

Kontrollierte Atmosphäre im Obstbau-Versuchsgut Heuchlingen

Äpfel und Birnen – knackig, saftig

Ingenieurmäßiges Planen mit NH₃ im gewerblichen Kälteanlagenbau

Als „Mittel zum Zweck“ stufte Wim Schmitz, Physiologe und bekannter Berater von Obstbauern, die Kältetechnik in einem Vortrag ein, den er im Mai letzten Jahres während des Küba-Symposiums (KK 6/2000, S. 74–78) zu Fragen der kältetechnischen Nacherntebehandlung im österreichischen Dornbirn hielt, um für den Apfel optimale Lagerbedingungen zu schaffen. Wie dies in der Praxis geschieht, darüber gibt der nachfolgende Beitrag eine Auskunft am Beispiel einer NH₃/Sole-Zweikreis-Systemtechnik.



Anfang Februar noch keine Spur von grün. Teilansicht des Obstbau-Versuchsguts Heuchlingen in der Nähe von Bad Friedrichshall. An der Gebäudefront ist der Axialverflüssiger des Fabrikates Güntner sichtbar

Ziel der Apfellagerung: bestmögliche Erhaltung der Fruchtqualität

Auf einer Fläche von ca. 35 ha der Staatlichen Lehr- und Versuchsanstalt für Wein- und Obstbau Weinsberg werden im Bereich des Obstbau-Versuchsgut Heuchlingen (Bad Friedrichshall/Schwaben) Kernobst, Strauch- und Beerenfrüchte (u. a. Erdbeeren, Himbeeren, Stachelbeeren, Johannisbeeren), aber auch Schalenfrüchte wie Hasel- und Walnüsse angebaut und teilweise über einen Langzeitraum

Achtung Lebensgefahr. Auch diese Warnschilder an den Türen der 11 Kühlräume drücken es aus: Ein Begehen ist bei einem Sauerstoffgehalt von 1,5–2 % und einer erhöhten CO₂-Konzentration für den Menschen lebensgefährlich



gelagert. Der vorliegende Beitrag befaßt sich mit der Langzeitkühl Lagerung von Äpfeln (Lagerung bis zu 300 Tage bei minimalem Gewichtsverlust), deren Lagerbedingungen – je nach Apfelsorte – zwischen 0 °C bis +1 °C/+3 °C und einer rel. Feuchte >90 % (optimal 95–100 %) betragen soll. Hierbei ist zu berücksichtigen, daß infolge Stoffwechsel der natürliche Gewichtsverlust zwischen 3 und 5 % liegt. Unter Vermeidung von „Lebensgefahr“ (Sauerstoffmangel, erhöhter CO₂-Gehalt) konnten für diesen Berichtsbeitrag nur Fotos von der Apfellagerung „geschossen“ werden.

*Knackig, saftig,
auch nach längerer Lagerdauer: Äpfel aus dem
Eigenanbau des Versuchsguts Heuchlingen*



Worauf kommt's an?

Zur Apfellagerung stehen heute drei Kühlvarianten zur Verfügung, neben der konventionellen Lagerung gibt es die CA-Lagerung (Controlled Atmosphere) sowie die ULO-Lagerung (Ultra Low Oxygen). Um das Entfeuchtungsverhalten bei der Apfellagerung unter Kontrolle zu halten, eignet sich am ehesten die kombinierte CA/ULO-Lagerung. Denn die Wasserabgabe der eingelagerten Frucht ist von zentraler Bedeutung bei der Kernobstlagerung, an diesen Vorgang sind Fruchtgesundheit und die mögliche Dauer der Lagerung gebunden. Ungenügend entfeuchtete Früchte reagieren oftmals mit physiologisch bedingten Fruchterkrankungen wie Kernhausbräune und Schalenbräune. Zu starke Entfeuchtung führt zum Welken der Frucht, derartige leidige Er-

fahrung trifft den Verbraucher hin und wieder. Derartige Erscheinungen mindern den Vermarktungswert erheblich. Weiterhin wird die Sortiereigenschaft der Frucht (Stoßempfindlichkeit) beeinflusst. Die nachfolgenden grundsätzlichen Darlegungen wurden einem Erfahrungsbericht zum Entfeuchtungsverhalten einiger wichtiger Apfelsorten in einem CA/ULO-Lager des Obstbauversuchsrings Jork (Niederelbegebiet) entnommen.

