

Unterfrierung – Gefahr für das Kühlhaus

Teil 1 einer zweiteiligen Serie

Jörn Oheim, Helmut Oheim

Die Hebungen des Fußbodens in Tiefkühlslagern durch das Eindringen von Frost in den Untergrund sind ein Schrecken für alle Betreiber von Tiefkühlslagern. Die Hebungen können zehn, zwanzig, vierzig Zentimeter und darüber betragen und haben entsprechend verheerende Wirkungen für den Baukörper und den Betrieb des Tiefkühlslagers. Zur Verhütung der Unterfrierungen werden unter der Fußbodendämmung der Tiefkühlslager Unterfrierschutzheizungen eingebaut. Die Frosthebungen entstehen infolge des Ausfalles der Unterfrierschutzheizungen oder deren Temperaturfühler. Dies betrifft sowohl Elektroheizungen als auch Heizungen mit Flüssigkeitsumlauf. Wegen der Unzugänglichkeit der Heizungen unterhalb der Fußbodendämmung sind die Ausfallursachen im Einzelnen meist unbekannt. Die Praxis zeigt, dass immer wieder auch elektrische Heizmatten mit Reserveheizleitern komplett ausfallen.

Durch Unterfrierschutzheizungen mit auswechselbaren Heizelementen und auswechselbaren Temperaturfühlern gilt es beim Bau von Fußböden für Tiefkühlslager vor dem Schaden klug zu sein. Die praktische Umsetzung dieser ausgereiften Lösungen ist eine der wichtigsten und spannendsten Entwicklungen beim Bau von Tiefkühlslagern der letzten Jahre.

Was tun bei Frosthebungen?

Der Ausfall der Unterfrierschutzheizungen ist ein großes Problem, wenn die Heizelemente oder Flüssigkeitsrohre nicht auswechselbar sind. Zu entscheiden ist dann zwischen drei Alternativen: Das Tiefkühlslager einer anderen, geringwertigeren Nutzung zuführen, beispielsweise die Weiternutzung als Plus-Kühlslager. Das bedeutet einen schweren Einschnitt ins logistische Konzept des Betriebes und ist natürlich immer ein großer materieller Verlust. Oder man lagert das Tiefkühlslager außer Betrieb und bricht den Fußboden ab. Dann taut man den gefrorenen Boden auf und tauscht ihn teilweise aus, baut eine neue Unterfrierschutzheizung und einen neuen gedämmten Fußboden ein und nimmt das Tiefkühlslager wieder in Betrieb. Unter der Berücksichtigung der zusätzlichen Transportwege für das Tiefkühlslager während der Außerbetriebnahme

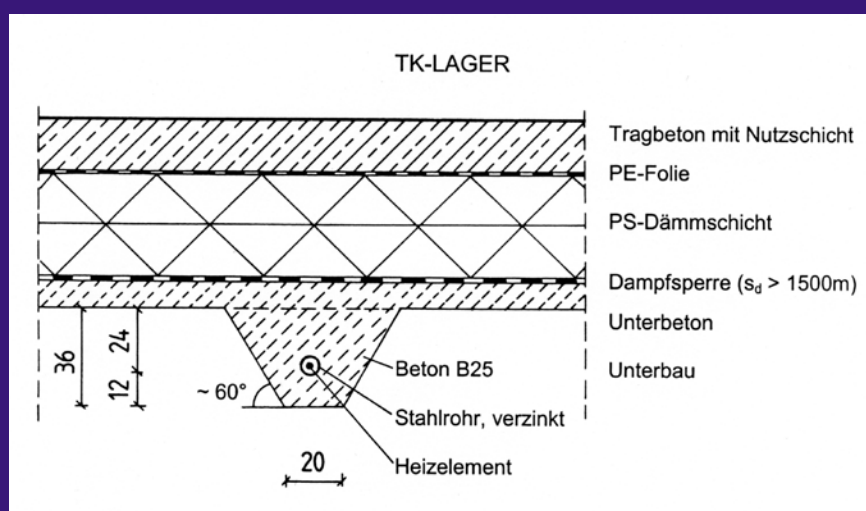
kann sich insgesamt schnell ein Millionenschaden summieren. Auch der patentierte nachträgliche Einbau von zentralen Wärmequellen mit auswechselbaren Heizelementen mittels vertikalen oder horizontalen Bohrungen ist eine Möglichkeit.

