

Lebensmi

Reifesteuerung und Apfellagerung mit 1-Methylcyclopropen (MCP)

Ernst Höhn, Daniel Baumgartner, Pamela Crespo und Franz Gasser, Forschungsanstalt Agroscope Changins-Wädenswil ACW, CH-8820 Wädenswil

Auskünfte: Ernst Höhn, E-Mail: ernst.hoehn@acw.admin.ch, Fax +41 44 783 6224, Tel. +41 44 783 6366

Zusammenfassung

Seit Herbst 2005 kann in der Schweiz SmartFresh™ (Wirkstoff 1-Methylcyclopropen, MCP) zur Behandlung von Tafeläpfeln bei der Einlagerung eingesetzt werden. MCP ist ein Ethylenhemmer, und Enthusiasten erwarten, dass dessen Einsatz die Apfellagerung revolutionieren wird, ähnlich wie damals die Einführung der CA-Lagertechnik. Die Wirkung dieser Verbindung beruht auf der Blockierung der Ethylenrezeptoren. Dies hat zur Folge, dass Reifevorgänge, welche durch Ethylen ausgelöst werden, ausbleiben. Da bei Lagerbedingungen der Stoffwechsel verlangsamt ist, kann diese Blockierung der Ethylenwirkung über Monate anhalten. Bei vielen Apfelsorten werden durch eine MCP-Behandlung die Fruchtfleischfestigkeit und der Säuregehalt während der Lagerung und vor allem nach der Auslagerung im Detailhandel und zuhause bei den Konsumenten fast baumfrisch erhalten. Zudem werden bei den meisten Sorten physiologische und phytopathologisch bedingte Lagerverluste vermindert. Es gibt jedoch Ausnahmen. Bei Breaburn fördert die MCP-Behandlung das Auftreten von Kernhausbräune (BBD) und kann deshalb bei dieser Sorte nicht empfohlen werden. Generell sollte nur Premiumware in optimaler Reife behandelt werden. Äpfel, die in einem zu wenig reifen Stadium behandelt werden, bleiben zwar festfleischig, entwickeln aber kein Aroma. Eine Behandlung von zu reifen Früchten zeigt keine Wirkung. In den nächsten Jahren muss weiterhin abgeklärt werden, welche sortentypischen Reifegrade bzw. Erntetermine gewählt werden müssen, damit eine SmartFresh™ Behandlung möglichst grossen und vollen Nutzen bringt.

rende Gene nicht exprimiert werden. Da bei Lagerbedingungen der Stoffwechsel verlangsamt ist, kann diese Blockierung der Ethylenwirkung über Monate anhalten. Meist vermindert sich diese Blockierung erst nach der Auslagerung der Früchte, nachdem 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. In diesem Artikel wird die Wirkungsweise von MCP im Zusammenhang mit der Ethylensynthese dargestellt. Im Weiteren werden Ergebnisse von Versuchen und Praxiserfahrungen mit MCP behandelten Äpfeln vorgestellt sowie die Möglichkeiten und Grenzen von MCP für den Einsatz bei der Apfellaagerung aufgezeigt.

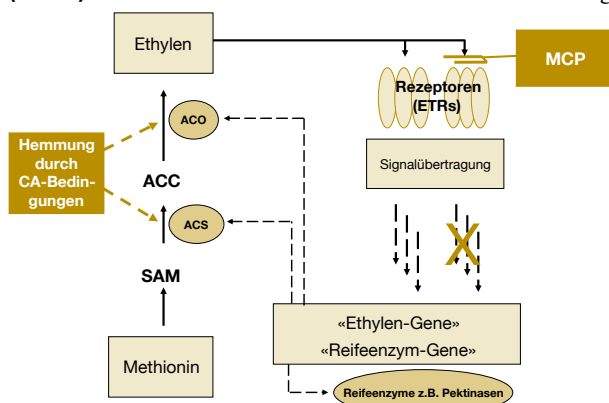
Ethylensynthese und Reifung

Das Pflanzenhormon Ethylen reguliert eine Reihe von Veränderungen, die für den Reifeverlauf und die Alterung von Früchten charakteristisch sind. Für Äpfel und andere klimakterische Früchte steigt die Ethylensynthese mit dem Klimakterium stark an (Brummell 2005, Lurie 2005). Schon unreife Früchte bilden jedoch geringe Mengen an Ethylen. Interessanterweise wird dieser Syntheseweg, welcher als System I bezeichnet wird, durch exogenes Ethylen gehemmt. Bei Reifebeginn wird in klimakterischen Früchten das System II aktiv, in nicht klimakterischen Früchten

