



## Energieverbrauch bei der Kernobstlagerung

Im Rahmen des Interreg IV Projekts «Energieeinsparungen bei der Obstlagerung» wurde der Energieverbrauch in einem industriellen Lagerbetrieb in der Schweiz bestimmt. Es zeigte sich, dass die Höhe des Energieverbrauchs und der Anteil der verschiedenen Energieverbraucher abhängt von der Lagerphase, der Lagergrösse und -position sowie der Art und Weise, wie die Lagerräume betrieben werden. Es ist deshalb beim Vergleich von Energieverbräuchen unerlässlich, diese Rahmenbedingungen zu kennen.

SANZIO ROMBINI UND FRANZ GASSER, AGROSCOPE, WÄDENSWIL  
JÜRGE BUCHLI UND JOLANDA SCHAUB, ZÜRCHER HOCHSCHULE  
FÜR ANGEWANDTE WISSENSCHAFTEN, WÄDENSWIL  
[info@franzgasser.ch](mailto:info@franzgasser.ch)

Die Lagerung von Kernobst hat zum Zweck, die kontinuierliche Versorgung des Markts mit Obst sicherzustellen. Dabei werden Äpfel und Birnen unter sortenspezifisch angepassten Lagerbedingungen bis zu neun Monate gelagert. Ziel der Lagerung ist es, die Qualität der Früchte durch Reduktion der Atmung beziehungsweise Verzögerung der Reifung möglichst gut zu erhalten. Mehr als 90% des in der Schweiz gelagerten Kernobsts wird unter CA-Bedingungen gelagert (CA = kontrollierte Atmosphäre). Die Lagerung erfolgt in einem Temperaturbereich von 0 bis 4 °C und in einer Atmos-

phäre mit erhöhtem Kohlendioxid- und reduziertem Sauerstoffgehalt (Gehalt an CO<sub>2</sub> und O<sub>2</sub> im Bereich von 1–4%). Die Lagermengen an Äpfeln Ende Oktober variieren schweizweit je nach Jahr und Erntemenge im Bereich von 50'000 bis 70'000 t (Bitzer et al. 2012). Der grösste Teil der Kernobstlagerung erfolgt durch industriell organisierte Betriebe, die jeweils mehr als 1000 t Kernobst lagern.

### Energie im Brennpunkt verschiedener Interessen

In der Schweiz werden 14% des gesamten Elektrizitätsbedarfs für das Kühlen benötigt. Dies entspricht rund 8000 GWh Strom beziehungsweise Ausgaben von rund 1.3 Mrd. Schweizer Franken pro Jahr. Rund 20% des Energieverbrauchs fallen in der Industrie an, zu

Tab. 1: Beschreibung der für die Energieverbrauchsschätzung untersuchten Kühllagerräume.

Raum Nr.	Volumen pro Raum (m <sup>3</sup> )	Lagerkapazität max. pro Raum (t)	Gelagerte Sorten	Soll-Kühltemperatur (°C)	
				Minimal	Maximal
01–06	510	100	Conférence (Birnen)	-1.0	0.0
07–12	680	135	Kaiser Alexander (Birnen)	-0.5	0.0
13–18	680	160	Golden Delicious (Äpfel)	1.0	2.0
19+22	1040	230	Braeburn (Äpfel)	0.5	1.0
20	510	115	Topaz (Äpfel)	0.8	1.0
21	510	115	Nicoter-Kanzi® (Äpfel)	2.2	3.0

Tab. 2: Nennleistungen der Verbraucher in den untersuchten Räumen (Kühlung mit R134a, Wand- und Bodenisolierung 17 cm). (RG = RAUMGRUPPE)

