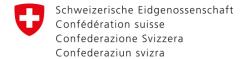


Swiss Confederation

Nachernteaspekte im Obst- und Gemüsebau

Inhalt

1.	Qualitat	
	1.1 Qualitätsbegriffe	1
	1.2 Qualitätsnormen und Qualitätskontrollen für Obst in der Schweiz	1
	1.3 Kundenerwartungen an Obst	
2.	Innere Qualität - Grundlage für die Qualitätssicherung	5
	Physiologische Grundlagen	7
	3.1 Veränderung von Inhaltsstoffen vor und nach der Ernte	7
	3.2 Atmungsstoffwechsel	8
	3.3 Ethylen	.11
	3.4 Lagerkrankheiten	12
4.	Nacherntetechnologie	13
	4.1 Grundlagen	13
	4.2 Erntezeitpunkt	13
	4.3 Reduktion der Atmung	15
	4.4 Reduktion der Ethylensynthese	
	4.5 Bekämpfung von physiologischen Lagerkrankheiten	20
5.	Grundlagen der Lagerung	22
	5.1 Lagerfaktoren	22
	5.2 Lagerfaktor Temperatur	
	5.3 Lagerfaktor Luftfeuchtigkeit	
	5.4 Lagerfaktor Luftzusammensetzung	
	5.5 Lagerfaktor Luftumwälzung	
6.	Lagerverfahren	
	6.1 Übersicht	
	6.2 Kühllagerung und Kältetechnik	
	6.3. Mess- und Steuersysteme	28
	6.4 CA-Lagerung	
	6.5 DCA-Lagerung	
	6.6 MA-Lagerung	
	6.7 Spezielle Lagerverfahren	
7.	Mikrobielle Lagerschäden	35
	7.1 Mikrobielle Lagerschäden	
	7.2 Beispiel Schorf	
	7.3 Beispiel Gloeosporium	
	7.4 Verhinderung von Lagerschäden	
	7.5 Zukünftige Herausforderungen	
	Lagerung von Kernobst	
9.	Lagerung von Steinobst	
	9.1 Kirschenlagerung	
	9.2 Zwetschgenlagerung	
). Gemüselagerung	
11	I. Bauliche Anforderungen an CA- und Kühlräume	47



Federal Department of Economic Affairs, Education and Research EAER **Agroscope**

Swiss Confederation

Zusammenfassung

Die Frischprodukte Früchte und Gemüse sind auch nach der Ernte "lebende" Produkte. Es sind Pflanzenteile (Gewebe) mit aktivem Stoffwechsel. Im Gegensatz dazu zeigen verarbeitete Produkte wie z.B. Tiefkühlprodukte oder getrocknete Früchte oder Gemüse keine Lebensvorgänge oder aktiven Stoffwechsel mehr. Obst und Gemüse sind nach der Ernte Reife- und Alterungsvorgängen unterworfen. Zusätzlich sind Nachernteverluste mit der Aktivität von Lagerschädlingen (Pilze, Bakterien, Insekten) verbunden. Im Nacherntebereich sollen durch geeignete Massnahmen diese Vorgänge möglichst gebremst und dadurch die Haltbarkeit verlängert und Nachernteverluste minimiert werden. Ein Schlüsselkriterium zur optimalen Gestaltung der Nacherntetechnologie beruht auf der Verlangsamung des Atmungsstoffwechsels. Im Kühllager und im CA-Lager (Lagerung in "kontrollierter" Atmosphäre) wird dieses Prinzip angestrebt und dadurch die Haltbarkeit und die Qualitätserhaltung erreicht.

Das vorliegende Skript bzw. die Vorlesung behandeln die Nachernteaspekte vorwiegend am Beispiel von Kernobst. Insbesondere die Ausführungen zu den Qualitätsaspekten und den physiologischen Grundlagen beziehen sich auf Äpfel. Daneben werden jedoch auch einige wichtige Aspekte bezüglich Steinobst und Gemüse aufgezeigt.

1. Qualität

1.1 Qualitätsbegriffe

Der Begriff Qualität, wie er hier (im Skript) verwendet wird, ist nicht mit "vollkommen" zu verstehen, sondern bedeutet "Übereinstimmung mit den Anforderungen (der Konsumenten) an das Produkt". Die Qualitätsansprüche an Früchte sind sehr vielfältig; es gilt Ansprüche abzudecken, welche die beteiligten Partner - vom Produzenten über den Verarbeiter bis hin zum Konsumenten - an das Produkt stellen.

1.2 Qualitätsnormen und Qualitätskontrollen für Obst in der Schweiz

Im Gegensatz zur EU sind in der Schweiz die Qualitätsnormen für Obst und Gemüse **nicht** gesetzlich verankert bzw. staatlich geregelt. Die Qualitätsnormen für Obst werden durch den Schweizerischen Obstverband (SOV) festgelegt und müssen durch die Betriebe, die dem SOV angeschlossen sind (sog. Kontrollbetriebe) eingehalten werden.

Die Firma Qualiservice GmbH (http://www.qualiservice.ch/de/default.htm) ist das gemeinsame Dienstleistungszentrum der Früchte-, Gemüse- und Kartoffelbranche, welche die Qualitätskontrolle in der Praxis durchführt. Im Rahmen dieser Tätigkeit überprüfen die Inspektoren, ob die entsprechend ausgezeichneten (angeschriebenen) Produkte die vorgegebenen Normen erfüllen. Die Kontrolle von Kernobst erfolgt in der Regel bei der Auslieferung von den Packbetrieben an den Detailhandel. Die Qualitätskontrolle beschränkt sich auf objektiv, messbare Qualitätsmerkmale. Unterschieden werden dabei **äussere und innere Qualitätsmerkmale**:

Tab. 1: Übersicht äußerer und innerer Qualitätsmerkmale

Äussere Qualitätsmerkmale	Innere Qualitätsmerkmale	
Grösse, FormFarbanteileFruchtfehlerPräsentation, Aufmachung	 Geschmack: Zuckergehalt Säuregehalt Aromastoffe Festigkeit 	

Die Anforderungen für die äusseren Qualitätsmerkmale sind in den Normen und Vorschriften des Schweiz. Obstverbandes definiert (http://www.swissfruit.ch). Für die inneren Merkmale gibt es derzeit keinen allgemein verbindlichen Anforderungen, sie sind allenfalls in individuellen Lieferantenanforderungen (Detailhandel COOP, Migros) geregelt. Bei den **Fruchtfehlern** wird unterschieden zwischen:

- Pilzkrankheiten wie Schorf, Kernhausfäule.
- Schäden durch tierische Schädlinge wie Blattläuse, Wickler, Birnblattsauger.
- Mechanische Schäden durch Hagel oder Druckstellen.
- Physiologische Störungen wie Stippe, Glasigkeit, Schalenbräune.
- Sonstige Schäden durch Frost, Viren, Berostungen, Bakteriosen.

1.3 Kundenerwartungen an Obst

Eine marktgerechte Tafeläpfelproduktion erfüllt die Erwartungen und Wünsche der Konsumentinnen und Konsumenten. Konsumententests der Agroscope, die in den letzten Jahren durchgeführt wurden, hatten zum Ziel, abzuklären, welche Anforderungen an die Essqualität von Tafeläpfeln gestellt werden. Insbesondere sollte der Zusammenhang zwischen der Fruchtfleischfestigkeit, gemessen mit dem Penetrometer, dem Zuckergehalt, gemessen mit dem Refraktometer (Brix-Werte), sowie dem Säuregehalt, bestimmt mit dem Säuretitrator, und den Beurteilungen durch die Konsumenten abgeklärt werden. Ein Hauptanliegen galt der Frage, welche Mindestwerte erreicht werden müssen, damit die Essqualität als "gut" oder "sehr gut"

oder als "nicht genügend" beurteilt wird. Vor der Degustation wurde die Früchte auf die obgenannten Parameter analysiert und dann von Konsumenten in einem "just-about-right-Test" und einem Beliebtheitstest beurteilt. In den folgenden Abbildungen ist der Zusammenhang zwischen der Beliebtheit und den Parametern Festigkeit, Zucker und Säure für die drei Sorten Golden Delicious, Gala und Elstar dargestellt. Ohne hier auf die Details einzugehen lassen sich folgende, wichtige Feststellungen machen:

- Die von den Konsumenten geforderten Mindestwerte für Fruchtfleischfestigkeit, Zucker oder Säure sind sortenabhängig, d.h. je nach Sorte verschieden. Dieses auf den ersten Blick überraschende Resultat lässt sich damit erklären, dass die Werte for die genannten drei Qualitätsparameter bei jeder Sorte anders sind, und dass auch Geschmack und Aroma verschieden sind. Offensichtlich gibt es zwischen all diesen sensorischen Attributen Interaktionen, welche die Mindestanforderungen relativ stark beeinflussen.
- Offenbar ist die Fruchtfleischfestigkeit ein wichtiges Attribut, daneben spielt jedoch auch das Zucker-/Säureverhältnis eine wichtige Rolle. Es ist aus Degustation bekannt, dass jüngere Konsumenten sehr knackige Äpfel bevorzugen, ältere hingegen mehr Wert auf den Geschmack legen.
- Umfragen bei Konsumenten zeigen, dass neben der Fruchtfleischfestigkeit auch Attribute wie Aroma oder Saftigkeit eine wichtige Rolle spielen.
- Es ist zudem bekannt, dass es unter den Konsumenten "Säureliebhaber" und "Zuckerliebhaber" gibt. Das hat eine gewisse Segmentierung der Konsumenten zur Folge.

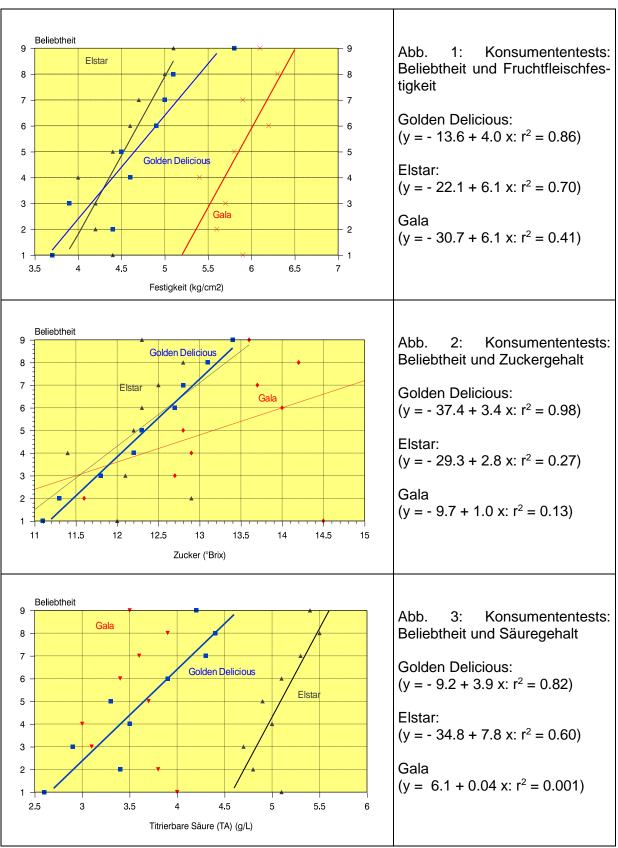


Abb. 1: Beziehung zwischen Beliebtheit und instrumentell gemessenen Werten für die Attribute Fruchtfleischfestigkeit, Zucker und Säure

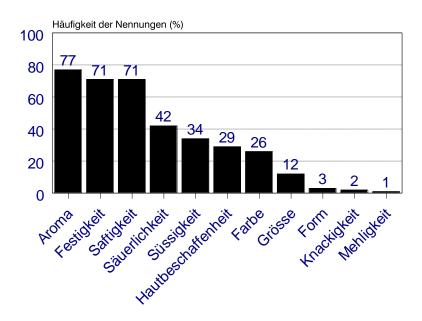


Abb. 2: Antworten auf die Frage in einem Konsumententest: Welche Merkmale sind Ihnen bei einem Apfel besonders wichtig?

Tab. 2: Minimalwerte für die Essqualität: Fruchtfleischfestigkeit und Zuckergehalt (ermittelt mittels Konsumentendeaustationen)

Sorte	Fruchtfleischfestigkeit (kg)	Zuckergehalt (°Brix)	
Elstar	4.5	12	
Gala	5.5	11.5	
Golden Delicious	4.5	12	
Jonagold	4.5	12	
Maigold	5.5	12	



Nehmen wir an, Sie sind Marketingleiter eines Grossverteilers. Wie würden Sie das Sortiment für Äpfel gestalten? Begründen Sie Ihre Antwort!

2. Innere Qualität - Grundlage für die Qualitätssicherung

Die "inneren" Qualitäts-Werte wie Fruchtfleischfestigkeit, Säure- und Zuckergehalt von Tafeläpfeln bestimmen, ob die Konsumentenschaft einen Apfel ungenügend oder ansprechend finden und ihn wieder kaufen. Es gibt **minimale**, **sortenspezifische Werte**, die erreicht werden müssen, damit Tafeläpfel als genügend oder akzeptabel eingestuft werden.

Als Produzent oder Vermarkter von Äpfeln müssen wir von den Mindestwerten für die oben erwähnten Qualitätsparameter ausgehen. Davon ausgehend lässt sich entlang der Wert-

schöpfungskette zurückgehend berechnen, welches die Qualitätsanforderungen auf den verschiedenen Stufen der Kette sein müssen, damit schlussendlich die Mindestanforderungen erfüllt werden. Zur Berechnung bzw. Modellierung des Qualitätsabbaus entlang der Wertschöpfungskette müssen die Abbauraten pro Zeiteinheit für Fruchtfleischfestigkeit, Säure und Zucker in Abhängigkeit der äußeren Bedingungen und der Sorte bekannt sein. Während Lagerung und Nachlagerung sind die wichtigsten qualitativen Änderungen:

- Die Fruchtfleischfestigkeit nimmt je nach Sorte verschieden stark ab.
- Der Zuckergehalt bleibt meist gleich, kann aber auch leicht ab- oder zunehmen.
- Der Säuregehalt nimmt, prozentual gesehen, relativ stark ab.
- Aufgrund der Abnahme des Säuregehaltes nimmt das Zucker-Säureverhältnis zu, was sich in sensorischer Hinsicht stark auswirkt. Je weniger Säure ein Apfel hat, desto weniger frisch wirkt er.