Sanierung während des Betriebs

Welche Lösung zur Anwendung kommt, muss von Fall zu Fall entschieden werden. Als günstigste Lösung hat sich in den meisten Fällen der nachträgliche Einbau von zentralen Wärmequellen erwiesen. Diese Sanierung wurde bereits bei einer großen Zahl von Tiefkühlslagern mit einer Gesamtfläche von über 120 000 Quadratmetern mit großem Erfolg ausgeführt. Wichtig sind die vom Untergrund und vom Baukörper abhängigen Voraussetzungen für die Bohrungen. Überwiegend wurden horizontale zentrale Wärmequellen von den Außenseiten der Tiefkühlslager aus eingebaut. Dies hat den Vorteil, dass die Tiefkühlräume während der Sanierung in Betrieb bleiben können. Der nachträgliche Einbau der zentralen Heizung ist natürlich kostenintensiv, aber meist noch die wirtschaftliche Lösung des Problems. Keinerlei Probleme treten auf, wenn die Heizelemente und Temperaturfühler von vornherein auswechselbar sind. Dafür bestehen sowohl bei den mit zentralen Wärmequellen sanierten Tiefkühlslagern als auch bei zahlreichen Tiefkühlslager-Neubauten ausgezeichnete langjährige Erfahrungen.

Unterfrierschutzheizungen für Tiefkühlslager-Neubauten

Die Lehre aus den Sanierungsfällen ist, beim Neubau von TK-Lagern anstelle der Flächenheizung schon von vornherein



Querschnitt A der Wärmequelle.

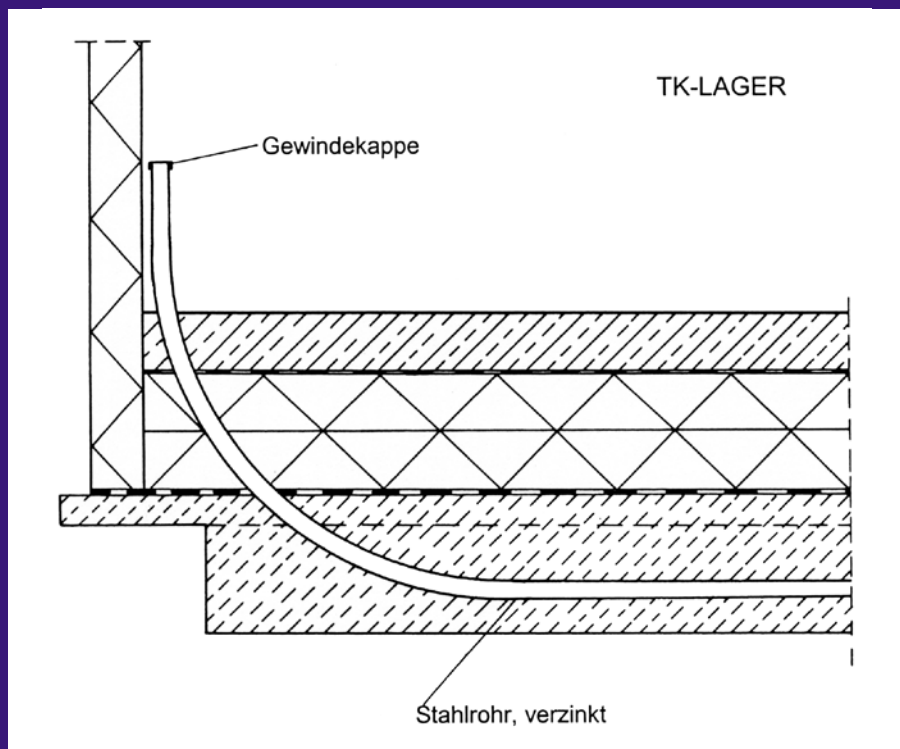


Bild oben: Schnitt B des Einführbogens für das Heizelement.

