

Kurzfassung zum Forschungsvorhaben IGF 19259N

Ganzjähriges qualitätssicheres Kleben von Gewindestangen im Holzbau

N. Ratsch¹, S. Böhm¹, M. Burnett-Barking¹, M. Adam², M. Voß², J. Wirries², T. Vallée²

Berichtszeitraum

01.01.2017 – 31.10.2019

Forschungsvereinigung

Internationaler Verein für Technische Holzfragen e.V. – iVTH

Forschungseinrichtungen

- 1: Universität Kassel, Institut für Produktionstechnik und Logistik, Fachgebiet Trennende und Fügende Fertigungsverfahren (tff), Universität Kassel
- 2: Fraunhofer-Gesellschaft e.V., Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung (IFAM), Bremen

1. Zielsetzung

Basierend auf den vorhandenen theoretischen und praktischen Erfahrungen mit dem Verbindungsverfahren – Einkleben von Stahlstäben und den zu Grunde liegenden gesetzlichen Bestimmungen – sollen aktuell vorhandene Hemmnisse für den praktischen Einsatz dieser Verbindungstechnik beseitigt werden.

Das Ziel des geplanten Vorhabens ist die Entwicklung eines praxisorientierten Verfahrenskonzeptes, um das Einkleben von Gewindestangen ganzjährig und unabhängig von der Temperatur zu ermöglichen. Hierzu sollen praxistaugliche Verfahren (technisch und wirtschaftlich) zur definierten Klebstoffwärmerung und einer Temperaturkonditionierung des Werkstoffs entwickelt werden (vgl. Abbildung 1). Weiterhin sollen im Rahmen des Forschungsvorhabens Ansätze aufgezeigt bzw. vorhandene Ansätze verifiziert werden, um eine hohe Verfüllungsqualität der Klebfugen vor Ort sicherzustellen.

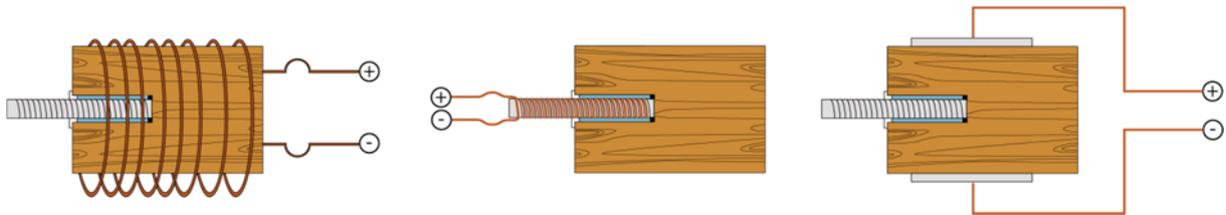


Abbildung 1: links: Induktive Erwärmung; mitte: resistive Erwärmung; rechts: kapazitive Erwärmung

2. Schnellhärtung von eingeklebten Stäben

2.1. Induktive Schnellhärtung

Mit Hilfe der induktiven Erwärmung gelang es zwei große Nachteile im Bereich eingeklebte Gewindestange zu überwinden. Die Verwendung von relativ langsam aushärtenden 2K-Polyurethan- oder 2K-Epoxidharzklebstoffen benötigt zum einen viel Zeit bis zum vollständigen Aushärten (mehrere Tage) und zum anderen muss die Außentemperatur während der Aushärtedauer in der Regel über 18 °C gehalten werden, damit die verwendeten Zweikomponentenklebstoffe ausreichend aushärten können. Die im Forschungsprojekt verwendeten Klebstoffe wurden hinsichtlich der mechanischen und thermomechanischen Eigenschaften charakterisiert und im späteren Projektverlauf mit den beschleunigt ausgehärteten Prüfkörpern verglichen.

Die Ergebnisse zeigen, dass die induktiv beschleunigte Aushärtung der ausgewählten Klebstoffe zu verbesserten mechanischen und thermomechanischen Eigenschaften führt (vgl.