Tab. 3: Ableitung der Qualitätsanforderungen auf verschiedenen Stufen der Wertschöpfungskette aus den Konsumentenansprüchen (am Beispiel der Fruchtfleischfestigkeit von Äpfeln)

Ansprüche Konsumentenschaft		Richtwerte/Minimalwerte Essqualität: Fruchtfleischfestigkeit und Zuckergehalt 4.5 – 5.5 kg/cm²		
↓	Veränderungen während der Verteilung und Verkauf ("Shelf life")	Festigkeit = Auslagerungswert – (Abbaurate pro Tag) x Verkaufszeit (Tage) Abbaurate Festigkeit während dem Shelf life bei 20°C = 50-150 g pro Tag => Gesamtabbau von 0.7 – 2.1 kg/cm² für ein Shelf life von 14 Tagen		
Anlieferung an Detailha Auslagerung, Sortierun		Richtwerte Eingangswerte Detailhandel bzw. Auslieferungswerte Packbetrieb: 5-6 kg/cm²		
Veränderungen währen der Einlagerung und Lagerung		Festigkeit = Ernte-/Einlagerungswert - (Abbaurate pro Monat) x Lagerzeit (Monate)		
•		Abbaurate Festigkeit während der Lagerung = 200-300 g pro Monat => Gesamtabbau für eine Lagerung von 10 Monaten = 2-5 kg/cm ²		
Anlieferung/Einlagerung im Lagerbetrieb, Ernte Produktion		Ernterichtwerte: Festigkeit, Zuckergehalt, Stärkeabbau (Jod-Test) Reifegrad-Index 7-8-9 kg/cm², je nach Sorte		
Landwirtschaftliche Produktion (Bildung Lager- und Qualitäts- potential)		"Vorgeschichte" z.B. Behang, Abschlussspritzungen etc.		



Sie sind **Lagerhalter** und lagern Golden Delicious von verschiedenen Produzenten mit unterschiedlicher Festigkeit ein: **a)** wie gehen Sie vor beim Ein- und Auslagern? **b)** Sie möchten unbedingt wissen, welches schlussendlich die Qualität der Äpfel beim Konsumenten ist; wie können Sie das herausfinden?

Tab. 4: Mindestwertvorgaben für die Fruchtfleischfestigkeit und Zuckergehalte von Tafeläpfeln des **Detailhandels** (Zeitpunkt **Anlieferung**)

Sorte	Fruchtfleischfestigkeit (kg/cm²)		e Fruchtfleischfestigkeit (kg/cm²) Zuckergehalt (°Brix		rix)
	Handelskette A	Handelskette B	Handelskette A	Handelskette B	
Elstar	5.5	5.0	12.5	12.0	
Gala	6.0	5.5	11.5	11.5	
Golden Delicious	5.5	5.0	12.0	12.0	
Idared	5.5	5.0	11.0	11.0	
Jonagold	5.5	5.0	12.0	12.0	
Maigold	6	5.5	12.0	12.0	

3. Physiologische Grundlagen

3.1 Veränderung von Inhaltsstoffen vor und nach der Ernte

Früchte sind nach der Ernte lebende bzw. atmende Gewebe und sind deshalb Veränderungen unterworfen. Besonders wichtig sind Reifevorgänge und Alterungsvorgänge. Sie beeinflussen die Gehalte an Inhaltstoffen und die sensorischen Eigenschaften. Bei den Früchten sind die sogenannten klimakterischen und die nicht-klimakterischen Früchte zu unterscheiden. Erstere durchlaufen eine eigentliche Reifungsphase, welche zur Essreife führt (z.B. bei Äpfeln, Birnen, Bananen), letztere machen keine Reifung durch (z.B. Kirschen, Trauben, Zwetschgen). Dieses unterschiedliche Verhalten nach der Ernte hat einen Einfluss darauf, wie die Früchte geerntet werden: klimakterische Früchte können im "baumreifen" Zustand gepflückt werden und reifen nach der Ernte nach, während nicht-klimakterische Früchte im *essreifen* Zustand geerntet werden sollten.

In der Abbildung 3 sind die inhaltlichen Veränderungen in Äpfeln vor und nach der Ernte summarisch dargestellt. Diese Veränderungen beeinflussen die Essqualität und Haltbarkeit der Früchte.

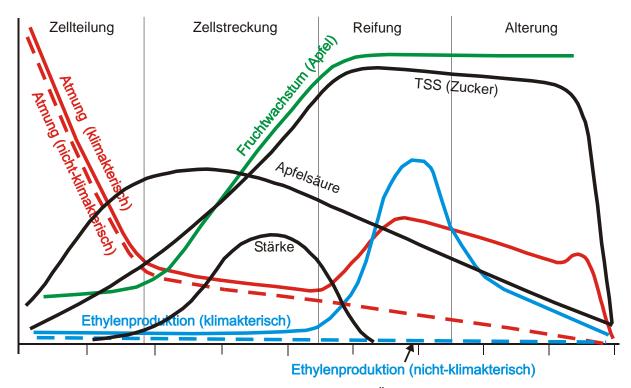


Abb. 3: Inhaltliche und physiologische Veränderung in Äpfeln vor und nach der Ernte

3.2 Atmungsstoffwechsel

Die Atmungsintensität oder Atmungsrate zeigt die stoffwechselphysiologischen Auf-, Um- und Abbauvorgänge in Früchten an. Bei der Lagerung wird angestrebt, die Atmungsraten möglichst tief zu halten; je tiefer die Atmungsraten gehalten werden, desto länger kann eine Frucht gelagert bzw. desto besser kann deren Qualität erhalten werden. Grundsätzlich gilt, dass Lagerbedingungen, bei denen eine minimale Atmungsrate beim eingelagerten Obst erreicht wird, optimal sind.

Durch die Atmung wird das pflanzliche Gewebe mit Energie (ATP) versorgt, welche zur Aufrechterhaltung der "Lebensvorgänge" notwendig ist, d.h. Unterhalt von Membranen und Synthese von wichtigen Enzymen und anderen Inhaltsstoffen. Im Zusammenhang mit der Obstlagerung kommt dem Atmungsstoffwechsel auch grosse Bedeutung im Hinblick auf die Synthese von Vorstufen von Aromakomponenten zu.

Als Substrate für den Atmungsstoffwechsel können alle Reservestoffe verwendet werden, d.h. Kohlenhydrate, Proteine und Fette und die Bausteine dieser Polymere. In den Obstarten sind Zucker (Glukose, Fruktose und Saccharose) sowie Fruchtsäuren, insbesondere Apfelsäure (Malat) die wichtigsten Atmungssubstrate. Dies ist ein Grund für die Veränderung des Geschmacks von Äpfeln während der Lagerung: Insbesondere der Säureabbau führt dazu, dass

viele Lagersorten erst nach einer gewissen Lagerdauer akzeptable Säuregehalte bzw. ein harmonisches Zucker/Säureverhältnis aufweisen.

Atmungsstoffwechsel - Atmungssubstrate

Glukose (Zucker) - aerob

1 mol $C_6H_{12}O_6$ (Glukose) + 6 mol O_2 = 6 mol CO_2 + 6 mol H_2O + 2822kJ (38 ATP) Respirationskoeffizient RQ = 1 (mol CO_2 /mol O_2)

Apfelsäure (Malat)

1 mol $C_4H_6O_5$ (Apfelsäure) + 3 mol O_2 = 4 mol CO_2 + 3 mol H_2O Respirationskoeffizient RQ = 1.33 (mol CO_2 /mol O_2)

Stearinsäure (Fettsäure)

 $C_{18}H_{36}O_2$ (Stearinsäure) + 26 O_2 = 18 CO_2 + 18 H_2O Respirationskoeffizient RQ = 0.69 (mol CO_2 /mol O_2)

Glukose (Zucker) - anaerob

1 mol $C_6H_{12}O_6$ (Glukose) = 2 mol CH_3CH_2OH (Ethanol) + 2 mol CO_2 + 118.1kJ (2 ATP) Respirationskoeffizient $RQ = \infty$

Der Respirationskoeffizient (mol CO₂ abgegeben/mol O₂ aufgenommen) zeigt an:

- Ob organische Reservestoffe aerob oder anaerob abgebaut werden
- Welche Reservestoffe in den Atmungsstoffwechsel einbezogen sind
- Ob Stoffwechselstörungen vorliegen, da mit dem Auftreten physiologischer Lagerkrankheiten der RQ erhöht wird.

Die Fruchtatmung variiert bei Äpfeln während dem Fruchtwachstum sehr stark, wie die folgende Abbildung zeigt.

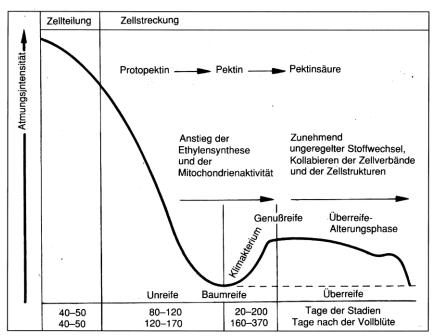


Abb. 4: Atmungsintensität während der Entwicklung und Reife von Kernobst

Faktoren, welche die Atmungsintensität beeinflussen:

- Temperatur (Q10-Regel): Halbierung der Atmungsrate bei Temperaturabsenkung um 10°C
- O₂-Konzentration der Lageratmosphäre
- CO₂-Konzentration der Lageratmosphäre
- Entwicklungsstadium und Reifegrad (siehe auch Reifegradbestimmung)
- Infektionen oder Verletzungen
- · Obstart und Sorte

Wenn in der Lageratmosphäre der Sauerstoffgehalt zu niedrig ist, beginnen die Früchte zu gären, d.h. der Stoffwechsel geht von aerober Atmung zu anaerober Atmung über. Beim Übergang von der aeroben Atmung zur anaeroben Atmung oder Gärung wir zuerst Milchsäure (Lactat) gebildet. Dies führt zu einer pH Absenkung im Cytosol, welche wiederum die Lactatdehydrogenase hemmt und die Pyruvatdecarboxylase aktiviert – die Folge davon ist Acetaldehydbildung und Ethanolbildung.

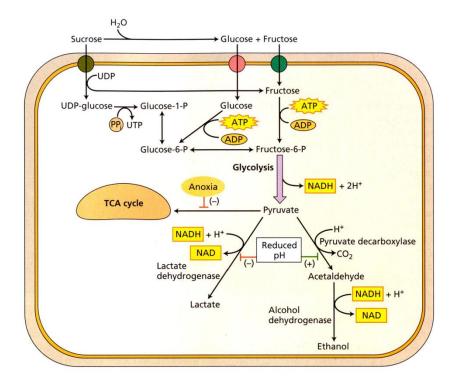


Abb. 5: Übersicht der Stoffwechselwege zur Energiegewinnung

3.3 Ethylen

Ehtylen ist ein **Reifehormon**, welches von klimakterischen Früchten gebildet wird und die Reifung sowie den Zellwandabbau induziert. Kleinste Mengen (0.1 – 1.0 ppm) Ethylen (CH₂=CH₂) in der Lagerluft genügen, um die Atmungsintensität von Obst stark zu steigern. Verletzungen induzieren oft die Ethylensynthese und führen dadurch zu einer Steigerung der Atmungsraten.

Für Äpfel und andere klimakterische Früchte steigt die Ethylensynthese mit dem Klimakterium stark an. 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 ist es nicht präsent. Im Vergleich zum System I werden grosse Mengen an Ethylen produziert.

Die Ausgangssubstanz für die Biosynthese von Ethylen ist die Aminosäure Methionin (s. unten). Über die Zwischenstufen S-Adenosyl-L-Methionin (SAM bzw. AdoMet) und 1-Aminocylopropan-1-Carbonsäure (ACC) wird Ethylen gebildet. Die Schlüsselenzyme sind die ACC-Synthase (ACS) und die ACC-Oxidase (ACO). Die beiden Enzyme werden in ihrer Aktivität durch Ethylen stimuliert (autokatalytische Wirkung) bzw. werden durch CA-Bedingungen in der Lageratmosphäre (niedriger Sauerstoffgehalt, hoher CO₂-Gehalt) gehemmt. Die Regulierung dieser Enzyme ist von höchster Wichtigkeit für die praktische Umsetzung der Lagerung.

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.

