

F O R S C H U N G S I N S T I T U T
MITTEILUNGEN
F Ü R W Ä R M E S C H U T Z
E. V. M Ü N C H E N

Reihe I. Allgemeine Fragen des Wärme- und Kälteschutzes

Nummer 23

**Ausstieg vom FCKW Treibmittel und
Umstieg zum CO₂ getriebenen PUR-Ortschaum**

von
Dipl.-Ing. (FH) Martin Zeitler

Sonderdruck aus „35 Jahre Güteschutzgemeinschaft Hartschaum e. V.“

Ausstieg vom FCKW Treibmittel und Umstieg zum CO₂-getriebenen PUR-Ortschaum

Dipl. Ing. (FH) M. Zeitler

FIW Forschungsinstitut für Wärmeschutz e.V. München

RÜCKBLICK

Zu Beginn der Diskussion über ein mögliches Verbot von FCKW Ende der 80 iger Jahre vertrat man in der Branche bei Dämmstoffherstellern und Verarbeitern von PUR-Hartschaumsystemen die Meinung, daß ein Solches zwar möglicherweise kommen könne, aber doch niemals dann für Dämmstoffe gelten kann. FCKW (R11 oder CFC₁₂) ist für die Herstellung von Dämmstoffen nicht nur das notwendige Treibmittel, sondern es ist ja vielmehr als Zellgas des Dämmstoffes der entscheidende Bestandteil, der maßgeblich die niedrige Wärmeleitfähigkeit ermöglicht. Mit gasdichtungsdeckungen erreichte man mit diesem Dämmstoff Werte der Wärmeleitfähigkeit bei 10 °C Mitteltemperatur von kleiner 0.020 W/(m·K) und lag somit mit an der Spitze der "Wärmeleitfähigkeits-Olympiade".

Es kann also nicht sein - so war man damals der Meinung - , daß die Anstrengungen, die man die letzten Jahre bei der Entwicklung von Dämmstoffen machte und als wichtige Beiträge zur Einsparung von Energie eingestuft hatte, nun plötzlich umsonst gewesen sein sollten.

Wie es sich jedoch relativ bald herausstellte, war dies natürlich nur der Zweckoptimismus der "ersten Stunden".

Sehr schnell war man sich klar, daß nach Alternativen gesucht werden mußte.

Für werksgefertigte Dämmstoffe boten sich auch relativ bald andere Treibmittel als FCKW an,

ohne das gewohnte Niveau der Wärmeleitfähigkeit verlassen zu müssen. Die Probleme bei der

Herstellung z. B. bei der Verwendung von Pentan als Treib- und somit auch als Zellgas, waren in den Griff zu bekommen. Auch die Schwierigkeiten, die anfangs mit den, durch Normen oder allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen, gestellten Anforderungen an die Eigenschaftsmerkmale der Dämmstoffe, wie etwa bei der Baustoffklasse DIN 4102-B2 oder B1 ergaben, konnten gemeistert werden.

Wie sollte es aber mit dem an der Verwendungsstelle gefertigten Dämmstoff PUR-Ortschaum weitergehen?

Da Pentan als Treibmittel bei der Herstellung des Dämmstoffes vor Ort aus Gründen der Sicherheit nicht denkbar erschien und das HFCK 141 b noch nicht verfügbar war, entschied sich die Branche relativ früh für den totalen Ausstieg aus der Herstellung mit Flourchlorkohlenwasserstoffen als Treib- und Zellgas für den PUR-Ortschaum. Man entsann sich den Anfängen von Polyurethanschaum und griff auf das, mit wassergeneriertes, Treibmittel CO₂ zurück; dem sogenannten chemischen Treibverfahren. Ein wenig Überwindung kostete diese Entscheidung schon. War es nicht ein verpöntes Mittel in der heilen "FCKW-Zeit" durch die Zugabe von etwas Wasser im Polyol den physikalischen Treibprozess etwas zu unterstützen und somit das Material etwas zu strecken? Hatte nicht Wasser im System stark qualitätsmindernde Einflüsse? Wußte man nicht, daß es Probleme, insbesondere mit Lagenablösungen und Konturstabilität, gab?

Nun sollte gerade dieses chemische Treibverfahren den PUR-Ortschaum retten? Skepsis war angesagt und es gab viel zu tun!

Die Herausforderung wurde aber angenommen. Die Systemhersteller machten die ersten Anstrengungen, das System zu verbessern, um die bereits bekannten Probleme zu beseitigen.

Ein großes Problem stellten auch die gebräuchlichen PUR-Ortschaummaschinen dar, die die Polyurethan-Komponenten nur mit einem Mischungsverhältnis von 1:1 verarbeiten konnten.

Forschungsvorhaben wurden vergeben, um die Eigenschaftsmerkmale dieses "neuen alten Dämmstoffes" besser kennenzulernen. Hier zeigte sich der Arbeitsausschuß PUR-Ortschaum der Güteschutzgemeinschaft Hartschaum e.V. (GSH) als ein wichtiger Motor, den Umstieg auf CO₂ getriebenen PUR-Ortschaum zu beschleunigen.

Beim Forschungsinstitut für Wärmeschutz e.V. München (FIW), Gräfelfing wurde von der GSH im Mai 1990 ein erstes Forschungsvorhaben in Auftrag gegeben. Es war die Frage zu beantworten, wie verhält sich die Wärmeleitfähigkeit des PUR-Ortschaumes und die der ausgeführten Dämmung im Laufe der Zeit. Diese Frage stellte sich vorrangig, da man hier die entscheidende "Qualitätseinbuße" erwartete, zumal ja der Meßwert der Wärmeleitfähigkeit bei 10 °C Mitteltemperatur an einer mit CO₂ getriebener Probe nach sechs Wochen Lagerung um ca. 70 % höher ist, als bei dem mit FCKW getriebenen PUR-Hartschaum.

Relativ bald wurde eine Basis für die Qualitätsarbeit der GSH geschaffen. Auf der Grundlage der überarbeiteten DIN 18 159 Teil 1 [1] wurden neue Gütebedingungen [2] erarbeitet und bereits im Februar 1992 eingeführt.

Die ersten Mutigen wagten den Ausstieg und stellten sich sogar schon bald den Prüfungen im Rahmen der Fremdüberwachung durch die GSH. Die ersten Erfahrungen und auch Stoffwerte konnten gesammelt werden.

Probleme über Probleme taten sich auf:

- schwierige Verarbeitbarkeit
- Vermischungsschwierigkeiten und die damit verbundene Unter- oder Übervernetzung;

die Folge waren:

- nicht ausreichende Konturstabilität
- keine ausreichende Formbeständigkeit
- zu geringe Werte der Druckfestigkeit
- Offenzelligkeit des Schaumes
- zu hohe Werte der Wärmeleitfähigkeit
- Lagenablösungen störten die sonst so homogene Struktur eines PUR-Hartschaumes.

So ging es nicht weiter! Hier mußte etwas getan werden!

Wieder ergriff die Güteschutzgemeinschaft Hartschaum e.V. die Initiative. Mit dem Arbeitsausschuß "PUR-Ortschaum" war in der GSH eine Institution installiert, die schlagkräftig, weitsichtig und vor allem qualitätsbewußt den PUR-Ortschaum als Dämmstoff für betriebstechnische Anlagen zu retten versuchte.

Durch eine "konzertierte Aktion", initiiert durch diesen Ausschuß, wurden alle Hersteller der Komponenten für CO₂-getriebenen PUR-Ortschaum, einige Unternehmen der Dämmtechnik und Hersteller von Ortschaummaschinen aufgefordert mit zu helfen, bessere Bedingungen für die Verarbeitbarkeit der Komponenten zu schaffen. Konnte dies gelingen?

Dies traf gerade mit der Überarbeitungsphase des AGI-Arbeitsblattes Q 138 [3] zusammen, so daß unter kompetenter Leitung des Vorsitzenden des AA-PUR-Ortschaum "zwei Fliegen mit einer Klappe erschlagen werden konnten". Zum einen war es die Ausarbeitung der Vorlagen für den AGI-Hauptausschuß und zum anderen wurden Optimierungsarbeiten zur Verbesserung des Produktes PUR-Ortschaum für die Dämmung betriebstechnische Anlagen eingeleitet.

Das AGI-Arbeitsblatt Q 138 wurde im Januar 1996 fertiggestellt und zweisprachig in deutscher und englischer Sprache herausgegeben. Mit diesem Arbeitsblatt wurde ein Dokument erarbeitet, in das die neuesten Erkenntnisse aus Forschung und Entwicklung einfließen konnten und in dem auch die Empfehlungen der VDI 2055 Ausgabe Juli 1994 berücksichtigt werden konnten.

