



# Sustainable Urban Infrastructure

Ausgabe München – Wege in eine CO<sub>2</sub>-freie Zukunft



**Kapitel 1.0 Wege in eine CO<sub>2</sub>-freie Zukunft**

|   |    |
|---|----|
| Die Kernergebnisse  | 4  |
| <i>Was bedeutet CO<sub>2</sub>-Freiheit?</i>                                  | 10 |
| <i>CO<sub>2</sub>-freie Zukunft – die Herausforderungen aus Expertensicht</i> | 11 |

**2.0 Zwei Wege in die Zukunft**

|                                   |    |
|-----------------------------------|----|
| Die Szenarien „Ziel“ und „Brücke“ | 12 |
|-----------------------------------|----|

**2.1 Wärmenachfrage Gebäude** 16

|   |    |
|---|----|
| <i>Best Practice: Passivhaus und Gebäudesanierung</i> | 21 |
| Technologie-Ausblick:<br><i>Gebäudedämmung</i>        | 23 |

**2.2 Stromnachfrage Gebäude** 24

|  |    |
|--|----|
| <i>Best Practice: Energiesparcontracting</i> | 28 |
| Technologie-Ausblick: <i>OLEDs</i>           | 29 |

Dieser Bericht basiert auf Forschungsergebnissen des Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH und wurde von der Siemens AG unterstützt.



# Inhalt

|            |  |    |            |  |    |
|------------|--|----|------------|--|----|
| <b>2.3</b> | Verkehr  | 30 | <b>3.0</b> | Der Musterstadtteil  |    |
|            | Best Practice: <i>Intelligente Verkehrssteuerung</i>                                   | 33 |            | Vorbild für die Zukunft  | 48 |
|            | Technologie-Ausblick: <i>Elektromobilität</i>  | 37 | <b>3.1</b> | Der Musterstadtteil im Detail<br>Wärmenachfrage der Gebäude    | 54 |
| <b>2.4</b> | Wärmebereitstellung  | 38 | <b>3.2</b> | Der Musterstadtteil im Detail<br>Stromnachfrage der Gebäude    | 58 |
|            | Best Practice: <i>Fernwärme in Kopenhagen</i>  | 41 | <b>3.3</b> | Der Musterstadtteil im Detail<br>Verkehr im Musterstadtteil    | 60 |
|            | Technologie-Ausblick: <i>LowEx-Konzepte</i>  | 41 | <b>3.4</b> | Der Musterstadtteil im Detail<br>Wärme für den Musterstadtteil | 66 |
| <b>2.5</b> | Strombereitstellung  | 42 | <b>3.5</b> | Der Musterstadtteil im Detail<br>Strom für den Musterstadtteil | 70 |
|            | Best Practice: <i>Beteiligung an regenerativer Stromerzeugung – Windkraft-Projekte</i> | 45 |            | Best Practice: <i>Malmö</i>                                    | 73 |
|            | Technologie-Ausblick: <i>Smart Grid und Lastmanagement</i>                             | 45 | <b>4.0</b> | Ausblick   | 74 |



**K**limaschutz muss in den Städten beginnen. An dieser Erkenntnis führt kein Weg vorbei, denn die Fakten sind erdrückend. Die Großstädte bedecken gerade einmal ein Prozent der Erdoberfläche, verschlingen aber 75 Prozent der eingesetzten Energie und stoßen 80 Prozent der weltweit emittierten Treibhausgase aus, allen voran Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>). Und die Städte wachsen. Heute lebt gut die Hälfte der Weltbevölkerung in Städten. Im Jahr 2025 werden es voraussichtlich bereits 60 Prozent sein. Das Lebenselixier der pulsierenden Metropolen rund um den Globus sind bislang vor allem die fossilen Energieträger Erdgas, Kohle und Öl. Ihre Verbren-

nung setzt Jahr für Jahr Milliarden Tonnen des Treibhausgases Kohlendioxid frei.

Kein Zweifel: Die Städte tragen am stärksten zum weltweiten Klimawandel bei. Zugleich werden die Folgen des Klimawandels hier in Zukunft sehr deutlich zu spüren sein. Für München zum Beispiel erwartet das Umweltbundesamt bis Ende des Jahrhunderts eine deutliche Zunahme sehr heißer Tage und Tropennächte. Extrem heiße Sommer wie der von 2003 werden nicht mehr die Ausnahme, sondern die Regel sein. Dass sich die Ursachen des Klimawandels stark in den Städten konzentrieren, hat andererseits einen entscheidenden Vorteil: Dank dieser Kompaktheit lässt

sich die Problematik gut packen, denn Klimaschutzmaßnahmen entfalten hier ihre größte Wirkung. So sind die Metropolen der Welt in der einzigartigen Position, den Weg zum klimafreundlichen Leben und Wirtschaften zu ebnen und Lösungen zu generieren, die anderen Regionen als Vorbild dienen können.

Diese Studie zeigt, wie eine urbane Metropolregion in den nächsten Jahrzehnten den Weg in eine annähernd CO<sub>2</sub>-freie Zukunft gehen könnte. Dafür dient die Stadt München mit ihren 1,3 Millionen Einwohnern als Modell. Untersucht wird der Zeitraum von 2008 bis zum 900-ten Stadtjubiläum 2058. Bis 2030 hat sich die Stadt Mün-

# 1.0

## Wege in eine CO<sub>2</sub>-freie Zukunft – die Kernergebnisse



chen bereits selbst das Ziel gesetzt, die CO<sub>2</sub>-Emissionen um 50 Prozent gegenüber 1990 zu verringern. Die vorliegende Analyse baut auf diesen Ergebnissen auf, blickt aber weiter in die Zukunft.

Die Studie ist in zwei Abschnitte gegliedert. Im ersten Teil wird anhand zweier Szenarien allgemein aufgezeigt, wie sich die Energieeffizienz durch verschiedene Maßnahmenbündel verbessern lässt und welchen Anteil diese Aspekte an der CO<sub>2</sub>-Reduktion haben. An ausgewählten Maßnahmen werden zudem Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen durchgeführt. Die beiden Szenarien erwarten unterschiedlich große Effizienzgewinne. Das eine ist sehr optimistisch, das

andere geht hierzu von konservativeren Annahmen aus. Dennoch machen beide deutlich, dass sich die CO<sub>2</sub>-Emissionen in nur wenigen Jahrzehnten tatsächlich eindrucksvoll reduzieren lassen.

Der zweite Teil der Untersuchung stellt exemplarisch anhand eines konkreten Musterstadtteils dar, wie die Transformation in eine fast CO<sub>2</sub>-freie Metropole infrastrukturell und technologisch vollzogen werden könnte. Analysiert wird, wie sich die Energieeffizienz in einem bereits bestehenden Stadtteil und in einem direkt angrenzenden Neubaugebiet so weit verbessern lässt, dass CO<sub>2</sub>-Freiheit annähernd erreicht wird.

### Das Wichtigste vorweg – die Kernergebnisse der Energieeffizienz-Studie:

→ **Die EU-Umweltminister haben auf Basis des IPCC-Weltklimaberichts 2007 das Ziel formuliert, den Treibhausgasausstoß bis zur Jahrhundertmitte weltweit um mehr als 50 Prozent und damit auf durchschnittlich weniger als zwei Tonnen pro Kopf zu reduzieren. Dieses Ziel lässt sich für eine Großstadt wie München mit heute bekannten Technologien erreichen und sogar übertreffen.**



In beiden hier entwickelten Szenarien gelingt es, bei durchgängiger und konsequenter Orientierung am Ziel der CO<sub>2</sub>-Freiheit die Treibhausgasemissionen unter die von den EU-Umweltministern geforderte Zielmarke zu drücken. Dieses Ziel basiert auf dem Weltklimabericht des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Im Detail erwartet das Szenario „Ziel“, dass die Emissionen bis zur Jahrhundertmitte durch flächendeckende und konsequente Effizienzmaßnahmen um etwa 90 Prozent auf nur noch 750 Kilogramm pro Einwohner und Jahr verringert werden – und das, obwohl die Münchner Bevölkerung entgegen dem bundesweiten Trend in den kommenden Jahren weiter wachsen wird. Für 2008 liegt die Prognose für den CO<sub>2</sub>-Ausstoß pro Münchner noch bei 6,5 Tonnen. Was die Verringerung des motorisierten Individualverkehrs und die sinkende Stromnachfrage betrifft, sind die Erwartungen des Szenarios „Brücke“ nicht ganz so groß. Zudem setzt dieses Szenario einen stärkeren Fokus auf die noch zu entwickelnde Technologie der CO<sub>2</sub>-Abscheidung und -Lagerung (CCS). Im Szenario „Brücke“ verringern sich die Emissionen aber dennoch um insgesamt 80 Prozent auf rund 1,3 Tonnen pro Einwohner und liegen damit ebenfalls unter den angestrebten 2 Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalent pro Person und Jahr.

→ **Die größten Hebel zur Minderung der Emissionen sind die Wärmedämmung der Gebäude, der Einsatz effizienter Kraft-Wärme-Kopplung, sparsamer Elektrogeräte und Beleuchtungssysteme sowie die regenerative und CO<sub>2</sub>-arme Energieerzeugung.**

Bestimmte Infrastrukturbereiche einer Stadt lassen sich klar als größte CO<sub>2</sub>-Emittenten identifizieren. Hier wirken sich Effizienzmaßnahmen besonders stark aus. In München könnten vor allem Einsparungen in den Bereichen Wärme und Strom zur CO<sub>2</sub>-Ersparnis beitragen. Dazu gehören Maßnahmen wie die Wärmedämmung nach Passivhausstandard, der Einsatz effizienter Kraft-Wärme-Kopplung, sparsamer Elektrogeräte und Beleuchtungssysteme sowie die regenerative und CO<sub>2</sub>-arme Energieerzeugung. Der Strom etwa wird in einem geringeren Maße als heute in zentralen Großkraftwerken produziert, sondern verstärkt dezentral erzeugt und gespeichert, beispielsweise in Blockheizkraftwerken oder im eigenen Haus mit Mikro-Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen. Auch die Verkehrsvermeidung und -verlagerung sowie technische Verbesserungen der Fahrzeugeffizienz tragen wesentlich zu einem niedrigeren Emissionsniveau bei.

→ **Die anfänglichen Investitionen in effiziente, energiesparende Technik sind meist hoch, zahlen sich jedoch in der Regel durch Energieeinsparungen über den Produktlebenszyklus aus.**

Die Wirtschaftlichkeit vieler Effizienzmaßnahmen lässt sich eindrucksvoll an diversen Beispielen zeigen. So müssten beispielsweise in München bis zur Mitte des Jahrhunderts für die Sanierung der Altbauten sowie die Errichtung von Neubauten nach dem besonders energiesparenden Passivhausstandard 13 Milliarden Euro mehr aufgebracht werden als nach der derzeit gültigen Energieeinsparverordnung von 2007. Heruntergerechnet auf alle Münchner

Bürger wären das rund 200 Euro pro Jahr – etwa ein Drittel der jährlichen Gasrechnung. Diesen Mehrinvestitionen aber werden im Jahr 2058 jährliche Energiekosteneinsparungen zwischen 1,6 Milliarden und 2,6 Milliarden Euro gegenüberstehen. Pro Kopf wären das jährliche Einsparungen zwischen 1.200 und 2.000 Euro. Insgesamt würden sich die Energieeinsparungen über den Zeitraum von 50 Jahren auf mehr als 30 Milliarden Euro belaufen.

→ **Um die ambitionierten CO<sub>2</sub>-Reduktionsziele zu erreichen, müssen die Bürger ihr Verhalten nicht grundsätzlich ändern. Allerdings müssen sie unterstützt und ermutigt werden, noch konsequenter in umweltfreundliche und meist auch wirtschaftliche Technik zu investieren und stärker umweltfreundliche Verkehrsmittel zu benutzen.**

Die Einflussmöglichkeiten der Stadt auf die CO<sub>2</sub>-Ziele durch eigene Investitionen sind begrenzt. Energieeffizienz in öffentlichen Gebäuden oder der Ausbau des öffentlichen Nahverkehrs sind wichtige Schritte. Ein Großteil der Investitionen muss aber von den Bürgern und Unternehmen der Stadt aufgebracht werden, um anspruchsvolle Reduktionsziele zu erreichen. Doch bislang verhindern die oft hohen Anfangsinvestitionen in effiziente Technologien, dass diese flächendeckend eingesetzt werden. Häufig werden mögliche Energiekosteneinsparungen nicht berücksichtigt und damit nicht die Kosten über die gesamte Produktlebenszeit zugrunde gelegt. Die Erfahrungen zeigen aber deutlich, dass sich das Verhalten der Bürger



durch entsprechende Finanzierungs- und Vergütungsstrategien oder durch gezielte Aufklärungskampagnen in die entsprechende Richtung lenken lässt. Energieeffizienz wird vor allem dann interessant, wenn sie sich lohnt. Eine wichtige Aufgabe der öffentlichen Hand wie auch der privaten Anbieter besteht daher darin, die Vorzüge und den finanziellen Gewinn der Energieeffizienz-Technologien künftig noch transparenter zu machen und bestehende Hemmnisse zu beseitigen.

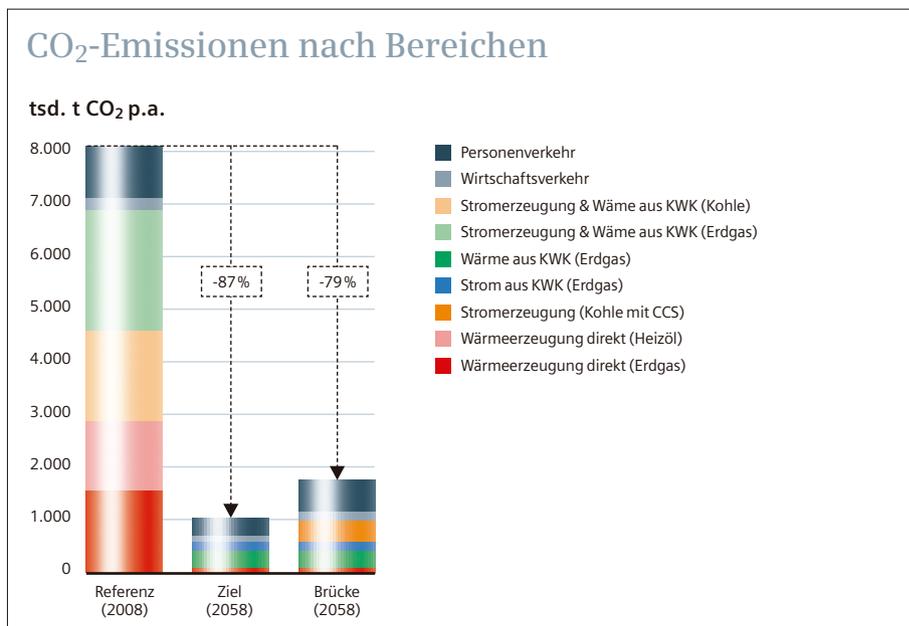
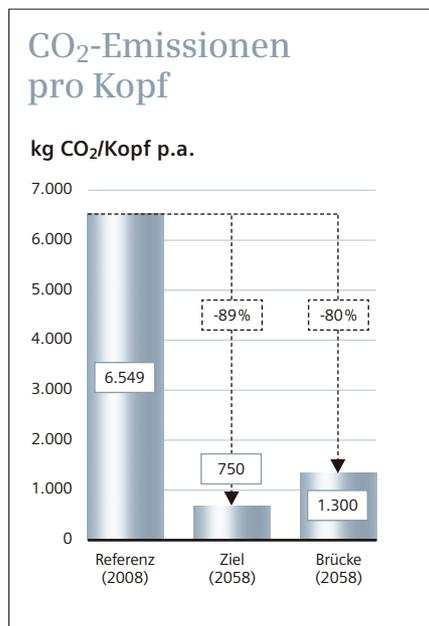
→ **Durch eine umfassende Dämmung kann der Wärmebedarf in Gebäuden drastisch**

**reduziert werden. Entsprechende Passivhauskonzepte lassen sich bereits heute wirtschaftlich realisieren.**

Die für den Bau besonders energieeffizienter Passivhäuser erforderlichen Technologien wie etwa Dämmungen, Dreifachverglasung oder Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung sind heute im Markt etabliert und vielfach erprobt. Der Wärmebedarf eines solchen Gebäudes ist rund fünfmal geringer als der eines Durchschnittshauses. Ein Passivhaus ist meist nicht einmal zehn Prozent teurer als ein nach der Energieeinsparverordnung 2007 errichtetes Ge-

bäude, führt aber in einem 40-Jahres-Zeitraum dank des reduzierten Energieaufwands zu jährlichen Kosteneinsparungen. Die Mehrinvestition in ein Passivhaus ist also attraktiv. Wie sich zeigt, rechnet sich der Passivhausstandard nicht nur im Neubau, sondern auch bei einer Sanierung von Gebäuden. Allerdings kann ein Bauherr dadurch abgeschreckt werden, dass die eingesparten Energiekosten anfangs geringer sein mögen als die finanzielle Mehrbelastung durch einen entsprechenden Kredit.

→ **Der wirtschaftliche Ausbau energieeffizienter Fernwärmenetze mit Kraft-**





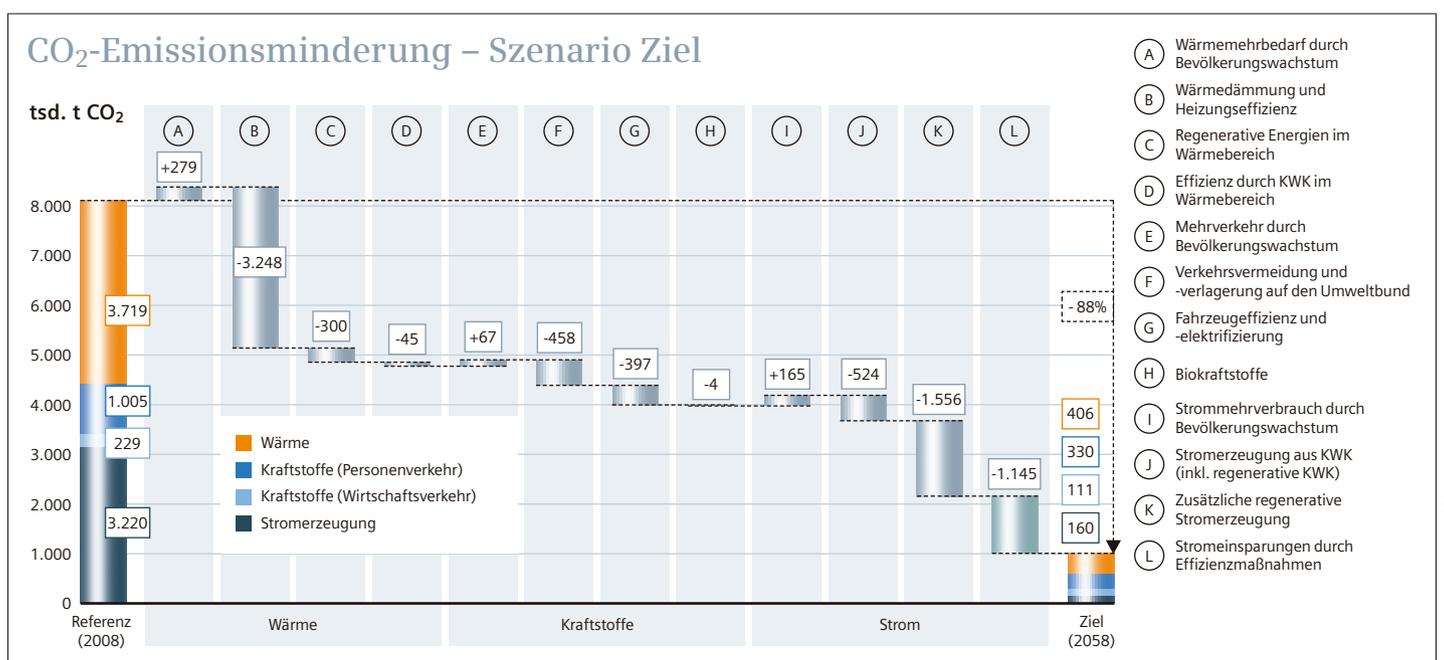
**Wärme-Kopplung wird durch den geringeren Wärmebedarf erschwert. Deshalb müssen neue Technologien wie beispielsweise Niedertemperatur-Konzepte konsequent weiterentwickelt werden, um die Rentabilität zu verbessern.**

Die zunehmende Dämmung der Gebäude wird innerhalb von 50 Jahren zu einer drastischen Abnahme des Raumwärmebedarfs von rund 80 Prozent führen. Damit ließe sich ein Fernwärmenetz heutiger Bauart nur noch schwer wirtschaftlich betreiben. Denn einerseits

sinkt der Absatz, andererseits aber soll das Netz zu erheblichen Kosten ausgebaut werden, um mehr Bürger mit der energieeffizient gewonnenen Fernwärme aus Kraft-Wärme-Kopplung zu versorgen. Dieses Dilemma kann mit neuen Technologien wie etwa dem Konzept des Niedertemperaturnetzes gelöst werden, das wesentlich geringere Betriebstemperaturen benötigt. In einem solchen Netz ließe sich sogar zusätzliche industrielle Abwärme nutzen. Auch kostengünstigere Leitungs- und Anschlusstechnologien können die Kosten des Fernwärmenetzes mit samt neuer Hausanschlüsse weiter verringern.

