

Energieoptimiertes Bauen

Status Quo und Perspektiven eines Förderprogramms des BMWi

K. Voss, G. Spars, Wuppertal,
A. Wagner, Th. Lützkendorf,
Karlsruhe

Die schnelle Umsetzung in die Praxis und die wissenschaftliche Untersuchung von neuen Energieeffizienz-Technologien im realen Kontext sind wesentliche Zielsetzungen in der Forschungsförderung des BMWi. Dies spiegelt sich in den verschiedenen Förderlinien für Demonstrationsprojekte wieder, die von Einzelgebäuden □ „EnBau“ für Neubauten □ „EnSan“ für Sanierungen mit einem speziellen Fokus auf Schulen (EnEff:Schule) bis hin zu Quartieren im Rahmen von EnEff:Stadt und seit 2011 in EnEff:Campus reichen. Die Kontinuität des Förderprogramms unterstreicht die Bedeutung, die dem Gebäudesektor im Rahmen des nationalen Energiekonzepts und Energieforschungsprogramms beigemessen wird [1, 2].

Autoren

Prof. Dr.-Ing. Karsten Voss, Lehr- und Forschungsgebiet Bauphysik und Technische Gebäudeausrüstung, Bergische Universität Wuppertal.

Prof. Dr.-Ing. habil. Guido Spars, Lehr- und Forschungsgebiet Ökonomie des Planes und Bauens, Bergische Universität Wuppertal

Prof. Andreas Wagner, Fachgebiet Bauphysik und Technischer Ausbau, Karlsruher Institut für Technologie.

Prof. Dr.-Ing. habil. Thomas Lützkendorf, Lehrstuhl Ökonomie und Ökologie des Wohnungsbaus, Karlsruher Institut für Technologie.

Im Rahmen des Förderkonzepts Energieoptimiertes Bauen – kurz EnOB – fördert das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) als Teil des Energieforschungsprogramms bereits seit 1995 die Planung, die Erstellung und die Evaluierung des Betriebs von Demonstrationsgebäuden. Dabei geht es um forschungsintensive Projekte in den Bereichen Neubau und Bauen im Bestand. Eine dazugehörige Begleitforschung ist u. a. verantwortlich für Queranalysen sowie die Zusammenfassung und Kommunikation relevanter Ergebnisse. Projektanträge können auch zukünftig eingereicht werden.

Projekte

Bislang wurden 53 Einzelbauten einem mindestens zwei Jahre dauernden und inzwischen abgeschlossenen Monitoring unterzogen und bewertet, weitere 23 Gebäude befinden sich in der Planung, im Bau oder aktuell im Monitoring. Unter den Pilotzertifizierungen gemäß dem Deutschen Gütesiegel Nachhaltiges Bauen waren die drei höchst dotierten Bauten jeweils EnOB-Projekte [3].

Tabelle 1 zeigt, dass die Mehrheit der untersuchten Neubauten der Nutzungsart Büro und Verwaltung zugeordnet werden können, während bei den Sanierungen die Wohngebäude dominieren. Detaillierte Angaben zu jedem Projekt – Gebäude- und Energiekonzept, Energiekennzahlen, Forschungsfokus bis hin zum Forschungsbericht – werden über das Internetportal www.enob.info zur Verfügung gestellt. Ergänzend stehen dort Querschnittsanalysen zu Themenschwerpunkten wie Energiekennwerte, Wirtschaftlichkeit, Nutzerzufriedenheit sowie weiteren Informationen aus dem

Kontext des gesamten Forschungsprogramms zum Abruf bereit. Mit über 160 000 Zugriffen im Jahr 2010 – davon 10 bis 15 % auf den englischsprachigen Teil – zählt das Portal zu den wichtigsten Informationsquellen auf seinem Gebiet.

Mit zwei viel beachteten Wettbewerben unter dem Titel „Architektur mit Energie“ wurden 2009 und 2011 innovative, projektierte Bauvorhaben mit einem BMWi-Preis ausgezeichnet. Neben der Stimulanz für den breiteren Einsatz von Energieeffizienz-Technologien war die Intention, das Spektrum der Demonstrationsprojekte gezielt um neue Gebäudetypologien mit den dazugehörigen neuen Fragestellungen und tech-

Tabelle 1

Kategorisierung der bislang untersuchten Gebäude in den Förderlinien EnBau und EnSan, Stand 9/2011 (Quelle: Universität Wuppertal)

| Typologie | Laufende Projekte | | Abgeschlossene Projekte | | Summe |
|--------------------|-------------------|----------|-------------------------|-----------|-----------|
| | EnBau | EnSan | EnBau | EnSan | |
| Wohnen | 0 | 0 | 0 | 10 | 10 |
| Verwaltung | 1 | 0 | 16 | 5 | 22 |
| Produktion | 0 | 1 | 4 | 0 | 5 |
| Institute, Schulen | 3 | 5 | 4 | 6 | 18 |
| Verkaufsstätten | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| Bäder | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| Krankenhäuser | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| Wohnheime | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 |
| Museen | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| Experimentalbauten | 3 | 0 | 5 | 0 | 8 |
| Summe | 10 | 7 | 30 | 23 | 70 |

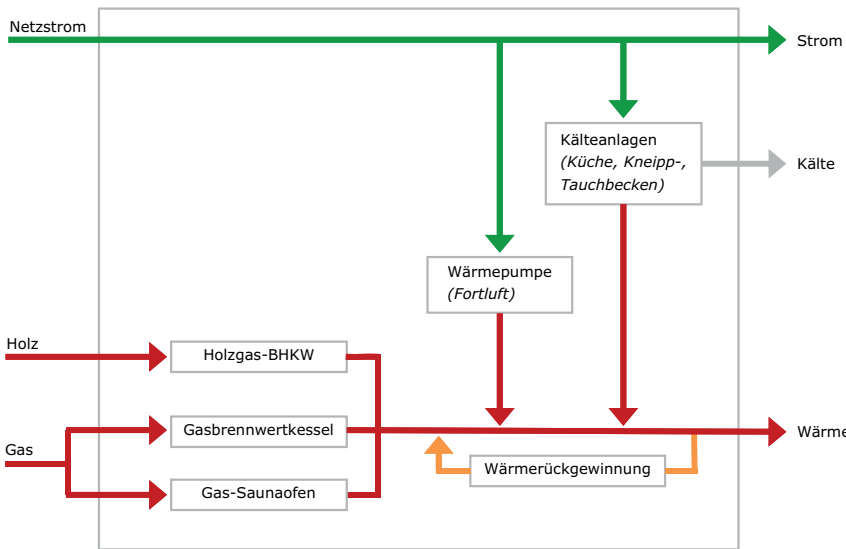


Bild 1

Energieversorgungsschema für das Passivhaus-Hallenbad „Bambados“ in Bamberg

Bild: Passivhaus Institut

der klimaneutralen Strombereitstellung daher eine hohe Bedeutung auf dem Weg zu klimaneutralen Gebäuden zu.

