

Lagerung von Äpfeln: Mit DCA oder 1-MCP?

Vergleich zur optimalen Qualitätserhaltung von eingelagerten Äpfeln

Mit der Dynamischen CA-Lagerung und dem Einsatz von 1-MCP stehen der Praxis zwei moderne Methoden zur optimalen Qualitätserhaltung von Äpfeln während der Lagerung zur Verfügung. Welches der beiden Verfahren für einen Betrieb vorteilhafter ist, muss aufgrund der unterschiedlichen Merkmale für jeden Fall individuell analysiert werden.

Franz Gasser, Séverine Gabioud, Anna Bozzi Nising, Forschungsanstalt Agroscope Changins-Wädenswil ACW, Schweiz

Die dynamische CA-Lagerung (DCA) wird seit einigen Jahren im Südtirol sowie in Deutschland und Österreich praktiziert. Bei dieser Weiterentwicklung der CA-Lagerung wird der Sauerstoffgehalt in der Lageratmosphäre schrittweise mit dem Ziel abgesenkt, einen möglichst tiefen Sauerstoffwert zu erreichen und dadurch die Qualitätserhaltung zu optimieren, ohne dass die Äpfel geschädigt werden. Eine sichere Sauerstoffabsenkung im Lager ist nur dann möglich, wenn eine zuverlässige Messmethode zur Verfügung steht, die dem Lagerhalter anzeigt, ob die kritische Sauerstoffkonzentration unterschritten worden ist.

Seit einigen Jahren wird in Europa SmartFresh™ (Wirkstoff: 1-Methylcyclopropen, MCP) zur Behandlung von Tafeläpfeln bei der Einlagerung eingesetzt. Die Substanz 1-MCP besetzt die Bindungsstellen, an denen sich das Reifehormon Ethylen bindet und so die Reifung auslöst. Die Blockierung dieser Bindungsstellen hat zur Folge, dass die Bildung von fruchteigenem Ethylen und Reifeenzymen gehemmt wird. Da bei üblichen CA-Lagerbedingungen der Stoffwechsel verlangsamt ist, kann diese Blockierung der Ethylenwirkung über Monate anhalten. Meist vermindert sich diese Blockierung erst nach der Auslagerung der Früchte, nach-

dem sie für einen Zeitraum von bis zu zwei Wochen bei Raumtemperatur gehalten werden. Die Ethylenbildung setzt dann langsam wieder ein, und damit werden die Reifevorgänge in Gang gesetzt.

Eignung ausgewählter Apfelsorten für die DCA

In der Lagersaison 2005/2006 wurden verschiedene, bei optimalem Erntetermin gepflückten Sorten bei 3 °C gelagert. Für jede Sorte wurde ein Lagerbehälter bei konstanten Niedrig-Sauerstoff-Bedingungen (LO, low oxygen) gelagert (Konzentrationen für CO₂/O₂ bei *Idared* 1,5/1,0 %, bei *Maigold* 3,0/2,0 %, bei *Elstar* 3,0/2,0 % und bei *Braeburn* 1,0/1,5 %).

Ein Lagerbehälter pro Sorte wurde für die dynamische CA-Lagerung mit schrittweiser Sauerstoffabsenkung ver-



Abb. 1: DCA-Versuchsanlage mit Sensoren

wendet. Die DCA-gelagerten Äpfel wurden zuerst je eine Woche bei normalen Kühlraumbedingungen und dann bei den oben erwähnten LO-Bedingungen gelagert, bevor der Sauerstoff langsam um 0,2 % pro Woche abgesenkt wurde. Der kritische Sauerstoffwert, der nicht unterschritten werden sollte, betrug bei den Sorten *Idared*, *Maigold* und *Elstar* 0,2 % bis 0,3 %, bei *Braeburn* 0,4 %. Nachdem die kritische Sauerstoffkonzentration erreicht worden war, wurde die Sauerstoffkonzentration bei allen Sorten um 0,2 bis 0,3 % über den kritischen Wert erhöht, um eine sichere Lagerung zu ermöglichen.

