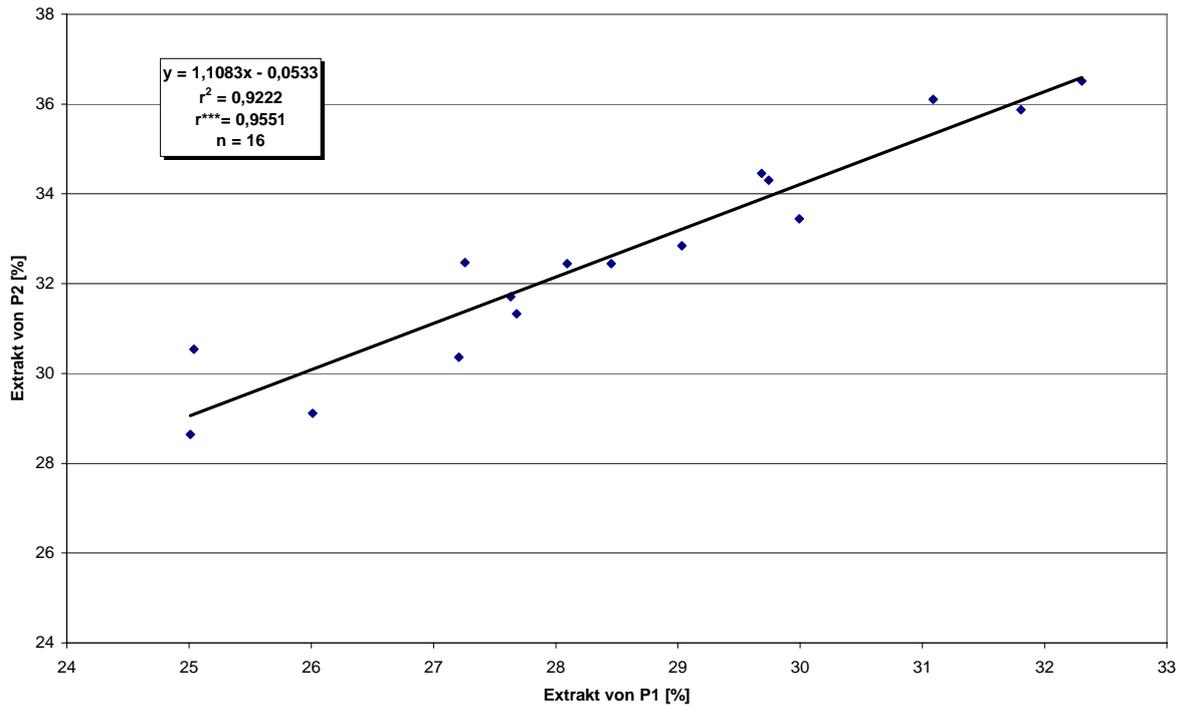


Abbildung 39: Extrakt der Probe 1 gegen Extrakt der Probe 2

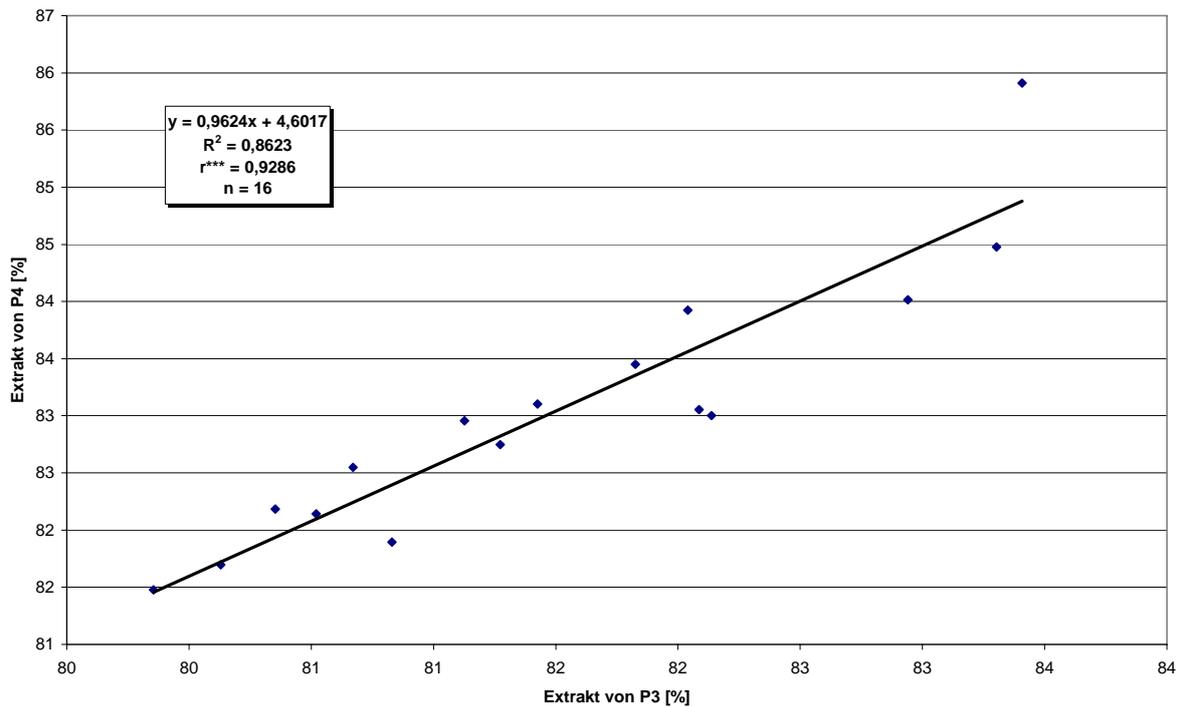


Abbildung 40: Extrakt der Probe 3 gegen Extrakt der Probe 4

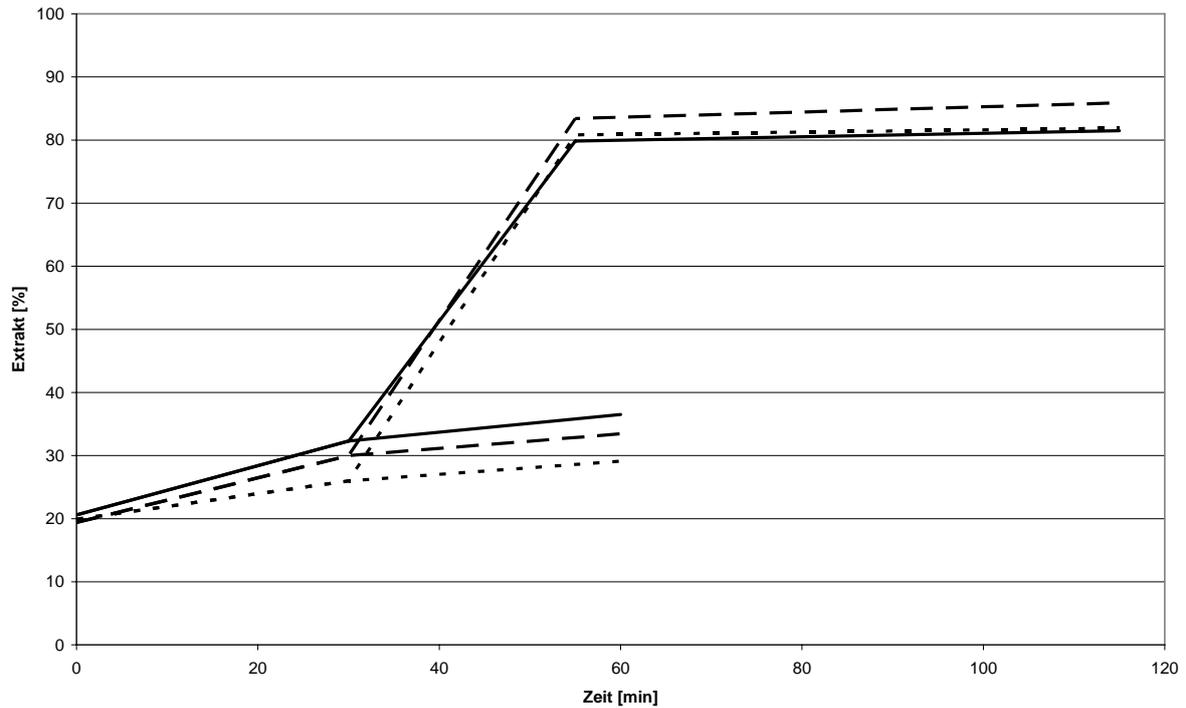


Abbildung 41: Entwicklung des Extraktes über die Proben

4.4.2 Entwicklung des löslichen Stickstoffs

In Abbildung 42 ist das gelöste Eiweiß (Mittelwert aus 16 Proben) der Proben 0–4 dargestellt. 3,6 % Eiweiß sind bereits in der Probe 0 gelöst. Nach 30 Minuten bei 45 °C (Probe 1) steigt der Wert auf 4,2 % und am Ende der Isotherme bei 45 °C (Probe 2) sind 4,4 % gelöst. Während der Aufheizphase steigt der Wert auf 4,3 % an (Probe 3). In der Kongresswürze (Probe 4) sind 4,6 % Eiweiß gelöst.

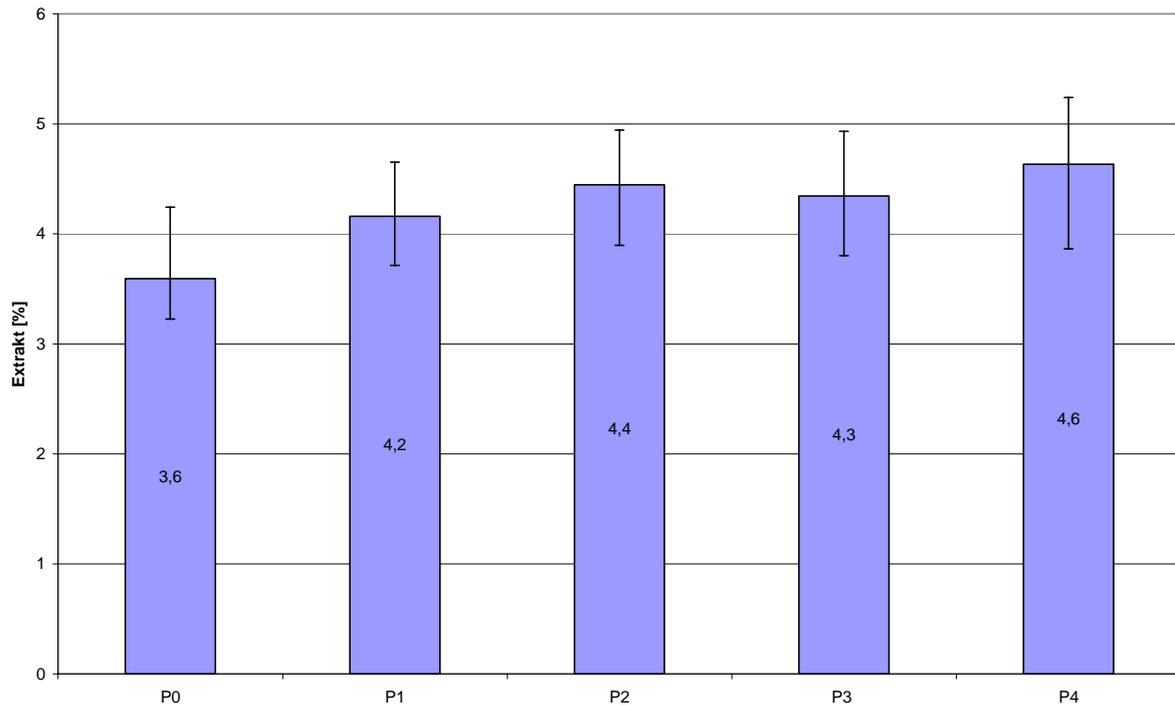


Abbildung 42: Entwicklung des gelösten Eiweißes

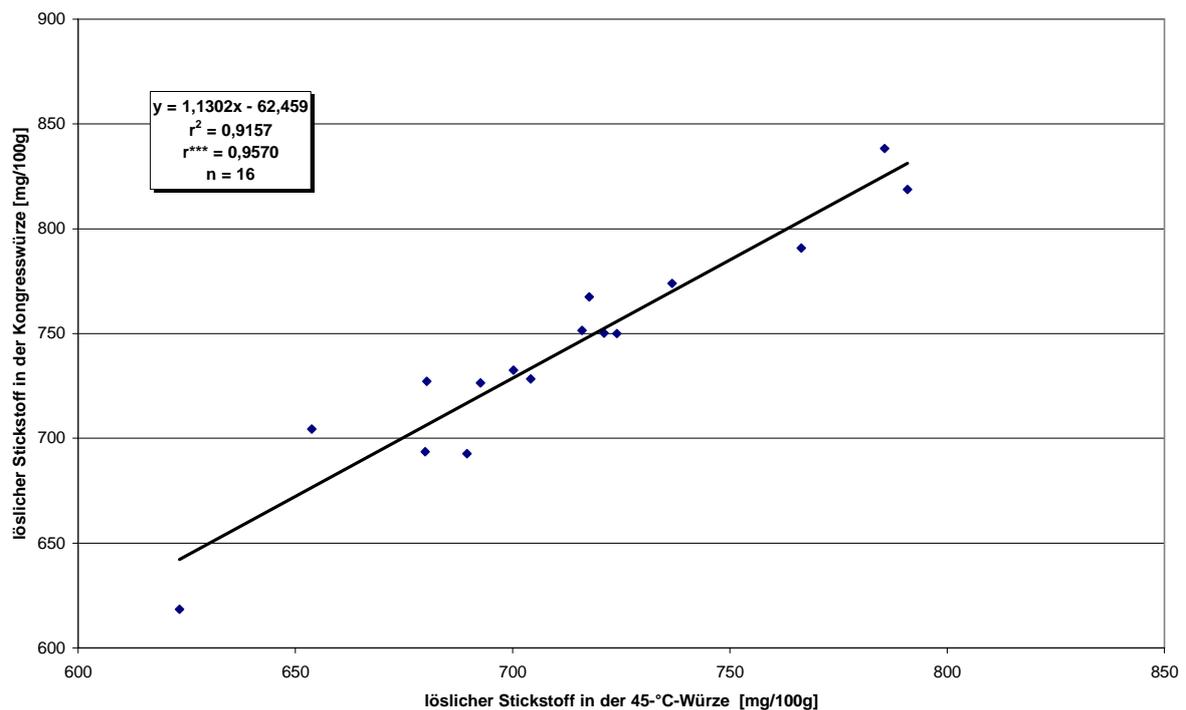


Abbildung 43: Löslicher Stickstoff der Kongresswürste gegen löslicher Stickstoff der 45-°C-Würste

Der Gehalt an löslichem Eiweiß in der isothermen 45-°C-Würste (Probe 2) korreliert hochsignifikant ($r = 0,96$) mit dem Gehalt in der Kongresswürste (Probe 4).

Wird vom Extrakt der Proben 2 und 3 das gelöste Eiweiß abgezogen und werden diese ins Verhältnis gesetzt, ergibt sich die VZ 45 °C proteinfrei. (VZ 45 °C_{PF}). In Abbildung 44 ist die

VZ 45 °C gegen VZ 45 °C_{PF} aufgetragen. Es besteht ein hochsignifikanter linearer Zusammenhang.

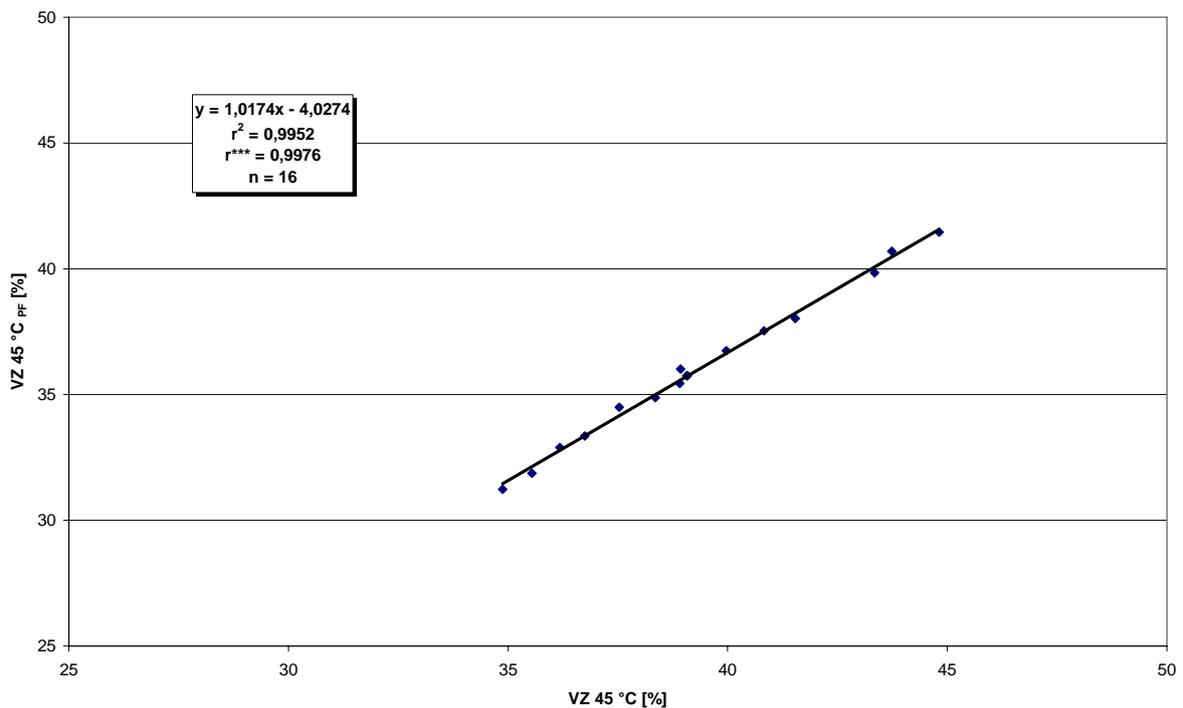


Abbildung 44: VZ 45 °C gegen VZ 45 °C_{PF}

4.5 Zusammenhänge zwischen der VZ 45 °C und amylytischen Kennzahlen

Auf Basis der zugrunde liegenden Untersuchungen konnte kein Zusammenhang zwischen der VZ 45 °C und dem EVG der Kongresswürzen gefunden werden (vgl. Abbildung 45).

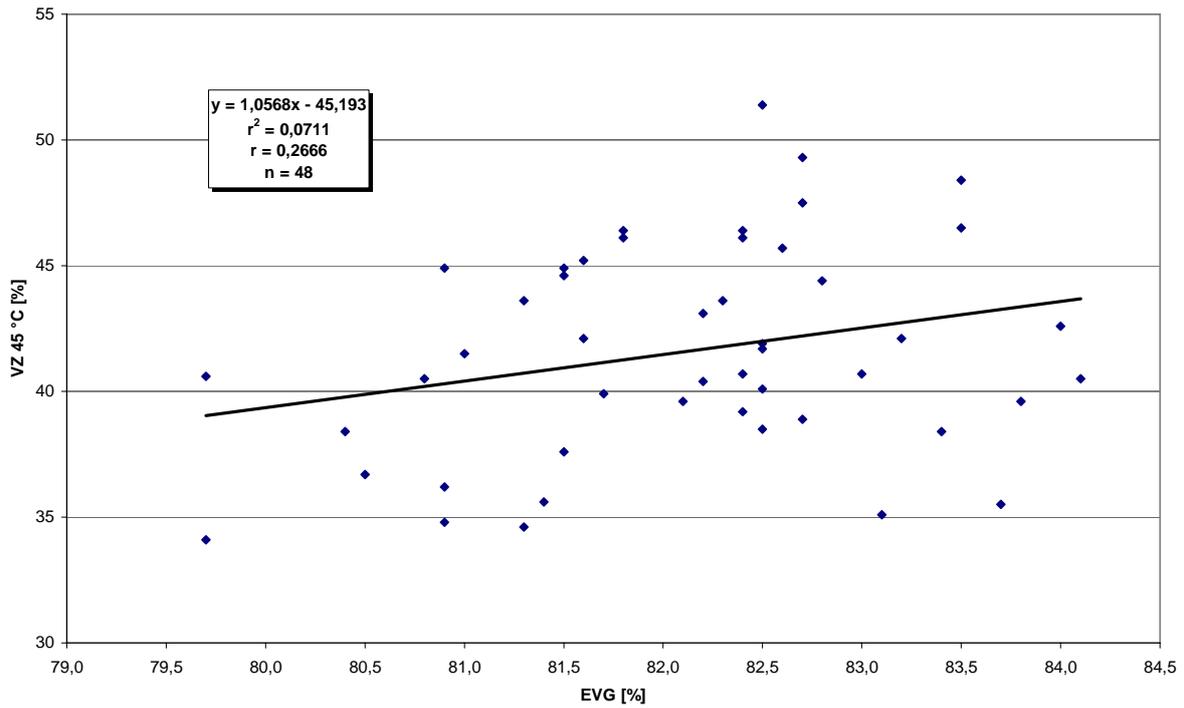


Abbildung 45: EVG gegen VZ 45 °C

Aus Abbildung 46 geht hervor, dass es keinen signifikanten Zusammenhang zwischen der VZ 45 °C und dem Extrakt gibt.