→ Bei konsequenter Nutzung aller Einsparmöglichkeiten kann der Strombedarf größtenteils aus regenerativen und CO<sub>2</sub>-armen Quellen gedeckt werden. Allerdings kann dies nicht in den Städten allein erfolgen. Der Transport von klimaneutraler Energie über weite Strecken muss durch hocheffiziente, transnationale Netze gewährleistet werden.

Wenn alle Einsparmöglichkeiten konsequent genutzt werden, kann der Strombedarf einer Metropole wie München bis zur Mitte des Jahr-





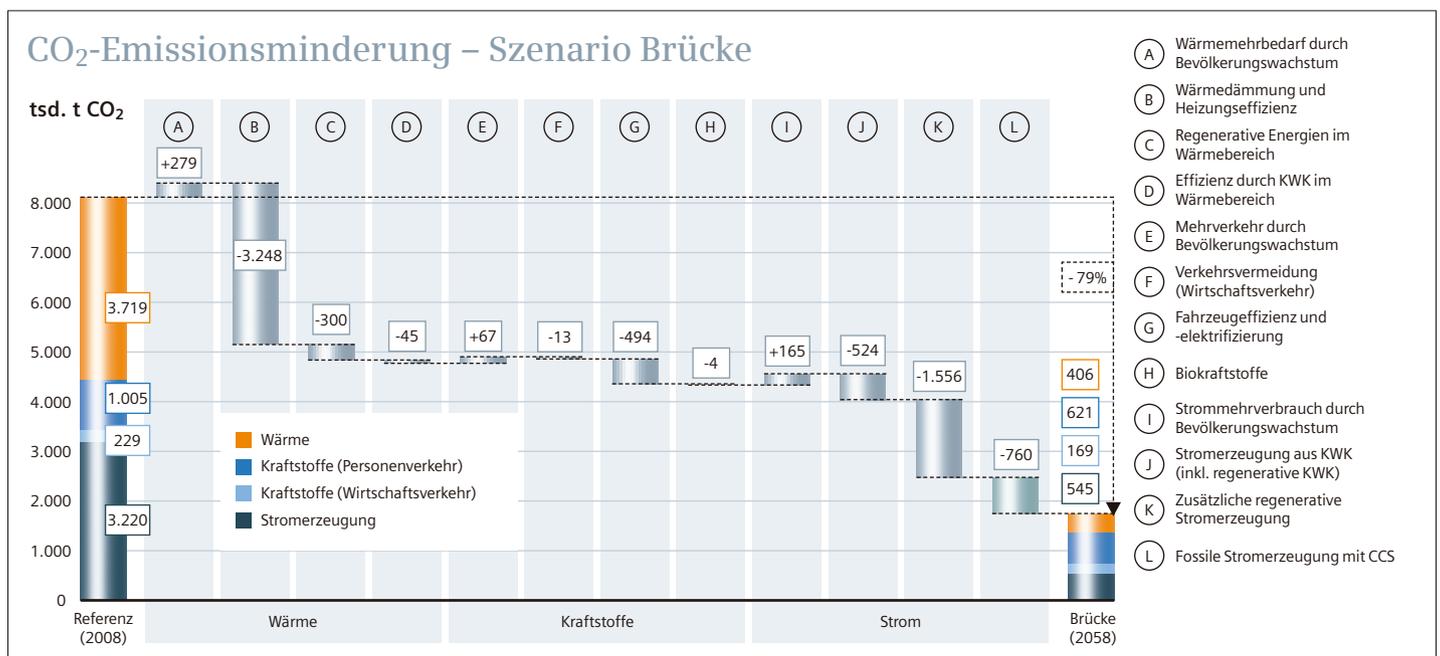
hundreds to a large part from regenerative sources covered. The city will further a part of its electricity demand from outside in larger power plants in the region, in Germany and also in foreign relations. This electricity could be produced in large off- and on-shore wind parks in Northern Europe or in solar thermal power plants in Southern Europe or North Africa. A part of the electricity could also be produced in CO<sub>2</sub>-free coal power plants with CO<sub>2</sub>-separation and storage. Prerequisite for the connection of the far away power plants is for example,

the construction of a high-voltage direct current transmission network (HGÜ), which can transport electricity loss-free over distances of several thousand kilometers. This technology is already available and established.

→ **Der motorisierte Individualverkehr kann durch kompakte Siedlungsstrukturen und durch einen teilweisen Umstieg auf Fahrrad, Bus und Bahn reduziert werden. Zudem lässt sich der innerstädtische Verkehr in Zukunft fast vollständig mit Elek-**

**trofahrzeugen bewältigen. Dank einer entsprechenden Infrastruktur lassen sich Elektrofahrzeuge auch als Stromspeicher nutzen.**

The inner-city traffic of the city of Munich could in 50 years be more than today by foot, as well as by bicycle, bus and train. Personally adapted information services, which are transmitted to the participants via mobile devices, can simplify the use of bus and train as well as the combination of several modes of transport.



Quelle: Wuppertal Institut 2008



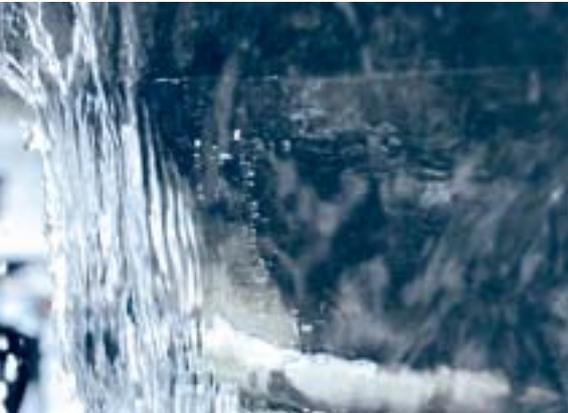
### Was bedeutet CO<sub>2</sub>-Freiheit?

Nach der Veröffentlichung des 4. Weltklimaberichts des IPCC 2007 (Intergovernmental Panel on Climate Change) haben die Umweltminister der EU im Jahr 2008 genauer definiert, was die Konsequenz zu sein hat: Bis zum Jahr 2050 müssen die weltweiten Treibhausgasemissionen um „mehr als 50 Prozent gegenüber dem Stand von 1990“ reduziert werden. Dies entspricht einem weltweiten Ausstoß von circa 18 Milliarden Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalent oder 2 Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalent pro Kopf bei einer angenommenen Weltbevölkerung von rund 9 Milliarden Menschen im Jahr 2050. Für die Industrieländer folgt daraus, dass sie ihre Emissionen bis 2050 um 80 bis 95 Prozent gegenüber 1990 verringern müssen. Diesen Herausforderungen stellt sich das dieser Studie zugrunde liegende Konzept der weitgehenden CO<sub>2</sub>-Freiheit: So soll das Wirtschafts-, Energie- und Verkehrssystem Münchens, das heute – wie fast überall weltweit – weitgehend auf der Verbrennung kohlenstoffhaltiger Energieträger beruht, innerhalb der nächsten 50 Jahre deutlich effizienter werden. Die dann noch benötigten Energiemengen sollen zu einem großen Teil erneuerbar, also CO<sub>2</sub>-frei beziehungsweise CO<sub>2</sub>-arm, erzeugt werden. Der Begriff der CO<sub>2</sub>-Freiheit bezieht sich vor allem auf die Versorgung der Bevölkerung mit Strom und Wärme sowie die Verkehrsinfrastruktur. Einige wichtige Wege und Technologien zur CO<sub>2</sub>-Freiheit werden in dieser Studie aufgezeigt. Für die Stromversorgung heißt das keineswegs, dass jede aus regenerativen Energien erzeugte Kilowattstunde Strom tatsächlich aus München stammen wird. Vielmehr ist davon auszugehen, dass München bilanziell einen Teil des regenerativ erzeugten elektrischen Stroms von außen beziehen wird. In der Analyse wurden allerdings nicht alle Treibhausgasemissionen berücksichtigt, sondern nur energiebedingtes CO<sub>2</sub>, auf das in Industrieländern etwa 80 Prozent und weltweit circa 60 Prozent der Treibhausgasemissionen entfallen. Die hier gewählte Abgrenzung umfasst damit alle direkten CO<sub>2</sub>-Emissionen aus Heizungsanlagen und Kraftwerken auf dem Stadtgebiet, die CO<sub>2</sub>-Emissionen des von außen bezogenen Stroms sowie die Verkehrsemissionen der Münchner innerhalb und außerhalb der Stadtgrenzen. Nicht betrachtet wurden der Luftverkehr sowie die mit den durch Leben und Wirtschaften in München verbundenen Waren- und Güterströme anderswo verursachten Emissionen. Verhaltensänderungen der Verbraucher wurden nur insofern berücksichtigt, als sie mit der Einführung neuer Technologien oder notwendigen Investitionsentscheidungen einhergehen. Nicht mit einbezogen wurden zudem CO<sub>2</sub>-Kompensationsmöglichkeiten wie etwa Aufforstung.

kehrsysteme sorgen im Liefer- und Personenverkehr für eine umwelt- und kostenoptimale Routenplanung. Der innerstädtische Automobilverkehr könnte überwiegend mit Elektrofahrzeugen bewältigt werden. Der Großteil des dafür erforderlichen Stroms würde aus regenerativer Erzeugung stammen und aus dem öffentlichen Netz bezogen. Damit eröffnet sich die Möglichkeit, Fahrzeuge als integralen Bestandteil des Stromversorgungsnetzes zu nutzen. Elektrofahrzeuge könnten künftig als Stromspeicher und Lastmanagementsystem für den Ausgleich von Fluktuationen fungieren, die durch den verstärkten Einsatz erneuerbarer Stromquellen wie Photovoltaik und Windstrom entstehen. So könnte der Elektrofuhrpark Strom zu Spitzenlastzeiten ins Netz einspeisen, wenn der Strom besonders teuer ist, sodass sich die Mehrkosten für eine teure Batterie schneller amortisieren.

**→ Schon über einen Zeitraum von 30 Jahren lassen sich einzelne CO<sub>2</sub>-arme Stadtteile verwirklichen. Dabei decken die eingesparten Kosten bei der Wärmeversorgung langfristig die Kosten der energetischen Optimierung.**

Wie die Wirtschaftlichkeitsanalysen für den Musterstadtteil zeigen, rechnet sich die umfassende energetische Optimierung eines bestehenden Stadtteils sowie eines Neubaugebiets bereits innerhalb von 30 Jahren, selbst wenn die Mehrkosten beträchtlich sind. Für den Musterstadtteil mit künftig etwa 27.000 Einwohnern nimmt diese Studie an, dass der Passivhausstandard umgesetzt und ein Fernwärmenetz ausgebaut wird, das seine Wärme aus Tiefen-



# CO<sub>2</sub>-freie Zukunft – die Herausforderungen aus Expertensicht

geothermie bezieht. Die Mehrkosten der Sanierung und Neubauten gegenüber dem Standard der Energieeinsparverordnung 2007 sowie der geothermischen Fernwärmeversorgung würden sich auf 177 Millionen Euro belaufen, wären aber durch die Energiekosteneinsparung mehr als gedeckt. Es zeigt sich, dass die Investitionen in die CO<sub>2</sub>-freie Wärmeversorgung nicht nur signifikante Emissionsminderungen bewirken, sondern – über die Lebensdauer der Anlagen gerechnet – auch zu jährlichen Kostenentlastungen führen könnten.

→ **Die konsequente Orientierung am Ziel der CO<sub>2</sub>-Freiheit eröffnet den Städten große Chancen. Durch einen grundlegenden Umbau der Gebäude- und Energiestrukturen können Energiekosten vermieden und ökonomische Impulse gesetzt werden. Zudem wird ein Beitrag dazu geleistet, die Städte dauerhaft lebenswert zu erhalten.**

Mit den hier vorgelegten Analysen zeigt diese Studie erstmals umfassend Wege auf, wie sich eine Metropole wie München in 50 Jahren zu einer annähernd CO<sub>2</sub>-freien Stadt entwickeln könnte. Die Studie verdeutlicht, dass Klimaschutz schon heute im großen Stil machbar und durchaus wirtschaftlich ist. Darüber hinaus zeigt sie, dass die konsequente Orientierung am Ziel der CO<sub>2</sub>-Freiheit zu einem vollständigen Umbau der Gebäude und Infrastrukturen einer Großstadt führen kann, der der Metropole, ihren Unternehmen, Bürgern und Forschungseinrichtungen wertvolle Startvorteile bieten kann. Denn die Umstellung auf eine CO<sub>2</sub>-arme Gesellschaft steht weltweit bevor.

Die Verbesserung der Energieeffizienz und die Entwicklung energiesparender Technologien sind fundamental wichtige Werkzeuge, um den weltweit wachsenden CO<sub>2</sub>-Ausstoß zu drosseln und die Menschheit vor den Folgen des Klimawandels zu bewahren. „Energieeffizienz ist heute ein weit verbreiteter Planungsparameter und in der Fachwelt nicht mehr strittig – sie ist Common Sense“, sagt Konrad Otto-Zimmermann, Generalsekretär von ICLEI - Local Governments for Sustainability.

In Fortschrittstechniken zu investieren sei hingegen noch keineswegs selbstverständlich: „Ich glaube, dass letztlich die Verknappung der natürlichen Ressourcen weltweit ein Energiesparen erzwingen wird.“ Es steht außer Frage, dass der Klimaschutz vor allem in den Städten beginnen muss. In der Tat, sagt der Nachhaltigkeits-Experte, haben Kommunen weltweit damit begonnen, ihre Hausaufgaben zu machen: „In vielen Ländern sind es die Städte, die im Klimaschutz erfolgreich vorangehen, während manche Nationalregierung noch befürchtet, dass der Klimaschutz die heimische Wirtschaft gefährdet.“

Tatsächlich gibt es aus wirtschaftlicher Sicht keinen Grund, den Klimaschutz auf die lange Bank zu schieben, meint auch Ottmar Edenhofer, Chefökonom des Potsdam-Instituts für Klimafolgenforschung (PIK): „Klimaschutz und Wirtschaftswachstum sind miteinander absolut vereinbar.“ Voraussetzung dafür sei allerdings die Entkopplung von Wirtschaftswachstum und Emissionen. Eden-

hofer, der zum Vorstand des Weltklimarats IPCC zählt, sieht „keinen Grund, warum Wirtschaften nur wachsen könnten, wenn sie mehr Energie verbrauchen. In den letzten 150 Jahren ist die Arbeitsproduktivität stärker gestiegen als die Energieproduktivität. Diese Relation müssen wir nun eben umdrehen“. Edenhofer dringt jedoch darauf, Klimaschutzmaßnahmen so schnell wie möglich umzusetzen, denn die Menschheit könne sich keine Katastrophe leisten.

Zu den wirksamen Maßnahmen gehören für ihn neben der allgemeinen Verbesserung der Energieeffizienz auch die Abscheidung und Speicherung von CO<sub>2</sub>. Und auch eine finanzielle Förderung der erneuerbaren Energien ist für ihn ein wichtiges Mittel, um die Menschheit auf einen CO<sub>2</sub>-freien Pfad zu bringen. „Wir sehen, dass mit der zunehmenden installierten Kapazität der erneuerbaren Energien die Kosten pro Kilowattstunde ziemlich stark sinken.“ Unter dieser Voraussetzung, sei eine Förderung durchaus gerechtfertigt – „wenn sie intelligent ist.“ Konrad Otto-Zimmermann baut darauf, dass sich auch die Bürger künftig stärker für das Ziel Energieeffizienz einsetzen werden. „Bürger reagieren in der Regel vernünftig auf vernünftige Anliegen. Sie machen mit, wenn alle mitmachen. Bürger müssen wissen, was gewollt sein soll“. Und was das ist, steht für Otto-Zimmermann außer Frage: „Nur wenn wir mit dem Leben, was uns die Natur gibt, ohne dass wir sie zerstören, haben wir eine Zukunft.“



Die Devise „Global denken, lokal handeln“ ist inzwischen viele Jahre alt, hat aber nichts an Aktualität eingebüßt. Klimaschutz muss vor Ort beginnen, und das gilt in besonderem Maße für die Städte. Diese Studie zeigt anhand von zwei Szenarien, dass die 2008 aufgestellte globale Forderung der EU-Umweltminister, die CO<sub>2</sub>-Emissionen in den Industrieländern bis 2050 um mindestens 80 Prozent gegenüber 1990 zu verringern, für Städte anspruchsvoll, aber durchaus erreichbar ist. Das erste Szenario, das Szenario „Ziel“, ist sehr konsequent und erwartet hohe Effizienzgewinne und CO<sub>2</sub>-Einsparungen. Der Begriff „Ziel“ versinnbildlicht

dabei, dass die Vision CO<sub>2</sub>-Freiheit im hier betrachteten 50-Jahres-Zeitraum tatsächlich annähernd erreicht wird. Demgegenüber ist das Szenario „Brücke“ vor allem in Bezug auf das Verhalten der Bürger etwas weniger optimistisch – insbesondere was den Verkehrsbereich und die Stromnachfrage betrifft. Der höhere Strombedarf wird noch über fossile Energieträger gedeckt. Allerdings erwartet das Szenario „Brücke“, dass die Stromerzeugung aus Kohle künftig dank Kohlenstoffabscheidung und -lagerung (CCS - Carbon Capture and Storage) deutlich weniger Emissionen verursacht. Auch mit den im Szenario „Brücke“ aufgeführten Handlungs-

# 2.0

## Zwei Wege in die Zukunft – die Szenarien „Ziel“ und „Brücke“



optionen ließe sich bis Mitte des Jahrhunderts die Pro-Kopf-Emission der Münchner auf etwa 1,3 Tonne Kohlendioxid jährlich reduzieren, was ebenfalls unter den geforderten 2 Tonnen liegt. Der Terminus „Brücke“ beschreibt, dass sich die Stadt München Mitte des Jahrhunderts noch immer auf dem Weg zur CO<sub>2</sub>-Freiheit befindet. Die Leitlinien, mit denen der CO<sub>2</sub>-Ausstoß nennenswert reduziert werden soll, sind indes für beide Szenarien dieselben:

- Hocheffiziente Energieanwendungen – bei gleichem Komfort und Nutzen wird weniger Energie verbraucht.
- Anpassung der Infrastruktur im Wärme-,

Strom- und Verkehrsbereich an die durch Effizienzgewinne verringerte Nachfrage.

→ Weitgehender Umstieg auf erneuerbare und CO<sub>2</sub>-arme Energien.

→ Kein Autarkie-Anspruch – die Stadt München importiert Energie zum Teil von außen, berücksichtigt dabei aber, dass diese Energie weitestgehend klimaneutral erzeugt wird.

Natürlich können die Szenarien nicht jede denkbare Effizienz- beziehungsweise Emissionsminderungsmaßnahme berücksichtigen. Dennoch betrachten sie die wesentlichen technologischen Hebel – beispielsweise den Einsatz von regenerativen Energien, von effizienten Kraft-

werken mit Kraft-Wärme-Kopplung (KWK), von Elektrofahrzeugen oder von intelligenter Verkehrsleittechnik und Gebäudesteuerung sowie von Passivhauskonzepten. Die Studie berücksichtigt auch Verhaltensänderungen der Verbraucher, soweit sie mit der Einführung neuer Technologien oder notwendigen Investitionsentscheidungen einhergehen. Inwieweit die Emissionen sonst noch durch Verhaltensänderungen beeinflusst werden könnten oder müssten, wird dagegen nicht untersucht.

Konkret sieht das Szenario „Ziel“ eine gegenüber heute deutlich niedrigere Stromnachfrage vor, weil effizientere Geräte und Technologien,



intelligente Gebäudesteuerungen und sparsame Beleuchtungssysteme zum Einsatz kommen. Die Stromnachfrage soll dabei zum großen Teil durch dezentrale und regenerative Anlagen gedeckt werden.

Für den Verkehrssektor wird angenommen, dass sich durch verkehrsvermeidende Maßnahmen zum einen die zurückgelegten Wege verkürzen. Zum anderen könnte der Umstieg vom motorisierten Individualverkehr (MIV) auf den öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV) sowie auf Fahrrad- und Fußverkehr erleichtert werden. Aufgrund einer Elektromobilitätsstrategie nimmt zudem die Zahl der Elektrofahrzeuge deutlich zu.

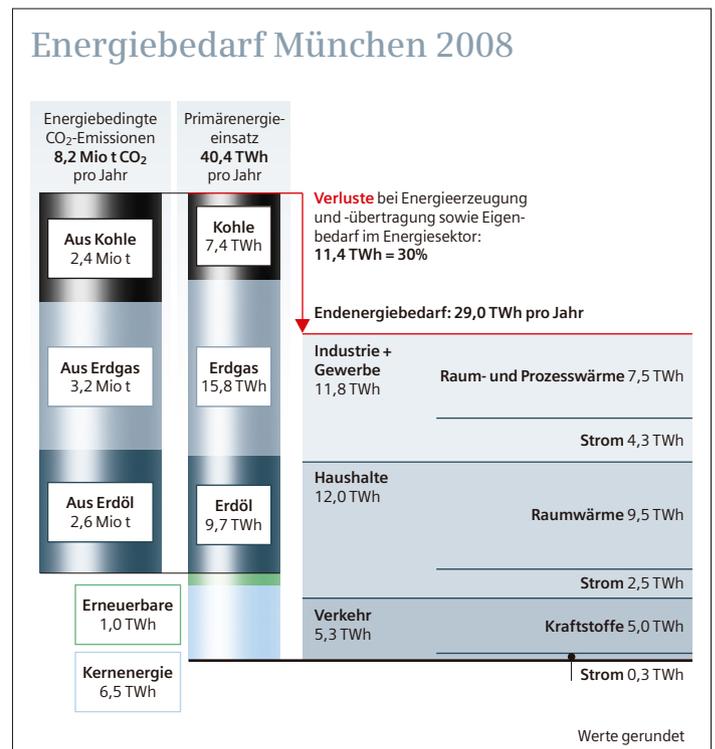
Im Szenario „Brücke“ hingegen wird angenommen, dass die Stromnachfrage pro Kopf künftig etwa so groß wie heute sein wird. Das Szenario geht davon aus, dass die durch sparsamere Techniken erreichten Effizienzgewinne durch die wachsende Zahl elektrischer Geräte und Anwendungen in Haushalten und im Dienstleistungs- und Gewerbebereich kompensiert werden. Im Verkehrsbereich bleiben die Wege pro Kopf auf heutigem Niveau und auch die Anteile von MIV, ÖPNV, Fahrrad- oder Fußverkehr verändern sich nicht.

