

# SZENARIO 2050

Der Weg zur Klimaneutralität im Gebäudesektor

von Burkhard Schulze Darup

Innerhalb der EU werden bis 2050 die CO<sub>2</sub>-Emissionen um 80-95 % gesenkt werden müssen, um die globalen Klimaschutzziele zu erreichen. Im Gebäudesektor ist es im Gegensatz zu den meisten anderen Bereichen möglich, mit einem vertretbaren Aufwand und heute bereits verfügbaren Technologien 100 % Reduktion zu erreichen.

Welche Entwicklungen müssen hinsichtlich Gebäudehülle und Technik, Quartierskonzepten und Städtebau, Einsatz regenerativer Energien und Versorgungssystemen sowie kommunaler und

regionaler Klimaschutzkonzepte vorangetrieben werden, um auf Basis der Passivhaustechnologie bei Neubau und Modernisierung dieses Ziel umzusetzen und Siedlungsstrukturen zu dezentralen Energielieferanten zu entwickeln? Zur Beantwortung dieser Fragestellungen werden Effizienzkomponenten, singuläre Gebäude und städtebauliche Quartiere untersucht. Auf dieser Grundlage wird ein Szenario für Deutschland erstellt, aus dem Rahmenbedingungen für das Erreichen der Klimaneutralität bis 2050 und zugleich die daraus zu generierenden Chancen ersichtlich sind.

## Effizienz-Komponenten

		Neubau						Modernisierung					
		1980	1995	2010	2020	2030	2050	1980	1995	2010	2020	2030	2050
Wand	U [W/(m <sup>2</sup> K)]	0,24	0,16	0,12	0,1	0,08	0,06	0,40	0,25	0,15	0,12	0,10	0,08
Dach	U [W/(m <sup>2</sup> K)]	0,2	0,14	0,1	0,08	0,06	0,05	0,25	0,18	0,12	0,10	0,08	0,06
Grund	U [W/(m <sup>2</sup> K)]	0,24	0,16	0,12	0,1	0,08	0,06	0,50	0,25	0,16	0,14	0,12	0,08
Fenster	U <sub>g</sub> [W/(m <sup>2</sup> K)]	1,8	0,7	0,6	0,5	0,45	0,4	2,60	1,30	0,70	0,60	0,50	0,45
	U <sub>f</sub> [W/(m <sup>2</sup> K)]	1,8	0,8	0,7	0,6	0,55	0,5	1,80	1,60	0,90	0,70	0,60	0,55
	g-Wert	60 %	50 %	52 %	55 %	55 %	58 %	70 %	60 %	50 %	52 %	55 %	55 %
Außentür	U <sub>w</sub> [W/(m <sup>2</sup> K)]	2,6	0,85	0,75	0,6	0,4	0,3	2,6	1,5	1,2	0,75	0,6	0,4
Wärmebrücken	U <sub>WB</sub> [W/(m <sup>2</sup> K)]	0,05	0	-0,007	-0,007	-0,007	-0,007	0,1	0,05	0,03	0,025	0,020	0,015
Luftdichtheit	n <sub>50</sub> [1/h]	1,5	0,6	0,6	0,4	0,3	0,2	3	1,5	0,6	0,5	0,4	0,35
Lüftung	Wärmebereitstell.	65 %	80 %	85 %	90 %	92 %	95 %			80 %	85 %	90 %	92 %
	E-Effiz. [W/m <sup>3</sup> ]	0,8	0,45	0,4	0,35	0,3	0,27			0,45	0,4	0,35	0,3

Entwicklung von Konstruktionsstandards und Kennwerten für Neubau und Modernisierung, die in den zugeordneten Jahren mit hoher Wahrscheinlichkeit wirtschaftlich herstellbar sind. Die Kennwerte sind Grundlage der späteren Berechnungen.

Passivhauskomponenten sind in den letzten 20 Jahren mit hoher Innovationskraft kontinuierlich verbessert worden. Es ist davon auszugehen, dass sich diese Entwicklung fortsetzen wird.

