

Über das Karbonisieren

Perlweinherstellung Dr. Andreas Blank, KH Armaturen GmbH, berichtet über physikalische Grundlagen der Karbonisierung und zeigt Vor- und Nachteile verschiedener Verfahren.

Die Karbonisierung ist der Zusatz von Kohlensäure (CO_2) zu einem Getränk. Damit eine Karbonisierung erfolgreich und zielgerichtet durchgeführt werden kann, müssen einige Details wie Druck, Temperatur und der Einfluss von Fremdgasen beachtet werden.

Einfluss des Drucks auf die CO_2 -Löslichkeit

Bei der Karbonisierung von Getränken ist der Druck die wesentliche Stellgröße. Je stärker das Getränk unter Druck steht, desto mehr CO_2 kann sich darin lösen. Bei Normaldruck und 20°C lösen sich etwa $1,45\text{ g/l CO}_2$ in der Flüssigkeit. Jedes bar Druckerhöhung erhöht die Löslichkeit um weitere $1,45\text{ g/l}$. Damit lösen sich bei $2,5\text{ bar}$ Überdruck etwa $5,1\text{ g/l}$ Karbonisierung. Ist das CO_2 im Getränk gelöst, muss die Flüssigkeit weiter unter Druck gehalten werden, da sonst das nicht mehr lösliche CO_2 unmittelbar verloren ginge. Dies ist der Grund, weshalb für karbonisierte Getränke eine Abfüllanlage im Überdruckbereich unerlässlich ist.

Einfluss der Temperatur auf CO_2

Die Temperatur spielt bei der Karbonisierung eine große Rolle. Je tiefer die Temperatur, desto besser löslich sind alle Gase. Eine Temperaturverringerung um 20°C verdoppelt in etwa die Löslichkeit der Gase. Zur vollständigen Auflösung von CO_2 sind daher tiefe Temperaturen von möglichst weniger als 10°C zu

bevorzugen (Blank et al., 2012). Eine genaue Messung des CO_2 -Überdrucks sollte immer bei 20°C erfolgen, da die Temperatur einen erheblichen Einfluss auf die CO_2 -Messung hat. Die gesetzlichen Vorgaben zu CO_2 -Gehalten beruhen auf einer Temperatur von 20°C . Eine Temperaturkompensation des Druckes ist in der VO (EG) 1293/2005 definiert (Bach et al., 2010). Moderne CO_2 -Messgeräte berücksichtigen die Temperatur und geben den CO_2 -Gehalt wie rechtlich vorgesehen in bar bei 20°C oder in der temperaturunabhängigen Einheit g/l an.

Einfluss von Fremdgasen

Neben Druck und Temperatur müssen Fremdgase bei der Karbonisierung ebenfalls berücksichtigt werden. Den beiden wesentlichen Fremdgasen Sauerstoff (O_2) und Stickstoff (N_2) wird ungerechtfertigterweise aber eine nur sehr geringe Bedeutung zugeschrieben.

Die Gase N_2 und O_2 haben im Vergleich zu CO_2 eine wesentlich schlechtere Löslichkeit. Dies bedeutet, dass bereits sehr geringe Konzentrationen an gelösten Fremdgasen den Druck stark erhöhen. Zur Erhöhung des Druckes um 1 bar werden beispielsweise 14 mg/l gelöster N_2 oder 40 mg/l gelöster O_2 benötigt. Da alle anwesenden Fremdgase den benötigten Gegendruck zur Auflösung des CO_2 erhöhen, ist die Karbonisierung in Anwesenheit von Fremdgasen deutlich erschwert.

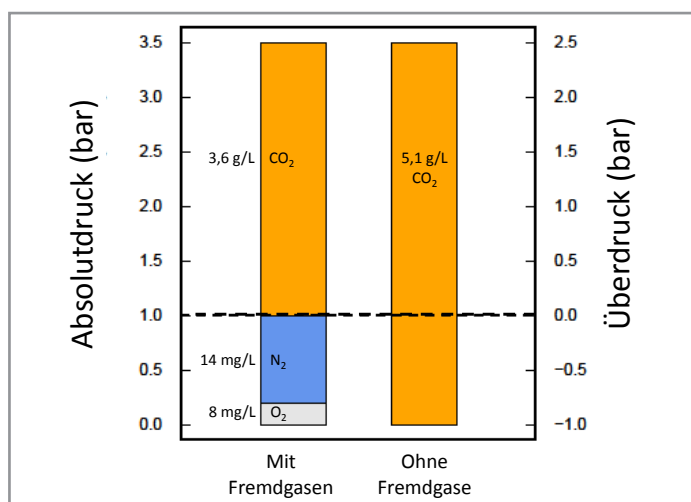


Abb. 1:
 CO_2 -Gehalt bei
 $2,5\text{ bar}$ Gebinde-
druck mit und
ohne Fremdgase



