

Die Malzbereitung

Die Mälzerei-Praxis Ausgewählte Kapitel

Vorlesung
Rohstofftechnologie
14.12.2018

150 Jahre
culture of
excellence



Lehrstuhl für Brau- und
Getränketechnologie

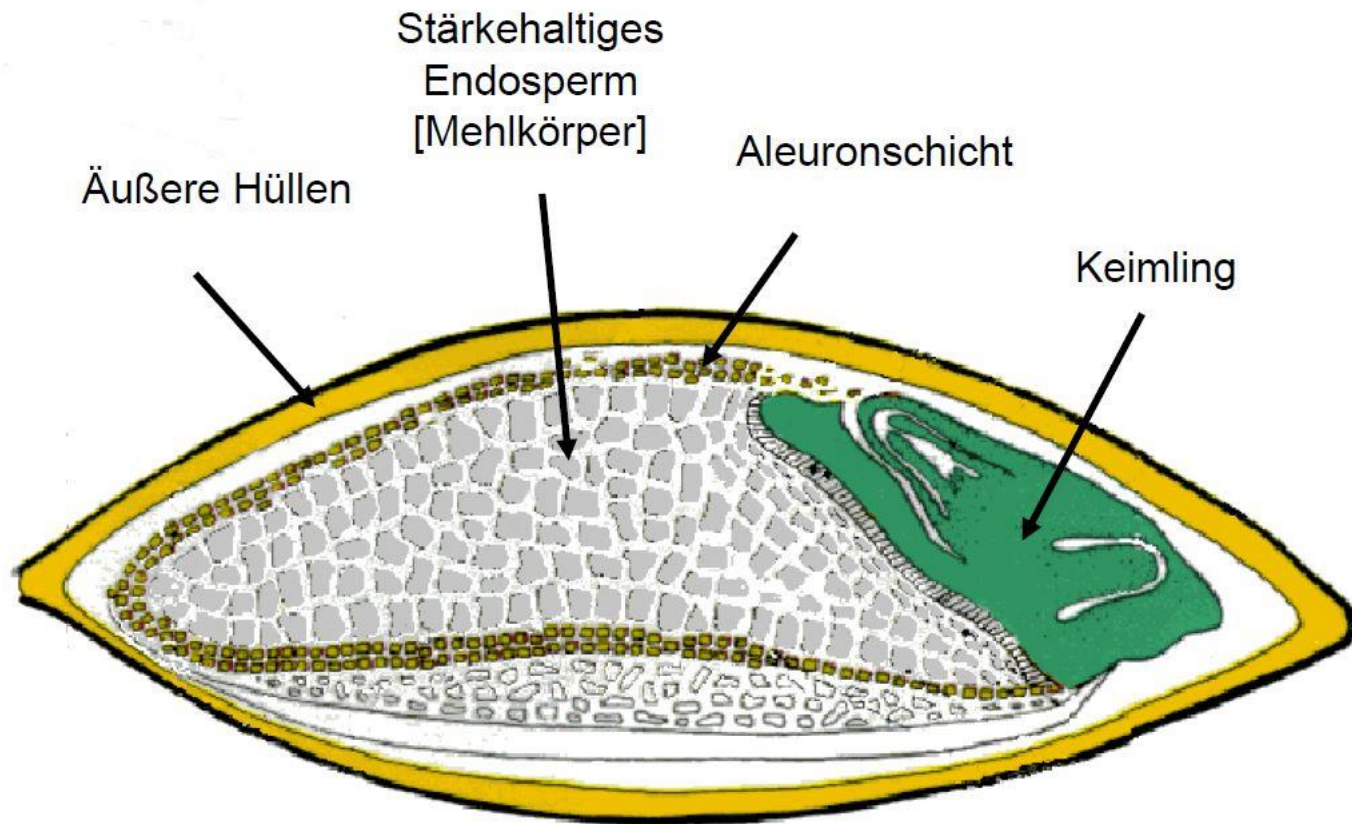
Gliederung

- Die Malzbereitung – populär erklärt
- Gedanken zur Homogenität des Malzes
- Über den Eiweißgehalt in Rohstoff und Malz
- Mälzereitechnik: Luft und Energie
 - Die Luft und Charakterisierung des Luftzustands
 - Das Mollier-Diagramm
 - Anwendungsbeispiele bei Weichen, Keimen, Darren
 - Zusammenfassung
- Curriculum Vitae
- Quellenverzeichnis

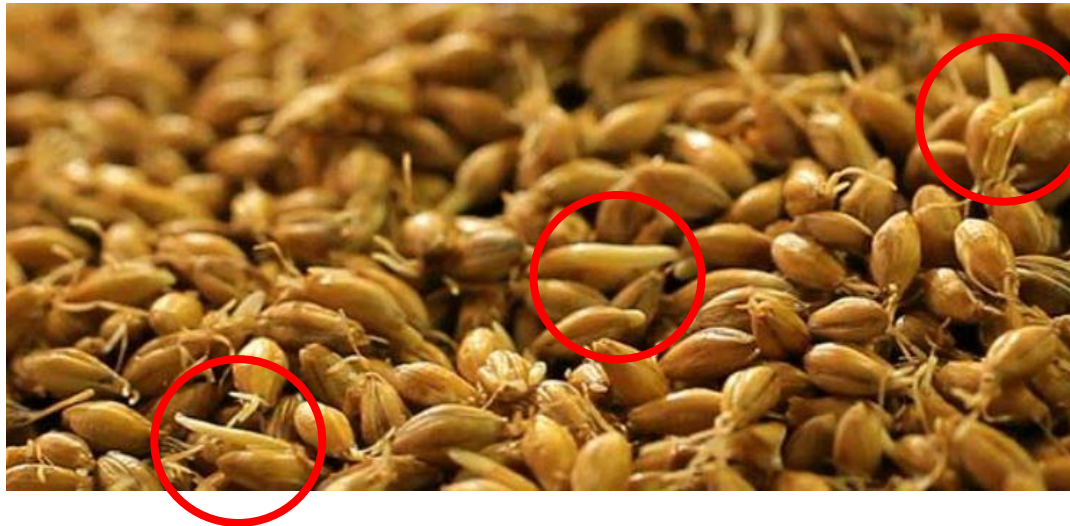
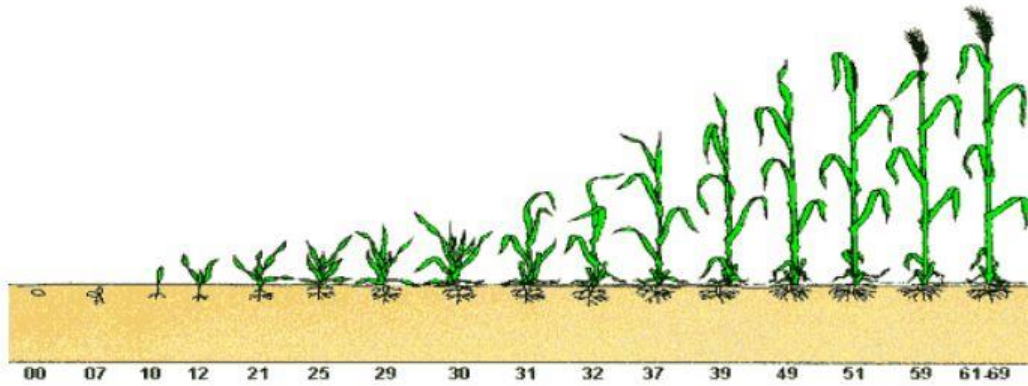
Die Malzbereitung populär



Die Malzbereitung populär



Die Malzbereitung populär



Die Malzbereitung populär



Die Malzbereitung Zusammenfassung

Gezielte Nutzung der natürlichen Vorgänge

- **Aussaat** -> Startschuss durch Wasserzugabe = **Weichen**
- **Auflaufen der Saat** -> Das Samenkorn beginnt eine neue Pflanze zu bilden = **Keimen**
- **Menschlicher Eingriff** -> Beendigung der Keimung durch Wasserentzug = **Darren**

Die Homogenität des Malzes

Google-Recherche “Homogene Malze”:

Spezial- und Craftmalze: Altes Bier in neuen Fässern? - BESTMALZ ...

<https://bestmalz.de/spezial-und-craftmalze-altes-bier-in-neuen-faessern/> ▼

01.06.2017 - Heute hingegen ist die Basis für **homogene Malze** durch zielgerichtete systematische Züchtung und die teilweise länderübergreifende ...

Mälzerei Günther Schubert

www.maelzerei-schubert.de/ ▼

Homogene Malze höchster Qualität und die Ausrichtung unserer Dienstleistungen an den Erwartungen unserer Kunden werden auch in Zukunft die Maxime ...

Malzsorten - Pappenheimer-Malz

www.pappenheimer-malz.de/malzsorten.php ▼

Unsere Pilsner **Malze** sind von heller Farbe, extraktreich und **sehr homogen**. Die individuellen Anforderungen unserer Kunden können wir selbstverständlich ...

Die Bierbrauerei: Band 1 - Die Technologie der Malzbereitung

<https://books.google.de/books?isbn=3527325328>

Ludwig Narziss, Werner Back - 2012 - Science

Die mittlere Keimlänge sollte bei hellen Malzen bei ca. 0,75 ... Nur mürbe, **homogene Malze** aus voll und gleichmäßig keimenden Gersten, hergestellt in einem ...

Braumalze – Mälzerei Gebr. Steinbach GmbH

steinbach-malz.de/braumalze/ ▼

Malz aus hochwertiger Sommerbraugerste; **homogenes Malz**; Malz lieferbar auch aus ... Versuchssude durchzuführen und so spezielle **Malze** zu optimieren.

Aktuelles - BAMBERGER MÄLZEREI

https://www.bamberger-maelzerei.de/aktuelles_details.cfm?newsid=38&page=7 ▼

... Herr Matthias Ströbel, gewährleisten gemeinsam die Fortführung der Herstellung und Auslieferung unserer bekannten, hochwertigen und **homogenen Malze**.