Für die Höhe der Wasserabgabe sind zwei Faktoren wichtig:

- Die Fruchtttranspiration, gekoppelt an den Stoffwechsel. Neben der allgemeinen Transpiration wird auch im geringen Umfang direkt Wasser bei der Fruchtatmung frei. Dies geschieht nach der Atmungsformel $C_6H_{12}O_6 + 6 O_2 \Rightarrow 6 CO_2 + 6 H_2O + \text{Energie}$. Oder verständlicher ausgedrückt: Zucker + Sauerstoff = > Kohlendioxid + **Wasser** + Energie.

- Die Entfeuchtung, gekoppelt an das Dampfdruckgefälle zur umgebenden Atmosphäre. Die Entfeuchtung/Std. Kühlzeit ist je nach Apfelsorte unterschiedlich: 1 Kühlstunde entfeuchtet 1 t „Cox Orange“ um ca. 65 ml, 1 t „Gloster“ wird in der gleichen Zeit um ca. 35 ml entfeuchtet.

In Jork hat man festgestellt, daß in einem CA/ULO-Lageraum, der relativ hermetisch von der Außenwelt abgeschlossen ist, sich nach der Einlagerung von Äpfeln sehr schnell ein Raumklima einstellt, das für den Bereich der relativen Luftfeuchtigkeit keine extremen Schwankungen mehr aufweist. Messungen nach dem gravimetrischen Meßprinzip zeigten Extremwerte zwischen 87–98 % rel. Feuchte, aber mit einem sehr einheitlichen Mittelwert von 93–95 % für die Mehrzahl der gemessenen Obstlager. Dabei sind zum Beispiel

„Jonagold“ und „Gloster“-Räume eher im Bereich von 90–93 %, „Cox“- und besonders „Boskop“-Räume eher oberhalb von 95 % rel. Feuchte einzuordnen. Diese Werte werden durch die Frucht auch bei starker Entfeuchtung durch lange Kühlzeitlagerung aufrecht erhalten.



Raum nicht begehbar, deshalb durch die Sichtluke fotografiert, hier der Beweis: Feuchtkugeltemperatur + 2 °C, rel. Feuchte 100 %

Zielgerichtetes Entfeuchten wird durch die Abtauwasser-Meßmethode kontrolliert. Profan ausgedrückt, es wird ausgelitert. Meßstetten (siehe Abbildung) sind hierbei die billigste und sicherste Einrichtung zum Messen des Abtauwassers. Denn, bei dieser Meßmethode tritt die relative Luftfeuchte der Lageratmosphäre in den Hintergrund, da die Frucht direkt die Entfeuchtungsdaten liefert und somit der Umweg über Luftfeuchtemessungen unterbleiben kann. Die Erklärung: Bei jedem Kühlvorgang wird Wasser an den Lamellen des Kühlraumverdampfers – in der Regel Ventilatorluftkühler – im Lagerraum gebunden. Dieser leichte Reifansatz taut während der Nichtkühlzeit ab und wird durch einfache natürliche Luftumwälzung – also durch Umluftabtauung – entfernt. Nur bei der Birnenlagerung beträgt die Raumtemperatur teilweise < 0 °C, hier wird dann eine elektrische Zwangsabtauung benötigt. Das bei der Abtauung anfallende Wasser wird dann in einer Meßstette außerhalb des Lagerraumes aufgefangen und die Menge gemessen. Wie schon erwähnt: Da dieses Wasser fast ausschließlich durch die Frucht abgegeben wird, kann in CA/ULO-Räumen damit ein recht genaues Urteil über die Fruchtentfeuchtung abgegeben werden. Für die Fruchtgesundheit sind nach bisherigen Erfahrungen auch 2,5 % Entfeuchtung

Der Apfel im künstlichen Schlaf, wie funktioniert das physiologisch?