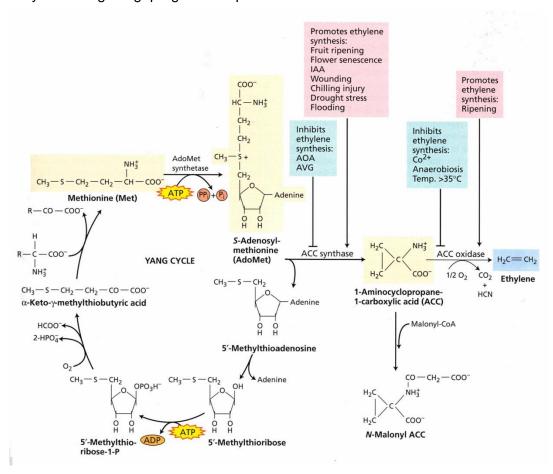


Abb. 6: Synthese von Ethylen

3.4 Lagerkrankheiten

Das Besondere der Lagerkrankheiten besteht darin, dass die Symptome erst während der Lagerung oder sogar erst nach der Auslagerung sichtbar werden. Bei der Ernte sehen die Früchte äusserlich gesund aus. Die Lagerkrankheiten werden in die **parasitären** und in die **physiologischen** Krankheiten eingeteilt. Parasitäre Lagerkrankheiten werden durch Mikroorganismen, d.h. Pilze und Bakterien verursacht. Physiologische Lagerkrankheiten treten ohne die Einwirkung von Mikroorganismen als Folge von Störungen im Stoffwechsel auf. Lagerkrankheiten treten unabhängig von der Anbauweise, ob IP oder Bioanbau, auf. Unterschiede bestehen in den Möglichkeiten der Massnahmen, die zur Bekämpfung verfügbar sind. Erwähnenswert ist, dass die Entwicklung der meisten parasitären und physiologischen Lagerkrankheiten durch die CA-Lagerung im Vergleich mit der Kühllagerung häufig stark verzögert werden kann (s. Merkblätter Agroscope zu parasitären und physiologischen Krankheiten).



Welche der in den Merkblättern aufgeführten Symptome kennen Sie als Konsumentinnen und Konsumenten?

4. Nacherntetechnologie

4.1 Grundlagen

Ziel der Nacherntebehandlung ist es, die Qualität von Früchten und Gemüse möglichst gut zu erhalten. Dabei ist zu beachten, dass das Qualitätspotential mit der Ernte feststeht und nicht mehr verbessert werden kann: es lohnt sich deshalb nicht, Früchte und Gemüse mit mangelhafter Qualität über längere Zeit zu lagern! Der optimale Erntezeitpunkt ist deshalb bezüglich Qualität sehr wichtig.

Mit der optimalen Nacherntetechnologie soll die Atmung von Obst und Gemüse möglichst gering gehalten werden, ohne jedoch physiologische Schäden zu verursachen. Durch die Reduktion der Atmung wird die Reifung bzw. der Qualitätsabbau verringert.

Wichtig ist der sogenannte **Prozessansatz**: jedes Glied der Wertschöpfungskette muss optimal gestaltet werden, damit die Konsumentenschaft am Ende ein gutes Produkt geniessen kann.

4.2 Erntezeitpunkt

Um den Qualitätserhalt von Kernobst nach der Ernte zu optimieren, müssen die Früchte zum richtigen Zeitpunkt geerntet werden. Um diesen optimalen Zeitpunkt zu bestimmen, gibt es sogenannte Ernterichtwerte für die Fruchtfleischfestigkeit, den Zuckergehalt und den Stärkewert. Aus diesen drei Werten wird der sogenannte Reife-Index nach Streif für Tafelkernobst berechnet, (Index = Penetrometerwert/(Brixwert x Stärkeabbauwert). Für jede Sorte kann aufgrund dieser Werte ein sogenanntes "Erntefenster" definiert werden, d.h. ein Bereich für die oben erwähnten Werte, in der die Sorte gepflückt werden sollte (s. "Herbstbrief" von Agroscope)

Definitionen Reifegrade

 Unreife: Haut oder Fruchtfleisch zu grün, Textur zu hart, Geruch und Geschmack grasig, zu sauer, ungeniessbar, Aromaentwicklung.

- Pflückreife (Baumreife, optimal Reife für Langzeitlagerung): Fruchtfleisch entgrünt, Festigkeit des Fruchtfleisches im Optimum für Lagerung, Zucker und Säuren i.O., Aromastoffe nur bei Frühsorten entwickelt.
- Essreife (Konsumreife, Genussreife, optimale Reife für den Sofortkonsum): Harmonie in Zucker, Säuren und Aromastoffen, Fleischfestigkeit knackig-saftig, nicht mehr zähe (Stärketest für Herbstvermarktung).
- Überreife: Haut abnorm verfärbt, Textur saftarm, trocken-mehlig, Geruch und Geschmack abnorm oder fade, Säure abgebaut, oft Altersstörungen (physiologische Krankheiten).

Zur langfristigen Bestimmung des optimalen Pflückzeitpunktes gibt es verschiedene Prognosemethoden: Kalenderdatum, durchschnittliche Zeitdauer in Tagen zwischen Vollblüte und Ernte, Temperatursummen, durchschnittliche Zeitdauer in Tagen vom morphologischen T-Entwicklungsstadium bis zur Ernte.

Zusammenhang zwischen
Fruchtqualität und Haltbarkeit

sehr gut

gut

Schlecht

Schlechte Zu früh
Schlechte Qualität
meist gute Haltbarkeit

Schlechte Haltbarkeit

Abb. 7: Haltbarkeit und Fruchtqualität in Abhängigkeit vom Erntetermin

Tab. 5: Auswirkungen zu früher vs. zu später Ernte

Zu frühe Ernte	Zu späte Ernte
zu kleines Erntegewicht	Fruchtfall
Mangelnde Fruchtgrösse	Glasigkeit
Mangelhafter Chlorophyllabbau	Morschwerden
Zähes Fruchtfleisch	Zu weiches Fruchtfleisch
Geschmacksdefizit	Säure-Defizit
Schrumpfung	Fäulnis
Stippigkeit	Verkürzte Lagerdauer
Vorzeitige Hautbräune	Altershautbräune

4.3 Reduktion der Atmung

Praktische Bedeutung der Atmungsaktivität im Hinblick auf die Lagerung:

- Durch die Atmung entsteht Wärme (Atmungswärme), die durch die Kühlanlage abgeführt werden muss. Muss bei der Leistungsberechnung der Kühlanlage berücksichtigt werden.
- Durch die Atmung entstehen Verluste (Zucker- und Säureabbau), d.h. mit der Lagerung ist immer ein Gewichtsverlust verbunden.
- Durch die Atmung entsteht CO₂ und Sauerstoff (O₂) wird verbraucht, dies ist von grosser
 Bedeutung in der CA-Lagerung

Das wichtigste Mittel, um die Atmung von Obst und Gemüse zu reduzieren, ist die **Kühlung**. Diese kann schon auf dem Feld, während der Lagerung, dem Transport aber auch am Verkaufspunkt eingesetzt werden.

Tab. 6: Spezifische Wärmekapazität und Atmungswärme einiger Obstsorten

Obstart	Spezifische Wärme- kapazität in kJ / (kg x K)	Atmungsin	tensität in W	x t ⁻¹ bei			
	1 (NY X N)	0°C	2 °C	5 °C	10 °C	15 °C	20 °C
Äpfel (Frühsorten)	3,64 - 3,85	9,7 - 18,4	14,1 - 20,8	15,5 - 31,5	40,7 - 60,6	53,3 - 92,1	58,6 - 123,6
Äpfel (Spätsorten)	3,64 - 3,85	5,3 - 10,7	10,7 - 13,6	13,6 - 20,8	20,4 - 31,0	27,6 - 58,2	43,6 - 71,7
Birnen(Frühsorten) Birnen(Spätsorten)	3,68 - 3,85 3,68 - 3,85	7,8 - 14,5 7,8 - 10,7	,	21,8 - 46,0 17,5 - 41,7	29,1 - 63,0 23,3 - 55,3	101,8 -159,9 82,4 -126,0	116,3 - 266,5 94,5 - 218,1
Pfirsiche Aprikosen	3,77 - 3,85 3,60	12,6 - 18,9 15,5 - 17,0	17,5 - 21,8 18,9 - 26,7	25,2 - 40,7 33,0 - 55,7	64,5 - 91,6 62,0 -101,8	87,2 -131,8 84,8 -155,1	140,5 - 181,7 135,7 - 198,7
Pflaumen	3,68 - 3,77	18,4 - 21,3	,	37,3 - 65,4	62,5 -126,0	82,4 - 186,6	140,5 - 235,0
Zwetschen	3,68 - 3,77	13,6 - 15,5		28,6 - 60,6	57,2 - 92,1	74,6 -150,2	118,7 - 201,1
Mirabellen	3,77 - 3,85	18,4 - 19,4		35,9 - 62,5	61,1 -101,8	78,5 -174,5	133,5 - 215,2
Kirschen(süß)	3,64	15,5 - 21,3	,	27,6 - 45,1	38,3 - 99,3	80,0 -164,8	155,1 - 220,5
Kirschen(sauer)	3,64	15,5 - 21,8	,	30,5 - 54,3	42,7 -108,6	89,2 -186,6	172,0 - 242,3
Erdbeeren	3.85 - 3.89	33.9 - 46.5		44,1 - 92,1	89.7 -175.4	130,8 -242,3	174,5 - 300,5
Johannisbeeren(schw.)	3,68 - 3,77	20,4 - 33,0	32,5 - 53,3	43,6 - 80,9	64,9 -181,7	147,3 -348,9	222,9 - 557,3
Johannisbeeren(rot)	3,68 - 3,77	13,6 - 19,9	17,5 - 30,5	23,8 - 46,0	34,9 - 94,0	80,0 -203,5	123,6 - 310,2
Stachelbeeren	3,77	14,1 - 20,4	19,4 - 29,6	23,8 - 45,1	35,4 - 88,2	79,0 -189,0	121,2 - 319,8
Himbeeren(kultur)	3,60 - 3,68	47,0 - 92,1	54,3 - 115,3	82,4 - 164,8	146,4 -281,1	218,1 -581,5	339,2 - 726,9
Brombeeren(kultur)	3,68	46,5 - 67,9	58,2 - 103,2	84,8 - 137,6	154,1 -281,1	208,4 -431,3	387,7 - 581,5
Weintrauben	3,60 - 3,85	4,9 - 9,7	11,6 - 17,0	16,5 - 24,2	23,8 - 36,4	35,9 - 48,5	49,9 - 77,5
Hasel-/Walnüsse	0,92 - 1,05	>2,4	>2,4	>4,8	9,7	12,1	14,5
Spezif.Wärmekapazität:1kc	, , , ,	, ,		<i>a</i> 1			
Atmungswärme:1,16306Wx	tt '=1Kcaix(nxt)-1,1V	vxt'. U,860kca	aix(nxt)'' . 3,6kJx	(nxt)-			



Welche Folgerungen ziehen Sie aus dieser Tabelle bezüglich a) Kältebedarf beim Abkühlen, b) Kältebedarf während der Lagerung c) Haltbarkeit der Produkte?

Neben der Verzögerung der Reifung wird durch die Kühlung auch der Qualitätsabbau verzögert, wie die Abbildung 8 zeigt.



Abb. 8: Vergilbung von Gurken durch Abbau des Chlorophylls in Abhängigkeit von der Lagertemperatur (Lagerdauer 3 Wochen)

Die Atmungsintensität lässt sich auch durch die Zusammensetzung der Lageratmosphäre reduzieren. Bei der CA-Lagerung wird der Sauerstoffgehalt abgesenkt und gleichzeitig der CO₂-Gehalt der Lageratmosphäre erhöht. Das CO₂ entsteht durch die Atmung der Früchte. Beides führt zu einer Reduktion der Atmungsintensität und dadurch zu einer verlängerten Haltbarkeit bzw. zu einer besseren Qualitätserhaltung. Zu beachten ist, dass zu hohe CO₂-Gehalte zu anaerober Atmung (Gärung) führen können. Die "CO₂-Empfindlichkeit" ist sortenspezifisch.

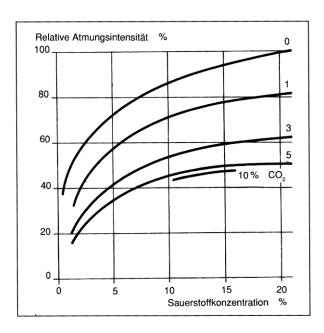


Abb. 9: Einfluss der Kohlendioxid- und Sauerstoffkonzentration auf die Atmungsintensität

4.4 Reduktion der Ethylensynthese

Seit Herbst 2005 kann in der Schweiz der Ethylenhemmer SmartFresh™ (Wirkstoff 1-Methylcyclopropen, MCP) zur Behandlung von Tafeläpfeln bei der Einlagerung eingesetzt werden. 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 vieler anderer Früchte und Gemüse 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 kodierende Gene nicht exprimiert werden. Da bei 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, 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.

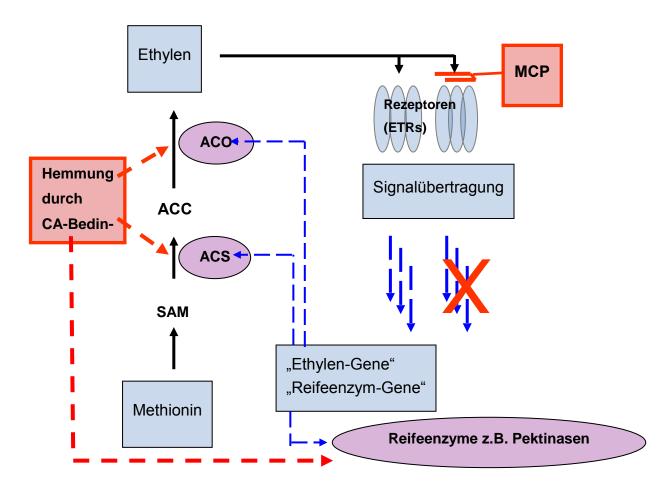


Abb. 10: Hemmung der Ethylensynthese durch 1-MCP

Erwähnenswert ist noch, dass Früchte während der Lagerung wieder neue Ethylen-Rezeptoren bilden können, wodurch Reifungsvorgänge wieder angestossen werden können, aber in einem viel geringeren Mass als ursprünglich vorhanden.

Ethylen regt die Reifung an, führt aber bei vielen Gemüsearten durch Alterungserscheinungen zu qualitativen Verlusten. Ethylen fördert u.a.

