

# Technik und Perspektiven in der Heutrocknung

H. WEINGARTMANN

Die Technik der Heutrocknung weist wie die Trocknungstechnik allgemein eine lange Tradition auf mit einem reichen Fundus an Wissen. Es scheint nicht so sehr Bedarf an grundsätzlichen technischen Neuerungen zu bestehen, vielmehr müsste bekanntes Wissen nur konsequent genug angewendet werden. Darauf wird später noch hingewiesen. Es ist aber auch anzumerken, dass allgemeine technische Fortschritte - z.B. in der Elektronik und in der Strömungstechnik - die Umsetzung mancher alter Forderungen zusehends erleichtern.

Die Konservierung durch Trocknung ist verfahrenstechnisch unproblematisch, sie wurde allerdings in der Vergangenheit aus arbeitswirtschaftlichen und Kostengründen zurückgedrängt. Die Vorzüge des Verfahrens sind dagegen nach wie vor aufrecht und werden - derzeit vielleicht mit etwas zunehmender Tendenz - geschätzt (Hartkäseerei, Ökologische Landwirtschaft).

## Einige Feststellungen zu den Perspektiven der Trocknungstechnik:

- Die Trocknung ist ein **energieintensiver Prozess** - es muss Wasser vom flüssigen in den dampfförmigen Aggregatzustand gebracht werden und außerdem vorher mehr oder weniger starke Bindungskräfte zwischen Wasser und Gut überwunden werden. Das „kostet“ mindestens 250 MJ oder 69 kWh je 100 kg zu entziehendes Wasser. Dazu kommt noch ein Energiebedarf für den Transport des Trocknungsmittels Luft - ca. 5 bis 10% der notwendigen Wärmeenergie. Die Wassermassen, welche bei der Trocknung abgeführt werden müssen, werden meist unterschätzt (*Abbildung 1*).
- Die alles entscheidende Frage ist, welche **Energiequellen** zu welchen Preisen zur Verfügung stehen. Und hierin hat sich in den letzten Jahren Wesentliches verändert: Einerseits sind die

Preise für elektrische Energie im Sinken, andererseits stehen an manchen Betrieben neue Energiequellen zur Verfügung, deren Nutzung eine wirtschaftliche Notwendigkeit ist - z.B. Kraft-Wärme-Kopplungen.

- Der **Strukturwandel in der Landwirtschaft** kann die Bedeutung der Trocknungstechnik erhöhen, wenn z.B. Heu zum Verkaufsprodukt des Betriebes wird.
- Die Anforderungen von Seiten der **Arbeitstechnik und Arbeitswirtschaft** eines Betriebes an das Konservierungsverfahren Trocknung sind allerdings auch eher gestiegen - nicht zuletzt auch durch den Strukturwandel bedingt.

## Welche technischen Maßnahmen können die Trocknung ökonomisch und arbeitswirtschaftlich attraktiver machen?

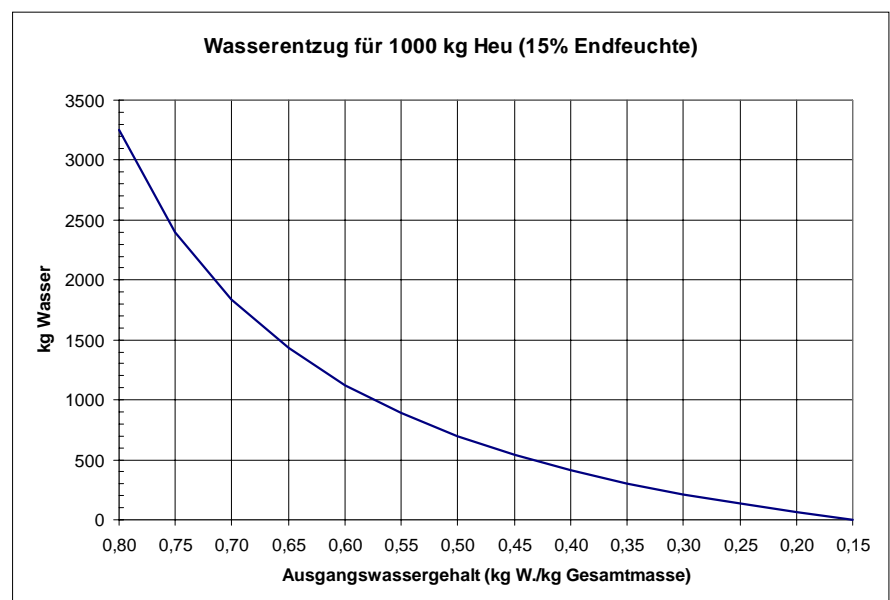
- ① Der energetisch effizienteste Trocknungsprozess ist die Vortrocknung im Freien, da hierbei das isotherme Sättigungsdefizit der Luft, welches die