Die Messdaten ausgewählter Projekte werden nach der eigentlichen Projektlaufzeit im Rahmen eines automatisierten Langzeitmonitorings weiterhin in einer Datenbank erfasst. Nach Anmeldung via *enob.info* sind diese Daten für

nologischen Aspekten zu erweitern. Bis dato zählen bereits Museen, zwei Hallenbäder, ein Supermarkt und ein Krankenhaus dazu (Bilder 1, 2). Hotels und weitere Nutzungsarten befinden sich in der Vorbereitungsphase. Durch das Begleitforschungsprogramm werden für ausgewählte Typologien Querschnittsuntersuchungen erstellt.

Energiekennwerte

Ein detailliertes Energiemonitoring ist neben der Raumklimaanalyse Grundbestandteil aller Demonstrationsprojekte. Daher liegen bereits umfangreiche Erfahrungen über den Energieverbrauch, die Aufteilung auf die Energiedienstleistungen und die zeitliche Entwicklung seit Inbetriebnahme der Gebäude vor. Unter *enob.info* ist eine übersichtliche grafische Auswertung abrufbar, die jährlich aktualisiert wird. Aufgrund ihres hohen Anteils an den bisher untersuchten Objekten können Querschnittserhebungen vor allem für Büro- und Verwaltungsgebäude erstellt werden. Bild 3 zeigt dazu die flächengewichteten gemittelten Verbrauchsdaten, aufgeteilt auf den Energieträger Strom und die verschiedenen Energieträger zur Deckung des Wärmeverbrauchs¹⁾. Der mittlere Heizwärmeverbrauch lag bei 56,3 kWh/m²a, der Beleuchtungsstromverbrauch bei 6,8 kWh/m²a. Einschließlich aller nutzungsbedingten Stromverbräuche liegt der Endenergiekennwert mit 110 kWh/m²a knapp 45 % unter dem BMVBS-Vergleichswert gemäß EnEV 2009 [4]. Der hohe Einfluss der nutzungsspezifischen Stromverbräuche (EDV etc.) relativiert die baulich und anlagentechnisch erreichten Einsparerfolge. Über 30 % der Endenergie und fast die Hälfte der Primärenergie gehen bei

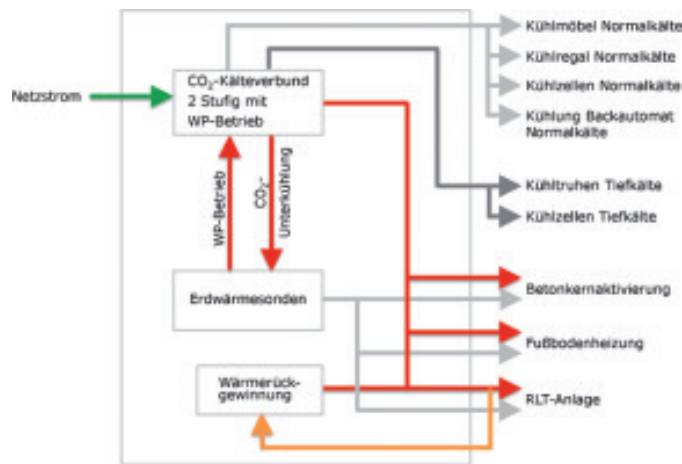


Bild 2

Energieversorgungsschema für die Filiale eines großen Discounters in Rastatt

Bild: Fraunhofer ISE

den EnOB-Gebäuden auf das Konto dieser Verbrauchsgruppe. Dies verdeutlicht weitere Einsparpotentiale jenseits der EnEV-üblichen Betrachtung. Die Klimagasemissionen (CO₂-Äquivalente) liegen bei rund 37 kg/m²a und werden zu 76 % vom Stromverbrauch dominiert. Neben weiteren Effizienzsteigerungen kommt

wissenschaftliche Zwecke frei zugänglich. Aktuell werden zehn Gebäude in der Datenbank geführt. Mit diesen Daten können Anlagenbetriebsmuster automatisiert ausgewertet oder die Gebäudeperformance hinsichtlich gleich bleibender Qualität über längere Zeiträume verfolgt werden.

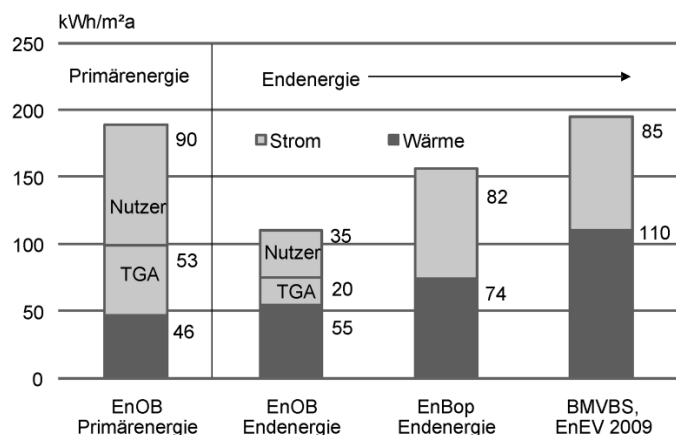


Bild 3

Flächengewichtete Energiekennwerte von 12 EnOB Verwaltungsbauten (Endenergie- und Primärenergie) verglichen mit den Daten gemäß BMVBS Bekanntmachung für verbrauchsbasierte Energiepässe [4] sowie einer Querschnittserhebung aus rund 30 modernen Bürogebäuden neueren Datums gemäß einer Evaluierung im Förderprojekt EnBop [5]. Primärenergiefaktoren der EnOB-Bauten gemäß DIN V 18599, Teil 1. Flächenbezug für alle: NGF_{beheizt}

¹⁾ Sämtliche genannten Kennwerte beziehen sich auf die beheizte Nettogeschossfläche.

