

Festigkeits- und Verformungsverhalten von Fugendichtstoffen (FDS) und Fugenbändern (FB) in Kreuz- und T-Stößen zur Entwicklung eines Prüfverfahrens.

Tl.2. Festigkeits- und Verformungsverhalten von Fugenbändern

T 3125

T 3125

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die Originalmanuskripte wurden reprotechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprotechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

© by Fraunhofer IRB Verlag

2006

ISBN-10: 3-8167-7257-9

ISBN-13: 978-3-8167-7257-6

Vervielfältigung, auch auszugsweise,
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

Fraunhofer IRB Verlag

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69

70504 Stuttgart

Nobelstraße 12

70569 Stuttgart

Telefon (07 11) 9 70 - 25 00

Telefax (07 11) 9 70 - 25 08

E-Mail irb@irb.fraunhofer.de

www.baufachinformation.de

Institut für Bauingenieurwesen
Fachgebiet Baustoffe und Baustoffprüfung
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Bernd Hillemeier

Abschlussbericht zum Forschungsprojekt

**Festigkeits– und Verformungsverhalten von
Fugendichtstoffen (FDS) und Fugenbändern (FB)
in Kreuz– und T– Stößen
zur Entwicklung eines Prüfverfahrens**

Teil 2:

**Festigkeits– und Verformungsverhalten
von Fugenbändern (FB)**

Geschäftszeichen ZP 52–5–19.39.1–1097/04

gefördert durch
das Deutsche Institut für Bautechnik Berlin

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Bernd Hillemeier,
Dr.-Ing. Brigitte Westphal–Kay

Berlin, 31.08.2006

INHALTSVERZEICHNIS

INHALTSVERZEICHNIS	I	
ABKÜRUNGEN	III	
KURZFASSUNG	1	
ABSTRACT	3	
RESUMÉ	4	
1	EINLEITUNG	1
2	MOTIVATION DER FORSCHUNG	7
3	FUGENBANDTYPEN	9
4	UNTERSUCHTE FUGENBÄNDER	10
4.1	Fugenbandtypen	10
4.2	Fugenbänder aus thermoplastischen Kunststoffen	11
4.3	Fugenbänder aus einem thermoplastischen Elastomer (TPE)	11
4.4	Codierung der untersuchten Fugenbänder	11
5	UNTERSUCHUNGSABLAUF	13
5.1	Versuche an eingebauten Fugenbändern (Kreuz- und Parallelfuge)	13
5.2	Versuche an Schulterstäben	13
6	PRÜFVORRICHTUNGEN	15
6.1	Prüfvorrichtung zur Untersuchung der Fugenbänder im eingebauten Zustand	15
6.2	Prüfvorrichtung zur Untersuchung der Schulterstäbe	16
7	PROBEKÖRPER	17
7.1	Probekörper „Kreuzfuge“	17
7.2	Probekörper „Parallelfuge“	18
7.3	Probekörper „Schulterstab“	19
8	ERGEBNISSE DER UNTERSUCHUNGEN AN KREUZFUGEN	20
8.1	Vorbereitung	20
8.2	Fugenabschlussbänder (FA)	20
8.2.1	Besonderheiten bei der Prüfung und Auswertung	20
8.2.2	Fugenabschlussbänder aus Polyethylen	21
8.2.3	Fugenabschlussbänder aus TPE	24
8.2.4	Fugenabschlussbänder aus einer Materialkombination mit thermoplastischen Eigenschaften	26

8.3	Innenliegende Fugenbänder mit Mittelschlauch (FM)	30
8.3.1	Besonderheiten bei der Auswertung	30
8.3.2	Innenliegende Fugenbänder aus Polyethylen	31
8.3.3	Innenliegende Fugenbänder aus TPE	33
8.3.4	Innenliegendes Fugenband aus einer Materialkombination mit thermoplastischen Eigenschaften	36
9	ERGEBNISSE DER UNTERSUCHUNGEN AN PARALLELFUGEN	40
9.1	Vorbereitung und Besonderheiten bei der Auswertung	40
9.2	Fugenbänder aus Polyethylen	40
9.3	Fugenbänder aus TPE	44
10	ERGEBNISSE DER UNTERSUCHUNGEN AN SCHULTERSTÄBEN	49
10.1	Versuchsergebnisse	49
10.2	Numerische Berechnungen	50
10.2.1	Vorgehensweise	50
10.2.2	Schulterstäbe aus Polyethylen	52
10.2.3	Schulterstäbe aus TPE	53
11	VERGLEICHENDE WERTUNG DER UNTERSUCHUNGSERGEBNISSE	55
11.1	Kreuzfugen	55
11.2	Parallelfugen	60
11.3	Schulterstab – Parallelfuge	62
12	ZUSAMMENFASSUNG UND EMPFEHLUNGEN	64
13	LITERATUR	65

Abkürzungen

DIBt	Deutsches Institut für Bautechnik
FB	Fugenband
FA	Fugenabschlussband
FM	Innenliegendes Dehnfugenband mit Mittelschlauch
LAU	Lagern, Abfüllen und Umschlagen wassergefährdender Stoffe
MK	Materialkombination
PE	Polyethylen
PK	Probekörper
RT	Raumtemperatur
TPE	Thermoplastisches Elastomer
WK	Wahrscheinlichkeit

Kurzfassung:

Für die Zulassung von Fugenabdichtungssystemen in Anlagen zum Lagern, Abfüllen und Umschlagen (**LAU**-Anlagen) wassergefährdender Stoffe wurden vom Deutschen Institut für Bautechnik (DIBt) Zulassungsgrundsätze erarbeitet. Die Zulassungsgrundsätze sehen für Fugenbänder im eingebauten Zustand eine zyklische Dehnbeanspruchung bei -20°C vor.

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurden Kreuzfugen sowie ungeschweißte und geschweißte Parallelfugen bei -20°C und $+20^{\circ}\text{C}$ untersucht. Vier der sechs untersuchten Fugenbänder sind durch das Deutsche Institut für Bautechnik für den Einbau in LAU-Anlagen bauaufsichtlich zugelassen.

Untersuchungsgegenstand waren Fugenabschlussbänder (**FA**) (Kreuzfuge) und innenliegende Fugenbänder mit Mittelschlauch (**FM**) (Kreuz- und Parallelfuge) jeweils gefertigt aus Polyethylen (PE), einem Thermoplastischem Elastomer (TPE) bzw. einer Materialkombination (MK).

Alle Probekörper wurden in Absprache mit dem Deutschen Institut für Bautechnik mit dem gleichen Verformungsweg von 6 mm beansprucht. Dieser Prüfweg ist doppelt so lang wie der in den Zulassungen vom jeweiligen Hersteller vorgegebene zulässige Verformungsweg. Die Versuche wurden an einer für diese Aufgabe entwickelten neuartigen Prüfvorrichtung gefahren, die mit Mitteln des Deutschen Instituts für Bautechnik finanziert wurde.

Die visuelle Begutachtung, die nach den zyklischen Versuchen entsprechend den Zulassungsgrundsätzen des Deutschen Instituts für Bautechnik vorgenommen wurde, ergab bei keiner Probe eine Schädigung.

Im Anschluss an die zyklischen Dehnversuche wurden die eingebauten Fugenbänder auf Versagen geprüft. Die Versuche zeigten abhängig von der Probeausprägung (Kreuz-/Parallelfuge, ungeschweißt/geschweißt) und von der Beanspruchungstemperatur unterschiedliche Ergebnisse.

Unter den gewählten Versuchsbedingungen kam es bei den Kreuzfugen aus Fugenabschlussbändern aus PE und aus der Materialkombination nicht zum Versagen. Bei allen anderen Proben stellte sich Versagen der Schweißverbindungen oder bei einer geringen Anzahl von Probekörpern des Betons ein. Die ermittelten Versagenswege und -kräfte zeigten zum Teil große Streuungen. Als eine Ursache hierfür kann die manuelle Fertigung der Schweißverbindungen angesehen werden. Die Versagensversuche zeigten, dass Fugenabschlussbänder (FA) geometriebedingt längere Verformungswege ertragen als innenliegende Fugenbänder (FM).

Bei den Parallelfugen konnte bis zu einem Dehnweg von 114 mm nur bei einigen geschweißten Proben Versagen festgestellt werden: Fugenbänder aus PE bei Frost, Fugenbänder aus TPE bei Raumtemperatur und Frost. Die ungeschweißten Proben versagten unter den gewählten Bedingungen nicht.

Parallel wurden im einaxialen Zugversuch ungeschweißte und geschweißte Schulterstäbe untersucht. Die geschweißten Schulterstäbe zeigten bei +20°C in ihrem Spannungs-Dehnungs-Verlauf ein weicherer Materialverhalten als die ungeschweißten Schulterstäbe. Bei den Parallelfugen wurde ein gegensätzliches Verhalten beobachtet. Hier verhielten sich die geschweißten Proben steifer als die ungeschweißten Proben. Ein Rückschluss im Materialverhalten vom Schulterstab auf die Parallelfuge scheint aus diesem Grund nicht möglich.

Abstract:

The „*Deutsches Institut für Bautechnik*“, DIBt, has worked out a new Technical Approval Guideline for water stops used in plants that deal with water contaminating liquid substances (i.e. pure chemical liquids or mixtures thereof), so-called „LAU Plants“. For water stops these Technical Approval Guidelines imply the use of successive loading in form of a cyclic expansion at -20°C .

This study was conducted at -20°C and $+20^{\circ}\text{C}$ using intersections as well as unwelded and welded parallel joints. Four of the six examined water stops have a technical approval for construction applications dealing with water contaminating liquid substances. Expansion water stops for capping joints („FA“) and ribbed water stops with centerbulb („FM“) made of Polyethylene (PE), Thermoplastic Elastomeric Rubber (TPE) or a combination of materials (MK) were under examination.

All specimens were loaded to an identical expansion movement of 6 mm. The examinations were carried out with a novel testing device which was developed during this research project. The testing device was supported financially by the „*Deutsches Institut für Bautechnik*“.

The Technical Approval Guideline includes visual evaluation of the joint sealing material after testing. All specimens were without damage after the cyclic expansion.

After the cyclic tension tests the specimens were deformed up to failure. The results of this tearing up tests were different. They depend on the kind of water stops (cross joint / parallel joint, unwelded / welded) and the temperature.

Most of the tested specimens made of cross joints show weld failing. The damage forces and damage ways show a wide range of variations. This may be caused by the handmade welds. Because of their construction water stops for capped joints undergoing a greater deformation way than ribbed water stops with centerbulb.

Only a few of the welded parallel joints failed up to the expansion movement of 114 mm: water stops made of PE at $+23^{\circ}\text{C}$ and water stops made of TPE $+23^{\circ}\text{C}$ and -20°C . Unwelded parallel joints do not failed under these test conditions.

The welded shouldered test bars show at $+20^{\circ}\text{C}$ in the stress-strain-curve a softer behaviour than the unwelded shouldered test bars. This is different to the results which were gotten from the parallel joints. The material behaviour of the welded parallel joints was stiffer than the material behaviour of the unwelded parallel joints. Therefore it seems to be impossible to get conclusions about the parallel joints by testing shouldered test bars.

Résumé:

Pour l'admission des systèmes de l'étanchement des joints dans les constructions pour le stockage, le soutirage et le renversage (SSR) des matières qui pourraient encrasser l'eau, l'Institut pour la Technique de Construction (DIBt) a élaboré des nouveaux principes de l'admission. Les principes prescrivent un allongement cyclique pendant une température de -20°C pour les cordons-joint encastrés

En cadre du projet de recherche des joints à forme géométrique de croix et des joints parallèles soudés et non-soudés étaient examinés pendant des températures de -20°C et $+20^{\circ}\text{C}$. Quatre de six cordons-joints de finitions examinés sont admises par le DIBt pour être installer aux constructions SSR.

Les objets de l'examen étaient des cordons-joints de finition (FA), en forme de joints à forme géométrique de croix, et des cordons-joints intérieurs avec tuyau central (FM), les derniers en forme de joints parallèles et joints à forme géométrique de croix. Les cardon-joints sont fabriqués d'un polyéthylène (PE), un thermo-plastique élastomère (TPE) et une combinaison des matériaux (MK).

Tous les échantillons furent examinés avec l'entente du DIBt avec les mêmes déformations de 6 mm. Cette élongation est l'élongation double permise proposée par le fabricant. Les essais étaient exécutés avec une machine test qui avait été construite et financièrement supportée par le DIBt spécialement pour cette tâche.

L'expertise visuelle faite après les essais cycliques et selon les principes du DIBt ne montrait pas aucune destruction et aucun endommagement.

Ensuite, les cordons-joints installés étaient essayés de défaillance. Les essais avaient des résultats différentes, dépendant de la nature de l'objet (joint à forme géométrique de croix/joint parallèle, soudé/non-soudé) et de la température.

Les FA de PE et les FA de la combinaison des matériaux ne défailaient pas. Tous les autres objets défailaient au lieu de la soudure nette ou, dans quelque cas, au lieu même du béton. Les distances et les forces défailantes étaient très différentes. On en pourrait estimer la soudure manuelle comme raison. Les FA restaient sur une plus grande distance sans aucun endommagement que les FM.

Par rapport aux joints parallèles seulement quelques objets soudées défailaient jusqu'à la distance de 114 mm: FA et FM de PE sous condition de gelée, FA et FM de TPE sous condition de gelée et de température normale. Les objets non-soudés ne défailaient jamais.

Au-delà, au cadre d'une essaie de traction mono-axial des barre-épaules soudés et non-soudés étaient regardés. Les barre-épaules soudés avaient un comportement plus doux que les barre-épaules non-soudés. Ce résultat est le contraire au regard de joints parallèles, si bien qu' en tirer des conclusions semble impossible.

1 Einleitung

Für Fugenbänder, die in Anlagen zum Lagern, Abfüllen und Umschlagen (**LAU**-Anlagen) wassergefährdender Stoffe eingebaut werden, hat das Deutsche Institut für Bautechnik (**DIBt**) neue Zulassungsgrundsätze [ZG] erarbeitet. Diese sehen eine Prüfung der Fugenbänder im eingebauten Zustand bei -20°C vor.

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurden Fugenbänder (**FB**) im Kreuzfugen- und im Parallelfugenbereich bei -20°C im zyklischen Zugversuch untersucht. Referenzversuche fanden bei $+20^{\circ}\text{C}$ statt.

Die folgenden Fugenbänder wurden im eingebauten Zustand untersucht:

- liegende Kreuzungen von je vier Fugenbändern jeweils mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung für den Einbau in LAU-Anlagen
- liegende Kreuzungen von je zwei Fugenbändern jeweils ohne allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung für den Einbau in LAU-Anlagen
- ungeschweißte und geschweißte Parallelfugen von je zwei Fugenbändern mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung für den Einbau in LAU-Anlagen

In den Versuchen an den Kreuzfugen wurden jeweils die Fugenbandtypen „Fugenabschlussband“ und „innenliegendes Dehnfugenband“ aus Polyethylen (PE), Thermoplastischem Elastomer (TPE) und aus einer Materialkombination (MK) verwendet. Als Parallelfuge wurden „innenliegende Dehnfugenbänder“ aus PE und TPE untersucht.

Parallel zu den Versuchen an den eingebauten Fugenbändern wurden einaxiale zyklische Zugversuche an ungeschweißten und geschweißten Schulterstäben aus PE und TPE bei $+20^{\circ}\text{C}$ gefahren. Der erste Zyklus der Zugversuche wurde mit der Finite-Elemente-Methode (FEM) nachgerechnet, um Aussagen über das lokale Materialverhalten im ungeschweißten und geschweißten Bereich zu erlangen.

Ziel der „einfachen“ einaxialen Versuche am Schulterstab war es, herauszufinden, ob aus diesen Versuchen Rückschlüsse auf das Materialverhalten bei komplexer Beanspruchung möglich sind, wie sie an der Parallel- und/oder Kreuzfuge vorliegen.

2 Motivation der Forschung

Entsprechend eines Fugenplans fertigt der Fugenbandhersteller für jedes Bauvorhaben die Fugenbänder als Meterware. Die Stoßverbindungen werden werkseitig hergestellt. Die Abbildung 2-1 zeigt die Formenvielfalt von werkseitig herzustellenden Fugenbandverbindungen.

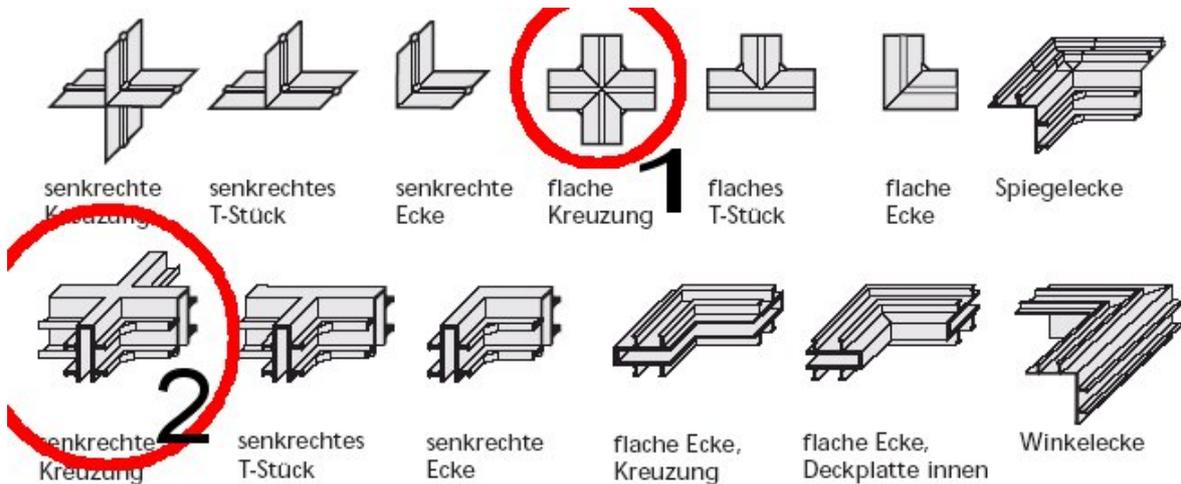


Abbildung 2-1: Formenvielfalt von werkseitig hergestellten Fugenbandverbindungen: untersuchte Kreuzverbindung: 1: innenliegendes Fugenband mit Mittelschlauch (flache Kreuzung); 2: Fugenabschlussband (senkrechte Kreuzung) [Tric03]

Ausgenommen sind die Stumpfstoßverbindungen. Diese werden auf der Baustelle angefertigt und als Baustellenstoß bezeichnet. Durch Baustellenstöße werden gleiche Profile verbunden, die in einer Ebene verlaufen. Die hergestellte Fügung verläuft rechtwinklig zur Fugenbandachse [DIN 18197]. In Abbildung 2-2 ist schematisch ein Stumpfstoß für ein innenliegendes Fugenband mit Mittelschlauch dargestellt.

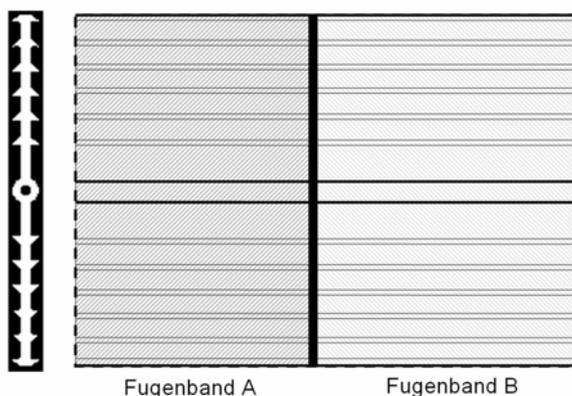


Abbildung 2-2: Stumpfstoß zwischen Fugenband A und Fugenband B für ein innenliegendes Dehnfugenband

Die Fugenbänder aus thermoplastischen Kunststoffen werden mittels Heizkeil durch Schweißen miteinander verbunden. Die Verbindungen von Elastomer–Fugenbändern werden durch spezielle heizbare Pressen mit einem auf die FB–Form abgestimmten Einsatz durch Vulkanisation hergestellt. Alle Schweißverbindungen werden manuell ausgeführt. Qualitätsschwankungen würden sich damit vorwiegend aus diesem Fertigungsschritt begründen.

Die Ausbildung der Fügenaht führt durch die Zugabe von Rohmaterial bei der Vulkanisation bzw. durch die Entstehung von Schweißwülsten zu einer Veränderung der Elastizität an den geschweißten Stellen. Obwohl die überstehenden Schweißwülste entfernt werden sollen, bleibt ein Rest vorhanden.

Die Fügenähte der Fugenbänder werden im Zugversuch auf ihre Haltbarkeit überprüft. Gemäß [DIN 7865–1] werden die vulkanisierten Verbindungen der Elastomer–Fugenbänder im Zugversuch am Gesamtquerschnitt des Fugenbands geprüft. Die zum Bruch führende Zugkraft darf bei gefügten Verbindungen nicht geringer sein als bei nicht gefügten Fugenbändern. Gemäß [DIN 18541–2] werden die geschweißten Verbindungen der Fugenbänder aus thermoplastischen Kunststoffen an Schulterstäben Nr. 3 nach [DIN 53455] geprüft. Dabei wird ein Quotient aus den Reißwerten der Probekörper mit Schweißnaht und den Reißwerten der Probekörper ohne Schweißnaht gebildet. Der Quotient darf den Wert 0,6 nicht unterschreiten.

Ungeprüft bleibt die Haltbarkeit der Fügenähte in den Kreuzungen. Deshalb sind für diese Verbindungen, die schwierig auszuführen sind und stark beansprucht werden, entsprechende Qualitätssicherungsmaßnahmen vorzusehen.

3 Fugenbandtypen

Die Fugenbänder (FB) liegen als profilierte Kunststoffbänder vor, die innenliegend, außenliegend oder fugenabschließend eingebaut werden. Damit die FB ihre Funktion erfüllen können, müssen sie sach- und fachgerecht eingebaut werden.

Sie lassen sich nach ihrer Bestimmung in Arbeitsfugenbänder und Dehnfugenbänder unterscheiden. Wird in einzelnen Betonierabschnitten betoniert, entstehen Arbeitsfugen. Arbeitsfugenbänder dichten Arbeitsfugen. Sie können keine Bewegungen aufnehmen.

Dehnfugenbänder dichten Bewegungsfugen [DIN 18197]. Bewegungsfugen ermöglichen ein Ausdehnen der Bauteile. Dehnfugenbänder bestehen aus einem Dicht- und einem Dehnteil (Abbildung 3-1). Der Dehnteil nimmt die Bauteilbewegungen, z.B. aus temperaturbedingten Verformungen sowie Schwinden und / oder Kriechen der angrenzenden Bauteile oder aus Setzungen, auf. An den Dehnteil schließt sich der Dichtteil an. Er soll sich während der Bauteilbewegungen nicht verformen. Die im Dichtteil vorhandenen Profilierungen, die so genannten Rippen und Riffelungen, sorgen für eine formschlüssige Verbindung mit dem Beton. Arbeitsfugenbänder haben keinen Dehnteil.

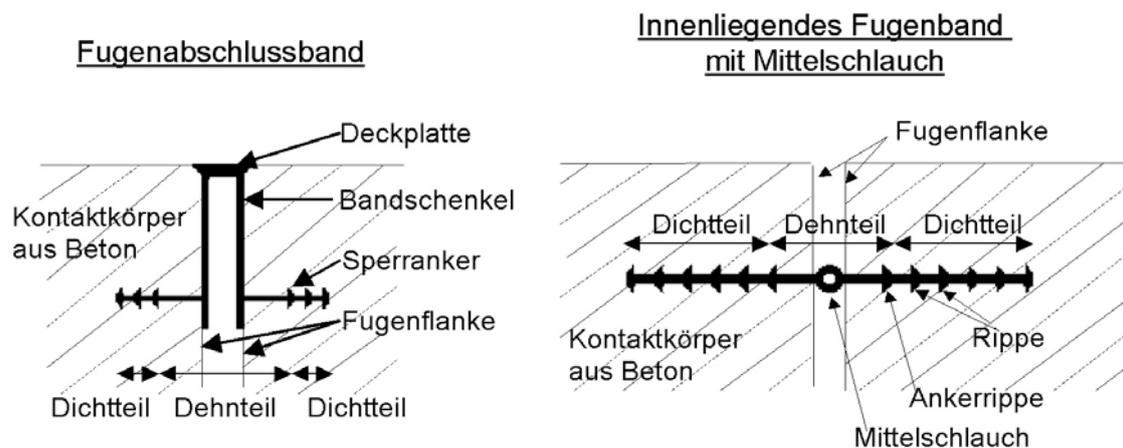


Abbildung 3-1: Fugenabschlussband FA (links) und innenliegendes Dehnfugenband mit Mittelschlauch FM (rechts)

Im Rahmen der Forschungsarbeit wurden Dehnfugenbänder untersucht, die als innenliegende Fugenbänder mit Mittelschlauch (**FM**) und als Fugenabschlussbänder (**FA**) ausgebildet sind.

4 Untersuchte Fugenbänder

4.1 Fugenbandtypen

Untersucht wurden Fugenbänder, die aus Polyethylen (**PE**), einem thermoplastischen Elastomer (**TPE**) und einer Materialkombination mit thermoplastischen Eigenschaften (**MK**) gefertigt sind. Von jedem Material wurden jeweils Fugenabschlussbänder (FA) und innenliegende Fugenbänder mit Mittelschlauch (FM) als Kreuzfuge untersucht. Aus den Materialien PE und TPE wurden innenliegende Fugenbänder ebenfalls als Parallelfuge untersucht.