Wie aus der Abb. 2 am Beispiel von *Braeburn* hervorgeht, konnte die kritische Sauerstoffkonzentration mit Hilfe

Tabelle 1: Versuchsvarianten in den Lagerperioden 2006/2007 und 2007/2008 für die DCA-Lagerung von Golden Delicious (jeweils 2 Pflückzeitpunkte)

Lagermethode	Geschwindigkeit O ₂ -Absenkung *)	CO ₂ -Konzentration
Konstante LO Bedingungen (Kontrolle)	Konstant bei 1 %	Konstant bei 3 %
Langsame Sauerstoffabsenkung	0,2 % pro Woche	Konstant bei 3 %
Schnelle Sauerstoffabsenkung (A)	0,2 % pro Tag	Konstant bei 3 %
Schnelle Sauerstoffabsenkung (B)	0,2 % pro Tag	Proportional zu O ₂ (3:1)

*) ausgehend von den empfohlenen LO-Bedingungen für Golden Delicious

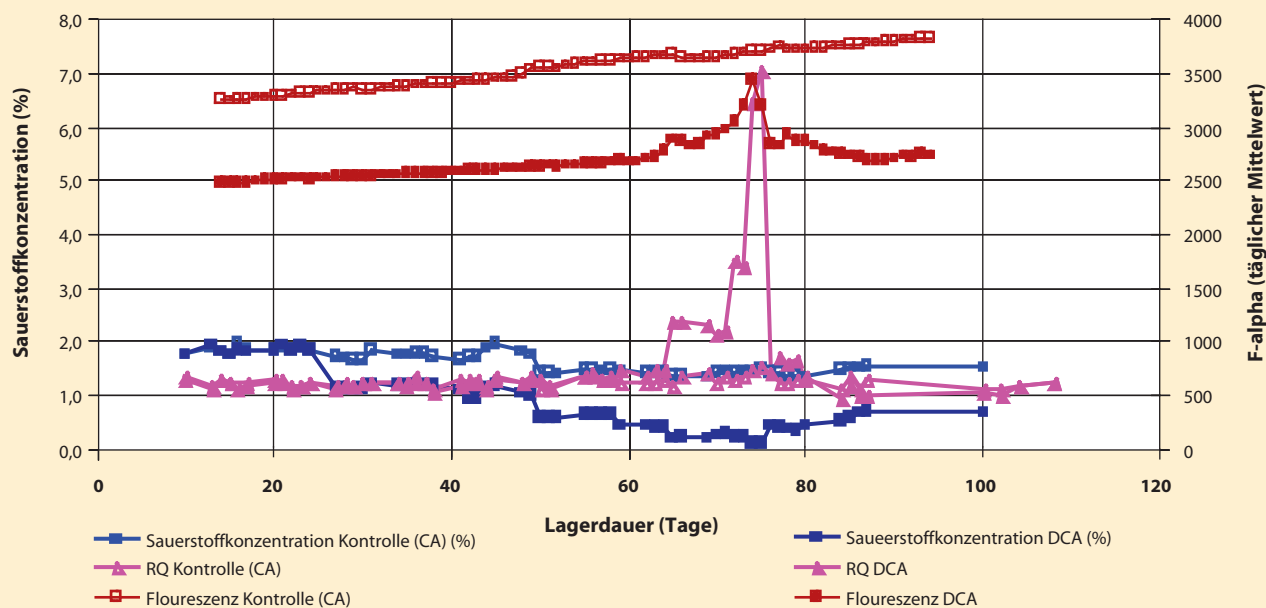


Abb. 2: Zeitlicher Verlauf von RQ und F- α während der DCA Lagerung von Braeburn-Äpfeln

der **Chlorophyllfluoreszenz F- α** einwandfrei erfasst werden. Sobald die Äpfel zuwenig Sauerstoff zur Verfügung haben, reagieren sie auf diesen Stress mit einer starken Erhöhung der Chlorophyllfluoreszenz F- α . Die Fluoreszenz verhielt sich genau gleich wie der **Respirationsquotient RQ** (Verhältnis von CO₂-Produktion und O₂-Verbrauch), d. h. die Fluoreszenzmessung widerspiegelt das physiologische Verhalten der Frucht.

