

Helmut Oheim
Jörn Oheim

Wirtschaftliche Fußböden von Tiefkühlagern

Vor allem für kleine und mittelgroße Tiefkühlager ist es vorteilhaft, die Fußbodendämmung aus Schaumpolystyrol mit einer Dicke von 40 cm oder darüber auszuführen. Diese Methode stellt nicht nur in thermischer, sondern auch in statischer Hinsicht eine betriebssichere und effiziente Lösung dar.

Economical floors of deep-freeze store warehouse

Particularly for small and medium sized deep-freeze store warehouse it is favourable to build the floor insulation with foam polystyrene with a thickness of 40 cm or more. This method represents not only in thermal, but also in static point of view solutions reliable in service and an efficiency.

Keywords: deep-freeze store warehouse, floor insulation, foam polystyrene

Langjährige Erfahrungen belegen, daß es zweckmäßig ist, die Dicke der Fußbodendämmung von Tiefkühlagern von den früher üblichen 20 cm auf mindestens 40 cm zu erhöhen [1]. Häufig kann dann auf eine Unterfrierschutzheizung völlig verzichtet werden, da der Einfluß der Umgebungswärme allein ausreicht, Unterfrierungen zu verhüten. Bei größeren Lagern werden dort, wo der Einfluß der Umgebungswärme allein nicht ausreicht, als Ergänzung zentrale Wärmequellen eingebaut. In vielen Fällen genügt eine einzige zentrale Wärmequelle im Zusammenwirken mit der Umgebungswärme (Bild 1 und 2).

Obwohl die Vorteile eindeutig sind, hat sich diese Bauweise der TK-Lager-Fußböden in den vergangenen Jahren in Deutschland aber noch nicht allgemein durchgesetzt. Nachfolgend werden deshalb einige Aspekte näher erläutert sowie Ergebnisse von Langzeitmessungen unter Praxisbedingungen dargestellt.

Fußbodenaufbau

Als Grundlage für die Erläuterungen in den folgenden Abschnitten zeigt Bild 3 den prinzipiellen Aufbau des TK-Lager-Fußbodens.

Die zentralen Wärmequellen für den Unterfrierschutz werden im Untergrund eingebaut. Die Anordnung der Wärmequellen im Untergrund dient der günstigen Ausbreitung der Heizwärme. Die Wärmequellen bestehen aus verzinkten Stahlrohren, umgeben mit einem Schutzmantel aus Beton, in welche die Spezialheizelemente eingeschoben werden. Zur

Kontrolle der Untergrundtemperatur werden in der Unterbetonschicht gleichfalls verzinkte Stahlrohre verlegt, in welche analog die Temperaturfühler eingeschoben werden.

Die Einführung der Heizelemente und der Temperaturfühler in die Schutzrohre erfolgt in der Regel von außen über Einführbögen. Bei Kühlhäusern auf Rampenhöhe kann auf die Bögen unter Umständen verzichtet werden, d.h. die Schutzrohre werden gerade oder mit einer geringen Biegung nach oben verlegt.

An dieser Stelle sei angemerkt, daß die Kiesschicht gemäß Bild 3 nur eine kapillarbrechende Funktion hat. Mit einer Verstärkung der Kiesschicht oder gar dem Einbau eines Schotterbettes den Unterfrierschutz verbessern zu wollen, kostet viel und nützt wenig. Eine Ausnahme bilden die an die freie Umgebung angrenzenden Randbereiche des TK-Lagers. Dort ist in Abhängigkeit von der detaillierten Randausbildung des TK-Lagers und von anderen Faktoren zur Berücksichtigung der winterlichen Kälte eine Schürze aus frostbeständigem Kies einzubauen.

Die fachgerechte Ausführung der Wasserdampfsperre ist wichtig, damit aus dem Erdreich keine Feuchtigkeit in die Dämmung eindiffundiert. Bestens bewährt haben sich dafür beiderseits bituminierte Aluminiumbahnen (100 µm) mit 10 cm überlappenden, heiß verklebten Stößen.