Damit die Probekörper handlich blieben, wurden für die Untersuchungen von jedem Material die Fugenbänder mit den geringsten Abmessungen ausgewählt.

Die Kreuzfugen wurden der TU Berlin über das DIBt direkt durch die Fugenbandhersteller zur Verfügung gestellt.

Die Parallelfugen wurden als Fugenbänder mit und ohne Fügenaht untersucht. Die Fugenbänder mit Fügenaht besitzen vier Stumpfstoße, die in einem Abstand von 40 mm angeordnet sind (Abbildung 4-1). Die Schweißarbeiten an den geschweißten Parallelfugen wurden von einer durch die Fugenbandhersteller autorisierten Fachfirma ausgeführt.

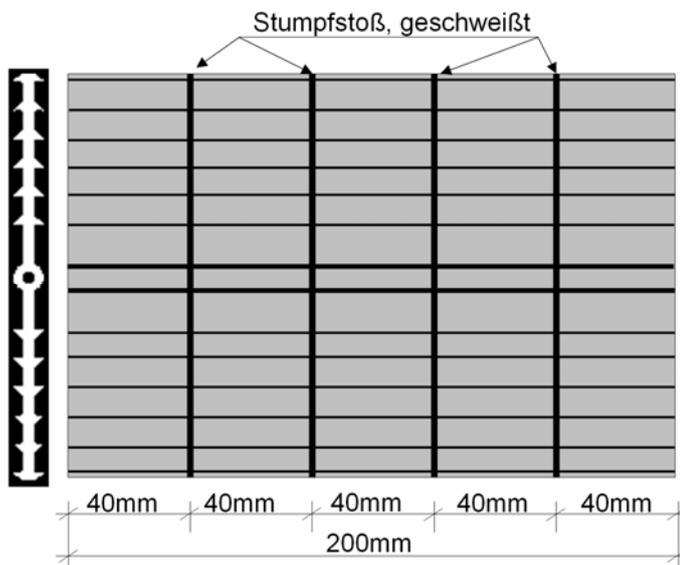


Abbildung 4-1: Fugenband mit Fügenaht für den Probekörper „Geschweißte Parallelfuge“ (schematisch)

Die aus Polyethylen und aus TPE gefertigten Fugenbänder können in Anlagen zum Lagern, Abfüllen und Umschlagen (**LAU**-Anlagen) wassergefährdender Stoffe eingebaut werden, da sie durch das Deutsche Institut für Bautechnik (DIBt) allgemein bauaufsichtlich zugelassen sind.

Die Fugenbänder aus der Materialkombination mit thermoplastischen Eigenschaften entsprechen der [DIN 18541-2]. Diese Produkte besitzen keine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung für den Einbau in LAU–Anlagen. Sie wurden in das Prüfprogramm aufgenommen, um den Vergleich zu anderen Produkten zu ermöglichen.

4.2 Fugenbänder aus thermoplastischen Kunststoffen

Polyethylen ist ein Thermoplast. Polyethylen besteht aus linearen und räumlich nicht vernetzten Polymerketten. Der polymere Werkstoff erweicht bei Erwärmung und verfestigt durch Abkühlung. Thermoplaste können deshalb durch Schweißen miteinander verbunden werden. Sie lassen sich unterhalb ihrer Glasübergangstemperatur elastisch verformen.

4.3 Fugenbänder aus einem thermoplastischen Elastomer (TPE)

Thermoplastische Elastomere (TPE) sind eine relativ junge Werkstoffgruppe, die die Vorteile von Thermoplasten und Elastomeren vereint. Sie sind thermoplastisch verarbeitbar und haben in einem bestimmten Temperaturbereich die für Elastomere typischen gummielastischen Eigenschaften. Durch physikalische Vernetzung (Kristallisation und Domänenbildung) werden in thermoplastisches Material elastische Polymerketten eingebunden; sie ermöglichen die gummielastische Verformbarkeit. Bei TPE fehlen die in den Elastomeren vorliegenden chemischen Vernetzungsstellen, damit sind TPE wiederholt aufschmelzbar [Saec92].

4.4 Codierung der untersuchten Fugenbänder

Die für das Forschungsvorhaben zur Verfügung gestellten Fugenbänder wurden vom DIBt codiert. Tabelle 4-1 enthält die Codierung für die Versuche an den Kreuzfugen; die Tabelle 4-2 enthält die Codierung für die Versuche an den Parallelfugen.

Tabelle 4-1: Versuche an Kreuzfugen: Codierung der Materialien (FA: Fugenabschlussband; FM: innenliegendes Fugenband mit Mittelschlauch)

Prüf-temperatur	Band-typ	PE (Polyethylen)	TPE (Thermoplastisches Elastomer)	MK (Materialkombination)
+20°C	FA	1	7	11
	FM	2	8	12
–20°C	FA	3	5	9
	FM	4 / 13	6	10

Tabelle 4-2: Versuche an Parallelfugen: Codierung der Materialien

Prüf- temperatur	Fertigungsart	PE (Polyethylen)	TPE (Thermoplasti- sches Elastomer)
+20°C	geschweißt	14	18
	ungeschweißt	15	19
-20°C	geschweißt	16	20
	ungeschweißt	17	21

5 Untersuchungsablauf

5.1 *Versuche an eingebauten Fugenbändern (Kreuz- und Parallelfuge)*

Bei niedrigen Temperaturen wird das Fugenband im eingebauten Zustand gedehnt, da sich die an das Fugenband anschließenden Bauteile temperaturbedingt verkürzen. Das vorliegende Untersuchungsprogramm bildet diese mehrdimensionale praxisgerechte Verformung der Fugenbänder im Kreuzungsbereich nach, indem der Probekörper zyklisch bei -20°C gedehnt wird.

Prüfablauf:

Nachdem der Probekörper lastfrei in die Prüfvorrichtung eingebaut wurde, wird die Klimakammer inklusive Prüfvorrichtung und Probekörper auf die entsprechende Temperatur gebracht. Bei den Prüfungen, die bei $-20^{\circ}\text{C} \pm 2\text{K}$ stattfinden, erreicht die Klimakammer innerhalb von zwei Stunden dieses Temperaturniveau. Die Prüfung beginnt eine Stunde nach Erreichen der Temperatur von $-20^{\circ}\text{C} \pm 2\text{K}$.

Während des Versuchs werden die in den Beton einbetonierten Fugenbänder gleichmäßig innerhalb von etwa $50\text{ s} \pm 10\text{ s}$ um den festgelegten Dehnweg gedehnt. Die Dehnung wird 60 s lang aufrecht gehalten. Anschließend wird der Probekörper innerhalb von ca. 50 s in die Ausgangslage zurück gebracht. Diese Position wird 60 s lang aufrecht gehalten. Der Zyklus wird 50mal wiederholt.

Die Untersuchung gilt als bestanden, wenn durch Inaugenscheinnahme kein Versagen der Schweißnähte und / oder des Bandmaterials festgestellt wird. Der Verformungsweg wird vom Antragsteller festgelegt. Der Prüfweg ergibt sich aufgrund der Zulassungsgrundsätze [ZG] durch Multiplikation des Verformungswegs mit dem Faktor 2. Die Fugenbänder sind bei einer Temperatur von -20°C zu prüfen. Referenzversuche wurden bei $+20^{\circ}\text{C}$ durchgeführt. Den Prüfablauf legen die Zulassungsgrundsätze des DIBt fest [ZG].

Auf Versagen wurden die Fugenbänder im Anschluss an den zyklischen Dehnversuch bei der jeweiligen Prüftemperatur ($+20^{\circ}\text{C}$ oder -20°C) geprüft.

5.2 *Versuche an Schulterstäben*

Die Schulterstäbe wurden im einaxialen Zugversuch zyklisch geprüft. Die Prüfung fand über 10 Zyklen statt. Die Belastung wurde im Trapezprofil eingetragen analog zu den Versuchen an den eingebauten Fugenbändern.

Mit einer Traversengeschwindigkeit von 6 mm/min wurden die Probekörper soweit gedehnt, dass der Abstand zwischen den Messmarken um 75 % gedehnt wurde.

Nach einer Haltezeit von 60 s wurden die Probekörper mit einer Traversengeschwindigkeit von 6 mm/min entlastet. In der entlasteten Position verweilte der Probekörper für wiederum 60 s (zweite Haltezeit). Danach begann der nächste Zyklus.

6 Prüfvorrichtungen

6.1 Prüfvorrichtung zur Untersuchung der Fugenbänder im eingebauten Zustand

Zur Durchführung der Versuche wurde eine neuartige Prüfvorrichtung entwickelt. Abbildung 6-1 zeigt diese Vorrichtung.

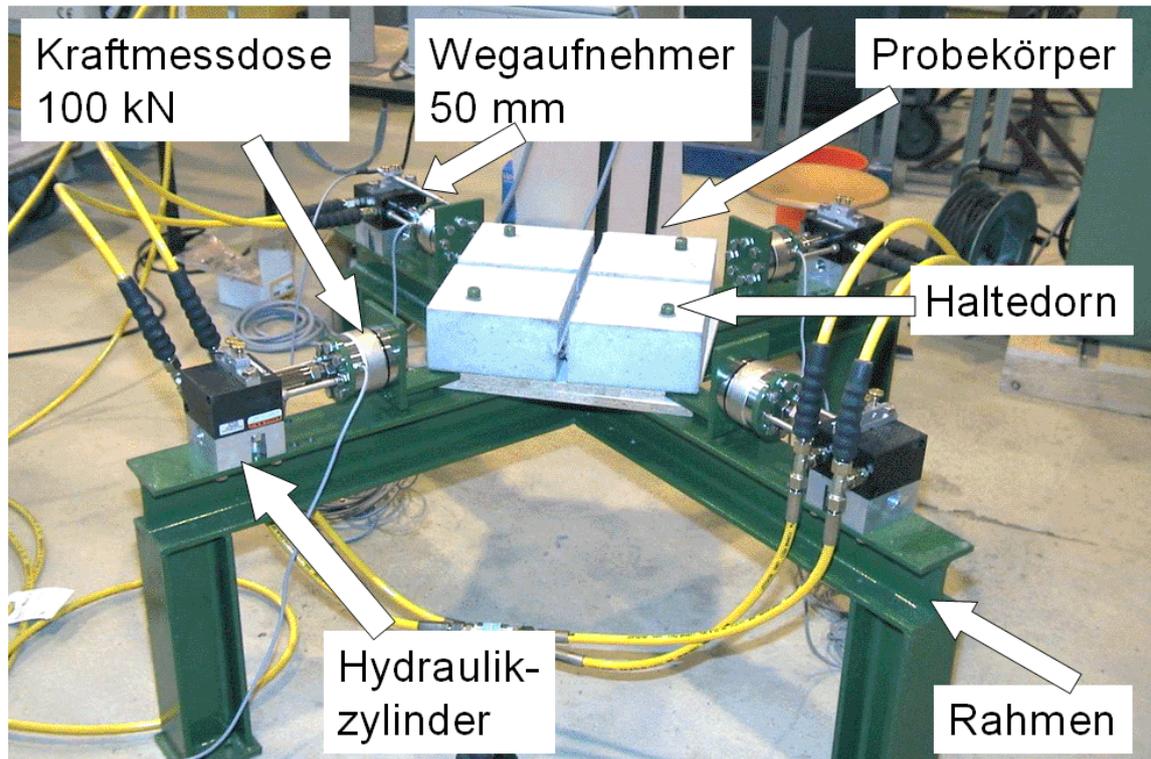


Abbildung 6-1: Prüfvorrichtung zur zyklischen Dehnung von Fugenbändern im eingebauten Zustand

Die Prüfvorrichtung besteht aus einem stabilen Stahlrahmen, auf dem vier gleichzeitig in zwei Achsen arbeitende Hydraulikzylinder, die Haltevorrichtung für den Probekörper sowie je vier Kraftmessdosen und Wegaufnehmer montiert sind.

An jede Kolbenstange ist eine Kraftmessdose angeschlossen. An diese ist die Haltevorrichtung zur Aufnahme des Probekörpers befestigt. Die Halterung besteht aus einem Haltedorn, auf den der Probekörper aufgesetzt wird. Jeder Haltedorn in der Funktion einer Welle wird nach dem Einbau der Probe jeweils durch eine Gegenhalterung gesichert. Dadurch wird ein Verbiegen der Prüfvorrichtung während der Prüfung verhindert. Zwischen Hydraulikzylinder und Kraftmessdose sind je zwei verstellbare Anschläge eingebaut. Sie geben den Verfahrweg der Kolben während der Prüfung vor. Ein Wegaufnehmer ist auf dem Hydraulikzylinder befes-

tigt und misst den Verfahrweg des Kolbens. Abbildung 6-2 zeigt die Probenhalterung sowie Kraftmessdose und Wegaufnehmer.

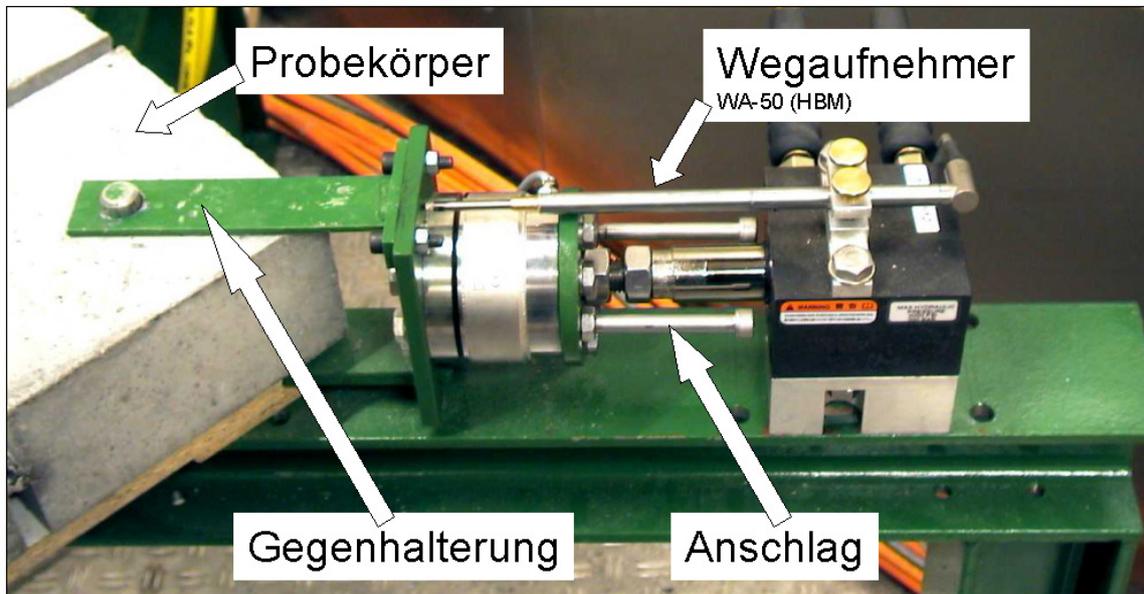


Abbildung 6-2: Detail Halterung und Messvorrichtung

Das verwendete Hydraulikaggregat bringt einen Arbeitsdruck von maximal 350 bar auf. Damit sind maximal 40 kN Zugkraft bzw. 68 kN Druckkraft erreichbar. Der maximale Kolbenhub beträgt 50 mm. Die Prüfgeschwindigkeit lässt sich durch die Motordrehzahl regulieren. Die Anzahl der Zyklen sowie die Haltezeiten sind einstellbar. Die Prüfvorrichtung arbeitet bis zu einer Temperatur von -20°C .

Die Kraftdaten werden mit vier Kraftmessdosen U 3–100 kN und die Wegdaten mit vier Wegaufnehmern WA–50 (Fabrikat HBM) gemessen. Die Datenerfassung erfolgt über das Datenerfassungs- und Verstärkersystem SPIDER 8 von der Firma HBM. Die Daten werden mit einer Frequenz von 1 Hz aufgezeichnet.

6.2 Prüfvorrichtung zur Untersuchung der Schulterstäbe

Die einaxialen Zugversuche wurden an einer Prüfmaschine Zwick „Z 020“ bei $+23^{\circ}\text{C}$ gefahren. Die Wegaufnahme erfolgte berührungslos mit optischen Längenänderungsaufnehmern „TC-Exoptic.001“ der Firma Zwick. Die Kräfte wurden mit Kraftaufnehmern für eine Nennkraft von 2kN bzw. 5kN der Firma HBM gemessen.

7 Probekörper

7.1 Probekörper „Kreuzfuge“

Die Probekörper bestehen aus vier Betonquadern, in die werkseitig hergestellte Fugenbandkreuze einbetoniert sind.

Die Betonquader haben eine Höhe von 100 mm. Der Probekörper hat eine quadratische Grundfläche mit einer Kantenlänge von ca. 405 mm bzw. 450 mm (nur innenliegendes Fugenband mit Mittelschlauch aus der Materialkombination). In jeden Betonquader ist ein PVC-Leerrohr zur späteren Fixierung auf dem Haltehorn einbetoniert.

Die Fugenbreite richtet sich nach der Größe des Dehnschlauches bei den innenliegenden Fugenbändern bzw. der Größe der Deckplatte bei den Fugenabschlussbändern. Die Abbildung 7-1 zeigt einen Probekörper mit Angabe der Abmessungen.

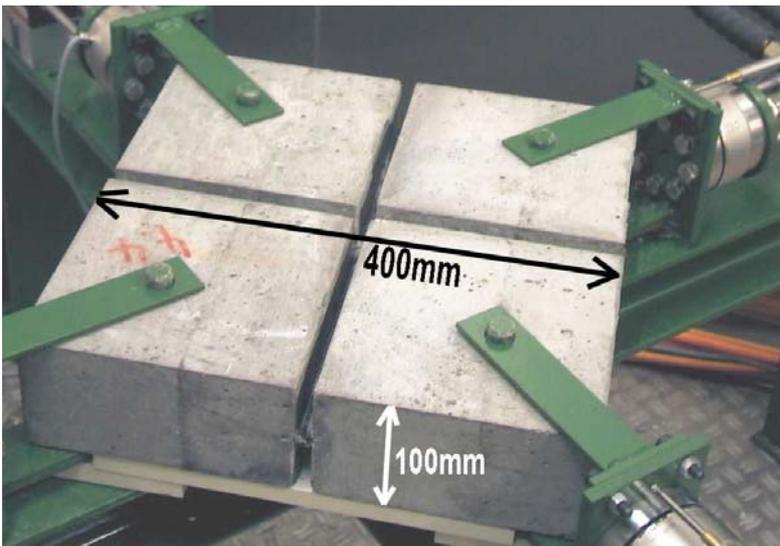


Abbildung 7-1: Probekörper „Kreuzfuge“ (innenliegendes Fugenband mit Mittelschlauch (FM) und Abmessungen)

Die Betonrezeptur der Betonkontaktkörper (Abbildung 7-1) kann Tabelle 7-1 entnommen werden. Das Ausbreitmaß des Betons nach [DIN EN 12350–5] betrug 545 mm.

Tabelle 7-1: Rezeptur Beton

Zement CEM I 42,5 R (Berliner Zementwerk):		478 kg/m ³
Mikrosilika ELKEM Grade 940:		22,5 kg/m ³
Äquivalenter Wasser–Zement–Wert:		0,4
Zuschlag:	0 bis 2a	754 kg/m ³
	2 bis 8	886 kg/m ³
Fließmittel FK 63.17 (MC Bauchemie):		7,5 g/kg Zement

Die Fugenabschlussbänder (FA) wurden liegend in einem Betonierabschnitt betoniert. Die innenliegenden Fugenbänder (FM) wurden senkrecht in zwei Betonierabschnitten an zwei aufeinander folgenden Tagen betoniert. Bei allen Probekörpern wurde der Beton in zwei Lagen eingebracht, die jeweils auf dem Rütteltisch verdichtet wurden. Die Druckfestigkeit des Betons betrug nach 28 Tagen 77 N/mm². Wegen der hohen Zugbeanspruchung des Betons, insbesondere bei der Prüfung auf Versagen im Anschluss an die zyklischen Dehnversuche, wurde ein Beton mit einer hohen Druckfestigkeit und damit verbundenen hohen Zugfestigkeit angestrebt.

Die nach einem Tag ausgeschalteten Probekörper lagerten bis zum Alter von sieben Tagen im Wasser. Nach der Wasserlagerung lagerten die Probekörper bis zur Prüfung im Klimaraum bei dem Normklima 20°C Lufttemperatur und 65 % Luftfeuchte.

7.2 Probekörper „Parallelfuge“

Die Probekörper bestehen aus zwei Betonquadern, die durch innenliegende Fugenbänder mit Mittelschlauch miteinander verbunden. In die Betonquader wurden geschweißte oder ungeschweißte Fugenbandabschnitte einbetoniert.

Die Betonquader haben eine Höhe von ca. 100 mm. Ihre Grundfläche ist quadratisch mit einer Kantenlänge von ca. 200 mm. In jedem Betonquader befindet sich zur späteren Fixierung in der Prüfvorrichtung ein PVC–Leerrohr.

Die Fugenbreite ist abhängig vom Durchmesser des Mittelschlauchs.

Die Herstellung der Probekörper erfolgte analog zur Herstellung der Probekörper „Kreuzfuge“ (s.o.).

7.3 Probekörper „Schulterstab“

Die Probekörper wurden aus den Dehnteilen der innenliegenden Fugenbänder herausgefräst. Als Probekörperform fanden Schulterstäbe vom Typ 5 nach [DIN EN ISO 527-3] Verwendung. Für die Probekörper mit Fügenaht wurden zunächst Fugenbandabschnitte durch eine vom Fugenbandhersteller autorisierten Fachfirma verschweißt. Anschließend wurden die Schulterstäbe so herausgefräst, dass sich die Fügenaht quer zur Zugrichtung in der Mitte des Stegs befand. Die Schweißwülste sind nicht entfernt worden. Die Probekörper wurden von der Firma SKZ TeCon Würzburg hergestellt.

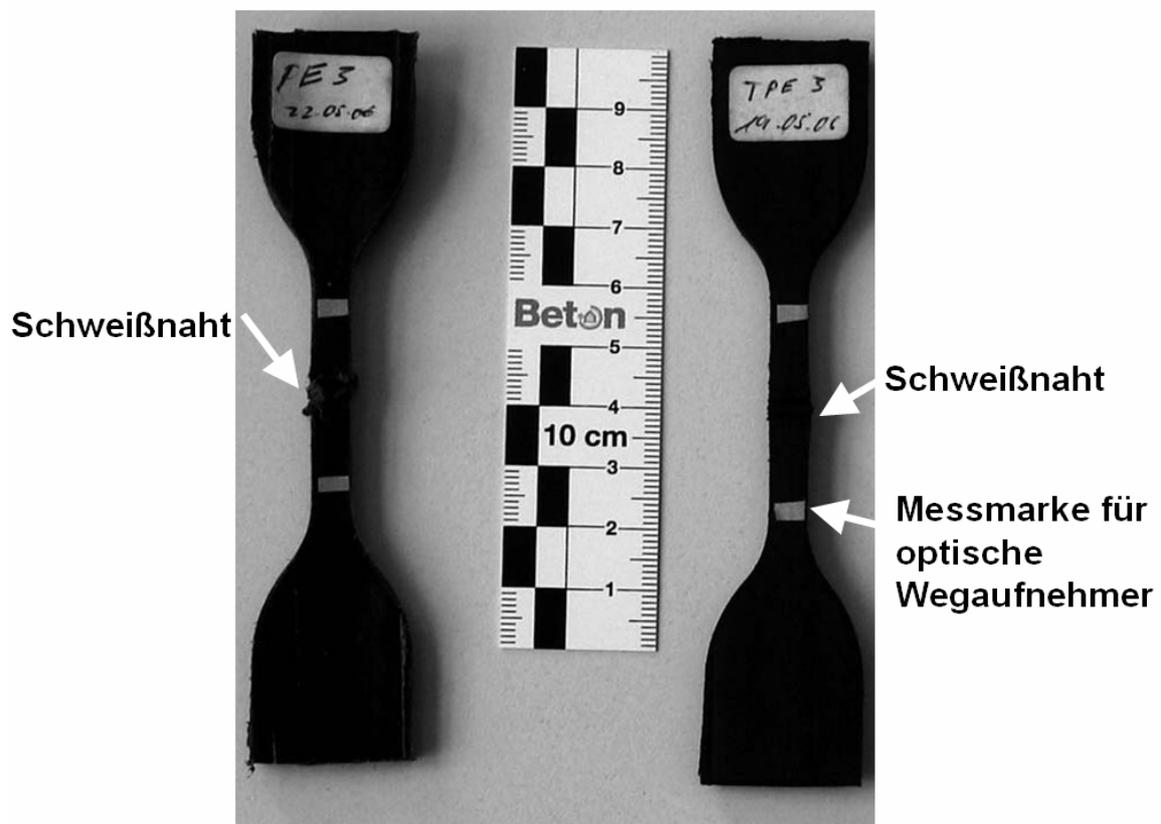


Abbildung 7-2: Schulterstäbe mit Fügenaht mit Messmarken für optische Wegaufnahme nach dem zyklischen einaxialen Zugversuch; links: PE; rechts: TPE (Typ 5 nach [DIN EN ISO 527-3])

8 Ergebnisse der Untersuchungen an Kreuzfugen

8.1 Vorbereitung

Je Fugenbandmaterial und –typ wurden pro Untersuchungstemperatur fünf Probekörper geprüft. Die Zeitspanne zwischen dem Betonieren und dem zyklischem Dehnen betrug zwischen 28 und 35 Tagen. Der Versuchsablauf ist in Abschnitt **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** beschrieben.