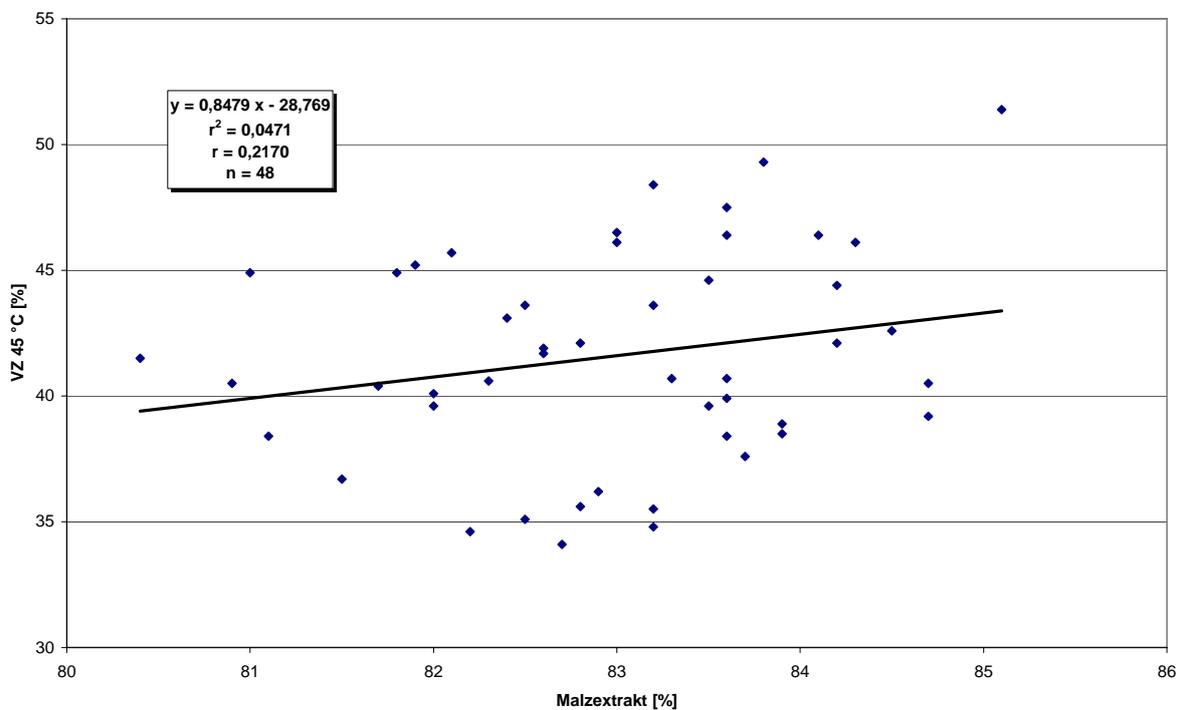


Abbildung 46: VZ 45 °C gegen Extrakt der Kongresswürze

In Abbildung 47 und Abbildung 48 sind die diastatische Kraft sowie die α -Amylase-Aktivität gegen die VZ 45 °C aufgetragen. In beiden Darstellungen ist kein linearer Zusammenhang zu erkennen.

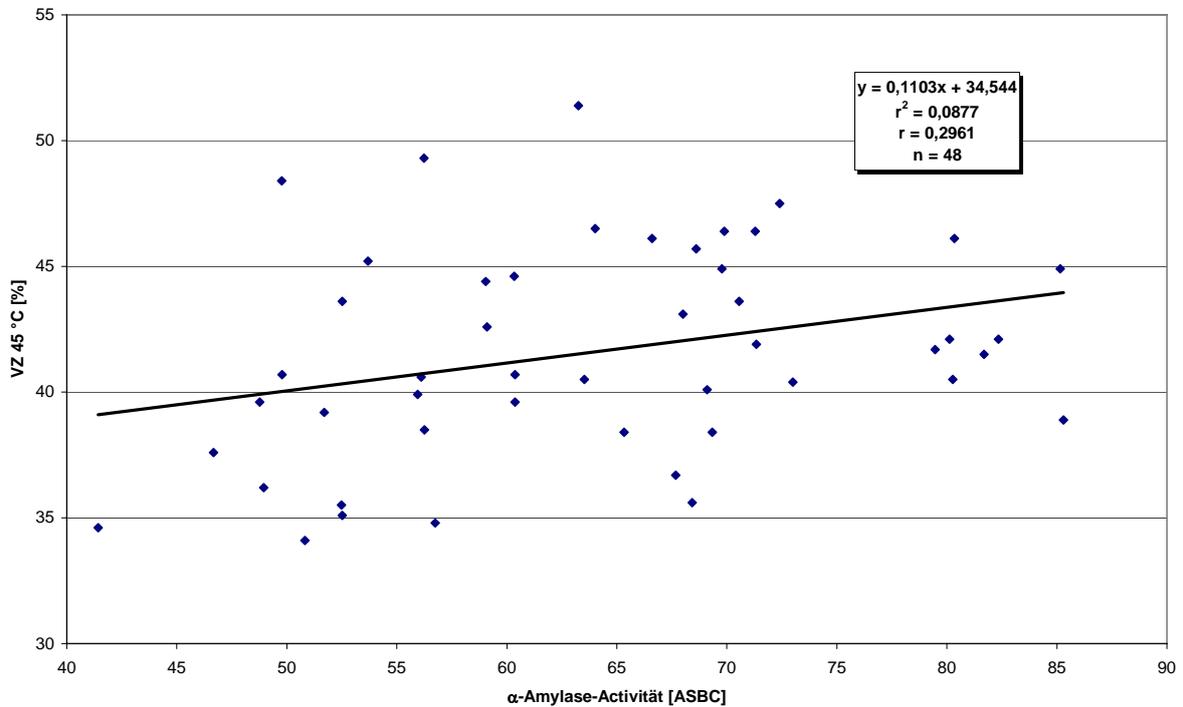


Abbildung 47: α -Amylase-Aktivität gegen VZ 45 °C

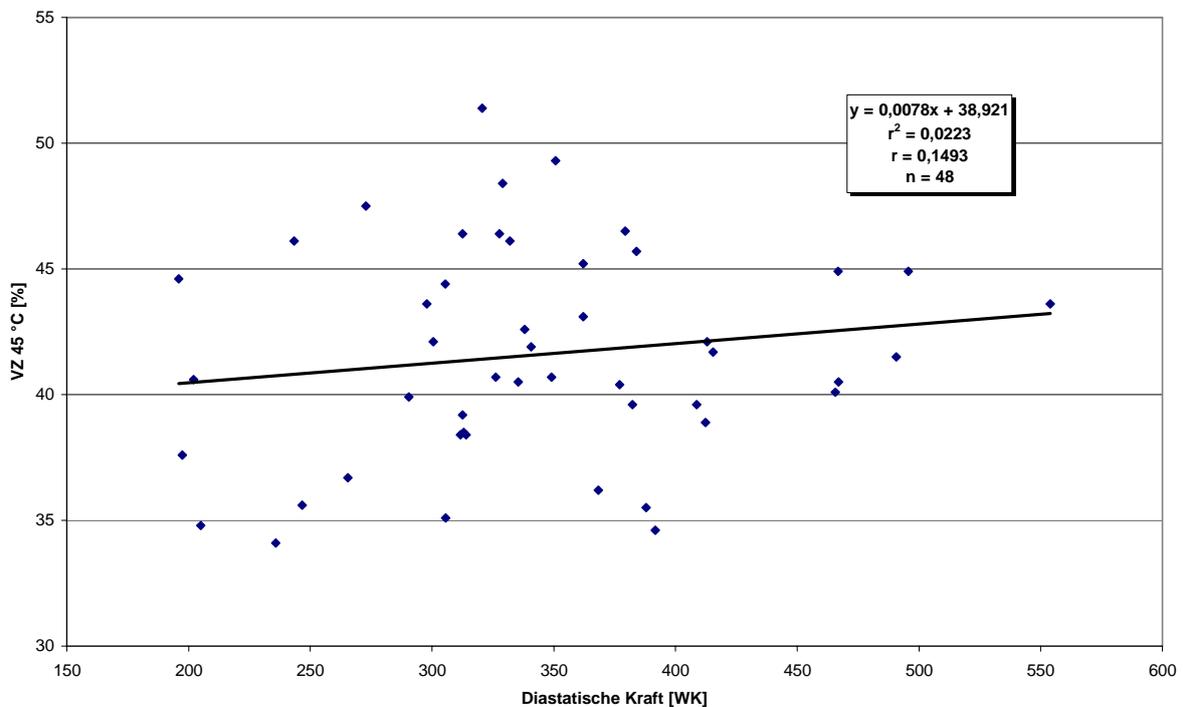


Abbildung 48: DK gegen VZ 45 °C

4.6 Zusammenhänge zwischen der VZ 45 °C und proteolytischen Kennzahlen

Kennzahlen

In den folgenden Diagrammen ist die VZ 45 °C gegen einige proteolytische Kennzahlen aufgetragen. Für diese Untersuchungen sind 16 Muster (vier Sorten von vier Standorten) der Ernte 2003 verwendet worden. Es ergeben sich keine signifikanten Zusammenhänge zwischen der VZ 45 °C und den proteolytischen Kennzahlen ELG (vgl. Abbildung 49), löslicher Stickstoff (vgl. Abbildung 50) und FAN (vgl. Abbildung 51).

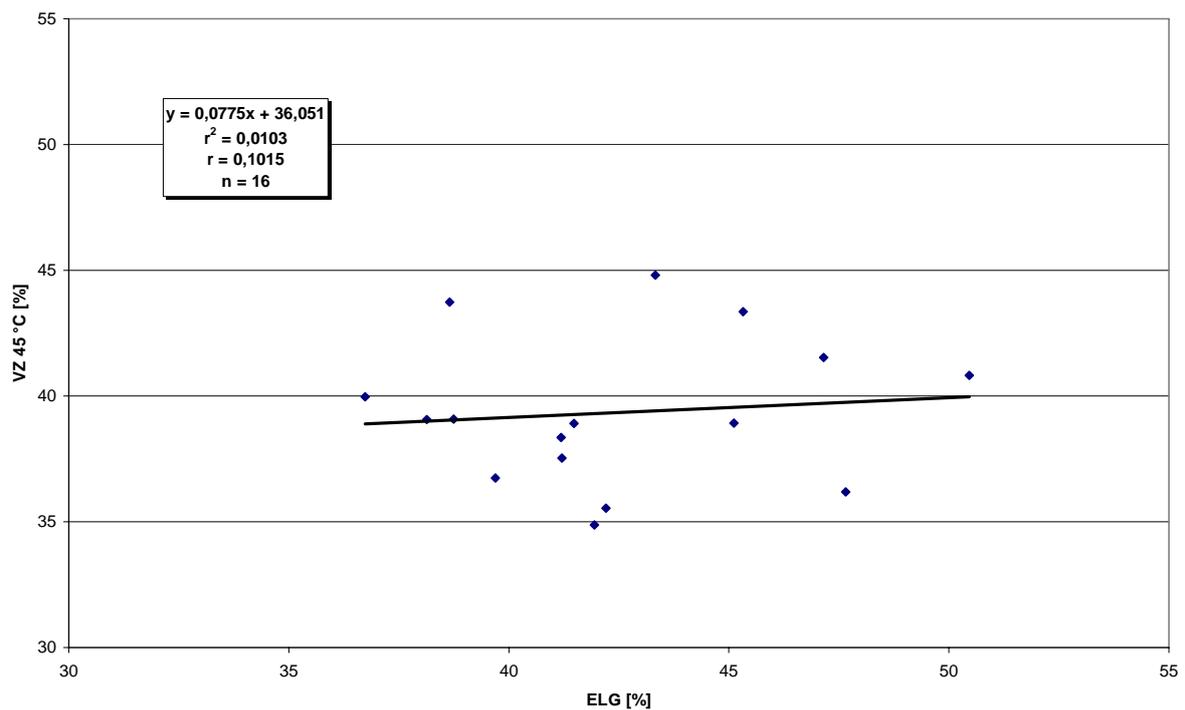


Abbildung 49: ELG gegen VZ 45 °C

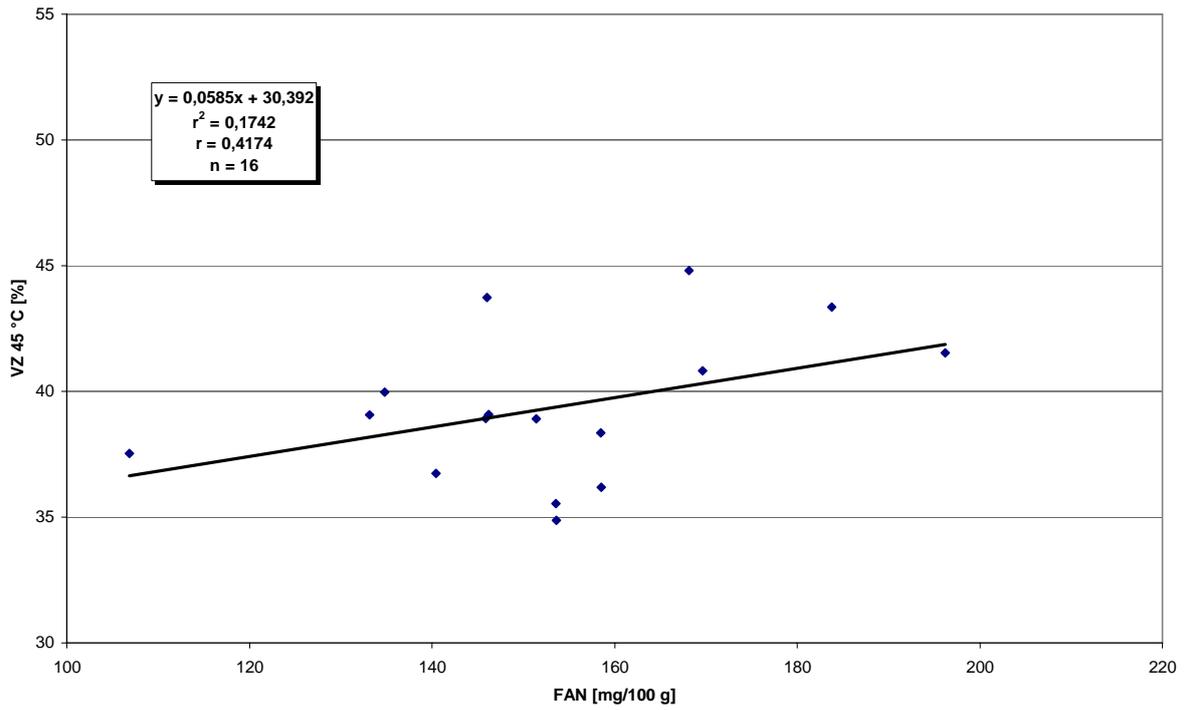


Abbildung 50: FAN gegen VZ 45 °C

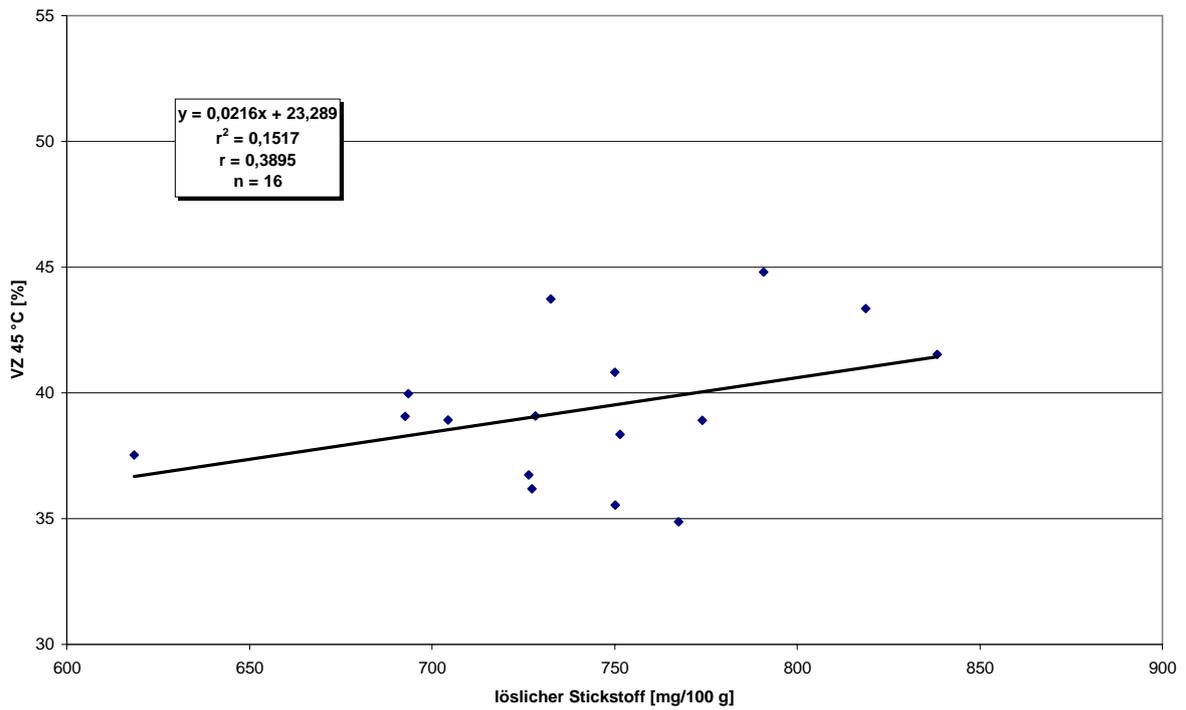


Abbildung 51: Löslicher Stickstoff gegen VZ 45 °C

4.7 Zusammenhänge zwischen der VZ 45 °C und den Stärkeeigenschaften

4.7.1 Rotationsviskosimetrie

Die mittels des RVAs bestimmten Kennzahlen haben alle einen hochsignifikanten Zusammenhang zur VZ 45 °C. In Abbildung 52 ist die VKT gegen die VZ 45 °C aufgetragen. Es besteht ein signifikanter linearer Zusammenhang ($r = 0,80$). Zwischen der TTP und der VZ 45 °C ist ebenfalls ein signifikanter Zusammenhang ($r = 0,66$). Das Viskositätsmaximum steht ebenfalls in einem linearen Zusammenhang zur VZ 45 °C ($r^{***} = 0,60$; vgl. Abbildung 54).