- das Bitterwerden von Karotten. Isocumarine sind für den bitteren Geschmack verantwortlich. Sie entstehen durch Ethylenbildung im Gewebe nach mechanischer Belastung oder wenn Karotten im Lager oder im Verkauf Ethylen ausgesetzt sind.
- die beschleunigte Alterung und den Chlorophyllabbau (Vergilben) von Spinat, Gurke und Broccoli
- die beschleunigte Reife von Aubergine und Tomate
- die nichtparasitäre Bräunung von Aubergine und Tomate
- das Ablösen der Umblätter von Kopfkohl
- die Faserbildung von Spargeln

Tab. 7: Ethylenempfindlichkeit und Ethylenproduktion von Gemüse

Gemüseart	Empfindlichkeit auf Ethylen	Eigene Produktion von Ethylen
Aubergine	Gross	Gering
Blumenkohl	Gross	Gering
Brokkoli	Gross	Gross (bei 23°C bis zu 22.5 ppm)
Chicorée	Gross	Gering
Chinakohl	Gross	Gering
Endivien	Gross	Gering
Gurken	Gross	Mittel
Rot-, Weisskabis	Gross	Gering
Wirz	Gross	Gering
Melonen	Mittel	Gross (bis 16.0ppm)
Peperoni	Gross	Mittel
Petersilie	Gross	Gering
Rosenkohl	Gross	Mittel
Salat	Gross	Gering
Spinat	Gross	Gering
Tomate	Gross	Gross (4.6-12.0 ppm)
Apfel, Birne	Gross	Sehr gross (2-100 ppm)
Stapler mit Verbren sel)	nungsmotor (Benzin, Die-	Sehr gross (80 ppm)

ppm = parts per million = Teile pro Million.

4.5 Bekämpfung von physiologischen Lagerkrankheiten

Das wichtigste Mittel, um physiologische Lagerkrankheiten zu verhindern, ist das Einhalten der sortenspezifischen Anbau- und Lagerbedingungen. Selbst dann kann es jedoch nach der Ernte, nach Auslagerung oder während dem Shelf life zu Lagerkrankheiten kommen, je nach Klimabedingungen und Verhältnissen nach der Ernte. Die Merkblätter von Agroscope geben Auskunft über Ursachen und Symptome von physiologischen und parasitären Lagerkrankheiten.

Tab. 8: Übersicht von Lagerverlusten bei Obst und Gemüse

		Lagerschädlinge	Ratten/Mäuse	
			Lagerschorf	
			Gloeosproium-Fäule	
			Monillia-Fäule	
			Botrytis-Fäule	
		Banaa!!#	Penicillium-Fäule Phytophtora-Fäule	
		Parasitäre		
		Lagerkrankheiten	Kernhaus-Fäule	
		(Fäulnis)	Nectria-Fäule	
			Phoma-Fäule	
			Phacidiella-Fäule	
			Alternaria-Fäule	
			Trichothecium-Fäule	
	Lagarkrankhaitan		Stippigkeit	
	Lagerkrankheiten		Bormangel	
	ste		Glasigkeit	
			Vorzeitige Fleischbräune	
Logoryorlugto			(Morschwerden)	
Lagerverluste			Kältefleischbräune	
		Physiologische	Kernhausbräune	
		Lagerkrankheiten	Jonathanspot	
			Hautbräune	
			Soft Scald	
			(Bänderfleischbräune)	
			Gefrierschäden	
			Aufreissen (Platzen)	
			Kohlendioxidschäden	
			Sauerstoffschäden	
	Schwund	Massenverluste		
		Grössenminderung		
		Schrumpfung		
		Abbau Inhaltsstoffe		
	Qualitätsverluste	Geschmacksveränderungen		
		Ausprägung Fruchtfehler		
		Verschlechterung der Textur (Abnahme Fruchtfleischfestigkeit,		
		Mehligkeit, etc.)		

Physiologische Lagerkrankheiten

Traditionellerweise werden physiologische Krankheiten in zwei Gruppen aufgeteilt: Krankheiten, die aufgrund von Stoffwechselstörungen während des Wachstums auftreten bzw. **physiologische Lagerkrankheiten**, deren Ursache ungünstige Lagerbedingungen sind. Allerdings

können viele der physiologischen Krankheiten nicht immer eindeutig diesen zwei Gruppen zugeordnet werden. Dies führt dann bei Schadenfällen oft zu Streitigkeiten. Es zeigt sich oft, dass sowohl die Wachstums- als auch die Lagerbedingungen der Entwicklung von physiologischen Krankheiten förderlich sein können. Die Verhinderung von Schäden, die auf physiologische Krankheiten zurückzuführen sind, muss demzufolge gemeinsam von Produzenten und von den Lagerhaltern angegangen werden.

5. Grundlagen der Lagerung

5.1 Lagerfaktoren

Im Obstlagerraum können vier Klimaelemente oder Lagerfaktoren durch den Lagerhalter beeinflusst bzw. gesteuert werden:

- Lufttemperatur
- Luftfeuchtigkeit
- Zusammensetzung oder "Reinheit" der Lagerluft
- Luftbewegung oder Luftumwälzung

Die **Temperatur** ist der entscheidende und grundlegende Lagerfaktor, alle weiteren Faktoren ergänzen die Wirkung der Temperatur bezüglich Haltbarkeit und Qualitätserhaltung. Die Einhaltung der erwünschten Temperatur wird durch die Kühlanlage erreicht. Weitere Faktoren, welche die Temperaturführung beeinflussen sind die Messsysteme, die Wärmedämmung der Wände, Decke und Boden der Lagerräume und die Aussentemperaturen. Eine Temperaturabsenkung bewirkt:

- Senkung der Atmungsintensität
- Senkung der Enzymaktivitäten
- Senkung der Transpiration (Wasserverlust)
- Verminderung und Verlangsamung parasitärer Lagerkrankheiten (Mikroorganismen)

5.2 Lagerfaktor Temperatur

Die Temperatur ist der wichtigste Lagerungsfaktor. Sie beeinflusst die Intensität der Atmung.

Eine Absenkung der Lagertemperatur um 10°C führt zu einer Verlangsamung der Atmung, in der Regel auf ½ bis ½ der ursprünglichen Intensität. Je langsamer die Produkte atmen, desto länger ist deren Haltbarkeit (Q-10-Regel)

Beispiel bzw. Annahme: Die "Brennstoffmenge" ist gegeben und bei einer Aufbewahrung bei 20°C sei die Haltbarkeit 10 Tage; somit wäre die Haltbarkeit bei 10°C 20-30 Tage, bei 0°C 40-90 Tage.

*** Die Temperatur hat einen grossen Einfluss auf die Lagerdauer !!!***

Die Temperatursenkung ist jedoch begrenzt durch den **Gefrierbeginn** in Obst. Birnen dürfen nicht tiefer als -1.0°C abgekühlt werden, die minimale Temperatur bei Äpfeln liegt bei 0-1°C. Gewisse Apfelsorten sind kälteempfindlich und entwickeln bei tiefen Lagertemperaturen (0-2°C) Kälteschäden. Diese Störungen treten im Allgemeinen erst nach der Auslagerung auf, d.h. wenn die Produkte für einige Zeit bei höheren Temperaturen aufbewahrt worden sind. Fruchtgemüse wie Tomaten oder Gurken dürfen nur bei Temperaturen von mehr als 8°C gelagert werden.

Die Temperatur hat einen ähnlichen Einfluss auf die Aktivität der Verderbniserreger (Bakterien, Pilze, Hefen) wie auf Obst und Gemüse.

D.h. je tiefer die Temperatur, desto langsamer vermehren sich die Mikroorganismen. Diese vermehren sich optimal in einem Temperaturbereich von rund 15-40°C. Unterhalb von 5°C wird die Vermehrung stark gehemmt, die Mikroorganismen werden jedoch nicht abgetötet. **Verlauf der Temperatur während der ganzen Einlagerungsperiode**. Erwünscht ist eine schnelle Abkühlung nach der Einlagerung. Die Abkühlgeschwindigkeit wird durch die Leistungsfähigkeit der Kälteanlage und durch den Wärmetransfer (Wärmefluss) bestimmt. Der Wärmeabfluss wird durch die Art der Stapelung und durch die Luftumwälzung beeinflusst.

5.3 Lagerfaktor Luftfeuchtigkeit

6

10

20

Die Luftfeuchtigkeit im Obstlager entscheidet über Wasserverluste bzw. Schwund während der Lagerung. Sie ist im Zusammenhang mit verschiedenen parasitären und physiologischen Lagerstörungen von grosser Bedeutung. Die relative Luftfeuchtigkeit (% r.F.) ist das prozentuale Verhältnis der vorhanden Wassermenge zum maximalen Aufnahmevermögen der Luft. Dieses nimmt mit steigender Lufttemperatur zu.

7.28

8.40

9.50

17.70

Lufttemperatur	emperatur Maximaler Wassergehalt in		
(°C)	g/kg	g/m³	
- 4	3.01	3.54	
- 2	3.55	4.13	
0	3.90	4.91	
2	4.51	5.62	
1	5.34	6.54	

5.88

6.90

7.88

15.18

Tab. 9: Wassergehalt der Luft in Abhängigkeit von der Temperatur

Überschreitet der vorhandene Wassergehalt das Aufnahmevermögen der Luft, kommt es in Abhängigkeit von der Temperatur zur Kondensation, d.h. der überschüssige Wasserdampf wird als Tropfen sichtbar.

Tab. 10: Taupunkttemperaturen im Obstlager (unterhalb dieser Temperaturen kondensiert Wasser aus)

Lufttampara	Relative Luftfeuchtigkeit					
Lufttempera- tur (°C)	unttempera- (*C) 85%	90%	95%	100%		
tur (C)	Taupunkttemperaturen (K)					
0	-2.2	-1.4	-0.6	0		
2	0	0.9	1.5	2.0		
4	1.8	2.4	3.2	4.0		
6	3.8	4.5	5.1	6.0		

Wasserverlust & Schwund

Der Wasserverlust von Obst und Gemüse wird vorwiegend durch das **Dampfdruckdefizit** zwischen Frucht / Gemüse und Lagerluft bestimmt. Das Dampfdruckdefizit ist im Wesentlichen durch die Temperatur und die relative Luftfeuchtigkeit (% r.F.) bestimmt. Luft hat immer die Tendenz Feuchtigkeit bis zur vollständigen Sättigung aufzunehmen – im Obstlager bedeutet dies, dass je höher das Dampfdruckdefizit ist, desto höher ist die Entfeuchtung bzw. der Wasserverlust bzw. der "Schwund". Das Dampfdruckdefizit ist somit die treibende Kraft. Feuchtigkeit "fliesst" vom Ort mit höherem Dampfdruck zum Ort mit tieferem Dampfdruck. Zu beachten ist, dass die Luftschicht unmittelbar um die Frucht fast vollständig gesättigt ist resp. eine Luftfeuchtigkeit von 100% r.F. aufweist.

Das wichtigste "Hindernis" für den Dampfübergang von und in Frucht / Gemüse ist dabei der **Diffusionswiderstand** durch die Schale resp. die Durchlässigkeit der Schale oder Haut für Wasserdampf. Diese Durchlässigkeit kann je nach Produkt stark variieren, wie die Tabelle 11 zeigt.

Tab. 11: Feuchtigkeitsverluste verschiedener Obstarten pro Zeiteinheit

Obstart	Feuchtigkeitsverlust bei 0°C (g t ⁻¹ h ⁻¹)
Apfel	7.0
Kirsche	10.0
Birne	5.5
Pfirsich	13.6
Erdbeere	25.9

Der Wasserverlust sollte während der Lagerung minimal gehalten werden. Allerdings darf er nicht auf Null gebrachte werden. Bei der Atmung entsteht Wasserdampf, der in die Raumluft transpirieren muss (0.3-0.6%/Monat bzw. etwa 5-8gt⁻¹h⁻¹). Zur Vermeidung von physiologischen Lagerstörungen (z.B. Hautbräune) sollten die Schwundverluste 0.3-0.6% pro Monat betragen. Bei Wasserverlusten von mehr als 5% wird Schrumpfung (Welke) bei empfindlichen Äpfeln sichtbar (praktische Bedeutung: Äpfel mit Anzeichen von Schrumpfung sind unverkäuflich).

In Kühllagern werden zur Aufrechterhaltung genügend hoher Luftfeuchtigkeit **Befeuchtungs- geräte** eingesetzt (Sprühdüsen). Die Auslegung der Kühlanlage, insbesondere des Verdampfers ist dabei von ausschlaggebender Bedeutung (die Verdampferoberfläche muss genügend gross sein, damit ein kleines Δt eingehalten werden kann).

5.4 Lagerfaktor Luftzusammensetzung

Die Luftzusammensetzung - insbesondere der Sauerstoff- und Kohlendioxidgehalt - beeinflussen, wie schon erwähnt, den Atmungsstoffwechsel und andere Stoffwechselreaktionen. Dieses Prinzip wird in der CA-Lagerung (Lagerung in kontrollierter bzw. gesteuerter Atmosphäre) genutzt. Im Kühllager ist der Reinheit oder Sauberkeit der Luft Beachtung zu schenken. Verunreinigungen der Lagerluft sind Staub, Sporen, flüchtige Stoffe wie Aromastoffe oder Ethylen (siehe Kapitel 4.4). Durch Luftwechsel bzw. Frischluftzufuhr kann die Lagerluft "reingehalten" werden. Täglich sollte etwa das 0.5fache Leervolumen des Kühlraums ausgetauscht werden. Normalerweise wird dies durch Begehen der Räume für Kontrollen erreicht. Kühlräume sind in der Regel nicht gasdicht, deshalb wird zusätzlich durch den "Pumpeffekt" der Kälteanlage ein genügender Luftaustausch erreicht.