Insgesamt 11 Kühlräume stehen dem Obstbau-Versuchsgut Heuchlingen für die Langzeitlagerung zur Verfügung, pro Saison wird darin 400 t Lagergut eingebracht. In diesem Zusammenhang ist zu erwähnen, daß jedes Sortenspektrum eigene Lagerbedingungen benötigt. Zu kontrollieren sind die Faktoren Fruchttemperatur, CO₂-Gehalt, O₂-Gehalt und Feuchte. Ziel ist es, bei einer Lagerdauer von Kernobst (Äpfel und Birnen) bis zu 300 Tagen einen nur minimalen Qualitätsverlust zu verzeichnen. In Heuchlingen hatte man sich hierzu für das CA/ULO-Lager-Verfahren entschieden. Was heißt das, wie funktioniert das? Auf die Kältetechnik wird im weiteren Verlauf dieses Beitrags noch ausführlich eingegangen, zunächst soll hier der CA/ULO-Ablauf – also die Maßnahmen für eine kontrollierte Atmosphäre bei niedrigem Sauerstoffgehalt – beschrieben werden. Die Funktion:

- Nach Einbringung des Lagergutes – hier Äpfel – wird der Kühlraum mit N (Stickstoff) geflutet, hierdurch wird Sauerstoff durch Überdruck ausgewaschen, abgesaugt und über das Gebäudedach ausgeblasen. Es verbleibt somit ein Restsauerstoffgehalt von 1,5–2 % O₂.



Das zielgerichtete Entfeuchten wird durch die Abtauwasser-Meßmethode kontrolliert. Je nach Lagersorte fallen im Monat zwischen 27 und 54 Liter Abtauwasser in einem 50-t-Lager an

nicht nachteilig und eine Zusatzbefeuchtung wird bei optimaler Anlagen- und Regeltechnik – hierbei spielt die Auslegung der Kälteanlage eine mitentscheidende Rolle – meist nicht benötigt.



Alle Funktionen und Meßwerte werden elektronisch erfaßt und am Bildschirm auf Abruf visualisiert. Hierzu gibt Versuchstechniker Paul Rief einige Erläuterungen. Dahinter die Adsorber-Zentrale mit Aktivkohle für die kontrollierte CO₂-Atmosphäre



Raum 4: Einwandfreie Temperaturführung durch den Solewärmetauscher. Sie liegt im Mittel zwischen 1,7 °C und 2,5 °C

obstlagerraum mit 50 t Lagergut werden je nach Lagersorte im Monat ca. 27 bis 54 l Wasser als Kondensat über die Wärmetauscher abgeführt.

Eine Besonderheit des CA/ULO-Lagers bilden die „Ausgleichslungen“. Es sind segeltuchartig geschlossene Gebilde, sie hängen wie Fledermäuse außerhalb der Kühlräume an den angrenzenden Raumdecken und erfüllen folgende physikalische Aufgaben: Bei 1 K Schaltdifferenz erfolgt in einem 50-t-Kühlraumlager schon eine Volumenveränderung von ca. 2,5 %. Den Ausgleich schafft die künstliche Lunge. Das heißt, während der Erwärmungsphase wird sauerstoffarme Luft in die Lunge geblasen, bei Einsetzen der Abkühlphase wird die Luft aus der Lunge wieder dem Raum zugeführt.

Zweikreis-Systemtechnik NH₃/Sole von Kälte Eckert Markgröningen

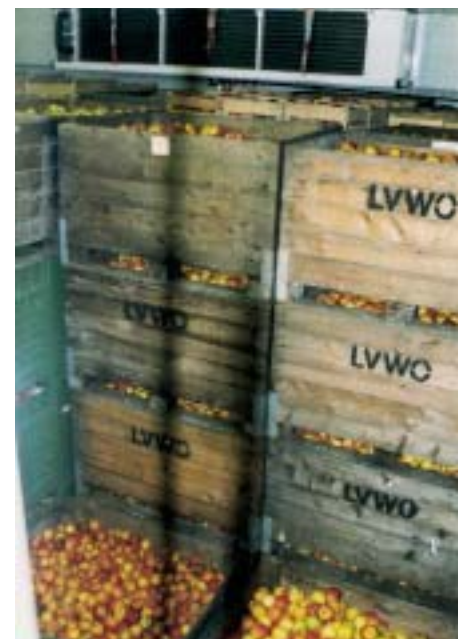
Erstmals wurde für die Kühlung von Kernobst für Raumtemperaturen zwischen -1 °C bis +4 °C die Zweikreis-Systemtechnik eingesetzt. Hierbei handelt es sich um ein überflutetes Ammoniak-Kältesystem mit luftgekühltem Axialkondensator und automatischer Ölrückführung über Druckdifferenz. Planung und Ausführung erfolgten durch den mittelständischen Kälte-Klima-Fachbetrieb Kälte Eckert GmbH im schwäbischen Markgröningen in der Nähe von Stuttgart.

