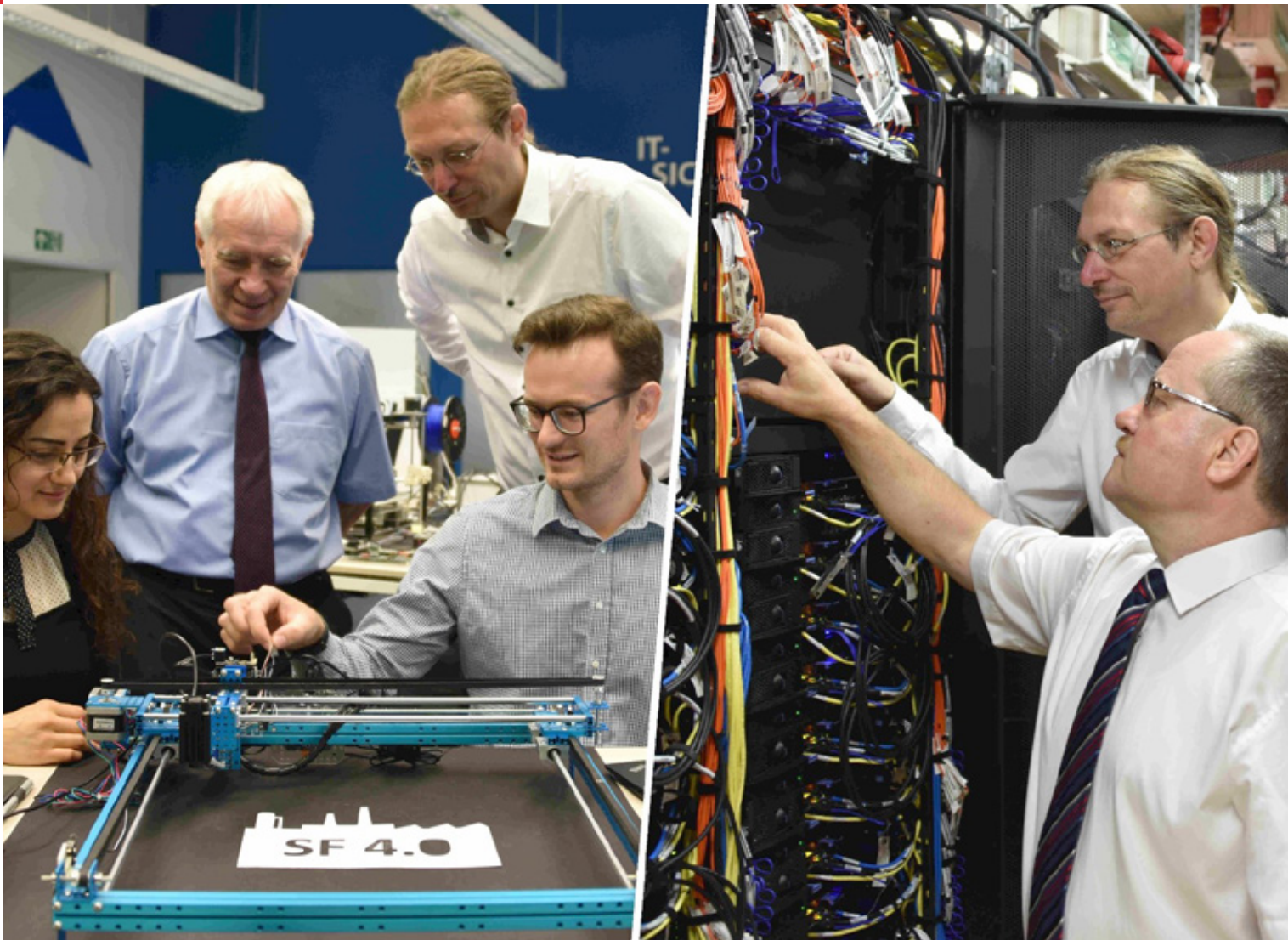




LOEWE

ABSCHLUSSBERICHT



LOEWE-Schwerpunkt Software-Factory 4.0
Software-Reengineering als Katalysator
für Paradigmenwechsel

Inhalt

- 2 Statement des Koordinators
- 3 Projektinhalte
- 3 Wissenschaftlich-technische Ausgangslage
- 3 Im Rahmen des LOEWE-Projekts erreichte Erkenntnisse und getätigte Entwicklungen
- 6 Erreichte Strukturentwicklung
- 7 Erreichte Bedeutung/Stellung im Themen-/Forschungsfeld
- 8 Wichtigste Meilensteine des Projekts
- 10 Weitere Informationsmöglichkeiten
- 11 Zahlen und Fakten
- 12 Kurzvorstellung der beteiligten Hochschulen und außeruniversitären Forschungsinstitute
- 13 Impressum

