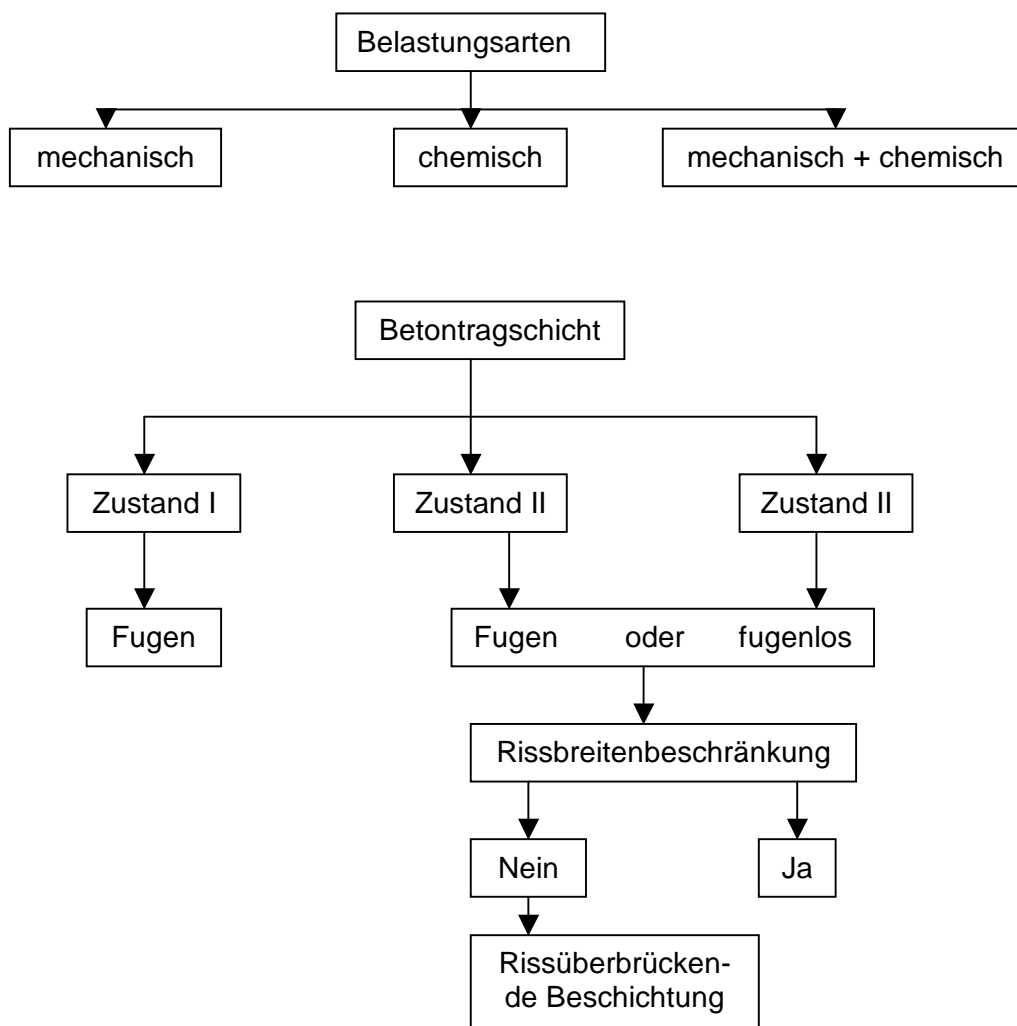


**Die Auswahl, Analyse und Vorbereitung des geeigneten Untergrundes bei der Herstellung von Epoxydharzoberflächen**

Der wichtigste Faktor bei Auswahl einer geeigneten Nutzschrift ist die Art des vorhandenen oder geplanten Untergrundes und dessen Zustand, denn jede Nutzschrift kann nur so gut sein, wie deren Tragschicht. Ist die Tragschicht bzw. der Untergrund mangelhaft, kann dies auch mit der besten und teuersten Nutzschrift nicht mehr ausgeglichen werden. Daher ist die Frage an die fachliche Kompetenz der Herstellung des Untergrundes ein ausschlaggebender Faktor für die gesamtschadenfreie Herstellung von Oberflächenbelägen.