Das AGI-Arbeitsblatt Q 138 stellte auch die Grundlage für die derzeit in Überarbeitung befindlichen Gütebedingungen für PUR-Ortschaum dar und deckt somit auch das eigentliche Einsatzgebiet und Anwendungsbereich dieses Dämmstoffes ab. Inwieweit dieses Dokument dann auch den entscheidenden Beitrag zur Qualitätssicherung liefert, wird sich in der Zukunft zeigen.

AUSSTIEGSSZENARIO

Gleichzeitig mit der Absichtserklärung, aus der Herstellung von PUR-Ortschaum mit FCKW als Treibmittel "auszusteigen" und auf CO₂ als Treibmittel "umzusteigen" wurden, angeregt durch den AA-PUR-Ortschaum, Entwicklungsarbeiten bei den Systemherstellern eingeleitet und Forschungsarbeiten beim Forschungsinstitut für Wärmeschutz e.V. München (FIW), Gräfelfing in Auftrag gegeben.

Die erste Forschungsarbeit konnte bereits im Mai 1990 begonnen werden. Für die ersten Untersuchungen wurden die ersten auf dem Markt befindlichen PUR-Hartschaumsysteme, die zur Herstellung einer PUR-Ortschaumdämmung auf der Verwendungsstelle geeignet waren, eingesetzt.

Der Titel des ersten Forschungsvorhabens lautete:

"Untersuchungen bezüglich der zeitlichen Änderung der Wärmeleitfähigkeit von mit CO₂-getriebenem PUR-Ortschaum und von mit CO₂-getriebenem PUR-Ortschaum ausgeführten Rohrdämmung."

Für die Untersuchungen über die Änderung der Wärmeleitfähigkeit (Betriebswärmeleitfähigkeit) wurden drei Versuchsrohre mit einer Länge von 2.4 m mit 60 mm Durchmesser mit Dämmschichtdicken von 50 mm und 60 mm mit CO₂-getriebenem PUR-Ortschaum gedämmt. Als Ummantelung diente ein 1 mm dickes Aluminiumblech. Die Sicken wurden mit Dichtband abgedichtet. Als Stützkonstruktion für die Ummantelung dienten quaderförmige Klötze aus CO₂-getriebenem PUR-Hartschaum mit Stützring im Abstand von 500 mm. Die Rohre wurden über insgesamt 52 Wochen temperiert und zwar bei

80 °C und bei -25 °C. Ein Rohr wurde bei Raumtemperatur gelagert.

Außerdem wurde an einer, in einer Form (500 mm x 700 mm x 100 mm) hergestellten Probe, die Änderung der Wärmeleitfähigkeit des PUR-Ortschaumes untersucht.

Die Messungen der Wärmeleitfähigkeit erfolgte an den Rohren und der Platte, jeweils nach sechs Wochen, drei und zwölf Monaten. Der jeweilige Anteil von CO₂ als Zellgas wurde dazu ermittelt.

Dieses Forschungsvorhaben lieferte folgende Ergebnisse:

- Erkenntnisse über den Zeitraum des Zellgasaustausches (CO₂ gegen Luft) bei den für die Messung der Wärmeleitfähigkeit üblichen und erforderlichen Probekörpern und bei ausgeführten Dämmungen
- Festlegungen zur Behandlung der Proben zur Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit bei der Fremdüberwachung
- Grundlage für die Festlegung der Nennwerte von CO₂-getriebenem PUR-Ortschaum
- erste Erkenntnisse über das Niveau der Betriebswärmeleitfähigkeit von mit CO₂-getriebenem PUR-Ortschaum.

Aus den Ergebnissen konnte man aber eine wichtige und für das Ausstiegsszenario hilfreiche Erkenntnis gewinnen. Der ursprünglich befürchtete große Unterschied in der Wärmeleitfähigkeit zwischen FCKW-getriebenem und CO₂-getriebenem PUR-Ortschaum relativierte sich.

Beim Vergleich der beiden Wärmeleitfähigkeitskurven zeigte sich, daß die Werte der Wärmeleitfähigkeit der gealterten PUR-Ortschäume nicht mehr als 10 %, bezogen auf den Rechenwert von 0.030 W/(m·K) bei 10 °C Mitteltemperatur auseinander lagen.

Als Vergleichskurve für den FCKW-getriebenen PUR-Ortschaum wurde die Kurve 3 des damals noch gültigen AGI-Arbeitsblattes Q 138 Ausgabe Mai 1985 herangezogen.

Die Kurve 3 dieses Arbeitsblattes beschrieb den Rechenwert der Wärmeleitfähigkeit eines ohne Deckschichten gealterten PUR-Ortschaumes und war somit formal vergleichbar mit den neu gefundenen Meßwerten des gealterten PUR-Ortschaumes mit CO₂ als Treibmittel und mit Luft als Zellgas.

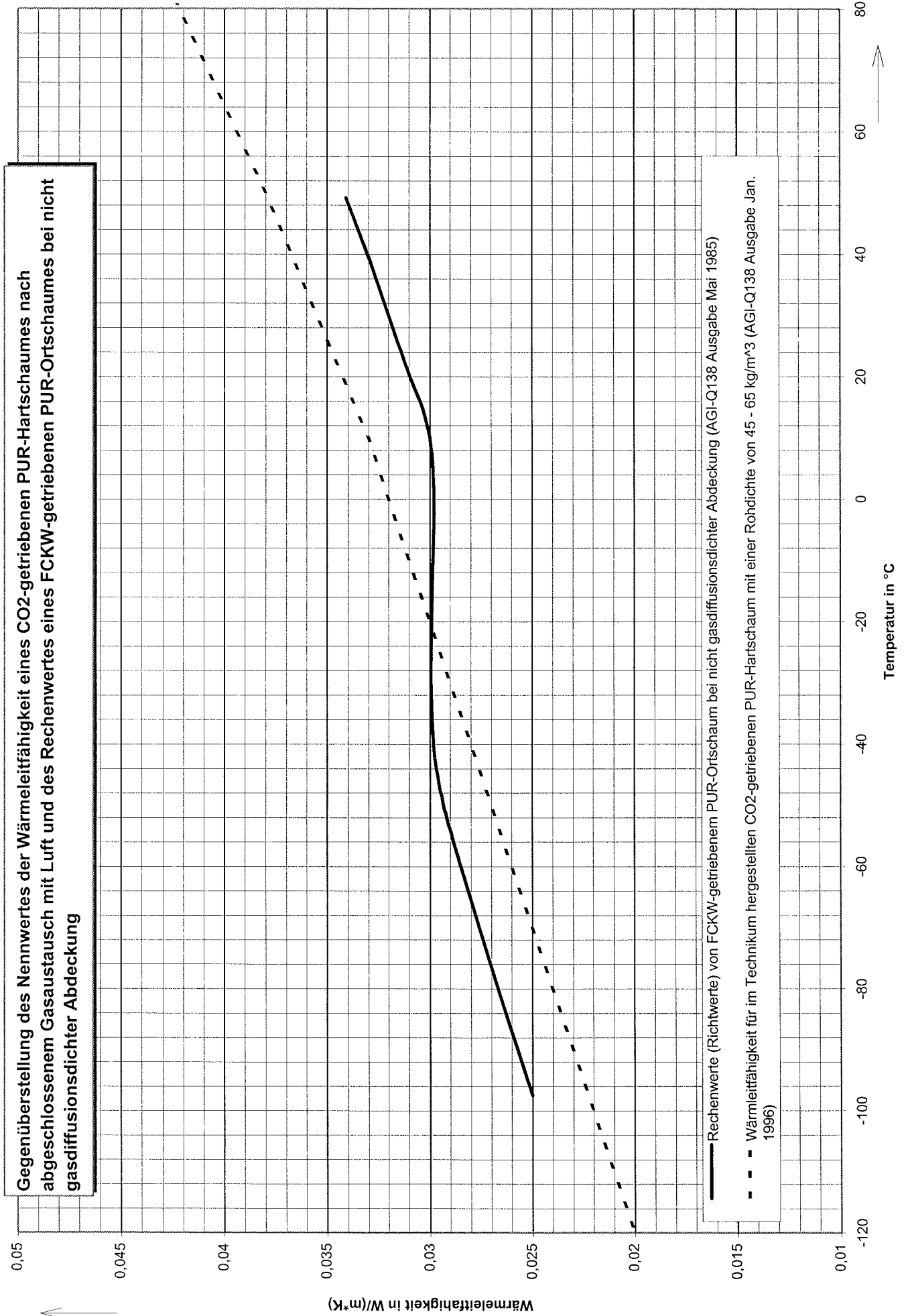
Betrachtet man den Alterungsprozess von FCKW-getriebenen PUR-Hartschäumen über einen Zeitraum von mehreren Jahren [4], so zeigt sich für Schäume ohne gasdiffusionsdichte Deckschichten ein relativ starker Anstieg der Wärmeleitfähigkeit in den ersten zwei bis drei Jahren. Danach verlaufen die Kurven für die Wärmeleitfähigkeit als Funktion von der Zeit relativ flach, um sich nach ca. 10 Jahren dann mehr oder weniger einem Endwert asymptotisch anzunähern. Für einen Zeitraum von 10 Jahren ergibt sich aus der Veröffentlichung von Dipl. Ing. Horst Zehendner [4], z. B. für einen PUR-Ortschaum (Gießschaum), ein mittlerer integraler Wert für die Wärmeleitfähigkeit von 0.025 W/(m·K). Der Endwert liegt bei ca. 0.028 W/(m·K).

