

Messungen der Luftströmung im Weinkeller

ALOIS. F. GEYRHOFFER¹, HERBERT WEINGARTMANN², KARIN MANDL¹ und DANIELA SCHATTAUER¹

¹Lehr- und Forschungszentrum für Wein- und Obstbau
A-3400 Klosterneuburg, Wiener Straße 74
E-Mail: alois.geyrhofer@weinobst.at

² Universität für Bodenkultur, Institut für Landtechnik
A-1190 Wien, Peter Jordan-Straße 82

Unterirdisch liegende Weinkeller stellen besondere Anforderungen an die Planung und Bauausführung der Lüftung. In einem Erdkeller wurden die konkret vorhandenen Luftströmungen mit zwei unterschiedlichen Techniken gemessen. An sieben Messpositionen im Weinkeller wurde die Strömungsgeschwindigkeit der Luft mittels Konstant-Temperatur-Anemometers gemessen. Die Visualisierung der Luftströmung im Keller erfolgte mit Hilfe von Helium-Luft-Gemisch-Blasen. Die gemessenen Strömungsgeschwindigkeiten der Luft lagen mit 0,04 bis 0,06 m/s deutlich unter den in Gebäuden mit freier Konvektion üblichen Werten der Luftgeschwindigkeit von 0,2 bis 0,3 m/s. Auch die Sichtbarmachung der Strömungsverhältnisse zeigte, dass die Helium-Luft-Gemisch-Blasen sehr langsam in verschiedene Richtungen, aber nicht zur Lüftungsöffnung hin strömten. Somit ergaben die Messungen, dass die vorhandene Lüftungsöffnung im konkreten Erdkeller keine ausreichende Luftbewegung bewirkt und ihre Funktion daher nicht erfüllt. In Zukunft gilt es, die vermeidbaren Schäden, die durch eine unwirksame oder unzureichende Weinkellerlüftung verursacht werden, zu minimieren. Mit den Messungen der Luftströmung im Weinkeller wird ein Beitrag zur Reduktion von Planungs- und Ausführungsfehlern geleistet, indem grundlegende Kenntnisse der Strömungstechnik und deren Anwendungsmöglichkeiten im Weinkellerbau vermittelt werden.

Schlagwörter: Erdkeller, Lüftungslöcher, Luftströmung, Strömungsgeschwindigkeit, Hygiene

***Measurements of air flow in the wine cellar.** Subterranean wine cellars make special demands on the planning and construction of ventilation. In an earth cellar the given air currents were measured using two different techniques. The flow velocity of the air was measured at seven positions in the wine cellar using a constant-temperature anemometer. The visualization of air flow in the cellar was done with the help of helium-air mixture bubbles. The measured flow rates of air were 0.04 to 0.06 m/s, which is significantly lower than average air velocity values in buildings with free convection (0.2 to 0.3 m/s). Also the visualization of the flow conditions showed that the helium-air mixture bubbles floated very slowly in various directions, but not towards the air outlet. Thus, the measurements revealed that the existing air outlet in the investigated earth cellar does not cause a sufficient convection and its function is therefore not met. In future the preventable damage in wine cellars caused by an ineffective or inadequate ventilation should be minimized. Measurements of air flow in the wine cellar contribute to the reduction of planning and construction errors by providing basic knowledge of fluid mechanics.*

Keywords: earth cellar, air outlet, air flow, flow velocity, hygiene

***Mesures du courant d'air dans la cave à vin.** Les caves souterraines posent des exigences particulières à la conception et à la l'exécution de la ventilation. Dans une cave enterrée, les courants d'air concrètement présents ont été mesurés à l'aide de deux techniques différentes. La vitesse du courant d'air a été mesurée à l'aide d'un anémomètre à température constante à sept points de mesure. Le courant d'air dans la cave a été visualisé à l'aide de bulles composées d'un mélange d'hélium et d'air. Les vitesses du courant d'air mesurées se situaient entre 0,04 et 0,06 m/s et étaient donc sensiblement inférieures aux valeurs habituelles de la vitesse de l'air dans des bâtiments à convection libre qui se situent entre 0,2 et 0,3 m/s. La visualisation du régime du courant a également montré que les bulles d'hélium et d'air circulaient très lentement dans des directions différentes, mais pas en direction de l'orifice d'aération. Le résultat des mesures a donc été que l'orifice d'aération existant dans la cave enterrée en question ne cause pas de mouvements d'air suf-*