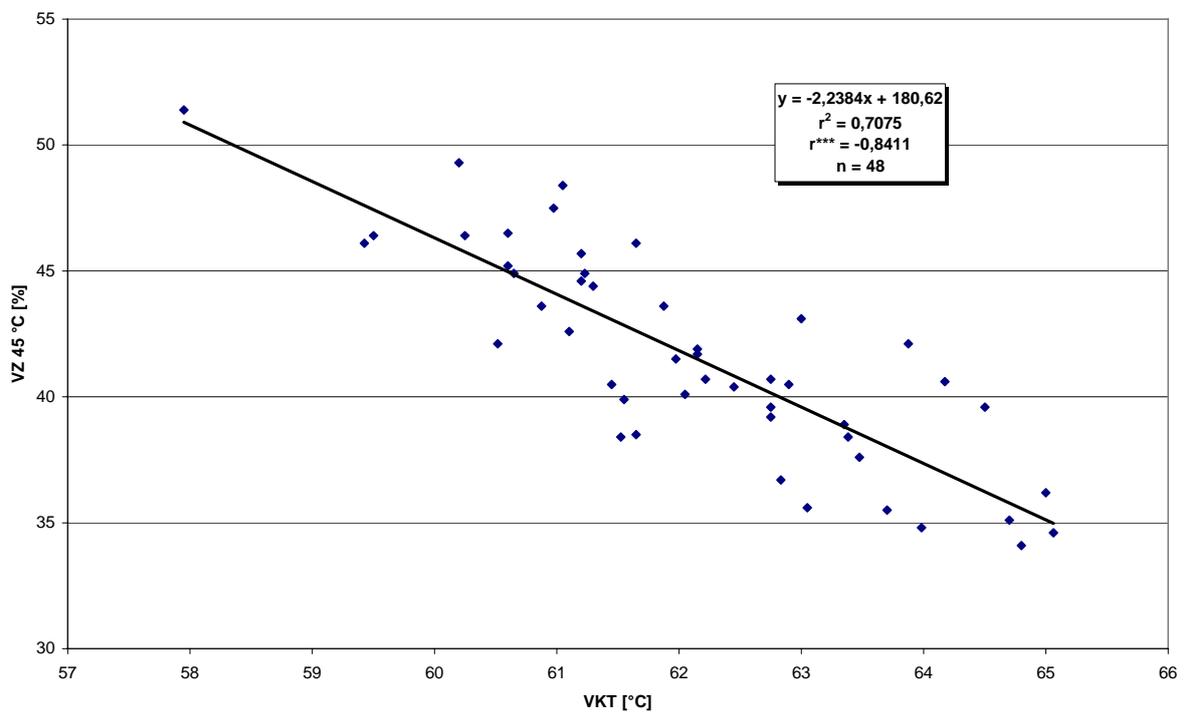


Abbildung 52: VKT gegen VZ 45 °C in Malz

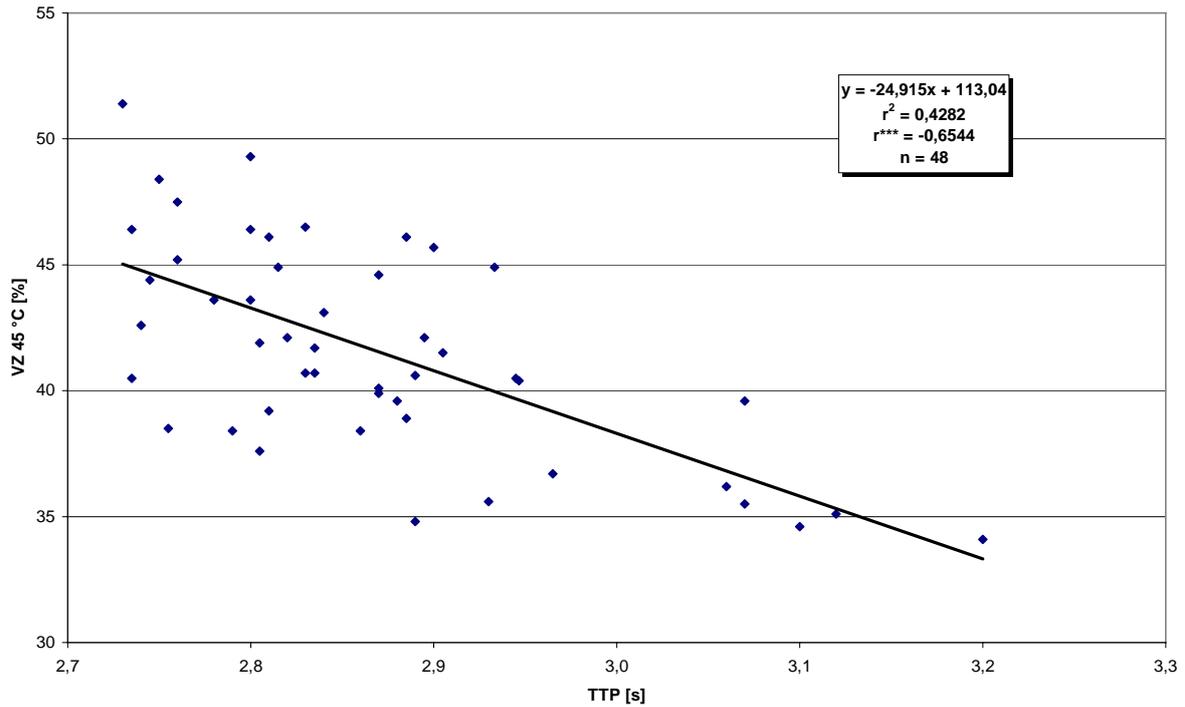


Abbildung 53: TTP gegen VZ 45 °C in Malz

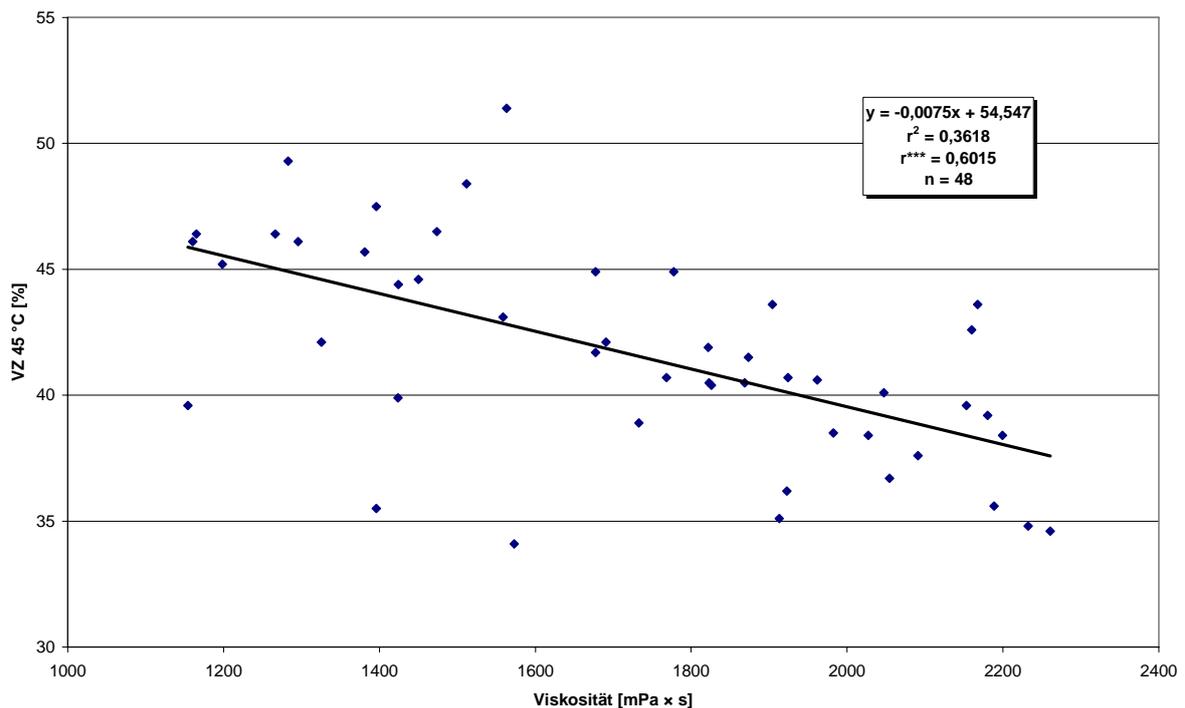


Abbildung 54: Viskositätsmaximum gegen VZ 45 °C in Malz

4.7.2 Kalorimetrie

Zwischen der Onset-Temperatur des Amylopektins und der VZ 45 °C deutet sich ein Zusammenhang an (vgl. Abbildung 55). In Abbildung 56 ist die VZ 45 °C gegen die Peak-

Temperatur der Gerste aufgetragen. Es ist eine Tendenz zu einem linearen Zusammenhang zu erkennen.

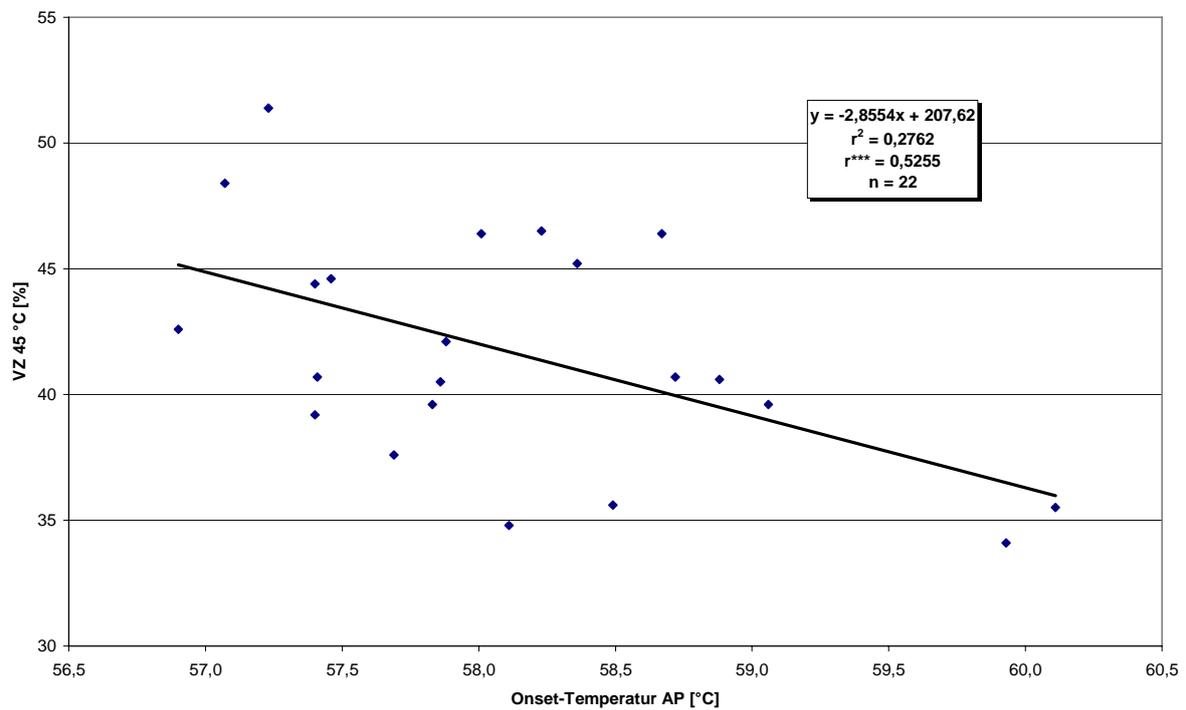


Abbildung 55: VZ 45 °C gegen Onset-Temperatur AP in Gerste

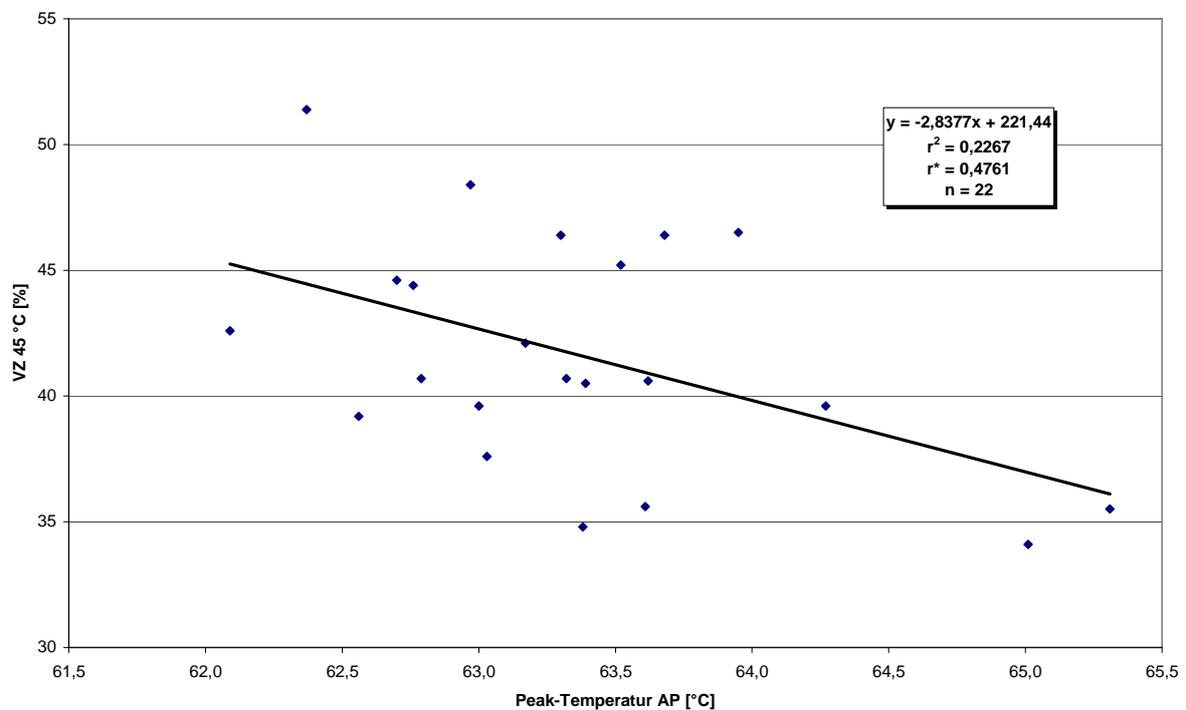


Abbildung 56: VZ 45 °C gegen Peak-Temperatur AP in Gerste

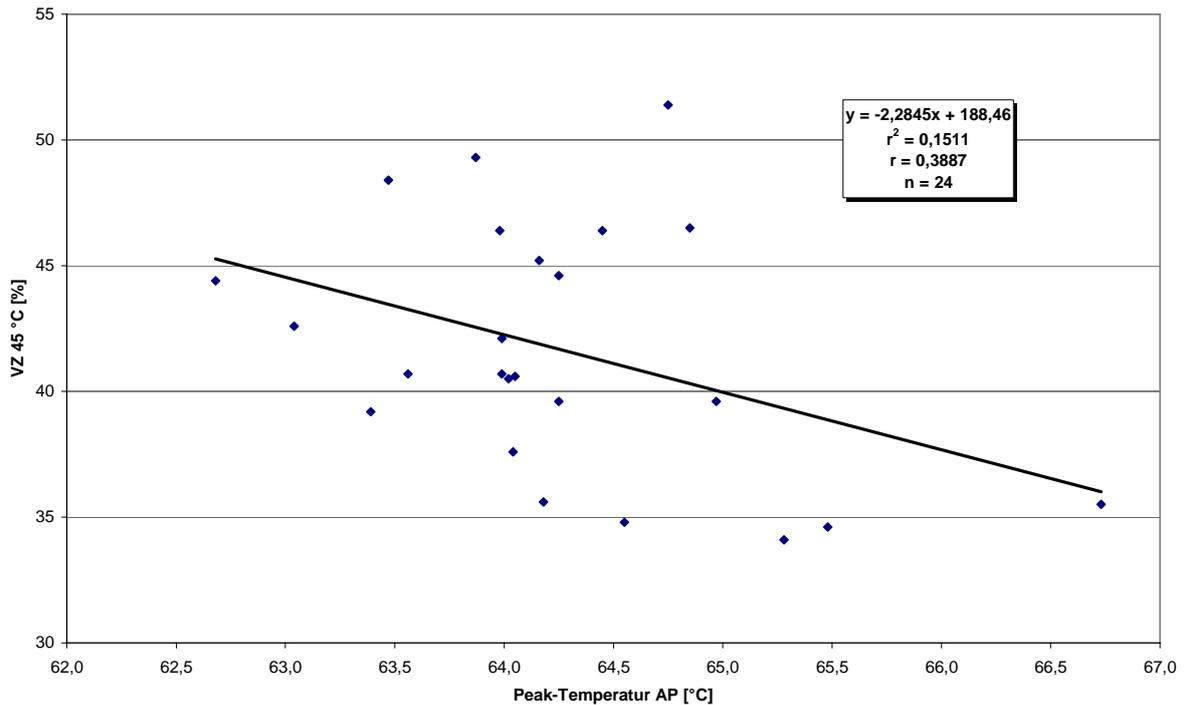


Abbildung 57: VZ 45 °C gegen Peak-Temperatur AP im Malz

Die Peak-Temperatur als auch die Amylopektin ΔH korreliert bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 10 % bzw. 2 % mit der VZ 45 °C. Mit steigender VZ 45 °C nimmt die Peak-Temperatur als auch die Schmelzenthalpie ab.

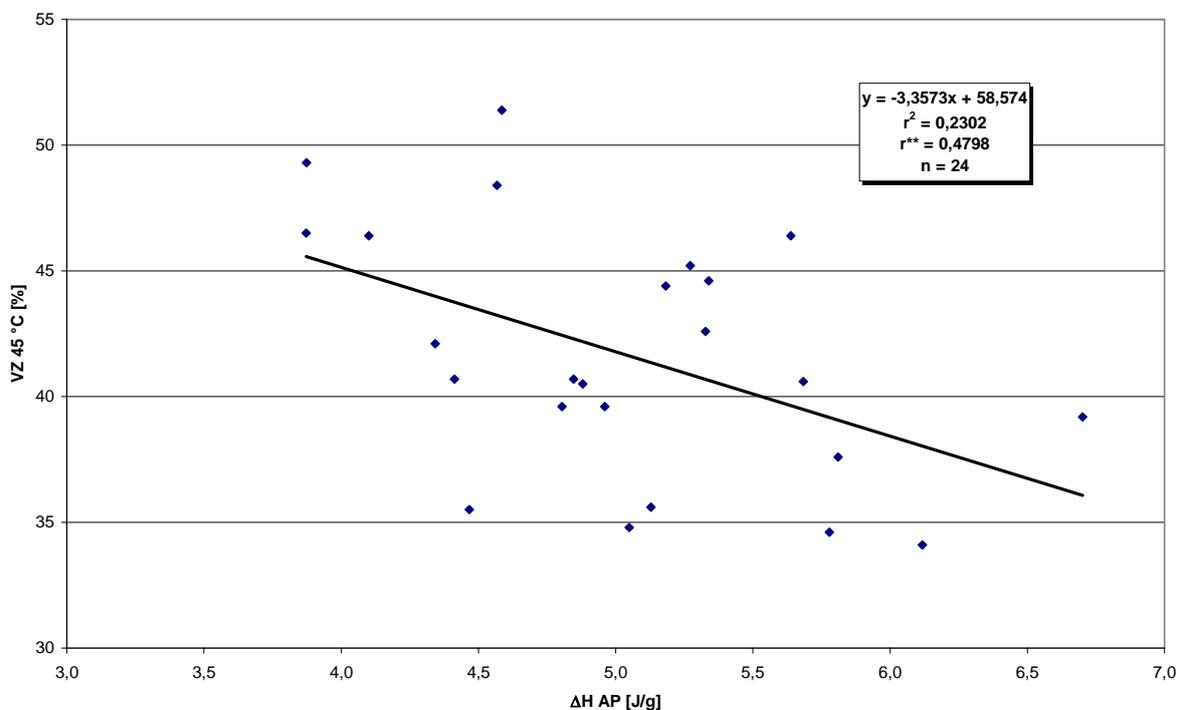


Abbildung 58: VZ 45 °C gegen ΔH AP im Malz

In Abbildung 59 ist die Schmelzenthalpie ΔH AP gegen das Viskositätsmaximum der RVA Analyse aufgetragen. Mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 % herrscht ein signifikanter Zusammenhang.

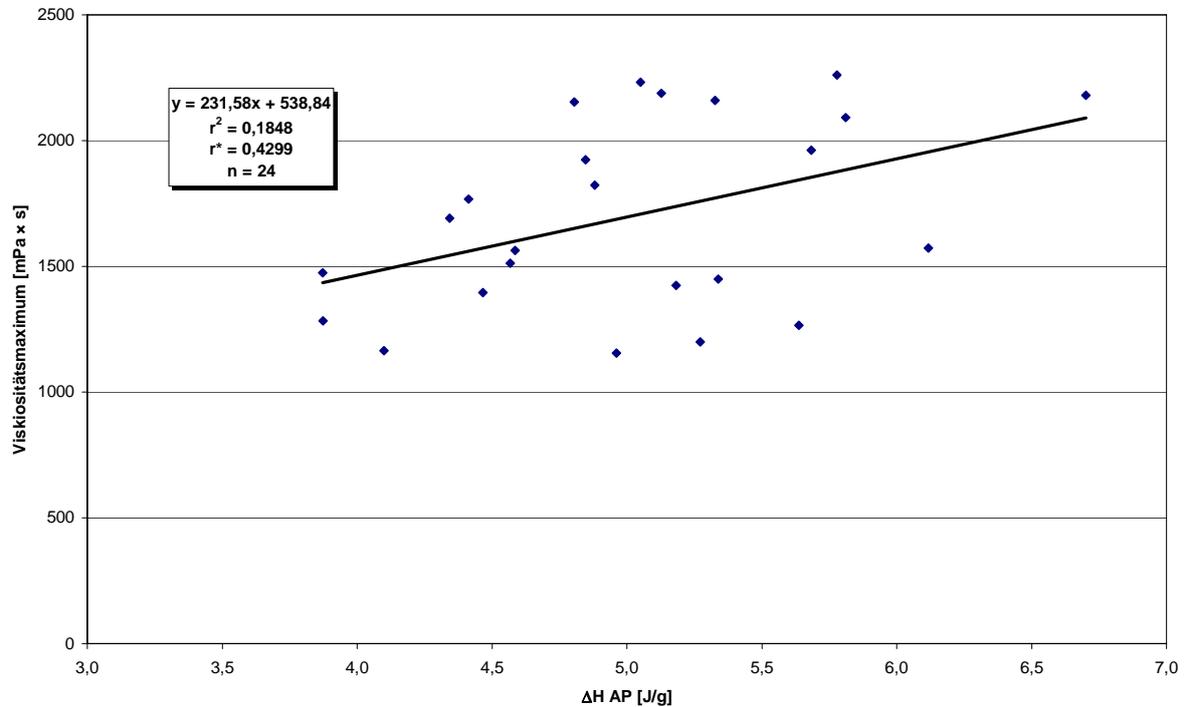


Abbildung 59: ΔH AP im Malz gegen Viskositätsmaximum

4.8 Zusammenhänge zwischen der VZ 45 °C und den untersuchten Mineralien

In Abbildung 60 und Abbildung 61 sind die Natriumgehalte im Malz gegen die VZ 45 °C und die VKT aufgetragen. Es gibt einen hochsignifikanten Zusammenhang zwischen dem Natriumgehalt des Malzes und der VZ 45 °C ($r = 0,81$) sowie der VKT ($r = -0,78$). Der Calciumgehalt des Malzes korreliert ebenfalls mit der VKT ($r = 0,72$) und der VZ 45 °C ($r = -0,64$). Der Kaliumgehalt im Malz bzw. in der Gerste ergab keine Zusammenhänge.