Bei Proben eines mit CO₂-getriebenen Hartschaumes findet der Gasaustausch, bedingt durch die hohe Löslichkeit von CO₂ im Polyurethan-Feststoffgerüst, in sehr viel kürzerer Zeit statt.

An Probekörpern mit 20 mm Dicke mit den gegebenen Rohdichten von ca. 50 bis 60 kg/m³ ist das Treibmittel CO₂ nach sechswöchiger Lagerung bei Raumtemperatur meßtechnisch praktisch nicht mehr nachweisbar und ist fast völlig durch Luft ausgetauscht.

Bild 1.:

Vergleich der Wärmeleitfähigkeitskurve von gealterten PUR-Ortschäumen mit FCKW und CO₂ als Treibmittel.



Bestärkt durch diese Erkenntnisse wurden neue Gütebedingungen erarbeitet. Die DIN 18 159 Teil 1 Ausgabe Dezember 1991, die der veränderten Situation bei CO₂-getriebenem PUR-Ortschaum gerecht wurde, stellte die Grundlage für die neuen Gütebedingungen RAL-RG 710/7 mit dem Titel "*Auf der Baustelle hergestellter FCKW-freier Polyurethan (PUR)-Hartschaum - Polyurethan-Ortschaum für die Wärme- und Kälte-dämmung bei betriebstechnischen Anlagen*" dar.

Der wesentliche Unterschied zur bisher geltenden Norm lag in dem Rechenwert der Wärmeleitfähigkeit, der nun 0.035 W/(m·K) statt bisher 0.030 W/(m·K) betrug und der Anforderung an die Druckspannung bei 10 % Stauchung oder die Druckfestigkeit, die von 0.1 N/mm² auf 0.15 N/mm² heraufgesetzt wurde, entsprach. Die Mindestroh-dichte wurde von 37 kg/m³ auf 45 kg/m³ bzw. 50 kg/m³ bei der Verwendung bei Kälte-dämmungen angehoben. Als zusätzliche Anforderung wurde die Anforderung an die Geschlossen-zelligkeit mit mindestens 85 % geschlossenen Zellen aufgenommen.

Die Gütebedingungen trugen den Belangen des PUR-Ortschaumes als Dämmstoff für die Dämmung betriebstechnischer Anlagen bereits etwas mehr Rechnung, als der auf das Bauwesen eingeschränkte Anwendungsbereich der DIN 18159 Teil 1 "*Schaumkunststoffe als Ortschaum für das Bauwesen*". Die Anforderungen beschränkten sich aber mehr oder weniger, wie beim FCKW-getriebenen PUR-Ortschaum, auf die Eigenschaften des Schaumkunststoffes und die bisher üblichen Randbedingungen bei der Verarbeitung.

Dies sollte sich aber rächen, denn bald mußte man erkennen, daß die Qualität einer mit CO₂-getriebenen PUR-Ortschaum-Dämmung nicht nur alleine durch reine Stoffprüfungen erfaßt werden kann. Randbedingungen während der Verarbeitung, aber auch die Haftfestigkeit des PUR-Ortschaumes zur Ummantelung kann bei bestimmten PUR-Dämmsystemen mehr Einfluß auf die Funktionalität einer PUR-Ortschaumdämmung ausüben, als die anderen Stoffeigenschaften. Die Konsequenz aus dieser Erkenntnis konnte deshalb nur sein:

Es sind einerseits höhere Anforderungen an die Dämmunternehmen für die Herstellung der

PUR-Dämmsysteme zu stellen und andererseits sind gegebenenfalls neue Anforderungen für die PUR-Hartschaumsysteme zu definieren, mit denen die, über die Stoffeigenschaften hinausgehende, Qualitätsmerkmale erfaßt werden können.

Die Chance nochmals "an der Optimierungsschraube zu drehen" erhielt man mit der Überarbeitung der AGI-Arbeitsblätter Q 113 und Q 138. Obwohl zum damaligen Zeitpunkt eine "Einteiligkeit" der "Norm" gefordert wurde, kristallisierte sich die "Dreiteiligkeit" heraus mit Anforderungen an:

- PUR-Hartschaumsystem (Komponenten, die geeignet sind PUR-Hartschaum auf der Verwendungsstelle, also PUR-Ortschaum herzustellen)
- PUR-Ortschaum als Dämmstoff für PUR-Ortschaumdämmsysteme
- PUR-Ortschaum-Dämmsysteme

Die daraus resultierende klare Trennung half dann auch die Verantwortungsbereiche festzulegen und somit auch die Aufgaben zur Optimierung der Systeme entsprechend verteilen zu können.

An die Hersteller der Systeme wurde die Forderung gestellt, etwas "robustere" Systeme zu entwickeln, die etwas besser für den rauen Baustellenbetrieb geeignet sind. Dazu war es aber auch erforderlich, daß die Unternehmen der Dämmtechnik bereit waren, ihre PUR-Ortschaummaschinen auf andere Mischungsverhältnisse als 1:1 umzustellen.

In der Zwischenzeit wurden von den Herstellern der PUR-Ortschaummaschinen dafür Umrüstsätze angeboten, so daß die Systeme mit höheren Kennzahlen und anderen Mischungsverhältnissen als 1:1 angeboten werden konnten. Dies war bereits ein erster Schritt zur Stabilisierung der Konturstabilität und der Formbeständigkeit bei Wärmeeinwirkung unter Belastung.

Bekanntlich nimmt ja der Hang zur Formänderung unter Wärmeeinwirkung und Belastung mit abnehmender Kennzahl (Isozyanat-Index) des PUR-Systems zu.

Von verschiedenen Mitgliedsunternehmen (Unternehmen der Dämmtechnik) der GSH wurden mit Unterstützung der Hersteller der PUR-Hartschaumsysteme Untersuchungen durchgeführt, um die o.g. Probleme besser zu erfassen, um dann die entsprechenden Maßnahmen zu deren Beseitigung einleiten zu können.

Als die, die Qualität eines PUR-Ortschaumes entscheidend beeinflussende Größen kristallisierten sich heraus:

Maschinenparameter wie

- Druck und Schlauchlänge,
- Temperatur der Vor- und Schlauchheizung,
- Mischungsverhältnis,
- Kennzahl des PUR-Hartschaum-Systems

und natürlich wie bisher auch die Randbedingungen bei der Verschäumung

- Umgebungstemperatur, relative Luftfeuchte,
- Temperatur des Objektes

Durch die Verwendung von PUR-Systemen mit gravimetrischen Mischungsverhältnissen von 1:1,2 bis 1:1,65 konnten die Verstöße gegen die Anforderung an die Formbeständigkeit bei Wärmeeinwirkung unter Belastung im Rahmen der Fremdüberwachung stark reduziert werden. Auch die Haftfestigkeit zwischen den Lagen konnte stark verbessert werden, so daß die sogenannten "Kopfablösungen" minimiert werden konnten.

Im Rahmen dieser Untersuchungen stellte man aber auch fest, daß die Formbeständigkeit des PUR-Ortschaumes nicht an allen Stellen exakt gleich sein kann, sondern es örtlich zu Unterschieden kommen kann.

Mit einem neu festgelegten, und in dem AGI-Arbeitsblatt festgeschriebenen, Verfahren erhält der Verarbeiter bei einer Überprüfung im Rahmen der Fremdüberwachung eine reelle Chance, die Anforderung an die Formbeständigkeit bei Wärmeeinwirkung unter Belastung auch zu erfüllen. Durch das Prüfen einer "Säule", d. h. Prüfen von neun Probekörpern über die gesamte Höhe der Probe, wird im Zweifelsfall ein größerer Bereich erfaßt. Mit anderen Worten heißt dies, daß die Formbeständigkeit nicht an allen Stellen der Probe erfüllt sein muß, sondern nur im Mittel.