Die Homogenität des Malzes

Ideales homogenes Malz:

- Aus sortenreiner Gerste, einer Provinienz mit großen Ackerschlägen
- Gleichmäßiger Eiweißgehalt, unverschnitten
- Gleichmäßige Sortierung – groß und dickbauchig
- Lösungsfortschritt für jedes Korn gleich
- Wassergehalt für jedes Korn gleich

Mangelnde Homogenität kann bewirken:

- Ungleichmäßige Schrotzusammensetzung
- Verzuckerungsprobleme
- Abläuterprobleme
- Verringerte Ausbeute
- Filtrationsschwierigkeiten
- u.v.a.m.

Die Homogenität des Malzes

Ein schöner Traum, aber

- 1 Tonne Malz besteht aus ca. 30 Mio. einzelner Malzkörner
- Für eine Malzcharge von 100t werden ca. 20 ha Anbaufläche benötigt
- Mehr als 10 durchschnittliche Ackerschläge Bayern für 1 Malzcharge (100t)
- Schläge in sich inhomogen: Bodenstruktur, Wasserführung, Düngung etc.
- Innerhalb einer Getreideähre eines Halmes ungleiche Kornentwicklung
- Ausgeprägte “Mischkunst” in den Getreide-Erfassungslägern
- Ungleiche Wasser- und Temperaturverteilung in Grünmalzschicht Keimkasten
- Bei Darrende: Ungleicher Wassergehalt über die Schichthöhe und Fläche
- Blending bei der Verladung des Malzes in der Mälzerei
- Blending bei der Zusammenstellung der Malzschüttung in der Brauerei

Die Homogenität des Malzes

Malz ist grundsätzlich ein inhomogenes Produkt !

Damit kann man und muss man leben -> Die Fragen lauten:

- Wie extrem ist die Inhomogenität ?
- Gibt es Verarbeitungsprobleme ?
- Kann ich diese überhaupt der Malzinhomogenität zuordnen ?
- Welche Lösungen zur Verbesserung gibt es ?

Generelle Probleme:

Probenahme und Musterteilung, häufig “schlampig”

Viele Analysen-Methoden zerstören das Malz, eine Zweit- oder Gegenanalyse bringt immer ein abweichendes Ergebnis

-> Immer wieder Diskussionsstoff in den Beziehungen

Gersten-Lieferant und Mälzerei wie auch Mälzerei und Brauerei !

Die Homogenität des Malzes

Beispiel: Multisorten – Anbau

- Pflanzenbauliche Vorteile gegenüber Monokultur -> gesündere Bestände, Reduktion von Spritzmitteleinsatz
- Homogenitätsschädlich -> jede Gertsensorte erfordert unterschiedliche Mälzungstechnologie über alle Produktionsstufen

Die Homogenität des Malzes

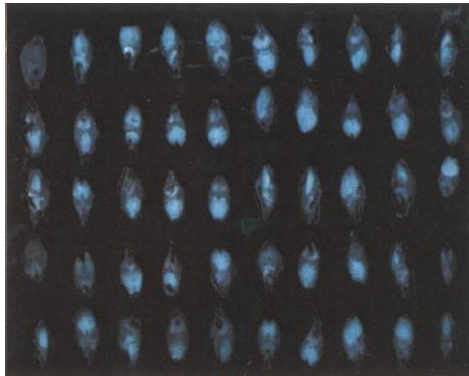
Beispiel: Modifikation und Homogenität nach Carlsberg Calcofluor-Färbung



50 Malzkörner
im
Plastilinblock



Malzkörner
abgeschliffen vor
der Calcofluorfärbung

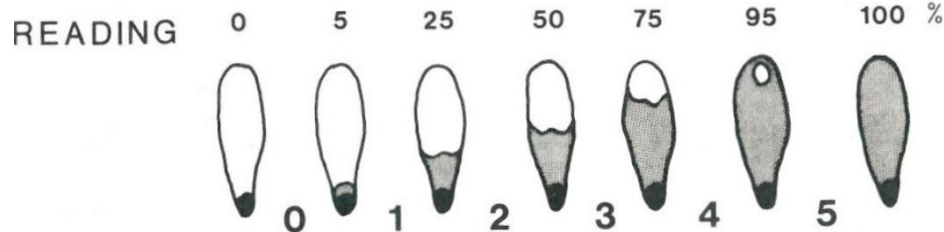


Körner gefärbt
unter UV-Licht
Modifikation 48%



Körner gefärbt
unter UV-Licht
Modifikation 89%

Sollwerte:
Modifikation > 85%
Homogenität > 75%



Bestimmung der **Homogenität**
durch statistische Auswertung
der Körneranzahl in den
jeweiligen Modifikationsklassen

Der Eiweißgehalt im Braugetreide



Braugerste

9,5 – 11,5 %

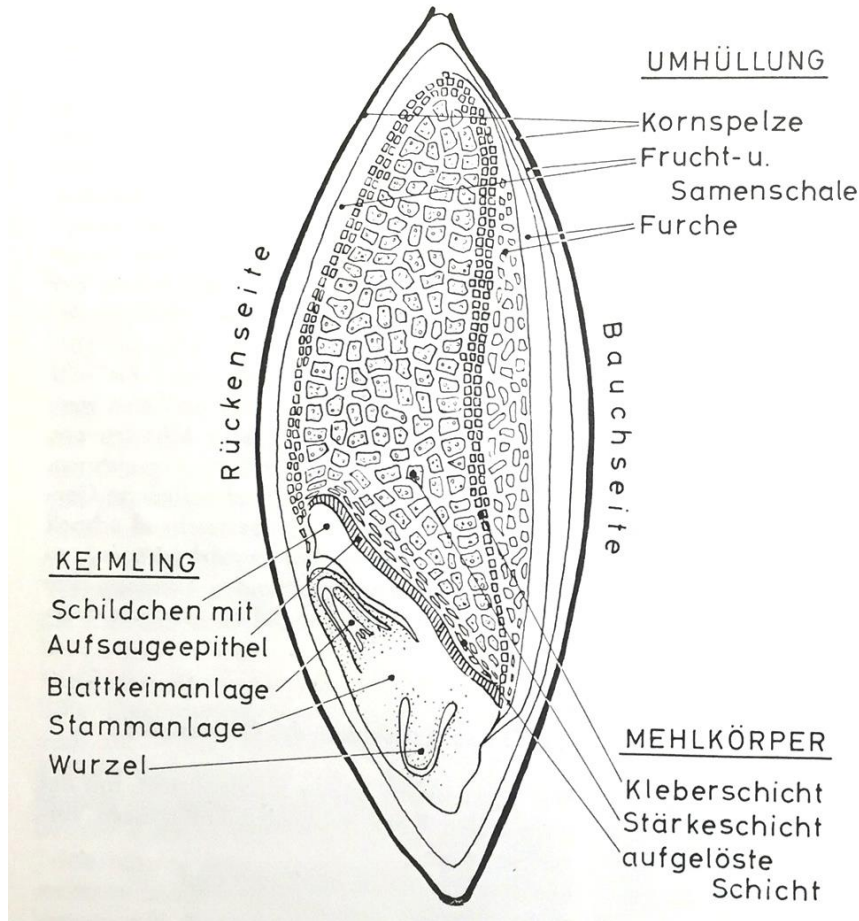


Brauweizen

11,0 – 13,0%

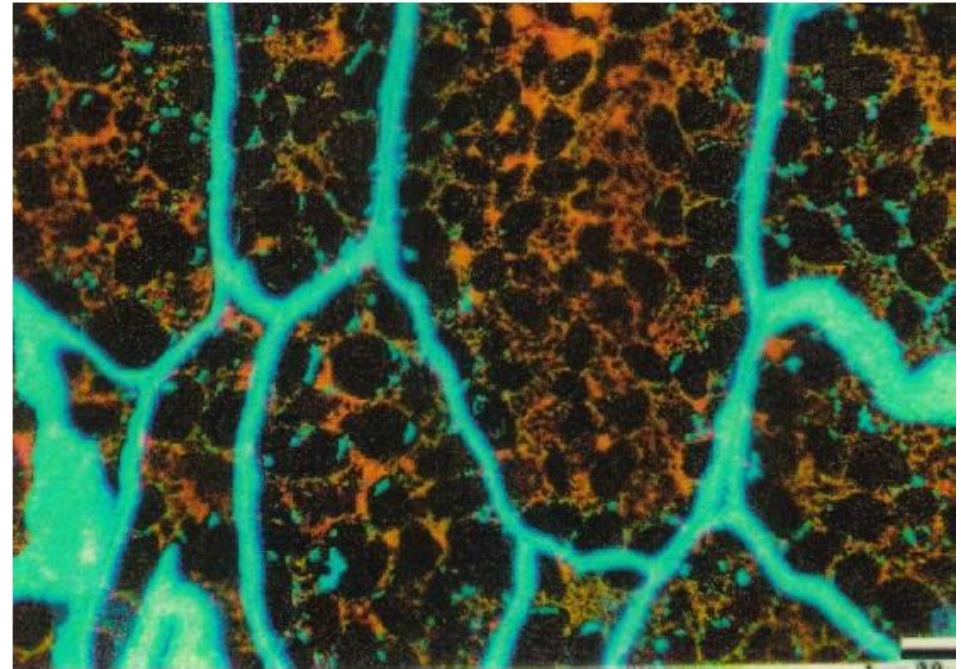
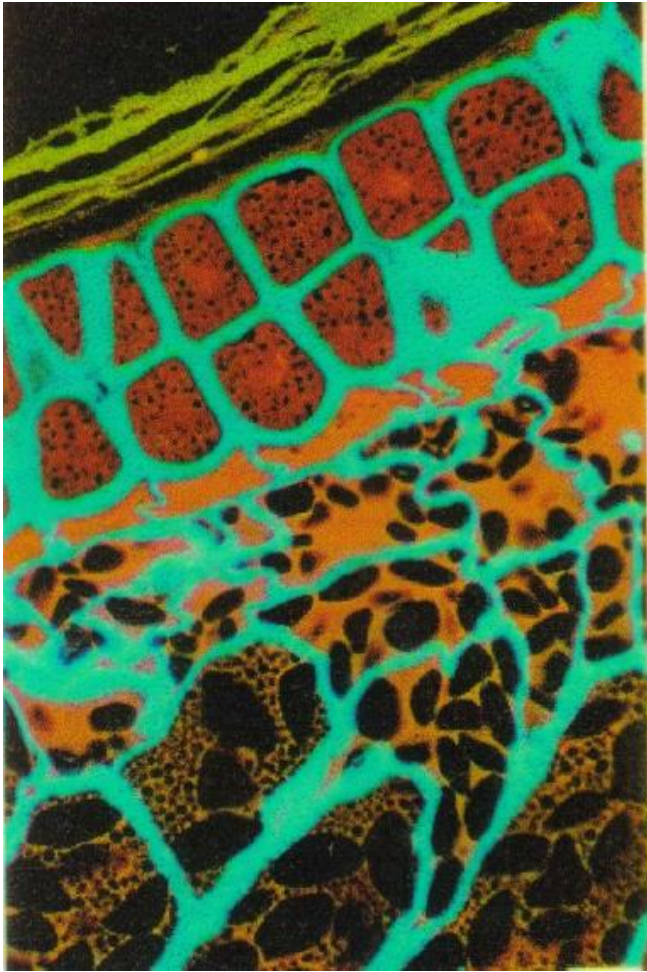
Eiweißgehalt