Seit Herbst 2005 kann in der Schweiz SmartFresh™ (Wirkstoff 1-Methylcyclopropen, MCP) zur Behandlung von Tafeläpfeln bei der Einlagerung eingesetzt werden. In den letzten Jahren hat diese Substanz viel von sich reden gemacht. Es ist ein Ethylenhemmer, und Enthusiasten erwarten, dass dessen Einsatz die Apfellaagerung revolutionieren wird, ähnlich wie damals die Einführung

der CA-Lagertechnik (Streif *et al.* 2002, Prange und DeLong 2003). Die Wirkung von MCP wurde schon 1990 an der University of North Carolina in den USA entdeckt. In der Literatur wurde seither eine Vielzahl von Arbeiten veröffentlicht, welche über die Wirkung von MCP auf das Reifeverhalten von Äpfeln, Birnen, Aprikosen, Zwetschgen, Kirschen, Beeren und vielen anderen Früchten und Gemüsen berichten. Bekanntlich wird die Übermittlung von reifestimulierenden Signalen durch Ethylen erst nach der Bindung mit Rezeptor-Eiweissen möglich. Diese Bindungsstellen können durch MCP besetzt und blockiert werden, so dass sie Ethylen nicht mehr binden können. Das hat zur Folge, dass die Bildung von fruchteigenem Ethylen und Reifeenzymen gehemmt wird, weil deren kodie-

Abb. 1. Schema der Ethylensynthese (System II, links) und der Ethylenwirkung (rechts).



ttel

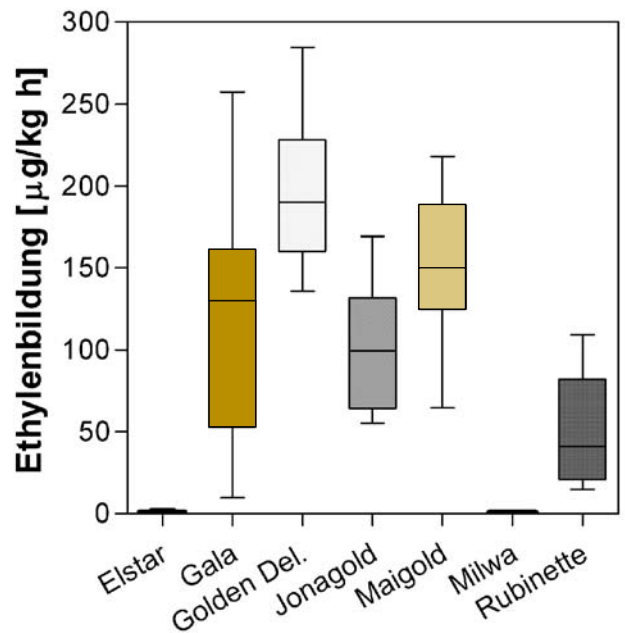
ist es nicht präsent. Im Vergleich zum System I werden grosse Mengen an Ethylen produziert. Zudem wird das System II durch Ethylen stimuliert respektive autokatalysiert. Die Ausgangssubstanz für die Biosynthese von Ethylen ist die Aminosäure Methionin (Abb. 1). Über die Zwischenstufen S-Adenosyl-L-Methionin (SAM) und 1-Amino-cyclopropan-1-Carbonsäure (ACC) wird Ethylen gebildet. Die Schlüsselenzyme sind die ACC-Synthase (ACS) und die ACC-Oxidase (ACO). Neuere Untersuchungen zeigen, dass diese Schlüsselenzyme sortenabhängig durch mehrere verschiedene Genfamilien kodiert sind. Dies manifestiert sich in der Beobachtung, dass die Ethylenbildung ausgeprägt sortenspezifisch ist (Abb. 2).

