

Die Getreidetrocknung unter Wärmezufuhr durch Strahlung*

Institut für Landmaschinen der Technischen Hochschule München

Das Getreide ist im Gegensatz zu anderen Produkten, z. B. denen der chemischen Industrie, ein lebender, höchst uneinheitlich aufgebauter und hygroskopischer Stoff, der weder den Ablauf des Trocknungsvorganges nach einfachen physikalischen Gesetzen vorauszusagen gestattet, noch die Ursachen für verschiedene Schädigungen ohne weiteres scharf erkennen läßt. Bei den Schäden muß man unterscheiden zwischen denjenigen, die auf unsachgemäße Trocknung zurückzuführen sind, und solchen, die etwa aus falscher Erntezeit oder aus zu scharfem Drusch herrühren, und die man natürlich nicht der künstlichen Trocknung zur Last legen darf. Von der Trocknung her vermag Hitzeeinwirkung bei Saatgetreide die Keimfähigkeit bzw. Triebkraft, bei Brotgetreide die Mäharbarkeit und, wenn die Hitze zu chemischen Veränderungen führt, auch die Backfähigkeit sowohl zu verbessern wie zu verschlechtern, während sich ein aus dem Wasserentzug herrührendes Schrumpfen schädlich auswirken muß, wenn z. B. zwischen Keimling und Mehlkörper zu große Schrumpfspannungen auftreten.

Für die Verminderung der Keimfähigkeit und der mit ihr zusammenhängenden Triebkraft wird meist eine zu hohe Korn-temperatur verantwortlich gemacht. Dies trifft zweifellos zu bei Temperaturen, bei denen eine Zersetzung oder Strukturänderung der organischen Substanz eintritt. P e l s h e n k e [1] gibt für die Denaturierung der verschiedenen Getreide-Eiweiße Korntemperaturen von 52—70° C an. Unterhalb dieses Bereiches fände auf keinen Fall eine Schädigung durch chemische Veränderungen statt. An gleicher Stelle heißt es es aber weiter, daß trocken erhitzte Eiweißstoffe — im Gegensatz zu den Eiweißen des feuchten Getreides, die sich zum Teil noch in einer kolloidalen Lösung befinden — nicht flüchtig sind und zunächst bis 140° C unverändert bleiben. Hiernach ist also die Denaturierungstemperatur außer von der Eiweißart auch noch vom Wassergehalt abhängig. Dies deckt sich mit der Beobachtung, daß feuchteres Getreide temperaturempfindlicher ist als trockeneres. Daß die Denaturierung von in Wasser gelösten Eiweißstoffen auch schon unterhalb 50° C einsetzen kann, zeigen Zähigkeitsmessungen an Kartoffelsaft von P. G ö r l i n g [2], nach denen sich ab 45° C die Zähigkeit konzentrierten Kartoffelsaftes offenbar im Zuge des Koagulierens der Eiweiße sprunghaft verringert.

Wenn man hier zunächst einmal davon absieht, in welchem Grade möglicherweise auch noch die Schnelligkeit des Wasserentzuges an sich, etwa im Sinne einer „Trocknungsschärfe“, mit der Güteerhaltung zusammenhängt, so gebührt für Getreide folgerichtig doch jedenfalls unter den verschiedenen Arten der Bebläsung bzw. Beheizung dem Gegenstrom entschieden der Vorzug vor dem Gleichstrom, selbst wenn sich ein Gegenstrom nur charaktermäßig einem normalen Querstrom überlagert; hierzu ist eingehender von H. H e g e [3] Stellung genommen.

In der vorliegenden Untersuchung sollte — auf Grund einer persönlichen Anregung von F. C. F e n t o n an H. v o n S y b e l [4] — einer anderen Frage nachgegangen werden, nämlich ob es nicht richtiger sei, d. h. rascher zum Ziele führe, das Getreidekorn unmittelbar durch Strahlung oder Kontakt aufzuwärmen, statt die Wärme konvektiv mit dem Luftstrom heranzuführen, weil sich dann ein größeres Dampfdruckgefälle zwischen der bestrahlten Kornoberfläche und der zunächst nicht unbedingt zu erwärmenden Luft ergibt, der lediglich die Rolle der Abführung des verdunsteten Wassers zufällt. Wenn bei dieser Art der Kornerwärmung durch Strahlung ein etwa durch thermomechanische Vorgänge hervorgerufenen oder begünstigtes Schwitzen eingeleitet würde, im äußerlichen

Effekt ähnlich der flüssigen Wasserabgabe (Entquellung) des Kornes in der Garbenhocke oder im Scheunenfach, die sich — von Sonneneinstrahlung abgesehen — unter Freiwerden der bei biologisch-chemischen Vorgängen (Dissimilation der Kohlensäure) entstehenden Veratmungswärme vollzieht, dann würde sich eine „Strahlungskaltlufttrocknung“ des beim „Schwitzen“ äußerlich oft fühl- oder sichtbar flüssige Phase aufweisenden Getreides der natürlichen „Werbungs-“ bzw. Trocknungsart annähern und entweder, wie schon gesagt, zu rascherer Abtrocknung oder aber vielleicht zu besserer Qualität führen.

F. C. F e n t o n hat eine solche Strahlungskaltlufttrocknung in beheizten Mulden mit Schaufel-, Misch- und Transportschnecken durchgeführt; K e l l y [5] hat das Getreide in einem Betonmischer absatzweise zunächst von außen mit einer Ölflamme aufgeheizt und anschließend in getrennten Behältern mit trocknender Kaltluft beblasen. Der amerikanische Getreidetrockner von K o l l m a n n (Abb. 1) beheizt eine Trock-

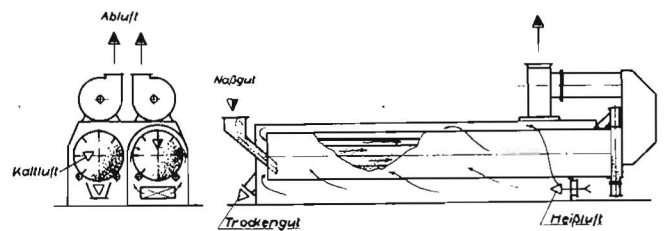


Abb. 1: Getreide-Trommeltrockner der Fa. Kollmann, Sioux-Falls, South Dakota

nungstrommel von außen mit Feuergasen, ehe diese, bereits abgekühlt, durch die Trommel, hier allerdings im Gleichstrom mit dem Trocknungsgut, wieder zurückgeführt werden. Dies bestand doch im Rahmen des Forschungsauftrages des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten der Wunsch, mehr Klarheit darüber zu besitzen, inwieweit sich bei Wärmezufuhr durch Strahlung die Trocknung mit verschiedenem „Luftüberschuß“ oder etwa auch mit zusätzlicher Luftaufheizung beschleunigen läßt und wie sich ein andersartiger Temperaturverlauf in Verbindung mit dem zu erwartenden rascheren Wasserentzuge auf die Qualität des Getreides auswirkt.