Verglichen mit dem „Ziel“-Szenario erwartet das Szenario „Brücke“, dass der Anteil der elektrisch betriebenen Fahrzeuge geringer ist. In diesem Szenario wird der Strom ebenfalls zu einem großen Teil in Kraft-Wärme-Kopplung sowie regenerativ erzeugt. Einen weiteren Teil liefern fossil befeuerte Kraftwerke mit Kohlenstoffabscheidung (CCS). Bezüglich der Energieeffizienz von Gebäuden, in denen heute ein Großteil der Endenergie<sup>1</sup> zum Heizen verbraucht

wird, unterscheiden sich die beiden Szenarien nicht. Beide rechnen mit erheblichen Einsparungen bei der Wärmeversorgung.

Ob und in welchem Maße effiziente Technologien eingesetzt werden, hängt insbesondere davon ab, ob sie wirtschaftlich sind. Diese Studie nimmt entsprechende Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen anhand von einzelnen Beispielen vor. Dazu wird gezeigt wie hoch die Mehrinvestitionen für energieeffiziente Technologien

gegenüber konventionellen Technologien sind und mit welchen Energiekosteneinsparungen gerechnet werden kann. Bei einem Betrachtungszeitraum von 50 Jahren ist dies eine besondere Herausforderung. Zum einen, weil die technische Entwicklung dazu führen wird, dass sich die Kosten der Effizienztechnologien, der regenerativen Technologien und der konventionellen Energieerzeugungstechnologien mit der Zeit verändern. Zum anderen kann die Wirt-

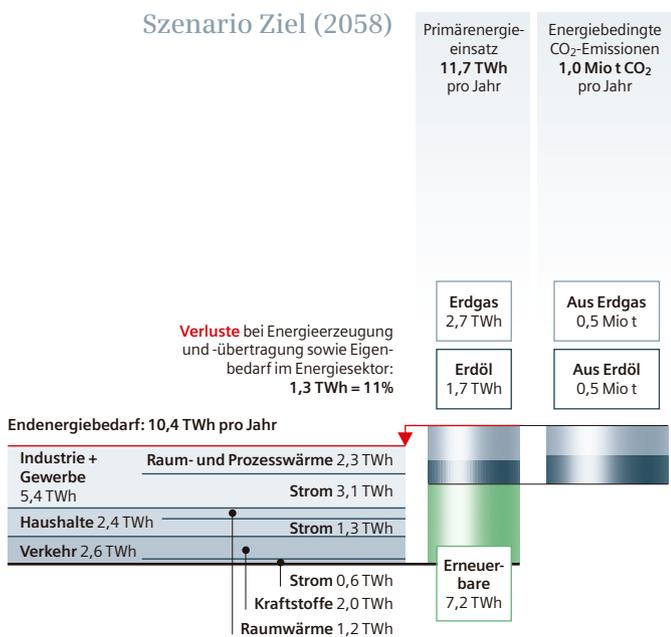


<sup>1</sup> Primärenergie ist jene Energiemenge, die zur Erzeugung von Wärme oder Strom in Form von Gas, Kohle oder Öl eingesetzt wird. Bei der Umwandlung dieser Primärenergie in nutzbare Energieformen treten Verluste auf – etwa durch Eigenverbrauch der Energieerzeuger oder während der Übertragung. Die Energiemenge, die dem Verbraucher am Ende zur Heizung oder zum Betreiben von elektrischen Geräten zur Verfügung steht, wird Endenergie genannt.

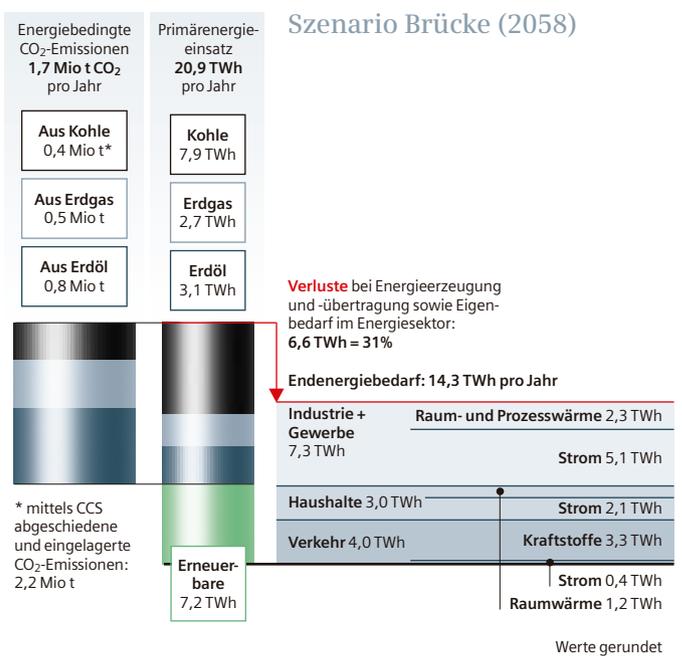


## Energiebedarf Szenario Ziel vs. Szenario Brücke

### Szenario Ziel (2058)



### Szenario Brücke (2058)



schaftlichkeit ein und derselben Effizienztechnologie sehr unterschiedlich sein, je nachdem, wie häufig oder wie viele Stunden pro Jahr sie eingesetzt wird. Drittens ist die Wirtschaftlichkeit von effizienter Technologien wie beispielsweise Energiesparbeleuchtung, Elektrofahrzeuge oder Wärmedämmung unmittelbar von der Entwicklung der Strom-, Öl- und Gaspreise abhängig. Gerade die enormen Ausschläge des Rohölpreises im Jahr 2008 haben deutlich gemacht,

wie schwierig eine langfristige Vorhersage des Preisniveaus für die fossilen Energieträger ist.

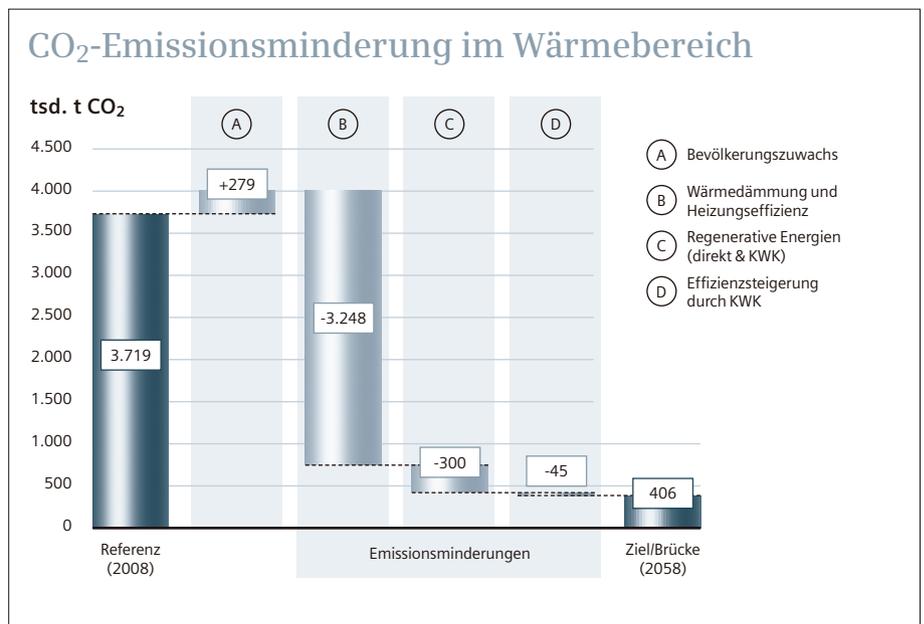
Deshalb verwendet diese Studie für die Entwicklung der Energiepreise zwei Preispfade (Hochpreis- und Niedrigpreisfad), um die Spannweite der Prognosen aufzuzeigen. Der Hochpreisfad geht für die kommenden Jahrzehnte von einem durchschnittlichen realen Anstieg der Heizöl- und Erdgaskosten um 2,5 Prozent pro Jahr von heute 0,08 Euro/kWh auf 0,26 Euro/kWh

im Jahr 2058 aus. Für den Strom wird eine reale Steigerungsrate von 2 Prozent pro Jahr von heute durchschnittlich 0,14 Euro/kWh auf dann 0,36 Euro/kWh angenommen. Der Niedrigpreisfad hingegen erwartet einen realen Anstieg um 1,5 Prozent auf 0,16 Euro/kWh für Heizöl und Erdgas sowie eine jährliche reale Steigerung der Stromkosten von 1 Prozent auf 0,23 Euro/kWh im Jahr 2058. Als Grundlage diente das Leitszenario 2008 des Bundesumweltministeriums.

# 2.1

## Wärmenachfrage Gebäude

Allein die Beheizung der Münchner Gebäude verursacht heute fast die Hälfte der CO<sub>2</sub>-Emissionen der Stadt. Die energetische Sanierung der Häuser kann damit erheblich dazu beitragen, die Emissionen zu reduzieren. Wie wichtig es ist, dabei von vornherein auf eine hochwertige Sanierung nach Passivhausstandard zu setzen, wird klar, wenn man sich vergegenwärtigt, dass der Sanierungszyklus bei Gebäuden etwa 50 Jahre beträgt. Ein wenig effizienter Kühlschrank ist schnell ausgetauscht, eine schlecht isolierende Gebäudehülle nicht. Heutige Entscheidungen bei der Sanierung wirken sich damit bis weit in die Zukunft aus.





Beide Szenarien gehen von zwei wesentlichen Paradigmenwechseln aus, die bis zur Mitte des Jahrhunderts eine weitgehend CO<sub>2</sub>-freie Wärmeversorgung ermöglichen würden. Zum einen ist dies die energetische Optimierung, mit der sich Gebäude von Energieverbrauchern zu Energieproduzenten entwickeln könnten. So wird angenommen, dass CO<sub>2</sub>-freie Gebäude den überwiegenden Teil ihres Energiebedarfs zur Raumheizung und Warmwasserbereitung selbst decken. Möglich wird das durch die Optimierung der Gebäudehülle, die vor allem darauf abzielt, den Energieverbrauch deutlich zu verringern, und durch alternative Energiequellen wie etwa Solar-

thermie, Photovoltaik oder auch Mini-KWK-Anlagen. Der zweite Paradigmenwechsel betrifft die Wärme-Infrastruktur: So würde der Restwärmebedarf im CO<sub>2</sub>-freien Gebäude nicht mehr direkt durch die Verbrennung fossiler Energieträger in konventionellen Heizungsanlagen gedeckt, sondern überwiegend durch Nah- und Fernwärme oder die Nutzung lokaler regenerativer Quellen wie etwa Biomasse-betriebener Blockheizkraftwerke (BHKW) oder Tiefengeothermie. In beiden Szenarien „Ziel“ und „Brücke“ würde damit der Energiebedarf für Raum- und Prozesswärme sowie Warmwasser in München im Jahre 2058 um gut 80 Prozent unter dem heutigen Wert liegen.

**Es wird angenommen, dass folgende Maßnahmen diesen Paradigmenwechsel einleiten:**

→ Bei der Sanierung von Wohn- und Dienstleistungsgebäuden wird angenommen, dass der Passivhausstandard fast flächendeckend umgesetzt werden kann. Damit fast alle Gebäude innerhalb der nächsten 50 Jahre energetisch saniert werden, wird sich die Quote der energetischen Sanierungen von 0,5 Prozent auf 2,0 Prozent pro Jahr erhöhen. Dies bedeutet, dass viermal mehr Hauseigentümer als heute ihre Häuser energetisch sanieren müssten. Der Heizwärmebedarf der sanierten Gebäude wird



dadurch von heute etwa 200 Kilowattstunden pro Quadratmeter und Jahr (kWh/m<sup>2</sup>a) auf 25 bis 35 kWh/m<sup>2</sup>a abgesenkt.

→ Beim Neubau dürfte der Heizwärmebedarf noch darunterliegen, da ein großer Teil der Gebäude sogar nach Plusenergiestandard errichtet wird. Solche Häuser produzieren mehr Energie als sie verbrauchen. Der Wärmebedarf der Neubauten sinkt gegenüber dem heutigen Standard von 80 bis 100 kWh/m<sup>2</sup>a auf 10 bis 20 kWh/m<sup>2</sup>a. Gleichzeitig werden die neuen Gebäude mit Solarenergie ausgestattet, sodass die meisten bilanziell ihren Restenergiebedarf abdecken oder sogar die Überschussenergie ins Netz einspeisen können.

Es wird weiterhin angenommen, dass diese anspruchsvollen Standards bei den meisten Gebäuden erreicht werden können – im Neubau zu 85 und im Altbau zu 80 Prozent. Lediglich ein kleiner Rest wird diese Standards aus verschiedenen Gründen nicht erreichen, beispielsweise weil dem besondere Gebäudenutzungen (zum Beispiel Eissporthalle) oder der Denkmalschutz entgegenstehen.

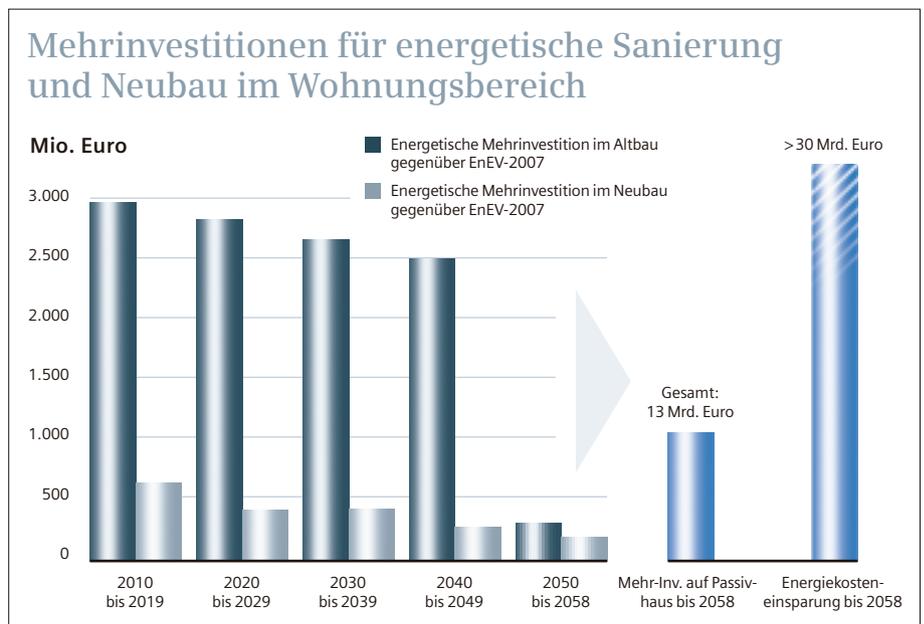
Heutzutage werden in Deutschland jährlich gerade einmal 1,5 Prozent des Gebäudebestands saniert. Denn so lange keine offensichtlichen Schäden auftreten, werden Gebäude oder Gebäudeteile, wie etwa Fenster oder die Heizungsanlage, häufig über ihre ursprünglich vorgesehene Lebensdauer hinweg weitergenutzt. Es entsteht ein Sanierungsstau, der langfristig den Wert der Bausubstanz reduziert. Energetisch saniert werden heute pro Jahr sogar nur etwa 0,5 Prozent der deutschen Häuser, obwohl damit wesentliche Einsparpotenziale verschenkt werden. Eine energetische Sanierung sollte da-

her erwogen werden, wenn Fassaden ohnehin gestrichen oder Dachböden ausgebaut werden. Da das Gebäude in einem solchen Fall sowieso eingerüstet oder das Dach erneuert wird, fallen die Zusatzkosten für die optimale energetische Sanierung geringer aus. Zudem werden die Zusatzkosten durch Förderprogramme des Bundes und der Stadt München abgedeckt. Für eine Sanierung spricht weiter, dass sich die Investitionen durch einen höheren Komfort, eine bessere Vermietbarkeit oder sogar höhere Mieten ökonomisch auszahlen können. Auch auf politischer Ebene wird die energetische Sanierung von Altbauten inzwischen forciert. So

strebt das Bundesbauministerium derzeit eine jährliche Quote von drei Prozent bei energetischen Sanierungen an.

Diese Studie nimmt an, dass bei allen genannten Maßnahmen der beste verfügbare und umsetzbare Standard zum Einsatz kommt. Insgesamt sinkt der mittlere Heizwärmebedarf der Münchner Wohngebäude von heute circa 200 kWh/m<sup>2</sup>a auf durchschnittlich 23 kWh/m<sup>2</sup>a. Damit läge der Heizwärmebedarf in München Mitte des Jahrhunderts um 80 bis 90 Prozent unter dem heutigen Wert.

Hinzu kommt Paradigmenwechsel 2 – die Veränderungen der Infrastruktur bei der Bereit-





stellung der Wärmeenergie. Der drastisch verringerte Wärmeenergiebedarf könnte zur Mitte des Jahrhunderts zu vier Fünfteln durch Fern- und Nahwärmesysteme abgedeckt werden, die ihrerseits dank der gekoppelten Erzeugung von Strom und Wärme wesentlich effizienter sind. Der Rest, der noch dezentral in den Gebäuden erzeugt wird, könnte überwiegend aus regenerativen Energien wie etwa Solarthermie stammen. Die entsprechenden CO<sub>2</sub>-Emissionen würden durch beide Strategien auf knapp etwa 400.000 Tonnen beziehungsweise rund 300 Kilogramm pro Kopf und Jahr, also auf etwa ein Zehntel des heutigen Wertes sinken! Für die

Wärmeversorger bedeutet dies indes eine große Herausforderung, denn zukünftig würde die Zahl der Nah- und Fernwärme-Kunden und damit der kostspieligen Hausanschlüsse steigen. Der Wärmebedarf pro Haushalt und somit die Einnahmen hingegen erheblich schrumpfen. Mögliche Lösungsansätze stellt diese Untersuchung im Kapitel „Wärmebereitstellung“ vor.

**Wirtschaftlichkeitsbetrachtung:** Die Dämmung von Gebäuden und eine Wärmesanierung nach Passivhausstandard gibt es freilich nicht zum Nulltarif. Und auch für den Neubau von Passiv- oder gar Plusenergiehäusern sind zu-

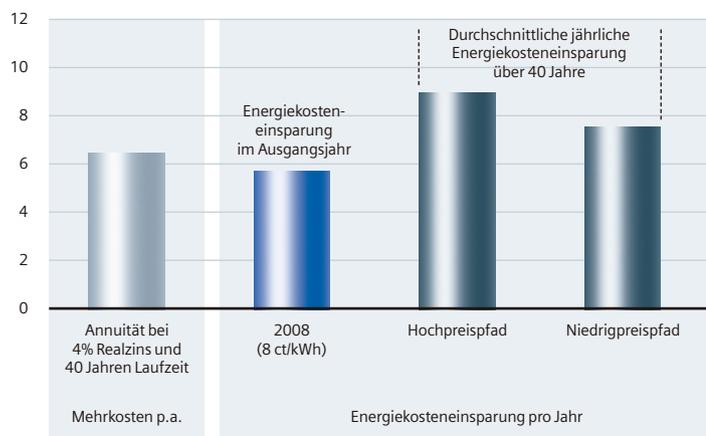
sätzliche Investitionen nötig. Die Mehrkosten gegenüber einem Standardbau nach Energieeinsparverordnung (EnEV) 2007 sind beträchtlich. Wie die folgenden Wirtschaftlichkeitsberechnungen zeigen, lohnt sich der finanzielle Aufwand trotzdem. Denn im Laufe der Zeit übersteigen die Einsparungen aufgrund der erheblich reduzierten Ausgaben für Erdgas und Erdöl die anfänglichen Investitionen bei Weitem. Nach den weiter unten im Detail dargestellten Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen müssten die Stadt sowie die Bürger Münchens bis Mitte des Jahrhunderts für die energetische Sanierung der Gebäude nach Passivhausstandard sowie für den Neubau von Passiv- und Plusenergiehäusern gegenüber der Trendentwicklung insgesamt rund 13 Milliarden Euro mehr als bei einer Sanierung nach EnEV-2007 aufbringen, um die Stadt auf einen CO<sub>2</sub>-freien Pfad zu bringen. Heruntergerechnet auf alle Münchner Bürger wären das 200 Euro pro Jahr. Durch diese Mehrinvestitionen können im Jahr 2058 rund 10 Milliarden kWh Endenergie eingespart werden. Bei den für das Jahr 2058 angenommenen Endverbraucherpreisen für Wärme von 16 Cent/kWh im Niedrigpreisfad oder 26 Cent/kWh im Hochpreisfad beträgt die jährliche Kosteneinsparung bei der Endenergie dann im Gebäudebereich rund 1,6 Milliarden Euro beziehungsweise 2,6 Milliarden Euro. Pro Kopf wären das Einsparungen von etwa 1.200 beziehungsweise 2.000 Euro. Insgesamt würden sich die Energiekosteneinsparungen über den Gesamtzeitraum bis 2058 auf mehr als 30 Milliarden Euro belaufen.<sup>2</sup>

Im Folgenden stellt diese Studie zwei Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen im Detail vor –

## Wirtschaftlichkeit Neubau Passivhaus

(Mehrkosten 8% gegenüber EnEV-2007)

Euro/m<sup>2</sup> p.a.