Der Feuchtigkeitsschutz auf der Dämmschicht besteht in der Regel aus einer PE-Folie (200 µm) mit überlappenden

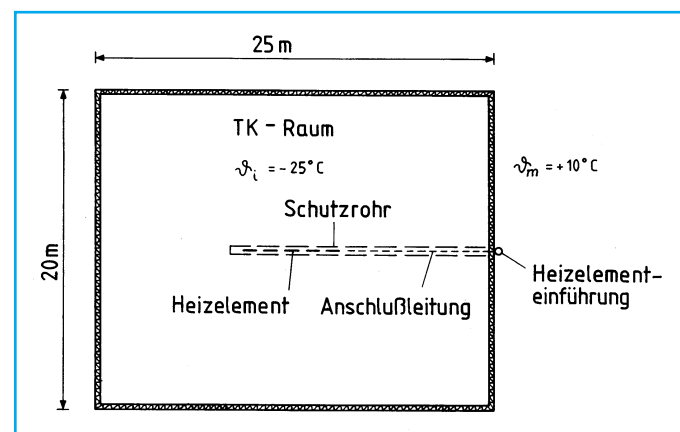


Bild 1
Grundriß eines
TK-Lagers mit
einer zentralen
Wärmequelle

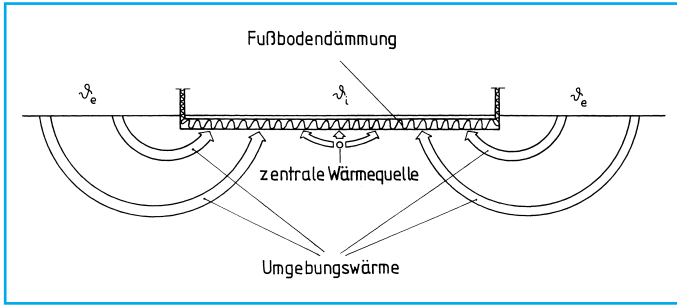


Bild 2
Schnitt eines TK-Lagers mit einer zentralen Wärmequelle

Die Türbereiche der TK-Lager-Fußböden bedürfen in statisch-konstruktiver Hinsicht besonderer Beachtung.

Der Einsatz des sehr druckfesten Schaumglases ist für die Dämmung von TK-Lager-Fußböden uninteressant, da sowohl der Materialpreis als auch der Verlegepreis sehr hoch sind und außerdem der Wärmedämmwert vergleichsweise niedrig ist. Um den gleichen Dämmwert wie bei Dämmungen aus Schaumpolystyrol zu erzielen, müßte man, je nachdem, welche Sorten man miteinander vergleicht, etwa mit den 3- bis 6fachen Kosten rechnen.

Temperaturfeldberechnungen

Auf der Grundlage von Temperaturfeldberechnungen und Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen ist zunächst zu entscheiden, ob der Unterfrierschutz allein durch die Umgebungswärme bei einer entsprechend dimensionierten Fußbodendämmung gewährleistet oder ob ergänzend zur Umgebungswärme eine zentrale Unterfrierschutzheizung eingebaut wird. Bei Erfordernis einer zentralen Unterfrierschutzheizung sind anhand der Temperaturfeldberechnungen die Anzahl, Lage und die Heizleistung der Wärmequellen sowie die Lage der Temperaturkontrollen zu bestimmen.

Der springende Punkt ist, daß sich die Temperaturberechnungen auf das gesamte Temperaturfeld im Untergrund des TK-Lagers sowie der angrenzenden Umgebung beziehen. Nur so läßt sich der Gesamtzusammenhang zwischen der TK-Lager-Temperatur, der Umgebungswärme und der ergänzenden Heizwärme der zentralen Wärmequellen herstellen. Zu berechnen sind sehr komplizierte dreidimensionale instationäre Temperaturfelder [2], [3], [5].

Stößen. Die Folie hält die Nässe beim Betonieren des Tragbetons von der Dämmschicht fern. Für TK-Lagerräume ist diese Maßnahme völlig ausreichend.