Die Fruchtfleischfestigkeit der DCA-gelagerten Äpfel war im Allgemeinen signifikant höher als diejenige der LO-Kontrollvarianten, mit Ausnahme der Sorte *Elstar*, wo die Unterschiede nicht signifikant waren. Interessant und für die Praxis bedeutungsvoll ist auch, dass durch die Anwendung der DCA bei *Maigold* das Auftreten von Schalenbräune gänzlich unterdrückt werden

konnte, während bei der Kontrollvariante alle Früchte dieses Schadensbild aufwiesen.

Einfluss von Pflückzeitpunkt und DCA-Methodik

Der Einfluss von Erntezeitpunkt, Geschwindigkeit der Sauerstoffabsenkung und der CO₂-Konzentration wurde in der Lagersaison 2006/2007 und 2007/2008 mit der Sorte *Golden Delicious* getestet, welche jeweils an zwei Pflückzeitpunkten geerntet wurde (optimaler Zeitpunkt und fortgeschrittene Reife in einem Abstand von rund 1 Woche; Tabelle 1). Der Sauerstoff wurde während der gesamten Lagerzeit von rund 200 Tagen dreimal abgesenkt, um allfällige Veränderungen in der kritischen Sauerstoffkonzentration erfassen zu können.

Zu Beginn der Lagerung wurden die Äpfel zuerst bei 1 °C normal kühl gelagert, dann während 2 Wochen bei konstanten LO-Bedingungen von 3,0 %/1,0 % (CO₂/O₂) und derselben Temperatur gelagert, bevor der Sauerstoff abgesenkt wurde.

Wie aus Tabelle 2 hervorgeht, wurde die tiefste erreichbare bzw. die **kritische Sauerstoffkonzentration** im Rahmen der gewählten Versuchsbedingungen weder von der Geschwindigkeit der Sauerstoffabsenkung noch vom CO₂-Gehalt der Lageratmosphäre oder der Lagerdauer nach einem klar erkennbaren Muster beeinflusst. Der kritische Sauerstoffgehalt variierte je nach Pflückzeitpunkt und Versuchsjahr. Das stellt aber kein Problem dar, da in einem Lagerraum verschiedene Pflückzeitpunkte mit je einem Sensor überwacht und die Lagerbedingungen so eingestellt werden können, dass sie den Bedingungen der „empfindlichsten“ Früchte, d. h. derjenigen mit dem höchsten kritischen Sauerstoffgehalt, entsprechen. Wenn also ein Pflückzeitpunkt eine kritische Sauerstoffkonzentration von 0,3 %, ein anderer von 0,4 % aufweist, so muss sich die Einstellung der Konzentration am Wert von 0,4 % orientieren.

Tabelle 2: Kritische Sauerstoffkonzentration bei der DCA-Lagerung von Golden Delicious (2 Pflückzeitpunkte)

Methode der Sauerstoffabsenkung	Pflückzeitpunkt 1			Pflückzeitpunkt 2		
	1	2	3	1	2	3
Lagersaison 2006/2007						
Langsame Sauerstoffabsenkung	0,31	0,22	0,37	0,11	0,23	0,38
Schnelle Sauerstoffabsenkung (A)	0,43	0,23	0,38	0,11	0,19	0,41
Schnelle Sauerstoffabsenkung (B)	0,45	0,28	0,44	0,12	0,22	0,38
Lagersaison 2007/2008						
Langsame Sauerstoffabsenkung	0,14	0,37	0,25	0,14	0,47	0,27
Schnelle Sauerstoffabsenkung (A)	0,15	0,36	0,25	0,11	0,47	0,27
Schnelle Sauerstoffabsenkung (B)	0,17	0,39	0,28	0,11	0,50	0,31