Sonneinstrahlung beschert, genutzt werden kann.

Beispiel: Sommerliche Luft (absolute Luftfeuchte 10 g/kg) mit 25°C kann in einem technischen Trocknungsprozess maximal 3 g Wasserdampf aufnehmen, bei isothermer Sättigung in einer sehr dünnen Gutschicht jedoch 10 g je kg!

Diese Tatsache sollte nicht leichtfertig vergessen werden! Eine eintägige Vortrocknungsperiode entlastet den Unterdachtrocknungsprozess wesentlich (s. *Abbildung 1*) ohne bedeutende Verluste zu bewirken.

- ② **Aufbereitung:** Die Mähgutaufbereitung ist heute technisch ausgereift - auch ohne Weiterentwicklung der sogenannten Intensivaufbereitungsverfahren. Der Nutzen liegt bekanntermaßen in der Beschleunigung und Vergleichmäßigung des Trocknungsprozesses in der ersten Trocknungsphase. Die Verbesserung der Trocknungsfähigkeit der Pflanzen lässt sich aber auch über die erste Trocknungsphase hinaus bis in Bereiche hoher



*Abbildung 1: Notwendiger Wasserentzug in Abhängigkeit von der Ausgangsfeuchte (bezogen auf jeweils 1000 kg Heu mit 15% Endfeuchte).*

**Autor:** Dr. Herbert WEINGARTMANN, Univ. f. Bodenkultur, Institut für Land-, Umwelt- und Energietechnik, Peter-Jordan-Straße 82, A-1190 WIEN

Trockenmassegehalte nachweisen. In der Tendenz wird auch eine Unterdachtrocknung dadurch begünstigt. Allerdings ist mit einer etwas erhöhten Neigung zu Dichtlagerung des Gutes zu rechnen, die durch Verschiebung des Betriebspunktes des Gebläses zu geringerem Luftdurchsatz einen Teil dieses Effektes zunichte machen kann.

⑤ Unterdachtrocknung mit solarer Luftanwärmung:

Diese vor 20 Jahren in Österreich eingeführte Technik hat sich inzwischen sehr gut etabliert. Es hat sich gezeigt, dass man auch mit relativ geringem Aufwand Dachkollektoren mit freiliegendem Absorber bauen kann, die im Saisonmittel einen Nutzwärmestrom von etwa 200 W je m<sup>2</sup> Kollektorfläche bringen können. Damit ist bei entsprechender Dimensionierung des Verhältnisses Luftstrom zu Kollektorfläche eine Verdoppelung der Trocknungsleistung gegenüber einer Kaltbelüftung durchaus möglich. Von allen Unterdachtrocknungsverfahren kann bei diesem System mit dem geringsten Einsatz technischer Energie gearbeitet werden (10 bis 20 kWh je 100 kg Wasser). *Dass dieser Wert weit unter dem physikalischen Minimum von 69 kWh/dt liegt, erklärt sich dadurch, dass die Wärmeenergie von der Sonne nicht als technischer Energieeinsatz berechnet werden muss.*

Die technischen Grenzen dieses Systems muss man allerdings auch realistisch sehen: Die Abhängigkeit der Trocknungsleistung von einem Tageszyklus setzt natürlich eine Kapazitätsgrenze, die heute vielen Betrieben zu eng wird. Eine bivalente Lösung mit einer zusätzlichen Wärmequelle für den Nachtbetrieb könnte die Kapazitätsgrenze entscheidend erhöhen. Energetisch wäre diese Lösung noch immer wesentlich günstiger als ein monovalenter Betrieb mit z.B. einer fossilen Energiequelle.