**1. Belastungsarten**



# DAS CCf<sup>®</sup> INDUSTRIEFUSSBODEN-SYSTEM

Das CCf<sup>®</sup> FIF System als Epoxydharzbelag 09/04

praxis aktuell 9

Seite 2

Ausgehend von den Belastungen muss bei hoher mechanischer und chemischer Belastung eine Betonkonstruktion gewählt werden, die nachfolgende Kriterien erfüllt:

- fugenlos
- Rissbreitenbeschränkung gemäß DIN 1045  $w_r < 0,3$  mm
- Haftzugfestigkeit  $> 2,5$  N/mm<sup>2</sup> mit maximaler Dichte
- Herstellung im Gefälle mit einer Quarzkornoberfläche
- sehr schnelle Restfeuchte  $< 5$  %

Möglichst frühe Herstellung des Belages/Nutzschicht (Bauzeitenreduzierung) nach ca. 7 Tagen Erhärtungszeit für den eingebauten Tragbeton. Die Restfeuchte des Betons muss  $< 5$  % betragen, die Haftzugfestigkeit der Oberfläche  $> 2,5$  N/mm<sup>2</sup> mit Rissbreiten nach Herstellung des EP-Belages  $< 0,3$  mm.

Zunächst muss eine „Haftbrücke“ als geschlossene Schicht mit einem E-Modul  $< 2500$  N/mm<sup>2</sup> und einer Schichtstärke von mind. 0,5 mm aufgetragen werden, damit eine geschlossene (nicht durchlässige semipermeable) Schicht entsteht.

Durch den Einbau einer Oberflächenvergütung IPB HNS<sup>®</sup> wird eine dichte Schicht erzielt, in die kein „Ausgasen“ des Betons stattfinden kann. Durch diese geschlossene Schicht können keine niedermolekularen osmotisch wirkenden Bestandteile dringen.

Andererseits müssen in dieser Schicht die in der Betontragschicht auftretenden Risse dauerhaft übernommen werden, da sonst durch diese Risse wieder eine semipermeable Schicht entstehen kann.

## 2. Untergrundfeuchtigkeit und Beschichtung

Für die Beschichtung zementgebundener Untergründe mit Reaktionskunstharzen darf die Untergrundfeuchtigkeit 5 % nicht übersteigen. Diese, als Stand der Technik zu bezeichnende, Aussage hängt wie das Damoklesschwert über der Fußbodenbeschichtungstechnik und gilt als eine zeitraubende und unkontrollierbare Größe, deren Missachtung stets mit Schadenfällen und damit verbundenen finanziellen Einbußen bestraft wurde.

Diese Schäden basieren auf dem osmotischen Effekt. Daher muss eindeutig die Frage geklärt werden, welche Faktoren das Auftreten osmotischer Effekte im Industriefußbodenbau beeinflussen.

# DAS CCf<sup>®</sup> INDUSTRIEFUSSBODEN-SYSTEM

Das CCf<sup>®</sup> FIF System als Epoxydharzbelag 09/04

praxis aktuell 9

Seite 3

## 2.1. Restfeuchte

Zur Herstellung einer Oberfläche im oberflächennahen Bereich von ca. 1 – 2 cm, mit einer möglichst frühzeitigen Restfeuchte von < 5 %, muss der Beton optimal zusammengesetzt werden.

Folgende mögliche Restfeuchten können auftreten:

$$\begin{aligned} 300 \text{ kg/m}^3 \text{ PZ35F W/Z} &= 0,50 - 0,34 = 0,16 \times 300 = 48 & d &= 4,8 \% \\ &= 0,48 - 0,34 = 0,14 \times 300 = 42 & d &= 4,2 \% \\ &= 0,45 - 0,34 = 0,11 \times 300 = 33 & d &= 3,3 \% \end{aligned}$$

Es wurde ein Idealbeton mit einem w/z-Wert = 0,34 mit vollständiger Hydratation des Anmachwassers jeweils abgezogen.

Außerdem muss durch eine geeignete Trennlage erreicht werden, dass eine Abwanderung der Feuchtigkeit aus dem Beton in den Unterbau ermöglicht wird:

Es dürfen daher keine PE- oder PVC-Folien als Trennlage zwischen Beton und Unterbau, sondern ausschließlich Spezialfolien aus Geotextil mit einem Wasserdurchlässigkeitsbeiwert gem. DIN E 53936 2 – 4 eingesetzt werden. Alternativ kann ein Betoneinbau auf einer HGT ohne Trennlage erfolgen.

Außerdem ist eine Nachbehandlung durch Abdeckung mit PE-Folie zur Verbesserung der Oberflächenfestigkeit zwingend notwendig.