Foto: DWI

Druckmessung bei Perlwein

Auch bei der Messung des CO_2 -Gehalts in abgefüllten Flaschen mittels Manometer wird der Druck durch Fremdgase mitbestimmt, obwohl weder Sauerstoff noch Stickstoff zum perlenden Geschmack beitragen.

Abbildung 1 zeigt zwei extreme Beispiele bei der Ermittlung des CO_2 -Drucks in Perlweinen. Die beiden Perlweine mit einem Überdruck von je $2,5\text{ bar}$ weisen ganz unterschiedliche CO_2 -Gehalte auf. Auf der linken Seite wurde ein mit Fremdgasen gesättigter Wein auf $2,5\text{ bar}$ Überdruck bei 20°C karbonisiert. In diesem Fall lösen sich $3,6\text{ g/l CO}_2$, da Sauerstoff und Stickstoff einen Druck von 1 bar belegen. Auf der rechten Seite ist die Karbonisierung auf $2,5\text{ bar}$ Überdruck vollständig ohne Fremdgase dargestellt. Hierbei können sich nun die kompletten $5,1\text{ g/l CO}_2$ lösen.

Dies bedeutet konkret: Um möglichst viel CO_2 in einem Perlwein oder einem perlenden Getränk zu lösen, sollte unbedingt auf einen möglichst geringen Fremdgasanteil geachtet werden.

Reduzierung von Fremdgasen

Zur Reduzierung von Fremdgasen können unter anderem Vakuumentgaser oder hydrophobe Membranen eingesetzt werden. In der Getränkeindustrie werden hierfür oft Vakuumentgaser verwendet. Diese Geräte reduzieren effizient den Gehalt an Stickstoff und Sauerstoff in Wasser und anderen Getränken. Vor allem bei der Entgasung von Wasser ist diese Technologie Standard. Im Weinbereich führt das eingesetzte Vakuum jedoch dazu, dass auch weineigenes, indigenes CO_2 in großem Maße entfernt wird. Dieser Verlust muss bei der späteren Karbonisierung wieder mit technischer Kohlensäure ausgeglichen werden. Aus diesem Grund sind Vakuumentgaser im Weinsektor nicht verbreitet.

Für die Reduzierung von Fremdgasen in Wein können stattdessen poröse Sinterfritten oder hydrophobe Membranen eingesetzt werden (Blank et al., 2012). Besonders geeignet

und mittlerweile vermehrt im Einsatz sind Anlagen mit hydrophoben Membranen (Breier, 2013; Schmidt et al., 2008). Diese Membrantechnik hat sich als sehr effizient in der Reduzierung von Fremdgasen gezeigt. Bei richtiger Anwendung mit CO₂ oder Vakuum werden etwa 90 % aller wichtigen Fremdgase in einem Durchgang entfernt, die weineigene Kohlensäure wird dabei nicht reduziert (Blank et al., 2013). Zusätzlicher Vorteil bei der Membranentgasung ist, dass kein Schaum auftritt und der Aromaverlust zu vernachlässigen ist (Blank und Vidal, 2012).

Arten der Karbonisierung

Die Karbonisierung von CO₂ ist grundsätzlich im Batch-Verfahren oder in kontinuierlichen Verfahren möglich. Die eingesetzten Verfahren haben spezifische Vor- und Nachteile.

Tankverfahren der Karbonisierung

Im Weinbereich entwickelte sich die Herstellung perlender Weine als Ergänzung zu klassischen Tankgärsektionen. In diesem Bereich sind große Drucktanks Standard. Diese Drucktanks können sehr einfach genutzt werden, um einzelne Tanks getrennt zu karbonisieren.

