

## FORSCHUNGSBERICHT



Kooperationspartner



## VIB-PEX

Untersuchung des Anwendungspotenzials des Vibrationsschweißens von vernetzten Polyethylen und deren Langzeitverhalten

Christian Balzer, Paul Wagemann, Christopher Pommer, Michael Wolf, Dietmar Drummer, Eduard Kraus, Thomas Hochrein, Martin Bastian

SKZ – Forschung und Entwicklung

**SKZ - Das Kunststoff-Zentrum SKZ (Hrsg.)**

**VIB-PEX**

Untersuchung des Anwendungspotenzials des  
Vibrationsschweißens von vernetzten Polyethylenen  
und deren Langzeitverhalten

Shaker Verlag  
Düren 2023

### **Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek**

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Die Autoren:

Christian Balzer  
Paul Wagemann  
Christopher Pommer  
Michael Wolf  
Dietmar Drummer  
Eduard Kraus  
Thomas Hochrein  
Martin Bastian

Copyright Shaker Verlag 2023

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-9147-2

ISSN 2364-754X

Shaker Verlag GmbH • Am Langen Graben 15a • 52353 Düren  
Telefon: 02421 / 99 0 11 - 0 • Telefax: 02421 / 99 0 11 - 9  
Internet: [www.shaker.de](http://www.shaker.de) • E-Mail: [info@shaker.de](mailto:info@shaker.de)

## **Danksagung**

Das Vorhaben 21561 N der Forschungsvereinigung Fördergemeinschaft für das Süddeutsche Kunststoff-Zentrum e.V. (FSKZ) wurde über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ (AiF) im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

Die Forschungseinrichtungen SKZ-KFE gGmbH und der Lehrstuhl für Kunststofftechnik der Universität Erlangen-Nürnberg danken dem BMWK und der AiF für die Förderung sowie der Forschungsvereinigung für die Unterstützung bei der Durchführung des Vorhabens. Darüber hinaus danken die Forschungseinrichtungen auch den Mitgliedern des projektbegleitenden Ausschusses für ihre Unterstützung bei der Bearbeitung des Projektes und für konstruktive Diskussionen zu diversen Fragestellungen.



## **Kurzfassung**

Im Rahmen des VIB-PEX-Projektes wurde die Eignung des Vibrationssschweißens zum Fügen von vernetztem Polyethylen (PE-X) untersucht. Hierfür wurden lineare Vibrations- (VIB) und Heizelementschweißversuche (HS) an PE-Xc-Platten mit 30 und 60 % Vernetzungsgrad sowie Zirkularschweißversuche an PE-Xa-Rohren mit 80 % und an PE-Xc-Rohren mit 60 % Vernetzungsgrad durchgeführt. Die hergestellten Verbindungen wurden Kurzzeit-Zugversuchen nach DIN EN ISO 527, Zeitstandzugversuchen nach DVS-Richtlinie 2203-4 und einer umfassenden optischen wie auch analytischen Untersuchung unterzogen. Die Rohrschweißungen wurden zusätzlich bei Zeitstandinnendruckbelastung nach DIN 16892 geprüft. Nahezu alle Schweißverbindungen wiesen Kurzzeitschweißfaktoren von über 0,9 auf. Die Standzeiten der Platten- und Rohrschweißungen lagen für die Vernetzungsgrade von 60 und 80 % in fast allen Fällen unter 60 h. Die VIB-Platten-Verbindungen erreichten hierbei signifikant höhere Standzeiten als die HS-Platten-Verbindungen. Für den Vernetzungsgrad von 30 % wurden insbesondere für die VIB-Verbindungen mitunter Standzeiten von über 60 h ermittelt. Die Standzeiten der Rohrschweißungen bei Innendruckbelastung lagen stets unter 30 h. Damit konnte für keine Schweißung die für die Gas- und Wasserversorgungsnetze geforderte Langzeitstabilität nachgewiesen werden. Die analytische Betrachtung der Schweißnähte zeigt anhand von Mikroskopie und Relaxationsversuchen, dass beim Schweißprozess ein komplexer Spannungszustand in dem erwärmten und unter Druck erkaltetem PE-X eingefroren wird. Die Ausprägung des Spannungszustands nimmt unabhängig vom Schweißverfahren mit dem Fügedruck zu und reduziert die Standzeit bei statischer Langzeitbelastung. Speziell für die reibschweißverfahren konnte auch ein Einfluss des zurückgelegten Fügewegs nachgewiesen werden, höhere Wege führten hierbei tendenziell zu verkürzten Standzeiten. Als Grund hierfür wird wiederum ein erhöhter komplexer Spannungszustand im Nahtbereich, aufgrund einer erhöhten Quetschdeformation während des Schweißprozesses, angenommen.



