

EINFLUSSFAKTOREN AUF DIE LAGERFÄHIGKEIT VON WEIN

EINLEITUNG

Einflüsse auf die Lagerfähigkeit von Weinflaschen werden vom Abfüller bereits bei der Auswahl der Flaschen und Verschlüsse, bei den technischen Gegebenheiten während der Flaschenfüllung und bei der späteren Lagerung genommen.

Die Entwicklung der Weine auf der Flasche und das Lagerverhalten der Flaschen werden dabei stark durch den Flaschenverschluss, die Art der Lagerung (stehend oder liegend) und die Lagerbedingungen (Luftfeuchte, Temperatur, Beleuchtung) beeinflusst.

Im vorliegenden Artikel sollen die einzelnen Einflussfaktoren aufgeführt und Erfahrungen aus umfangreichen Untersuchungen dargestellt werden.

FLASCHE UND FLASCHENMÜNDUNG

Im Rahmen der langfristigen Abdichtung von Flaschen während der Weinlagerung spielt beim Einsatz sog. „innenabdichtender“ Verschlüsse der Verlauf der inneren Flaschenmündung eine wesentliche Rolle. Genaue Kontrollen der Norm-Vorgaben sind nur mit justierten Innentastgeräten möglich und können daher nur von den Glashütten oder gut eingerichteten Labors vorgenommen werden (13).

Um bei Verschlüssen wie Korken und Kunststoffstopfen eine gute Pressung in der Mündung zu ermöglichen, dürfen die Mündungen nicht zu weit sein. Für eine möglichst große Abdichtfläche ist ein weitgehend zylindrischer Mündungsverlauf wünschenswert. Der derzeit gültige Innenverlauf der üblichen Flaschenmündung wird beschrieben in der EN-Norm 12726, die im Eingangsbereich der Mündung eine Weite von 18,5 +/- 0,5 mm und in 45 mm Tiefe eine Weite von 20 +/- 1 mm vorsieht. Gegenüber der alten DIN 6094, Teil 4 (Eingangsdurchmesser 18,3 +/- 0,4 mm wurde in der gültigen europäischen Norm der erlaubte Eingangsdurchmesser damit etwas vergrößert. Neben diesen beiden Kontrollpunkten gibt es noch einen weiteren Messpunkt in 10 mm Tiefe, der von der Abweichung des jeweils gemessenen mittleren Eingangsdurchmesser ausgehend, beurteilt wird.

Insbesondere beim Einsatz alternativer Kunststoffstopfen muss darauf hingewiesen werden, dass der Einsatz „langer“ Stopfen vor dem Hintergrund einer weiten Flaschenmündung im unteren Mündungsbereich nicht sinnvoll erscheint. Die normalerweise im Durchmesser zwischen ca. 21,5 und 22 mm liegenden Stopfen haben bei einer maximalen Mündungsweite von 21 mm im unteren Bereich ohnehin nicht genügend Anpressung um hier eine größerflächige Abdichtung zu bewirken. Besser ist hier der Einsatz „kurzer“ Stopfen und die Belassung eines ausreichenden Leerraumes zwischen unterem Stopfenspiegel und Weinoberfläche.

In diesem Zusammenhang treten sofort die Fragen nach der korrekten **Füllhöhe** bei gleichzeitiger Beachtung der Vorgaben für das **Nennvolumen** (Fertigpackungs V. O.) und der Wärmeausdehnung von Wein bzw. des Flascheninnendrucks bei der Abfüllung auf.

Durch Bestimmung des Nenn- und Randvollvolumens der Flaschen sollte generell bei Flaschenlieferungen im Rahmen einer Eingangskontrolle festgestellt werden, welche Leerräume nach der Befüllung in den Flaschen übrig bleiben. Erst dann kann die Frage, ob zum Verschluss ein 38 mm oder 44 mm langer Kork oder Kunststoffstopfen eingesetzt werden soll, beantwortet werden.