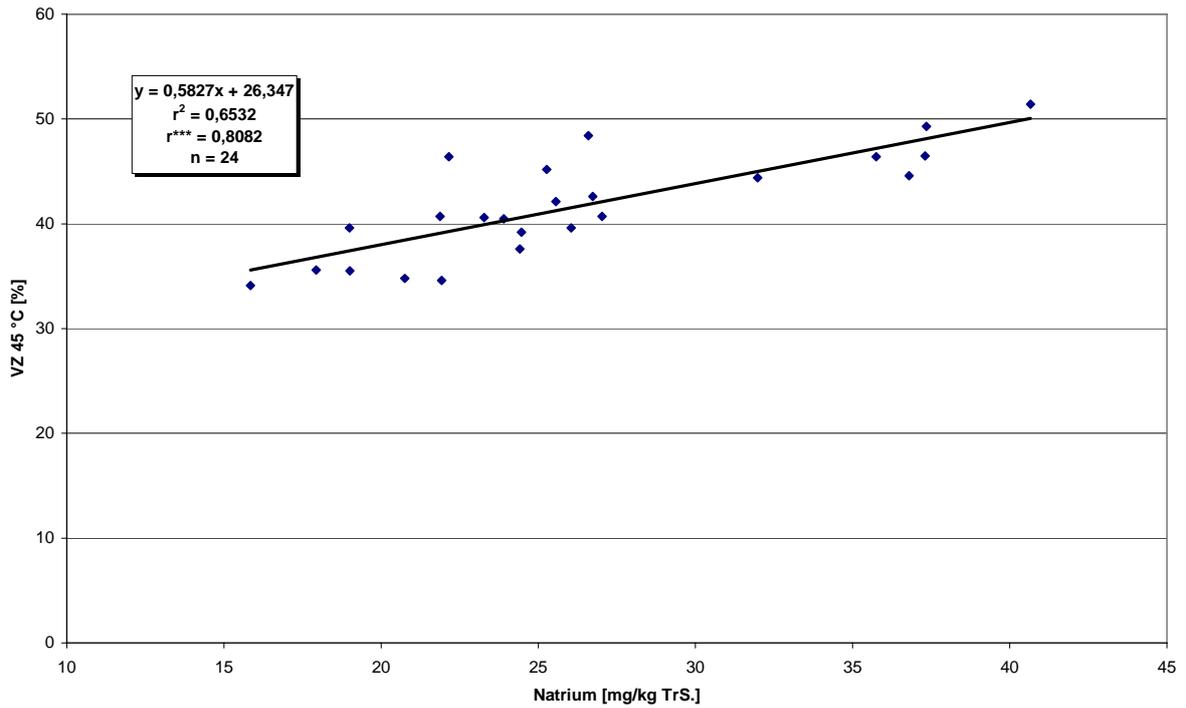


Abbildung 60: Natrium im Malz gegen die VZ 45 °C

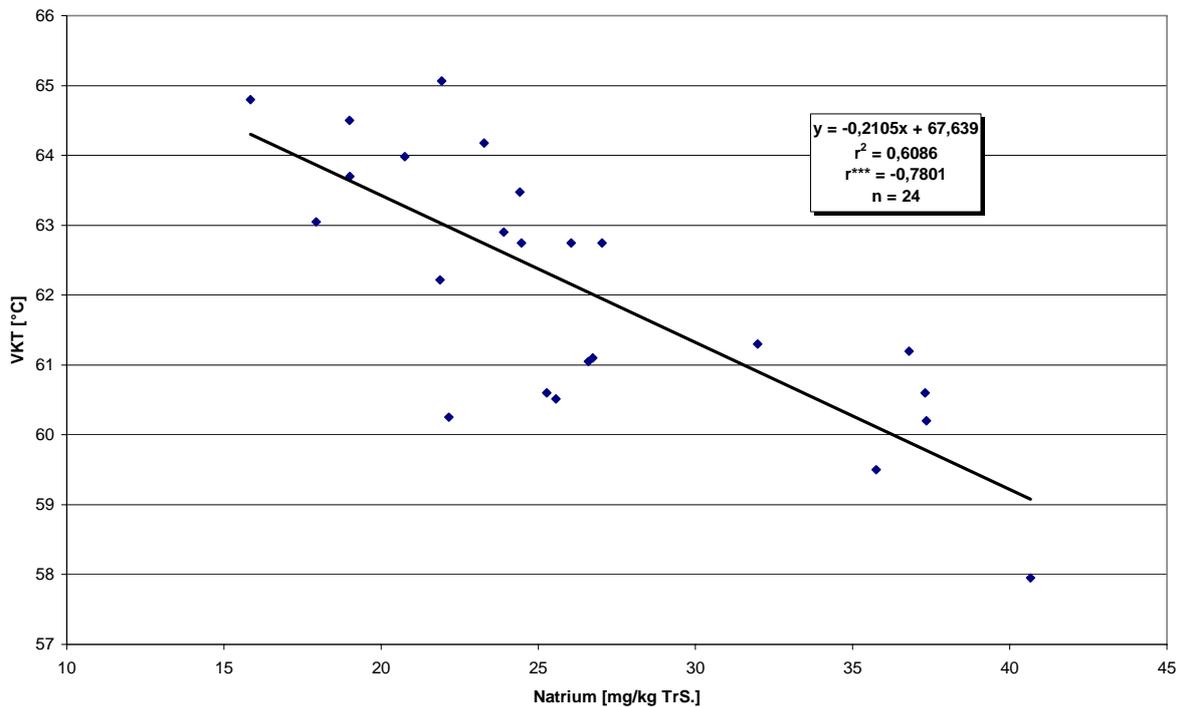


Abbildung 61: Natrium im Malz gegen die VKT

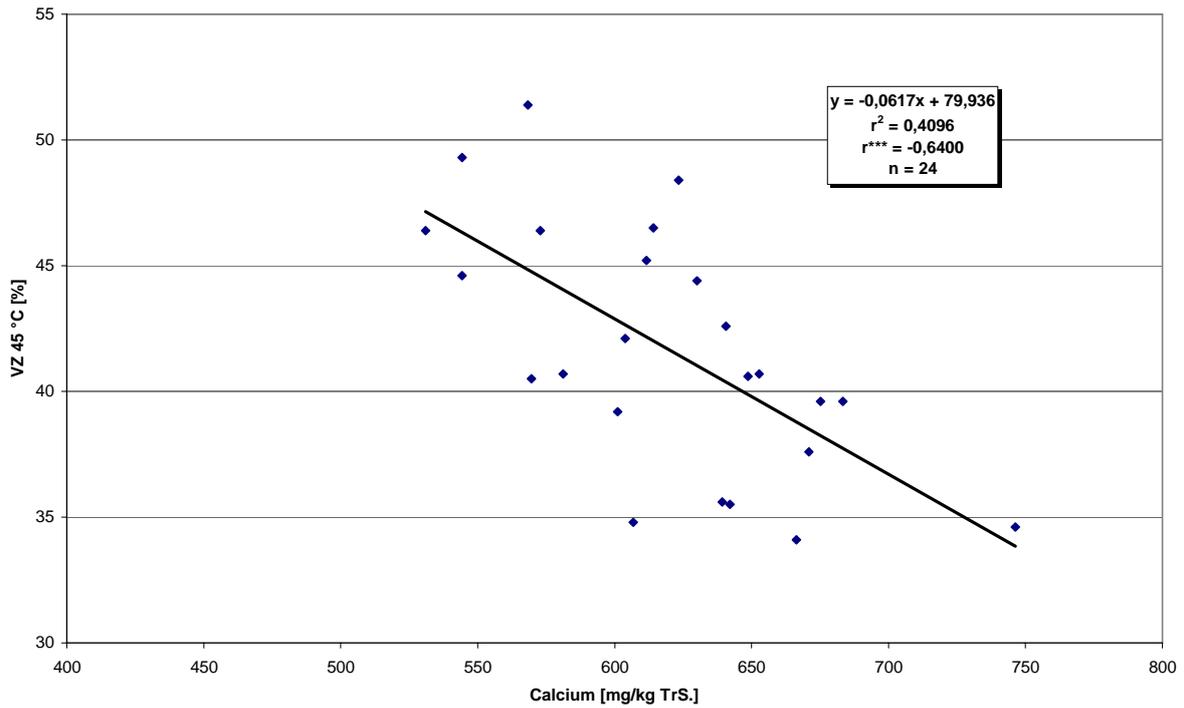


Abbildung 62: Calcium im Malz gegen die VZ 45 °C

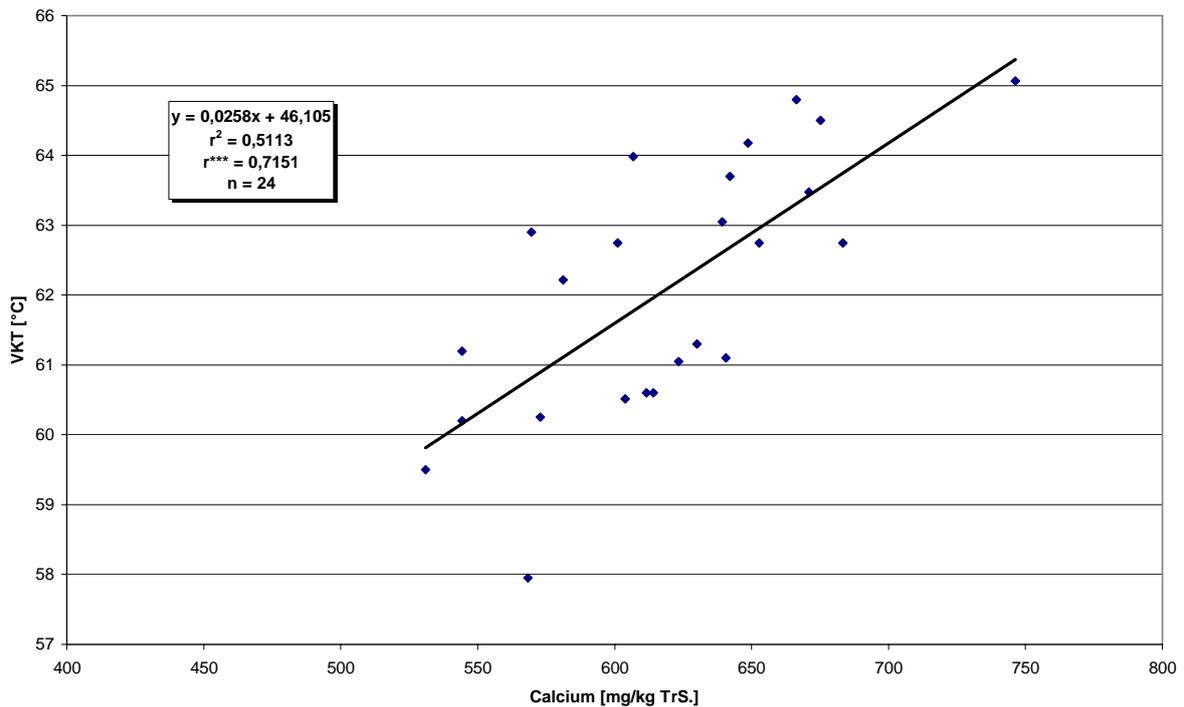


Abbildung 63: Calcium im Malz gegen die VKT

4.9 Zusammenhänge zwischen DSC Analysen und Mineralstoffen

Zwischen den kalorimetrischen Untersuchungen und den Mineralstoffgehalten hat sich nur ein signifikanter Zusammenhang ergeben. Die Schmelzenthalpie des Amylose-Lipid-Komplexes (ΔH ALC) korreliert mit dem Natriumgehalt der Gerste (vgl. Abbildung 64)

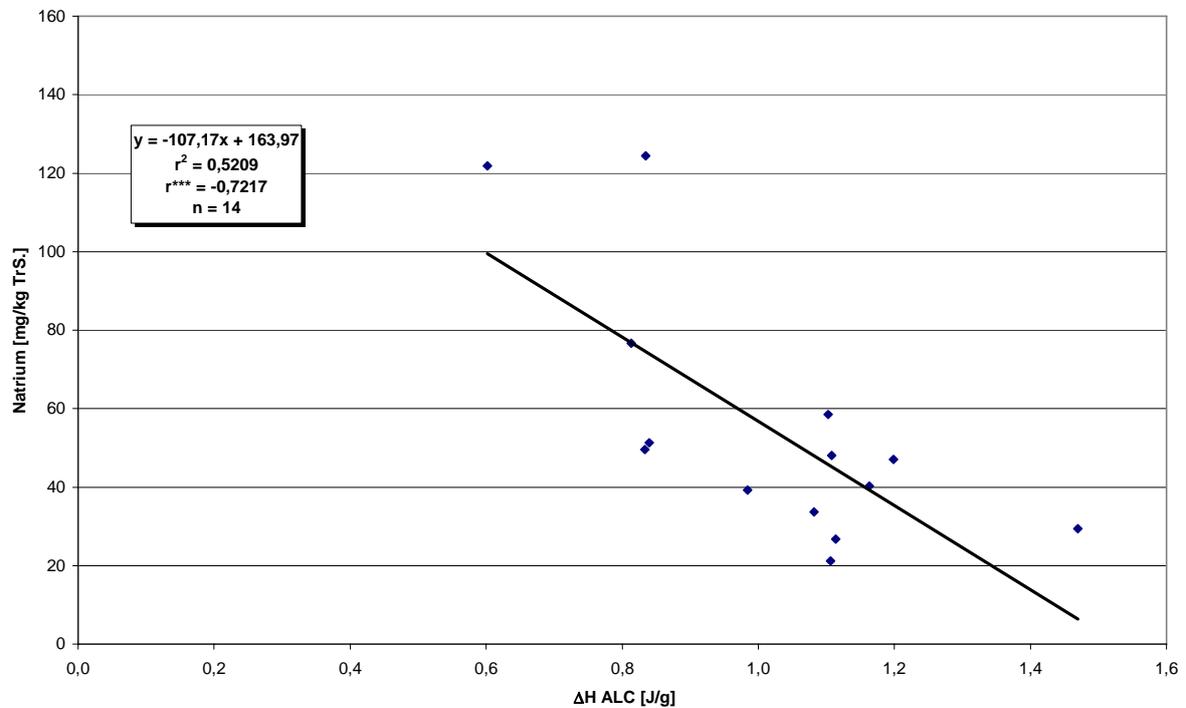


Abbildung 64: Natrium gegen ΔH ALC in Gerste

5 Diskussion der Ergebnisse

Der Lösungsgrad der Stärke im Malzkorn wird in der Routineanalytik nicht erfasst. Auch sind in den gängigen Analysenvorschriften [27, 104, 115] des Brauwesens keine Methoden enthalten, die eine Aussage über die Eigenschaften der Stärke in der Gerste bzw. im Malz macht. Die Ergebnisse in der vorliegenden Arbeit zeigen, dass die VZ 45 °C, die bisher als Universalkennzahl für die enzymatische Kraft des Malzes galt, den Stärkelösungsgrad darstellt. Im Folgenden wird die Aussagekraft der VZ 45 °C diskutiert und eine kritische Betrachtung der Stärkemerkmale in Gerste und Malz durchgeführt, die mittels Rotationsviskosimetrie und DSC Analytik erfasst wurden. Es wird dabei auf Sorten- und Standortabhängigkeiten eingegangen. Ferner wird eine Diskussion darüber geführt, ob diese Merkmale einen sinnvollen Beitrag zur Beurteilung von Neuzüchtungen machen und ob sie eine Hilfestellung als Qualitätskriterium zur Beurteilung der Brauqualität darstellen.

5.1 Aussage der VZ 45 °C

Eingangs wurde die Frage gestellt, ob die VZ 45 °C die Proteolyse, die Zytolyse oder die Amylolyse beschreibt. Wenn die VZ 45 °C mit einer bekannten Kennzahl korreliert, ist zwar die Frage geklärt, welchen Lösungsvorgang sie beschreibt, aber sie würde dem Brauer keine zusätzliche Information liefern. Für den Fall, dass sie mit keiner Kennzahl korreliert, muss überprüft werden, ob sie mit einem Würze- oder Bierqualitätsmerkmal korreliert und somit eine Kennzahl des Malzes darstellt, die die zu erwartende Qualität der Würze oder des Bieres vorhersagt. Wenn sie mit keinem Qualitätsmerkmal der Würze oder des Bieres korreliert, dann hat die VZ 45 °C keine Aussagekraft.

Die Frage, ob die VZ 45 °C eine Kennzahl der Zytolyse ist, kann zweifelsfrei durch die Sorte Annabell beantwortet werden. Sie hat eine relativ niedrige VZ 45 °C, aber verfügt über gute zytolytische Eigenschaften. Dies ist in den jährlichen Untersuchungen zur Sortenzulassung des Bundessortenamtes immer wieder bewiesen worden. [1, 3] So hat Annabell trotz einer niedrigen VZ 45 °C eine überdurchschnittliche Filtrierbarkeit (vgl. Abbildung 65). Folglich ist die VZ 45 °C keine Kennzahl der Zytolyse.

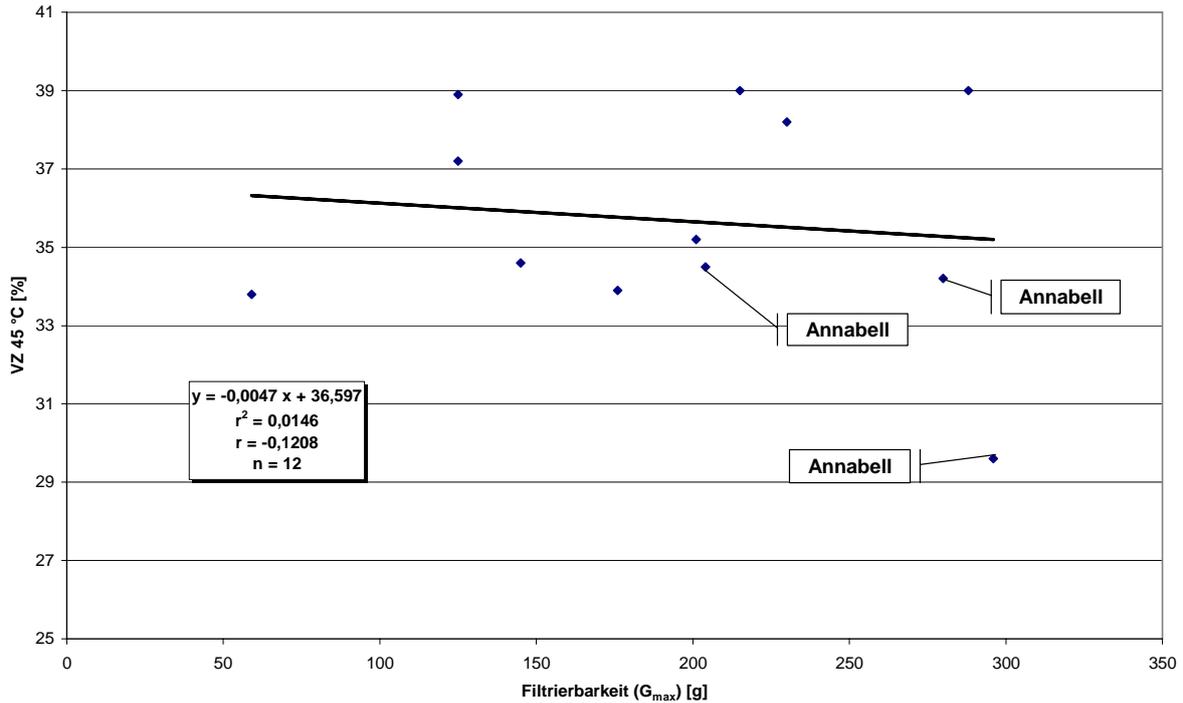


Abbildung 65: VZ 45 °C gegen Filtrierbarkeit aufgetragen

Die VZ 45 °C korreliert mit keiner proteolytischen Kennzahl (FAN der Kongresswürze, löslicher Stickstoff, ELG). Des Weiteren geht aus den Untersuchungen der Brauerstengemeinschaft im Rahmen des Berliner Programms [2] kein Zusammenhang zwischen der VZ 45 °C und den in Tabelle 19 dargestellten Qualitätsmerkmalen der Würze und des Bieres hervor. Um die Frage zu klären, ob die VZ 45 °C eine proteolytische Größe ist, kann der Einfluss des gelösten Eiweißes auf die Berechnung der VZ 45 °C betrachtet werden. Die VZ 45 °C ist das Verhältnis des Extraktes der Probe 2 zum Extrakt der Probe 4 (vgl. Abbildung 5). Wird von den beiden Proben der Eiweißanteil abgezogen, so ergibt sich der eiweißfreie Extrakt. Das daraus gebildete Verhältnis ist die VZ 45 °C eiweißfrei (VZ 45 °C_{PF}). Die VZ 45 °C_{PF} korreliert hochsignifikant (r = 1,00) mit der VZ 45 °C (vgl. Abbildung 44). Das gelöste Eiweiß hat zwar einen Einfluss auf den absoluten Wert der VZ 45 °C, aber ändert nichts am Verhältnis einzelner Proben zu einander.

r	Würzeanalyse			Bieranalyse		
	löslicher Stickstoff	hoch-molekularer Stickstoff	FAN	Schaum (NIBEM)	Filtrierbarkeit (G _{max})	Viskosität
n = 36	[mg/100 ml]	[mg/100 ml]	[mg/100 ml]	[s]	[g]	[mPa × s]
VZ 45 °C	0,08	-0,08	-0,02	0,01	0,23	0,14

Tabelle 19: Korrelationskoeffizienten von der VZ 45 °C und diversen Bier- und Würzequalitätsmerkmalen

Die in der Bierwürze gelösten Bestandteile sind zu 91 % Kohlenhydrate und zu 6 % Eiweiß. Die übrigen 3 % setzen sich aus Mineralien und einer Vielzahl von Stoffen zusammen. Die Kohlenhydrate setzen sich zu 99,5 % aus Stärkeabbauprodukten zusammen. [102] Werden das gelöste Eiweiß und die übrigen Bestandteile vernachlässigt, so beschreibt die VZ 45 °C das Verhältnis Stärkeabbauprodukte der Probe 2 zu Stärkeabbauprodukte der Probe 4. Damit ist die VZ 45 °C eine Kennzahl der Amylolyse.