Der Eiweißgehalt, Eiweiß im Gerstenkorn

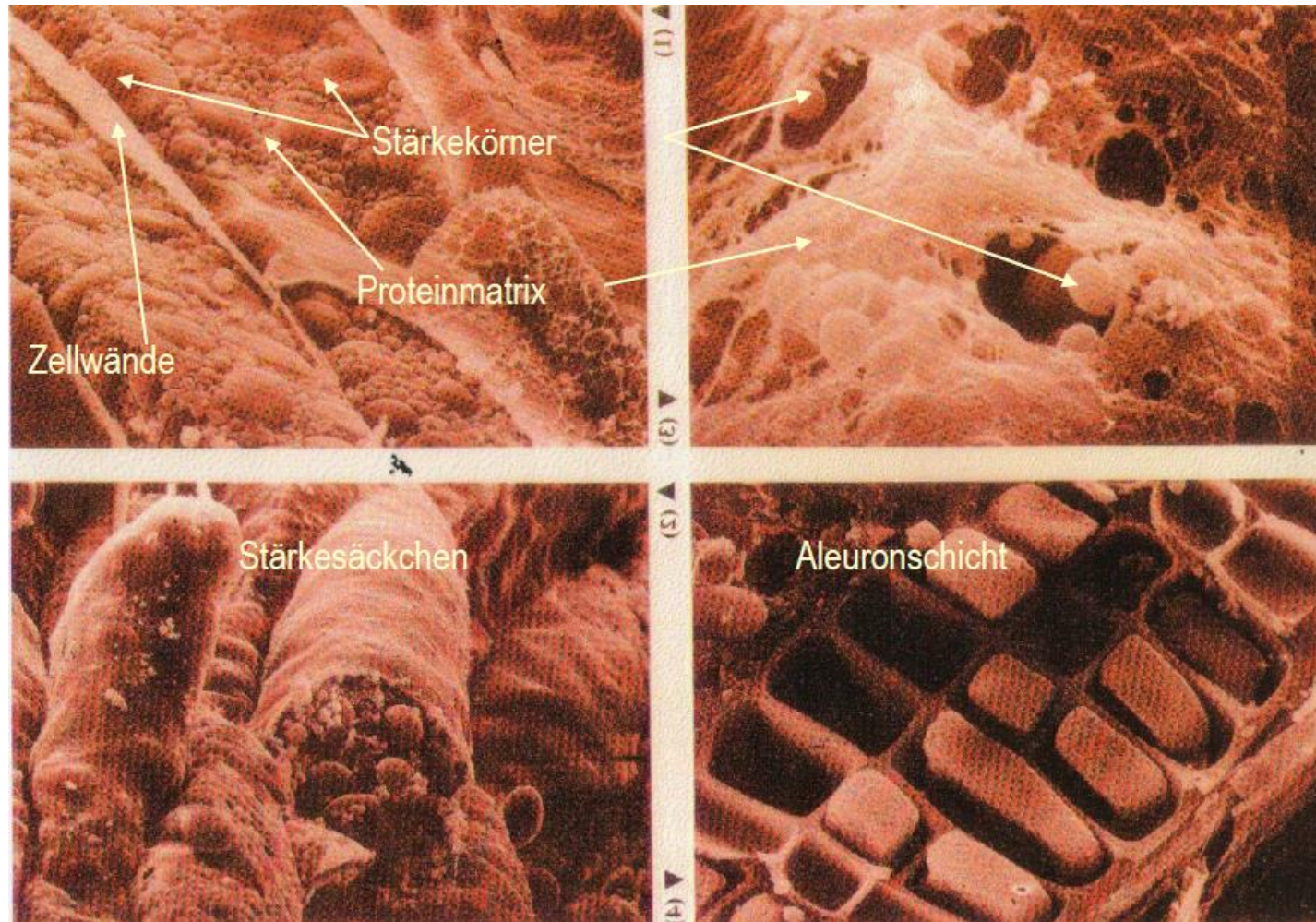


- Aleuronschicht als Klebereiweiß
- Unter der Aleuronschicht als Reserveeiweiß
- Mehlkörper als histologisches Eiweiß

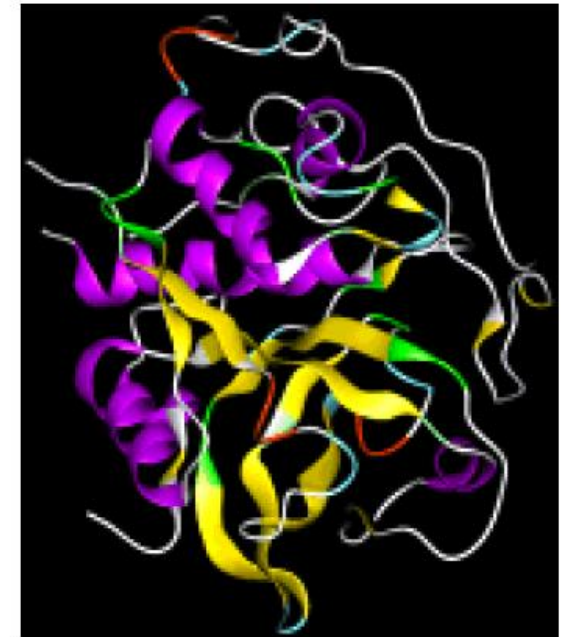
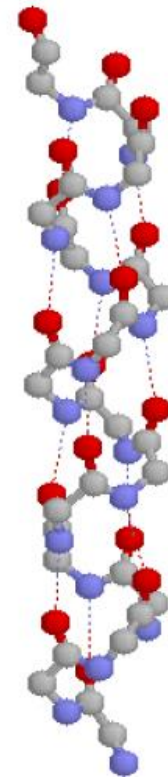
Der Eiweißgehalt unter dem Mikroskop



Der Eiweißgehalt unter dem REM



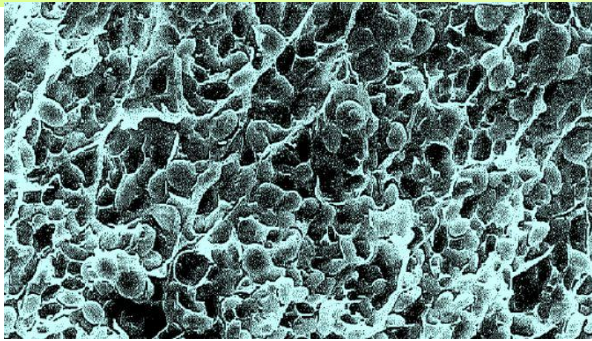
Der Eiweißgehalt Aufbau und Struktur



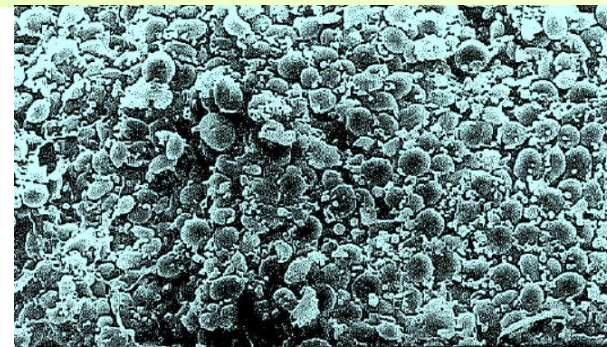
Der Eiweißgehalt Idee der Natur

- Das Korneiweiß wird während der Kornausbildung durch Photosynthese mit Hilfe von Stickstoff aus dem Boden aufgebaut
- Eiweiß in der Proteinmatrix verleiht dem Korn seine Festigkeit und schützt die Stärke vor der Wasserlösung
- Eiweiß ist der Vorratsstoff beim Start zum Aufbau einer neuen Gerstenpflanze
- Enzymatische Zerlegung während der Keimung in die Grundbausteine
- Synthese dieser Aminosäuren zu neuem Pflanzeneiweiß im Blatt- und Wurzelkeim
- Beim Abbau der Proteinmatrix werden die Stärkekörner freigelegt und sind zugänglich für den enzymatischen Stärkeabbau (Energie und neue Strukturen für die neue Pflanze)