Bei einer optimalen Betonzusammensetzung und einer gesteuerten Abwanderung der Restfeuchte in den Untergrund kann die Restfeuchte von < 5 % schon nach 7 Tagen erreicht werden.

## 2.2. Physikalische Definition der Osmose

Unter Osmose versteht man das Hindurchwandern von Flüssigkeiten als Folge einer Diffusion durch eine halbdurchlässige (semipermeable) Trennwand (Diaphragma), die zwei Flüssigkeiten (bzw. Lösungen verschiedener Konzentration) trennt und nur für die Flüssigkeit (bzw. ein Lösungsmittel), nicht aber für den gelösten Stoff, durchlässig ist.

So findet z. B. bei Zuckerwasser und reinem Wasser eine Diffusion zur konzentrierten Lösung statt; infolge dessen nimmt dort die Flüssigkeitsmenge so lange zu, bis der entstehende hydrostatische Druck zu dem osmotischen Druck (Überdruck, der durch die diffundierte Flüssigkeit hervorgerufen wird) das Gleichgewicht hält.

Wie aus der physikalischen Definition abgeleitet werden kann, sind die entscheidenden Faktoren Wasser, in flüssigem und gasförmigem (Wasserdampf) Zustand, Salze in gelöster Form sowie eine semipermeable Schicht.

# DAS CCf<sup>®</sup> INDUSTRIEFUSSBODEN-SYSTEM

Das CCf<sup>®</sup> FIF System als Epoxydharzbelag 09/04

praxis aktuell 9

Seite 4

Alle drei Einflussgrößen begleiten uns, mit mehr oder weniger großer Tragweite, täglich bei der Applikation von wasserdampfdichten Industriebodenbelägen unterschiedlicher Kunstharzbasis auf zementgebundene Untergründe mit Untergrundfeuchtigkeiten größer 5 %.

Betonflächen mit und ohne Zementüberzügen, die ohne dampfdichte Isolation zum Erdreich ausgeführt werden, bzw. dampfdichte Isolationsfolien, die beim Einbau oder Betonieren verletzt wurden, ermöglichen das Aufsteigen von Feuchtigkeit und damit ein Einpendeln der Untergrundfeuchtigkeit oberhalb des für die Beschichtung zulässigen Grenzwertes von 5 %.

Verunreinigungen durch anorganische (z. B. Tausalze) oder organische Salze (z. B. Salze oder Weinsäure) in bzw. auf der mineralischen Oberfläche werden durch eine erhöhte Untergrundfeuchtigkeit gelöst und bilden die zweite Grundvoraussetzung für osmotische Erscheinungen.

Filmbildende und reaktivvernetzte Beschichtungssysteme mit dampfdichter Oberfläche werden stets in mehreren Arbeitsgängen bzw. in Verbindung mit einer Grundierung auf mineralische Untergründe appliziert. Feucht, auch nur mit Sporen verunreinigte Oberflächen, ermöglichen kein Applikationsergebnis mit 100prozentig geschlossener, porenfreier Kunstharzoberfläche.

Es entstehen Fehlstellen durch Benetzungsstörungen, mangelnde Wasseremulgierbarkeit sowie lokale Filmbildungs- bzw. Vernetzungsstörungen in Form von Poren und Mikroporen (gefüllt mit Salzlösung). Durch ein erneutes Überarbeiten dieser Schicht mit wasserdampfdichten Deckbeschichtungen wird dann das Diaphragma erzeugt. Die Voraussetzungen für Osmose sind damit erfüllt.

Gemäß Veröffentlichung Dr. R. Stenner/J. Magna können Undichtigkeiten in der Grundierung und die Blasen im Zusammenhang mit Inhaltsstoffen nachfolgender Schichten, wie Schwimm- oder Verschleißschichten, vermieden werden, wenn z. B. eine zweite Grundierung aufgebracht wird.

Im Rahmen der ZTV-BEL-B des BMV ist die zweilagige Grundierung bereits seit Jahren fester Bestandteil der auf Brücken zugelassenen Bauweise zur Abdichtung unter bituminösen Bahnen und ist unter dem Namen „Versiegelung“ bekannt. Diese Verfahrensweise hat sich bei den Verkehrsbauwerken in Hessen seit vielen Jahren bewährt und war als „Hessen-Siegel“ Vorläufer der oben aufgeführten Prüfvorschrift.

