

Die Malzbereitung

Die Mälzerei-Praxis

Vorlesung
Rohstofftechnologie
08.12.2020



Lehrstuhl für Brau- und
Getränketechnologie

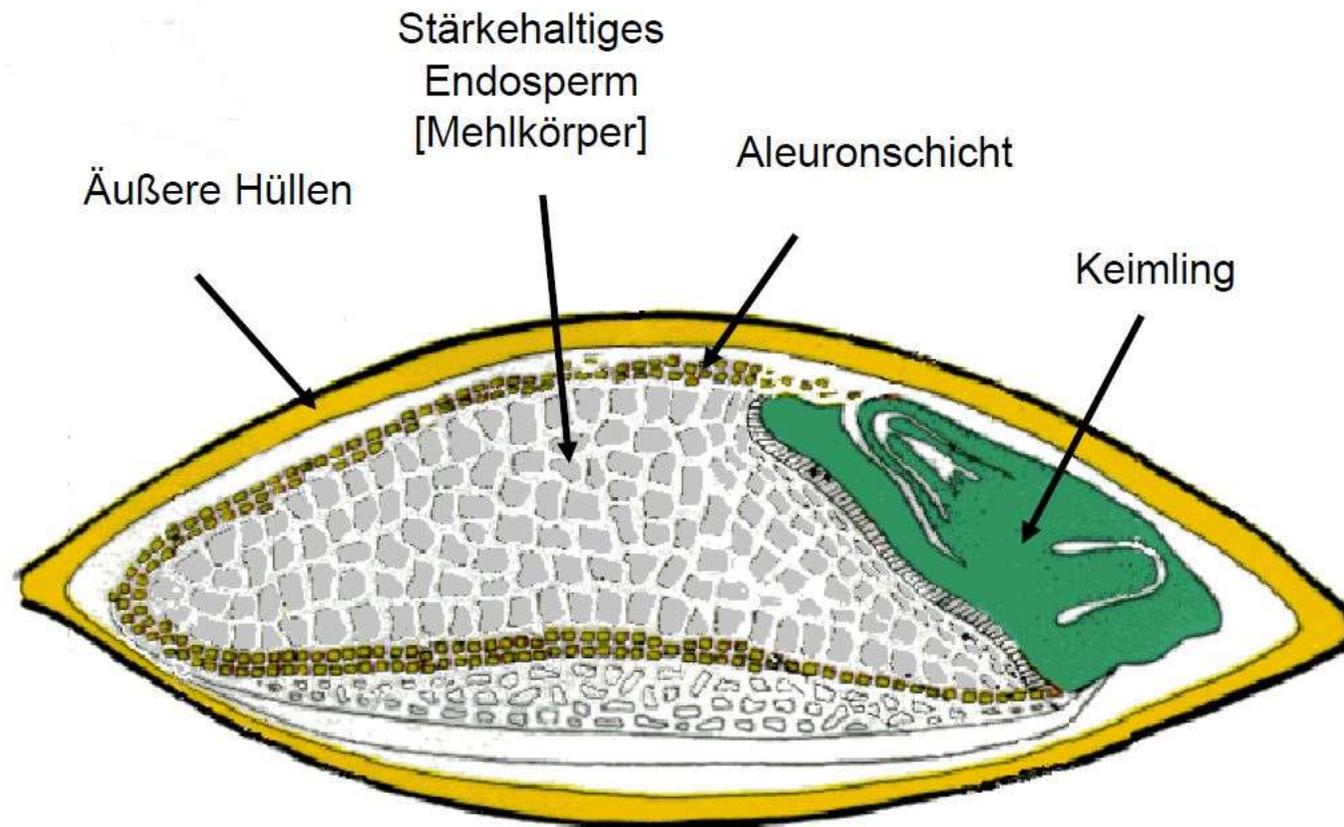
Gliederung

- 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, Investition
- Mälzereianlagen: Lagerung, Silo und Transport
- Gefahrenabwehr
- Curriculum Vitae
- Quellenverzeichnis

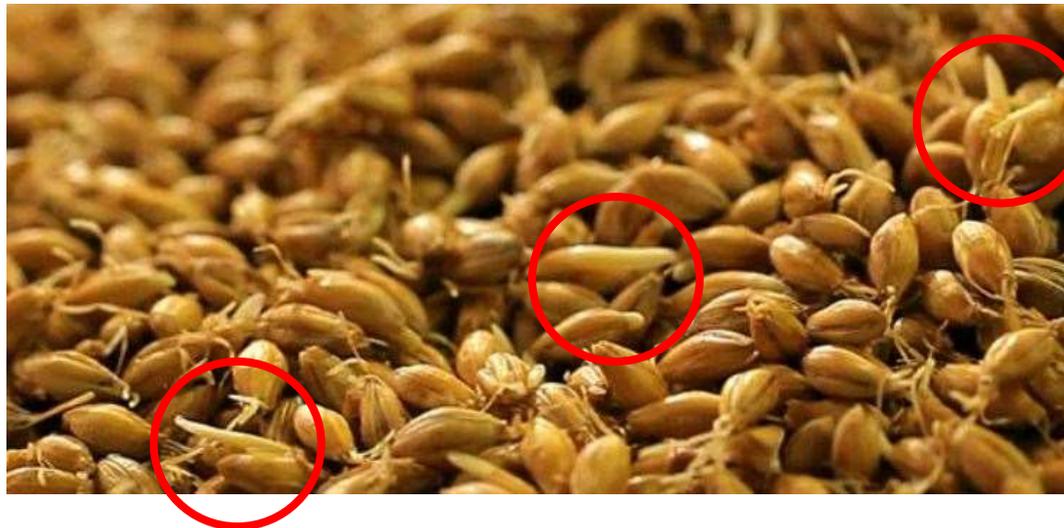
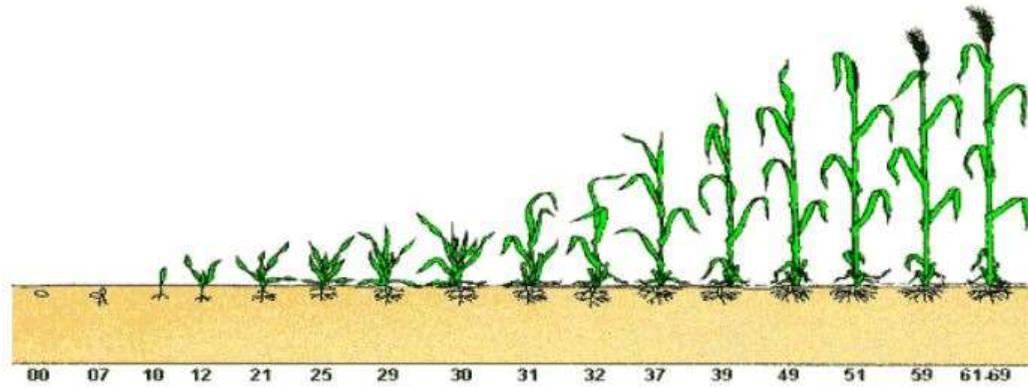
Die Malzbereitung „populär“



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 z.B. 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 (früher in der DDR)

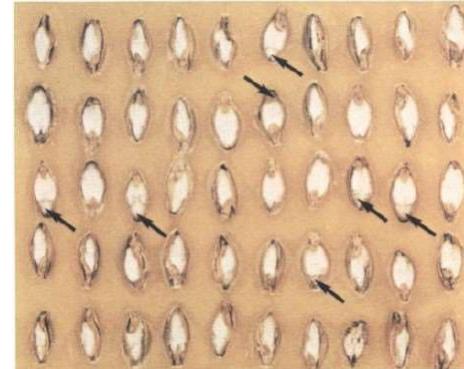
- Pflanzenbauliche Vorteile gegenüber Monokultur -> gesündere Bestände, Reduktion von Spritzmitteleinsatz
- Homogenitätsschädlich -> jede Gerstensorte erfordert unterschiedliche Mälzungstechnologie über alle Produktionsstufen

Die Homogenität des Malzes

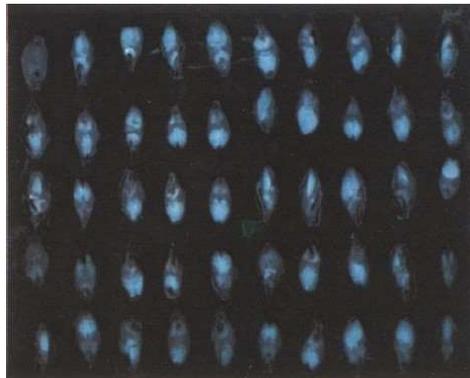
Beispiel: Modifikation und Homogenität nach Carlsberg Calcofluor-Färbung



