

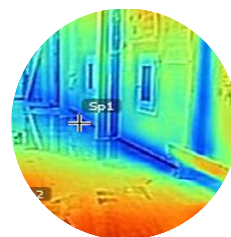
Aktuelles zur Energieeinsparung in der Lagerung

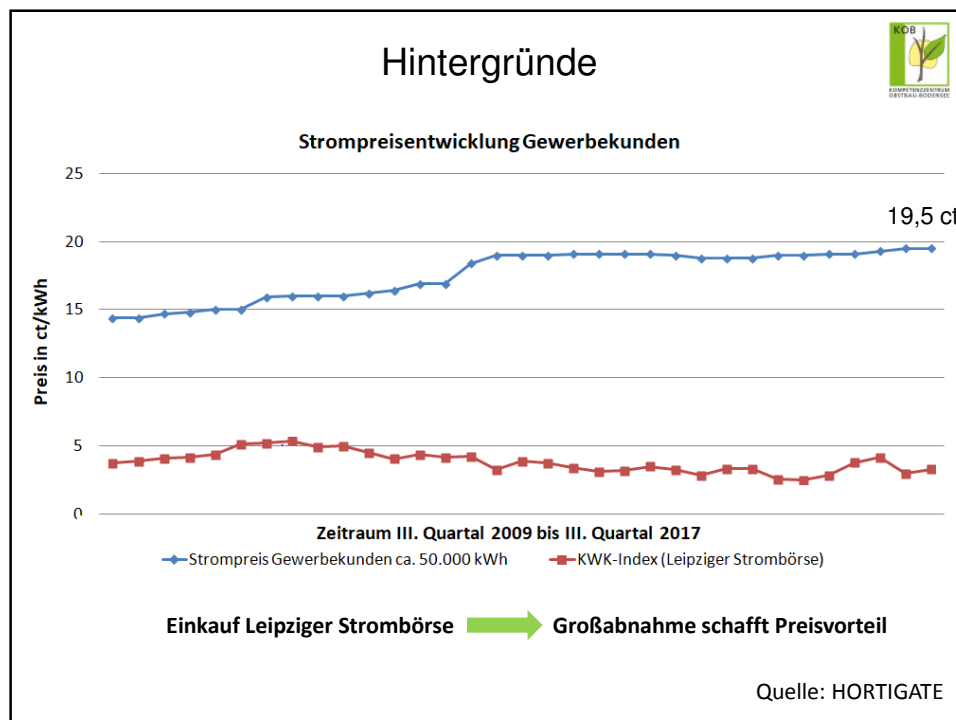
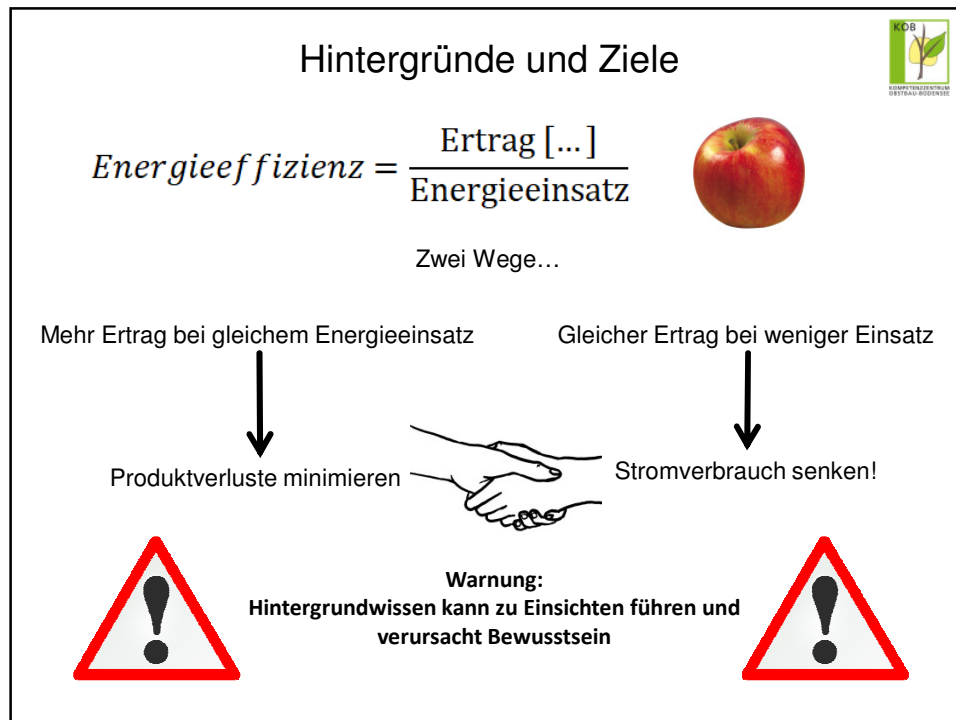


Inhalt



- Hintergrund und Ziele
- Kältetechnik/ Wärmerückgewinnung
 - Indirekte und direkte Kühlung
 - Auslegung von Kälteanlagen
- Forschungsprojekt COOL





Hintergründe -Beispiel (Obst-)Lagerliegenschaften-



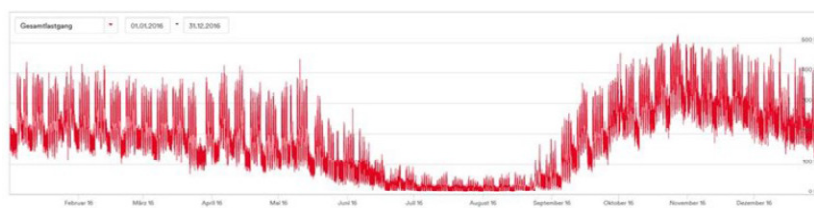
Steigender Energiebedarf durch:

- längere Lagerzeiträume
- Steigerung der Leistung von Kompressoren etc.
- mehr Technik (CA controlled atmosphere)

Verteilung der Energieträger:

75-95% elektrischer Energiebedarf

5-25% thermischer Energiebedarf



Jahres Leistungsverlauf

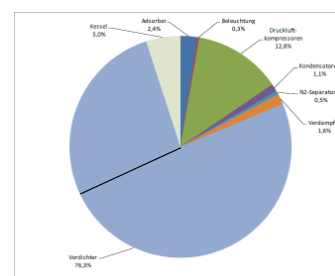
Praxisbeispiele -Verbrauch, Kosten und Verteilung-



Lagerkapazität 11.915t

Jährlicher Energieverbrauch

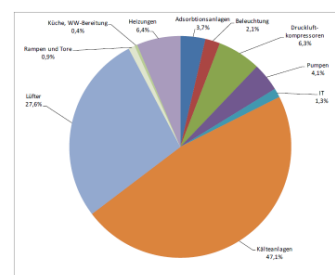
- Elektrizität 1.422,507 kWh/a (Anteil 98,7)
- Erdgas 75.235 kWh/a (Anteil Kosten 1,3)



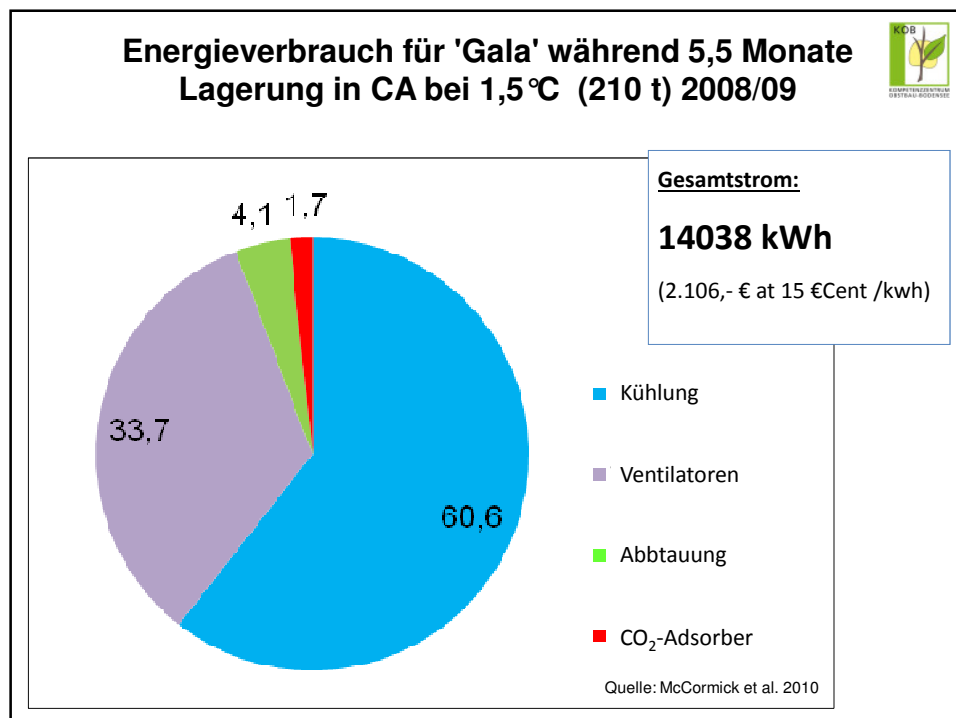
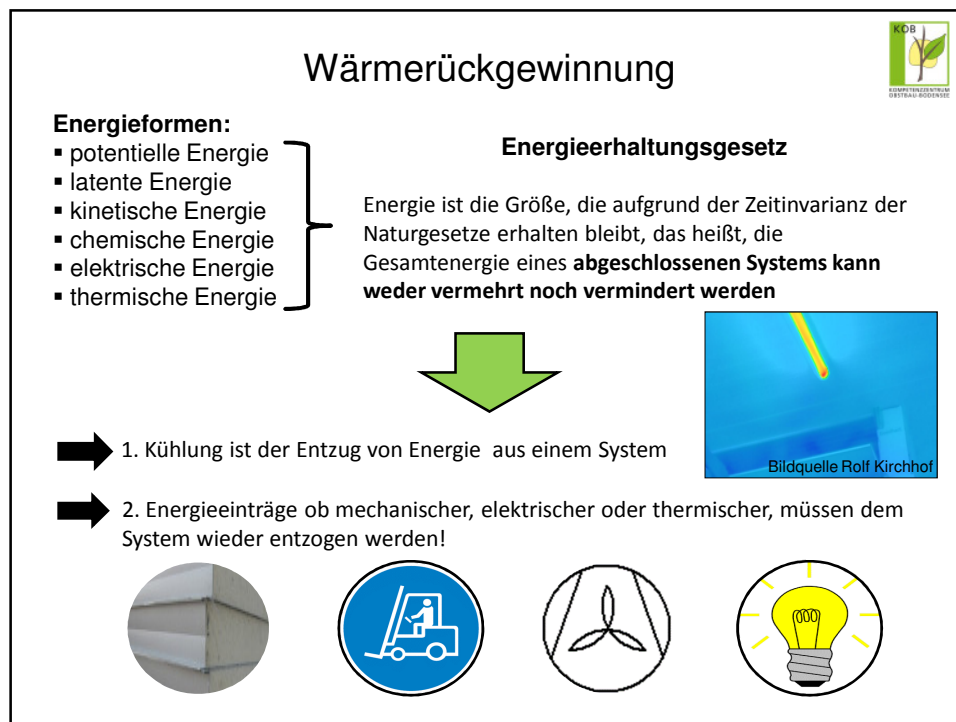
Lagerkapazität 5.500t