fisants et ne remplit donc pas sa fonction. À l'avenir, il s'agira de minimiser les dégâts évitables, causés par une aération inefficace ou insuffisante de la cave à vin. Les mesures des courants d'air dans la cave à vin contribuent à réduire des erreurs de conception et de réalisation en communiquant des connaissances fondamentales sur la technique des flux et ses possibilités d'application dans la construction de caves à vin.

Mots clés: cave enterrée, orifices d'aération, courant d'air, vitesse du courant, hygiène

Bereits im Jahr 1927 beschäftigten sich BABO und MACH mit Lagerkellern und den "Eigenschaften guter Keller". Heute werden an Weinkellerräume und deren umschließende Bauteile abhängig von ihrer Nutzung unterschiedliche Anforderungen gestellt. Diese nutzungsrelevanten Anforderungen beziehen sich in der Regel auf die Tragfähigkeit, den Feuchtigkeits- und Wärmeschutz sowie die Belüftung (FREY et al., 2007). Die Anlage und Nutzbarkeit des Weinkellers wird durch die Lage und den Verlauf des Terrains bestimmt. Um ein den heutigen Ansprüchen, insbesondere den hygienischen Kriterien, entsprechendes Lagerklima im Weinkeller zu schaffen, stellt die Belüftung der Kellerräume einen wesentlichen Bestandteil dar (PECH et al., 2006). Unter Lüftung wird im Kellerbau der Austausch von Kellerraumluft gegen Außenluft verstanden. In vielen Weinkellern ist zu diesem Zweck ein Lüftungsschacht mit hohlem Querschnitt zur Förderung der Luft vorhanden, welcher innerhalb oder außerhalb des Weinkellers angeordnet sein kann (PETER, 2001). In den meisten Fällen genügt eine freie Kellerlüftung, bei der die Luft durch Windkräfte und/oder durch thermischen Auftrieb bewegt wird. Damit ein Luftaustausch zwischen Kellerluft und Außenluft stattfinden kann, muss die Kellerkonstruktion mit hinreichend großen Lüftungsöffnungen, den so genannten Dampflochern, versehen sein. Die Lüftung wird im Weinkeller benötigt, um einerseits die hygienischen Anforderungen zu erfüllen, und andererseits um Feuchtigkeitsschäden zu vermeiden. In diesem Zusammenhang stellt der Befall von feuchten Wänden mit Mauerwerkorganismen (Schimmelpilzen) eine besondere Problematik im Weinkellerbau dar (BALAK et al., 2003). Neben dem Abtransport der Stoff- und Wärmelast durch die Lüftung übt diese auch einen Einfluss auf das Kältebeharrungsvermögen des Weinkellers aus. Als Bemessungsgrundlage für die Lüftungseinrichtung wird jene Last herangezogen, für deren Abfuhr der jeweils größere Lüftungsstrom erforderlich ist. Da während der kalten Jahreshälfte nur die einen geringen Förderstrom benötigende Stofflast, in der warmen Jahreshälfte hingegen die eine wesentlich intensivere Lüftung brauchende Wärmelast abgeführt werden muss, dient letztere zur Bemessung der Lüftungs-

öffnungen. Auf Grund der angestrebten relativen Dichtheit von Weinkellern muss darauf geachtet werden, dass auch während der kalten Jahreszeit eine abgestimmte Mindestlüftung gewährleistet ist, damit die Emissionen im Weinkeller, Wasserdampf, toxische Gase, Riechstoffe und dergleichen, ins Freie strömen können (PETZOLD, 2002).