Neben der Autokatalyse der Ethylenbildung aktiviert Ethylen die Expression weiterer Gene, welche für die Bildung einer Reihe von Reifeenzymen (Pektinabbau, Aromabildung) verantwortlich sind. Dazu muss Ethylen an die Ethylenrezeptoren (ETRs) gebunden werden. An dieser Stelle greift MCP ein. Es besetzt die ETRs und geht eine um das Zehnfache stärkere Bindung als Ethylen mit den Rezeptoren ein. Dadurch wird die Aktivierung von Genen unterbunden, welche die Schlüsselenzyme ACS und ACO sowie weitere Reifeenzyme kodieren. MCP wirkt also, etwas vereinfacht ausgedrückt, auf Genebene (Abb. 1). Bei der Lagerung in kontrollierter Atmosphäre (CA-Lagerung) wird die Reifeverzögerung

auf Enzymebene durch einen tiefen Sauerstoff- und einen erhöhten Kohlendioxidgehalt in der Lageratmosphäre erreicht. In diesem Falle werden direkt die Aktivitäten der beiden Schlüsselenzyme ACS und ACO der Ethylensynthese gehemmt, wodurch die Ethylenbildung vermindert und die Reifevorgänge verzögert werden. Im Vergleich zur gewöhnlichen Kühllagerung kann dadurch die Lagerdauer um drei bis sechs Monate verlängert werden. Dies war bei der Einführung der CA-Lagerung ab etwa 1960 ein gewaltiger Fortschritt.

MCP-Anwendung

Die MCP-Behandlung sollte spätestens sieben bis zehn Tage nach der Ernte erfolgen. Die Äpfel werden in einen CA-Lagerraum oder gasdichten Kühlraum gebracht und dann auf 4 bis 5°C eingekühlt. Dann erfolgt die Behandlung mit SmartFresh™. Dies ist das Handelspräparat, welches das gasförmige MCP als Einschlussverbindung in Dextrinpulver enthält. Die Durchführung ist einfach. Durch Wasserzugabe zum MCP-Dextrinpulver wird das Dextrin aufgelöst und das MCP als Gas freigesetzt. Die Wirksamkeit ist derart hoch, dass eine Dosierung von nur 625 ppb genügt. Für die Behandlung von 100 Tonnen Äpfel braucht es somit lediglich etwa 56 g MCP, wobei höchstens die Hälfte davon aufgenommen wird. Nach 18 bis 24 Stunden können die Früchte normal im Kühllager oder unter CA-Lagerbedingungen gelagert werden.



Erfolgskontrolle der MCP-Behandlung

Für eine wirksame Behandlung mit MCP ist der Reifegrad zum Behandlungszeitpunkt wichtig. Bei zu wenig reifen Früchten, welche nur Spuren von Ethylen bilden, wirkt 1-MCP so nachhaltig, dass keine Nachreifung mehr stattfindet. Bei zu reifen Früchten ist die Ethylensynthese bereits in vollem Gange und Reifeenzyme sind schon gebildet, MCP kann deshalb die schon induzierten Reifungsvorgänge nicht mehr verlangsamen. Daraus folgt, dass die Früchte im optimalen Reifegrad behandelt werden müssen. Bei der Anwendung von MCP in der Praxis wird zur Erfolgskontrolle unmittelbar nach der Behandlung die Ethylenabgabe von behandelten und unbehandelten Äpfeln bestimmt (Tab. 1). Aufgrund dieser Messungen kann abgeleitet werden, ob die Behandlung zum richtigen Zeitpunkt beziehungsweise Reifegrad erfolgte oder nicht. Falls die behandelten Proben viel Ethylen bilden (z.B. Gala 1 und Golden Delicious 2), erfolgte die Behandlung zu spät. Solche Posten sollten dementsprechend früher ausgelagert und vermarktet werden als Posten, welche wie

Abb. 2. Ethylenproduktion ($\mu\text{g kg}^{-1} \text{h}^{-1}$) verschiedener Apfelsorten. Die beobachtete Streuung innerhalb einer Sorte reflektiert den unterschiedlichen Reifegrad der Früchte sowie den Einfluss anderer Faktoren.

Tab. 1. Erfolgskontrolle der MCP-Behandlung anhand der Ethylenbildung

Sorte	Herkunft	Ethylenproduktion (mg/kg 24h)	
		Kontrolle	MCP-Proben
Elstar		0,4	0,3
Gala 1	A	3,9	0,3
Gala 2	B	260	0,9
Gala 3	C	258	18,3
Golden Del. 1	D	231	0,9
Golden Del. 2	E	298	223

