

# Fachveröffentlichung

## **Luftkühler, Luftströmungen und Temperaturverteilung in großen Kühllagern**



*Dipl. Ing. Heinz Jackmann*  
*Geschäftsfeldleiter Industriekälte*

Themenschwerpunkte:

Große Kühllager: Große Dimensionen und automatische Lagertechnik stellen neue Anforderungen an die Auswahl und Aufstellung der Luftkühler.

Darstellung der Untersuchung eines großen Tiefkühllagers in der Schweiz, Beantwortung der folgenden Fragen:

- Welcher Typ von Luftkühler ist optimal für welches Kühllager?
- Wie gut ist die Temperaturverteilung in großen Kühllagern mit einem Kaltluftsee und einer Luftzirkulation durch Thermik?
- Wie groß ist das Potential der Energieeinsparung durch den Einsatz unterschiedlicher Luftkühler?

## Vorwort:

Tiefkühllager werden mit immer größeren Dimensionen gebaut.

Besonders die Höhe der Kühllager hat sich in den letzten 10 Jahren verändert.

Moderne Hochregallager mit automatischen Fördersystemen erreichen heute eine Höhe von 30-40 m.

Die großen Dimensionen und die automatische Lagertechnik stellen neue Anforderungen an die Auswahl und Aufstellung der Luftkühler.

Kleine spezifische Kälteleistungen führen zu geringen Luftumwälzraten.

Quer zur Luftrichtung verlaufende Fachwerkträger unter der Decke oder Regalstützen behindern die Wurfweite der Ventilatoren.

Im Arbeitsbereich der automatischen Fördersysteme können keine Luftkühler aufgestellt werden.

Neben den baulichen Vorgaben muss auch die Forderung nach Energieeinsparung berücksichtigt werden.

In den letzten Jahren wurden in Europa große Kühllager mit einer Luftverteilung ohne Kanäle gebaut. Die kalte Luft fällt nach unten, verteilt sich wie ein Kaltluftsee, steigt durch Thermik nach oben und strömt unter der Decke zurück zum Luftkühler.

Wie gut ist die Temperaturverteilung in großen Kühllagern mit einem solchen Kaltluftsee und einer Luftzirkulation durch Thermik?

Wie können Strömungen und Temperaturen mit einer Computersimulation vorausberechnet werden?

Wie groß ist das Potential der Energieeinsparung durch den Einsatz unterschiedlicher Luftkühler?

Um auf diese Fragen eine Antwort zu finden haben wir ein großes Tiefkühllager in der Schweiz untersucht. Für das Lager mit einer Höhe von 32m wurde eine Computersimulation durchgeführt.

Anschließend haben wir die Temperaturen in dem Lager gemessen um festzustellen

- wie gut das Lager mit dieser Luftführung funktioniert

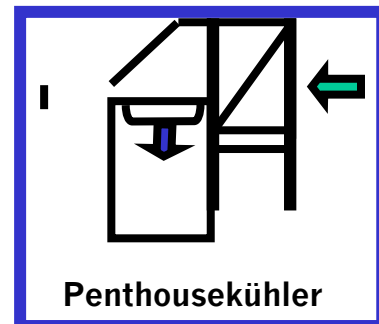
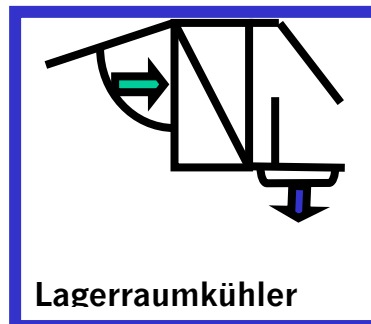
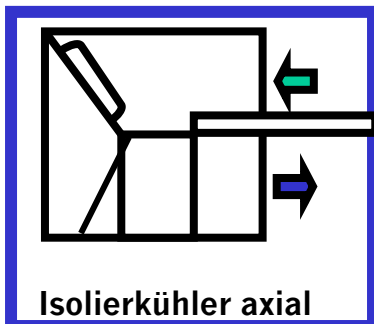
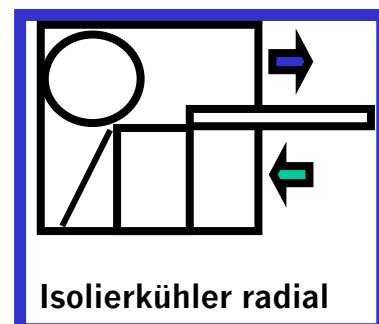
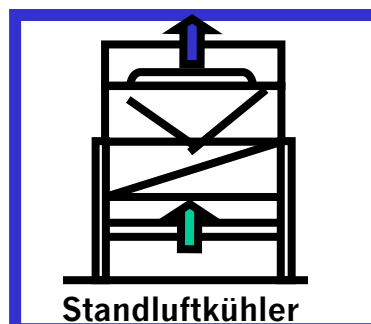
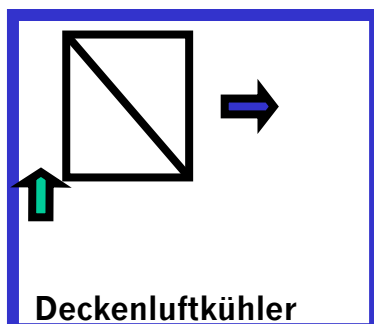
- und wie gut die Daten der Computersimulation mit den Messungen übereinstimmen.