**Gebäudetechnik – Heizung, Warmwasserbereitung und Prozesswärme:** In den nächsten Jahren wird ein Paradigmenwechsel im Heizanlagenbau erfolgen. Die Umsetzung von Gebäuden mit sehr hochwertiger Gebäudehülle in der Breite entzieht der bisherigen Konstruktionsweise von Heizungssystemen die Grundlage. Folgende Aspekte müssen bei der Konzeption bedacht werden:

- Die Heizwärmelast von demnächst deutlich unter 10 W/m<sup>2</sup> ermöglicht einfachste Heizsysteme, die Synergien mit Lüftungstechnik und Warmwasserbereitung nutzen müssen, wie es bereits beim Wärmepumpenkompaktaggregat umsetzbar ist. Der erhöhten Investition in die Gebäudehülle steht eine Reduktion bei der „klassischen“ Gebäudetechnik entgegen. Allerdings wird das Gesamtpaket Gebäudetechnik durch Lüftungsanlagen und Einsatz erneuerbarer Energien an Umfang zunehmen.

- Warmwasserbereitstellung übersteigt vom Energiebedarf zunehmend den Heizbereich mit der daraus erwachsenden Anforderung, effizientere Systeme zu entwickeln. Parallel dazu ist Solarthermie – synergetisch mit Photovoltaik – weiter zu entwickeln.

- Teure Heizungsregelungs-, Monitoring- und Abrechnungstechniken sind in Zukunft unnötig und stellen bei integraler Kommunikationstechnik nur kleine Zusatzmodule dar, die zusammen mit der Unterhaltungselektronik im Handyformat untergebracht werden können.

- Die Energie- und Wärmeflüsse im Wohnbereich legen nahe, Küchentechnik integral mit der Gebäudetechnik zu verbinden.

- Hocheffiziente Gebäude verändern Versorgungsstrukturen auf städtebaulicher Ebene. Eine monovalente Stromversorgung wird in Einfamilienhausgebieten zum Standard werden.

**Strom:** Haushalts-, Betriebs- und Hilfsstrom müssen in die Planung gezielt einbezogen und optimiert werden. Diese Einsparungen können kostengünstig erreicht werden und schaffen Vorteile hinsichtlich des sommerlichen Wärmeschutzes.

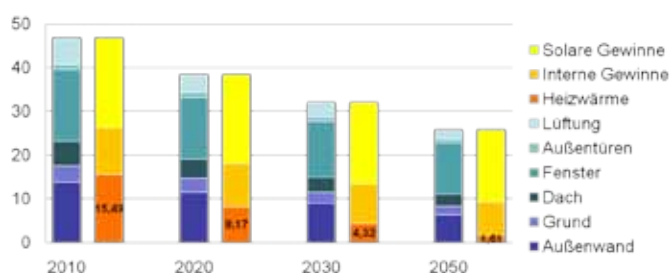
**Sommerlicher Wärmeschutz und Kühlung:** Die hochwertige Gebäudehülle birgt durchweg Vorteile für den sommerlichen Wärmeschutz, wenn eine gezielte Planung der transparenten Flächen und deren Verschattung durchgeführt wird. Bei Einsatz von genügend aktivierbarer Gebäudemasse kann die sommerliche Temperatur allein durch passive Maßnahmen im komfortablen Bereich gehalten werden.

**Erneuerbare Energien:** Die Einbeziehung erneuerbarer Energien für Gebäudetechnik und Stromversorgung wird zur zentralen Aufgabe der Objekt- und Bebauungsplanung.

Entwicklung am Beispiel von Projekten

Anhand von Optimierungsplanungen und ausgeführten Projekten wird das Potenzial der weiteren Entwicklung bis 2050 dargestellt. Dafür wurden auf Basis der oben dargestellten Komponentenentwicklungen Berechnungen nach Passivhaus Projektierungs Paket (PHPP 2007) für charakteristische Gebäude erstellt bzw. auf aktuelle Gutachten zurückgegriffen.

**Einfamilien-, Doppel- und Reihenhäuser:** Der Passivhaus-Nachweis bedingt für freistehende Einfamilienhäuser die höchsten Anforderungen, da der geforderte Heizwärmebedarf mit 15 kWh/(m²a) konstant ist und kleine Gebäude den höchsten Wärmeschutz benötigen. Als Beispiel wurde ein zweigeschossiges Einfamilienhaus mit etwa 130 m² Wohnfläche gewählt.