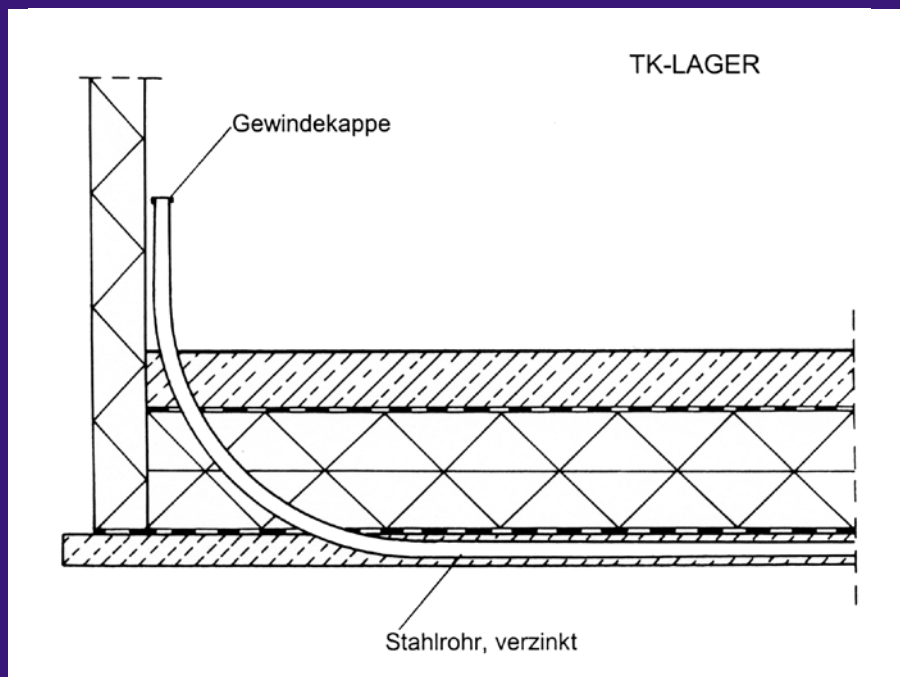


Bild unten: Schnitt C des Einführbogens für den Temperaturfühler.

reich in einem breiten Strom unter das Tiefkühlager strömt und somit keines baulichen Aufwandes bedarf

- Anordnung der zentralen Wärmequellen gezielt in den Bereichen, in denen der Wärmezustrom aus der Umgebung nicht ausreicht, das Unterfrieren zu verhindern

Es findet ein ergänzendes Zusammenspiel statt zwischen der natürlichen Wärme, die aus der Umgebung infolge der Wärmeleitung im Erdreich unter das TK-Lager strömt, und der Wärme, die die zentralen Wärmequellen abgeben. Dadurch wird eine sehr hohe Energieeffizienz erreicht. Die Temperaturfeldberechnungen erfassen das instationäre dreidimensionale Gesamttemperaturfeld unter dem Tiefkühlager und der angrenzenden Umgebung. Die Berechnungen und Messungen zeigen, dass für den Zustrom der Umgebungswärme hauptsächlich die Jahresmitteltemperatur der Umgebung maßgeblich ist. Grenzen die TK-Lager beispielsweise an freie Umgebung, so werden die großen Schwankungen der Temperaturen im Freien infolge des Wärmespeichervermögens des Erdreiches so stark gedämpft, dass im Randabstand von etwa fünf Metern nur noch eine Schwankung von $\pm 0,7$ K um den Mittelwert wirksam wird.

Die Wärmequellen werden im Untergrund mit einer Betonbettung eingebaut. Sie werden wie im Querschnitt A dargestellt ausgebildet. Der Einbau der Heizelemente erfolgt über Einführbögen gemäß Schnitt B. Dabei ist es möglich, die Einführbögen wie dargestellt innen vor der Paneelwand oder alternativ außen nach oben zu führen. Die Rohre für die Temperaturfühler werden direkt in der Betonschicht unter der Fußbodendämmung eingebaut und mit einem Einführbogen gemäß Schnitt C über den Fußboden geführt.