## Gliederung

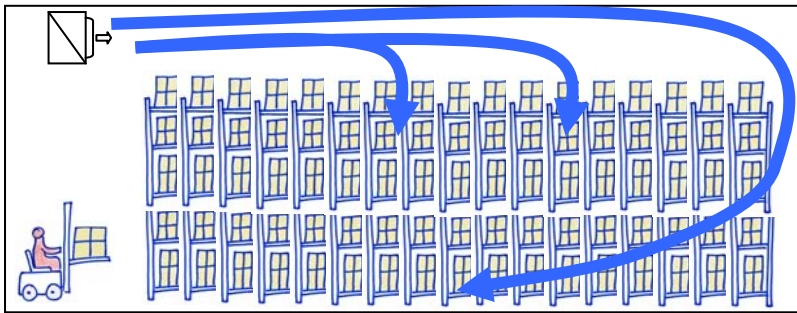
1. Luftkühler verschiedener Bauart in Tiefkühllagern
2. Beispiel eines großen Tiefkühllagers mit einer Luftverteilung ohne Kanäle und einer Luftzirkulation durch Thermik
3. Computersimulation der Strömungs- und Temperaturverteilung
4. Messungen der Temperaturen in diesem Tiefkühllager
5. Resüme

## 1. Luftkühler verschiedener Bauart in Tiefkühllagern

### 1.1 Übersicht



### 1.2 Deckenluftkühler mit horizontaler Luftführung



**Vorteil:** preisgünstig, kurze Lieferzeit

#### Voraussetzungen:

Wurfweite der Ventilatoren muss mind. so groß sein wie die Raumlänge

keine störenden Träger oder Lampen im Bereich der Decke

Entsprechender Freiraum zwischen der Stapelhöhe der Ware und der Decke

#### Resultat

Ventilatoren mit hoher Drehzahl und hoher Antriebsleistung

bauliche Einschränkung

begrenzte Stapelhöhe, begrenzte Raumausnutzung

### 1.3 Standluftkühler mit Kanälen zur Luftverteilung



**Vorteil:** Gute Luftverteilung auch bei schwierigen Raumverhältnissen

#### Voraussetzungen:

Aufstellfläche für den Standluftkühler im Kühllager

Kanäle für Luftverteilung

Ventilatoren mit externer Pressung

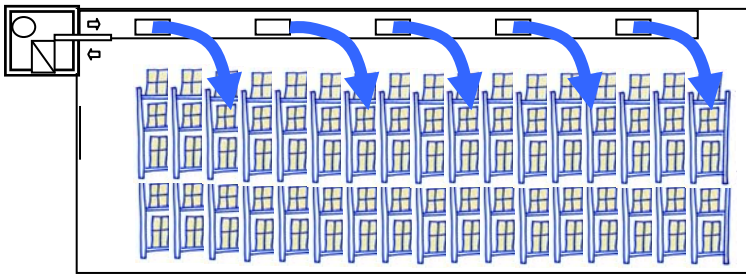
#### Resultat

blockiert Palettenplätze

Platzbedarf für das Kanalsystem  
höhere Investitionskosten

höhere Antriebsleistung  
höhere Betriebskosten

#### 1.4...Isolierkühler mit Luftkanal



**Vorteile:** Gute Luftverteilung auch bei schwierigen Raumverhältnissen  
Anordnung des Luftkühlers außerhalb der Lagerfläche  
Gutes Abtauverhalten  
Gute Zugänglichkeit für Service

#### Voraussetzungen:

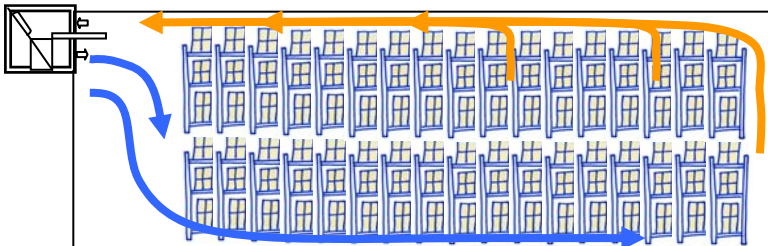
Kanalsystem zur Luftverteilung  
Ventilatoren mit externer Pressung

#### Resultat

Platzbedarf für das Kanalsystem  
Investitionskosten für Kanäle  
höhere Antriebsleistung  
höhere Betriebskosten