Abbildung 2). Des Weiteren wurde durch die festgelegten Parameter der induktiven Erwärmung die Aushärtezeit der Klebstoffe drastisch verkürzt.

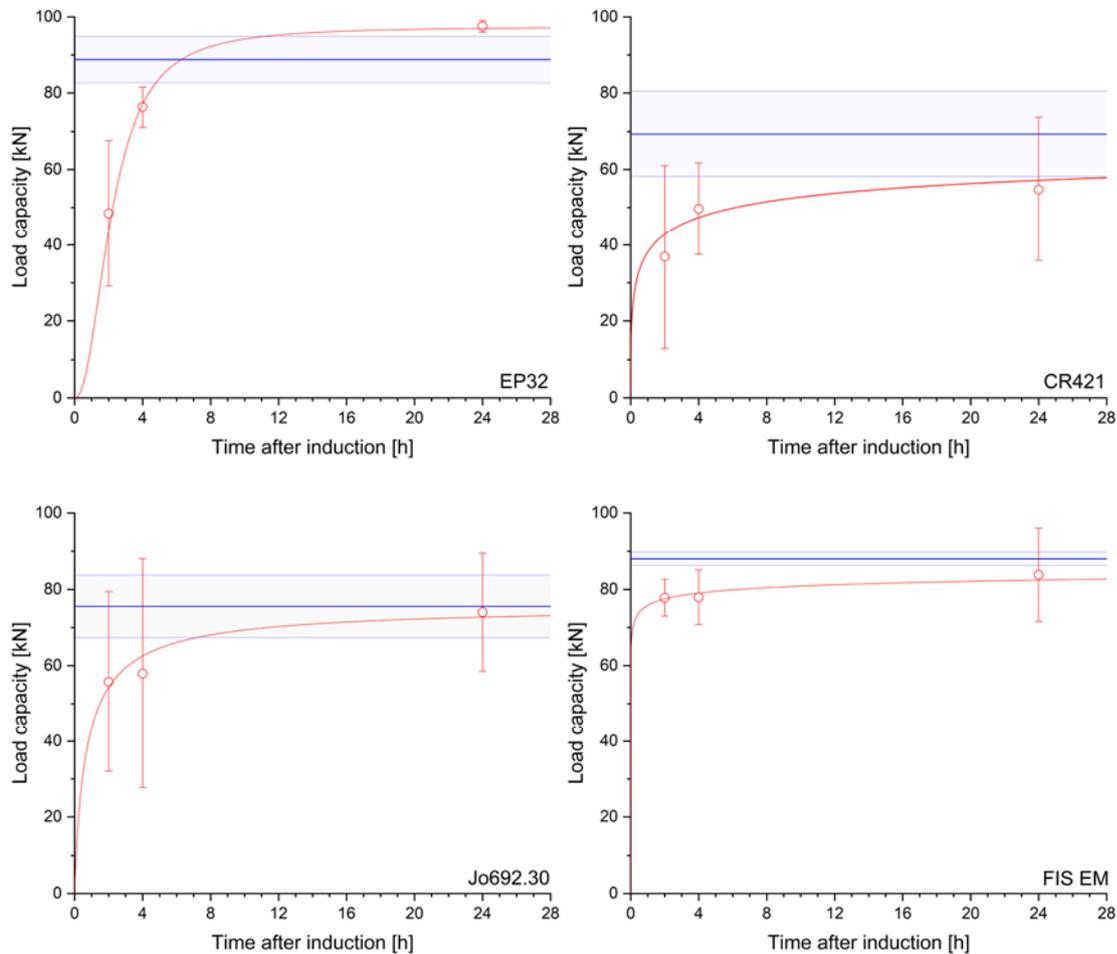


Abbildung 2: Tragfähigkeiten der induktiv gehärteten Klebstoffe in Abhängigkeit der Zeit nach der Induktionserwärmung