Bei Gefriertunneln sollten die Betriebstechnologie und insbesondere das Reinigungsverfahren so ausgerichtet sein, daß Wasser und Reinigungszusätze nicht in den Fußboden eindringen. Wenn dies nicht gewährleistet werden kann, sollte bei Gefriertunneln unabhängig von den Verkehrslasten extrudiertes Schaumpolystyrol eingebaut werden.

Statische Gesichtspunkte

In Abhängigkeit von der Größe der Fußbodenbelastung erfolgt die Auswahl der Schaumpolystyrolsorte. In vielen Fällen ist es ausreichend, Schaumpolystyrol PS 20 SE einzusetzen. Dieser Dämmstoff ist sehr preisgünstig und hat sich in TK-Lagern bis ca. 6 m Raumhöhe mit feststehenden Regalen und Gabelstaplerverkehr bestens bewährt. Für größere Belastungen steht zunächst PS30 SE zur Verfügung (orientierungsweise für TK-Lager bis ca. 10 m Raumhöhe mit feststehenden Regalen oder TK-Lager bis ca. 8 m Raumhöhe mit Verschieberegalen). Für noch größere Belastungen wird eine Dämmung aus PS 30 SE mit Druckstegen aus extrudiertem Schaumpolystyrol unter den Regalfüßen bzw. Regalschienen eingebaut. Bei Hochregallagern wird die Fußbodendämmung durchgehend aus dem teureren extrudierten Schaumpolystyrol hergestellt.

Die Aufgabe des Tragbetons ist, die Verkehrslasten des Fußbodens auf die Dämmschicht großflächig zu verteilen (feststehende Regale, Verschieberegale, Stapler usw.). Der Tragbeton erreicht seine höchste Tragwirkung, wenn er raumweise fugenlos ausgeführt wird.

Für den Statiker stellt die Dicke der Schaumpolystyrol-Fußbodendämmung von 40 cm oder darüber kein Problem dar [4]. Bei der größeren Dicke der Dämmschicht ergibt sich eine größere Lastverteilungsfläche der Verkehrslasten. Deshalb treten bei der größeren Dämmdicke geringere Druckbeanspruchungen im

Schaumpolystyrol auf. Diese Tatsache ruft bei Außenstehenden häufig zunächst Erstaunen und Unglauben hervor, ist aber bei näherer Überlegung logisch.

Wegen der größeren Lastverteilungsfläche treten im Tragbeton größere Biegekräfte auf, denen jedoch mit einer etwas stärker dimensionierten Stahlbewehrung Rechnung getragen wird. Die Mehrkosten für die Bewehrung liegen in einer Größe von wenigen DM/m² und fallen kaum ins Gewicht.

Für die Bemessung der Bewehrung gibt es unterschiedliche statische Rechenverfahren. Zweckmäßig ist es, die Bemessung der Bewehrung eigenverantwortlich einem auf den Einbau des Tragbetons und der Nuttschicht spezialisierten Ausführungsbetrieb mit zu übertragen.

Grundlage für den Druckspannungsnachweis in der Fußbodendämmung ist die von den Schaumpolystyrolproduzenten angegebene Druckfestigkeit unter Dauerbelastung. Das absolute Maß der Zusammendrückung der Fußbodendämmung unter den Verkehrslasten nimmt mit der Dicke der Dämmschicht zu. Der Unterschied der Zusammendrückung zwischen einer 20 cm und einer 40 cm dicken Dämmung beträgt etwa 1 bis 2 mm und ist ohne praktische Bedeutung.