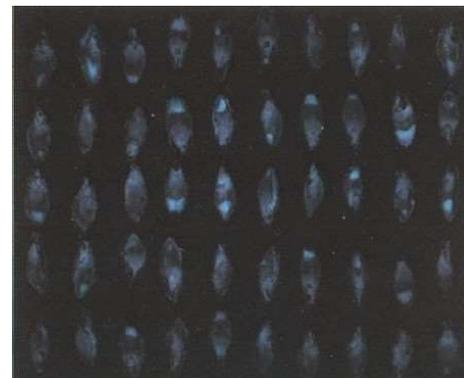
50 Malzkörner
im
Plastilinblock



Malzkörner
abgeschliffen vor
der Calcofluorfärbung

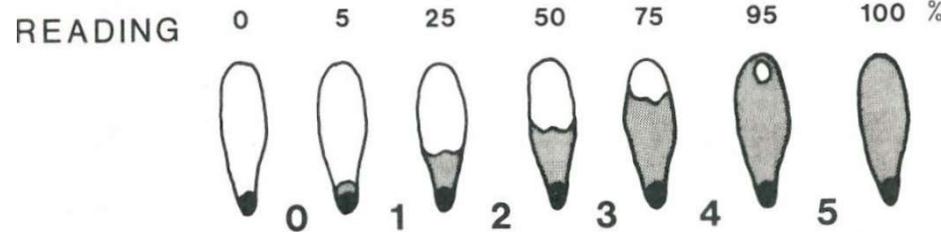


Körner gefärbt
unter UV-Licht
Modifikation 48%



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 %

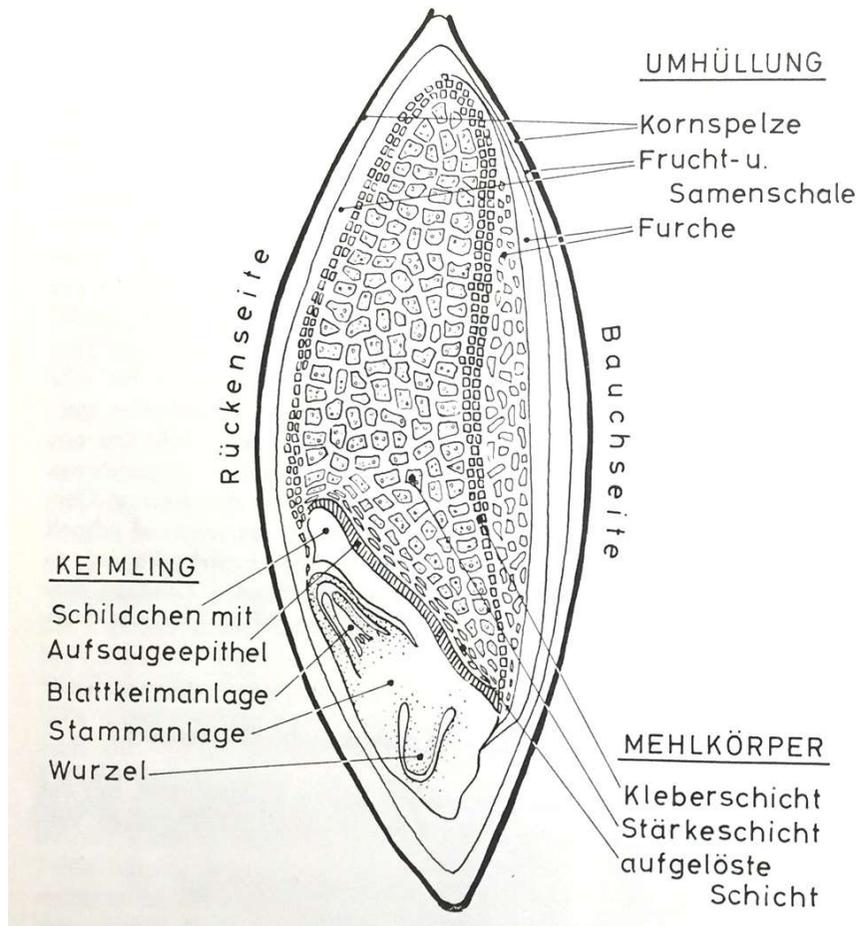


Brauweizen

11,0 – 13,0%

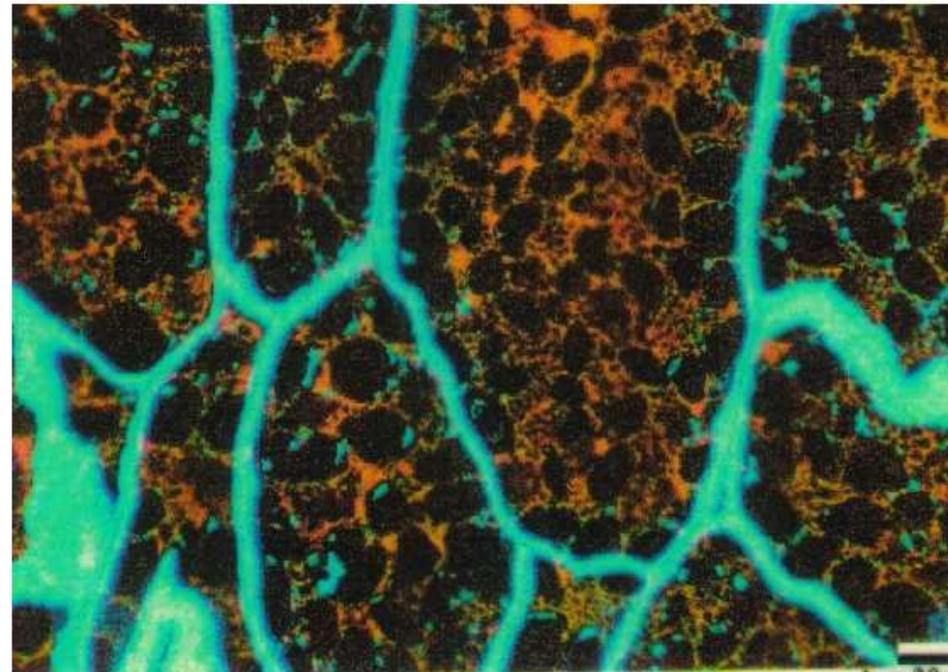
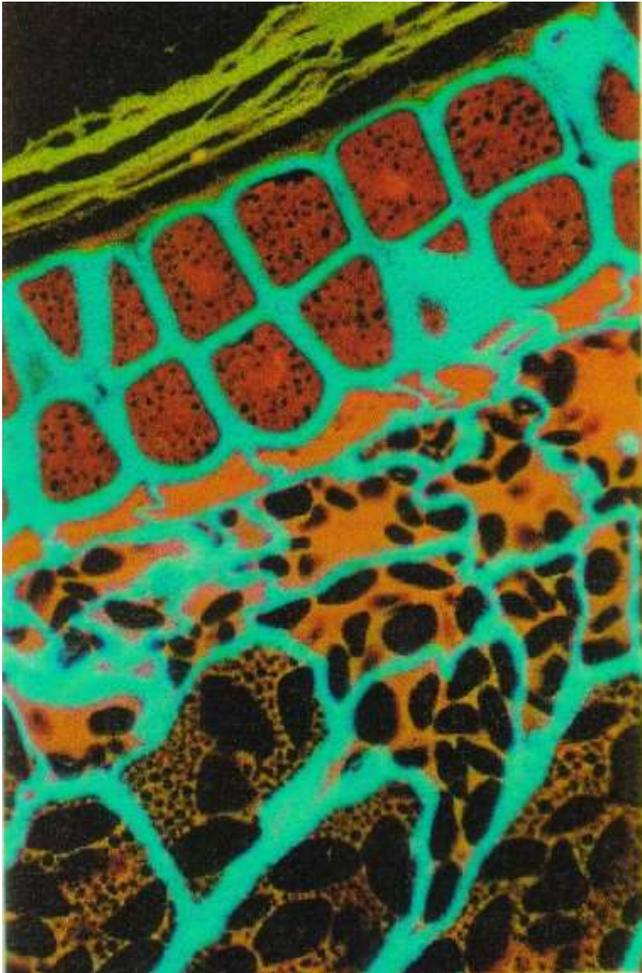
Eiweißgehalt

Der Eiweißgehalt, Eiweiß im Gerstenkorn

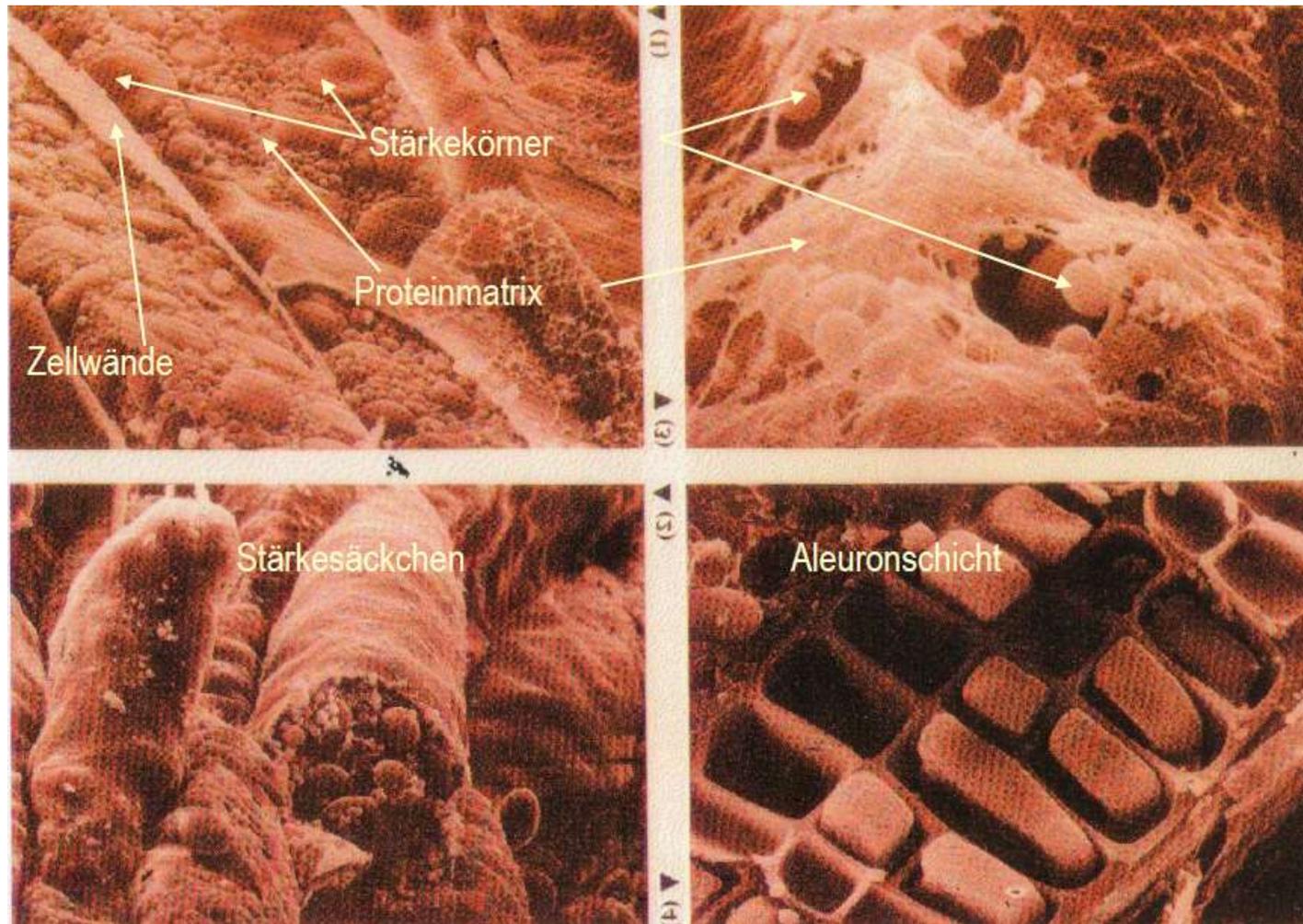


- Aleuronschicht als Klebereiweiß
- Unter der Aleuronschicht als Reserveeiweiß
- Mehlkörper als histologisches Eiweiß

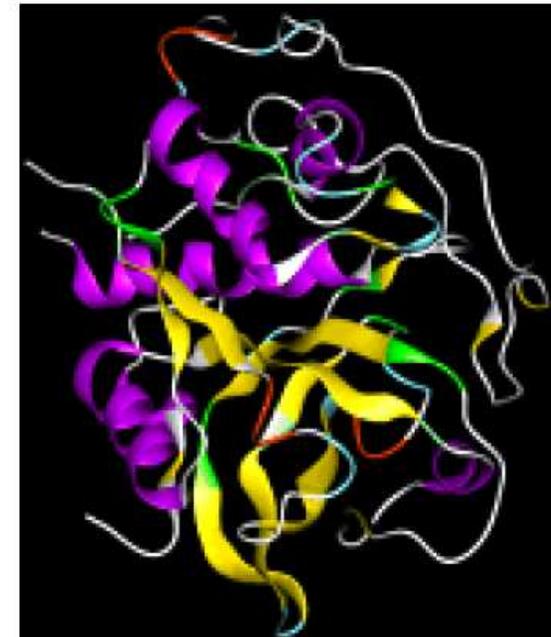
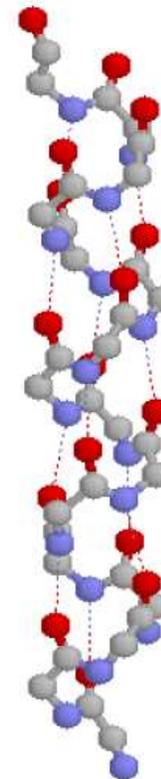
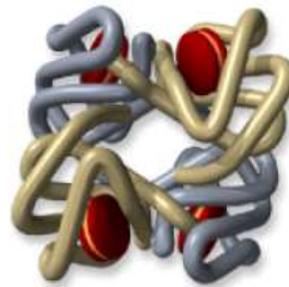
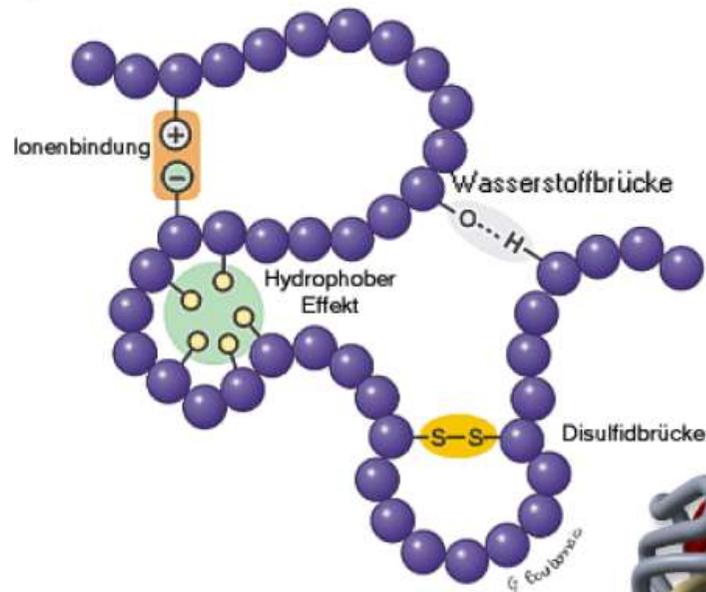
Der Eiweißgehalt unter dem Mikroskop