Jährlicher Energieverbrauch

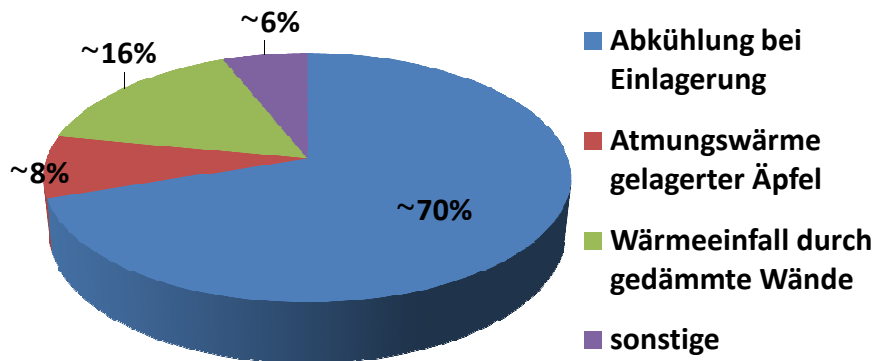
- Elektrizität 1.036,801 kWh/a (Anteil 98,1)
- Fernwärme 70.169 kWh/a (Anteil Kosten 1,9)



Kälteleistung in kW → Wärmeentzug
Ventilatorleistung in kW → Wärmezufuhr



Wärmebelastung eines Apfellagererraums (Osterloh, 1996)

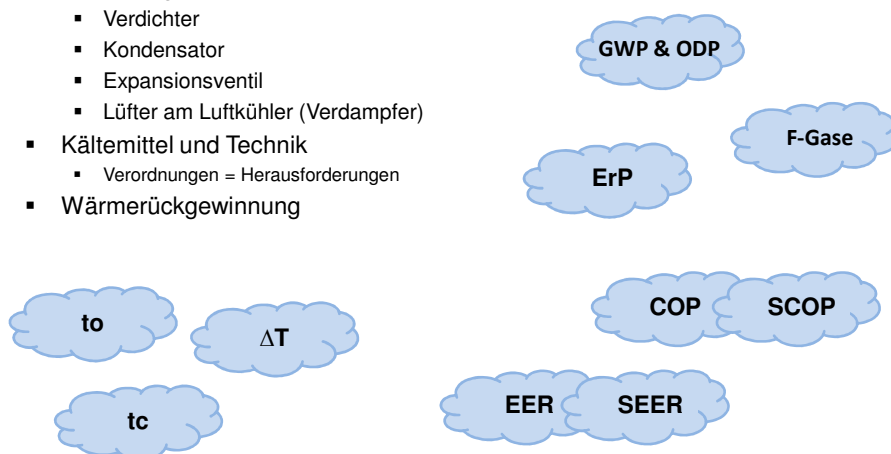


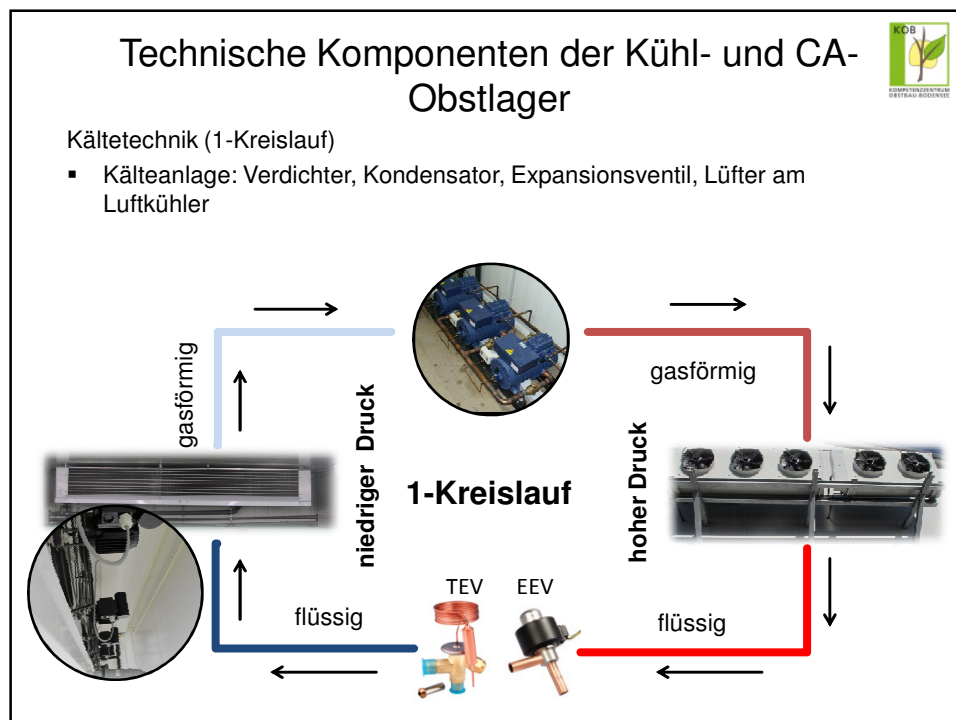
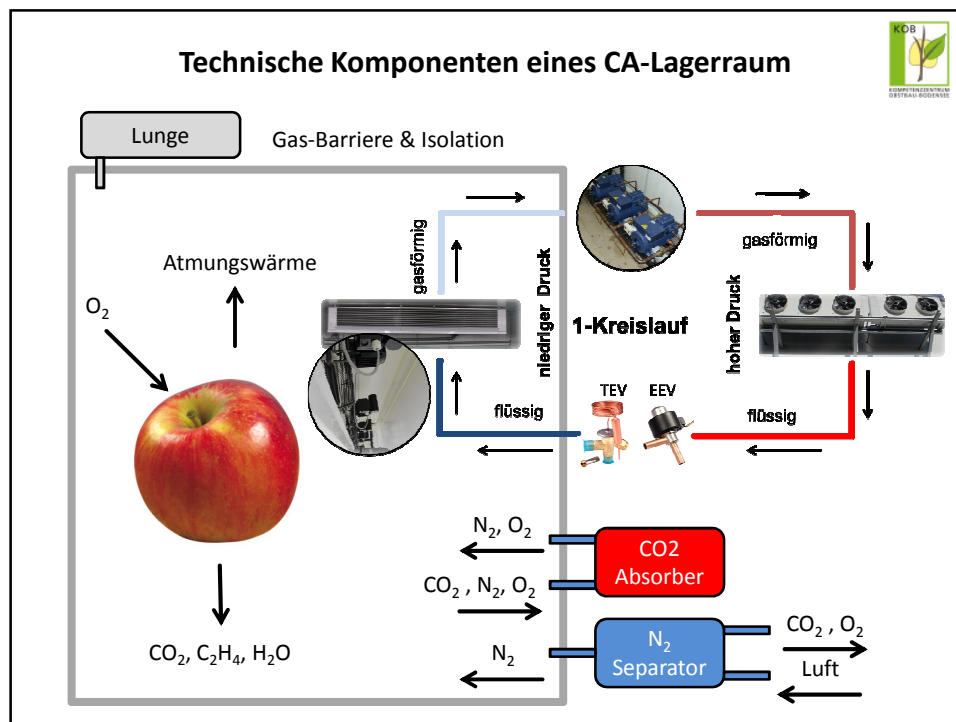
Kältetechnik und Wärmerückgewinnung



Kältetechnik

- Direkt (1-Kreislauf) oder Indirekt (2-Kreislauf)
- Kälteanlage:
 - Verdichter
 - Kondensator
 - Expansionsventil
 - Lüfter am Luftkühler (Verdampfer)
- Kältemittel und Technik
 - Verordnungen = Herausforderungen
- Wärmerückgewinnung



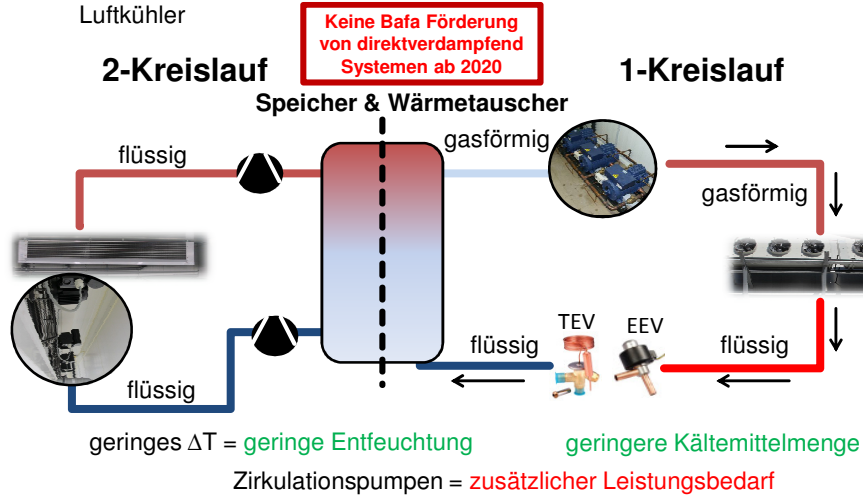


Technische Komponenten der Kühl- und CA-Obstlager



Kältetechnik (2-Kreislauf)

- Kälteanlage: Verdichter, Kondensator, Expansionsventil, Lüfter am Luftkühler

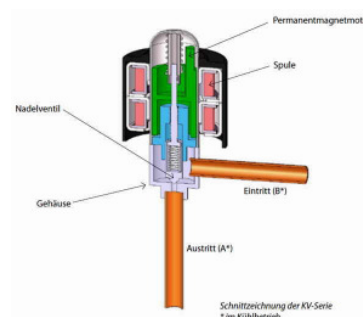


Technische Komponenten eines CA-Lagerraum -Elektrische Expansionsventile EEV-



Effizientere Kälteanlagenutzung

- schnelle Reaktion auf Lastschwankungen
 - **Optimierung des Kühlverhaltens**
 - **Geringere Entfeuchtung des Lagergutes**
- sehr gutes Teillastverhalten Möglichkeit der Verflüssigungsdruckabsenkung
 - **Optimierung des Kühlverhaltens**
- einfacher Service durch Fernüberwachung
 - **Wartungskostenersparnis**

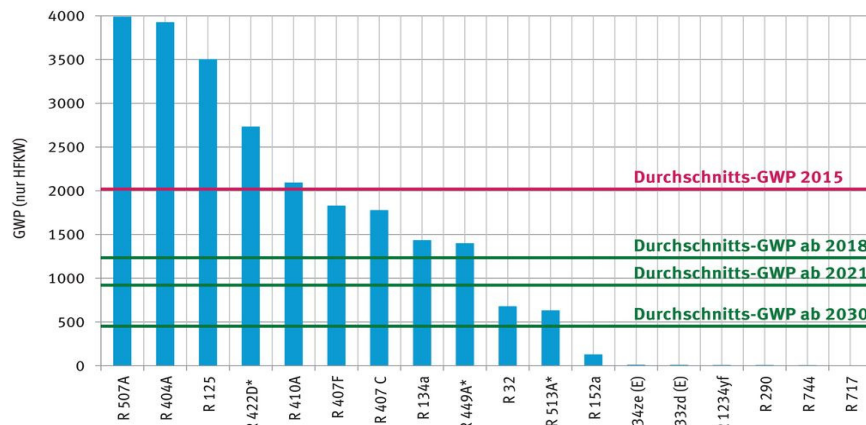


Quelle: Danfoss

Kältemittel



Senkung des Durchschnitts-GWP in der EU gemäß Phase down-Szenario



Quelle: Eigene Darstellung, basierend auf GWP-Werten des IPCC und Daten aus EEA European Environment Agency (2017): Fluorinated greenhouse gases 2017, Report No 20/2017, Luxembourg, 2017.