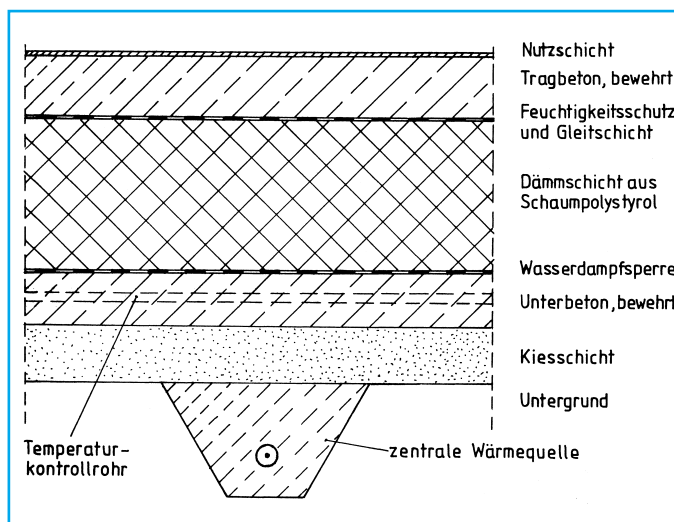


Bild 3
Prinzipienschnitt des TK-Lager-Fußbodens

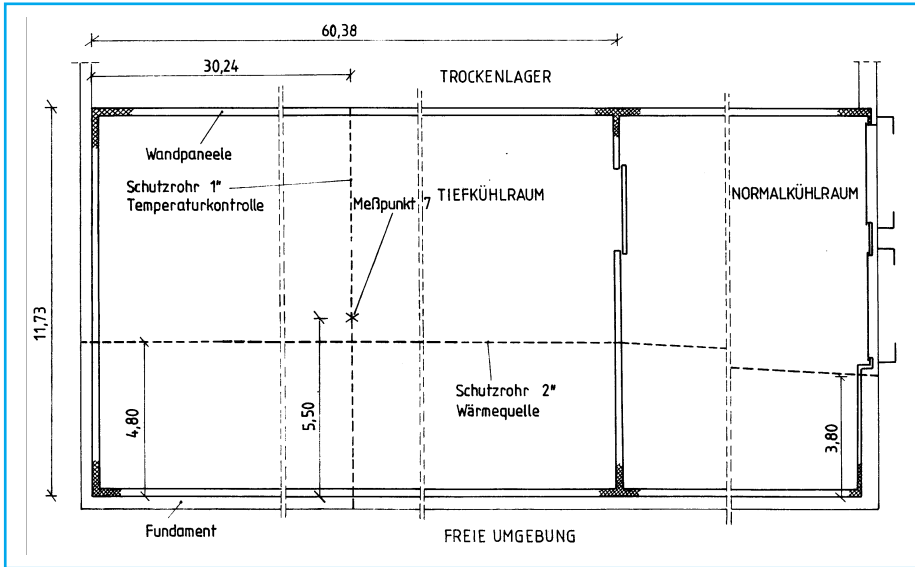


Bild 4 Grundriß des TK-Lagers in Potsdam

Um den Aufwand für die Berechnungen in Grenzen zu halten, wurden in Auswertung von ausführlichen Computerberechnungen Berechnungstabellen erstellt und Untersuchungen der wichtigsten Einflußfaktoren der Temperaturfelder durchgeführt. Diese Einflußfaktoren sind:

- Grundrißabmessungen des Tiefkühlagers
- Verhältnis des Fußbodenniveaus zur Geländeöhe (z. B. ebenerdig, auf Rampenhöhe, in Kellerlage)
- Massive Stützen, Trennwände und sonstige Kältebrücken
- Tiefkühlagertemperatur
- Temperaturen der angrenzenden Umgebung
- Dicke und Wärmeleitfähigkeit der Fußbodendämmung
- Wärmeleitfähigkeit des Untergrundes
- Einfluß von Grundwasser
- Lage, Form und Leistung der zentralen Wärmequellen

Als Arbeitsunterlagen für die Berechnungen werden zumindest Grundriß und Schnitt des TK-Lagers mit Nutzungsangaben der angrenzenden Räume benötigt.

Praxisanwendung und Meßergebnisse

Die oben beschriebenen Fußböden von TK-Lagern wurden bereits seit Jahren in zahlreichen Vorhaben mit Erfolg ausgeführt. Um die Ergebnisse der Temperaturfeldberechnungen zu untermauern, wurden über viele Jahre hinweg an mehreren TK-Lagern Temperaturmessungen vorgenommen. Die Auswertung der Meßergebnisse ergibt eine ausgezeichnete Übereinstimmung mit den Berechnungsergebnissen. Insbesondere wurde die günstige Ausbreitung der Heizwärme der

zentralen Wärmequellen im Untergrund sowie das Zusammenwirken zwischen der Umgebungswärme und der ergänzenden Heizwärme nachgewiesen.