2.2. Resistive Schnellhärtung

Mit der resistiven Schnellhärtung gelang es ebenfalls die Aushärtung der verwendeten 2K Epoxidharze bzw. 2K Polyurethansysteme deutlich zu beschleunigen und damit die Prozesszeiten erheblich zu verkürzen. Da aufgrund der gewählten Parameter der Erwärmungsprozess in eine 15 minutige Aufheizphase und eine 15 minutige Haltephase unterteilt wurde herrschte ein insgesamt längerer Wärmeeintag in die Probekörper (vgl. Abbildung 3). Die Ergebnisse zeigen eine leichte Verbesserung der Tragfähigkeiten gegenüber der induktiven Erwärmung mit einhergehender Verringerung der Streuung in den einzelnen Versuchsreihen.

2.3. Kapazitive Schnellhärtung

Aufgrund der für die kapazitive Erwärmung ungünstigen Geometrie der Probekörper konnten diese selbst auf leistungsstarken Anlagen nicht ausreichend erwärmt werden, um die Aushärtung in einem auch wirtschaftlichen angemessenen Rahmen zu beschleunigen.

Mit den Teilnehmern des PA wurden die Ergebnisse der durchgeführten Versuche diskutiert und es wurde beschlossen, dass keine weiteren Versuche in Richtung der kapazitiven Schnellaushärtung durchgeführt werden sollen.

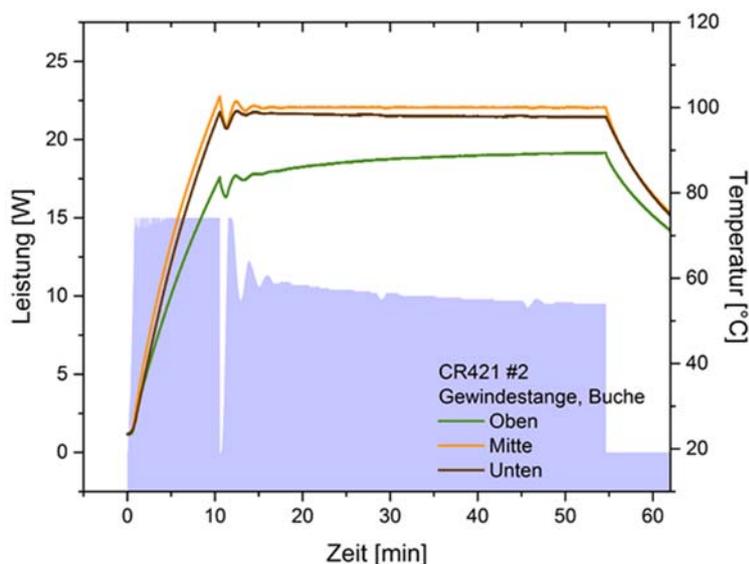


Abbildung 3: Aufheizverhalten bei der resistive Erwärmung

2.4. Schnellhärtung im Niedrigtemperaturbereich

In diesem Abschnitt wurde untersucht, ob Gewindestangen nicht nur bei Raumtemperatur beschleunigt ausgehärtet werden können, sondern ob die beschleunigte Aushärtung der Klebstoffe auch in niedrigen Temperaturbereichen (5°C und -10°C) funktioniert, ohne die spätere Tragfähigkeit negativ zu beeinflussen. Hierzu wurden die Proben in verschiedenen Klimazonen konditioniert und anschließend beschleunigt ausgehärtet und zerstörend geprüft.

Wie die beiden vorherigen Abschnitte zeigen, ist eine beschleunigte Aushärtung von eingeklebten Gewindestangen im Raumtemperaturbereich generell möglich. Die Eignung zur schnellen Aushärtung im gewählten Temperaturbereich hängt stark vom verwendeten Klebstoffsystem ab. Unter den getesteten Klebstoffsystemen gibt es Systeme, die für eine beschleunigte Aushärtung besser geeignet sind als andere. Prinzipiell sind aber beide Erwärmungsmethoden (induktive bzw. resistive Erwärmung) geeignet, um Proben im Niedrigtemperaturbereich zu erwärmen und auszuhärten. Die resistive Erwärmung zeigt teilweise bessere Ergebnisse im Vergleich zur induktiven Erwärmung (vgl. Abbildung 4). Dies

ist vermutlich auf die verlängerte Erwärmungsphase und Haltezeit bei T_{max} zurückzuführen. So profitiert der Klebstoff von einem verlängerten Wärmeeintrag (30 Minuten statt 5 Minuten).