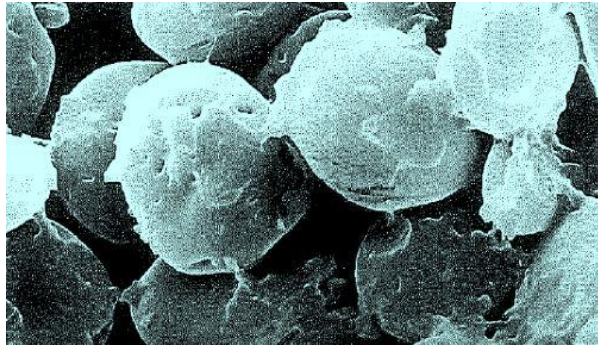
Der Eiweißgehalt Abbau im Endosperm



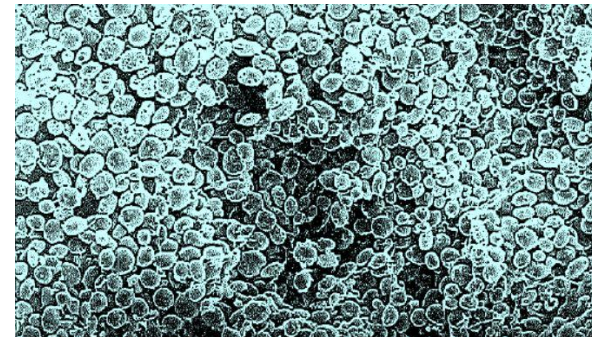
Vor der Keimung



2. Keimtag

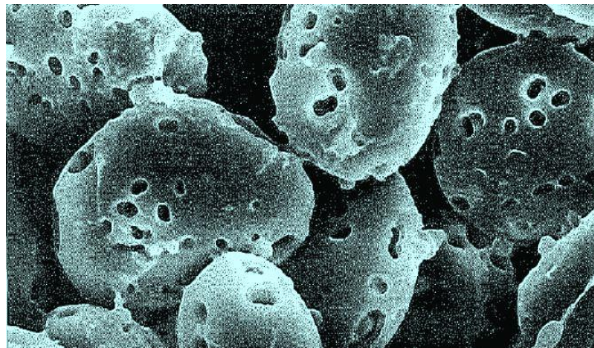


4. Keimtag

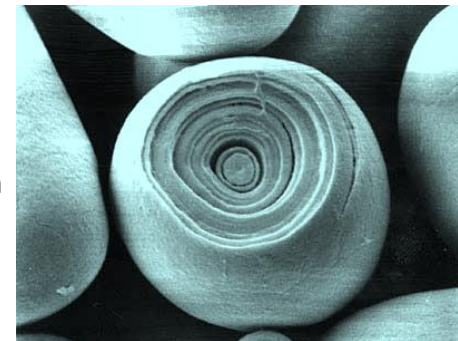


6. Keimtag

6. Keimtag
Detail



Stärkekorner



Der Eiweißgehalt Zusammensetzung im Malz

- mehr als die Hälfte des Rohproteingehalts liegt hochmolekular vor noch nicht abgebaut oder als Blattkeim aufgebaut
- ca. 40% liegt als Abbauprodukt in Form von löslichem Eiweiß vor
-> Eiweißlösungsgrad oder Kolbachzahl 38 – 42 %
- ca. 20% des löslichen Eiweißes liegen als FAN bzw. Aminosäuren vor (FAN ca. 150 mg/100g TS)
- ein kleiner Teil wurde zur Malzfarbe und –Aromabildung verbraucht (Maillard-Reaktion beim Abdarren)
- ca. 1 – 2 % gehen in die Wurzelkeime (ca. 35% Protein),
-> Malzkeimpellet für die Kraftfutter-Industrie

Der Eiweißgehalt Abnahme beim Mälzen

Faustformel beim Mälzen:

Reduktion Eiweißgehalt von der Gerste zum Malz: ca. 0,2 %

Beispiel: Gerste mit 10,5% Eiweißgehalt ergibt Malz mit 10,3%

Achtung:

Eiweißgehalt im Malz kann aber auch gegenüber der Rohware zunehmen !

(Scheinbare Zunahme auf Grund der Apfel-Birne-Vergleichs-Problematik !)

Der Eiweißgehalt Rechenbeispiel 1 für Abnahme

Basis Annahmen	Rohware	Malz 81% Ausbeute
Gewicht	100 kg	81 kg
Wassergehalt	13%	4,5%
Trockensubstanz	87,0 kg	77,4 kg

Fall 1	Gerste	Malz
Eiweißgehalt (TS)	10,5%	
Eiweiß absolut	9,1 kg	
Eiweißverlust	1,1 kg	
Eiweiß absolut		8,0
Eiweißgehalt		10,3%

Der Eiweißgehalt Rechenbeispiel 2 für Abnahme

Basis Annahmen	Rohware	Malz 81% Ausbeute
Gewicht	100 kg	81 kg
Wassergehalt	13%	4,5%
Trockensubstanz	87,0 kg	77,4 kg

Fall 2	Weizen	Malz
Eiweißgehalt (TS)	13,0%	
Eiweiß absolut	11,3 kg	
Eiweißverlust	1,1 kg	
Eiweiß absolut		10,2 kg
Eiweißgehalt		13,2%

Absolute Abnahme
1,1kg

Scheinbare Zunahme
0,2%

Der Eiweißgehalt Bedeutung im Bier

- Positiv für Vollmundigkeit
- Positiv für Schaumstabilität
- Negativ für Trübungsstabilität (MHD)

Klassischer Zielkonflikt und Gratwanderung für den Brautechnologen !

Der Eiweißgehalt Einflüsse im Brauprozeß

- Schrotung -> Schrot-Fraktionen, Ausbeute
- Maischen -> Temperaturen und Rasten, koag N, FAN
- Läuterung -> Durchsatz, Geschwindigkeit, Ausbeute
- Kochung -> Eiweiß- Koagulation, Stabilität, Schaum
- Gärung -> Angärung, Hefevermehrung
- Lagerung -> Trubabsetzung, Geläger
- Stabilisierung -> Auswahl und Menge, Stabilität
- Filtration -> Standzeiten

Der Eiweißgehalt Bedeutung beim Mälzen

Noch vor wenigen Jahren haben die Mälzereien einen “möglichst niederen” Eiweißgehalt von 10,0 – 10,5 % angestrebt.

Gründe:

- Kundenspezifikation (Beispiel : Exportbier-Brauerei Beck´s & Co)
- Extraktgehalt (Eiweiß vs. Stärke)
- Helle Malzfarben (Maillard-Reaktion)
- Mälzungsdauer (Hohes Eiweiss -> längere Keimzeit, Kapazitätsverlust)
- Mälzungsintensität (Hohes Eiweiß -> hoher Weichgrad -> längere Darrzeit , Kapazitätsverlust , höherer Energieverbrauch)

Folge: Einkaufs-Kontrakte mit Malus-System und Ablehnungsgrenzen sowie z.T. Bonuszahlungen für niederen Eiweißgehalt

Der Eiweißgehalt Optimaler Bereich

Eiweiß	%, wfr.	8,0	9,0	10,0	11,0	12,0	13,0	Trend
Extrakt	%, wfr.	83,7	82,8	82,0	81,2	80,4	79,6	↓
Mehl-Schrot-Diff.	%, wfr.	1,1	1,3	1,5	1,7	1,9	2,1	↑
Friabilimeterwert	%	97,6	93,2	88,8	84,4	80,0	75,5	↓
Viskosität	mPas/8,6%	1,433	1,449	1,465	1,481	1,497	1,513	↑
Löslicher N.	mg/100g MTrS	646	688	730	771	813	855	↑
Kolbachzahl	%	50,4	47,8	45,6	43,8	42,4	41,1	↓
FAN	mg/100g MTrS	140	150	160	170	180	190	↑
VZ 45 °C	%	45,3	43,1	41,3	39,9	38,7	37,6	↓
α-Amylase	ASBC, wfr.	62	58	55	53	51	50	↓

Optimaler Bereich für Gersten-Rohprotein:
ca. 10,5 – 11,5%

Der Eiweißgehalt Trend nach unten

Ursprünglich positiver Trend stösst an die untere Grenze und verursacht zunehmend Probleme

negative Auswirkungen bei zu niedrigem Eiweißgehalt:

Bier:

- Vollmundigkeit unbefriedigend, Biere werden “leerer”
- Schaumhaltbarkeit unbefriedigend

Bierherstellung:

- mangelnde Hefeernährung und –vermehrung, da zuwenig Aminosäuren

Malzbereitung:

- Verletzung der Malzspezifikation -> Vertragsprobleme (Diskussion: Objektive Unmöglichkeit vs. Bierqualität s.o. !)
- Dunklere Malzfarben schwieriger zu erreichen

Der Eiweißgehalt Ursachen für Abwärtstrend

Züchtungsfortschritt als wesentliche Voraussetzung für die Zulassung neuer Sorten beim Bundes-Sortenamt

- Züchtungsziel Ertragsstärke:
Verdünnungseffekt des vorhandenen Bodenstickstoffs bei zunehmenden Flächenerträgen
- Züchtungsziel Malzextrakt:
Prozentual weniger Eiweiß = höherer Extrakt

Der Eiweißgehalt Maßnahmen gegen Abwärtstrend

Neue Definition der Züchtungsziele

z.B. Trockenheits-Toleranz, Hitzestress-Resistenz - aber in puncto Ertragsfortschritt kann und darf der Fortschritt nicht aufgehalten werden, sonst gerät die Attraktivität der Braugerste noch weiter in Gefahr

Anpassung des Düngeregimes in der Landwirtschaft

- Heute werden Stickstoffdünger für Braugerste im Bereich von umgerechnet 80 – 140 kg N/ha als Einmalgabe nach der Aussaat aufs Feld gebracht
- Im “Narziss” von 1976 ist zu lesen:
“Die Stickstoffgabe kann relativ hoch sein (früher 30 kg/ha, heute 60 – 80 kg/ha), ...”
- Trotz beeindruckender Entwicklung reicht der Dünger offenbar nicht aus !

Gründe ?

Der Eiweißgehalt Ursachen für Düngezurückhaltung

- Restriktive Düngeberatung zur Absicherung der Eiweiß-Obergrenze
- Offizielle Beratung hängt dem züchterischen Fortschritt hinterher
- Landwirte haben “Urangst” vom Mälzer bzw. Erfasser gestossen zu werden (die Mälzer haben schon seit vielen Jahren kaum noch Anlieferungen wegen hohem Eiweiß gestossen aber zunehmend wegen Unterschreitung der Untergrenze, z.B. bei unter 9,0% Protein, Tiefrekord 2015 war 7,8%)
- Düngeverordnung -> Einhaltung von Stickstoff-Salden
- Düngerkosten insbesondere bei niedrigen Erzeugerpreisen
- Mangelnde Erfahrung, wie die neuen ertragreichen Sorten zu führen sind.

