



Von der Rebe bis ins Glas

Winzer sagen per Lichtbrechung den Alkoholgehalt vorher, und das Schwenken des Glases entlockt dem Wein Tränen.

Sabrina Patsch

Sehen, schwenken, schnüffeln, schlürfen, schmecken – so ausgiebig wird Wein untersucht. Zum Getränk gehört ein eigenes Studiengebiet: Die Önologie befasst sich mit der Herstellung, die sich von Sorte zu Sorte im Detail unterscheidet. Grundsätzlich gilt es immer, Trauben zu einer Maische zu pressen und mit Hefe über mehrere Tage oder Wochen zu vergären. Weil die Hefe den Fruchtzucker in Alkohol verwandelt, ist der Alkoholgehalt des fertigen Weins umso höher, je süßer die Maische war: Aus einem Gramm Zucker entstehen etwa 0,5 g Alkohol.

Traubenmost besteht hauptsächlich aus Wasser und Zucker. Seine Dichte, das Mostgewicht, gibt Auf-

schluss über den Alkoholgehalt des fertigen Weins und wird in Grad Oechsle ($^{\circ}\text{Oe}$) gemessen. Es gibt den Unterschied in Gramm an zwischen einem Liter Most und der gleichen Menge Wasser: Bei typischen deutschen Weinen mit 70 bis 80 $^{\circ}\text{Oe}$ wiegt der Most pro Liter 70 bis 80 g mehr als Wasser. Vergärt der Zucker vollständig, führt ein Mostgewicht von 80 $^{\circ}\text{Oe}$ zu einem Wein mit etwa 10,6 % Vol. Alkohol.

Winzer messen mit einem Handrefraktometer (**Abb. 1**) das Mostgewicht der Trauben im Weinberg und entscheiden, ob die Trauben süß genug für die Ernte sind. Dafür geben sie einige Tropfen Traubensaft auf den

Probenhalter und schließen die lichtdurchlässige Klappe. Der Blick durch das Gerät zeigt auf einer Skala direkt das Mostgewicht an. Dann tritt diffus gestreutes Licht durch die Klappe, durchläuft zuerst die Flüssigkeit und wird beim Übergang in ein Prisma zum Lot hin gebrochen, weil die Flüssigkeit das optisch dünnere Medium ist. Verläuft ein Lichtstrahl parallel zur Grenzfläche des Prismas, nimmt der Ausfallswinkel einen kritischen Wert an: Jenseits dieses kritischen Winkels kommt kein Licht an, und der Bereich auf der Skala bleibt dunkel.

Das Messprinzip des Refraktometers funktioniert verlässlich, weil der kritische Winkel vom Brechungsindex

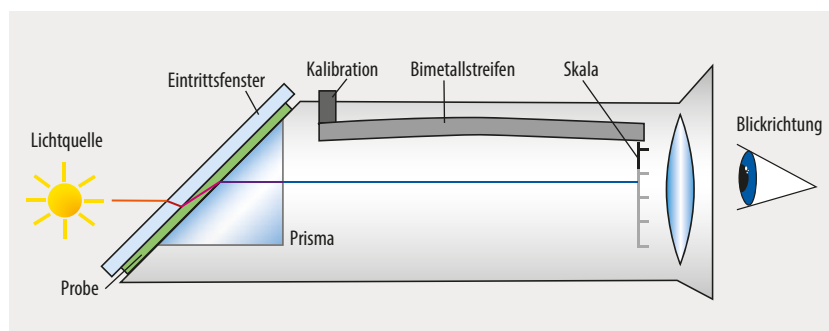


Abb. 1 Beim Handrefraktometer trifft Licht durch das Eintrittsfenster auf die Probe und wird in das Prisma abgelenkt. Der kritische Winkel bei streifendem Einfall hängt vom Brechungsindex der Flüssigkeit und damit von ihrem Zuckergehalt ab, sodass nur auf einen Teil der Skala Licht trifft (grau) – der Rest bleibt im Dunkeln.

◀ Der Alkoholgehalt des Weins bestimmt, wie stark sich die Tränen nach dem Schwenken im Glas ausbilden.

der Flüssigkeit abhängt: Mehr Zucker im Traubensaft bedeutet einen größeren Brechungsindex und kritischen Winkel. Dass der Brechungsindex auch von der Temperatur abhängt, korrigiert ein Bimetall, an dem die Skala befestigt ist.

Schwenken für Fortgeschrittene

Wer Rotwein genießen will, schwenkt ihn vor dem Trinken gekonnt in einem bauchigen Glas. Diese verbreitete Praktik ist hydrodynamisch so komplex, dass sie einen eigenen Namen erhalten hat: Önodynamik. Die Rotation des Glases erzeugt eine Welle, die dem Wein Sauerstoff zuführt. Das setzt sein Bouquet frei und enthüllt versteckte Aromen.

Ein Forschungsteam der *École polytechnique fédérale de Lausanne* untersuchte die Vorgänge systematisch.¹⁾ Die Wellenbewegung verschiebt die Flüssigkeit von unten nach oben und von der Mitte zum Rand, was den Wein gut durchmischt und belüftet. Drei Faktoren bestimmen die Wellenform: das Verhältnis vom Durchmesser der Rotationsbewegung zu demjenigen des Glases, das Verhältnis von Füllhöhe und Glasdurchmesser und die Froude-Zahl. Diese misst das Verhältnis von Trägheits- zu Schwerkraften; Rotationsgeschwindigkeit und -durchmesser gehen ein. Die Wahl der drei Faktoren variiert und optimiert die Wellenform. Neben der klassischen, kreisenden Welle, die eine sanfte Mischung garantiert, lassen sich auch komplizierte Wellenzüge mit drei Wellenbergen erzeugen. Ein zu schnelles Schwenken kann die Berge zum Bersten bringen, und der Wein spritzt aus dem Glas.

