



SAFER MATERIALS
sichere und zuverlässigere Werkstoffe

HESSEN



LOEWE

ABSCHLUSSBERICHT



LOEWE-Schwerpunkt Safer Materials
Sichere und zuverlässigere Werkstoffe

Inhalt

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

Es ist inzwischen vollkommen zu Recht nahezu selbstverständlich geworden, dass der Einsatz von Werkstoffen möglichst effizient erfolgen sollte, um Ressourcen zu schonen. Wenn das gelingen soll, hat es aber zur Folge, dass Werkstoffe zunehmend bis an ihre Grenzen belastet werden, um eine unnötige Überdimensionierung von Bauteilen zu vermeiden. Hinzu kommt der vermehrte Einsatz von Recyclingwerkstoffen, die Verwendung nachwachsender Rohstoffe und ein globaler Rohstoffmarkt mit sehr unterschiedlichen Herkunftsländern. Alle diese Aspekte erschweren es, die geforderten sicheren und zuverlässigen Werkstoffeigenschaften zu erfüllen. Hinzu kommt, dass die Werkstoffeigenschaften vom menschlichen Handeln entlang der gesamten Wertschöpfungskette beeinflusst werden und dies Folgen für die Sicherheit und Zuverlässigkeit von Produkten hat.



So ist z. B. beim Einsatz von Hochleistungsbetonen oder hochfesten Stählen keineswegs sichergestellt, dass die herausragenden technischen Eigenschaften mit einem unkritischen Versagensverhalten einhergehen. Auch aus dem Recycling stammendes Aluminium kann hinsichtlich seines Verhaltens nicht mit Neuware gleichgesetzt werden und aus nachwachsenden Rohstoffen synthetisierte oder mit Naturfasern modifizierte Kunststoffe weisen zwar eine verbesserte Ökobilanz auf, die für Ihre Zuverlässigkeit relevanten Werkstoffeigenschaften sind jedoch noch nicht hinreichend bekannt.

Im LOEWE-Schwerpunkt Safer Materials haben wir uns in 12 Projekten vier Jahre lang intensiv mit verschiedenen Forschungsfragen zur Sicherheit und Zuverlässigkeit von Werkstoffen beschäftigt. Die in den Projekten gewonnenen werkstofftechnischen sowie schädigungs- und bruchmechanischen Erkenntnisse haben zu vielen Abschlussarbeiten von Studierenden und bereits zu einigen Promotionen der verschiedenen beteiligten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler geführt.

Die Projekte haben aber auch aufgezeigt, dass viele weitere Jahre an Forschungsarbeiten nötig sein werden, um das hochaktuelle Thema weiter voranzubringen. Wir sind davon überzeugt, dass uns dies auch nach der LOEWE-Förderung weiterhin gelingen wird. Die geschaffene gemeinsame Forschungsinfrastruktur, die gelebte Kooperationskultur und der in den Projekten hervorragend ausgebildete wissenschaftliche Nachwuchs sind wichtige Voraussetzungen für die zukünftige erfolgreiche Arbeit in diesem Themengebiet. Viele kleinere und größere Anschlussprojekte konnten bereits begonnen werden, weitere werden in den nächsten Jahren folgen.

A handwritten signature in black ink, which appears to read 'Hans-Peter Heim'. The signature is stylized and cursive.

Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Heim
Sprecher des LOEWE-Schwerpunkts Safer Materials
Universität Kassel, Juni 2019

Projekthinhalte

Wissenschaftlich-technische Ausgangslage

Basis der wissenschaftlichen Leitidee ist die auf Höchstleistungen fokussierte Werkstoffforschung. Ziel des Schwerpunktes war es, die Einflussfaktoren für eine effiziente aber auch sichere Verwendung von Hochleistungswerkstoffen zu charakterisieren, um bislang nicht voraussagbares Versagensverhalten von Werkstoffen mit verheerenden Folgen zu vermeiden. Dabei wurde insbesondere der Einflussfaktor Mensch erstmals in der Werkstoffforschung umfänglich betrachtet.