- Der Apfel atmet während der Lagerung, er nimmt dabei O₂ auf. Gleichzeitig „produziert“ er CO₂ durch das Atmen. Infolge des geringen O₂-Gehalt in der Kühlraumluft und deren somit erhöhten CO₂-Gehalt (der normale CO₂-Anteil in der Luft beträgt 0,5 % und weniger CO₂) verfällt der Apfel in den vom Obstbauern gewollten künstlichen Schlaf; das heißt, er reduziert seinen natürlichen Atmungsprozeß.
- Die CO₂-Konzentration im Raum steigt während der Lagerzeit an, somit muß CO₂ über einen Adsorber mit Aktivkohle aus dem Kühlraum abgeführt werden.
- Vor der Entnahme des Lagergutes muß der Kühlraum etwa einen Tag lang mit Frischluft geflutet werden, ehe die Kühlraumtür für die menschliche Gesundheit gefahrlos geöffnet werden kann.

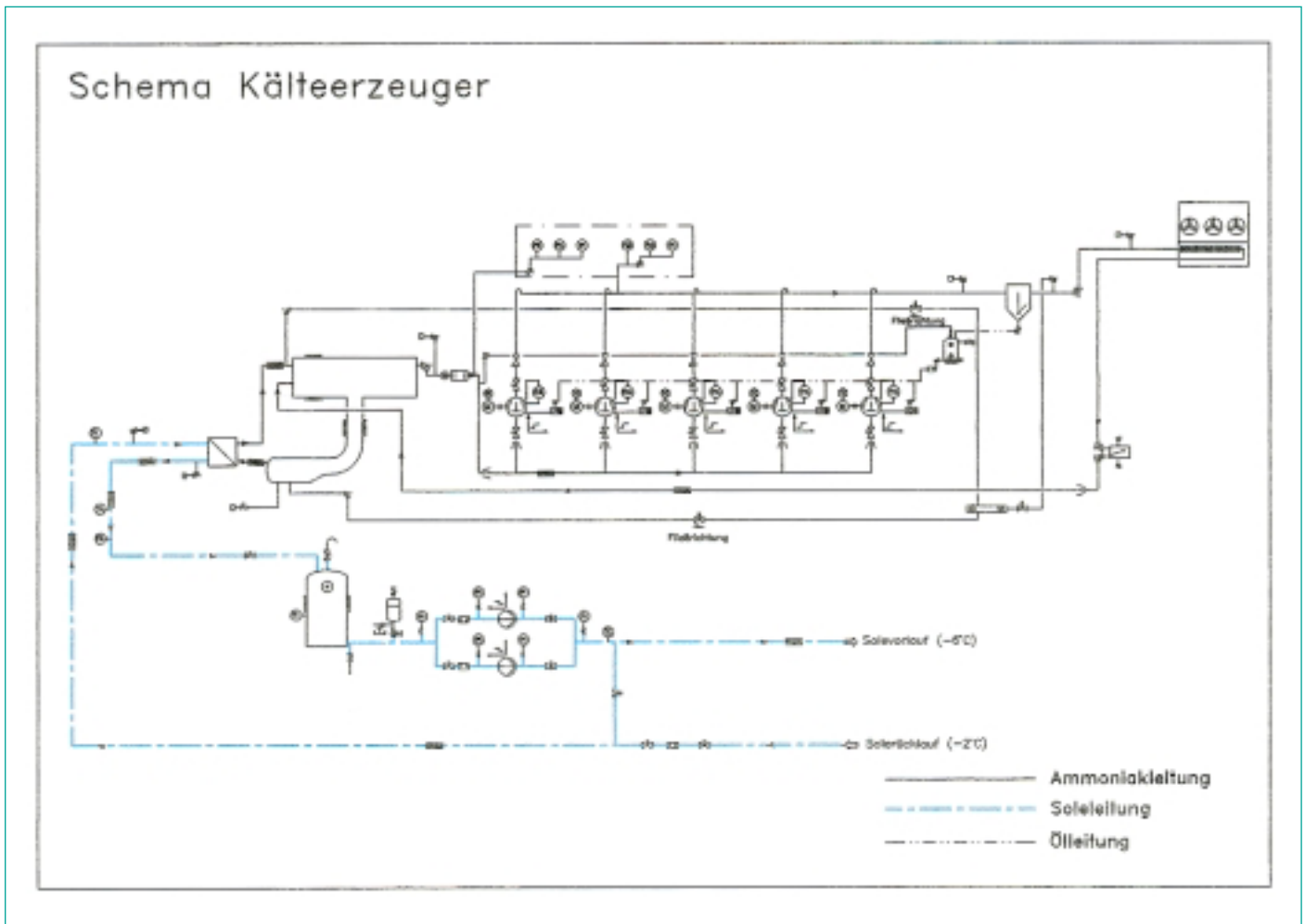
Die Stapelhöhe der Obstkisten endet spätestens Unterkante Luftkühler, damit eine gute Luftwalzenbildung gewährleistet wird, ist bei der Einlagerung der Kisten ein ausreichender Wandabstand einzuhalten.