Wird die Grundierung auf Epoxydharzbasis vom feuchten Beton durch eine Art Sperr- oder Trennschicht getrennt oder werden Möglichkeiten geschaffen, dass sich der mögliche Druck auf eine große Fläche verteilen kann, so wird der osmotischen Blasenbildung wirkungsvoll begegnet.

Eine kurzfristige Feuchtigkeit an der Oberfläche, die nicht durch Untergrundfeuchtigkeit, sondern durch betonbedingte Feuchtigkeit hervorgerufen wird, kann durch Mörtelschichten aus ECC Mörtel innerhalb von 3 – 4 Tagen auf Werte kleiner 5 % gesenkt werden, so dass eine Beschichtung mit Epoxydharz-Beschichtungssystemen möglich ist.

Es muss jedoch gewährleistet sein, dass eine nachhaltige zusätzliche Durchfeuchtung nicht stattfinden kann. Man nennt daher diese ECC-Mörtelschichten auch temporäre Feuchtigkeitsperren, um den jeweiligen Bauzustand erfolgreich abwickeln zu können.

### 3. Haftzugfestigkeit bei der Herstellung von Epoxydharzoberflächen

Gem. Aussagen in der z. Zt. vorhandenen Fachliteratur sollen EP-Nutzschichten an die Oberfläche „angeklebt“ (notwendige Haftzugfestigkeit  $> 1,5 \text{ N/mm}^2$ ) und durch die Einstellung der Viskosität in einem „schlechten“ Beton im Porengefüge verzahnt werden. Diese Theorie geht von der Herstellung eines schlechten porösen Betons mit der Mindestanforderung Haftzugfestigkeit  $> 1,5 \text{ N/mm}^2$  aus.

Durch die Umsetzung der CCA<sup>®</sup> Oberflächenausbildung werden ganz andere Grundsätze betrachtet:

Unter betontechnologischen Gesichtspunkten wird eine sehr dichte Oberfläche mit möglichst sehr hohen Haftzugfestigkeitswerten hergestellt, in die möglichst kein EP-Harz eindringen kann. Durch die Auswahl der Viskosität von ca. 60 centopascal verbindet sich die Grundierung nur mit dem freigestrahlten Quarzkorn und dringt nicht in die Oberfläche des Betons ein. Es wird eine geschlossene Oberfläche (siehe osmotischer Druck) mit einem niedrigen E-Modul (Rissübernahme 0,2 mm) hergestellt.

Durch die Vergütung der Betonoberfläche mit Quarzkorn ohne Zementzugabe und maschinellem Verdichten der Oberfläche werden folgende Auswirkungen erzielt:

- geringer w/z-Wert mit geringer Restfeuchte an der Oberfläche
- Vergrößerung der Kornoberfläche nach dem Kugelstrahlen von ca. 40 % bei Betonoberflächen auf 80 %
- Haftzugfestigkeitswerte  $2,5 - 3,0 \text{ N/mm}^2$
- Haftzugfestigkeitswerte nach 7 Tagen
- Das Eindringen der EP-Harze in die Oberfläche wird verhindert und somit die Entstehung einer semipermeablen (partiell durchlässigen) Schicht.

#### 3.1. Mechanische Beanspruchung

Allgemein gilt: Je höher die Druckfestigkeit eines Stoffes, desto höher ist auch die mechanische Belastbarkeit. In hochfesten Beschichtungen können bei thermischen bzw. mechanischen Einwirkungen hohe Spannungen auftreten, die sich dann negativ auf den Verbund Beschichtung/Beton auswirken.

Daher haben sich die zäharten Beschichtungsstoffe im mittleren Festigkeitsbereich mit noch genügender Restelastizität seit geraumer Zeit als optimal herausgestellt.

Wichtig für die Abtragung mechanischer Belastungen ist eine richtige Schichtdickenermittlung.

Gemäß nachfolgender Tabelle wurde von Prof. Dr. F. Weihsteiner durch intensive Untersuchungen die Einwirkung der Belastung durch Flurförderfahrzeuge auf Epoxydharzbeläge ermittelt. Aus diesen Untersuchungen ist erkennbar, dass auf die Beschichtungen Lasten einwirken, die diese nicht selbst aufnehmen können, sondern auf den darunterliegenden Beton weiterleiten.