Vor diesem Hintergrund wurden zwei verschiedene Messungen der Luftströmung in einem Weinkeller durchgeführt. Zuerst wurden die Strömungsgeschwindigkeit mit einem Konstant-Temperatur-Anemometer gemessen und anschließend die Strömungsrichtungen mittels eines Helium-Blasen-Generators visualisiert. Dabei lag der Schwerpunkt auf dem Erfassen der Luftströmung in der Umgebung des im Weinkeller eingebauten Dampfloches. Das vordergründigste Ziel bei diesen Versuchen war, einen besseren Einblick in die Luftströmungsverhältnisse und den damit verbundenen Stofftransport in Weinkellerräumen zu bekommen.

Material und Methoden

Als Versuchsobjekt wurde ein Weinkeller in der Gemeinde Jetzelsdorf im Weinviertel (Niederösterreich) gewählt. Nach der tektonischen Gliederung gehört der Keller zur Molassezone. Das geologische Material stammt aus dem Quartär und setzt sich aus Löss, Lösslehm und Lehm zusammen (HEINRICH et al., 2004). Es handelt sich um einen Erdkeller, dessen umschließende Bauteile aus Beton (Boden) beziehungsweise Löss (Gewölbe und Wände) bestehen. Im Vergleich zu den Kellerwänden dichtet der Betonboden die Kellerräume nach unten hermetisch ab, das heißt, es können keine Diffusionsprozesse stattfinden (WEIK, 2005). Vom architektonischen Standpunkt aus ist der Weinkeller auf der linken und rechten Seite von anderen Weinkellern begrenzt; er ist integraler Bestandteil einer typischen Kellergasse des Weinviertels (LEIERER, 2004). Die freie Belüftung des Kellers wird durch den Einbau einer zylindrischen Lüftungsöffnung im Kellergewölbe bewerkstelligt. Zur Geometrie der Lüftungsöffnung gilt es festzuhalten, dass diese einen runden Querschnitt hat und die Abmessungen

für den Durchmesser 0,1 m und die Höhe 4,0 m betragen.

Der Zeitraum der Untersuchung der Strömungsgeschwindigkeit mit dem Konstant-Temperatur-Anemometer erstreckte sich vom 2. Oktober 2007 bis zum 27. Februar 2008. In diesem Zeitraum erfolgte auch die Sichtbarmachung der Strömungsrichtungen mit dem Helium-Blasen-Generator.

Konstant-Temperatur-Anemometer

Das Messprinzip eines Konstant-Temperatur-Anemometers beruht auf der durch ein vorbeiströmendes Medium (Luft) vom Sensor abfließenden Wärmemenge und dessen Kompensation durch eine Änderung der Stromzufuhr. Zu diesem Zweck wird die Temperatur oder der elektrische Widerstand des Sensors auf konstantem Niveau gehalten. Als Maß für die Strömungsgeschwindigkeit wird der entsprechende Heizstrom oder die Heizleistung herangezogen. Von der Funktion her basiert der geschlossene Regelkreis beim Konstant-Temperatur-Anemometer auf einer Wheatstone'schen Brückenschaltung und einem Proportionalverstärker. Dabei setzt sich die aktive Halbbrücke aus einem Sensor und einem festen Verhältniswiderstand zusammen; hingegen besteht die passive Halbbrücke ebenfalls aus einem Verhältniswiderstand sowie einem Vergleichswiderstand und diversen Kompensationsgliedern. Auf diesem Wege lässt sich der mögliche Einfluss von Kabelparametern ausschließen. Wird ein exakter Brückenabgleich erreicht, dann ist die Fehlerspannung am Eingang des Verstärkers mehr oder weniger gleich null.

Im Falle des Brückengleichgewichts wird der Warmwiderstand des Sensors einzig durch den Vergleichswiderstand determiniert, da die beiden Verhältniswiderstände auf fixe Werte eingestellt sind. Eine Änderung der Strömungsgeschwindigkeit des Mediums hat auch eine Änderung der Sensor-Temperatur zur Folge. Die daraus entstehenden Widerstandsänderungen führen zu Potenzialdifferenzen am Verstärkereingang. Schließlich bewirken diese eine Erhöhung oder Erniedrigung der zugeführten Heizleistung zur Sonde, und somit wird die Temperatur des Sensors immer wieder auf ihren Sollwert eingeregelt (SCHANZ, 2004). Für die Messungen im Rahmen der Versuche wurde ein Konstant-Temperatur-Anemometer verwendet, dessen Systemkomponenten von zwei verschiedenen Firmen stammten: Das Datenaufzeichnungsgerät mit der Typenbezeichnung ATM2400 kam von der Firma

Degree Controls Inc. (Mildford, USA), die Sensoren vom Typ Cafe XS hingegen waren ein Produkt der Firma Cambridge Accusense (Shirley, USA).