Quelle: Wuppertal Institut

<sup>2</sup> Allerdings ist zu beachten, dass sich die Mehrinvestitionen auf den heutigen EnEV-2007-Standard beziehen. Künftige Anhebungen des Standards, die die Mehrkosten verringern würden, sind nicht mit eingerechnet. Zudem wurden in den Berechnungen auch die Finanzierungszinsen nicht berücksichtigt. Die Endenergieeinsparungen wurden ebenfalls in Bezug auf den EnEV-2007-Standard berechnet.



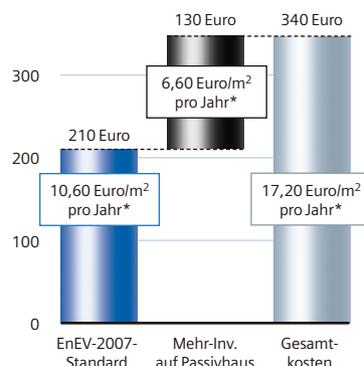
zum einen für Neubauten, die statt nach der Energieeinsparverordnung 2007 in Passivhaus- oder Plusenergiehausbauweise errichtet werden, zum Zweiten für Altbauten, die gemäß Passivhausstandard saniert werden.

**1. Durchaus lohnend: Passivhaus und Plusenergiehaus:** Passivhäuser und Plusenergiehäuser sind die Bauformen der Zukunft. Beide sind hocheffiziente, hervorragend gedämmte Gebäudetypen, die den Wärme- und Energiebedarf drastisch reduzieren. Der Energieverbrauch eines Passivhauses ist bereits ausgesprochen niedrig. Das Plusenergiehaus-Konzept aber geht noch einen Schritt weiter: Diese Bauten sollen keine zusätzliche Energie verbrauchen, sondern sind so konzipiert, dass sie, etwa mithilfe von Solaranlagen, ausreichend Strom und Wärme erzeugen und netto Energie ins Netz einspeisen.

Dank der hervorragenden Dämmung der Wände, Decken und dreifachverglaster oder vakuumgedämmter Fenster geben Passivhäuser im Winter kaum Wärme ab. Durch die großen Fensterflächen trägt vor allem die Sonnenstrahlung zur passiven Beheizung bei. Diese Gebäude benötigen deshalb nur noch eine Heizungsanlage mit sehr geringer Leistung, meist kommen sie sogar ohne konventionelle Heizung aus. Stattdessen sind sie mit einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung ausgestattet. Voraussetzung für den Betrieb einer solchen Anlage ist, dass das Gebäude luftdicht ist, denn ein solches System gewinnt Wärme aus der verbrauchten, warmen Raumluft und heizt damit über einen Wärmetauscher den Frisch- und Zuluftstrom. Wie erste Bauprojekte zeigen, ist die Nach-

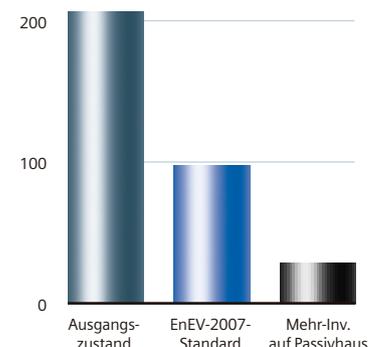
## Sanierungskosten und Endenergieverbrauch (bei Sanierung auf annähernd Passivhausstandard)

**Energiebezogene Sanierungskosten  
Euro/m<sup>2</sup> Wohnfläche**



\* Annuität bei 4% Realzins und 40 Jahren Laufzeit

**Endenergieverbrauch Wärme  
kWh/m<sup>2</sup> Wohnfläche p.a.**



Quelle: Wuppertal Institut



## Best Practice

## Passivhaus und Gebäudesanierung



Obgleich der Passivhausstandard längst Stand der Technik ist, ist er bei Neubau und Sanierung noch nicht die Regel. Dafür gibt es verschiedene Gründe. Zum einen mangelt es vielen Gebäudeeignern an Investitionskapital. Andere Eigner scheuen eine langfristige Kapitalbindung. Vermieter hingegen zögern, weil sie die Mehrkosten für die entsprechende Sanierung nicht immer auf die Mieter umlegen können. Ein weiterer Hemmschuh ist die Tatsache, dass der Passivhausstandard in der Praxis bei vielen

Handwerkern, Planern und Beratern noch wenig bekannt ist. Doch inzwischen gibt es eine ganze Reihe von Beispielen, die zeigen, wie Energieeffizienzmaßnahmen im großen Stil umgesetzt werden – auch wenn dabei nicht von vornherein gleich der Passivhausstandard zum Einsatz kommt, sondern nur einzelne Effizienz-Technologien. Schon 1998 startete die Stadt München mit ihrem „Energiesparkonzept für 1000 Gebäude“ ein Programm zur Verbesserung der Energieeffizienz in 50 Prozent aller städtischen Gebäude. Ziel des Programms war es vor allem, Verbesserungen vorzunehmen, die sich schnell umsetzen lassen und sich kurzfristig amortisieren – der Austausch von Heizkesseln oder Pumpen etwa. Die Projektergebnisse zeigen, dass allein schon diese Einzelmaßnahmen jährlich 13 Prozent CO<sub>2</sub> einsparen. Die Kosteneinsparung beträgt jährlich 2,2 Millionen Euro, die Amortisationszeit im Schnitt nur 4,5 Jahre. In anderen Sanierungsprojekten hat die Stadt München noch größere Effizienzgewinne erreicht. Ein

Beispiel ist die Grundschule am Agilolfingerplatz. Hier wurden die oberen Geschossdecken gedämmt, die Flachdächer und Heizungsanlage saniert, stromsparende Lampen, eine Steuerung für die Gebäudetechnik sowie eine Biomasse- und Solaranlagen installiert. Aus Rücksicht auf die historische Fassade wurden ferner nur die Heizungsrisen, Abseitenwände und Bodenplatten im Keller, nicht aber die Außenwände wärmedämmend. Dennoch sind die Energie- und CO<sub>2</sub>-Einsparungen beträchtlich. Der Kohlendioxidausstoß sank trotz leicht gestiegenen Strombedarfs um 43 Prozent.

Die Stadt Frankfurt am Main will laut Ratsbeschluss künftig noch weiter gehen. Demnach wird die Stadt und insbesondere die mehrheitlich im Besitz der Stadt befindliche Wohnungsbaugesellschaft bei allen städtischen Neubau- sowie bei Public-Private-Partnership-Projekten und Sanierungen den Passivhausstandard umsetzen. Nur in Ausnahmefällen dürfen Gebäude mit einem niedrigeren Effizienzstandard errichtet oder saniert werden. Als Vorgabe gilt in jedem Fall eine um 30 Prozent bessere Energieeffizienz als derzeit in der EnEV-2007. Damit bekennt sich die Stadt Frankfurt als eine der ersten Kommunen sowie als einer der ersten größeren Gebäudeeigentümer bundesweit zum routinemäßigen Einsatz des Passivhausstandard als der heutzutage erstrebenswerten Bauweise.

Ein überzeugendes Beispiel für eine Energiesparkampagne, die sich an alle am Bau oder der Sanierung beteiligten Kreise der Bevölkerung wendet, ist das von den niederländischen Umwelt-, Energie- und Bauministerien vorangetriebene Programm „Meer met minder“. Die Kampagne verfolgt das Ziel, private Hausbesitzer durch intensive Öffentlichkeitsarbeit davon zu überzeugen, dass sich Energieeffizienzmaßnahmen lohnen. Einbezogen werden auch Handwerksbetriebe, die im Rahmen des Projektes an entsprechenden Fortbildungen teilnehmen können. Ziel der Regierung ist es, bis zum Jahr 2020 den Endenergiebedarf in rund 2,5 Millionen Häusern und Wohnungen um ein Drittel zu senken. Zu den Maßnahmen gehört der Einbau effizienter Geräte oder von Solaranlagen und auch die Gebäudedämmung.



rüstung alter Gebäude mit derartigen Anlagen durchaus möglich, aber aufwendig. Moderne Anlagen können bis zu 90 Prozent der Wärme zurückgewinnen. Verlegt man den Zuluftkanal im Erdreich, lässt sich die Luft zusätzlich vorwärmen. Derartige Häuser erreichen einen Jahresheizwärmebedarf von weniger als 15 kWh/m<sup>2</sup>a. Bei Häusern nach EnEv-2007-Standard liegt der durchschnittliche Wert etwa fünf- bis sechsmal höher.

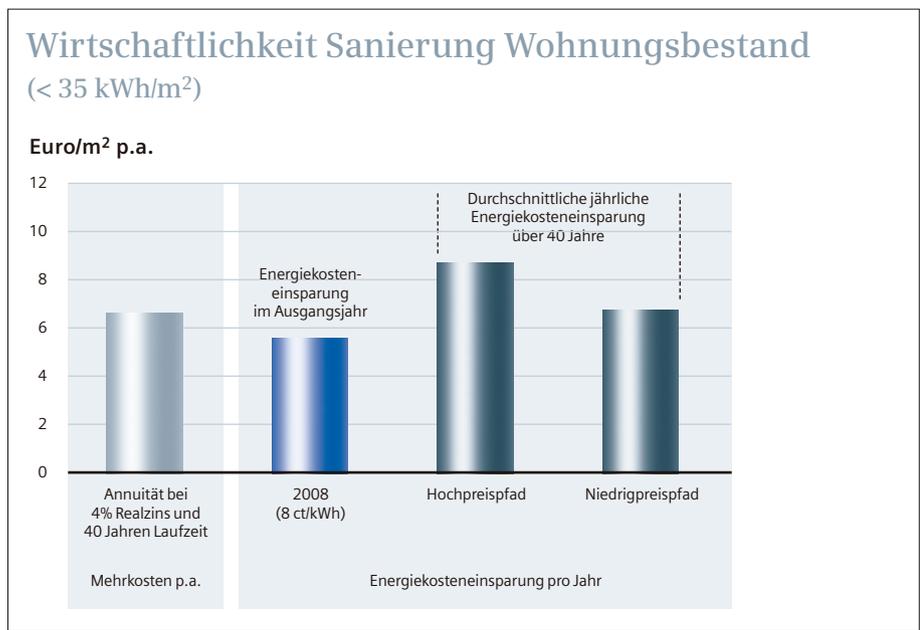
Diese Studie geht nach den bisher vorliegenden Erfahrungen davon aus, dass ein Passivhausneubau im Mittel etwa 8 Prozent<sup>3</sup> teurer als ein Standardneubau nach EnEV-2007 ist. Legt

man diese Mehrinvestitionen annuitätisch bei einem Realzinssatz<sup>4</sup> von 4 Prozent auf einen Abschreibungs- und Kreditlaufzeitraum von 40 Jahren um, ergibt sich für das Passivhaus eine zusätzliche Belastung von rund 6,50 Euro pro Quadratmeter und Jahr.<sup>5</sup> Dem stehen Energiekosteneinsparungen von knapp 6 Euro pro Quadratmeter im Anfangsjahr der Investition gegenüber. Im Hochpreispfad liegen die Energiekosteneinsparungen<sup>6</sup> über den 40-Jahres-Zeitraum im Durchschnitt bei rund 8,80 Euro pro Quadratmeter, im Niedrigpreispfad bei 7,40 Euro pro Quadratmeter. Die Mehrinvestition in ein Passivhaus ist also durchaus attraktiv, auch wenn die

eingesparten Energiekosten in den ersten 5 bis 8 Jahren geringer sein mögen als die zusätzliche Belastung über einen entsprechenden Kredit.

Die Zusatzkosten können außerdem durch zinsbegünstigte Kredite der Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) sowie durch die öffentliche Förderung für thermische Solaranlagen oder Holzpelletanlagen deutlich gesenkt werden.

**2. Und wie viel mehr kostet eine Altbau-sanierung nach Passivhausstandard?** Für die Berechnung der Mehrkosten einer Altbau-sanierung gemäß Passivhausstandard legt diese Studie eine Sanierung nach dem zurzeit gül-



<sup>3</sup> Der Neubau eines Passivhauses verursacht in der Regel Mehrkosten zwischen 0 und 16 Prozent gegenüber dem heutigen EnEV-2007-Standard. Hier wird der Mittelwert zugrunde gelegt. <sup>4</sup> Realzins ist der Nominalzins abzüglich der langjährigen durchschnittlichen Inflationsrate. <sup>5</sup> Natürlich wird man in der Realität kaum einen Kreditvertrag mit einer Laufzeit von mehr als 30 Jahren abschließen. Die 40-Jahres-Perspektive hat jedoch den Vorteil, dass die jährliche Kostenbelastung aus Zins und Tilgung vom Bau über den technischen Lebenszyklus des Gebäudes bis zur ersten grundlegenden Sanierung mit den durchschnittlichen Einsparungen bei der Energiebeschaffung verglichen werden können. <sup>6</sup> Finanzmathematischer Mittelwert



tigen Standard der EnEV-2007 zugrunde. Dabei sind die Mehrkosten vom Haustyp (zum Beispiel Einfamilienhaus oder Mehrfamilienhaus), dem Alter sowie von der Struktur der Gebäudehülle abhängig.

In einem ersten Schritt wurden die Kosten einer energetischen Sanierung auf EnEV-2007-Niveau ermittelt, was einem durchschnittlichen Heizwärmebedarf von jährlich etwa 100 kWh pro Quadratmeter Wohnfläche entspricht. In einem zweiten Schritt wurden zusätzlich die Mehrkosten für Maßnahmen einer weitreichenderen Sanierung errechnet. Damit wird ein Heizenergiebedarf von weniger als 35 kWh/m<sup>2</sup> und Jahr erreicht – ein Wert, der nahe am Passivhausstandard liegt. Die gesamten Investitionskosten der energetischen Sanierung betragen im Durchschnitt rund 340 Euro pro Quadratmeter. Davon entfallen knapp 130 Euro pro Quadratmeter auf die zusätzlichen Investitionen, die über den EnEV-2007-Standard hinausgehen, womit gegenüber einer Sanierung nach EnEV-2007 jährlich weitere 70 kWh pro Quadratmeter eingespart werden können. Nimmt man die Mehrinvestition von knapp 130 Euro pro Quadratmeter für die weitergehende Sanierung als Kredit mit einem Realzins von 4 Prozent und einer Laufzeit von 40 Jahren auf, so ergibt sich pro Quadratmeter sanierter Wohnfläche eine Belastung von 6,60 Euro pro Jahr. Bei einem Endenergiepreis von 8 Cent pro Kilowattstunde stehen diesen Kosten anfängliche Einsparungen von 5,60 Euro pro Quadratmeter gegenüber. Über die Lebensdauer der Sanierungsmaßnahmen ergeben sich durchschnittlich 8,50 Euro pro Quadratmeter (Hochpreispfad) und 7,10 Euro pro Quadratmeter im Niedrigpreispfad.

## Technologie- Ausblick

## Gebäudedämmung

Die Dämmung von Gebäuden ist der wichtigste Hebel zur CO<sub>2</sub>-Einsparung in München. Bislang kommen dafür vor allem Außendämmungen infrage, die zum Beispiel mit Spezialmörteln auf die Außenwand der Gebäude geklebt werden. Am gebräuchlichsten sind derzeit Polystyrol- oder Polyurethanplatten sowie Mineralfaserplatten. Allerdings sind sie mit bis zu 30 Zentimeter Dicke recht mächtig. Eine künftige, schlankere Alternative sind so genannte Vakuumisulationspaneele (VIP), dünne Dämmelemente, die auf die Hauswand montiert werden. VIPs sollen künftig als Grobelemente vorgefertigt und dann vor Ort an einem Befestigungssystem an der Hauswand eingehängt werden. Damit ließen sich Arbeitsstunden und Lohnkosten reduzieren. VIPs sind vergleichsweise neu, wurden aber schon in verschiedenen Pilotprojekten erprobt. In ihrem Innern befindet sich ein Vakuumfüllkern, der Wärme sehr schlecht leitet. Daher lässt sich eine gute Wärmedämmung bereits mit sehr dünnen VIPs erreichen. VIPs mit einer Dicke von 3,5 Zentimetern dämmen genauso gut wie 30 Zentimeter starkes Polystyrol.

Ein weiteres neues Material sind sogenannte mikroverkapselte Latentwärmespeicher oder „Phase Change Materials“ (PCM). PCM sind technisch schon weitgehend ausgereift. Sie werden in der Regel für die passive Klimatisierung von Räumen genutzt. Dabei handelt es sich zumeist um Wachse, die beispielsweise Gipskartonplatten oder Wandanstrichen zugesetzt werden. Diese Wachse wechseln je nach Temperatur von der flüssigen in die feste Phase. Steigt die Temperatur, schmelzen sie und nehmen dadurch Wärme auf. Gegen Abend verfestigen sie sich wieder und geben die Wärme ab. Sie sorgen so für eine passive Kühlung des Gebäudes, indem sie den Räumen tagsüber Wärme entziehen, die sie während der Nacht über eine Lüftungsanlage wieder abgeben. PCM sind somit besonders für die Sanierung von Leichtbauten und Gebäuden mit großen Glasfassaden geeignet. Sie können Klimaanlage erheblich entlasten oder ganz überflüssig machen.

# Stromnachfrage Gebäude

Elektrischer Strom ist essenziell für das Funktionieren unseres Alltags. Die Kaffeemaschine, der Küchenherd, der Kopierer im Büro – Strom benötigen wir für Hunderte von Anwendungen. Bedenkt man, wie viele elektrische Geräte in den vergangenen Jahren vom Laubsauger über den DVD-Spieler bis zum Handy zusätzlich Einzug in unser Leben gehalten haben, so ist nicht auszuschließen, dass ihre Menge auch in Zukunft weiter zunehmen wird. Viele dieser zusätzlichen Anwendungen sind heute noch nicht vorstellbar.

Der gesamte Stromverbrauch in Haushalt, Gewerbe, Industrie, Handel, Dienstleistungen und Verkehr verursachte im Jahr 2008 rund 39 Prozent der CO<sub>2</sub>-Emissionen Münchens. Ohne entsprechende Maßnahmen wird dieser Anteil zukünftig voraussichtlich steigen. So sind es zwei wesentliche Faktoren, die die Menge des durch die Stromgewinnung verursachten CO<sub>2</sub>-Ausstoßes bestimmen – erstens die Nachfrage nach elektrischer Energie und zweitens die Erzeugung des Stroms selbst. An dieser Stelle wird zunächst die Nachfrage-Seite betrachtet.

**Paradigmenwechsel Effizienzgewinn:** Das Szenario „Ziel“ geht davon aus, dass elektrische Energie in Gebäuden künftig erheblich effizienter genutzt wird. Trotz zusätzlicher elektrischer Anwendungen liegt der Stromverbrauch in den Haushalten und Büros der Zukunft im Durchschnitt um rund 40 Prozent niedriger als heute. Das Szenario „Brücke“ hingegen nimmt an, dass die Stromeinsparung in den Gebäuden weniger signifikant ausfällt und vor allem durch neue zusätzliche Anwendungen kompensiert wird. Dies hat zur Folge, dass der Strombedarf pro Ein-

wohner trotz der Effizienzgewinne stagniert. Eine aktuelle Studie des Bundesverbands der Deutschen Industrie (BDI)<sup>7</sup> liefert ähnliche Ergebnisse. Sie geht davon aus, dass der Stromverbrauch in Deutschland bis 2030 nur leicht auf 255 Milliarden kWh sinken wird (gegenüber 267 Milliarden kWh in 2004). Als Grund für den geringen Rückgang sieht die BDI-Studie eine weitere Durchdringung der Haushalte mit diversen Elektrogeräten. Gleichzeitig nähert sich aber die durchschnittliche Geräteeffizienz dem heutigen Stand der Technik an.

So vielfältig wie wir elektrischen Strom nutzen, so groß ist die Liste der Möglichkeiten, mit

denen sich Strom sparen und die Effizienz von Geräten verbessern ließe. Folgende Maßnahmen entfalten die größte Wirkung:

- Einsatz stromeffizienter Hausgeräte und Büroanwendungen
- Einsatz effizienter Beleuchtung
- Optimierung der Gebäudesteuerung und -kühlung

Allein durch eine intelligente Steuerung der Gebäudetechnik – insbesondere bei Heizung, Klimaanlage und Licht – kann schon heute in großen Gebäuden bis zu 30 Prozent Strom gespart werden. Mit diesen Technologien lassen sich Gebäude jederzeit nachrüsten, ohne dass



dafür eine aufwendige Sanierung nötig wäre. Das Rückgrat ist dabei der Einsatz von Sensoren. Dank dieser Sensoren springen die stromzehrenden Anwendungen nur dann an, wenn es nötig ist. Heute hingegen arbeiten die Anlagen oft ununterbrochen, so bleiben zum Beispiel die Beleuchtung und die Heizungspumpen häufig den ganzen Tag eingeschaltet. In den sogenannten Smart Buildings schalten Bewegungssensoren die Beleuchtung nur dann ein, wenn tatsächlich jemand im Raum ist. Kohlendioxid-Sensoren in Büros messen, wie verbraucht die Luft ist, und geben bei Bedarf den Befehl an die Lüftungsanlage, wohlndosiert Frischluft zuzufüh-

ren. Und über Raumregler lässt sich in jedem Büro der Kälte- oder Wärmebedarf individuell regeln.