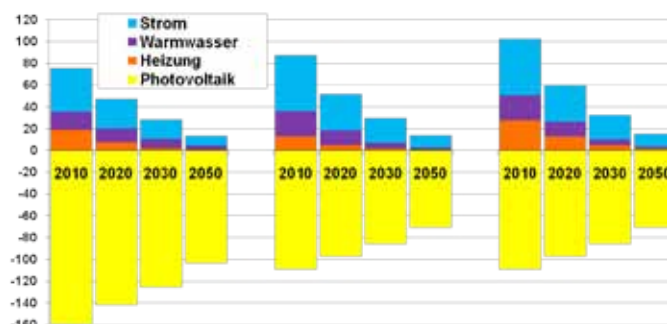


Passivhausbilanzierung gemäß Komponenten in Tabelle 1 am Beispiel eines Einfamilienhauses

**Mehrfamilienhaus – Neubau:** Nach dem gleichen Ansatz wie bei den Einfamilienhäusern wurden die Entwicklungen für Heizwärme-, Endenergie- und Primärenergiebedarf am Beispiel eines dreigeschossigen Mehrfamilienhauses mit 24 Wohnungen á 75 m² Wohnfläche berechnet (vgl. Abbildung 2).

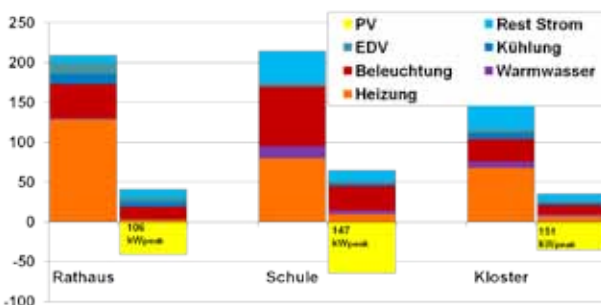
**Mehrfamilienhaus – Sanierung:** Die Besonderheiten der Sanierung werden im Vergleich zum Mehrfamilienhaus an einem Sanierungsobjekt mit gleicher Gebäudegeometrie aufgezeigt. Die Berechnung nach PHPP ergibt für den Standard 2010 (s. Abb. 2) mit einem Heizwärmebedarf knapp über 20 kWh/(m²a) charakte-

ristische Bedarfswerte, wie sie in den letzten Jahren bei der Faktor 10 Sanierung erzielt wurden.



Optimierungsberechnungen nach PHPP für Einfamilienhaus, Mehrfamilienhaus und MFH-Sanierung: Gegenübergestellt werden die möglichen Erträge durch eine Photovoltaikanlage in der Dachfläche.

**Nichtwohngebäude:** Anhand von drei Beispielen von Nichtwohngebäuden, für die jeweils Modernisierungs- und Neubaukonzepte durchgeführt wurden und die z. T. derzeit im Bau sind, wird in Abbildung 5 jeweils die Bilanzierung ihrer Primärenergiekennwerte und ein Ansatz für deren Substitution durch Photovoltaik dargestellt. Die Flächen der PV-Anlagen sind jeweils in das Gebäude bzw. Gelände integrierbar.



Beispiel Modernisierung Nichtwohngebäude: Primärenergiebilanzierung der Bedarfswerte für Heizung, Warmwasser, Kühlung, Beleuchtung, EDV und Reststrom vor und nach Sanierung

**Büro/Verwaltung:** Das Rathaus Herzogenaurach mit 5981 m² beheizter Fläche benötigt zum Nullenergiestandard eine PV-Anlage von 106 kWpeak.

**Schule:** Die Realschule Feuchtwangen mit 5283 m² beheizter Fläche würde durch 147 kWpeak vollständig bilanziell versorgt.

**Kloster:** Eine Besonderheit hinsichtlich der Nachhaltigkeit ist das Kloster Plankstetten, wo Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen auf mindestens 100 Jahre erfolgen. Die Hackschnitzelheizung

verwendet Rohstoffe aus eigenen Ressourcen, die PV-Fläche der Anlage mit 151 kW<sub>peak</sub> kann in die Baustruktur integriert werden.

**Entwicklung am Beispiel von Quartieren und Kommunen**  
Die Ergebnisse für einzelne Gebäude lassen sich auf Quartiersebenen übertragen. Daraus können Ableitungen für die zukunfts-fähige Gestaltung von Städten und Regionen erstellt werden.