Der Eiweißgehalt unter dem REM



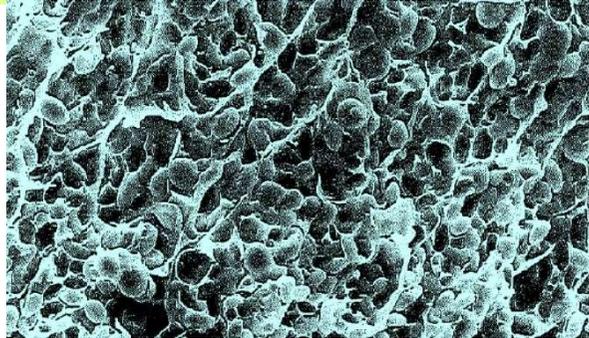
Der Eiweißgehalt Aufbau und Struktur



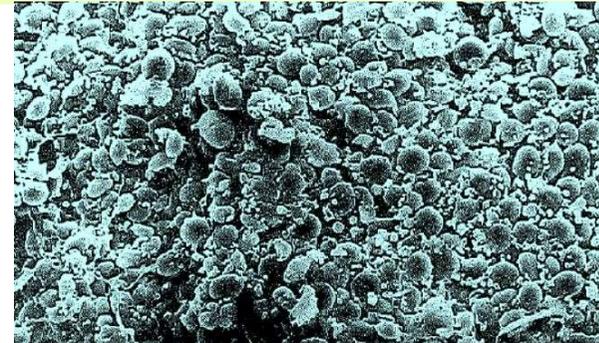
Der Eiweißgehalt Idee der Natur

- 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 ein Vorratsstoff beim Start zum Aufbau einer neuen Gerstenpflanze
- Enzymatische Zerlegung bei der Keimung in die Grundbausteine (Aminosäuren)
- 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)

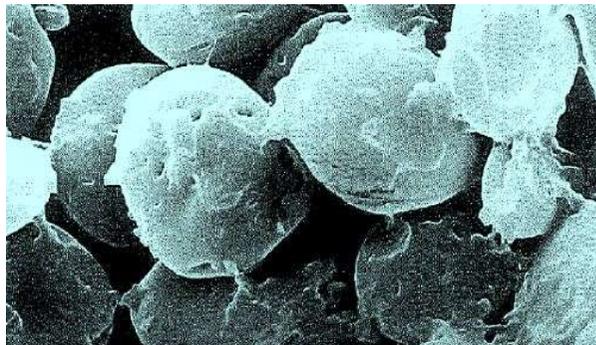
Der Eiweißgehalt Abbau im Endosperm



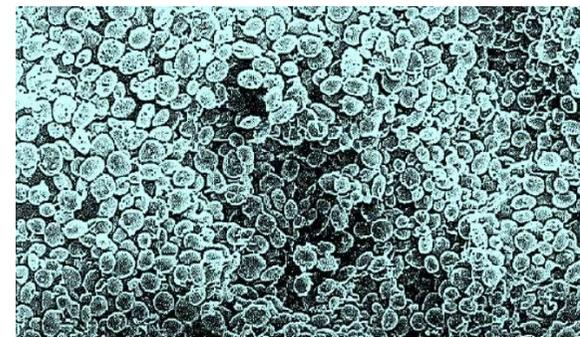
Vor der Keimung



2. Keimtag

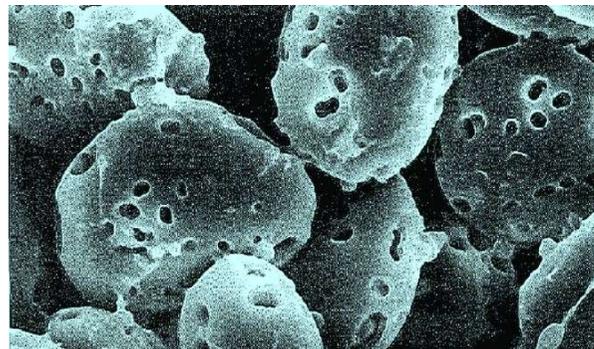


4. Keimtag

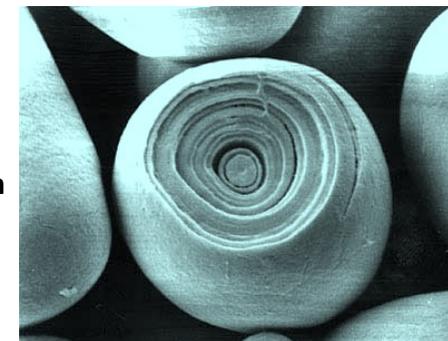


6. Keimtag

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 Dünge-Regimes 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 Düngberatung zur Absicherung der Eiweiß-Obergrenze
- Offizielle Beratung hängt dem züchterischen Fortschritt hinterher
- Landwirte haben “Urangst” vom Mälzer bzw. Erfasser gestossen zu werden (Es werden aber kaum noch Anlieferungen wegen hohem Eiweiß gestossen aber zunehmend wegen Unterschreitung der Untergrenze, z.B. bei unter 9,0%)
- Düngeverordnung, Verschärfung DüV April 20 (Trinkwasserschutz, EU-Auflage: “Rote Gebiete”)-> Einhaltung von Stickstoff-Salden. Zusätzliches Problem für die Bauern: Anwendungsverbot Chlorthalonil gegen Ramularia (keine Alternative !)
- Düngerkosten insbesondere bei niedrigen Erzeugerpreisen
- Mangelnde Erfahrung, wie die neuen ertragreichen Sorten zu führen sind.

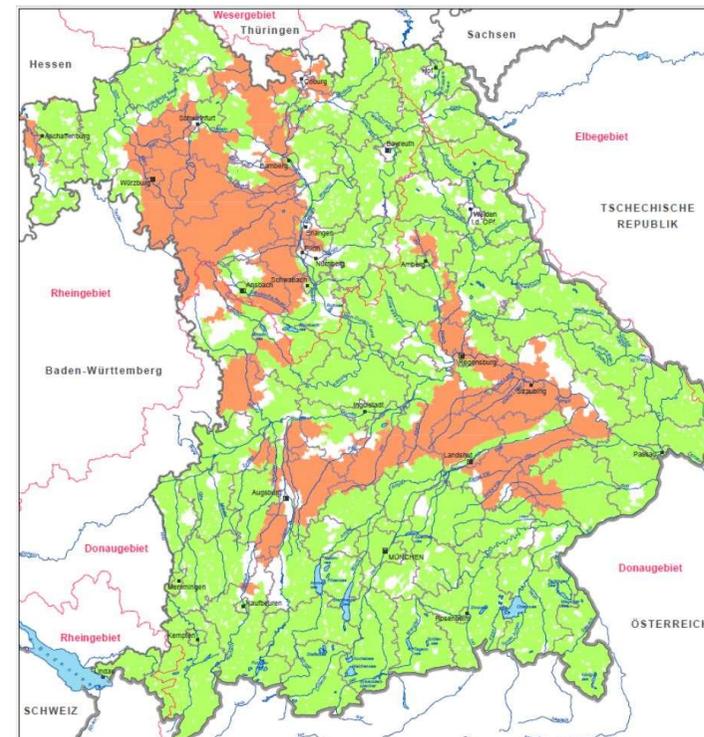
Der Eiweißgehalt Ursachen für Düngezurückhaltung

“Rote Gebiete”

Deutschland



Bayern



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



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 (ca. 90% der Energiekosten für die Bewegung, Aufheizung und Abkühlung der Luft)

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

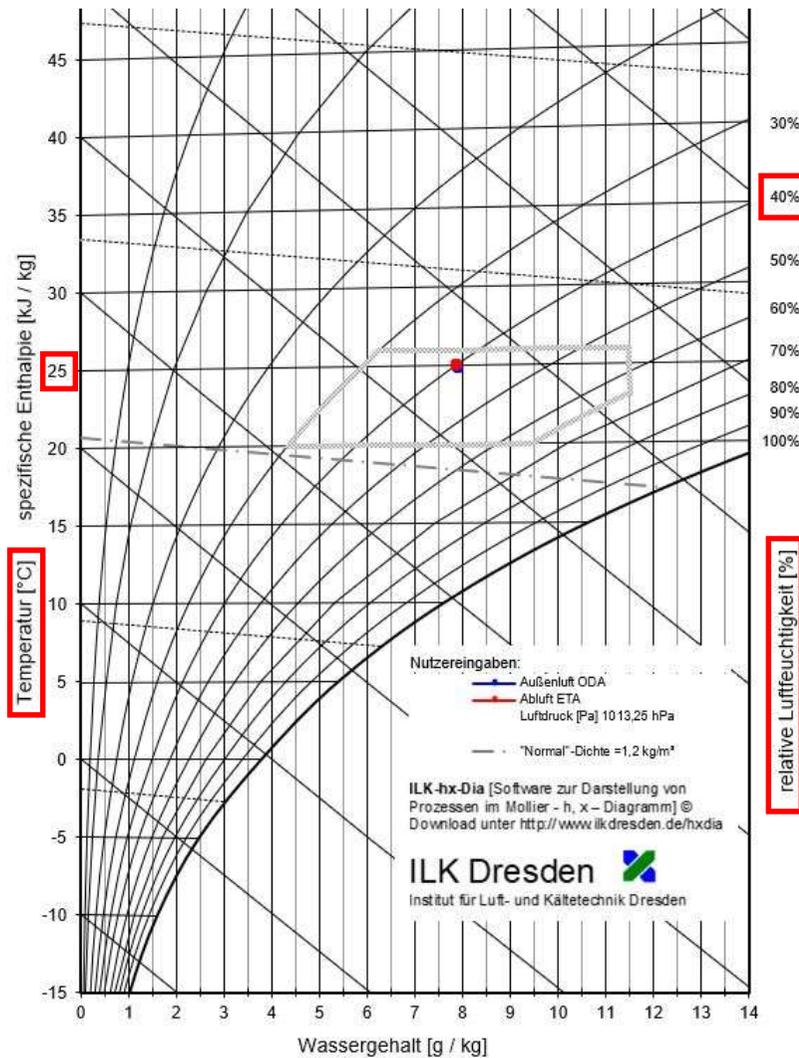
auch h,x-Diagramm (früher i-x-Diagramm)

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

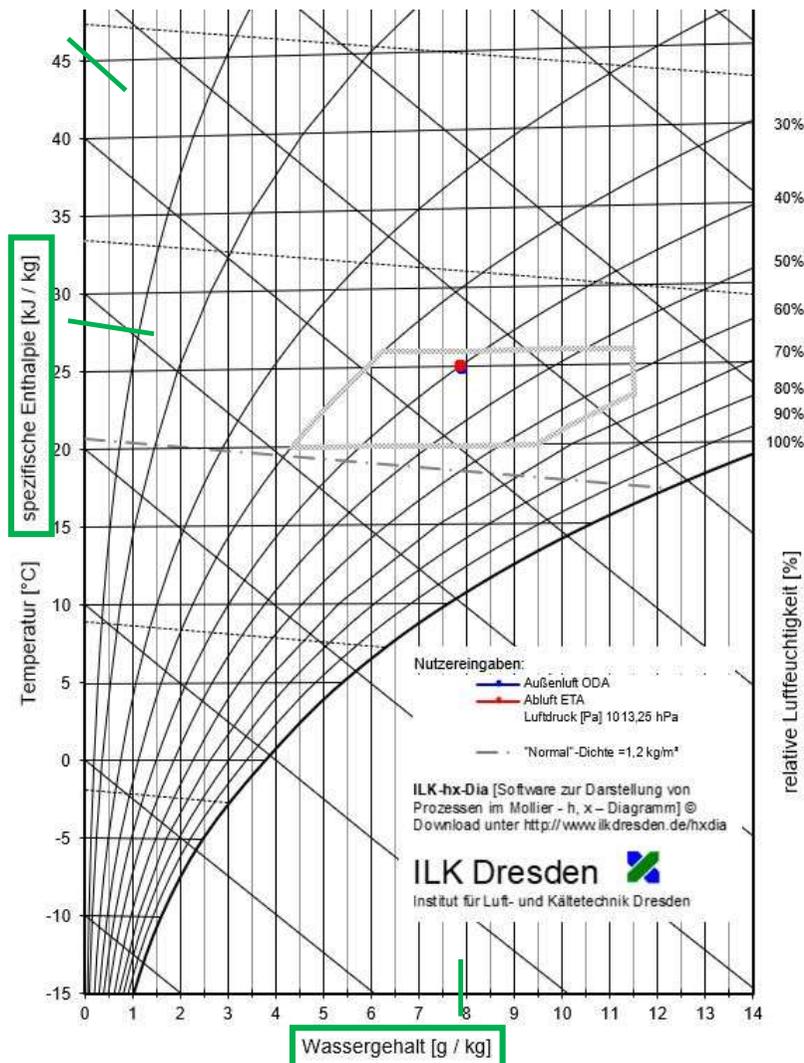
Jeweils 2 Parameter charakterisieren den Luftzustand eindeutig und damit auch alle anderen Parameter

Beispiel: Zustandspunkt Mollier-Diagramm



- Ausgangspunkt: 25 °C, 40 % r.F.