Verbraucher	Werte beziehen sich auf	Anzahl Verbraucher	RG 1–6 (kW <sub>el</sub> )	RG 7–12 (kW <sub>el</sub> )	RG 13–18 (kW <sub>el</sub> )	RG 19–22 (kW <sub>el</sub> )
Kompressoren (Verbund)	Gruppe	3	14.10	20.50	20.50	14.10
Ventilatoren	Raum	5 10	0.79	0.79	0.79	0.79 Raum 20+21 0.79 Raum 19+22
CO <sub>2</sub> -Adsorber	Gruppe	1	5.60	12.60	10.60	5.6
Elektrische Abtauung	Raum	1	16.00	21.00	21.00	16 Raum 20+21 32 Raum 19+22
Frischlufth Belüftung	Raum	1	0.35	0.35	0.35	0.35
Kondensatoren	Gruppe	5 6	1.25	1.25	1.25	1.25
Befeuchtung	Raum	1	1.20	1.20	1.20	1.20

der auch die Obstlagerbetriebe gezählt werden (Dumortier et al. 2012).

Die Energiekosten für die CA-Lagerung von Äpfeln sind mit rund vier Rappen pro Kilogramm relativ gering (Gasser et al. 2006). Lagerhalter stehen jedoch von Seiten der Grossverteiler und der Konsumentenverbände unter einem gewissen Druck, sich ökologisch zu verhalten und dies auch nachzuweisen (Stichwort CO<sub>2</sub>-Footprint). Zudem gibt es gesetzliche Anforderungen, den Energieverbrauch insgesamt zu reduzieren beziehungsweise erneuerbare Energiequellen zu fördern. So können zum Beispiel grosse Energieverbraucher auf Basis der kantonalen Energiegesetze zur Steigerung der betrieblichen Energieeffizienz verpflichtet werden.

### Untersuchungsziele

Ziel der hier beschriebenen Arbeiten war es, exemplarisch am Beispiel eines Lagerbetriebs in der Schweiz den Energieverbrauch zu Beginn der Lagerung (Einlagerungsphase) mittels Messungen und während der Lagerung über die Auswertung der Laufzeiten der Energieverbraucher zu erfassen. Dabei soll der Anteil der verschiedenen Verbraucher erfasst und in Relation zu der angewandten Lagertechnologie und der Art und Weise, wie die Lagerräume geführt werden, bewertet werden.

### Lagerräume

Tabelle 1 listet die in der vorliegenden Arbeit untersuchten 22 Lagerräume auf. Es handelte sich dabei um vier Gruppen von Lagerräumen, die jeweils durch eine Kälteverbundanlage mit je drei Kompressoren und einem CO<sub>2</sub>-Adsorber pro Raumgruppe bedient werden. Die Lagerräume der ersten drei Raumgruppen sind

baudentisch, die vierte Gruppe weist zwei unterschiedliche Raumgrößen auf. Wie aus der Zusammenstellung ersichtlich, wurden alle Lagerräume einer Gruppe mit Ausnahme der letzten Gruppe jeweils mit denselben Sorten belegt, sodass die Lagerbedingungen in den Räumen einer Gruppe jeweils identisch eingestellt werden konnten. Die Nennleistungen der Verbraucher sind für alle Kühlräume in Tabelle 2 aufgeführt.

### Energieverbrauch in der Einlagerungsphase

Die Messungen zum Energieverbrauch in der Einlagerungsphase wurden in Raum 18 durchgeführt. Abbildung 1 gibt beispielhaft einen Überblick über die Laufzeiten der verschiedenen Verbraucher im ausgewählten Lagerraum Nr. 18 während der vorangehenden Lagerperiode 2013/2014. Damit soll illustriert werden, dass in der Einlagerungsphase die Laufzeit der Kühlanlage in der Regel bedeutend höher ist als in der Lagerphase.

Wie Tabelle 3 illustriert, wurden die Äpfel chargenweise eingelagert, ein Verfahren, das in der Praxis sehr oft angewendet wird, da die Früchte nicht alle zur gleichen Zeit geerntet werden können. Das Verfahren hat zudem den Vorteil, dass so nicht die gesamte Menge auf einmal heruntergekühlt werden muss. Die Einlagerung erfolgte ab 26. September 2014 bei normalen atmosphärischen Bedingungen; am 20. Oktober 2014 wurden die CA-Bedingungen eingestellt.