5.5 Lagerfaktor Luftumwälzung

Die Luftumwälzung oder Ventilation bezweckt:

- Horizontaler und vertikaler Ausgleich der Temperatur- und Luftfeuchtigkeitsgradienten im Lagerraum (homogene Verhältnisse)
- Verhinderung der Ansammlung von flüchtigen Atmungsprodukten auf der Fruchtoberfläche

Luftwälzzahl (Luftumwälzung) = Menge der Lagerluft bezogen auf das Leervolumen des Lagerraumes, welche in einer Stunde durch den Ventilator gezogen wird.

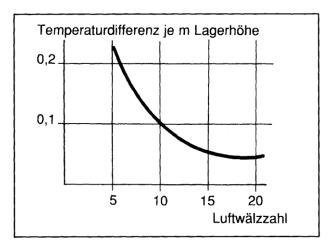


Abb. 12: Abhängigkeit der Temperaturhomogenität in Funktion der Luftumwälzung

Während der Einlagerung und Abkühlung der warmen Früchte sollte die Luftumwälzung das 20-30fache Raumvolumen betragen.

Nach der Abkühlung und während der eigentlichen Lagerung sollten Luftumwälzzahlen von 8-15 eingehalten werden. Eine gleichmässige und gute Luftzirkulation oder Luftführung kann nur durch eine sorgfältige **Stapelung** erreicht werden. Luft strömt nach dem Prinzip des geringsten Widerstands. Es gilt "Luftkurzschlüsse" zu vermeiden.

Zu hohe Luftbewegung vergrössert den Wasserverlust. In der Regel ist der Ventilator nur während der Kühlung in Betrieb, es werden üblicherweise Vorlauf- und Nachlaufzeiten eingehalten. Bei geringem Kältebedarf sind ev. zusätzliche Intervalllüftungen (10-20min/h) notwendig, um eine Luftschichtung zu vermeiden.

6. Lagerverfahren

6.1 Übersicht

Tab. 12: Lagerungsmethoden und Zusammensetzung der Lageratmosphäre

Lagerungsmethode	Sauerstoff (O ₂) %	Kohlendioxid (CO ₂) %
Kühllagerung (Luft)	21	0.03
CA-Lagerung	2-5	2-5
LO-Lagerung	1.5-2	1-3
ULO-Lagerung	0.8-1.2	0.5-2
DCA-Lagerung	0.4-0.8	0.5-2.0

Für die Lagertemperaturen und die Luftfeuchtigkeit werden bei allen Lagerungsmethoden ähnliche Bereiche eingehalten (siehe empfohlene Lagerungsbedingungen im "Herbstbrief" für die Lagerung von Kernobst). Durch Absenkung der Sauerstoff- und Anhebung der Kohlendioxidgehalte wird die Atmung der Früchte vermindert.

6.2 Kühllagerung und Kältetechnik

Bei der Kühllagerung können die Temperatur, die Luftfeuchtigkeit und die Luftumwälzung gesteuert werden. Die Zusammensetzung der Lageratmosphäre entspricht der Zusammensetzung der Aussenluft, d.h. 0.03% CO₂, 21% O₂, etwa 79% N₂ (und Edelgase).

Eine **Kältemaschine** besteht aus den vier Hauptkomponenten: Kompressor (Verdichter), Kondensator (luftgekühlt oder wassergekühlt, ev. mit Wärmerückgewinnungsanlage), Expansionsventil und Verdampfer (Klimablock, "Kühler", der sich im Kühlraum befindet, mit Ventilator). Die Arbeitsweise der Kältemaschine ist in Abbildung 11 dargestellt.

Verdampfer. Die Verdampferoberfläche muss so bemessen sein, dass bei einer Luftumwälzung von 30x gearbeitet werden kann. Die Verdampfertemperatur sollte nicht mehr als $5-7^{\circ}$ C unter der gewünschten Lagerraumtemperatur liegen. Man spricht vom sogenannten Δt (Delta t). Je kleiner das Δt gewählt wird, desto weniger Wasser wird am Verdampfer auskondensieren oder ausfrieren, dadurch können die Wasserverluste (Schwund) gering gehalten werden. Die Verdampferoberfläche sollte als Richtwert etwa 1.5 bis 2.0 m²/t Lagerkapazität betragen.

Schema Arbeitsweise (Prinzip) und Bestandteile einer Kältemaschine

verdampfen	Verdampfer : Wärmeaufnahme = Entzug von Wärme aus dem Kühlraum, das Kältemittel ändert vom flüssigem zu gasförmigem Zustand
↓	
verdichten	Kompressor oder Verdichter: Erhöhung des Druckes \rightarrow Erhöhung des Siedepunktes des Kältemittels
\downarrow	
verflüssigen	Kondensator : wasser- oder luftgekühlt, Wärmeabgabe = Abgabe von Wärme, Kältemittel ändert vom gasförmigen zu flüssigem Zustand
\downarrow	
entspannen	Expansionsventil : Erniedrigung des Druckes \rightarrow Erniedrigung des Siedepunktes des Kältemittels

1 = KompressorFlüssigzone 2 = Kondensator 3 = Kältemittelsammler 4 = Druckleitung Maschinenraum 5 = Expansionsventil 6 = Verdampfer 7 = Saugleitung 8 = Thermostat Wärmestrom Dampzum Verdampfer 9 = Motorschütz zone m. Elektroleitungen Wärmestrom v. Konsentator Kühlraum 3

Abb. 11: Schema einer typischen Kälteanlage (Direktverdampfung)



Welche Punkte in einer Kältemaschine sind aus ökologischer Sicht kritisch? Wo lassen sich ökologisch wirksame Massnahmen umsetzen?

Anmerkungen:

- Der Entzug von Wärme wird immer von einer Entfeuchtung der Lagerluft begleitet
- Je höher die Temperaturdifferenzen (Δt) zwischen Verdampfer und Äpfeln sind, desto grösser ist die Entfeuchtung
- Ab einem Wasserverlust von rund 5% beginnen Äpfel zu schrumpfen. Jede Obst- und Gemüsesorte weist einen solchen Grenzwert auf, ab dem Schrumpfung bzw. Welke gut sichtbar wird (s. auch Kap. 5.3).

6.3. Mess- und Steuersysteme

Da bei den neueren Lagerungsmethoden der Sauerstoffgehalt auf sehr niedrige Werte abgesenkt wird und gleichzeitig auch niedrige Kohlendioxidgehalte eingehalten werden, sind prä-

zise Mess- und Steuersysteme erforderlich. Zudem müssen die Messungen und Steuereingriffe in kurzen Zeitabständen vorgenommen werden, damit Abweichungen von den gewünschten Sollwerten klein gehalten und sofort korrigiert werden können. In der Regel können diese Anforderungen nur durch vollautomatische oder semiautomatische Mess- und Steueranlagen erfüllt werden. Dank den Fortschritten in der Messtechnik und in der Mikroelektronik stehen kostengünstige Systeme zur Verfügung, die auch im Lagerbereich eingesetzt werden können. Sie ermöglichen die Erfassung und Abspeicherung von Lagerdaten, wie Temperatur, relative Luftfeuchtigkeit, CO₂-Gehalt und O₂-Gehalt. Zusätzlich können die Einschaltfrequenz der Kühlaggregate, die Gesamtkühlzeit je Raum und Tag, die Abtauzyklen usw. aufgezeichnet werden. In vollautomatischen Anlagen werden die Lagerräume aufgrund dieser Messwerte direkt gesteuert. In semiautomatischen Anlagen kann aufgrund dieser Messwerte in die Steuerung eingegriffen werden. Sind die Daten abgespeichert, können sie jederzeit abgerufen werden und der Verlauf der Lagerbedingungen über die ganze Lagerperiode festgehalten werden. Solche elektronischen Datenerfassungssysteme sind Grundlage für die "Gute Lagerpraxis" und sind Bestandteil der Qualitätssicherung. Insbesondere bei Schadenfällen sind solche Aufzeichnungen wichtig und werden in "Versicherungsfällen" verlangt.

6.4 CA-Lagerung

Das Prinzip der Lagerung in kontrollierter Atmosphäre (CA) besteht darin, dass in einem gasdichten Kühlraum die Luftzusammensetzung gegenüber der Aussenluft verändert wird. Die Reduktion des Sauerstoff-(O₂) und die Steigerung des Kohlendioxidgehaltes (CO₂) sind dabei ausschlaggebend. Die Atmung der Früchte kann dadurch gesenkt werden, der Verbrauch an Eigenreserven, wie Zucker und Säuren, wird dabei vermindert und damit eine längere Haltbarkeit bzw. bessere Qualitätserhaltung erreicht.

Beim heute üblichen CA-Lager wird der Sauerstoffgehalt nach dem Schliessen des Lagerraums durch Spülung mit Stickstoff, der in einem **Stickstoffgenerator** erzeugt wird, relativ schnell, innerhalb weniger Tage auf Werte von 2-4% abgesenkt. Die weitere Sauerstoffabsenkung auf tiefere Werte erfolgt dann in der Regel durch die Veratmung von Sauerstoff durch die Früchte. Während der Lagerung werden CO₂-Vernichter, auch **Skrubber**, **Absorber** oder **Adsorber** genannt, eingesetzt. Dadurch können sowohl der CO₂- als auch der O₂-Spiegel auf gewünschte Werte eingestellt und gehalten werden. Definitionsgemäss wird eine Lagerung bei -2-10°C, einer relativen Luftfeuchtigkeit von 90-96% r.F. sowie 2-5% CO₂ und 2-5% O₂ konventionelle CA-Lagerung genannt. Die neueren Methoden **LO- und ULO-Lagerung**, die in den letzten zehn Jahren eingeführt wurden, unterscheiden sich, vor allem bezüglich der tieferen O₂-Bereiche, die eingehalten werden. Diese Verfeinerung der CA-Lagerung wurde durch die Verfügbarkeit kostengünstiger, automatischer Mess- und Regelsysteme ermöglicht.

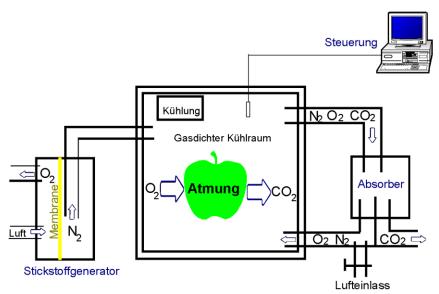


Abb. 13: CA-Lagerraum und mit technischen Einrichtungen

Temperaturunterschiede im Kühlraum von 1 K durch die Kühlzyklen führen zu Druckdifferenzen von 317 Pa (Pumpwirkung). CA-Lagerräumen sind deshalb mit sogenannten "Lungen" verbunden, d.h. sehr grossen und gasdichten Kunststoffbeuteln, welche die entsprechenden Volumenänderungen ausgleichen könne.

6.5 DCA-Lagerung

Bei der dynamischen CA-Lagerung (DCA) wird der Sauerstoffgehalt soweit wie möglich abgesenkt. Bei der Sauerstoffreduktion reagiert der Apfel unterhalb einem kritischen Sauerstoffgehalt mit einem Stresssignal.

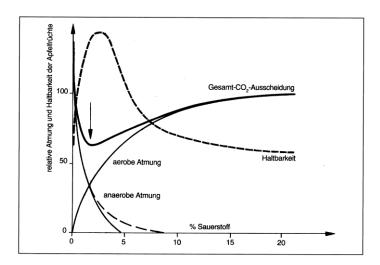


Abb. 14: Einfluss der Sauerstoffkonzentration auf die Atmungsintensität

Die Atmung wird durch die Absenkung des Sauerstoffs verlangsamt, deutlich wird dies bei einer Absenkung unter 10% Sauerstoff. Mit der Sauerstoffreduktion nimmt der Umfang der anaeroben Energiegewinnung bzw. Atmung zu. Bei der weiteren Absenkung wird der anaerobe Kompensationspunkt (anaerobic compensation point = ACP) erreicht: dies ist die O₂-Konzentration, bei welcher die CO₂-Produktion bzw. die Atmung als Summe von aerober und anaerober Atmung im Minimum ist. Bei der dynamischen CA-Lagerung (DCA) werden Äpfel etwas oberhalb des ACP gelagert mit dem Ziel, die Atmungsaktivität möglichst gering zu halten, ohne jedoch durch übermässige Gärung Fruchtschäden zu verursachen.

Die dynamische CA-Lagerung wird seit 2011 in der Schweiz eingesetzt. Das Konzept beruht, wie oben dargestellt, darauf, dass die Lagerbedingungen, insbesondere der Sauerstoffgehalt in der Lageratmosphäre, dem physiologischen Zustand der Frucht bzw. der Lagerphase angepasst wird. Diese Methode ist gleichzusetzen mit einer Art "intelligenter Lagerung": Das physiologische Verhalten bzw. die Reaktion der Früchte gegenüber der Absenkung des Sauerstoffgehaltes in der Lageratmosphäre wird dazu verwendet, die Lagerbedingungen zu steuern. Die Frucht dient also als eine Art "Bionsensor", welcher die Lagerbedingungen steuert. Die Reaktion der Früchte auf die Sauerstoffabsenkung kann sich z.B. in einer erhöhten Ethanolproduktion manifestieren. Ethanol kann deshalb im Konzept der dynamischen CA-Lagerung als Markersubstanz dienen, welche den physiologischen Zustand der Frucht widerspiegelt.

Ein weiterer Marker ist das Fluoreszenzverhalten von Chlorophyll. Beim Übergang von aerober zu anaerober Atmung wird Lactat gebildet, welches eine Erniedrigung des pH im Cytosol bewirkt und eine Veränderung im Fluoreszenzverhaltens des Chlorophylls bewirkt, dies kann mit einem "Fluorescence Interactive Response Monitor" erfasst werden und zur Steuerung der Lagerbedingungen eingesetzt werden.