Beschreibung der Versuchsanordnung

Um Wärme von einer Wand an das körnige Gut möglichst weitgehend durch Strahlung, wenn nicht nebenbei auch an den Berührungspunkten des Kornes mit der Wand in geringfügigem Maße durch Kontakt zu übertragen, sollte die Gutsmasse entweder auf einer Fläche ausgebreitet oder im Raume weitgehend aufgelöst sein. Die flächenhafte Ausbreitung der dabei möglichst durch Schütteln umzuwendenden Körner findet sich in einem „Infrarot-Trockengerät“ der Siemens-Schuckert-Werke verkörpert; dieses ist allerdings nur für die rasche Entfernung von Oberflächen- bzw. Schalenwasser nach dem Waschen des Roggens bestimmt [6] und hätte für den Entzug von Kernwasser eine zu geringe Durchlaufzeit oder bei längerem Verweilen eine zu geringe Mengenleistung. Die stärkste Kornverdünnung im Raume ergäbe sich bekanntlich bei der „Stromtrocknung“ im alsdann von außen zu beheizenden pneumatischen Förderrohr, wobei jedoch die kurze Verweilzeit bei einmaligem Durchgang nicht mit der langsamen Wasserhergabe aus dem Korn harmonisiert. Dem durch Gutsumlauf abzuweilen, kann man bei dem hohen Kraftbedarf für pneumatische Förderung auch im Hinblick auf den Abrieb kaum ins Auge fassen. In dem erwärmten Betonmischer ist die Auflösung der Masse nur beschränkt, und die Aufheizung des ja zunächst noch feuchten Kornes darf nur mit niedriger Temperatur erfolgen, womit die Spanne der

* Obiges Thema war Gegenstand einer Diplomarbeit (1953) im Rahmen eines Forschungsauftrages des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten an Professor Dr.-Ing. Rudolf Hege (†) über die Trocknung von Mähdruschgetreide.

Ausgangsweise vorgetragen im Arbeitsausschuß „Trocknungstechnik“ der VDI-Fachgruppe „Verfahrenstechnik“ auf der Sitzung in Höchst am 16. 4. 1956.

Abtrocknung bei einmaliger Aufwärmung von vornherein begrenzt ist. Eher kommen der Forderung nach Auflösung die Trommeltrockner entgegen, bei denen entweder ein von außen beheizter Mantel oder im Innern angeordnete Heizröhren die Wärme zuführen. Doch ist bei den Trommeltrocknern üblicher Art (großer Durchmesser, langsame Drehzahl) die Auflösung für einen Strahlungsaustausch unbefriedigend.

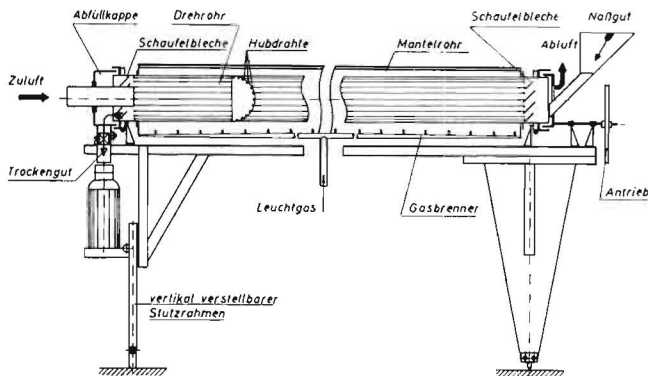


Abb. 2: Versuchsanordnung Strahlungs-Drehrohr

Aus diesem Grunde wurde zur Durchführung der Versuche ein rasch laufendes Miniaturdrehrohr (Abb. 2) mit 100 mm ϕ von nur 2 m Länge gewählt, das von außen über die ganze Länge gleichmäßig beheizt wird und vom Getreide mehrmalig, das heißt so oft durchlaufen werden muß, wie es einer bestimmten Verweildauer von etwa einer Stunde entspricht. Der mehrmalige Durchlauf gestattet es, den Wassergehalt und die Korn-temperatur zwischenzeitlich außerhalb des Rohres durch Auffangen in einer Thermosflasche zu bestimmen. Bei der verhältnismäßig geringen Rohrlänge kann man sich mit mäßigen Geschwindigkeiten der den Wasserdampf abführenden Luft begnügen, ohne daß die Luftsättigung gegen den Guts-eintritt hin zu groß wird. Der verhältnismäßig kleine Durchmesser des Drehrohres kommt der Strahlungsintensität zugute (Erhöhung der Einstrahlzahl). Um das Strahlungsrohr herum liegt ein feststehender, unten und oben geschlitzter Rohrmantel, der eine Beheizung durch Gasbrenner von unten und ein Entweichen der Verbrennungsgase nach oben ermöglicht. Hiernach gestattete die Apparatur also die Aufnahme eines quasi-stationären Versuches, bei dem eine bestimmte Gutsmenge praktisch einer bestimmten Strahlertemperatur und einem bestimmten Luftzustand bzw. einer bestimmten Luftströmung ausgesetzt war. Alle Versuche beschränkten sich auf Strahlung in den niedersten Temperaturbereichen, d. h. mit einem Intensitätsmaximum bei Wellenlängen von etwa 5 μ , die bekanntlich schon von einer dünnen Wasserschicht fast vollständig ständig absorbiert wird.

Ermittlung der günstigsten Inneneinbauten, der Drehzahl und des Füllungsgrades

In einem innen glatten Drehrohr bildet sich bei niederen Drehzahlen die vom Trieur her bekannte geschlossene Niere aus, bei der kaum ein Wechsel zwischen Außen- und Innenschichten stattfindet, während bei höheren Drehzahlen das Korn an der Wand anliegen bleibt. Dagegen ließ sich schon durch achsparalleles Einlegen von Al-Draht (1 mm ϕ) in Abständen von 15 mm auf dem Umfang eine ausreichende Hubwirkung erzielen, um das Korn schon bei niederen Drehzahlen genügend hochzunehmen, damit es aufgelöst wieder herunterfällt und gerade dabei der Wandstrahlung ziemlich frei und aus nächster Nähe ausgesetzt ist, wie es Abbildung 3 für verschiedene Drehzahlen und Füllungsgrade darstellt. Für alle Trocknungsversuche wurde der günstigste Füllungsgrad 0,19 und eine Drehzahl von 120 U/min gewählt. Ebenso betrug die Verweilzeit während der etwa zwölf Durchläufe einheitlich 60 Minuten.