Leerrohre für auswechselbare Heizelemente und auswechselbare Temperaturfühler zu verlegen. Dies ist selbstverständlich mit viel geringerem Aufwand möglich als nachträglich bei einer Sanierung. Ein grundsätzlicher Vorteil beim Neubau ist, dass der gesamte TK-Lager-Fußboden frei von Zwängen optimal gestaltet werden kann. Auf der Grundlage von Wirtschaftlichkeitsberechnungen und Temperaturfeldberechnungen im Untergrund haben sich als optimale Gesamtlösung erwiesen:

- Verstärkung der Fußbodendämmung von traditionell 20 auf 40 Zentimeter und darüber
- rechnerische Einbeziehung der Umgebungswärme, also der Wärme, die aus den benachbarten Räumen und der angrenzenden freien Umgebung durch das gut wärmeleitende Erd-

Unsere Autoren sind Ingenieure und Geschäftsführer der Oheim Kühlraumbau GmbH in Magdeburg.

Beispiel Netto Worms

Ende 2006 wurde durch Netto Marken-Discount im Neubau des Logistikzentrums in Worms ein Tiefkühlager mit einer Grundfläche von rund 1300 Quadratmetern errichtet. Die Ausschrei-

Energie sparen, Bodenfrost vermeiden

Teil 2 einer zweiteiligen Serie

Jörn Oheim, Helmut Oheim

Eine dicke Fußbodendämmung ist für die zentrale Unterfrierschutzheizung nicht zwingend erforderlich, die Kombination aber besonders vorteilhaft. Wann sich Dämmungen von 40 Zentimetern und mehr durch Energieeinsparungen amortisiert haben, kann man berechnen. Im zweiten und letzten Teil der frischelogistik-Serie schildern wir praktische Umsetzungen des Konzepts der zentralen Unterfrierschutzheizung und deren Wirtschaftlichkeit.

Die patentierte Unterfrierschutzheizung wird bereits seit vielen Jahren im In- und Ausland auf einer Gesamtfläche der Tiefkühlager von bisher etwa 250 000 Quadratmeter mit großem Erfolg eingebaut. Am beeindruckendsten ist die Sanierung von zwei Tiefkühlhäusern in Treuen und in Wolmirstedt mit einer TK-Lagerfläche von je 12 500 Quadratmetern, bei denen durch den Ausfall von elektrischen Flächenheizungen jeweils Bodenhebungen von bis zu 40 Zentimetern aufgetreten waren. Durch die nachträglich mit Hilfe von Bohrungen eingebauten zentralen Wärmequellen konnten die Bodenhebungen fast vollständig beseitigt werden. Das vollständige Auftauen des bis in neun Meter Tiefe gefrorenen Untergrundes gelang mit der Zentralen Heizung, obwohl der Fußboden nur schwach gedämmt war (17 cm Schaumglas mit einem Dämmwert entsprechend 10 cm Polystyrol-Hartschaum).

Vorteile bei Umrüstung und Neubau

Sollen vorhandene Plus-Kühlager auf Tiefkühlung umgerüstet werden, wird durch den nachträglichen Einbau zentraler Wärmequellen die komplette Erneuerung des Fußbodens vermieden und Bauzeit gespart.

Die Austauschbarkeit der Heizelemente und Temperaturfühler sowie die Energieeinsparungen veranlassten neben zahlreichen anderen Anwendern auch Lidl, bisher 15 TK-Lager mit jeweils 1000 bis 1300 Quadratmeter Grundfläche von vornherein mit der Zentralen Heizung auszurüsten. Der bisher größte einzelne TK-Raum mit einer Grundfläche von 4000 Quadratmeter wurde im Edeka-Zentrallager in Hamm mit einer zentralen Unterfrierschutzheizung ausgeführt.