Bei manchen Flaschen finden sich Herstellerangaben darüber, in welchem Abstand von der Mündungsoberkante das Nennvolumen erreicht wird (z.B. 65 mm). Diese Angabe ist für den Abfüller bei der Einstellung der Füllhöhe wichtig, sollte aber auch durch eigene Kontrollen überprüft werden.

Bei Einhalten des Nennvolumens (z.B. 75 cl) muss in den Flaschen ein ausreichender Leerraum zwischen Weinoberfläche und Kork frei bleiben. Dieser Freiraum ist einerseits zur Reduzierung des beim Verschliessen der Flaschen auftretenden Druckes, andererseits aber auch zum Abpuffern von Volumenvergrößerungen (Dilatation) des Weines bei Erwärmung unbedingt notwendig, die sonst zum sog. „Drücken“, d.h. zu Undichtigkeiten der Flaschen führen.

Das Ausmaß einer Volumenvergrößerung hängt direkt von der Temperaturdifferenz zwischen Füll- und Lager- bzw. Transporttemperatur ab, wird aber auch durch den Alkohol- und Restzuckergehalt des Weines beeinflusst. Als Faustzahl kann bei Erwärmung um 1°C mit einer Ausdehnung von 0,2-0,4 mL/Liter gerechnet werden. Das heißt, dass beispielsweise ein Wein, der mit 10°C abgefüllt und später auf dem Transport auf 40°C erwärmt wurde (was bei sommerlichen Temperaturen sehr schnell erreicht sein wird), sein Volumen um ca. 6 ml (bei trockenem Wein mit ca. 10% Vol.) bis ca. 12 ml (bei restsüßem Wein mit ca. 14% Vol.) pro Liter Füllgut vergrößern wird!

Ein Leerraum von 10 mm – gemessen zwischen Korkunterkante und Weinspiegel (bei stehender Flasche) – entspricht nur ca. 3 ml Volumen.

Ein Anwärmen der Weine in den Temperaturbereich um 20°C Fülltemperatur verringert die mögliche Temperaturspanne zwischen Füll- und Lagertemperatur und damit das Risiko einer zu starken Volumenvergrößerung. Da die Nennfüllmengen nach den Vorgaben des Eichgesetzes auch bei 20°C bestimmt werden, können so auch Überfüllungen vermieden werden.

VERSCHLIESSEN DER FLASCHEN

Beim Verschließvorgang werden Naturkorken und Kunststoffstopfen zunächst im Korkschloss auf 15,8 mm zusammengepresst und dann in die Flaschenmündung eingestoßen. Abhängig von der Elastizität, den Abmessungen, aber auch von der Oberflächenbeschaffenheit der Verschlüsse und der Einstoßgeschwindigkeit entsteht dabei durch die „Kolbenwirkung“, durch Kompression der Luft in den Mündungen, der sog. Verschließdruck. Dieser Druck, der kurzzeitig 4-5 bar erreichen kann, fällt meist innerhalb weniger Minuten wieder auf 1-2 bar ab und wird dann in den nächsten Tagen langsam völlig abgebaut (3).

Dieser Druckabbau kann durch **Kohlensäurespülung des Kopfraumes** der Flaschen beschleunigt werden. Dazu wird CO₂ unmittelbar vor dem Verkorken in die Mündungen geblasen. Durch Einsatz von 0,08-0,4 g CO₂ pro Flasche wird die Luft aus dem Leerraum der Flaschen verdrängt. Da sich die Kohlensäure sehr schnell nach dem Verkorken im Wein löst, wird der Verschließdruck so abgebaut.

(Abbildung 1)

Eine sensorische Beeinflussung des Weines kann wegen der geringen Einsatzmenge nicht festgestellt werden. Dagegen führt die Sauerstoffverdrängung aus dem Kopfraum der Flaschen zu einer Einsparung an Schwefeliger Säure (SO₂).