Messung der Getreidetemperatur

Da es bei einem solchen kontinuierlich durchflossenen Drehrohr Trockner, wie ihn die Versuchsanordnung darstellt, nicht möglich ist, die Temperatur des Getreides sowie gleichermaßen die Temperatur oder die relative Feuchtigkeit der Luft durch Einführen eines Thermoelementes in herumgewirbeltes Korn zu messen, wurde das Getreide zwischen den Einzeldurchläufen und nach dem letzten Durchlauf in einer vorgewärmten Thermosflasche (250 cm³) aufgefangen, die dann mit einem Korken wärmedämmend verschlossen wurde. Durch den Korken geht ein dünnwandiges Weißblechröhrchen als Halter des eigentlichen Fühlers hindurch, der mit einem 2 cm langen Cu-Röhrchen von 0,3 mm Wandstärke als vergrößerter Lötstelle des Cu-Konstantan-Thermoelementes in die Kornmasse eintauchend ausmündet.

Bestimmung des Wassergehaltes:

Die Proben von je 10 g wurden mit der Handschrotmühle der Firma Meß-Kühne, Frankfurt/M.-Niederrad, geschrotet und 13 h bei 105° C im Trockenschrank (atmosphärisch ohne Belüftung) getrocknet. Die Angaben über den Wassergehalt beziehen sich stets auf die reine trockene Substanz und sind mit x kg Wasser/kg Trockenstoff bezeichnet.

Versuchsbedingungen

1. **Versuchsmaterial:** Weizen mit 5–10% Roggen, mehrere Monate im Kühlhaus bei +4° C aufbewahrt, in naturfeuchtem Zustande getrocknet. Anfangswassergehalt $x = 0,22$ kg/kg, entsprechend 18% bezogen auf Naßgewicht. Leider stand feuchteres Getreide naturfeucht während der Versuchszeit nicht zur Verfügung.

2. **Versuchsmenge:** 3,05 l Rohrfüllung entsprechend Füllungsgrad von 0,17, 0,70 l Zuschlag für Probeentnahme und Volumenverminderung durch Schrumpfen. Zusammen 3,75 l.

3. **Drehzahl** des Strahlungsrohres: $n = 120$ U/min.

4. **Versuchsdauer:** 60 min während etwa zwölfmaligen Durchläufs unter Konstanzhaltung der Luftmenge bzw. Lufttemperatur und der äußeren Beheizung (Gaszufuhr über Rohrlänge) während jedes Versuches.

5. **Probeentnahme** zur Bestimmung des Wassergehaltes alle 12 Minuten.

6. **Messung** der Gutstemperatur t_G (°C) in Thermosflasche zunächst nach dem ersten Durchgang, sodann alle 10 Minuten bis zum Ende des Versuches.

7. **Messung** der inneren Drehrohrwandtemperatur τ (°C) am Ende des Versuches, sofort nach Stillstand des Drehrohres durch Auflegen eines Thermoelementes, und zwar im Mittel aus den Temperaturen an den Rohrenden und in der Rohrmitte, die sich nur um 2–3° C unterschieden.

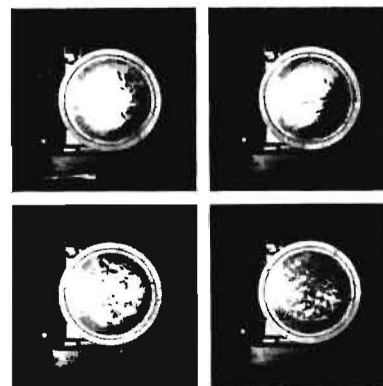
8. **Luftdurchgang** der Kalt- oder Warmluft nur einmalig im Gegenstrom zum Gutsfluß, weil sich dabei manchmal schon reichliche Sättigung ergab.

9. **Aufheizung** der Apparatur 15 Minuten vor jedem Versuch. Die auslaufende Getreidemenge wurde im 25–30-Sekunden-Takt wieder in den Einlauf geschüttet, so daß ein Kreislauf zustande kam, bei dem die äußere Aufheizung des Drehrohres über dessen Länge und die gesamte Versuchsdauer jeweils konstant blieb.

10. Hauptvariable

- a) Wandtemperatur des Strahlungsrohres von innen.
- b) Luftmenge.

Drehzahl
 n [U·min⁻¹]



72

120

$\varphi = 0,09$

$\varphi = 0,19$

Füllungsgrad

Abb. 3: Verteilung der Kornmassen im Drehrohrquerschnitt für verschiedene Drehzahlen und Füllungsgrade

Versuchsergebnisse

Bereits ein einleitender, in Abbildung 4 dargestellter Versuch V 8, der an sich im hygroskopischen Bereich verläuft, d. h. keinen ersten Hauptabschnitt in strengem Sinne, also unter Oberflächenverdunstung mit konstanter Trocknungsgeschwindigkeit, erwarten läßt, zeigte, daß trotzdem über einen unerwartet großen Bereich, und zwar den praktisch interessierenden, der Wassergehalt mit der Zeit linear abfällt, was einen konstanten „Wasserentzug“ [kg Wasser/kg Trockenstoff · h] bedeutet; die erst unter Berücksichtigung der schrumpfenden Oberfläche zu ermittelnde echte „Trocknungsgeschwindigkeit“ wurde hier nicht bestimmt. Dies steht im Gegensatz zu dem Verlaufe des Wasserentzuges bei der reinen Konvektionstrocknung des ebenfalls vereinzelt, das heißt mit seiner ganzen Oberfläche dem Trocknungsmedium ausgesetzten Getreidekorns, über den N. Dietrich an Hand umfangreichen Versuchsmaterials berichtet^{*)}, wonach der Wasserentzug während der Trocknung im Bereiche gleicher Wassergehalte zunehmend langsamer wird. Keine nennenswerte Änderung im Verlaufe ergibt sich, wenn in V 7 gegenüber V 8 (Abb. 4) bei gleicher Luftgeschwindigkeit und Rohrwandtemperatur während der ersten zehn die Aufheizung einschließenden Minuten die Dunstabführung bei abgestelltem Gebläse in freier Konvektion erfolgte. Hierbei wird natürlich das Korn vorübergehend mangels Luftkühlung heißer, was sich über zehn Minuten nach Anstellen des Gebläses wieder ausgeglichen hat. Daß V 7 mit niedrigerer Korntemperatur endet als V 8, entspricht durchaus der stärkeren Abtrocknung von V 8. In V 7 hat die gleiche sonst ausreichende Luftmenge nach einsetzen der Strömung nicht hingereicht, um trotz vorübergehendem

^{*)} Dissertation TH München 1956

Gewinn an Korntemperatur das nachzuholen, was an Wasserabführung während der ersten zehn Minuten versäumt wurde. Die anfängliche Aufheizung in ruhender Luft bringt also bei gleicher Strahlertemperatur keinen Gewinn.