**Parkwohnanlage Nürnberg-West:** Für die Wohnsiedlung mit 1030 Wohneinheiten im Südwesten des Innenstadtgürtels in Nürnberg wurde ein energetisch hochwertiges Konzept erstellt. Aufbauend auf der im Gebiet modellhaft ausgeführten Faktor 10 Sanierung in Verbindung mit der primärenergetisch hochwertigen Fernwärme lässt sich ein Plusenergiekonzept grundsätzlich darstellen.

**Wohnpark Strubergasse Salzburg:** Das Modernisierungskonzept für das Salzburger Wohngebiet mit 480 Wohneinheiten sieht im Zuge der Modernisierung eine Nachverdichtung um 70 Wohneinheiten vor und zeigt den Weg auf, wie bauabschnittsweise eine Plusenergiebilanz erzielt werden kann. Die energetische Bilanzierung für Heizung, Warmwasser und Strom nach Nutzenergie ergibt einen Primärenergiebedarf von 2360 MWh/a. Dem steht ein möglicher primärenergetischer Photovoltaik-Ertrag im Gebiet von 3284 MWh/a gegenüber.

**Stadt Neumarkt i. d. Opf.:** Die Stadt Neumarkt ist aufgrund der städtischen und regionalen Struktur sowie der hohen Dichte an Bauindustrie prädestiniert, den Status einer Zero Emission City innerhalb von zwei bis drei Jahrzehnten erreichen zu können. Auf Basis eines Klimaschutzgutachtens in Verbindung mit einer Strategiestudie wurde 2009 ein hoch ausgestattetes Förderprogramm zur Energieeffizienz und zum Klimaschutz beschlossen. Drei Faktoren sind von Bedeutung: hohe Effizienz der Modernisierungen, Erhöhung der Sanierungsquote von 1,6 auf 3,5 % pro Jahr ab 2015 und sukzessive Verbesserung des Versorgungssystems. Im Jahr 2035 ist die Klimaneutralität erreichbar. Der verbleibende Verbrauch von 144,8 GWh/a kann vollständig regenerativ bereit gestellt werden.

**Städte Nürnberg und München:** Das Klimaschutzziel der Stadt Nürnberg sieht eine Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen um 80 % bis 2050 vor. Eine Fortschreibung des bisherigen Klimaschutzfahrplans auf einen Zeithorizont bis 2050 wird derzeit durchgeführt. Die Stadt München hat sich zum Ziel gesetzt, ihre CO<sub>2</sub>-Emissionen bis 2030 um 50 % zu reduzieren und zum 900. Stadtjubiläum 2058 klimaneutral zu sein.

### Versorgungskonzepte

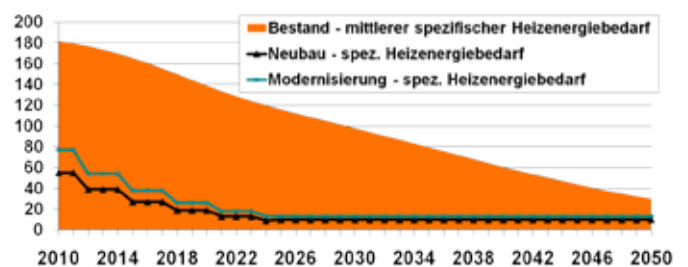
Bei den Bilanzierungen in den vorherigen Abschnitten wurde jeweils eine Gegenüberstellung mit Photovoltaik als regenerativer „Leitwährung“ durchgeführt, um für das jeweilige System vom Einzelobjekt über das Quartier bis zum städtisch-regionalen Verbund nachzuweisen, dass eine bilanzielle Klimaneutralität erzielbar ist. Grundsätzlich sollte angestrebt werden, ein hohes

Maß regenerativer Energiegewinnung innerhalb des Siedlungsverbunds zu erzielen. Wirklich sinnvoll ist aber eine regionale Betrachtung, bei der die Schwankungen des Tages- und Jahresgangs über eine differenzierte Leistungsregelung sowie Zu- und Abschalten von Modulen auf der Bereitstellungs- und Abnehmerseite ausgeglichen und Versorgungssicherheit gewährleistet werden können. Solche integral vernetzten Versorgungssysteme bergen gegenüber der bisherigen Praxis großer zentraler Kraftwerke ein hohes Maß an Versorgungssicherheit und können regenerative Energien sinnvoll einbinden. Mittelfristig kann auf diesem Weg regenerative Vollversorgung gewährleistet werden.