Im LOEWE-Schwerpunkt Software-Factory 4.0 wurde ein zur Neuentwicklung von Software komplementärer Ansatz verfolgt, das sogenannte Software-Reengineering. Hierbei wird bereits existierende Software zielgerichtet an veränderte technische Rahmenbedingungen und an neue Anforderungen angepasst. Durch eine solche schrittweise Anpassung bereits erprobter Systeme ergeben sich Chancen für Kostensenkungen und für schnellere Verfügbarkeit. Außerdem kann in Programmen implizit vorhandenes Know-how der ursprünglichen Softwareentwicklerinnen und -entwickler oft weitgehend erhalten werden, selbst dann, wenn dieses nicht präzise dokumentiert wurde.

Der LOEWE-Schwerpunkt wurde von Januar 2018 bis Dezember 2022 im Rahmen der Landes-Offensive zur Entwicklung Wissenschaftlich-ökonomischer Exzellenz (LOEWE) durch das Land Hessen gefördert. Diese Förderung ermöglichte die Erforschung eines breiten Spektrums von für das Software-Reengineering zentralen Forschungsfragen. Die im LOEWE-Schwerpunkt bearbeiteten Forschungsthemen reichen von theoretischen Grundlagen über die Entwicklung innovativer Techniken und effizienter Werkzeuge bis zur praktischen Anwendung in den Anwendungsfeldern Industrie 4.0 und High-Performance Computing.

Aus dem LOEWE-Schwerpunkt ging eine Vielzahl innovativer Forschungsergebnisse hervor. Die hohe wissenschaftliche Produktivität sowie die internationale Bedeutung des LOEWE-Schwerpunkts spiegeln sich auch im Umfang der Veröffentlichungen und Vorträge wider, in denen Forschungsergebnisse des LOEWE-Schwerpunkts vorgestellt wurden. Außerdem konnten interessante neue Forschungsfragestellungen identifiziert werden, und es entstanden inter- und intradisziplinäre Kooperationen, auf denen in Zukunft aufgebaut werden kann. Die Erforschung des Software-Reengineerings konnte durch die Einwerbung zusätzlicher Drittmittel, die das Fördervolumen von 4,8 Mio. Euro aus LOEWE inzwischen um ein Vielfaches überschreiten, signifikant ausgebaut werden und kann hierdurch über die Laufzeit des LOEWE-Schwerpunkts hinaus fortgeführt werden. Besonders freuen mich die Erfolge des wissenschaftlichen Nachwuchses auf allen Ebenen. Inzwischen konnten 17 Nachwuchswissenschaftlerinnen und -wissenschaftler ihre Promotion erfolgreich abschließen, und an die bereits promovierten Nachwuchswissenschaftlerinnen und -wissenschaftler ergingen bereits sechs Rufe auf Professuren.

Für die vielen inspirierenden Gespräche und Kooperationen, die Bereitschaft über die eigenen disziplinären Fragestellungen hinauszugehen und das extrem hohe Engagement der am LOEWE-Schwerpunkt Beteiligten möchte ich mich an dieser Stelle noch einmal ganz herzlich bedanken. Nur hierdurch wurden die erreichten Erfolge überhaupt möglich.



Prof. Dr.-Ing. Heiko Mantel
Kordinator des LOEWE-Schwerpunkts Software-Factory 4.0
Technische Universität Darmstadt



Projekthalte

Wissenschaftlich-technische Ausgangslage

Die Motivation des LOEWE-Schwerpunkts Software-Factory 4.0 war der Wunsch nach einer besseren Verfügbarkeit von Software, die benötigte Funktionalitäten bietet und gleichzeitig zuverlässig ist. Die schnelle Verfügbarkeit geeigneter Software ist zu einem kritischen Faktor geworden, sowohl für die Funktionsfähigkeit moderner Industriegesellschaften als auch für Innovation in vielen Bereichen der Forschung. Der im LOEWE-Schwerpunkt verfolgte Ansatz zielt dabei nicht auf die Neuentwicklung von Software Systemen sondern auf die Weiterentwicklung bereits existierender Software, dem sogenannten Software-Reengineering.