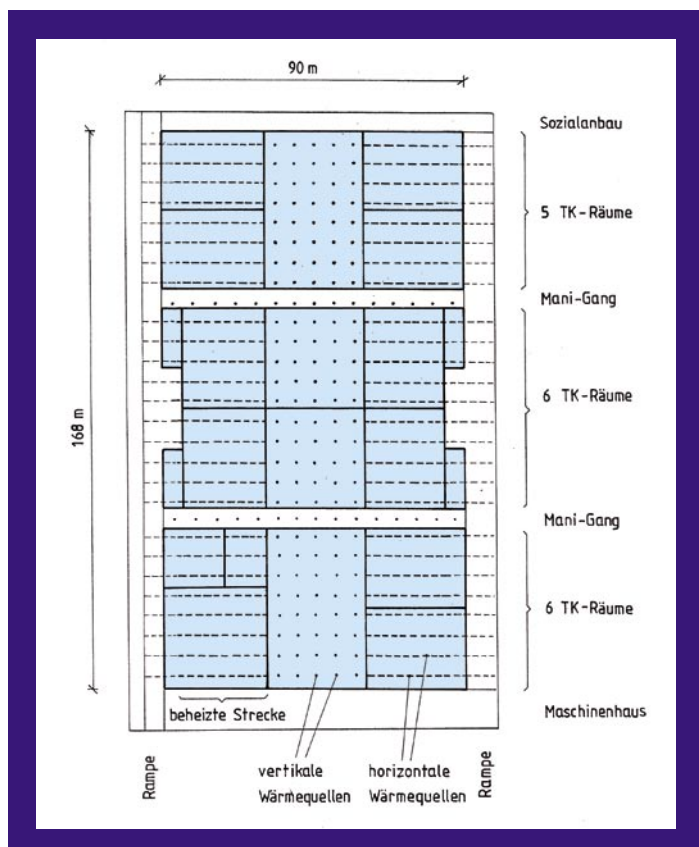
Betriebssicherheit

Die hohe Betriebssicherheit der zentralen Heizung lässt sich beeindruckend am besten damit belegen, dass in über 20 Jahren auf der Grundfläche der TK-Lager von etwa 250 000 Quadratmetern nicht auch nur ein Zentimeter Frosthebung zu verzeichnen ist. Andererseits wurden bei zahlreichen TK-Lagern durch Sanierungen herkömmlicher Unterfrierschutzheizungen mit Hilfe dieser Technik Frosthebungen bis zu 40 Zentimeter rückgängig gemacht. Die hohe Betriebssicherheit der Zentralen Heizung basiert auf folgenden Punkten:

- genaue Berechnung der instationären dreidimensionalen Gesamttemperaturfelder im Untergrund der TK-Lager und Sicherheitszuschläge bei der Auslegung der Unterfrierschutzheizung
- hohe Zuverlässigkeit der Heizelemente und Temperaturfühler
- leichte Austauschbarkeit der Heizelemente und Temperaturfühler im seltenen Fall eines Defektes
- große Transparenz des elektrischen Anschlusssystems der Heizung sowie monatliche Kurzkontrolle (bereichsweise Anzeige der Stromstärken, digitale Anzeige der Bodentemperaturen in den Regelpunkten, Betriebsstundenzählung)

Genaue Prognose dank Temperaturfeld-Berechnung

Selbst Kühlhausbau-Fachleute sind immer wieder von der Einfachheit der Unterfrierschutzlösung verblüfft. Teilweise be-



Sanierung des Unterfrierschutzes in Wolmirstedt.

steht Skepsis, ob denn wie im Beispiel des Netto-Lagers in Worms eine einzige zentrale Wärmequelle für einen sicheren Unterfrierschutz ausreicht. Immerhin gibt es einen Abstand von zwölf Metern zwischen der Wärmequelle und dem Rand des Tiefkühlagers auf der Seite des 16 °C warmen Trockenlagers. Hier ist darauf zu verweisen, dass bei der 40 Zentimeter dicken hochwertigen Fußbodendämmung aus Polystyrol-Hartschaum die dem Untergrund entzogene Wärme nur etwa 2 bis 2,5 W/m² beträgt und dass diese geringe Wärmemenge zu einem großen Teil durch den Wärmezustrom aus der Umgebung über das gut wärmeleitende Erdreich kompensiert wird. Nur ein Rest an Wärme ist durch die zentrale Wärmequelle ergänzend zuzuführen. Genau das wird mit Hilfe der dreidimensionalen Temperaturfeld-Berechnung im Untergrund der TK-Lager zuverlässig ermittelt. Diese Berechnungen wurden bereits bei einer großen Anzahl von Tiefkühlagern in der Praxis durch Messungen der Untergrundtemperaturen seit über 20 Jahre ausgezeichnet bestätigt. Klar gesagt werden muss auch, dass eine dicke Fußbodendämmung für die zentrale Heizung nicht zwingend erforderlich ist, wie es auch die zahlreichen Sanierungen des Unterfrierschutzes belegen. Der Einsatz einer dicken Fußbodendämmung begründet sich allein aus der Gesamtwirtschaftlichkeit für den TK-Lager-Fußboden. Für den Statiker stellt die Bettung der Stahlbetonfußböden auf 40 Zentimeter Polystyrol-Hartschaum und darüber selbst bei sehr hohen Belastungen durch die Stapler und die schweren Regale kein Problem dar. Auch diese Aussage wird durch die Praxis ausnahmslos bestätigt.