Beispielhaft wird auf die Meßergebnisse im TK-Lager der *Fritz Fuhrmann KG* in Potsdam näher eingegangen.

Grundlagen

Das Tiefkühlager in Potsdam wurde im Sommer 1993 nach dem Entwurf des Architekturbüros *de Gruyter*, Bonn, durch die Firma *Oheim Kühlraumbau GmbH*, Magdeburg, errichtet. Die Grundfläche beträgt ca. 700 m². Als Unterfrierschutz wurde im Untergrund des TK-Lagers gemäß Bild 4 eine zentrale elektrische Wärmequelle eingebaut sowie eine Verstärkung der Fußbodendämmung vorgenommen.

Das TK-Lager wurde ab Ende September 1993 kalt gefahren und im Oktober in Betrieb genommen.

Da die dreidimensionalen instationären Temperaturfeldberechnungen unter Berücksichtigung aller Faktoren ergeben hatten, daß eventuell der Einfluß der Um-

gebungswärme allein ausreicht, das Unterfrieren des TK-Lagers zu verhindern, wurde gemäß einer Vereinbarung mit dem Betreiber die Unterfrierschutzheizung für unbestimmte Zeit vom Stromnetz abgetrennt. Zur Kontrolle wurden mehrmals jährlich Messungen der Untergrundtemperatur in einem quer zur Wärmequelle verlaufenden Temperaturkontrollrohr im Unterbeton vorgenommen (anfangs häufiger, später seltener). Die Temperaturmeßergebnisse waren wie nachfolgend beschrieben so günstig, daß die Heizung bis zum heutigen Tage nicht eingeschaltet werden mußte.

Ergebnisse der Temperaturmessungen

Das Minimum der Bodentemperatur befindet sich im Meßpunkt 7. Dieser Meßpunkt liegt wie berechnet von der Mitte des TK-Lagers etwas zur Außenseite verschoben.

Im Bild 5 gibt die durchgezogene Linie den Verlauf der Untergrundtemperatur im Meßpunkt 7 an. Außerdem ist ein gemittelter Temperaturverlauf dargestellt, der den Trend des Temperaturverlaufes sowie die jahreszeitabhängigen Schwankungen der Untergrundtemperatur verdeutlicht (gestrichelte Linie).

Der Temperaturverlauf zeigt folgendes:

- Die Untergrundtemperatur sinkt im ersten Jahr nach der Inbetriebnahme der Kühlung verhältnismäßig schnell ab. In den Folgejahren wird die Temperaturabnahme von Jahr zu Jahr immer geringer:

Betriebsjahr	Temperaturabnahme im Betriebsjahr
1. Jahr	10,3 K
2. Jahr	0,9 K
3. Jahr	0,6 K
4. Jahr	0,2 K
5. Jahr	0,1 K
6. Jahr	ca. 0,0 K