Noch tragen Klimatisierung und Lüftung mit etwa 20 Prozent zum Stromverbrauch in Bürogebäuden bei. Dieser Verbrauch lässt sich durch eine entsprechende Planung und integrale Betrachtungsweise bei der Gebäudekonzeption und durch neue Techniken deutlich reduzieren. Dabei ist eine frühzeitige Gebäudeplanung besonders wichtig. So können Planer das Gebäude oder Verschattungselemente so ausrichten, dass sich die Räume möglichst wenig aufheizen. Zudem lässt sich die erforderliche Kältemenge reduzieren, indem man effiziente elektrische

Geräte, Server oder Lampen verwendet, die während des Betriebs nur wenig Wärme abgeben. Zusätzlich gibt es eine ganze Reihe technischer Lösungen und neuer Konzepte für eine effiziente Kühlung. Manche Lüftungsanlagen werden inzwischen so ausgelegt, dass sie die frische Nacht- und Morgenluft in Gebäude einleiten und für die Kühlung nutzen können. In anderen Gebäuden werden die Räume nicht mehr über klassische Klimaanlage, sondern über Wasserrohre gekühlt. Das kalte Wasser durchströmt die Zimmerdecke und liefert so von oben angenehme Kühle. Auch die Abwärme der Kälteanlagen selbst lässt sich nutzen, beispiels-



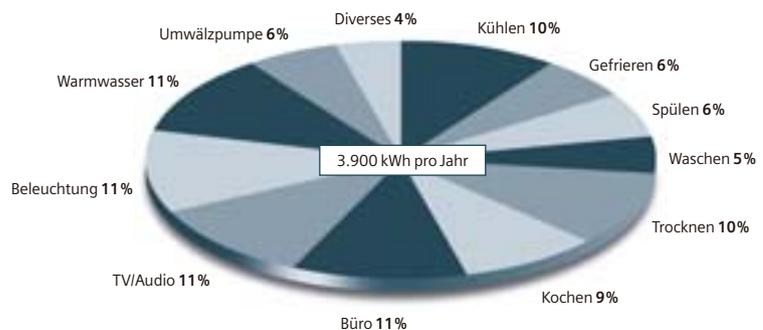
weise zur Brauchwassererwärmung. Herkömmliche Klimatisierungssysteme, in denen ständig große Ventilatoren rauschen, die kalte Luft aus stromzehrenden Klimageräten durch das Gebäude blasen, sind damit verzichtbar. Längst gibt es ausgeklügelte Gebäudesteuerungen, die die vielen Parameter verwalten und alle Untersysteme aufeinander abstimmen. Auch die Temperaturdifferenzen innerhalb von Gebäuden lassen sich so einfach und stromsparend ausgleichen – Wasserkühlung vorausgesetzt. So ist es in den oberen Stockwerken eines Gebäudes oft sehr warm, während es in den tieferen Etagen eher kühl bleibt. In einem solchen Fall kühlt das Wasser die oberen Etagen, heizt sich dabei auf und fließt zurück nach unten, wo es die gespeicherte Wärme an die kühlen Räume abgibt.

Diese Studie berücksichtigt neben dem Energieverbrauch in den Gebäuden den Stromverbrauch der Industrie im Münchner Stadtgebiet. Da die produzierende Industrie einen relativ kleinen Teil zur lokalen Wertschöpfung beiträgt und der Stromverbrauch der Industrie weniger als ein Viertel des gesamten Stromverbrauchs ausmacht, ist ihr Gesamtbeitrag zu den Stromersparungen begrenzt. Im Einzelfall jedoch können auch hier beachtliche Einsparpotenziale ausgeschöpft werden – beispielsweise bei Industriemotoren, die Maschinen, Förderbänder, Pumpen oder Ventilatoren antreiben. Viele dieser Motoren arbeiten ineffizient, weil sie nicht richtig ausgelegt sind und ihre Drehzahl nicht an den Leistungsbedarf angepasst werden kann, das heißt, sie arbeiten stets mit derselben Drehzahl, selbst wenn gar nicht die volle Kraft erforderlich ist. Dank moderner Frequenzumrichter ist heute aber eine verbesserte Steuerung der

Motoren möglich. Dass es besser geht, zeigen moderne energieeffiziente Motorenkonzepte, die gegenüber herkömmlichen Standardmotoren Einsparungen von mehr als 40 Prozent erzielen können. Der Stromverbrauch hängt indes nicht allein vom Motor ab, sondern vom gesamten Antriebsstrang, der aus mehreren Komponenten besteht. Je nach Anlage lassen sich damit Stromersparungen von bis zu 60 Prozent und mehr erreichen. Wenn man bedenkt, dass die Antriebstechnik beim industriellen Strombedarf mit etwa zwei Dritteln zu Buche schlägt, wird deutlich, dass es auch in der Industrie ein großes Potenzial für Effizienzgewinne gibt.

**Wirtschaftlichkeitsbetrachtung:** Doch so vielfältig die Effizienzlösungen auch sind, für alle gilt: Nur wenn sie sich rechnen, werden sie auch eingesetzt. Anhand zweier Beispiele werden hier exemplarisch Wirtschaftlichkeitsanalysen durchgeführt. Anders als bei Gebäuden mit durchschnittlichem Sanierungszyklus von 50 Jahren geht man im Strombereich je nach Technologie von einer Nutzungsdauer zwischen 10 und 20 Jahren aus. Die eingesetzte Technik muss sich also in diesem Zeitraum rechnen. Da nur schwer abschätzbar ist, wie sich die Kosten für effiziente Geräte in Zukunft entwickeln werden, beziehen sich die beiden hier durch-

### Aufteilung des Stromverbrauchs eines typischen 3-Personen-Haushalts heute (ohne Nachtspeicherheizungen)



Quelle: Wuppertal Institut 2008



geführten Berechnungen auf Technologien, die bereits heute im Markt sind.

**Beispiel Privathaushalt – das effiziente Kühlgerät:** Kühlgeräte tragen heute mit etwa 10 Prozent zum Stromverbrauch im Haushalt bei. Der Einsatz effizienter Technik lohnt sich hier also durchaus. Tatsächlich konnte der Stromverbrauch von Kühl- und Gefriergeräten schon in der Vergangenheit erheblich gesenkt werden. Ein hocheffizientes Kühlgerät ohne Eisfach der EU-Verbrauchsklasse A++ verbraucht heute etwa 80 Kilowattstunden pro Jahr. Eine Kühl-Gefrier-Kombination derselben Klasse weist

einen Stromverbrauch von etwa 180 kWh auf. Im Vergleich dazu benötigt ein A-Klassen-Kühlschrank ohne Eisfach immerhin etwa 160 Kilowattstunden und eine Kühl-Gefrier-Kombination der A-Klasse sogar 320 kWh pro Jahr. Bislang jedoch haben die hocheffizienten A++ Geräte aus verschiedenen Gründen erst einen Marktanteil von knapp fünf Prozent. Zum einen hat es einige Zeit gedauert bis diese Geräte flächendeckend im Handel angeboten wurden. Zum anderen ist vielen Käufern die Effizienzklasse A++ nicht bekannt. Andere Käufer scheuen den Mehrpreis und wieder anderen fehlen Vergleichsmöglichkeiten, um die eingesparten

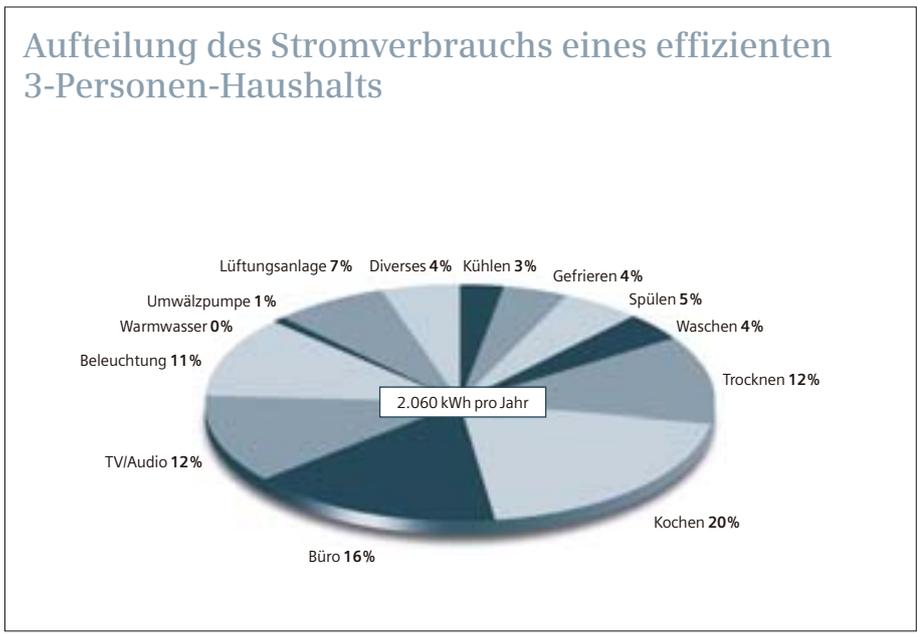
Stromkosten ins Verhältnis zum Mehrpreis zu setzen. Wie untenstehende Berechnungen zeigen, wäre der Kauf dennoch wirtschaftlich, obwohl die A++ Geräte in der Regel deutlich teurer sind.

Der Mehrpreis für eine A++ Kühl-Gefrier-Kombination gegenüber dem A-Gerät wird hier mit 250 Euro angesetzt. Dieser Mehrpreis führt, über die durchschnittliche Gerätelebensdauer von 15 Jahren gerechnet, zu einer jährlichen Belastung von 26 Euro (bei einem Realzins von 4 Prozent). Die jährlichen Stromkosteneinsparungen liegen bereits im Ausgangsjahr bei 28 Euro und steigen durch die jährliche Preissteigerung an, sodass sich der Mehrpreis der A++ Kühl-Gefrier-Kombination gegen Ende der Lebensdauer mehr als bezahlt gemacht hat.

**Beispiel Bürogebäude – die effiziente Beleuchtung:**

Effiziente Beleuchtung ist mehr als eine Energiespar- oder Leuchtstofflampe. Eine effiziente Beleuchtung umfasst mehrere Komponenten. Bei der Planung der richtigen Beleuchtung wird zunächst die gewünschte Helligkeit, das Lichtniveau, festgelegt. Anschließend wird geklärt, mit welchen Leuchten, Leuchtmitteln und Vorschaltgeräten sich dieses Lichtniveau in einem Raum mit seiner individuellen Gestalt erreichen lässt.

Drittens sollte auch das Tageslicht im Beleuchtungskonzept berücksichtigt werden. Das Kunstlicht wird dabei über eine Tageslichtsteuerung zugeschaltet. Präsenzwächter sorgen außerdem dafür, dass die Beleuchtung nur dann aktiv ist, wenn der Raum auch genutzt wird. Inzwischen gibt es eine ganze Reihe von Beleuchtungstechnologien, die deutlich sparsa-



Quelle: Wuppertal Institut 2008



## Best Practice

## Energiesparcontracting

Was tun, wenn der gute Wille da ist, aber das Geld für energiesparende Technik, neue Heizungen oder Lüftungsanlagen fehlt? Eine Lösung ist das **Energiespar-Contracting**: Ein Energiedienstleister (Contractor) übernimmt die Finanzierung, Planung und Umsetzung von Energiesparmaßnahmen und garantiert dem Auftraggeber eine vertraglich festgelegte Energie- und Kosteneinsparung. Der Contractor wird aus diesen Energieeinsparungen bezahlt. Nach Ende der Vertragslaufzeit kommen dem Auftraggeber die Kosteneinsparungen dann in voller Höhe zugute.

Das funktioniert selbst dann, wenn sehr viele Gebäude bei knappen Finanzmitteln saniert werden müssen. Ein Beispiel ist die „Energiesparpartnerschaft Berlin“. Schon 1995 hatte sich das Land Berlin dazu entschlossen, mit Unterstützung einer Consulting-Gesellschaft öffentliche Liegenschaften energetisch zu sanieren. Bis heute wurden in rund 500 Liegenschaften Maßnahmen zur Energieeinsparung durchgeführt, für die mithilfe privater Energiedienstleister rund 60 Millionen Euro investiert wurden – inklusive der Instandhaltungskosten. Dadurch konnten die Energiekosten in Schulen, Kindertagesstätten, Universitäten, Verwaltungsgebäuden oder Schwimmbädern um 25 Prozent gesenkt werden. Jährlich werden dadurch 11 Millionen Euro eingespart. Der Berliner Haushalt erhält davon bis zum Ende der Vertragslaufzeit 2,9 Millionen Euro. Danach fallen ihm die vollen Einsparungen zu.

Dass sich das **Energiespar-Contracting** auch für Projekte eignet, die darauf abzielen, den Großteil der vorhandenen Einsparpotenziale umzusetzen, zeigt das Konzept „Solar&Spar“. Dabei handelt es sich um ein Bürger-Contracting-Modell, mit dem in den vergangenen Jahren in Nordrhein-Westfalen die energetische Sanierung von mehreren großen Schulen finanziert wurde. In jedem dieser Projekte hat sich eine Vielzahl privater Anleger dazu verpflichtet, ein konkretes Sanierungsprogramm und den Bau einer größeren Photovoltaik-Anlage zu finanzieren. Die privaten Kapitalgeber werden dafür am Einsparerfolg beteiligt. In vier Schulen wurden für insgesamt mehr als drei Millionen Euro neue Haustechnik eingebaut und Sanierungen durchgeführt. Dazu zählen neben der Installation großer Photovoltaik-Anlagen auch effiziente Beleuchtungsanlagen, die Sanierung der Heizungsanlagen mitsamt Heizkreislauf und Regelungstechnik, die Sanierung der Lüftungstechnik und der -regelung sowie der Bau von Blockheizkraftwerken. Mit diesen Investitionen konnten in allen Projekten Stromkosteneinsparungen von mindestens 50 Prozent erzielt und jährlich rund 120.000 kWh Solarstrom erzeugt werden. Auch im Wärmebereich wurde erfolgreich eingespart. Im Jahr 2007 konnten an den vier Schulen die Energiekosten um insgesamt 400.000 Euro gesenkt werden und zusätzlich 60.000 Euro aus dem Verkauf von Solarstrom Erlöst werden. Die CO<sub>2</sub>-Emissionen der Schulen wurden um bis zu 80 Prozent reduziert.

mer als die alte Glühbirne sind. Neben den bekannten Energiesparlampen gehören dazu auch moderne High-Intensity-Discharge-Lampen (HID), die Kaufhaustresen oder Fließbänder in der Fabrik beleuchten. Während die klassische Glühbirne etwa 10 Lumen pro Watt erzeugt, sind es bei Energiesparlampen um die 80 Lumen pro Watt und bei HID-Lampen bis rund 140 Lumen pro Watt. Problematisch ist, dass HID-Lampen meist noch Quecksilber enthalten. Forscher arbeiten daher intensiv an Varianten, die ohne das Schwermetall auskommen.

Neue Typen setzen auf ein Innenleben aus Keramik, das belastbarer ist und eine höhere



Lichtausbeute erreicht. Inzwischen haben sich außerdem längst die energiesparenden lichtemittierenden Dioden (LED) auf dem Markt etabliert – als Fahrrad- oder Taschenlampen-Birne oder in Rücklichtern von Autos und Bahnen. Noch reicht ihre Helligkeit jedoch nicht an starke Strahler wie etwa HID-Lampen heran. Durch neue LED-Materialien oder neues Leuchtdioden-Design aber wird sich dieses Ziel schon in wenigen Jahren erreichen lassen.

Wie viel Energie eine effiziente Beleuchtung einspart, wird im Folgenden mit einer Wirtschaftlichkeitsberechnung für einen Büroraum von 60 Quadratmeter Nutzfläche dargestellt. Bislang wird der Raum mit 2-flammigen Prismenwannenleuchten ohne verspiegelten Boden mit konventionellen Leuchtmitteln und Vorschaltgeräten beleuchtet. Insgesamt werden 12 Prismenwannenleuchten eingesetzt. In unserem Beispiel werden diese Leuchten durch effiziente, 1-flammige Rasterleuchten in „T5-Technologie“, eine neue Generation sehr dünner und energiesparender Leuchtstoffröhren, mit elektronischem Vorschaltgerät ersetzt. Dadurch sinkt der Strombedarf um 75 Prozent. Des Weiteren wird durch einen Sensor der Tageslichteinfall gemessen und nur so viel Kunstlicht zugeschaltet, dass das gewünschte Beleuchtungsniveau gerade erreicht wird. Je nach Tageslichteinfall und Nutzungszeit des Raumes lassen sich so einige Hundert Benutzungsstunden pro Jahr einsparen. Die anfänglichen Mehrkosten für die effiziente Beleuchtung rechnen sich bei Weitem. Im Hochpreispfad ergeben sich über die gesamte Lebensdauer Einsparungen von 6.300 Euro, im Niedrigpreispfad immerhin noch Einsparungen von 5.450 Euro.<sup>8</sup>

## Technologie-Ausblick

## OLEDs



Neben den konventionellen Leuchtdioden (LED) stellen organische Leuchtdioden (OLED) eine weitere vielversprechende energiesparende Beleuchtungstechnologie dar. In OLEDs werden dünne Schichten spezieller organischer Moleküle zum Leuchten angeregt, die schon bei geringer elektrischer Spannung betrieben werden können. Das Faszinierende ist, dass derartige Moleküle flüchtig auch auf Glas oder sogar

flexible Untergründe wie etwa Kunststoffe aufgebracht werden können. OLEDs sind damit sehr flache Flächenlichtquellen, die sogar biegsam und transparent sein können. Das bietet völlig neue Anwendungsmöglichkeiten – zum Beispiel für leuchtende Plakatwände, für Not- und Hinweisschilder oder Führungslichter in Treppen. Für Innenräume sind neue dekorative Lichtelemente an Wänden und Fenstern, Lichthimmel oder farbige Raumteiler denkbar. Und nicht nur das: OLEDs sind auch besonders energieeffizient. Schon heute sind sie deutlich effizienter als konventionelle Glühlampen, in Zukunft werden sie auch die kompakten Leuchtstofflampen überflügeln können. Die Herausforderung besteht darin, die Produktion aus dem Labormaßstab in die industrielle Fertigung zu überführen. Zudem arbeiten Forscher daran, die Lichtausbeute und die Lebensdauer zu verbessern. In ersten Anwendungen wie etwa kleinen Handydisplays aber sind OLEDs schon heute auf dem Markt.

<sup>8</sup> Die Abschreibung für alle Maßnahmen wurde über 20 Jahre (technische Lebensdauer der Beleuchtung) vorgenommen. In unserem Beispiel stehen den Investitionskosten von 2.900 Euro jährliche Stromkosteneinsparungen von 525 Euro im Anfangsjahr gegenüber (Realizins 4 Prozent). Diese jährliche Stromkosteneinsparung erhöht sich mit den erwarteten Preissteigerungen beim Strom.

# 2.3 Verkehr

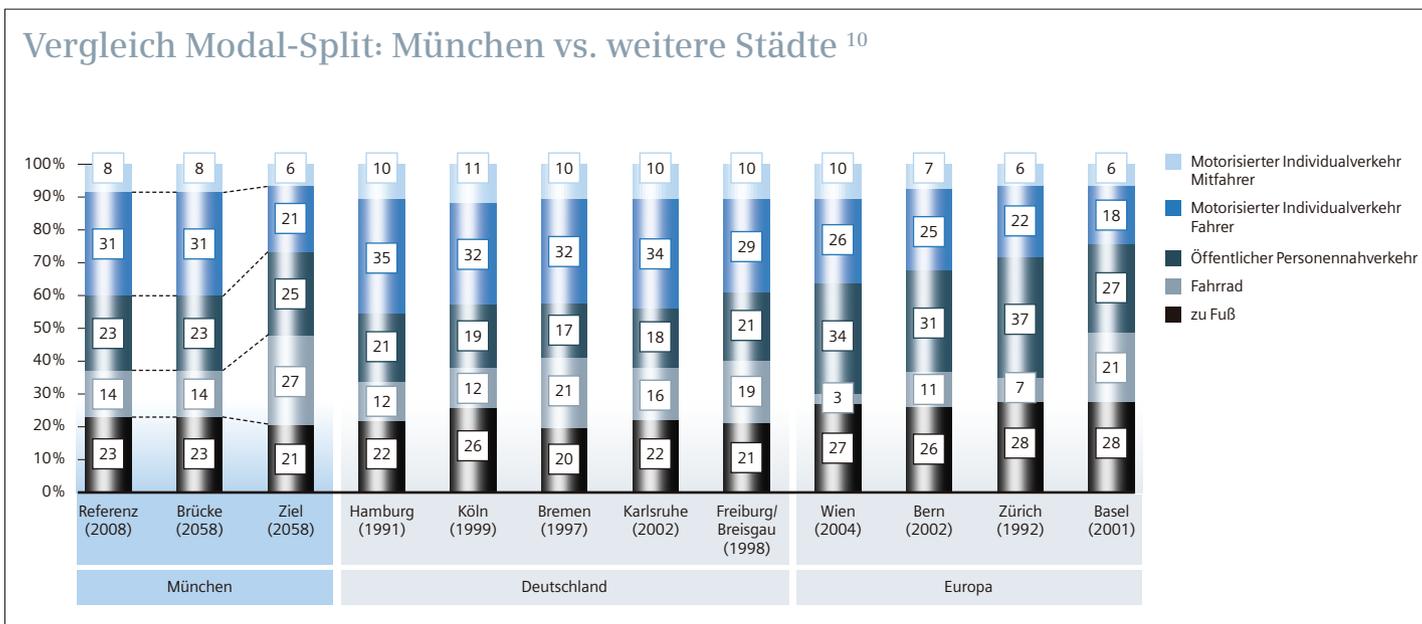
In München trägt der Verkehr heute zu etwa 15 Prozent zum gesamten CO<sub>2</sub>-Ausstoß bei. Rund 12 Prozentpunkte entfallen dabei auf den Personenverkehr, 3 Prozentpunkte auf den Güterverkehr.<sup>9</sup> Verglichen mit anderen deutschen Städten wie Hamburg oder Köln spielen in München zwar auch der öffentliche Personennahverkehr (ÖPNV) und der Fußverkehr eine verhältnismäßig große Rolle; im Vergleich mit Schweizer Großstädten oder der Stadt Wien aber wird deutlich, dass die Potenziale der öffentlichen Verkehrsmittel und des nicht-motorisierten Verkehrs bei Weitem nicht ausgeschöpft sind.