Helium-Blasen-Generator (HBG)

Für die Visualisierung der Strömungsverhältnisse im Weinkeller wurde ein Helium-Blasen-Generator (Typ SAI™) der Firma Sage Action (Freeville, USA) verwendet. Der Helium-Blasen-Generator produziert mit Hilfe koaxialer Düsen eine ausreichende Anzahl von im Durchmesser 1,2 bis 3,8 mm großen Blasen, welche mit einem Helium-Luft-Gemisch gefüllt sind und mit Hilfe einer Druckflasche aus dem Gerät ausgestoßen werden. Bei der Generierung der Blasen wird das Helium-Luft-Gemisch soweit variiert, bis die Gewichtskraft der Blasenhülle sich mit der Auftriebskraft des Heliums im Gleichgewicht befindet. Mit der exakten Einstellung der Blasengröße wird neben dem spezifischen Gewicht auch die Blasenmenge an die erforderlichen Verhältnisse angepasst. Die frei schwebenden Blasen verharren in ihrer Position oder folgen den laminaren wie auch komplexen turbulenten Luftströmungen von 0 bis 22 m/s. Über einen speziellen Trichter gelangen die Helium-Luft-Gemisch-Blasen in die Kellerräume (PRAGER, 2008). Von Nachteil ist dabei einerseits der relativ große Druck, der für den Ausstoß der Blasen aus der Düse erforderlich ist. Dadurch wird das Strömungsverhalten der Blasen unmittelbar beeinflusst und verändert die Daten der Strömungsanalyse. Andererseits ist die Lebensdauer der Blasen mit maximal zwei bis drei Minuten relativ kurz, weshalb die Analysezeit der Strömung sehr begrenzt ist. Die Bewegung der Helium-Luft-Gemisch-Blasen wurde mit einer Handycam (Typ DCR-SR35E) der Firma Sony (Tokio, Japan) verfolgt und aufgezeichnet. Während des Aufzeichnungsvorgangs wurden die Kellerräume mit einer künstlichen Lichtquelle (Glühlampe) entsprechend stark ausgeleuchtet.

Versuchsdurchführung

Konstant-Temperatur-Anemometer

Unter Berücksichtigung der gegebenen technischen Rahmenbedingungen sollten die erhaltenen Messda-

ten ein möglichst der Realität entsprechendes Strömungsbild liefern. Dazu wurden die Sensoren des Konstant-Temperatur-Anemometers an unterschiedlichen Messpositionen im Weinkeller aufgestellt und die Strömungsgeschwindigkeit der Luft über den entsprechenden Zeitraum gemessen. In Tabelle 1 sind die Positionen der jeweils sechs Sensoren beschrieben. Während der dreimalig durchgeführten Messvorgänge wurde eine störende Beeinflussung der Luftströmungsmessung durch externe Faktoren, wie beispielsweise eine geöffnete Kellertür oder ein Betreten der Kellerräume, ausgeschlossen.

Tab. 1: Beschreibung der Messpositionen mit jeweils sechs Sensoren

Position	Beschreibung der Position
1	0,5 m vor Lüftungsöffnung
2	Lüftungsöffnung
3	0,5 m hinter Lüftungsöffnung
4	3 m hinter Lüftungsöffnung
5	6 m hinter Lüftungsöffnung
6	9 m hinter Lüftungsöffnung
7	12 m hinter Lüftungsöffnung

Innerhalb jeder Messposition wurden sechs Sensoren des Konstant-Temperatur-Anemometers in unterschiedlicher Höhe auf einem Sensorträger montiert. Aus Tabelle 2 können die Messhöhen der Sensoren 1 bis 6 abgelesen werden.