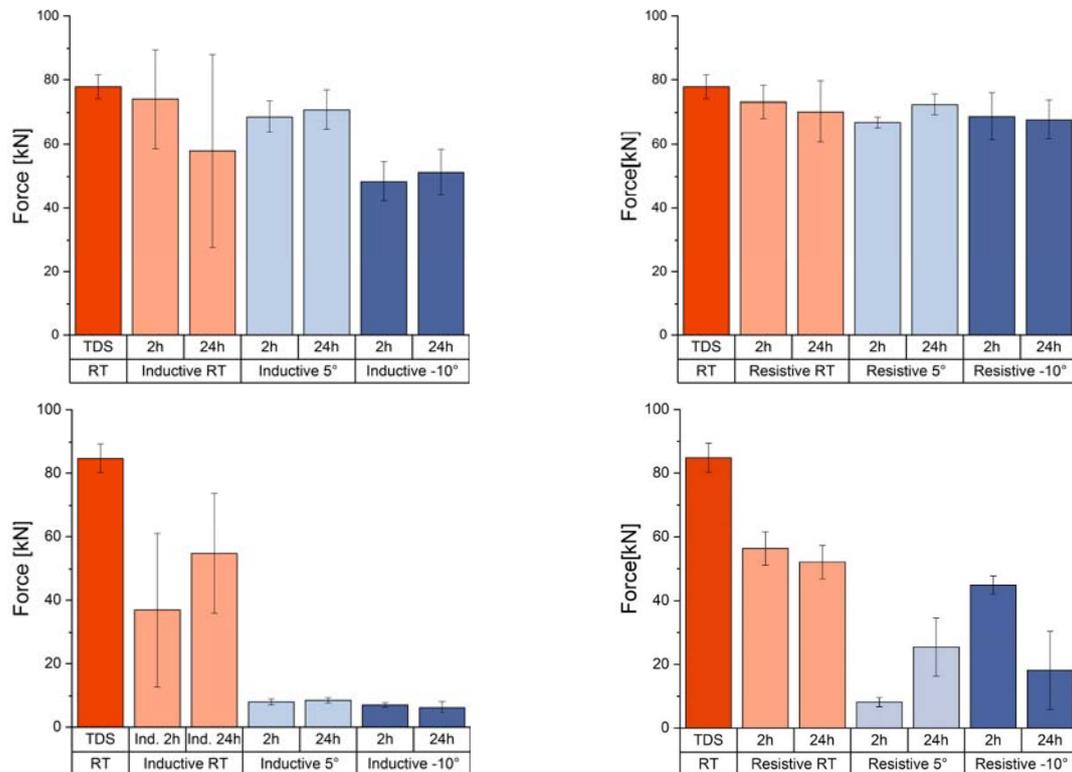


Abbildung 4: Auswahl erzielter Tragfähigkeiten (induktive (links) und resistive (rechts) Erwärmung) im Niedrigtemperaturbereich (oben: Jowat, unten: Purbond)