Gala 2 und Golden Delicious 1 zum richtigen Zeitpunkt behandelt wurden. Zu vermeiden ist auch ein zu früher Pflücktermin (z.B. Gala 1). In diesem Falle bildeten die unbehandelten Kontrollfrüchte sehr wenig Ethylen. Ein Spezialfall ist die Sorte Elstar. Da sie auch bei optimaler Pflückreife nur Spuren von Ethylen bildet, ist die beschriebene Erfolgskontrolle nicht möglich. Trotzdem zeigt die MCP Behandlung bei dieser Sorte eine grosse Wirkung (Tab. 2). Ein weiterer Spezialfall ist auch die neue Sorte Milwa (Markenname Diwa®), welche ebenfalls bei der Ernte nur Spuren von Ethylen und dann auch während der Lagerung nur sehr geringe Mengen produziert. Diese Sorte ist bis im Juni gut lagerbar, bleibt saftig und verliert nur wenig an Fruchtfleischfestigkeit. Unbehandelte und mit

MCP behandelte Früchte unterschieden sich nicht im Fruchtfleischfestigkeits- und Säureabbau (Höhn et al. 2007).

MCP und Qualitäts-erhaltung am Lager

Unsere Untersuchungen im Zusammenhang mit Praxisanwendungen zeigten auf, dass MCP das Weichwerden und den Frischeverlust von Tafeläpfeln während der Lagerung und vor allem in der Nachlagerungsphase (Verkaufphase) stark vermindert (Tab. 2). Damit erwachsen aus der MCP-Anwendung vor allem Vorteile für den Detailhandel und die Konsumentenschaft, weil ein besserer Erhalt der Qualität nach der Auslagerung sichergestellt wird. Bisher war diese Phase ein entscheidender Schwachpunkt auf dem Weg der Tafeläpfel vom Baum bis auf den Tisch. In der kurzen Zeit zwischen der Auslagerung und dem Konsum erfahren die Früchte grosse Veränderungen. In der Zusammenstellung in Tabelle 2 ist dies anhand der Fruchtfleischfestigkeitsabnahme aufgezeigt. Während der Nachlagerung bei 20°C schritt der Festigkeitsabbau pro Tag bei den unbehandelten Früchten im Vergleich zur Lagerung je nach Sorte um 3 bis 30 mal schneller voran. Bei den meisten

Sorten, mit Ausnahme der Sorte Cox Orange, konnte durch die MCP-Behandlung das Weichwerden während der Nachlagerung stark verlangsamt werden. Aber auch schon während der Lagerung wurde das Weichwerden durch die MCP-Behandlung verlangsamt. Die Werte zeigen, dass die Wirkung je nach Sorte unterschiedlich sein kann. Einen ähnlichen Verlauf wie beim Fruchtfleischfestigkeitsabbau wurde beim Säureabbau beobachtet (Daten nicht gezeigt). Vermutlich trägt dies zur höheren Einstufung der «Frische» von MCP-Früchten im Vergleich zu unbehandelten bei.

MCP und Lagerkrankheiten

Durch die Verzögerung der Fruchtreife nach einer MCP-Behandlung dauert die Widerstandsfähigkeit gegenüber parasitären Fruchtfäulen länger an, wodurch weniger Fäulen auftreten als an unbehandelten Früchten. Vermindert werden teilweise auch physiologisch bedingte Lagerverluste. Insbesondere kann bei Sorten, die für Haut- oder Schalenbräune anfällig sind, wie Granny Smith oder Maigold, der Befall stark vermindert oder vollständig verhindert werden. Dies ist zu erwarten, weil Hautbräunebefall

Tab. 2. MCP-Praxisanwendungen und Auswirkung auf den Fruchtfleischfestigkeits(FFF)-Abbau während der Lagerung und der Nachlagerung

Sorte	Lagerdauer [Tage]	FFF bei Einlagerung [kg/cm ²]			FFF bei Auslagerung [kg/cm ²]			FFF nach Nachlagerung [kg/cm ²]			FFF-Abnahme am Lager [g/cm ² Tag]		FFF-Abnahme während Nachlagerung [g/cm ² Tag]	
		9,6	7,2	8,0	6,0	8,0	5,9	6,3	n.s.	31	21	130	173	
		7,7	6,0	6,3	n.s.	4,8	6,6	***	9	7	125	0		
Gala	212	9,8	7,6	7,6	n.s.	6,7	7,4	**	10	10	90	13		
Golden Delicious	243	7,5	6,0	7,4	***	5,7	7,5	***	6	0	35	0		
Jonagold 1.Lese	235	8,3	6,8	7,9	***	5,9	8,0	***	7	2	86	0		
Jonagold 2.Lese	286	7,6	6,6	7,4	***	5,7	7,4	***	4	1	92	2		
Maigold	232	8,9	6,7	7,5	***	6,7	7,2	n.s.	9	6	0	30		
RubINETTE	138	7,5	5,9	7,0	***	5,2	7,1	***	12	3	69	0		