Im LOEWE-Schwerpunkt wurde das Software-Reengineering in zwei Anwendungsfeldern betrachtet: der Parallelverarbeitung im High-Performance Computing und der flexiblen Steuerung von industriellen Produktionsanlagen im Rahmen von Industrie 4.0. Möglichkeiten zur Vereinfachung von Aufgaben im Software-Reengineering wurden querschnittlich untersucht.

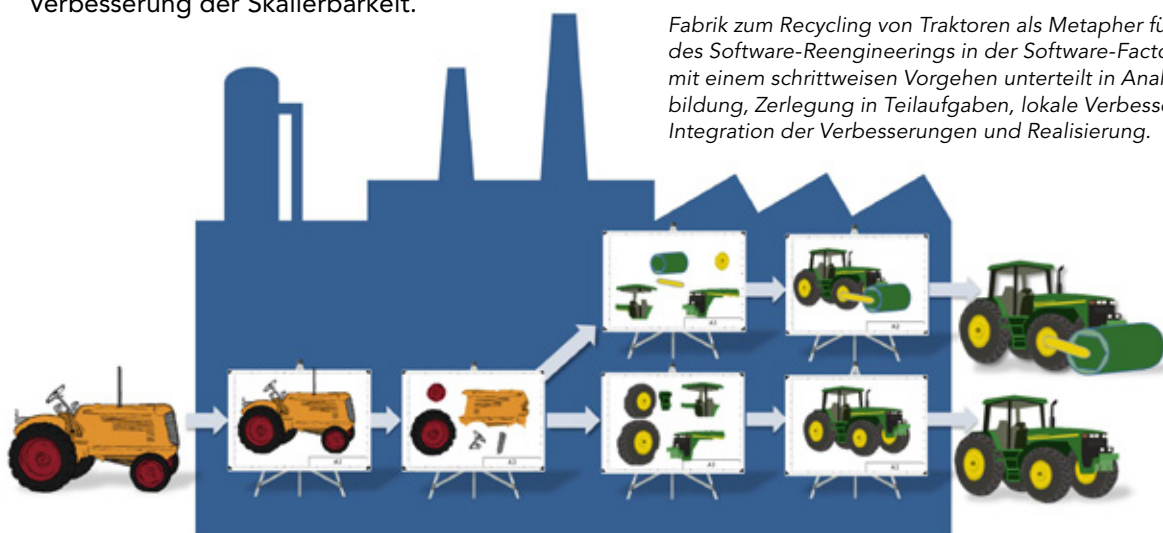
Drei übergeordnete Ziele standen im Fokus der Forschung des LOEWE-Schwerpunkts:

- die Parallelisierung sequentieller Programme zur Verbesserung der Performanz,
- die Flexibilisierung industrieller Software zur Erschließung neuer Einsatzbereiche und
- die Vereinfachung des Software-Reengineerings zur Verbesserung der Skalierbarkeit.

Im Rahmen des LOEWE-Projekts erreichte Erkenntnisse und getätigte Entwicklungen

Beim Software-Reengineering in der Software-Factory 4.0 wird ein Computerprogramm als Startpunkt verwendet, das sich im Einsatz bewährt hat und viele der für die Zukunft gewünschten Eigenschaften bereits erfüllt. Dieses Programm wird dann zielgerichtet so verändert, dass es auch alle zusätzlichen Anforderungen realisiert. Die interne Funktionsweise der Software-Factory 4.0 lässt sich anhand der Metapher einer Fabrik zum Recycling von Traktoren verdeutlichen, die in der Abbildung visualisiert ist. Das Altsystem (Traktor links im Bild) wird zunächst analysiert, um ein hinreichendes Verständnis zu erzielen (Modell auf Zeichentisch links). Die konzeptionelle Komplexität der Reengineering-Aufgabe wird durch die Zerlegung in einfachere Teilprobleme schrittweise reduziert, für die die gewünschten Anpassungen unabhängig voneinander erreicht werden können (Modelle auf Zeichentischen links und rechts der Mitte). Abschließend werden die Teillösungen in einer systematischen Weise zu einer Gesamtlösung (Traktor rechts) zusammengesetzt. Diese Metapher diente auch zur Stärkung der gemeinsamen Vision im LOEWE-Schwerpunkt und wurde bei vielen Arbeitstreffen eingesetzt.

Um Potenziale zur Effizienzsteigerung möglichst weitreichend ausschöpfen zu können, wurde ein optimistischer Ansatz bei der Parallelisierung sequentieller Programme verfolgt. Um die Qualität der resultierenden Programme sicherstellen zu können, wurde ein breites Spektrum von Techniken betrachtet. Klassi-



Fabrik zum Recycling von Traktoren als Metapher für die Vision des Software-Reengineerings in der Software-Factory 4.0 mit einem schrittweisen Vorgehen unterteilt in Analyse, Modellbildung, Zerlegung in Teilaufgaben, lokale Verbesserungen, Integration der Verbesserungen und Realisierung.