Diese Studie berücksichtigt die Mobilität der

Einwohner Münchens mit Ausnahme des Flugverkehrs. Sie beinhaltet Wege, die vollständig innerhalb der Stadt liegen, aber auch solche, die ihren Start- oder Zielpunkt außerhalb haben oder das Stadtgebiet überhaupt nicht berühren. Damit gehen selbst Fahrten am Urlaubsort in die Analyse mit ein. Grundsätzlich geht die Studie davon aus, dass die Münchner auch zur Mitte des Jahrhunderts ähnliche Mobilitätsbedürfnisse haben wie heute.

**Paradigmenwechsel Effizienzgewinn:** Beide Szenarien gehen davon aus, dass die Energieeffizienz im MIV und ÖPNV erheblich steigen

wird. So wird angenommen, dass der Energieverbrauch bei Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren um circa 40 Prozent auf durchschnittlich unter 5 Liter (Benzin/Diesel) zurückgehen wird. Wie Berechnungen zeigen, ließe sich durch konsequenten Einsatz spritsparender Technik der Gesamtverbrauch der Fahrzeugflotte heute sogar schon um etwa 50 Prozent reduzieren. Die Bandbreite an Einsparpotenzialen ist groß. Sie umfasst Gewichtsverringern, Downsizing, Optimierung von Getriebe, Antrieb und Luftwiderstand sowie Leichtlaufreifen. Auch die zunehmende Verwendung von Dieselmotoren steigert die Effizienz der Fahrzeugflotte. Die Effizienz-



<sup>9</sup>Die Angaben beziehen sich hier nur auf die Kraftstoffe, während der im Verkehrssektor verbrauchte Strom dem Sektor Stromerzeugung zugerechnet wird. Im Weiteren werden aber auch die Emissionen des Stroms im Verkehr berücksichtigt.  
<sup>10</sup>Die Daten für den Modal-Split in den Vergleichsstädten stammen von Socialdata, deren Erhebungsdesign sich maßgeblich von dem der Erhebung „Mobilität in Deutschland 2002“ (MID 2002) unterscheidet, die eine wichtige Datengrundlage für das vorliegende Szenario bildet. Neben anderen erhebungstechnischen Unterschieden, die zu systematischen Unterschieden zwischen den Ergebnissen beider Erhebungsmethoden führen, führt Socialdata bei seinen Studien nur die Wege der Einwohner einer Stadt an, die kürzer sind als 100 km. Aus diesen Gründen war beim Städtevergleich eine Anpassung der Münchner Daten nötig, die aber bei anderen Auswertungen unterblieb. So fällt der Modal-Split Münchens beim Städtevergleich anders aus als in anderen Darstellungen. Das Fahrrad erreicht beim Städtevergleich einen Anteil von 14 Prozent an allen Wegen (unter 100 km), während durch MID lediglich 11 Prozent (an allen Wegen) für München ermittelt wurden.



gewinne im ÖV wiederum lassen sich unter anderem durch technische Maßnahmen zur Minderung des Stromverbrauchs der Fahrzeuge erreichen. Durch die Rückgewinnung von Bremsenergie können Schienenfahrzeuge schon heute bis zu 25 Prozent Strom sparen. Dabei wird Bremsenergie in Strom gewandelt und ins Netz zurückgespeist. Mit Leichtbau-Konstruktionen lässt sich zudem bis zu 30 Prozent Energie gegenüber herkömmlichen U-, S- und Straßenbahnfahrzeugen einsparen. Die Stadt Oslo zum Beispiel setzt seit Kurzem neue Metro-Waggons ein, die mit einem ausgeklügelten Antriebs- und Bremsmanagement ausgestattet wurden. Zudem sind die Waggons dank einer Spezialkonstruktion aus Aluminium besonders leicht. Alles in allem sind die Metro-Fahrzeuge um rund ein Drittel sparsamer als ihre schon recht effizienten Vorgänger. Eine weitere Lösung zur Gewichtseinsparung bei Zügen sind hochintegrierte Antriebsysteme, die unter dem Fahrzeugboden befestigt werden.

Dazu zählt ein neu entwickeltes Drehgestell für Schienenfahrzeuge, das den kompletten Antrieb samt Bremsenheit trägt und ohne Getriebe auskommt. Es ist damit um etwa ein Drittel leichter als herkömmliche Modelle. Insgesamt können etwa zwei Tonnen Gewicht und etwa 20 Prozent Energie eingespart werden.

Der zweite grundlegende Paradigmenwechsel, der in dieser Studie angenommen wird, ist die Elektrifizierung des motorisierten Individualverkehrs. Stammt die elektrische Energie aus CO<sub>2</sub>-armer Erzeugung, ergibt sich ein weiteres Potenzial zur CO<sub>2</sub>-Einsparung. Ein weiterer Paradigmenwechsel ist die Eindämmung des Verkehrs und seine Verlagerung vom MIV auf CO<sub>2</sub>-ärmere oder CO<sub>2</sub>-freie Alternativen. Hier unterscheiden sich die beiden Szenarien erheblich: Während im Szenario „Ziel“ sowohl eine Verkehrsvermeidung als auch eine -verlagerung erreicht wird, ändern sich die Wegestrukturen im Szenario Brücke gegenüber heute nicht.

**Die angenommenen Paradigmenwechsel ließen sich durch ein ganzes Bündel von Maßnahmen herbeiführen. Die wichtigsten sind:**

→ Durch gezielte Stadt- und Raumplanung bei Neubauvorhaben und entsprechende Veränderungen in den bestehenden Vierteln ließe sich die Infrastruktur so gestalten, dass sich die zurückgelegten Wege verkürzen und ihre Anzahl stabil bleibt. Wie im Musterstadtteil beschrieben, wird das unter anderem durch ein Nebeneinander von Wohnen, Gewerbe, Handel und Dienstleistungen – eine Nutzungsdurchmischung der Stadtgebiete – möglich. Natürlich lassen sich solche Planungen in Neubaugebieten leichter umsetzen als in bestehenden Stadtgebieten.

→ Bei der Planung von Verkehrsinfrastrukturen und entsprechenden Investitionen hätten ÖPNV und der Fuß- und Radverkehr Priorität. Das Angebot entsprechender Infrastrukturen wäre im CO<sub>2</sub>-freien München höher als heute.

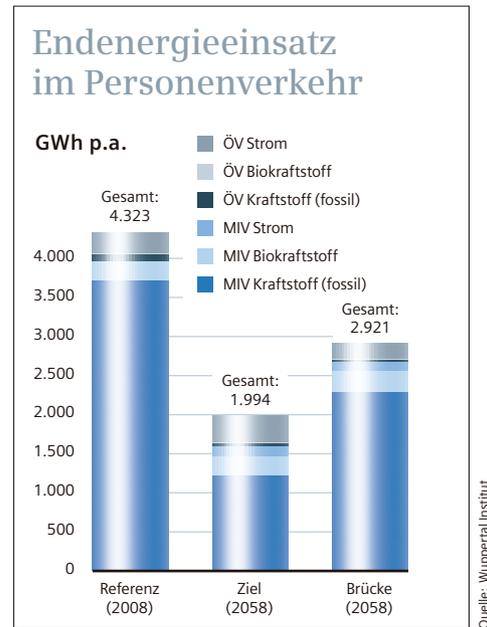
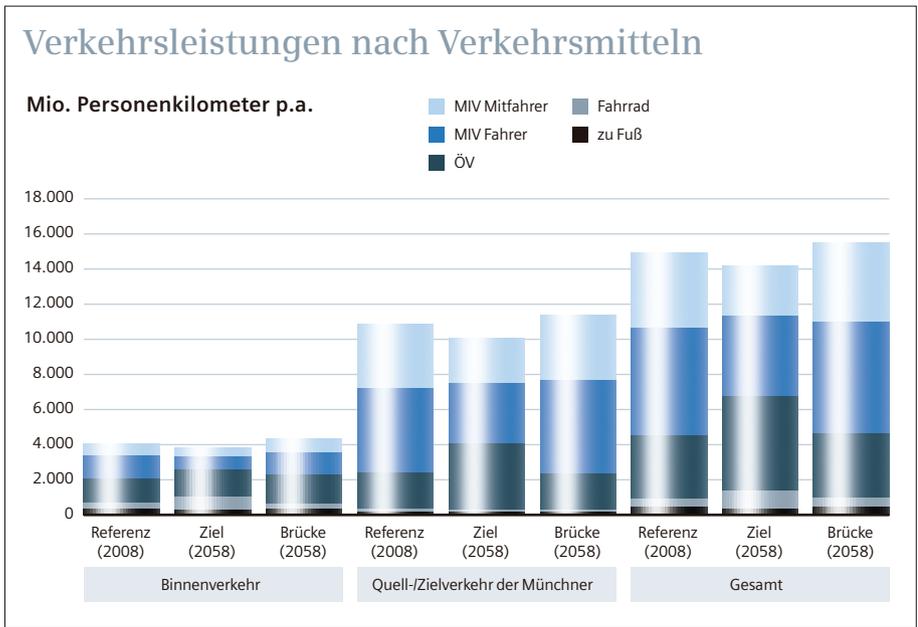


→ Auch Maßnahmen zur Verkehrslenkung wie beispielsweise Straßenbenutzungsgebühren (Road-Pricing) oder ein City-Maut-System wären denkbar. Das Maut-System des Jahres 2058 würde den Einsatz emissionsarmer Fahrzeuge begünstigen. Dies hätte zur Folge, dass der motorisierte Stadtverkehr überwiegend mit kleineren und effizienteren Fahrzeugen sowie Elektrofahrzeugen abgewickelt würde.

→ Ein sogenanntes Modi-übergreifendes Verkehrsmanagement sowie individuelle Mobilitätsinformationen würde die Nutzung der verschiedenen Verkehrsmittel und deren Kombination erleichtern.

**Die Szenarien im Detail:** Das Szenario „Ziel“ geht davon aus, dass die Verkehrsleistung pro Kopf im Vergleich zum Jahr 2000 um 10 Prozent zurückgeht. Der Grund dafür sind vor allem städtebauliche Maßnahmen: Heute liegen Arbeitsplatz, Wohnung und Geschäfte oft weit voneinander entfernt. Künftig könnten Bereiche geschaffen werden, in denen diese Funktionen stärker durchmischt sind. So entstünden Stadtteile der kurzen Wege. Im Binnenverkehr wird der Anteil des Fahrrads deutlich steigen. Der ÖPNV verliert Anteile an das Fahrrad, gewinnt jedoch vom MIV hinzu, sodass 2058 über 70 Prozent aller Wege innerhalb der Stadt mit dem

Umweltverbund zurückgelegt werden können – dem ÖV, zu Fuß oder mit dem Fahrrad. Der ÖPNV könnte durch ausführliche Informationssysteme attraktiver werden, die den Fahrgast vor und während der Fahrt beispielsweise über das Mobiltelefon informieren. Auch durch vereinfachte Zahlungsmöglichkeiten mit Chipkarten oder über Mobiltelefone würde die Nutzung des ÖPNV leichter und komfortabler. Durch ein integriertes Angebot von öffentlichem Verkehr und einem flexiblen Car-Sharing ohne feste Fahrzeugstandorte wird die Verkehrsmittelnutzung optimiert: Wenn an einem Tag mehrere Wege direkt hintereinander zurückgelegt wer-





den müssen, können Autos entweder für einzelne Wege oder alternativ für Teilwege genutzt werden, da das Fahrzeug nicht dort abgestellt werden muss, wo es entliehen wurde. Die anderen Wege werden mit dem ÖPNV oder auch mit (Leih-) Rädern zurückgelegt. Im Szenario „Ziel“ nimmt der Anteil elektrisch betriebener Fahrzeuge im MIV deutlich zu. Zugleich werden die Fahrzeuge kompakter und dank dieses Downsizings verbrauchsärmer. Bei innerstädtischen Fahrten wird für 80 Prozent aller zurückgelegten Entfernungen Strom aus dem öffentlichen Netz bezogen, um das Fahrzeug anzutreiben. Aufgrund der kurzen Distanzen würde die im Vergleich zu Verbrennungsmotoren geringe Reichweite batteriebetriebener Fahrzeuge hier keine Rolle spielen. Und auch die heute noch relativ langen Aufladezeiten würden sich auf kurzen Strecken kaum bemerkbar machen, da das Auto daheim, am Arbeitsplatz oder im Parkhaus in Ruhe aufgeladen werden könnte. Außerdem wird angenommen, dass sich Voll-Hybrid-Fahrzeuge durchsetzen, die für Kurzstrecken mit Elektromotoren und zugleich für Langstrecken mit Verbrennungsmotoren ausgestattet sind. Für Strecken, die zumindest teilweise aus der Stadt München hinausführen, wird verstärkt der Zug genutzt. Voraussetzung hierfür ist allerdings, dass nicht nur die Stadt München Anstrengungen für eine Attraktivitätssteigerung des öffentlichen Verkehrs unternimmt. Zudem werden zu diesem Zweck auch Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor und Plug-in-Hybrids genutzt, mit denen je etwa die Hälfte aller im MIV gefahrenen Kilometer zurückgelegt werden.

Das Szenario „Ziel“ setzt also deutliche Verhaltensänderungen der Bürger voraus. Das Sze-

## Best Practice

## Intelligente Verkehrssteuerung

Wie Beispiele aus anderen Metropolen zeigen, lässt sich der durch den motorisierten Individualverkehr verursachte CO<sub>2</sub>-Ausstoß auch durch eine intelligente Steuerung des Straßenverkehrs reduzieren. Ein Beispiel für solche Instrumente sind Straßenbenutzungsgebühren für den MIV, das sogenannte „Road Pricing“. Solche Gebühren zur Steuerung der Verkehrsmenge können, je nachdem welches Ziel man erreichen will, in Abhängigkeit von der Tageszeit, der Fahrzeit oder auf Basis der Fahrstrecke berechnet werden. Auch eine nach Fahrzeug-, Schadstoff- oder Emissionsklassen differenzierende Maut ist denkbar. Höhere Gebühren nach Zeiten oder Verkehrsdichte (Berufsverkehr, Urlaubsverkehr) können zu einer Entzerrung des Verkehrs und damit zur Stauvermeidung beitragen. Singapur verfügt seit 1975 über ein Mautsystem, das eine Gebühr während der Rushhour vorsieht. Dort verringerte sich der Verkehr während der Stoßzeiten um 45 Prozent, während sich der Anteil des ÖPNV mehr als verdoppelte.

Aufsehen erregte in den vergangenen Jahren vor allem die Londoner „Congestion Charge“ („Staubgabe“). Seit 2003 wird eine Mautgebühr für alle Fahrzeuge erhoben, die zwischen 7.00 und 18.30 Uhr ins Stadtzentrum fahren. Die Einnahmen werden vollständig zur Finanzierung des öffentlichen Verkehrs verwendet: In London verkehren zusätzliche Buslinien, die bestehenden Linien wurden enger getaktet. Zudem wurde die Kapazität des schienengebundenen ÖPNV erhöht. So wurden in den vergangenen Jahren 1.200 Regionalzugwagen neu eingesetzt. Experten gehen davon aus, dass diese Maßnahme erheblich zur Entlastung der Londoner Innenstadt beigetragen hat. Nach Angaben der Londoner Betreibergesellschaft hat die Congestion Charge das Verkehrsaufkommen um 18 Prozent reduziert. Zeitverzögerungen durch Staus haben sich dadurch um etwa 30 Prozent verringert. Dies entspricht einer jährlichen CO<sub>2</sub>-Ersparnis von rund 150.000 Tonnen. Anfang 2008 wurde zusätzlich für die Randbezirke, den Bereich von „Greater London“, eine „Low Emission Zone“ (LEZ) eingeführt. In die LEZ dürfen nur noch jene Lkw und Busse gebührenfrei einfahren, die bei der Feinstaub-Emission die Euro-III- oder Euro-IV-Norm erreichen. Hält ein Fahrzeug die Norm nicht ein, wird eine Gebühr fällig. Grundlage dafür ist ein System zur automatischen Erkennung von Nummernschildern. Darüber hinaus fahren seit 2007 erstmals Hybridbusse in Form der traditionellen roten Doppeldeckerbusse mit elektrischem Hybridantrieb durch London. Gegenüber herkömmlichen Diesel-Fahrzeugen stoßen sie bis zu 38 Prozent weniger Emissionen aus und verbrauchen etwa 40 Prozent weniger Kraftstoff.

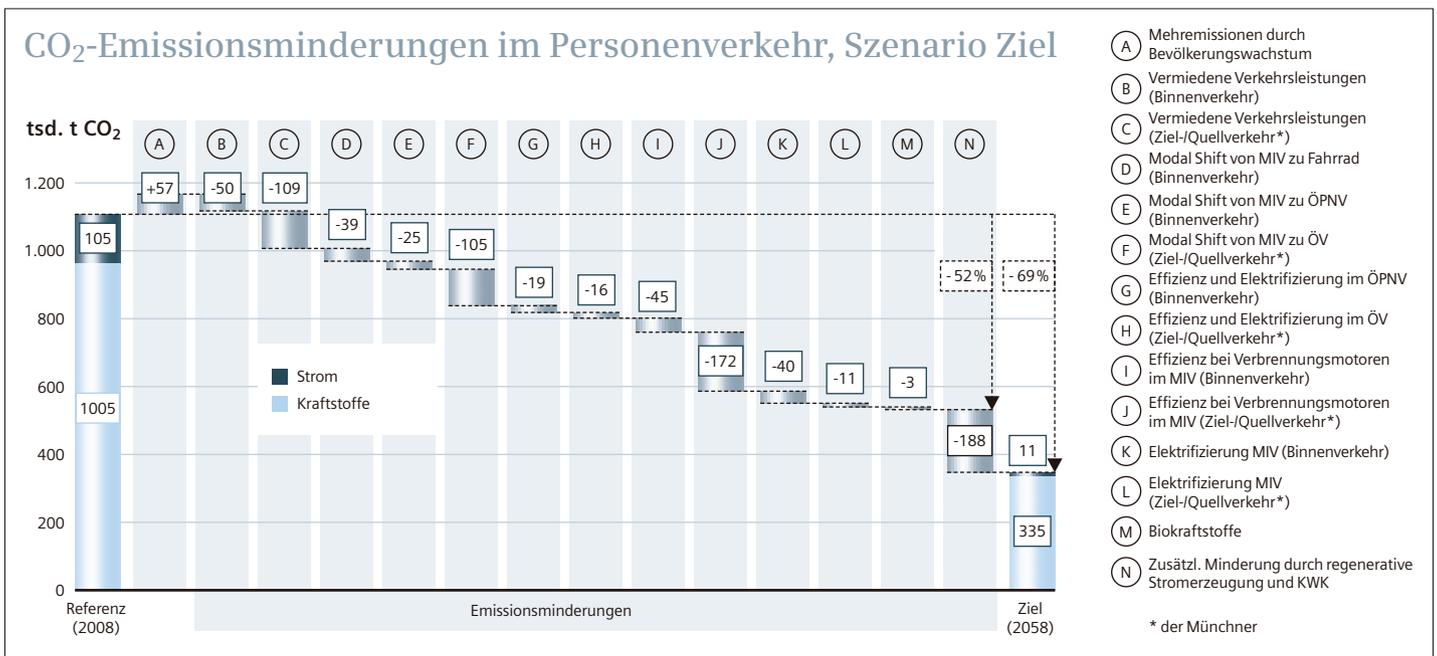


nario „Brücke“ ist da konservativer. Es nimmt an, dass die Verkehrsleistungen pro Kopf im Vergleich zum Jahre 2008 unverändert bleiben. Auch der Modal-Split ändert sich nicht. Insgesamt steigen die Verkehrsleistungen aufgrund der wachsenden Bevölkerung an. Im MIV kommen wesentlich weniger elektrisch betriebene Fahrzeuge zum Einsatz als im Szenario „Ziel“. Nur 30 Prozent der Fahrleistungen des MIV im Binnverkehr werden mit Strom aus dem öffentlichen Netz zurückgelegt. Bei den anderen Wegen beträgt der Anteil 4 Prozent – gegenüber 5 Prozent im Szenario „Ziel“.