Quelle: Umweltbundesamt

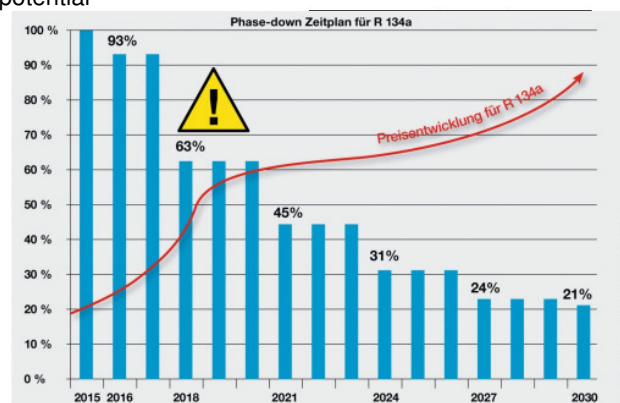
Kältemittel



ODP = ozone depletion potential

GWP = global warming potential

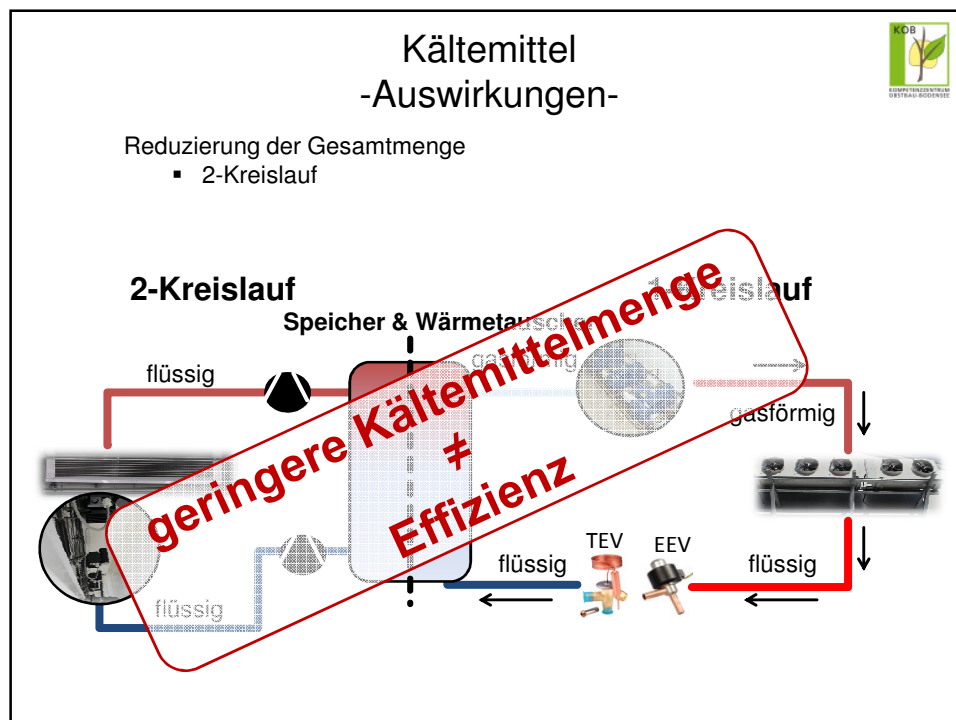
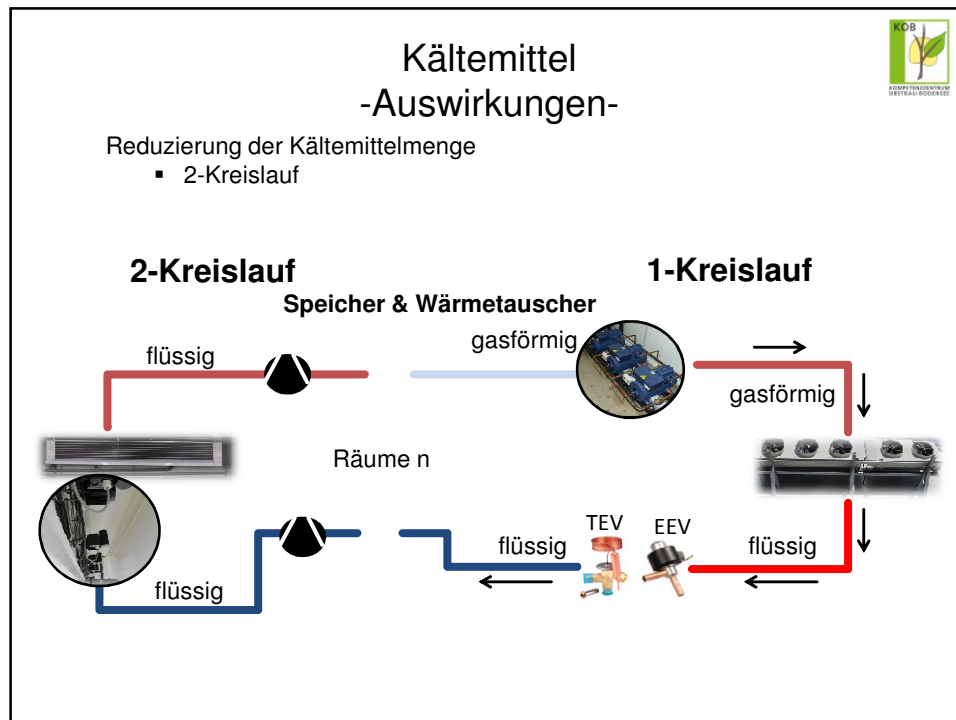
Kältemittel	GWP
CO2	1
R134A	1.430



Keine Bafa Förderung von direktverdampfend Systemen ab 2020



Preisanstieg von Kältemitteln Bsp. 134a



Kältemittel -Auswirkungen-

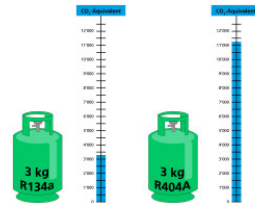


Reduzierung der Kältemittelmenge

- 2-Kreislauf

Einsatz von natürlichen Kältemitteln

- Propan R290 GWP=3
- NH₃ R717 GWP=0



Entsprechungstabelle für gängige Kältemittel

	IPCC 4th AR	Kältemittelmenge [kg] entspr. t CO ₂ eq.		
		5	50	500
F-Gas	GWP ₁₀₀	kg	kg	kg
R 134a	1.430	3,5	35,0	349,7
R 404A	3.922	1,3*	12,7	127,5
R 407C	1.774	2,8*	28,2	281,9
R 410A	2.088	2,4*	24,0	239,5
R 422D	2.730	1,8*	18,3	183,2
R 507A	3.985	1,3*	12,5	125,5

* Für Füllmengen < 3 kg bzw. < 6 kg bei hermetisch geschlossenen Einrichtungen gelten die Kontrollpflichten ab 01. Januar 2017.

Quelle: Umweltbundesamt

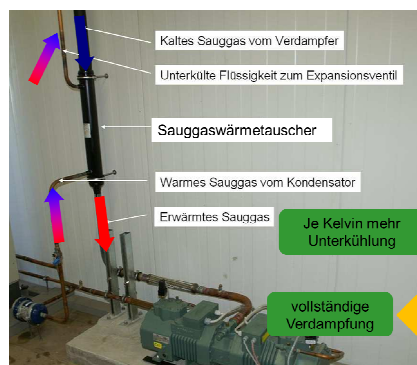
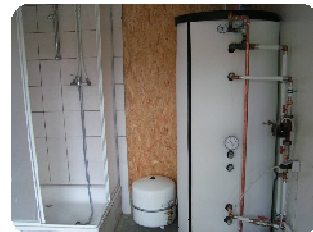
Wärmerückgewinnung



Plattenwärmetauscher

Warmwasserwärmetauscher

Sauggaswärmetauscher



1% Leistungsgewinn

Höhere Sicherheit für den Verdichter
bessere Schmierung

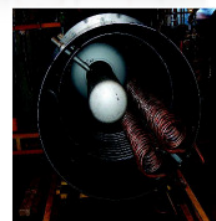
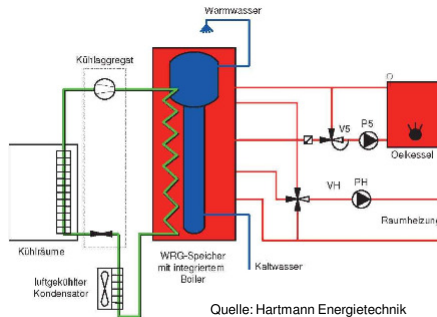


Abb. 4: Swiss Solartank mit integriertem Boiler und integriertem Kupferwärmetauscher

Quelle: Hartmann Energietechnik

Wärmerückgewinnung



Quelle: Hartmann Energietechnik

Abb.1: WRG-Standardanlage für Metzgereien, Käsereien, Restaurants etc., wie sie auch in der Metzgerei Salvisberg in Wimmis installiert wurde.



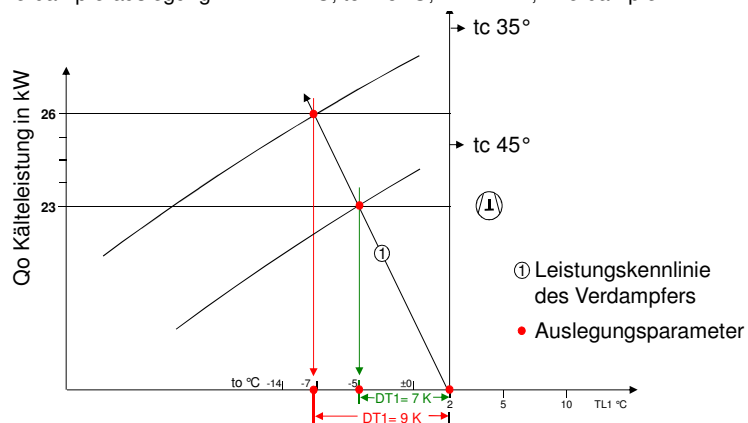
Heißwasserbehandlung



Auslegung von Kältesystemen



Auslegungsparameter: $Q_0 = 23 \text{ kW}$; bei $t_o = -5 \text{ °C}$; $t_c = 45 \text{ °C}$; Einzelkälteaggregat; R507A
Verdampferauslegung: $TL1 = 2 \text{ °C}$; $t_o = -5 \text{ °C}$; $DT1 = 7 \text{ K}$; 1 Verdampfer



Schwierigkeit I: Ungleichmäßige Wärmelasten Verteilung über die Lagerperiode. 90% Abkühlungsphase zu 10% Lagerphase

Schwierigkeit II: schnelle Abkühlung gegenüber erhöhter Verdunstung

- größere Verdampferoberfläche = geringeres $\Delta T \text{ °C}$
- Stapelplan (Beispiel 15% Schnellere Abkühlung)