Als Kennzahl der Amylolyse muss die VZ 45 °C entweder die amylytischen Enzyme, die Produkte der Amylolyse oder das Edukt der Amylolyse beschreiben.

Wie aus Abbildung 48 und Abbildung 45 hervorgeht, haben die amylytischen Enzyme α -Amylase und β -Amylase (Diastatische Kraft) keinen signifikanten Einfluss auf die VZ 45 °C. Als Kennzahlen, die das Produkt der Amylolyse beschreiben, können der EVG sowie der Extrakt herangezogen werden. Beide korrelieren nicht mit der VZ 45 °C (vgl. Abbildung 45 und Abbildung 46). Da die VZ 45 °C weder mit den amylytischen Enzymen noch mit den Produkten der Amylolyse korreliert, muss es einen Zusammenhang mit der Stärke geben.

Unverletzte native Stärke wird nur sehr langsam unterhalb der Verkleisterungstemperatur enzymatisch hydrolysiert [36, 116, 129]. Die Verkleisterungstemperaturen der untersuchten Proben liegen im Bereich von 57,6 bis 65,1 °C und damit deutlich über 45 °C. Die Stärke, die während der 45-°C-Maische gelöst wird, besteht folglich aus Stärkekörnern, die während der Mälzung enzymatisch vorgelöst wurden oder beim Schroten durch Scherkräfte beschädigt wurden.

Wenn angenommen wird, dass die VZ 45 °C den Anteil an enzymatisch angegriffener Stärke im Malz beschreibt, dann stellt sich die Frage, ob dies mit dem Grad der Lösung der Zellwände zusammenhängt. Wird das Modell des Zellwandaufbaus des Endosperms von BAMFORTH [9] betrachtet, so kommt vor der Amylolyse die Zytolyse. Proben, die eine niedrige VZ 45 °C haben, könnten folglich zytolytisch knapp gelöst sein. Wie bereits erwähnt wurde, widerspricht dies den Erfahrungen mit der Sorte Annabell.

Malzmustern mit einer hohen VZ 45 °C liegt eine Gerste zu Grunde, deren Stärke enzymatisch leichter angreifbar ist als bei einer Gerste, aus der ein Malz mit einer niedrigen VZ 45 °C hervorgeht. Eine erleichterte Angreifbarkeit steht nicht im Zusammenhang mit einer höheren amylytischen Aktivität (Abbildung 47 und Abbildung 48), diese deckt sich mit den Erkenntnissen von SLACK and WAINWRIGHT [116].

5.2 Unterschiede in der Amylolyse

Die Untersuchungen des Bundessortenamtes haben gezeigt, dass es sortenbedingte Unterschiede in der Ausprägung der VZ 45 °C gibt [1, 3]. Diese sind genetisch bedingt [97]. Es kommt aber auch innerhalb einer Sorte zu Schwankungen bei der VZ 45 °C. Wie im Abschnitt 5.1 erklärt wird, ist die VZ 45 °C eine Kennzahl der Amylolyse, d. h. sie beschreibt den Stärkeabbau.

Auf Basis der 48 untersuchten Muster (6 Sorten von 8 Standorten) aus der Ernte 2004, existiert ein Zusammenhang zwischen der VKT und der VZ 45 °C (Abbildung 52). Mit einem Korrelationskoeffizienten von $r = -0,84$ ergibt sich ein hochsignifikanter Zusammenhang. Die These, dass die VZ 45 °C eine amylytische Kennzahl ist, wird mit dieser Korrelation bestätigt. Der Zusammenhang zwischen der TTP und der VZ 45 °C ist bei einem Korrelationskoeffizienten von $r = -0,65$ ebenfalls signifikant, genauso wie das gemessene Viskositätsmaximum ($r = -0,60$). Im Moment der maximalen Viskosität liegt ein Gleichgewicht vor, zwischen sich bildender Viskosität durch das Quellen von Stärkekörnern und der Desintegration derselben. Die Desintegration wird durch die hohe amylytische Aktivität im Malz gefördert. So konnte gezeigt werden, dass durch die Zugabe von Malzmehl in Gerstenmehlproben die maximale Viskosität mit höherer amylytischer Aktivität abnahm [37, 84]. In den vorliegenden Untersuchungen konnten aber keine Zusammenhänge zwischen der VZ 45 °C und der α -Amylase- oder β -Amylase-Aktivität gefunden werden (vgl. Abbildung 47 und Abbildung 48). Es klingt plausibler, dass die Unterschiede in der maximalen Viskosität auf Unterschiede in der Menge an intakten Stärkekörnern zurückzuführen sind. Stärkekörner, die während der Mälzung bereits angegriffen wurden, haben nur noch ein geringes Quellungsvermögen. Das Quellen eines Stärkekorns ist auf den kristallinen Anteil, den das Amylopektin einbringt, zurückzuführen. Bedingt dadurch, dass die untersuchten Sorten einen hohen Verwandtschaftsgrad haben, kann davon ausgegangen werden, dass das Verhältnis Amylose zu Amylopektin ähnlich ist, d. h. alle Gersten normale Stärke enthalten.

Im Folgenden werden die mittels DSC gemessenen Eigenschaften der Stärke diskutiert. Dazu sei noch mal auf die Abbildung 7 verwiesen, in der ein DSC Thermogramm dargestellt ist. Die einzelnen Merkmale werden im dazugehörigen Abschnitt erklärt.

Die Menge an kristallinem Amylopektin und die Ordnung innerhalb des kristallinen Bereichs lassen sich mittels DSC bestimmen. Zwischen der ΔH AP vom Malz, die die Menge an kristallinem Amylopektin beschreibt, und der VZ 45 °C besteht ein linearer Zusammenhang.

Das gleiche gilt für die Peak-Temperatur im Malz. In diesem Falle liegt die Irrtumswahrscheinlichkeit aber bei 10 %, so dass in diesem Fall eher von einer Tendenz als von einem Zusammenhang gesprochen werden sollte. Diese beiden Resultate stärken die zuvor aufgestellte These, dass die VZ 45 °C mit der Struktur der Stärke in Zusammenhang steht. Bezogen auf ΔH_{AP} würde die VZ 45 °C die Kristallinität des Malzes beschreiben.

Im Zuge der Mälzung erhöht sich die Peak-Temperatur. Die Erhöhung der Peak-Temperatur wird zum einen auf die Bildung von ALCs sowie auf die höhere Konzentration löslicher Stoffe, die Wasser binden und somit weniger für die Hydratisierung der Stärke zur Verfügung steht, zurückgeführt. [56, 60] Dies kann mit den vorliegenden Daten bestätigt werden (vgl. Abbildung 19). Die ΔH_{AP} nimmt während der Mälzung ab, was auf die amylolytischen Aktivitäten während der Keimung zurückzuführen ist. Die Abnahme der Onset-Temperatur des ALC (vgl. Abbildung 24) bestätigt die zuvor gefundenen Daten. Eine Zunahme der ΔH_{ALC} kann nicht bestätigt werden.

Die Ergebnisse der DSC Analyse bestätigen die These, dass die VZ 45 °C eine amylolytische Kennzahl ist. Malz mit einer hohen VZ 45 °C liegt eine Gerste mit einer enzymatisch leichter angreifbaren Stärke zugrunde. Unterschiede in der enzymatischen Angreifbarkeit werden auch in der Kristallinität der Stärke vermutet [94]. Nach TESTER und MORRISON ist die Peak-Temperatur ein Maß der Kristallinität und somit auch eines der Angreifbarkeit. Wie bereits gezeigt wurde, besteht ein negativer linearer Zusammenhang zwischen der VZ 45 °C und der Peak-Temperatur (vgl. Abbildung 56). Mit zunehmender Perfektion der kristallinen Struktur in der Gerste nimmt die VZ 45 °C ab. Somit ist die VZ 45 °C ein Maß der Perfektion der Kristallinität und damit ein Maß der enzymatischen Angreifbarkeit.

Eingangs wurde erwähnt, dass einzelne Sorten durch niedrige VZ 45 °C auffällig waren. Die derzeit bekannteste Sorte dürfte wohl die Sorte Annabell sein. Auch in dieser Untersuchungsreihe hat sie eine verhältnismäßig niedrige VZ 45 °C. Im Gegensatz dazu steht die Sorte Auriga, die in diesem Merkmal relativ hoch liegt. Diese beiden Sorten unterscheiden sich in einigen der untersuchten Merkmale signifikant. Tabelle 20 gibt eine Auflistung dieser Merkmale inklusive der VZ 45 °C. Die Verkleisterung setzt bei Auriga bei einer niedrigeren Temperatur ein und erreicht früher das Viskositätsmaximum, welches bei Annabell höher ausfällt.

Tabelle 20: Unterschiede zwischen Annabell und Auriga

Merkmal	Annabell	Auriga
VZ 45 °C [%]	37,8	45,0
VKT [°C]	63,4	61,4
Viskositätsmaximum [mPa × s]	1969	1431
TTP [min]	2,93	2,85
Onset-Temperatur AP [°C] (Gerste)	58,4	58,0
ΔH AP [J/g] (Malz)	5,52	4,49
Onset-Temperatur ALC [°C] (Malz)	75,2	74,1

ΔH AP ist im Malz von Annabell signifikant höher als im Malz von Auriga (vgl. Tabelle 12). Folglich hat Annabell einen höheren kristallinen Anteil. Die Perfektion der kristallinen Struktur, d. h. die Peak-Temperatur hingegen unterscheidet sich nicht signifikant, es ist aber tendenziell eine höhere Temperatur, d. h. die Differenzen in der enzymatischen Angreifbarkeit sind hauptsächlich auf Unterschiede in ΔH AP zurückzuführen. Die Standorte unterscheiden sich zum Teil sehr deutlich. Die Malzanalysen von Straßmoos ergaben durchweg eine niedrigere VZ 45 °C als Gudendorf. Nossen liegt in etwa dazwischen. Die Peak-Temperatur dieser drei Standorte verhält sich genau umgekehrt. Die Eigenschaften der Stärke werden durch Umwelteinflüsse stark beeinflusst [131]. Wie bereits erwähnt, führen insbesondere hohe Temperaturen während der Kornfüllungsphase zu erhöhten Verkleisterungstemperaturen, die sich insbesondere in erhöhten Peak-Temperaturen äußern. Es wird bei höheren Temperaturen eine höhere Ordnung im kristallinen Bereich des Korns erreicht [94, 130].

In Abbildung 66 sind die Tagesdurchschnittstemperaturen 200 cm über dem Boden der Standorte Straßmoos, Gudendorf und Nossen dargestellt. Es sind drei Bereiche markiert, in denen die Standorte Straßmoos und Nossen im Schnitt ca. 2–4 °C über der Durchschnittstemperatur von Gudendorf lagen. TESTER et al. [130] haben bereits gezeigt, dass eine Erhöhung der Temperatur der Umgebungsluft um fünf Grad Celsius die Onset- und Peak-Temperatur jeweils um 5–10 Grad erhöhen kann. Die hier vorliegende Standortabhängigkeit in der VZ 45 °C und in der Peak-Temperatur kann auf die klimatischen Bedingungen zurückgeführt werden.

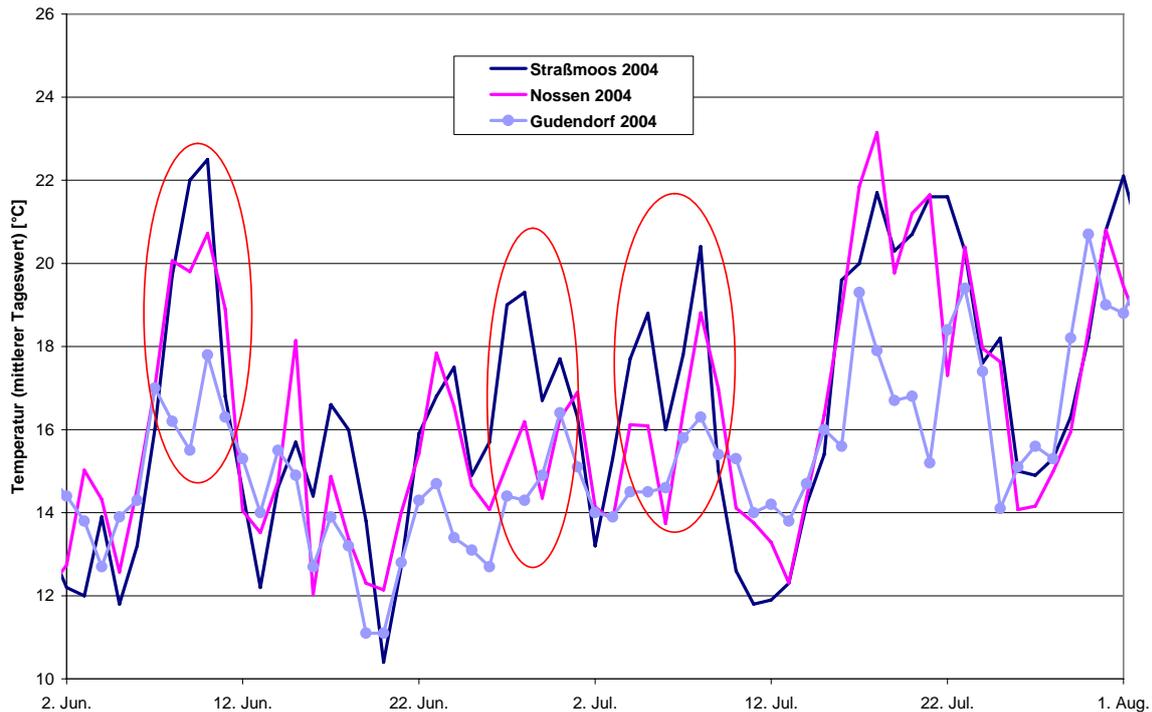


Abbildung 66: Überblick über die Tagesdurchschnittstemperaturen an drei Standorten

Dieser Zusammenhang belegt die Erkenntnisse von SACHER [97, 109]. Er hat in seinen Untersuchungen eine negative Korrelation zwischen der VZ 45 °C und der Temperatur während der Kornfüllungsphase festgestellt.

In normaler Gerstenstärke verändert sich das Verhältnis von Amylose zu Amylopektin nicht wesentlich durch Umwelteinflüsse, der Lipidanteil und somit der ALC Anteil nehmen durch höhere Temperaturen zu. Des Weiteren variiert die Kristallinität der Stärke. Diese drei Merkmale haben einen wesentlichen Einfluss auf die enzymatische Angreifbarkeit der Stärke, für die die VZ 45 °C ein Maß ist. Der Lipidanteil wird in erster Linie durch die Temperatur während der Kornfüllungsphase beeinflusst. Je höhere diese ist, desto mehr Lipide sind in der Stärke. Wenn die niedrigen Temperaturen am Standort Gudendorf für die niedrige Peak-Temperatur verantwortlich sind, dann kann der scheinbar geringe Anteil an ALC ebenfalls dadurch erklärt werden. Eine mögliche Erklärung für höhere Lipidgehalte wäre eine Abwehrreaktion der Pflanze, die durch den Lipidaufbau in der Chalazal Zone ein Rückfließen des Wassers aus dem Korn in die Pflanze verhindert [13]. Dass dies auch den Lipidanteil in der Stärke erhöht, bleibt zu beweisen.

Einen weiteren Einfluss hat die Bodenbeschaffenheit. Wie eingangs erwähnt wurde, führt eine erhöhte Salzkonzentration zu einem besseren Schutz gegen Trockenheit. NICOLAS et al. [98] haben in Ihren Untersuchungen an Weizenstärke festgestellt, dass Trockenheit die Wirkung

von erhöhten Temperaturen verstärkt. Zu diesem Zweck wurden die Mineralien Natrium und Calcium untersucht. Wie in Abbildung 62 zusehen ist, haben sie einen gegensätzlich Einfluss auf die VKT. Aufgrund dessen, dass diese beiden Elemente Antagonisten sind und dies durch die Korrelation (vgl. Abbildung 35) der beiden Elemente deutlich gezeigt wird, kann davon ausgegangen werden, dass die Betrachtung eines Elementes ausreicht. Natrium ist insbesondere am Standort Gudendorf sehr stark in der Gerste vertreten (vgl. Abbildung 33). Am Standort Straßmoos hingegen wurde der geringste Natriumgehalt gemessen. Die VZ-45-°C-Werte im Malz vom Standort Gudendorf sind am höchsten und am Standort Straßmoos sind sie am niedrigsten (vgl. Abbildung 60). Wenn Gerste genauso wie Weizen auf eine erhöhte Salzkonzentration reagiert, dann ist die Folgerung zulässig, dass eine erhöhte Natriumkonzentration durch den Schutz gegen Trockenheit die Wirkungen von erhöhten Temperaturen auf die Stärke ausgleicht und somit Gerste mit viel Natrium eine niedrigere VKT und eine erleichterte enzymatische Angreifbarkeit zur Folge hat.

Die enzymatische Angreifbarkeit steht in einem engen Zusammenhang mit dem Anteil an ALCs. Der Anteil an ALCs korreliert negativ mit dem Natriumgehalt der Gerste (vgl. Abbildung 64). Wie o. g. reagiert die Pflanze auf Trockenheit mit dem verstärkten Einlagern von Lipiden in der Chalazal Zone. Wenn dies zur Folge hat, dass mehr Lipide in der Stärke sind, dann ergibt die Abnahme der ALCs bei steigendem Natriumgehalt einen logischen Zusammenhang. Dies müsste durch weitere Versuche mit einem größeren Probenumfang bestätigt werden.

TESTER [130] folgerte, dass die Umwelteinflüsse unter der die Gerste aufgewachsen ist, zwei wichtige Aspekte für die Brauereitechnologie liefert. Zum einen haben erhöhte Temperaturen einen geringeren Stärkegehalt zur Folge und stellen somit weniger Substrat für die alkoholische Gärung zur Verfügung; zum anderen ist es schwieriger die Stärke enzymatisch zu degradieren, so dass entweder geringere EVGs resultieren oder aufwendigere Verfahren angewendet werden müssen.

5.3 Der Stärkelösung als Selektionskriterium in der Braugerstenzüchtung

Die Möglichkeit aus dem Stärkelösungsgrad Qualitätsdefizite einer Charge zu erklären, ist nur bedingt möglich, da es nur bei sortenreinen Chargen mit Bekanntheit der verwendeten Sorte sinnvoll ist. Gerste mit einer sortenspezifisch hohen VZ 45 °C bzw. mit einer geringen Spanne zum ELG kann nicht zu einem Malz verarbeitet werden, das lediglich ein Defizit in der VZ 45 °C bzw. eine Spanne derselbigen zum ELG hat, ohne dass auch die übrigen Spezifikationen Qualitätsmängel aufweisen.

Ist also eine niedrige VZ 45 °C zwangsläufig ein Qualitätsmangel? Zur Beantwortung dieser Frage werden verschiedene Szenarien betrachtet, die sich in ihrem Stärkelösungsgrad unterscheiden. Je höher der Lösungsgrad, desto höher ist der Anteil an leicht zu hydrolysierender Stärke unterhalb der VKT. Für Biere mit einem gewünscht hohen Vergärungsgrad ist ein hoher Lösungsgrad sicherlich von Vorteil, so lange dieser nicht durch exzessives Mälzen bewirkt wird und somit unweigerlich zu einem höheren Schwand führt.

Die zum Teil gängige Meinung, dass Malze mit einer niedrigen VZ 45 °C schlechten Schaum und Filtrationsschwierigkeiten aufweisen, ist unbegründet. So zeigen die Werte des Berliner Programms an Hand der Sorte Annabell deutlich, dass auch aus Malz mit einer niedrigen VZ 45 °C hervorragende Würzen und Biere gebraut werden können, ohne Probleme bei der Gärung oder bei der Filtration zu verursachen. Dass eine Sorte wie Annabell einen niedrigen Vergärungsgrad verursacht, ist darauf zurück zuführen, dass sie niedrige amylolytische Aktivitäten aufweist [3], die wiederum in keinem Zusammenhang mit der VZ 45 °C stehen. Somit ist die VZ 45 °C keine geeignete Kennzahl zur Beurteilung der Malzqualität.

Malz mit einer niedrigen VZ 45 °C kann einen wesentlichen technologischen Vorteil bieten. Je weniger Stärke unterhalb der VKT zu vergärbaren Zuckern gelöst werden kann, desto mehr Möglichkeiten hat der Brauer durch entsprechende Maischverfahren den EVG zu kontrollieren. Bei enzymstarkem Malz mit einer sehr hohen VZ 45 °C sind häufig nur sehr hohe Einmaischtemperaturen von Nutzen. Diese können zum Teil zu niedrigen Schaumwerten [65] und Filtrationsschwierigkeiten führen. Wie die Sorte Annabell zeigt, erlauben heutige Maischverfahren eine problemlose Verarbeitung auch von Sorten mit einer niedrigen VZ 45 °C.

Damit eine Gerstensorte als Braugerste zugelassen wird, muss sie eine dreijährige Wertprüfung bestehen. Die VZ 45 °C wird dabei als Qualitätskriterium herangezogen. Je höher sie ist, desto besser fällt die Bewertung aus. Aufgrund der oben angeführten Argumente stellt die VZ 45 °C kein geeignetes Selektionskriterium dar. Denn sowohl niedrige als auch hohe VZ-45-°C-Werte haben ihren Vorteil.