a) Tukeys HSD Test: * p <= 0,05, ** <= 0,01, *** <= 0,001, n.s. = nicht signifikant

durch Ethylen gefördert wird. Ein weiteres Ziel unserer Arbeiten war es deshalb, den Einfluss einer MCP-Behandlung auf den Hautbräunebefall von Maigold abzuklären. Bei der Hautbräune treten nach einer gewissen Lagerzeit oder häufig erst nach der Auslagerung Verbräunungen der äussersten Epidermisschichten auf (Abb. 3). Befallene Früchte sind unverkäuflich und bedeuten dementsprechenden wirtschaftlichen Schaden.

Eine Reihe von Faktoren beeinflussen das Risiko für Hautbräunebefall, unter anderem die Witterung (Jahreseffekt), der Reifegrad bei der Ernte, die Lagerbedingungen sowie die Lagerdauer. In unseren mehrjährigen Untersuchungen wurden deshalb Äpfel der Sorte Maigold in jeweils wöchentlichen Abständen, also in vier verschiedenen Reifestadien, geerntet und bei unterschiedlichen Bedingungen gelagert. Auslagerungen wurden nach drei, fünf und acht Monaten vorgenommen und der Hautbräunebefall bestimmt. Am Beispiel der Versuchsergebnisse des Erntejahres 2004 wird der Einfluss verschiedener Faktoren und die Wirkung von MCP auf die Hautbräune dargestellt (Tab. 3). Bei den Proben aus dem Kühllager wurde Hautbräunebefall erstmals bei der Auslagerung im März beobachtet. Bei allen Pflückzeitpunkten waren befallene Früchte zu verzeichnen, am wenigsten bei Pflückzeitpunkt 2. Im CA-Lager war am Posten PZP1 ein erster geringer Befall im März zu verzeichnen. Bei der Auslagerung im Mai war dann bei einem grösseren Anteil der Früchte der Pflückzeitpunkte 1, 3 und 4 Hautbräunebefall zu verzeichnen. Durch die MCP-Behandlung konnte der Hautbräunebefall im Kühllager stark verzögert und im CA-Lager bisher – auch bei längerer Lagerung bis anfangs Juni – vollständig



Abb. 3. Hautbräune, eine physiologische Lagerkrankheit.

verhindert werden. Die MCP-Behandlung muss allerdings im richtigen Reifestadium der Früchte und kurz nach der Ernte erfolgen. Eine Behandlung bei zu fortgeschrittenem Reifegrad zeigte nur eine eingeschränkte oder keine Wirkung. Dies zeigte das Auftreten von Hautbräune bei der Auslagerung im Mai an den MCP-Proben aus dem Kühllager der Pflückzeitpunkte 3 und 4 an. Eine Behandlung bei zu knappem Reifegrad (PZP1 und 2) verhinderte das Auftreten von Hautbräune im Kühl- und CA-Lager, aber die Nachreifung wurde zu stark eingeschränkt und resultierte in ungenügender Essqualität. Die MCP-Behandlung muss somit in einem optimalen Reifestadium vorgenommen werden, welches eine Verhinderung der Hautbräune gewährleistet und gleichzeitig die Essqualität nicht einschränkt.

Es gibt weitere physiologische Lagerkrankheiten, welche aber im Gegensatz zur Hautbräune nicht durch Ethylen begünstigt werden. Beispiele sind Fruchtfleischverbräunungen, Kernhausbräune oder andere Lagerstörungen. Diese Lagerkrankheiten werden durch MCP eher verstärkt. Bei Braeburn fördert MCP das Auftreten von Kernhausbräune. Allgemein gilt, dass bei Apfelsorten, welche zu Kälte- oder CO₂-Empfindlichkeit neigen, dementsprechende Lagerschäden durch MCP verstärkt werden.

MCP und Essqualität

An der Forschungsanstalt Agroscope Changins-Wädenswil ACW werden seit 2002 Lagerungsversuche mit MCP behandelten Äpfeln durchgeführt. Bei den Sorten Elstar und Gala wurde der Einfluss auf die Erhaltung der Frische, der Fruchtfleischfestigkeit, des Zuckergehaltes, des Säuregehaltes und der Essqualität untersucht, sowie die Akzeptanz in Konsumententests abgeklärt.