Spontanes Werkstoffversagen trat in jüngster Vergangenheit vermehrt auf, weil Werkstoffe im Zuge des Leichtbaus immer mehr bis an ihre Grenzen ausgelastet werden und auch technische Grenzen aufgrund von Ressourceneffizienz und völlig neuer Rohstoffquellen immer weitere Ausreizung finden. Das Potenzial dieser leistungsorientierten Entwicklungen kann jedoch nur dann sicher und zuverlässig ausgeschöpft werden, wenn auch der Einfluss des Menschen auf den Werkstoff bei der Werkstoffforschung berücksichtigt wird.

Menschliche Entscheidungen entlang der Wertschöpfungskette moderner Werkstoffe werden zukünftig zunehmend durch nicht-technische Aspekte wie die Verfügbarkeit von Werkstoffen und die aus ökologischer Sicht relevanten Randbedingungen geprägt sein.

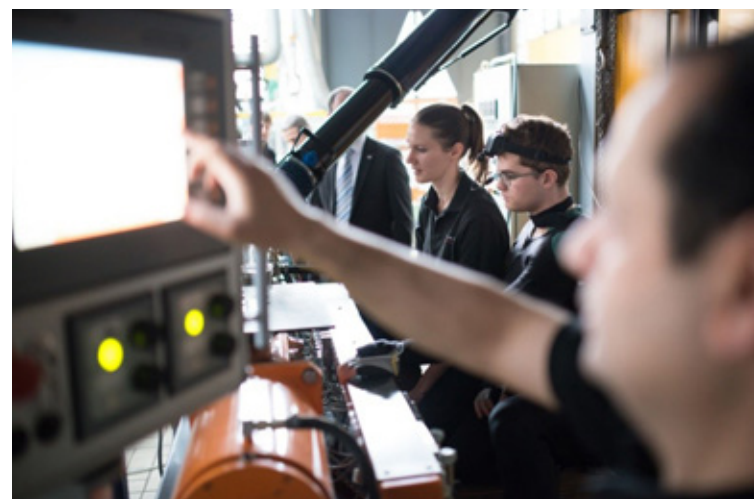
Insgesamt sind in der aktuellen Werkstoffforschung bislang jedoch keine Methoden etabliert, mit denen klare Aussagen über den sicheren und zuverlässigen Gebrauch von Werkstoffen gemacht werden können. Ebenso wird der Einfluss des Menschen auf Werkstoffe derzeit nicht adäquat berücksichtigt. Die Leitidee dieses LOEWE-Schwerpunktes besteht darin, die erforderlichen Methoden zur Berücksichtigung der verschiedenen Einflussfaktoren zu entwickeln und in eine ganzheitliche, vorausschauende Sichtweise der Werkstoffforschung einzubringen. Dadurch sollen die Folgen des menschlichen Handelns entlang der gesamten Wirkungskette vom Rohstoff bis zum dauer-

haften Einsatz des Werkstoffs im Bauteil auf die Sicherheit und Zuverlässigkeit vorhersagbar werden.

Entgegen der üblichen, nach Werkstoffen unterteilten Forschung fand in diesem LOEWE-Schwerpunkt unter dem Aspekt „sichere und zuverlässige Werkstoffe“ eine enge, werkstoffübergreifende Zusammenarbeit in gemeinsamen Projektbereichen statt. Darüber hinaus wurden nicht werkstofftechnische Fachgebiete mit in die Bearbeitung des Schwerpunktes einbezogen, sodass eine bislang einzigartige ganzheitliche Betrachtung der Werkstoffe durchgeführt werden konnte.