In Tabelle 3 sind die im Weinkeller gemessenen Strömungsgeschwindigkeiten in m/s angeführt.

Tab. 3: Strömungsgeschwindigkeiten im Weinkeller (in m/s)

Position	Sensor 1	Sensor 2	Sensor 3	Sensor 4	Sensor 5	Sensor 6
1	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,05
2	0,06	0,05	0,05	0,06	0,04	0,07
3	0,06	0,05	0,05	0,06	0,05	0,06
4	0,07	0,06	0,06	0,06	0,05	0,06
5	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,06
6	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,06
7	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,06

Helium-Blasen-Generator

Für die optische Erfassung der Raumströmung wurden der Helium-Blasen-Generator im Weinkeller aufgestellt und die kleinen mit Helium und Luft gefüllten Blasen in den Kellerraum geblasen. Die Raumströmung wurde unter dreimaliger Wiederholung mit der Digitalkamera aufgezeichnet, gespeichert und anschließend die Aufnahmen dahingehend analysiert, wie sich die Helium-Luft-Gemisch-Blasen strömungsmechanisch im Weinkeller verteilen.

Tab. 2: Messhöhen (in m über dem Kellerboden) der Sensoren des Konstant-Temperatur-Anemometers auf dem Sensorträger

Sensoren	1	2	3	4	5	6
Messhöhen	2,5	2,25	2,0	1,5	1,0	0,5

Ergebnisse

Strömungsgeschwindigkeiten

Wie aus Tabelle 3 ersichtlich, konnte im Weinkeller nur eine ganz niedrige Strömungsgeschwindigkeit der Luft mit den jeweils sechs Sensoren an den sieben Messpositionen detektiert werden. Das heißt, in dem Erdkeller konnte die minimale Luftbewegung, die für einen notwendigen Transport von Wärme und Stoffen erforderlich ist, nicht nachgewiesen werden. Von besonderer Bedeutung ist dabei, dass auf Grund der nicht vorhandenen Lüftung auch der Wasserdampf nicht aus dem Kellerraum abtransportiert werden konnte. Unterstrichen werden diese Ergebnisse durch die Tatsache, dass die Oberfläche der umschließenden Kellerbauteile mit diversen Organismen, hauptsächlich Algen und Schimmelpilzen, bewachsen war. Es konnten neben braunen und schwarzen Flecken an

den Kellermauern, die von der Schimmelbildung herührten, auch Mauerwerksschädigungen beobachtet werden, die auf der Freisetzung von Schwefel- und Stickstoffverbindungen durch Pilze und Bakterien beruhten. Die erhaltenen Messresultate der Strömungsgeschwindigkeiten spiegeln wider, dass die Funktion der Lüftungsöffnung in diesem Weinkeller zu gering ist und dadurch die Luftfeuchtigkeit aus dem Keller nicht ins Freie strömen kann.

Strömungsrichtungen

Um Kenntnis über die Luftströmungsverhältnisse im Weinkeller zu erhalten, wurde versucht, diese Strömung sichtbar zu machen. Wie in Abbildung 1 ersichtlich ist, strömten die Helium-Luft-Gemisch-Blasen aus dem Trichter des Generators in den Kellerraum. Es bildeten sich mehrere Strömungsfelder aus.



Abb. 1: Visualisierung von Strömungsfeldern mit Helium-Luft-Gemisch-Blasen im Weinkeller

Bei der Sichtbarmachung der Strömung im Bereich der Luftöffnung (Abb. 2 und 3) konnte mit der Digitalkamera festgehalten werden, dass die Bewegung der Helium-Luft-Gemisch-Blasen, nachdem sie aus dem Trichter des Geräts ausgetreten waren, in verschiedene Richtungen, aber nicht hin zur Lüftungsöffnung strömten. Danach konnten zwei Varianten hinsichtlich Strömungsverhalten der Helium-Luft-Gemisch-Blasen beobachtet werden. Die erste Variante war, dass die Blasen ganz langsam ohne die geringste Abweichung von der Strömungsrichtung an der Lüftungsöffnung vorbeischwebten. Die Luftöffnung zeigte nicht in geringster Weise einen Einfluss auf die Strömung der Helium-Luft-Gemisch-Blasen (Abb. 2).