Eine andere Möglichkeit zur Reduzierung des Verschleißdrucks bietet die sog. **Evakuierung des Kopfraumes** in den befüllten Flaschen. Dabei wird unmittelbar vor dem Verkorken, der Luftdruck im Mündungsbereich abgesenkt. Der Verschleißdruck wird dadurch deutlich geringer. Gerade beim Verarbeiten von Kunststoffstopfen ist dies sehr wichtig, um das sog. „Rückfedern“ der Stopfen zu verhindern. (Abbildung 2) Nach dem Verschließvorgang benötigt der Korken Zeit, um sich wieder auszudehnen und sich an die Innenwand der Flaschenmündung anzupressen und so die Flasche abzudichten.

Diese Rückstellphase, die abhängig von der Elastizität der Korken ist, dauert nur wenige Minuten. Wenn die Flaschen unmittelbar nach dem Verkorken gelegt werden, ist die Rückstellung der Korken noch nicht abgeschlossen. Durch den Verschleißdruck wird dann Wein zwischen Kork und Mündungsglas gedrückt. Ein Flüssigkeitsfilm wird so gebildet, der dann später durch seine Kapillarwirkung zur Leckage der Flaschen führt.

Es ist daher unbedingt wichtig, eine ausreichende Rückstellphase nach dem Verschließen einzuplanen (min. ca. 5 min.). Im Kleinbetrieb kann dieses durch kurzes Stehen lassen der Flaschen auf einem Puffertisch oder Flaschenwagen erreicht werden, im Großbetrieb u.U. durch Verlängerung der Laufzeit auf den Transporteuren oder das Einschalten von Etagenstauförderern vor dem Einpacken.

WAHL DES FLASCHENVERSCHLUSSES

Bei der Wahl des Flaschenverschlusses sind ganz verschiedene Aspekte zu berücksichtigen. Neben der Sicherheit des Verschlusses, die für die Lagerfähigkeit von besonderer Bedeutung ist, sind auch die Verarbeitbarkeit der Verschlüsse, ihr Image beim Verbraucher und natürlich der Preis entscheidend (1, 2, 4, 5, 10, 11, 12, 14, 15).

Der **traditionelle Naturkork** mit seinen bisher unnachahmlichen Elastizitätseigenschaften hat mehrere ernstzunehmende Konkurrenten bekommen, deren Akzeptanz nach und nach auch bei den traditionsbewussten Verbrauchern zunimmt.

Als Naturprodukt birgt der Kork einige Unsicherheiten, die die industriell synthetisch hergestellten Verschlüsse nicht belasten.

Aus Kostengründen, aber auch um die Eigenschaften von Kork berechenbarer zu machen, wurden Korkprodukte wie **Agglomeratkorken** und Agglomeratkorken mit Naturkorkscheiben (**Zweischeibenkorken**) entwickelt.

Als alternative Verschlüsse haben sich seit Jahrzehnten schon **Anrollverschlüsse** und **Kronkorken** bewährt. Auch bei **Kunststoffstopfen**, deren Entwicklung mit vielen Misserfolgen 25 Jahre lang nur langsam voranging, sind in den letzten Jahren sehr große Fortschritte erzielt worden, so dass heute schon mehrere Fabrikate in der Praxis erfolgreich eingeführt sind und eine schnelle Entwicklung bei diesem Verschlüssen zu beobachten ist.