Die Luftleistung der Ventilatorluftkühler darf das 35fache des Raumvolumens nicht übersteigen, da CO₂ schwerer als Luft ist, ist ein Dauerbetrieb der Ventilatoren erforderlich.

Zur Sicherstellung einer nur minimalen Entfeuchtung werden Wärmetauscher mit einer ca. 50 %igen Flächenreserve eingesetzt. Der Lamellenabstand beträgt 7 mm. Die anfallende Kondensatmenge wird nun über den Zeitraum der Lagerdauer im Obstbau-Versuchsgut Heuchlingen gemessen und ausgewertet. Um hierzu eine Vorstellung zu vermitteln: In einem Kern-



Die Stapelhöhe des Obstlagergutes darf keinesfalls höher als bis Unterkante Ventilatorluftkühler sein. Auch ein ausreichender Wandabstand trägt zu einer guten Luftwalzenbildung bei



Schema Kälteerzeuger Ammoniak/Sole

Der Familienbetrieb, geführt von Horst Eckert und seinen Söhnen Michael und Holger – beide mit Fachhochschul-Ingenieurabschluß versehen – war nach einsetzender FCKW-Ozonproblematik einer der wenigen Kälte-Klima-Fachbetriebe, die sich verstärkt der Nutzung des Kältemittels Ammoniak zuwandten. Kälte Eckert bildete seinerzeit auch den südwestdeutschen Stützpunktleiter des ehemaligen Ostberliner Schraubenverdichtherstellers Kühlautomat. Durch das erworbene Know-how beider Söhne – Michael auch mit Auslandserfahrungen beim renommierten Unternehmen Star Refrigeration in UK wird heute im nach wie vor handwerklich orientierten Kälte-Klima-Fachbetrieb ingenieurmäßig gedacht, geplant – und hierbei die CAD-Technik mehr denn je während der Planungsphase genutzt; siehe die hier veröffentlichten Anlagenschemen, Fließbilder und der Aggregataufbau.

Die installierte elektrische Leistung der NH₃-Kälteanlage beträgt 100 kW, die benötigte Kälteleistung der Kälteerzeuger



CAD-Zeichnung des Maschinenaufbaus mit 5 HKT-Goeldner-Verdichtern

für die 11 Kernobst-Lagerräume in Heuchlingen ist mit 75 kW ca. 30 % kleiner als die installierte Verbraucherleistung. Dies wurde aufgrund eines klein angesetzten Gleichzeitigkeitsfaktors möglich. Für den Primärkreislauf wurden von Kälte-Eckert installiert:

- 5 NH₃-Hubkolbenverdichter der Type HKT 0343 DK 132, Fabrikat Goeldner, Kälteleistung 5 × 15 kW = 75 kW bei t_o – 10 °C und t_c + 39 °C,
- Plattenwärmetauscher des Fabrikats Thermovave,



Schema Soleverteilung

- Axialverflüssiger der Type AGVH 092C/2, Fabrikat Güntner, Kühlleistung 100 kW bei t_u 32 °C und t_c 39 °C,
- 46 kg Kältemittelfüllmenge NH₃, als Schmierstoff dient Mineralöl.
- Hochdruckschwimmer HR2-H, Fabrikat Witt, für die Kältemittelentspannung und
- Kältemittelabscheider EM Polar, CZ.