Doktoranden diskutieren alternative Lösungsansätze für das Software-Reengineering von Steuerungssoftware.



Wissenschaftler des LOEWE-Schwerpunkts konsolidieren den aktuellen Stand in einem Arbeitstreffen.

sche Techniken zur statischen Verifikation wurden zielgerichtet adaptiert und zum zuverlässigen Nachweis kritischer Anforderungen parallelisierter Programme eingesetzt. Laufzeitkontrollen wurden entwickelt, um Parallelisierung auch dann zu ermöglichen, wenn deren Korrektheit von Daten abhängt, die erst während der Ausführung des Programms bekannt werden. Um Programmstellen zu identifizieren, an denen Parallelisierung besonders vielversprechend ist, wurden experimentelle Analysen eingesetzt und darüber hinaus ein innovativer Ansatz zur analytischen Vorhersage der Performanzsteigerung durch modulare Performanzmodelle entwickelt. Die Techniken und Werkzeuge zur Parallelisierung wurden an HPC-Anwendungen aus unterschiedlichsten Anwendungsfeldern erprobt, die von der Astrophysik bis zur Simulation des Abschmelzens von Gletschern reichen.

Bei der Flexibilisierung industrieller Steuerungssoftware wurden Software-Produktlinien als Zwischenschritt eingesetzt. Um die unterschiedlichen Programmvarianten einer Produktlinie aus einem existierenden Programm zu extrahieren, wurden Slicing-

Techniken verwendet und Möglichkeiten für Domänenexperten geschaffen, diese zielgerichtet einsetzen zu können. Zur Qualitätssicherung wurden Testtechniken weiterentwickelt und an die besonderen Erfordernisse von Software-Produktlinien angepasst. Als Evaluations- und Testumgebung kam ein CNC-Laserplotter zum Einsatz. Dieser wurde um eine zusätzliche Motorachse zur Papiersteuerung erweitert, wodurch eine Anpassung der Steuerungssoftware erforderlich wurde. Neben der Steuerungssoftware auf der CNC-Maschine wurde auch der digitale Zwilling angepasst, der ein ausführbares, virtuelles Modell der physikalischen Realität bietet.

Zur Vereinfachung des Software-Reengineering wurden Abhängigkeitsanalysen querschnittlich eingesetzt. In beiden Anwendungsbereichen spielten sie sowohl bei der Anpassung existierender Programme als auch bei der Qualitätskontrolle eine wichtige Rolle. Um die Komplexität des Software-Reengineering zu reduzieren, wurden innovative Modelle und Techniken zur Problemzerlegung weiterentwickelt und querschnittlich eingesetzt.



Prof. Kirstin Peters stellt sich beim Jahrestreffen 2019 kurz nach ihrer Berufung auf die Assistenzprofessur „Theorie Paralleler Systeme“ vor.



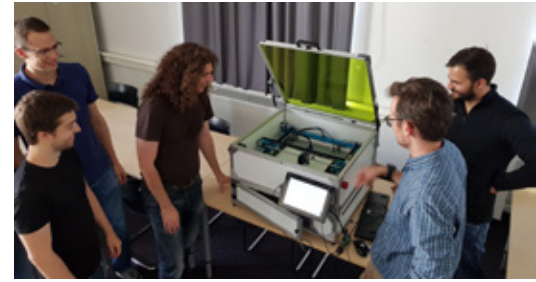
Prof. Marie-Christine Jakobs präsentiert einen Ansatz zur flexiblen Software Zertifizierung.



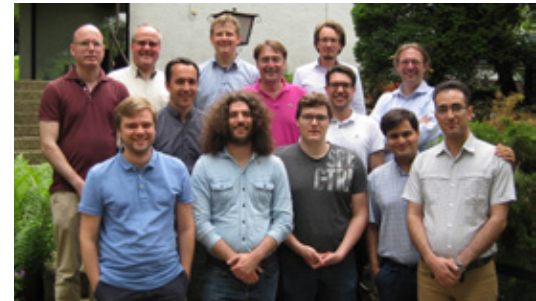
Prof. Mantel stellt den aktuellen Stand der Arbeit im Projektbereich „Modelle & Zerlegung“ vor.