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

Beispiel: Zustandspunkt Mollier-Diagramm

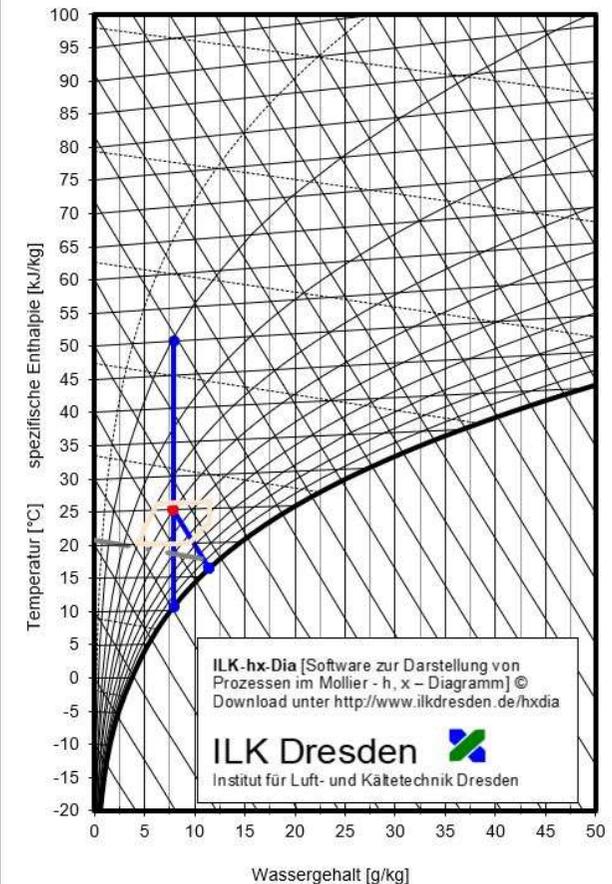
Diagramm und Datenpunkte bei: www.ilkdresden/hxdia

ILK Dresden 

ILK-hx-Dia (Software zur Darstellung von Prozessen im Mollier - h, x - Diagramm)
 Institut für Luft- und Kältetechnik / Bertolt-Brecht-Allee 20, D-01309 Dresden / Tel.: 0351 4081 662

Die weiß unterlegten Felder sind Eingabefelder.
 Es kann wahlweise die Temperatur **oder** die Enthalpie bzw. die relative Luftfeuchte **oder** der Wassergehalt eingetragen werden.
 Prozesszustände im Nebelgebiet sind nicht zulässig. Die Eingabe des Massestrom ist für die Diagrammdarstellung nicht relevant.

Luftdruck [Pa]	Der Normalluftdruck beträgt 101 325 Pa, oft wird vereinfacht 1 bar (100 000 Pa) verwendet.										Massestrom	12.000 kg/h	
	Temperatur	Enthalpie	rel. Luftfeuchte	Wassergehalt	Temperatur	Wassergehalt	rel. Luftfeuchte	Taupunkttemperatur	Feuchtkugelttemperatur	Enthalpie	Dichte	Volumenstrom	wirksame Leistung
Bezeichnung	°C	kJ/kg	%	g/kg	°C	g/kg	%	°C	°C	kJ/kg	kg/m³	m³/h	kW
Außenluft ODA	10,6			7,90	10,6	7,9	99,5	10,5	10,6	30,6	1,24	9.703	
nach Ventilator	50,0			7,9	50,0	7,9	10,3	10,5	23,7	71,0	1,09	11.050	134,6
nach Sorption	25,0		40,0		25,0	7,9	40,0	10,5	16,1	45,3	1,18	10.195	-85,6
nach WRG						7,9							
nach Befeuchtung		45,3	100,0		16,1	11,5	100,0	16,1	16,1	45,3	1,29	9.317	#WERT!
nach 5						11,5							
nach 5						11,5							
nach 6						11,5							
Zuluft						11,5							
												12.000	kg/h
Abluft ETA	25,0		40,0		25,0	7,9	40,0	10,5	16,1	45,3	1,18	10.195	
nach Abluftbefeuchter						7,9							
nach WRG						7,9							
nach Regenerationsheizer						7,9							
nach Regeneration						7,9							
nach Abluftventilator						7,9							
nach 6						7,9							
nach 7						7,9							
Fortluft						7,9							



Weichhaus-Erwärmung

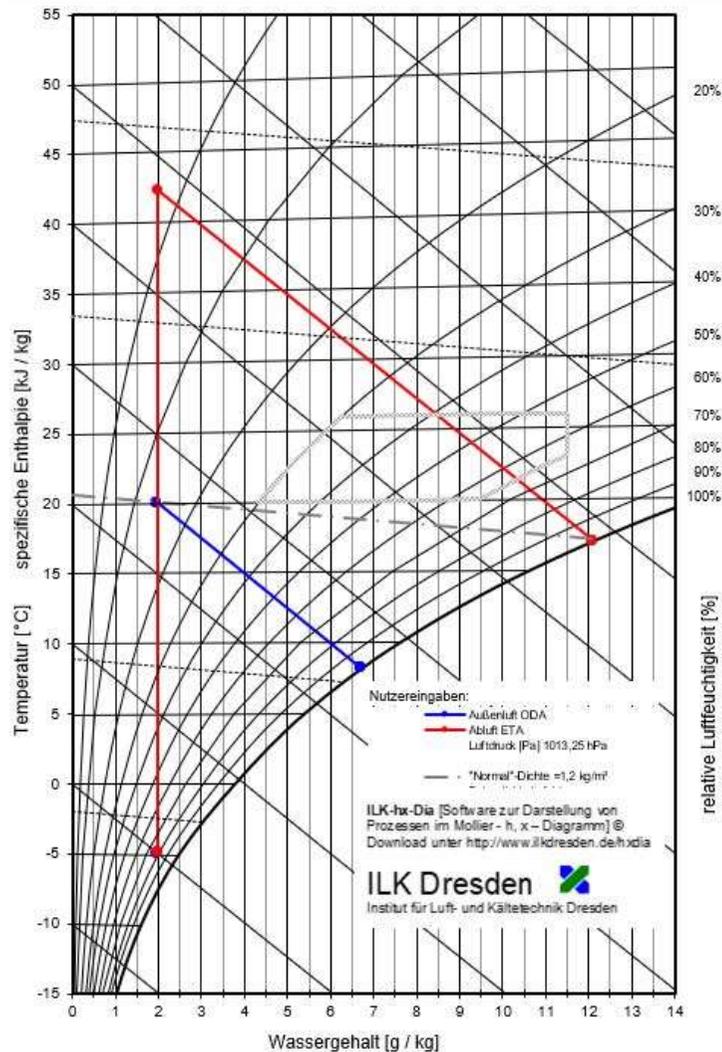
Winterprobleme:

- 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 (Luftmenge in der Trockenweiche reicht ohnehin nicht aus!)

Praktische Lösung:

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

Luftkonditionierung Keimkasten

Furcht vor Austrocknung und Überhitzung des Keimguts

- > Wasserverdüsung unter Druck
- > Zuluftkühlung mit Kälteanlage

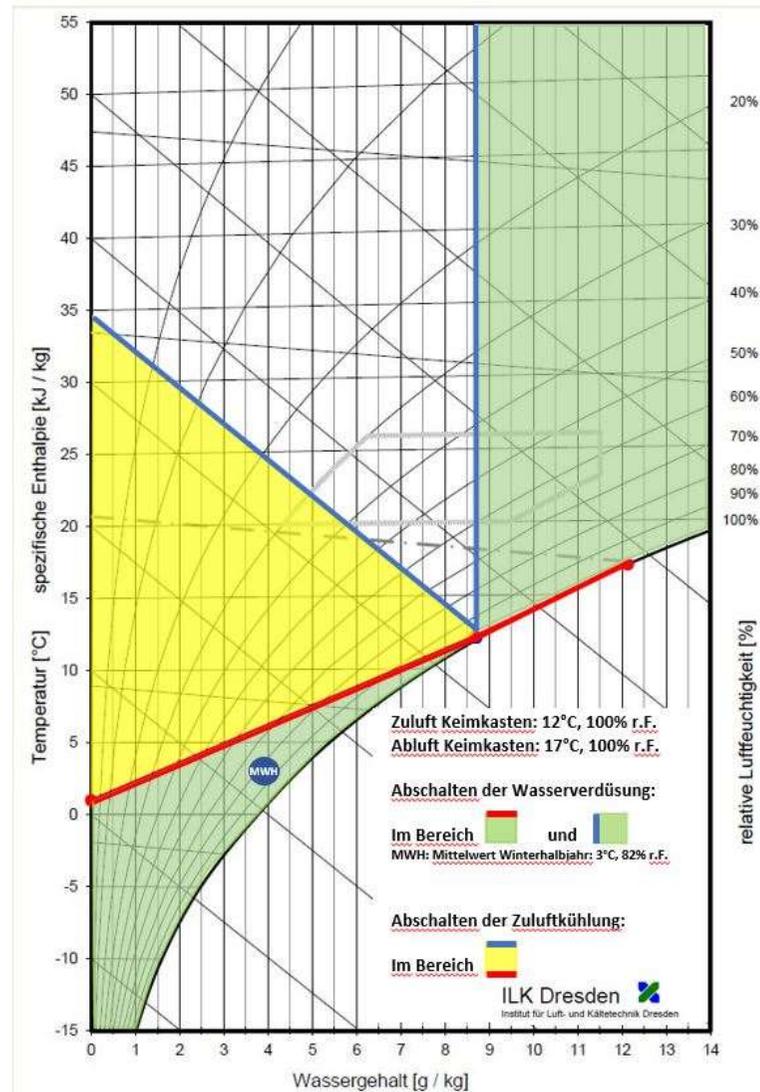
Kosten für:

- Frischwasser
- Pumpenenergie
- Abwasseraufbereitung
- Antriebsenergie, Wartung der Kälteanlage

Wirklich immer nötig ?

- > Es lohnt einen Blick ins Mollier-Diagramm !