Abbildung 2 illustriert den Verlauf der Kühlraumtemperatur und der Temperatur in einer ausgewählten Frucht während der Messperiode. Die Kühlraumtemperatur pendelte sich bei einer vorgegebenen Soll-Temperatur von 1.5 °C im Bereich von -0.7 und +3 °C ein. Die zwischenzeitlichen Zunahmen der Kühlraumtemperatur sind auf das Öffnen des

**Tab. 3: Zeitlicher Verlauf der Einlagerung in Lagerraum Nr. 18.**

Datum	Menge eingebrachter Äpfel (kg)	Bemerkungen
26.09.2014	62'100	
27.09.2014	51'000	Beginn der Messung
29.09.2014	19'800	
30.09.2014	27'900	
02.10.2014	-	Ende der Messung
Total Äpfel (kg)	160'800	

Lagerraums zwecks Einlagerung von Äpfeln zurückzuführen.

In Abbildung 3 ist der prozentuale Anteil aller Verbraucher während der Einlagerungsphase aufgeführt. Abtauung und CO<sub>2</sub>-Adsorber wurden während der Abkühlphase nicht benötigt und sind daher im Diagramm nicht zu erkennen. Ebenso benötigte der Frischluftventilator mit 0.0038 kWh/t nur einen sehr geringen Anteil an der Energie, sodass dieser Verbraucher im Diagramm ebenfalls nicht zu erkennen ist. Die Ventilation benötigte rund einen Drittel des Energieverbrauchs, die restlichen zwei Drittel wurden für die Abkühlung gebraucht (Kompressor).

Der Energieverbrauch des Kompressors wurde in Grund- und Abkühlenergie unterteilt: Die Grundenergie oder Grundlast ist derjenige Anteil des Energieverbrauchs, der benötigt wird, um die gelagerten Äpfel auf der gewünschten Lagertemperatur zu halten und wurde aufgrund der Lagerdaten des Vorjahres berech-

net. Wie aus Abbildung 3 hervorgeht, sind rund 49% des Energieverbrauchs in der Einlagerungsphase der Abkühlung zuzuschreiben.

**Kritische Bewertung der Energiemessungen**

Die Messung in einem einzelnen Raum soll exemplarisch den Energieverbrauch und dessen Herkunft aufzeigen, kann jedoch aus verschiedensten Gründen nicht repräsentativ sein. Eine Schwierigkeit liegt in der Messung der Daten. Verbraucher wie die Ventilatoren liessen sich in Raum Nr. 18 gut messen, der Kompressor, der diesen Raum bedient, kühlt jedoch noch fünf weitere, baugleiche Räume ab. Eine genaue Aufschlüsselung des Energieverbrauchs pro Lagerraum war nicht möglich, da während der Einlagerungsphase die Raumbefüllung und die Laufzeiten der verschiedenen Verbraucher sehr unregelmässig und zum Teil nicht verfügbar waren. Die Aufschlüsselung des Energieverbrauchs wurde deshalb über die eingelagerten Apfelmengen am Anfang und am Ende der Messperiode berechnet.

Neben diesen messtechnischen Problemen gibt es grundsätzliche Probleme, die die Reproduzierbarkeit und Vergleichbarkeit von Energiedaten in Frage stellen:

- Die Lage eines Kühlraums: Ob er zum Beispiel zwischen zwei benachbarten Kühlräumen steht oder am Ende einer Reihe, hat einen grossen Einfluss auf den Energieverbrauch, da Kühlräume, die von anderen Räumen umgeben sind, besser isoliert sind als Räume am Ende einer Reihe.
- Die Einstellung der Steuerparameter einer Kühlan-