Wie andersartig die Trocknung verläuft, wenn nicht genügend Luft zur Abführung des Wasserdampfes zur Verfügung steht, zeigt Abbildung 5 mit der Verlaufskurve des Versuches V 26 gegenüber V 16, bei der sich am Ende die gleiche Korntemperatur ergab. In V 26 erscheint die Verdunstung bzw. Wasserabführung durch die viel zu kleine Luftmenge in Verbindung mit einer Schwächung des Strahlungsaustausches durch hohe Luftsättigung stark gehemmt. Nachdem das während der Temperaturmessung in der Thermosflasche beobachtete Zusammenbacken der Körner am Anfang der Trocknung stärker war als gegen Ende, darf man wohl auf die Bildung flüssiger Phase an der Kornoberfläche schließen. Deren Zustand kommen bei verschiedenen Luft- und Gutzuständen über die Rohrlänge konnte infolge der schwierigen Lufttemperaturmessungen (trocken und feucht) innerhalb eines umgewirbelten Körnergemenges, sowie in Unkenntnis der hier möglicherweise am Austritt flüssiger Phase beteiligten Schrumpfspannungen und Wärmedehnungen von Trockenstoff, Wasser und eingeschlossener Luft aus den vorliegenden Versuchen nicht eindeutig geklärt werden. Immerhin könnte man aus der Einbeulung der Temperaturkurve von oben bei V 26 auch eine den Strahlungsaustausch weiter schwächende Bildung flüssiger mit Staub vermengter Phase an der Rohrwand vermuten. In V 16 dagegen genügt die höhere Rohrwandtemperatur in Verbindung mit der höheren Luftgeschwindigkeit, um bei alsdann niedrigerer Luftsättigung (Strahlerfläche sicherlich sauber) die Korntemperatur unverzögert ansteigen zu lassen und den Wasserentzug, wie im praktisch interessierenden Bereich in Abb. 4, nahezu konstant zu halten. Der trotz niedriger Strahlertemperatur steilere Wiederanstieg der Korntemperatur nach der Einbuchtung ist einfach auf die schwächere Kornkühlung in V 26 zurückzuführen.

Ursache für die Beschleunigung dieser Art von Strahlungstrocknung ist nach Obigem möglicherweise nicht allein in dem günstigen Wärmeübergang durch Strahlung, in den höheren Korntemperaturen, in der verringerten Zähigkeit des Wassers, sondern auch in einer durch die Strahlungsheizung geförderten mechanischen Entquellung flüssigen Wassers zu suchen, die über längere Zeit mit dem Sättigungsdruck an der Guts-oberfläche oder im Bereiche der als durchlässig geltenden äußeren Schalen zu rechnen gestattet, als dies sonst bei rein konvektiver Aufheizung der Fall ist. Wahrscheinlich ist an der Charakterbildung dieses Trocknungsverlaufes nach Abbildung 6 auch noch das Durchlässigwerden der Aleuronschicht beteiligt, das, wie eingangs erwähnt, bei Korntemperaturen ab 45° C einsetzen dürfte, die hier ja nach 10—20 min erreicht werden. Auch in V 16 (Abb. 5) gegenüber V 26 mögen diese schon von Schäfer [7] bei der Getreidevorbereitung für das Mahlen beobachteten Umsetzungen in der Aleuronschicht beschleunigend mitgewirkt haben. Die bekannte Vorschaltung einer Radiatorengruppe bei den Schachteltrocknern muß auf die gleiche nur uneinheitlichere Wirkung hinauslaufen.

Was die Frage anbetrifft, in welcher Größenordnung die Luftgeschwindigkeit liegen sollte, so kommt dies in den Abbildungen 6 und 7 zum Ausdruck, nach welchen die Versuchskurven in zwei Typengruppen zerfallen: Und zwar ist in Abbildung 6 der Verlauf derjenigen Versuche wiedergegeben, bei denen, wie in V 7, V 8 (Abb. 4) bei Luftgeschwindigkeiten > 0,4 m/sec ein Abschnitt konstanten Wasserentzuges zustande kommt. Dieser dehnt sich — entsprechend der eingezeichneten Begrenzungslinie — um so weiter aus, je höher die Strahlertemperatur ist. Steigende Strahlertemperatur sowie die in gleicher Reihenfolge sinkende Luftgeschwindigkeit lassen gleichermaßen die Korntemperatur höher ansteigen, was die Flüssigkeitsleitung (Zähigkeit) begünstigt und das Dampfdruckgefälle erhöht; nur darf die Luftgeschwindigkeit, wie auch von konvektiver Trocknung her bekannt [8, 9], nicht unter das bei Berücksichtigung der Luftaufwärmung am Korn kapazitiv nötige Maß heruntergehen; sonst kommt es trotz

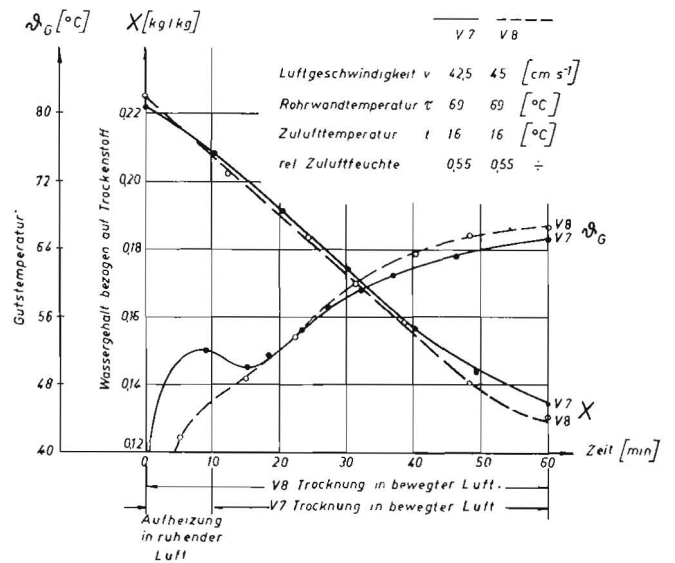


Abb. 4: Einfluß einer Aufheizperiode in ruhender Luft auf den Trocknungsverlauf

Luftvorwärmung zu einem gehemmten Verlauf nach V 25 (Abb. 7).

Was die drei Versuche mit Kaltluftbebläsung (Abb. 7) anbelangt, so setzt der Wasserentzug zwar natürlich um so rascher ein, je höher der Anfangswassergehalt liegt (V 19, V 23, V 21) bzw. je höher dabei die Strahlertemperatur (105° → 90° → 92° C) oder (kapazitiv) die Luftgeschwindigkeit liegt, aber dann folgt in allen drei Kurven ein Wendepunkt, der zu abgeschwächtem Stoffaustausch überleitet, der um so stärker in Erscheinung tritt, je niedriger die Luftgeschwindigkeiten sind. Auf vermutete Ursachen der auch bei V 21, 23 auftretenden Einbuchtung der Korntemperaturkurve bei ausgesprochenem Luftmangel wurde schon verwiesen; bei V 19 mit seiner schon höheren Luftgeschwindigkeit verschwindet die Einbuchtung fast ganz.