Eine Innovation stellt in diesem Zusammenhang der „**Glasstopfen**“ dar (5). Es handelt sich dabei um einen sich konisch nach unten verengenden Glasstopfen der im Dichtbereich am oberen, inneren Rand der Flaschenmündung durch eine ca. 0,5 – 1,5 mm überweite Dichtung (PVC oder Non-PVC) in die Mündung eingepresst wird. Jeder O-Ring wird durch das jeweilige Maß der Flaschenmündung „kalibriert“, was zur Folge hat, dass die Stopfen nicht beliebig zwischen Flaschen austauschbar sind. Dies ist erst nach einer länger andauernden Rückstellungsphase möglich. Die Dichtung liegt zusätzlich horizontal auf dem Mündungsrand der Flasche auf, was hauptsächlich für den Ausgleich von eventuellen Höhentoleranzen der Flaschen wichtig ist, zusätzlich aber noch zur Gesamtabdichtung beiträgt. Da der Stopfen durch das beschriebene Dichtsystem nicht sehr fest in der Flasche sitzt und durch leichten Daumendruck gelöst werden kann, wird er, zur Sicherung gegen Flascheninnendrucke bis zu 4 bar, mit einem Aluminiumdeckel gesichert. Diese Verschlusskappe wird zur Fixierung beim Verschließvorgang um die untere Kante einer Oberbandmündung umgebördelt. Abbildung 3 zeigt einen Schnitt durch den in einer Flaschenmündung sitzenden Stopfen mit Sicherheitsdeckel.

Das Verschlusssystem „Vino-Lok“ ist aufgrund des Abdichtungsprinzips über den verwendeten O-Ring auf eine hohe Fertigungsgenauigkeit der Glasstopfen und Flaschenmündungen ausgerichtet. Wenige Zehntel-mm Überweite in der Flaschenmündung können zu einem veränderten Verschlussverhalten führen. Erste Ergebnisse im Rahmen der Untersuchungen verschiedener „Vino-Lok“ Varianten zeigen, dass nach zweijähriger Lagerung eine vergleichbare Abdichtung gegenüber Flaschen mit Aluminiumanrollverschlüssen oder guten Naturkorken erreicht wird.

SO₂-VERBRAUCH BEIM ABFÜLLEN UND VERSCHLIESSEN

Bedingt durch unterschiedliche Luftleerräume zwischen Verschluss und Weinoberfläche wird mehr oder weniger viel Luftsauerstoff in den Wein eingebracht und somit auch SO₂ verbraucht.

Gegenüber den Leerräumen bei innenabdichtenden Korken oder Kunststoffstopfen mit 10-15 mm sind die Leerräume bei Schraubverschlussflaschen oder auch bei den Flaschen mit Glasverschluss deutlich größer. Dies bedeutet zunächst, dass bei Gleichdruckverhältnissen mehr Luftsauerstoff in diesem Leerraum verbleibt, sofern dieser vor dem Verschliessen nicht mit Kohlensäure überspült wird.

Generell werden nach Messungen von Mc Clellan (7) ca. 1,3 mg/L Sauerstoff bei der Abfüllung von Weinflaschen in den Wein eingetragen.

Geht man nun davon aus, dass bei Verwendung innenabdichtender Stopfen (Kork, Kunststoff) ein Leerraum von 15 mm in den Flaschen belassen wird (bei im Mittel 21 mm Innendurchmesser der Mündung), so würden infolge dieses Leerraumes und der Sauerstoffaufnahme bei der Abfüllung insgesamt ca. 2,8 mg Sauerstoff in den Wein eingetragen bzw. ca. 11 mg SO₂ pro Liter Wein verbraucht.

Bei einem, in Schraubverschlussflaschen üblichen, Leerraum von ca. 45 mm (= ca. 17 mL) und der Annahme eines mittleren Mündungsdurchmesser von 22 mm wäre der Sauerstoffeintrag inklusive Aufnahme bei der Abfüllung mit rund 6,4 mg zu berechnen und würde einem theoretischen Verbrauch an schwefliger Säure von rd. 26 mg/L entsprechen!

Zu beachten ist aber bei dem Vergleich der unterschiedlichen Leerräume bzw. Verschlussysteme, dass beim Einsatz innenabdichtender Stopfen evtl. sehr hohe Verschleißdrücke beim Einstoßen der Stopfen auftreten können (s.o.). Durch die Verdichtung der Luft durch den Verschleißdruck steigen die Sauerstoffgehalte im Leerraum entsprechend an. Da nach dem Boyle-Mariott'schen Gesetz das Produkt aus Druck (p) x Volumen (V) = Konstant ist, kann bei einer Verdopplung bzw. Verdreifachung des Drucks (was durchaus realistisch ist) auch beim Einsatz von innenabdichtenden Stopfen und kleineren Leerräumen in den Flaschen mit vergleichbaren SO₂-Reduzierungen wie bei Schraubverschlussflaschen gerechnet werden.