#### 1.5 Isolierkühler ohne Luftkanäle

Luftverteilung über Kaltluftsee, Luftzirkulation unterstützt durch Thermik



**Vorteile:** Kein Kanalsystem  
Ventilatoren ohne externe Pressung  
Hohe Ausnutzung des Raumvolumens  
Luftzirkulation unterstützt durch Thermik  
Anordnung des Luftkühlers außerhalb der Lagerfläche  
Gutes Abtauverhalten  
Gute Zugänglichkeit für Service

→ geringe Investitionskosten  
→ geringe Betriebskosten  
→ mehr Stapelhöhe  
→ optimale Luftzirkulation für Verschieberegallager

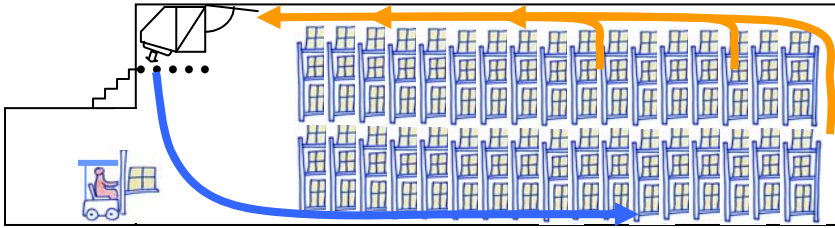
#### Voraussetzungen:

Freiraum für vertikale Luftzirkulation zwischen Regalsystem und Außenwand  
Raum für die Verteilung der Kaltluft vor und unterhalb des Kühlers  
Verhältnis Raumlänge zu Raumhöhe max. ca. 3:1

#### Resultat

Abstand zwischen Regal und Wand, 30 – 50cm  
Anordnung über dem Transportgang

### 1.6...Lagerraumkühler



- Vorteile:**
- Kein Kanalsystem
  - Ventilatoren ohne externe Pressung
  - Keine große Wurfweite
  - Hohe Ausnutzung des Raumvolumens
  - Luftzirkulation unterstützt durch Thermik
- geringere Investitionskosten
  - geringere Betriebskosten
  - niedrige Ventilatorumdrehzahl
  - mehr Stapelhöhe
  - optimale Luftzirkulation für

#### Voraussetzungen:

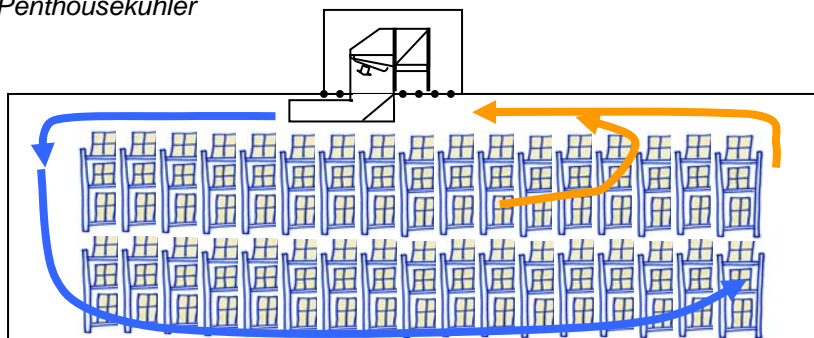
Freiraum für vertikale Luftzirkulation zwischen Regalsystem und Außenwand  
 Raum für die Verteilung der Kaltluft  
 Verhältnis Raumlänge zu Raumhöhe max. ca. 3:1  
 Servicebühne für Luftkühler

#### Resultat

Abstand zwischen Regal und Wand 30 -50cm  
 Anordnung über dem Transportgang  
 Investitionskosten

**Arbeitsbereich von Personen beachten ! Zugluft unterhalb der Kühler bei geringer Raumhöhe !**

### 1.7...Penthousekühler



#### Vorteile:

- Anordnung des Luftkühlers außerhalb der Lagerfläche
- Hohe Ausnutzung des Raumvolumens
- Gute Zugänglichkeit für Servicearbeiten
- Kein Servicepersonal im TK-Lager
- Rohrleitungen und Ventile werden über Dach verlegt
- Austausch defekter Geräte ohne bauliche Veränderung
- Erweiterung des TK Lagers ohne Veränderung des Kältesystems möglich

#### Voraussetzungen

Kurzes Kanalsystem erforderlich  
 Ventilatoren mit ca. 65 Pa. externer Pressung  
 Penthouse auf dem Dach des Tiefkühllagers

#### Resultat

Luftkanäle  
 höhere Betriebskosten  
 Investitionskosten

### 1.8. Trends für Tiefkühl- und Logistiklager

- Tiefkühllager werden immer größer und höher.
- Wenig Kühlleistung für große Raumvolumen
- Kleine Luftumwälzrate
- Hochregallager mit automatischen Fördersystemen
- Verschieberegallager für optimale Raumausnutzung
- Einsparung von Energiekosten und Investitionskosten

#### **Die Energiekosten sind entscheidend für die Wirtschaftlichkeit eines Tiefkühllagers.**

Deshalb ist es wichtig für jedes Kühlhaus ein optimales Anlagenkonzept und optimale Luftkühler zu wählen.

Durch Ventilatoren mit niedriger Antriebsleistung kann Energie eingespart werden.