Der Solekreislauf (Sekundärkreislauf) ist ein geschlossenes Umwälzsystem mit Druckausgleichsbehälter und Sicherheitsventil. Die Solefüllmenge beträgt ca. 2200 l, gewählt wurde Pekasol 50, der Gefrierpunkt liegt bei -20 °C. Die Solevorlauftemperatur liegt bei -6 °C, die Rücklauftemperatur bei -2 °C. Für Leistungsschwankungen ist ein Pufferspeicher mit 2000 l Inhalt in das System integriert. Als Solepumpe wird das Fabrikat KSB verwendet, das Δp liegt bei 20 m, die Volumenleistung bei 21 m³/h. Um Lastschwankungen auszugleichen, ist die Pumpe über einen Frequenzumformer drehzahlregelt. Regelgröße ist



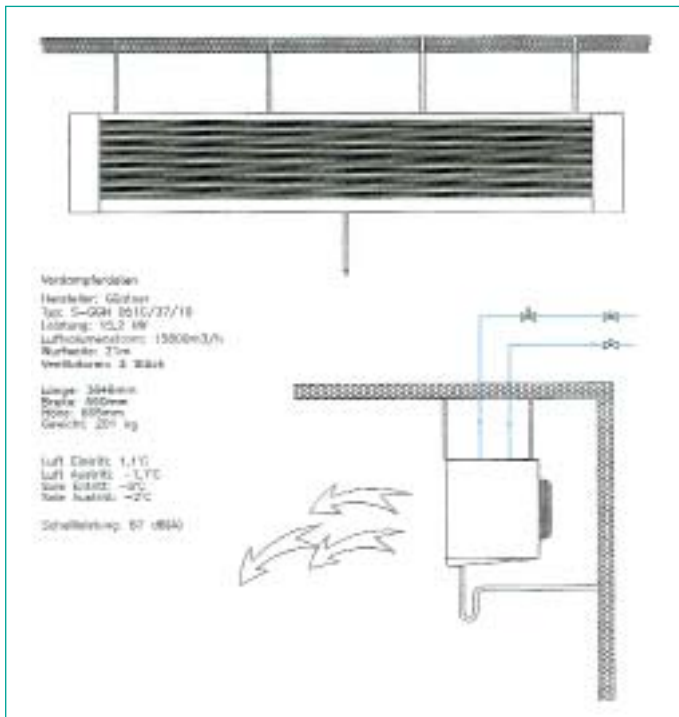
Schema Verdampferzuordnung in den einzelnen Lagerräumen



Teilansicht Maschinenraum mit Maschinengestell, Pumpenstation und Pufferspeicher



Michael Eckert erläutert das Handling unterschiedlicher Schaltschrankfunktionen



Einzelschema Luftkühler mit Solekreislauf und Luftführung

durchschnittlich bei 1,1 °C, die Luftaustrittstemperatur bei -1,1 °C. Die Abtauung erfolgt bis zu +1 °C über einen Umluftbetrieb, der Luftstrom drückend durch das Wärmetauscherpaket, sonst (bei der Birnenlagerung) über den Einsatz einer Elektroheizung.

Die Zweikreis-Systemtechnik (bisher einmalig bei der Kernobstlagerung) wurde komplett durch Kälte-Eckert installiert, der Elektroschaltschrank im eigenen Betrieb angefertigt, die Inbetriebnahme erfolgte im Jahr 1999. Die gesamte, aus Sicht der KK mustergültige Kälteanlage läuft bis dato (Anfang Februar 2001) störungsfrei. Knackig, saftig? Hier fehlt das ergänzende Qualitätsmerkmal „frisch“ in Bewertung einer praktischen Erprobung. Hiervon konnten sich überzeugen auf der anschließenden Weiterfahrt nach München Michael Eckert und P. W.

die Druckdifferenz an der Pumpe. Als Ventilatorluftkühler für den Solebetrieb wurde das Fabrikat Güntner ausgewählt, in den 11 Kühlräumen kamen die Typen S-GGN mit Kälteleistungen von 12,7 kW (1 Stck.), 15,2 kW (6 Stck.) und 4,7 kW (4 Stck.) zum Einsatz. Die Lufttrittstemperatur bei den schon genannten Solevor- und Rücklauftemperaturen liegt

Zeigen sich mit der Funktion der Zweikreis-Systemtechnik am 5. Februar sehr zufrieden: Betriebsleiter Roland Naumann (rechts) und Versuchstechniker Paul Rief (links) und natürlich (in der Mitte) Michael Eckert