Bei einer solchen Dämmdicke ergibt sich gegenüber 20 Zentimetern eine unbedeutende, um ein bis zwei Millimeter größere Zusammendrückung. Dabei sind die Flächenpressungen in der 40 Zentimeter dicken Dämmung sogar etwas geringer, weil die Einzellasten des Fußbodens durch die elastisch gebettete Stahlbetonplatte auf eine größere Fläche verteilt werden.

Entfall einer Unterfrierschutzheizung

Bei TK-Lagern mit einer verhältnismäßig geringen Breite, die an ungekühlte Räume oder die freie Umgebung angrenzen, reicht die Umgebungswärme bei einer starken Fußbodendämmung häufig allein aus, um Unterfrierungen mit Sicherheit zu verhüten. Dann kann auf eine Unterfrierschutzheizung völlig verzichtet werden. Ein sehr interessantes Beispiel dafür ist ein etwa 12 Meter breites TK-Lager in Potsdam, welches seit etwa 14 Jahren ohne die Beheizung des Untergrundes betrieben wird. Die sicherheitshalber eingebaute zentrale Wärmequelle wurde nie in Betrieb genommen. Die bis 2005 reichenden 12-jährigen Messungen der Bodentemperaturen ergaben eine sehr gute Übereinstimmung mit den Berechnungen des instationären dreidimensionalen Temperaturfeldes. Im ungünstigsten Punkt nahe am Zentrum des TK-Lagers beträgt die minimale Bodentemperatur nach zwölf Betriebsjahren +2,5 °C. Die Absenkung der Bodentemperatur vollzog sich vor allem im ersten Betriebsjahr (84 Prozent). Nach fünf Jahren war die Absenkung mit +2,7 °C schon nahezu abgeschlossen (98 Prozent) und damit das Temperaturfeld im wesentlichen aufgebaut.

Aus diesen Messergebnissen lassen sich zwei wichtige Schlussfolgerungen ableiten: Erstens wird der Einfluss der Umgebungswärme im TK-Lager in Potsdam bei weiterhin unveränderten TK-Lagertemperaturen und Umgebungstemperaturen mit Sicherheit bis in alle Zukunft ausreichen, um das Unterfrieren zu verhüten. Zweitens ist der Wärmedämmwert der Fußbodendämmung über zwölf Jahre stabil, da andernfalls ein Nachlassen der Dämmwirkung natürlich vom sechsten bis zum zwölften Betriebsjahr eine spürbare kontinuierliche Abnahme der Bodentemperatur zur Folge gehabt hätte. Damit ist die hundertprozentige langjährige Wirkung einer Wasserdampfsperre aus einer bituminierten Aluminium-Bahn eindrucksvoll nachgewiesen.

In zahlreichen Bauvorhaben wurde mit Erfolg auf eine Unterfrierschutzheizung völlig verzichtet. In Grenzfällen wurde nur zur Sicherheit eine zentrale Wärmequelle ausgeführt oder lediglich ein Leerrohr verlegt, in welches eine Heizung jederzeit nachgerüstet werden könnte. Diese einfache und sehr preisgünstige Möglichkeit wird auch für geplante Erweiterungsbereiche der Tiefkühlager praktiziert. Grundlage für die jeweilige Lösung bezüglich



Wenn's kompliziert wird

Fördertechnik von SIVaplan

SIVaplan entwickelt, installiert und modernisiert **Systeme für den optimalen Materialfluss** in Lagern sowie Produktions- und Fertigungsanlagen. Diese Anlagen haben sich selbst unter härtesten Bedingungen bewährt – beispielsweise in der Hitze einer Gießerei oder bei -30 °C in einem Tiefkühlager.