Der Eiweißgehalt Möglichkeiten zur Stabilisierung

Der Abwärtstrend kann mittel- bzw. langfristig gestoppt werden durch:

Forschung und Erkenntnis

- Aktuell laufen mehrere Forschungsprogramme mit dem Ziel Düngeregime zu entwickeln z.B bzgl. N-Gaben und Zeitpunkt
- Braugersten-Züchtung

Schulung und Beratung

- Publikation der Forschungsergebnisse in der Fachpresse (Landwirtschaftliches Wochenblatt, Ernährungsdienst, etc.)
- Beratung der Erzeuger durch Landwirtschaftsämter

Erfahrungen sammeln und austauschen

- Vereinigungen wie Bauernverband
- Berater offiziell wie amtlich

Problem: Zeitfaktor

Mälzereitechnik



Potential für technologische und energetische Optimierung, dargestellt anhand des Mollier-Diagramms



Prof. Richard Mollier
1863 – 1935 Dresden

Die Luft...

Unabdingbarer Gehilfe des Mälzers:

- Bringt Sauerstoff, führt Kohlendioxid ab
- Befeuchtet und trocknet das Keimgut
- Führt dem Keimgut Wärme zu und ab
- Verbraucht bei der Behandlung den größten Kostenanteil bei der Malzproduktion in Form von Wärme und Strom

Charakterisierung des Luftzustands

Direkt messbar:

- Temperatur in °C
allen bekannt und oft gemessen
- Relativer Feuchtegehalt in %
vielen bekannt, in der Außenluft gut messbar, aber mangels geeigneten Systemen im Mälzungsprozess kaum gemessen, dennoch indirekt gut bestimmbar, mittels Mollier-Diagramm !
- Noch was ?!

Die vergessene Charakterisierung...

... der Druck der Luft:

- **Luftdruck der Atmosphäre in hPa**
gegeben, nicht beeinflussbar und ständigen Veränderungen unterworfen
Relevant bei der Auslegung der Mälzerei hinsichtlich Standorthöhe ü.d.M.
Beispiel Malteurop Rostock Meereshöhe, Malteurop Langerringen 570 m ü.d.M.
Luftdruck normal: MER 1013 hPa, MEL absolut 941 hPa entspr. 93%
Extrem: z.B. Malteria Tropical, Bogota, Kolumbien, 2600m, 725 hPa, 72%
-> plakativ: viele unnütze Kubikmeter mit wenig nutzbarem Massenstrom
Auswirkung auf Auslegung aller Lufttechnik und Stromverbrauch!
- **Druckdifferenzen bei bewegter Luft in Pa**
wenig beachtet, selten gemessen und doch verantwortlich für den wesentlichen Stromverbrauch einer Mälzerei.
Für Fortgeschrittene: Unterscheidung in statischen und dynamischen Druck

Heute: Betrachtungen der Luftzustände im Mollier-Diagramm isobar bei Normaldruck

Das Mollier-Diagramm

auch h,x-Diagramm (früher i-x-Diagramm)

Kurvenschar in einem Koordinatensystem beschreibt Luftzustände (isobar) für folgende Parameter:

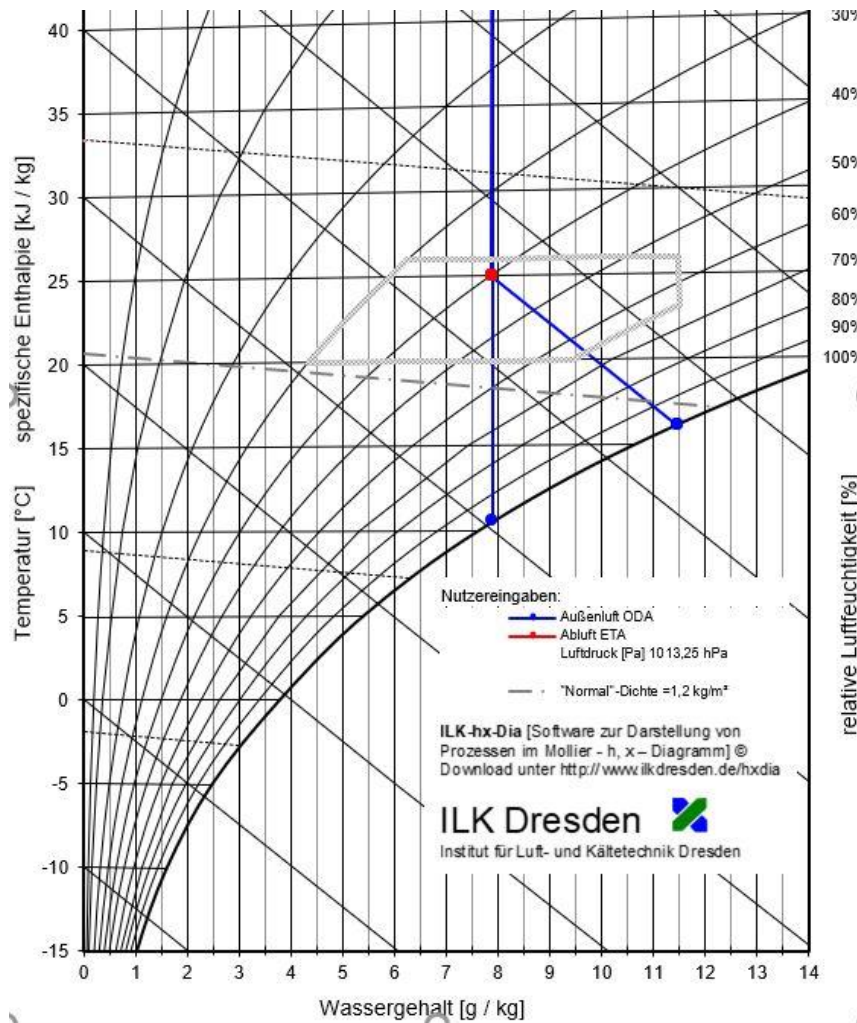
			Relevanz u.a. für:
• Temperatur		t in °C	Basiswert
• Relative Luftfeuchte (Phi)		φ in %	Basiswert
• Enthalpie (Energieinhalt) der Luft		h in kJ/kg	Energieberechnungen
• Wassergehalt (Beladung, absolute Feuchte)		x in g/kg	Darrprozess
• Dichte der Luft (Rho)		ρ in kg/m ³	Energie für Ventilatoren

Abgeleitete Informationen aus einem Zustandspunkt:

• Taupunkt-Temperatur		t in °C	Keimkasten-Kühlung
• Feuchtkugel-Temperatur		t in °C	Trocknung, Befeuchtung

Jeweils 2 Parameter charakterisieren den Luftzustand eindeutig und damit auch alle anderen Parameter

Beispiel: Zustandspunkt Mollier-Diagramm



- **Ausgangspunkt: 25 °C, 40 % r.F.**

daraus ergeben sich:

- Enthalpie: 45,3 kJ/kg
- Wassergehalt: 7,9 g/kg
- Dichte: 1,18 kg/m³

und die abgeleiteten Informationen bzw. Vorgänge:

- Abkühlung: Linie gleichen Wassergehalts bis 100% r.F.
-> Taupunkt-Temp.: 10,5 °C
- Befeuchtung: Linie gleicher Enthalpie bis 100% r.F. (adiabate Wasseraufnahme)
-> Feuchtkugel-Temp.: 16,6 °C
- Erwärmung: Linie gleichen Wassergehalts

Weichhaus-Erwärmung

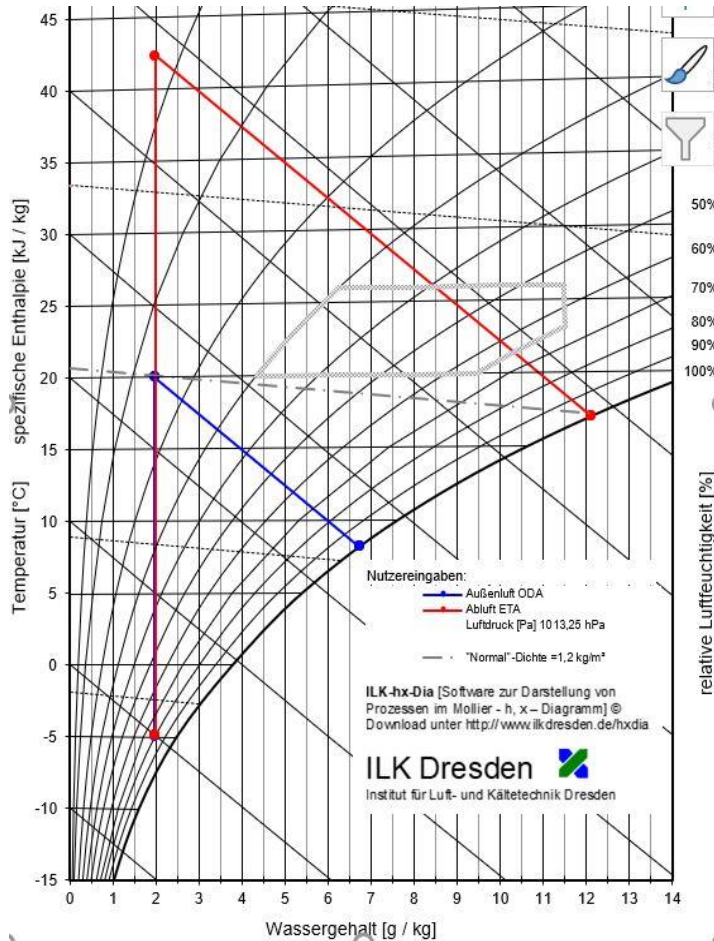
Winterprobleme:

- Weichgut zu kalt
 - > verzögerte Wasseraufnahme
- Nach dem Ausweichen Keimgut im KK zu kalt
 - > verzögerte Wärmeentwicklung
 - > verzögerte Ankeimung
 - > Zeit- und Qualitätsprobleme

Hilft ein Anwärmen des Weichhauses ?

-> Es lohnt einen Blick ins Mollier-Diagramm !

Weichhauserwärmung



Beispiel: Außenluft -5 °C, 80 % r.F.