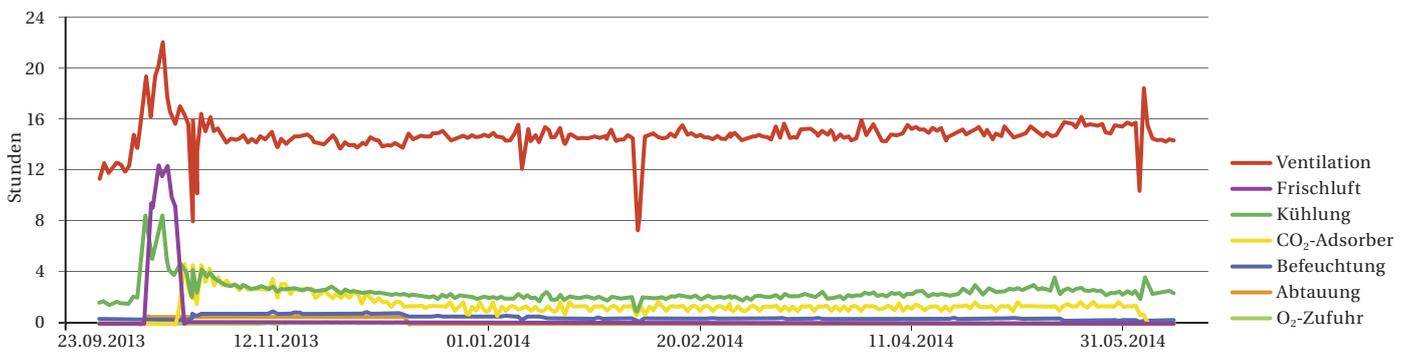


Abb. 1: Laufzeiten der Verbraucher pro Tag im Lagerraum Nr. 18 während der Lagerperiode 2013/2014.

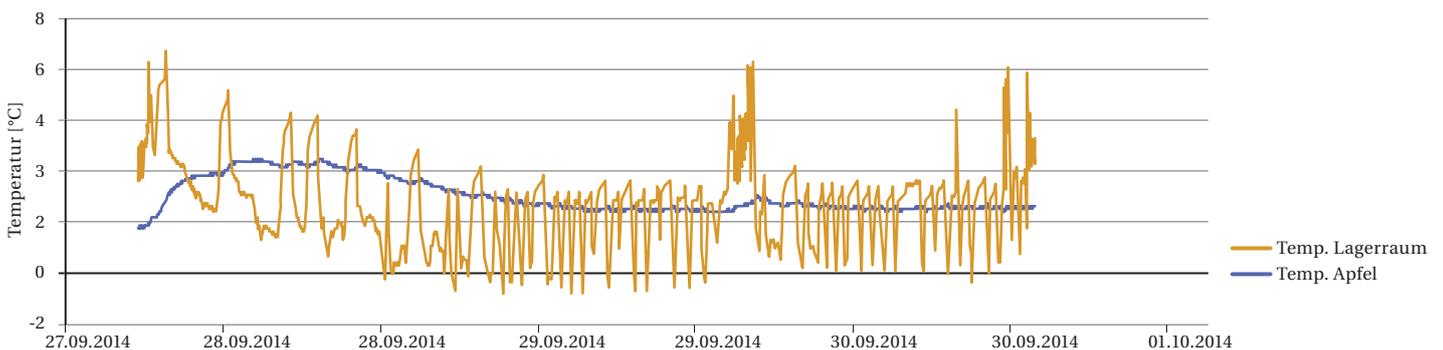


Abb. 2: Verlauf von Kühlraum- und Fruchttemperatur während der Einlagerungsphase in Raum Nr. 18.

Abb. 3: Anteil (%) des Energieverbrauchs aller Verbraucher in der Einlagerungsphase von Raum Nr. 18.

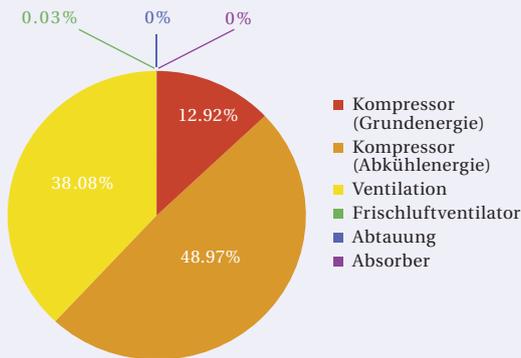
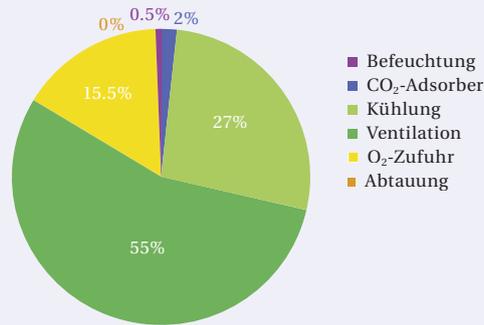