Luftkonditionierung Keimkasten



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 (senkrecht):

Grenzlinie Wassergehalt

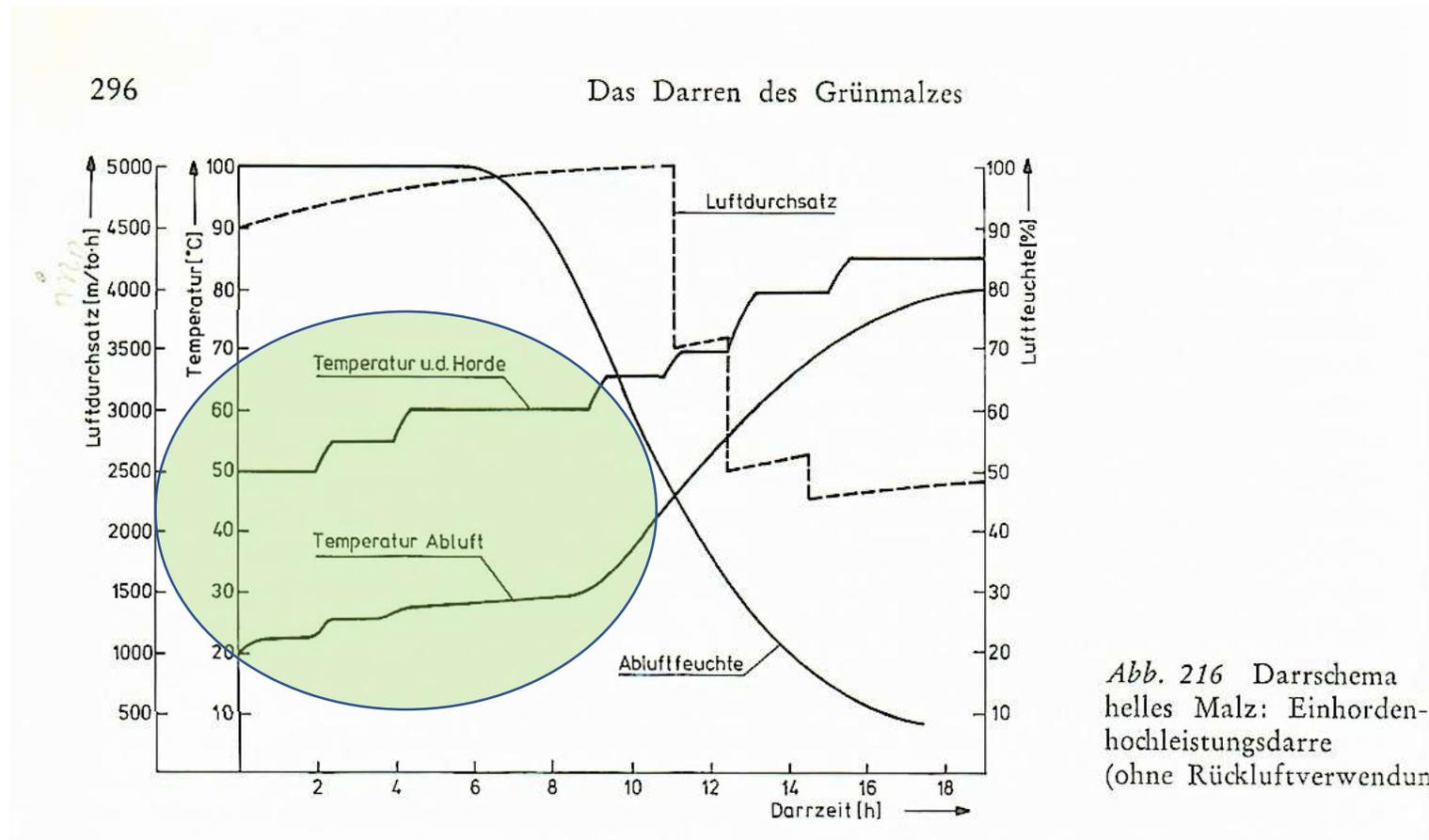
-> Jeder Außenluftzustand mit einem höheren Wassergehalt führt nach der Kühlung auf KK-Eintrittstemperatur zur Sättigung der Luft

Gelbes Feld:

Adiabatische Abkühlung bei Wasserverdüsung unterhalb der KK- Eintrittstemp. Bei r.F. 100%
-> Abschalten der Kälteanlage

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

Das Darren des Grünmalzes



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

Das Schwelken

Physikalischer Aspekt:

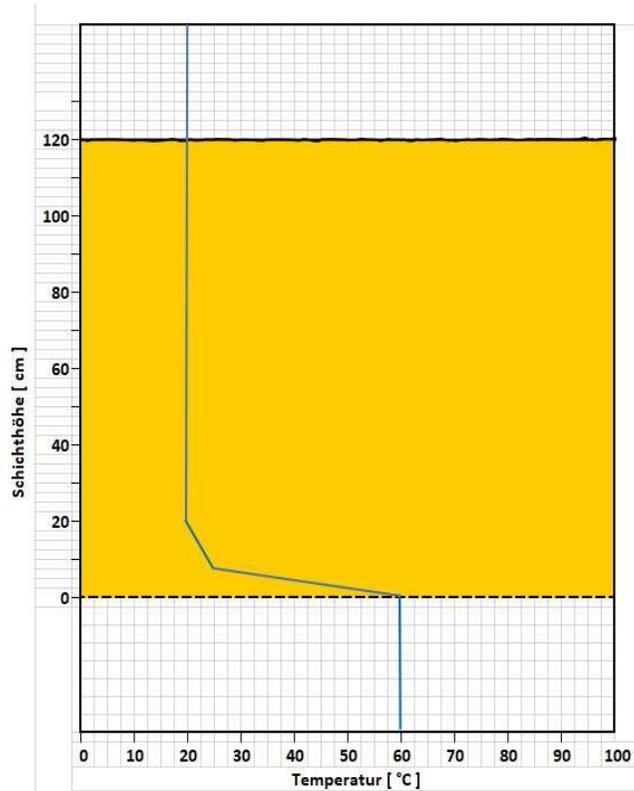
Erwärmter Luft-Massenstrom strömt durch das feuchte Grünmalz, nimmt adiabatisch freies Wasser auf bis hin zur Sättigung. Das Grünmalz erwärmt sich bis zur Feuchtkugel-Temperatur

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"

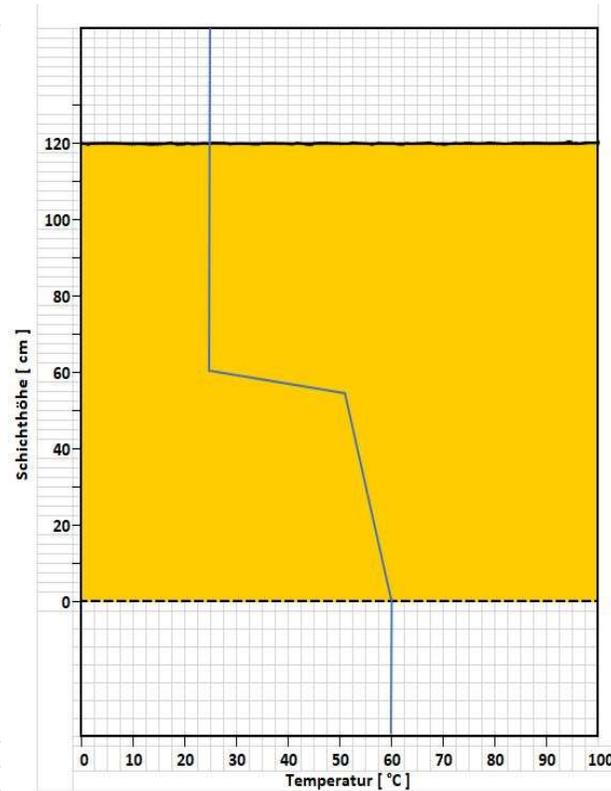
Dieser "Durchbruch" findet aber schon nach kurzer Zeit in der untersten Schicht statt und wandert nach oben.

Das Schwelken

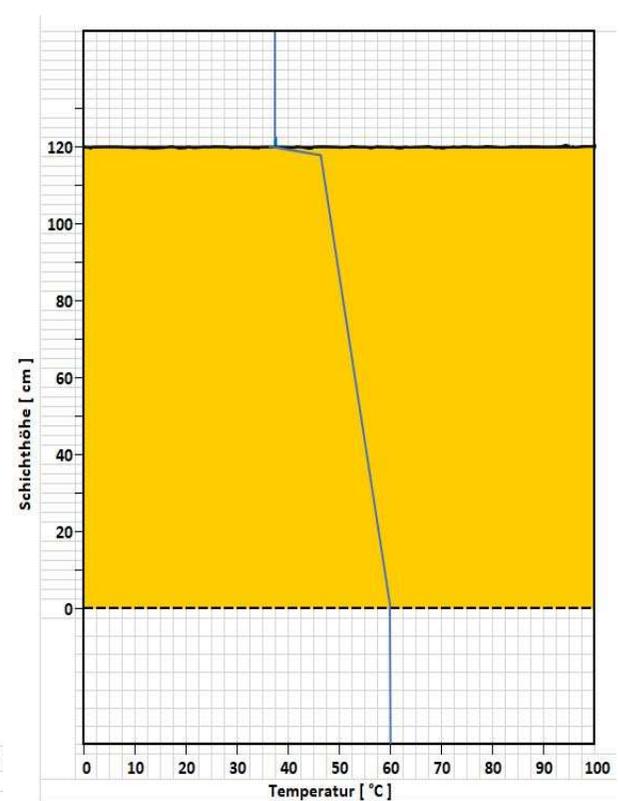
Temperaturverlauf in der Grünmalzschicht der Darre



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.

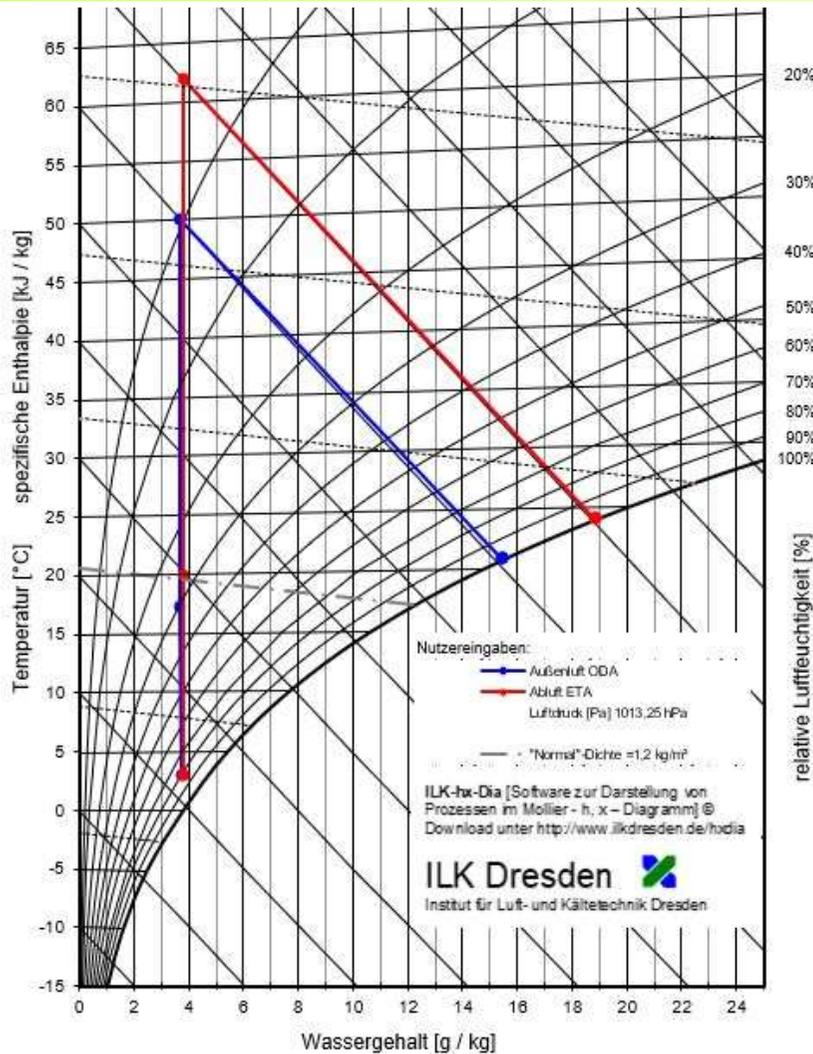
“Selbstschutz“: Solange freies Wasser vorhanden ist, kann die Korntemperatur aufgrund der Verdunstungskälte nicht überhitzen !