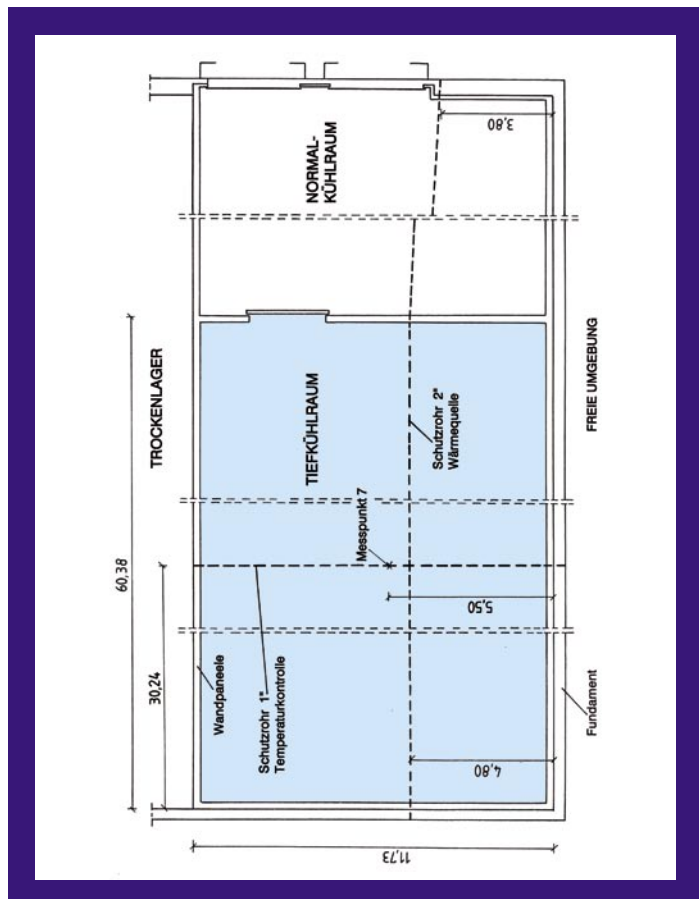
- Anwenderspezifische Lösungen
- Sonderlösungen für schwere und sperrige Güter
- Einzelplatz-Materialflussverfolgung

SIVaplan GmbH & Co. KG
Lütticher Str. 8-10
53842 Troisdorf · Germany

www.sivaplan.de

SIVaplan

Lagertechnik · Fördertechnik
Steuerungssysteme · Rechnersysteme



Das TK-Lager in Potsdam wird seit etwa 14 Jahren ohne die Beheizung des Untergrundes betrieben.

Dämmdicke und Heizung sind die Berechnung der dreidimensionalen und instationären Temperaturfelder mit angemessenen Sicherheitszuschlägen.

Wirtschaftlichkeit

Grundsätzlich ist festzustellen, dass sich eine Verstärkung der Fußbodendämmung doppelt positiv auswirkt: Zum einen sinkt der Energieverbrauch für die Unterfrierschutzheizung durch den verringerten Wärmeentzug des TK-Lagerfußbodens und den höheren Anteil der Umgebungswärme. Zum anderen wird Energie für die Kälteerzeugung gespart, da durch die dickere Fußbodendämmung weniger Wärme in das TK-Lager eindringt. Diesen ständigen Energieeinsparungen stehen die einmaligen Mehrkosten an Investitionen für die stärkere Fußbodendämmung gegenüber. Diese Mehrkosten hängen stark von den Fußbodenbelastungen ab, da bei höheren Belastungen Polystyrol-Hartschäume mit einer höheren Festigkeit einzusetzen sind, die natürlich teurer sind. Maßgeblichen Einfluss auf die Fußbodenbelastungen hat die Raumhöhe des TK-Lagers. Im Beispiel Netto Worms wurde bei einer Raumhöhe von 8,50 Metern eine 40 Zentimeter dicke Dämmung aus expandiertem Polystyrol-Hartschaum mit einer Festigkeit von 200 kPa eingebaut (EPS 200 kPa). Dieser Dämmstoff ist auch bei Raumhöhen von 10 bis 12 Me-

tern einsetzbar. Wie bereits erläutert wurde im Beispiel das sehr gute Ergebnis erzielt, dass die Mehrkosten an Investitionen in etwa 3,4 Jahren in Form von Energieeinsparungen zurück fließen.