Abb. 4: Aufteilung (%) des Energieverbrauchs aller 22 CA-Räume über die gesamte Lagerphase.



lage hat grossen Einfluss auf den Energieverbrauch: Das  $\Delta T$  (Temperaturdifferenz Verdampfer vs. Kühlraumtemperatur) oder die Einstellung der Ventilationsparameter (Vorlauf- und Nachlaufzeit, Umluftmenge, Ventilationsdauer) beeinflussen den Energieverbrauch.

- Langjährige Untersuchungen im Rahmen des hier beschriebenen Interreg-Projekts zeigten zudem, dass sich baugleiche Kühlräume im Energieverbrauch unterscheiden können, auch wenn sie mit den genau gleichen Einstellungen betrieben werden. Ursachen für diese Unterschiede sind zum Beispiel unterschiedlicher Befüllungsgrad der Kälteanlage mit Kältemittel, unterschiedliche Kältemitteldrucke etc.

### Abschätzung des Energieverbrauchs während der gesamten Lagerdauer

Der Energieverbrauch aller 22 CA-Kühlagerräume gemäss Tabelle 1 und 2 wurde anhand der in der Lagersteuerung aufgezeichneten Laufzeiten ermittelt. Bei der Abschätzung des Energieverbrauchs sind folgende Rahmenbedingungen zu beachten:

- Der Energieverbrauch der Kompressoren-Verbundanlagen, die jeweils mehrere Räume bedienen, wurde den betroffenen Räumen gleichmässig zugeordnet. Dies lässt sich insofern rechtfertigen, als alle Räume die gleiche Grösse aufweisen, die Verbraucher pro Raum beziehungsweise Raumgruppe identisch sind und die Räume mit den gleichen Lagerparametern gefahren wurden (mit Ausnahme einer Raumgruppe).
- Die Lagerdauer war je nach Raum und gelagerter Ware sehr verschieden. Sie variierte von 134 Tagen in Raum 1 bis zu 260 Tagen in Raum 8.
- Die Lagerräume wurden gänzlich gefüllt; die angegebenen Lagerkapazitäten entsprechen dem maximalen Fassungsvermögen.
- Bei den Berechnungen wurde die ganze Lagerdauer inklusive Einlagerungsphase berücksichtigt; letztere wird nicht gesondert ausgewiesen.
- Der Energieverbrauch wurde aufgrund der Nennleistung der Verbraucher berechnet. Dabei wurde jedoch ein Wirkungsgrad von 90% vorausgesetzt, also nicht die gesamte Leistung.
- Für die spezifische Wärmekapazität der gelager-

ten Früchte wurde ein Wert von  $3.8 \text{ kJ/kg} \times \text{°Kelvin}$  eingesetzt (Geyer und Praeger 2012). Zur Berechnung der Effizienz der Kälteanlagen wurde davon ausgegangen, dass für die Kälteerzeugung bei der Obstlagerung zirka 1 kWh Elektrizität für die Erzeugung von 3 kWh Kälte eingesetzt wird.

In Abbildung 4 ist der prozentuale Anteil des Energieverbrauchs der relevanten Verbraucher aller untersuchten Räume über die gesamte Lagerdauer dargestellt. Dabei fällt auf, dass die Anteile der Ventilation mit rund 55% und der Abtauung mit knapp 16% recht hoch sind, verglichen mit den Messungen von Kitemann et al. (2010). Diese Autoren bestimmten den Energieverbrauch eines CA-Kühlagerräume (200 t Kapazität) während einer Lagerdauer von 7.5 Monaten. Ventilation und Kühlung verbrauchten mit je 41% gleich viel Energie. Absorber und Abtauung, die während der Einlagerungsphase keine Energie benötigen, trugen über die ganze Lagerperiode mit 10% beziehungsweise 8% zum Energieverbrauch bei. Der hohe Anteil der Ventilation am Energieverbrauch in den von uns untersuchten Lagerräumen lässt sich damit begründen, dass der Betreiber der Anlage die Ventilation länger als in der Branche üblich laufen lässt, um eine homogene Lageratmosphäre zu gewährleisten.