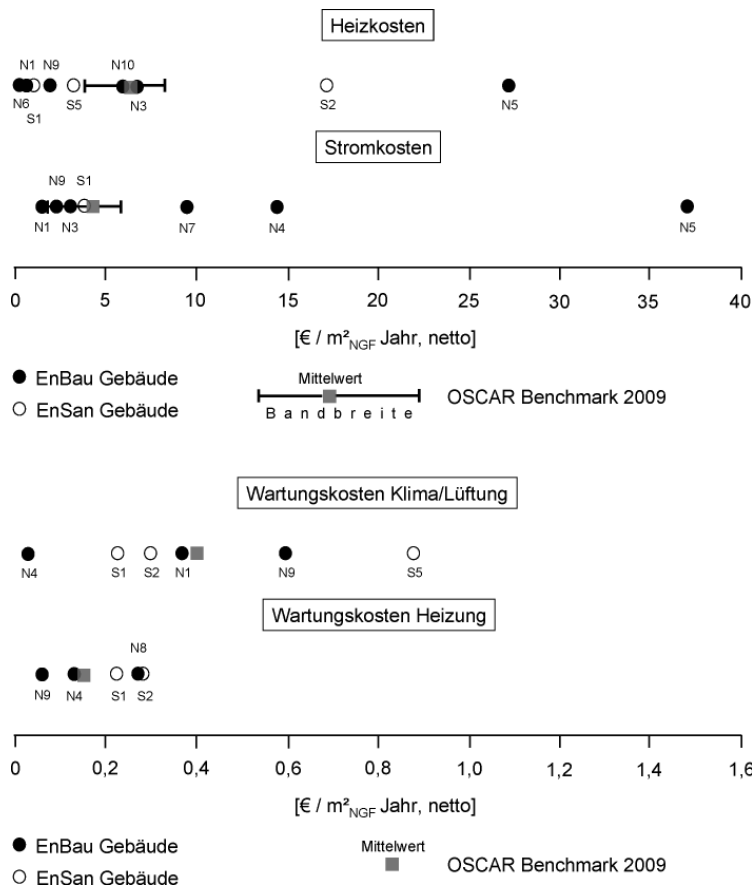


Bild 4

Auswertung der Heiz-, Strom- und Wartungskosten ausgewählter EnOB-Objekte aus der Gruppe der Büro- und Verwaltungsgebäude
 Dargestellt werden auf realen Daten basierende Kostenkennwerte im Vergleich zu einem Durchschnittswert bzw. einer Bandbreite von Werten. Gewählt wurde als Benchmark die Bürokostenanalyse OSCAR von Jones Lang

Bild: KIT, ÖÖW

mit anschließender Ermittlung der Energiekosten.

Der aktuelle Umgang mit der Erhebung und Auswertung von Nutzungskosten in der Praxis führt noch zu Lücken und Schwierigkeiten bei der Informationsbeschaffung. Es wird daher angeregt, die Erfassung von Nutzungskosten – aber auch der Zuverlässigkeit von Bauteilen und Systemen – in das Langzeitmonitoring zu integrieren, s. o.. Erste Auswertungen zur Höhe der Wartungskosten bei energieeffizienten Gebäuden zeigen, dass diese trotz komplexer Haustechnik nicht über denen vergleichbarer konventioneller Objekte liegen müssen (Bild 4). Zur Höhe der Instandhaltungskosten fehlen noch geeignete Daten bzw. verlässliche Ansätze zur objektkonkreten und lösungsspezifischen Abschätzung in frühen Phasen der Planung. Künftig werden noch stärker Wartungs- und Vollwartungsverträge analysiert.

Trotz intensiver Normungsbemühungen sowie der im Rahmen von Zertifizierungssystemen entwickelten Konventionen existieren noch methodische Fragen bei der Lebenszykluskostenrechnung. Ihr Ergebnis wird stark durch die Annahmen und die Randbedingungen der Berechnung beeinflusst. Die Besonderheiten der häufig verwendeten Kapitalwertmethode mit definiertem Kalkulationszinssatz führen in der Tendenz zu einer Abschwächung der Bedeutung künftiger Energiekostensparnis. Es bleibt abzuwarten, ob und inwieweit die Berücksichtigung von Energiepreiszuschlägen infolge externer Effekte, die Berücksichtigung von Effekten auf die Finanzierungs- und Versicherungskosten, die Berücksichtigung des Energiepreisänderungsrisikos oder die Umstellung der Methode auf eine annuitätische Betrachtung den Nachweis der ökonomischen Vorteilhaftigkeit erleichtern. Hier ergibt sich weiterer Forschungsbedarf.

Nutzerzufriedenheit

Neben energetischen und ökonomischen Kennwerten ist die Nutzerakzeptanz

Wirtschaftlichkeit

Eine wesentliche Voraussetzung für die stärkere Verbreitung von energieeffizientem Bauen ist neben der Lösung technischer Fragen sowie planerischer, baulicher und betriebstechnischer Aufgaben der Nachweis ihrer Wirtschaftlichkeit. Um den verbreiteten Vorurteilen bezüglich eines deutlich erhöhten Investitionsaufwandes für energieoptimierte Gebäude zu begegnen, wurden seit Beginn des EnOB-Programms die abgerechneten Baukosten der Projekte erhoben, ausgewertet und mit dem durchschnittlichen Kostenrahmen für konventionelle Objekte der entsprechenden Gebäude- und Nutzungsart gemäß Angaben des Baukosteninformationszentrums Deutscher Architektenkammern (BKI) verglichen. Bisher wurden die Baukosten von 10 Objekten im Detail analysiert und im Interesse der Sicherung einer Vergleichbarkeit auf einen einheitlichen Preisstand umgerechnet. Für neu errichtete Büro- und Verwaltungsgebäude konnte festgestellt werden, dass sich anspruchsvolle Energiekonzepte gemäß aktueller EnOB-Ziele entweder im Kostenrahmen konventioneller Gebäude bzw. mit investiven Mehrkosten kleiner als 5 % realisieren lassen.