Für die Fugenbänder mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung (FA und FM aus PE und TPE) beträgt der zulässige Verformungsweg für die Dehnbeanspruchung 3 mm. Für die Prüfung ergibt sich gemäß den Zulassungsgrundsätzen des Deutschen Instituts für Bautechnik [ZG] ein Prüfweg von 6 mm. Die Fugenbänder aus MK wurden in Absprache mit dem DIBt mit dem gleichen Verformungsweg geprüft.

8.2 Fugenabschlussbänder (FA)

8.2.1 Besonderheiten bei der Prüfung und Auswertung

Die Abbildung 8-1 zeigt einen Probekörper mit einem Fugenabschlussband. Ein-gezeichnet sind die für die Auswertung gewählten Achsbezeichnungen sowie die Kraftkomponenten.

Für die Auswertung wurden jeweils die Kraftkomponenten F_x der Achsen 1 und 4 sowie der Achsen 2 und 3 zusammengefasst. Die Änderung der Fugenbreite ergibt sich als Mittelwert aus den vier gemessenen Wegkomponenten.

Die Kreuzverbindung weist sowohl in der Achsrichtung 3-4 als auch in Richtung 1-4 einen Versatz auf, wie Abbildung 8-1 deutlich zeigt. Bei einer Vielzahl der Probekörper waren diese Versätze, zum Teil weniger stark ausgeprägt, vorhanden. Die Versätze hatten einen aufwändigen Schalungsbau zur Folge und führten dazu, dass die Kräfte während des Versuchs mit einem Versatzmaß in das Fugenbandkreuz eingetragen wurden. Die Fugenbandgeometrie und die Konstruktion der Prüfvorrichtung verursachten in Verbindung damit teilweise eine zeitlich ungleichmäßige Beanspruchung des Fugenbands, was wiederum zeitweise zu geringfügigen Verdrehungen der Betonquader führte.

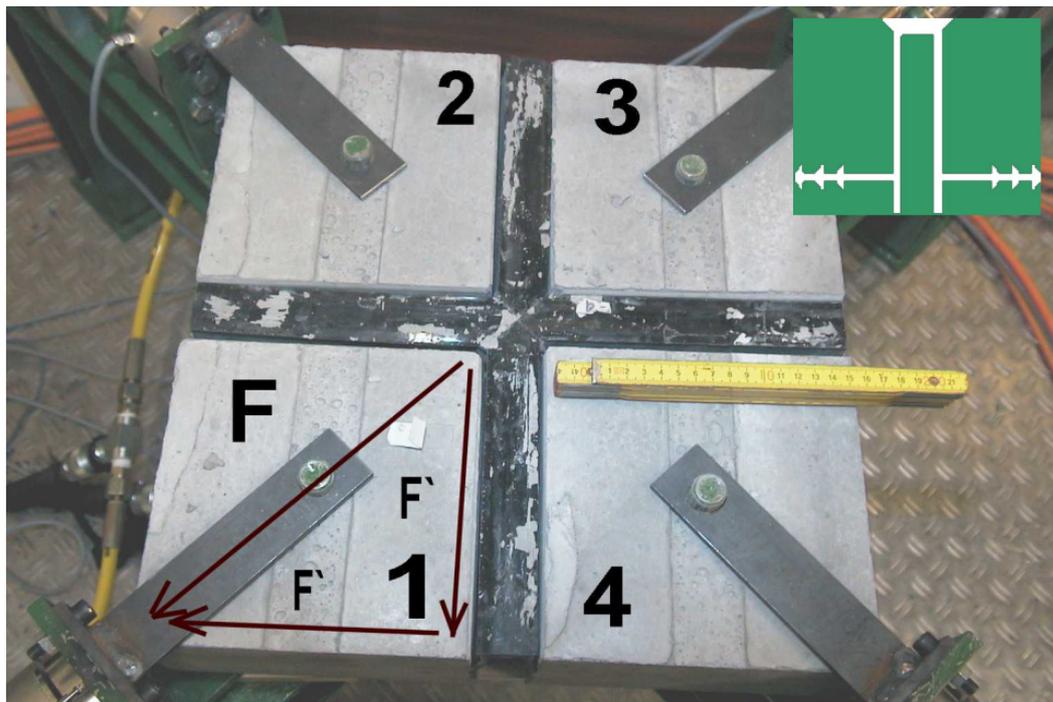


Abbildung 8-1: Probekörper mit eingebautem Fugenabschlussband: Bezeichnung der Achsen und Kraftkomponenten; prinzipielle Darstellung des Fugenbandtyps; man beachte den Versatz im Fugenbandkreuz (Hersteller–Ungenauigkeit)

8.2.2 Fugenabschlussbänder aus Polyethylen

Die Fugenbreite wurde handlingsbedingt im Mittel um 7,9 mm vergrößert. Der geforderte Prüfweg von 6 mm wurde um 30 % überschritten.

Bei den Fugenbändern konnte nach der zyklischen Prüfung durch Inaugenscheinnahme keine Schädigung der Fugenbänder festgestellt werden. In Abbildung 8-2 sind für jeden Probekörper ausgewählte Versuchsergebnisse für eine Prüftemperatur von -20°C und in Abbildung 8-3 die gleichen Kennwerte für eine Prüftemperatur von $+20^{\circ}\text{C}$ dargestellt.

Die negativen Dehnwege werden dadurch verursacht, dass sich beim Einbau des Probekörpers die Kolben nicht in ihrer Nullposition befinden. Beim Anfahren der Nulllage wird die Einbauposition der Kolben überfahren. Die Folge ist eine leichte Überdrückung des Fugenbands.

Die Beanspruchung bei -20°C führt erwartungsgemäß zu einer Versteifung des Materials. Die Kraft zur Dehnung des Fugenbands bei -20°C wurde bis etwa 3 kN gesteigert und war doppelt so groß wie bei $+20^{\circ}\text{C}$.

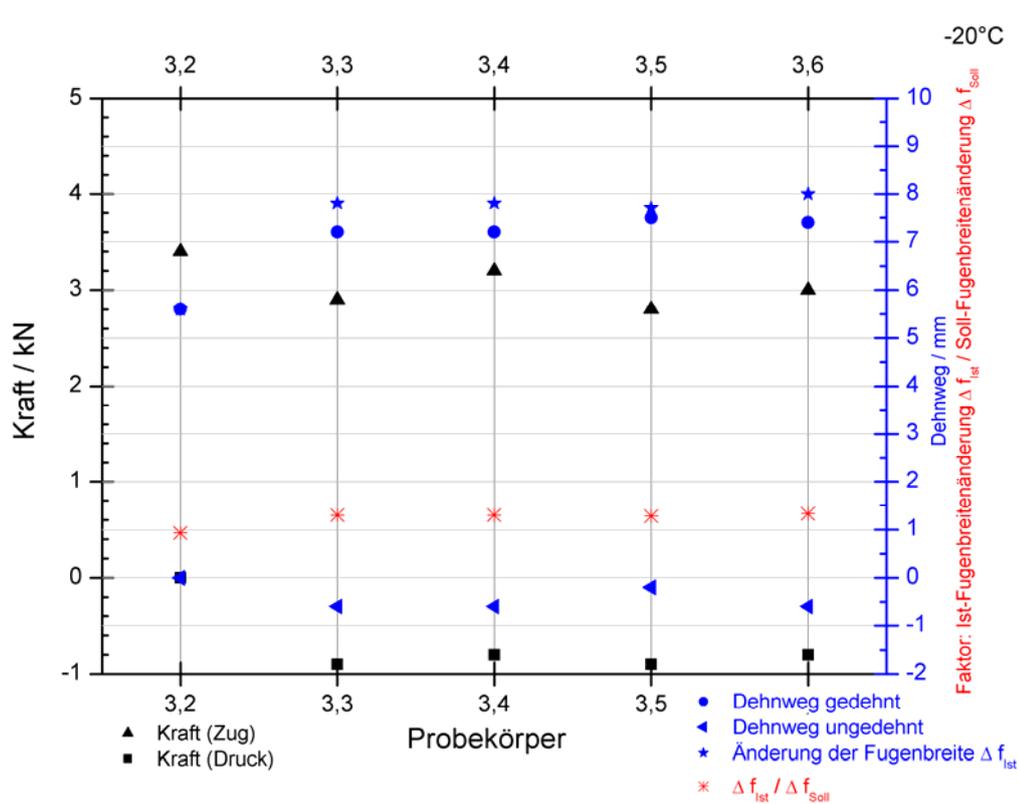


Abbildung 8-2: Fugenabschlussbänder aus PE: maximale Druck- und Zugkräfte; Dehnweg im gedehnten und ungedehnten Zustand, Gesamtdehnweg während der Prüfung Δf_{Ist} ; Quotient aus Ist-Dehnweg und Soll-Dehnweg $\Delta f_{Ist} / \Delta f_{Soll}$ (-20°C)

Im Anschluss an die Dehnzyklen wurde das Versagensverhalten mit dem maximalen Verfahrensweg der Prüfvorrichtung geprüft. Bei $+20^{\circ}\text{C}$ stellte sich bei vier der fünf FA erst im mindestens vierten Beanspruchungszyklus Versagen ein. Während dieser Zyklen wurde die Fugenbreite jeweils um 70 mm vergrößert und für 60 s gehalten. Anschließend wurde das Fugenband entlastet, diese Position wurde für 60 s gehalten. Der Zyklus wurde wiederholt. Ein Fugenband versagte im ersten Zyklus bei einer Vergrößerung der Fugenbreite um 50 mm.

Bei -20°C versagten alle FA während des ersten Belastungszyklusses. Die Ergebnisse zeigt Abbildung 8-4. Die FA versagten bei einer Vergrößerung der Fugenbreite um 41 mm, 47 mm bzw. 60 mm.

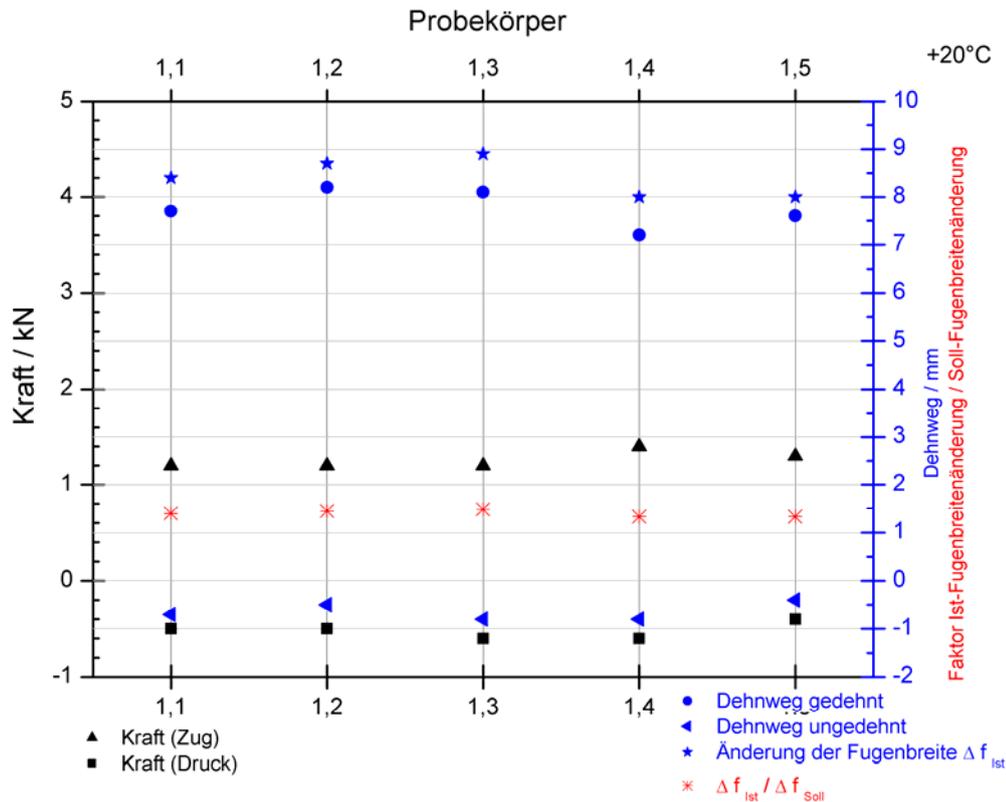


Abbildung 8-3 Fugenabschlussbänder aus PE: maximale Druck- und Zugkräfte; Dehnweg im gedehnten und ungedehnten Zustand, Gesamtdehnweg während der Prüfung Δf_{Ist} ; Quotient aus Ist-Dehnweg und Soll-Dehnweg $\Delta f_{Ist} / \Delta f_{Soll}$. (+20°C)

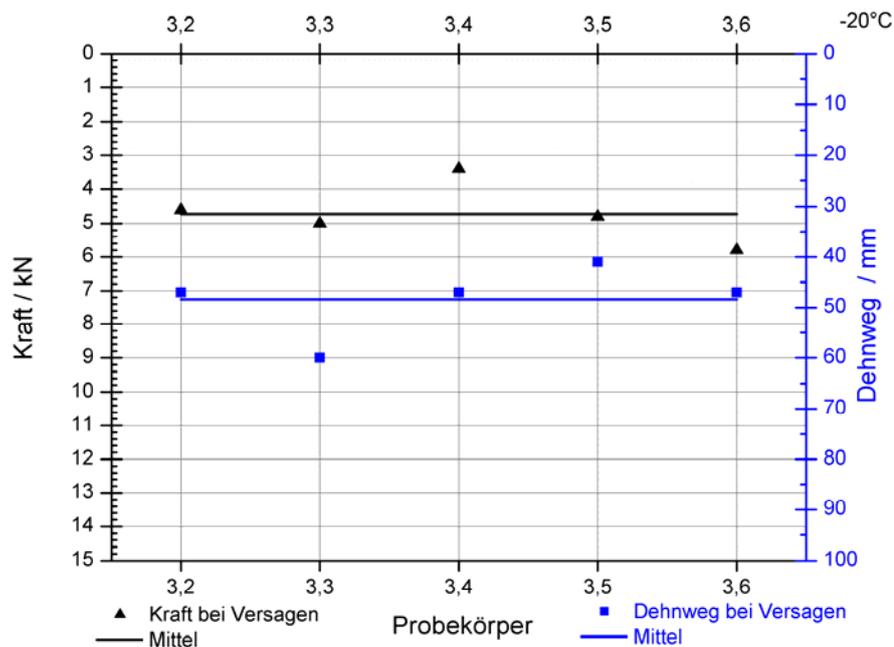


Abbildung 8-4: Fugenabschlussbänder aus PE: Versagen bei -20°C

8.2.3 Fugenabschlussbänder aus TPE

Die während der Versuche geänderte Fugenbreite betrug im Mittel 8,1 mm und war damit 35 % größer als der geforderte Prüfdehnhweg von 6 mm. Keiner der zehn untersuchten Probekörper wies nach den 50 Dehnzyklen eine visuell wahrnehmbare Schädigung des Fugenbands auf. Die Abbildung 8-5 und die Abbildung 8-6 zeigen für die Versuche ausgewählte Kennwerte.

Die Beanspruchung bei -20°C führte zu einer Versteifung des Materials. Um die Fugenbänder zu dehnen, war im Mittel bei -20°C eine Kraft von 1,9 kN erforderlich; bei $+20^{\circ}\text{C}$ betrug die Kraft 0,9 kN.

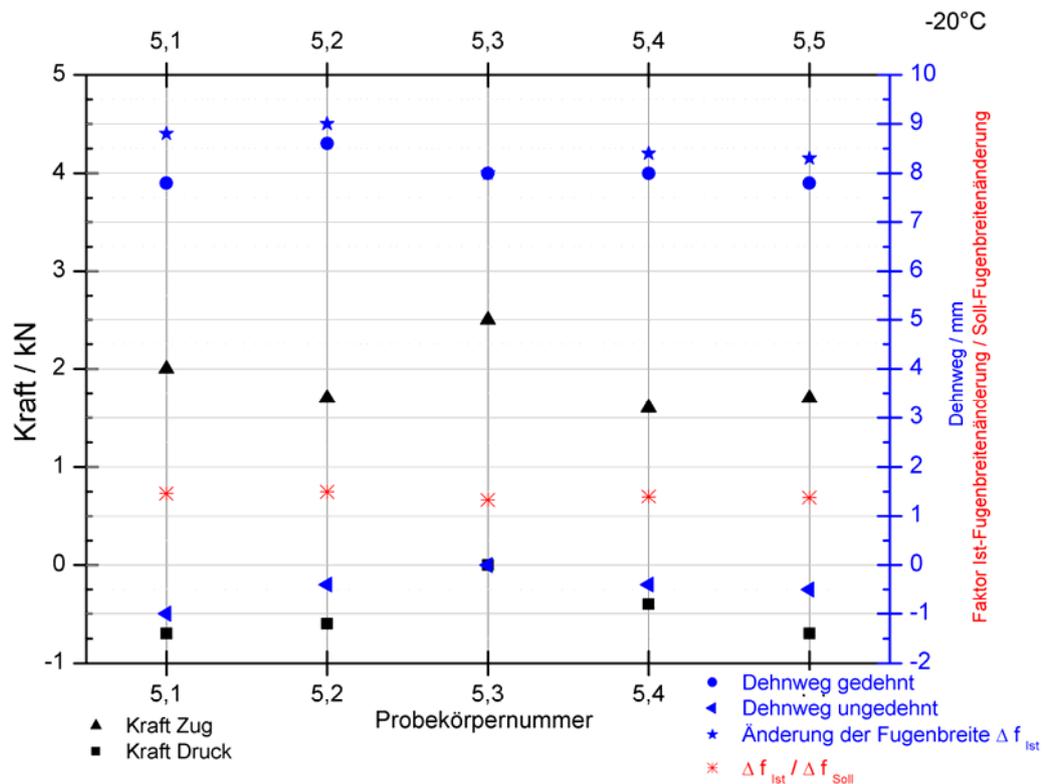


Abbildung 8-5: Fugenabschlussband aus TPE: maximale Druck- und Zugkräfte; Dehnhweg im gedehnten und ungedehnten Zustand, Gesamtdehnhweg während der Prüfung Δf_{Ist} ; Quotient aus Ist-Dehnhweg und Soll-Dehnhweg $\Delta f_{\text{Ist}} / \Delta f_{\text{Soll}}$ (-20°C)

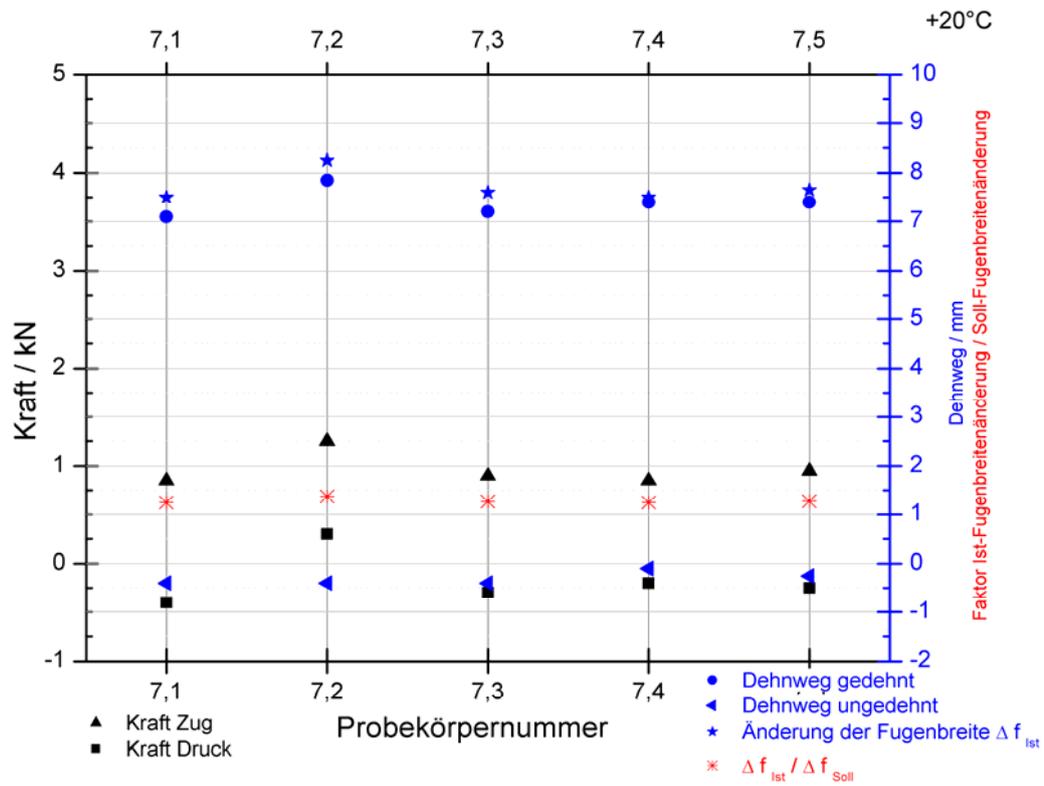


Abbildung 8-6: Fugenabschlussband aus TPE: maximale Druck- und Zugkräfte; Dehnweg im gedehnten und ungedehnten Zustand, Gesamtdehnweg während der Prüfung Δf_{Ist} ; Quotient aus Ist-Dehnweg und Soll-Dehnweg $\Delta f_{Ist} / \Delta f_{Soll}$ (+20°C)

Alle Fugenbänder versagten in den Versagensversuchen, die im Anschluss an die Dehnzyklen gefahren wurden. Im Versagensfall betragen bei **-20°C** der mittlere Dehnweg 14,6 mm und die mittlere Kraft 2 kN. Bei **+20°C** versagten die Probekörper im Mittel bei einem Dehnweg von 17,6 mm und einer Kraft von 1,2 kN. Eine Verringerung der Prüftemperatur hat die Verringerung des Versagensdehnwegs und eine Vergrößerung der Versagenskraft zur Folge. Abbildung 8-7 zeigt die Ergebnisse.

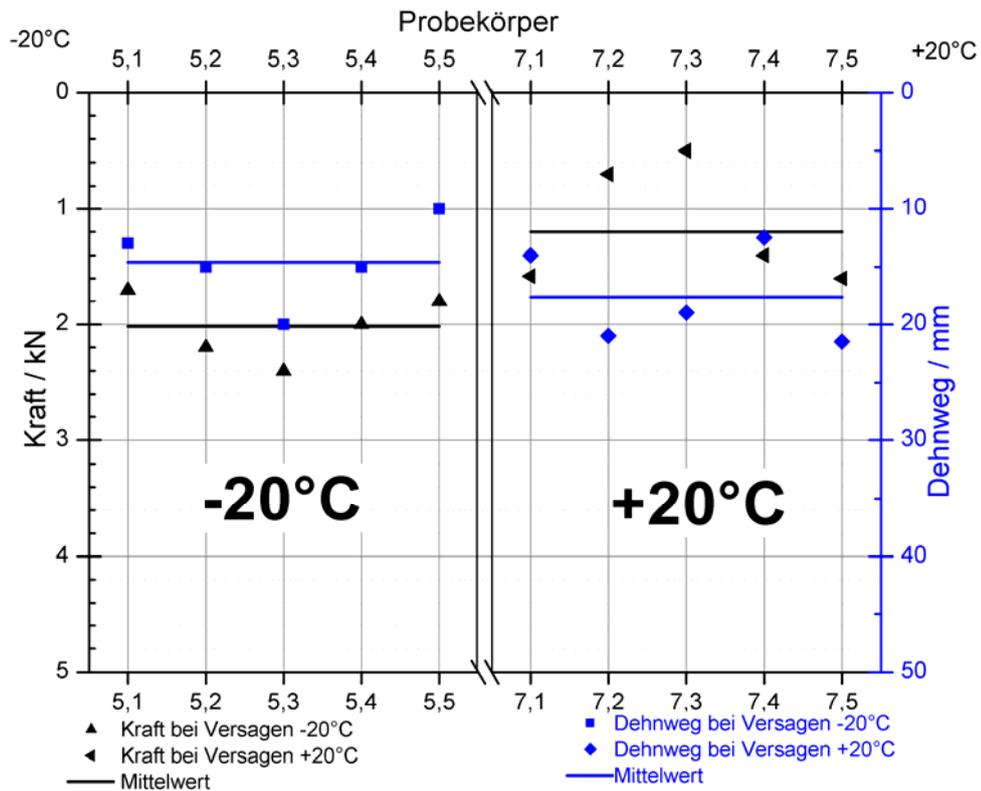


Abbildung 8-7: Fugenabschlussbänder aus TPE: Versagen bei +20°C (Probekörper 7.1 bis 7.5) und bei -20°C (Probekörper 5.1 bis 5.5)

8.2.4 Fugenabschlussbänder aus einer Materialkombination mit thermoplastischen Eigenschaften

Die während der Versuche geänderte Fugenbreite betrug im Mittel 7,9 mm und war damit um 30 % größer als der geforderte Prüfweg von 6 mm. Alle zehn untersuchten Probekörper waren nach den 50 Dehnzyklen ohne visuell wahrnehmbare Schädigung des Fugenbands.