Jahrestreffen des LOEWE-Schwerpunkts 2019.



oben: Arbeitstreffen des Anwendungsclusters Industrie 4.0 zur Entwicklung des Demonstrators CNC-Laserplotter.



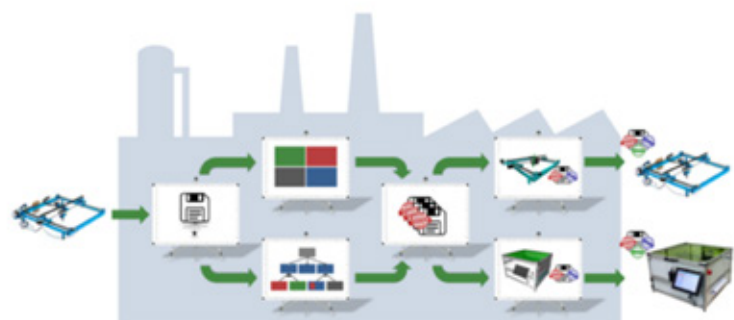
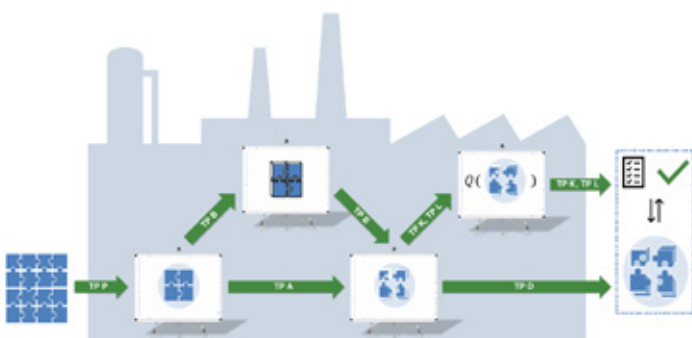
unten: Arbeitstreffen des Anwendungsclusters High-Performance Computing im Online-Format während der Pandemie.

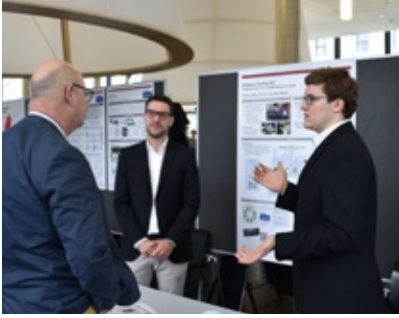
Die Forschungsergebnisse des LOEWE-Schwerpunkts wurden in einer Vielzahl an Veröffentlichungen publiziert und damit allgemein zugänglich gemacht. Bisher gingen mehr als 113 Konferenz- und 21 Zeitschriftenartikel aus dem LOEWE-Schwerpunkt hervor. Die praktischen Ergebnisse der beiden Anwendungscluster und die Synergien in den Kooperationen zwischen verschiedenen Teilprojekten wurden in zwei Videos festgehalten, die auf der Webseite des LOEWE-Schwerpunkts verfügbar sind.

An den Jahrestreffen des LOEWE-Schwerpunkts nahmen neben den Nachwuchswissenschaftlerinnen und -wissenschaftlern, die aus der LOEWE-Förderung oder aus anderen Quellen finanziert wurden, und der Antragstellergruppe auch viele internationale und nationale Gäste, aus Wissenschaft und Wirtschaft, teil und trugen zum Tagungsprogramm bei. Die projektweiten Arbeitstreffen wurden durch regelmäßige Treffen der beiden Anwendungscluster High-Performance Computing und Industrie 4.0 flankiert. Mit Beginn der

Corona Pandemie wurden alle Treffen des LOEWE-Schwerpunkts auf Online-Formate umgestellt. Durch den 2019 veranstalteten Practitioner Event konnte die Einbindung der mit dem LOEWE-Schwerpunkt assoziierten Industriepartner frühzeitig und nachhaltig gestärkt werden und auch ein neuer Industriepartner konnte gewonnen werden. Die Veranstaltung des Special Tracks Automating Software-Reengineering beim International Symposium on Leveraging Applications of Formal Methods, Verification and Validation (ISoLA) musste wegen der Pandemie von 2020 auf 2021 verschoben und als hybride Veranstaltung organisiert werden. Trotz dieser Rahmenbedingungen war die Veranstaltung ein toller Erfolg, und der Special Track konnte nicht nur 2022 wiederholt, sondern sogar nachhaltig etabliert werden.

In den Anwendungsclustern wurde eine Systematik für das Software-Reengineering in den Anwendungsfeldern High-Performance Computing (links) und Industrie 4.0 (rechts) entwickelt.