Bei der Beurteilung der ökonomischen Vorteilhaftigkeit von baulichen Lösungen wird inzwischen zur Ermittlung und Bewertung der Lebenszykluskosten übergegangen. In Teilen der Wissen-

schaft und Politik existiert die Erwartungshaltung, dass energieeffiziente Gebäude neben einer Ressourcenschonung, Umweltentlastung und Verbesserung des Komforts zu einer Verringerung der Lebenszykluskosten führen. Zu deren Ermittlung ist neben der Analyse der Baukosten die Berechnung bzw. Erfassung der Nutzungskosten im Lebenszyklus erforderlich. Hierauf konzentrieren sich die aktuellen Forschungsaktivitäten der am Projekt beteiligten Lehrstühle mit bauwirtschaftlicher Ausprägung [6, 7]. Für 15 Objekte (10 Neubauten und 5 Sanierungen) wurden Daten ausgewertet. Erste Ergebnisse zeigen, dass i. d. R. geringere gebäudebedingte Energiekosten tatsächlich feststellbar sind (Bild 4). Voraussetzung ist, dass sowohl Verbräuche als auch Kosten in einen gebäude- und einen nutzer- bzw. nutzungsbedingten Anteil unterschieden werden können. Im Minimum setzt dies die Planung und Realisierung eines entsprechenden Messkonzeptes mit Konsequenzen für die Kostenrechnung voraus. Eine weitere Erkenntnis ist, dass in der Immobilienwirtschaft verbreitete Kennwerte zur Abschätzung zu erwartender Energiekosten in frühen Phasen der Planung deutlich unterschritten werden und insofern nicht geeignet sind. Empfohlen wird die objektkonkrete Abschätzung des zu erwartenden Aufwandes an Endenergie (je Energieträger)

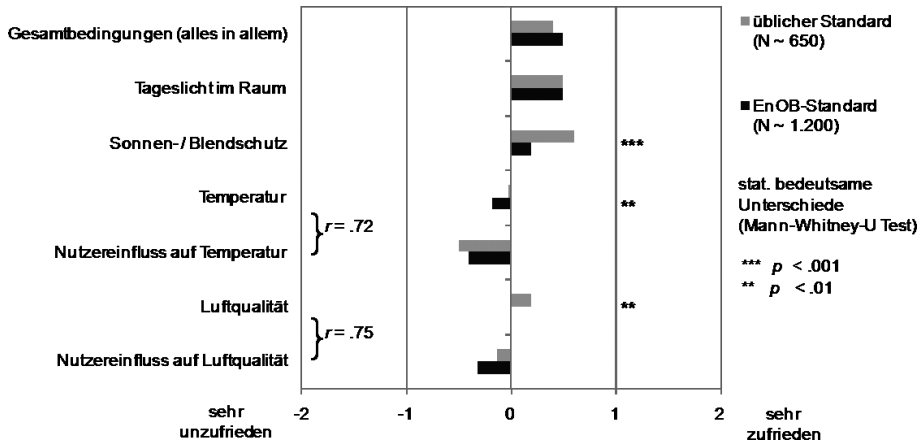


Bild 5

Ergebnisse der Nutzerbefragungen zu Gesamtbedingungen und energierelevanten Einflussgrößen für den Sommer

Statistische Tests:

p = Maß für statistisch bedeutsame Gruppenunterschiede (hier Mann-Whitney-U Test für ordinal skalierte Variablen). Je kleiner der p -Wert, desto mehr spricht das Ergebnis dagegen, dass kein Unterschied zwischen den Gruppen besteht. Folgende Konvention besteht zu den Signifikanzniveaus: $p < .05^*$ signifikant, $p < .01^{**}$ hoch signifikant, $p < .001^{***}$ höchst signifikant

r = Koeffizient für die Korrelation (Zusammenhang) zwischen zwei Merkmalen (z.B. Temperatur und Nutzereinfluss auf Temperatur). Bei einem Korrelationskoeffizienten r mit dem Wert 1 besteht ein vollständiger positiver linearer Zusammenhang zwischen den Merkmalen, bei dem Wert 0 besteht kein Zusammenhang, bei -1 ein vollständiger negativer linearer Zusammenhang

tanz ein entscheidender Faktor bei der Beurteilung der Gebäudeperformance. Im Rahmen einer Querschnittsuntersuchung wurde den Fragen nachgegangen, wie sich Gebäude bzw. Konzepte zur Raumkonditionierung im realen Betrieb aus Sicht der Nutzer bewähren und welche Einflussfaktoren sich als bedeutsam für die Nutzerzufriedenheitsanalyse erweisen. Die dazu erforderlichen Erhebungen basierten auf einem eigens entwickelten Fragebogen [8, 9]. Zur Auswertung standen insgesamt über 3 600 Datensätze aus 43 Gebäuden zur Verfügung, die sich nahezu gleichmäßig auf Bürogebäude mit üblichem Baustandard (Baujahre 1900–2004) und „EnOB-Standard“ verteilen (ab Baujahr 1999).

Bei der Bewertung der Raumklimaparameter (inklusive Tageslichtangebot) schneidet der „EnOB-Standard“ nicht zwangsläufig besser ab, insbesondere im Sommer werden die Parameter Raumtemperatur und Luftqualität z. T. schlechter bewertet als in herkömmlichen Gebäuden. Außerdem werden diese Größen in beiden Gebäudegrup-