"Intelligente Lagersysteme"



Abb. 15: Schema der DCA-Lagerung

6.6 MA-Lagerung

Früchte und Gemüse können gekühlt und in geschossenen Gebinden wie Beuteln, Paloxen oder unter Hauben gelagert werden. Je nach Dichtigkeit der Gebinde kann Sauerstoff in einem beschränkten Masse von aussen in das Gebinde diffundieren, Kohlendioxid kann aus dem Gebinde austreten. Durch die Atmung der Früchte / Gemüse wird der Sauerstoffgehalt im Gebinde abgesenkt und der Gehalt an Kohlendioxid nimmt zu. Das Gasgleichgewicht bzw. die modifizierte Atmosphäre (MA), die sich schlussendlich einstellt, hängt von der Atmungsaktivität der Produkte ab, von der Füllmenge, der Lagertemperatur und der Gasdurchlässigkeit der Gebinde. Sehr oft wird die MA-Lagerung auch für den (See)-Transport von Früchten und Gemüse verwendet. Gegenüber der normalen Kühllagerung wird die Atmung der pflanzlichen Produkte verlangsamt, aber nicht im gleichen Masse wie bei der



Abb. 16: Mat Tiempo Paloxe

CA-Lagerung. In Lagerbetrieben mit hohem Lagervolumen werden MA-Gebinde oft mit CA-Regelung betrieben (Stickstoffspülung, Regelung von Sauerstoff und Kohlendioxid).

6.7 Spezielle Lagerverfahren

Der grösste Kältebedarf in einem Lager entsteht, wenn dieses nach der Ernte mit dem warmen Produkt gefüllt wird, welches schnell abgekühlt werden soll. Sobald dem Lagergut die Feldwärme entzogen worden ist, besteht meist ein um mehr als die Hälfte verringerter Kältebedarf. Um die Leistung der Kälteanlage eines Kühlraumes nicht auf den Maximalbedarf während der Einlagerungsphase auslegen zu müssen, kann entweder in Teilmengen eingelagert oder es können Verfahren zur Vorkühlung eingesetzt werden. Nach dem Einsatz einer Vorkühlung, also nach dem Entzug der Feldwärme, wird für eine weitere Lagerung des Erntegutes allerdings ein herkömmlicher Kühlraum benötigt. Nachfolgend werden die wichtigsten Verfahren der Vorkühlung beschrieben, welche insbesondere für Gemüse zur Anwendung kommen.

Luftkühlung im normalen Kühlraum

In normalen Kühlräumen kann durch höhere Luftumwälzung eine schnellere Kühlung gefördert werden. Dies bedeutet jedoch auch grössere Wasserverluste für das Gemüse.

Durchflusskühlung

Bei der Durchflusskühlung wird kalte Luft mit einem Hochleistungsverdampfer und leistungsstarken Ventilatoren durch Palettenstapel angesaugt, die mit Blachen abgedeckt werden. Die Stapel werden dabei in Reihen von 0.6 bis 0.8m Abstand angeordnet und mit Blachen abgedeckt. Durch die erzwungene Luftströmung wird die Wärme schneller abgeführt und es wird eine rasche Abkühlung erreicht. Je nach Gemüseart und Temperatur des Produktes erfolgt die Abkühlung bis zu zweimal schneller als in einem normalen Kühlraum.



Abb. 17: Durchflusskühlung

Wasserkühlung (Hydrooling)

Bei der Wasserkühlung, auch Hydrocooling genannt, verwendet man kaltes Wasser von nahezu 0°C, um dem Gemüse Wärme zu entziehen.

Vakuumkühlung

Die Vakuumkühlung eignet sich für alle Gemüsearten mit grosser Oberfläche im Verhältnis zum Volumen. Bei der Vakuumkühlung verdunstet durch den Unterdruck Wasser aus dem Lagergut, wodurch dieses gekühlt wird. Dadurch verlieren die Produkte jedoch Wasser, was sich qualitativ nachteilig auswirken kann. Oft wird dieser Effekt bei Salaten so kompensiert, dass die Salate vor der Vakuumkühlung mit Wasser benetzt werden.



Abb. 18: Vakuumkühler in geöffnetem Zustand

Eiskühlung

Bei einer Reihe von Gemüsen und Früchten kann schneller Wärmeentzug auch mit Hilfe von Eis erfolgen (Eiskühlung). Stückeis wird meist in direktem Kontakt zum Gemüse gebracht. Die Kühlung wird dann über das Schmelzen des Eises und dem dabei entstehenden Schmelzwasser realisiert.

Tab. 13: Vor- und Nachteile verschiedener Vorkühlverfahren

Vorkühlmethode	Vorteile	Nachteile
Luftkühlung	billigalles Gemüse kann gekühlt werdeneinfache Bedienung	 langsame Abkühlung (bis zu mehreren Tagen) hohe Qualitätsverluste während Abkühlung hohe Wasserverluste während Abkühlung
Durchflusskühlung	 kostengünstig (bestehende Kühlräume können mit wenig Aufwand eingerichtet werden) schnelle Abkühlung verminderte Qualitätsverluste verminderte Wasserverluste relativ einfache Bedienung für fast alle Gemüse anwendbar 	zusätzliche Aufwendungen im Vergleich mit der Normalkühlung
Wasserkühlung (Hydrocooling)	 schnelle Abkühlung innerhalb einer Viertelstunde kein Feuchteverlust 	 das Produkt und die Verpackung werden nass das Wasser wird schmutzig hoher Energiebedarf zusätzlicher Lagerraum erforderlich einige Produkte bekommen Risse (Tomaten) Pilzbefall erhöht auf nassen Produkten
Vakuumkühlung	 Schnelle Abkühlung innerhalb 20 Minuten Auch Waren, die in Folien (perforiert) verpackt sind, können gekühlt werden Die ganze Ladung wird gleichmässig gekühlt 	 Hohe Investitionskosten Hoher Energiebedarf Nur zu verwenden für Blattgemüse und Rosenkohl Bedienung stellt hohe Anforderungen Zusätzlicher Lagerraum ist erforderlich Der Feuchteverlust beträgt etwa 3% (abhängig von vorgängiger Benetzung mit Wasser) Nur kleine Mengen können auf einmal gekühlt werden
Eiskühlung	Schneller Wärmeentzug	Lagerung des Eises aufwändigHohe Investitionen bei Flüssigeisanlagen

7. Mikrobielle Lagerschäden

7.1 Mikrobielle Lagerschäden

Zu den in Kapitel 3.4 beschriebenen physiologischen Lagerkrankheiten können nach der Ernte auch mikrobielle oder parasitäre Lagerschäden entstehen. Dies sowohl während der Lagerung als auch während des Verpackens und der Vermarktung. Die Verursacher dieser Schäden sind ausschließlich Pilze, die in Form von Sporen oder Konidien mit den Früchten ins Lager eingetragen werden oder während des Nachernteprozesses die Früchte kontaminieren. Einige Pilze wie zum Beispiel Schorf unf Gloesosporium vermehren sich nur während des Frühlings über die Luft, während andere Pilze wie *Penicillium* spp. sich auch im Lagerraum über Sporen vermehren können und so zu Sekundärinfektionen führen. Das Ausmaß der Lagerschäden wird durch viele Einflüsse wie mikrobielle Belastung der Früchte, Sorte, Lagertemperatur, Lageratmosphäre und Lagerdauer bestimmt.

7.2 Beispiel Schorf

Eine in unseren Breitengraden weitverbreitete Pilzkrankheit auf Apfel ist Lagerschorf (Venturia inaequalis). Auf dem Baum zeigt sich der Pilz als braune bis schwarze Flecken auf den Blättern, die zu einer Reduzierten Energieversorgung des Baumes und vorzeitigem Blattverlust führen. Auf dem Apfel selber führt der Pilz zu braunen bis schwarzen Flecken, die je nach Intensität des Befalls bis zu holzig, rissigen Vernarbungen führen können. Die Primärinfektion auf den Baum erfolgt im Frühjahr über aus dem Vorjahr infiziertes, totes Material. Bei hoher Luftfeuchtigkeit und genügend warmen Wetter werden Ascosporen gebildet, die mit dem Wind auf gesundes Gewebe verteilt werden. Die Ausbreitung des Pilzes im Sommer erfolgt durch Konidien, die auch zu den erwähnten Nekrosen führen.

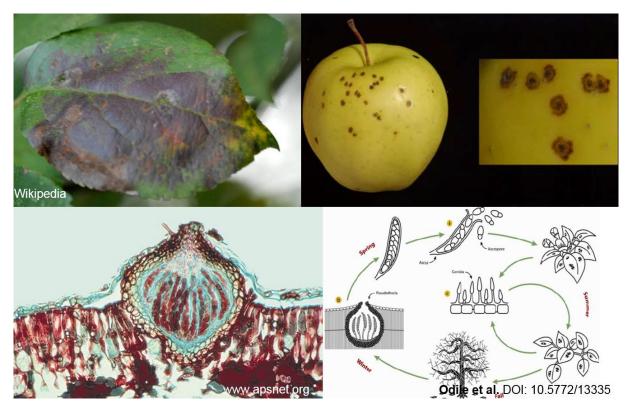


Abb. 19: Symptome von Schorf (Venturia inaequalis) auf Blättern und Apfel. Querschnitt durch ein Pseudothecium auf dem Apfel. Lebenszyklus von Schorf während eines Jahres.

7.3 Beispiel Gloeosporium

Einer weitere, in Europa immer häufiger auftretende mikrobielle Lagerkrank ist die Lentizellenfäule verursacht durch den Pilz *Neofabrea alba* (*Gloeosporium* spp.). Im Biologischen Landbau ist die Lentizellenfäule mittlerweile die schwerste Krankheit mit Ausfällen bis zu 30%. Trotz dieser großen Verluste ist über die Biologie des Pilzes sehr wenig bekannt. Aus der Literatur lässt sich ableiten, dass der Pilz einige Zeit auf oder in der Rinde verbringt, dass er sich im Frühjahr ausbreitet aber nachher, besonders im Lager, nicht mehr.

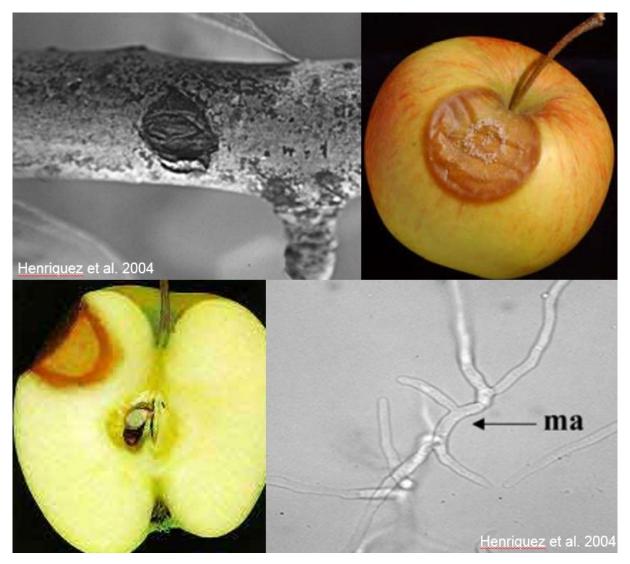


Abb. 20: Symptome von Neofabrea alba als Krebs auf einem Ast. Symptome von Neofabrea alba auch genannt Lentizellenfäule auf Äpfel. Makrokonidien des Pilze unter dem Mikroskop.

7.4 Verhinderung von Lagerschäden

Mikrobielle Lagerschäden können auf verschiedene Weise verhindert werden. Im Anbau gilt es, durch vorbeugende Hygienemassnahmen den Befallsdruck so tief wie möglich zu halten. Dies beinhaltet das Entfernen von Falllaub und totem Astmaterial im Herbst nach der Ernte, das Mulchen des Bodens sowie das konsequente Wegschneiden und Behandeln von Krebsund Rindenbrandstellen bzw. das Entfernen von verschimmelten Früchten. Während der Wachstumssaison können im biologischen Landbau Präparate wie Schwefel, Schachtelhalmextrakt und Kupferverbindungen zur Prävention ausgebracht werden. Trotz solcher vorbeugender Maßnahmen kann bei den Kernobstsorten für die Langzeitlagerung nicht auf den Einsatz von Fungiziden verzichtet werden. Bereits von der Blüte an wird bei den Schorf- und

Mehltaupräparaten auf eine günstige Nebenwirkung gegen gewisse Lagerkrankheiten geachtet. Im Spätsommer und im Herbst folgen dann die **Abschlussbehandlungen** mit Captan, Folpet oder Dichlofluanid.

Bei der Ernte gilt es zu beachten, nur gesunde Früchte bei optimaler Reife zu ernten. Zusätzlich soll wenn möglich nur bei trockener Witterung gepflückt werden, und die Früchte nach der Ernte möglichst schnell ins Kühllager gebracht werden. Früchte mit Bodenkontakt und durch Regenspritzer verschmutzte Äpfel gehören nicht ins Langzeitlager. Verletzungen der Früchte während der Ernte und bei Sortieren sind zu vermeiden. Dies Verhindert einen übermäßigen Befallsdruck und Einbringung von Infektiösem Material ins Lager. Ebenfalls können durch geeignete Hygienemassnahmen Sekundärinfektionen durch Gebinde, Transport und Lagerräumen verhindert werden. Die Heisswasserbehandlung wird vor allem im Bio-Bereich in der Schweiz häufig angewendet: dabei wird z.B. Kernobst vor der Lagerung bei Temperaturen im Bereich von 48°C bis 53°C in Heisswasserbäder eingetaucht. Durch die Behandlung kann der Verderb während der Lagerung reduziert werden.

Im Lager selber werden die mikrobiellen Lagerschäden stark reduziert. Durch die Entfernung von Sauerstoff, wird auch den Pilzen die Grundlage für Energiegewinnung durch die Atmung entzogen. Auch wenn einige Pilze durchaus die Fähigkeit besitzen anaerob zu wachsen, ist diese Form des Energiegewinns häufig ineffizient und führt zu reduziertem Pilzwachstum. Zusätzlich hilft natürlich die Kühlung auf 0-3°C, das Wachstum von Pilzen zu reduzieren.