Grundsätzlich ist noch zu beachten, dass bei den oben dargestellten Berechnungen des SO₂-Verbrauchs ein Füllvolumen von 1 L je Füllereinheit angenommen wurde. Bei kleineren Füllvolumina erhöht sich der Verbrauch an schwefliger Säure entsprechend!

EINFLÜSSE VON LAGERTEMPERATUR, LUFTFEUCHTE UND LICHT

Die bei der Reifung und Alterung der Weine ablaufenden Reaktionen unterliegen, wie alle chemischen Reaktionen, der Vant' Hoff-Regel. Danach erhöht sich die Reaktionsgeschwindigkeit bei einer Temperaturerhöhung um 10°C um den Faktor 2-3. Bei kühler Lagerung entwickeln sich daher die Weine nach der Füllung langsamer als bei höheren Temperaturen.

Möglichst gleichbleibende Temperaturen von 10-15°C werden als optimal für die Flaschenweinlagerung empfohlen. Wichtig ist auch die Luftfeuchte des Lagerraumes. Bei Lagerung von etikettierten, fertig ausgestatteten Flaschen sollten 60% relative Feuchte nicht überschritten werden, da sonst mit einem Aufweichen des Papiers und mit Schimmelbildung gerechnet werden muss.

Dass auch das Licht, zumindest bei intensiver und dauerhafter Einstrahlung, einen signifikanten, negativen Einfluss auf die Weinqualität haben kann, zeigten bereits frühere Untersuchungen (8, 9).

Durch Lagerung von Flaschen in Gitterboxen oder auch bei Flaschen, die in oberen Verkaufsregalen aufgestellt sind, kann durch die energiereichen Strahlungsanteile von Leuchtstoffröhren der sog. Lichtgeschmack schon innerhalb weniger Wochen verursacht werden. Besonders in farblosen Flaschen abgefüllte Weine und Sekte sind dadurch gefährdet, da beim Weißglas die Lichtdurchlässigkeit viel höher als bei Grünglas oder Braunglas ist. In Flaschenlagern sollten daher die oberen Flaschen abgedeckt werden.

LIEGENDE ODER STEHENDE LAGERUNG

Traditionell werden mit Kork verschlossene Weinflaschen liegend gelagert. Da dies aus technischen Gründen aber nicht immer möglich war, wurde dann auch zur kopfstehenden oder stehenden Lagerung der Flaschen übergegangen. Auch nach der Abfüllung von Sekt ist die stehende Lagerung seit vielen Jahren Praxisbrauch (6).

Um die Auswirkungen unterschiedlicher Lagerarten auf die Haltbarkeit der Weine zu testen, wurden im Fachgebiet Kellerwirtschaft der Forschungsanstalt Geisenheim seit 1973 immer wieder Lagerversuche durchgeführt (3, 10, 11, 14). Hierbei wurden Weine mit den verschiedenen zu testenden Verschlüssen verschlossen und bei Temperaturen von 14°C und 20-35°C (wechselwarm) liegend bzw. stehend gelagert. In regelmäßigen Abständen wurden dann die Verschlüsse und Weine untersucht. Beobachtet wurden dabei bei Korken und Kunststoffstopfen die Festigkeit des Korksitzes durch Messen der Aufziehkräfte beim Entkorken, die Feuchtigkeitsaufnahme der Stopfen, z.T. auch die Schwundverluste und auf jeden Fall die Gehalte der Weine an schwefliger Säure. Auch die geruchliche und geschmackliche Entwicklung der Weine wird unter Einsatz sensorischer Testmethoden von Prüfergruppen verfolgt. Einige Ergebnisse dieser Untersuchungen mit Naturkorken, Presskorken und Kunststoffstopfen sollen nachfolgend kurz dargestellt werden.