“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
 Frischluft 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
 Frischluft 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)

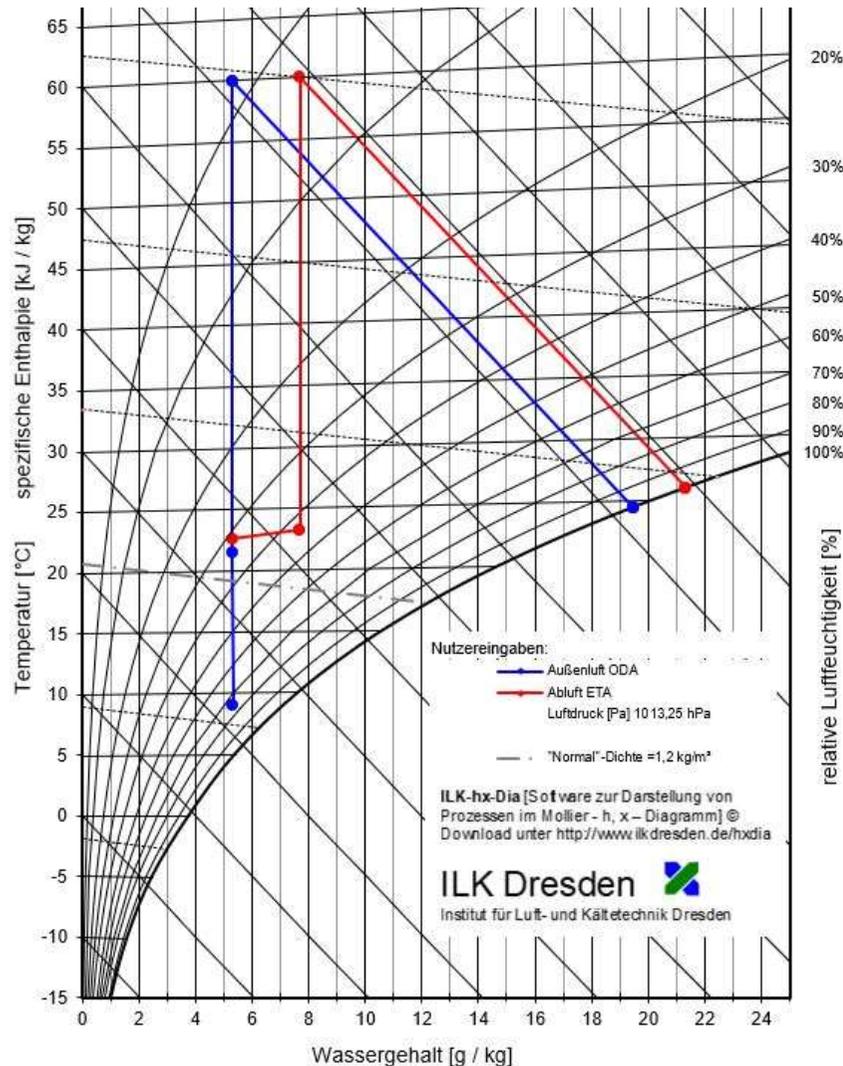
bei konstanter Lüfterleistung: **Zeitgewinn 23%** oder

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:

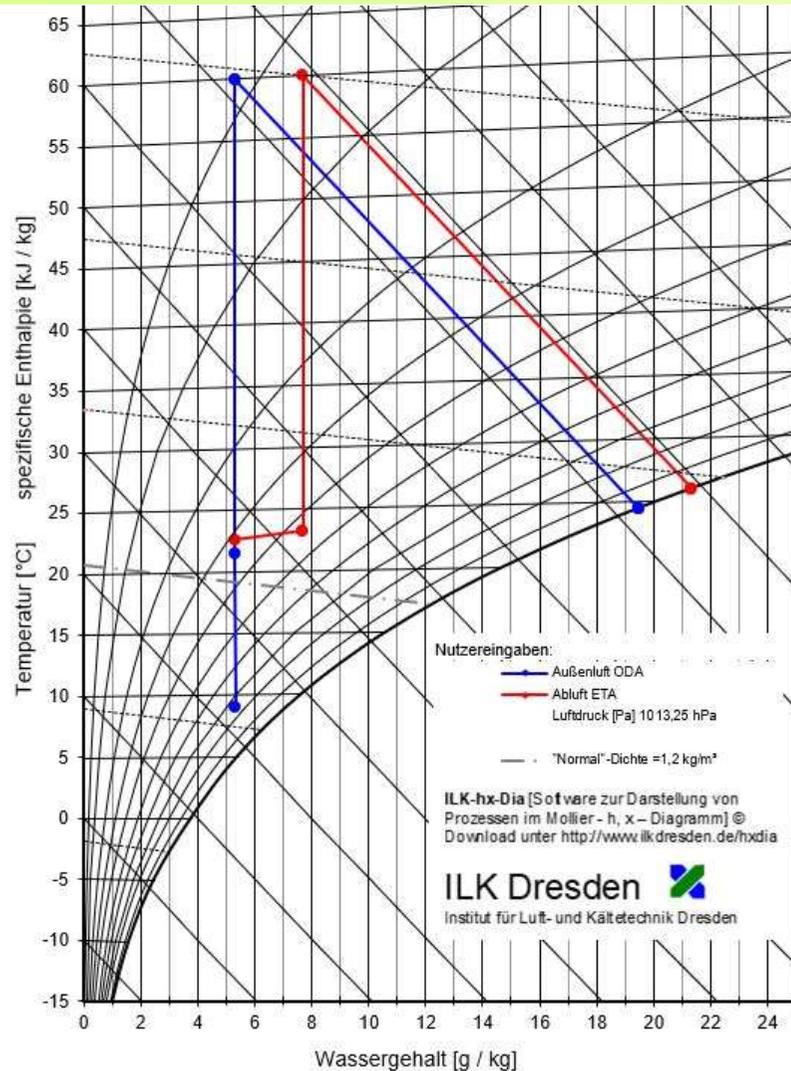
Beispiel: Mittleres Ausmaß -> entsprechend 15% Rückluftanteil

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 Mollier-Diagramm

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

Mälzereienanlagen: Lagerung

Braugetreide wird 1x/a geerntet, aber 365 d/a benötigt
-> die gesamte Jahresmenge muss gelagert werden.

Die wichtigste Eigenschaft von Braugetreide: **Keimfähigkeit**

Aufgabe des Lagerhalters:

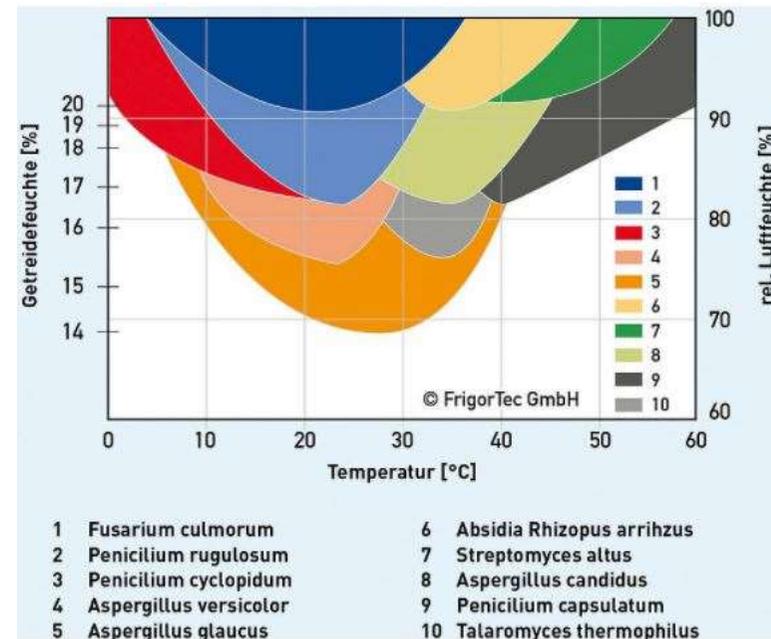
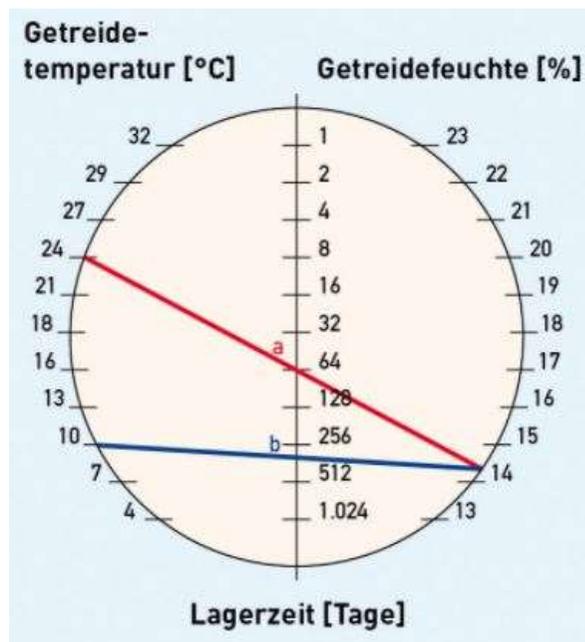
- Gesunderhaltung des Lagerguts
- Werterhaltende, noch besser wertsteigernde Lagerung
- Abwehr von Bedrohungen

 **Knowhow und Technik**

Mälzereianlagen: Lagerung

Getreide, frisch vom Feld ist i.d.R. warm, manchmal feucht und gibt zumindest am Anfang "Schwitzwasser" ab

Eine sichere Lagerdauer ohne Wertverlust hängt im Wesentlichen von der Temperatur und der Feuchte ab



Mälzereianlagen: Lagerung

Bei massiven Lagerpilzbefall -> Ware verdirbt:

- Keimfähigkeit geht verloren
- Entstehung von Mykotoxinen z.B. DON, ZEA, OTA
- Verkehrsfähigkeit geht verloren

Max-Wert $\mu\text{g}/\text{kg}$ (ppb): Deoxynivalenol 1000, Zearalenon 100, Ochratoxin A 5

Bedrohung der Qualität durch Insekten

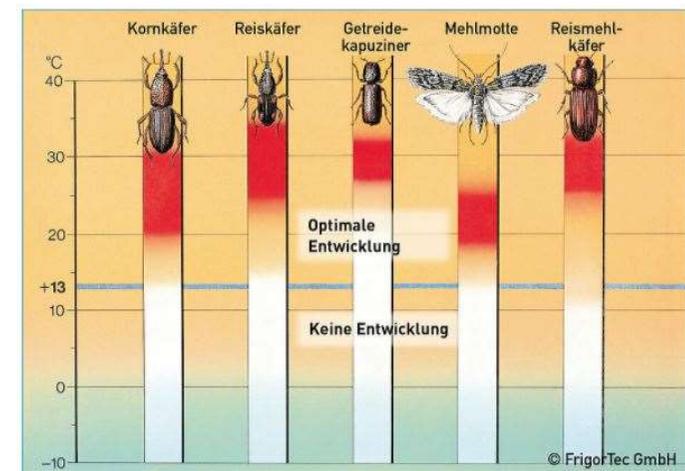
Achtung! Auch unter 13°C: **Hot Spots!**

Vermehrungsstarke Nester durch
Körperwärme und feuchte Ausscheidung

Weitere Bedrohungen:

Vögel, Nager, Regen- und Kondenswasser

☞ **Bauliche Vorkehrungen**



Mälzereianlagen: Lagerung

Regelmäßige Kontrolle des Lagers unabdingbar!