Warum ist im Bio-Bereich die Heisswasserbehandlung so wichtig? Welches könnten die Nachteile der Heisswasserbehandlung sein?

Zu den erweiterten, langfristigen Strategien gegen Lagerkrankheiten gehört die **Züchtung** resistenter Sorten. Bei Schorf sind mehrere Resistenzgene aus Wildapfel bekannt, die vermehrt in moderne Sorten eingekreuzt werden. Hier gilt es zu beachten, dass einzelne Resistenzgene, ähnlich wie beim Gebrauch einzelner Pflanzenschutzprodukte schnell zu wiederum Resistenten Erregern führen können. Darum ist hier das Ziel, mehrere Gene in eine neue Sorte einzukreuzen (pyramidisieren). Die Resistenzgene können, statt in langwierigen Züchtungsprojekten einzukreuzen mittlerweile auch mittels der **Gentechnologie** in bestehende Sorten gebracht werden. Technologien die hierzu in benutzt werden sind Agrobakterium- vermittelte Pflanzentransformation, TALEN-vermittelte Genmodifikation und die neuste aber schon überall erwähnte CRISPR/Cas9 Technologie. In Europe sind aber, bedingt durch kritische Meinungen der Konsumenten, die Anwendung dieser Technologien im Obstbau kein Thema und es

wird ausschließlich in klassische Züchtung investiert. Die Gentechnologie wird in Europa ausschließlich zu Forschungszwecken angewandt.

7.5 Zukünftige Herausforderungen

Durch die Kombination von Abschlussspritzungen mit synthetischen Fungiziden und der Reduktion von Lagerkrankheiten in CA- Lagern, hat man in der IP- Produktion die Lagerkrankheiten relativ gut im Griff. Beim Bio-Anbau gibt es weniger Optionen zur Kontrolle, die Ertragsausfälle können aber über den höheren Preis auch kompensiert werden. Ein Faktor, der in Zukunft zu vermehrten Verlusten im Lager führen könnte ist die Rückstandsproblematik. Die Fungizide die beim IP- Anbau verwendet werden können auf dem Apfel nachgewiesen werden und müssen unter gesetzlich definierten Grenzwerten liegen, die unter der Schadschwelle für den Menschen sind. Obwohl dies der Fall ist, gibt es zunehmend Druck von Grossverteilern und Konsumenten auf die Reduktion dieser Rückstände bis hin zu komplett Rückstandsfreiem Obst. Dies kann bis zum Entzug der Zulassung führen. Reduzierter Einsatz von Pflanzenschutzmittel führt dann zu erhöhter mikrobieller Belastung der Früchte und wiederum zu vermehrten Lagerschäden. Um dieser Situation vorzubeugen verstärken einige europäische Länder ihre Forschung zur Entwicklung alternativer Behandlungsmethoden. Zusätzlich sollen vermehrt resistente Sorten angepflanzt werden um den Einsatz von Fungiziden zu reduzieren. Die Züchtung solcher resistenter Sorten mit guter Lagerfähigkeit und goten organoleptischen Eigenschaften ist aber in langwieriger Prozess der auch einige Ressourcen in Anspruch nimmt. Bis auf weiteres ist in Europa die Abkürzung dieses Prozesses durch die Gentechnik keine Option.

8. Lagerung von Kernobst

Die Lagerfähigkeit von Kernobst ist bestimmt durch Sorteneigenschaften (Genetik), durch viele Vorerntefaktoren und durch die Bedingungen während der Lagerung. Die sortenspezifischen Empfehlungen zur Lagerung von Kernobst sind im Herbstbrief der Agroscope aufgeführt.

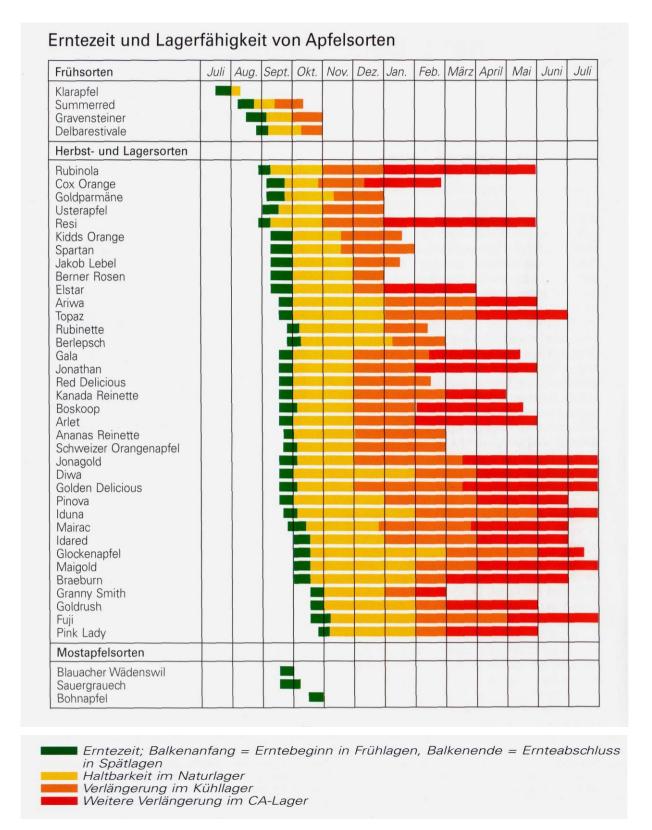


Abb. 21: Erntezeit und Lagerfähigkeit verschiedener Apfelsorten

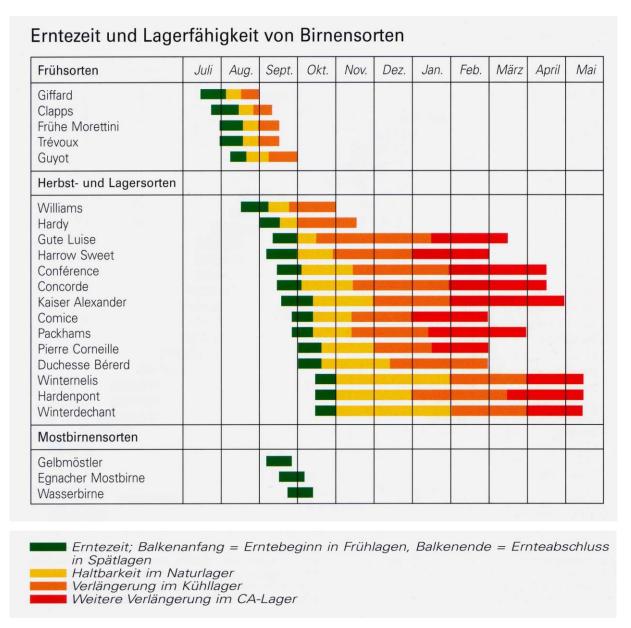


Abb. 22: Erntezeit und Lagerfähigkeit verschiedener Birnensorten

Lagerung von verschiedenen Sorten im gleichen Lagerraum

Sorten mit ähnlichem Erntetermin und Lagerverhalten können zusammen im gleichen Lagerraum gelagert werden. Bei der Mischlagerung, d.h. bei einer gemeinsamen Lagerung von mehreren Sorten ist auf die gegenüber Temperatur, Kohlendioxid und Sauerstoff **empfindlichste Sorte** Rücksicht zu nehmen und die Lagerbedingungen müssen dementsprechend eingestellt werden. Das bedeutet, dass dadurch das Lagerpotential der anderen Sorten weniger ausgenutzt wird. Für eine Langzeitlagerung (mehr als 6 Monate) ist deshalb eine "sortenreine" Lagerung vorzuziehen.

9. Lagerung von Steinobst

Kirschen und Zwetschgen können je nach Witterung häufig in kurzer Zeit in grossen Erntemengen anfallen. Dies führt zu Marktüberschüssen. In der Regel folgen Überschüssen nach wenigen Tagen wieder Perioden, in denen ein Angebotsmangel herrscht. Durch eine kurzfristige Lagerung von einigen Tagen bis einigen Wochen kann das Angebot ausgeglichen werden.

9.1 Kirschenlagerung

Grundsätzlich sollte auch bei Kirschen die ganze Produktionskette (Anbau – Ernte – Lagerung – Verkauf) berücksichtigt werden, um im Verkauf eine optimale Qualität zu bieten. Für die Lagerung sollten beispielweise nur **festfleischige Kirschen** hoher Qualität verwendet werden, die aus **gedecktem Anbau** stammen. Wichtig für die Beurteilung der Fruchtqualität während der Lagerung sind bei Kirschen der Glanz der Früchte, die Farbe und der Zustand der Stiele sowie der Anteil verdorbener oder beschädigter Früchte. Daneben sind die inneren Qualitätswerte wie Zucker- und Säuregehalt sowie die Fruchtfleischfestigkeit zu berücksichtigen. Der wichtigste Frischindikator für die Konsumenten ist der **Zustand der Stiele**. Um den Zustand der Stiele möglichst gut zu erhalten, sollte die Luftfeuchtigkeit während der Lagerung mindestens 95% betragen.





Abb. 23: Frische und überlagerte Kirschen

Die mögliche Lagerdauer der Kirschen ist sortenabhängig und kann bei optimalen Bedingungen bis zu 4 Wochen dauern; im Allgemeinen sind Frühsorten weniger lange haltbar als Spätsorten. Kirschen können bei rund 1°C gelagert werden. Die meisten Kirschen tolerieren hohe CO₂-Konzentrationen (15 – 20%); dies sind Konzentrationen, die Pilzwachstum hemmen. Kirschen vertragen auch tiefe Sauerstoffkonzentrationen im Bereich von 2-3%. Neben der CA-Lagerung bietet sich für kleinere Mengen von Kirschen auch die Lagerung unter modifizierter Atmosphäre (MA) an.

9.2 Zwetschgenlagerung

Zwetschgen werden tendenziell von den Produzenten zur Vermeidung von Fäulnis und zur Erhaltung der Transportfähigkeit zu früh geerntet. Die Früchte sind am Verkaufspunkt daher oft nur knapp genussreif. Später geerntete – und damit geschmackvollere Früchte – sind jedoch tendenziell verderbsanfälliger. Es stellt sich daher die Frage, ob ein **optimaler Pflückzeitpunkt** festgelegt werden kann, der sowohl hinsichtlich sensorischer Qualität und als auch Verderbsanfälligkeit optimal ist. Primär wird der Pflückzeitpunkt in der Praxis oft nicht (nur) durch die sensorische Qualität der Früchte bestimmt, sondern durch die Wetter- und Marktbedingungen: Bei drohendem schlechten Wetter oder bei grosser Marktnachfrage werden die Früchte deshalb oft früher als optimal geerntet. Ideal wäre es, den optimalen Pflückzeitpunkt mit objektiven und leicht messbaren Parametern bestimmen zu können.

Zwetschgen lassen sich im Kühllager bei 1°C während 2-3 Wochen lagern. Allerdings ist das Verderbsrisiko bedeutend höher als bei Kirschen. Die Früchte sollten bei der Einlagerung knapp reif und festfleischig sein, also noch nicht ganz oder knapp essreif und nicht weich.

10. Gemüselagerung

Im Gegensatz zu Kernobst, bei dem die Lagerverfahren und –bedingungen recht homogen sind, ist die Lagerung von Gemüse bedeutend vielfältiger: die verschiedenen Gemüsearten stellen unterschiedliche Ansprüche. Dem entsprechend sind auch die Lagerverfahren und einrichtungen für Gemüse sehr vielfältig. Es ist im Rahmen dieser Vorlesung nicht möglich, auf alle Einzelfälle einzugehen. Nachfolgend finden sich die wichtigsten Lagerempfehlungen zu Gemüse (hrsg. Agroscope Wädenswil).

Für die verschiedenen Gemüsegruppen lassen sich folgende Empfehlungen machen:

Wurzelgemüse (z.B. Karotten, Sellerie, Randen)

Beim Wurzelgemüse können sehr rasch hohe Wasserverluste und damit Qualitätseinbussen auftreten. Hohe Luftfeuchtigkeit und minimale Luftumwälzung sind im Lager einzuhalten.

- Sofortige Abkühlung auf 0–1°C.
- Einhaltung dieser Temperatur während der Lagerung.
- Kisten und Paloxen mit Plastikfolien auslegen, um das Austrocknen zu verhindern.
- Durch Zwischenräume zwischen den Paloxen ist eine Luftzirkulation zu ermöglichen.

Zwiebelgemüse (z.B. Zwiebeln, Knoblauch)

Zwiebelgemüse müssen bei einer niedrigen Luftfeuchtigkeit von lediglich 80–85% gelagert werden, um Pilzkrankheiten zu verhindern. Das Austreiben (Auskeimen) ist zum Teil sortenbedingt oder wird durch übermässige Stickstoffdüngung gefördert. Zwiebeln sind unmittelbar nach dem Trocknen sofort ins Normalkühllager einzulagern. Gut abgetrocknete Zwiebeln können im Dezember vom Naturlager ins CA-Lager umgelagert werden.

Blattgemüse (z.B. Salate, Kohlarten)

Für eine längerfristige Lagerung eignen sich nur die Kopfkohlgemüse. Um Fäulnis zu verhindern, ist die Temperatur möglichst rasch auf 0–1°C abzusenken. Kohlarten dürfen wegen der Ethylenbildung nicht zusammen mit Früchten gelagert werden. Minustemperaturen fördern die Fäulnisbildung. Andere Blattgemüse können nur wenige Tage gelagert werden.

Blütenstandsgemüse (z.B. Broccoli, Blumenkohl)

Um vorübergehende Überangebote zu umgehen, können Blumenkohl und Broccoli kurzfristig gelagert werden. Beide Gemüse sind sehr druckempfindlich und müssen besonders sorgfältig manipuliert werden, um Druckstellen zu verhindern. Zum Schutz der Blume können die Deckblätter belassen werden. Die Paletten sind mit Plastikfolie abzudecken.