5.4 Stärkemerkmale als Qualitätsmerkmale

Werden Gersten- und Malzproben mittels RVA und DSC untersucht, werden mehrere Merkmale der Stärke bestimmt. Dabei stellt sich die Frage, welche der untersuchten Stärkemerkmale hilfreiche Informationen für den Malz- und Bierbereitungsprozess sind. Für den Brauer ist jede Information hilfreich, die es ermöglicht, die Amylyolyse so zu steuern, dass

in einem wirtschaftlich gestaltetem Maischprogramm die Stärke weitestgehend gelöst wird und das Verhältnis von vergärbaren Zuckern zu nicht vergärbaren Dextrinen in einem Verhältnis steht, welches den gewünschte Endvergärungsgrad nach sich zieht. Zu wissen wann, d. h. ab welcher Temperatur im Brauprozess die Stärke angreifbar ist, ist eine solche Information. Damit ist es möglich, die Rasten für die entsprechenden Enzyme einzuhalten. Die VKT ist die Temperatur, ab der die native Stärke angreifbar ist. Die Peak-Temperatur AP soll die enzymatische Angreifbarkeit angeben. Ein Malz mit einer hohen Peak-Temperatur benötigt folglich intensivere Maischverfahren, um die Stärke zu vergärbaren Zuckern abzubauen. Das gleiche müsste für eine hohe Schmelzenthalpie des Amylopektins im Malz gelten, da sie eine Aussage über den kristallinen Anteil der Stärke gibt. Zwischen der Schmelzenthalpie des Amylopektins (ΔH_{AP}) im Malz und dem Peakmaximum der RVA Messung ist eine Korrelation gegeben (vgl. Abbildung 59), so dass diese beiden Merkmale die gleiche Aussage tätigen. Für den Brauprozess würde dies bedeuten, dass niedrige VKT Werte niedrige Temperaturen im Bereich der Rasten der amylolytischen Enzyme erlauben und niedrige Peakmaxima kurze Rasten zulassen. Ein entsprechender Versuchsaufbau zur Entwicklung von Modellen, der die Zeit und die Temperatur der Rasten berücksichtigen, könnte die Erkenntnisse und die Erfahrung mit dem Einsatz des RVA erweitern.

Der Nachweis von ALC ist mit dem RVA nicht möglich. Diese Arbeit zeigt deutlich, dass sich die ALCs in der Gerste während der Mälzung insofern verändern, als die Onset- und Peak-Temperatur deutlich erniedrigt wird. Die Bedeutung der ALCs für den Brauprozess ist nicht eindeutig geklärt. Aus der Stärkeindustrie ist bekannt, dass diese Komplexe Trübungen verursachen [23]. Aus den vorliegenden Untersuchungen wird ein eindeutiger Zusammenhang zwischen dem Natriumgehalt und der Schmelzenthalpie des ALCs deutlich. Da der Natriumgehalt stark standortabhängig ist, kann je nach dem ob er von Vorteil oder Nachteil ist, gezielt darauf reagiert werden.

Der aus den Untersuchungen hervorgehende Zusammenhang zwischen der Temperatur während der Kornfüllungsphase und der enzymatischen Angreifbarkeit der Stärke, deckt sich mit den bereits publizierten Erkenntnissen. Der Einsatz von Sorten, die grundsätzlich eine enzymatisch schwer angreifbare Stärke haben, an Standorten mit durchschnittlich höheren Temperaturen anzubauen, scheint von daher weniger sinnvoll zu sein, wenn eine leichte Angreifbarkeit der Stärke erwünscht ist. Eine Klassifizierung der bekannten Sorten im Hinblick auf ihre Stärkestruktur wäre folglich hilfreich.

6 Zusammenfassung

Die Verhältniszahl 45 °C (VZ 45 °C) wird als Selektionskriterium in der Braugerstenzüchtung und zur Beurteilung der Malzqualität verwendet. Bisher galt sie als Universalkennzahl der enzymatischen Kraft des Malzes oder als Kennzahl der Proteolyse. In der vorliegenden Arbeit konnten Zusammenhänge zwischen der VZ 45 °C und den Malzspezifikationen der Proteolyse (z. B. FAN und ELG) nicht festgestellt werden. Ebenfalls wurden auch keine Korrelationen zwischen den Würze- oder Bierqualitätsmerkmalen gefunden, die auf die Proteolyse zurückzuführen sind. Die Meinung, dass eine niedrige VZ 45 °C eine unzureichende Hefeernährung zur Folge hat und somit zu schleppenden Gärungen führt, kann nicht bestätigt werden.

Am Beispiel der Sorte Annabell, die nachweislich eine niedrige VZ 45 °C hat, wurde dargestellt, dass es keinen Zusammenhang zur Zytolyse gibt.

Die Versuche haben gezeigt, dass mit der VZ 45 °C die Löslichkeit an α -Glucanen aus Stärke beschrieben wird. Sie ergibt sich aus der amylolytischen Wirkung auf die Stärkekörner während der Mälzung. Folglich ist die VZ 45 °C eine Kennzahl des Lösungsgrades der Stärke. Es konnten eindeutige Sorten- sowie Standortabhängigkeiten für diese Kennzahl ermittelt werden.

Da eine Korrelation zwischen der VZ 45 °C und den amylolytischen Enzymen nicht existiert, wurde eine Betrachtung der Verkleisterungseigenschaften der Malzstärke mittels Rotationsviskosimeter (RVA) durchgeführt. Auf der Basis von 48 Mustern (6 Sorten von 8 Standorten) konnte ein signifikanter negativ linearer Zusammenhang zwischen der Verkleisterungstemperatur und der VZ 45 °C gezeigt werden, der eine deutliche Sorten- und Standortabhängigkeit aufwies.

Die Untersuchung der Stärke der Gerste und des dazugehörigen Malzes wurde weiter mittels Differential-Abtast-Kalorimetrie (DSC) durchgeführt. Hierbei ergaben sich ebenfalls signifikante Sorten- und Standortabhängigkeiten. Die durch die Amylyolyse bewirkte Modifikation der Stärke während der Mälzung konnte durch den Vergleich der DSC Thermogramme dargestellt werden. So nimmt die Schmelzenthalpie des Amylopektins (ΔH AP) ab und die Peak-Temperatur (ein Maß der Kristallinität der Stärke) nimmt zu. Mit der DSC Analytik kann die Stärkewandlung während des Mälzungsprozesses erfasst werden.

Die standortbedingten Unterschiede in den Stärkeeigenschaften konnten auf Umwelteinflüsse und den Mineralstoffgehalt der Gerste zurückgeführt werden. Anhand von drei Standorten konnte gezeigt werden, dass hohe Temperaturen während der Kornfüllungsphase der Gerste mit einer niedrigen VZ 45 °C einhergehen. Wie aus der Literatur hervorgeht, wird dies auf ein höheres Maß der Perfektion der kristallinen Struktur der Stärke zurückgeführt, welche durch die Peak-Temperatur der DSC Analyse charakterisiert werden kann. Der sich daraus ergebende Zusammenhang zwischen der VZ 45 °C und der Peak-Temperatur der Gerstenstärke konnte in der vorliegenden Arbeit bewiesen werden. Als ein weiterer Einflussfaktor des Standortes konnte der Natriumgehalt der Gerstenkörner ermittelt werden. Standorte mit hohen Gehalten wiesen eine signifikant höhere enzymatische Angreifbarkeit der Stärke auf.

Ferner wurde mit einer höheren Temperatur während des Aufwuchs auch eine Zunahme der Schmelzenthalpie des Amylose-Lipid-Komplexes (ΔH ALC) festgestellt. Die genauen Zusammenhänge sind diesbezüglich noch nicht vollständig aufgeklärt. Auch bedarf der Einfluss des ALC auf die Qualität des Bieres weiterer Erforschung.

Auf Grund dessen, dass heutige Maischverfahren im Bereich der Verkleisterungstemperatur (57,6 bis 65,1 °C) durchgeführt werden, haben niedrige VZ-45-°C-Werte keinen technologischen Nachteil. Häufig ist sogar das Gegenteil der Fall. Malze aus neu gezüchteten Gerstensorten weisen oftmals sehr hohe amylolytische Aktivitäten auf, die zu hohen Vergärungsgraden führen können. Ein geringerer Anteil an enzymatisch hydrolysierbarer Stärke unterhalb der Verkleisterungstemperatur kann zu niedrigeren Vergärungsgraden führen.

Die Bestimmung der Verkleisterungstemperaturen des Malzes bieten dem Brauer die Möglichkeit, einen stärkeren Einfluss auf die Bildung von Maltose während des Maischprozesses zu nehmen. Somit stellt die Verkleisterungstemperatur ein geeigneteres Qualitätsmerkmal dar als die VZ 45 °C.

7 Literatur

- 1 Arbeitsgemeinschaft zur Förderung des Qualitätsgerstenanbaues im Bundesgebiet e. V. (Hrsg.): *Braugersten Jahrbuch*. 38. Ausgabe. Eichenau, 2000
- 2 Arbeitsgemeinschaft zur Förderung des Qualitätsgerstenanbaues im Bundesgebiet e. V. (Hrsg.): *Braugersten Jahrbuch*. 40. Ausgabe. Eichenau, 2002
- 3 Arbeitsgemeinschaft zur Förderung des Qualitätsgerstenanbaues im Bundesgebiet e. V. (Hrsg.): *Braugersten Jahrbuch*. 41. Ausgabe. Eichenau, 2003
- 4 Araus, J. L.: Physiological Basis of the Processes Determining Barley Yield Under Potential and Stress Conditions: Current Research Trends on Carbon Assimilation. In: Slafer, G. A.; Molina-Cano, J. L.; Savin, R.; Araus, J. L.; Romagosa, I.: *Barley Science*. New York: Food Products Press, 2002, S. 296–306
- 5 Atwell, W. A.; Hood, L. F.; Lineback, D. R.; Varriammarston, E.; Zobel, H. F.: The Terminology and Methodology Associated with Basic Starch Phenomena. In: *Cereal Foods World* 33 (1988), Nr. 3, S. 306–311
- 6 Back, W.: *Ausgewählte Kapitel der Brauereitechnologie*. Nürnberg: Fachverlag Hans Carl, 2005
- 7 Baldwin, P. M.: Starch granule-associated proteins and polypeptides: A review. In: *Starch-Starke* 53 (2001), Nr. 10, S. 475–503
- 8 Bamforth, C. W.; Barclay, A. H. P.: Malting Technology and the Uses of Malt. In: MacGregor, A. W.; Bhatt, R. S.: *Barley: Chemistry and Technology*. St. Paul: American Association of Cereal Chemists, 1993, S. 297–354
- 9 Bamforth, C. W.; Kanauchi, M.: A Simple Model for the Cell Wall of the Starchy Endosperm in Barley. In: *Journal of the Institute of Brewing* 107 (2001), Nr. 4, S. 235–240
- 10 Banks, W.; Greenwood, C. T.: Physicochemical Studies on Starches. 62. Conformation of Amylose in Dilute Solution. In: *Stärke* 23 (1971), Nr. 9, S. 300–314
- 11 Banks, W.; Greenwood, C. T.; Walker, J. T.: Studies on Starches of High-Amylose Content. 13. Studies on Starches of Barley Genotypes - A Comparison of the Starches from Normal and High-Amylose Barley. In: *Stärke* 23 (1971), Nr. 1, S. 12–15
- 12 Banks, W.; Greenwood, C. T.; Walker, J. T.: Studies on Starches of High-Amylose Content. 13. Studies on Starches of Barley Genotypes - A Comparison of the Starches from Normal and High-Amylose Barley. In: *Stärke* 23 (1971), Nr. 1, S. 12–15
- 13 Barlow, E. W. R.; Lee, J. W.; Munns, R.; Smart, M. G.: Water Relations of the Developing Wheat-Grain. In: *Australian Journal of Plant Physiology* 7 (1980), Nr. 5, S. 519–525
- 14 Bathgate, G. N.; Palmer, G. H.: Reassessment of Chemical Structure of Barley and Wheat Starch Granules. In: *Stärke* 24 (1972), Nr. 10, S. 336–341
- 15 Bellmer, H. G.: The Importance of Barley and Malt, Used in the Production of Beer, according to the "German Law of Purity in the Production of Beer" (German Reinheitsgebot). In: European Brewery Convention: *E. B. C. Barley and Malting Symposium*. Zeist, 1975, S. 41–55

-
- 16 Bertoft, E.: On the Nature of Categories of Chains in Amylopectin and their Connection to the Super Helix Model. In: *Carbohydrate Polymers* 57 (2004), Nr. 2, S. 211–224
 - 17 Bertoft, E.; Andtfolk, C.; Kulp, S.-E.: Effect of pH, Temperature, and Calcium Ions on Barley Malt α -Amylase Isoenzymes. In: *Journal of the Institute of Brewing* 90 (1984), Nr. S. 298–302
 - 18 Bertoft, E.; Henriksnas, H.: Initial-Stages in Alpha-Amylolysis of Barley Starch. In: *Journal of the Institute of Brewing* 88 (1982), Nr. 4, S. 261–265
 - 19 Bertoft, E.; Kulp, S. E.: A Gel-Filtration Study on the Action of Barley Alpha-Amylase Isoenzymes on Granular Starch. In: *Journal of the Institute of Brewing* 92 (1986), Nr. 1, S. 69–72
 - 20 Bogracheva, T. Y.; Morris, V. J.; Ring, S. G.; Hedley, C. L.: The granular structure of C-type pea starch and its role in gelatinization. In: *Biopolymers* 45 (1998), Nr. 4, S. 323–332
 - 21 Buleon, A.; Colonna, P.; Planchot, V.; Ball, S.: Starch granules: structure and biosynthesis. In: *International Journal of Biological Macromolecules* 23 (1998), Nr. 2, S. 85–112
 - 22 Bush, D. S.; Sticher, L.; van Huystee, R.; Wagner, D.; Jones, R. L.: The Calcium Requirement for Stability and Enzymatic Activity of Two Isoforms of Barley Aleurone α -Amylase. In: *The Journal of Biological Chemistry* 264 (1989), Nr. 32, S. 19392–19398
 - 23 Craig, S. A. S.; Maningat, C. C.; Seib, P. A.; Hosoney, R. C.: Starch Paste Clarity. In: *Cereal Chemistry* 66 (1989), Nr. 3, S. 173–182
 - 24 Drummond, G. S.; Smith, E. E.; Whelan, W. J.: On the Specificity of Starch Debranching Enzymes. In: *FEBS Letters* 9 (1970), Nr. 3, S. 136–140
 - 25 Duffus, C. M.; Rosie, R.: Changes in Major Element Composition of Developing Barley-Grain. In: *Journal of Agricultural Science* 86 (1976), Nr. 4, S. 627–632
 - 26 Dunn, G.; Hardie, D. G.; Manners, D. J.: Observations on Action of Limit Dextrinases on Amylopectin-Like Polysaccharides. In: *Biochemical Journal* 133 (1973), Nr. 2, S. 413–416
 - 27 Eerde, P. v.: *Analytica-EBC*. Nürnberg: Fachverlag Hans Carl, 1998
 - 28 Eglinton, J. K.; Langridge, P.; Evans, D. E.: Thermostability Variation in Alleles of Barley Beta-Amylase. In: *Journal of Cereal Science* 28 (1998), Nr. 3, S. 301–309
 - 29 Erdal, K.; Jensen, M. O.; Kristensen, M.; Krogh, J. J.; Riis, P.; Vaag, P.: Total beta-Amylase in barley used as screening criterion for combined amyolytic activity in malt. In: *EBC: Proceedings of the 24th Congress*. Oxford: IRL Press, 1993, S. 147–154
 - 30 Fannon, J. E.; Hauber, R. J.; Bemiller, J. N.: Surface Pores of Starch Granules. In: *Cereal Chemistry* 69 (1992), Nr. 3, S. 284–288
 - 31 Frandsen, T. P.; Lok, F.; Mirgorodskaya, E.; Roepstorff, P.; Svensson, B.: Purification, Enzymatic Characterization, and Nucleotide Sequence of a High-Isoelectric-Point α -Glucosidase from Barley Malt. In: *Plant Physiology* 123 (2000), Nr. 1, S. 275–286
-

-
- 32 Frandsen, T. P.; Svensson, B.: Plant α -glucosidases of the glycoside hydrolase family 31. Molecular properties, substrate specificity, reaction mechanism, and comparison with family members of different origin. In: *Plant Molecular Biology* 37 (1998), Nr. 1, S. 1–13
- 33 Fredriksson, H.; Silverio, J.; Andersson, R.; Eliasson, A. C.; Aman, P.: The influence of amylose and amylopectin characteristics on gelatinization and retrogradation properties of different starches. In: *Carbohydrate Polymers* 35 (1998), Nr. 3-4, S. 119–134
- 34 French, D.: Organization of Starch Granules. In: Whistler, R. L.; BeMiller, J. N.; Paschall, E. F.: *Starch: Chemistry and Technology*. London: Academic Press, 1984, S. 184–247
- 35 Gallant, D. J.; Bouchet, B.; Baldwin, P. M.: Microscopy of starch: Evidence of a new level of granule organization. In: *Carbohydrate Polymers* 32 (1997), Nr. 3–4, S. 177–191
- 36 Gibson, T. S.; Alqalla, H.; McCleary, B. V.: An Improved Enzymatic Method for the Measurement of Starch Damage in Wheat-Flour. In: *Journal of Cereal Science* 15 (1992), Nr. 1, S. 15–27
- 37 Goode, D. L.; Rapp, L.; Schober, T. J.; Ulmer, H. M.; Arendt, E. K.: Development of a New Rheological Laboratory Method for Mash Systems—Its Application in the Characterization of Grain Modification Levels. In: *Journal of the American Society of Brewing Chemists* 63 (2005), Nr. 2, S. 76–86
- 38 Greenwood, C. T.; Thomson, J.: A comparison of the starches from barley and malted barley. In: *Journal of the Institute of Brewing* 65 (1959), Nr. S. 346–353
- 39 European Brewery Convention (Hrsg.): *Report of the Barley Committee*. 28. Volumen. Zoeterwoude, 1978
- 40 European Brewery Convention (Hrsg.): *Report of the Barley Committee*. 29. Volumen. Zoeterwoude, 1979
- 41 Hampe, T.; Marschner, H.: Effect of Sodium on Morphology, Water Relations and Net Photosynthesis of Sugar-Beet Leaves. In: *Zeitschrift für Pflanzenphysiologie* 108 (1982), Nr. 2, S. 151–162
- 42 Haranishimura, I.; Nishimura, M.; Daussant, J.: Conversion of Free Beta-Amylase to Bound Beta-Amylase on Starch Granules in the Barley Endosperm during Desiccation Phase of Seed Development. In: *Protoplasma* 134 (1986), Nr. 2–3, S. 149–153
- 43 Hartong, B. D.: Der Lösungsgrad des Malzes. In: *Wochenschrift für Brauerei* 53 (1936), Nr. 11, S. 81–83
- 44 Hartong, B. D.: Der Lösungsgrad des Malzes III. In: *Wochenschrift für Brauerei* 55 (1938), Nr. 1, S. 5–8
- 45 Hartong, B. D.: Die Brauqualität des Malzes, ihre Bestimmung und ihre Bedeutung für die Bierbereitung. In: *Wochenschrift für Brauerei* 55 (1938), Nr. 49, S. 385–389
- 46 Hartong, B. D.: Zusammenhänge zwischen Mälzungsbedingungen und Malzgröße. In: *Wochenschrift für Brauerei* 56 (1939), Nr. 44, S. 317–320
- 47 Hartong, B. D.; Kretschmer, K. F.: Ein Beitrag zur analytischen Ermittlung des Malzbrauwertes. In: *Monatsschrift Für Brauerei (Wissenschaftliche Beilage)* 6 (1953), Nr. 10, S. 109–117
-