Quelle: F. Meyer

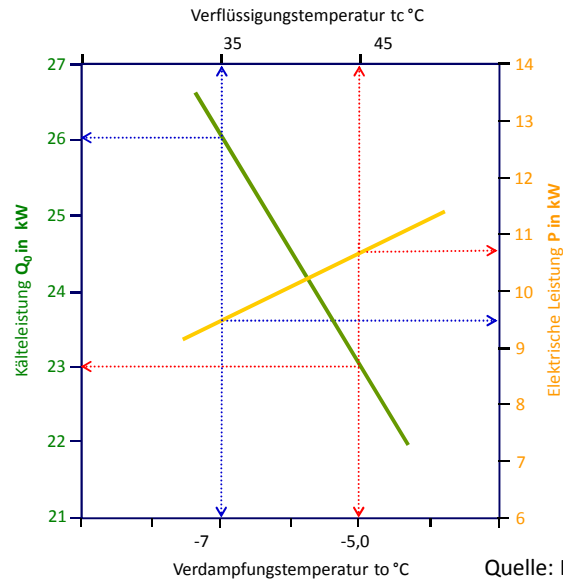
Einfluss der Kondensationstemperatur auf die Leistungsaufnahme



Auslegungsdaten:

$Q_0 = 23 \text{ kW}$
 $TL1 = 2 \text{ °C}$
 $t_o = -5 \text{ °C}$
 $t_u / t_c = 32 / 45 \text{ °C}$
 Kältemittel R507

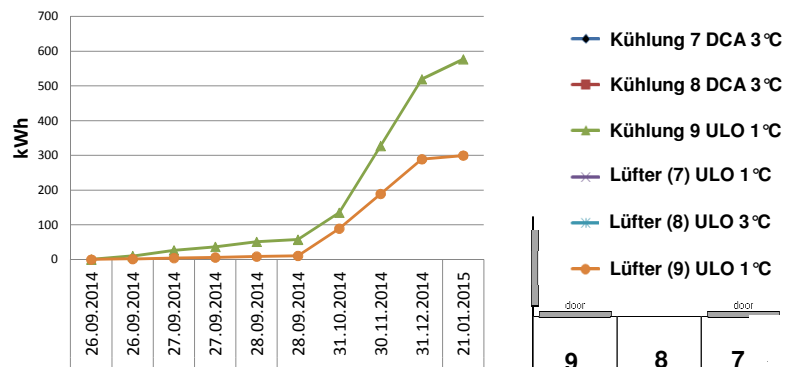
Q_0 ———
 P ———



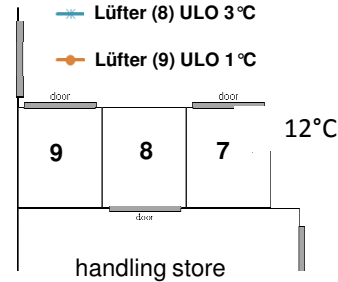
Beispiel: Isolierung

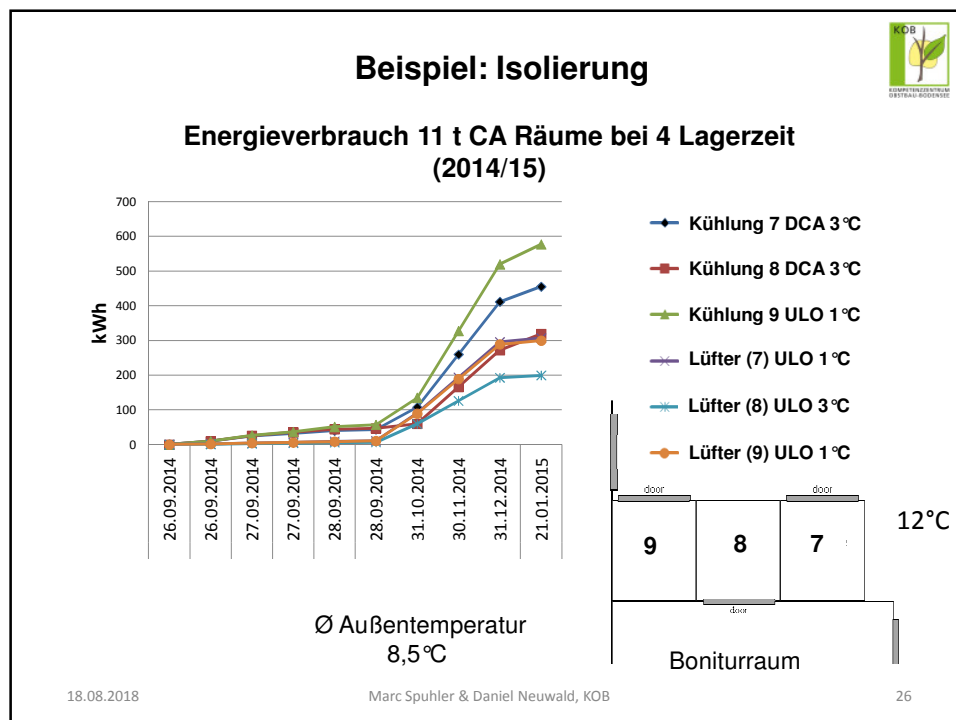
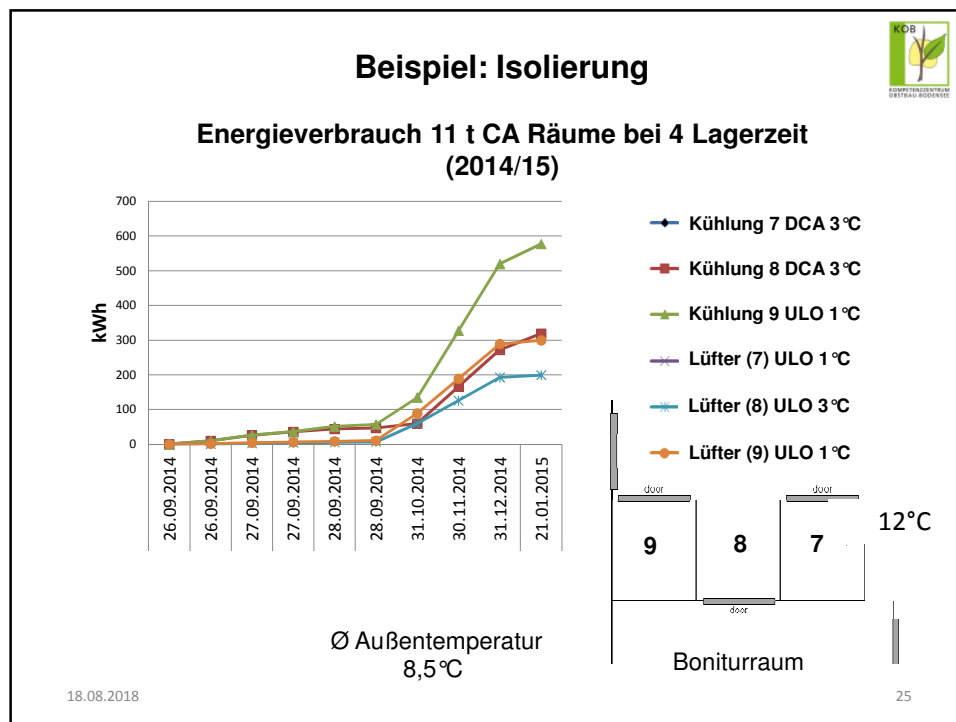


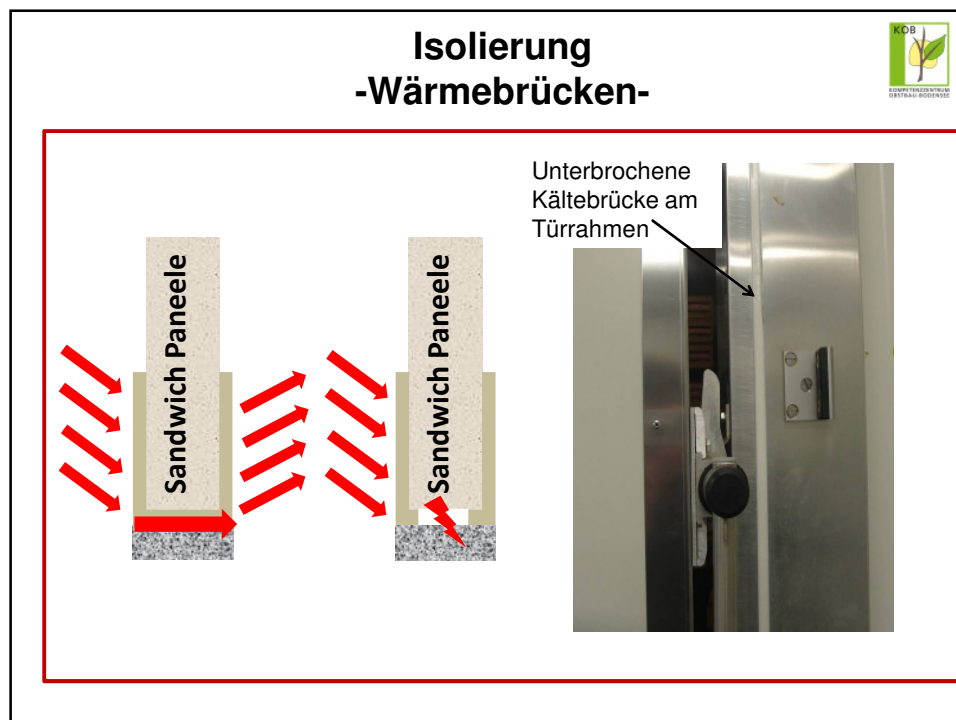
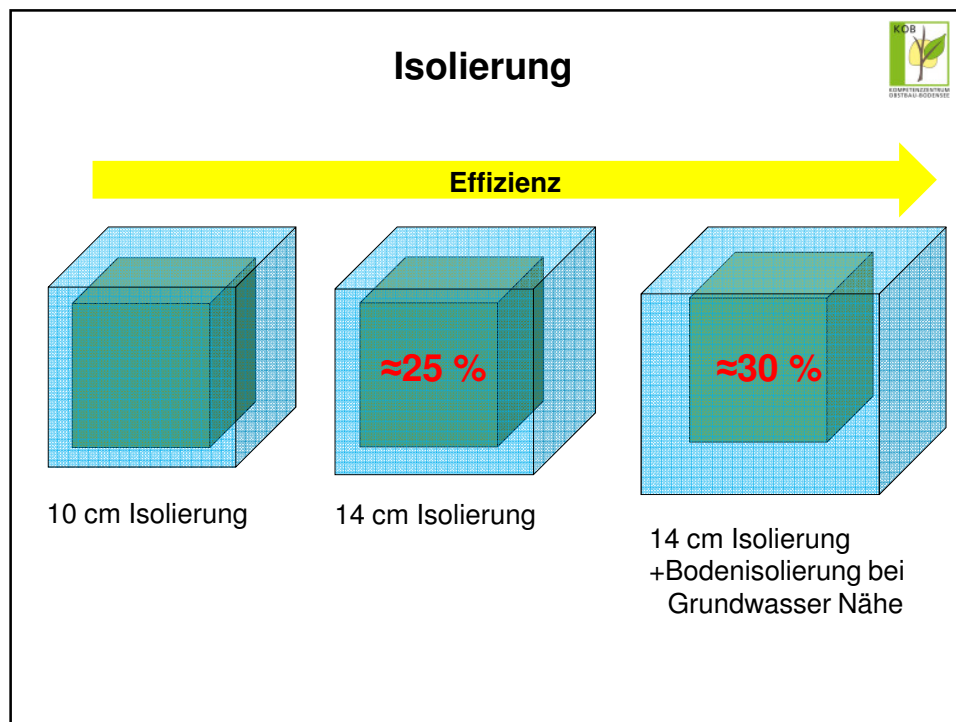
Energy consumption of three 11 t CA rooms over 4 months of storage (2014/15)