Dies ist besonders interessant, weil für den Energieverbrauch sowohl die Leistungsaufnahme der Ventilatoren berücksichtigt werden muss, wie auch der zusätzliche Energieverbrauch der Kälteanlage, der benötigt wird um die Antriebsleistung der Ventilatoren als Wärme aus dem Kühlhaus wieder abzuführen.

In Europa wurden in den letzten Jahren große Tiefkühlhäuser gebaut, bei denen die Luftzirkulation unterstützt wird durch Thermik. Die kalte Luft fällt nach unten, verteilt sich auf dem Boden wie ein Kaltluftsee, steigt durch Thermik nach oben und strömt unter der Decke zurück zum Luftkühler.

Bei dieser Art der Luftführung ist es möglich

- in großen Kühllagern kleine Luftumwälzraten zu realisieren
- Ventilatoren mit niedriger Drehzahl und niedriger Antriebsleistung einzusetzen.

Dadurch können Betriebskosten eingespart werden, und es entfallen die Investitionskosten für die Luftkanäle.

Tiefkühllager mit automatischen Fördersystemen eignen sich oft für diese Art der Luftführung.

Wie verhalten sich die Luftströmungen in solchen Lagern und wie gleichmäßig ist die Temperaturverteilung?

Güntner hat Tiefkühllager untersucht, die nach diesen Vorgaben gebaut wurden.

In dieser Präsentation zeigen wir Ihnen die Ergebnisse einer Studie für ein bestehendes Tiefkühllager in der Schweiz.

## **2. Beispiel eines großen Tiefkühllagers mit einer Luftverteilung ohne Kanäle und einer Luftzirkulation durch Thermik**

Bauherr und Betreiber Migros Verteilbetrieb Neuendorf AG, Schweiz

Art des Lagers Logistiklager für 25.800 Paletten  
Hochregallager mit fest stehenden Regalen  
Automatisches Fördersystem für die Paletten  
Wareneingang über Schleuse

Anzahl der Kühlräume 4

Abmessungen Tiefkühllager Länge: 83 m  
Breite: 63 m  
Höhe: 32 m  
Stapelhöhe ca. 29 m (14 Paletten)

Lagertemperatur - 28° C

|                             |                           |         |
|-----------------------------|---------------------------|---------|
| Erforderliche Kälteleistung | Transmissionswärme        | 144 KW  |
|                             | Warenabkühlung            | 122 KW  |
|                             | Antriebe und Ventilatoren | 146 KW. |
|                             | Türöffnungsverluste       | 35 KW   |