2.5. Verfüllverfahren

Im Rahmen der Verfüllverfahren wurden zwei unterschiedlichen Verfahren unterschieden. Zum einen eine Befüllung des Bohrloches von oben mit nachträglichem Einbringen der Gewindestange und zum anderen eine Applikation des Klebstoffes über seitlich zum Bohrloch angebrachte Zuführbohrungen (1 bis 3 Bohrungen). Abbildung 5 zeigt die Ergebnisse der untersuchten Verfüllmethoden und es wird deutlich, dass ein Befüllen von oben schlechtere Tragfähigkeiten erzielt, als wenn das Bohrloch seitlich befüllt wird. Denn durch das Befüllen von oben besteht die Gefahr, dass sich durch das nachträgliche Eindrücken der Gewindestange in das befüllte Bohrloch Luftblasen im Klebstoff bilden und so den Verbund in seiner Festigkeit begrenzen. Die Befüllung über seitliche Zuführbohrungen erzielte gute Ergebnisse, wobei die Anzahl der Zuführbohrung nicht entscheidend ist. Die Versuche im Projekt wurden mit einer Zuführbohrung hergestellt.

2.6. Imperfektionen

Die durchgeführten Untersuchungen im Bereich des Einflusses verschiedener Defekte, die entweder die Beschaffenheit des Holzwerkstoffes oder die Oberfläche des Gewindestabes

negativ beeinflussen zeigten deutlich, dass es sich bei dem System von eingeklebten Stangen im Holzbau, um ein sehr robustes und fehlertolerantes System handelt, wie Abbildung 6 anschaulich macht. Bis auf die Ausnahmen von Lufteinschlüssen bei allen verwendeten Klebstoffsystemen und zu hohe Holzfeuchtigkeit beim polyurethanbasierten Klebstoff reduzierten die eingebrachten Fehler die Tragfähigkeit nur geringfügig bis gar nicht. Die Bruchbilder der geprüften Proben spiegelten bis auf geringe Ausnahmen das typische Bruchbild des Holzausrisses wieder.

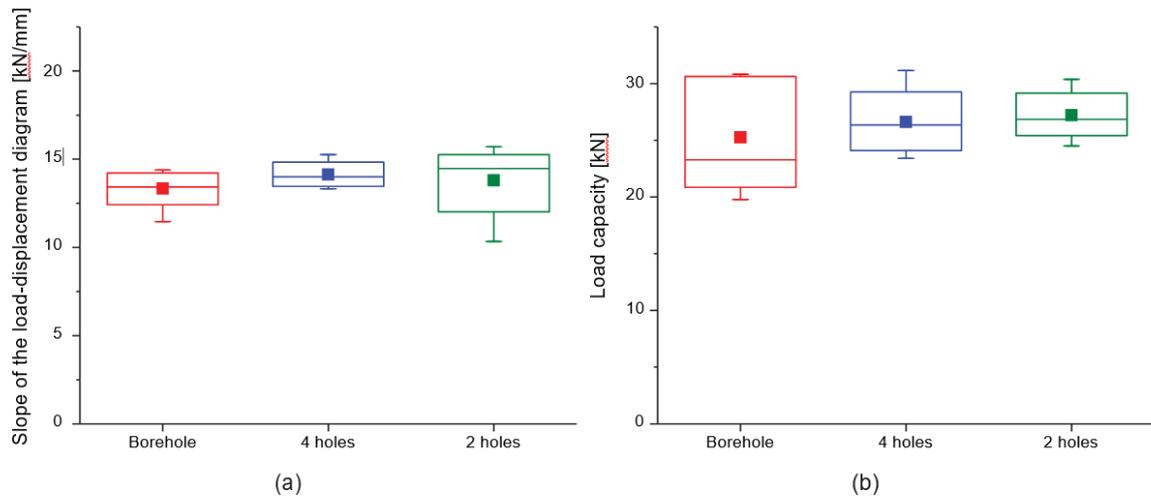


Abbildung 5: Tragfähigkeiten der geprüften Probekörper mit unterschiedlichen Verfüllverfahren