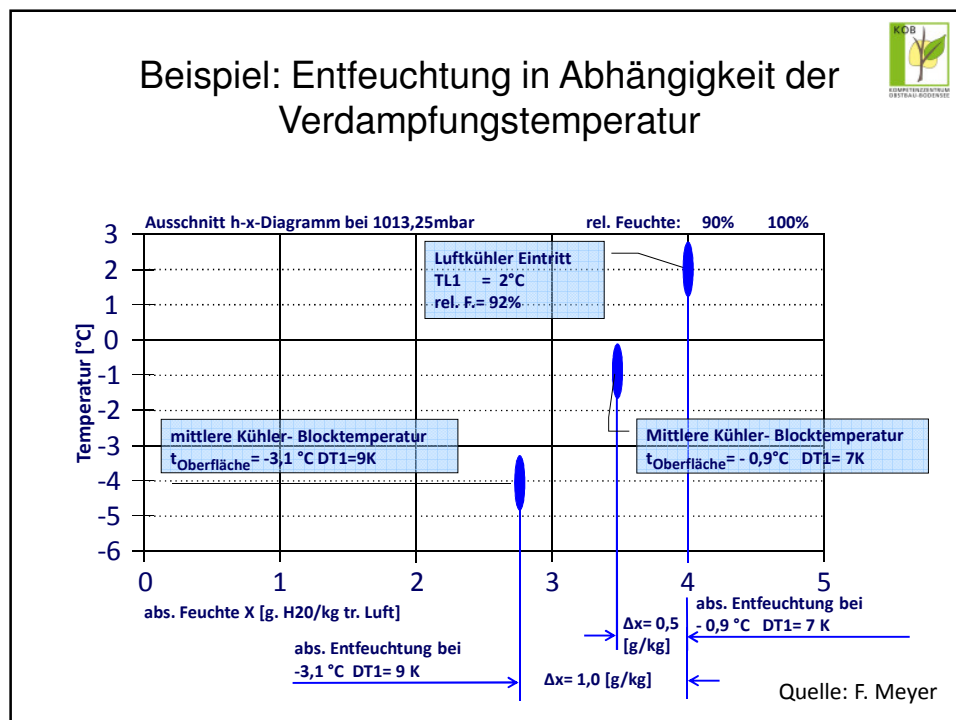
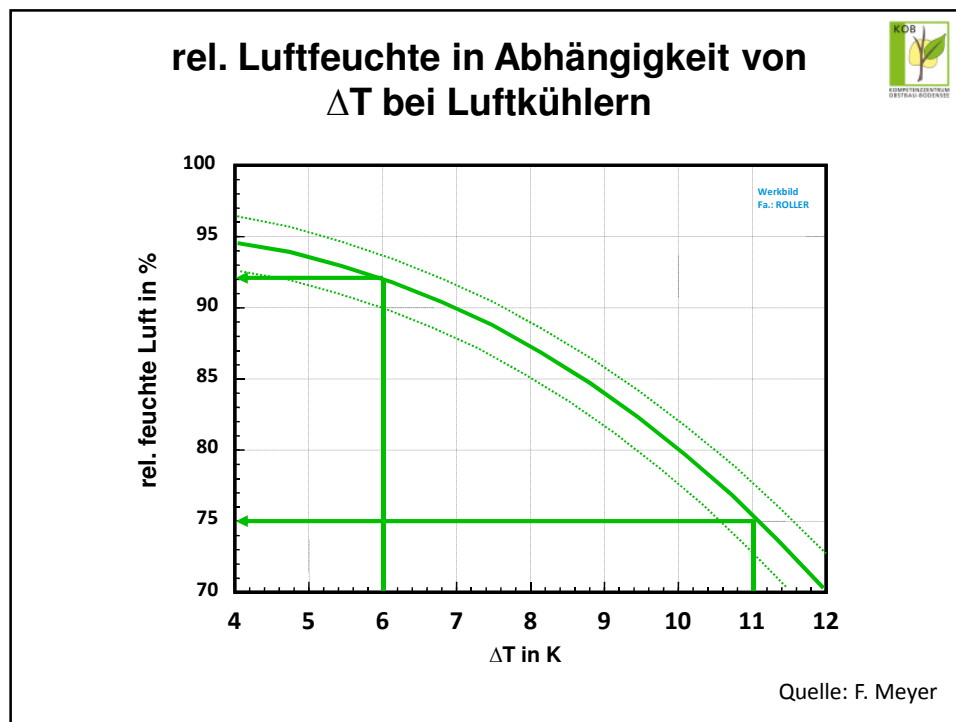


$\varnothing$ annual outside temperature
 $8,5 \text{ °C}$

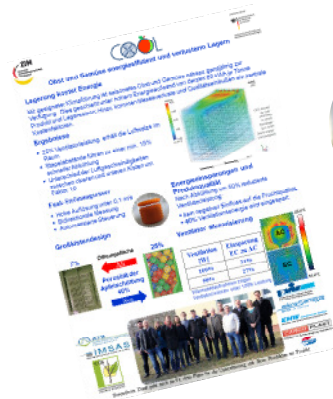








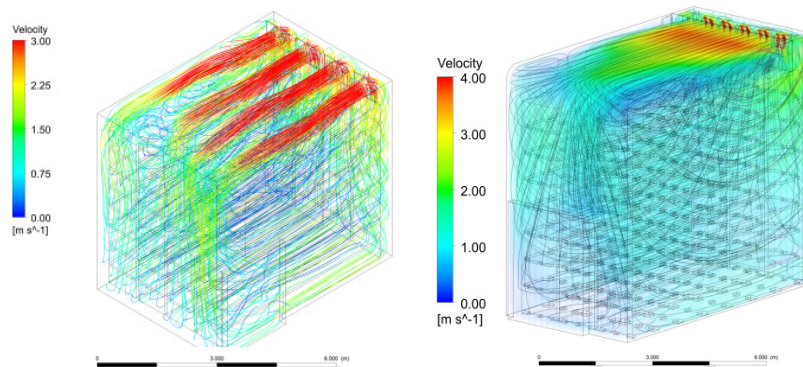
Kooperationsprojekt COOL



Lüftung



- Einsatzorte und Laufzeiten
- Anforderungen an die Lüftung in Obstlagern
- Motorisierung der Lüfter
- Steuerung und Lüftung



Anforderungen an die Lüftung



- Lagerfaktor Wärmeabfuhr ✓
- Lagerbedingungen homogene Bedingungen ✓
- Woraus ergibt sich der Ventilationsbedarf?

1. Lagerphase

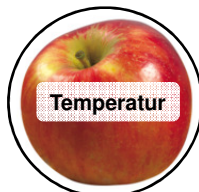
2. Stapelplan



Merke: t °C Oberfläche (Verdampfer)
Luftgeschwindigkeit
Wasserverlust

3. Verteilung der Fruchttemperatur

4. Leistung der Lüfter



Atmung
↓
Wasserverlust



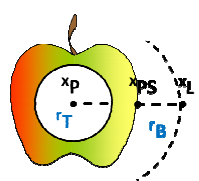
Atmung
↓
Wasserverlust



Einfluss der Lüftung auf die Wasserverluste



Grenzschicht 100% rel. Luftfeuchtigkeit



Luftgeschwindigkeit ab 0.2 m/s
Gradient der Luftfeuchtigkeit

Beispiel:



50 °C

25 °C

10 °C

10% rel. Luftfeuchte

50% rel. Luftfeuchte

75 °C rel. Luftfeuchte

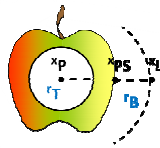
● absolute Wassermenge

○ relative Wassermenge

17

Einfluss der Lüftung auf die Wasserverluste

Grenzschicht 100% rel. Luftfeuchtigkeit



Luftgeschwindigkeit ab 0.2 m/s

Gradient der Luftfeuchtigkeit

Lufttemperatur/Fruchttemperatur

➔ Gasdiffusion

➔ Einfluss auf parasitäre Erkrankungen



Beispiel:

50°C

25°C

10°C

rel. Luftfeuchte

50%

75°C

Einsatzorte von Lüftern und Laufzeiten



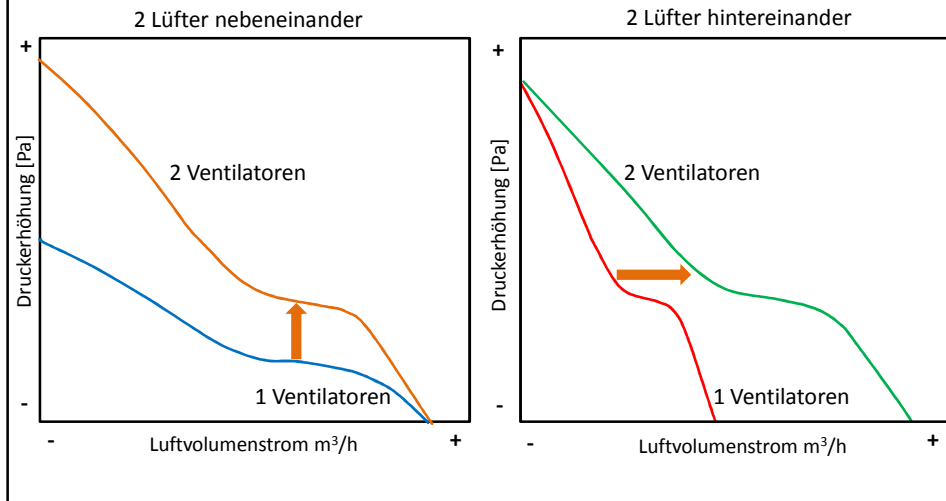
Luftführung-Ventilatoren



Ein Ventilator besteht aus Motor, Gehäuse, Laufrad

Die Luftleistung ist von der Druckerhöhung abhängig

Der Luftvolumenstrom ändert sich proportional zur Drehzahl



Luftführung AC vs. EC

Alternating Current x Electronically Commutated

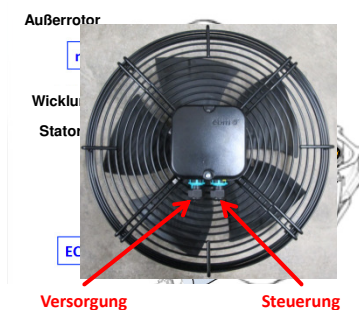
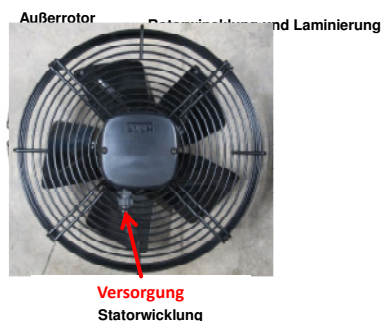


AC

- geringe Investitionskosten
- Kosten für Regelung
- höhere Verluste bei Teillast

EC

- Hohe Investitionskosten
- Keine Zusätzliche kosten zur Regelung
- Hohe Effizienz auch bei Teillast



Luftführung-Ventilatoren

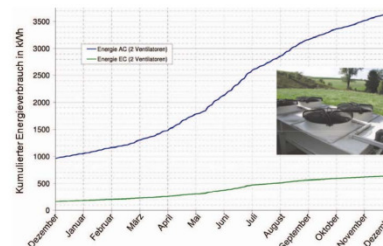
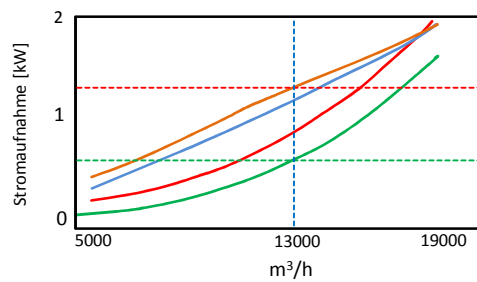