### Extrapolation der Ergebnisse auf Deutschland

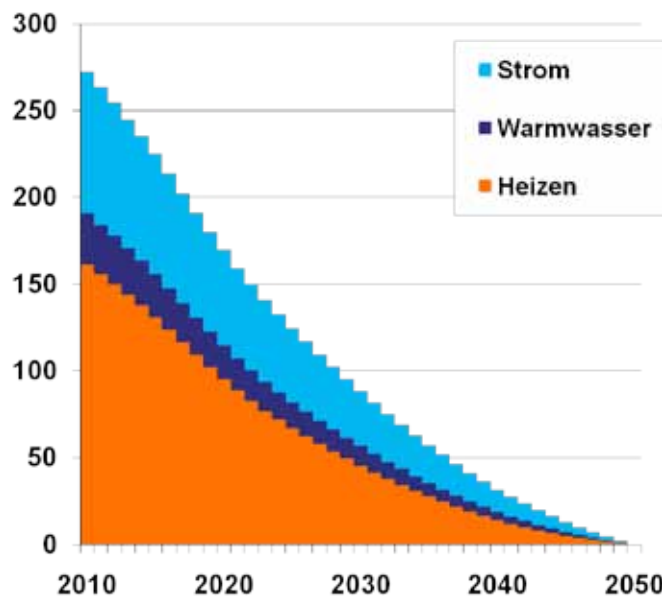
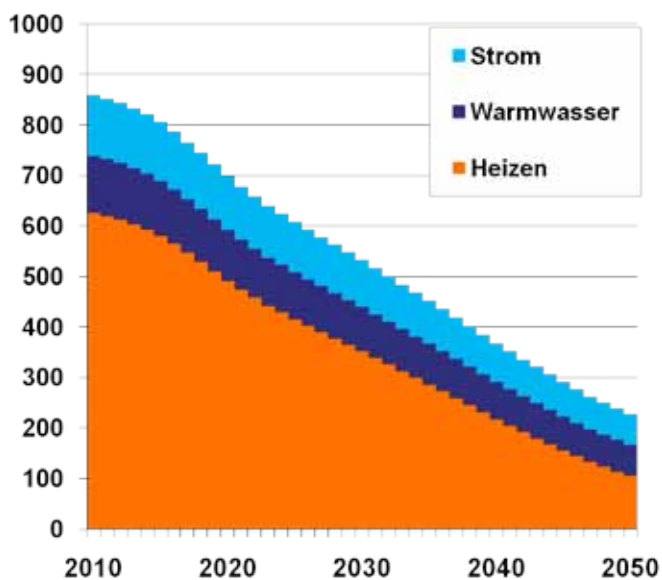
**Methodik und Bilanzierungsgrenzen:** Aufbauend auf den dargestellten Rahmenbedingungen wird ein Szenario zur Klimaneutralität im Wohngebäudebestand bis 2050 für die BRD entworfen. Mit Hilfe eines Verfahrens, das an die Methodik des betriebswirtschaftlich vollständigen Finanzplans angelehnt ist, wurde die jährliche Entwicklung über die nächsten 40 Jahre abgebildet. Als Voraussetzungen für das Erreichen des Ziels Klimaneutralität bis 2050 lassen sich folgende wesentliche Grundannahmen zum Erreichen des ehrgeizigen Klimaschutzziels zusammenfassen:

Optimierter spezifischer Heizwärmebedarf: Da bis 2050 nur noch ein Investitionszyklus für Neubau und Modernisierung gegeben ist, müssen Maßnahmen an der thermischen Gebäudehülle in ihren Erneuerungszyklen optimiert werden. Jedes Bauteil, das suboptimal modernisiert oder erstellt wird, belastet die Bilanz deutlich bzw. muss bereits vor 2050, also vor Ablauf der Nutzungsdauer, nochmals saniert werden.