-
- 48 Herrmann, J.: *Entwicklung von Messmethoden zur Untersuchung der rheologischen Eigenschaften der Maische*. Freising, Technische Universität München, Lehrstuhl für Maschinen- und Apparatekunde, Dissertation, 2002
- 49 Hobson, P. N.; Whelan, W. J.; Peat, S.: The Enzymic Synthesis and Degradation of Starch. 14. R-Enzyme. In: *Journal of the Chemical Society* (1951), Nr. Jun, S. 1451–1459
- 50 Hopulele, T.; Piendl, A.: Effect of Baley Variety, Environment, and Malting Technology on the Mineral Substances of Malt. In: *Proceedings of the American Society of Brewing Chemists*. S. 75–83
- 51 Hu, Y.; Schmidhalter, U.: Limitation of Stalt Stress to Plant Growth. In: Hock, B.; Elstner, E. F.: *Plant Toxicology*. New York: Marcel Dekker, 2004, S. 191–224
- 52 Hu, Y. C.; Schmidhalter, U.: Drought and salinity: A comparison of their effects on mineral nutrition of plants. In: *Journal of Plant Nutrition and Soil Science-Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde* 168 (2005), Nr. 4, S. 541–549
- 53 ICC: *ICC-Standards*. Wien: Internationale Gesellschaft für Getreidewissenschaft, 2004
- 54 Im, H.; Henson, C. A.: Characterization of high pI α -glucosidase from germinated barley seeds: substrate specificity, subsite affinities and active-site residues. In: *Carbohydrate Research* 277 (1995), Nr. 1, S. 145–159
- 55 Isla, R.; Aragues, R.; Royo, A.: Validity of various physiological traits as screening criteria for salt tolerance in barley. In: *Field Crops Research* 58 (1998), Nr. 2, S. 97–107
- 56 Izydorczyk, M. S.; MacGregor, A. W.; Billiaderis, C. G.: Effects of malting on phase transition behaviour of starch in barley cultivars with varying amylose content. In: *Journal of the Institute of Brewing* 107 (2001), Nr. 2, S. 119–128
- 57 Jacobs, H.; Delcour, J. A.: Hydrothermal modifications of granular starch, with retention of the granular structure: A review. In: *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 46 (1998), Nr. 8, S. 2895–2905
- 58 Kalichevsky, M. T.; Orford, P. D.; Ring, S. G.: The Retrogradation and Gelation of Amylopectins from Various Botanical Sources. In: *Carbohydrate Research* 198 (1990), Nr. 1, S. 49–55
- 59 Kang, M. Y.; Sugimoto, Y.; Kato, I.; Sakamoto, S.; Fuwa, H.: Some Properties of Large and Small Starch Granules of Barley (*Hordeum-Vulgare-L*) Endosperm. In: *Agricultural and Biological Chemistry* 49 (1985), Nr. 5, S. 1291–1297
- 60 Kaukovirta-Norja, A. R.; Kotiranta, P. K.; Aurola, A. M.; Reinikainen, P. O.; Olkku, J. E.; Laakso, S. V.: Influence of Water Processing on the Composition, Behavior, and Oxidizability of Barley and Malt Lipids. In: *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 46 (1998), Nr. 4, S. 1556–1562
- 61 Kiseleva, V. I.; Tester, R. F.; Wasserman, L. A.; Krivandin, A. V.; Popov, A. A.; Yuryev, V. P.: Influence of growth temperature on the structure and thermodynamic parameters of barley starches. In: *Carbohydrate Polymers* 51 (2003), Nr. 4, S. 407–415
- 62 Kjølberg, O.; Manners, D. J.: Studies on Carbohydrate-Metabolizing Enzymes. 9. Action of Isoamylase on Amylose. In: *Biochemical Journal* 86 (1963), Nr. 2, S. 258–262
-

-
- 63 Kolbach, P.: Die Beurteilung von Darmmalz. In: *Wochenschrift für Brauerei* 55 (1938), Nr. 1, S. 1–5
- 64 Kossmann, J.; Lloyd, J.: Understanding and Influencing Starch Biochemistry. In: *Critical Reviews in Plant Sciences* 19 (2000), Nr. 3, S. 171–226
- 65 Krauß, G.; Zürcher, C.; Holstein, H.: Die schaumzerstörende Wirkung einiger Malzlipide und ihr Schicksal im Verlaufe des Mälzungs- und Brauprozesses. In: *Monatsschrift Für Brauerei* 25 (1972), Nr. 5, S. 113–123
- 66 Kretschmer, K. F.: Über die Güteeigenschaften von Braumalzen. In: *Brauwelt* 107 (1967), Nr. 48/49, S. 929–935
- 67 Larsson, K.: Inhibition of Starch Gelatinization by Amylose-Lipid Complex-Formation. In: *Starch/Stärke* 32 (1980), Nr. 4, S. 125–126
- 68 Leberle, H.: Die Bierbrauerei- *Die Technologie der Malzbereitung*. 2. Auflage Stuttgart: Verlag von Ferdinand Enke, 1930
- 69 Li, J. H.; Vasanthan, T.; Hoover, R.; Rossnagel, B. G.: Starch from hull-less barley: V. In-vitro susceptibility of waxy, normal, and high-amylose starches towards hydrolysis by alpha-amylases and amyloglucosidase. In: *Food Chemistry* 84 (2004), Nr. 4, S. 621–632
- 70 Li, J. H.; Vasanthan, T.; Rossnagel, B.; Hoover, R.: Starch from hull-less barley: I. Granule morphology, composition and amylopectin structure. In: *Food Chemistry* 74 (2001), Nr. 4, S. 395–405
- 71 Lie, S.; Rasch, S.: Proline in Wort in Relation to Analytical Data of the Used Malt. In: European Brewery Convention (Hrsg.): *European Brewery Convention Congress*. Interlaken, 1969, S. 193–203
- 72 Lindeboom, N.; Chang, P. R.; Tyler, R. T.: Analytical, Biochemical and Physicochemical Aspects of Starch Granule Size, with Emphasis on Small Granule Starches: A Review. In: *Starch/Stärke* 56 (2004), Nr. 3–4, S. 89–99
- 73 Liu, H.; Lelievre, J.; Ayoungchee, W.: A Study of Starch Gelatinization Using Differential Scanning Calorimetry, X-Ray, and Birefringence Measurements. In: *Carbohydrate Research* 210 (1991), Nr. S. 79–87
- 74 MacGregor, A. W.; Ballance, D. L.: Hydrolysis of Large and Small Starch Granules from Normal and Waxy Barley Cultivars by Alpha-Amylases from Barley Malt. In: *Cereal Chemistry* 57 (1980), Nr. 6, S. 397–402
- 75 MacGregor, A. W.; Bazin, S. L.; Izydorczyk, M. S.: Gelatinisation Characteristics and Enzyme Susceptibility of Different types of Barley Starch in the Temperature Range 48–72 °C. In: *Journal of the Institute of Brewing* 108 (2002), Nr. 1, S. 43–47
- 76 MacGregor, A. W.; Bazin, S. L.; Macri, L. J.; Babb, J. C.: Modelling the Contribution of Alpha-Amylase, Beta-Amylase and Limit Dextrinase to Starch Degradation During Mashing. In: *Journal of Cereal Science* 29 (1999), Nr. 2, S. 161–169
- 77 MacGregor, A. W.; Fincher, G. B.: Carbohydrates of the Barley Grain. In: MacGregor, A. W.; Bhatti, R. S.: *Barley: Chemistry and Technology*. St. Paul: American Association of Cereal Chemists, 1993, S. 73–130
- 78 MacWilliam, I. C.; Harris, G.: The Separation of Limit Dextrinase from R-Enzyme and Aspects of the Activities of the Separated Enzymes. In: *Archives of Biochemistry and Biophysics* 84 (1959), Nr. 2, S. 442–454
-

-
- 79 Manners, D. J.: Debranching Enzymes in Plant Tissues. In: *Biochemical Society Transactions* 3 (1975), Nr. 1, S. 49–53
- 80 Manners, D. J.: Recent Developments in Our Understanding of Amylopectin Structure. In: *Carbohydrate Polymers* 11 (1989), Nr. 2, S. 87–112
- 81 Manners, D. J.; Marshall, J. J.; Yellowlees, D.: Specificity of Cereal Limit Dextrinases. In: *Biochemical Journal* 116 (1970), Nr. 3, S. 539–541
- 82 Manners, D. J.; Sparra, K. L.: Studies on Carbohydrate-Metabolizing Enzymes. Part XIV. The Specificity of R-Enzyme from Malted Barley. In: *Journal of the Institute of Brewing* 72 (1966), Nr. 4, S. 360–365
- 83 Martin, C.; Smith, A. M.: Starch Biosynthesis. In: *Plant Cell* 7 (1995), Nr. 7, S. 971–985
- 84 Matysiak, J. H.: *Untersuchungen zur Stärkeverkleisterung und α -Amylase-Aktivität im Gerstenmalz*. Freising, Technische Universität München, Lehrstuhl für Technologie der Brauerei I, Diplomarbeit, 2005
- 85 McCleary, B. V.; Codd, R.: Measurement of Beta-Amylase in Cereal Flours and Commercial Enzyme Preparations. In: *Journal of Cereal Science* 9 (1989), Nr. 1, S. 17–33
- 86 Mengel, K.: *Ernährung und Stoffwechsel der Pflanze*. Jena: Gustav Fischer Verlag, 1991
- 87 Mengel, K.; Kirkby, E. A.: *Principles of Plant Nutrition*. 1. Auflage Dordrecht: Luwer Academic Publishers, 2001
- 88 Morrison, W. R.: Barley Lipids. In: MacGregor, A. W.; Bhatt, R. S.: *Barley: Chemistry and Technology*. St. Paul: American Association of Cereal Chemists, 1993, S. 199–246
- 89 Morrison, W. R.; Scott, D. C.; Karkalas, J.: Variation in the Composition and Physical-Properties of Barley Starches. In: *Starch-Starke* 38 (1986), Nr. 11, S. 374–379
- 90 Morrison, W. R.; Tester, R. F.; Snape, C. E.; Law, R.; Gidley, M. J.: Swelling and Gelatinization of Cereal Starches. IV. Some Effects of Lipid-Complexed Amylose and Free Amylose in Waxy and Normal Barley Starches. In: *Cereal Chemistry* 70 (1993), Nr. 4, S. 385–391
- 91 Muller, R.: The Effects of Mashing Temperature and Mash Thickness on Wort Carbohydrate-Composition. In: *Journal of the Institute of Brewing* 97 (1991), Nr. 2, S. 85–92
- 92 Muralikrishna, G.; Nirmala, M.: Cereal alpha-amylases - an overview. In: *Carbohydrate Polymers* 60 (2005), Nr. 2, S. 163–173
- 93 Myllärinen, P.; Autio, K.; Schulman, A. H.; Poutanen, K.: Heat-induced structural changes of small and large barley starch granules. In: *Journal of the Institute of Brewing* 104 (1998), Nr. 6, S. 343–349
- 94 Myllärinen, P.; Schulman, A. H.; Salovaara, H.; Poutanen, K.: The effect of growth temperature on gelatinization properties of barley starch. In: *Acta Agriculturae Scandinavica Section B-Soil and Plant Science* 48 (1998), Nr. 2, S. 85–90
- 95 Nakamura, Y.; Umemoto, T.; Takahata, Y.; Komae, K.; Amano, E.; Satoh, H.: Changes in structure of starch and enzyme activities affected by sugary mutations in
-

- developing rice endosperm. Possible role of starch debranching enzyme (R-enzyme) in amylopectin biosynthesis. In: *Physiologia Plantarum* 97 (1996), Nr. 3, S. 491–498
- 96 Narziss, L.: Die Bierbrauerei- *Die Technologie der Würzebereitung*. 7. Auflage Stuttgart: Ferdinand Enke Verlag, 1992
- 97 Narziss, L.: Die Bierbrauerei- *Die Technologie der Malzbereitung*. 7. Aufl. Stuttgart: Ferdinand Enke Verlag, 1999
- 98 Nicolas, M. E.; Gleadow, R. M.; Dalling, M. J.: Effects of Drought and High-Temperature on Grain-Growth in Wheat. In: *Australian Journal of Plant Physiology* 11 (1984), Nr. 6, S. 553–566
- 99 Noda, T.; Takigawa, S.; Matsuura-Endo, C.; Kim, S. J.; Hashimoto, N.; Yamauchi, H.; Hanashiro, I.; Takeda, Y.: Physicochemical properties and amylopectin structures of large, small, and extremely small potato starch granules. In: *Carbohydrate Polymers* 60 (2005), Nr. 2, S. 245–251
- 100 Oostergetel, G. T.; Vanbruggen, E. F. J.: The Crystalline Domains in Potato Starch Granules are Arranged in a Helical Fashion. In: *Carbohydrate Polymers* 21 (1993), Nr. 1, S. 7–12
- 101 Palmer, G. H.: Morphology of Starch Granules in Cereal Grains and Malts. In: *Journal of the Institute of Brewing* 78 (1972), Nr. 4, S. 326–332
- 102 Palmer, G. H.: Cereals in Malting and Brewing. In: Palmer, G. H.: *Cereal Science and Technology*. Aberdeen: Aberdeen University Press, 1989, S. 61–242
- 103 Pessaraki, M. M.; Morgan, P. V.; Gilbert, J. J.: Dry-matter yield, protein synthesis, starch, and fiber content of barley and wheat plants under two irrigation regimes. In: *Journal of Plant Nutrition* 28 (2005), Nr. 7, S. 1227–1241
- 104 Pfenniger, H.: *Brautechnische Analysenmethoden I*. 3. Auflage Freising: Selbstverlag der Mitteleuropäische Brautechnische Analysenkommission, 1997
- 105 Piratzky, W.: Ein Vorschlag zur Malzuntersuchung. In: *Brauwelt* 99 (1959), Nr. S. 702–704
- 106 Qian, J. Y.; Kuhn, M.: Evaluation on Gelatinization of Buckwheat Starch: a Comparative Study of Brabender Viscoamylography, Rapid Visco-Analysis, and Differential Scanning Calorimetry. In: *European Food Research and Technology* 209 (1999), Nr. 3–4, S. 277–280
- 107 Rahman, S.; Kosarhashemi, B.; Samuel, M. S.; Hill, A.; Abbott, D. C.; Skerritt, J. H.; Preiss, J.; Appels, R.; Morell, M. K.: The Major Proteins of Wheat Endosperm Starch Granules. In: *Australian Journal of Plant Physiology* 22 (1995), Nr. 5, S. 793–803
- 108 Rundle, R. E.: The Configuration of Starch in the Starch-Iodine Complex. 5. Fourier Projections from X-Ray Diagrams. In: *Journal of the American Chemical Society* 69 (1947), Nr. 7, S. 1769–1772
- 109 Sacher, B.: Agronomie. In: *1. Rohstoffseminar*. Freising, 2003, S.
- 110 Santos, M. M. M.; Riis, P.: Optimized McCleary method for measurement of total beta-amylase in barley and its applicability. In: *Journal of the Institute of Brewing* 102 (1996), Nr. 4, S. 271–275
- 111 Savin, R.; Molina-Cano, J. L.: Changes in Malting Quality and Its Determinations in Response to Abiotic Stresses. In: Slafer, G. A.; Molina-Cano, J. L.; Savin, R.; Araus,

- J. L.; Romagosa, I.: *Barley Science*. New York: Food Products Press, 2002, S. 523–550
- 112 Savin, R.; Nicolas, M. E.: Effects of short periods of drought and high temperature on grain growth and starch accumulation of two malting barley cultivars. In: *Australian Journal of Plant Physiology* 23 (1996), Nr. 2, S. 201–210
- 113 Savin, R.; Stone, P. J.; Nicolas, M. E.; Wardlaw, I. F.: Grain growth and malting quality of barley. 1. Effects of heat stress and moderately high temperature. In: *Australian Journal of Agricultural Research* 48 (1997), Nr. 5, S. 615–624
- 114 Scriban, R.: Neue Beobachtungen über die Hartongzahl und ihre Anwendung beim Brauen und Mälzen. In: *Brauwissenschaft* 16 (1963), Nr. 1, S. 4–11
- 115 Sharpe, F. R.: *Methods of Analysis*. London: The Institute of Brewing, 1997
- 116 Slack, P. T.; Wainwright, T.: Amylolysis of Large Starch Granules from Barleys in Relation to their Gelatinisation Temperatures. In: *Journal of the Institute of Brewing* 86 (1980), Nr. 2, S. 74–77
- 117 Smith, A. M.: The biosynthesis of starch granules. In: *Biomacromolecules* 2 (2001), Nr. 2, S. 335–341
- 118 Smith, A. M.; Denyer, K.; Martin, C.: The synthesis of the starch granule. In: *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* 48 (1997), Nr. S. 65–87
- 119 Smith, A. M.; Zeeman, S. C.; Smith, S. M.: Starch Degradation. In: *Annual Review of Plant Biology* 56 (2005), Nr. S. 73–98
- 120 Song, Y.; Jane, J.: Characterization of barley starches of waxy, normal, and high amylose varieties. In: *Carbohydrate Polymers* 41 (2000), Nr. 4, S. 365–377
- 121 Sopanen, T.; Lauriere, C.: Release and Activity of Bound Beta-Amylase in a Germinating Barley-Grain. In: *Plant Physiology* 89 (1989), Nr. 1, S. 244–249
- 122 Stenholm, K.: *Malt limit dextrinase and its importance in brewing*. Espoo, Technical Research Centre of Finland (VTT), Biotechnology and Food Research, Dissertation, 1997
- 123 Stenholm, K.; Home, S.: A new Approach to Limit Dextrinase and its Role in Mashing. In: *Journal of the Institute of Brewing* 105 (1999), Nr. 4, S. 205–210
- 124 Stevens, D. J.; Elton, G. A.: Thermal Properties of Starch/Water System .1. Measurement of Heat of Gelatinisation by Differential Scanning Calorimetry. In: *Die Stärke* 23 (1971), Nr. 1, S. 8–11
- 125 Suh, D. S.; Verhoeven, T.; Denyer, K.; Jane, J.-I.: Characterization of Nubet and Franubet barley starches. In: *Carbohydrate Polymers* 56 (2004), Nr. 1, S. 85–93
- 126 Sun, Z.; Henson, C. A.: Degradation of Native Starch Granules by Barley α -Glucosidases. In: *Plant Physiology* 94 (1990), Nr. 1, S. 320–327
- 127 Takeda, Y.; Takeda, C.; Mizukami, H.; Hanashiro, I.: Structures of large, medium and small starch granules of barley grain. In: *Carbohydrate Polymers* 38 (1999), Nr. 2, S. 109–114
- 128 Tang, H.; Ando, H.; Watanabe, K.; Takeda, Y.; Mitsunaga, T.: Physicochemical properties and structure of large, medium and small granule starches in fractions of normal barley endosperm. In: *Carbohydrate Research* 330 (2001), Nr. 2, S. 241–248

-
- 129 Tegge, G.: *Stärke und Stärkederivate*. 3. vollständig überarbeitete Auflage Hamburg: B. Behr's Verlag GmbH & Co. KG, 2004
- 130 Tester, R. F.: Influence of growth conditions on barley starch properties. In: *International Journal of Biological Macromolecules* 21 (1997), Nr. 1–2, S. 37–45
- 131 Tester, R. F.; Karkalas, J.: The Effects of Environmental Conditions on the Structural Features and Physico-chemical Properties of Starches. In: *Starch/Stärke* 53 (2001), Nr. 10, S. 513–519
- 132 Tester, R. F.; Karkalas, J.; Qi, X.: Starch - composition, fine structure and architecture. In: *Journal of Cereal Science* 39 (2004), Nr. 2, S. 151–165
- 133 Tester, R. F.; Morrison, W. R.: Swelling and Gelatinisation of Cereal Starches. I. Effects of Amylopectin, Amylose, and Lipids. In: *Cereal Chemistry* 67 (1990), Nr. 6, S. 551–557
- 134 Tester, R. F.; Morrison, W. R.: Swelling and Gelatinisation of Cereal Starches. II. Waxy Rice Starches. In: *Cereal Chemistry* 67 (1990), Nr. 6, S. 558–563
- 135 Tester, R. F.; Morrison, W. R.: Swelling and Gelatinization of Cereal Starches. VI. Starches from Waxy Hector and Hector Barleys at Four Stages of Grain Development. In: *Journal of Cereal Science* 17 (1993), Nr. 1, S. 11–18
- 136 Tester, R. F.; South, J. B.; Morrison, W. R.; Ellis, R. P.: The Effects of Ambient Temperature during the Grainfilling Period on the Composition and Properties of Starch from Four Barley Genotypes. In: *Journal of Cereal Science* 13 (1991), Nr. 2, S. 113–127
- 137 Thoma, J. A.: Models for Depolymerizing Enzymes - Application to Alpha-Amylases. In: *Biopolymers* 15 (1976), Nr. 4, S. 729–746
- 138 Thomas, D. J.; Atwell, W. A.: *Starches*. St. Paul: American Association of Cereal Chemists, 1999
- 139 Thorbjornsen, T.; Villand, P.; Denyer, K.; Olsen, O. A.; Smith, A. M.: Distinct isoforms of ADPglucose pyrophosphorylase occur inside and outside the amyloplasts in barley endosperm. In: *Plant Journal* 10 (1996), Nr. 2, S. 243–250
- 140 Vasanthan, T.; Bhatta, R. S.: Physicochemical properties of small- and large-granule starches of waxy, regular, and high-amylose barleys. In: *Cereal Chemistry* 73 (1996), Nr. 2, S. 199–207
- 141 Viola, R.; Davies, H. V.; Chudeck, A. R.: Pathways of Starch and Sucrose Biosynthesis in Developing Tubers of Potato (*Solanum-Tuberosum* L) and Seeds of Faba Bean (*Vicia-Faba* L) - Elucidation by C-13-Nuclear-Magnetic-Resonance Spectroscopy. In: *Planta* 183 (1991), Nr. 2, S. 202–208
- 142 Volis, S.; Mendlinger, S.; Olsvig-Whittaker, L.; Safriel, U. N.; Orlovsky, N.: Phenotypic variation and stress resistance in core and peripheral populations of *Hordeum spontaneum*. In: *Biodiversity and Conservation* 7 (1998), Nr. 6, S. 799–813
- 143 Wainwright, T.: *Basic Brewing Science*. Reigate: York House Consultancy, 1998
- 144 Wallwork, M. A. B.; Logue, S. J.; MacLeod, L. C.; Jenner, C. F.: Effect of high temperature during grain filling on starch synthesis in the developing barley grain. In: *Australian Journal of Plant Physiology* 25 (1998), Nr. 2, S. 173–181
- 145 Wallwork, M. A. B.; Logue, S. J.; MacLeod, L. C.; Jenner, C. F.: Effects of a period of high temperature during grain filling on the grain growth characteristics and
-