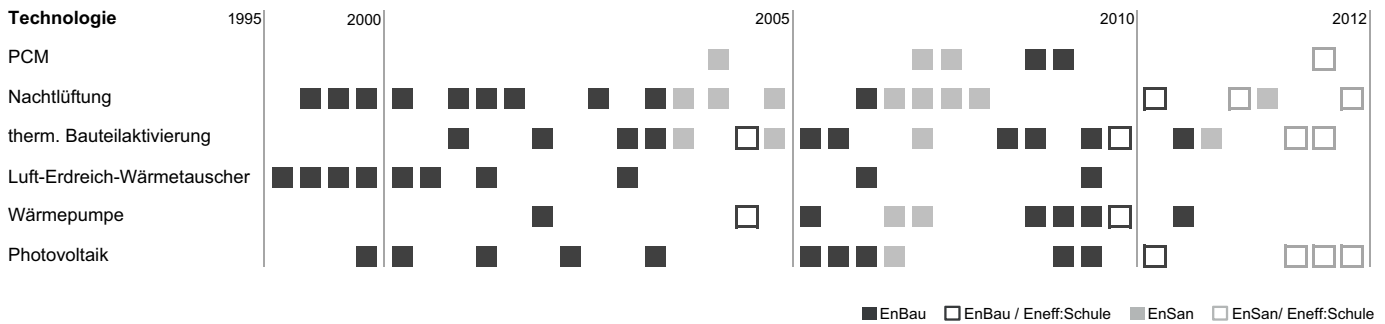


Bild 6

Technologiematrix mit ausschnittsweiser Darstellung der verwendeten Technologien in den einzelnen EnOB-Demonstrationsgebäuden seit 1995

Bilder 5, 6: KIT

pen im Sommer schlechter bewertet als im Winter, **Bild 5**, was auf Optimierungspotenzial bei der passiven Kühlung und deren Regelung hinweist. Auffällig ist die hohe Korrelation zwischen der Bewertung der Raumtemperatur und der Luftqualität selbst und dem Nutzereinfluss auf diese Größen. Dies unterstreicht das Bedürfnis nach Nutzerinteraktionsmöglichkeiten. Eine Erklärung für das Abschneiden der EnOB-Gebäude ist u.a. im Raumkonzept zu finden: Bei den EnOB-Gebäuden sind 17 % der Räume Gruppen- und Großraumbüros gegenüber 4 % bei den herkömmlichen Gebäuden. Führt man die Auswertung nur auf Basis von kleineren Büroeinheiten durch, zeigen sich in den EnOB-Gebäuden bessere Bewertungen der Tageslichtversorgung

und zum Geräuschpegel. Das Optimierungspotenzial bei Temperatur und Luftqualität bleibt jedoch bestehen.

Für die Gesamtbewertung eines Gebäudes durch die Nutzer wurden folgende Einflussfaktoren identifiziert: an erster Stelle stehen die räumlichen Bedingungen – eine wichtige Rolle im Zusammenhang mit dem Bürotyp spielen die Privatheit und der Geräuschpegel am Arbeitsplatz, aber auch die Gestaltung und Ausstattung der Räume sowie die Lage im Gebäude schlagen sich in der Nutzerbewertung nieder. Es folgen die Luftqualität, in deren Zusammenhang auch die Raumluftfeuchte adressiert wird, das Tageslichtangebot und die Bedienbarkeit von Sonnen-/Blendschutz. Zur Untersuchung der Bedeutung des Nutzerverhaltens auf Energieeinsparungen werden in ausgewählten EnOB-Gebäuden gezielte Interventionen im Rahmen der Begleitforschung vorbereitet. Grundsätzlich hat sich die standardisierte Nutzerbefragung als wirkungsvolle Maßnahme bei der Gebäudebeurteilung erwiesen. In parallel durchgeführten Projekten wur-

de ein frei verfügbares Instrument mit teilautomatisierter Auswertung entwickelt [10], das auch bei der Nachhaltigkeitszertifizierung von Bestandsgebäuden im Betrieb eingesetzt werden soll [11, 12].

Konzeptionelle Ansätze und innovative Technologien

Wesentliches Merkmal der EnOB-Demonstrationsgebäude ist die konsequente Einbindung von Energieeffizienz-Technologien in die Architektur und das gesamte Gebäudekonzept. Baulicher Wärmeschutz, die Lüftung oder das Zusammenwirken von Tageslichtnutzung und Sonnen-/Blendschutz prägen entscheidend Gebäudekörper, Grundrissorganisation und Fassade. Die geförderten Gebäude zeigen eine große Bandbreite konzeptioneller Ansätze, bei denen sich klare Trends erkennen lassen. **Bild 6** zeigt dazu eine exemplarische Trendauswertung für Gebäudekonditionierungssysteme bei Büro- und Verwaltungsgebäuden: während anfänglich verstärkt (große) Luft-Erdreich-Wärmetauscher zur Kühlung der zentralen Zuluft und/oder (freie) Nachtlüftung im Rahmen einer passiver Kühlung eingesetzt wurden, dominieren heute thermoaktive Bauteilsysteme (TABS) in Verbindung mit geothermischen Wärmesenken. Gemeinsam ist bei diesen Ansätzen ein gewisser Zielkonflikt mit der Raumakustik, so dass begleitende Untersuchungen erforderlich wurden [13]. Eine umfassende grafische Trendanalyse steht auf *enob.info* zur Verfügung.

Neben am Markt etablierten Energieeffizienz-Technologien zeigen EnOB-Gebäude vielfach Lösungen mit hohem Innovationsgrad: Vorgefertigte großformatige Fassadenpaneele mit Vakuumdämmung, Sandwich-Deckensegel als TABS mit Phasenwechselmaterial zur Wärmespeicherung oder die kapillaraktive Innendämmung sind nur einige Beispiele. Bei der Versorgungstechnik werden sehr unterschiedliche Ansätze zur Wärme- und Kältebereitstellung verfolgt. Der Einsatz von Solarsystemen ist über die gesamte Förderdauer zu sehen. Ausgehend von der sommerlichen Nutzung