Nachdem mit der VDI 2055 Ausgabe Juli 1994 eine klare Begriffsbestimmung bezüglich der unterschiedlichen Werte der Wärmeleitfähigkeit erfolgt ist, erhob man für die Überarbeitung der AGI-Arbeitsblätter den Anspruch, diesbezüglich der gerade neu erschienenen VDI-Richtlinie gerecht zu werden. Aus diesem Grund wurde parallel zu den Untersuchungen, die von den Unternehmen der Dämmtechnik durchgeführt wurden, von der GSH, ebenfalls unterstützt durch die Hersteller der PUR-Hartschaumsysteme, ein weiteres Forschungsvorhaben an das FIW vergeben.

Es war zu bestimmen:

- der Nennwert der Wärmeleitfähigkeit des PUR-Hartschaumes (im Technikum gefertigter Proben)
- der Nennwert der Wärmeleitfähigkeit des PUR-Ortschaumes
- die Betriebswärmeleitfähigkeit (beispielhaft) für ein PUR-Ortschaum-Dämmsystem.

Zur Ermittlung des Nennwertes der Wärmeleitfähigkeit des PUR-Hartschaumes wurde von fünf, von den am Markt befindlichen Systemen, die Wärmeleitfähigkeit im Temperaturbereich von -180 °C bis +100 °C nach DIN 52612 Teil 1 gemessen. Mit Hilfe einer statistischen Auswertungsmethode wurde die obere Toleranzgrenze ermittelt, unter der ein relativer Anteil von 90 % der einzelnen Meßwertkurven mit einer Sicherheit von 90 % liegt.

Diese Kurve der oberen Toleranzgrenze stellt den Nennwert der Wärmeleitfähigkeit für den PUR-Hartschaum dar.

In Bild 2 ist die Nennwertkurve der Wärmeleitfähigkeit im Temperaturbereich von -180 °C bis +100 °C dargestellt.

Die Nennwerte für den PUR-Ortschaum und beispielhafte Betriebswärmeleitfähigkeiten konnten auf der Grundlage der VDI 2055 aus den Nennwerten für den PUR-Hartschaum abgeleitet werden.

Der Begriff PUR-Hartschaum wurde in dem Arbeitsblatt Q 138 den, im Technikum, unter idealen Randbedingungen, hergestellten Polyurethan-Proben (Musterfertigung) zugeordnet. Eine optimale Qualität ist deshalb zu erwarten. Der Nennwert der Wärmeleitfähigkeit für den PUR-Hartschaum beträgt bei einer Temperatur von 10 °C 0.033 W/(m·K). Dem PUR-Ortschaum, zwar hergestellt aus diesen geprüften Komponenten, jedoch unter Baustellenbedingungen, wird bereits eine etwas geminderte Qualität durch die Verarbeitungsunsicherheiten zugestanden. Der Nennwert der Wärmeleitfähigkeit, bei z. B. 10 °C, beträgt für den Ortschaum bereits 0.034 W/(m·K). Bei einer Überprüfung dieser Größe im Rahmen der Fremdüberwachung wird dem Verarbeiter deshalb auch dieser Wert zugestanden. Neu ist jedoch, daß für die Überprüfung nicht der Wert bei einer Temperatur von 10 °C herangezogen wird, sondern die Anforderung an die Wärmeleitfähigkeit muß in dem Temperaturbereich von 10 °C bis 50 °C erfüllt werden.

Die neue Anforderung ist somit:

Temperatur °C	10	20	30	40	50
Wärmeleitfähigkeit W/(m·K)	0.0340	0.0351	0.0362	0.0375	0.0388

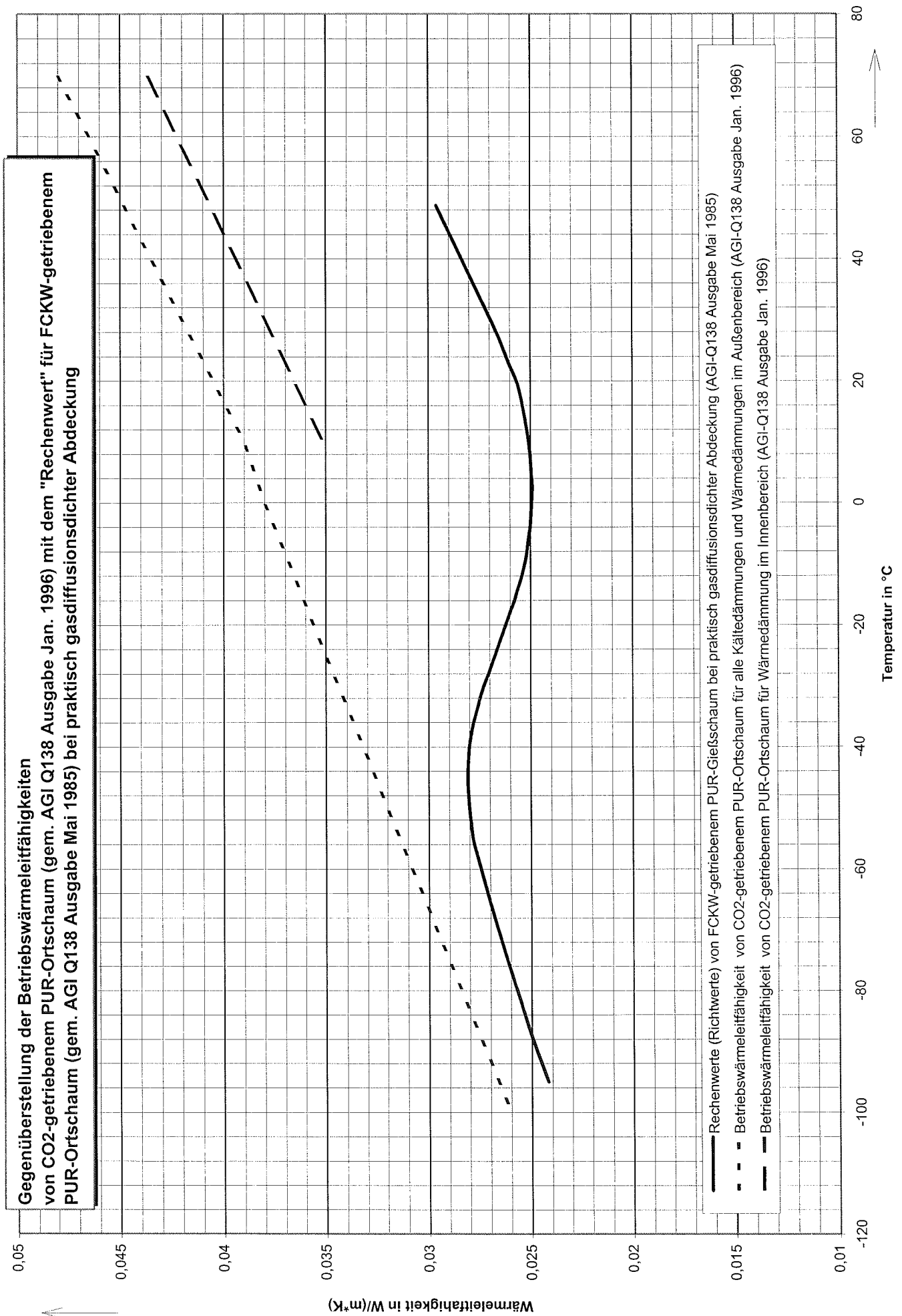
Oder mit anderen Größen ausgedrückt, bei 10 °C darf der Meßwert nicht größer als 0.034 W/(m·K). sein und die Steigung der Wärmeleitfähigkeit darf

bei 30 °C nicht größer als 0.12 mW/(m·K²) betragen. Damit läßt sich die Qualität bezüglich der Wärmeleitfähigkeit prüfen, denn bei PUR-Ortschäumen mit groben, großen Zellen wird der Strahlungsanteil in der "Wärmeleitfähigkeit" zunehmen und sich in einer etwas anderen Steigung äußern. Diese ist eine wichtige Größe für die Beurteilung der temperaturabhängigen Wärmeleitfähigkeit im Anwendungsbereich.

Werte der Betriebswärmeleitfähigkeit wurden für das gebräuchlichste Dämmsystem in das Arbeitsblatt Q 138 Ausgabe Januar 1996 beispielhaft aufgenommen. In Bild 2 sind die Werte der Betriebswärmeleitfähigkeit und die sogenannten "Rechenwerte" nach AGI-Arbeitsblatt Q 138 Ausgabe Mai 1985 gegenübergestellt. Aus formalen Gründen lassen sich diese beiden Größen gegenüberstellen und vergleichen, da die sogenannten "Rechenwerte" aus der Ausgabe Mai 1985 die Grundlage für die Berechnung des Wärmeschutzes darstellten, so wie dies, entsprechend den Empfehlungen der VDI 2055, heute die Werte der Betriebswärmeleitfähigkeit sind.