Der neue LOEWE-Schwerpunkt präsentiert sein Forschungsprogramm beim Tag der Interdisziplinarität 2018 an der TU Darmstadt.



Mitglieder des LOEWE-Schwerpunkts Software-Factory 4.0 diskutieren ihre Forschungsthemen mit Gästen des Hessentags im Juni 2019 in Bad Hersfeld.



Auch die Jüngsten beim Hessentag in Bad Hersfeld interessieren sich für die Forschung des LOEWE-Schwerpunkts.

Erreichte Strukturentwicklung

Während der Realisierung der Forschungsziele des LOEWE-Schwerpunkts entstand eine enge inter- und intradisziplinäre Verzahnung der Kompetenzen in Softwaretechnik, formalen Methoden und paralleler Programmierung mit den Anwendungsfeldern High-Performance Computing und Industrie 4.0. Hieraus resultierten viele neue Kooperationen und bereits bestehende wurden gestärkt. Mit dieser Vernetzung wurde eine solide Basis für gemeinsame Forschungsvorhaben in der Zukunft gelegt, und es entstand ein Alleinstellungsmerkmal von Software-Factory 4.0 gegenüber anderen Verbänden in ganz Europa. Mit der Beantragung von Drittmittelprojekten wurde frühzeitig begonnen. Hierbei war der LOEWE-Schwerpunkt sehr erfolgreich. Insgesamt wurden 36 Projektanträge sowie ein Forschungsgroßgerät bewilligt, mit einem Fördervolumen von mehr als 32 Mio. Euro für die Mitglieder der Antragstellergruppe.

Im Rahmen des LOEWE-Schwerpunkts wurden zwei neue Assistenzprofessuren geschaffen, die mit Prof. Dr. Marie-Christine Jakobs und Prof. Dr. Kirstin Peters erfolgreich besetzt werden konnten. Mit Prof. Dr. Michael Pradel und Prof. Dr. Guido Salvaneschi waren zwei weitere Juniorprofessoren in leitenden Rollen am



Feier der erfolgreichen Promotion von Dr. Jan-Patrick Lehr. Seine Dissertation trägt den Titel „From Valid Measurements to Valid Mini-Apps“.

LOEWE-Schwerpunkt beteiligt. Alle vier Assistenz-/Juniorprofessorinnen und -professoren erhielten attraktive Rufe anderer Universitäten. Diese persönlichen Erfolge sind gleichzeitig auch ein Indiz für die hohe Relevanz und Aktualität der vertretenen wissenschaftlichen Themen, für die hohe wissenschaftliche Qualität in der Zusammensetzung des LOEWE-Schwerpunkts und für die Förderlichkeit des LOEWE-Schwerpunkts als Forschungsumfeld. Der erfolgreiche Abschluss von inzwischen 17 Promotionen sowie von mehr als 65 Masterarbeiten und 61 Bachelorarbeiten zeigt, dass die Nachwuchsförderung im LOEWE-Schwerpunkt auf allen Ebenen erfolgreich war.



Prof. Mantel dankt Prof. Michael Pradel für sein Engagement im LOEWE-Schwerpunkt. Prof. Pradel folgte einem Ruf auf eine W3-Professur an die Universität Stuttgart.



Das Startup PanocularAI von Dr. Arya Mazaheri gewinnt die deutsch-japanische Tech Innovation Challenge in Berlin 2022.



Vorführung des im Anwendungscluster Industrie 4.0 entwickelten CNC-Laserplotters durch Vladimir Kutscher beim Practitioner Event im Mai 2019.



Gespräche zwischen Teilnehmern beim Practitioner Event des LOEWE-Schwerpunkts Software-Factory 4.0 im Mai 2019.

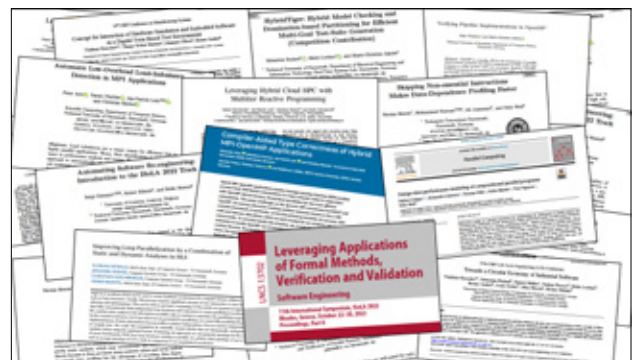
Erreichte Bedeutung/Stellung im Themen-/Forschungsfeld