Die Beanspruchung bei -20°C führte zu einer Versteifung des Materials. Um die Fugenbänder zu dehnen, war im Mittel bei -20°C eine Kraft von 1,6 kN erforderlich; bei +20°C betrug die Kraft 0,5 kN. Die Abbildung 8-8 und die Abbildung 8-9 zeigen ausgewählte Versuchsergebnisse.

Die an die Dehnzyklen anschließenden Versagensversuche führten bei -20°C bei einem Probekörper zum Versagen des Fugenbands. Bei den vier weiteren Probekörpern versagte der Beton. Die Ursache ist in der geringen Betondeckung zu sehen. Im Vergleich zu den geprüften Fugenabschlussbändern aus PE und TPE beträgt bei den FA aus MK der Abstand zwischen Deckplatte und Dichtteil 32,5 mm und nicht 50 mm. Damit reduziert sich die Betondeckung. Der zur Übertragung der

Zugkräfte zur Verfügung stehende Betonquerschnitt verringert sich. Die Abbildung 8-10 zeigt die Versuchsergebnisse für die Versagensprüfung bei -20°C .

Bei $+20^{\circ}\text{C}$ konnte bei keinem Probekörper Versagen festgestellt werden. Die Versuche wurden nach 10 Zyklen abgebrochen. Der Versuchsablauf war analog zu dem in Abschnitt 8.2.2 auf Seite 24 beschriebenen Ablauf.

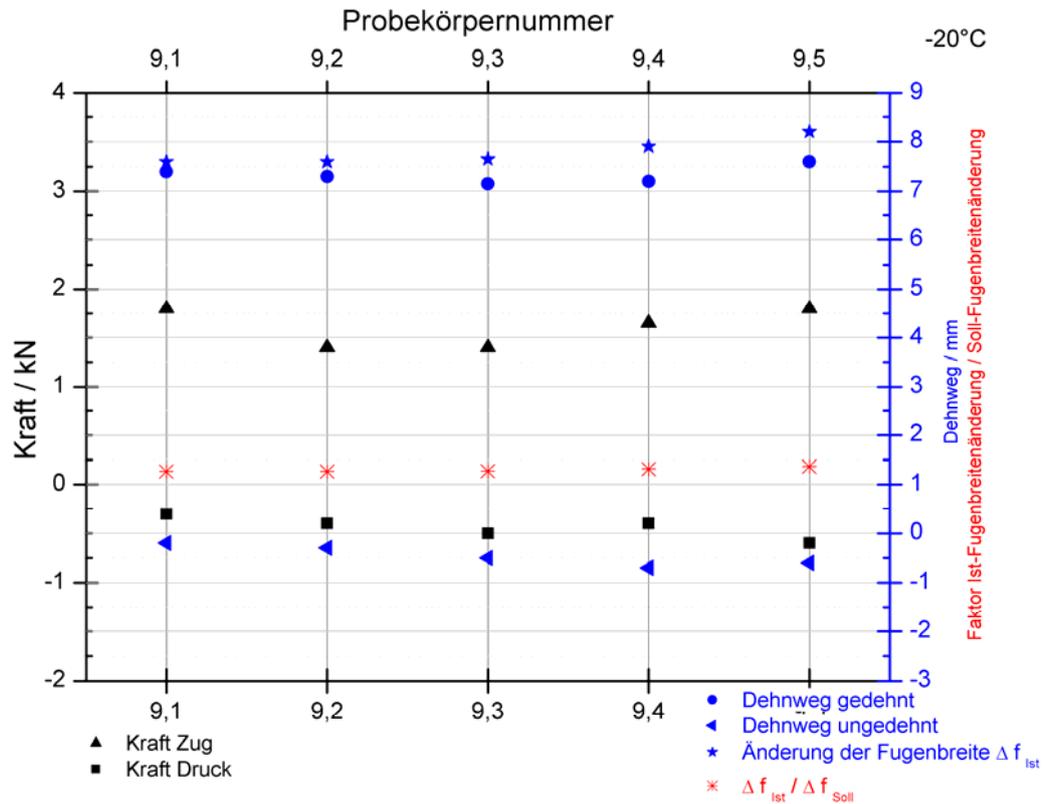


Abbildung 8-8: Fugenabschlussband aus MK: maximale Druck- und Zugkräfte; Dehnweg im gedehnten und ungedehnten Zustand, Gesamtdehnweg während der Prüfung Δf_{Ist} ; Quotient aus Ist-Dehnweg und Soll-Dehnweg $\Delta f_{\text{Ist}} / \Delta f_{\text{Soll}}$. (-20°C)

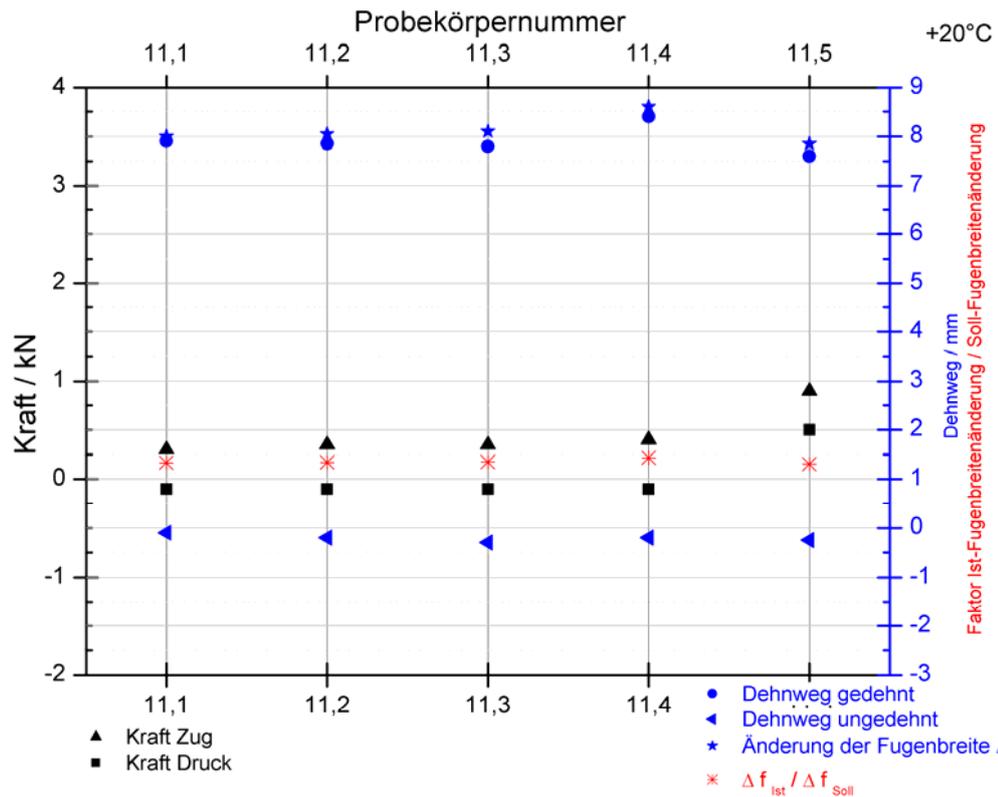


Abbildung 8-9: Fugenabschlussband aus MK: maximale Druck- und Zugkräfte; Dehnweg im gedehnten und ungedehnten Zustand, Gesamtdehnweg während der Prüfung Δf_{Ist} ; Quotient aus Ist-Dehnweg und Soll-Dehnweg $\Delta f_{Ist} / \Delta f_{Soll}$. (+20°C)

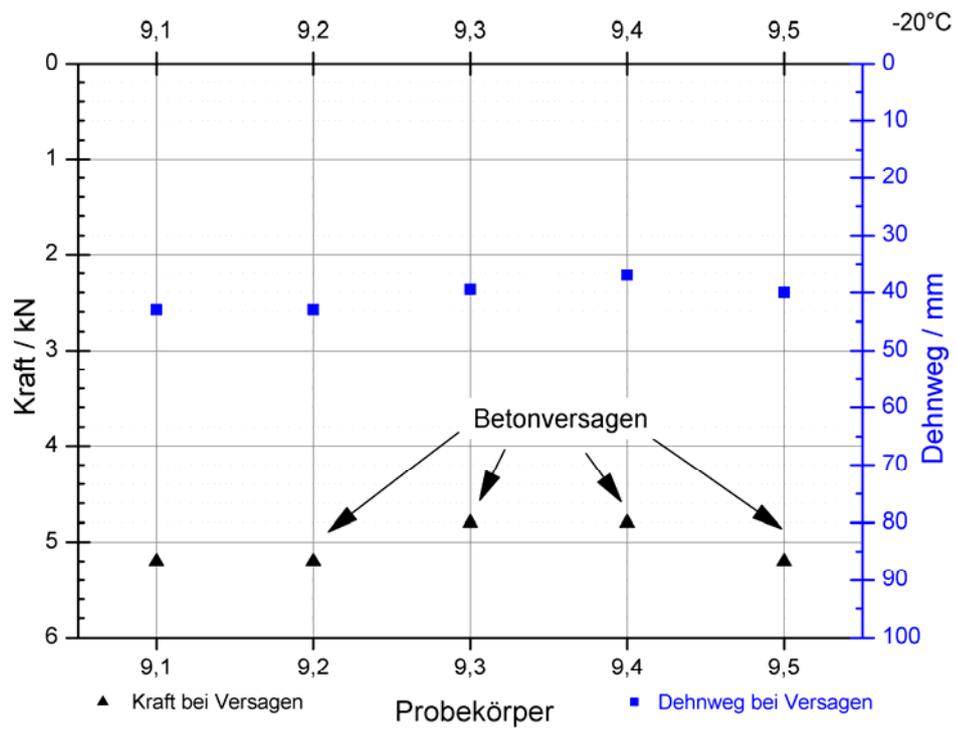


Abbildung 8-10: Fugenabschlussbänder aus MK: Versagen bei -20°C

8.3 *Innenliegende Fugenbänder mit Mittelschlauch (FM)*

8.3.1 Besonderheiten bei der Auswertung

Die für die Auswertung gewählten Achsenbezeichnungen sind in der Abbildung 8-11 für ein innenliegendes Dehnfugenband mit Mittelschlauch dargestellt. Die Kraftkomponenten F' der Achsrichtungen 1 und 4 sowie 2 und 3 wurden in der Auswertung zusammengefasst.

Der Dehnweg ist der Mittelwert aus den Wegkomponenten der vier Wegaufnehmer.

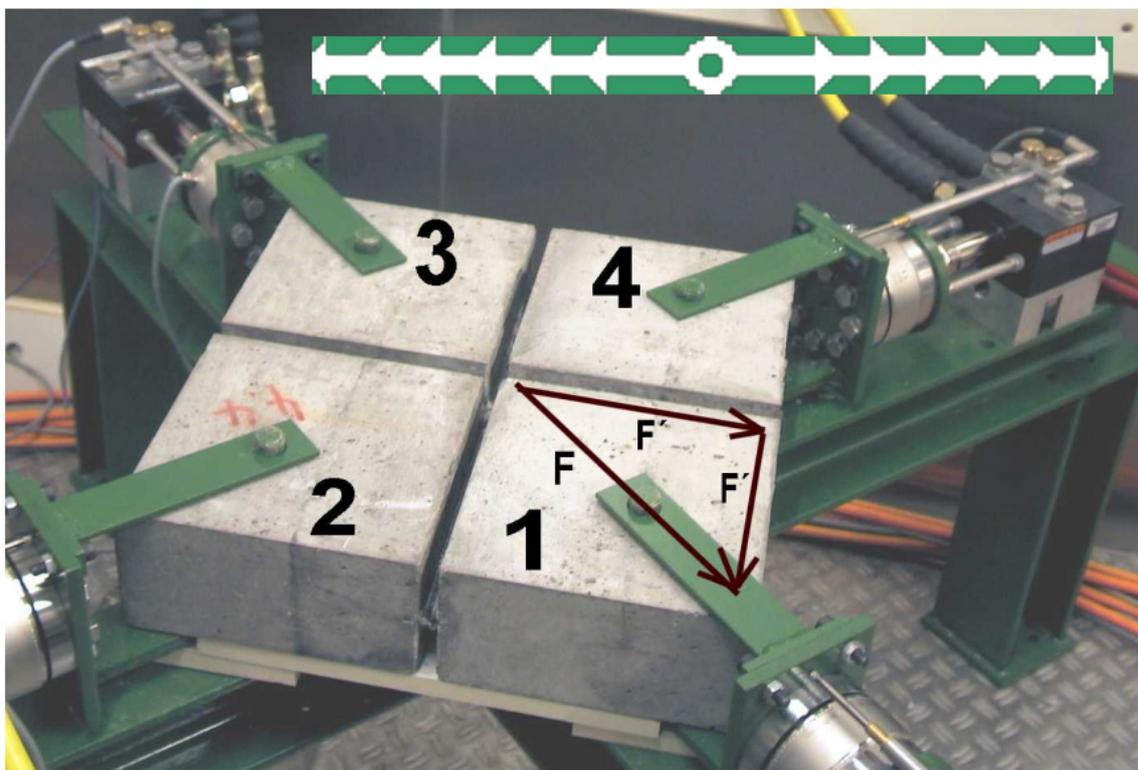


Abbildung 8-11: Probekörper mit innenliegendem Fugenband mit Mittelschlauch: Bezeichnung der Achsen und Komponenten der Kräftezerlegung; prinzipielle Darstellung des Fugenbandtyps

8.3.2 Innenliegende Fugenbänder aus Polyethylen

Die Probekörper wurden im Mittel um 7,7 mm gedehnt. Der erreichte Dehnweg war 30% größer als der geforderte Dehnweg von 6 mm. Nach den 50 Dehnzyklen konnte bei keinem der 14 Probekörper eine Schädigung des Fugenbands durch Inaugenscheinnahme festgestellt werden. Die Abbildung 8-12 zeigt ausgewählte Messwerte der Untersuchungen. Die Versteifung des Materials durch die Verringerung der Prüftemperatur von +20°C auf –20°C führte zu einer Verdopplung der Kräfte infolge Dehnung. Beim Probekörper 13.4 versagte der Beton während der zyklischen Versuche.

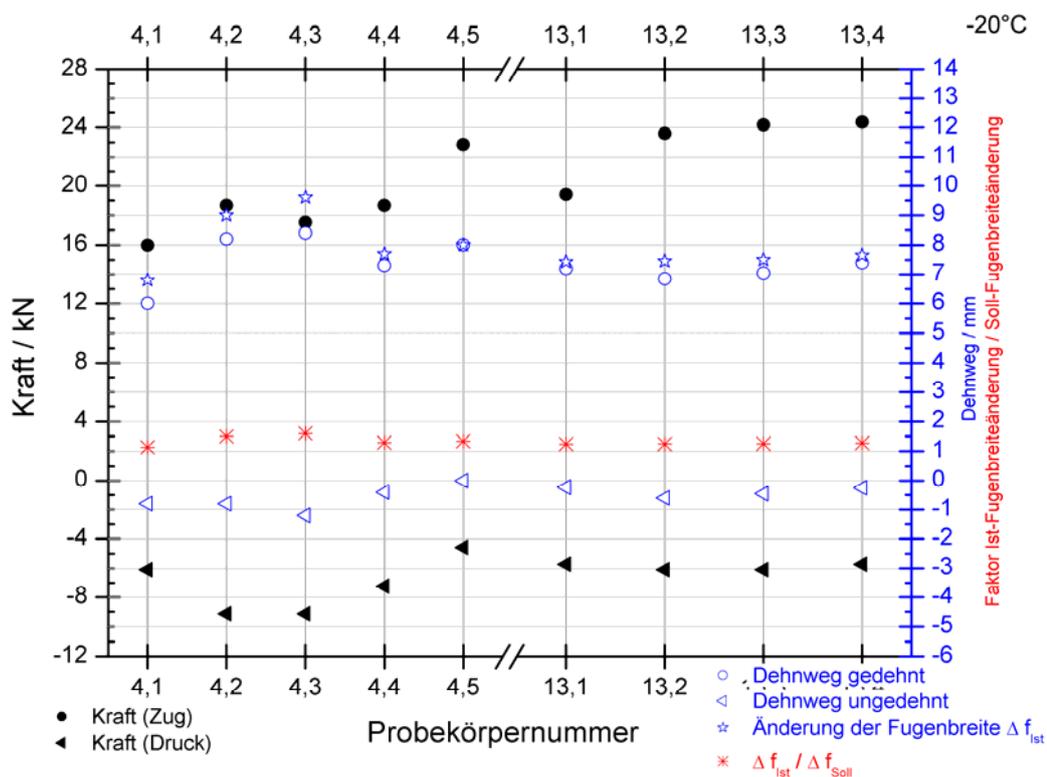


Abbildung 8-12: Innenliegendes Fugenband mit Mittelschlauch aus PE: maximale Druck- und Zugkräfte; Dehnweg im gedehnten und ungedehnten Zustand, Gesamtdehnweg während der Prüfung Δf_{Ist} ; Quotient aus Ist-Dehnweg und Soll-Dehnweg $\Delta f_{\text{Ist}} / \Delta f_{\text{Soll}}$ (-20°C)

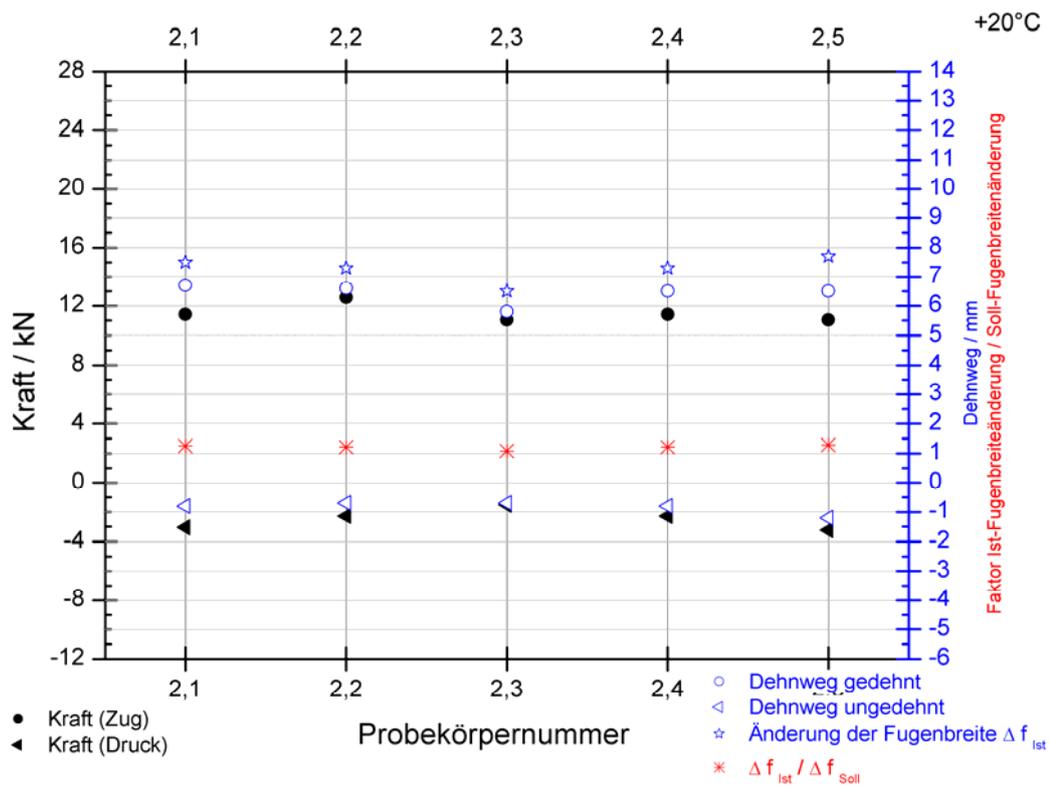


Abbildung 8-13: Innenliegendes Fugenband mit Mittelschlauch aus PE: maximale Druck- und Zugkräfte; Dehnweg im gedehnten und ungedehnten Zustand; Gesamtdehnweg während der Prüfung Δf_{Ist} ; Quotient aus Ist-Dehnweg und Soll-Dehnweg $\Delta f_{Ist} / \Delta f_{Soll}$ (+20°C)

Die anschließenden Versagensversuche führten bei +20°C bei Dehnwegen zwischen 25 mm und 62 mm zum Versagen. Bei -20°C versagte in fünf Versuchen das Fugenband. In drei Fällen versagte der Beton. Abbildung 8-13 zeigt die Ergebnisse.

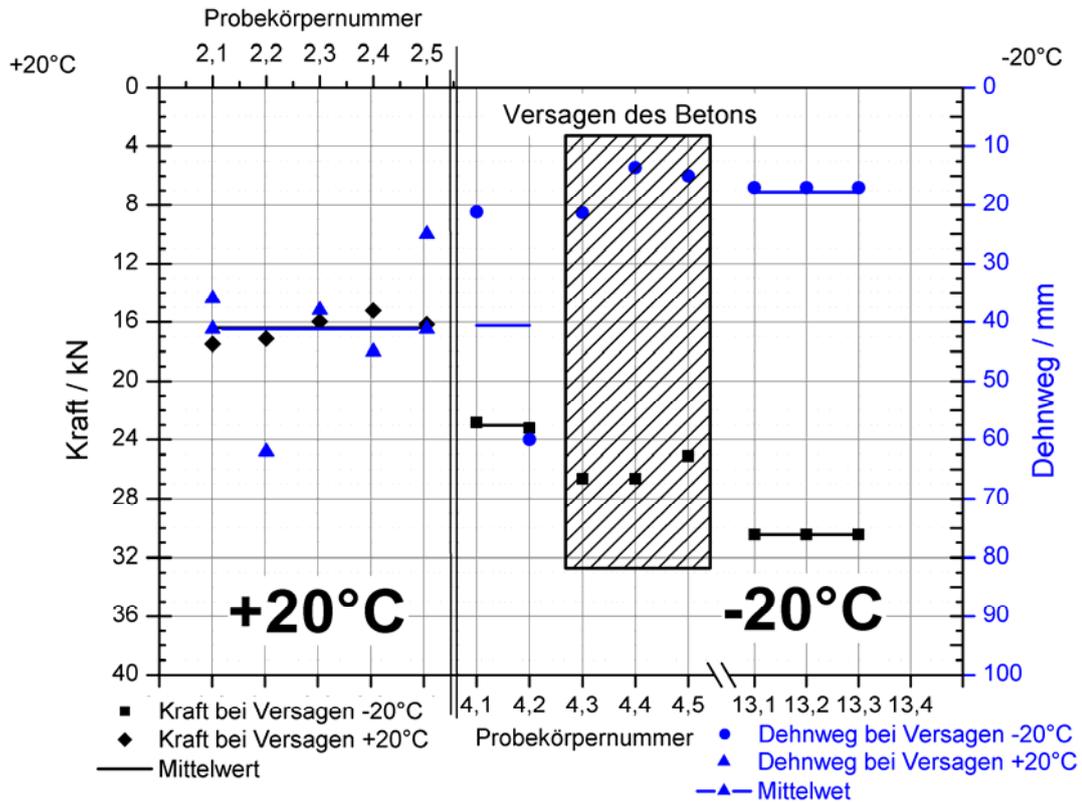


Abbildung 8-14: Innenliegendes Fugenband mit Mittelschlauch aus PE: Versagen bei +20°C (Probekörper 2.1 bis 2.5) und bei -20°C (Probekörper 4.1 bis 4.5 und 13.1 bis 13.4)

8.3.3 Innenliegende Fugenbänder aus TPE

Während der Prüfungen wurde die Fugenbreite im Mittel um 7,4 mm vergrößert. Der sich aus Zulassung und Zulassungsgrundsätzen ergebende Vorgabewert von 6 mm wurde um 20 % überschritten. Bei den zehn Prüfkörpern konnte nach 50 Dehnzyklen durch Inaugenscheinnahme kein Versagen des Fugenbands festgestellt werden. Die Abbildung 8-15 und die Abbildung 8-16 zeigen ausgewählte Versuchsergebnisse.

Die anschließenden Versagensversuche führten bei allen Fugenbändern zum Versagen der geschweißten Verbindung im Fugenband. Bei -20°C betrug der mittlere Dehnweg 10 mm; bei +20°C betrug der zum Versagen führende Dehnweg 18 mm und war damit fast doppelt so groß. Die Versagenskraft betrug bei -20°C im Mittel 14 kN und bei +20°C 11 kN. Die Abbildung 8-17 zeigt die Ergebnisse.