Weil alle Faktoren dimensionslos sind, bleibt die Wellenform unabhängig von der Gefäßgröße: Sie unter-

scheidet sich nicht zwischen Weinglas und Flüssigkeitstank. Daher ist es eine wichtige Anwendung der Önodynamik, die optimale Durchmischung großer Nährstoffmengen bei der Zellkultivierung in Bioreaktoren zu untersuchen.

Weinender Wein

Das Schwenken des Weinglases betört nicht nur olfaktorisch, sondern auch visuell. Zum einen lässt sich der Zuckergehalt des Weins qualitativ am Schwenkverhalten ablesen: Süßere Weine mit mehr Zucker sind viskoser als trockenere. Zum anderen verrät ein faszinierender Effekt etwas über den Alkoholgehalt des Weins: Sobald die Flüssigkeit zur Ruhe kommt, bildet sich am Glas ein Flüssigkeitsfilm, von dem Tropfen herabrinnen – der Wein „weint“. Nach mehreren Minuten zeigt sich, dass die „Tränen“ nicht einmalig fließen. Sie bilden sich ständig neu und laufen nach unten, ohne jemals in der Oberfläche der Flüssigkeit zu versinken.

Der Ursprung dieses Effekts war lange Zeit ein Rätsel. Er wird auch als „Kirchenfenster“ bezeichnet und lässt sich auf die Oberflächenspannung von Wasser und Alkohol zurückführen, sodass der Effekt auch bei anderen alkoholischen Getränken wie Whisky auftritt. Das anfängliche Schwenken und der Kapillareffekt ziehen die Flüssigkeit an der Glaswand hoch, und es bildet sich ein konkaver Meniskus. Dort ist das Verhältnis von Oberfläche zu Volumen sehr groß, was die Verdunstung beschleunigt. Da Alkohol schneller verdunstet als Wasser, unter anderem aufgrund seiner geringeren Oberflächenspannung, sinkt der Alkoholgehalt im Meniskus, während die Oberflächenspannung steigt. Der resultierende Gradient in der Oberflächenspannung zieht Wein aus dem Glas in den Meniskus: Die Flüssigkeit steigt höher, und mehr Alkohol verdunstet. Dieser sogenannte Marangoni-Effekt ist seit 1855 bekannt.

Der Marangoni-Effekt allein erklärt die Weintränen jedoch nicht. Mathematiker der UC Los Angeles fanden 2020 heraus, dass die Schwerkraft eine entscheidende Rolle spielt.²⁾

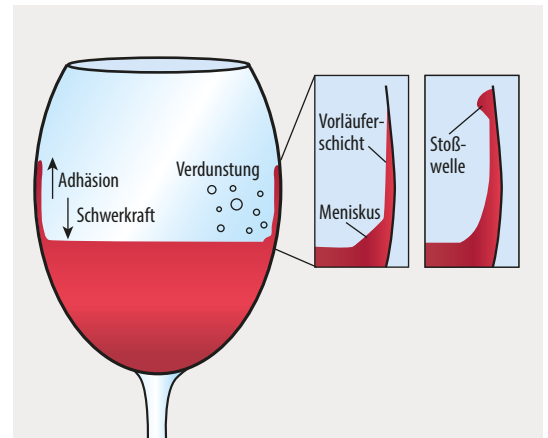


Abb. 2 Das Schwenken und der Kapillareffekt ziehen den Wein am Glasrand in Stoßwellen nach oben. Beim Verdunsten entsteht ein Gradient in der Oberflächenspannung, und der Marangoni-Effekt zieht Wein aus dem Meniskus nach. Durch die Schwerkraft bilden sich Tropfen, die am Glas herunterfließen.

Der Marangoni-Effekt befördert die Flüssigkeit in Stoßwellen nach oben. Aufgrund der Schwerkraft kann der Flüssigkeitsfilm nur eine gewisse Steighöhe erreichen, bevor der Rand instabil wird und kleine Inhomogenitäten die Wellenfront zerreißen. Um die Oberfläche zu minimieren, bilden sich Tröpfchen, die wegen ihres Gewichts am Glas herabfließen. Dass sie nie in die Weinoberfläche eintauchen, sondern scheinbar von ihr abprallen, liegt an der hohen Verdunstungsrate am Meniskus: Die starke Marangoni-Strömung lässt die Tränen auf der Oberfläche „tanzen“.

Wie deutlich sich bei Wein Kirchenfenster ausprägen, hängt somit hauptsächlich von seinem Alkoholgehalt ab – und nicht von seiner Qualität. Daher nutzen Vinometer, Messgeräte für den Alkoholgehalt von Wein, diesen Effekt. Qualitativ lässt sich sagen: Kirchenfenster entstehen ab einem Alkoholgehalt von etwa 12 % Vol.; je dichter die Tröpfchen beieinander liegen, desto viskoser und damit süßer ist der Wein bzw. desto höher sein Alkoholgehalt. Um die Qualität eines Weines objektiv zu beurteilen, bleiben als gute Mittel schlürfen und schmecken – subjektiv zählt letztlich der eigene Geschmack.

Die Autorin

Sabrina Patsch, Freie Universität Berlin, www.physicus-minimus.com

1) M. Reclari et al., *Physics of Fluids* **26**, 052104 (2014)

2) Y. Dukler et al., *Phys. Rev. Fluids* **5**, 034002 (2020)