Bild 2:

Gegenüberstellung der Werte der Betriebswärmeleitfähigkeit und der sogenannten "Rechenwerte"



Auch aus dämmtechnischer Sicht sind die Auswirkungen von gleichen Einflußgrößen berücksichtigt. Bei der Betriebswärmeleitfähigkeit der PUR-Ortschaumdämmung sind die wirksamen Einflußgrößen mit Hilfe von Faktoren (f1 bis f7 gemäß VDI 2055) auf den Nennwert des PUR-Hartschaumes berücksichtigt.

Dies sind: der Einfluß von Verarbeitungsunsicherheiten mit 2 % Zuschlag, der Einfluß etwaiger Lunker oder auch geringfügigen "Kopfabblösungen" mit 5 % Zuschlag und für Kälte-dämmungen und auch Wärmedämmungen im Freien ein Zuschlag von 10 % für den Einfluß einer eventuell eingedrungenen Feuchtigkeit. Ein Zuschlag für die Alterung braucht bei dem CO₂-getriebenen PUR-Ortschaum nicht gemacht werden, da zum Zeitpunkt der Messung der Gasaustausch bereits abgeschlossen ist.

Die Ergebnisse des ersten Forschungsvorhaben zur Ermittlung der Betriebswärmeleitfähigkeit zeigten auch, daß sich das Zellgas CO₂ bei einer sogenannten "praktisch gasdiffusionsdichten Ummantelung" je nach Temperaturgradient und vor allem je nach seiner Richtung (Vorzeichen) innerhalb eines Jahres im Dauerbetrieb mit der Umgebungsluft bis zu 98 % ausgetauscht hat. Dies ist auf die relativ leichte Löslichkeit von CO₂ im Polyurethan-Feststoffgerüst zurückzuführen. Bei Kälte-dämmungen, bei denen der Temperaturgradient ein negatives Vorzeichen hat, d. h. der Wärmestrom von außen zum Rohr hin gerichtet ist, verläuft der Gasaustausch langsamer als bei einer Wärmedämmung, bei der das Gas CO₂ praktisch durch den entsprechenden Partialdruckunterschied bei gleichgerichtetem Gradienten ausgetrieben wird. Bei einer Kälte-dämmung mit - 25 °C Rohrtemperatur im Dauerbetrieb und einer Umgebungslufttemperatur von ca. 20 °C war nach 52 Wochen in der Mitte der Dämmschichtdicke im Zellgas noch ein CO₂-Gehalt von 10 % gefunden worden. Die Wärmeleitfähigkeit hat dann auch etwa 90 % seines Endwertes erreicht. Die Alterung schreitet also auch bei Kälte-dämmungen relativ rasch voran. Da die Wärmeleitfähigkeit einer neuen PUR-Ortschaumdämmung mit einem CO₂-Gehalt von etwa 90 % noch sehr niedrige Wärmeleitfähigkeitswerte aufweist (bis zu 23 % geringer als der Endwert und 34 % niedriger als die festgelegte Betriebswärmeleitfähigkeit) kann man für das erste Betriebsjahr im Mittel mit ca. 15 % geringeren Wärmeverlusten rechnen, als in den folgenden Jahren.

Dies gilt jedoch nur solange die betriebstechnische Anlage nicht abgeschaltet wird. Durch jeden Stillstand wird sich der Gasaustausch mit der Umgebungsluft beschleunigen und der Endwert wird eher erreicht. Aus diesem Grund macht es also keinen Sinn, auch für eine geringe Nutzungsdauer der betriebstechnischen Anlage ein Verbesserungsmaß einzurechnen.

Die niederen Werte der Wärmeleitfähigkeit von neuen Dämmungen müssen allerdings anders genutzt werden. Da Kälte-dämmungen in der Regel zur Verhütung von Tauwasser auszulegen sind und die Ummantelung der Dämmung - gott-seidank - auch altert, kann man für die Berechnungen der Dämmschichtdicke einen Emissionsgrad für den gealterten Blechmantel zugrunde legen, ohne daß schon bei der Abnahme der Kälte-dämmung das Tauwasser auf der Ummantelung reklamiert wird.

Die, in dem AGI-Arbeitsblatt Q 138 festgeschriebenen Nennwerte der Wärmeleitfähigkeit gelten für Polyurethan mit Luft als Zellgas, d.h. der Gasaustausch ist abgeschlossen und gelten für die beiden neu spezifizierten Werte für die Rohdichte:

Temperaturanwendungsbereich °C			Rohdichte kg/m ³
- 50	bis	+ 100	≥ 45
- 180	bis	- 51	≥ 55

Gegenüber dem FCKW-getriebenen PUR-Ortschaum bedeutet dies für den Temperaturbereich von 0 °C bis +100 °C und von -180 °C bis -51 °C ein Materialmeherverbrauch von 5 kg/m³.

Als eine weitere systemspezifische Größe, die für das Gelingen einer fachgerechten PUR-Ortschaumdämmung von größter Bedeutung ist, ist die Haftfestigkeit zwischen Schaum und Ummantelungsblech. Hierfür können als beeinflussende Größen genannt werden

- das Material des Bleches
- die Oberflächenbeschaffenheit des Bleches

- die Temperatur des Bleches während der Schäumarbeiten
- die Maschinenparameter, insbesondere die Temperatur von Vor- und Schlauchheizung und somit die Temperatur der vermischten Komponenten, wenn sie aus dem Mischkopf austreten
- gegebenenfalls eingesetzte Haftvermittler

und natürlich die, bei der Verarbeitung, herrschenden Randbedingungen wie Lufttemperatur und relative Luftfeuchte. Nicht zu vergessen sind aber auch die Bewegungen der betriebstechnischen Anlage und etwaige Kontraktionen bzw. der Primär- und Sekundärschrumpf des PUR-Ortschaumes.

Bei einer dritten, durch die GSH in Auftrag gegebenen Forschungsarbeit, wurde neben den Prüfungen der Formbeständigkeit bei Wärmeeinwirkung unter Belastung, der Haftfestigkeit zwischen Schaum und Blech große Aufmerksamkeit geschenkt.

Außerdem wurde bei diesem Forschungsvorhaben der Lagenverbund geprüft. Untersucht wurden insgesamt sechs verschiedene Systeme mit Probendicken von 100 mm und 200 mm.

Im folgenden ist das Ergebnis dieser Untersuchungen zusammengestellt:

Die Anforderungen des AGI-Arbeitsblattes Q 138 (Entwurf Rev. 10 vom 27.04.95) werden von vier der geprüften PUR-Hartschaumsysteme in allen Eigenschaften für beide Probendicken erfüllt.

Ein System erfüllt, die durch das Arbeitsblatt Q 138 gestellte Anforderung, an die Haftfestigkeit von $\geq 0.15 \text{ N/mm}^2$ zwischen Schaum und Blech mit einem Wert von 0.13 N/mm^2 nicht.

Bei einem System wurden die Anforderungen an den Lagenverbund (Kopfablösung $< 30 \%$ der Probendicke) und an die Formbeständigkeit bei Wärmeeinwirkung aufgrund der Überschreitung der Anforderung an Einzelwerte (Dickerverminderung $< 10 \%$) nicht erfüllt.

Mit diesem Ergebnis konnte man zufrieden sein, denn die mittleren Werte der Dickenverminderung bei der Prüfung der Formbeständigkeit bei Wärmeeinwirkung unter Belastung lagen zwischen 1,4 und 3,5 %. Für die Haftfestigkeit wurden Werte von 0.10 bis 0.41 N/mm^2 ermittelt.

Den Unternehmen der Dämmtechnik, die PUR-Ortschaumdämmungen herstellen wollen, sei deshalb an dieser Stelle empfohlen, möglichst bald, falls dies noch nicht geschehen ist, die Eignungsprüfung Stufe 2 gemäß AGI-Arbeitsblatt Q 138 mit ihren PUR-Ortschaummaschinen und dem System ihrer Wahl durchzuführen. Bei diesen Prüfungen hat man Gelegenheit, das Zusammenspiel System, Maschine (Parameter) und Randbedingungen zu testen und die erforderliche Erfahrung mit den neuen Systemen zu erlangen. Voraussetzung für die Eignungsprüfung Stufe 2 ist natürlich, daß man sich nur eines Systemes bedienen darf, das auch einen Nachweis über die Eignungsprüfung Stufe 1 führen kann.