Maßnahme: Temperieren des Weichhauses auf 20 °C

Auswirkung: Mälzer fühlt sich wohl

Das Weichgut jedoch nicht:

Feuchtkugel-Temperatur 8 °C,

-> **Heizung sparen**

Theoretische Lösung:

Es müsste die Luft auf über 40°C angewärmt werden, damit im Weichgut über 16 °C ankommen

Praktische Lösung:

Erwärmung des Weichwassers, z.B. vorzüglich aus Abgas-Wärmenutzung des Lufterhitzers

Keimkasten-Befeuchtung

Furcht vor Austrocknung des Keimguts

-> Wasserverdüsung unter Druck

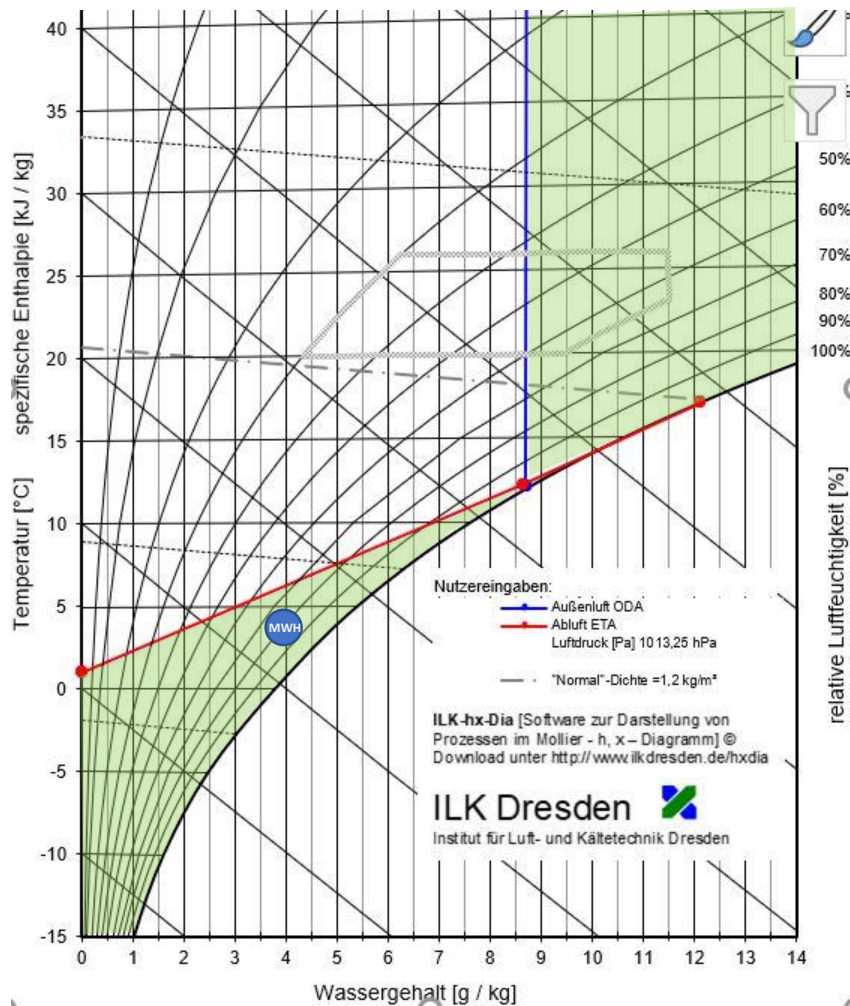
Kosten für:

- Frischwasser
- Pumpenenergie
- Abwasseraufbereitung

Wirklich immer nötig ?

-> Es lohnt einen Blick ins Mollier-Diagramm !

Keimkasten-Befeuchtung



Beispiel:

KK-Eintritts-/Austritts-Temp. 12/17 °C, je 100% r.F.

Rote Linie:

Mischungs-Linie Außenluft/KK-Abluft zur Temp-Regelung

-> Jeder Außenluftzustand unterhalb der roten Linie führt in der Mischung zu einem gesättigten Luftzustand am KK-Eintritt

Blaue Linie:

Grenzlinie Wassergehalt

-> Jeder Außenluftzustand mit einem höheren Wassergehalt führt nach der Kühlung auf KK-Eintrittstemperatur zur Sättigung der Luft

MWH: Mittelwert Winterhalbjahr 3 °C, 82% r.F.

Das Darren des Grünmalzes

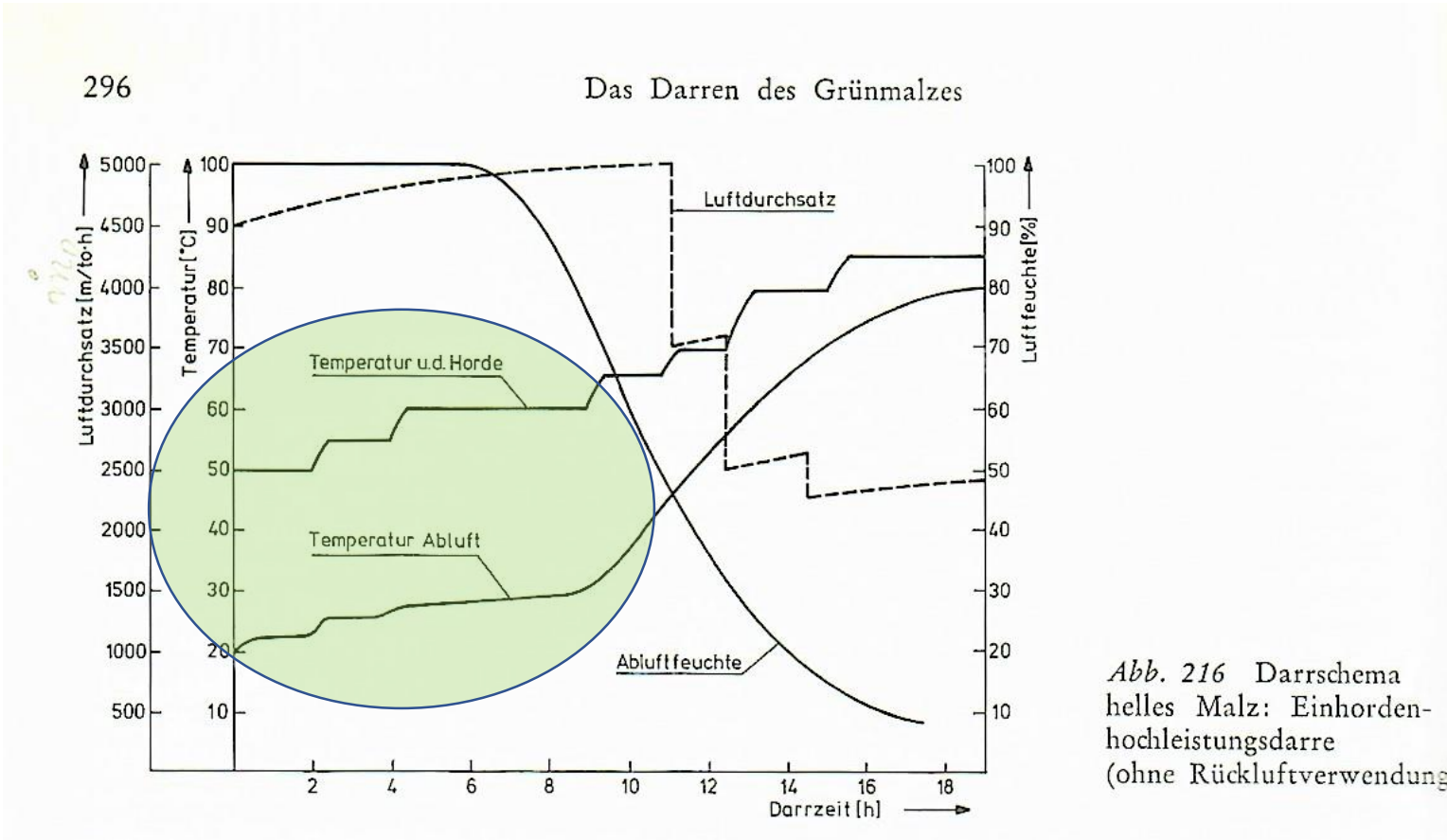


Abb. 216 Darrschema helles Malz: Einhordenhochleistungsdarre (ohne Rückluftverwendung)

Die Technologie der Malzbereitung, Prof. Dr. Ludwig Narziß, 6. Auflage 1976

Das Schwelken

Physikalischer Aspekt:

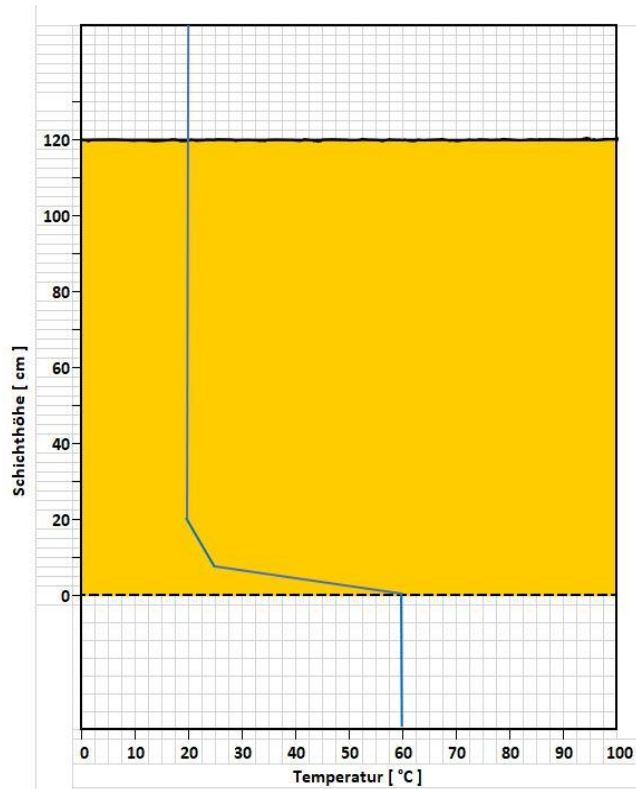
Erwärmter Luft-Massenstrom strömt durch das feuchte Grünmalz, nimmt adiabatisch freies Wasser auf bis hin zur Sättigung. Das Grünmalz erwärmt sich bis zur Feuchtkugel-Temperatur