- Die jährlichen Schwankungen der Umgebungstemperaturen (Monatsmittel-

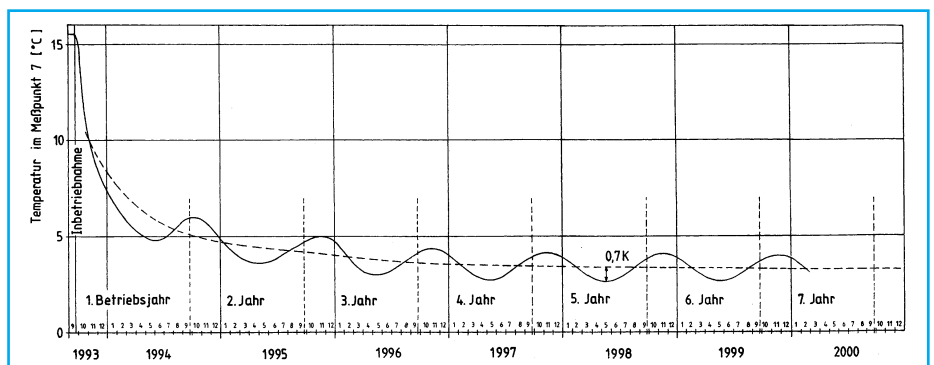


Bild 5 Verlauf der Untergrundtemperatur im TK-Lager Potsdam

temperaturen im Freien etwa ± 10 K) werden im Untergrund stark gedämpft. Nachdem sich die Temperaturkurve „eingeschwungen“ hat, betragen diese im Meßpunkt 7 nur noch $\pm 0,7$ K. Dies unterstreicht, daß für die Untergrundtemperaturen hauptsächlich der Jahresmittelwert der Umgebungstemperatur von Bedeutung ist und weniger deren jahreszeitliche Schwankungen um diesen Mittelwert.

- Die Schwankungen der Untergrundtemperaturen zeigen eine Phasenverschiebung von fast 4 Monaten gegenüber den Schwankungen der Umgebungstemperaturen im Freien:

Temperaturmaximum im Freien:	Ende Juli
Temperaturmaximum im Untergrund:	Mitte November
Temperaturminimum im Freien:	Ende Januar
Temperaturminimum im Untergrund:	Mitte Mai

Schlußfolgerungen

Aus den Temperaturmessungen ergeben sich folgende Schlußfolgerungen:

- Die Untergrundtemperaturen im Meßpunkt sind etwa 1 K höher als nach den mehrdimensionalen instationären Temperaturfeldberechnungen zu erwarten war (abgesehen davon, daß die vorhandene Temperatur im Tiefkühlager mit -22 °C um 3 K wärmer ist, als ausgehend von der Planung mit -25 °C in den ursprünglichen Berechnungen angenommen wurde).
- Der Verlauf des Absinkens der Untergrundtemperaturen und die langsame Annäherung an den stationären Endwert über einen Zeitraum von Jahren steht in Übereinstimmung mit den Berechnungen und den Messungen an anderen Tiefkühlagern. Der langsame Verlauf ist eine Folge der großen Breite des Lagers, des großen Wärmedämmwertes der Fußbodendämmung sowie des großen Wärmespeichervermögens des Untergrundes. Das gleiche gilt für die starke Dämpfung und die Phasenverschiebungen der Schwankungen der Umgebungstemperaturen im Untergrund.
- Die sehr geringe Temperaturabsenkung innerhalb des 6. Betriebsjahres bestätigt nicht nur den zu erwartenden Temperaturverlauf, sondern dokumentiert außerdem, daß der Wärmedämmwert des Fußbodens sehr stabil ist. Das wiederum gestattet die Aussage, daß

Tab. 1 Rückflußdauer

Raumhöhe (m)	Verkehrslasten	Fußboden- ¹⁾ dämmung	Rückflußdauer	
			Fußboden ohne Heizung	Fußboden mit zentraler Heizung
bis 6 m	Gabelstapler Festregale	40 cm PS 20 SE	ca. 0 - 1 Jahr	1 - 2 Jahre
bis 8 m	Gabelstapler Verschieberegale	40 cm PS 30 SE	0 - 2 Jahre	2 - 4 Jahre
bis 10 m	Gabelstapler Festregale			
über 8 m	Gabelstapler Verschieberegale	40 cm PS 30 SE mit Druckstegen	2 - 4 Jahre	3 - 5 Jahre
über 12 m	Gabelstapler Verschieberegale	40 cm extrudiertes Schaumpolystyrol	3 - 7 Jahre	4 - 8 Jahre

1) Bei der Zuordnung der Fußbodendämmung zu der Raumhöhe und den Verkehrslasten handelt es sich um eine Orientierung auf der Grundlage von Erfahrungswerten. Für den konkreten Fall ist eine statistische Überprüfung erforderlich.

eine fachgerecht eingebaute Dämmung aus Schaumpolystyrol auch nach vielen Jahren voll funktionstüchtig ist und somit über die gesamte Lebensdauer des TK-Lagers mit einer stabilen Dämmwirkung zu rechnen ist.