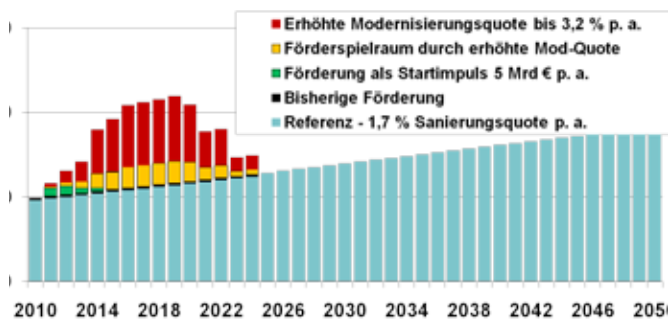


Spezifischer Heizenergiebedarf für Neubau und Modernisierung innerhalb des Szenarios sowie der resultierende mittlere Heizenergiebedarf für den Gesamtbestand

**Modernisierungs- und Neubauvolumina:** Die jährliche Neubauquote im Vergleich zum Gebäudebestand beträgt in den letzten Jahren 0,6 %. Dieser Wert wurde in der Modellrechnung bis 2015 in Ansatz gebracht, danach 0,5 % und ab 2040 0,4 % bei real



Entwicklung des Endenergiebedarfs (links) und der CO<sub>2</sub>-Emissionen im Wohngebäudesektor



Investitionsvolumen, das durch die Erhöhung der Modernisierungsquote von 1,7 auf 3,2 in Richtung von 40 Mrd. Euro jährlich erhöht wird.

sinkendem Gesamtvolumen. Die Abrisstätigkeit wird bis 2015 mit 0,2 % veranschlagt, danach mit 0,3 %. Ab 2025 beträgt die Abrisquote demografisch bedingt 0,4 % und steigert sich bis 2036 auf 0,6 %. Die Modernisierungsquote wird grundsätzlich mit 1,7 % angesetzt und für den Zeitraum 2014 bis 2025 bis zu 3,2 %.

Investitionsvolumen und wirtschaftliche Auswirkungen: Die zusätzlichen Investitionen in diesem Sektor gehen in den Kernjahren 2014 bis 2020 in Richtung von 40 Mrd. Euro jährlich. Etwa 25 % dieses erhöhten Betrags kann volkswirtschaftlich neutral durch Effekte wie Mehrwertsteuereinnahmen, Einsparung von Arbeitslosenzuflüssen und erhöhtem Zufluss von Sozialabgaben und Steuermitteln zur Induzierung dieses Prozesses in Form von Förderungen investiert werden. Dieses Förderpotenzial liegt etwa eine Zehnerpotenz höher als die Mittel, die in den letzten Jahren über die KfW ausgereicht wurden. Als Anschubimpuls ist ein bundesweites Förderprogramm mit einem Gesamtvolumen von

5 Mrd. Euro jährlich erforderlich, in dessen Folge ein jährliches Fördervolumen von bis zu 10 Mrd. Euro von 2015 bis 2020 volkswirtschaftlich neutral zur Verfügung stünde. Durch diese Investitionen wird eine hohe regionale Wertschöpfung induziert, es werden Energieimporte ersetzt, die Außenhandelsbilanz verbessert und langfristig hochwertige Arbeitsplätze gesichert.

#### Fazit

Klimaschutzmaßnahmen im Gebäudesektor wirken in hohem Maß im Sinn einer Win-win-Strategie. Entgegen der traditionell eher bewahrenden Haltung der Bauwirtschaft kann dieser volkswirtschaftliche Mehrwert vor allem dadurch realisiert werden, dass kurzfristig durchgreifende Impulse gesetzt werden und die marktreif vorhandenen Techniken und Komponenten zum Klimaschutz zeitnah in breitenwirksamer Form eingesetzt werden. Bei schneller Umsetzung in der Breite bleibt der Vorsprung der deutschen Industrie in der Effizienztechnik und dem Bereich der erneuerbaren Energien erhalten. Schnelles zukunftsfähiges Handeln ist Verpflichtung und Chance gleichermaßen – sowohl im regionalen wie im nationalen Rahmen.



**DR. BURKHARD SCHULZE DARUP**  
führt seit 1987 als freischaffender Architekt zahlreiche Sanierungs- und Neubauprojekte im Sinne der Ressourceneffizienz und passiver Solarchitektur unter Anwendung von Niedrigenergie- und Passivhaus-Komponenten durch. Er hält Vorträge, gibt Seminare und arbeitet in Gremien und an zahlreichen Forschungsprojekten.