Im Rahmen des LOEWE-Projekts erreichte Erkenntnisse und getätigte Entwicklungen

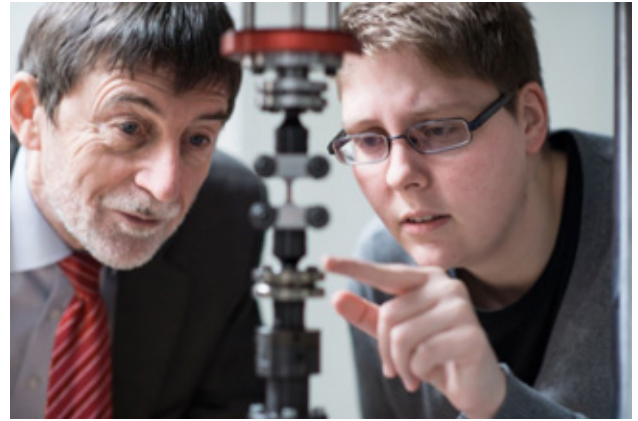
Der LOEWE-Schwerpunkt Safer Materials hat während des Förderzeitraums sowohl im Bereich der Entwicklung und Charakterisierung der verschiedenen Werkstoffgruppen hinsichtlich sicherer und zuverlässiger Eigenschaften als auch in der Methodenentwicklung und der Beschreibung des menschlichen Einflusses in der Werkstofftechnik signifikant neue wissenschaftliche Erkenntnisse hervorgebracht. Dabei sind besonders die interdisziplinär erarbeiteten Ergebnisse auf die räumliche Zusammenführung der Fachgebiete und deren enge Kooperation sowie die Schaffung eines Analytikzentrums zurückzuführen.



Einsatz des „Cyber-Man“-Anzugs zur Blick- und Bewegungsdatenanalyse in der Kunststoffverarbeitung.



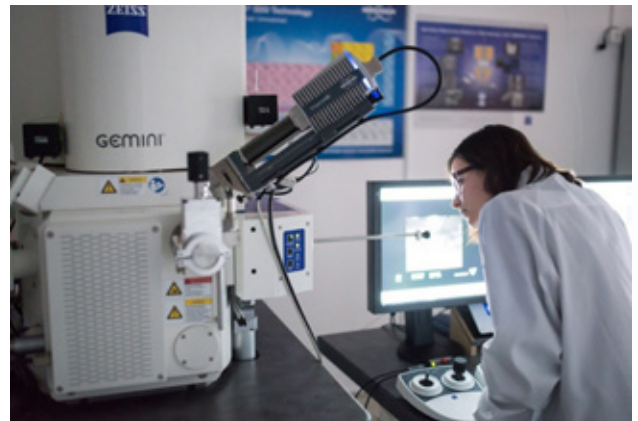
Beim manuellen Kleben einer Probe aus ultrahochfestem Beton (UHPC) ist Präzision gefragt. Mit der Blickfelderfassung ist eine simultane Qualitätskontrolle möglich.



Auch in der Werkstofftechnik ist der wissenschaftliche Austausch nötig. Hier wird das Verhalten einer metallischen Probe während der Prüfung diskutiert.



Bei der Simulation von Rissen zur Versagensprognose in verschiedensten Materialien kommt es neben hoher Rechenleistung auch auf den Erfahrungsaustausch an.



Modernste Technik in Form eines Rasterelektronenmikroskops (REM) ist in der Strukturcharakterisierung der Werkstoffe unverzichtbar.

Neben den wichtigen einzelnen wissenschaftlichen Ergebnissen sind vor allem die entwickelten Methoden und Expertisen der Materialcharakterisierung und -simulation zu erwähnen, die nur durch enge interdisziplinäre Zusammenarbeit möglich waren und auf die auch in zukünftigen Projekten zurückgegriffen werden kann. Die Förderung des LOEWE-Schwerpunkts und in dessen Folge beantragte und bewilligte Drittmittelprojekte ermöglichten dabei den geräte-seitigen Aufbau des Analytikzentrums mit modernsten Charakterisierungsaufbauten sowie die Implementierung der Methoden zur Ermittlung des menschlichen Einflusses in der Werkstofftechnik.