- Eingeschätzt wird, daß sich die Mitteltemperatur des Untergrundes im Meßpunkt 7 bei gleichbleibenden Umgebungsbedingungen und Lagertemperaturen nach vielen Jahren einem Endwert zwischen $+2,5$ und $+3,0$ °C annähern wird. Das Temperaturminimum wird dementsprechend gegen ca. $+2$ °C tendieren (jeweils im Monat Mai). Hieraus ergibt sich, daß bei unveränderten Bedingungen auf die Inbetriebnahme der vorhandenen Unterfrierschutzheizung auch künftig verzichtet werden kann. Somit wurde durch die Verstärkung der Dämmschicht eine energieoptimale Lösung erzielt, die außerdem sehr betriebssicher ist und keinerlei Reparatur- und Wartungskosten beansprucht. Bei eventuellen Veränderungen der Bedingungen, wie z. B. Absenkung der TK-Lager-Temperatur oder Erweiterung des TK-Lagers, könnte die zentrale Wärmequelle jederzeit in Betrieb genommen werden.

Wirtschaftlichkeit

Für eine dickere Fußbodendämmschicht sprechen schon die allgemeinen wirtschaftlichen Rahmenbedingungen. Fußbodendämmungen in TK-Lagern aus Schaumpolystyrol mit einer Dicke von 20 cm herzustellen, stammt aus den 60er Jahren. Zwischenzeitlich haben sich nach

Angaben des *Statistischen Bundesamtes* die Kosten für Kunststoffe im Vergleich zu den Kosten für Elektroenergie um etwa 30 Prozent ermäßigt.

Ein Hauptgrund für die dickere Fußbodendämmschicht ist jedoch, daß ein wesentlich effizienterer Unterfrierschutz möglich wird.

Entscheidend ist letztendlich die auf das konkrete TK-Lager bezogene Wirtschaftlichkeitsuntersuchung, in welcher alle wesentlichen Faktoren im Zusammenhang erfaßt werden.

Mit der dicken Fußbodendämmung werden gegenüber dem herkömmlichen Fußboden (20 cm Schaumpolystyrol, Unterfrierschutz mit elektrischen Heizmatten) auf der Seite der Betriebskosten folgende Einsparungen erzielt:

- Die Energiekosten für die Betreibung des Unterfrierschutzes sinken auf einen Bruchteil
- Die Energiekosten für die Kälteerzeugung sind gleichfalls geringer

Auf der Seite der Herstellungskosten stehen dem gegenüber:

- Mehrkosten für den Einbau der größeren Dämmdicke der Fußbodendämmung
- Mehrkosten für die etwas stärkere Bewehrung des Tragbetons
- Minder-/Mehrkosten für den Einbau der zentralen Unterfrierschutzheizung anstelle der Heizmattenheizung (bzw. Minderkosten infolge des völligen Verzichtes auf eine Unterfrierschutzheizung)

Als Kriterium für die Wirtschaftlichkeit wird die Rückflußdauer zugrunde gelegt.

Dies ist die Dauer, in welcher der Mehraufwand an Herstellungskosten in Form von Energiekosteneinsparungen zurückfließt.

Die wichtigsten objektbezogenen Einflußgrößen für die Wirtschaftlichkeitsberechnung sind:

- Kosten des Dämmstoffes
- Kosten der Elektroenergie
- Geometrie des TK-Lagers (u. a. maßgeblich für die Kosten des Unterfrierschutzes)

Auf der Grundlage von Wirtschaftlichkeitsberechnungen, die für zahlreiche Vorhaben durchgeführt wurden, lassen sich Orientierungsbereiche gemäß Tab. 1 angeben.