Alle hier vorgestellten Maßnahmen zusammen würden den Energiebedarf im Personenverkehr erheblich reduzieren. Die größeren Einsparungen ergäben sich im Szenario „Ziel“: Hier nähme der Energieeinsatz gegenüber dem Jahr 2008 um etwa 50 Prozent ab. Der Stromanteil würde dann 23 Prozent ausmachen, während er im Ausgangsjahr nur 5,5 Prozent des Endenergieverbrauchs erreicht. Der Strombedarf würde insgesamt zwar steigen, aber auch 2058 würden noch 77 Prozent des Energiebedarfs im Verkehr mit Otto- und Dieselmotoren gedeckt werden, woran Biokraftstoffe einen Anteil von

14 Prozent hätten.<sup>11</sup> Ein wichtiger Grund dafür ist, dass die Wege, die über die Stadtgrenzen hinausgehen, einen relativ hohen Anteil haben und dass diese Fahrten überwiegend nicht mit Strom zurückgelegt werden würden.

Alle Effizienz-Maßnahmen würden bis 2058 etwa zu einer Halbierung der CO<sub>2</sub>-Emissionen von jährlich rund 1,1 Millionen Tonnen auf 534.000 Tonnen führen – trotz eines moderaten Anstiegs der Bevölkerung. Wird die Ersparnis hinzugerechnet, die sich aus einer weniger CO<sub>2</sub>-intensiven Stromerzeugung ergibt, beträgt die Reduktion rund 70 Prozent. Wesentliche Treiber





wären die Effizienzgewinne bei Verbrennungsmotoren, die Verkehrsverlagerung vom MIV zum Umweltverbund und die Verkehrsvermeidung.

Im Szenario „Brücke“ würde nur eine Energieeinsparung von etwa 30 Prozent erreicht. Diese ist allein das Ergebnis neuer Technologien oder von Technologieverbesserungen. Der Anteil des Stroms am Energieverbrauch würde hier auf 10 Prozent ansteigen. Der Bedarf an Otto- und Dieselmotoren bliebe allerdings hoch: Diese würden 90 Prozent des Energiebedarfs im Personenverkehr von insgesamt 2.900 GWh decken. Die Biokraftstoffe<sup>12</sup> könnten 10 Prozent

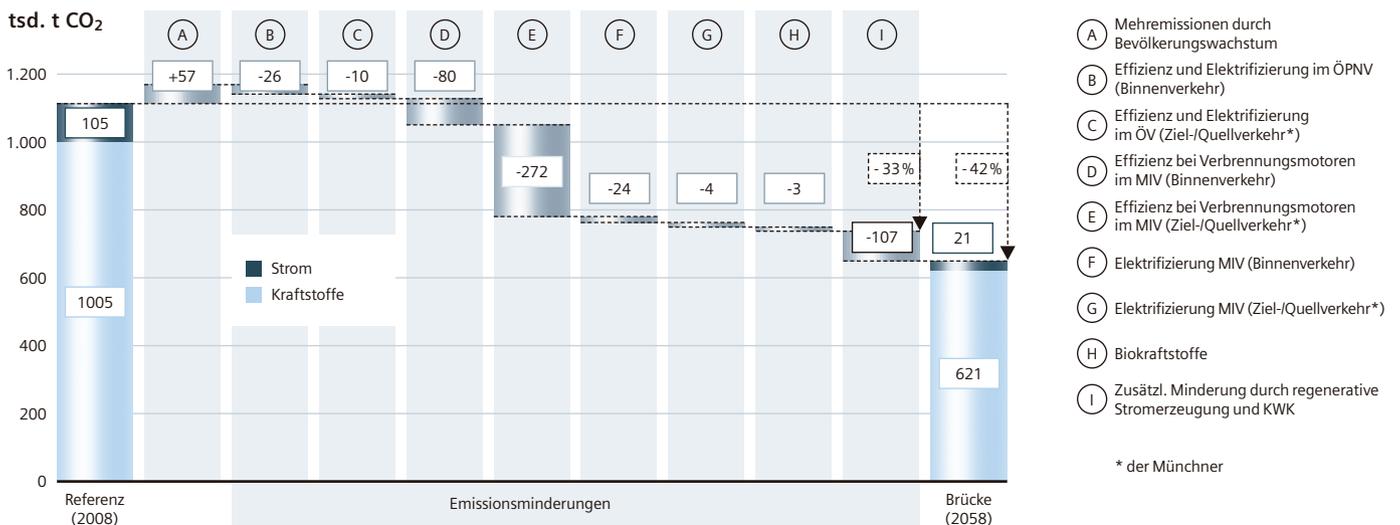
des Kraftstoffverbrauchs beisteuern. Der absolute Strombedarf des Personenverkehrs würde um 20 Prozent steigen, wobei ein großer Teil des Mehrbedarfs für den MIV durch Effizienzverbesserungen im ÖV kompensiert werden würde.

Die CO<sub>2</sub>-Emissionen würden im Szenario „Brücke“ nur um 33 Prozent rund 750.000 Tonnen Kohlendioxid pro Jahr sinken. Rechnet man den regenerativ erzeugten Strom hinzu, beträgt die Ersparnis aber immerhin 42 Prozent.

**Alternative Kraftstoffe:** Wie beschrieben, wird in beiden Szenarien auch Mitte des Jahr-

hunderts noch ein beträchtlicher Teil des Verkehrs der Münchner mit Auto und Verbrennungsmotor abgewickelt – insbesondere außerhalb der Stadt. Insofern ist die Suche nach alternativen, nicht fossilen Kraftstoffen von großem Interesse. So könnte der CO<sub>2</sub>-Ausstoß im MIV künftig durch den verstärkten Einsatz von Biokraftstoffen verringert werden. Für das Tanken von regenerativ hergestellten Flüssigkraftstoffen ist keine zusätzliche Infrastruktur nötig, was ihre Markteinführung erleichtert hat. Bei der Verwendung von Biokraftstoffen muss aus heutiger Sicht allerdings die Klimafreund-

## CO<sub>2</sub>-Emissionsminderungen im Personenverkehr, Szenario Brücke



Quelle: Wuppertal Institut 2008

<sup>11</sup> Der Biokraftstoffanteil ergibt sich aus der für das Jahr 2010 von der Bundesregierung beschlossenen Beimischungsquote von 6,25 Prozent. Es wurde angenommen, dass sich daraus ergebende Menge an Biokraftstoffen pro Einwohner im Zeitablauf konstant gehalten wird. Die Steigerung der Quote auf 10 bis 14 Prozent wird somit nur über den absoluten Rückgang des Verbrauchs von Kraftstoffen erreicht. <sup>12</sup> Die absolute Menge an Biokraftstoffen entspricht der des Szenarios Ziel.



lichkeit hinterfragt werden. Bei der Herstellung von Biokraftstoffen entstehen Emissionen, die bei einer Bilanzierung berücksichtigt werden müssen. Auch andere Aspekte, wie der Einfluss auf die Nahrungsmittelproduktion, sollten kritisch betrachtet werden. Aus den genannten Gründen wird kein weiterer Ausbau des Biokraftstoffeinsatzes angenommen. Die Biokraftstoffe tragen deshalb in beiden Szenarien gegenüber 2008 nur wenig zur Emissionsminderung bei.

Eine andere Perspektive für CO<sub>2</sub>-arme Autos sind die seit Langem diskutierten Wasserstofffahrzeuge. Heute allerdings ist die dafür benötigte Brennstoffzelle noch schwer, relativ unzuverlässig und so teuer, dass sie noch nicht mit den Verbrennungsmotoren konkurrieren kann. Außerdem stellt sich die Frage, aus welchem Energieträger die großen Wasserstoffmengen hergestellt werden könnten. Alternativ lässt sich Wasserstoff auch in Verbrennungsmotoren nutzen. Allerdings sind die Speichertechnologien bislang für einen Alltagseinsatz noch zu unausgereift. Zudem wäre dafür eine komplett neue Tankstellenstruktur nötig, die ebenfalls noch entwickelt werden müsste. Wasserstoff spielt daher in dieser Untersuchung keine Rolle, da sie stattdessen von einem starken Ausbau der Elektromobilität ausgeht.

**Einsparpotenziale im Güterverkehr:** Auch im Güterverkehr sieht diese Studie weitere Potenziale zur Verminderung der CO<sub>2</sub>-Emissionen. Es wird angenommen, dass:

→ durch die Effizienzsteigerungen der Verbrauch von Lkw, Kleintransportern, Lokomotiven und Binnenschiffen bezogen auf die Fahrzeugkilometer gegenüber 2008 um 18 Prozent sinkt;

→ sich im Eisenbahngüterverkehr die Verkehrsleistungen vor allem durch die Verlagerung von der Straße mehr als verdoppeln.

Das Szenario „Ziel“ geht ferner davon aus, dass sich die Auslastung der Fahrzeuge um 25 Prozent erhöht. Da ein Teil des Güterverkehrs elektrifiziert wird, verringert sich der Kraftstoffverbrauch um 20 Prozent. Die CO<sub>2</sub>-Emissionen gehen um etwa 50 Prozent zurück, vor allem durch die Vermeidung von Straßengüterverkehr.

Im Szenario „Brücke“ hingegen verringert sich die Zahl der Fahrzeugkilometer gegenüber dem Referenzjahr nicht. Trotzdem sinken die Emissionen um etwa 30 Prozent. Wie beim Personenverkehr auch, ist das insbesondere auf die verbesserte Fahrzeugeffizienz der konventionellen Fahrzeugantriebe zurückzuführen.

**Stromsparende Verkehrsinfrastruktur:** Die Verkehrsinfrastruktur ist ein weiterer Hebel zum Energiesparen im Verkehrssektor. Energieverbrauch und Emissionen gehen allerdings bilanziell in den Stromsektor ein. Eine Option wäre, Parkscheinautomaten, Notrufsäulen, Leitsysteme oder Signal- und Telematikanwendungen vom städtischen Stromnetz abzukoppeln und mit sogenannten Solar-Insulanlagen unabhängig zu versorgen. Ein Vorteil: Umfangreiche Erdarbeiten und zusätzliche Versorgungsnetzleitungen werden überflüssig. Dadurch amortisieren sich die anfangs relativ teuren Photovoltaik-Anlagen relativ schnell. Strom sparen lässt sich ferner, indem man herkömmliche Leuchtmittel in Ampeln durch effizientere Leuchtdioden (LED) ersetzt. Zusätzlich entfällt auch der bislang hohe Wartungsaufwand. Denn bei klassischen Ampeln werden die Leuchtmittel ein- bis

zweimal jährlich gewechselt werden. Bei LEDs hingegen ist nur etwa alle zehn Jahre ein Austausch fällig. Deshalb rüstet das Land Berlin seit 2003 seine rund 2.000 Ampeln auf LED um. Der Energieverbrauch lag 2003 bei mehr als 15 Millionen kWh jährlich, was Energiekosten in Höhe von 1,8 Millionen Euro verursachte. Die Kosten der jährlichen Lampenwechsel lagen bei 450.000 Euro, womit jede Ampel pro Jahr Kosten in Höhe von rund 1.150 Euro verursachte. Bis Mitte 2007 wurden 330 Ampeln mit LEDs ausgerüstet, wodurch jährlich 500.000 kWh Strom eingespart werden. Bis 2011 soll die Hälfte der 2.000 Ampeln umgerüstet sein, womit gegenüber 2003 etwa 5 Millionen kWh eingespart werden können. Dies entspricht in etwa dem Stromverbrauch von 1.000 Vierpersonenhaushalten.

Auch die Stadt Budapest hat ihre Ampeln bis zum vergangenen Jahr mit 33.000 LEDs ausgestattet. Trotz der hohen Investitionen für die LED-Systeme bleiben der Stadtverwaltung zusätzliche finanzielle Belastungen erspart. Denn die Kosten werden auf Monatsraten verteilt, die kleiner sind als die Einsparungen durch den geringeren Stromverbrauch und Wartungsaufwand. Jährlich spart die Stadt Budapest dadurch 800.000 Euro Stromkosten ein. Ein weiterer Ansatzpunkt ist die Sanierung der Straßenbeleuchtung. In einer fränkischen Kleinstadt wurden 1.260 Lampen mit effizienteren Leuchtmitteln ausgestattet und 20 Lumenregler zur Regulierung der Helligkeit eingebaut. Damit ließ sich der Stromverbrauch der Straßenbeleuchtung von 463.000 auf 258.000 kWh pro Jahr drosseln. Durch die Kosteneinsparung von 21.500 Euro pro Jahr amortisieren sich die Investitionskosten von 108.700 Euro bereits nach fünf Jahren.



## Technologie- Ausblick

## Elektromobilität



Nahezu alle Automobile in München und Deutschland werden heute mit Verbrennungsmotoren angetrieben. Vor diesem Hintergrund erscheint die Vorstellung, dass in München bis zur Mitte des Jahrhunderts 80 Prozent aller im städtischen MIV gefahrenen Kilometer mit dem Elektroauto zurückgelegt werden, recht visionär. Aller-

dings weisen eine Vielzahl von Pilotprojekten in diese Zukunft. So kündigte im vergangenen Jahr ein US-amerikanisch-israelisches Unternehmen an, in Israel, Dänemark, Australien, Kalifornien und Hawaii binnen zwei Jahren ein Netzwerk von Stromladestationen zu etablieren und in Kooperation mit Automobilherstellern mehrere Zehntausend Elektrofahrzeuge in den Markt bringen zu wollen. Um das Problem der langen Ladezeiten zu umgehen, sollen zugleich Batteriewechselstellen eingerichtet werden, an denen fast leere Batterien in Minutenschnelle gegen volle ausgetauscht werden können. In Israel soll der benötigte Strom vorwiegend aus Photovoltaik und in Dänemark aus Windkraft stammen, die dort bereits 20 Prozent des gesamten Strombedarfs deckt. In Schwachwindzeiten müssten die Elektroautos allerdings auf Strom aus den dänischen Kohlekraftwerken zurückgreifen. Da bisher zu wenig über die Fahr- und Ladepraxis bei Elektroautos

bekannt ist, lassen sich noch keine zuverlässigen Schätzungen über die tatsächlichen Klimawirkungen abgeben.

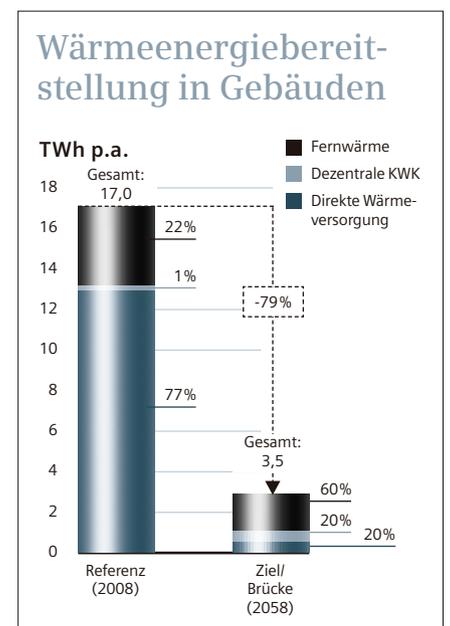
Noch sind die Batterien ausgesprochen teuer und treiben auch den Preis für Hybridfahrzeuge in die Höhe. Das Problem könnte zukünftig entschärft werden, wenn man Elektroautos als integralen Bestandteil des Stromversorgungsnetzes betrachtet. Diese Studie nimmt an, dass die Elektrofahrzeuge künftig auch als Stromspeicher und Lastmanagementsystem für den Ausgleich von Fluktuationen fungieren könnten, die durch den verstärkten Einsatz erneuerbarer Stromquellen wie Photovoltaik und Windstrom oder generell durch Nachfrageschwankungen entstehen. So könnte der Elektrofuhrpark Strom zu Spitzenlastzeiten ins Netz einspeisen, wenn die Nachfrage hoch und der Strom besonders teuer ist, sodass sich die Mehrkosten für eine teure Batterie schneller amortisieren. Autobesitzer könnten die Auflade- und Einspeisezeiten individuell vorwählen, um in den Genuss besonders günstiger Stromtarife zu kommen. Alternativ könnte ein solches Ladesystem so ausgelegt und gesteuert werden, dass es selbstständig Strom handelt. Ein derartiges Konzept könnte die Attraktivität von Elektrofahrzeugen deutlich erhöhen und den Markteintritt beschleunigen, sofern die Autonutzer es akzeptieren. Zudem eröffnet sich für die Energieversorger ein neues Geschäftsmodell. Allerdings sind heutige Batterien, moderne Lithium-Ionen-Akkus, technisch für einen solchen permanenten Lastwechsel noch nicht reif. Inzwischen gibt es aber erste robuste und kompakte Prototypen. Sie sind unter anderem in der Lage, viel Energie auf kleinem Raum zu speichern und gelten zugleich als besonders sicher. Möglich machen das neue Werkstoffe, beispielsweise Lithiumtitanat für den Plus-Pol der Batterie, das sehr viel robuster, sicherer und langlebiger als die bislang verwendeten Graphite ist. Für ein komplettes Lastmanagement würden alle deutschen Elektrofahrzeuge vermutlich nicht ausreichen, in der Summe aber ergäben sie eine deutliche Reserve für das Lastmanagement in einem künftigen Smart Grid.

# 2.4 Wärmebereitstellung

Sollte sich der Passivhausstandard bis zur Mitte des Jahrhunderts bei Neubau und Sanierung tatsächlich flächendeckend durchsetzen, wäre der Gewinn enorm. So nimmt diese Studie an, dass der Raumwärmebedarf der Gebäude in den kommenden 50 Jahren in München drastisch um fast 80 Prozent sinken könnte. Die Studie geht weiter davon aus, dass diese erheblich verringerte Wärmeenergiemenge effizienter und klimaschonender als heute erzeugt werden kann. So verabschieden sich beide Szenarien von der heute weit verbreiteten „direkten Wärmeversorgung“ – der Beheizung von Wohnraum mit individuellen Gas- und Öl-

heizungen, die heute zu 77 Prozent den Raumwärmebedarf in München decken. Zur wichtigsten Säule der künftigen Wärmeversorgung würde vielmehr die Fern- und Nahwärme, die in effizienten Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen (KWK) erzeugt wird. Diese liefern neben der Wärme zugleich elektrischen Strom. Der Anteil der Fernwärme steigt damit in den beiden Szenarien von heute 20 auf 60 Prozent.

Kleinere, nicht an das Fernwärmenetz angeschlossene Stadtgebiete ließen sich alternativ durch kleine dezentrale Nahwärmenetze mit KWK-Blockheizkraftwerken versorgen, die effizient Erdgas oder Biogas umsetzen. In anderen





Gebieten sind möglicherweise wiederum sogenannte Mikro-KWK-Anlagen die richtige Wahl. Diese Kleinst-Blockheizkraftwerke (BHKW) können in kleinen Mehrfamilienhäusern oder sogar Einfamilienhäusern zur effizienten Strom- und Wärmeproduktion aus Erdgas und Biogas genutzt werden. Herkömmliche große (KWK-) Kraftwerke und Blockheizkraftwerke erreichen eine Energieausnutzung von bis zu 90 Prozent, weil sie die Abwärme der Stromerzeugung zur Fernwärmeproduktion einsetzen. Im Vergleich zum durchschnittlichen Wirkungsgrad fossiler Kraftwerke in Deutschland von 41 Prozent ist das beachtlich. Ebenso effizient sollen künftig

die Mikro-KWK-Geräte sein, die derzeit von verschiedenen Herstellern zur Marktreife entwickelt werden. Die Mikro-KWKs könnten herkömmliche Brennwertkessel direkt ersetzen, die in Wohnhäusern bislang ausschließlich Wärme für Heizung und Warmwasser, aber keinen Strom erzeugen. Der Charme der Mikro-KWK-Geräte besteht darin, dass sie sich wie die Brennwertkessel einsetzen und montieren lassen – Geräte, mit denen Handwerker längst vertraut sind. Lediglich der Stromanschluss ist neu. Ein weiterer Vorteil: Der ins Netz eingespeiste Strom wird dem Hausbesitzer von seinem Stromversorger über das KWK-Gesetz vergütet. Diese

dezentrale KWK wird zusammen etwa 20 Prozent der Wärme in München liefern können.

Um die in den Szenarien vorgestellten Handlungsoptionen tatsächlich umsetzen zu können, wären bei der Fernwärme einige Hürden zu überwinden. Es gilt, zwei gegenläufige Trends miteinander zu vereinen: Einerseits sinkt dank des Passivhausstandards im Vergleich zu heute der Fernwärmebedarf pro Abnehmer; dieser Absatzrückgang wird kaum durch den erheblichen Zuwachs an versorgter Fläche ausgeglichen werden können. Andererseits müsste trotz sinkenden Bedarfs eine massive Ausweitung des Fernwärmenetzes vorangetrieben und vor allem



finanziert werden. Will man die Fernwärme erfolgreich ausbauen, müssen beide Trends miteinander in Einklang gebracht werden. Ob es eine technische und vor allem wirtschaftliche Lösung gibt, kann diese Studie aus heutiger Sicht nicht mit letzter Sicherheit beantworten. Sie kann aber die Herausforderungen im Detail aufzeigen und Lösungsansätze skizzieren:

→ Kann es gelingen, 60 Prozent der Münchner Wohn- und Nichtwohngebäude an das Fernwärmenetz anzuschließen? Eine Voraussetzung dafür wäre es, dass möglichst alle Verbraucher in den ans Fernwärmenetz angeschlossenen Gebieten ihre Gebäude an die Fernwärme koppeln.