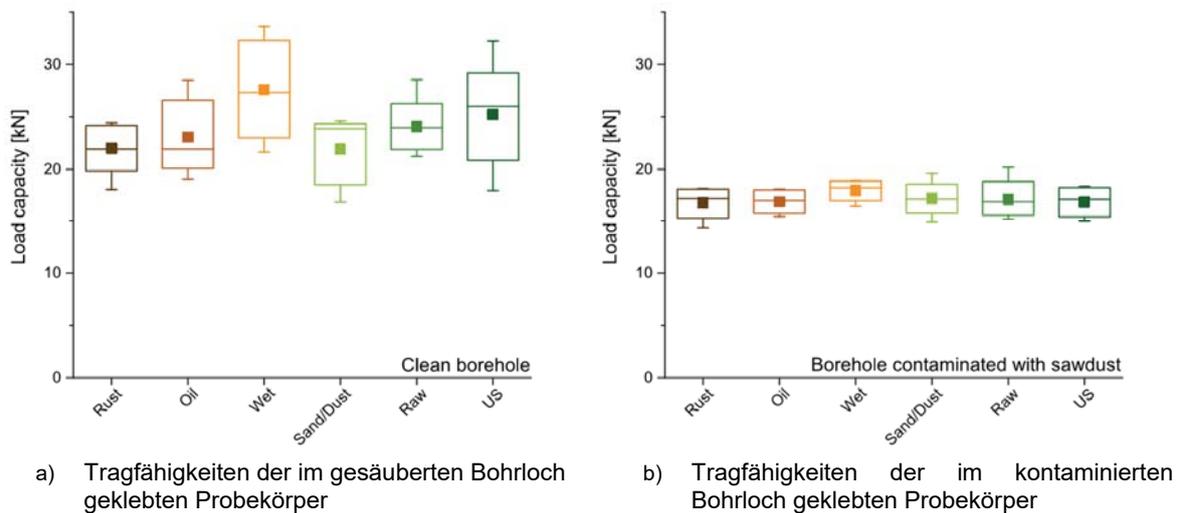
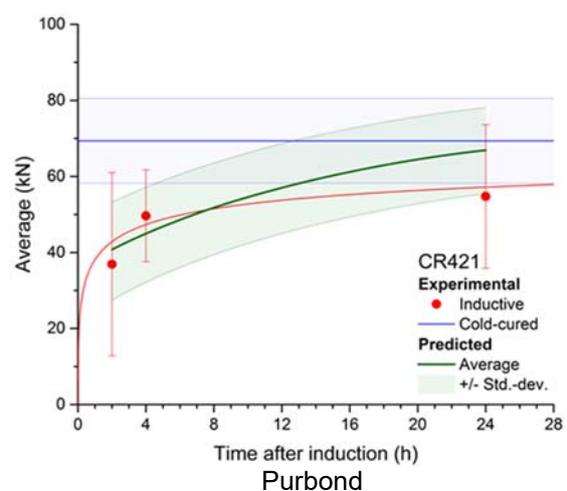
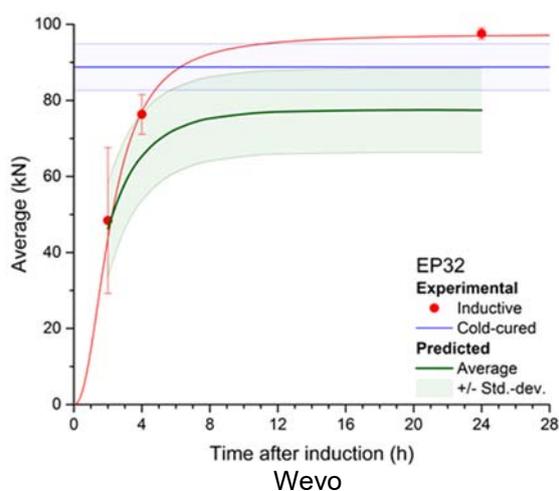


Abbildung 6: Tragfähigkeiten und ANOVA der verschiedenen Defekte (links) sauberes Bohrloch (rechts) kontaminiertes Bohrloch