Häufig ist es statisch ohne weiteres zulässig, anstelle von EPS 200 kPa den preisgünstigeren Polystyrolschaum EPS 150 kPa einzusetzen. In diesem Fall werden sogar noch günstigere Rückflussdauern von unter drei Jahren erreicht. Andererseits ist es bei Raumhöhen von zwölf Metern und mehr sowie beim Einsatz von schweren Verschieberegalen unumgänglich, teure extrudierte Polystyrol-Hartschäume einzusetzen, teils nur als Druckstege, teils auf der ganzen Fläche. Hier erhöht sich die Rückflussdauer auf vier bis acht Jahre. Auch dieser Bereich ist wirtschaftlich noch sehr interessant.

20 cm ein Relikt

Auch Dämmdicken über 40 Zentimetern können sich als sehr wirtschaftlich erweisen. Dies gilt besonders, wenn durch die Verstärkung der Dämmschicht auf den Einbau einer Unterfrierschutzheizung mit Sicherheit verzichtet werden kann, wie vorn erläutert wurde. Die Betreiber der TK-Lager bewerten dann außerdem positiv, dass keinerlei Aufwand für die Kontrolle, Wartung und eventuelle Reparatur des Unterfrierschutzes anfallen kann. Die Rückflussdauer sinkt beim möglichen Verzicht auf eine Unterfrierschutzheizung häufig sogar unter zwei Jahre. In besonders günstigen Fällen sind die Investkosteneinsparungen durch den Fortfall der Heizung höher als die Mehrkosten für die dickere Fußbodendämmung.

Besonders naheliegend ist es, bei geplanten TK-Erweiterungsflächen einfach schon Leerrohre für die zentralen Wärmequellen und die auswechselbaren Temperaturfühler vorzusehen. Die auch heute noch häufig anzutreffende Dämmdicke von 20 Zentimetern ist als ein Relikt aus früheren Zeiten anzusehen, in denen man sich um Energiekosten weniger Gedanken gemacht hat, weil Energie billig war. Des Weiteren wurden TK-Lager früher häufig mit um die -18 °C statt heute meist mit rund -24 °C betrieben. Auch der Umweltaspekt spielte früher keine Rolle. Der besonders vorteilhafte Einsatz der zentralen Unterfrierschutzheizung in Verbindung mit einem hohen Wärmedämmwert des Fußbodens ist ein weiterer Grund, der für dicke Fußbodendämmungen spricht. Wobei wie oben erläutert eine dicke Fußbodendämmung keine notwendige Voraussetzung für den Einsatz der zentralen Unterfrierschutzheizung ist. Die Entscheidung, welche Dämmdicke zum Einsatz kommt, hängt letztlich davon ab, in welchem Maße dem Bauherrn an geringen Energiekosten während der gesamten Nutzungsdauer des TK-Lagers gelegen ist oder einmalig geringere Investitionskosten den Vorrang besitzen. Dies ist unter dem Blickwinkel ständig steigender Energiepreise zu entscheiden. Hier muss auch der Planer seiner Verantwortung gerecht werden. An dieser Stelle ist anzumerken, dass Betreiber von Tiefkühl-lagern, die schon negative Erfahrungen mit Unterfrierungs-schäden gemacht haben, nie lange überlegen und beim Bau neuer TK-Lager die zentrale Heizung allein schon wegen der Auswechselbarkeit der Heizelemente und Temperaturfühler bevorzugen.

Man sieht: Auf keinen Fall sollte krampfhaft an technisch überholten Bauweisen festgehalten werden, nur weil so bereits seit Jahrzehnten verfahren wurde.

Unsere Autoren sind Ingenieure und Geschäftsführer der Oheim Kühlraumbau GmbH in Magdeburg. Literatur erhalten Sie bei den Autoren, info@oheim.de.