④ Unterdachtrocknung mit permanenter Luftanwärmung:

Die klassische Warmbelüftung mit fossiler Energiequelle stößt heute klarerweise auf wenig Interesse. Anders

$$\text{Leistungszahl } \varepsilon = \frac{P_{el}}{P_K} \approx 4 \text{ bis } 5$$

$P_{el}$  = Antriebsleistung des Kompressors

$P_K$  = Wärmeleistung des Kondensators =  $m_L \cdot \Delta T \cdot (c_{pL} + x \cdot c_{pD})$

$m_L$  = Massenstrom der Trocknungsluft

$\Delta T$  = Temperaturdifferenz

$(c_{pL} + x \cdot c_{pD})$  = spezifische Wärmekapazität der Luft ( $\approx 0,28 \text{ W}/(\text{K} \cdot \text{kg})$ )

würde sich die Situation bei Einsatz einer Biomasseheizung (Hackschnittzel) darstellen. Der oft naheliegende Wunsch, eine Heutrocknungsanlage in Kombination mit der Heizung des Wohnhauses zu betreiben, scheidet meist an der zu geringen Wärmeleistung der Hausanlagen: Die notwendige Netto-Wärmeleistung für die Anwärmung eines Luftstromes von 10.000 m<sup>3</sup>/h um 10 K beträgt rund 24 kW. Es gibt aber auch Sonderfälle - z.B. bei Betrieben mit Gästezimmern - welche eine installierte Wärmeleistung von z.B. 80 kW auch im Sommer sinnvoll nutzen könnten.

Ein neuer Aspekt der Warmlufttrocknung ist die Nutzung von Abwärme einer Kraft-Wärme-Kopplung z. B. bei Verstromung von Biogas oder Pflanzenöl. Gerade die sinnvolle Wärmeauskopplung während des Sommers ist ein häufig auftretendes Problem - die Trocknungstechnik bietet sich an. Ebenso sind natürlich auch sonstige Abwärmequellen in speziellen Fällen nutzbar.

Bei dieser neuen Art von Warmlufttrocknung dürfen aber „alte Weisheiten“ nicht vergessen werden: Je höher die Luft angewärmt wird, um so leichter kommt es in den obersten Gutschichten zur Unterschreitung des Taupunktes der Abluft und damit zur Rekondensation von Wasserdampf. Auf die Einhaltung maximaler Schichthöhen ist besonders zu achten!

⑤ Unterdachtrocknung mit Luftentfeuchter-Wärmepumpe:

Die Luftentfeuchter-Wärmepumpe stellt eine intelligente Nutzung eines Wärmepumpen-Prozesses dar, welcher neben dem Vorteil der Nutzung von Umweltenergie auch eine Senkung der absoluten Luftfeuchte der Trocknungsluft bewirkt. Die Gefahr der Rekondensation wird dadurch verringert.

Der notwendige Einsatz von technischer Energie - in der Regel als elektrische Energie - ist für eine bestimmte Wärmeleistung (Kondensatorleistung) zur Anhebung der Temperatur der abgekühlten und entfeuchteten Zuluft auf ein höheres Temperaturniveau im Verhältnis der Leistungszahl notwendig:

Um z.B. eine Kondensatorleistung von 120 kW auf den Luftstrom übertragen zu können, müssen 24 bis 30 kW elektrische Antriebsleistung für den Kompressor zur Verfügung gestellt werden.

Die Leistungszahl hängt allerdings vom verwendeten Kältemittel und von den Betriebsbedingungen ab: Je höher die Temperaturspreizung zwischen Verdichter und Verdampfer ist, desto niedriger wird die Leistungszahl!