Durch Bestimmung der **Feuchte** (Vol.%) kann festgestellt werden, wie viel Wein vom Korken während der Lagerung aufgenommen wird.

Die Feuchtigkeitsaufnahme steht in einem direkten Zusammenhang mit der Abdichtfähigkeit der Korken. Auch bei der Entstehung von Fehltonen, die vom Korken ausgehen, spielt die Korkfeuchte eine Rolle, da die verursachenden Substanzen teilweise über die Lagerzeit aus dem Korken gelöst werden können. Bei allen Tests zeigte sich, dass bei einer stehenden Lagerung der Flaschen die Korken nicht austrocknen, wie oft fälschlich vermutet wird, sondern auch Wein aufnehmen. Der hohe Feuchtegehalt im Kopfraum der Flasche ermöglicht dies. Allerdings steigen die Feuchtegehalte der Korken bei stehender Lagerung im Laufe der Lagerzeit langsamer an und sind sehr viel geringer als bei liegend gelagerten Flaschen.

In Abbildung 4 sind die Ergebnisse eines Vergleichsversuchs nach 43 Monaten Lagerzeit zusammengefasst. Verglichen wurden hier Naturkorken unterschiedlicher Abmessungen und Preisgruppen mit Presskorken (Agglorkorken).

Ganz deutlich sind die Vorteile einer stehenden Lagerung zu erkennen. Im Vergleich zu den liegend gelagerten Flaschen wurde von den meisten Korken weniger als 50% Wein aufgenommen. Allerdings gibt es auch bei stehender Lagerung leichte, von der Art der Korken und ihrer Behandlung abhängige, Unterschiede im Feuchtegehalt, der aber in allen Fällen ausreichte, um das Korkgewebe elastisch zu erhalten.

Diese Beobachtungen hatten natürlich auch einen direkten Einfluss auf die **Schwundverluste der Flaschen**. Durch Bestimmung der Gewichtsverluste war klar zu erkennen, dass die Weinverluste bei liegenden Flaschen viel höher waren als bei den stehend gelagerten Vergleichen. Mit längeren Korken (45 mm) war eine bessere Abdichtung zu erreichen als mit den kürzeren Korken (38 mm). Zudem waren in allen Fällen die stehend gelagerten Flaschen sauber, während bei den liegenden Flaschen durch den austretenden Wein Korkspiegel und Mündungen häufig verschmutzt waren.

Im direkten Zusammenhang mit der Abdichtleistung der Verschlüsse steht auch der **Verbrauch der Weine an schwefeliger Säure** (SO₂).

Wie aus Abbildung 5 zu ersehen, waren nach 43 Monaten Lagerzeit bei Flaschen mit Schraubverschluss keine Unterschiede im Gehalt an freier schwefeliger Säure festzustellen. Liegende und stehende Flaschen waren gleich dicht. Bei den Flaschen, die mit Naturkorken und Agglomeratkorken verschlossen waren, konnten dagegen Unterschiede festgestellt werden. Die stehend gelagerten Varianten hatten etwas niedrigere SO₂-Gehalte, die aber nach der langen Lagerzeit doch noch hoch genug waren, um die Weine vor Oxidation zu schützen. Beim Naturkork hatte die Verwendung billigerer Korken höhere SO₂-Abnahmen zur Folge.

Die Auswirkungen der unterschiedlichen Lagerung auf die Entwicklung der mit Naturkork verschlossenen Weine wurde regelmäßig durch **sensorische Untersuchungen** geprüft. Durch Verrechnung der Einzelergebnisse von sechs Versuchen, die in **25 Verkostungen** mit durchschnittlich 38 Prüfern gewonnen worden waren, zeigte sich, dass in 64% der Untersuchungen kein gesicherter Unterschied zwischen den stehend und liegend gelagerten Weinen festzustellen war (Abbildung 6).