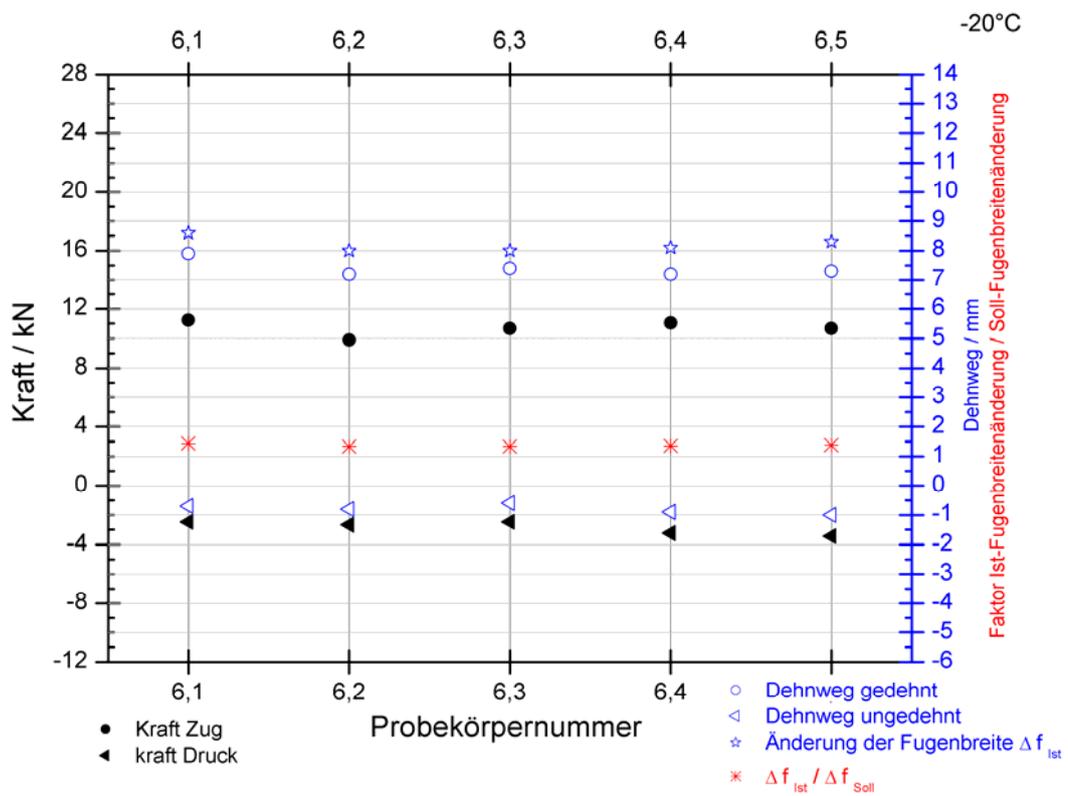


Abbildung 8-15: Innenliegendes Fugenband aus TPE: maximale Druck- und Zugkräfte; Dehnweg im gedehnten und ungedehnten Zustand; Gesamtdehnweg während der Prüfung Δf_{Ist} ; Quotient aus Ist-Dehnweg und Soll-Dehnweg $\Delta f_{Ist} / \Delta f_{Soll}$ (-20°C)

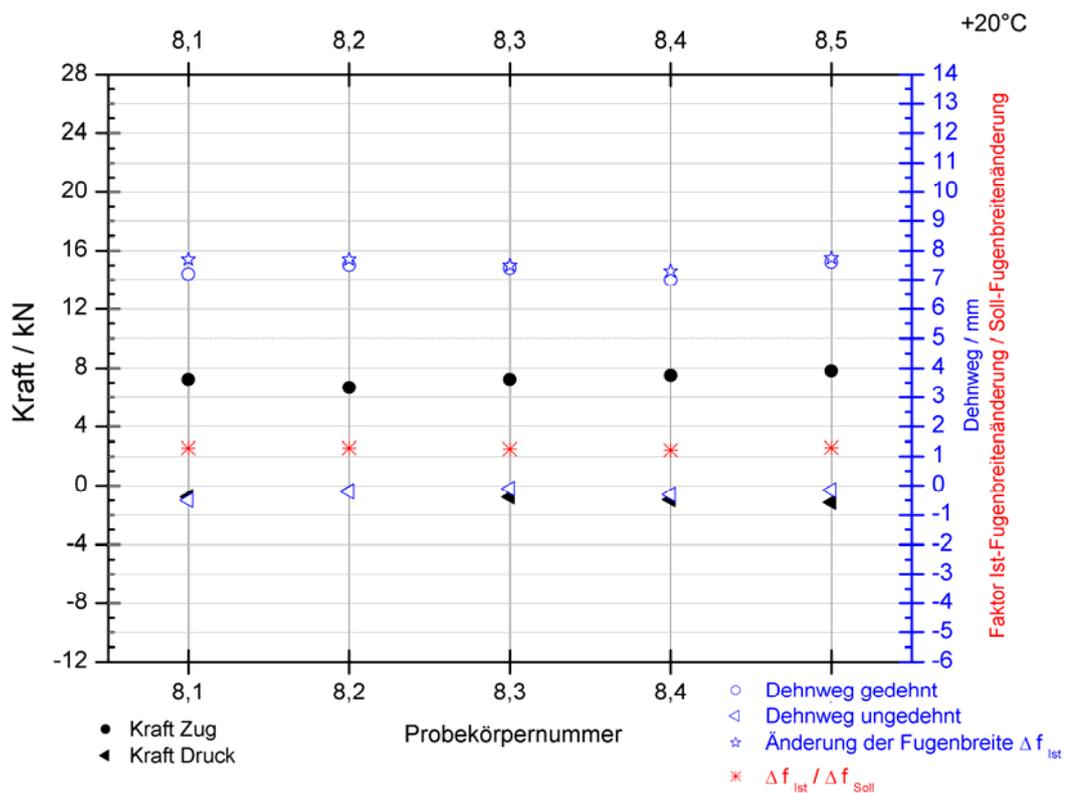


Abbildung 8-16: Innenliegendes Fugenband aus TPE: maximale Druck- und Zugkräfte; Dehnweg im gedehnten und ungedehnten Zustand; Gesamtdehnweg während der Prüfung Δf_{Ist} ; Quotient aus Ist-Dehnweg und Soll-Dehnweg $\Delta f_{Ist} / \Delta f_{Soll}$ (+20°C)

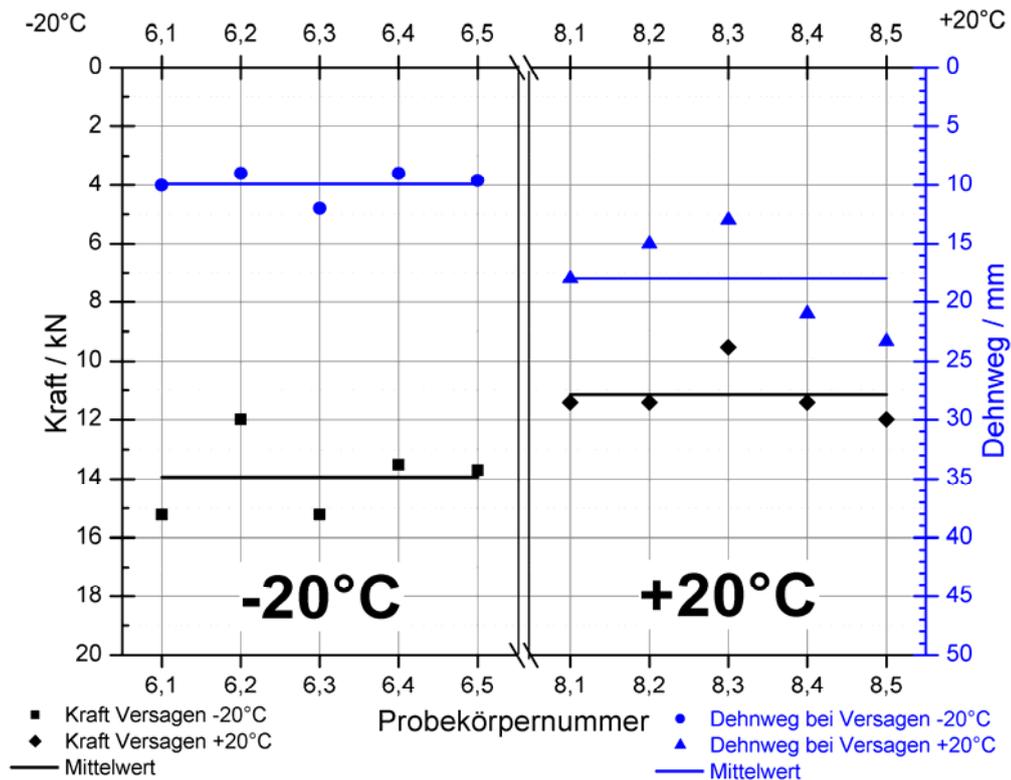


Abbildung 8-17: Innenliegendes Fugenband aus TPE: Versagensdehnweg und -kraft bei +20°C (Probekörper 8.1 bis 8.5) und bei -20°C (Probekörper 6.1 bis 6.5)

8.3.4 Innenliegendes Fugenband aus einer Materialkombination mit thermoplastischen Eigenschaften

Die Fugenbreite wurde im Mittel um 7,9 mm vergrößert. Der während der Versuche erreichte Dehnweg war um 30 % größer als der geforderte Prüfdehnweg von 6 mm. Nach 50 Dehnzyklen konnte bei keinem der zehn untersuchten Fugenbänder Versagen festgestellt werden. Die Abbildung 8-18 und die Abbildung 8-19 zeigen die Ergebnisse.

Die Ergebnisse der Versagensprüfung stellt die Abbildung 8-20 dar. Bei -20°C und bei +20°C versagte bei je einem Probekörper der Beton. Bei +20°C war bei zwei Probekörpern nach 10 zyklischen Belastungen kein Versagen zu beobachten. Der Prüfablauf entspricht dem in Abschnitt 8.2.2 auf Seite 24 beschriebenen.

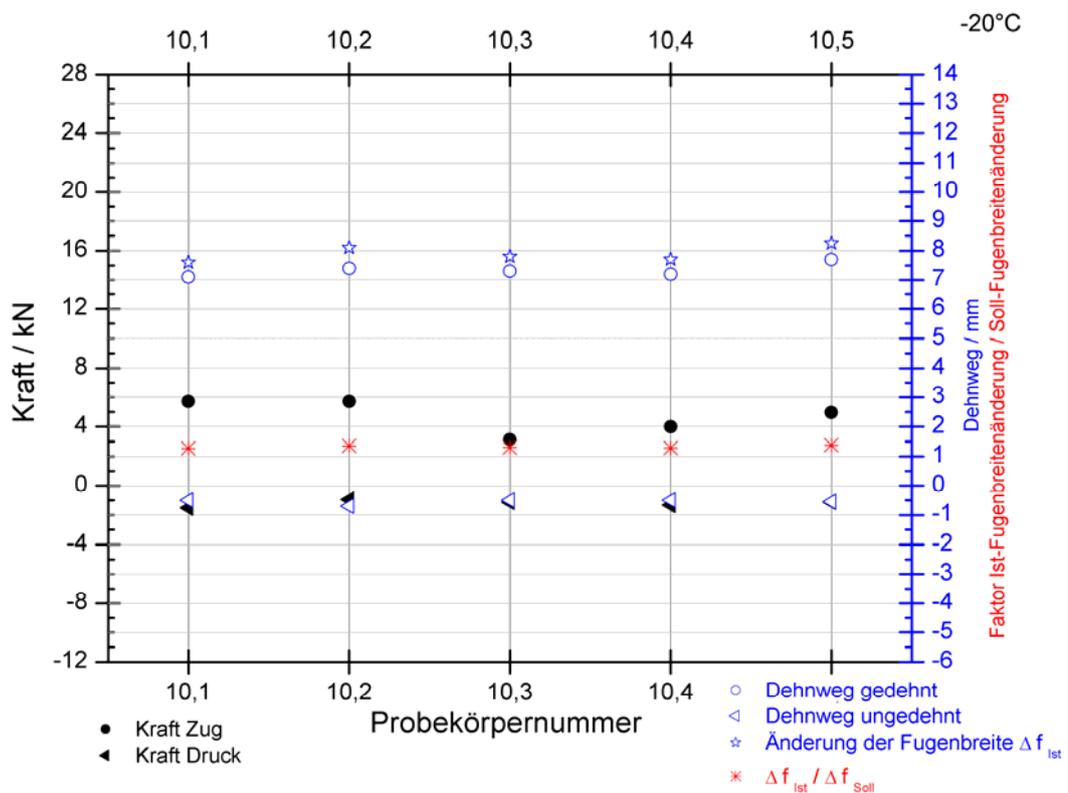


Abbildung 8-18: Innenliegendes Fugenband MK: maximale Druck- und Zugkräfte; Dehnweg im gedehnten und ungedehnten Zustand; Gesamtdehnweg während der Prüfung Δf_{Ist} ; Quotient aus Ist-Dehnweg und Soll-Dehnweg $\Delta f_{Ist} / \Delta f_{Soll}$ (-20°C)

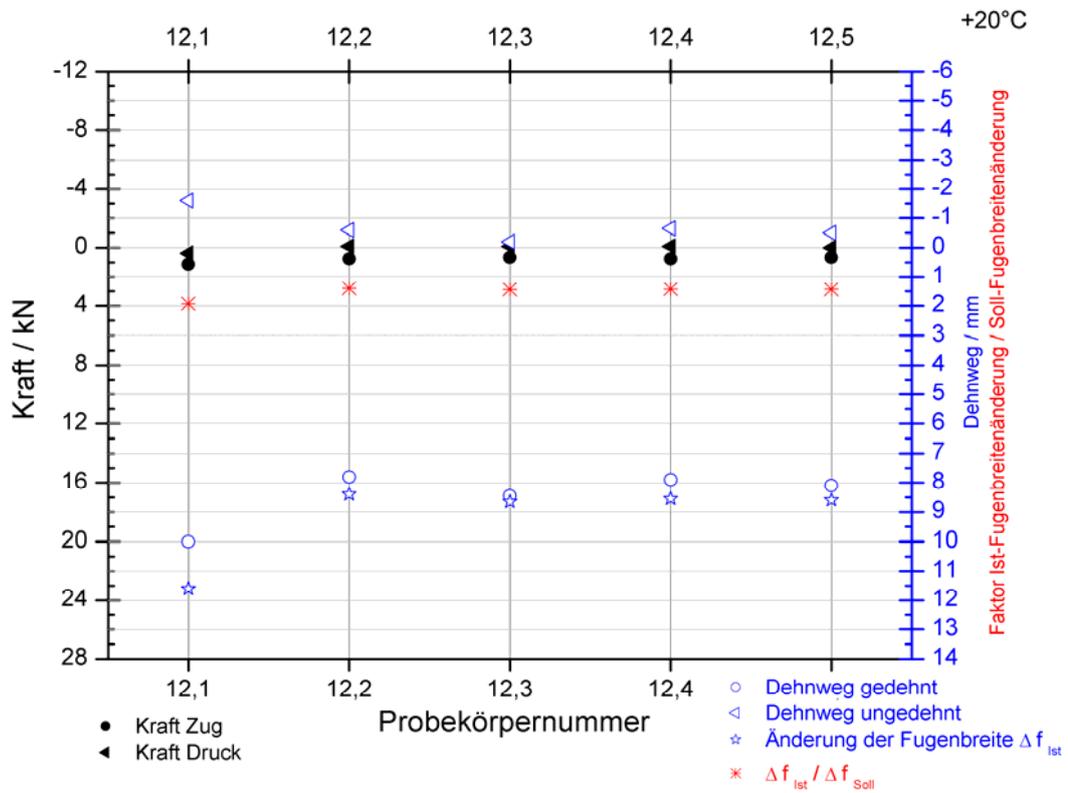


Abbildung 8-19: Innenliegendes Fugenband MK: maximale Druck- und Zugkräfte; Dehnweg im gedehnten und ungedehnten Zustand; Gesamtdehnweg während der Prüfung Δf_{Ist} ; Quotient aus Ist-Dehnweg und Soll-Dehnweg $\Delta f_{Ist} / \Delta f_{Soll}$ (+20°C)

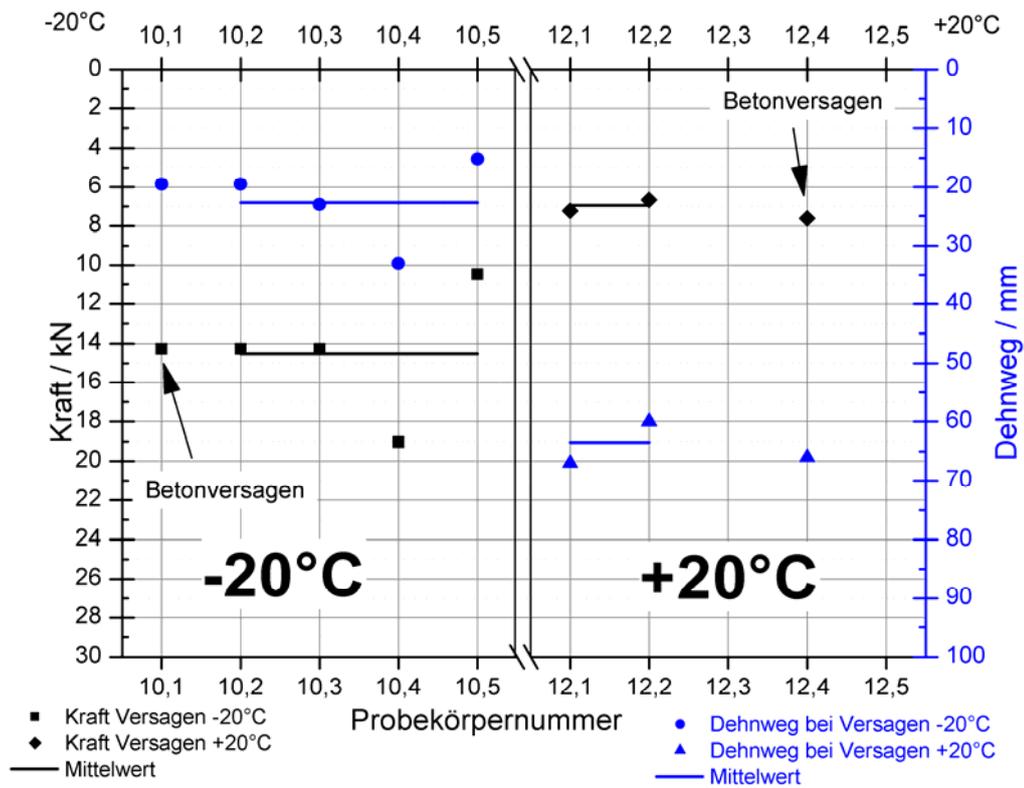


Abbildung 8-20: Innenliegendes Fugenband MK: Versagensdehnweg und –kräfte bei -20°C (Probekörper 10.1 bis 10.5) und bei +20°C (Probekörper 12.1 bis 12.5)

9 Ergebnisse der Untersuchungen an Parallelfugen

9.1 Vorbereitung und Besonderheiten bei der Auswertung

Je Fugenbandmaterial wurden pro Untersuchungstemperatur vier (ungeschweißt) bzw. fünf (geschweißt) Probekörper geprüft. Die Zeitspanne zwischen dem Betonieren und dem zyklischem Dehnen betrug zwischen 28 und 35 Tagen. Der Versuchsablauf ist in Abschnitt 5.1 beschrieben.

Die als Parallelfuge untersuchten Fugenbänder haben eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung des DIBt für den Einbau in LAU-Anlagen (FM aus PE und TPE). Der zulässige Verformungsweg für die Dehnbeanspruchung beträgt 3 mm. Für die Prüfung wurde nach Absprache mit dem DIBt und in Anlehnung an die Zulassungsgrundsätze des DIBt [ZG] ein Prüfweg von 6 mm gewählt.

9.2 Fugenbänder aus Polyethylen

Die Abbildung 9-1 und die Abbildung 9-2 zeigen für eingebaute Fugenbänder aus PE ausgewählte Ergebnisse der zyklischen Zugversuche bei +20°C bzw. –20°C. In den Abbildungen sind die jeweils gleichen Versuchsergebnisse für geschweißte und ungeschweißte Fugenbänder gegenübergestellt. Bei keinem Probekörper konnte nach den zyklischen Versuchen durch Inaugenscheinnahme Versagen festgestellt werden. Bei einem Probekörper (17.4) versagte der Beton im 50. Zyklus.

Der Soll-Dehnweg Δf_{soll} ist 6 mm. Der in den Versuchen handlingsbedingt realisierte Dehnweg Δf_{ist} betrug im Mittel 7,3 mm (von 6,0 mm bis 8,2 mm) und lag damit i.M. um ca. 22% über dem geforderten Dehnweg.

Ein Vergleich der für das Erreichen des Dehnwegs maximal aufzuwendenden Zug- und Druckkräfte für die geschweißten und ungeschweißten Probekörper zeigt, dass bei den geschweißten Probekörpern größere Kräfte aufzuwenden sind als bei den ungeschweißten Probekörpern. Der Unterschied ist bei den Versuchen, die bei –20°C gefahren wurden, deutlicher als bei den Versuchen, die bei +20°C gefahren wurden. Die vorhandenen Schweißnähte führen bei den Probekörpern zu einem steiferen Materialverhalten.

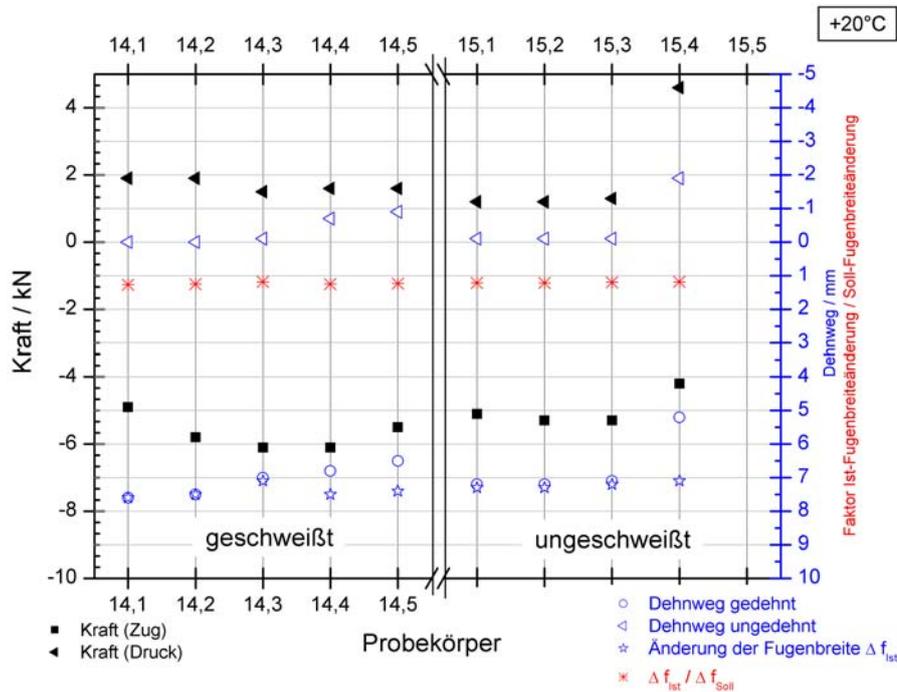


Abbildung 9-1: Geschweißte und ungeschweißte Parallelfugen aus PE: maximale Druck- und Zugkräfte; Dehnweg im gedehnten und ungedehnten Zustand, Gesamtdehnweg Δf_{ist} , Quotient aus Ist-Dehnweg und Soll-Dehnweg $\Delta f_{ist} / \Delta f_{soll}$ (+20°C)

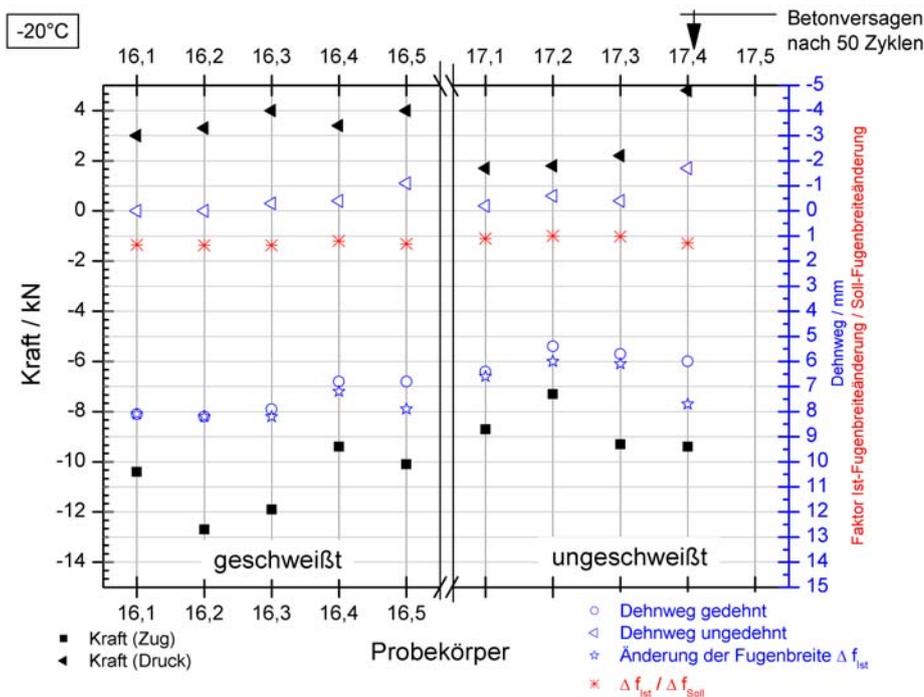


Abbildung 9-2: Geschweißte und ungeschweißte Parallelfugen aus PE: maximale Druck- und Zugkräfte; Dehnweg im gedehnten und ungedehnten Zustand, Gesamtdehnweg Δf_{ist} , Quotient aus Ist-Dehnweg und Soll-Dehnweg $\Delta f_{ist} / \Delta f_{soll}$ (-20°C)

Im Anschluss an die Dehnzyklen wurden die Probekörper auf Versagen untersucht. Die Abbildung 9-3 und die Abbildung 9-4 zeigen die Ergebnisse.