Dieses System hat seine Leistungsgrenzen mit der installierten Kompressorleistung bzw. der Wärmetauscherleistung festgelegt: Wenn z.B. die Kühlleistung auf der Verdichterseite nicht ausreicht, um sehr warme Außenluft unter den Taupunkt abzukühlen, steht auch auf der Kondensatorseite weniger Wärmeleistung zur Verfügung - sowohl Entfeuchtungs- als auch Anwärmleistung sinken. Einige Ergebnisse aus eigenen Untersuchungen machen dies deutlich:

Die in den *Abbildungen 2 bis 4* dargestellten Messergebnisse beziehen sich auf eine Konstellation, die auf eine Begrenzung des elektrischen Anschlußwertes auf etwa 23 kW ausgelegt war. Heute angebotene Wärmepumpensysteme arbeiten meist ohne Bypass und mit weiterem Verhältnis von Gebläse- zu Kompressorleistung. Damit ist eine stärkere Entfeuchtung und eine höhere Luftanwärmung möglich. Der dafür notwendige elektrische Anschlusswert steigt allerdings auch beträchtlich.

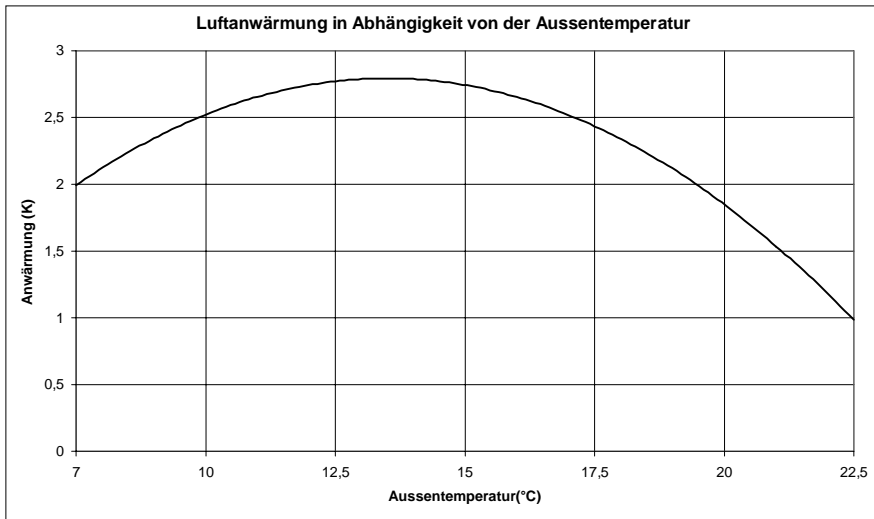


Abbildung 2: Luftentfeuchter-Wärmepumpe 12 kW Gebläse/11 kW WP; ca. 50 % Luft-Bypass.

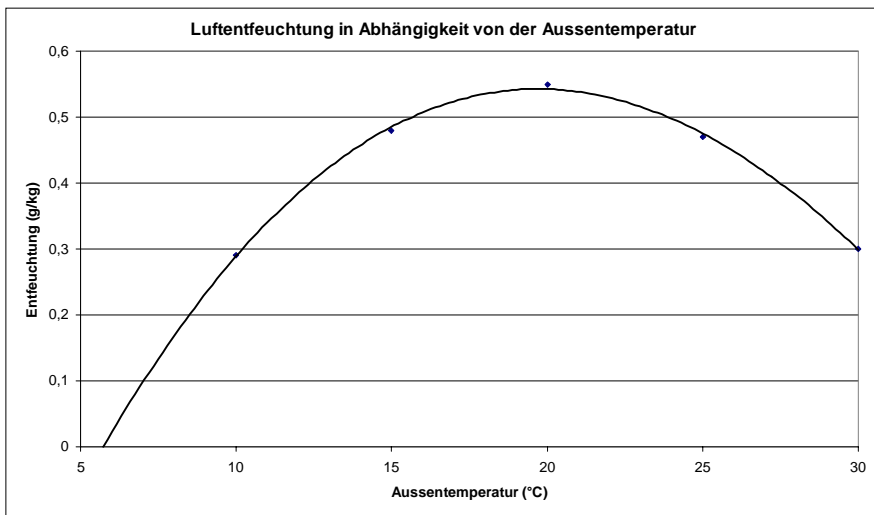


Abbildung 3: Luftentfeuchter-Wärmepumpe 12 kW Gebläse/11 kW WP; ca. 50 % Luft-Bypass.