-----  
Summe Kälteleistung 447 KW

Installierte Kälteleistung bei 10 Std. Betriebszeit: 1.074 KW

Installierte Kälteleistung pro Kühlraum 268,5 KW

Planung und Ausführung der Kälteanlage York Industriekälte in Senden

Kälteerzeugung

3 Schraubenverdichter York SAG 80

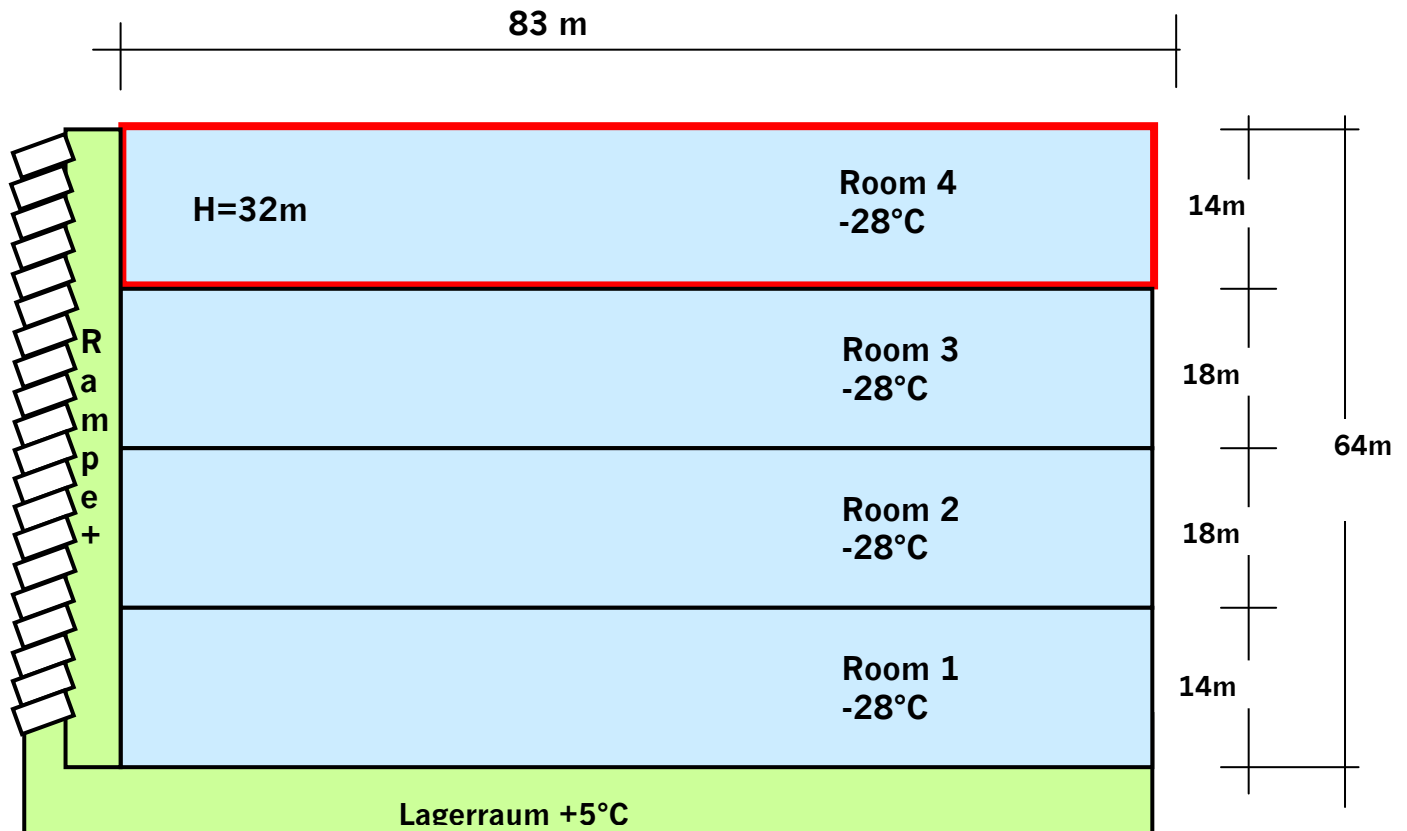
1 Kolbenverdichter SABROE Serie SMC

Luftkühler: 12 Güntner – Lagerraumkühler Typ S GHS 081D/310

Anzahl Luftkühler pro Kühlraum 3 Stück.

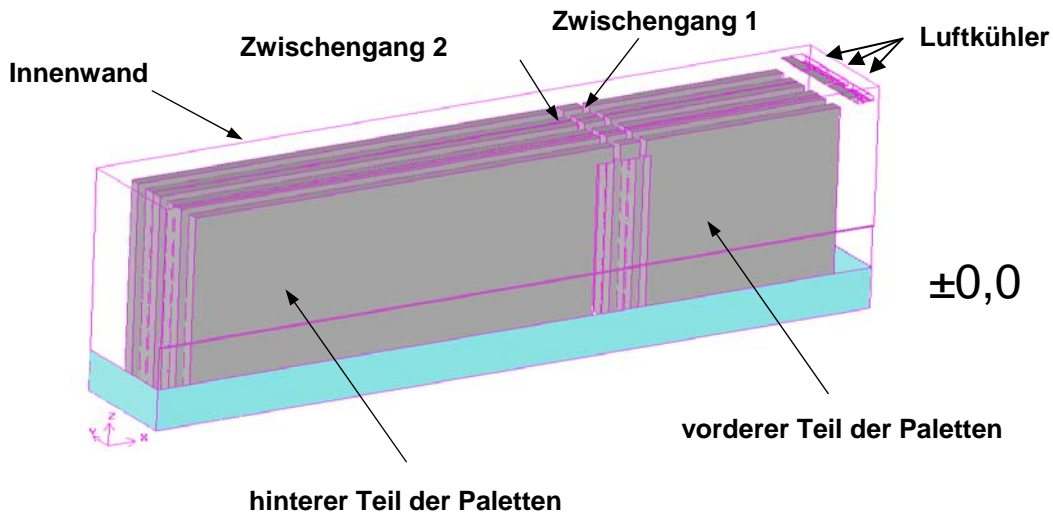
|                 |                                  |
|-----------------|----------------------------------|
| Kältemittel:    | NH3 Pumpenbetrieb                |
| Kälteleistung:  | 91 KW                            |
| Raumtemperatur  | - 28 ° C                         |
| Luftmenge       | 52.600 m <sup>3</sup>            |
| Lamellenabstand | 10 mm                            |
| Ventilatoren    | 3 Stück D = 800 mm mit je 1,4 KW |
| Abmessungen     | L = 4150 mm                      |
|                 | B = 1700 mm                      |
|                 | H = 1400 mm                      |