Am Beispiel der Sorte Elstar wird in diesem Bericht der Einfluss der MCP-Behandlung auf deren Beliebtheit bei Konsumentinnen und Konsumenten aufgezeigt (Leumann *et al.* 2004). Dazu wurde ein Teil der Früchte der Ernte 2003 vor der Einlagerung mit MCP behandelt. Die unbehandelten und die behandelten Früchte wurden für neun Monate unter ULO-Lagerbedingungen gelagert. Anschliessend wurden sie noch einer Nachlagerung bei 20°C von sieben Tagen unterworfen, was den Bedingungen während der Verkaufsphase entspricht. In einem Konsumententest im Juni 2004 wurde zuerst das Aussehen mittels einer neunteiligen Skala von 1 (extrem nicht ansprechend), über 5 (weder abstoßend noch ansprechend), bis 9 (ausserordentlich schön) bewertet. Anschliessend wurden die Testpersonen gebeten, einen Bissen beziehungsweise ein Stück eines

Tab. 3. Hautbräunefall (% Anteil befallene Früchte) bei Maigold in Abhängigkeit von Pflückzeitpunkt (PZP), Lagerbedingungen, Lagerdauer und MCP-Behandlung

Aus-lagerungs-zeitpunkt	Lager-verfahren	PZP1		PZP2		PZP3		PZP4	
		Kon-trolle	MCP-Proben	Kon-trolle	MCP-Proben	Kon-trolle	MCP-Proben	Kon-trolle	MCP-Proben
Januar	Kühlager	0	0	0	0	0	0	0	0
	CA-Lager	0	0	0	0	0	0	0	0
März	Kühlager	24	0	9	0	18	0	22	0
	CA-Lager	1	0	0	0	0	0	0	0
Mai	Kühlager	90	0	67	0	62	20	77	56
	CA-Lager	24	0	0	0	5	0	26	0

Apfels zu nehmen und dann den Geschmack respektive die Essqualität einer von neun Kategorien (von extrem ungeren (1), über weder gern noch ungeren (5), bis extrem gern (9)) zuzuordnen. Zusätzlich stuften die Testpersonen mittels des «Gerade-Richtig»-Test die Festigkeit, die Saftigkeit, das Aroma beziehungsweise den Geschmack, die Süßigkeit und die Säuerlichkeit als «viel zu wenig», «zu wenig», «gerade richtig», «zu viel» oder «viel zu viel» ein. An jedem Apfel wurde nach der Degustation die Fruchtfleischfestigkeit, der Zucker- und der Säuregehalt im Labor bestimmt.

Die Resultate der Fruchtmesungen und der Konsumentenbeurteilungen sind in Tabelle 4 zusammengestellt. Die «MCP-Früchte» zeigten eine höhere Fruchtfleischfestigkeit, einen

höheren Zucker- und höheren Säuregehalt als die unbehandelten Früchte. Beim Aussehen war kein Unterschied feststellbar. Im Gesamturteil (Essqualität) wurden die mit MCP behandelten Früchte als besser eingestuft als die unbehandelten. Aufgrund der Geschmacksbewertung (Essqualität) wurden die Äpfel in drei Güte Kategorien eingeteilt: «ungenügend» (1 bis 3), «gut» (4 bis 6) und «sehr gut» (7 bis 9). Bemerkenswert war, dass der Anteil von «sehr guten» Früchten mit 69% bei den MCP-Früchten deutlich über demjenigen von 56% für die unbehandelten lag. Aus den Beurteilungen im «Gerade-Richtig»-Test ging hervor, dass die behandelten Äpfel fester waren als die unbehandelten. Zudem wurden die unbehandelten als weniger saftig und als zu wenig sauer beurteilt. Dieser Befund wurde in weiteren Tests auch

mit anderen Sorten (z.B. Gala) bestätigt. Mit MCP behandelte Äpfel wurden meist auch als frischer wahrgenommen als unbehandelte. Insgesamt bevorzugten Konsumentinnen und Konsumenten Äpfel, welche mit MCP behandelt worden waren. In einer Apfelverkaufsstudie in den Niederlanden war während einer dreimonatigen Testperiode eine Verkaufszunahme von 12% zu verzeichnen (Swisscofel 2006). Verglichen wurden die Verkäufe von jeweils zwölf Einzelhandelsgeschäften, welche mit MCP behandelte Früchte beziehungsweise unbehandelte Früchte verkauften.