# DAS CCf<sup>®</sup> INDUSTRIEFUSSBODEN-SYSTEM

Das CCf<sup>®</sup> FIF System als Epoxydharzbelag 09/04

praxis aktuell 9

Seite 6

Wenn daher die Oberflächenfestigkeit des Betons nicht ausreichend ist, sind Schadenfälle unvermeidbar. Eine sehr wichtige Erkenntnis aus diesen Untersuchungen ist, dass nicht die Tragkraft des Staplers oder sonstiger Geräte maßgebend für die Belastung des Oberflächenschutzsystems Beschichtung ist, sondern die Radlast bzw. Radpressung. Aus diesen Überlegungen wurde die Bemessungsformel für die auszuwählende Dicke von Epoxydharzbelägen anhand von Radpressdrücken ermittelt.

Formel:  $R_w = (R_p \times F_k) \times F_d$

$R_w$  = wirksame Restbelastung unter der Beschichtung der Schichtdicke D

$R_p$  = Pressdruck des Rades oder der Palette auf die Beschichtung der Schichtdicke D

$F_D$  = Umrechnungsfaktor für die Lastverteilung der Beschichtung der Schichtdicke D

Tabelle 4 Umrechnungsfaktoren für Lastverteilungsfunktionen  $F_D$

Schichtdicke der Beschichtung (D) mm	Umrechnungsfaktor für die Lastverteilung ( $F_D$ )	Korrektur für Belastung ( $F_k$ )
2	1,96	Vollgummirad 1,0
3	2,56	
4	3,24	Vulkolanrad 1,2
5	4,00	
6	4,84	Polyamid 1,5
7	5,76	
8	6,76	Stahlgitterbox 1,5
9	7,84	
10	9,00	

### Berechnungsbeispiele

Betonfestigkeit	$R_w$	25N/mm <sup>2</sup>				35N/mm <sup>2</sup>				
		$R_p$	$N/mm^2$	$F_d$	mm	$F_d$	mm	$F_d$	mm	
Radpressdruck			100	50	100	50				
Vollgummi	$F_k$	1,0	4,0	5,0	2,0	2,0	2,9	4,0	1,4	2,0
Vulkolan		1,2	5,0	6,0	2,5	3,0	3,5	4,5	1,8	2,0
Polyamid		1,5	6,0	7,0	3,0	4,0	4,3	5,0	2,1	2,0

# DAS CCf<sup>®</sup> INDUSTRIEFUSSBODEN-SYSTEM

Das CCf<sup>®</sup> FIF System als Epoxydharzbelag 09/04

praxis aktuell 9

Seite 7

## 3.2. Rissüberbrückende Belagsysteme, Rissproblematik und Risstypen

Schwinden als Funktion der Betonzusammensetzung

Frühschwinden

P235F nach 7 Tg. 80 %

Temperatur f. (Betontemperatur)

t= 20 – 25 (Betontemperatur)

13 – 15 (Erdreich)

ca. 10° C nach 7 Tg. 100 %

Langzeitschwinden

bis 20 Jahre 20 %

Biegezugbeanspruchung

100 % nach Fertigstellung

Bei der Auswahl der Belagskonstruktion muss somit unter Rissgesichtspunkten ausschließlich das Langzeitschwinden und die Biegezugbeanspruchung berücksichtigt werden.

Da rissüberdeckende Beschichtungsbeläge bei gleichzeitiger mechanischer Beanspruchung nicht eingesetzt werden können, muss eine entsprechende Berücksichtigung über die Schichtarten und das verwendete E-Modul getroffen werden.

Rissüberbrückende Belagsysteme mit nennenswerter Übernahme von Rissaufweitungen können bei gleichzeitiger mechanischer und statischer Beanspruchung die auftretenden Kräfte aus der Belastung nicht übernehmen.

Andererseits können bei Rissbildung im Unterbau Risse bis ca. 0,2 mm durch eine Armierung mit Glasfasergewebe und unter Einsatz elastifizierter Beschichtungssysteme übernommen werden.

Von daher muss eigentlich grundsätzlich bei der Dimensionierung von Betonbodenplatten der Grundsatz der DIN 1045, § 17.6 Rissbreitenbeschränkung, mit einer Dimensionierung der Betonplatten auf Rissweiten kleiner 0,2 mm erfolgen. Über eine andere Art der Dimensionierung mit (starrten) Epoxydharzbelagsystemen kann keine Diskussion geführt werden.

Aufgrund dieser Forderungen können natürlich auch die im Betonfrühalter entstehenden Oberflächen- oder Krakelierungsrisse von der jeweiligen Beschichtung übernommen werden.