Abbildung 5 illustriert den Energieverbrauch der Verbraucher pro Tag und Tonne gelagertes Gut. Dabei wird ersichtlich, dass der Energieverbrauch der Kühlung von der eingestellten Soll-Temperatur abhängt: Die Raumgruppen 1 bis 6 und 7 bis 12 wurden bei Temperaturen knapp unter 0 °C betrieben, während Raumgruppe 13 bis 18 bei 2 °C gehalten wurde. Typischerweise ist auch der Energieaufwand für die Abtauung in diesen beiden Raumgruppen viel höher als in den anderen Räumen, da bei diesen tiefen Kühlraumtemperaturen und der hohen Luftfeuchtigkeit die Verdampfer öfter vereisen.

Kitemann et al. (2013) untersuchten den Energieverbrauch der CA-Lagerung von Äpfeln bei 1 °C in einem 11 t-Raum während einer Lagerdauer von 8.5 Monaten. Die Autoren ermittelten einen Stromverbrauch unter Berücksichtigung von Kompressoren, Ventilatoren, Abtauung und CO<sub>2</sub>-Absorption von 740 Wh pro Tag und Tonne. Dieser Wert ist durchaus vergleichbar mit dem Stromverbrauch von 548 Wh pro Tag und Tonne der gleichen Verbraucher der Raumgruppe 13 bis 18,

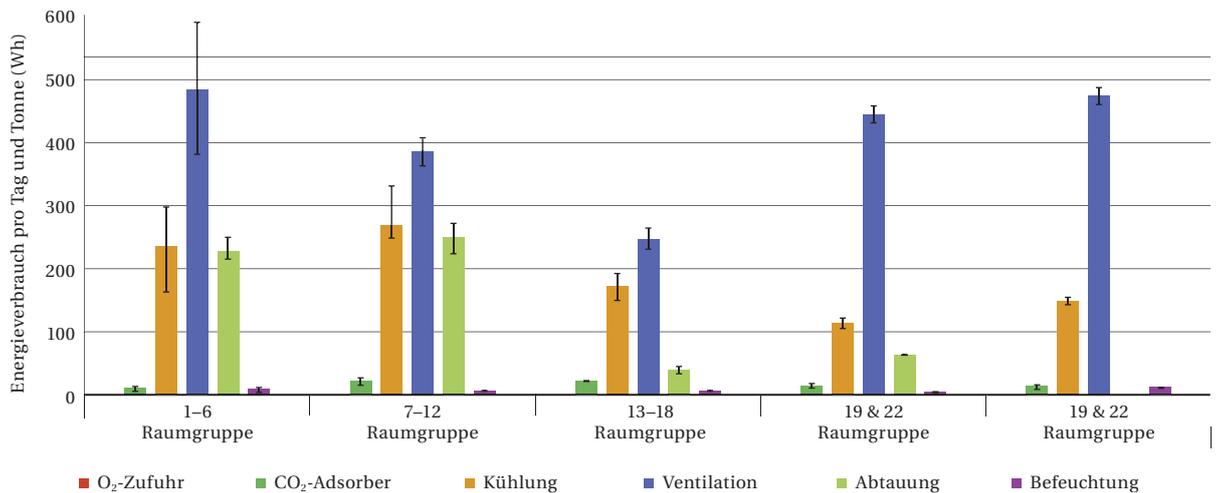


Abb. 5: Energieverbrauch pro Raumgruppe, Tag und Tonne (kWh/Tg, t) während der gesamten Lagerphase.

die bei 1 °C gehalten wurde. Der Energieverbrauch in unserer Untersuchung fiel wohl auch deshalb um einiges tiefer aus, weil es sich in unserem Fall um bedeutend grössere Lagerräume handelte.