Der Einfluß der Aufwärmung der Zuluft auf den Trocknungsverlauf kommt in Abbildung 8 zum Ausdruck, worin zwei Versuche V 25 und V 26 vom Luftmangeltyp gegenübergestellt sind, deren äußere Bedingungen sich nur dadurch unterscheiden, daß in V 25 die Luft vorher auf 40° C aufgewärmt wurde. Dadurch wurde in der gleichen Zeit der Endwassergehalt von 17,3 kg/kg auf 16,4 kg/kg gesenkt. Ursache ist der im Anbeginn steilere Anstieg der Korntemperatur bei V 25, der

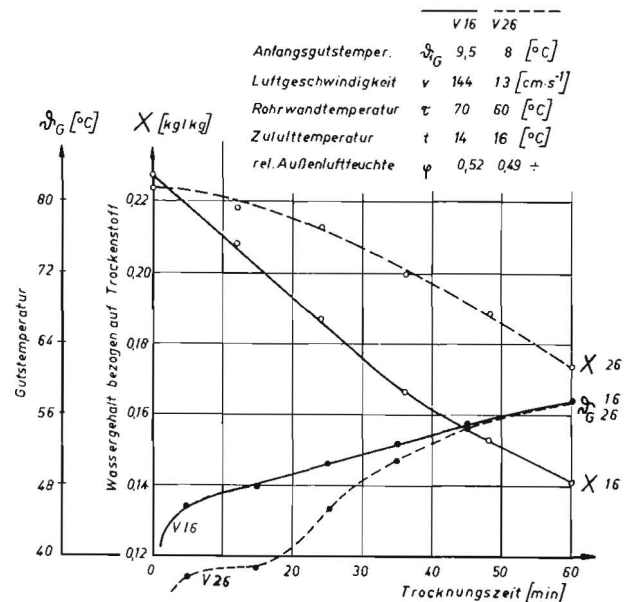


Abb. 5: Einfluß der Luftgeschwindigkeit auf den Trocknungsverlauf

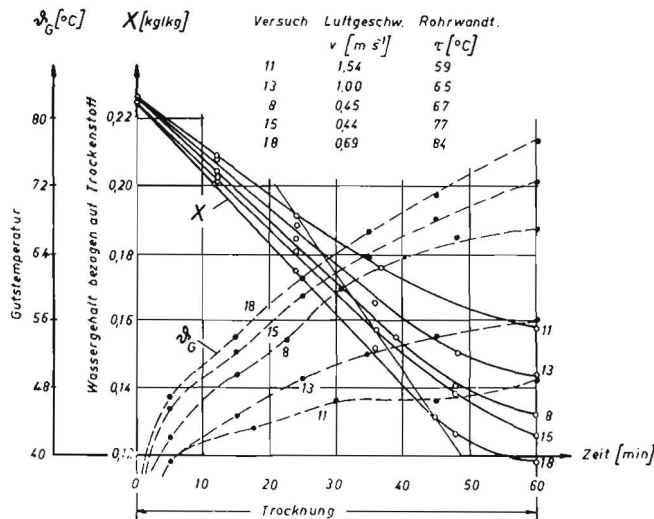


Abb. 6: Trocknungsverlauf bei Luftgeschwindigkeiten über 0,40 m/sec

auch den früheren „Aufbruch“ der Aleuronschicht im Gefolge haben müßte. Statt des sich asymptotisch der Zeitachse nähernden „Trocknungsschwanzes“ der Kurven in Abbildung 6 ergibt sich beim Luftmangeltyp der größte Wasserentzug erst am Ende des betrachteten Bereiches, d. h. erst unter der höchsten Korntemperatur.

Der für alle Versuche charakteristische Temperaturverlauf des Kornes verzeichnet gemäß Abbildung 9 in den ersten 3—5 Minuten einen steilen Anstieg unter dem zunächst großen Temperatursprung bei der Aufheizung. Das Umbiegen in den flacheren Ast der Korntemperaturkurven erfolgt bei den vornehmlich interessierenden Kurven mit ausgeprägt konstantem Wasserentzug mit Annäherung an die in der Oberfläche herrschende Kühlgrenztemperatur. In dem Maße, wie sich der Ort der Verdunstung bei höheren Strahlertemperaturen möglicherweise sogar unter die dann „aufgebrochene“ Aleuronschicht zurückzieht, steigt in diesen Kurven mit > 0,2 m/sec Luftgeschwindigkeit (V 19, 15, 14, 27) die Korntemperatur stetig weiter an. Eine ausgeprägte Einbuchtung der Korntemperaturkurve tritt sowohl bei niederen als auch höheren Strahlertemperaturen einheitlich erst bei Luftmangel (V 21, 23, 26) in Erscheinung, was oben bereits versucht wurde, zu deuten.

Einfluß der Gutstemperatur auf Keimfähigkeit und Triebkraft

Keimfähigkeit und Triebkraft wurden von der Bayerischen Landesanstalt für Pflanzenbau und Pflanzenschutz in München untersucht. Das Versuchsgut bestand aus naturfeuchtem Weizen, der im September bei +4°C in einem Kühlhaus eingelagert wurde, um Feuchtigkeit und Qualität zu erhalten. Die Versuche selbst wurden Ende November und im Dezember

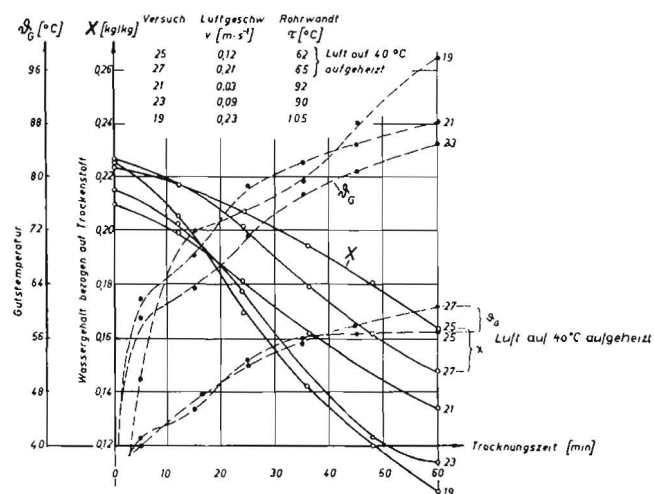


Abb. 7: Trocknungsverlauf bei Luftgeschwindigkeiten unter 0,40 m/sec

durchgeführt. Die Proben des unbehandelten feuchten Getreides hatten eine Keimfähigkeit von 80 und 92 % und eine Triebkraft von zwischen 81 und 92 %. Nach Tabelle 1 bleibt die Keimfähigkeit des getrockneten Weizens bis zu einer maximalen Gutstemperatur von 80°C erhalten, um von da ab allerdings steil auf 0 % abzufallen. Die Triebkraft dagegen sinkt schon ab 65°C, erst langsam und dann ab 80°C steil auf 0 % herab.