Wichtige wissenschaftliche Ergebnisse des LOEWE-Schwerpunkts Safer Materials:

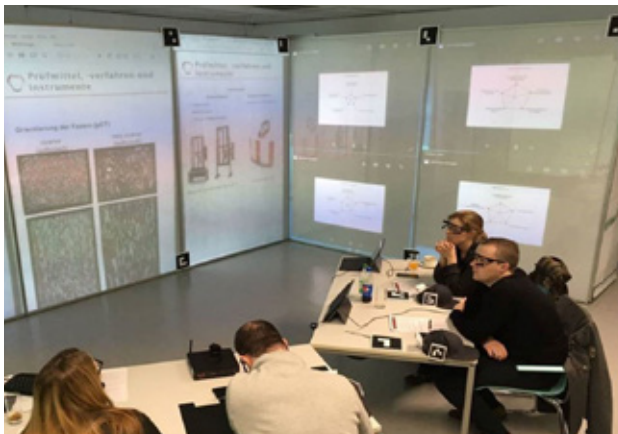
- Entwicklung und Einführung eines Safety-Scanning-Tools als gesamt-systemische Betrachtung zur Auswahl und Beschaffung von Rohstoffen, deren technische Integration sowie zur Verarbeitung der Werkstoffe.
- Implementierung eines Blickerfassungssystems zur Reduzierung negativer menschlicher Effekte und

einer Aktivitätserkennung zur proaktiven Assistenz durch Verfahren der künstlichen Intelligenz im Bereich der Materialentwicklung und -verarbeitung.

- Erzielung optimierter Stahl-Randschichteigenschaften hinsichtlich des Widerstandes gegenüber einer zyklischen Belastung bei gleichzeitiger Verkürzung der Prozesskette durch ein neu entwickeltes integriertes Prozesszentrum.
- Generierung grundlegender Kenntnisse über die Stabilität der randnahen Mikrostruktur in Stahlwerkstoffen bei komplexen Beanspruchungen, die künftig Aussagen zur Schadenstoleranz festgewalzter Strukturen und eine bessere Abschätzung des Werkstoffverhaltens ermöglichen.
- Entwicklung einer optimierten Verklebung für ultrahochfeste Betone (UHPC) mit duktilem und damit vorhersagbarem Versagensverhalten durch ein definiertes Fugendesign und Erhöhung der Schadenstoleranz des UHPC im Temperaturbereich bis 500 °C durch die Zugabe von Cellulosefasern.
- Entwicklung einer Methode zur Vorhersage der Rissinitiierung und des Versagensverhaltens an Materialdefekten wie Gas- und Schrumpfungsporen in



Zur Charakterisierung des menschlichen Einflusses in der Werkstofftechnik kommen „Cyber-Man“-Anzug und „Virtual Space“ als modernste Hilfsmittel zum Einsatz.



Nutzung des Safety-Scanning-Tools bei der Expertendiskussion zur Werkstoffauswahl und -charakterisierung im „Virtual Space“.

- Erstmalige Darstellung der Zusammenhänge zwischen der Partikelgeometrie biobasierter Füllstoffe, den mechanischen Eigenschaften der Composite sowie der entscheidenden Einflussfaktoren von Werkstoffauswahl und Verarbeitungsbedingungen.
- Die entwickelte Simulation der anisotropen Bruch-eigenschaften und der resultierenden teilweise unerwarteten Rissausbreitungsphänomene liefert einen wichtigen Beitrag zum sicheren Einsatz der Werkstoffe in technischen Anwendungen und eine Empfehlungsgrundlage hinsichtlich verbesserter bruchmechanischer Eigenschaften.

Aluminium mit erstmaliger Beobachtung einer Mehrfachrissinitiierung an komplexen Schrumpfungsporen und deren Wechselwirkung miteinander.

- Nachweis des signifikant positiven Effekts der Wärmebehandlung auf Eiseneinschlüsse in recyceltem Aluminium durch hochauflösende Micro-Computertomographie und damit deutliche Verbesserung der mechanischen Eigenschaften.
- Nachweis der deutlich höheren Bruchzähigkeit von Verbundwerkstoffen mit einer Verstärkung durch Cellulose regeneratfasern und deren mikrostrukturelle Begründung ermöglicht erstmals deren bruchmechanische Simulation.