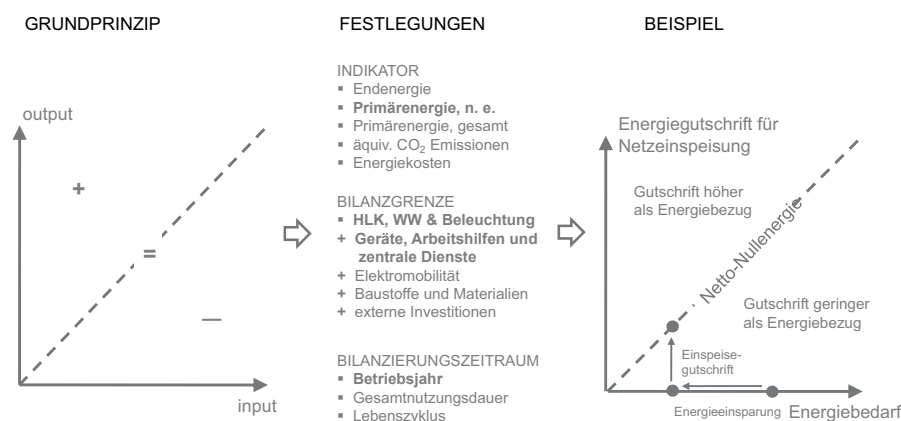


Bild 7

Das linke Diagramm zeigt das prinzipielle Vorgehen als Bilanzierung von Input und Output an der energetischen Schnittstelle eines Gebäudes. Zur Konkretisierung bedarf es der Auswahl eines geeigneten Indikators, eines Bewertungssystem, der Bilanzgrenze und des Bilanzzeitraums. Beispielhaft zeigt das rechte Diagramm die Darstellung auf der Basis des Indikators Primärenergie (nicht erneuerbarer Anteil), der Bilanzgrenze der EnEV+Geräte und eines Jahres. Die Diagonale im Diagramm beschreibt in diesem Kontext ein Netto-Nullenergiehaus. Der Primärenergieaufwand wird durch die Primärenergiegutschrift aus der Netzeinspeisung in der Jahresbilanz ausgeglichen. Oberhalb der Diagonalen liegt das Feld der Netto-Plusenergiegebäude

Bild: Universität Wuppertal

des Erdreichs als Wärmesenke in Verbindung mit TABS ist der Schritt zur Heizung mit Wärmepumpen naheliegend. Es bleibt zu beobachten, inwieweit und in welchem Gebäudesegment sich solche „Nur-Strom-Gebäude“ (siehe unten) unter der Zielsetzung klimaneutraler Gebäude gegenüber der dezentralen oder zentralen (Fernwärme) Nutzung von Biomasse zur Raumheizung durchsetzen.

Wichtiges Feedback hinsichtlich der Performance neuer Technologien im realen Gebäudekontext kommt aus der wissenschaftlichen Begleitung der Projekte durch Hochschulen oder Forschungsinstitute auf Basis systematisch erhobener Monitoring-Daten. Queranalysen liefern spezifische Systemkennwerte und Indikatoren zur Bewertung von Technologien im Vergleich. Zwei Beispiele:

□ Die übergreifende Auswertung von Daten aus TABS verdeutlichte, dass ohne eine sorgfältige Auslegung und angepasste Regelung der Primärpumpen im Erdsondenkreis kein primär-energetischer Vorteil durch Nutzung der Systeme zu erreichen ist [14].

□ Vakuum-Dämmsysteme wurden auf ihre Funktionstüchtigkeit und Zuverlässigkeit nach mehreren Jahren Einsatz geprüft. Ergebnis ist, dass bei schadensfrei eingebauten Elementen kaum Ausfallerscheinungen – auch nach 10 Jahren – festgestellt wurden [15].

Umfassende Berichte zu Forschung und Entwicklung von neuen Technologien in EnOB bietet das Internetportal *enob.info* in der Rubrik „Technologien“.

Nullenergiegebäude (Net Zero Energy Buildings)

Sowohl im Kontext der Fortführung der europäischen Energy Performance in Buildings Directive [16] als auch im aktuellen Energiekonzept und Energieforschungsprogramm der Bundesregierung [1, 2] oder im Gebäudetechnologieprogramm der USA wird das Thema der „Null- oder Plusenergiegebäude“ besetzt [17]. Gleichwohl existieren noch keine verbindliche Definitionen und Standards. Durch die Vernetzung der EnOB Forschung im Rahmen der Internationalen Energieagentur IEA existiert seit 2008 auf deutsche Initiative hin die Plattform „Towards Net Zero Energy Solar Buildings“ [18]. In diesem Kontext entstanden wesentliche methodische Beiträge, die zu einem gemeinsamen Grundverständnis geführt haben [19, 20]. Grundlegender Ansatz ist eine Gebäudebilanzierung, bei der zum Ausgleich des lokalen, nicht erneuerbaren Energiebedarfs vor Ort eine in der Jahressumme mindestens gleich große Netzeinspeisung erfolgt, **Bild 7**. Im deutschen Kontext geschieht die Bilanzierung auf der Ebene von Primärenergiebedarf (nicht erneuerbarer Anteil) und -gutschriften. Dabei resultieren die Gutschriften aus Solarstromerzeugung oder Kraft-Wärme-Kopplung. Normativ sieht die aktuelle EnEV hier noch grundlegend verschiedene Verfahren vor. Der Nachweis eines Nullenergiegebäudes gelingt gemäß aktueller EnEV nicht. Hier sind Fortschreibungen abzuwarten. Vorschläge zu geeigneten Verfahrenen wurden u. a. in [21] aufgezeigt. Das Bundesbauministerium hat für sein aktuelles Förderprogramm eine eigene Definition aufgelegt [22]. Eine umfangreiche Behandlung des Themas Nullenergiehaus mit zahlreichen Beispielen enthält die 2011 erschienene EnOB-Buchveröffentlichung [23]. Eine interaktive Weltkarte verweist unter *enob.info* auf über 300 international relevante Projekte.

Unter den bereits realisierten Nullenergiegebäuden sind viele, die Strom als alleinigen Energieträger nutzen („Nur-Strom-Gebäude“), unter anderem auch die deutschen Wettbewerbs-

beiträge zum Solar Decathlon [24]. Die Untersuchung zeigen, dass dabei große Unterschiede im Grad der Eigenbedarfsdeckung und in den zeitlichen Last- und Einspeiseprofilen auftreten [25]. Darüber hinaus können die Gebäude unterschiedlich flexibel auf Anforderungen aus zukünftigen „smart grids“ reagieren. Hier zeigt sich für optimale Ergebnisse weiterer Forschungsbedarf.