Eine Unterscheidung, ob ein dynamischer, Zug-, Biegezug-, Schwind-, Krakelierungsrisse vorliegt, muss daher bei statisch und mechanisch beanspruchten Bauteilen einer Dimensionierung unterliegen.

Bei Armierung von Epoxydharzbelägen werden harte, kaum dehnfähige Materialien eingesetzt, die durch die Armierung üblicherweise mit Glasfaserfließ oder –gewebe die Zugfestigkeit parallel zur Oberfläche der Betonschicht deutlich erhöhen.

Ist diese Zugfestigkeit parallel zur Oberfläche größer als die Haftfestigkeit am Untergrund, schert der Oberflächenbelag vom Beton in der Verbindungsstelle ab, so dass sich „großflächige selbsttragende Systeme ergeben“.



# DAS CCf<sup>®</sup> INDUSTRIEFUSSBODEN-SYSTEM

Das CCf<sup>®</sup> FIF System als Epoxydharzbelag 09/04

praxis aktuell 9

Seite 9

## 3.5. Fugen

Fugen sind für flüssigkeitsdicht zu beschichtende Flächen in jedem Fall als problematisch zu betrachten. So sehen die Richtlinien für Auffangräume in Deutschland Fugenfreiheit vor. Aufgrund dieser Forderung kommt die bereits erwähnte Ausführung gemäß DIN 1045, § 17.6 Rissbreitenbeschränkung mit fugenloser Herstellungsmöglichkeit, als zwingende Voraussetzung für die Herstellung von Epoxydharzbelägen mit hoher mechanischer und chemischer Beanspruchung zum Ansatz.

## 3.6. Temperatureinflüsse auf Industriefußbodenoberflächen/Systemen

Neben einer Vielzahl von positiven Eigenschaften treten bei Kunstharzen durch Temperaturwechselbelastungen Längenänderungen auf, die unerwünschte Scherspannung verursachen und zur Ablösung der Beschichtung vom Beton führen können.

Als besonders problematisch sind daher hohe Temperaturschwankungen in relativ kurzen Zeitabständen anzusehen, da sich diese besonders negativ auf die Verbundhaftung auswirken. Diese Beanspruchungen sollten möglichst vermieden werden, z. B. durch wasserführende Maßnahmen wie Rohre und Trichter, die das Heißwasser direkt in die Wasserleitung abführen, ohne dass die Beschichtung in Mitleidenschaft gezogen wird.

Langsame Temperatureinwirkungen stellen dagegen weniger hohe Anforderungen dar, da sich die aufgebauten inneren Spannungen durch sogenannte „Relaxation“, d. h. durch Kriechvorgänge, abbauen

In Bereichen der Nahrungsmittelindustrie, wo neben der thermischen Beanspruchung auch eine hohe mechanische Belastung einwirkt, muss die Problemlösung mit relativ harten jedoch durch Füllstoffe abgemagerten Systemen durchgeführt werden. Spannungsarme elastische Systeme, die hervorragend Temperaturwechsel abtragen können, können in diesen Bereichen nicht eingesetzt werden.

Der Wärmeausdehnungskoeffizient bei EP-Harz beträgt  $10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}$ , Maß für thermische Ausdehnung bei einer Temperaturzunahme von  $1 \text{ } ^\circ\text{C}$ .

	reines Harz	1:3	1:9
E-Modul (N/mm <sup>2</sup> )	2900	9700	25000
Tem.-Dehnzahl ( $10^{-6}/\text{K}$ )	69	29	10

Längenänderung eines 1 m langen Stabes bei  $1^\circ/100^\circ\text{C}$

Rechenbeispiel Klarharz  $1000 \text{ m} \times 70 \times 0,00000 \times 1^\circ \text{C} = 0,070 \times 100^\circ \text{C} = 7,0 \text{ mm}$

Rechenbeispiel gefülltes Harz  $1000 \text{ m} \times 29 \times 0,00000 \times 1^\circ \text{C} = 0,029 \times 100^\circ \text{C} = 2,9 \text{ mm}$

Durch die dargestellten Rechenbeispiele kann sehr schnell erkannt werden, dass sich reine Epoxydharze bei einer Temperaturerhöhung um 100 Grad Celsius um 7,0 mm verändern, das gefüllte durch Quarzzusatz abgemagerte Harz sich jedoch nur um 2,9 mm in der Länge ändert.