Vorteile des EC zum AC:

- höherer Wirkungsgrad
- effizienter im Teillastbereich (>90 %)
- geringere Wärmeentwicklung

Leistungsanpassung an die Lagerphase

Förderungsfähig BLE u. Bafa



Güntner Fachveröffentlichung: AC- versus EC-Motorentechnik.(2010)

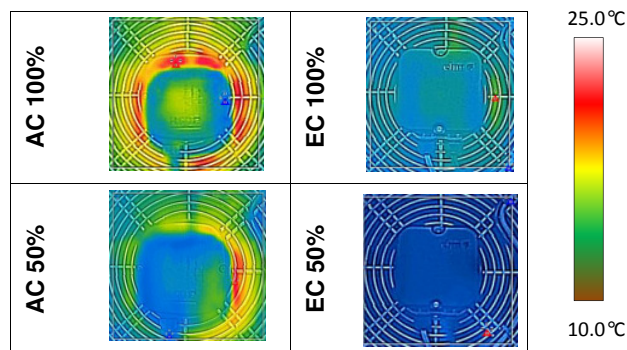
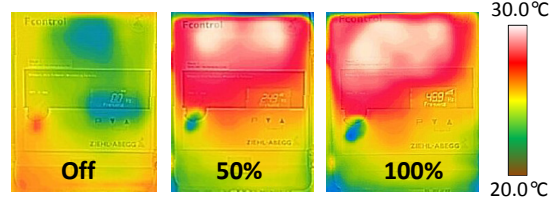
AC + Phasenschnitt

AC + Transformator

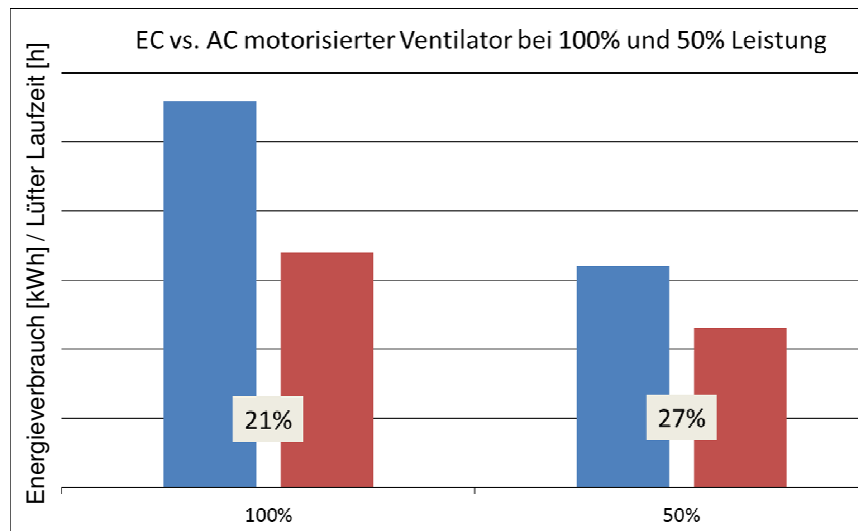
AC + Frequenzumrichter

EC + 0-10 V Steuersignal

EC vs. AC



EC vs. AC



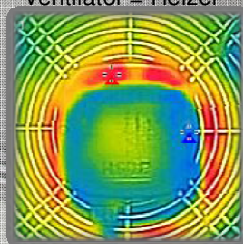
Abtauung

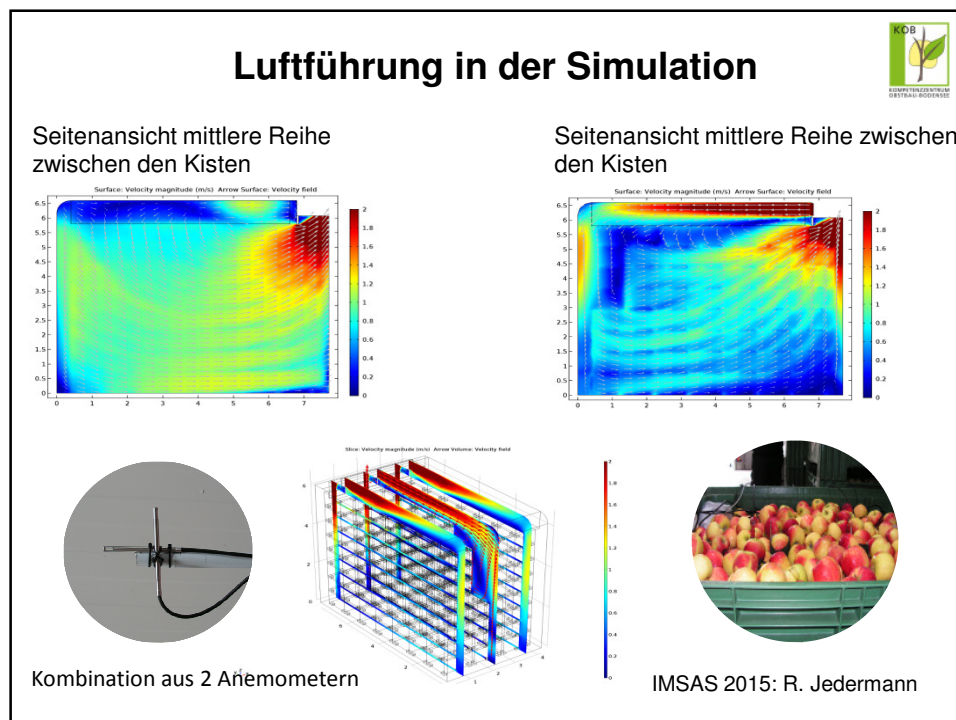
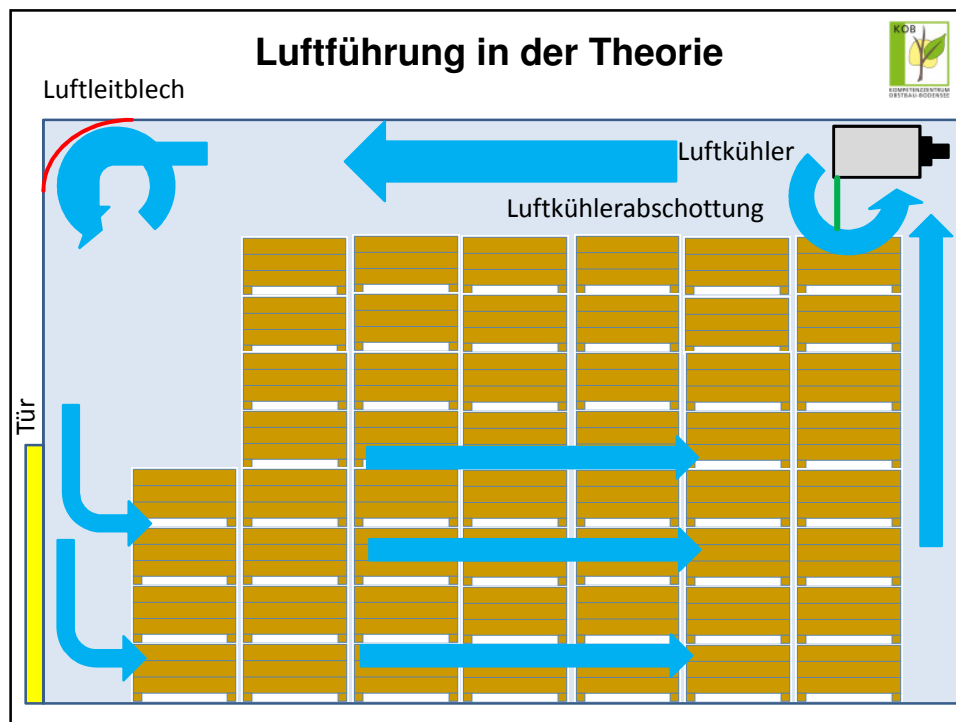


Möglichkeiten der Abtauung:

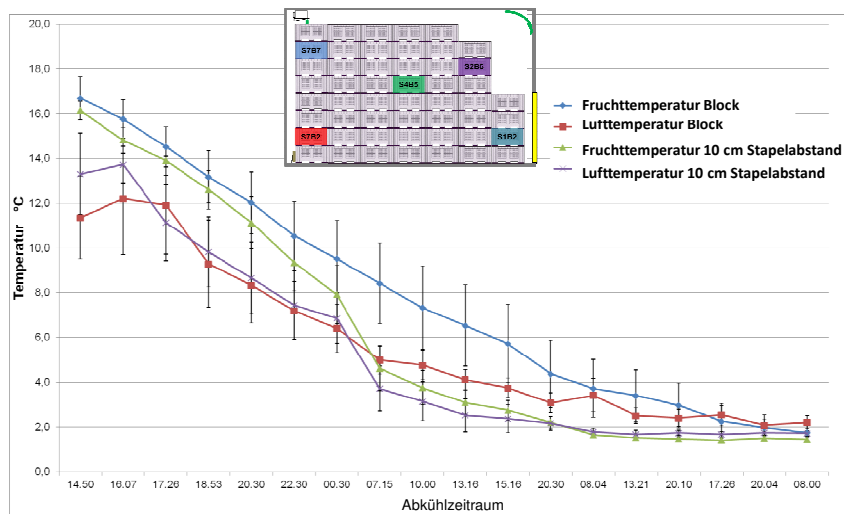
- elektrisch → zusätzlicher Wärmeeintrag
- Ventilationsnachlauf → ineffizient
- Heiß-Gas ≈ effizient, hohes Investment + Wärme
- Heiß-Wasser ≈ effizient, hohes Investment + Wärme
- $\Delta T^{\circ}\text{C} \downarrow$ → Entfeuchtung

Ventilator = Heizer





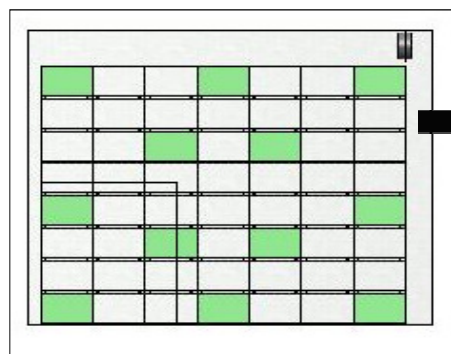
Einfluss der Stapellung -Abkühlzeitraum-



Methoden – Kühlräume und Messpositionen

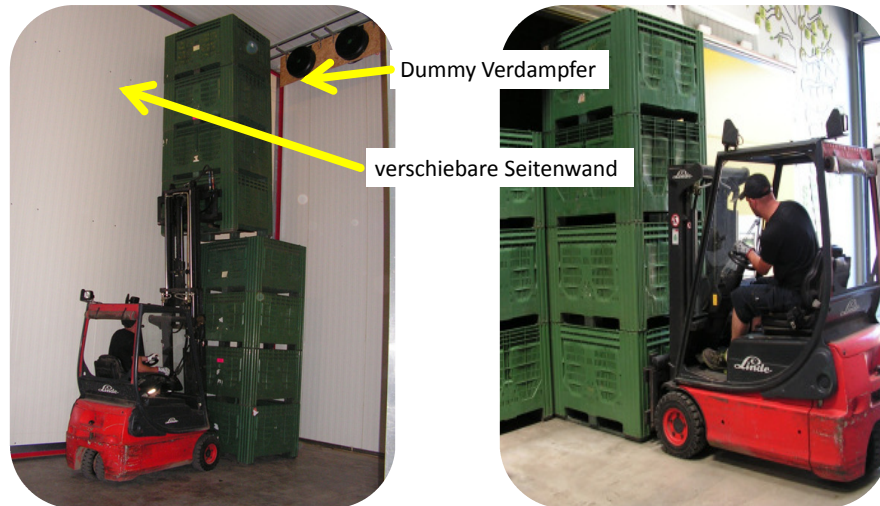


Apfellageraum (100 t)
Stapel von 7 x 4 x 8 Kisten
Reihenabstände variabel durch
verschiebbare Seitenwand
4 bzw. 3 Ventilatoren über den Kistenreihen
Luftströmungsmessung in 24 Kisten in Reihe 1 und 2