Da schon die Werte des Ausgangsmaterials eine verhältnismäßig große Streuung aufweisen, müßten diese Versuche mit höherwertigem Saatgut wiederholt werden. Auch ob das etwa zwei Monate im Kühlhaus gelagerte Getreide Veränderungen durchgemacht hat, die sich für diese Art der Trocknung irgendwie ausgewirkt hätten, darüber bietet diese erste Versuchreihe mit der Strahlungstrocknung keine Anhaltspunkte.

Einfluß der Korntemperatur auf die Backfähigkeit

Die Backfähigkeit nach folgenden Kennwerten wurde von der Bayerischen Landessaatzuchtanstalt in Weihenstephan untersucht. Die Ergebnisse sind in Tabelle 2 zusammengestellt.

1. Testzahl

Die Testzahl ist die Minutenzahl vom Einlegen der Schratteigkugel ins Wasser bis zur Zerstörung ihres Zusammenhaltens. Je größer die Zahl, desto besser ist die Dehnung und Festigkeit des Klebers. Wie man sieht, hat sich die Testzahl bis $\vartheta_G = 80^\circ\text{C}$ in den Streugrenzen der Ausgangswerte gehalten. Bei ϑ_G über 80°C scheint die Testzahl in den Bereich niedriger Qualitäten abzusinken.

2. Feuchtkleber

Die in % angegebene Feuchtklebermenge ist die in 10 g Weizenmehl ausgewaschene Gewichtsmenge. Auf die Feuchtklebermenge nach 1 h Teigruhe scheinen Temperaturen ϑ_G bis 80°C keinen schädigenden Einfluß auszuüben. Es liegen im Gegenteil die Werte in vielen Versuchen über den Werten des unbehandelten Materials. Von $\vartheta_G = 80^\circ\text{C}$ ab fällt die Feuchtklebermenge und hat sich zum Teil sogar aufgelöst.

3. Quellzahl

Die Quellzahl ist eine Aussage über die Brauchbarkeit des Klebers. Die meisten Ergebnisse liegen zwischen 8—12. In diesem Bereich ist der Kleber dehnbar, aber noch elastisch, von sogenannter durchschnittlicher Qualität und normal backfähig. Für $\vartheta_G \geq 80^\circ\text{C}$ sind die Werte großen Schwankungen unterworfen, zum Teil sogar nicht auswaschbar.

4. Maltosezahl

Die Maltosezahl gibt den Gehalt an Maltose an und veranschaulicht die Gärkraft des Mehles. Obwohl die Streuung hier besonders groß ist, so macht sich ein schädigender Einfluß der Temperatur des Kornes auch erst ab $\vartheta_G = 80^\circ\text{C}$ bemerkbar.

Alle diese Kennwerte geben zwar nicht ein vollständiges Kriterium für die Mahl- und Backfähigkeit wieder, sie gestatten jedoch den Schluß, daß eine über den Durchsatzweg hin langsam bis 73°C ansteigende Temperatur des dabei von $x = 0,225$ auf $0,125$ kg/kg Wassergehalt getrockneten Weizenkornes zulässig zu sein scheint, wenn die Wärme hauptsächlich durch Strahlung übertragen wird, und wenn diese Höchsttemperatur nur kurzzeitig am Trocknungsende auftritt. Die erreichte Trocknungsspanne ist größer, als man sie in derselben Zeit im üblichen Querstrom bei $45\text{—}50^\circ\text{C}$ Lufttemperatur zu erzielen vermag. Diese hiernach offenbar zulässige Temperatur liegt wesentlich über den der Praxis bisher allgemein empfohlenen Werten, die vor allem deshalb so niedrig angesetzt sind, um für alle Trocknungsverfahren, die sich ja nicht nur in der Wärmezufuhr, sondern auch in Luft- und Gutführung unterscheiden, Qualitätsschädigungen auszuschließen.

Tabelle 1:
Einfluß der Korntemperatur auf Keimfähigkeit und Triebkraft

Nach 1 h erreichte Guts-temperatur °C	Keimfähigkeit nach		Triebkraft nach 14 Tagen naß/trocken %	Versuch
	4 Tagen naß/trocken	10 Tagen naß/trocken		
	%	%	%	
49,5	81/83	87/88	84/88	11
56	84/79	89/88	87/87	13
56,5	80/71	90/85	92/89	25
57,5	80/80	90/85	92/88	26
57,5	87/76	92/85	85/85	16
61	80/75	90/86	92/88	27
65,5	84/85	89/88	87/87	14
66	83/81	90/90	87/88	7
67	83/86	90/94	87/81	8
72,5	84/41	88/84	87/82	15
77,5	87/3	92/84	85/77	18
84,5	86/0	92/0	92/3	23
88	86/0	92/0	92/0	21
97,5	87/1	92/20	85/0	19

Tabelle 2:
Einfluß der Korntemperatur auf die Backfähigkeit

Nach 1 h erreichte Guts-temperatur °C	Testzahl naß/trocken	Feuchtkleber nach 1 h Teigruhe naß/trocken %	Quellzahl nach 1 h Teigruhe naß/trocken %	Maltose naß/trocken %	Versuch						
						49,5	38/34	25,8/26,6	8/8	1,44/1,35	11
						56	38/37	25,8/27,4	8/10	1,44/1,47	13
56,5	34/31	25,4/25,2	8/10	1,16/1,22	25						
57,5	34/31	25,4/23,6	8/10	1,16/1,19	26						
57,5	31/26	25,6/26,6	11/10	1,54/1,38	16						
61	34/30	25,4/26,0	8/10	1,16/1,04	27						
65,5	38/33	25,8/28,2	8/6	1,44/1,31	14						
66	32/31	25,6/27,4	7/9	1,35/1,28	7						
67	32/31	25,6/26,2	7/8	1,35/1,35	8						
72,5	38/38	25,8/26,0	8/8	1,44/1,44	15						
77,5	31/42	25,6/26,2	11/12	1,54/1,38	18						
84,5	31/60	26,6/19,6	8/20	1,54/1,16	23						
88	31/14	aufgelöst, nicht auswaschbar		1,54/0,75	21						
97,5	31/46	25,6/21,8	11/16	1,54/1,19	19						

Zusammenfassung:

Wärmezufuhr an das Getreidekorn durch Strahlung statt allein auf dem Umwege über die Luft darf unter der Voraussetzung der Erfüllung notwendiger Kaltluft-Kapazität als ein Mittel gelten, um selbst in einem an sich hygroskopischen Gut, wie dem Weizen, einen „konstanten Wasserentzug“ über den ganzen interessierenden Bereich aufrecht zu erhalten, wie man es sonst nur bei einem nicht hygroskopischen Gut bis zum ersten Knickpunkt erwarten darf. Daß es dazu kommt, ist in der bei den höheren Korntemperaturen verringerten Zähigkeit des Wassers, und bei Korntemperaturen über 45°C vermutlich auch in der thermochemischen Aufbrechung der Aleuronschicht sowie wahrscheinlich auch in Schrumpfspannungen begründet. Es erscheint entschieden lohnend, genauer zu erforschen, und zwar auch für größere Trocknungsspannen, als sie sich in dem naturfeuchten Versuchsgetreide darbieten, inwieweit flüssige Phase an der Kornoberfläche auftritt bzw. wie sich der Ort der Verdunstung nach innen verlagert, und ob etwa auch ein biochemisch bedingtes „Schwitzen“, verbunden mit innerer Neubildung von Wasser über die Veratmung, beteiligt ist.