Einzelheiten dieser Eignungsprüfungen sind in dem AGI-Arbeitsblatt Q 138 geregelt.

Diese einmaligen Prüfungen sind die Voraussetzungen, daß man sich mit dem geprüften System und der PUR-Ortschaummaschine (Typ) der Fremdüberwachung bei der GSH stellt und somit die Berechtigung erhält, PUR-Ortschaum gemäß dem AGI-Arbeitsblatt Q 138 herstellen zu dürfen.

Nicht zu vergessen ist aber eine weitere wichtige Aktivität unter dem Dach der GSH. Unmittelbar nach der Herausgabe des Arbeitsblattes Q 138 wurden Kurse abgehalten, in denen sich die Schäumer weiterbilden konnten und die für den CO_2 -getriebenen PUR-Ortschaum spezifischen Probleme kennenlernten und Maßnahmen übermittelt bekamen, um den Problemen richtig begegnen zu können. Der letztendlich bedeutendste und entscheidende Schritt für den Ausstieg aus der Verarbeitung von FCKW-getriebenem PUR-Ortschaum, denn die Herstellung erfolgt vor Ort letztendlich nur durch den Schäumer. Gegen diese Aktion ist die Ausarbeitung von neuen Gütebedingungen, unter Berücksichtigung der beschriebenen Gegebenheiten, eher eine unbedeutende Selbstverständlichkeit.

Das Ausstiegsszenario ist somit vollzogen! Was bringt aber der "Umstieg"?

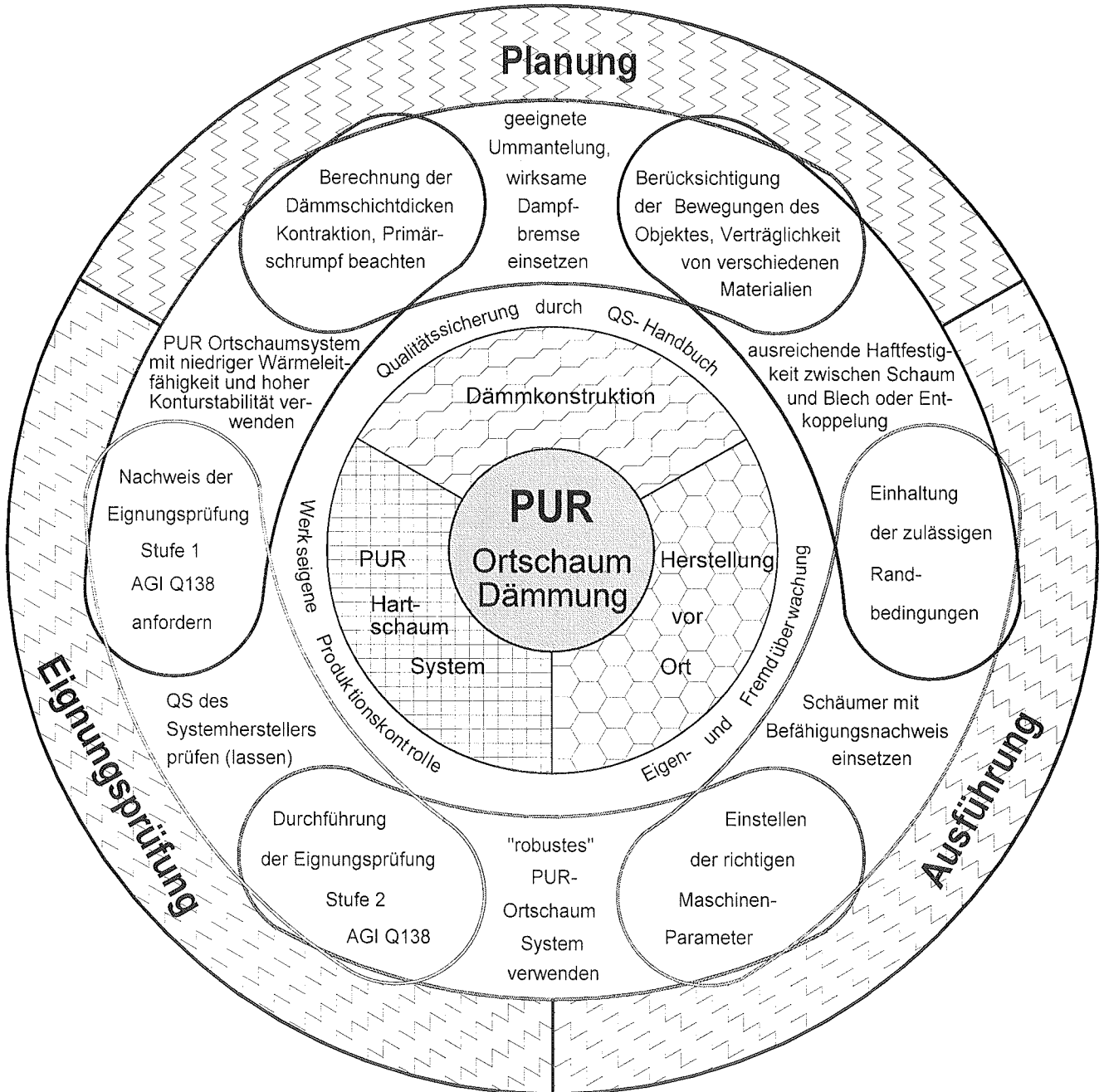
UMSTIEGSSZENARIO

Will man in die Zukunft blicken, so sollte man die Mängel und auch Schäden, die in den letzten Jahren bei den, mit CO₂-getriebenem PUR-Ortschaum hergestellten, Dämmungen möglicherweise aufgetreten sind, dem Ausstiegsszenario zuschreiben.

Die Basis für den Umstieg ist geschaffen. Und wenn man oben genanntes gelesen hat, so kann man sicher behaupten, diese Grundlage wurde mit großer Sorgfalt und hohem Verantwortungsbewußtsein von allen Beteiligten erarbeitet. Dies heißt jedoch nicht, daß es sich bereits um ein für alle Fälle erprobtes und risikofreies Dämmsystem handelt.

Für den Umstieg wurde für die Unternehmen der Dämmtechnik und Mitglieder der GSH, Frankfurt deshalb folgendes Schaubild mit dem Titel "Rund um die PUR-Ortschaumdämmung" als ein Symbol kreiert und zur Beachtung empfohlen:

Bild 3: Rund um die PUR-Ortschaumdämmung



Gut zu erkennen sind aus dieser Darstellung die Verknüpfungen und Überschneidungen der einzelnen Aktionen. Das Schaubild zeigt die Philosophie der neuen Gütebedingungen der GSH auf einen Blick:

Nur die Berücksichtigung des Zusammenspiels aller Einzelaktionen bei Planung, Eignungsprüfung und Ausführung führt zu einer fachgerecht ausgeführten, mängelfreien und qualitätsbewußten PUR-Ortschaumdämmung.

Prinzipiell haben dies natürlich bereits die Unternehmen der Dämmtechnik auch in der Vergangenheit beherzigt [6].

Bei allem Hang zu Qualitätsbewußtsein, darf man aber nicht die Kosten außer acht lassen, die bei der Herstellung einer PUR-Ortschaumdämmung auf der Grundlage des nun geltenden AGI-Arbeitsbattes Q 138 anfallen.

Neben den fixen Kosten, die durch die Fremdüberwachung zum Tragen kommen und zwar unabhängig vom Umsatz, ergeben sich nun neue zusätzliche Kostenblöcke.

Mit der Eignungsprüfung Stufe 2 ist ein neues Element in das Spiel gebracht worden, das Zeitaufwand bedeutet und somit auch Kosten verursacht. Diese Kosten fallen zwar je System und Maschine nur einmal an, sie sind aber sicherlich auch nicht vernachlässigbar klein.

Weitere, stetig anfallend höhere Kosten werden sich auch durch den höheren Materialverbrauch ergeben, der zum einen auf die um 5 kg/m^3 höhere Mindestrohichte zurückzuführen ist und der zum anderen aus den höheren Dämmschichtdicken, die sich aufgrund der neuen Werte für die Betriebswärmeleitfähigkeit ergeben müssen, resultieren wird. Gegebenenfalls erforderliche aufwendigere Dämmsysteme, z. B. Entkoppelung der Ummantelung, verursachen außerdem noch zusätzliche Kosten.