Erreichte Strukturentwicklung

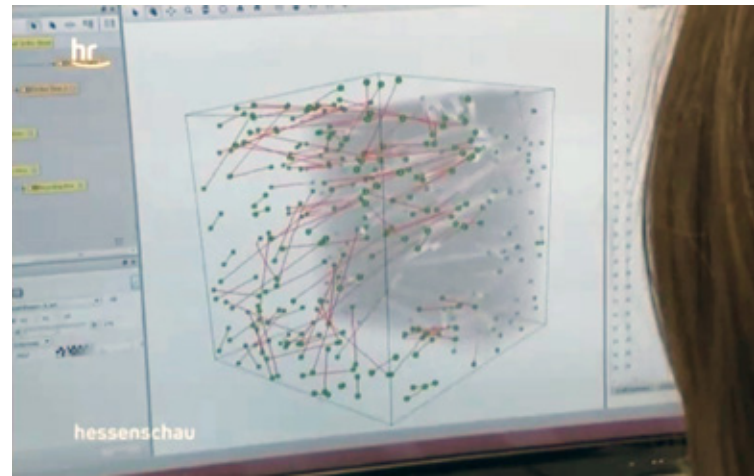
Der LOEWE-Schwerpunkt Safer Materials hat die Expertise der beteiligten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus verschiedenen Disziplinen der Uni Kassel gebündelt und ihre interdisziplinären Kooperationen gestärkt. Es wurde ein neues strukturbildendes Forschungsumfeld geschaffen, das zur nachhaltigen Schwerpunktbildung beiträgt. Dabei sind zahlreiche strukturelle Entwicklungen nur durch die Förderung des LOEWE-Schwerpunkts möglich gewesen. Beispielhaft kann hier das neu geschaffene Analytikzentrum mit leistungsstarkem μ -Computertomograph und modernem Rasterelektronenmikroskop hervorgehoben werden, das erheblich zur Struk-

turcharakterisierung in der Werkstofftechnik beiträgt. Zur Betreuung und Methodenentwicklung in diesem Umfeld wurde eine wissenschaftliche Dauerstelle an der Universität Kassel geschaffen. Eine weitere personelle Strukturentwicklung stellt die Besetzung der assoziierten W1-Professur „Heterogene Werkstoffe“ dar, die im werkstofflichen Umfeld forscht und auf die im Schwerpunkt beschafften Analysegeräte sowie die generierten Methoden und Expertisen zum Materialverständnis zurückgreifen kann.

Neben den Maßnahmen in der Ausbildung junger Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler sowie der räumlichen Zusammenführung und Ausstattung wurden wichtige Kooperationsprojekte initiiert. Durch die Weiterentwicklung des Schwerpunktthemas ist es gelungen, tragfähige Thematiken für drei SFB-Initiativen zur Verstetigung des LOEWE-Schwerpunkts herauszuarbeiten:

- „Prozessintegrierte Herstellung tribologisch beanspruchter Oberflächen“ (PROTON) (Metalle, TRR)
- „Shape Memory Alloys Research for Technology of Constructions“ (SMARTCON) (Multimaterial, TRR)
- „Lebensdauer optimierte technische Bauteile aus thermoplastischen Kunststoffen“ (Kunststoffe, TRR)

Die im Bericht aufgeführten Maßnahmen stellen für die Zukunft des Forschungsumfeldes an der Universität Kassel eine breite und stabile Basis dar.



Beitrag zum LOEWE-Schwerpunkt Safer Materials in der Hessenschau, in dem die Strukturcharakterisierung von Werkstoffen mit dem hochmodernen Computertomograph gezeigt wird.

Erreichte Bedeutung/Stellung im Themen-/Forschungsfeld

Durch die Vielzahl aus dem LOEWE-Schwerpunkt entstandener Tagungsbeiträge sowie einer eigenen interdisziplinären Session „Safer Materials“ bei der Werkstoffwoche der DGM in Dresden (eine der größten werkstoffspezifischen Tagungen Deutschlands) in den Jahren 2017 und 2019 konnte gezeigt werden, dass großes internationales Interesse am Thema der sicheren und zuverlässigeren Werkstoffe besteht. Insgesamt wurde von den am LOEWE-Schwerpunkt Safer Materials beteiligten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern mit 62 Publikationen und 49 Beiträgen auf Tagungen die Grundlage einer internationalen Wahrnehmung der Schwerpunktinhalte geschaffen.

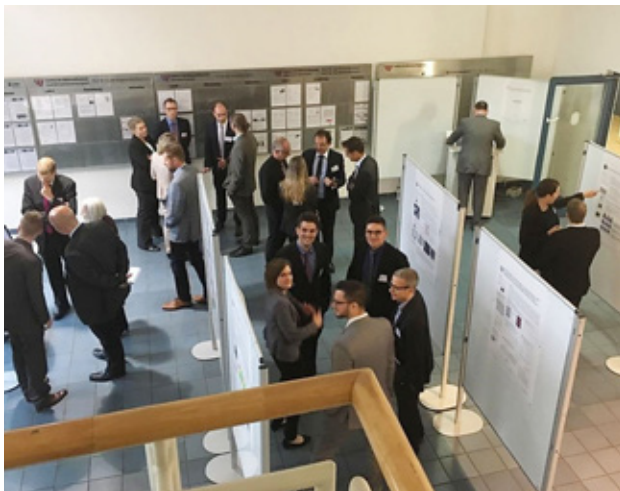
Wichtigste Meilensteine des Projekts



In einem feierlichen Akt wurde am 05.06.2015 die Förderurkunde des Schwerpunkts Safer Materials überreicht. Der hessische Minister für Wissenschaft und Kunst Boris Rhein (rechts im Bild) übergab die Unterlagen an die Universität Kassel, vertreten durch ihren Präsidenten Prof. Dr. Rolf-Dieter Postlep (links im Bild), und an den Sprecher des LOEWE-Schwerpunktes Safer Materials Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Heim (Bildmitte).



Juni 2015: Minister Boris Rhein und eine vietnamesische Delegation lassen sich am Stand des Schwerpunkts Safer Materials auf dem Hessentag in Hofgeismar Forschungsinhalte und -ergebnisse erklären.



September 2017: Posterausstellung während der Evaluation an der Universität Kassel.



November 2017: Christian Kaufhold M. Sc. (rechts im Bild) erhält von Herrn Krämer als Vertreter der Ensinger GmbH den Wilfried Ensinger Preis des wissenschaftlichen Arbeitskreises Kunststofftechnik (WAK) für seine hervorragende Masterarbeit auf dem Gebiet der Entwicklung und Beschreibung technischer Kunststoffe für innovative Anwendungen.



Mai 2018: Torben Oevermann (2. von links) und Dr.-Ing. Maik Feldmann (2. von rechts) stellen dem Hessentagspaar (Lisa-Marie Fritzsche und Lukas Goos) auf dem Hessentag in Korbach die Einflüsse der additiven Fertigung auf die Materialeigenschaften vor.



Forscherteam um Geschäftsführer Dr. Maik Feldmann und Schwerpunkt-Sprecher Prof. Hans-Peter Heim (vorne in der Mitte) bei Versuchen zur Untersuchung des menschlichen Einflusses in der Kunststoffverarbeitung.



Juni 2018: Besucher des Campusfests 2018 konnten die Forschungsinhalte im Bereich der Blickerfassung von Assistenzsystemen hautnah miterleben.



Juni 2019: Der LOEWE-Schwerpunkt Safer Materials zeigt auch beim Campusfest 2019 Forschung zum Anfassen.



Juni 2019: Staatssekretärin Ayse Asar und Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Heim informieren sich auf dem Hessentag 2019 in Bad Hersfeld über die neuesten Forschungsergebnisse der LOEWE-Schwerpunkte.

Weitere Informationsmöglichkeiten

- <https://www.uni-kassel.de/fb14bau/institute/institut-fuer-konstruktiven-ingenieurbau-iki/werkstoffe-des-bauwesens-und-bauchemie/forschung/abgeschlossene-projekte/loewe-safer-materials>
Homepage der Initiative
- <https://www.proloewe.de/safermaterials>
Safer Materials bei ProLOEWE
- <https://www.wbk.kit.edu/wbkintern/Forschung/Projekte/SPP2086/wp-content/uploads/2020/04/WerkstoffWoche2019-Programmheft.pdf>
Session Safer Materials auf der Werkstoffwoche 2019
- <https://wissenschaft.hessen.de/forschen/landesprogramm-loewe/die-foerderstaffeln-von-loewe/7-loewe-foerderstaffel/>
Homepage Hessisches Ministerium für Wissenschaft und Forschung, Kunst und Kultur
- <https://www.hessenschau.de/tv-sendung/video-59044.html>
Beitrag zu Safer Materials in der Hessenschau
- <https://proloewe.de/de/aktuelles/nachrichten/ensinger-preis-des-wak-an-christian-kaufhold/>
Pressemitteilung ProLOEWE: Ensinger-Preis des WAK an Christian Kaufhold

Zahlen und Fakten¹

Förderzeitraum	01.01.2015 – 31.12.2018
Bewilligte LOEWE-Mittel in Euro	4.640.803
Verausgabte LOEWE-Mittel in Euro	4.640.803
Bewilligte Drittmittel in Euro	6.819.926
Beschäftigte insgesamt ²	10,5
darunter LOEWE-finanziert	6,5
Erfolgreich abgeschlossene Promotionen	4
Erfolgreich abgeschlossene Habilitationen	0
Wissenschaftliche Publikationen	62
Fachvorträge auf wissenschaftlichen Tagungen/Konferenzen	49
Angemeldete Patente	2
darunter bereits erteilt	0

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

Universität Kassel

www.uni-kassel.de

Als junge und aufgeschlossene Institution akademischer Bildung, setzt die Universität Kassel auf ständige Weiterentwicklung im Bereich Forschung, Lehre sowie Wissenstransfer, um ihren Studierenden bestmögliche Bildungschancen zu bieten. Dies umfasst auch ein weitgefächertes und attraktives Lehrangebot, das durch eine starke Vernetzung innerhalb unterschiedlicher Arbeitsgruppen, Institute, Fachbereiche und Forschungszentren geboten wird und die Initiative sowie fächerübergreifendes und unkonventionelles Denken ihrer Studierenden fördert. Eine gleichzeitige Vernetzung zu außer-universitären Einrichtungen ermöglicht dabei den Studierenden einen Einblick in spätere Arbeitsbereiche sowie die Verbindung des erlernten Wissens mit praktischen Erkenntnissen. Sie gründet ihr Selbstverständnis auf Verständigung, Toleranz sowie dem Streben nach höherer Chancengerechtigkeit und Gleichstellung und bietet somit einen Raum gemeinsamen Austausches und Forschens. Die Universität lebt von den Menschen, die hier forschen und lehren, arbeiten und studieren, daher wird Engagement und Initiative groß geschrieben. Dies zeigt sich unter anderem in der lebendigen Start-up-Szene.

Eine positive Resonanz erhält die Universität durch ihre kontinuierlich anwachsenden Studierendenzahlen, die im Wintersemester 2018/19 mehr als 25.300 Studierende umfasste.

U N I K A S S E L
V E R S I T Ä T

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 Safer Materials –
Sichere und zuverlässigere Werkstoffe

Redaktion:

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

Layout:

Christiane Freitag, Idstein

Fotos und Grafiken:

LOEWE-Schwerpunkt Safer Materials –
Sichere und zuverlässigere Werkstoffe
S. 5 Abb. 2: © Kristin Meyer; S. 7 Abb. 1: © Andrea Haferburg;
S. 7 Abb. 3: © Philipp Sälzer; S. 7 Abb. 4: © Daniel Löb;
S. 8 Abb. 1 und 3: © Tanja Desch; S. 8 Abb. 4: © Antonia Krämer;
S. 8 Abb. 5: © Lukas Schell