Werkzeuge

Voraussetzung für eine Beschreibung und Bewertung der energetischen Qualität von Gebäuden sind geeignete Kriterien und Maßstäbe. Zur Charakterisierung wird gemäß EnEV in Deutschland die „Referenzgebäudemethode“ herangezogen. Für die Förderprojekte im Programm EnOB gilt die planerische Unterschreitung des Primärenergiekennwer-

tes des Referenzgebäudes um 50 % als Mindestanforderung. Das normative Verfahren ist nicht unstrittig, da das grundlegende Gebäudekonzept (Kubatur, Orientierung, Raumtiefen, Fensterflächen und -verteilung,...) des Referenzgebäudes mit seinen Qualitäten, aber auch Defiziten ohne jede Bewertung erhalten bleibt und somit u. U. Optimierungspotenzial im Gebäudeentwurf außen vor gelassen wird. Erschwert wird insbesondere die Bewertung unterschiedlicher Konzepte für die gleiche Bauaufgabe im Wettbewerb, da es so viele unterschiedliche Referenzwerte wie Entwürfe gibt [26]. In diesem Kontext wurde 2010 das vereinfachte Tabellenkalkulationsverfahren „EnerCalc“ entwickelt, das auf der Basis der DIN V 18599 den Istwert des Primärenergiebedarfs ebenso ermittelt, wie den Referenzwert und einen Zielwert [27]. Der

Zielwert berücksichtigt die Geometriedaten aus einer umfangreichen Gebäude- und Raumdatenbank zur Beschreibung eines entwurfsunabhängigen Standards. EnerCalc steht kostenfrei zur Verfügung, wurde bereits 400-mal über enob.info angefordert und erfolgreich bei Wettbewerbsverfahren und Sommerakademien im Rahmen von EnOB eingesetzt.

Ende 2011 steht via enob.info auch ein Werkzeug für schnelle, dynamische, 1-Zonen Raumklima- und Energiesimulationen zur Verfügung („Therakles“, [28]). Es unterstützt insbesondere die Optimierung des sommerlichen Raumklimas in Verbindung mit Maßnahmen zur passiven Kühlung. Neben diesen stand-alone Applikationen wird die Entwicklung einer web-basierten Simulationsplattform verfolgt. Über einen zentralen CAD-Gebäudeeditor auf Browser-

Literatur

- [1] *Energiekonzept- Neun Punkte für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung*, 9/2010, download: <http://www.bmwi.de/BMWi/Navigation/Service/publikationen,did=360808.html>
- [2] *Das 6. Energieforschungsprogramm der Bundesregierung*, 8/2011, download: <http://www.bmwi.de/BMWi/Navigation/energie,did=427698.html>
- [3] *XIA Intelligente Architektur*, Ausgabe 07–09, 2011.
- [4] *Bekanntmachung der Regeln für Energieverbrauchs-kennwerte und der Vergleichswerte im Nichtwohngebäudebestand*. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, BMVBS, 2009.
- [5] *Fisch, N. M. u.a.: Schlussberichte der Förderprojekte EVA, WKSP, DeAL und Twin-Skin; IGS, TU Braunschweig und STZ-EGS, Stuttgart; Bezug über Technische Informationsbibliothek Hannover*.
- [6] *Unholzer, M.; Bartels, D.; Lützkendorf, T.; Spars, G.: Investitions- und Baunutzungskosten energieoptimierter Gebäude*. DETAILGreen, 2011.
- [7] *Unholzer, M.; Bartels, D.; Lützkendorf, T.; Spars, G.: Energiekonzepte und ihre Auswirkungen auf ausgewählte Nutzungskosten von EnOB-Bürogebäuden*. IFM-Tagung 2010, Wien, 2010.
- [8] *Wagner, A.; Moosmann, C.; Gropp, Th.; Gossauer, E.; Leonhart, R.: Thermal Comfort and Workspace Occupant Satisfaction – Results of Field Studies in German Low Energy Office Buildings*. *Energy & Buildings*, Volume 39 (7), 2007.
- [9] *Gossauer, E.; Wagner, A.: Nutzerzufriedenheit und Komfort am Arbeitsplatz – Ergebnisse einer Feldstudie in Bürogebäuden*. *Bauphysik*, Heft 6, 2008.
- [10] *Nutzerzufriedenheit als ein Indikator für die Beschreibung und Beurteilung der sozialen Dimension der Nachhaltigkeit*, siehe <http://www.forschungsinitiative.de/projekte.jsp?p=20088034318&proj=ges&stat=ab>
- [11] *Schakib-Ekbatan, K.; Schweizer-Ries, P.; Wagner, A. (eingereicht): NutzerInnenzufriedenheit in Bürogebäuden – Post Occupancy Evaluation im Kontext aktueller Diskussionen zur Nachhaltigkeit im deutschen Bauwesen*, *Umweltpsychologie*.
- [12] *Schakib, K.; Wagner, A.; Lussac, C.: Occupant satisfaction as an indicator for the socio-cultural dimension of sustainable office buildings – Development of an overall building index*. *Proceedings of the Windsor Conference*, April 2010.
- [13] *Hennings, D.: Optimierung der Raumakustik in passiv klimatisierten Räumen mit schallharter Decke*, 2007, download: <http://www.enob.info/de/publikationen/publikation/details/raumakustisches-monitoring/>
- [14] *Kalz, D.: Integration and Operation of Water-driven Systems for Heating and Cooling with low Temperature Differences*. *Dissertation an der Fakultät für Architektur*, Universität Karlsruhe, 2009.
- [15] *Heinemann, U.; Kastner, R.: Vakuuminisoliationspaneele – Bewährung in der Praxis*, ZAE Bayer, 2010, download: <http://www.enob.info/de/publikationen/publikation/details/vip-prove-vakuumaemung-bewaehrt-sich-in-der-baupraxis/>
- [16] *Richtlinie 2010/31/EU des europäischen Parlaments und des Rates vom 19. Mai 2010 über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (Neufassung)*, *Amtsblatt der Europäischen Union*, <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:153:0013:0035:DE:PDF>
- [17] *US DOE (2008), Building Technologies Program, Planned Program Activities for 2008–2012*, *Department Of Energy, US*, <http://www1.eere.energy.gov/buildings/vision.html> (downloaded .10.2.2011).
- [18] <http://www.iea-shc.org/task40/>
- [19] *Marszal, A. J.; Heiselberg, P.; Bourrelle, J.S.; Musall, E.; Voss, K.; Sartori, I. and Napolitano, A.: Zero Energy Building – A Review of definitions and calculation methodologies*, *Energy & Buildings* 43, 2011, Seite 971–979.
- [20] *Sartori, I.; Napolitano, A.; Voss, K.: Net Zero Energy Buildings – A consistent definition framework*, *Energy & Buildings*, under review
- [21] *Voss, K.; Musall, E.; Lichtmeß, M.: Vom Niedrigenergie- zum Nullenergiehaus – Standortbestimmung und Entwicklungsperspektiven*, *Bauphysik* Jg. 32, Heft 6, Seite 424–34, 2010.
- [22] *Wohnhäuser mit „Plusenergie-Niveau“*, Anlage 1 zum BMVBS Förderprogramm, 2011.
- [23] *Voss, K., Musall, E. (Hrsg.): Nullenergiegebäude – Internationale Projekte zum klimaneutralen Wohnen und Arbeiten*, ISBN 978–3–920034–50–8, DETAIL Verlag, München, 2011.
- [24] *Solararchitektur¹ – Die deutschen Beiträge zum Solar Decathlon 2010*, ISBN 978–3–920034–48–5, DETAIL Verlag, München, 2011.
- [25] *Jaume, S.; Widén, J.; Candanedo, J.; Sartori, I.; Voss, K. and Marszal, A. (2011): Understanding Net Zero Energy Buildings: Evaluation of load matching and grid interaction indicators*, *Proceedings of IPBSA, Sydney, Australia*.
- [26] *Voss, K.; Wagner, A.; Lichtmeß, M.; Lützkendorf, Th.: Energieeffizienz von Nichtwohngebäuden – Zielsetzungen und Bewertungsmaßstäbe*, *Deutsche Bauzeitung*, Heft 7, S. 66–69, 2010.
- [27] *Lichtmeß, M.: Vereinfachungen für die energetische Bewertung von Gebäuden*, *Dissertation*, Bergische Universität Wuppertal, Fachgebiet Bauphysik und Technische Gebäudeausrüstung, 2010, download: <http://el.pub.bib.uni-wuppertal.de/servlets/DocumentServlet?id=1648>
- [28] *Nicolai, A.: Das Thermische Raummodell*, TU Dresden, Inst. für Bauklimatik, 2009.
- [29] *Abromeit, A.; Wagner, A.: Web based building modelling and simulation*. *Tagungsband CIBSAT Lausanne*, September IGS, TU Braunschweig und STZ-EGS, Stuttgart: 2011.
- [30] <https://lnb.fbta.uni-karlsruhe.de/lnb/>