Bei den Versuchen, die bei +20°C gefahren wurden, versagten weder die geschweißten und noch die ungeschweißten Probekörper bis zu einem Dehnweg von 114 mm. Damit die Fugen um 114 mm geöffnet werden konnten, war eine Zugkraft von ca. –9 kN (geschweißt) und ca. –7,5 kN (ungeschweißt) erforderlich. Für die Proben mit Fügenähten wird eine größere Kraft benötigt.

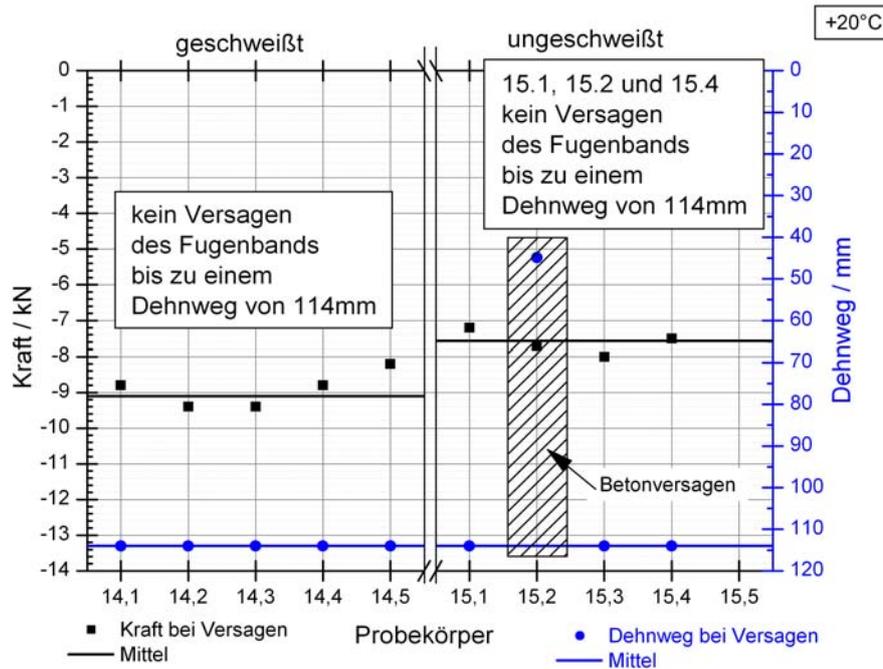


Abbildung 9-3: Geschweißte und ungeschweißte Parallelfugen aus PE: Versagen bei +20°C

Für die Versuche, die bei –20°C gefahren wurden, zeigt sich ein anderes Ergebnis. Die geschweißten Proben versagten bei einem Versagensweg von i.M. 46 mm bei einer Versagenskraft von ca. –14,2 kN. Es konnten nur zwei ungeschweißte Proben auf Versagen des Fugenbands geprüft werden. Beide versagten bis zu einem Weg von ca. 114 mm nicht. Um die Fuge um diesen Weg zu öffnen, war eine Kraft von ca. –12,8 kN erforderlich. Hier zeigt sich deutlich, dass die Fügenähte zum Versteifen der Probe führen.

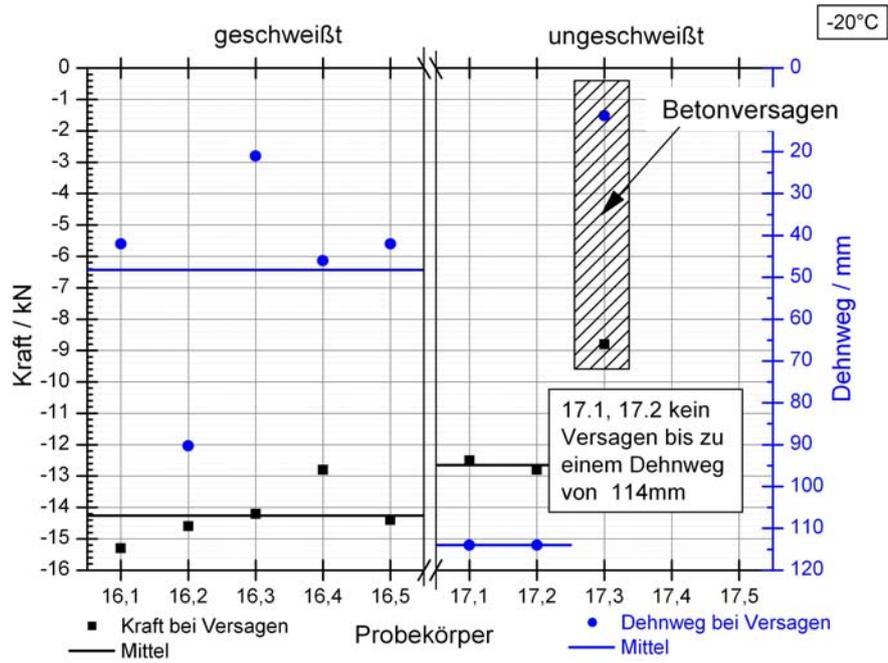


Abbildung 9-4: Geschweißte und ungeschweißte Parallelfugen aus PE: Versagen bei -20°C

9.3 Fugenbänder aus TPE

Die Abbildung 9-5 und die Abbildung 9-6 zeigen ausgewählte Ergebnisse der zyklischen Zugversuche an geschweißten und ungeschweißten Parallelfugen, die aus den FM aus TPE hergestellt wurden.

Bei keinem Probekörper konnte nach den zyklischen Versuchen durch Inaugenscheinnahme Versagen festgestellt werden

Der in den Versuchen handlingsbedingt realisierte Dehnweg Δf_{ist} betrug im Mittel 7,2 mm (von 6,1 mm bis 8,1 mm) und lag damit um ca. 20% über dem geforderten Soll-Dehnweg Δf_{soll} .

Bei einer Beanspruchungstemperatur von +20°C sind die maximal für die Öffnung der Fugen aufzubringenden Kräfte bei den geschweißten Proben größer als bei den ungeschweißten Proben.

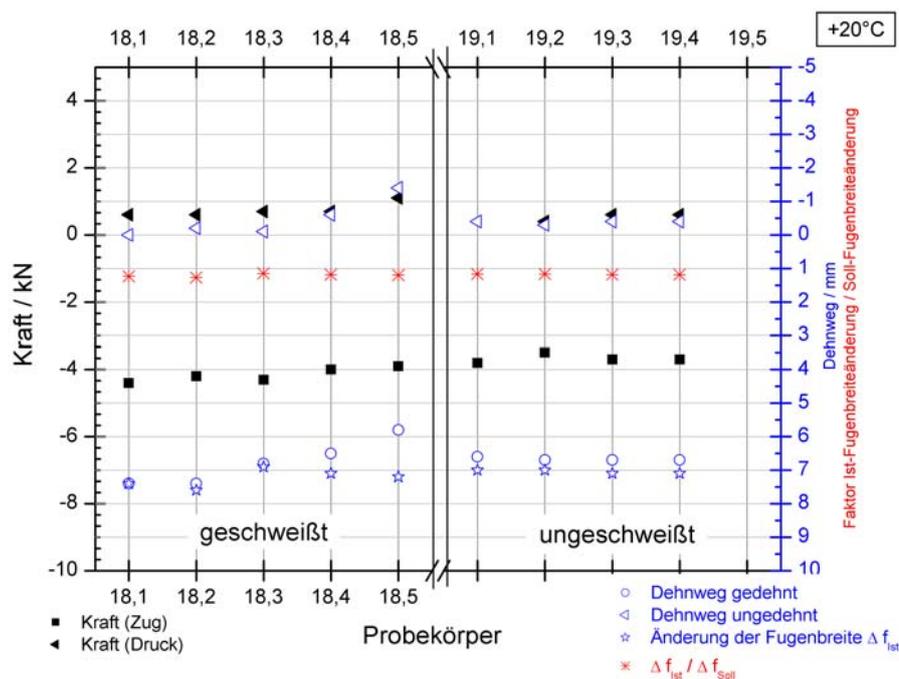


Abbildung 9-5: Geschweißte und ungeschweißte Parallelfugen aus TPE: maximale Druck- und Zugkräfte; Dehnweg im gedehnten und ungedehnten Zustand, Gesamtdehnweg Δf_{ist} , Quotient aus Ist-Dehnweg und Soll-Dehnweg $\Delta f_{ist} / \Delta f_{soll}$ (+20°C)

Ein Vergleich der maximal für die Dehnung der Proben aufzubringenden Kräfte für eine Beanspruchungstemperatur von -20°C zeigt, dass hier ebenfalls bei den geschweißten Proben größere Kräfte aufzubringen sind als bei den ungeschweißten Proben. Allerdings muss hier beachtet werden, dass der realisierte Prüfweg bei

den geschweißten Proben (i.M. ca. 7,8 mm) größer war als bei den ungeschweißten Proben (i.M. ca. 6,8 mm).

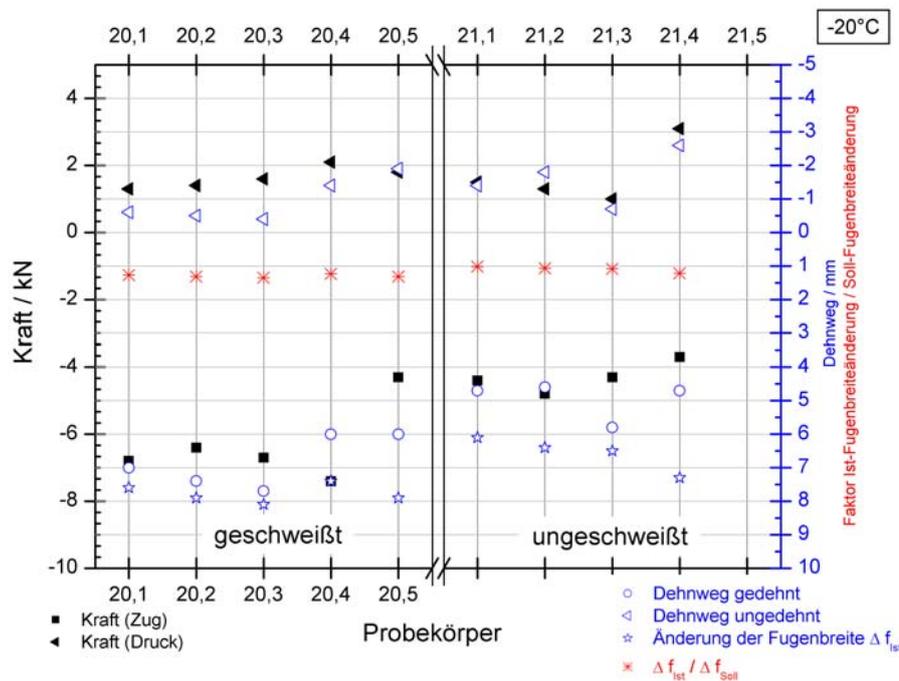


Abbildung 9-6: Geschweißte und ungeschweißte Parallelfugen aus TPE: maximale Druck- und Zugkräfte; Dehnweg im gedehnten und ungedehnten Zustand, Gesamtdehnweg Δf_{ist} , Quotient aus Ist-Dehnweg und Soll-Dehnweg $\Delta f_{ist} / \Delta f_{soll}$ (-20°C)

Die Ergebnisse der im Anschluss der zyklischen Versuche durchgeführten Versagensversuche zeigen die Abbildung 9-7 und die Abbildung 9-8. Sowohl für die Versuche bei $+20^{\circ}\text{C}$ als auch bei -20°C lassen sich keine Aussagen über das Versagen der ungeschweißten Proben machen. Bei beiden verwendeten Beanspruchungstemperaturen versagten bis zu einem Dehnweg von 114 mm ein ($+20^{\circ}\text{C}$) bzw. kein (-20°C) Probekörper. Der Probekörper 19.4 (ungeschweißte, $+20^{\circ}\text{C}$) versagte im Mittelschlauch (Abbildung 9-10). Dieses Versagensbild weicht von dem Versagensbild ab, das bei den anderen Probekörpern beobachtet wurde (siehe Abbildung 9-11). Das Ergebnis wird als Ausreißer betrachtet und fließt in die auswertenden Betrachtungen nicht ein.

Ein Vergleich der Ergebnisse der Versagensversuche, die an den geschweißten Proben gefahren wurden, zeigt, dass erwartungsgemäß eine Verringerung der Temperatur zu einem steiferen Materialverhalten führt. Bei einer Beanspruchungstemperatur von -20°C versagten die Proben bei einem geringeren Versagensweg, wobei die zum Versagen führende Kraft größer war.

Bei den geschweißten Proben aus TPE stellte sich das Versagen unabhängig von der Beanspruchungstemperatur bei einem Dehnweg von ca. 85 mm ein. Bei -20°C war für diesen Dehnweg eine größere Kraft notwendig als bei $+20^{\circ}\text{C}$.

Schlussfolgern lässt sich, dass auch für die Proben aus TPE die Proben mit Fügenähten ein steiferes Materialverhalten aufweisen als die Proben ohne Fügenähte.

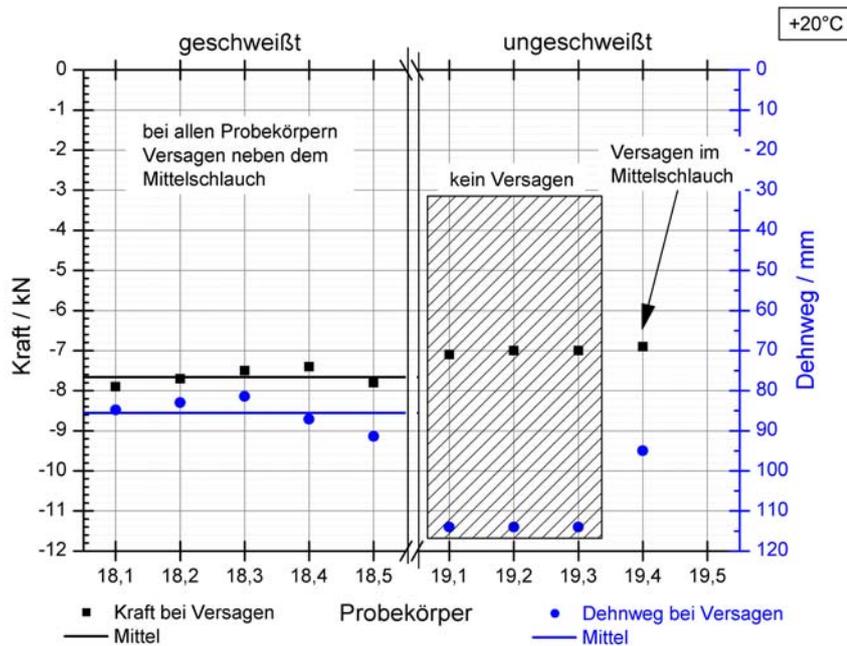


Abbildung 9-7: Geschweißte und ungeschweißte Parallelfugen aus TPE: Versagen bei $+20^{\circ}\text{C}$

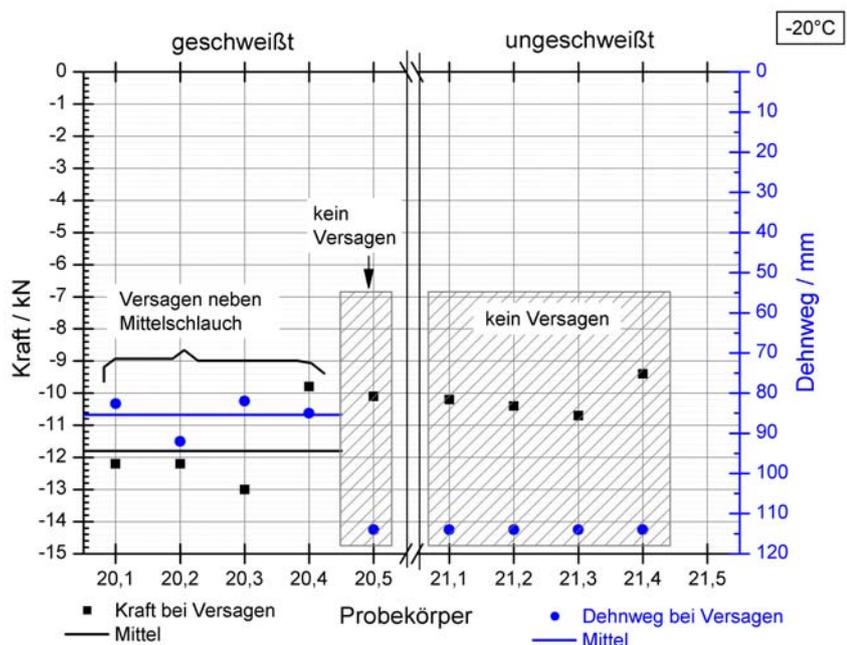


Abbildung 9-8: Geschweißte und ungeschweißte Parallelfugen aus TPE: Versagen bei -20°C

Die Abbildung 9-9 zeigt eine geschweißte Parallelfuge während der Versagensprüfung bei einem Dehnweg von ca. 50 mm.



Abbildung 9-9: Geschweißte Parallelfuge während der Versagensprüfung bei einem Dehnweg von ca. 50 mm (PK 18.4 TPE, +20°C)



Abbildung 9-10: Versagen im Mittelschlauch bei einem Dehnweg von ca. 95 mm (PK 19.4, TPE, +20°C)



Abbildung 9-11: Versagen neben dem Mittelschlauch bei einem Dehnweg von ca. 90 mm (PK 18.5, TPE, +20°C)

10 Ergebnisse der Untersuchungen an Schulterstäben

10.1 Versuchsergebnisse

Parallel zu den Versuchen an den eingebauten Fugenbändern wurden Versuche an Schulterstäben gefahren. Die einaxialen zyklischen Zugversuche an ungeschweißten und geschweißten Schulterstäben sollten Aufschluss über das Materialverhalten infolge Schweißung geben und dienten ebenfalls zur Ermittlung der Parameter für die Simulationsrechnungen. Die Versuchsdurchführung ist im Abschnitt 5.2 beschrieben. Je Material und Probekörperausprägung (ungeschweißt / geschweißt) wurden 5 Probekörper geprüft. Im April 2005 wurden die Versuche an je drei ungeschweißten Schulterstäben aus PE bzw. TPE gefahren. Im Mai 2006 wurden die Versuche an je zwei ungeschweißten (zum Vergleich mit den im April 2005 ermittelten Messergebnissen) und fünf geschweißten Schulterstäben aus PE bzw. TPE gefahren.

In Abbildung 10-1 sind die Versuchsergebnisse als Spannungs–Dehnungs–Verlauf exemplarisch für je zwei ungeschweißte und geschweißte Schulterstäbe aus PE dargestellt. Abweichend von allen anderen Versuchen beträgt die Umkehrdehnung für die im April 2005 durchgeführten Versuche an ungeschweißten PE-Schulterstäben 35 %.

Im Mittel sind bei gleicher technischer Dehnung die an den geschweißten Schulterstäben ermittelten technischen Spannungen um ca. 10 Prozent geringer als die an den ungeschweißten Schulterstäben ermittelten technischen Spannungen.

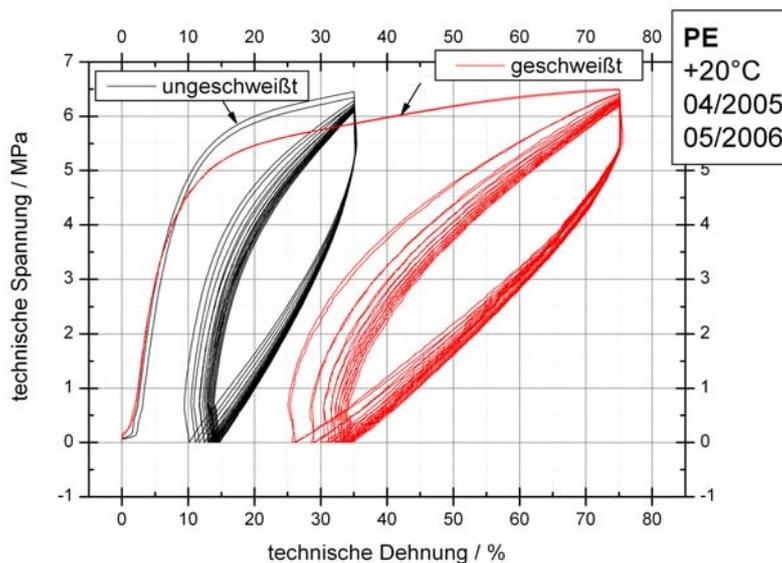


Abbildung 10-1: Zyklische einaxiale Zugversuche an Schulterstäben aus PE: ungeschweißt und geschweißt (10 Zyklen; 6mm/min)

Die Abbildung 10-2 zeigt exemplarisch für je zwei ungeschweißte und geschweißte Probekörper die technische Spannung in Abhängigkeit von der technischen Dehnung für das Material TPE.

Ebenso wie bei den PE-Schulterstäben ist bei gleicher technischer Dehnung die technische Spannung bei den geschweißten Schulterstäben geringer als bei den ungeschweißten Schulterstäben. Die Spannungen der geschweißten Schulterstäbe sind um ca. 7 Prozent geringer als die der ungeschweißten Schulterstäbe.

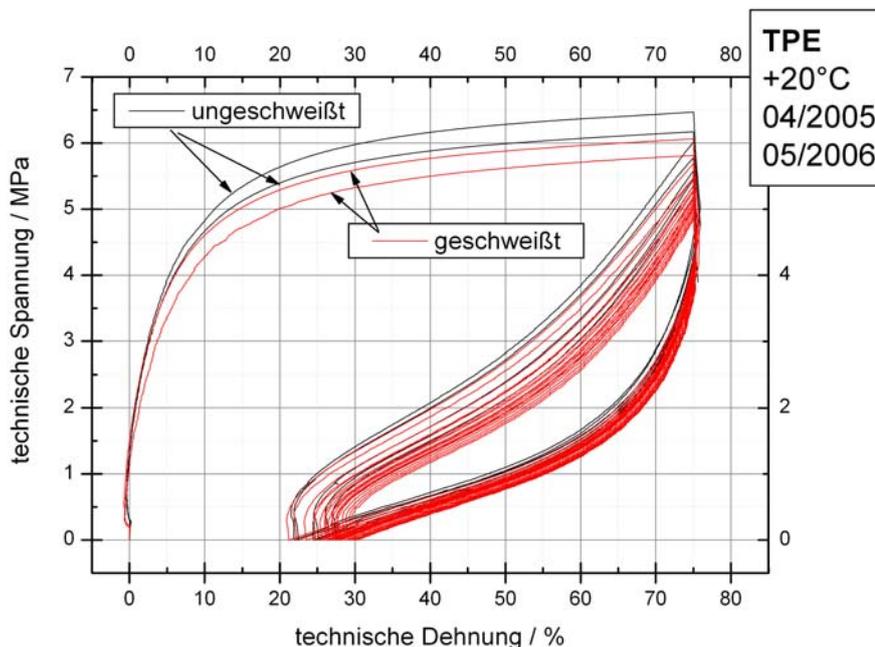


Abbildung 10-2: Zyklische einaxiale Zugversuche an Schulterstäben aus TPE: ungeschweißt und geschweißt (10 Zyklen; 6mm/min)

10.2 Numerische Berechnungen

10.2.1 Vorgehensweise

Für die numerischen Berechnungen wurde das Programm ANSYS verwendet, das nach der Finite-Elemente-Methode (FEM) arbeitet.

Der jeweils erste Zyklus der einaxialen Zugversuche am ungeschweißten und geschweißten Schulterstab wurde mit dem FE-Programm nachgerechnet. Das nicht-lineare Materialverhalten wurde mit einem multilinenaren elastischen Materialmodell beschrieben. Merkmale des verwendeten Materialmodells sind, dass der Be- und Entlastungspfad identisch sind sowie keine Hystereseffekte abgebildet werden können. Da nur der erste Belastungszyklus nachgerechnet werden sollte, konnten diese Einschränkungen hingenommen werden.

Für Kunststoffe liegt die Querkontraktionszahl ν im Bereich von 0,3 bis 0,45. Durch den Vergleich von Mess- und Simulationsergebnis wurde die Querkontraktionszahl iterativ bestimmt.

Durch Vorgabe eines weicheren Materialverhaltens im Schweißnahtbereich wurde das weichere Gesamtmaterialverhalten der geschweißten Schulterstäbe in den numerischen Berechnungen berücksichtigt. Der Einfluss der Schweißung auf das Gesamtmaterialverhalten wurde durch einen 4 mm bzw. 2 mm breiten Schweißnahtbereich erfasst.

Der Probekörper wurde unter Verwendung der 3D-Elemente „SOLID95“ hexagonal vernetzt. Die Abbildung 10-3 zeigt das FE-Modell für einen 2 mm breiten Schweißnahtbereich.