1. Sensorisch:

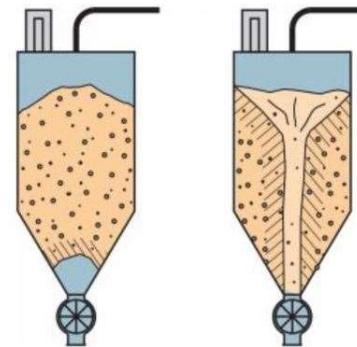
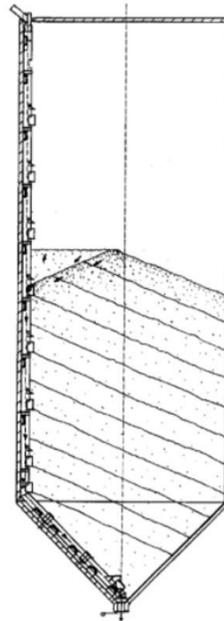
- **Sehen**: Staubablagerungen (Hygiene, Behinderung Luftdurchgang, Explosionsgefahr), Bauliche Öffnungen, Schädlingsspuren (Kot, Laufspuren, Fraßspuren), Tropf- Kondensat-, Regenwasser-Spuren, grüne Auskeimungen (z.B. Kondensat tropft von der Dachkonstruktion)
- **Riechen**: Muffiger Geruch, Kotgeruch, "Käfergeruch",
- **Hören**: Plätschern, Vogelgezwitscher, Gurren, Flattern

Tip: Vogelabwehr mit kleinmaschigen Netzen gegen Tauben und Spatzen

2. Technisch:

- **Temperatur**: Im Getreide durch Stech-Thermometer oder Fühlergehänge
- **Probenahme und Analyse**: Keimfähigkeit, Wassergehalt
- **Schädlingsmonitoring**: Systematisch und professionell **Tip**: Outsourcing

Mälzereienanlagen: Lagerung und Silos



Mälzereianlagen: Lagerung und Silos

Die Auswahl eines passenden Silo-Systems basiert auf:

- Genauer Definition der Bedürfnisse
- Technischer und finanzieller Möglichkeiten
- Eingehen von Kompromissen

 Auswahlkriterien (ohne Anspruch auf Vollständigkeit)

- Gersten- oder Malzlagerung
- Flachlager vs. Silo (Beton vs. Stahl)
- Belüftungs-/Kühlmöglichkeit
- Beladungsmöglichkeit
- Entladungsmöglichkeit
- Automatisierungsgrad
- Produktschonung
- Lagermenge und Kapazität
- Batchgröße
- Investitionskosten
- Vermischung/Entmischung
- Auslaufverhalten (Schnellbacher Rohr)
- Eindringen tierischer Schädlinge
- Staubentwicklung
- Exschutz
- Kontrollmöglichkeiten
- Musternahme
- Sicheres Arbeiten
- Energiebedarf
- Anbindung an Malzproduktion
- Transportwege
- U.v.a.m.

Mälzereianlagen: Detail - Silo mit/ohne Konus

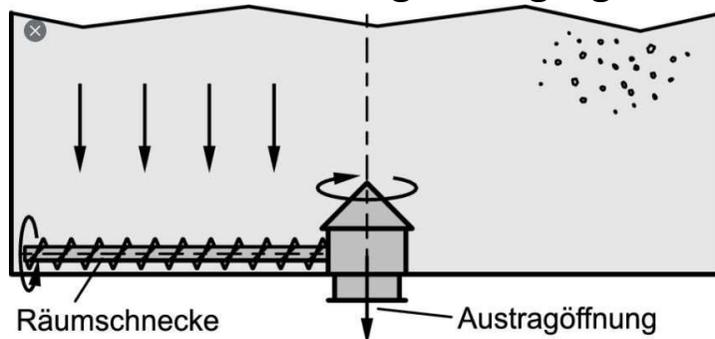
“Klassische einfache Lösung”: Silo mit Auslaufkonus

- **Vorteil:** Ausräumen mit wenig Technik und Energie
- **Nachteil:** Aufwändigere Konstruktion und Volumenverlust (2/3 gegenüber zylindrischen Flachbodensilo beim Konus)

☞ Bei großen Durchmessern häufig Flachbodensilos ohne Auslaufkonus -> Ausräumvarianten:

1. “Ausblasen” über Belüftungskanäle: Hoher Energieaufwand, hohe Staubentwicklung

2. **Ausräumschnecke:** Im Störfall begrenzte Reparaturmöglichkeit, da die Schnecke vollständig im Lagergut steckt



Mälzereienanlagen: Siloaustrag Vibrationsboden

3. Möglichkeit - Austrag mit Vibrationsboden:

- Platz sparend, nachträglicher Einbau möglich
- Geringer Energiebedarf
- Funktionssicher und wartungsarm
- Material schonend
- Kaum Staubentwicklung



Silo-Durchmesser 63m

Mälzereienanlagen: Transport

Jede Bewegung von Getreide - Gerste und Malz - führt zu ständigem Abrieb und Materialverlust – folglich:

Grundsätzliches Kriterium beim Transport von Gerste und Malz:

Materialschonend

Malz noch empfindlicher wie Gerste – **aber:**

Mechanische Belastung der Gerste führt zur **Vorbelastung** - auch ohne sichtbare Schäden mit der Folge:

Das Malz ist später umso anfälliger für Schäden wie Bruch oder Spelzenverlust

Mälzereianlagen: Förderer in der Praxis

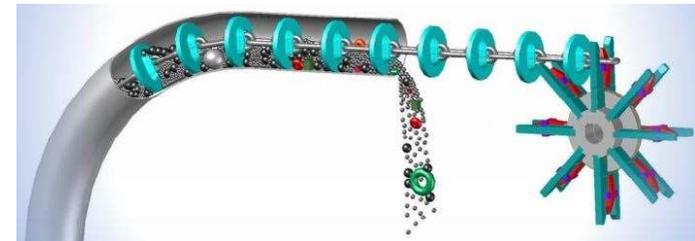
Keine systematische Auflistung der zahlreichen Fördersysteme und Detailbeschreibungen sondern **Anmerkungen aus der Praxis** für häufig eingesetzte Systeme

Pneumatische Förderung:

- Geringe Investitionskosten, platzsparend und flexible Gestaltung
- Hoher Energiebedarf, Hohe Belastung für Fördergut, **hoher Verschleiß**
- **Materialverlust** und Bruch (Qualitätseinbussen durch Fettsäureoxidation)

Rohrkettenträger:

- Förderung für Senkrecht und Waagrecht
- Platzsparend und flexible Gestaltung
- **Materialschonend** für kleine und mittlere Kapazitäten
- Relativ **hohe Investitionskosten**



Mälzereienanlagen: Becherwerk

Becherwerk, Elevator:

- Häufiger und wirtschaftlicher Vertikalförderer
- Große Höhen, große Kapazität, angemessener Energieverbrauch
- Geschlossenes System, absaugbar, staubfrei
- Brandgefahr durch Reibung bei Schiefelauf und Durchrutschen
- Explosionsgefahr durch Funkenschlagen der Becher (Fremdteile!)
- Schonende Förderung erfordert **besondere Aufmerksamkeit**

Zu beachten:

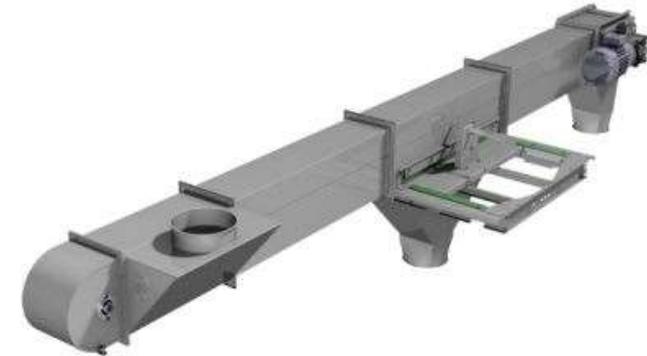
- Präzise Auslegung und Abstimmung Kapazität mit Becherfüllgrad und Gurtgeschwindigkeit mit max. **2,5 m/s** -> kein Zurückrieseln
- Becher ohne scharfe Kanten (Stahl vs. Kunststoff)
- Materialaufgabe in den aufsteigenden Gurt (nach Fallbremse)
- Abwurf analog Wurfparabel ohne harte Anschläge am Gehäuse
- Elevatorfuß an Becherumlenkung angepasst mit wenig Totraum, leicht zu öffnen und zu reinigen, ansonsten "Gammelstellen" und
- Käfernester mit ständiger Animpfung.



Mälzereianlagen: Trogkettenförderer

Trogkettenförderer (Redler):

- Weit verbreiteter Horizontalförderer
- Mittlere Längen, große Kapazität,
- Angemessener Energieverbrauch
- Geschlossenes System, absaugbar, staubfrei
- Geringe Explosionsgefahr
- Schnellverschluss zur Reinigung und Inspektion widerspricht Vorschriften zur Unfallverhütung
- Schonende Förderung erfordert **besondere Aufmerksamkeit**



Zu beachten:

- Präzise Auslegung und Abstimmung Kapazität mit Füllhöhe Trog und Kettengeschwindigkeit mit max. **0,6 m/s** bei Gerste bzw. **0,4 m/s** bei Malz (flache Schicht -> relative hoher Abrieb!)
- Gehäuse an Kettenumlenkung angepasst mit wenig Totraum und Vermeidung von "Mahlvorgängen"
- Besonderes **Problem: Zwischenabwürfe**

Mälzereianlagen: Trogkettenförderer

Problemstellung: Zur Beschickung einer Siloanlage werden Zwischenabwürfe für den Trogkettenförderer benötigt

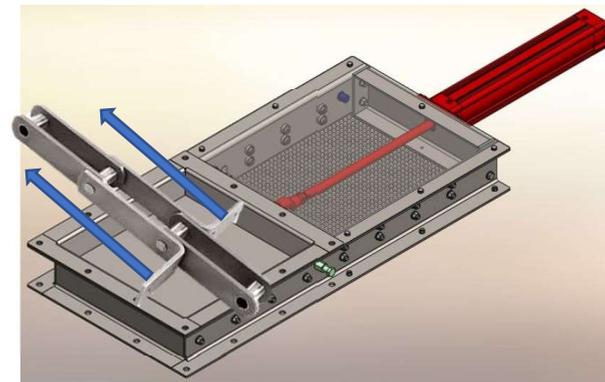
Beispiel: Eine Siloreihe mit 2x 10 parallelen Silos soll über einen TKF befüllt werden -
> der TKF benötigt 20 Abgänge im Ketten-Trog

Technische Lösung: Auslaufschieber im Trogboden

Problem: Höhenversatz am Schieberflansch

-> Die Mitnehmer der Kette laufen auf dem Trogboden und schneiden Körner an der Flanschseite

-> Bis zum letzten Schieber starke Bruchbildung



Mälzereienanlagen: Trogkettenförderer

Problemlösung:

Auslaufschieber nicht angeflanscht sondern als Teil des Trogbodens , der aus der bündigen, spaltarmen Stellung wegklappt

-> z.B. System MNKA Fa. Bühler

- Selbstreinigende Umlenkstation
- Automatische Kettenspannung
- Kunststoffmitnehmer
- Entkopplung Mitnehmer und Kette sorgen für ruhigen schlagfreien Lauf



Mälzereienanlagen: Bandförderer

Bandförderer

- Ebenfalls weit verbreiteter Horizontalförderer
- Große Längen, mittlere Kapazität,
- Relativ geringer Energieverbrauch
- **Materialschonender Transport**
- Offenes System, nicht effektiv absaugbar
- Bandaufgabe mit Staub und “Verspritzen” der Körner
- Geringe direkte Explosionsgefahr aber sekundär
- Brandgefahr durch Band-Schieflauf, Durchrutschendes Bandes sowie blockierte Laufrollen
- **“Staubschleuder”** durch statisch anhaftenden Staub
- Zwischenabwurf kompliziert und Staub emittierend
- Kontroll- und Reinigungsaufwand intensiv