ebene wird die Gebäudegeometrie (im baulichen Kontext) festgelegt und ein Gebäudedatenmodell für verschiedene bauphysikalische und energetische Untersuchungen parametrisiert. Damit können zukünftig einfache Berechnungen, komplexere Simulationen und Visualisierungen durchgeführt werden, die von verschiedenen Autoren bereitgestellt werden [29]. Weitere Bausteine der Plattform sind Lernmodule zu spezifischen Themen des energieeffizienten Bauens, die sich vorzugsweise aus EnOB Projekten rekrutieren [30].

Ausblick

Im neuen Energieforschungsprogramm der Bundesregierung ist die EnOB-Forschung ein gewichtiger Bestandteil. Demonstrationsprojekte und Begleitforschung werden daher konsequent weiterentwickelt. Im Kontext der ambitionierten Einsparziele für den Gebäudesektor rückt die anspruchsvolle Sanierung von Bestandsbauten noch mehr in den Fokus. Die Diversifizierung der untersuchten Typologien wird fortgesetzt. Nutzerakzeptanz und die Analy-

se der wirtschaftlichen Vorteilhaftigkeit auf Basis der Bau- und Nutzungskosten sind neben der Energieperformance dabei nach wie vor die Untersuchungsschwerpunkte der Arbeiten an Hochschulen und Instituten. Im Sinne eines Ausblickes kann davon ausgegangen (und künftig auch nachgewiesen) werden, dass energetisch optimierte Gebäude sich als gut vermiet- und vermarktbare sowie wertstabil erweisen. Durch entsprechend positionierte Immobilienfonds steigt die Nachfrage nach derartigen Objekten innerhalb der Immobilienwirtschaft. Die öffentliche Hand hat bereits in Verfolgung ihrer Vorbildrolle hohe Anforderungen an die Energieeffizienz und Nachhaltigkeit in ihre Beschaffungsrichtlinien aufgenommen. Um das Wissen um Energieeffizienztechnologien auch außerhalb Deutschlands stärker zu demonstrieren, sollen zukünftig auch Projekte deutscher Bauherren im Ausland im Rahmen von EnOB gefördert und evaluiert werden.

Für den Weg zum „Null- oder Plusenergiegebäude“ hat sich das Passivhauskonzept als Ausgangsbasis bewährt. Neben den Solarstromanlagen

kommen für Netzeinspeisung und entsprechende Gutschriften bei größeren Gebäuden vor allem Anlagen zur Kraft-Wärme-Kopplung in Frage. Sowohl die energetische Bewertung als auch förderpolitische Einordnung beider Maßnahmen erfolgt derzeit sehr unterschiedlich, was die Vergleichbarkeit von Konzepten für „Nullenergiegebäude“ erschwert. Daher ist der Handlungsbedarf offensichtlich.

Mit dem Wechsel zu einem Stromnetz mit hoher Durchdringung dezentraler, z. T. nicht steuerbarer Energiebereitstellung steigt die Anforderung an „Flexibilisierung“ auch auf der Verbrauchsseite. Damit kommen neue Kriterien jenseits der Energieeffizienz auf die Gebäudeenergiekonzepte zu. Gebäude werden stärker als bisher im Kontext der Netzinfrastruktur betrachtet.

Hierbei kommt es auf ein günstiges Zusammenwirken von Maßnahmen am Gebäude selbst und solchen an der Infrastruktur an. Im Rahmen von Quartiers- und Campusenergiekonzepten werden diesbezüglich forschungsintensive Demonstrationsprojekte exemplarisch gefördert.