Das Thema Software-Reengineering hat, wie von den Mitgliedern der Antragstellergruppe vorausgesehen, in den letzten Jahren stark an Bedeutung gewonnen. Ein Blick auf wichtige Konferenzen im Bereich Software-Engineering unterstreicht, wie stark Software-Reengineering inzwischen im Fokus der Forschung steht. Dabei zeichnen sich zentrale Lösungsansätze ab, die auch in Software-Factory 4.0 verfolgt werden bzw. dort mit initiiert wurden, wie das Befolgen von Entwurfsmustern und Programmieridiomen, welche die zugrundeliegende Architektur optimal nutzen. Um dies realisieren zu können, muss Bestandssoftware refaktoriert werden. Als schematische Regeln formalisiert, erfolgen Refaktorisierungsschritte teilweise automatisiert. Neue Programmierparadigmen, ebenfalls durch Software-Factory 4.0 propagiert, unterstützen von vornherein sowohl zentrale als auch dezentrale Berechnungen in effizienter Weise.

Ein grundlegender Trend ist, dass beim Reengineering verstärkt auf Korrektheit geachtet wird, insbesondere auf die Erhaltung von Eigenschaften. Der in Software-Factory 4.0 verwendete Ansatz, Korrektheit durch logisch-mathematische Formalisierungen und Verifikation sicherzustellen, erfreut sich wachsender Beliebtheit. Insgesamt kann man davon sprechen, dass Software-Reengineering begonnen hat, sich von einer unklar definierten, oft ad hoc betriebenen Aktivität in ein systematisches, ingenieurmäßiges Vorgehen zu wandeln.



Initiierung des Special Tracks Automating Software-Reengineering (ASRE) beim Symposium ISoLA. Die Konferenz war ursprünglich für 2020 geplant, wurde wegen der Pandemie auf 2021 verschoben und fand als hybride Veranstaltung auf Rhodos statt.



Kleine Auswahl von Veröffentlichungen. Insgesamt gingen 134 Konferenz- und Zeitschriftenveröffentlichungen aus dem LOEWE-Schwerpunkt Software-Factory 4.0 hervor.



Ausgewählte Ergebnisse des LOEWE-Schwerpunkts Software-Factory 4.0 in Zahlen.

Wichtigste Meilensteine des Projekts



September 2018: Das erste Jahrestreffen des LOEWE-Schwerpunkts Software-Factory 4.0 findet in Königstein im Taunus statt.



Mai 2019: Das Programm des Practitioner Events in Darmstadt wird von Mitgliedern des LOEWE-Schwerpunkts und von assoziierten Industriepartnern gestaltet.



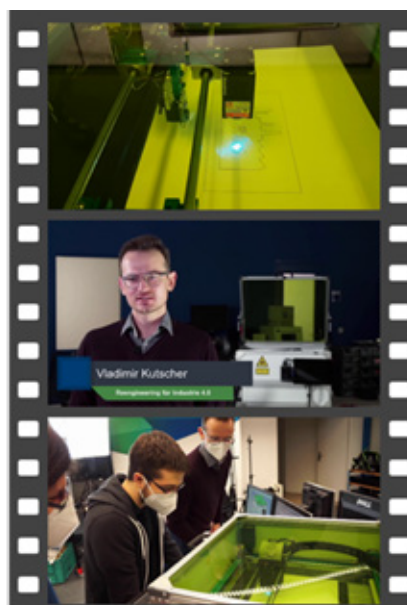
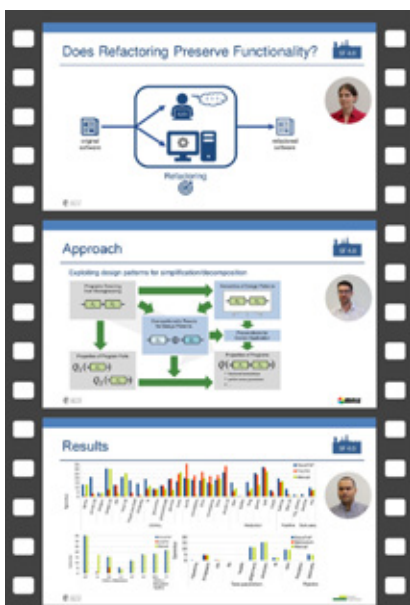
Juni 2019: Exponate des LOEWE-Schwerpunkts Software-Factory 4.0 auf dem ProLOEWE-Stand auf dem Hessentag in Bad Hersfeld vor dem Eintreffen der ersten Besucher.