Abb. 2: Langsames Vorbeiströmen der Helium-Luft-Gemisch-Blasen an der Luftöffnung

In Abbildung 3 wird die zweite Strömungsvariante der Helium-Luft-Gemisch-Blasen gezeigt, bei der diese unter der Lüftungsöffnung ruhend in Schwebelage blieben. Da demnach keine freie Konvektion, das heißt keine thermischen Auftriebskräfte bzw. keine Windkräfte vorhanden waren, wurde auch keine Strömung in die Lüftungsöffnung hinein bzw. in Richtung Außenluft verursacht. Anhand dieser Versuche ließ sich die Funktion der Dampföcher zur Schaffung eines natürlichen Luftaustausches zwischen Keller- und Außenluft (WIENINGER, 2006) nicht nachweisen.

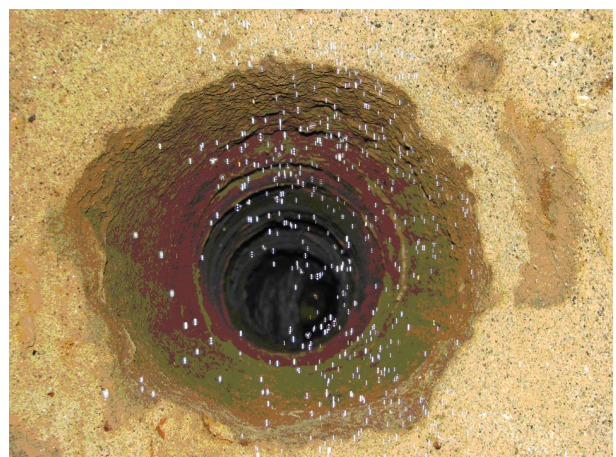


Abb. 3: Helium-Luft-Gemisch-Blasen schwebend unter der Luftöffnung

Diskussion

Durch eine minimale Luftbewegung wird der notwendige Wärme- und Stofftransport im Weinkeller gewährleistet. Laut bauphysikalischen Untersuchungen (PECH et al., 2004) stellen sich durch freie Konvektion Luftgeschwindigkeiten von 0,2 bis 0,3 m/s in realen Gebäuden ein. Die präsentierten Geschwindigkeitsmessungen der Luftströmung mit Konstant-Temperatur-Anemometer im untersuchten Weinkeller lagen deutlich unter den oben genannten Werten der Bauphysik, demzufolge im Weinkeller die Luft also "ruhte". Eine Bestätigung der geringen Strömungsgeschwindigkeit der Kellerluft erfolgte mit der Sichtbarmachung der Strömungsverhältnisse mit Hilfe von Helium-Luft-Gemisch-Blasen. Die Helium-Luft Blasen bewegten sich an dem Lüftungselement, durch das sie eigentlich hätten abströmen sollen, langsam vorbei bzw. blieben sie direkt darunter schwebend stehen. Demgegenüber wird beispielsweise von KREUTZER et al. (2008) angeführt, dass Kellerräume durch eine freie Schachtlüftung gelüftet werden können. Voraussetzungen hierfür sind aber, dass die Lüftungsöffnung lotrecht (Vermeidung einer unnötigen Erhöhung des Strömungswiderstands) und mit gleichbleibendem Querschnitt bis an die Außenluft geführt werden muss. Ein weiterer wesentlicher Aspekt ist, dass eine Luftbewegung nur dann zustande kommt, wenn außer der Schachtöffnung auch eine Zuluftöffnung vorhanden ist. Im Falle des untersuchten Weinkellers war die Mündung der Lüftungsöffnung die einzige Verbindung zur Außenluft; es war keine Möglichkeit einer Zufuhr von Außenluft gegeben. Theoretisch wäre es bei dieser Lüftungs konstruktion mit zwei Öffnungen möglich, dass sich im Sommer, wenn die Außenluft wärmer als die Kellerluft ist, die Strömungsrichtung umkehrt. In der Folge würde Außenluft über die Lüftungsöffnung in die Kellerräume dringen und die Anwendbarkeit der freien Lüftung im Weinkeller weiter einschränken. In Summe kann also festgehalten werden, dass eine Luftströmung durch die Lüftungsöffnung im Erdkeller nicht nachgewiesen werden konnte und deshalb deren Funktion fraglich ist. Hinsichtlich weiterer Untersuchungen gilt es abzuklären, welche kellerbautechnischen Maßnahmen getroffen werden können, um eine freie Lüftung im Weinkeller zu ermöglichen. Dies betrifft vor allem die kelleräumliche Gestaltung im Zuge eines Neubaus oder einer Umbaumaßnahme (WEIK, 2006). Als mögliche Bau-