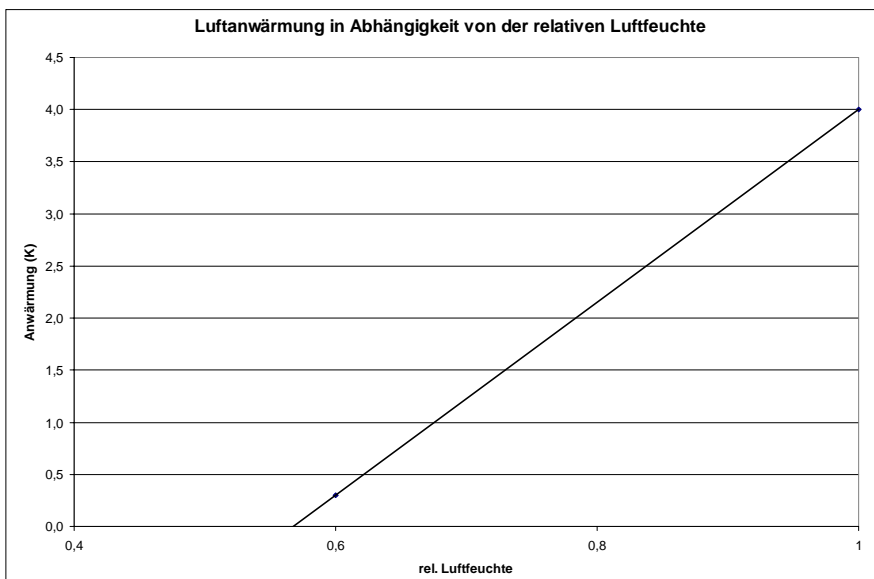


Abbildung 4: Luftentfeuchter-Wärmepumpe 12 kW Gebläse/11 kW WP; ca. 50 % Luft-Bypass.

Vorsicht ist geboten, wenn Luftanwärmung und Entfeuchtung sehr stark zu Lasten der Gebläseleistung erhöht werden: Es ist zu bedenken, dass es nicht um Klimatisierung geht, wo nur die Luftqualität zählt, sondern um einen Trocknungsprozess, dessen Leistung ganz wesentlich vom Durchsatz des Trocknungsmediums Luft bestimmt wird:

$$\frac{\Delta W}{\Delta t} = m_L \cdot \Delta x = \text{Trocknungsleistung (Wasserentzug je Zeiteinheit)}$$

$m_L$  = Massenstrom der Trocknungsluft (z.B. kg je Stunde)

$\Delta x$  = Wasserdampfaufnahme je kg Luft

Es dient dem Trocknungsfortschritt wenig, wenn man den Luftdurchsatz in dem Maße reduziert, wie man die Wasserdampfaufnahme erhöht.

### Ausblick:

Die Trocknungstechnik für die Futtermittelkonservierung ist aus guten Gründen wieder etwas interessanter geworden. Alte Erfahrungen können gepaart mit neuen technischen Möglichkeiten und Gegebenheiten sehr gute Lösungen bringen.

- Die Solarenergienutzung sollte eine Selbstverständlichkeit sein. Wo sie an Kapazitätsgrenzen stößt, ist meist eine zusätzliche technische Maßnahme möglich, um die Kapazitätsgrenzen entsprechend zu erhöhen (Zusatzheizung, Wärmepumpe).
- Die Warmbelüftung mit biogenen Energieträgern - direkt oder indirekt aus Kraft-Wärme-Kopplungen - hat in vielen geeigneten Fällen eine sehr gute Zukunftschance. Sowohl das Energieangebot als auch der sich aus dem Strukturwandel ergebende Bedarf ziehen in die gleiche Richtung!
- Die Wärmepumpe in den neuen Dimensionierungsvarianten ist vom technischen Standpunkt durchaus interessant. Der hohe Investitionsbedarf muss im einzelnen Betrieb gut überlegt werden. Sehr entscheidend für eine Verbreitung dieser Technologie mit nachhaltigem Erfolg sind klare, nachvollziehbare Untersuchungsergebnisse.