2.1.Raumaufteilung: Das Tiefkühlager ist aufgeteilt in 4 Segmente



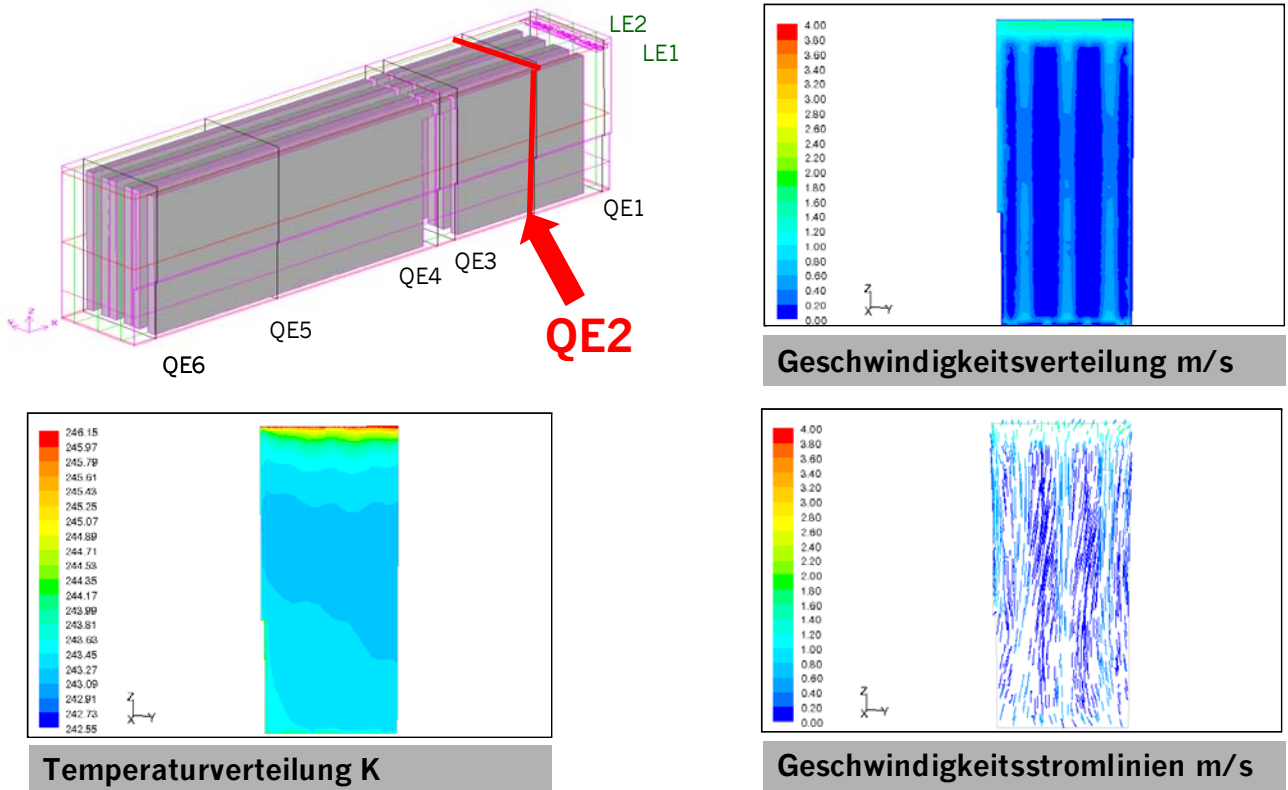
### 3. Simulationsberechnungen der Strömungs- und Temperaturverhältnisse

#### 3.1. Darstellung des Berechnungsgebietes



Bei der Computersimulation kann die Luftgeschwindigkeit, die Strömungsrichtung und die Temperaturverteilung in allen vorgegebenen Querschnitten, Höhenschnitten und Längsschnitten dargestellt werden. Die folgenden Beispiele zeigen eine Auswahl der grafischen Darstellungen.

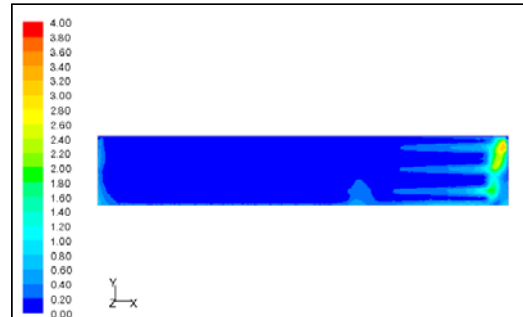
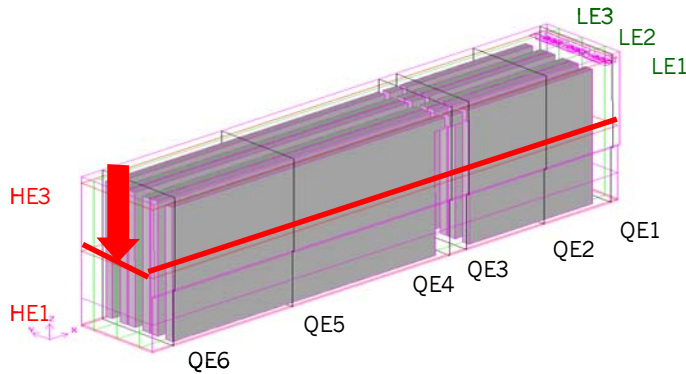
#### 3.2. Beispiel: Ergebnisse der Querebene QE 2