varianten bieten sich dabei einerseits der Einbau einer unterschiedlichen Anzahl von Lüftungsöffnungen im Keller, und andererseits die Veränderung deren geometrischer Abmessungen an. Des Weiteren gilt es abzuklären, welche quantitative und qualitative Bedeutung bei der Weinkellerlüftung dem Prozess der Diffusion zukommt. Die Diffusion, verursacht durch die thermische Eigenbeweglichkeit (Brownsche Molekularbewegung), stellt einen Mechanismus des Feuchtigkeitstransports im Keller dar. Für die bauliche Charakteristik ist eine Variante der Diffusion von besonderem Interesse, nämlich die Wasserdampfdiffusion.

Literatur

- BABO, A. und MACH, E. (1927): Handbuch des Weinbaues und der Kellerwirtschaft. Band 2: Kellerwirtschaft (1. Halbband). 6. Aufl. – Berlin: Parey, 1927
- BALAK, M. und PECH, A. (2003): Mauerwerkstrokenlegung. Von den Grundlagen zur praktischen Anwendung. – Wien, New York: Springer, 2003
- FREY, H. (2007): Bautechnik. Fachkunde Bau. 12. Aufl. – Haan-Gruiten: Verlag Europa-Lehrmittel, 2007
- HEINRICH, M., HOFMANN, T. und ROETZEL R. (2004): Geologie & Weinviertel. – Wien, Wolkersdorf: Geologische Bundesanstalt & Weinkomitee Weinviertel, 2004
- KREUTZER, D. und PALZ, M. (2008): Mein eigener Weinkeller. Planen, Bauen, Lagern. – G raz: Stocker, 2008
- LEIERER H. (2004): Zukunft Kellergassen. Baugestaltung. – Leopoldsdorf: Ö. Agrar-Verlag, 2004
- PRAGER, E. (2008): Bubblegenerator. Firmenschrift. – Wolkersdorf: Ing. Prager Elektronik HandelsGmbH., 2008
- PECH, A. und KOLBITSCH, A. (2006): Keller. Baukonstruktionen. Band 6. – Wien, New York: Springer, 2006
- PECH, A. und PÖHN, C. (2004): Bauphysik. Baukonstruktionen. Band 1. – Wien, New York: Springer, 2004
- PETER, N. (2001): Lexikon der Bautechnik. – Heidelberg: Müller, 2001
- PETZOLD, K. (2002): Klima. In: FREYMUTH, H. (Hrsg.): Lehrbuch der Bauphysik. Schall – Wärme – Feuchte – Licht – Brand – Klima. 5. Aufl. – Stuttgart, Leipzig, Wiesbaden: Teubner, 2002
- SCHANZ, G.W. (2004): Sensoren. Sensortechnik für Praktiker. 3. Aufl. – Heidelberg: Hüthig, 2004
- WEIK, B. 2005: Fußböden in Weinbaubetrieben. Dt. Weinbau (21): 12-17
- WEIK, B. 2006: Gut geplant ist halb gebaut. Kellertechnik im Bauwesen. Dt. Weinmagazin (16): 26-31
- WIENINGER, E. (2006): Optimierung des Raumklimas in einem alten Weinkeller. – Wien: Diplomarbeit, 2006

Manuskript eingelangt am 11. September 2008