Geht man von dem gleichen Preis für 1 kg der flüssigen Komponenten aus und läßt alle anderen spezifischen Kosten, z. B. für 1 m^2 Blech, und die

Arbeitszeit konstant, so ergeben sich für die 15 bis 20 % höheren erforderlichen Dämmschichtdicken, als bisher erforderlich (siehe Bild 4) Mehrkosten durch höheren Materialeinsatz. Es fallen dadurch Kostensteigerungen in der Größenordnung von ca. 33 % bis 68 % an. Nicht eingerechnet sind die Mehrkosten, die durch einen höheren Aufwand für die durchaus berechtigten und zusätzlich erforderlichen Qualitätssicherungsmaßnahmen aufgebracht werden müssen, sowie einer gegebenenfalls verminderten Ausführungsrate pro Arbeitstag, bedingt durch die etwas schwieriger gewordene Verarbeitbarkeit der flüssigen Komponenten für den CO_2 -getriebenen PUR-Ortschaum.

In Bild 4 sind Dämmschichtdicken für eine mit CO_2 -getriebene PUR-Ortschaumdämmung für verschiedene Nenndurchmesser zusammengestellt und zu den Dämmschichtdicken gemäß AGI-Arbeitsblatt Q 157 "Dämmdicken für PUR-Ortschaum" beispielhaft für Betriebstemperaturen von $-100 \text{ }^\circ\text{C}$ und eine relative Luftfeuchte von 85 % bei $20 \text{ }^\circ\text{C}$ Lufttemperatur für ein verzinktes Stahlblech als Ummantelung gegenübergestellt. Die wesentlich höheren Dämmschichtdicken des CO_2 -getriebenen PUR-Ortschaumes resultieren allerdings nicht nur aus der etwas höheren Wärmeleitfähigkeit des PUR-Ortschaumdämmstoffes, sondern sie sind hauptsächlich auf die Wärmeübergangskoeffizienten von 4,1 bis $4,6 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ zurückzuführen, die sich basierend auf einem realistischen Emissionsgrad von 0.44 für verzinktes, gealtertes Stahlblech und für ruhende Luft ergeben. Die Dämmschichtdicken gemäß Q 157 Ausgabe November 1978 gelten für einen Wärmeübergangskoeffizienten von $6 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, der sicherlich etwas zu hoch angesetzt war. Daß diese Dämmschichtdicken sich in der Praxis trotzdem bewährt haben, liegt in der Tatsache, daß die "Rechenwerte" zusammen mit einem Zuschlag von $0.005 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ vielleicht etwas zuviel Sicherheit enthielten. Der "Rechenwert" für z. B. $10 \text{ }^\circ\text{C}$ Mitteltemperatur von $0.030 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ für die Dämmung liegt 50 % über dem Meßwert (nach 6 wöchiger Lagerung) von ca. $0.020 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$.

Bei einer neu, mit CO₂-getriebenem PUR-Ortschaum, fertiggestellten Dämmung ist zunächst auch eine ca. 34 % niedrigere Wärmeleitfähigkeit, als die angesetzte Betriebswärmeleitfähigkeit wirksam. Diese Tatsache hilft uns, die gewährleisteten Oberflächentemperaturen zur Verhinderung von Tauwasser auch im Neuzustand der PUR-Ortschaumdämmung zu erfüllen. Bedingt durch den wesentlich geringeren Emissionsgrad eines blanken, neuen Stahlbleches ergeben sich Werte für den Wärmeübergangskoeffizienten von 3.1 bis 3.6 W/(m²·K). Mit dem "Startwert der Wärmeleitfähigkeit" (34 % niedriger als die festgelegte Betriebswärmeleitfähigkeit) wird die Oberfläche der Dämmung unter diesen Umständen bis zu einer relativen Luftfeuchte von 87 % tauwasserfrei bleiben. Nun hängt es nur noch davon ab, was altert schneller? Ist es der PUR-Ortschaum oder ist es das Blech der Ummantelung?

Wesentlich extremere Unterschiede ergeben sich bei der Gegenüberstellung der Dämmschichtdicken für eine Ummantelung der Dämmung aus Aluminiumblech.

Das Aluminiumblech weist einen sehr geringen Emissionsgrad, insbesondere im Neuzustand, auf. Die VDI 2055 gibt für blankes, also neues, Aluminiumblech einen Wert von 0.05 und für oxidiertes Aluminiumblech einen Wert von 0.13 vor. Dies ergibt Wärmeübergangskoeffizienten bei ruhender Luft um etwa 2 bis 3 W/(m²·K), woraus extrem hohe Dämmschichtdicken (Bild 5) und somit auch Kosten bis zu 300 % höher, als bei der Verwendung von Stahlblech als Ummantelung, resultieren.

Bild 4: Gegenüberstellung der Dämmschichtdicken gem. AGI-Arbeitsblatt 157 Ausgabe 1978 und den auf der Basis der Betriebswärmeleitfähigkeit der Q 138 berechneten Dämmschichtdicken für eine Ummantlung aus verzinktem Stahlblech