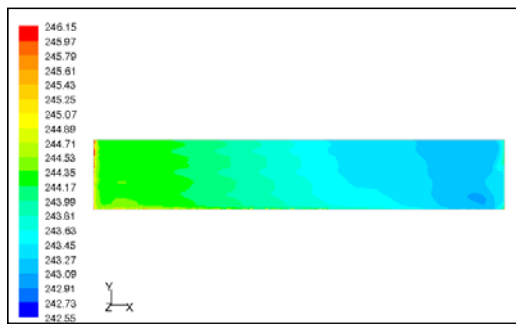


Im Schnitt der Querebene 2 kann man erkennen, dass eine ausgeprägte Luftgeschwindigkeit in den Gängen vorhanden ist. Die Luft strömt von den Luftkühlern auf die gegenüberliegende Seite des Raums. Ein Teil der Luft strömt nach oben. Es bildet sich eine dünne Grenzschicht wärmerer Luft unter der Decke und strömt zurück zu den Kühlern

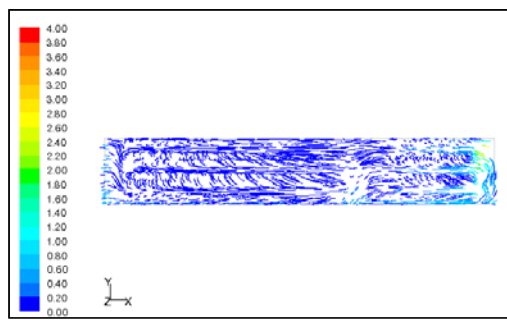
### 3.3.Beispiel: Ergebnisse der Horizontalebene HE 2



**Geschwindigkeitsverteilung m/s**



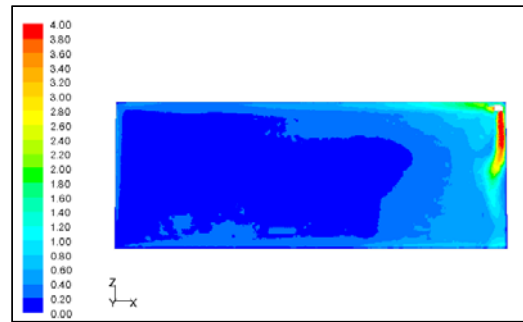
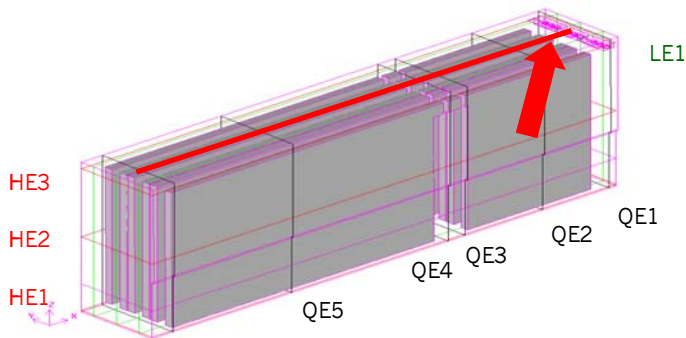
**Temperaturverteilung K**



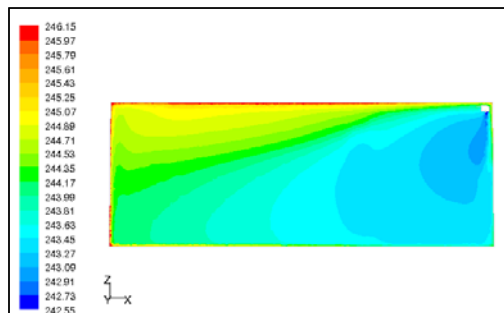
**Geschwindigkeitsstromlinien m/s**

Die Luftgeschwindigkeit in den Gängen baut sich nach ca. 20m ab. Die kalte Luft strömt langsam in den Gängen bis zum Ende des Raums. In einer dünnen Grenzschicht an den äußeren Wänden steigt die Luft durch Thermik nach oben. Der Temperaturunterschied über die Länge des Raums beträgt in dieser Ebene ca. 1,8 K

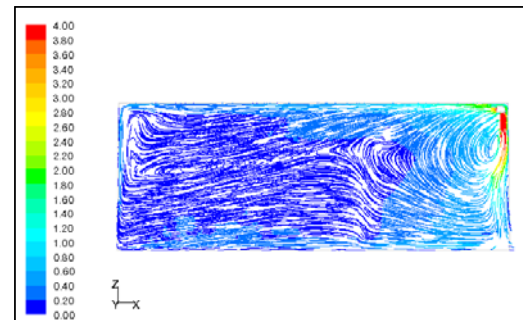
### 3.4. Beispiel: Ergebnisse der Längenebene LE 2



Geschwindigkeitsverteilung m/s



Temperaturverteilung K



Geschwindigkeitsstromlinien m/s

Die grafische Darstellung der Luftströmung zeigt, dass nur ein Teil der Luft nach ca. 20m Raumlänge zum Kühler zurück strömt. Der größte Teil der Luft strömt durch den Raum bis zur gegenüberliegenden Außenwand, steigt dort auf und strömt unter der Decke zurück zu den Luftkühlern. Im Bereich der Außenwand und der Decke erkennt man eine dünne Grenzschicht mit wärmerer Luft.