Praxis-Anwendung von MCP in der Schweiz

In den Erntejahren 2005 und 2006 wurden die Hauptsorten Elstar, Gala, Golden Delicious, Jonagold, Maigold und zusätzlich auch Arlet, Granny Smith, Idared, Pinova, Rubinette und Topaz behandelt. In der Regel erfolgte die Behandlung im richtigen Reifegrad. Bei den meisten Sorten wurde eine zufriedenstellende bis gute Wirkung auf die Fruchtqualität erreicht und eine gute Stabilisierung der Fruchtfleischfestigkeit sowie des Säuregehalts erzielt. Der Zuckergehalt (lösliche Trockensubstanz) wurde nicht beeinflusst.

Tab. 4. Wirkung von MCP bei der Sorte Elstar: Physikochemische Analysen und Konsumentenbeurteilung (N = 200)

	Elstar Kontrolle	Elstar MCP behandelt	Signifikanz ^{a)}
Festigkeit (kg/cm ²)	5,4	6,9	***
Zuckergehalt TSS (°Brix)	15,3	16,4	***
Säuregehalt (g Äpfelsäure/L)	4,3	5,8	***
Zucker-Säure-Verhältnis	38	28	***
Aussehen (Beliebtheit Kategorien 1 - 9)	6,0	6,1	n.s.
Essqualität (Beliebtheit Kategorien 1- 9)	6,3	6,8	*
Kategorisierung aufgrund der Essqualität	Anteil [%]	Anteil [%]	
ungenügend (1-3)	9	4	
gut (4-6)	35	27	
sehr gut (7-9)	56	69	

^{a)} Tukeys HSD Test: * p <= 0,05, ** <= 0,01, *** <= 0,001, n.s. = nicht signifikant

Die MCP-Behandlung von Äpfeln ist aber auch mit Kosten in der Grössenordnung von 0,05 Fr./kg verbunden. Im Vergleich mit den Aufwendungen für Lagerung und Sortierung von 0,85 - 1,05 Fr./kg (Gasser *et al.* 2006) macht dies etwa 5 % Mehrkosten aus. Dieser Mehraufwand geht zulasten der Lagerbetriebe, weil die Abnehmer keinen Mehrpreis für MCP-behandelte Äpfel bezahlen. Von der Anwendung bei Sorten ohne positive Wirkung von MCP sollte deshalb abgesehen werden. Generell lohnt sich eine MCP-Behandlung nur für Premium-

ware geeigneter Sorten und in optimaler Reife, da die Qualität der Früchte nicht verbessert, sondern nur besser erhalten werden kann.

Fazit

Tafeläpfel von Ernte zu Ernte möglichst schonend zu lagern und den Konsumentinnen und Konsumenten möglichst baumfrisch anzubieten, bleibt das Ziel der Schweizerischen Obstwirtschaft. Bei optimaler Lagerung in Kombination mit MCP wird dies mit grösserer Sicherheit erreicht als ohne MCP. Bei den meisten Sorten wurden phytopathologisch bedingte Lagerverluste und die physiologische Lagerstörung Hautbräune vermindert. Anzumerken ist, dass ein wichtiger wertvermindernder Faktor durch MCP allerdings nicht behoben wird. Der Wasserverlust ist nach wie vor grundsätzlich nicht vermeidbar und wird durch die Auslegung

der Kälteanlage determiniert. Schon ab 5 – 6% Wasserverlust treten sichtbare Qualitätseinbußen auf: die Äpfel schrumpfen. Geschrunpfte Äpfel sind nicht mehr verkäuflich. Dies bedeutet, dass eine MCP-Behandlung im Vergleich zur bisherigen Lagerpraxis nicht eine unbeschränkt mehrjährige Lagerdauer ermöglicht, sondern eine bessere Qualitätserhaltung sicherstellt.

Literatur

- Brummell D.A., 2005. Regulation and genetic manipulation of ripening in climacteric fruit. *Stewart Postharvest Review* 3, 1-19.
- Gasser F., Zürcher M. & Höhn E., 2006. Kostenanalyse von kleinen CA-Lagern. *Schweiz. Z. Obst-Weinbau* 142 (10), 8-11.
- Höhn E., Naunheim W., Baumgartner D., Schärer H. & Gasser F., 2007. Milwa – saftig, knackig und gut lagerbar. *Schweiz. Z. Obst-Weinbau* 143 (29), 9-12.