## **Abstract**

The VIB-PEX project investigated the suitability of vibration welding for joining cross-linked polyethylene (PE-X). For this purpose, linear vibration (VIB) and hot plate (HS) welding tests were carried out on PE-Xc plates with 30 and 60 % degree of crosslinking as well as circular welding tests on PE-Xa pipes with 80 % and on PE-Xc pipes with 60 % degree of crosslinking. The resulting joints were subjected to short-term tensile tests in accordance with DIN EN ISO 527, tensile creep tests in accordance with DVS guideline 2203-4 and a comprehensive visual and analytical examination. The welded pipes were additionally subjected to internal pressure tests in accordance with DIN 16892. Almost all welded joints exhibited short-term welding factors of 0.9 and above. For 60 and 80 % crosslinking grades the creep rupture time of nearly all plate and pipe welds were less than 60 h. However, plates welded by VIB achieved significantly higher creep rupture times than the ones joint by HS. For the crosslinking degree of 30 %, rupture times of more than 60 h were determined in some cases, especially for the VIB joints. The creep rupture times of the pipe welds under internal pressure loading were always less than 30 h. Thus, the long-term stability required for gas and water supply networks could not be demonstrated for any weld. The analytical examination of the weld seams, based on microscopy and relaxation tests, shows that during the welding process a complex stress state is frozen in the PE-X that is heated and cooled under pressure. For all welding processes considered the stress state becomes more pronounced with increasing joining pressure, while the creep rupture times under static load are reduced. Especially for the friction welding processes, it could also be shown, that higher joining distances tended to lead to shorter rupture times. The reason for this is again assumed to be a more pronounced stress state in the seam area due to increased deformation of the heated polymer during the welding process.



**Inhaltsverzeichnis**

<b>Inhaltsverzeichnis .....</b>	<b>IX</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis .....</b>	<b>XI</b>
<b>Projektsteckbrief.....</b>	<b>XIII</b>
<b>1 Einleitung.....</b>	<b>1</b>
1.1 Anlass des Forschungsvorhabens .....	1
1.2 Problemstellung .....	1
1.3 Zielsetzung.....	3
<b>2 Stand der Technik.....</b>	<b>5</b>
2.1 Schweißverfahren .....	5
2.1.1 Heizelementschweißen .....	5
2.1.2 Vibrationsschweißen .....	8
2.2 Vernetztes Polyethylen .....	11
2.2.1 Herstellung, Eigenschaften und Einsatzgebiete .....	11
2.2.2 Verbindungstechnik.....	12
2.3 Prüfen von Polyethylen-Schweißverbindungen.....	14
<b>3 Lösungsweg zur Erreichung des Forschungsziels .....</b>	<b>17</b>
<b>4 Durchgeführte Arbeiten .....</b>	<b>19</b>
4.1 Grundmaterialien .....	19
4.1.1 Materialauswahl und Probekörper.....	19
4.1.2 Mechanische Eigenschaften .....	21
4.1.3 Analytik .....	22
4.2 Schweißversuche an Platten.....	24
4.2.1 Heizelementstumpfschweißen.....	24
4.2.2 Vibrationsschweißen .....	25
4.3 Untersuchungen der Schweißverbindungen .....	27
4.3.1 Mechanische Prüfungen .....	28
4.3.2 Mikroskopie.....	30

---

4.3.3	Nahtanalytik.....	30
4.4	Demonstrator.....	32
<b>5</b>	<b>Ergebnisse und Diskussion .....</b>	<b>35</b>
5.1	Grundmaterialien.....	35
5.1.1	Mechanische Kennwerte.....	35
5.1.2	Analytik.....	36
5.2	Schweißversuche an Platten.....	39
5.2.1	HS-Versuche.....	39
5.2.2	VIB-Versuche.....	42
5.3	Eigenschaften der Schweißverbindungen .....	43
5.3.1	Mechanische Kennwerte.....	43
5.3.2	Analytik.....	58
5.4	Demonstrator.....	64
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung.....</b>	<b>73</b>
	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>75</b>