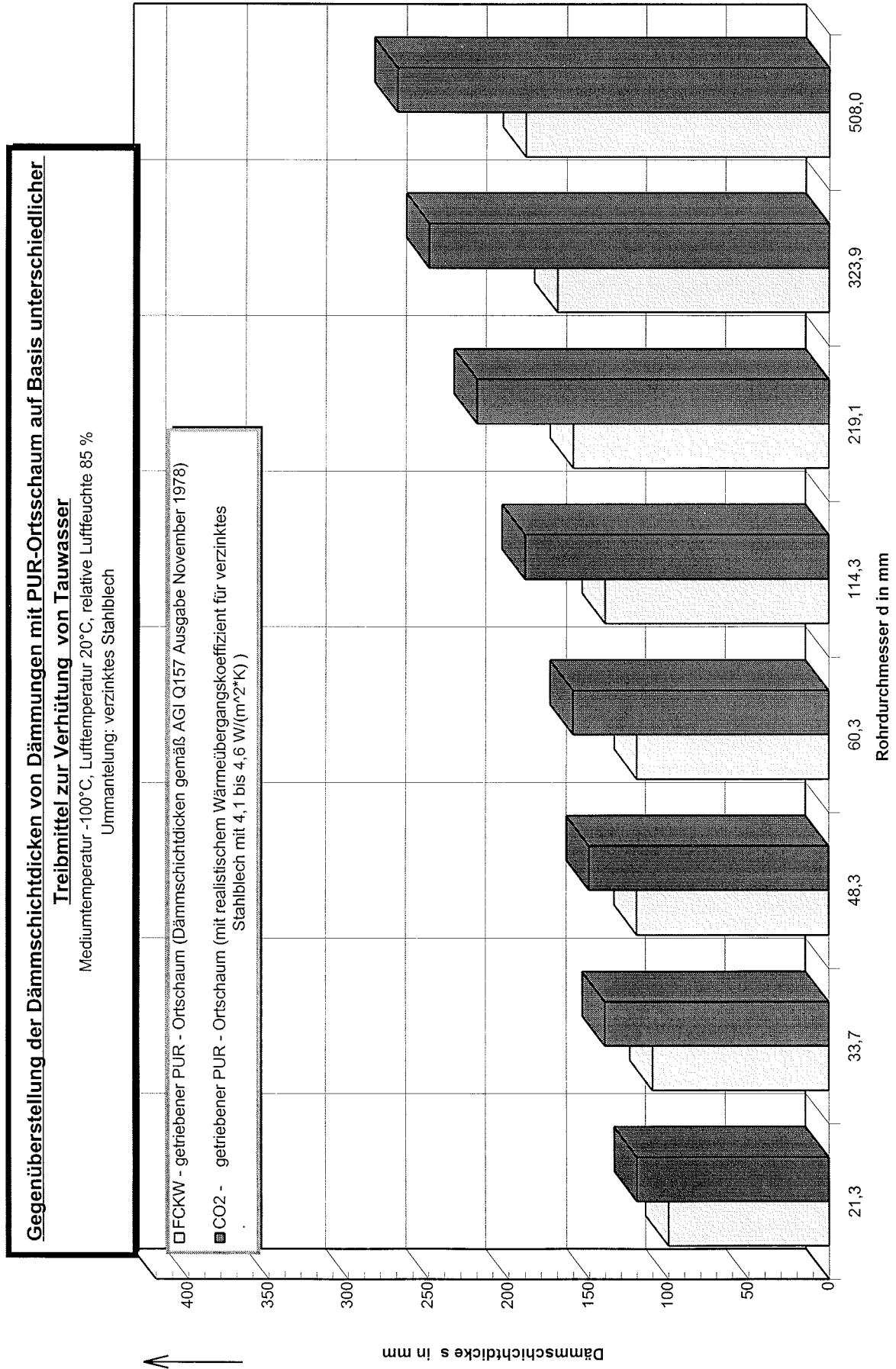
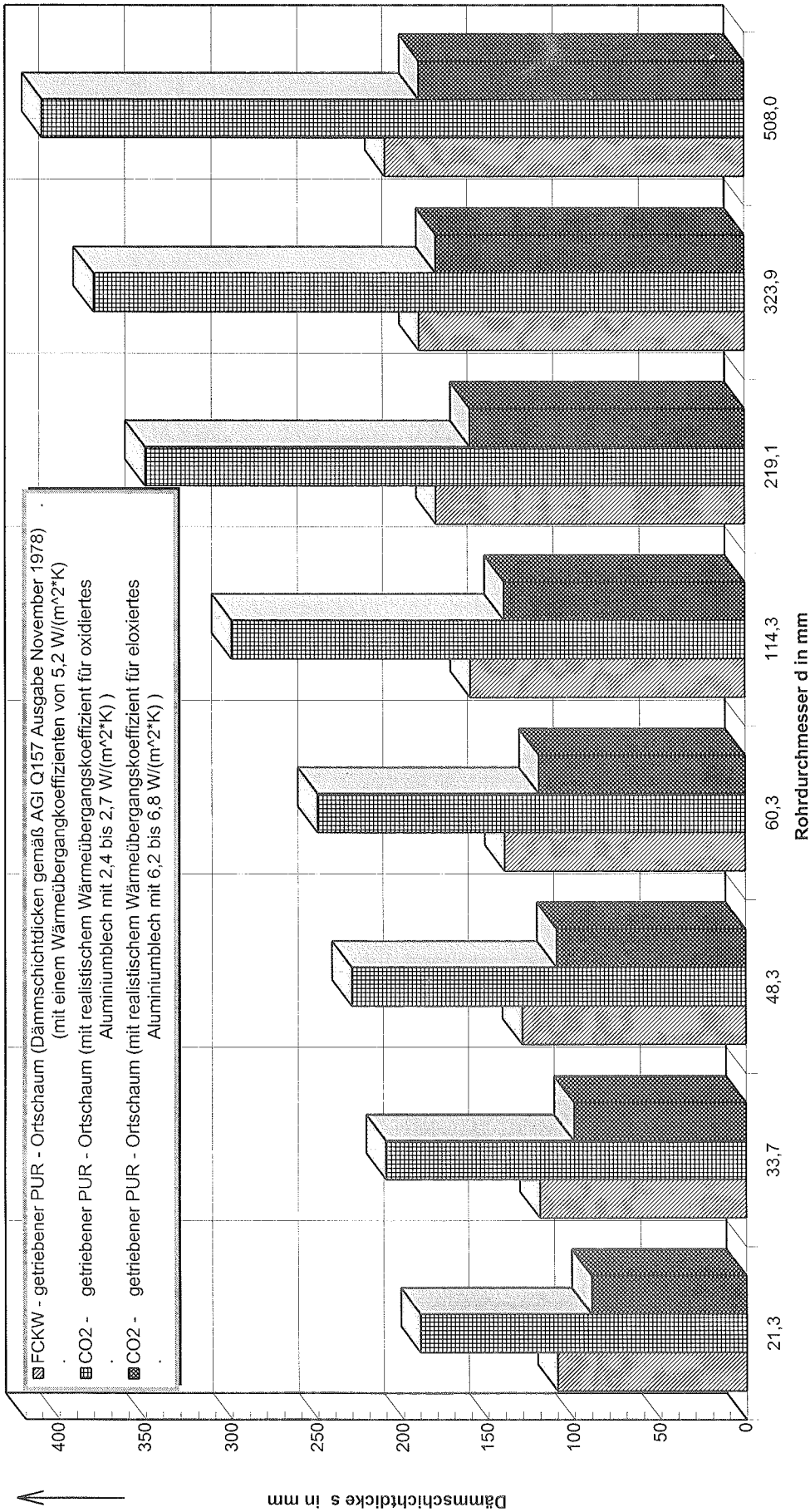


Bild 5:

Gegenüberstellung der Dämmschichtdicken gemäß AGI-Arbeitsblatt 157 Ausgabe 1978 und den auf der Basis der Betriebswärmeleitfähigkeit der Q138 berechneten Dämmschichtdicken für eine Umman- telung aus Aluminiumblech

Gegenüberstellung der Dämmschichtdicken von Dämmungen mit PUR-Ortschaum auf Basis unterschiedlicher Treibmittel zur Verhütung von Tauwasser
 Mediumtemperatur -100°C, Lufttemperatur 20°C, relative Luftfeuchte 85 %
 Umman- telung: Aluminiumblech



■ FCKW - getriebener PUR - Ortschaum (Dämmschichtdicken gemäß AGI Q157 Ausgabe November 1978) (mit einem Wärmeübergangskoeffizienten von 5,2 W/(m²*K)
 ■ CO2 - getriebener PUR - Ortschaum (mit realistischem Wärmeübergangskoeffizient für oxidiertes Aluminiumblech mit 2,4 bis 2,7 W/(m²*K)
 ■ CO2 - getriebener PUR - Ortschaum (mit realistischem Wärmeübergangskoeffizient für eloxiertes Aluminiumblech mit 6,2 bis 6,8 W/(m²*K)

Wer diese Tatsache ignoriert und die Dämmschichtdicken trotzdem auf der Basis eines Wärmeübergangskoeffizienten von ca. $5 \text{ W/m}^2\text{K}$ auslegt, geht dann eben ein höheres Risiko im Rahmen seiner Gewährleistungsverpflichtung ein. An einer Dämmung für die Betriebsbedingungen des genannten Beispiels wird sich bei einer neu in betriebgenommenen Dämmung eben schon gegebenenfalls ab einer relativen Luftfeuchte von 72 % Tauwasser bilden.

Das Risiko stark mindern läßt sich z. B. durch die Verwendung von eloxiertem Aluminiumblech. Für eloxiertes Aluminiumblech ergeben sich, bei einem Emissionsgrad von 0.8 geringere Dämmschichtdicken, als bei der Verwendung von verzinktem Stahlblech. Selbst bei einem doppelt angenommenen Preis für das eloxierte Aluminiumblech liegen die Kosten für die Dämmung dann nur noch um ca. 10 % höher, als bei einer Dämmung mit verzinktem Stahlblech als Ummantelung.

AUSBLICK

Trotz aller Probleme, der Umstieg wird gelingen! Er wird auch ohne Einbußen von Qualität einer PUR-Ortschaumdämmung gelingen, denn andere, neue Eigenschaften bedeuten keinen Qualitätsverlust. Der Umstieg wird gelingen, jedoch nicht ohne zusätzlichen Kosten!

Oder gibt es da vielleicht in naher Zukunft wieder ein neues Treib- und Zellgas, so daß man bald

wieder aus der Herstellung von CO_2 -getriebenem PUR-Ortschaum aussteigen kann und auf ein Neues umsteigen könnte? Der Arbeitsausschuß Polyurethan der GSH wird Sie unterstützen.

LITERATUR

- [1] DIN 18159 Teil 1: Schaumkunststoffe als Ortschäume im Bauwesen; Ausgabe Dezember 1991, Beuth Verlag, Berlin
- [2] Gütebedingungen RAL-RG 710/7: Auf der Baustelle hergestellter FCKW-freier Polyurethan (PUR)-Hartschaum - Polyurethan-Ortschaum - für die Wärme- und Kälte-dämmung bei betriebstechnischen Anlagen; Ausgabe Februar 1992, Deutsches Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung e.V.
- [3] Arbeitsblatt Q 138: Dämmarbeiten, Polyurethan (PUR)-Ortschaum, Dämmstoff für betriebstechnische Anlagen; Eigenschaften, Herstellung, Ausführung; Ausgabe Januar 1996; Vinzentz Verlag, Hannover
- [4] VDI 2055: VDI-Richtlinie, Wärme- und Kälteschutz für betriebs- und haustechnische Anlagen; Berechnungen, Gewährleistungen, Meß- und Prüfverfahren, Gütesicherung, Lieferbedingungen; Beuth Verlag GmbH, Berlin
- [5] Zehendner, H.: Untersuchungen an PUR-Hartschaum im Rahmen von GSH-Forschungsvorhaben. Im Dienst der Qualitätssicherung, GSH Güteschutzgemeinschaft Hartschaum e.V., Frankfurt/Main
- [6] Bremeyer W.: Polyurethan-Ortschaum CO_2 -getrieben als Dämmstoff für betriebstechnische Anlagen; Herstellung, Eigenschaften und Einsatz; Vortrag im Rahmen einer Vortragsveranstaltung beim Süddeutschen Kunststoffzentrum, Würzburg