3. Fazit

Die in diesem Bericht aufgeführten Untersuchungen und deren Ergebnisse konnten die aufgetretenen Forschungshypothesen beantworten. Zwei von drei überprüften Erwärmungsmethoden eigneten sich, um lokalen Wärmeeintrag in die Klebfuge einzubringen und somit zur beschleunigten Aushärtung. Die Versuche, die im Niedrigtemperaturbereich durchgeführt wurden zeigten, dass auch hier die gewählten Erwärmungsmethoden in Abhängigkeit zum verwendeten Klebstoffsystem sehr gute Ergebnisse erzielen konnten. Durch die Nutzung der hier vorgestellten Erwärmungsmethoden, induktives bzw. resistives Erwärmen, wird die Nutzung von Heizmanschetten oder ähnliches auf Baustellen obsolet. Es besteht somit die Möglichkeit auch in den kälteren Monaten eines Jahres auf der Baustelle Verbindungen mit eingeklebten Gewindestangen sicher und schnell herzustellen. Über eine Temperaturregelung konnte sichergestellt werden, dass die einzelnen Klebstoffsysteme nicht über ihre spezifischen maximalen Temperaturen erhitzt wurden. Der Prozess der Aushärtung konnte so signifikant von mehreren Tagen auf wenige Minuten verkürzt werden. Die Versuche im Rahmen der Verfüllverfahren sowie der Fehlertoleranz der eingeklebten Gewindestangen zeigte deutlich, dass typische Defekte, die bei Klebungen auf Baustellen vorkommen können, relativ geringe bis keine Einflüsse auf die resultierenden Endfestigkeiten haben. Das System ist sehr robust, einzig eine Verringerung der Einbindetiefe durch beispielsweise Luftblasen oder große Spanansammlungen am Bohrgrund verringern die Festigkeit des Systems. Mit der Entwicklung eines numerischen Modells konnten die Festigkeitswerte teilweise vorausgesagt werden. Die Qualität der Ergebnisse hängt vom verwendeten Klebstoffsystem und dessen Aushärtekinetik ab (vgl. Abbildung 7).



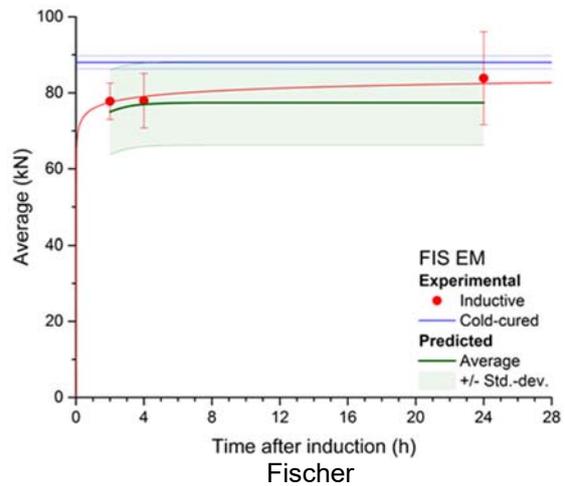
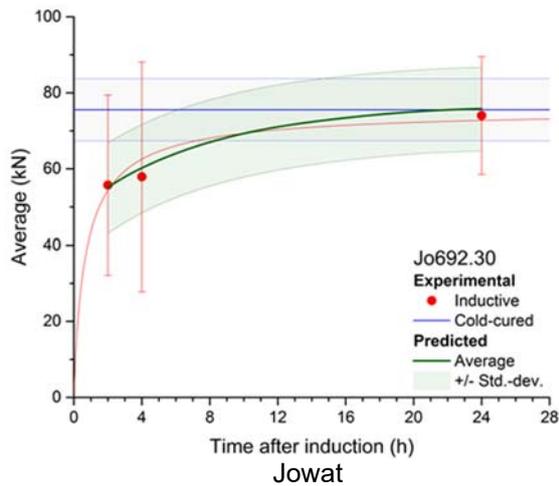


Abbildung 7: Ergebnisse der numerischen Modellierung der Tragfähigkeit, überlagert mit den entsprechenden experimentellen Ergebnissen

Das Forschungsvorhaben 19259 N der Forschungsvereinigung Internationaler Verein für Technische Holzfragen e.V. wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung und -entwicklung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages