

Energieeffizienz – Europäische Erfolgsmodelle



ZAE Bayern
Dr. Jochen Manara
jochen.manara@zae-bayern.de

Dr. Bastian Büttner
bastian.buettner@zae-bayern.de

Fraunhofer ISE
Dr. Thibault Pflug
thibault.pflug@ise.fraunhofer.de

Sven Auerswald
sven.auerswald@ise.fraunhofer.de

HZB
Dr. Björn Rau
bjoern.rau@helmholtz-berlin.de

ISFH
Bharat Chhugani
chhugani@isfh.de

IZES
Patrick Hoffmann
hoffmann@izes.de

KIT
Dr. Ferdinand Schmidt
ferdinand.schmidt@kit.edu

Nicolas Carbonare
nicolas.carbonare@kit.edu

Einleitung

Die effiziente Nutzung von Energie stellt, neben der Bereitstellung erneuerbarer Energien, eine wesentliche Säule zur Erreichung der geplanten Reduktion von Treibhausgas-Emissionen dar, sowohl auf europäischer als auch auf nationaler Ebene.

Das sogenannte „Energy Efficiency First Principle“ ist ein Schlüsselziel der EU, bei dem die Energieeffizienz an erster Stelle steht, da die effiziente Nutzung von Energie und die damit verbundene Energieeinsparung die einfachste Möglichkeit ist, die Treibhausgasemissionen zu reduzieren. Zu diesem Zweck hat die EU im Rahmen der Richtlinie 2012/27/EU zur Energieeffizienz bzw. der seit Dezember 2018 geltenden Änderungsrichtlinie [1] verbindliche Ziele festgelegt, um den Energieverbrauch durch Verbesserungen der Energieeffizienz bis 2030 um mindestens 32,5% zu senken.

Nachfolgend werden aktuelle F&E-Aktivitäten für die Sektoren Gebäude und Industrie zur Erhöhung der Energieeffizienz vorgestellt. Diese Sektoren sind in zwei wesentlichen Themenfeldern des „European Green Deal“ angesiedelt. Zum einem im Bereich Energie, in dem neben der Förderung und Integration erneuerbarer Energien ein wesentlicher Fokus auf der Dekarbonisierung energieintensiver Industrien durch Effizienzmaßnahmen liegt. Zum anderen im Gebäudebereich, in dem u. a. energieeffiziente Sanierungen sowie effiziente Heizung, Lüftung und Kühlung wichtige Aspekte sind.

Dabei wird jeweils der Beitrag einer Energieeffizienzsteigerung zur optimalen Ausnutzung der eingesetzten Energie erläutert. Darüber hinaus werden Vernetzungen auf europäischer Ebene aufgezeigt, die eine erfolgreiche Umsetzung von Energieeffizienz-Optionen ermöglichen.

Erhebliche Effizienzpotenziale in der Industrie sind in der Kraftwerkstechnik, der Luft- und Raumfahrt, der Glas- und Keramikindustrie sowie auf dem Gebiet der industriellen Abwärme vorhanden.

Im Gebäudebereich werden u. a. Komponenten für Heizung, Lüftung und Klimatechnik sowie für energieeffiziente und innovative Fassaden entwickelt und optimiert. Dabei handelt es sich um Hochleistungs-

Wärmedämmung, bauwerkintegrierte Photovoltaik (BIPV), photovoltaisch-thermische Kollektoren (PVT) sowie hybride Solarkollektoren mit photoisomerischer Energiespeicherung.

F&E-Aktivitäten für den Industriesektor

Die hier vorgestellten Projekte beschäftigen sich sowohl mit der Verbesserung industrieller Prozesse (STARGATE und Hi-TRACE) als auch mit der effizienten Nutzung industrieller Abwärme (KoWa).

Der Wirkungsgrad von stationären Heißgasturbinen nimmt mit zunehmender Heißgastemperatur zu. Dies führt zu einer Reduktion des Energieverbrauchs und damit verbunden zu einer Verminderung des CO₂-Ausstoßes. Zur Material- und Betriebsoptimierung werden dabei unter anderem berührungslose Temperaturmessungen mittels Strahlungsthermometern durchgeführt. Von entscheidender Bedeutung ist dabei die exakte Kenntnis der thermophysikalischen Eigenschaften der eingesetzten Materialien, wie Wärmeleitfähigkeit der Beschichtung und Emissionsgrad der Oberfläche.

- Im Rahmen des EU-Projektes „STARGATE – Sensors Towards Advanced Monitoring and Control of Gas Turbine Engines“ (Förderkennzeichen: 314061) wird die dazu benötigte Messtechnik daher zur Bestimmung der thermophysikalischen Größen von keramischen Wärmedämmschichten in Gasturbinen bis zu Temperaturen von 1600 °C eingesetzt und maßgeschneidert erweitert.
- Darüber hinaus wird im EU-Projekt „Hi-TRACE – Industrial process optimization through improved metrology of thermophysical properties“ (Förderkennzeichen: 17IND11) eine metrologische Infrastruktur geschaffen, um rückführbare Messdaten der thermophysikalischen Eigenschaften, wie Temperatur T_f , Kontaktwiderstand R_c , Temperaturleitfähigkeit a , Wärmekapazität C_p und Emissionsgrad ε bis zu 3000 °C zu liefern. Dazu gehören die Entwicklung hochgenauer Referenzanlagen, neuer Messtechniken, zuverlässiger Kalibriermethoden, validierter Unsicherheitsbudgets und rückführbarer Referenzmaterialien für den Hochtemperaturbereich zur Bestimmung thermischer und infrarot-

optischer Eigenschaften sowie zur berührungslosen Erfassung der Haftungseigenschaften von Schichtsystemen in Industrieanwendungen.

- Im BMWi-geförderten Projekt „KoWa – Wärmewende in der kommunalen Energieversorgung“ (Förderkennzeichen: 03EN3007) steht die beschleunigte Umsetzung der Wärmewende im kommunalen Spannungsfeld im Fokus der Untersuchungen. An vier Standorten in Deutschland werden gemeinsam mit den dort ansässigen kommunalen Akteuren neue Konzepte erarbeitet und erprobt, um die Transformation der Wärmeversorgung auf Basis einer überwiegend dekarbonisierten, erneuerbaren Wärmeerzeugung und -speicherung zu forcieren. Das Spektrum der Untersuchungen reicht dabei vom Einsatz erneuerbarer Erzeugungstechnologien und industrieller Abwärme, über Effizienzsteigerungen beim Wärmetransport und in den zu versorgenden Gebäuden bis hin zu Verbesserung der Kommunikation und Partizipation der lokalen Akteure. In einer ersten Phase werden dabei Quartiersuntersuchungen durchgeführt, Machbarkeitsstudien erstellt und Konzepte für eine nachhaltige, energieeffiziente Wärmeversorgung sowie effektive und langfristig stabile Wärmelieferbeziehungen erarbeitet. Die darauffolgende Phase dient der Umsetzung und Erprobung der Konzepte sowie der Erfolgsauswertungen der angewandten Kommunikationsstrategien.

F&E-Aktivitäten für den Gebäudesektor

Die Klimaschutzenszenarien 80 und 95 (entsprechend einer Reduktion von 80 % und 95 % des CO₂-Ausstoßes) unterscheiden sich in den Anteilen erneuerbarer Energien, erfordern aber beide jeweils eine Einsparung des Endenergieverbrauchs privater Haushalte von 60 % [2]. Zur Erreichung dieses Ziels ist ein synergetisches Zusammenwirken von Energieeffizienz und erneuerbaren Energien notwendig, wozu die nachfolgend beschriebenen Projekte beitragen:

- Das EU-Projekt „EMIRIM – Improvement of Emissivity Measurements on Reflective Insulation Materials“ (Förderkennzeichen: 16NRM06) befasst sich mit den Anforderungen der Normungsgruppe CEN / TC 89 / WG 12 zur Verbesserung der Norm EN 16012 im Rahmen einer Aktualisierung. Bisherige Untersuchungen ergaben erhebliche Unterschiede bei verschiedenen Messverfahren für die geringen Emissionsgrade IR-reflektierender Folienwärmedämmungen unterhalb von 0,1. Da die Eigenschaften dieser Wärmedämmungen

wesentlich vom Emissionsgrad abhängen, ist dessen zuverlässige Bestimmung von großer Bedeutung für die Beurteilung der Foliendämmungen. Das Ziel des Projektes besteht daher in der Entwicklung von Referenzproben sowie optimierter Kalibrier- und Messmethoden zur hochgenauen und rückführbaren Bestimmung des Emissionsgrades von IR-reflektierenden Folienwärmedämmungen. Die Ergebnisse des Projektes tragen zur Erhöhung der Energieeffizienz im Gebäudebereich durch den Einsatz entsprechend charakterisierter Foliendämmungen bei.

Neben einer Optimierung der Wärmedämmung werden zunehmend weitere Funktionalitäten in den Fassadenbereich integriert. Dabei bildet die Integration von Photovoltaik in die Gebäudehülle einen zentralen Baustein für die zukünftige klimafreundliche Energieversorgung. Photovoltaikanlagen auf Dächern sind bereits vielerorts sichtbar. Allerdings konkurriert die Photovoltaik um knappe Dachflächen mit bereits existierenden oder alternativen Nutzungen, wie Dachbegrünungen und haustechnische Installationen. Ebenso können Fragen der Ästhetik die rasche Erschließung weiterer, ausreichend großer Flächen in diesem Bereich behindern. Durch die Integration von Photovoltaik in die Fassade oder andere Bereichen der Gebäudehülle können zusätzliche Flächen an Bauwerken erschlossen und damit „aktiviert“ werden.

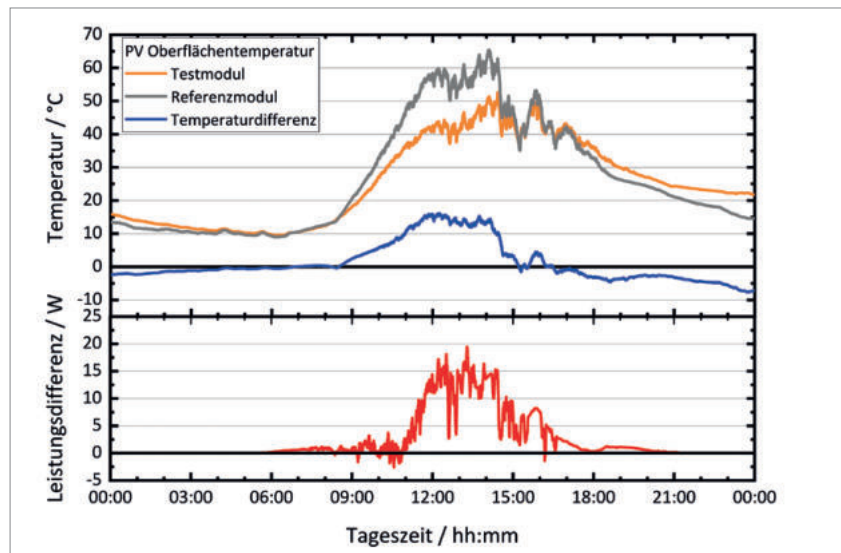
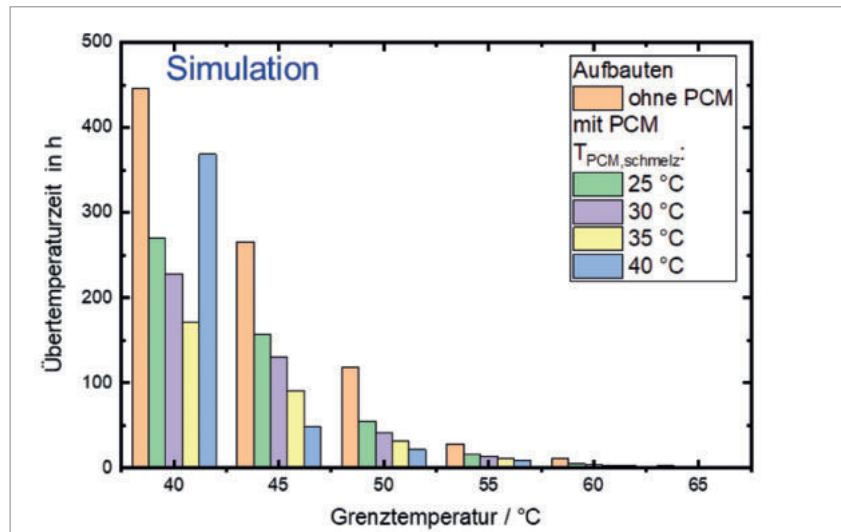
Ein Spannungsfeld bei der Integration von PV-Modulen in die Fassade ist die Vereinigung von Energieeffizienz (Dämmung) und hoher Stromerzeugung (Wirkungsgrad). Bei nicht hinterlüfteten Systemen ergeben sich bei typischen Dämmstandards Oberflächentemperaturen von > 50 °C, die zu einem signifikanten Leistungsverlust der Photovoltaik führt.

- Im BMWi-geförderten Projekt „BIPVslim“ (Förderkennzeichen: 03EN1012A) sollen ultraschlanke, passiv gekühlte BIPV-Warmfassaden mit hohem Vorfertigungsgrad entwickelt werden, die einen Wärmedurchgangskoeffizienten U von etwa 0,15 W/(m²·K) aufweisen und für den Einbau in Pfosten-Riegel-Konstruktionen an Fassaden von Bestandsgebäuden und Neubauten geeignet sind. Das System kombiniert eine hocheffiziente Solarzelle mit einem bauteilintegrierten Latentwärmespeicher (Phase Change Material = PCM) sowie einer Hochleistungswärmedämmung (Vakuuminisulationspaneel = VIP). Durch die individuelle Auslegung des PCM und der Dämmung für verschiedene Klimazonen/Anwendungsszenarien kann ein höchstmöglicher Wirkungsgrad der Photovoltaik bei gleichzeitig hoher Energieeffizienz der Gebäudehülle erreicht werden.

Abbildung 1
Passiv gekühlte BIPV-Warmfassaden mit Solarzelle, Latentwärmespeicher (PCM) und Hochleistungswärmedämmung (VIP):

Oben: Simulation der kumulierten Übertemperaturzeit in Abhängigkeit von der Schmelztemperatur des eingesetzten PCM.

Unten: Messungen an Referenz- und Testmodul mit gemessener Temperatur- und Leistungsdifferenz an einem sonnigen Tag. CO_{2,äq}-Bewertung



Im Projekt wird der Effekt des PCM durch den Vergleich mit einem Referenzsystem ohne PCM ermittelt. Simulationsrechnungen im Vorfeld ergaben bereits eine signifikante Reduktion der Übertemperaturzeit durch den Einsatz von PCM (► *Abbildung 1, oben*). Erste Messungen am nicht optimierten System zeigen bereits signifikante Leistungsgewinne bei gleicher Dämmwirkung durch den Einsatz passiver Kühlung (► *Abbildung 1, unten*).

- Am Helmholtz-Zentrum Berlin (HZB) entsteht aktuell (Inbetriebnahme Q1/2021) ein Neubau, dessen Fassaden ein einzigartiges Reallabor für bauwerkintegrierte Photovoltaik darstellen. Neben den 360 technisch wie gestalterisch integrierten Solarmodulen sind über 120 Sensoren und Messstellen an, in und hinter der Fassade integriert. Dadurch lässt sich das reale Verhalten der einzelnen Module, der gesamten Anlage und zahlreicher bauphysikalischer Parameter in einem Langzeit-

monitoring analysieren. Diese Daten bilden die Basis für zukünftige nationale und internationale Kooperationen.

- Darüber hinaus betreibt das HZB die Beratungsstelle für Bauwerkintegrierte Photovoltaik, BAIP. Dieses transdisziplinäre Wissenstransferprojekt, finanziert aus dem Impuls- und Vernetzungsfond der Helmholtz-Gemeinschaft (Förderkennzeichen: WT 0107), bietet eine unabhängige, produktneutrale und kostenfreie Beratung für die initialen Akteure von Bau- und Sanierungsvorhaben sowie umfangreiche Fortbildungen zum Thema BIPV für Architekt:innen, Bauverantwortliche und Planer:innen mit dem Ziel, eine Brücke zu schlagen zwischen der Photovoltaik und der Bauwelt.
- Im BMWi-geförderten Projekt „TwinPower“ (Förderkennzeichen: 032586A) wurden am ISFH notwendige Eigenschaften von photovoltaisch-thermischen-Kollektoren (PVT) als alleinige Wärmequelle für Wärmepumpen und ihren effizienten

Betrieb im System untersucht. Mit PVT-Kollektoren lässt sich die Sonne zweifach als Antriebsenergie für Wärmepumpen nutzen. Sie liefern Strom für den Betrieb der Wärmekraftmaschine und ein Wärmereservoir mit relativ hoher Temperatur, aus dem sie schöpfen kann.

Die Ergebnisse haben gezeigt, dass neben einem effizienten PVT-Kollektor (Kollektorparameter eines guten Umweltwärmetauschers mit hohen Wärmeverlustkoeffizienten) vor allem eine möglichst niedrige Bivalenztemperatur der Wärmepumpe (bis zu -15 °C) einen förderlichen Einfluss auf die Effizienz des PVT-Wärmepumpen-Systems haben.

- Auch die Integration von Lüftung im Sanierungsprozess spielt eine wichtige Rolle. Im BMWi-geförderten Projekt „FIHLS – Fassadenintegrierte Heizung+Kühlung, Lüftung und Sanitär“ (Förderkennzeichen: 03ET1401) werden wohnungszentrale sowie dezentrale Lüftungsgeräte entwickelt und optimiert, die für die Sanierung besonders geeignet sind. Auch die Verteilung von HLK und insbesondere Luftverteilungsleitungen in der Dämmebene von Mehrfamilienhäusern wird untersucht. Diese Lösung minimiert die Eingriffe in die Gebäudesubstanz und die Störung der Bewohner während der Sanierung. Die Vorteile von wohnungszentralen oder gebäudezentralen Lüftungssystemen (Wärmerückgewinnung, zentrale Wartung, Lüftungseffektivität) bleiben dabei erhalten.
- Dies wurde im abgeschlossenen EU-Projekt „Retrokrit – Toolboxes for systemic retrofitting“ (Förderkennzeichen: 314229) ebenfalls untersucht und demonstriert (► *Abbildung 2*).

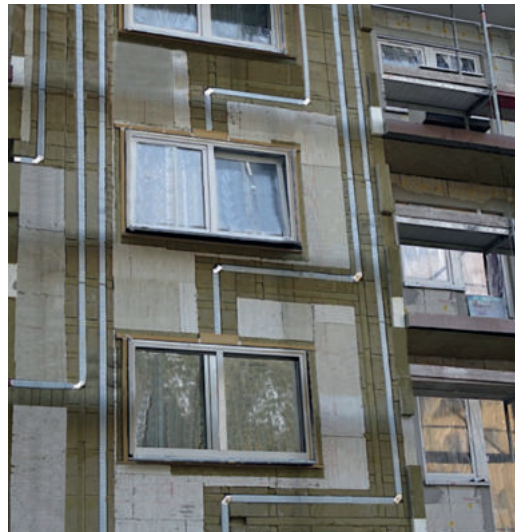


Abbildung 2

Fassadenintegrierte Lüftungsleitungen

(Quelle: Forschungsprojekt Retrokrit)

- Im BMWi-geförderten Projekt HEAVEN (Förderkennzeichen: 03ET1400) werden dezentrale Lüftungsgeräte und insbesondere Pendellüfter energetisch und raumluftechnisch untersucht, sowohl im Labor als auch im Feld. Im Rahmen dieser Forschungsaktivitäten werden auch innovative nutzerorientierte Regelungsstrategien für Lüftungsgeräte entwickelt.
- Das EU-Projekt „MOST – Molecular Solar Thermal Energy Storage System“ (Förderkennzeichen: 951801) zielt darauf ab, ein emissionsfreies Solarenergie-Speichersystem zu schaffen. Im Projekt werden Materialien entwickelt, die über den Effekt der Photoisomerie Solarenergie chemisch speichern (► *Abbildung 3*). Die so gespeicherte Energie kann dann über lange Zeiträume bei

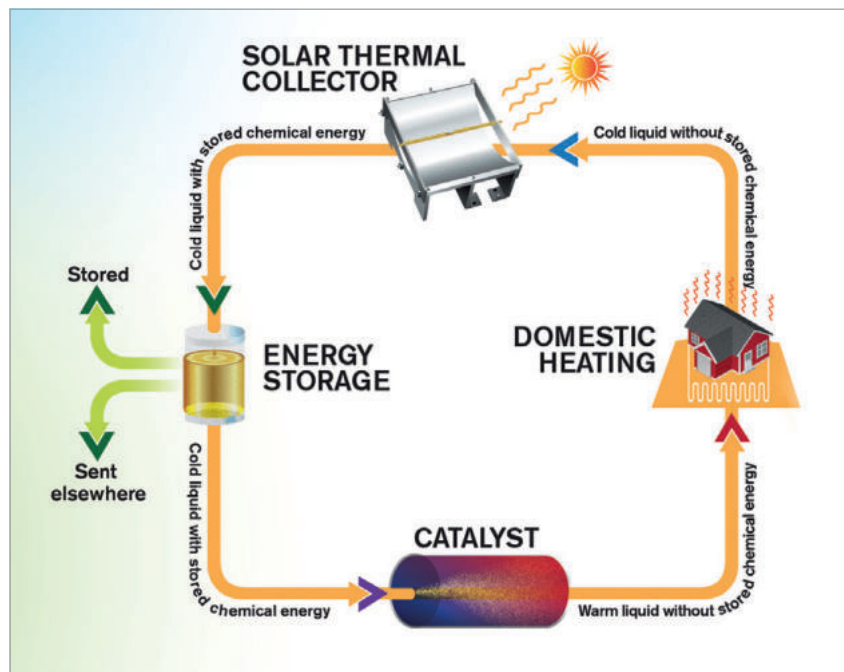


Abbildung 3

Das speziell entwickelte Molekül- und Energiesystem hat einzigartige Fähigkeiten, Sonnenenergie chemisch zu speichern.

(Quelle: IYen Strandqvist / Johan Bodell, Chalmers University of Technology)

Raumtemperatur ohne nennenswerte Verluste vorgehalten werden. Das ZAE Bayern hat im Projekt die Aufgabe, einen speziellen Hybridkollektor für die Anforderungen im Projekt, die deutlich von handelsüblichen Kollektoren abweichen, vom Funktionsmuster im Labormaßstab in mehreren Stufen zur Praxisreife zu entwickeln.

Zusammenfassung

Insgesamt ist eine deutliche Steigerung der Energieeffizienz durch die effiziente Nutzung von Energie (inklusive der Einbeziehung erneuerbarer Energien) möglich. Eine Reduktion des Energiebedarfs kann dabei durch Prozess- und Betriebsoptimierungen sowie durch die Verbesserung von Materialien, Komponenten und Systemen erreicht werden. Im Rahmen der vorgestellten Projekte existiert bereits eine umfassende Vernetzung auf europäischer Ebene zwischen Industrie, Hochschulen, Forschungsinstituten und metrologischen Staatsinstituten als Basis für innovative Entwicklungen. Ergänzend dienen Real-labore zur Demonstration der entwickelten Systeme. Der Forschungsverbund Erneuerbare Energien (FVEE) verfügt über eine breite Forschungsexpertise sowohl zur Optimierung industrieller Prozesse als auch bei innovativen Technologien für Gebäude. Darüber hinaus sind begleitende Maßnahmen der Politik zur Erhöhung der Wirtschaftlichkeit von Energieeffizienz-Lösungen wichtig zur Umsetzung der gesteckten Ziele.

Referenzen

- [1] <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=OJ:L:2018:328:FULL&from=DE>
- [2] Ebert, H.-P.; Büttner, B.; Kastner, R.; Weismann, S.; Weinläder, H.; Manara, J.; Römer, C.; Baumann, A.; Reim, M.; Beck, A. (2018): Technologiebericht 5.1 Energieeffiziente Gebäude und Gebäudetechnik. In: Wuppertal Institut, ISI, IZES (Hrsg.): Technologien für die Energiewende. Teilbericht 2 an das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi). Wuppertal, Karlsruhe, Saarbrücken

Danksagung

- Die Vorhaben mit den Förderkennzeichen 03EN3007, 03EN1012A, 032586A, 03ET1401 und 03ET1400 wurden gefördert vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages.
- Die Projekte mit den Förderkennzeichen 17IND11 und 16NRM06 wurden aus dem EMPIR-Programm, das von den teilnehmenden Staaten mitfinanziert wird, und aus dem Forschungs- und Innovationsprogramm Horizont 2020 der Europäischen Union gefördert.
- Die Projekte mit den Förderkennzeichen 314061, 314229 und 951801 wurde mit Mitteln aus dem 7. Forschungsrahmenprogramm sowie dem Forschungs- und Innovationsprogramm Horizont 2020 der Europäischen Union gefördert.
- Das Projekt mit dem Förderkennzeichen WT 0107 wird aus dem Impuls- und Vernetzungsfond der Helmholtz-Gemeinschaft finanziert.