Im ersten Schritt wird der noch stille Wein in einen mit CO₂ gefüllten Drucktank gepumpt. Im Umpumpverfahren wird nun der CO₂-Gehalt mittels einer Injektordüse erhöht, bis sich der gewünschte Druck im Tank eingestellt hat. Das Verfahren ist für den Anwender sehr einfach durchzuführen. Die Karbonisierung kann beendet werden, sobald der gewünschte CO₂-Gehalt erreicht wird. Da die Karbonisierung für jeden Tank getrennt durchgeführt wird, spricht man von einem Batch-Verfahren der Karbonisierung.

Falls eine In-Line-CO₂-Messung vorgenommen wird, muss die Messung vor dem Eingang der Zirkulationspumpe durchgeführt werden, da die injizierten Gasbläschen die CO₂-Messung nach der Zirkulationspumpe verfälschen. Ist keine In-line-CO₂-Messung vorhanden, kann der CO₂-Gehalt auch mittels Temperatur und Druck kostengünstig bestimmt werden. Da sich die Gleichgewichte aus CO₂,

Druck und Temperatur bei dieser Methode nur sehr langsam einstellen, ist nach einer Begasung eine Beruhigung von manchmal mehreren Tagen erforderlich.

Die Leistungsanforderung an die Pumpe ist gering, da sich der Druck im Drucktank nur langsam erhöht. Die Abfüllung aus dem Drucktank kann ohne Druckerhöhungspumpe durchgeführt werden. Die Druckdifferenz aus Drucktank zum Abfüllkessel kann für den Transfer ausgenutzt werden. Der Gebinde-Druck muss dabei durch Einleiten von zusätzlichem CO₂ in den Kopfraum konstant gehalten werden. Durch die Entnahme der Flüssigkeit würde der Gebinde-Druck sonst immer mehr abfallen.

Nachteilig ist, dass die benötigte Menge CO₂ zum Aufrechterhalten des Druckes erheblich ist. Er ist etwa gleich groß wie die Menge des in der Flüssigkeit gelösten CO₂. Dieses CO₂ ist aber nicht verloren, es kann für die nächste Karbonisierung weiter verwendet werden.

Wird versehentlich zu viel CO₂ dosiert, ist dieser überhöhte Gehalt schwierig wieder zu verringern. Hierzu müsste unter leichtem Rühren CO₂-Überdruck aus dem Tank abgelassen werden. Zu beachten ist hier die Gefahr eines starken Überschaümen des Gebindes.

Kontinuierliche Verfahren

Bei kontinuierlichen Verfahren wird Kohlensäure so dosiert, dass sie sofort annähernd vollständig gelöst ist. Das zuvor stille Getränk wird direkt auf dem Weg zur Abfüllung mit einem In-line-Mischer karbonisiert. In der Regel wird die Karbonisieranlage auf dem Weg von Füllpumpe zum Sterilfilter positioniert. Somit wird neben dem Überdruckfüller kein TÜV-pflichtiger Drucktank für die Perlweinerstellung benötigt. Bei allen kontinuierlichen Karbonisierungsverfahren ist darauf zu achten, dass der Gegendruck und die Temperatur so gewählt sind, dass das vollständige Auflösen der Kohlensäure physikalisch möglich ist. Dabei gilt der Grundsatz: Je größer der Druck, desto besser ist die Kohlensäure löslich.

Die am Markt erhältlichen kontinuierlichen Verfahren unterscheiden sich in der Art der

**KH+KUNZMANN
HARTMANN**
— DIE EDELSTAHL-SPEZIALISTEN —



CO₂ Membran System

- + Exakte CO₂ Dosierung und CO₂ Entfernung (0 - 9 g/L)
- + mit Fremdgasentfernung
- + In-Line Verfahren direkt bei der Abfüllung
- + kein Schäumen
- + voll automatisierbar



**KH+KUNZMANN
HARTMANN**
— DIE EDELSTAHL-SPEZIALISTEN —

Sie haben besondere Anforderungen?

Wir haben besonders flexible Lösungen!

K+H Armaturen GmbH
An der Hessel 5
D-75038 Oberderdingen

Telefon +49 7045 980-0
Fax +49 7045 980-27
E-Mail info@kh-armaturen.de
www.kh-armaturen.de

HINTERGRUND

Begriffserklärung Druck

- Gasdruck: Summe aller durch Gase wirkenden Kräfte auf die Gefäßwand
- Normaldruck: Durchschnittlicher Umgebungsdruck der Luft auf Meereshöhe. 1013,25 hPa = 1,013 bar
Absolutdruck = 0 bar Relativdruck
- Relativdruck: Druck im Vergleich zum Umgebungsdruck. Manometer in Relativdruck zeigen bei Normaldruck 0 bar an. Sie können bei Vakuum Einsatz bis -1 bar anzeigen.
- Überdruck: Entspricht dem Relativdruck, falls mehr Druck als die Umgebung anliegt.
- Absolutdruck: Druck im Vergleich zum absoluten Vakuum. Der Absolutdruck ist um etwa ein bar höher als der Relativdruck. Absolutdruckmanometer zeigen in Luft etwa 1 bar an.
- Partialdruck: Ist nur ein Gas vorhanden, entspricht der Partialdruck dieses Gases dem Absolutdruck. Sind mehrere Gase vorhanden summieren sich die Partialdrücke zum Gesamtdruck.
- Beispiel: 2,5 bar Überdruck bei Perlwein entsprechen 3,5 bar Absolutdruck. Der Partialdruck des CO₂ beträgt 3,5 bar, falls neben CO₂ keine Fremdgase im Perlwein vorhanden sind.



Abb. 2: CO₂-Membrananlage mit automatischer Steuerung, CO₂-Messung und Vakuumpumpe der KH Armaturen GmbH

CO₂-Dosierung und der anschließenden Untermischung in das Getränk. Bei allen Verfahren wird über eine Düse CO₂ gasförmig zuge-
setzt. Anschließend werden die Gasbläschen in einem Mixer mit dem Getränk optimal vermischt, sodass sie sich auflösen können. Je kleiner und feiner die Gasperlen sind, desto besser lösen sie sich auf. Ist die Auflösung der injizierten Gasperlen unvollständig, führt

die Verperlung zu einem starken Schäumen bei der anschließenden Filtration oder bei der Abfüllung. Wird keine vollständige CO₂-Lösung erzielt, kann als Gegenmaßnahme der Gegendruck weiter erhöht oder die Temperatur weiter abgesenkt werden. Verschiedene Bauarten von Karbonisieranlagen unterscheiden sich dabei sehr stark im benötigten Gegendruck. Die Karbonisierung sollte daher unbedingt auf die beabsichtigte Leistung abgestimmt sein. Zu bedenken ist weiter, dass hoher Gegendruck bei der Abfüllung wieder auf Normaldruck entlastet werden muss. Je höher der Druck, desto länger dauert dessen schaumfreie Entlastung. Ein höherer Gegendruck bedingt daher eine langsamere Füllgeschwindigkeit, um diese langsame Druckentlastung zu gewährleisten.

Bei allen In-Line-Karbonisieranlagen ist eine möglichst kontinuierliche Produktion anzustreben. In der Regel wird sowohl der Volumenstrom des Getränks als auch der Massenstrom der Kohlensäure gemessen. Soll der CO₂-Gehalt um etwa 5 g/l erhöht werden, so wird 5 kg CO₂ pro 1 000 l Flüssigkeit dosiert. Wird der Produktstrom plötzlich verringert, kann es zu überhöhten CO₂-Gehalten kommen, da der Gasstrom nicht schnell genug verringert werden kann. Umgekehrt kann die Erhöhung des Produktstroms zu einer zu geringen CO₂-Dosierung führen. Für eine konstante Karbonisierung ist daher ein gleichmäßiger Produktstrom unverzichtbar.

Aufgrund von Störungen bei der Abfüllung verläuft diese selten vollkommen kontinuierlich. Zur sicheren, weil kontinuierlichen Einstellung des CO₂-Gehalts wird deswegen häufig ein Puffertank eingesetzt. Die In-Line-Karbonisierung findet dabei auf dem Weg in den Puffertank statt. Die Abfüllung kann jetzt

Foto: KH Armaturen GmbH

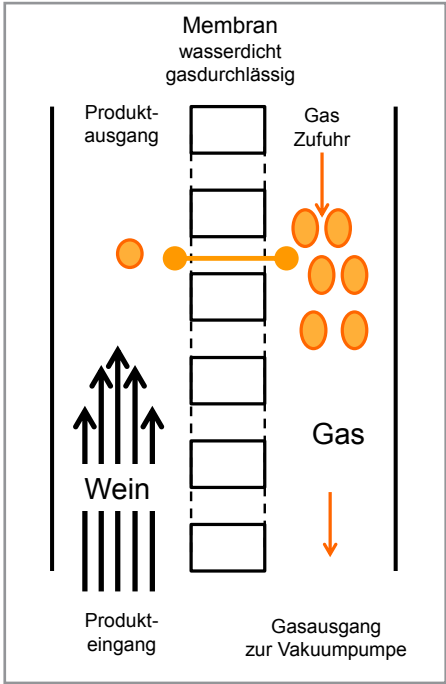


Abb. 3: Funktionsweise einer hydrophoben Membran

direkt aus dem Puffertank erfolgen. Kurze Füllunterbrechungen führen dann nicht zu einer fehlerhaften CO₂-Einstellung, da die Karbonisierung in den Puffertank weiter läuft. In modernen Anlagen sind solche Puffertanks bereits in den Karbonisierer integriert. Problematisch bei Systemen mit Puffertanks ist aber das relativ große Totvolumen, sodass es bei Produktwechseln zu vermehrter Vermischung zwischen den Produkten kommen kann.

Hydrophobe Membran

Als Alternative zu kontinuierlichen Verfahren zur CO₂-Einstellung stehen seit etwa 2006 Membranverfahren zur Verfügung. Anfangs wurden diese Anlagen hauptsächlich zu einer sanften Korrektur des CO₂-Gehalts ohne viel Mess- und Regeltechnik eingesetzt (Breier, 2013). Mittlerweile kommen die Anlagen in der Weinbranche aber auch vermehrt zur Karbonisierung zum Einsatz. Die Steuerung, sowie die Regeltechnik wurden in den letzten beiden Jahren dabei soweit verbessert, dass bei der Abfüllung auf einen Drucktank als Puffer komplett verzichtet werden kann.

Die hydrophobe Membran besteht aus Polypropylen. Ähnlich wie bei atmungsaktiven Regenjacken können gasförmige Moleküle die Membran durchdringen, Flüssigkeiten hingegen nicht. CO₂ diffundiert durch die Membran gasperlenfrei in den Wein. Gleichzeitig mit der Karbonisierung werden Fremdgase wie Sauerstoff und Stickstoff größtenteils entfernt. Der benötigte Gegendruck bei der Karbonisierung ist hierdurch besonders gering.

Die Anlagen sind ausgestattet mit einer Vakuumpumpe und integrierter CO₂-Messung. Bei dieser Ausstattung kann eine kontinuier-

Tab. 1: Verfahren der Karbonisierung		
Verfahren	Vorteile	Nachteile
Tank-Karbonisierung	• Einfache Durchführung • Druckloser Prozessbeginn • Homogene Einstellung des gesamten Gebindes • Einfache Abfüllung ohne Pumpe möglich • Wiederverwendung des überschüssigen CO₂	• Bedarf großer Drucktanks (TÜV-pflichtig) • Hoher Zeitbedarf • Nicht kontinuierlich • Schwierigkeiten bei überhöhter Karbonisierung
Kontinuierliche Karbonisierung	• Automatisierbare Anlage • Nur ein Prozessschritt • Wenig CO₂-Verlust • Es wird kein oder nur ein kleiner Drucktank benötigt	• Bedarf einer leistungsstarken Abfüllpumpe • Benötigt konstante Produktflüsse • Großes Totvolumen durch Druckbehälter • Gefahr der Produktvermischung • Großer Platzbedarf
Membrankarbonisierung	• Automatisierbare Anlage • Nur ein Prozessschritt • Wenig CO₂-Verlust • Kein Drucktank als Puffer nötig • Geringer Platzbedarf • Gleichzeitige Fremdgasreduzierung • Entgasung von CO₂ möglich • Möglichkeit zur Entalkoholisierung	• Bedarf einer angepassten Abfüllpumpe • Erhöhter Reinigungsaufwand

liche, genaue Einstellung des CO₂-Gehalts bei gleichzeitiger Fremdgasentfernung gewährleistet werden. Im Fall der Fälle kann sogar ein zu hoher CO₂-Gehalt über die Vakuumpumpe wieder verringert werden (Blank et al., 2013).

Bei der Wahl einer optimalen Karbonisierung zusammen mit sehr guter Abfülltechnik kann Perlwein mit 5,1 g/l bei 20° C mit einem Kesseldruck von etwa 3 bar schaumfrei abgefüllt werden. Auch wird von Praxisbetrieben eine Steigerung der Abfüllleistung nach Installation einer neuen Membrankarbonisierung um bis zu 10 % berichtet. Selbst die Karbonisierung von verperlten Säften mit über 9 g/l CO₂ (5 bar) ist bei einer Temperatur von 15° C direkt auf die Abfüllung möglich.