### 3.5 Ergebnis der Computersimulation:

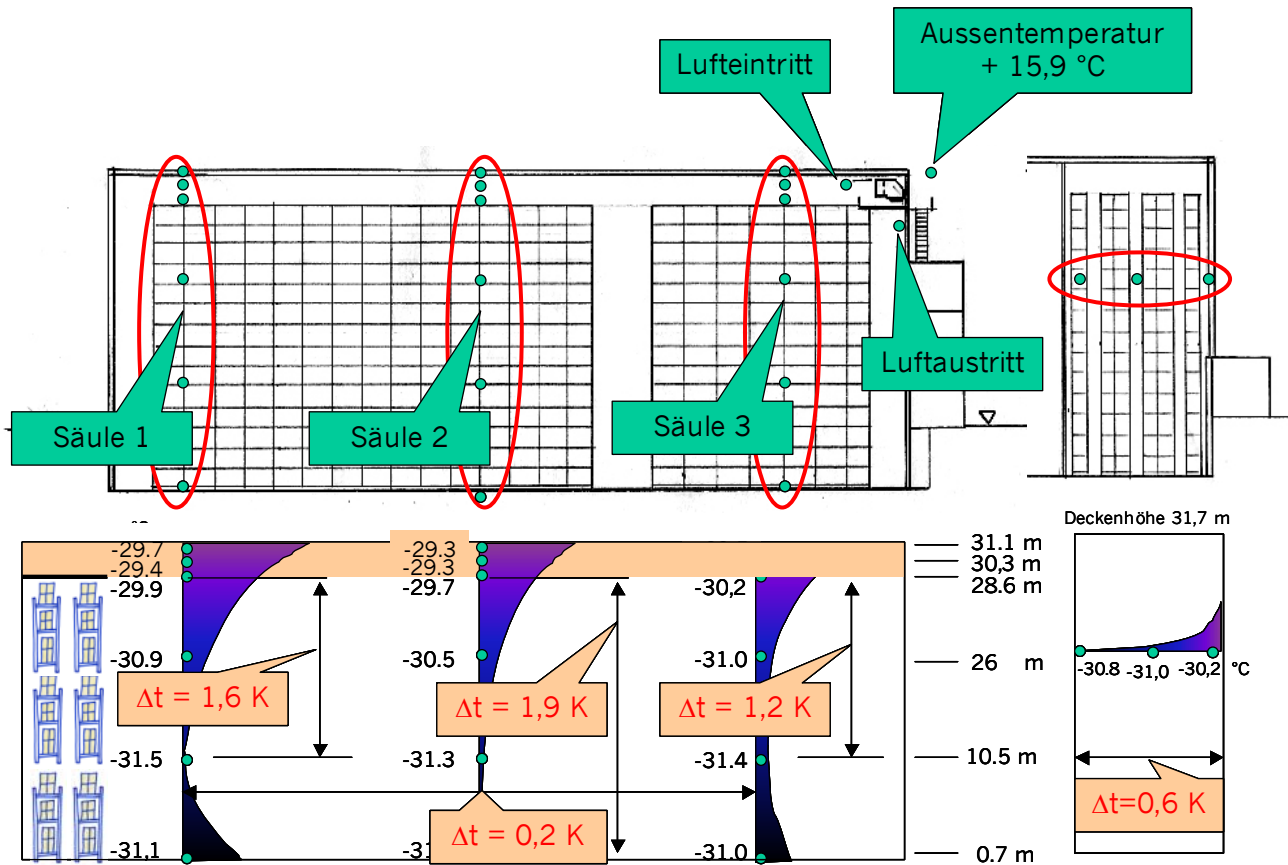
Temperaturspreizung über die Länge im Bereich der Paletten

|                      |       |
|----------------------|-------|
| Im Fußbodenbereich   | 1,3 K |
| Im mittleren Bereich | 1,8 K |
| Im oberen Bereich    | 2,0 K |

Die wärmste Lufttemperatur im Deckenbereich liegt bei  $-28^{\circ}$  C im Sollbereich.

#### 4. Messungen der Temperaturen in diesem Tiefkühlager

##### 4.1. Temperaturen als gemittelte Werte über einen Messzeitraum von 7 Tagen



##### 4.2. Ergebnis der Messungen

Im gesamten Bereich der Paletten beträgt die max. Temperaturdifferenz 1,9 K zwischen der kältesten und der wärmsten Messstelle.

Die Temperaturen liegen an allen Messstellen unter  $-28^\circ \text{C}$  und damit im Sollbereich.

#### 5. Resümee

Mit einer Luftumwälzrate von 4,2 und einer Luftführung unterstützt durch Thermik kann eine gleichmäßige Temperaturverteilung in großen Tiefkühl-Lagerräumen erreicht werden.

Die Computersimulation der Strömungs- und Temperaturverhältnisse liefert gute Anhaltspunkte um die spätere Funktion eines Kühllagers zu beurteilen.