Reihe 1 2 3 4

Einfluss der Stapelung auf die Luftgeschwindigkeit



Einfluss der Stapelung auf die Luftgeschwindigkeit



Abstand zwischen Reihen cm	Wandabstand gegenüber Ventilatoren cm	Wand-abstand cm	Ventilator Position	Luftmenge aller Vent.		Geschw. 1m vor Vent.
10	40	30	3 über Spalt	4	3	
10	40	30	4 über Kiste	m ³ /h		m/s
10	40	10	3 über Spalt	21800	16200	12
10	40	10	4 über Kiste	19700	14300	11
4 Reihen im Block	40	10	4 über Kiste	16600	11200	9,5
4 Reihen im Block	40	30	4 über Kiste	9600	6900	5
2 Doppelreihen 10/0	40	10	3 über Spalt			
2 Doppelreihen 10/0	40	10	4 über Kiste			
10	140	10	4 über Kiste			

Ergebnisse Einfluss der Stapelung auf die Luftgeschwindigkeit



- Entscheidend ist nicht die gesamte Luftleistung! Sondern eine gleichmäßige Verteilung.

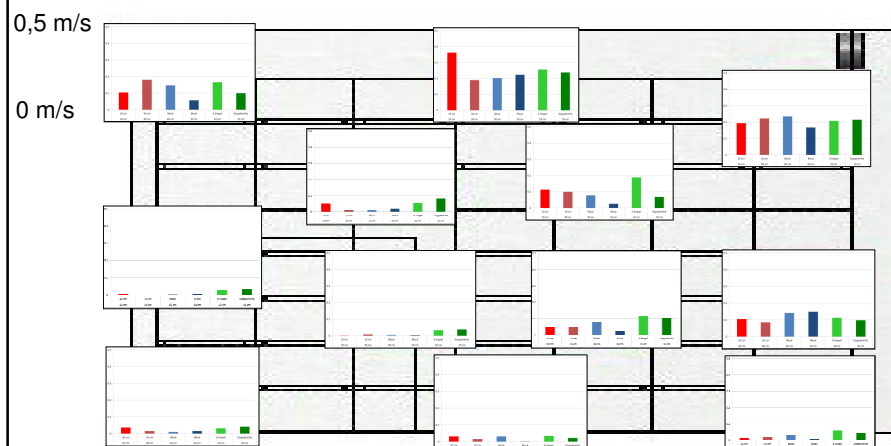
Lüfterposition mittig über dem Stapel
Lüfterposition mittig über dem Stapelspalt

Varianten	100%	75%	50%	Ø
V5	1,78	1,79	1,80	1,79
V1	1,64	1,63	1,75	1,67
V2	1,76	1,53	1,14	1,48
V4	1,70	1,47	1,25	1,47
V6	1,49	1,43	1,49	1,47
V3	1,63	1,30	0,96	1,29
V7	1,38	1,25	1,19	1,27

Ergebnisse - Einfluss der Stapelung Reihe 2, 4 Ventilatoren, 100% Leistung



- 10cm,10cm ■ Block 10cm ■ 6 Stapel 10 cm
- 10cm,30cm ■ Block 30cm ■ Doppelreihe 10 cm



Einfluss von Luftabschottung und Luftleitblech



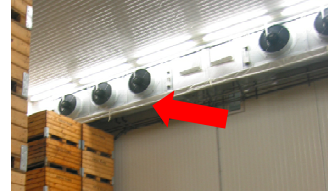
Wie viel Luftbewegung/Umwälzung ist nötig?

➤ Bei Dauerlauf können die Ventilatoren den Energieverbrauch verdoppeln !!!

Antriebs- bzw. Bewegungsenergie → Wärmeenergie → Energiebedarf f. Kälteanlage ↑

Zu vermeiden ist daher

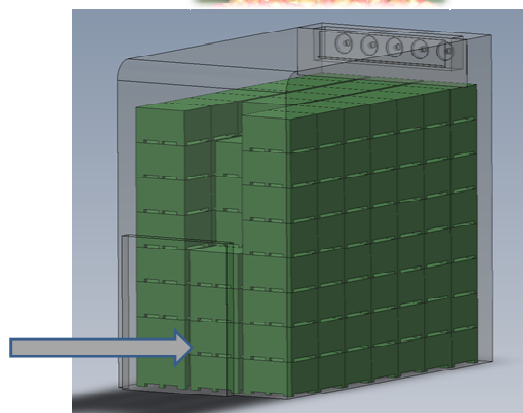
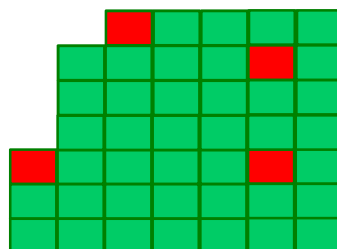
- Dauerlauf der Ventilatoren
- starre Intervalllüftung (außerhalb Kühltakte)
- Geringer Wirkungsgrad der Ventilatoren
- Verzicht auf Stapelabstände



Methoden – Kühlräume und Messpositionen



Apfellageraum (50 t)
Luftkühler mit Ventilatoren und Luftabschottung
Geschwindigkeit am Luftaustritt 3-4 m/s
Reihenabstand 13 cm
Messpositionen in mittlerer Kistenreihe
5 Sensoren / Kiste



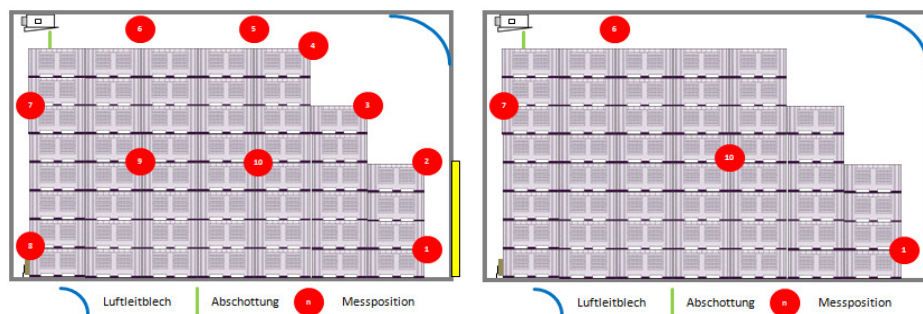
Methoden – Kühlräume und Messpositionen



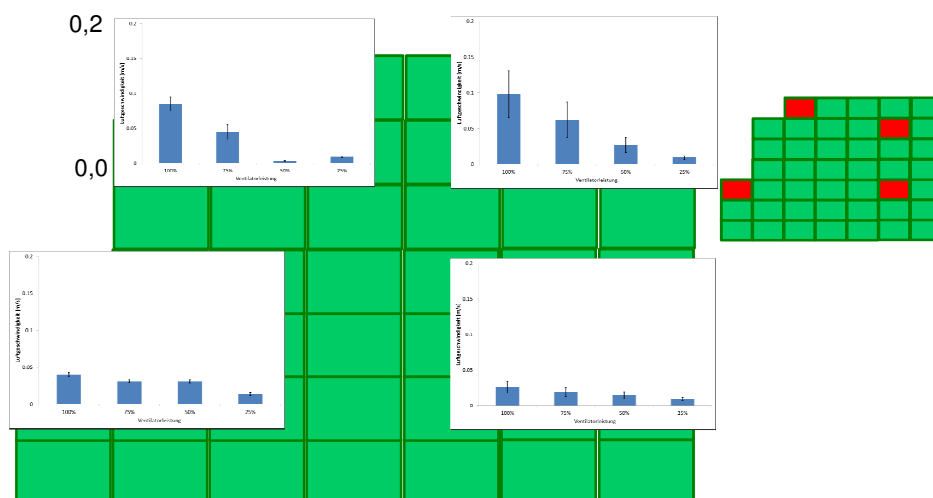
Untersuchung der auftretenden
Luftgeschwindigkeit bei Lagerbedingungen

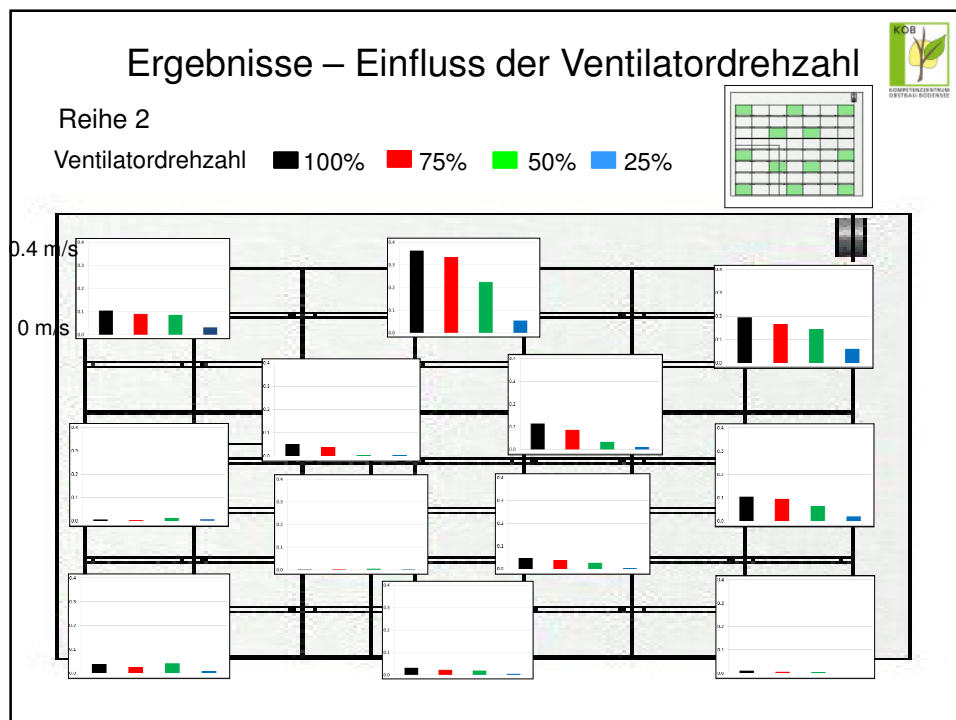
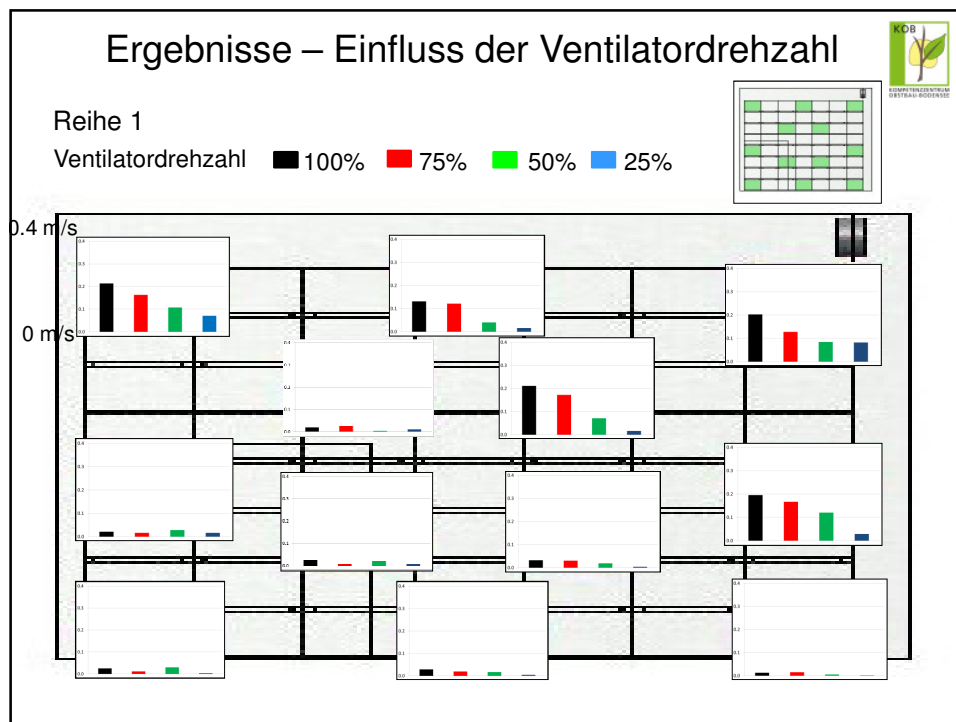
Vergleich Raum 5 und 4 mit und ohne
Luftleitblech