- Leumann R., Kellerhals M., Schärer H. & Höhn E., 2004. Konsumententest von Diwa®, Elstar und Idared mit Befragung zum Apfelkonsum. *Schweiz. Z. Obst-Weinbau* 140 (21), 6-9.

- Lurie S., 2005. Regulation of ethylene biosynthesis in fruits by aminoethoxyvinylglycine and 1-methylcyclopropene. *Stewart Postharvest Review* 3, 1-8.

- Prange R.K. & DeLong J.M., 2003. 1-Methylcyclopropene: The «magic bullet» for Horticultural Products? *Chronica Horticulturae* 43, 11-14.

- Streif J., Höhn E. & Gasser F., 2002. 1-Methylcyclopropen (1-MCP): Einsatzmöglichkeiten in der Obstlagerung? *Schweiz. Z. Obst-Weinbau* 138, 550-553.

- Swisscofel, 2006. Verbraucher bevorzugen SmartFresh™-behandelte Elstar. *Schweiz. Z. Obst-Weinbau* 142 (22), 15.

RÉSUMÉ

Maîtrise de la maturation et de la conservation des pommes grâce au 1-méthylcyclopropène (MCP)

Depuis l'automne 2005, il est autorisé en Suisse d'appliquer SmartFresh™ (substance active 1-méthylcyclopropène, MCP) pour le traitement des pommes de table lors du stockage.

MCP est un bloqueur d'éthylène et les plus enthousiastes s'attendent à ce que son utilisation révolutionne l'entreposage des pommes, comme ce fut le cas avec la technique de l'atmosphère contrôlée. Cette substance permet de bloquer les récepteurs d'éthylène se trouvant sur les fruits. Les procédés de maturation répondant à l'action de l'éthylène sont ainsi arrêtés. Les conditions d'entreposage ralentissant aussi le métabolisme des fruits, l'effet de l'éthylène peut ainsi être bloqué durant plusieurs mois. L'application du MCP permet pour plusieurs sortes de pommes de conserver leur fermeté ainsi que leur acidité d'origine durant toute la période d'entreposage mais aussi sur l'étalage et jusque chez le consommateur. De plus le MCP permet de réduire pour une grande partie des variétés les pertes d'entreposage dues à des dommages physiologiques et phytopathologiques. Il existe cependant des exceptions pour certaines variétés: par exemple l'utilisation du MCP sur la variété «Braeburn» favorise l'apparition du cœur brun et est dans ce cas déconseillée. De façon générale, le MCP devrait être utilisé uniquement sur de la marchandise de première qualité et ayant une maturité optimale. Des pommes insuffisamment mures traitées au MCP resteront fermes mais ne développeront pas d'arômes. Une application sur des pommes trop mures n'aura de son côté pas d'effet. A l'avenir, il reste donc encore à déterminer quel est le degré de maturité et la date de récolte optimaux spécifiques à chaque variété afin que l'utilisation de SmartFresh™ soit pleinement efficace.

SUMMARY

Regulation of fruit ripening by 1-methylcyclopropene and apple storage

Since autumn 2005 treatment of apples with SmartFresh™ (active compound 1-Methylcyclopropene, MCP) is permitted in Switzerland. MCP is an ethylene inhibitor. It binds to the ethylene receptors and prevents ripening processes which are induced by ethylene. Enthusiastic postharvest scientist called it the «magic pullet» and presumed that application of this compound will revolutionize storage technology as did at its time of introduction the CA-storage technology. In most apple cultivars firmness and acidity are well maintained during storage and in particular after storage during distribution and retailing. Thus freshness of apples is well retained up the time of consumption. There are some cultivars such as Braeburn which should not be treated with MCP because it promotes development of disorders such as brown core or brown heart (BBD). It is advisable to reserve MCP treatment only for top quality apples in an optimal ripeness stage. Treatment of apples of too progressed ripeness shows no effect. Future research should focus on establishing cultivar specific optimal ripeness stages for MCP treatment to ensure desired effects and maximal benefits.

Key words: apple storage, 1-methyl-cyclopropene (1-MCP), ethylene, quality, disorders, superficial scald, firmness, consumer acceptability