Aus den in Tab. 1 angegebenen Orientierungsbereichen für die Rückflußdauer lassen sich folgende Schlußfolgerungen ziehen:

1. Bei TK-Lager-Fußböden mit einer 40 cm dicken Fußbodendämmung durchgehend aus Schaumpolystyrol PS20 SE oder PS30 SE fließen die Mehrkosten für die Herstellung in maximal 4 Jahren in Form von Energiekosteneinsparungen zurück. Diese sehr kurze Dauer spricht für eine Verstärkung der Fußbodendämmung über 40 cm hinaus (beispielsweise Verstärkung auf 60 cm).
2. Selbst bei Dämmschichten aus extrudiertem Schaumpolystyrol wird mit einer Rückflußdauer von maximal 8 Jahren immer noch ein wirtschaftlicher Wert erreicht, der eine gute Verzinsung der Mehrkosten an Investitionsbe deutet.

Zur Wirtschaftlichkeit trägt letztendlich auch die erhöhte Betriebssicherheit des Unterfrierschutzes durch die Auswechselbarkeit der elektrischen Heizelemente bei. Dies ist zwar schwer in Mark und Pfennig auszudrücken, wird aber verdeutlicht durch die immer wieder auftretenden Unterfrierungsschäden und die sich daraus ergebenden teuren Sanierungen der TK-Lager, wenn die elektrischen Heizmatten nicht ausgewechselt werden können [6].

Die hohe Betriebssicherheit gilt erst recht für die Bauten, bei denen auf eine Heizung verzichtet werden kann, wenn die Umgebungswärme allein für den Unterfrierschutz ausreicht. Als Entscheidungsgrundlage sind hier allerdings die örtlichen Verhältnisse und die Randbedingungen genau zu erfassen.

Zusammenfassung

Die Dämmung aus Schaumpolystyrol in Fußböden von TK-Lagern sollte eine Dicke von 40 cm und mehr betragen.

Diese Dämmdicke gestattet, auf eine Unterfrierschutzheizung zu verzichten, oder es genügen für den Unterfrierschutz nur wenige zentrale elektrische Wärmequellen mit auswechselbaren Heizelementen, die lediglich als Ergänzung zur kostenlosen Umgebungswärme wirken.

Die Mehrkosten an Investitionen fließen bei kleinen und mittelgroßen TK-Lagern durch die Einsparungen an Elektroenergie besonders schnell zurück (Rückflußdauer unter 4 Jahren).

Außerdem wird ein Höchstmaß an Betriebssicherheit für den Unterfrierschutz erzielt. Und schließlich wird durch die

Energieeinsparungen ein Beitrag zum Umweltschutz geleistet.

Aus statischer Sicht stellt die größere Dicke der Fußbodendämmung kein Problem dar.

Das gilt für die Druckspannungen und Druckverformungen des Schaumpolystyrols sowie für die Bemessung des Tragbetons.

Die jahrelangen Erfahrungen aus der praktischen Anwendung bei zahlreichen TK-Lagern sind durchweg positiv.

Literatur

- [1] Oheim, H.: Energieeinsparen beim Unterfrierschutz von TK-Räumen. Die Kälte und Klimatechnik, 45 (1992) 8, S. 498–506
- [2] Oheim, H.: Erfahrungen bei der Anwendung der zentralen Unterfrierschutzheizung. Klima-Kälte-Heizung, 14 (1986) 2, S. 65–67
- [3] Oheim, H.: Optimum solutions for cold-storage flooring and central frost-heave protective heating systems. International journal of refrigeration, 15 (1992) 3, S. 177–180
- [4] Luz, E.: Wärmedämmung für Industrie-fußböden, Beton-Verlag GmbH, Düsseldorf (1990)
- [5] Seiffert, K.: Zum Unterfrierschutz von Tiefkühlräumen (Gefrierräumen) im Erdbereich. Die Kälte und Klimatechnik, 38 (1985) 6, S. 220–227
- [6] Oheim, H.: Sanierung des Unterfrierschutzes von TK-Lagern. Die Kälte und Klimatechnik, 46 (1993) 6, S. 374–378

Schlüsselwörter

Tiefkühlager
Fußbodendämmung
Schaumpolystyrol
Unterfrierschutz