Oktober 2020: Das dritte Jahrestreffen fand im ersten Jahr der Corona Pandemie online statt (Versuch eines Gruppenfotos im Online-Meeting).



Oktober 2022: Der Special Track Automating Software-Reengineering fand beim Symposium ISO/FA 2022 bereits zum zweiten Mal statt.



November 2022: Ausschnitte aus den Demonstratorvideos der Anwendungscluster High-Performance Computing (links) und Industrie 4.0 (rechts) des LOEWE-Schwerpunkts.

Weitere Informationsmöglichkeiten

- <https://www.software-factory-4-0.de/de>
Webseite des LOEWE-Schwerpunkts Software-Factory 4.0
- <https://www.software-factory-4-0.de/de/demo-videos>
Videos der Ergebnisse der Anwendungscluster High-Performance Computing und Industrie 4.0 des LOEWE-Schwerpunkts Software-Factory 4.0
- <https://proloewe.de/de/loewe-vorhaben/nach-themen/software-factory-40/>
Webseite des LOEWE-Schwerpunkts Software-Factory 4.0 bei ProLOEWE
- <https://wissenschaft.hessen.de/Forschen/Landesprogramm-LOEWE/Die-Foerderstaffeln-von-LOEWE/10-LOEWE-Foerderstaffel>
Software-Factory 4.0 auf der Webseite zur 10. LOEWE-Förderstaffel des HMWK

Zahlen und Fakten¹

Förderzeitraum	01.01.2018 – 31.12.2022
Bewilligte LOEWE-Mittel in Euro	4.797.112
Bewilligte Drittmittel in Euro	28.676.131
Beschäftigte insgesamt ²	17
darunter LOEWE-finanziert	4,5
Erfolgreich abgeschlossene Promotionen	17
Erfolgreich abgeschlossene Habilitationen	–
Wissenschaftliche Publikationen	138
Fachvorträge auf wissenschaftlichen Tagungen/Konferenzen	147
Angemeldete Patente	–
darunter bereits erteilt	–

¹ Die Angaben beziehen sich mit Ausnahme der Beschäftigten auf die gesamte Projektlaufzeit.

² Die Anzahl der Beschäftigten bezieht sich auf alle Beschäftigten, die an dem LOEWE-Projekt mitgearbeitet haben, in Vollzeitäquivalenten, unabhängig von ihrer Finanzierung, Stichtag 31.12. des letzten Förderjahres.

Kurzvorstellung der beteiligten Hochschulen und außeruniversitären Forschungsinstitute

Technische Universität Darmstadt

<https://www.tu-darmstadt.de>

Als Europäische technische Universität stehen wir für exzellente und relevante Wissenschaft. Globale Transformationen – von der Energiewende über Industrie 4.0 bis zur Künstlichen Intelligenz – fordern uns heraus. Diese tiefgreifenden Veränderungsprozesse gestalten wir durch herausragende Erkenntnisse und zukunftsweisende Studienangebote entscheidend mit. Unsere Spitzenforschung bündeln wir in drei Feldern: Energy and Environment, Information and Intelligence, Matter and Materials. Die große, problemzentrierte Interdisziplinarität zwischen Ingenieur-, Natur-, Geistes- und Sozialwissenschaften zeichnet Forschung und Studium bei uns aus. Mit wissenschaftlichen Kooperationspartnern, Gesellschaft, Wirtschaft und Politik stehen wir in intensivem und produktivem Austausch. Aus dieser Vielstimmigkeit erwachsen Fortschritte für eine weltweit nachhaltige Entwicklung.



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

HESSEN



Das Forschungsförderungsprogramm LOEWE ist eine Förderinitiative des Hessischen Ministeriums für Wissenschaft und Forschung, Kunst und Kultur.

Impressum

Herausgeber:

Hessisches Ministerium
für Wissenschaft und Forschung, Kunst und Kultur
Rheinstraße 23 – 25
65185 Wiesbaden

Inhalt:

LOEWE-Schwerpunkt Software-Factory 4.0
Software-Reengineering als Katalysator für Paradigmenwechsel

Redaktion:

LOEWE-Geschäftsstelle im Hessischen Ministerium
für Wissenschaft und Forschung, Kunst und Kultur

Layout:

Christiane Freitag, Idstein

Fotos und Grafiken:

LOEWE-Schwerpunkt Software-Factory 4.0
Software-Reengineering als Katalysator für Paradigmenwechsel
S. 2: © Katrin Binner; S. 6 Abb. 3: © ProLOEWE