1= Sauerstoffabsenkung zu Beginn der Lagerung, 2 = Sauerstoffabsenkung nach 90–100 Tagen, 3= Sauerstoffabsenkung am Ende der Lagerung (188–197 Tage)

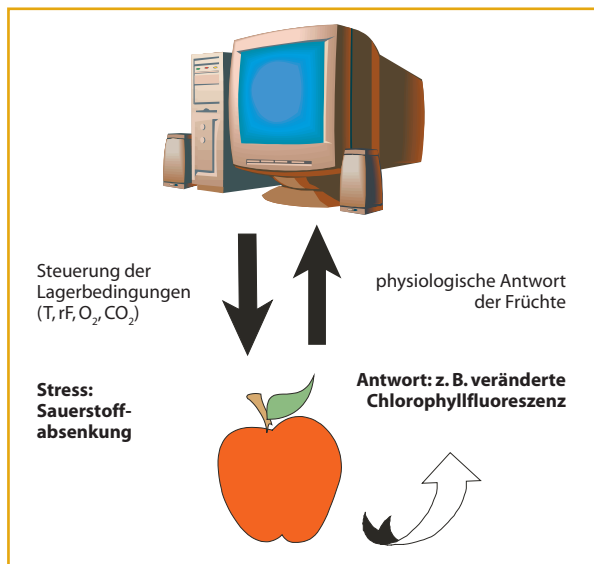


Abb. 3: Die dynamische CA-Lagerung als interaktive Lagermethode

Bedeutungsvoll für die Praxis ist insbesondere das Ergebnis bezüglich **CO₂-Gehalt**. Bisher ging man bei der DCA-Lagerung immer von der Annah-

me aus, dass bei der Sauerstoffabsenkung der CO₂-Gehalt proportional zur Sauerstoffkonzentration gehalten werden muss, um physiologische Schäden in den Früchten zu vermeiden. Das bedeutet aber in der Praxis, dass die Lagerhäuser Scrubber, d. h. CO₂-Absorptionsgeräte, mit einer sehr hohen Kapazität betreiben müssten, was bezüglich Anschaffung und Betrieb hohe Kosten verursachen würde. Geht man im Gegensatz zu dieser Lehrmeinung von einem konstanten CO₂-Gehalt aus, so würde das für die Praxis eine große Erleichterung bedeuten.

Zwischen den LO-gelagerten Kontrollfrüchten und den DCA-gelagerten Früchten gab es keinerlei Unterschiede

bezüglich physiologischen Schäden. Nach einer Lagerdauer von 3,5 Monaten unterschieden sich die Kontrollfrüchte und die DCA-gelagerten Früchte bezüglich Fruchtfleischfestigkeit kaum, nach 7 Monaten waren jedoch die DCA-gelagerten Äpfel bei beiden Pflückzeitpunkten signifikant fester. Auch nach der Nachreifung während 7 Tagen bei Raumtemperatur wiesen die DCA-Früchte eine höhere Fruchtfleischfestigkeit auf. Die DCA-Früchte wiesen zudem einen tendenziell höheren Säuregehalt als die Kontrollfrüchte auf. Die drei DCA-Varianten untereinander waren in qualitativer Hinsicht bezüglich allen gemessenen Qualitätskriterien gleichwertig.

Umsetzung der DCA in der Praxis

Unsere Versuche zeigten, dass Äpfel bei sehr tiefen Sauerstoffwerten von 0,4 % bis 0,6 % ohne physiologische Schäden gelagert werden können. Der tiefste einstellbare Sauerstoffwert

Tabelle 3: Gegenüberstellung von DCA und MCP

MCP

Physiologische Sicht

MCP agiert als Ethylenblocker, wodurch die Nachreifung behindert wird. In gewissen Fällen resultiert daraus ein grüner, harter Eindruck

Der korrekte Pflückzeitpunkt ist in qualitativer Hinsicht wichtig (weder zu früh noch zu spät)

Ist wirksam gegen Schalenbräune

Ist nicht für alle Sorten anwendbar (physiologische Schäden)

Technologische Sicht

Die Anwendung erfordert normale CA-Lagerräume

Nach Öffnen des Lagers weniger Verkaufsdruck wegen Verzögerung (Unterdrückung?) der Nachreifung

Anwendung von MCP in Kombination mit normaler Kühlung stellt eine einfache Technologie dar

Marktsicht

Die Anwendung stellt eine Nacherntebehandlung dar, welche kritisch beurteilt werden kann

Bei unsachgemäßer Anwendung werden unreife Äpfel verkauft (zu hohe Festigkeit, grüner Geschmack)

Bei Behandlung von Äpfeln, welche etwas später geerntet werden, resultiert durch den Größenzuwachs auch ein Wertzuwachs

DCA

Unterdrückung der Ethylenbildung durch tiefen Sauerstoffgehalt. Nachreifung wird offenbar verzögert

Im normalen Rahmen (Erntefenster!) können unterschiedliche Pflückzeitpunkte zusammen gelagert werden, vorausgesetzt, jeder Pflückzeitpunkt wird mit einem Fluoreszenzsensor überwacht

Ist wirksam gegen Schalenbräune

Wirksamkeit der DCA ist offenbar auch sortenabhängig

Hohe Anforderungen an die Dichtigkeit der Lagerräume (ULO-tauglich)

Nach Öffnen des Lagers etwas geringerer Verkaufsdruck wegen verzögerter Nachreifung

Erhöhte Anforderungen an Installationen und deren Bedienung

Keine Nacherntebehandlung, kann auch für Bio-Ware angewendet werden

Reifesteuerung erfolgt analog der heute bekannten ULO-Technologie

Ernte analog der heute bekannten ULO-Technologie

hängt u. a. auch von der Sorte ab und ist, wie unsere langjährigen Versuche zeigen, jährlichen Schwankungen unterworfen.

Die Überwachung des kritischen Sauerstoffgehaltes mit Hilfe der Messung der Chlorophyllfluoreszenz F_0 hat sich als wirkungsvoll und einfach erwiesen, vorausgesetzt, es werden methodische Rahmenbedingungen wie Dunkeladaptation der Äpfel und konstante geometrische Verhältnisse (Distanz Sensor zu Äpfeln) eingehalten.

Schlussendlich gilt es anzumerken, dass die DCA eine Weiterentwicklung bezüglich Regelung der Lagerparameter darstellt: wurden bisher die Parameter wie Temperatur, relative Luftfeuchtigkeit, CO_2 - und O_2 -Konzentration aufgrund von langjährigen Versuchen immer gleich eingestellt, so wird es mit der DCA möglich sein, die Lagerbedingungen an den physiologischen Zustand der Früchte anzupassen, indem das „Stress-Signal“ der Äpfel als Regelparameter dient (Abb. 3). Die DCA stellt in diesem Sinne eine „interaktive“ Lagermethode dar, bei der die Frucht selbst einen Teil des Regelkreises darstellt.

Durch Anwendung der DCA lässt sich die innere Qualität von Äpfeln besser als bei der konventionellen LO-erhalten, zudem kann mit der DCA auch das Auftreten der Schalenbräune verzögert werden. Schlussendlich bietet sich die DCA insbesondere für die Lagerung von Bioäpfeln an, bei denen der Reifehemmer 1-MCP nicht eingesetzt werden darf (HÖHN et al., 2007a).

Die Anwendung der DCA in der Praxis bedingt aber, dass mit der vorhandenen Lagertechnik überhaupt so niedrige Sauerstoffwerte erreicht und geregelt werden können. Dazu braucht es sehr dichte Lagerräume, indirekte Kühlung und eine zuverlässige Regulierung der CA-Atmosphäre.

Anwendung von 1-MCP

In den vergangenen Jahren wurden an der ACW Versuche zur Anwendung von 1-MCP für verschiedene Apfelsorten durchgeführt. Möglichkeiten und Grenzen des Einsatzes dieser Substanz sind heute wohl bekannt und sind in den Empfehlungen des Lieferanten

Agrofresh festgehalten. Nachfolgend sind in kürzester Form die wichtigsten Aspekte aufgeführt, welche bei der Anwendung von 1-MCP beachtet werden müssen:

Äpfel, welche mit 1-MCP behandelt werden, sollten tendenziell eher etwas später als für die CA-Lagerung üblich geerntet werden, damit eine gewisse Geschmacksbildung gewährleistet werden kann. Eine zu späte Ernte oder eine verzögerte 1-MCP-Anwendung kann jedoch auch nachteilig sein, weil dann die 1-MCP-Behandlung nicht mehr gleichermassen oder im Extremfall gar nicht mehr wirksam ist.

1-MCP reduziert den Qualitätsabbau insbesondere während der Nachlagerung bzw. der Vermarktungsperiode. Versuche an der ACW zeigten ferner, dass durch die 1-MCP-Behandlung die Haut- bzw. Schalenbräune bei *Maigold* reduziert werden kann (HÖHN et al. 2007b).

Unter gewissen Bedingungen kann die 1-MCP-Behandlung die CA-Lagerung ersetzen (GABIOUD et al., 2007): so wiesen 1-MCP-behandelte und kühlgelagerte Äpfel der Sorte *Maigold*, welche im Januar ausgelagert wurden, die gleiche Fruchtfleischfestigkeit auf wie unbehandelte Früchte der gleichen Sorte, welche CA-gelagert wurden. Dieses Versuchsergebnis ist insbesondere interessant für Direktvermarkter, welche Äpfel in normaler Atmosphäre lagern und eine längere Haltbarkeit erreichen möchten.

Konsumenten in der Schweiz bewerteten in Degustationen die behandelten Früchte bezüglich Fruchtfleischfestigkeit, Säure und Zucker-Säureverhältnis signifikant besser als unbehandelte Früchte.

DCA oder MCP?

Die Tabelle 3 enthält eine Gegenüberstellung der beiden Methoden. Die aufgeführten Argumente sind als allgemeine Hinweise zu verstehen,



Abb. 4: Sensor-kammer:
l. o.: Oberer Teil mit Sensor
Mitte: geschlossene Sensorkammer
u. r.: unterer Teil mit Äpfeln

welche je nach spezifischer Situation eines Lagerbetriebes relativiert werden müssen. Welche der beiden Methoden für einen Betrieb von Vorteil ist, hängt von verschiedenen Rahmenbedingungen und Voraussetzungen ab und muss für jeden Fall wieder individuell analysiert werden. Das Gleiche gilt auch für den Kostenvergleich der beiden Methoden, der hier nicht weiter angesprochen wird. ■

Literatur:

- E. HÖHN, D. BAUMGARTNER, P. CRESPO, F. GASSER, 2007a: Reifesteuerung und Apfelerlagerung mit 1-Methylcyclopropan (MCP), Agrarforschung, 14, 5, 187–193.
- E. HÖHN, F. GASSER, D. BAUMGARTNER, S. GABIOUD, W. NAUNHEIM, TH. EPLER, 2007b: Hautbräuneverhinderung bei *Maigold*, Schweiz. Z. Obst-Weinbau 17, 10–13
- S. GABIOUD, E. HÖHN, F. GASSER, D. BAUMGARTNER, W. NAUNHEIM, TH. EPLER, K. GERSBACH, J. MAURER, 2007: Kühlagerung plus MCP-Behandlung von Äpfeln – Ersatz für die CA-Lagerung? Schweiz. Z. Obst-Weinbau 15, 9–12



Die Autoren: Franz Gasser, Séverine Gabioud, Anna Bozzi Nising, Forschungsanstalt Agroscope Changins-Wädenswil ACW, Schloss, Postfach 185, Schweiz; Tel. 0041/44 783 64 23, e-mail: franz.gasser@acw.admin.ch