Bei 12% der Vergleichstests wurden zwar signifikante Unterschiede zwischen den Varianten ermittelt, allerdings wurden keine Vorteile für eine Lagerart erkannt. Sehr hoch signifikante Unterschiede ergaben 24% der Untersuchungen. Die stehend gelagerten Weine wurden dabei in 17% der Fälle besser, in 33% schlechter und in 50% als zwar unterschiedlich, aber weder besser noch schlechter bewertet. Zu der Bewertung „schlechter als die liegend gelagerten Weine“ war es dabei allerdings erst nach einer Lagerzeit von sechs Jahren gekommen.

In den meisten Betrieben sind die Flaschenlager auf liegende Flaschenlagerung eingerichtet und können ohne Kapazitätseinbußen kurzfristig nicht umgestellt werden. Die stehende Lagerung erfordert ca. 25% mehr Platzbedarf und kann am einfachsten bei Verwendung von Kartonverpackungen oder auch Kunststoffkisten vorgenommen werden.

LITERATURVERZEICHNIS

- 1 Jung, R., Einfluss des Flaschenverschlusses auf den Wein, ATW-Bericht 72, KTBL Darmstadt, 1994
- 2 Jung, R., Zürn, F., Neues vom Kunststoffstopfen, Das Deutsche Weinmagazin (26), 29 – 33, 1999
- 3 Jung, R., Seckler, J., Zürn, F., Beeinflussung des Verschleißdrucks bei Verwendung herkömmlicher und alternativer Flaschenverschlüsse, ATW-Bericht 119, KTBL Darmstadt, 2001
- 4 Jung, R., Zürn, F., Flaschenverschlüsse: Ein aktueller Überblick, Der Deutsche Weinbau (22), 14-19, 2004
- 5 Jung, R., Der Glasverschluss „Vino-Lok“ für Weinflaschen, Schweizerische Zeitschrift für Obst- und Weinbau, Nr. 23, 10 – 13, 2005
- 6 Lemperle, E., Sekt stehend lagern!, Der Deutsche Weinbau (3), 21 – 25, 1994
- 7 McClellan, M., Sauerstoffaufnahme und Qualitätsbeeinflussung von Wein durch unterschiedliche Abfüllsysteme, Diplomarbeit Fachhochschule Wiesbaden, Standort Geisenheim, 1990
- 8 Perscheid, M., Zürn, F., Pendorf, G., Über den Einfluß der Lichtdurchlässigkeit verschiedener Getränkeflaschen auf die Qualität des Weines, Die Weinwirtschaft 114, 496 – 504, 1978
- 9 Wirsching, M., Einfluss von Licht auf die Qualität von Wein bei unterschiedlichen Flaschenfarben, Diplomarbeit Fachhochschule Wiesbaden, Standort Geisenheim, 2005
- 10 Zürn, F., Seckler, J., Jansen, M., Bach, U., Beeinflussung der Weinqualität durch Lagerart, Lagertemperatur und Korkqualität, Der Deutsche Weinbau (40), 584 – 589, 1985
- 11 Zürn, F., Jung, R., Kork als Verschlussmaterial, ATW-Bericht 62, KTBL Darmstadt, 1995
- 12 Zürn, F., Jung, R., Testmethoden zur Bestimmung der Korkqualität, ATW-Bericht 74, KTBL Darmstadt, 1996
- 13 Zürn, F., Jung, R., Zur Handhabung und Verarbeitung von Korken, Der Deutsche Weinbau (6), 20 –22, 2000
- 14 Zürn, F., Jung, R., Alternative Verschlüsse für Weinflaschen, ATW-Bericht 103, KTBL Darmstadt, 2000
- 15 Zürn, F., Jung, R., Kork: Zukunft zwischen Tradition und Fortschritt, Der Deutsche Weinbau (3), 14-19, 2004