Wenn nach dem einmaligen Ablauf des untersuchten Vorganges bis zu einer Temperatur von 70°C im trockenen Korn keine Schädigung der Keimkraft oder Backfähigkeit hinterblieb, so steht außerdem, und zwar im Hinblick auf die Konditionierung in der Mühle, noch die Klärung aus, ob der

in der Mühle neuerdings z. B. durch kurzzeitiges Dämpfen zwecks Verbesserung der Mahlbarkeit ebenfalls erstrebte Aufschluß der Aleuronschicht durch eine gewisse Vorwegnahme im Landwirtschaftstrockner beeinträchtigt wird. Erst dann wäre nämlich für den Landwirtschaftstrockner der Weg zur Leistungssteigerung und Verbilligung frei, der über höhere Korntemperaturen führt, als man sie bislang für zulässig erachtete.

Schrifttum:

- [1] Neumann-Pelshenke: Brotgetreide und Brat. Verlag P. Porey, Berlin 1954.
- [2] P. Görling: Untersuchungen zur Aufklärung des Trocknungsverhaltens pflanzlicher Stoffe, insbesondere von Kartoffelstücken. Diss. TH Darmstadt 1954.
- [3] H. Hege: Untersuchungen an einem Gegenstrom-Schacht-Trickler für Getreide. Landtechn. Forschg. 3 (1956) S. 79-87.
- [4] H. von Sybel: Bericht über eine Studienreise nach USA. AID H. 17, S. 31, Projekt Technische Hilfeleistung 07-75.
- [5] C. F. Kelly: Drying Artificially Wheat with Unheated Air. JASAE Vol. 22 (1941) H. 9.
- [6] Berliner / Kipper: Die Verwendung von infraroten Strahlen zur Trocknung von gewaschenem Getreide. Die Müllerei 6 (1953) H. 14.
- [7] W. Schäfer: Über das Verhalten des Weizenkornes bei der Konditionierung. Diss. TH Braunschweig 1953.
- [8] W. H. C. Simmonds: The Drying of Wheatgroin. Trans. Instn. Chem. Engrs. Vol. 31 (1953) H. 3.
- [9] W. Müller: Verdunstung und Wärmeübergang beim Getreidetrocknen. Diss. ETH Zürich 1943.

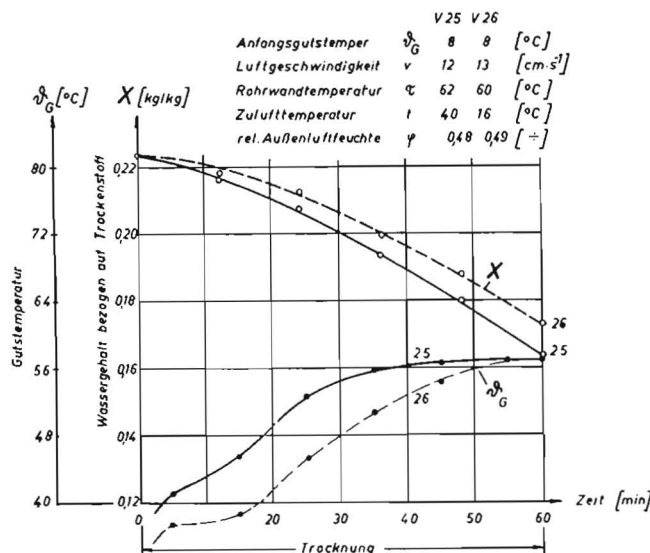


Abb. 8: Einfluß der Luftvorwärmung auf den Trocknungsverlauf

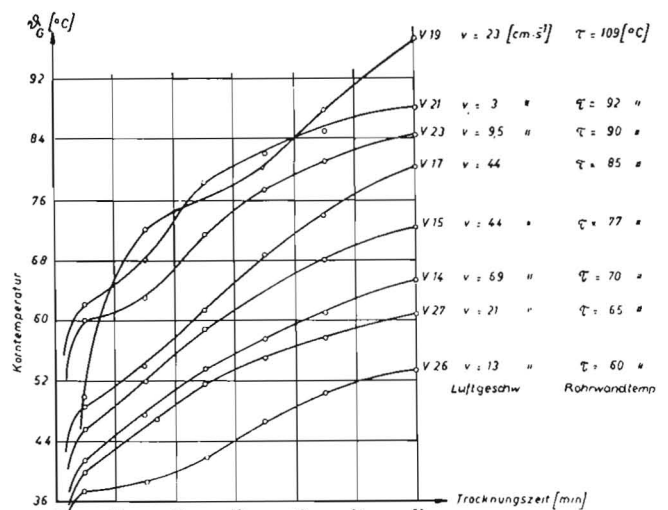


Abb. 9: Temperaturverlauf des Getreides während der Strahlungstrocknung im Drehrohr

Résumé:

Dipl.-Ing. R. von Sybel: „Die Getreidetrocknung unter Wärmezufuhr durch Strahlung.“

In der vorliegenden Untersuchung ist der Frage nachgegangen, ob es nicht richtiger ist, das Getreide unmittelbar durch Strahlung oder Kontakt aufzuwärmen, statt die Wärme mit einem Luftstrom heranzuführen, inwieweit sich bei einer solchen Wärmezufuhr durch Strahlung die Trocknung beschleunigen läßt, und wie sich der andersartige Temperaturverlauf in Verbindung mit dem schnelleren Wasserentzug auf die Qualität des Getreides auswirkt. Nach einer Beschreibung der Versuchsapparatur und der Versuchsbedingungen werden die Versuchsergebnisse bekanntgegeben. Aus ihnen kann geschlossen werden, daß die Wärmezufuhr durch Strahlung einen hohen konstanten Wasserentzug über den ganzen interessierenden Bereich ermöglicht, unter der Voraussetzung einer ausreichenden Kaltluftkapazität.

Dipl.-Ing. R. von Sybel: "Drying of Grain by Radiant Heat."

The article examines the question whether it is possible to dry grain by radiant heat or by actual contact in place of currents of hot air. The article further examines whether the use of radiant heat hastens the drying process and also attempts to determine whether the difference in temperature combined with the quicker removal of moisture has any influence on the quality of the grain. The apparatus used and the method of conducting the experiments are then described and the subsequent results tabulated. Examination of these results leads to the conclusion that the utilisation of radiant heat causes the moisture to be extracted at a higher and more constant rate throughout the whole temperature range. An ample cold air capacity is a pre-requisite.