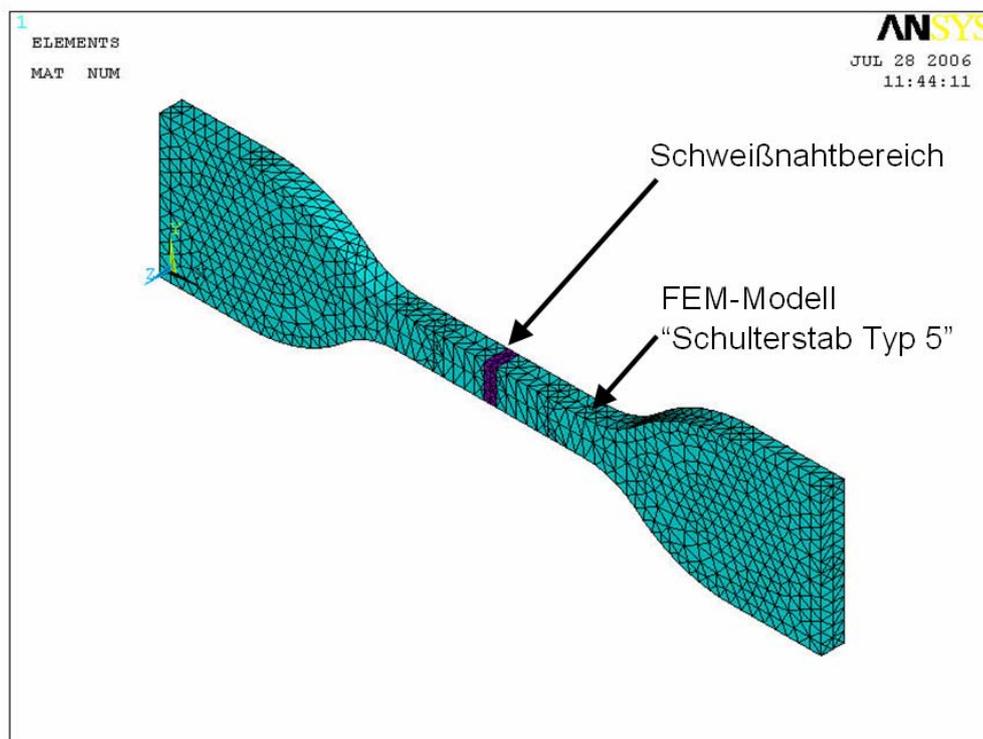


Abbildung 10-3: FEM-Modell für Schulterstab „Typ 5“ unter Berücksichtigung einer Schweißeinflusszone (hier: 2 mm)

10.2.2 Schulterstäbe aus Polyethylen

Die Abbildung 10-4 zeigt die technische Spannung in Abhängigkeit von der technischen Dehnung für den ungeschweißten Schulterstab aus PE und die Abbildung 10-5 für den geschweißten Schulterstab mit einem Schweißnahtbereich von 4 mm.

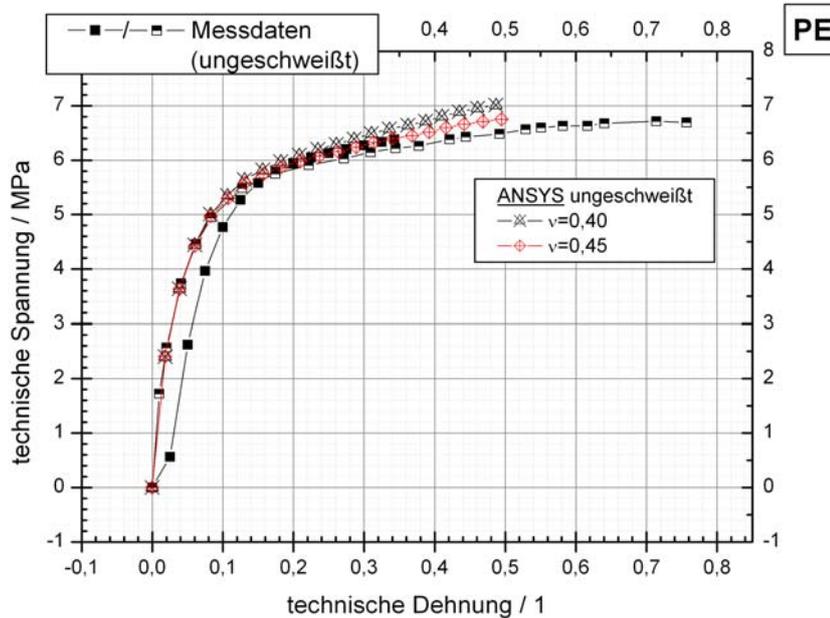


Abbildung 10-4: Spannungs-Dehnungs-Diagramm für den ungeschweißten Schulterstab aus PE

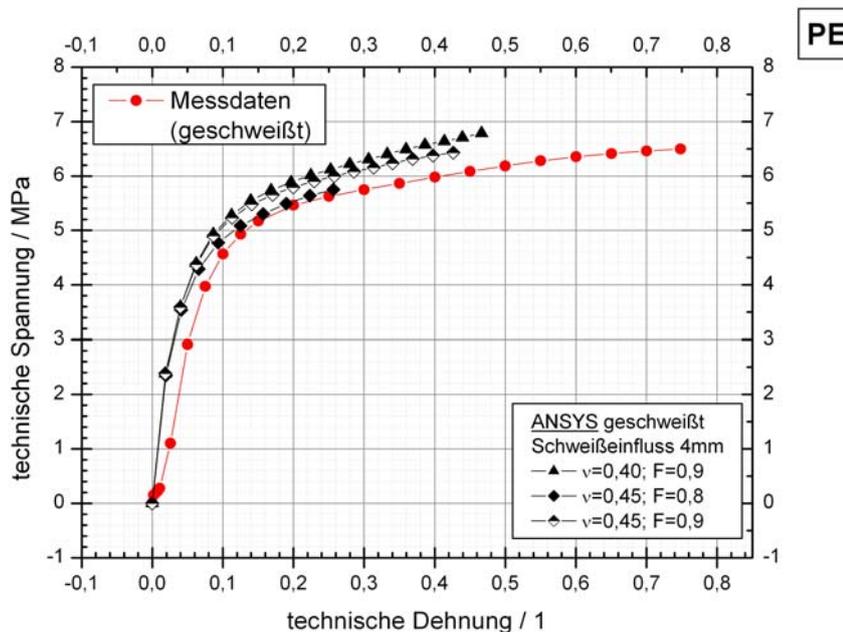


Abbildung 10-5: Spannungs-Dehnungs-Verlauf für den geschweißten Schulterstab aus PE (Schweißnahtbereich: 4 mm)

Für die ungeschweißten Schulterstäbe ergibt sich bei einer Querkontraktionszahl ν von 0,45 die beste Anpassung zwischen numerischen Daten und Messdaten.

Ist die Querkontraktionszahl $\nu = 0,45$ und verhalten sich die Spannungen im Schweißnahtbereich zu den Spannungen im Ausgangsmaterial wie 0,8 zu 1, so ergibt sich eine zufrieden stellende Übereinstimmung zwischen Messwerten und numerischen Ergebnissen.

Für einen Schweißnahtbereich von 2 mm ist die Übereinstimmung zwischen Messwerten und numerischen Ergebnisse gut, wenn die Spannungen im Schweißnahtbereich das 0,7fache der Spannungen im Ausgangsmaterial betragen und die Querkontraktionszahl $\nu = 0,45$ ist.

Den Vergleich zwischen Messwerten und numerischen Ergebnissen für einen Schweißnahtbereich von 2 mm zeigt die Abbildung A-5 im Anhang.

10.2.3 Schulterstäbe aus TPE

Die Abbildung 10-6 zeigt die technische Spannung in Abhängigkeit von der technischen Dehnung für den ungeschweißten Schulterstab aus TPE und die Abbildung 10-7 für den geschweißten Schulterstab bei einem Schweißnahtbereich von 4 mm.

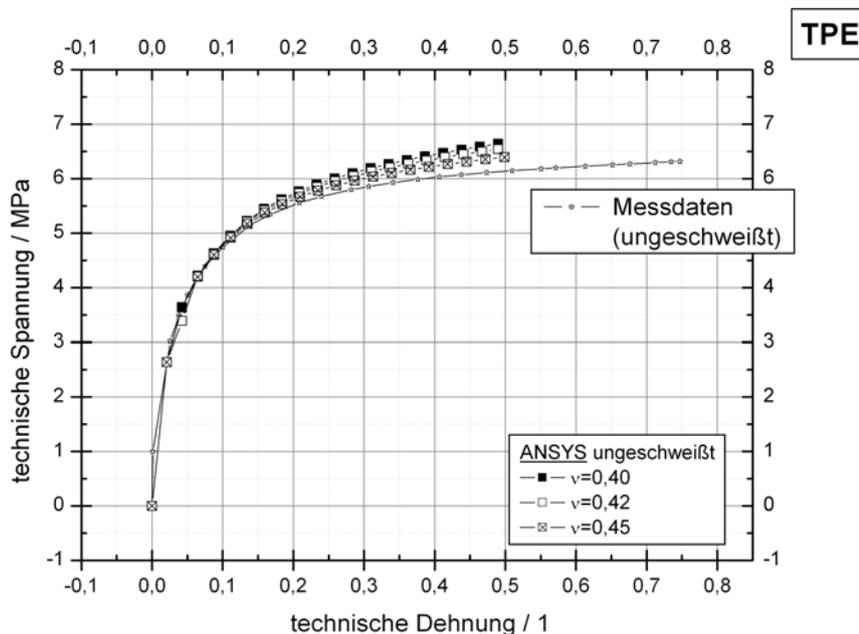


Abbildung 10-6: Spannungs-Dehnungs-Diagramm für den ungeschweißten Schulterstab aus TPE

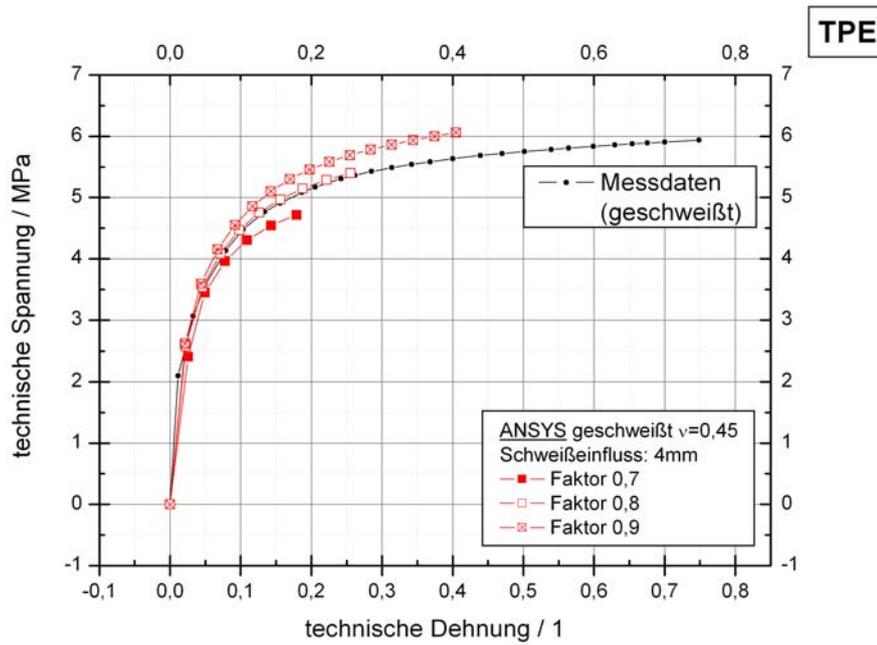


Abbildung 10-7: Spannungs-Dehnungs-Verlauf für den geschweißten Schulterstab aus TPE (Schweißnahtbereich: 4 mm)

Der Vergleich zwischen Messdaten und numerischen Ergebnissen für den ungeschweißten Schulterstab zeigt, dass sich mit einer Querkontraktionszahl ν von 0,45 die beste Anpassung zwischen numerischen Daten und Messdaten ergibt. Ist die Querkontraktionszahl $\nu = 0,45$ und betragen die Spannungen für das Material im Schweißnahtbereich das 0,8fache der Spannungen des Ausgangsmaterials, ergibt sich für den geschweißten Schulterstab eine zufrieden stellende Übereinstimmung zwischen Messwerten und numerischen Ergebnissen. Für eine Einflussbreite der Schweißung von 2 mm ist die Übereinstimmung zwischen Messwerten und numerischen Ergebnisse gut, wenn die Spannungen für das Material im Schweißnahtbereich das 0,7fache der Spannungen des Ausgangsmaterials sind und die Querkontraktionszahl $\nu = 0,45$ ist. Den Vergleich zwischen Messwerten und numerischen Ergebnissen für eine Schweißnahtbreite von 2 mm zeigt die Abbildung A-6 im Anhang.

11 Vergleichende Wertung der Untersuchungsergebnisse

11.1 Kreuzfugen

Die Versuche zeigen, dass eine Temperaturverringerung bei allen Materialien zu einer Versteifung im Materialverhalten führt. Dies wird an dem größeren Kraftaufwand zur Erzielung desselben Dehnwegs deutlich.

Unabhängig von der Fugenbandform ist die Materialversteifung infolge Temperaturverringerung bei den Fugenbändern aus der Materialkombination mit thermoplastischen Eigenschaften am stärksten ausgeprägt. Sowohl bei +20°C als auch bei -20°C zeigen die Fugenbänder aus Polyethylen das steifste Materialverhalten. Die Abbildung 11-1 stellt die Ergebnisse dar.

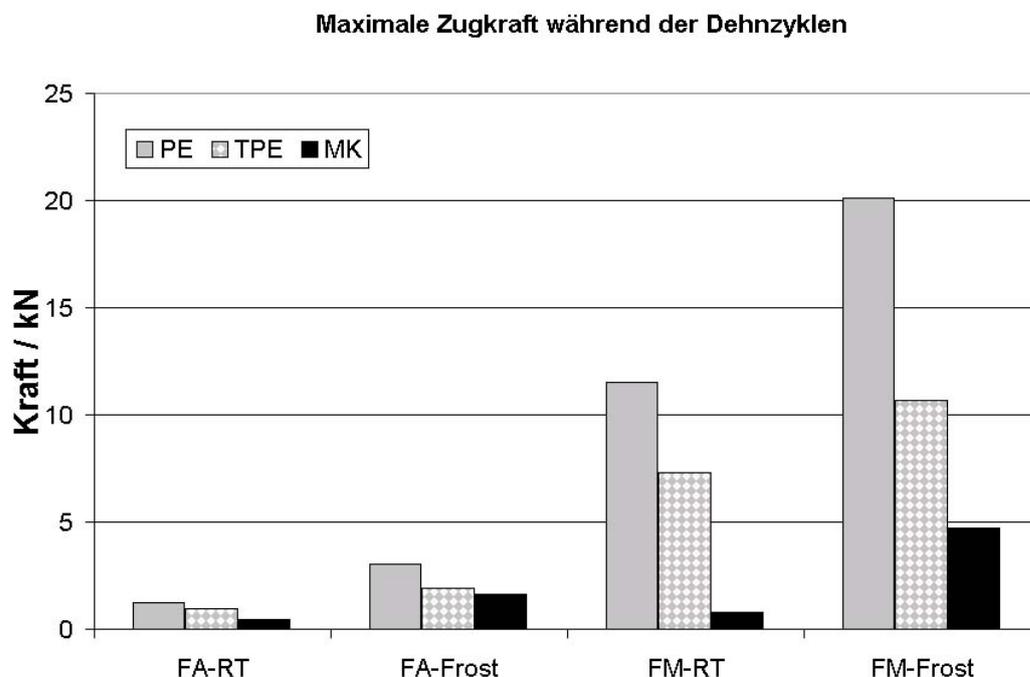


Abbildung 11-1: Gegenüberstellung der maximal in den zyklischen Dehnversuchen ermittelten Kraft (Mittelwert) [FA: Fugenabschlussband, FM: innenliegendes Dehnfugenband, Raumtemperatur RT: +20°C, Frost: -20°C, Kreuzfuge]

Die Abbildung 11-2 und die Abbildung 11-3 zeigen für die Versuche die Versagenskraft sowie den Versagensweg. Unabhängig vom Material führt die Verringerung der Prüftemperatur zu einer Verringerung des Versagenswegs und einer Vergrößerung der Versagenskraft. Innenliegende Fugenbänder mit Mittelschlauch versagen bei einem geringeren Dehnweg als Fugenabschlussbänder.

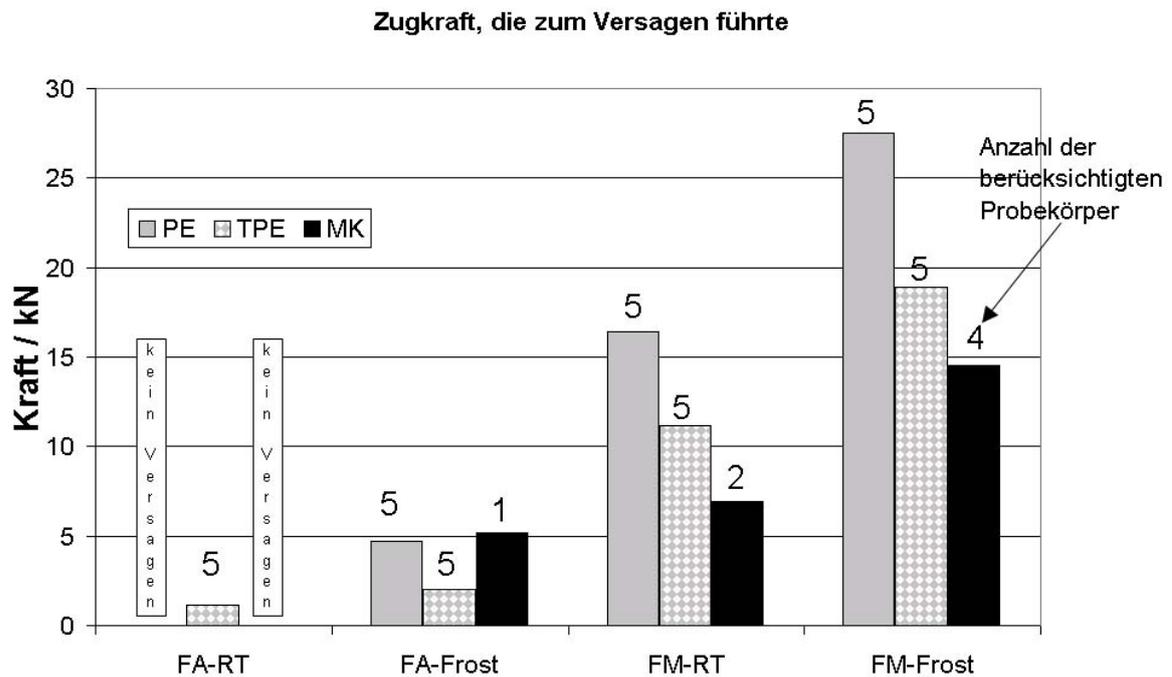


Abbildung 11-2: Gegenüberstellung der Versagenskraft (Mittelwerte; Anzahl der berücksichtigten Probekörper siehe Diagramm) [Kreuzfuge]

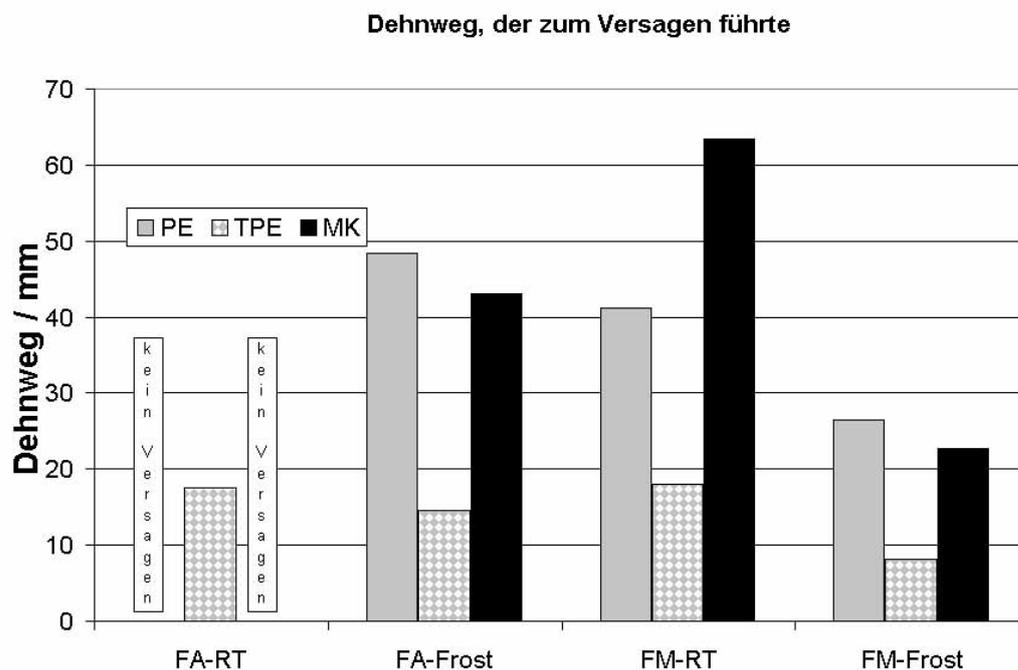


Abbildung 11-3: Gegenüberstellung des Versagenswegs (Mittelwerte; Anzahl der berücksichtigten Probekörper siehe Abbildung 11-2) [Kreuzfuge]

Wie in [Hill01] erläutert, können FA geometriebedingt größere Dehnwege ertragen als FM. Deutlich zeigen das die Messergebnisse in der Abbildung 11-3. Die Bandschenkel der FA „klappen“ beim Aufbringen der Dehnung vom Betonkörper ab.

Die Abbildung 11-4 zeigt schematisch, dass der geometrisch bedingte freie Dehnweg in der Größe der Schlaufenhöhe liegen kann. Wegen der ausgebildeten Kreuzung ist der erreichbare freie Dehnweg geringer als die Schlaufenhöhe. Die Beanspruchung des Materials insbesondere der Deckplatte ist gering. Die größte Beanspruchung erfahren die Längsschweißnähte im Eckbereich.

Fugenabschlussband

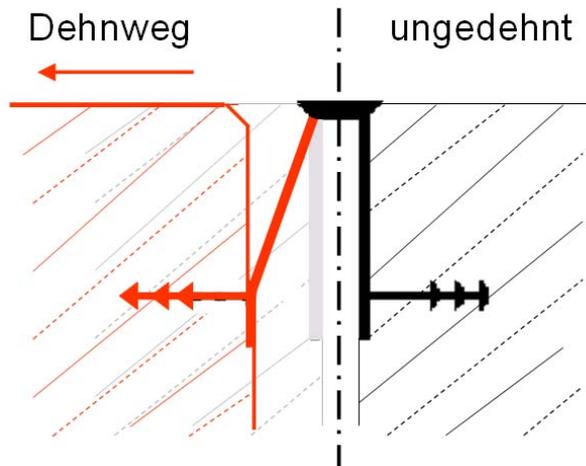


Abbildung 11-4: FA: links: gedehnt, rechts: ungedehnt (schematisch)

Für die Materialien Polyethylen (PE) und thermoplastisches Elastomer (TPE) wurden die Messergebnisse aus den Versagensversuchen statistisch ausgewertet. Der Tabelle 11-1 und der Tabelle 11-2 können der Mittelwert, die Standardabweichung und der Variationskoeffizient entnommen werden.

Tabelle 11-1: Versagenskraft für Fugenbänder aus PE und TPE: Statistische Kennwerte
 (\bar{X}) = [s] = kN; [v] = %)

Material	PE			TPE			
	FA	FM		FA		FM	
Spaltennummer	1	2	3	4	5	6	7
Prüftemperatur	-20°C	+20°C	-20°C	+20°C	-20°C	+20°C	-20°C
Probenanzahl n	5	5	5	5	5	5	5
Mittelwert \bar{x}	4,72	16,4	27,4	1,16	2,02	11,2	13,9
Standardabweichung s	0,87	0,91	4,07	0,52	0,29	0,95	1,36
Variationskoeffizient $v = s/\bar{x} * 100\%$	18	6	15	45	14	8	10

Tabelle 11-2: Versagensweg für Fugenbänder aus PE und TPE: Statistische Kennwerte
 ($[\bar{X}] = [s] = \text{mm}; [v] = \%$)

Material	PE			TPE			
	FA	FM		FA		FM	
Spaltennummer	1	2	3	4	5	6	7
Prüftemperatur	-20°C	+20°C	-20°C	+20°C	-20°C	+20°C	-20°C
Probenanzahl n	5	5	5	5	5	5	5
Mittelwert \bar{x}	48,40	41,20	26,44	17,60	14,60	18,06	9,92
Quotient aus Mittelwert und Soll-Prüfweg ($\bar{x}/6\text{mm}$)	8	6,8	4,4	2,9	2,5	3	1,6
Standardabweichung s	6,99	13,66	18,85	4,11	3,65	4,22	1,24
Variationskoeffizient $v = s/\bar{x} * 100\%$	14	33	71	23	25	23	12
Reduzierte Probenanzahl (markierter Bereich in Abbildung A-2)							
Probenanzahl n		4	4				
Mittelwert \bar{x}		36,00	18,06				
Quotient aus Mittelwert und Soll-Prüfweg ($\bar{x}/6\text{mm}$)		6	3				
Standardabweichung s		8,29	2,10				
Variationskoeffizient $v = s/\bar{x} * 100\%$		23	11				

Die Variationskoeffizienten schwanken zwischen 6% und 71%. Ist der Variationskoeffizient gering, so liegen die Messwerte eng um den Mittelwert. Bei hohen Variationskoeffizienten streuen die Messwerte stark um den Mittelwert. Die Messwerte der Versagenkraft streuen demnach geringer um den Mittelwert als die Messwerte des Versagenswegs.

Die Messwerte für das Material TPE streuen geringer als die Messwerte des Materials PE. Eine Ursache für die Streuung ist im Material und/oder in der Fertigung der Fugenähte zu suchen.