- 10 Messpositionen
- Raum 5 mit Luftleitblech (LLB) + Abschottung (AS)
- Raum 4 ohne Luftleitblech (LLB) + ohne Abschottung (AS)
- 5 Leistungsstufen Ventilation (0 %, 25 %, 50 %, 75 % u. 100 %)
- Messbedingungen = Bedingungen Lagerphase
- 4 Messpositionen
- Raum 5 ohne Luftleitblech (LLB) + Abschottung (AS)
- Raum 4 mit Luftleitblech (LLB) + ohne Abschottung (AS)
- 4 Leistungsstufen Ventilation (25 %, 50 %, 75 % u. 100 %)

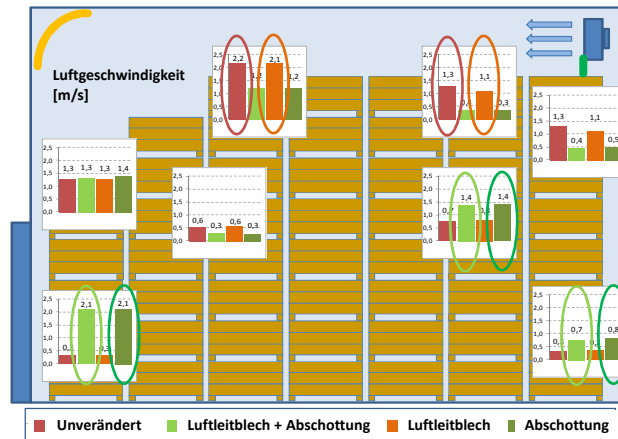


Ergebnisse Luftgeschwindigkeit in ausgewählten Kisten

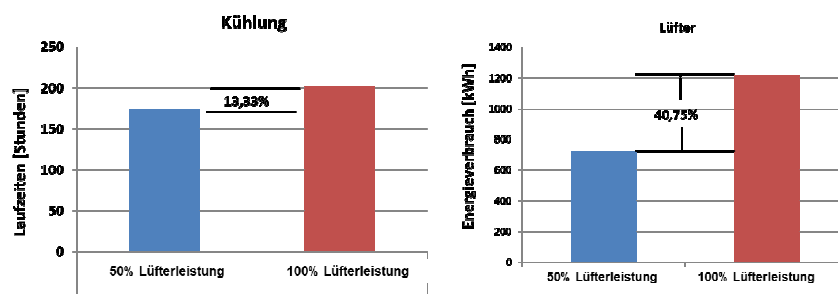




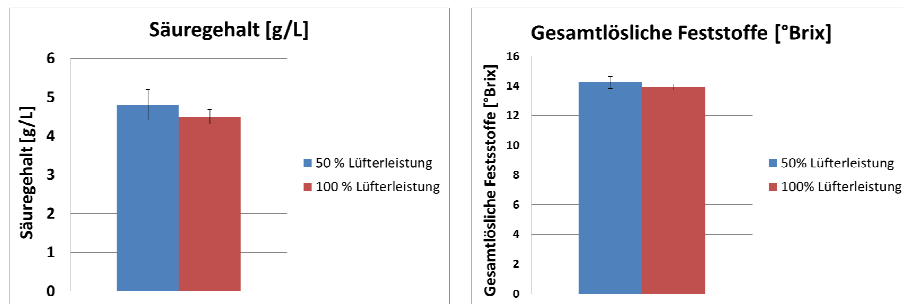
Ergebnisse Einfluss von Luftleitblech und Luftkühlerabschottung auf die Luftgeschwindigkeit



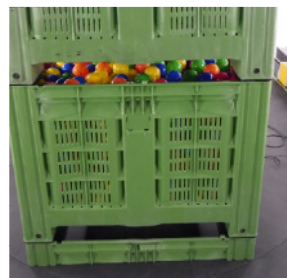
Ergebnisse Produktqualität nach Lagerung unter reduzierter Lüfterdrehzahl

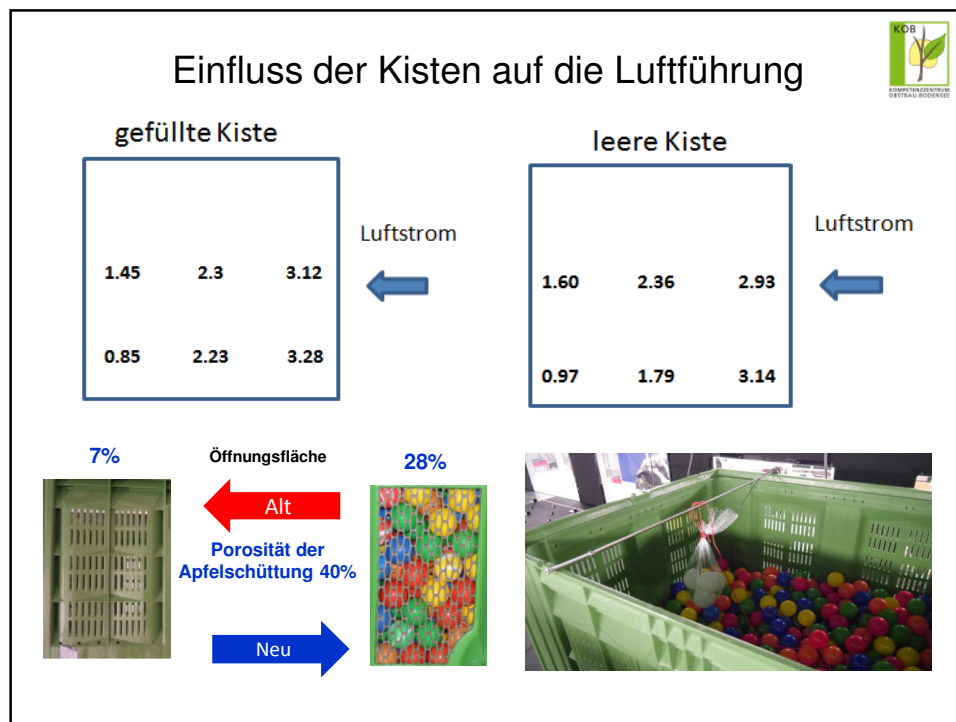


Ergebnisse Produktqualität nach Lagerung unter reduzierter Lüfterdrehzahl



Einfluss der Kisten auf die Luftführung





Zusammenfassung



Einfluss Luftkühlerabschottung: Luftgeschwindigkeiten **im oberen Teil sind reduziert!** **Im unteren Teil erhöhte** Luftgeschwindigkeiten (**Vereisung!**)

➔ Positiv da unter dem Verdampfer und in den untersten Kisten immer die niedrigsten Luftgeschwindigkeiten vorliegen



Einfluss Luftleitblechs: Kein Einfluss oder eine Verbesserung der Ø-Luftgeschwindigkeiten. (Luftstrom reist bereit vor Erreichen der Ecke ab)



Es gibt auch bei reduzierter Lüfterleistung keine Schichtung und keine Unterschiede zwischen den Varianten.

Zusammenfassung



Mittlere Luftgeschwindigkeit in den oberen Kisten etwa 10 Mal so hoch wie in den Kisten in Bodennähe



Geringe Luftgeschwindigkeit in den Kisten zwischen den Früchten (≤ 0.4 m/s)



Reduzierte Luftmenge (3 Ventilatoren über Spalten) führt nur in oberen Kisten zu reduzierter Strömungsgeschwindigkeit im Vergleich zu 4 Ventilatoren über Kistenreihen



Baugleiche Räume mit Stapelabstand kühlen $\approx 15\%$ schneller im Vergleich zu Räumen ohne Stapelabstand

Zusammenfassung



Die Fruchtqualität wird nicht durch eine auf 50% reduzierte Lüfterleistung (nach Abkühlung) beeinträchtigt.



$\approx 40\%$ des Energieverbrauch für die Lüfter und $\approx 13\%$ der Laufzeit der Kühlung kann durch eine auf 50% Lüfterleistung reduziert werden.



Die Fruchtqualität ist durch eine auf 50% reduzierte Lüfterleistung (nach Abkühlung) nicht beeinträchtigt.



EC motorisierte Lüfter sind bei 100% Leistung 21% effizienter und bei 50% Leistung sogar $>27\%$, gegenüber einem AC motorisierten Lüfter

Anhang

Inkrafttreten	IEC-Motorenverordnung 640/2009	Ventilatorenverordnung 327/2011	Lüftungsanlagenverordnung 1253/2014
			EnEv 2014, §15 Abs.4
01.01.2018			Verpflichtende WRG: 73% Optische/ akustische Filteranzeige bzw. Warnung
01.01.2017	Mindestwirkungsgrad IE3 (0,75 kW bis 375 kW) oder IE2 + Frequenzumrichter		
01.01.2016			Verpflichtende WRG: 67% Ventilatoren mehrstufig Regelbar (>2 Stufen) oder stufenlos
01.01.2015	Mindestwirkungsgrad IE3 (7,5 kW bis 375 kW) oder IE2 + Frequenzumrichter	Leistungsaufnahme von >125 W Mindesteffizienz 2. Stufe	
21.11.2013 EnEv			RLT-Anlagen mit Volumenstrom >4000 m³/h müssen mindestens der SFPv Klasse 4 oder besser entsprechen
01.01.2013		Leistungsaufnahme <125 W Mindesteffizienz 1. Stufe	
16.06.2011	Mindestwirkungsgrad IE2 (0,75 kW bis 375 kW)		
20.11.2009	Regelung der Gestaltung von energieverbrauchsrelevante Produkten inkl. passiver Bauteile wie Plattenwärmetauscher		
ErP			
06.07.2005	Regelung der umweltgerechten Gestaltung von Energieverbrauchsprodukten		
EuP			