Mälzereienanlagen: Fallrohre

Fallrohre

- Natürliche Schwerkraft-Förderung
- Geschlossenes System, absaugbar, staubfrei
- Geringe direkte Explosions- und Brandgefahren, aber Schwachstelle in einem möglichen Explosionsgeschehen meist nicht Druckstoß fest)
- **Extrem Verschleiß anfällig**
- Schonende Förderung erfordert **besondere Aufmerksamkeit**

Zu beachten:

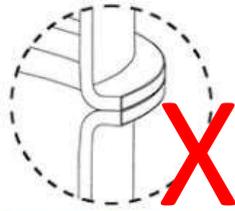
Die in der Gerstenspelze eingelagerten Quarz-Kristalle (SiO_2) wirken extrem abrasiv -> Abtragung von Blech und Stahl in kurzer Zeit, -> Bildung von scharfen Schnittkanten für das Korn sowie Löcher mit Material- und Staubaustritt



Verschleißschutzmaßnahmen erforderlich

Mälzereienanlagen: Verschleißschutz

Verschleißschutz zumindest für die Hauptwege der Mälzerei



Standard Bördelkante

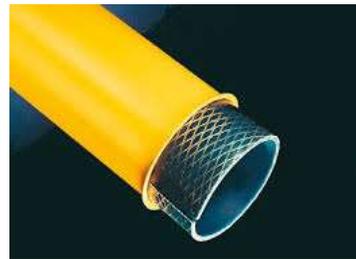
Blechrohre mit Bördelflansch und Ringschelle
Völlig ungeeignet (aber billig und leicht zu montieren!)



Blechrohre mit
Innenauskleidung



Auskleidung mit Rhino Hyde
Polyurethan mit Streckmetall
Auch als Wandschutz zu
verlegen



Auskleidung mit Schmelzbasalt
Auch als Wandschutz zu verlegen



Abwägung:

Kosten (Investition, Montage) – Nutzen (Einsparung Reparaturen, Reinigung, Ausfall)

Mälzereienanlagen: Fallbremsen

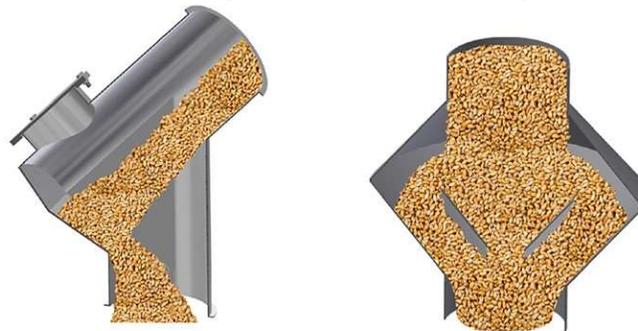
Fallbremsen im Fallrohrsystem

- Abbremsen der Fallgeschwindigkeit
- Zusätzlicher Verschleißschutz
- Produktschonung
- Kein Verspritzen von Körnern bei Aufgabe auf nachfolgende Aggregate
- Schonende Förderung erfordert **besondere Aufmerksamkeit**



2 Grundsätze zu beachten:

1. Keine Prallflächen, sondern immer Aufprall Getreide auf Getreide
2. Am Ende der Förderung muss Pralltopf selbstständig leer laufen



Mälzereianlagen: Wirtschaftlichkeit

Wirtschaftlichkeit: Materialschonender Transport und Lagerung

Beispiel: Mälzerei mit
50.000t/a Malzproduktion
60.000t/a Gerstenbedarf

Vergleich: Abrieb, Bruch etc. je **0,5% gut** gegenüber **1,5% bedenklich**

Verluste abzügl. Erlös Nebenprodukt

Malz 1%,	500t/a, 400-150 €/t	175.000.- €/a
Gerste 1%	600t/a, 200-150 €/t	30.000.- €/a
Wartungs- und Reinigungskosten		25.000.- €/a
Material		<u>20.000.- €/a</u>
Unnötige Verluste		250.000.- €/a

 **Interessante Amortisationszeit für Verbesserungen und Investitionen**

 **Dringende Empfehlung:** Schwachstellenanalyse über Stufenkontrolle

Wichtiger Nebeneffekt: Jede Vermeidung von Staub verringert das Risiko von Staubexplosionen und deren teure Verhinderungsmaßnahmen!

Mälzereienanlagen: Staubexplosion

Große Ereignisse sehr selten, dann aber mit ungeheurem, fatalen Zerstörungspotential

Roland-Mühle, Bremen
1979, 14 Tote



Malterie de la Moselle,
Metz
1982, 12 Tote



SEMABLA Blaye, Gironde
1997, 11 Tote



Mälzereienanlagen: Staubexplosionen

Die Vermeidung von Staubexplosionen erfordert höchste Aufmerksamkeit !

Meist Verkettung unglücklicher Umstände mit menschlichem Versagen:

Voraussetzungen:

- Brennbarer Staub
- Zündfähiges Gemisch mit Luft (nicht zu dünn, nicht zu fett)
- Wirksame Zündquelle

Zündquellen:

- Elektrische und statische Funken
- Funkenschlagen durch Maschinen
- Offenes Feuer, Maschinenbrand, Glut
- Arbeiten wie Schleifen, Trennen, Schweißen (Erlaubnisschein!)

Sonderproblem:

Nach leichter Verpuffung: Fatale **Sekundärexplosion** durch aufgewirbelten Staub



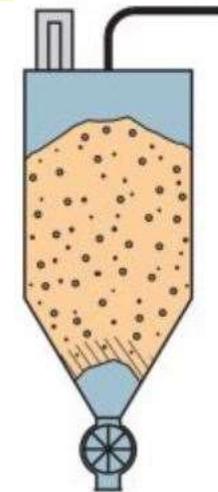
Gebäude und Anlagen sauberhalten !

Siehe auch: www.bgn-branchenwissen.de/daten/bgn/akzente/akzente99/funke.htm

Mälzereianlagen: Lebensgefahr im Silo

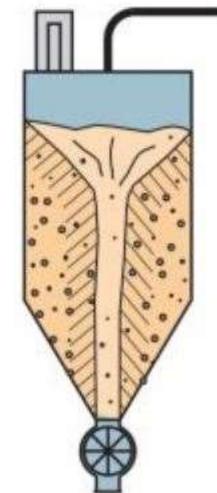
Fall 1 - Lebensgefahr durch Brückenbildung:

Freitag Nachmittag: Ein Malzsilo (900t) soll für die Wochenend-Produktion hergerichtet werden, läuft jedoch nicht leer. Ein Silo-Mitarbeiter fährt vorschriftsmäßig angeschnallt mit einer Silo-Einfahrwinde in dieses Silo ein und versucht die Brücke zu durchstoßen, was aber nicht gelingt. Schließlich verlässt er die Winde und geht herum. Plötzlich bricht die Brücke ein, die Person wird verschüttet und kommt ums Leben.



Fall 2 - Lebensgefahr durch Schlauchbildung:

In einem Malzsilo (500t) soll ein Schnellbacher-Rohr eingebaut werden. Dieses wird von oben nach unten montiert. Abschnittsweise wird das Silo Zug um Zug umgelagert und jeweils eine neue Arbeitsebene geschaffen. Bei einem dieser Umlagerungsvorgänge befindet sich ein Fremdmonteur im Silo. Dieser wird über den sich bildenden Schlauch nach unten gezogen und kommt ums Leben.



Wie kann das verhindert werden?

Mälzereienanlagen: LOTO-Prinzip

Übliche Absicherung um Maschinen und Anlagen bei Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten vor dem gefährlichen Anlaufen zu bewahren:

- Ausschalter der Maschine betätigen und zusätzlich
- Not-Aus-Schalter betätigen und/oder
- Sicherung oder Motorschutzschalter (PKZ) unterbrechen



Das reicht nicht! -> Missverständnisse und Kommunikationsprobleme!



Sicherung gegen Wiedereinschalten und Kennzeichnen:

LOTO = Lockout – Tagout -> Abläufe unmissverständlich festlegen

Drei-Komponenten-Lockout



Behalte deinen Schlüssel im Auge!

Mälzereienanlagen: Sicherheits-Appell

Bitte denken Sie an Sicherheit:

- Immer
- Überall
- Ohne Ausnahme



Safety first

....Alles klar ?



Vielen Dank fürs aufmerksame Zuhören

Fragen ?



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

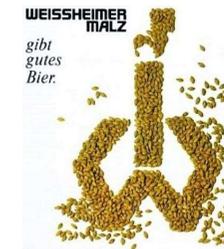


Curriculum Vitae (short version)



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 1/2

- Folie 1 Bild Malteurop
- Folie 3 -4 Bild IFBM, Nancy
- Folie 5 Bilder raiffeisen.com, Malteurop
- Folie 6 Bilder Malteurop, beer4you.ch
- Folie 10 Agrarstrukturbericht LfL, Weihenstphan
- Folie 13 Carlsberg Research Laboratory 1981, Kopenhagen
- Folie 14 Braugersten-Gemeinschaft, München
- Folie 14 Die Technologie der Malzbereitung, Prof. Dr. Ludwig Narziß, 6. Auflage 1976
- Folie 16-18 Bilder IFBM, Nancy
- 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 33 DüV, KTBL, Darmstadt, DüV - Rote - grüne Gebiete, LfL, Weihenstephan
- Folie 35 H-x-Diagramm Condair, Wikipedia
- Folie 40, 41, 42, 43, 45, 52, 53, 54 Mollier-Diagramm, ILK, Dresden
- Folie 47 Mollier-Diagramm, ILK, Dresden, bmt-Weigt
- Folie 48 Die Technologie der Malzbereitung, Prof. Dr. Ludwig Narziß, 6. Auflage 1976
- Folie 50 bmt-Weigt
- Folie 58,59 Bilder Frigor Tec GmbH Amtzell

Quellenverzeichnis 2/2

- Folie 61 Bilder Malteurop, Frigor Tec, Ambros Schmelzer & Sohn, LLH Landesbetrieb Landwirtschaft Hessen, Dr. Dietmar Schulze Schüttgutmesstechnik, Die Bierbrauerei, Band 1: Die Technologie der Malzbereitung, Prof. Dr. Ludwig Narziß und Prof. Dr. Werner Back, 8. Auflage 2011
- Folie 63 Bilder link.springer.com, Heinz Gengenbach LLH
- Folie 64 Bilder Vibrafloor SAS, F-Dracy-le-Fort
- Folie 66 PAN-Europe M.Ing. Anton Pantcek, A-Mannersdorf
- Folie 67 Bild www.doubrava.at
- Folie 68 Kreuzkämper GmbH, Ibbenbüren
- Folie 69 Bilder Rosa Catene S.p.A. I-Calolziocorte, Ebken exakt Konstruktionsbüro Apen
- Folie 70 Bilder Bühler Group CH-Uzwil, cloudfront.net Arial32
- Folie 71 Bild Bühler Group CH-Uzwil
- Folie 73 Bilder Ambros Schmelzer & Sohn, Fr. Jacob Söhne GmbH, Rhyno Hide Flyer Arthur Krüger GmbH, Kalenborn Kalprotect
- Folie 74 Bilder Ambros Schmelzer & Sohn Waldershof
- Folie 76 Jochen Stoss, Colonel Loisel Metz, Explosion d'un silo de céréales ARIA N°11657
- Folie 78 Bilder Dr. Dietmar Schulze Schüttgutmesstechnik
- Folie 79 Bilder www.eaton.eu, Brady GmbH Egelsbach
- Folie 81 Bilder Bayerischer Brauerbund, München