Wichtig: Dieser Vorgang findet innerhalb weniger Zentimeter in der Schütthöhe statt und schreitet von unten nach oben. Oben angekommen ist das gesamte freie Wasser verdampft -> "Durchbruch"

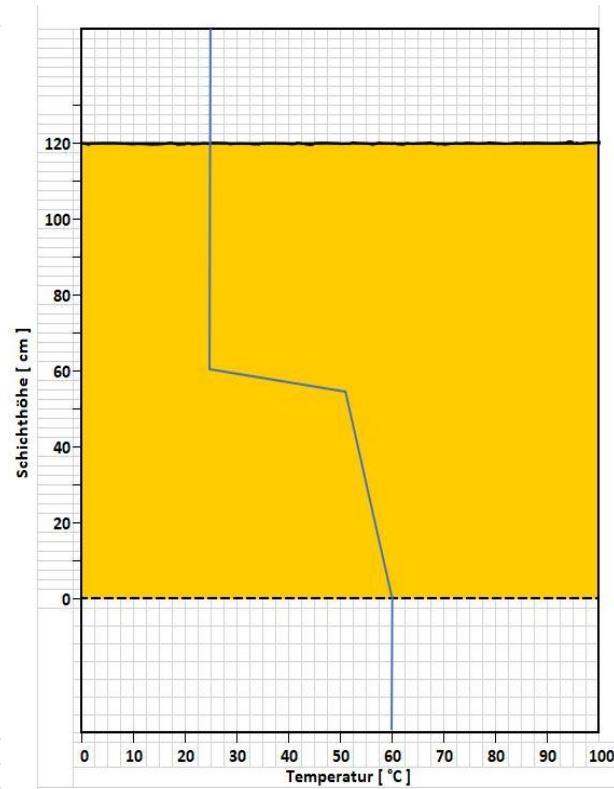
Dieser "Durchbruch" findet aber schon nach kurzer Zeit in der untersten Schicht statt und wandert nach oben.

Das Schwelken

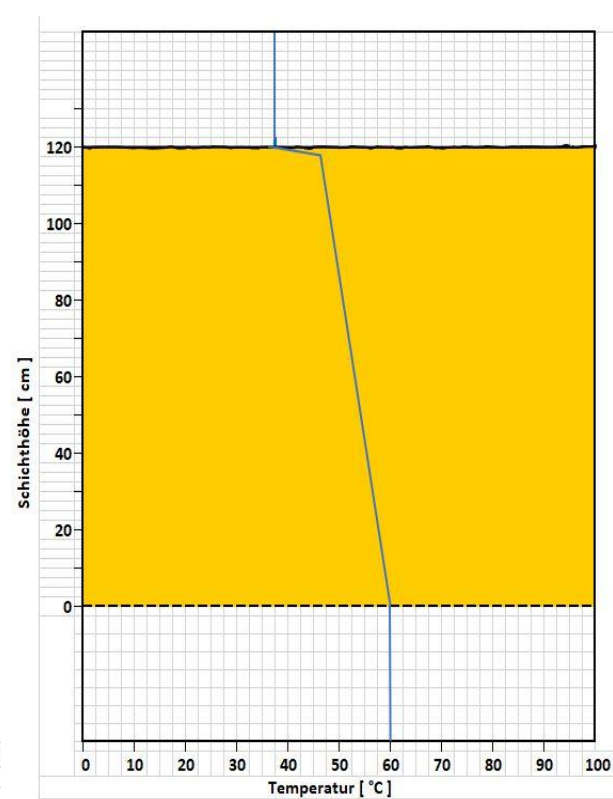
Temperaturverlauf in der Grünmalzschicht der Darre



Start Darre



Schwelken



Durchbruch

Das Schwelken

Technologischer Aspekt:

Nachlösevorgänge im Grünmalz in Abhängigkeit der Feuchtkugel-Temperatur und Dauer, bis hin zur teilweisen Überlösung mit z.B. Zufärbung.

Die gebildeten Enzyme sind in Abhängigkeit des Wassergehalts im Korn temperaturempfindlich.

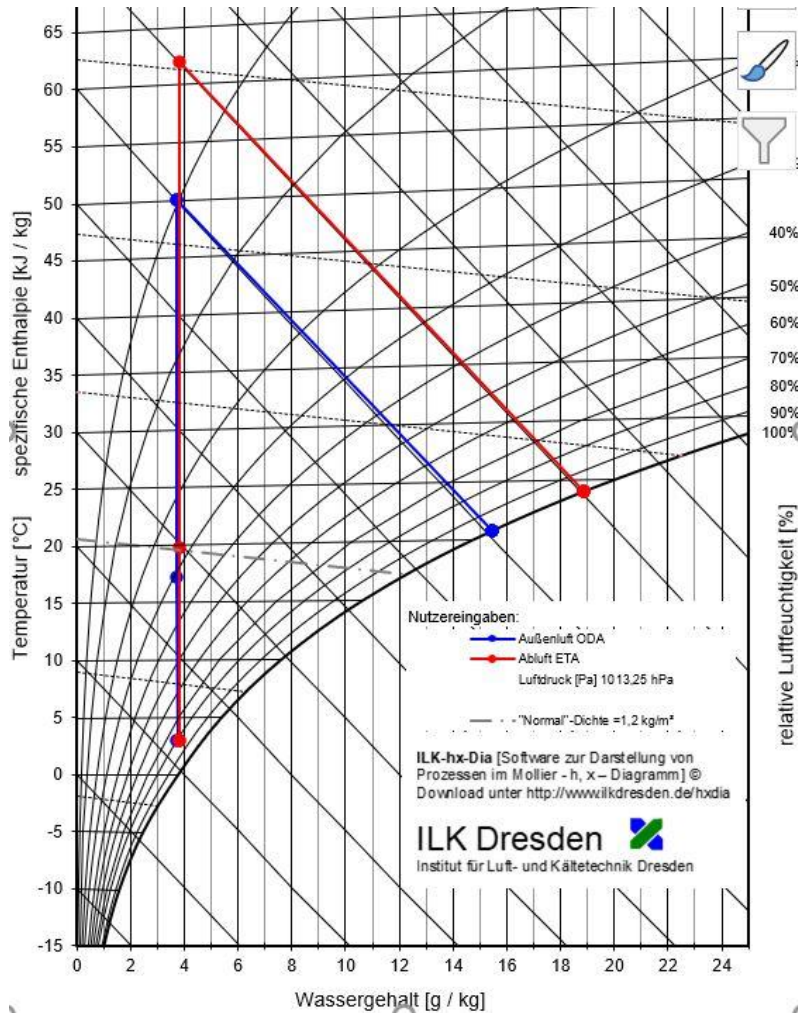
“Selbstschutz“: Solange freies Wasser vorhanden ist, kann die Korntemperatur aufgrund der Verdunstungskälte nicht überhitzen !

“Schonende“ Trocknung:

Aufgrund des “Selbstschutz“-Mechanismus und des stets vorhandenen Durchbruchs in der entsprechenden Schicht weniger ein Problem der Einströmtemperatur, sondern der Grünmalztemperatur (Feuchtkugel-Temperatur) und der Dauer der Nachlösung. Individuelle Grenzwerte -> Erfahrung aus Extrembedingungen im Sommer

-> Die Zunahme des Wassergehalts der Luft ist ein Maß für die Trocknung und wieder ein Fall für das Mollier-Diagramm

Das Schwelken im Mollier-Diagramm



Basis Frischluft:

Mittelwert Winterhalbjahr 3 °C, 82 % r.F., 3,7 g/kg

Vergleich:

1. "Schonende" Trocknung **50,0 °C**, 60,1 kJ/kg

-> Feuchtkugel-Temperatur **20,6 °C**, 15,3 g/kg

Frischluf nach WRG **17,2 °C**, 26,7 kJ/kg

2. "Forcierte" Trocknung **62,0 °C**, 72,3 kJ/kg

-> Feuchtkugel-Temperatur **24,0 °C**, 18,8 g/kg

Frischluf nach WRG **19,8 °C**, 29,4 kJ/kg

Auswertung: Die höhere Schwelktemperatur bewirkt:

Wasseraufnahme steigt: von Δx 11,6 g/kg auf Δx 15,1 g/kg

Heizbedarf steigt: von Δh 33,4 kJ/kg auf Δh 42,9 kJ/kg

Auswirkung: (in der Unterschieds-Periode)

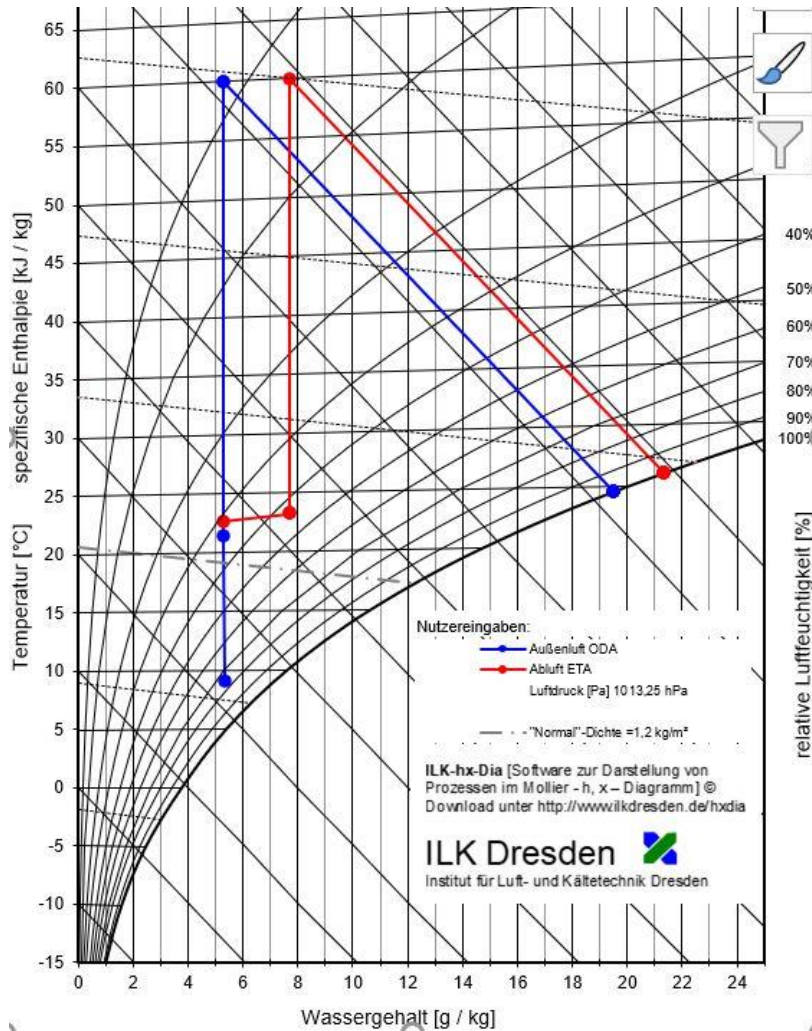
bei konstanter Lüfterleistung: **Zeitgewinn 23%** oder