Verfahrensvergleich

Technische Vor- und Nachteile der Verfahren sind in Tabelle 1 zu finden. Die Qualität einzelner Verfahren kann durch den benötigten minimalen Gegendruck ohne Schaumbildung beschrieben werden. Je besser die Karbonisierung, desto eher kann auf ein energieintensives Abkühlen der Getränke verzichtet werden beziehungsweise die Abfüllleistung kann durch die geringere Schaumneigung deutlich erhöht werden. Neue, bessere Karbonisierungsanlagen amortisieren sich durch diese geringere Schaumneigung oft in kurzer Zeit.

Ein sensorischer Unterschied zwischen verschiedenen Verfahren wurde bisher wissen-

schaftlich nicht belegt. Alle Hersteller sprechen aber von besonders fein schmeckender Kohlensäure bei dem jeweils verwendeten System. Vermutlich hängt die Qualität der Perlen aber besonders stark von den Eigenschaften des Grundweines ab und weniger vom Verfahren (Bach et al., 2010). Rein spekulativ ist der Einfluss von Stickstoff auf die durch Gase beeinflusste Sensorik der Weine.

Preisliche Unterschiede zwischen den Anlagen sind enorm, einfache Injektoren für das Tank-Verfahren sind kostengünstig erhältlich. Hauptkostenpunkt beim Tank-Verfahren ist die Beschaffung und der Unterhalt der Drucktanks sowie die zusätzliche Arbeitszeit. Sie werden daher in der Regel nur verwendet, falls Drucktanks bereits vorhanden sind.

Mischer zur kontinuierlichen Karbonisierung sowie zur Membrankarbonisierung sind in der Anschaffung um ein vielfaches teurer als Injektoren fürs Tank-Verfahren. Die Ausstattung an Mess- und Regelungstechnik und der Grad der Automatisierung sind dabei erheblich. Die Vorteile bei der Arbeitszeit und in der Logistik kompensieren die höhere Anschaffung aber oft schnell.

Fazit

Für eine optimale Herstellung von karbonisierten Getränken ist ein großes Maß an Wis-

sen und an Ausrüstung erforderlich. Hier wurden die Grundlagen bei der Karbonisierung von perlenden Getränken beschrieben. Es wurden verschiedene Anlagenbauformen vorgestellt und ihre Vor- und Nachteile diskutiert. Die Membrantechnik zur Karbonisierung bietet sowohl technisch als auch wirtschaftlich derzeit die besten Ergebnisse. ■

Literatur

Bach, H.-P., Troost, G., und Rhein, O.H. 2010. Sekt – Schaumwein – Perlwein. Ulmer, Stuttgart.

Blank, A., Schmidt, O., und Vidal, J.-C. 2012. Anleitung zum Gasmanagement bei Wein – Winzer geben Vollgas. das deutsche weinmagazin 12: 22-27.

Blank, A., Schmidt, O., und Vidal, J.-C. 2013. Knoff-Hoff: Membrananlagen zum Gasmanagement. das deutsche weinmagazin 20: 18-23.

Blank, A., und Vidal, J.-C. 2012. Gas management by membrane contactor: Ester and higher alcohol losses and comparison with porous injector. Bulletin de l'O.I.V. 85: 5-14.

Breier, N. 2013. Kohlensäure- und Sauerstoffmanagement. das deutsche weinmagazin 13: 35-37.

Schmidt, O., Waidelich, G., und Ulbrich, J. 2008. Völlig losgelöst – Verfahren zur Optimierung der Gehalte an gelösten Gasen sowie der Alkoholverzögerung. das deutsche weinmagazin 5: 20-25.



- Crossflow-Filter
- Umkehrosmose
- CO₂ -Management

Emrich –
alles klar!

Carl-Zeiss-Straße 9 · 56751 Polch
Telefon 0049 26 54 88 1115
Telefax 0049 26 54 88 1116
www.emrich-edelstahlbau.de

emrich

Edelstahlbau GmbH & Co. KG



SYNCOR®

the long-life closure.



GlasTwister®

DER PERFEKTE Secco-Verschluss

...schmeckt und
prickelt länger!




Glas






Telefon: +49 (0) 80 86 - 93 12 45
www.syncor.de
E-Mail: info@syncor.de