Fruchtgemüse (Tomaten, Peperoni, etc.)

Fruchtgemüse sind keine eigentlichen Lagerprodukte. Tomaten, Gurken, Peperoni etc. können kurzfristig bei Temperaturen über 10 °C aufbewahrt werden.

 Tab. 14: Lagerempfehlungen für Gemüse (je nach Sorte können die Bedingungen abweichen)

Gemüseart	Lagertempera- tur	Rel. Luftfeuchtigkeit	Lagerdauer	Bemerkungen
Auberginen	8 bis 12°C	85 - 95	1 - 2 Wochen	
Artischocken	0°C	90 - 95	3 - 4 Wochen	
Blumenkohl	0°C	95 - 97	2 – 3 Wochen	
Bodenkohlrabi	0 bis 1°C	96 - 98	4 – 6 Monate	
Bohnen	7 bis 8°C	92 - 95	1 - 2 Wochen	
Broccoli	0°C	96 - 98	1 Woche	
Chicorée	0°C	95	2 - 3 Wochen	1
Chinakohl	0 bis 4°C	90 - 97	4 - 10 Wochen	2
Erbsen	-0.5 bis 0°C	85 - 90	1 - 2 Wochen	
Fenchel	0 bis 1°C	90 - 95	1 - 2 Monate	3
Gurken, Glashaus	18 bis 20°C	85 - 90	1 Woche	4
Gurken Freiland	12°C	85-95	1-2 Wochen	4
Karotten, Bund	0 bis 0.5°C	90	1 - 2 Wochen	
Karotten	0 bis 0.5°C	90 - 92	4 - 7 Monate	5
Knoblauch	-1 bis 0°C	80 - 85	6 - 8 Monate	16
Knollensellerie	0 bis 2°C	90 - 95	2 - 7 Monate	12
Kohlrabi ohne Blatt	0°C	90 - 95	2 - 4 Wochen	6
Lauch	0°C	90 - 95	1 - 3 Monate	8
Meerrettich	0°C	96 - 98	10 Monate	
Melonen	8 bis 12°C	85 - 90	2 - 3 Wochen	
Peperoni	8 bis 12°C	90 - 95	1 - 2 Wochen	
Petersilie	0°C	90 - 95	4 - 6 Wochen	
Radieschen	0°C	90 - 95	3 - 4 Wochen	
Randen	0 bis 6°C	90 - 95	4 - 6 Monate	9
Rettich	0°C	96 - 98	8 - 10 Monate	10
Rhabarber	0°C	90 - 95	2 - 3 Wochen	
Rosenkohl	-1 bis 0°C	90 - 95	3 - 6 Monate	11
Rotkohl	0 bis 0.5°C	90 - 92	3 - 6 Monate	
Salate, Kopfsalat	0°C	90 - 95	1 - 2 Wochen	7
Sommerkürbis	21 bis 16°C	85 - 90	1 - 2 Wochen	
Schalotten	0 bis 2°C	80 - 85	6 - 7 Monate	
Schwarzwurzeln	0°C	96 - 98	2 - 6 Monate	
Stangensellerie	0°C	96 - 98	3 - 4 Monate	
Spargeln	0°C	90 - 95	1 - 2 Wochen	
Spinat	-0.5 bis 0°C	90 - 95	2 - 3 Wochen	13
Tomaten, grün (reif)	18 bis 20°C	85 - 95	5 - 10 Tage	14
Tomaten grün/rot	13 bis 14°C	85 - 90	5 - 10 Tage	14
Tomaten rot (reif)	10 bis 12°C	85 - 90	5 - 10 Tage	14
Winterkürbis	12 bis 16°C	75 - 80	2 - 4 Monate	
Weisse Rüben	0°C	96 - 98	2 - 4 Monate	
Weisskohl	0 bis 0.5°C	90 - 92	3 - 6 Monate	15
Wirz	1°C	90 - 92	2 - 4 Monate	
Zucchetti	7 bis 10°C	90 – 96	ca. 3 Wochen	
Zuckerhut	0 bis 2°C	90 - 95	6 - 8 Wochen	
Zuckermais	0°	90 - 95	5 - 7 Tage	
Zwiebeln	0 bis 0.5°C	85 - 90	6 - 7 Monate	16

Bemerkungen:

- 1) **Chicorée**: Die Haltbarkeit ist sehr abhängig von der Temperatur, bei 10 -14 °C beträgt sie etwa eine Woche, bei 0 °C bis zu 3 Wochen. Für das Verpacken von Chicorée haben sich Foodtainer mit Plastikfolie oder PE-Beutel bewährt. Es ist darauf zu achten, dass die Folie nicht mehr als 0.03 mm dick ist, sonst ergeben sich zu hohe CO₂-Konzentrationen in der Packung und die Ware "erstickt".
- 2) **Chinakohl**: CA-Lagerung möglich bis anfangs März. Chinakohl braucht sehr viel Platz für die Lagerung, die CA-Lagerung ist deshalb nur lohnend bei geringen Ausfällen und genügend langer Lagerung.
- 3) Fenchel: Laub und Wurzeln nur wenig einkürzen. Gefriertemperaturen vermeiden.
- 4) **Gurken, Glashaus oder Freiland**: Gurken sind kälteempfindlich (Kälteschäden). Glashausgurken müssen wärmer gelagert werden als Freilandgurken. Die CA-Lagerung verhindert das Vergilben. Mit Schrumpffolie (0.03 mm) kann ein CA-Effekt erreicht werden, die Qualität (Farbe) wird besser erhalten.
- 5) **Karotten**: Nur vollausgereifte Karotten aus gesunden Böden einlagern. Einlagern mit Erdbesatz, ohne die Karotten zu waschen (Verletzung der dünnen Haut, Reduktion Wasserverlust). Auskleiden der Paloxen mit PE-Folien, oberste Paloxe mit PE-Folie abdecken oder, bei modernen Kälteanlagen, Einstellung eines sehr kleinen Delta-T von 2-3°C. Die CO₂-Konzentration in Räumen bzw. Paloxen darf 3% nicht übersteigen. Während den ersten Lagerwochen sollten die Kühlräume täglich belüftet werden (Bildung von rund 1% CO₂ pro Tag), die Belüftung sollte auch später während der Lagerung regelmässig durchgeführt werden.
- 6) Kohlrabi: Haltbarkeit mit Blatt bei 0 °C in PE-Beutel bis zu 2 Wochen
- 7) **Salate, Kopfsalat**: Perforierte Salatbeutel schützen die Ware vor dem Austrocknen im Kühllager. Im ungekühlten Raum nie in Beuteln aufbewahren.
- 8) **Lauch**: Lagerung bei –2 °C und in Plastikfolie für ca. 3–4 Monate, danach während 10 Tagen bei 1°C liegend auftauen lassen. Bei CA-Lagerung tritt gegenüber dem Kühllager weniger Vergilben auf.
- 9) **Randen**: Randen aus Böden mit Bormangelverdacht nicht im Kühllager aufbewahren (Hartwerden). CA-Lagerung wird nicht empfohlen
- 10) **Rettich**: Sommerrettich ist nur für ½ –2 Monate haltbar.
- 11) **Rosenkohl**: Abgetrennte, ungerüstete Röschen (locker) in halbverschlossenen oder gelochten PE-Säcken von ca. 2 kg aufbewahren. Vergilben und Schimmelbildung werden reduziert, wenn die Temperatur konstant bei -2° C gehalten wird. 10 Tage vor dem Verkauf auf 0 -2° C bringen.
- 12) **Knollensellerie**: CO₂ in Räumen oder Packungen nie über 2–3% ansteigen lassen. CA-Lagerung wird nicht empfohlen, da CO₂-empfindlich!
- 13) Spinat: Herbstspinat kann im verschlossenen PE-Beuteln bei –2°C gelagert werden.
- 14) **Tomaten, grün/rot**: Leicht angerötete Tomaten können am besten gelagert werden. Nicht nach Regenperioden lagern. Bei Tomaten beginnt die Fäulnis meist am Stielansatz, für eine längere Lagerung sollten Tomaten somit mit "Stielen" gepflückt werden (v.a. grüne).
- 15) **Kopfkohlarten** (Weisskohl, Rotkohl, Wirsing bzw. Wirz): Rechtzeitig vor den ersten Frösten ernten, die ersten Deckblätter sollen noch nicht aufhellen. Zu frühe Ernte bewirkt Schrumpfen am Lager, bei zu später Ernte neigt überreife Ware zum Platzen und die untersten Blätter lösen sich vorzeitig vom Strunk. Für die Aufbereitung zwei bis drei grüne Deckblätter und Strunk von 2 cm belassen. Harassen bzw. Paloxen nicht zu stark füllen. Sorgfältig behandeln, um Verletzungen zu vermeiden. Für genügend Frischluftzufuhr sorgen. Kältefeste Sorten des Wirsingkohls werden bei –1.5°C gelagert. Rund 10 Tage vor dem Aufbereiten bei 0°C auftauen.

16) **Zwiebeln, Knoblauch**: Auf dem Felde gut abtrocknen lassen bzw. Vortrocknen unter Dach (Hälse müssen vollständig ein getrocknet sein, normalerweise beträgt der Gewichtsverlust etwa 4%). Eventuell können die Zwiebeln "künstlich" getrocknet werden bei 15 - 30 °C, 300 m3 Luft/h t. Im Kühllager nicht zu satt stapeln. Gewisse Zwiebelsorten können in leicht gefrorenem Zustand gelagert werden, dürfen jedoch nicht in diesem Zustand transportiert oder sonst manipuliert werden. Zuerst langsam aufwärmen lassen!

Tab. 15: Empfohlene **CA Lagerungsbedingungen** für Gemüse (Angaben Agroscope Wädenswil). Die Angaben sind Richtwerte, da das Verhalten neuer Sorten abweichen kann. Für alle hier nicht aufgeführten Gemüsearten ist die CA-Lagerung nicht empfohlen.

Gemüseart	Temp. (°C)	rF (%)	CO2 (%)	O2 (%)	Bemerkungen
Blumenkohl	0-0.5	95-97	3	3	Für 6-8 Wochen, nach Auslagerung gut auslüften lassen.
Broccoli	0-1	95–96	5	3	6 - 8 Wochen haltbar Broccoli ist sehr ethylenempfindlich (nicht zusammen mit Äpfeln lagern).
Chicorée	1-2	95	4-5	3-4	Haltbarkeit bis zu 8 Wochen
Chinakohl	0-0.5	90-97	4	2	Bis anfangs März haltbar
Gurken (Glas oder Freiland)	7-8	90-95	5	2	
Lauch	0-1	90- 95	3	3	Bis 5 Monate haltbar
Rosenkohl	0-1	90-95	4	3	3 Monate haltbar
Rotkohl	0-0.5	90-92	3	2-3	
Tomaten grün / rot	14-15	90-95	3	4	
Weisskohl	0-0.5	90-92	3	2-3	
Wirz	0-0.5	90-92	1-3	2-3	
Zwiebeln	0-0.5	85-90	5	3	CA erst ab November / Dezember, um nicht die Auskeimung zu begünstigen.

11. Bauliche Anforderungen an CA- und Kühlräume

Die **Planungsphase** ist sehr wichtig, um bedarfsgerechte Kühl- und CA-Einrichtungen zu bauen, welche optimal für die Erhaltung der Produktqualität sind. Dabei sind u.a. folgende Fragen zu behandeln:

- Welche Produkte werden in welchen Mengen zu welchen Zeitpunkten eingelagert?
- Dauer der Lagerung, Auslagerungsrythmus und Zeitpunkt?
- Produktspezifische Anforderungen an die Lagerung?
- Welche Lagerverfahren? CA-Lagerung oder normale Lagerung?
- Gesetzliche Anforderungen? (Bund, Kanton, Gemeinde)
- Welches Kältesystem? Direkte oder indirekte Kühlung?
- Delta T vs. Oberfläche der Kühlaggregate (Minimierung des Delta T)

Auswahl der Lieferanten (GU? Einzellieferanten?)

D.h. in anderen Worten, dass ein **Betriebskonzept** als Grundlage für der Planung vorhanden sein muss.

Kühlräume haben die Aufgabe die Aufbewahrungs- oder Lagerbedingungen für die gesamte Lagerdauer aufrecht zu erhalten. Durch die umschliessenden Flächen (Wände, Boden, Decke, Türen) können insbesondere Wärme und Feuchtigkeit mit der "Aussenwelt" ausgetauscht werden. Die Bauausführung ist daher neben der notwendigen Stabilität nach den Anforderungen für die Wärmedämmung und die Feuchtigkeitsisolierung auszurichten. Für CA-, LO- und ULO-Räume ist zudem der Gasdiffusion (CO₂ und O₂) Beachtung zu schenken.

Die Wärmedämmung (Isolation) bzw. der Wärmeeinfall in Kühl- oder CA-Lagern hängt ab von:

- der Grösse der umschliessenden Fläche
- den Wärmedurchgangszahlen dieser Fläche (Dicke der Isolation!)
- dem Temperaturunterschied zwischen innen und aussen
- der Lage des Kühlraums im Lagerhaus.

Die Wärmedämmung ist von wesentlicher Bedeutung für die Wirtschaftlichkeit eines Kühllagers; eine schwache Wärmedämmung erfordert geringe Investitionskosten, zieht aber höhere Betriebskosten nach sich. Umgekehrt bedeutet eine starke Wärmedämmung höhere Investitionskosten und dafür geringere Betriebskosten. Neben den wirtschaftlichen Aspekten sind gesetzliche Vorschriften zu beachten, welche maximale k-Werte (Wärmedurchgangszahl) vorgeben.