-
- malting quality of three Australian malting barleys. In: *Australian Journal of Agricultural Research* 49 (1998), Nr. 8, S. 1287–1296
- 146 Whistler, R. L.: History and Future Expectations of Starch Use. In: Whistler, R. L.; BeMiller, J. N.; Paschall, E. F.: *Starch: Chemistry and Technology*. Orlando: Academic Press, 1984, S. 1–9
- 147 Williams, J. M.; Duffus, C. M.: Separation and Some Properties of Large and Small Amyloplasts Throughout Development in Barley Endosperm. In: *Plant Physiology* 59 (1977), Nr. 2, S. 189–192
- 148 Zhou, M.; Mendham, N. J.: Predicting barley malt extract with a Rapid Viscoanalyser. In: *Journal of Cereal Science* 41 (2005), Nr. 1, S. 31–36
- 149 Ziegler, P.: Cereal Beta-Amylases. In: *Journal of Cereal Science* 29 (1999), Nr. 3, S. 195–204
- 150 Zobel, H. F.: Molecules to Granules - a Comprehensive Starch Review. In: *Starch/Stärke* 40 (1988), Nr. 2, S. 44–50

Anhang

Daten zur Ernte 2003

Standort	Sorte	P0		P1		P2		Wassergehalt [%]
		Extrakt [%]	lösl. N [mg/100 g]	Extrakt [%]	lösl. N [mg/100 g]	Extrakt [%]	lösl. N [mg/100 g]	
Wörrstadt	Barke	19,8	553	31,1	7,31	80,7	674	4,60
Wörrstadt	Annabell	19,7	588	27,7	7,48	80,1	693	4,40
Wörrstadt	Auriga	20,6	612	32,3	7,24	79,9	742	4,70
Wörrstadt	Braemer	19,3	538	29,0	7,35	80,4	646	4,80
Nossen	Barke	19,4	521	30,0	7,20	83,4	632	4,70
Nossen	Annabell	19,0	539	27,2	7,65	82,0	660	4,60
Nossen	Auriga	21,0	613	29,7	7,67	82,9	718	4,90
Nossen	Braemer	19,4	516	27,6	9,59	83,3	608	4,80
Dachwig	Barke	20,6	586	28,1	7,58	82,1	677	4,70
Dachwig	Annabell	19,9	601	26,0	7,70	80,8	700	4,50
Dachwig	Auriga	21,7	679	31,8	7,46	81,3	772	4,70
Dachwig	Braemer	20,4	584	28,5	6,84	82,1	662	4,70
Dögging	Barke	18,5	548	27,3	7,42	81,8	724	4,90
Dögging	Annabell	18,4	573	25,0	7,97	80,5	739	4,60
Dögging	Auriga	19,9	617	29,7	7,74	81,1	789	4,60
Dögging	Braemer	18,3	530	25,0	7,72	81,4	686	4,70

Standort	Sorte	P3		P4 (Kongresswürze)				VZ 45 °C [%]
		Extrakt [%]	lösl. N [mg/100 g]	ELG [%]	FAN [mg/100 g]	Extrakt [%]	lösl. N [mg/100 g]	
Wörrstadt	Barke	36,1	700	38,7	146,0	81,1	695	43,7
Wörrstadt	Annabell	31,3	716	41,2	158,5	80,1	654	38,4
Wörrstadt	Auriga	36,5	766	43,3	168,2	80,0	745	44,8
Wörrstadt	Braemer	32,8	680	36,7	134,8	80,5	651	40,0
Nossen	Barke	33,4	654	45,1	145,9	84,8	670	38,9
Nossen	Annabell	30,4	680	47,7	158,5	82,9	666	36,2
Nossen	Auriga	34,3	724	50,5	169,6	83,0	727	40,8
Nossen	Braemer	31,7	623	41,2	106,9	83,6	582	37,5
Dachwig	Barke	32,4	704	38,7	146,2	82,0	681	39,1
Dachwig	Annabell	29,1	721	42,2	153,6	81,0	664	35,5
Dachwig	Auriga	35,9	791	45,3	183,8	81,8	788	43,3
Dachwig	Braemer	32,4	689	38,1	133,2	82,4	628	39,1
Dögging	Barke	32,5	737	41,5	151,4	83,3	712	38,9
Dögging	Annabell	28,6	718	41,9	153,6	81,8	741	34,9
Dögging	Auriga	34,5	786	47,2	196,2	81,9	763	41,5
Dögging	Braemer	30,5	693	39,7	140,4	81,6	661	36,7

Daten zur Ernte 2004

Standort	Sorte	Wasser-	Extrakt	Viskosität 8,6	EVG	Roh-	lös. N	ELG	VZ 45 °C	α -Amylase	Diastatische	VKT	Peak	TTP
		gehalt	wfr.	%		protein								
		[%]	[%]	[mPa x s]	[%]	[%]	[mg/100 g]	[%]	[%]	[ASBC]	[WK]	[°C]	[mPa x s]	[min]
Würststadt	Barke	4,5	82,6	1,482	82,5	11,1	728	41,0	41,7	79,5	415	62,2	1678	2,84
Würststadt	Pasadena	4,6	81,7	1,490	82,2	11,1	744	41,9	40,4	73,0	377	62,5	1826	2,95
Würststadt	Annabell	4,4	81,5	1,488	80,5	10,9	685	39,3	36,7	67,7	265	62,8	2055	2,97
Würststadt	Alexis	4,6	82,4	1,510	82,2	10,8	716	41,4	43,1	68,0	362	63,0	1559	2,84
Würststadt	Auriga	4,6	82,1	1,475	82,6	10,9	814	46,7	45,7	68,6	384	61,2	1381	2,90
Würststadt	Braemar	4,8	82,0	1,475	82,5	11,3	660	36,5	40,1	69,1	466	62,1	2047	2,87
Dachwig	Barke	5,0	84,2	1,484	83,2	10,2	695	42,6	42,1	82,3	413	60,5	1691	2,82
Dachwig	Pasadena	4,8	83,9	1,451	82,7	10,2	736	45,1	38,9	85,3	412	63,4	1733	2,89
Dachwig	Annabell	4,7	82,8	1,464	81,4	10,3	725	44,0	35,6	68,4	247	63,1	2189	2,93
Dachwig	Alexis	4,6	82,6	1,487	82,5	10,6	770	45,4	41,9	71,3	341	62,2	1822	2,81
Dachwig	Auriga	4,5	83,0	1,475	83,5	10,5	828	49,3	46,5	64,0	379	60,6	1474	2,83
Dachwig	Braemar	4,4	83,5	1,462	83,8	9,8	680	43,4	39,6	60,4	409	62,8	2153	2,88
Reithmar	Barke	4,5	81,8	1,490	80,9	11,5	715	38,9	44,9	85,1	467	60,7	1778	2,93
Reithmar	Pasadena	4,5	80,9	1,500	80,8	10,8	671	38,8	40,5	80,3	467	61,5	1869	2,95
Reithmar	Annabell	5,6	81,1	1,495	80,4	10,9	749	42,9	38,4	69,3	312	63,4	2200	2,86
Reithmar	Alexis	5,0	80,4	1,501	81,0	11,4	718	39,4	41,5	81,7	491	62,0	1874	2,91
Reithmar	Auriga	4,7	81,0	1,472	81,5	11,4	803	44,0	44,9	69,8	496	61,2	1677	2,82
Reithmar	Braemar	5,0	82,5	1,463	81,3	10,9	685	39,3	43,6	70,6	554	61,9	2168	2,78
Nossen	Barke	4,2	83,6	1,471	81,8	9,9	710	44,8	46,4	69,9	328	60,3	1266	2,74
Nossen	Pasadena	4,1	82,8	1,473	81,6	9,4	688	45,7	42,1	80,1	301	63,9	1326	2,90
Nossen	Annabell	4,0	82,3	1,471	79,7	9,4	743	49,4	40,6	56,1	202	64,2	1962	2,89
Nossen	Alexis	4,2	83,0	1,487	82,4	9,6	728	47,4	46,1	66,6	332	59,4	1296	2,89
Nossen	Auriga	4,1	81,9	1,476	81,6	10,1	820	50,7	45,2	53,7	362	60,6	1199	2,76
Nossen	Braemar	4,3	83,6	1,454	83,0	9,1	677	46,5	40,7	60,4	349	62,8	1924	2,84

Standort	Sorte	Wasser- gehalt	Extrakt wfr.	Viskosität 8,6 %	EVG	Roh- protein	lös. N	ELG	VZ 45 °C	α-Amylase	Diastatische Kraft	VKT	Peak Maximum	TTP
		[%]	[%]	[mPa x s]	[%]	[%]	[mg/100 g]	[%]	[%]	[ASBC]	[WK]	[°C]	[mPa x s]	[min]
Heimbach Hergarten	Barke	4,7	84,7	1,519	84,1	9,4	653	43,4	40,5	63,5	335	62,9	1823	2,74
Heimbach Hergarten	Pasadena	4,5	83,6	1,489	83,4	8,6	612	44,5	38,4	65,3	314	61,5	2027	2,79
Heimbach Hergarten	Annabell	4,3	83,2	1,486	80,9	9,1	663	45,5	34,8	56,7	205	64,0	2233	2,89
Heimbach Hergarten	Alexis	4,4	83,9	1,526	82,5	9,0	640	44,4	38,5	56,2	313	61,7	1982	2,76
Heimbach Hergarten	Auringa	4,3	83,3	1,504	82,4	9,7	727	46,8	40,7	49,8	326	62,2	1768	2,83
Heimbach Hergarten	Braemar	4,2	84,7	1,500	82,4	9,1	631	43,3	39,2	51,7	313	62,8	2180	2,81
Prenzlau	Barke	4,1	84,2	1,534	82,8	8,9	630	44,2	44,4	59,0	305	61,3	1424	2,75
Prenzlau	Pasadena	4,1	83,6	1,538	81,7	8,8	612	43,5	39,9	55,9	290	61,6	1424	2,87
Prenzlau	Annabell	3,9	83,7	1,497	81,5	8,6	634	46,1	37,6	46,7	197	63,5	2091	2,81
Prenzlau	Alexis	4,1	83,2	1,558	82,3	9,0	634	44,0	43,6	52,5	298	60,9	1904	2,80
Prenzlau	Auringa	4,1	83,2	1,507	83,5	9,4	739	49,1	48,4	49,8	329	61,1	1512	2,75
Prenzlau	Braemar	3,9	84,5	1,466	84,0	9,0	620	43,1	42,6	59,1	338	61,1	2160	2,74
Gudendorf	Barke	4,3	84,1	1,505	82,4	9,2	706	48,0	46,4	71,3	313	59,5	1165	2,80
Gudendorf	Pasadena	4,3	84,3	1,473	81,8	8,6	705	51,2	46,1	80,3	243	61,7	1160	2,81
Gudendorf	Annabell	4,6	83,5	1,486	81,5	9,1	729	50,1	44,6	60,3	196	61,2	1450	2,87
Gudendorf	Alexis	4,3	83,6	1,501	82,7	9,3	760	51,1	47,5	72,4	273	61,0	1396	2,76
Gudendorf	Auringa	4,4	83,8	1,495	82,7	9,7	801	51,6	49,3	56,2	351	60,2	1283	2,80
Gudendorf	Braemar	4,5	85,1	1,474	82,5	9,3	726	48,8	51,4	63,3	321	58,0	1563	2,73
Stralkmoos	Barke	4,7	83,2	1,443	83,7	10,0	635	39,7	35,5	52,5	388	63,7	1396	3,07
Stralkmoos	Pasadena	4,8	82,5	1,452	83,1	9,6	645	42,0	35,1	52,5	306	64,7	1913	3,12
Stralkmoos	Annabell	4,7	82,7	1,460	79,7	9,7	675	43,5	34,1	50,8	236	64,8	1573	3,20
Stralkmoos	Alexis	5,0	82,9	1,458	80,9	9,9	681	43,0	36,2	48,9	368	65,0	1923	3,06
Stralkmoos	Auringa	4,9	82,0	1,464	82,1	10,5	754	44,9	39,6	48,8	382	64,5	1155	3,07
Stralkmoos	Braemar	4,6	82,2	1,473	81,3	10,0	605	37,8	34,6	41,4	392	65,1	2260	3,10

Standort	Sorte	Amylopektin Endotherm				
		T ₀ [°C]	T _P [°C]	T _E [°C]	T _E - T ₀	ΔH [J/g]
Dachwig	Barke	57,88	63,17	70,05	12,17	7,31
Dachwig	Annabell	58,49	63,61	70,32	11,83	7,48
Dachwig	Auriga	58,23	63,95	71,85	13,62	7,24
Dachwig	Braemar	57,83	63,00	69,21	11,38	7,35
Nossen	Barke	58,67	63,68	69,74	11,07	7,20
Nossen	Annabell	58,88	63,62	69,75	10,87	7,65
Nossen	Auriga	58,36	63,52	69,70	11,34	7,67
Nossen	Braemar	58,72	63,32	68,96	10,24	9,59
Heimbach-Hergarten	Barke	57,86	63,39	70,72	12,86	7,58
Heimbach-Hergarten	Annabell	58,11	63,38	70,75	12,64	7,70
Heimbach-Hergarten	Auriga	57,41	62,79	69,76	12,35	7,46
Heimbach-Hergarten	Braemar	57,40	62,56	69,22	11,82	6,84
Prenzlau	Barke	57,40	62,76	69,27	11,87	7,42
Prenzlau	Annabell	57,69	63,03	69,74	12,05	7,97
Prenzlau	Auriga	57,07	62,97	70,08	13,01	7,74
Prenzlau	Braemar	56,90	62,09	68,95	12,05	7,72
Gudendorf	Barke	58,01	63,30	70,09	12,08	7,31
Gudendorf	Annabell	57,46	62,70	69,54	12,08	7,57
Gudendorf	Auriga	keine Daten vorhanden				
Gudendorf	Braemar	57,23	62,37	69,43	12,20	7,63
Strassmoss	Barke	60,11	65,31	72,03	11,92	7,14
Strassmoss	Annabell	59,93	65,01	71,53	11,60	7,21
Strassmoss	Auriga	59,06	64,27	70,87	11,81	7,02
Strassmoss	Braemar	keine Daten vorhanden				

Standort	Sorte	Amylose-Lipid-Komplex				
		T ₀ [°C]	T _P [°C]	T _E [°C]	T _E - T ₀	ΔH [J/g]
Dachwig	Barke	84,97	93,91	101,50	16,53	1,11
Dachwig	Annabell	85,35	94,65	103,77	18,42	1,47
Dachwig	Auriga	86,14	96,20	103,86	17,72	1,10
Dachwig	Braemar	n. a., aber deutlich nach hinten verschoben				
Nossen	Barke	84,57	95,09	104,73	20,16	1,16
Nossen	Annabell	84,34	94,89	104,23	19,89	1,20
Nossen	Auriga	84,36	94,49	102,72	18,36	1,08
Nossen	Braemar	n. a., aber deutlich nach hinten verschoben u. größer				
Heimbach-Hergarten	Barke	87,07	94,53	103,36	16,29	0,84
Heimbach-Hergarten	Annabell	86,68	95,80	104,28	17,60	0,98
Heimbach-Hergarten	Auriga	n. a.				
Heimbach-Hergarten	Braemar	n. a.				
Prenzlau	Barke	n. a.				
Prenzlau	Annabell	85,67	94,68	102,36	16,69	0,83
Prenzlau	Auriga	84,83	94,55	102,00	17,17	0,81
Prenzlau	Braemar	n. a.				
Gudendorf	Barke	n. a., aber deutlich nach hinten verschoben				
Gudendorf	Annabell	85,48	94,71	100,72	15,24	0,60
Gudendorf	Auriga	keine Daten vorhanden				
Gudendorf	Braemar	85,56	95,12	102,17	16,61	0,83
Strassmoss	Barke	85,58	95,14	104,23	18,65	1,11
Strassmoss	Annabell	83,98	95,14	103,37	19,39	1,11
Strassmoss	Auriga	n. a., aber größer und verschoben				
Strassmoss	Braemar	keine Daten vorhanden				

n. a. = nicht auswertbar

Standort	Sorte	Amylopektin Endotherm				
		T ₀ [C°]	T _P [°C]	T _E [°C]	T _E - T ₀	ΔH [J/g]
Dachwig	Barke	59,53	63,99	68,10	8,57	4,34
Dachwig	Annabell	60,06	64,18	68,50	8,44	5,13
Dachwig	Auriga	60,24	64,85	69,28	9,04	3,87
Dachwig	Braemar	59,70	64,25	68,68	8,98	4,80
Nossen	Barke	60,45	64,45	68,96	8,51	5,64
Nossen	Annabell	60,18	64,05	68,63	8,45	5,68
Nossen	Auriga	60,14	64,16	68,54	8,40	5,27
Nossen	Braemar	60,01	63,99	68,09	8,08	4,85
Heimbach-Hergarten	Barke	59,38	64,02	69,16	9,78	4,88
Heimbach-Hergarten	Annabell	60,04	64,55	70,06	10,02	5,05
Heimbach-Hergarten	Auriga	59,09	63,56	68,13	9,04	4,41
Heimbach-Hergarten	Braemar	58,79	63,39	68,32	9,53	6,70
Prenzlau	Barke	57,97	62,68	67,86	9,89	5,18
Prenzlau	Annabell	60,08	64,04	68,95	8,87	5,81
Prenzlau	Auriga	58,85	63,47	68,47	9,62	4,57
Prenzlau	Braemar	58,79	63,04	67,44	8,65	5,33
Gudendorf	Barke	59,83	63,98	68,57	8,74	4,10
Gudendorf	Annabell	60,08	64,25	69,04	8,96	5,34
Gudendorf	Auriga	59,55	63,87	68,47	8,92	3,87
Gudendorf	Braemar	60,54	64,75	69,50	8,96	4,58
Strassmoss	Barke	62,26	66,73	71,03	8,77	4,47
Strassmoss	Annabell	60,64	65,28	69,92	9,28	6,12
Strassmoss	Auriga	60,27	64,97	69,52	9,25	4,96
Strassmoss	Braemar	61,10	65,48	69,76	8,66	5,78

Standort	Sorte	Amylose-Lipid-Komplex				
		T ₀ [C°]	T _P [°C]	T _E [°C]	T _E - T ₀	ΔH [J/g]
Dachwig	Barke	72,64	81,45	92,95	20,31	1,25
Dachwig	Annabell	75,01	82,27	92,42	17,41	0,90
Dachwig	Auriga	74,11	82,14	93,62	19,51	0,70
Dachwig	Braemar	73,10	81,78	92,35	19,25	1,21
Nossen	Barke	n. a.				
Nossen	Annabell	74,89	81,34	85,68	10,79	0,35
Nossen	Auriga	74,03	84,93	95,00	20,97	0,89
Nossen	Braemar	71,79	79,96	89,07	17,28	0,92
Heimbach-Hergarten	Barke	75,53	84,03	94,72	19,19	0,74
Heimbach-Hergarten	Annabell	76,04	88,18	94,97	18,93	0,55
Heimbach-Hergarten	Auriga	74,80	82,76	93,55	18,75	1,26
Heimbach-Hergarten	Braemar	74,07	81,56	86,60	12,53	0,82
Prenzlau	Barke	73,26	81,75	90,69	17,43	1,06
Prenzlau	Annabell	75,35	81,30	86,86	11,51	0,52
Prenzlau	Auriga	74,25	79,45	83,91	9,66	0,25
Prenzlau	Braemar	71,75	81,50	94,49	22,74	1,28
Gudendorf	Barke	n. a.				
Gudendorf	Annabell	74,77	78,75	92,76	17,99	0,37
Gudendorf	Auriga	73,43	78,98	90,35	16,92	0,59
Gudendorf	Braemar	74,87	79,39	94,04	19,17	0,53
Strassmoss	Barke	74,86	81,70	92,39	17,53	0,47
Strassmoss	Annabell	75,28	80,59	86,77	11,49	0,37
Strassmoss	Auriga	n. a.				
Strassmoss	Braemar	n. a.				

n. a. = nicht auswertbar

Standort	Sorte	Calcium [mg/kg]		Natrium [mg/kg]	
		Malz	Gerste	Malz	Gerste
Dachwig	Annabell	603,83	342,28	25,56	48,10
Dachwig	Auriga	639,24	364,97	17,93	29,38
Dachwig	Barke	614,07	334,08	37,31	58,49
Dachwig	Braemar	683,33	361,80	26,04	43,82
Gudendorf	Annabell	572,78	341,90	22,15	40,22
Gudendorf	Auriga	648,68	359,87	23,28	47,09
Gudendorf	Barke	611,58	398,88	25,26	33,71
Gudendorf	Braemar	652,81	401,57	27,03	48,10
Heimbach-Hergarten	Annabell	569,65	339,29	23,91	51,34
Heimbach-Hergarten	Auriga	606,85	367,00	20,75	39,28
Heimbach-Hergarten	Barke	581,25	361,80	21,88	55,06
Heimbach-Hergarten	Braemar	601,06	381,17	24,47	51,57
Nossen	Annabell	630,06	404,71	31,98	84,08
Nossen	Auriga	670,91	443,69	24,42	49,55
Nossen	Barke	623,40	414,88	26,60	76,66
Nossen	Braemar	640,64	460,76	26,74	52,69
Prenzlau	Annabell	531,02	250,00	35,75	136,16
Prenzlau	Auriga	544,37	293,06	36,80	121,92
Prenzlau	Barke	544,29		37,35	
Prenzlau	Braemar	568,30	292,60	40,67	124,44
Strassmoss	Annabell	642,03	397,99	19,01	26,76
Strassmoss	Auriga	666,31	431,44	15,84	21,18
Strassmoss	Barke	675,11	419,64	18,99	30,13
Strassmoss	Braemar	746,35		21,92	