**Energiekosten**

Geht man von einem durchschnittlichen Preis von Fr. 0.175 pro kWh Strom aus (berechnet aus den Strompreisen in der Schweiz im Jahr 2016 für mittlere Betriebe, Kategorie C3, Quelle EiCom), lassen sich unter Berücksichtigung aller Verbraucher Stromkosten von 13 Rp./t Äpfel und Tag ableiten, woraus pro Kilogramm Äpfel bei einer Lagerdauer von beispielsweise 200 Tagen Stromkosten von rund drei Rappen resultieren. Dieser Wert liegt in der gleichen Grössenordnung wie derjenige, der von Gasser et al. (2006) für ein CA-Lager mit 480 t Kapazität ermittelt wurde (4 Rp./kg).

**Energie-Benchmark**

Geht man von Äpfeln der Sorte Golden Delicious aus, die von 20 °C auf 1 °C abgekühlt werden, resultiert unter Berücksichtigung der spezifischen Wärmekapazität von 3.8 kJ/kg × °Kelvin und der Atmungswärme von 48.1 kWh/t ein physikalischer Mindestenergiebedarf an Kälteenergie (Energie-Benchmark) von insgesamt 68.2 kWh/t. Dies würde in Raum Nr. 18 einem Vergleichswert (Benchmark) von 0.448 kWh/t × Tag entsprechen.

Effektiv wurden 0.731 kWh/t × Tag ermittelt, was einer Energieeffizienz für das Kühllager von 61 % und Verlusten durch die Grundlast von 0.534 kWh/t × Tag entspricht.

**Dank**

Diese Untersuchungen wurden im Rahmen des Interreg IV Projekts «Energieeinsparungen bei der Obstlagerung» durchgeführt und finanziert. Die Messungen erfolgten im Rahmen einer Semesterarbeit an der ZHAW.

**Literatur**

Bitzer A., Bregy G. und Schuler R.: Perspektiven für den Schweizer Apfel. Masterarbeit MBA 1104 an der Hochschule Luzern HSLU, Institut für Betriebs- und Regionalökonomie IBR, 1–100, 2012.

Dumortier R., Lang T. und Schmutz B.: Elektrizitätsbedarf fürs Kühlen in der Schweiz. Kampagne effiziente Kälte, 1–33, 2012.

Gasser F., Züricher M. und Höhn E.: Kostenanalyse von kleinen CA-Lagern. Schweiz. Z. Obst- und Weinbau, 10, 8–11, 2006.

Geyer M. und Praeger U. (Hrsg.): Lagerung gartenbaulicher Produkte. KTBL Schrift 493, 1–296, 2012.

Kittemann D., Mc Cormick R. und Neuwald D.: Obstlagerung: runter mit dem Energieaufwand! Besseres Obst, 8, 15–18, 2010.

Kittemann D., Streif J. und Neuwald D.: Lagerung mit hohem Energiesparpotenzial. Besseres Obst, 9, 12–15, 2013. ■

**La consommation d'énergie lors de l'entreposage de fruits à noyau**

Dans le cadre du projet Interreg IV «Economies d'énergie dans le stockage de fruits», des mesures de la consommation d'énergie ont été effectuées dans un entrepôt industriel en Suisse. Les mesures ont révélé que la consommation d'énergie totale et la consommation de chaque consommateur d'énergie individuel étaient fonction de la phase de stockage, de la taille et de la position de stockage, ainsi que de la manière dont les locaux d'entreposage sont exploités. Il est donc indispensable de connaître ces condi-

**R É S U M É**

tions cadres si l'on veut établir des comparaisons. Sur la base des données énergétiques qui ont été relevées, il a été possible de prouver que la ventilation était à côté de la réfrigération un des processus les plus énergivores lors du stockage de fruits. La technologie a aujourd'hui atteint un stade où l'on dispose de nombreuses options pour optimiser le régime d'exploitation des ventilateurs et ainsi réduire la consommation d'énergie.