bei konstanter Zeit: **Stromersparnis 40%**

Spez. Wärmebedarf: $\Delta h/\Delta x=2,88$ kJ/g, $\Delta h/\Delta x=2,84$ kJ/g

Wärmeersparnis 1,3%

Entscheidungshilfe Austausch WRG



Glasrohr-WT Darre Rohre irreparabel gebrochen:

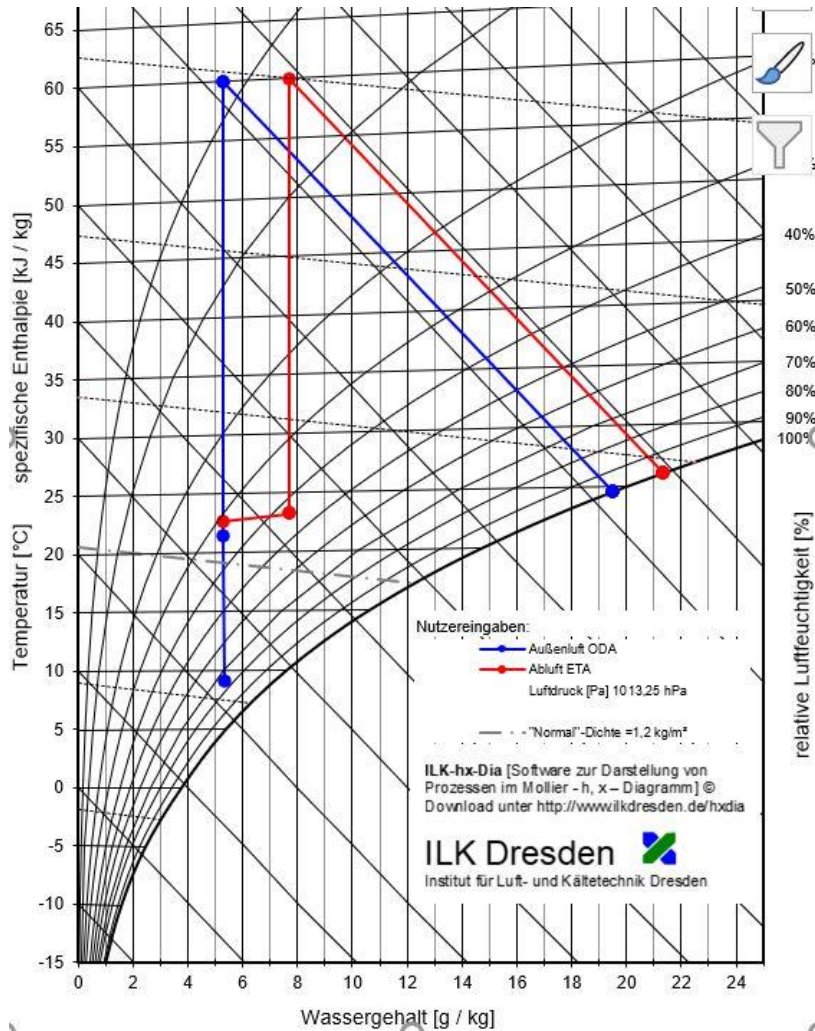
Beispiel: Mittleres Ausmaß -> entsprechend 15% Rückluftanteil

Befürchtungen:

- Zufärbung des Malzes, abhängig von individuellen Erfahrungen
- Höherer Stromverbrauch
- Höherer Wärmeverbrauch

-> Objektive Beurteilung mit Mollier-Diagramm

Entscheidungshilfe Austausch WRG



Basis Frischluft: Jahres-Mittelwert: 9°C, 75 % r.F

Datenpunkte Mollier-Diagramm	ohne Rückluft			mit 15% Rückluft		
	Temperatur °C	Wassergehalt g/kg	Enthalpie kJ/kg	Temperatur °C	Wassergehalt g/kg	Enthalpie kJ/kg
Außenluft	9,0	5,3	22,5	9,0	5,3	22,5
nach WT (80%)	21,4	5,3	35,1	22,6	5,3	36,3
vor Erwärmung	21,4	5,3	74,4	23,2	7,7	43,0
Schmelktemp.	60,0	5,3	74,4	60,0	7,7	80,7
Ablufttemp.	24,5	19,5	74,4	26,0	21,3	80,7
Diff. Wassergeh.		14,2			13,6	
Diff. Enthalpie			39,3			37,7
Spez. Energie kJ/g		2,768			2,772	
Energieverbrauch %		100			100,16	
Trocknungsleistung %		100			95,77	
Stromverbrauch %		100			109,02	

Entscheidungshilfe Austausch WRG

Auswertung der Erkenntnisse aus dem Mollier-Diagramm:

Beispiel Mälzerei:

- Malzproduktion: 30.000 t/a
- Stromdaten: Spez. Stromverbrauch Darre 40 kWh/t FM, Strompreis 150 €/MWh
- Wärmedaten: Spez. Wärmeverbrauch Darre 700 kWh/t FM, Gaspreis 42 €/MWh (unterer Heizwert)

Finanzielle Auswirkungen:

- Stromkosten: Mehrverbrauch 3,6 kWh/t, Mehrkosten pro Jahr 16.200 €
- Gaskosten: Mehrverbrauch 1,1 kWh/t, Mehrkosten pro Jahr 1.386 €

-> Mit einer Einsparung von ca. 18.000 €/a kann eine Ersatzanschaffung des Glasrohr-Wärmetauschers nicht sinnvoll amortisiert werden

Empfehlung:

Statt Ersatz-Investition, Einbau eines Glasrohr-WT neuester Generation ("HiF", 94% Erwärmungsgrad)

-> Wärmeverbrauch sinkt auf 94,4 % oder 661 kWh, Einsparung 39 kWh/t oder 50.000 €/a

-> Damit lässt sich der Mehrpreis "HiF" vernünftig amortisieren.

Zusammenfassung

Das Mollier-Diagramm als täglicher Helfer des Mälzers bei allen Fragen rund um die Luft

- Technologie
- Energieverbrauch
- Investition

Dringende Empfehlung:

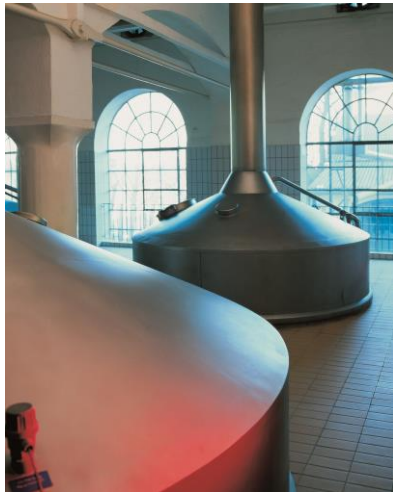
- Tagsüber auf dem Schreibtisch
- Nachts unter dem Kopfkissen

Vorlesung zum Download unter: www.bmt-weigt.de

....Alles klar ?



Vielen Dank fürs aufmerksame Zuhören



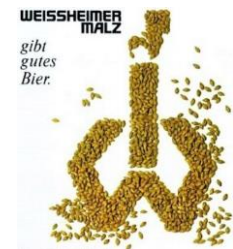
Fragen ?



Curriculum Vitae (short version)

Karl Weigt, Dipl.-Ing., Dipl.-Wirtsch.-Ing.

- 1974 – 1979 Weihenstephan, Brauwesen und Getränketechnologie
- 1979 – 1984 Air Fröhlich AG, Projektierung, Entwicklung
- 1992 – 2002 Weissheimer Malz, Betriebsleiter
- 2002 – 2017 Malteurop Deutschland, Geschäftsführer
- Seit April 2017 bmt Weigt, Handelsvertreter Malteurop



Quellenverzeichnis

- Folie 1 Bild Malteurop
- Folie 3-4 Bild IFBM
- Folie 5 Bilder raiffeisen.com, Malteurop
- Folie 6 Bilder Malteurop, beer4you.ch
- Folie 9 Agrarstrukturbericht LfL
- Folie 13 Carlsberg Research Laboratory 1981
- Folie 14 Braugersten-Gemeinschaft
- Seite 14 Die Technologie der Malzbereitung, Prof. Dr. Ludwig Narziß, 6. Auflage 1976
- Seite 16-18 Bilder IFBM
- Folie 20 Die Bierbrauerei, Band1: Die Technologie der Malzbereitung, Prof. Dr. Ludwig Narziß und Prof. Dr. Werner Back, 8. Auflage, 2011
- Folie 28 Dr. Ing. Bertram Sacher, TUM, Lehrstuhl für Brau- und Getränketechnologie
- Folie 24 H-x-Diagramm Condair, Wikipedia
- Folie 39, 41, 43, 48, 49, 50 Mollier-Diagramm, ILK, Dresden
- Folie 44 Die Technologie der Malzbereitung, Prof. Dr. Ludwig Narziß, 6. Auflage 1976
- Folie 53 Bilder Bayerischer Brauerbund

Die Malzbereitung

Die Malzbereitung