Dipl.-Ing. R. von Sybel:

«Le séchage des céréales par apport de chaleur sous forme de rayonnement.»

Cet examen a eu pour but de savoir, d'une part, s'il n'est pas plus efficace de chauffer les céréales directement par rayonnement ou contact au lieu d'amener la chaleur au moyen d'un courant d'air et, d'autre part, dans quelle mesure le séchage peut être accéléré par rapport de chaleur sous forme de rayonnement et quelle influence a sur la qualité des céréales l'évolution différente de la courbe de température en relation avec l'élimination plus rapide de l'eau. Après une description des appareils et conditions d'essai, l'auteur cite les résultats obtenus. On peut en conclure que l'apport de chaleur sous forme de rayonnement provoque une élimination d'eau très élevée et très constante dans toute la zone de dessiccation considérée à la condition qu'une capacité d'air froid suffisante soit disponible.

Ing. dipl. R. von Sybel: «El secado de los cereales por calor radiado.»

Por estas investigaciones se ha tratado de dilucidar las cuestiones siguientes: ¿ No resultaría más conveniente calentar el grano directamente por contacto o por radiación, en vez de por una corriente de aire caliente? ¿ El secado se conseguirá más pronto con el calentamiento por radiación? ¿ y? ¿ Qué influencia ejercerán las temperaturas distintas en combinación con la deshidratación acelerada en la calidad del cereal? . Después de describir los aparatos empleados y las condiciones en que se hicieron los ensayos, se dan los resultados, de los que puede deducirse que el calentamiento por radiación permite una deshidratación constante muy elevada en todo el margen interesante, siempre que la capacidad de aportar aire frío sea suficiente.

Dr.-Ing. R. Finkenzeller, Mannheim:

Einführung in die Geräuschmessung

Länge, Gewicht, Zeit und alles was damit zusammenhängt, läßt sich eindeutig definieren. Der Mensch schuf sich — um Vergleiche zu haben — die Bezugsgrößen Zentimeter, Gramm und Sekunde. Über viele von unseren Sinnen wahrnehmbare Feststellungen können somit eindeutige Angaben gemacht werden.

Es gibt aber auch Sinneswahrnehmungen, die man bis heute noch nicht messen, das heißt eindeutig, allgemein verständlich definieren kann. Hierunter zählen die Wahrnehmungen mit dem Geruchssinn, dem Geschmack und zum Teil dem Gehör. Wir sagen: es riecht gut oder schlecht, stark oder schwach, es schmeckt gut oder schlecht, also rein subjektive Feststellungen, deren Richtigkeit vom Einzelmenschen abhängt. Nicht viel anders verhält es sich mit dem durch das Gehör Wahrnehmbaren, das sich aus einer Anzahl Töne zusammensetzt.

Einzeltöne

Einzeltöne kann man definieren nach:

- a) ihrer Schwingungsdoppelwechsellzahl (Frequenz) gemessen in Schwingungen je Sekunde = Hertz,
- b) der Größe ihrer Druckschwankung (Schalldruck)

gemessen in μ -bar = $\frac{1}{1\,000\,000}$ bar; 1 Bar = 1 kg/cm²
1 μ -bar = 10 g/m²

Jedem Ton ist eine bestimmte Schwingungszahl eigen. Man denke nur an die Saite eines Musikinstrumentes. Wird die Saite durch Anschlagen (Klavier) oder Zupfen (Geige) aus ihrer Ruhelage gebracht, so schwingt sie hin und her, je nach ihrer Spannung, mehr oder weniger oft in der Sekunde. Würde man dieses Hin- und Herschwingen je Zeiteinheit zählen, so erhielte man die Zahl der Schwingungen/Sek. = Hertz.

Zieht man die Saite weit nach der Seite oder schlägt man sie sehr stark an, was ja denselben Effekt erzielt, so ergibt dies einen großen seitlichen Ausschlag der Saite, damit auch große Druckschwankungen in der die Saite umgebenden Luft und bekanntlich einen lauten Ton.

Sinkt die Schwingungsdoppelwechsellzahl unter 20 je Sekunde (20 Hertz), so sind die dabei entstehenden Töne für das menschliche Ohr nicht mehr vernehmbar. Das gleiche gilt bei Schwingungsdoppelwechsellzahlen über 20 000 je Sekunde. Der Bereich der für das menschliche Ohr vernehmbaren Schwingungen liegt also zwischen 20 und 20 000 Hertz.

Am besten reagiert das menschliche Ohr auf Schwingungen zwischen 1000 und 5000 Hertz; Voraussetzung aber ist, daß die Stärke der Druckschwankungen über einer gewissen Mindeststärke, der sogenannten Hörschwelle liegt.

Auf Grund vielfältiger Versuche wurde festgestellt, daß die für das menschliche Ohr gültige Hörschwelle bezüglich Schalldruck bei

$$\frac{2}{10\,000} \mu\text{-bar} \text{ liegt. Dieser Wert wurde inter-}$$

national als Bezugswert bei allen Schallmessungen festgelegt, das heißt der Druck von

$$\frac{2}{10\,000} \mu\text{-bar} = 0,002 \text{ g/m}^2 \text{ wurde}$$

mit der Wertziffer 0 und der Bezeichnung Dezibel (dB) belegt.

Um das unbequeme Rechnen mit den in sehr weiten Grenzen sich bewegenden Wertziffern für den Schalldruck zu vermeiden, wurde die geometrische Zahlenreihe in eine arithmetische Reihe umgewandelt. Im vorliegenden Fall bedeutet dies, daß eine Steigerung des Schalldruckes jeweils um das Zehnfache, also von 0,002 g/m² auf 0,02 g/m² einer Steigerung um 20 dB gleichkommt.

Er ergibt sich somit:

Schalldruck:	0,002 g/m ²	=	0 dB (Dezibel)
	0,02 "	=	20 dB "
	0,2 "	=	40 dB "
	2 "	=	60 dB "
	20 "	=	80 dB "
	200 "	=	100 dB "
	2 000 "	=	120 dB "
	20 000 "	=	140 dB "

Eine Schalldruckerhöhung von 20 auf 40 g/m², das heißt verdoppelter Schalldruck, bedeutet also eine Steigerung von 80 auf 86 dB (Dezibel); eine Verfünffachung des Schalldruckes von 20 auf 100 g/m² bringt eine Änderung der Wertziffer von 80 dB auf 94 dB.

Nun kennt man heute allgemein die Bezeichnung „Phon“ als Definition für die Lautstärke. Bei einem Ton mit der Schwingungszahl von 1000 Hertz (= 1000 Schwingungen/Sek.) ist der Wert für „Phon“ gleich dem Schalldruck mit der Wertbezeichnung Dezibel (dB).