Für die Versuche an den FM aus PE (Spalte 2 und 3 in Tabelle 11-2) sind die Variationskoeffizienten und damit die Streuungen am größten. Deshalb werden die PK mit der größten Abweichung zum Mittelwert als Ausreißer betrachtet (PK 2.2 und 4.2) und die Ergebnisse der verbleibenden 4 Probekörper ausgewertet (2. Teil in Tabelle 11-2). Für den Versuch bei Raumtemperatur beträgt der Variationskoeffizient ohne den Ausreißer immer noch 23%.

Betrachtet man den Quotienten aus mittlerem Versagensweg \bar{x} und Soll-Prüfweg (6mm), zeigt sich, dass die FM bei -20°C im Mittel bei dem 3fachen (PE ohne den Ausreißer) bzw. 1,6fachen (TPE) Prüfweg versagen.

Mit der Student t-Verteilung lassen sich aus den Messwerten die Versagenswahrscheinlichkeiten berechnen. Die Tabelle 11-3 enthält für die Messwerte, deren Variationskoeffizient kleiner/gleich 25% ist, die Kraft sowie den Weg, die mit einer Wahrscheinlichkeit von 99,9% bzw. 99% unter den gewählten Prüfbedingungen zum Versagen führen. Für die FM aus PE wurden die wahrscheinlichen Versagenswege ohne die Ausreißer berechnet.

Tabelle 11-3: Wahrscheinliche Versagenskraft und wahrscheinlicher Versagensweg für Fugenbänder aus PE und TPE unter den Prüfbedingungen: Student t-Verteilung (WK: Wahrscheinlichkeit)

Material	PE			TPE			
Fugenbandform	FA	FM		FA		FM	
Spaltennummer	1	2	3	4	5	6	7
Prüftemperatur	-20°C	+20°C	-20°C	+20°C	-20°C	+20°C	-20°C
Versagen bei ... kN mit einer WK von 99,9%	1,9	13,5	14,7		1,1	8,1	9,6
Versagen bei ... kN mit einer WK von 99%	3,3	14,9	20,9		1,5	9,6	11,6
Versagen bei ... mm mit einer WK von 99,9%	26,0		7,3*	4,4	2,9	4,6	6,0
Versagen bei ... mm mit einer WK von 99%	36,7	17,2*	13,3*	10,7	8,5	11,0	7,8

*: aus Messwerten von 4 PK (unter Berücksichtigung der Ausreißer) berechnet

Wegen der geringen Probenanzahl ist die statistische Bewertung der Versuchsergebnisse nur bedingt möglich. Wegen der Streuungen der Versuchsergebnisse sollten zur Absicherung der Ergebnisse weitere Versuche durchgeführt werden.

11.2 Parallelfugen

Die Abbildung 11-5 zeigt die maximale Zugkraft als Mittelwert aus 5 (geschweißt) bzw. 4 (ungeschweißt) Versuchen, die in den zyklischen Dehnversuchen an geschweißten und ungeschweißten Parallelfugen ermittelt wurden.

Eine Verringerung der Temperatur führt zu einer Materialversteifung. Die geschweißten Proben zeigen ein steiferes Materialverhalten als die ungeschweißten Proben. Sie Kraftzunahme infolge Schweißung betrug zwischen 13% (TPE–RT) und 47% (TPE–Frost).

Die Ergebnisse zeigen, dass die Fugenbänder aus PE ein steiferes Materialverhalten aufweisen als die Fugenbänder aus TPE. Das entspricht den Ergebnissen, die an den Kreuzfugen ermittelt wurden.

Maximale Zugkraft während der Dehnzyklen

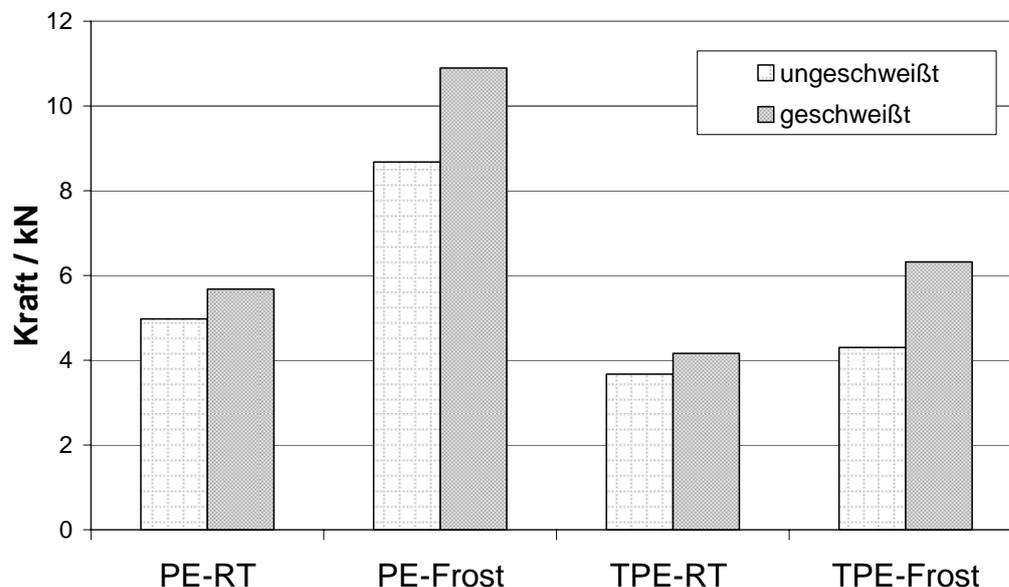


Abbildung 11-5: Gegenüberstellung der maximal in den zyklischen Dehnversuchen ermittelten Kraft (Mittelwert) [PE: Polyethylen, TPE: Thermoplastisches Elastomer, RT: +20°C, Frost: –20°C] [Parallelfuge]

Die Abbildung 11-6 und die Abbildung 11-7 zeigen die Mittelwerte für Versagenskraft und Versagensweg. Unter den Versuchsbedingungen kommt es bis zu einem Dehnweg von 114 mm (maximal mit der Versuchseinrichtung aufzubringen) nur bei geschweißten Proben zum Versagen (PE–Frost, TPE–RT, TPE–Frost). Die

ungeschweißten Proben zeigten bis zu einem Dehnweg von 114 mm kein Versagen.

Das Vorliegen von Schweißungen in der parallelfugigen Probe führt unter den gewählten Versuchsbedingungen zu einer Versteifung des Materials. Die Proben versagen im Vergleich zu parallelfugigen Proben ohne Schweißung bei einem kleineren Dehnweg.

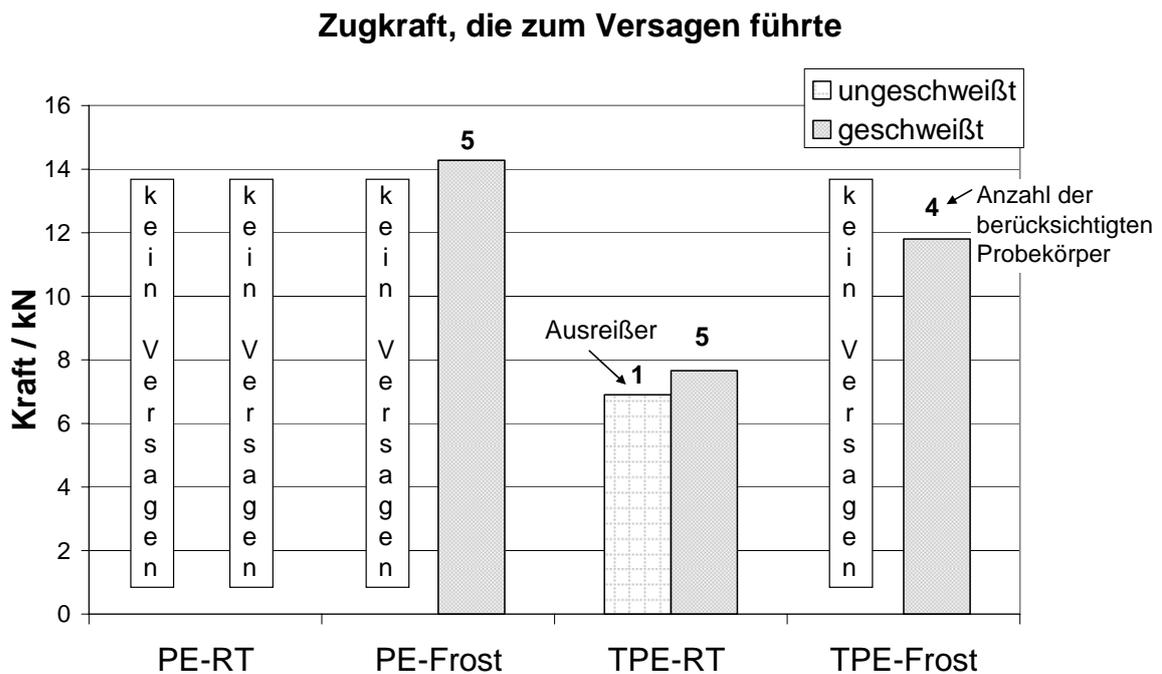


Abbildung 11-6: Gegenüberstellung der Versagenskraft (Mittelwerte, Anzahl der berücksichtigten Probekörper siehe Diagramm), [Parallelfuge]

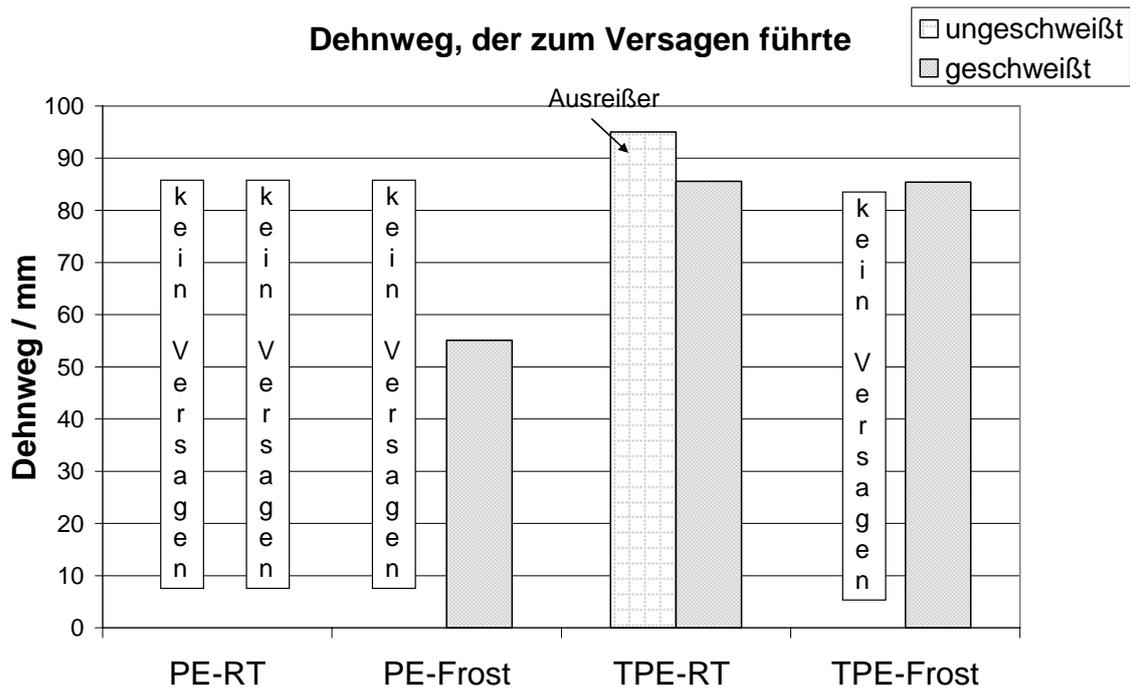


Abbildung 11-7: Gegenüberstellung der Versagensweg (Mittelwerte, Anzahl der berücksichtigten Probekörper siehe Abbildung 11-6), [Parallelfuge]

11.3 Schulterstab – Parallelfuge

Die geschweißten Schulterstäbe zeigten im Versuch ein weiches Materialverhalten als die ungeschweißten Schulterstäbe. Das Materialverhalten steht im Gegensatz zu den Ergebnissen, die aus den Versuchen an den Parallelfugen gewonnen wurden. Die geschweißten Parallelfugen verhalten sich steifer als die ungeschweißten Parallelfugen.

Ein Grund hierfür ist die unterschiedliche Beanspruchung. Der Schulterstab wird senkrecht zur Fügenaht beansprucht; die Parallelfuge wird in Richtung der Fügenahte beansprucht.

Aus diesem Grund kann das am Schulterstab beobachtete und berechnete Materialverhalten nicht auf die Parallelfuge übertragen werden.

12 Zusammenfassung und Empfehlungen

Kein Fugenband versagte während der zyklischen Dehnversuche. Für die Versuche an den Kreuzfugen lässt sich feststellen, dass unter den Versuchsbedingungen:

- die Fugenbänder aus TPE i. M. bei dem geringsten Dehnweg versagen.
- innenliegende Fugenbänder mit Mittelschlauch i. M. einen geringeren Dehnweg als Fugenabschlussbänder ertragen.
- die Kraft, die zum Erzielen des gleichen Dehnwegs aufgebracht werden muss, bei innenliegenden Fugenbändern mit Mittelschlauch größer ist als bei Fugenabschlussbändern.

Für die Versuche an den Parallelfugen kann unter den gewählten Versuchsbedingungen für die ungeschweißten Proben keine Aussage über den Versagensweg getroffen werden. Bei den geschweißten Proben versagten die Fugenbänder aus TPE bei Raumtemperatur bei einem geringeren Dehnweg als die Fugenbänder aus PE; bei -20°C versagten die Fugenbänder aus PE bei einem geringeren Dehnweg als die Fugenbänder aus TPE.

Die statistische Auswertung der Versuchsergebnisse der Kreuzfugen (Abschnitt 11.1) zeigt, dass die Versuchsergebnisse zum Teil großen Streuungen unterliegen. Dies trifft besonders für den Versagensweg zu, der bei den innenliegenden Fugenbändern (FM) aus Polyethylen (PE) bei -20°C ermittelt wurde. Eine mögliche Ursache ist in der manuellen Fertigung der Fügenähte zu sehen. Um die Versuchsergebnisse abzusichern, sind Versuche mit einem größeren Stichprobenumfang notwendig.

Die in den Zulassungsgrundsätzen festgelegten zulässigen Verformungswege sollten beibehalten werden. Insbesondere bei den Fugenabschlussbändern kann bei einem größeren zulässigen Verformungsweg nicht sichergestellt werden, dass kein Schmutz etc. in die geöffnete Fuge gerät; die Folge wäre eine zusätzliche Beanspruchung des Materials (siehe Abbildung 11-4).

13 Literatur

- [DIN 7865-1] DIN 7865–1 (1982–02): Elastomer–Fugenbänder zur Abdichtung von Fugen in Beton – Form und Maße.
- [DIN 18541-2] DIN 18541–2 (1992–11): Fugenbänder aus thermoplastischen Kunststoffen zur Abdichtung von Fugen in Ortbeton – Anforderungen, Prüfung, Überwachung.
- [DIN 53544] DIN 53455 (1988–06): Prüfung von Kunststoffen; Zugversuch
- [DIN 18197] DIN 18197 (1995–12): Abdichten von Fugen in Beton mit Fugenbändern
- [DIN EN 12350-5] DIN EN 12350-5 (2000-06): Prüfung von Frischbeton - Teil 5: Ausbreitmaß
- [DIN EN ISO 527-3] DIN EN ISO 527-3 (2003-07): Bestimmung der Zugeigenschaften; Teil 3: Prüfbedingungen für Folien und Tafeln
- [ZG] Deutsches Institut für Bautechnik: Zulassungsgrundsätze. Fugenabdichtungssysteme für LAU–Anlagen Teil 2 – Fugenbänder. Schriften des Deutschen Instituts für Bautechnik. Reihe 8, Heft 16/1. Fassung Mai 2001
- [Saec92] Saechtling H., Wobcken, W. (Hrsg.): Kunststoff Taschenbuch. München, Wien 1992 (25. Aufl.).
- [Hill01] Hillemeier, B., Westphal, B.: Festigkeits– und Verformungsverhalten von Fugendichtstoffen (FDS) und Fugenbändern (FB) in Kreuz– und T– Stößen zur Entwicklung eines Prüfverfahrens. Zwischenbericht zum Forschungsvorhaben. 2001. (unveröffentlicht)
- [Tric03] Ratgeber für die Praxis. Tricosal GmbH, Illertissen. März 2003

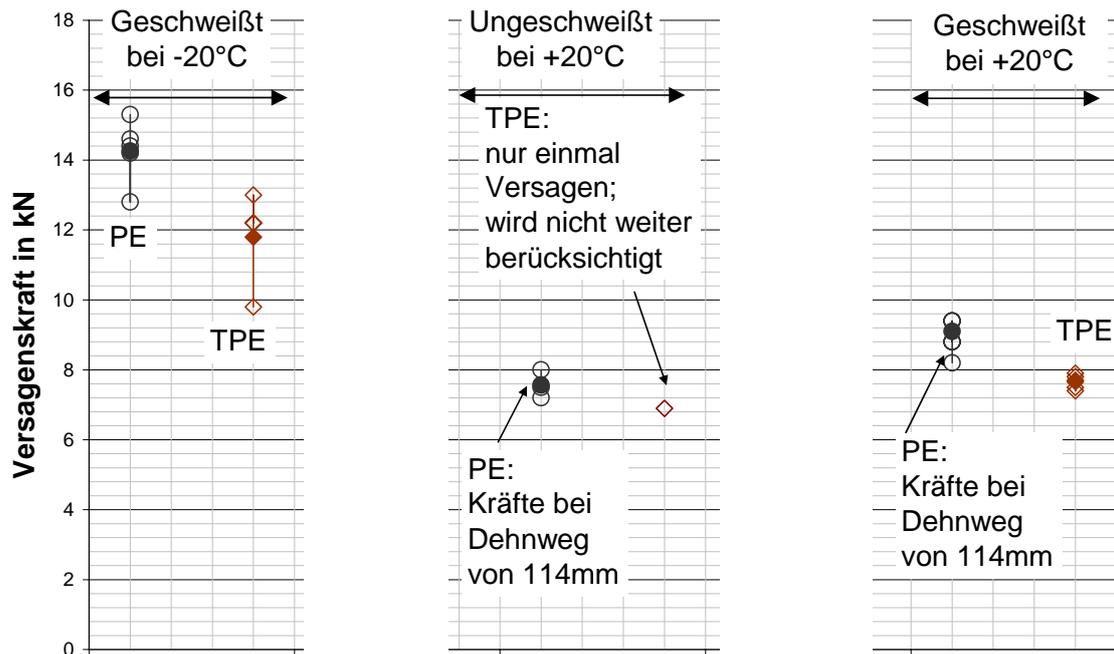


Abbildung A-3: Versagensversuche eingebaute Parallelfuge, Versagenskraft: Einzelwerte (unausgefüllte Symbole) und Mittelwert (ausgefüllte Symbole)

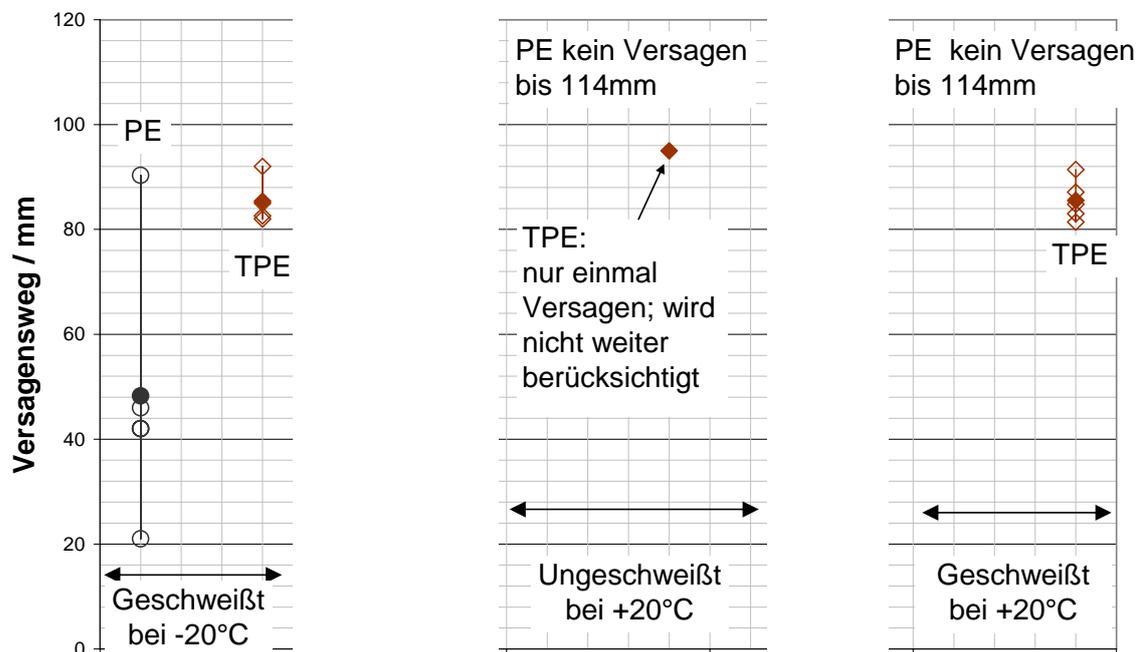


Abbildung A-4: Versagensversuche eingebaute Parallelfuge, Versagensweg: Einzelwerte (unausgefüllte Symbole) und Mittelwert (ausgefüllte Symbole)

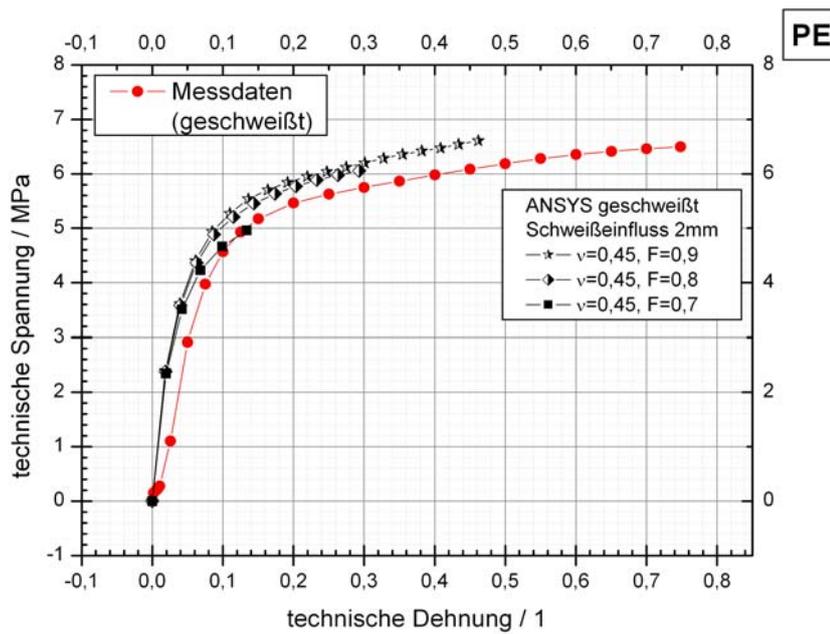


Abbildung A-5: Spannungs-Dehnungs-Verlauf für den geschweißten Schulterstab aus PE (Schweißnahtbereich: 2 mm)

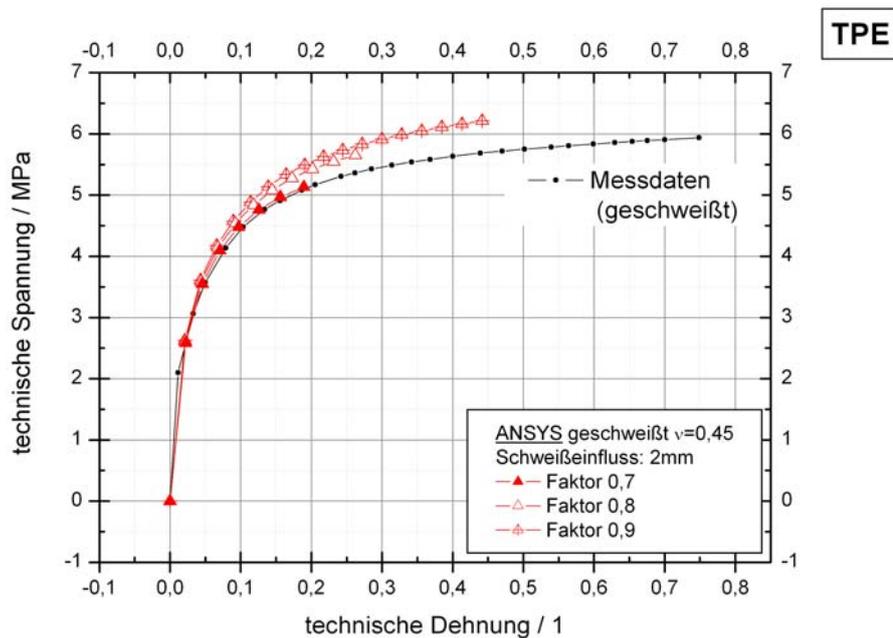


Abbildung A-6: Spannungs-Dehnungs-Verlauf für den geschweißten Schulterstab aus TPE (Schweißnahtbereich: 2 mm)