Die Stadt Mannheim geht offenbar davon aus, dass das gelingen kann. Bereits heute hat die Fernwärme dort einen Anteil von 59 Prozent, bis 2030 sollen es, nach einem aktuellen Beschluss, 70 Prozent sein. In Flensburg beispielsweise sind bereits etwa 90 Prozent aller Gebäude an die Fernwärme angeschlossen.

→ Kann ein derart massiver Ausbau der Fernwärme überhaupt finanziert werden? Eine derart hohe Investition muss sich ökonomisch rechnen und durch die Energieversorger finanziert werden. Entsprechende Mittel lassen sich nur durch eine langfristig angelegte integrierte Strategie aufbringen.

→ Wie kann man eine Konkurrenzsituation zu bereits bestehenden Gasversorgungsnetzen vermeiden? In Straßenzügen, die sowohl mit Fernwärme als auch mit Erdgas versorgt sind, ließe sich vermutlich kaum eine 100-Prozent-Anschlussquote für die Fernwärme erreichen. Zum anderen wäre eine Konkurrenz der Energieträger kaum wirtschaftlich. Alternativ kann eine Kombination mit dezentralen Nahwärmenetzen sinnvoll sein, die ihre Wärme aus erdgas- oder biogasbetriebenen Blockheizkraftwerk beziehen.

Durch Innovationen bei der Leitungstechnik, bei der Hausanschlusstechnik und bei den Hausübergabestationen können die Ausbaurkosten des Fernwärmenetzes weiter reduziert werden. Diese Technologien werden im Technologie-Ausblick näher erläutert. Setzte man sie konsequent ein, könnte sich eine Fernwärmeinfrastruktur zu vertretbaren Kosten errichten und betreiben lassen. Darüber hinaus bietet ein sinkender Heizwärmebedarf auch Chancen: Wenn der Heizwärmebedarf zurückgeht, muss die Kapazität für die

Wärmeerzeugung kaum ausgebaut werden. Zwar wird in den Szenarien unterstellt, dass bestehende Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen sukzessive durch effizientere Neuanlagen ersetzt werden. Ein teurer Zubau aber wäre nicht mehr nötig. Und noch etwas würde die sinkende Nachfrage frei Haus liefern: eine gleichmäßigere Auslastung des Fernwärmenetzes. So würde sich der Anteil der Warmwasserbereitung an der Gesamtwärmemenge mit sinkendem Heizenergiebedarf erhöhen. Da die Warmwassernachfrage (Baden, Duschen, Kochen) anders als die benötigte Heizenergiemenge im Lauf eines Jahres kaum schwankt, ergäbe sich allgemein eine gleichmäßigere und leichter steuerbare Wärmenachfrage. Des Weiteren wird Fernwärme künftig voraussichtlich verstärkt zur Klimatisierung von Nichtwohngebäuden eingesetzt. Auch das würde über das Jahr eine gleichmäßigere Auslastung der Fernwärmenetze bewirken, was zur Wirtschaftlichkeit beiträgt. Natürlich gibt es neben den hier skizzierten Wegen weitere alternative Lösungsmodelle zur Bewältigung des Rentabilitäts-Dilemmas einer CO<sub>2</sub>-optimierten Wärmeversorgung. So wäre es denkbar, Haushalte künftig alternativ über elektrische Heizungen zu versorgen, die mit regenerativ erzeugtem Strom betrieben werden. Diese Perspektive wird hier nicht näher untersucht, da die Stadtwerke München bereits über ein ausgedehntes Fernwärmenetz verfügen, für das sich ein weiterer Ausbau anbietet. Sie wäre aber ebenfalls eine nähere Untersuchung wert. Darüber hinaus sollte bedacht werden, dass elektrische Heizungen erst dann als eine CO<sub>2</sub>-arme Alternative in Betracht kommen, wenn das gesamte Stromerzeugungssystem vollständig CO<sub>2</sub>-frei ausgebaut ist.



Die Stadt Kopenhagen betrie- ben. Die Energie stammt zu mehr als zwei Dritteln aus KWK-Anlagen in der näheren Umgebung der dänischen Hauptstadt, die mit Erdgas, Stroh, Holzpellets und größeren Hölzern betrieben wird. Die restliche Wärme stammt aus Müllverbrennungsanlagen und kleineren Spitzenlastkraftwerken sowie geother-

Die Stadt Kopenhagen besitzt eines der größten Fernwärmesysteme der Welt. Das etwa 1.300 Kilometer lange Leitungsnetz versorgt 70 Prozent aller Haushalte und zugleich mehrere Gemeinden im Umland. Das System wird seit 1984 von zwei Unternehmen in Kooperation mit der

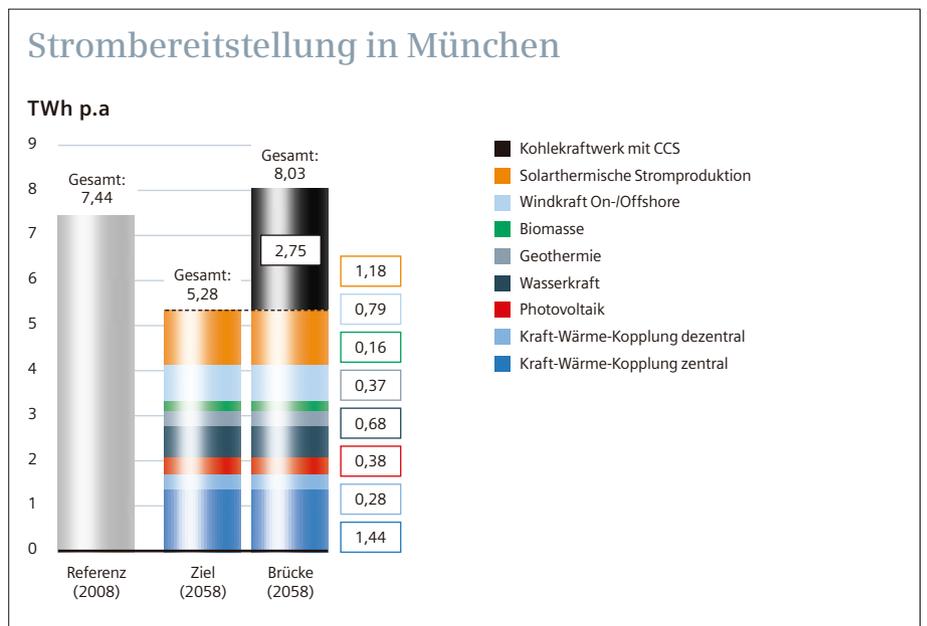
mischen Anlagen. Bis Mitte der 1990er-Jahre wurden die KWK-Kraftwerke mit Kohle betrieben. Der Umstieg auf die alternativen Energieträger beschert Kopenhagen nach Berechnungen der Stadtverwaltung jetzt jährliche CO<sub>2</sub>-Einsparungen von 665.000 Tonnen. Ein wesentlicher Grund für den Erfolg der Fernwärme war eine Mitte der 1980er-Jahre durch die dänische Regierung eingeführte Steuererleichterung für KWK-Kraftwerke. Die Kraftwerke wurden damit in die Lage versetzt, Wärme zu niedrigem Preis anzubieten. Nach Angaben der Stadtverwaltung ist die Fernwärme heute nur etwa halb so teuer wie der Betrieb einer Ölheizung. Ein weiterer Grund für den massiven Fernwärmeausbau war der 1979 von der Regierung beschlossene „Heat Supply Act“, der es Gemeinden erleichterte, in einzelnen Stadtgebieten die Fernwärme zu etablieren. Für die Bewohner dieser Stadtgebiete war der Fernwärmeanschluss künftig verpflichtend, die Wärme wurde allerdings zu einem ausgesprochen günstigen Preis geliefert. Der „Heat Supply Act“ führte außerdem dazu, dass sich seinerzeit mehrere Gemeinden und die Hauptstadt erstmals zu einem großen, wirtschaftlichen Fernwärmesystem zusammenschlossen.

Im Grunde ist es höchst ineffizient, zu Heizwecken Brennstoffe bei mehreren Hundert Grad Celsius zu verbrennen, um letztlich eine Raumtemperatur von nur circa 20 Grad Celsius zu erreichen. Vor allem Passivhäuser können künftig dazu beitragen, diese Effizienzverluste zu reduzieren, denn dank der guten Dämmung lassen sie sich mit deutlich geringeren Heiztemperaturen versorgen als herkömmliche Gebäude. Heute werden Heizungen und Warmwasserleitungen in Häusern meist mit etwa 70 Grad heißem Wasser gespeist. Um den geringen Restwärmebedarf eines gut gedämmten Passivhauses zu decken, wären deutlich niedrigere Temperaturen von mindestens 30 Grad ausreichend. Diese ließe sich durch Niedertemperaturquellen wie etwa industrielle Abwärme, solarthermische Anlagen, oder mithilfe von Wärmepumpen über Erd- und Umgebungswärme gewinnen. Natürlich wird man auch künftig für das Brauchwasser höhere Temperaturen von etwa 50 bis 60 Grad Celsius benötigen. Die zusätzlichen rund 20 Grad können erreicht werden, indem zum Beispiel an den Heizwasserkreislauf zusätzlich eine Wärmepumpe für den Brauchwasserkreislauf angeschlossen wird. Derartige Niedertemperatur-Lösungen werden von Experten als „LowEx“-Konzepte bezeichnet. Für das München der Zukunft scheinen sie durchaus praktikabel zu sein, insbesondere auch im Hinblick auf die Nutzung zusätzlicher industrieller Abwärme. Herkömmliche Nah- oder Fernwärmenetze dagegen lassen sich bei sinkendem Wärmebedarf künftig vermutlich nicht mehr wirtschaftlich betreiben, denn die Kosten für Leitungen und Anschlüsse

müssen sich für den Versorger rechnen. Inzwischen gibt es aber vielversprechende Konzepte für einen kostengünstigeren Ausbau und wirtschaftlichen Betrieb eines künftigen Niedertemperaturnetzes. Eine Lösung sind beispielsweise sogenannte Infrastrukturkanäle, die alle Ver- und Entsorgungsleitungen (Fernwärme, Erdgas, Strom, Wasser, Abwasser oder Telekommunikationsleitungen) in einem gemeinsamen Kanal bündeln. Der Vorteil von Infrastrukturkanälen liegt insbesondere darin, dass nicht mehrere einzelne Leitungen verlegt werden müssen. Zum Zweiten erleichtern solche Kanäle, die auch begebar sein können, in Zukunft die Nachrüstung mit zusätzlichen Leitungen. Solche Infrastrukturkanäle könnten direkt unter Häusern oder deren Kellern in Neubaugebieten verlegt werden. So muss nicht jedes einzelne Haus mit einer kostspieligen Stichleitung von der Straße zum Gebäude ausgestattet werden. Da die Fern- oder Nahwärmeleitungen direkt unter den Gebäuden verlaufen, ist auch der Wärmeverlust deutlich geringer als bei Versorgungsleitungen unter den Straßen. Gerade für Niedertemperatur-Konzepte kann diese Einsparung von Bedeutung sein. Wie sich zeigt, lassen sich in Neubausiedlungen bis zu 30 Prozent der Kosten sparen, indem man anstelle von herkömmlichen Fernwärmestichleitungen vor der Errichtung der Gebäude Infrastrukturkanäle mit Durchbruch durch die Gebäude-Bodenplatte verlegt. So lassen sich Leitungslängen verkürzen, Wärmeverluste vermeiden und Kuppungsstellen einsparen. Ein solches Anschlusssystem wurde beispielsweise in der Solarsiedlung Gelsenkirchen-Bismarck realisiert.

# 2.5 Strombereitstellung

Die Stadt München könnte derzeit, rein bilanziell betrachtet, komplett von ihren Stadtwerken mit Strom versorgt werden. Diese erzeugen in eigenen Heizkraftwerken auf dem Stadtgebiet sowie in außerhalb gelegenen Wasserkraftwerken und mit einer Kernkraftwerksbeteiligung mehr als 100 Prozent der in München verbrauchten Strommenge. Diese Studie geht davon aus, dass die Stadtwerke München die Stromnachfrage der Stadt auch künftig bilanziell durch eigene Stromerzeugungsanlagen sowie durch Beteiligungen an Kraftwerken decken können. Darüber hinaus sind heute in München noch weitere Energieversorger tätig, auf die die Stadt





keinen direkten Einfluss hat. Im Weiteren wird vereinfachend davon ausgegangen, dass München nur von den Stadtwerken München versorgt wird. Da das Münchner Stromnetz nicht autark ist, sondern auch andere Versorger Strom einspeisen, kann die Herkunft des Stroms nur bilanziell festgestellt werden, nicht jedoch physisch. Aus welcher Quelle der verbrauchte Strom konkret stammt, kann nicht analysiert werden.

Die Szenarien „Ziel“ und „Brücke“ erwarten, wie weiter oben ausgeführt, für die Mitte des Jahrhunderts unterschiedlich hohen Stromverbrauch. Beide nehmen aber übereinstimmend folgende Paradigmenwechsel an:

→ Strom wird in einem geringeren Maße als heute in zentralen Großkraftwerken produziert, sondern verstärkt dezentral erzeugt und gespeichert. Damit ändern sich auch die Anforderungen an das Stromnetz: Es wird vielfältige Energieflüsse in alle Richtungen geben.

→ Der elektrische Strom wird nicht mehr überwiegend aus fossilen Brennstoffen erzeugt, sondern vermehrt aus regenerativen Energiequellen stammen.

Bei der Stromerzeugung von morgen wird ein ganzes Bündel an Technologien zusammenspielen. Zum einen könnten sich die Haushalte und kleinere Mehrfamilienhäuser sehr effizient

mit Mikro-KWK oder Brennstoffzellen mit Strom und Wärme versorgen. Hinzu kämen weitere dezentrale Erzeugungstechnologien wie etwa Photovoltaik, Windkraft oder große Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen, die mit Erdgas, Geothermie, Biogas oder fester Biomasse betrieben werden. Für die Abstimmung dieser vielen dezentralen Erzeugungseinheiten wird ein sogenanntes Smart Grid oder virtuelles Kraftwerk erforderlich sein. Bestandteil eines solchen Netzes wären auch verschiedene Effizienzwerkzeuge wie etwa „intelligente Stromzähler“, die über eine Datenverbindung regelmäßig abgelesen werden.



Solche Stromzähler würden nicht nur eine minutengenaue Stromabrechnung sichern, sondern auch eine zentrale Steuerung wichtiger Geräte zur Vermeidung von Stromverbrauchsspitzen und eine Steuerung des Verbraucherverhaltens möglich machen.

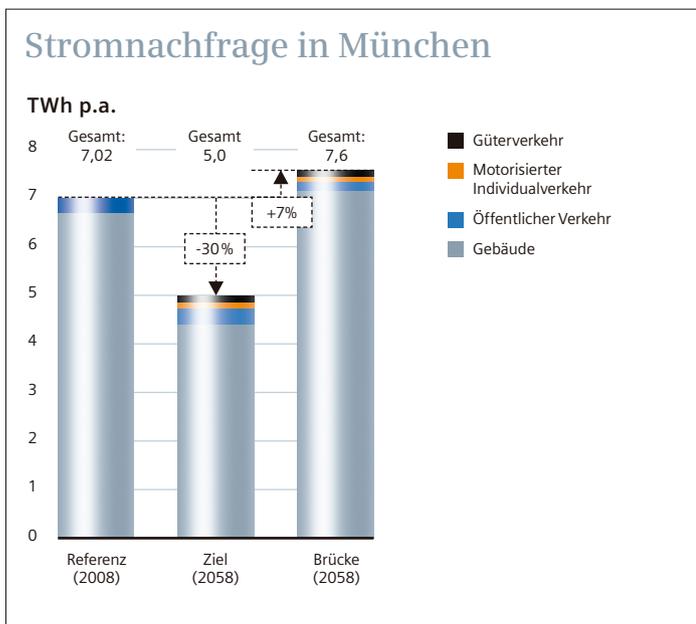
Natürlich bezieht München im Jahr 2058 weiter Strom von außen aus größeren Kraftwerken in der Region, in Deutschland und auch im Ausland. Im Gegensatz zu heute könnte dieser Strom vor allem in großen Offshore- und Onshore-Windparks, in solarthermischen Kraftwerken in Südeuropa oder Nordafrika sowie gemäß Szenario „Brücke“ in fossilen Kraftwerken

mit CCS erzeugt werden. Daneben könnten auch Biomassekraftwerke, Wellenkraftwerke oder Wasserkraftwerke in Nordeuropa eine Rolle spielen. Beide Szenarien gehen zudem davon aus, dass dieser Strom über ein großes europäisches Verbundnetz nach München transportiert wird. Um den Strom über derart weite Strecken möglichst effizient und verlustfrei zu transportieren bieten sich die weiter unten beschriebenen Hochspannungsgleichstrom-Übertragungsleitungen (HGÜ) an.

Heute verbraucht die Stadt München 7,02 TWh Strom. Die Szenarien „Ziel“ und „Brücke“ erwarten auf Basis der unterschiedlichen

Stromverbräuche im Jahr 2058 im Detail folgende Situationen:

Im Szenario „Ziel“ fällt die Stromnachfrage mit jährlich weniger als 5 TWh deutlich geringer aus als heute. Rund 3 TWh, also etwa zwei Drittel des Strombedarfs, würden lokal und regional erzeugt: Den größeren Teil würden mit Erdgas und künftig auch mit Biomethan (Biogas) befeuerte Heiz- und Blockheizkraftwerke sowie Mikro-Kraftwerke beitragen. Einen kleineren Teil können andere lokale regenerative Energiequellen wie etwa Photovoltaikanlagen liefern. Die übrigen Strommengen werden als CO<sub>2</sub>-freier Strom „importiert“. Das Szenario „Ziel“ nimmt



Wie sich Stadtwerke erfolgreich an Projekten zur regenerativen Stromerzeugung beteiligen können, das zeigen inzwischen europaweit diverse Beispiele. Zu den ersten und interessantesten Vorhaben zählt zweifellos das Projekt Middelgrunden: Bereits im Jahr 2000 schloss sich eine Gruppe von dänischen Privatpersonen, Behörden, Unternehmen und Verbänden zu einer Kooperative zusammen und begann mit dem Bau von 40 Offshore-Windrädern vor dem Hafen von Kopenhagen. Die 40 Windräder produzieren im Durchschnitt etwa 90 Millionen kWh Strom, was in etwa drei Prozent des Stromverbrauchs der Stadt Kopenhagen entspricht. Sie vermeiden jährlich rund 76.000 Tonnen CO<sub>2</sub>- und versorgen rund 40.000 Haushalte mit Strom. Die Leitung des Projektes oblag den örtlichen Stadtwerken Copenhagen Energy und der städtischen Umwelt- und Energiebehörde. Was das Projekt so besonders macht, ist die Tatsache, dass sich mehr als 8.500 Privatpersonen sowie mehrere Organisationen über die Kooperative an der Finanzierung beteiligt haben. Das Projekt ist ferner beispielhaft dafür, wie sich anfängliche Widerstände in der Bevölkerung durch Transparenz und intensive Öffentlichkeitsarbeit lösen lassen. Auch in Deutschland wächst das

Interesse an der regenerativen Stromerzeugung. So werden sich 40 deutsche Stadtwerke in den nächsten Jahren gemeinsam mit der Trianel-Gruppe, einem Gemeinschaftsunternehmen von elf Stadtwerken, mit rund einer Milliarde Euro an der Entwicklung eines Offshore-Windparks vor der Insel Borkum beteiligen.

Die Stadtwerke wollen damit ihr Energieerzeugungs-Portfolio weiter diversifizieren und den Anteil an CO<sub>2</sub>-freiem Strom erhöhen. Vor Borkum entstehen 80 Windenergieanlagen mit einer Leistung von je 5 Megawatt. Per Unterseekabel wird der produzierte Strom über die Insel Norderney in das Hochspannungsnetz eingespeist. Mit diesem Zusammenschluss von kommunalen Versorgungsunternehmen entsteht ein erster großer konzernunabhängiger Stromproduzent im Offshore-Bereich. Vor wenigen Wochen sind auch die Stadtwerke München in ein Projekt zum Bau eines der ersten deutschen Offshore-Windparks vor der ostfriesischen Küste eingestiegen. Bis zum Jahr 2013 sollen dort 80 Windräder errichtet werden, die jährlich 1,4 TWh Strom erzeugen. Die Stadtwerke beteiligen sich mit einem knappen Viertel an dem 1,3 Milliarden Euro teuren Vorhaben.

Seit der Liberalisierung des europäischen Strommarktes Mitte der 1990er-Jahre hat der Stromhandel und damit auch der Stromtransport im europäischen Verbundnetz enorm zugenommen. Künftig wird der Anteil an fluktuierendem regenerativem Strom aus Wind und Sonne vermutlich deutlich steigen. Um den steigenden und geänderten Anforderungen gerecht zu werden, muss das europäische Verbundnetz in Zukunft flexibler und intelligenter werden. Dadurch können die großen Stromflüsse sowie die Schwankungen der Stromerzeugung aus Wind und Sonne ausgeglichen werden. Diese Studie geht davon aus, dass das Verbundnetz sogar noch weiter wachsen wird. Über eine Ringleitung durch Nordafrika könnte zum Beispiel der gesamte Mittelmeerraum in das europäische Stromnetz einbezogen werden, um von dort Strom aus solarthermischen Großkraftwerken nach Norden zu liefern. Ferner gäbe es die Möglichkeit, einen größeren europäischen Verbund erneuerbarer Energieerzeuger zu schaffen: Windenergieerzeuger an den Küsten des Atlantik und der Nordsee, Wasserkraftwerke in Nordeuropa und der Alpenregion, Biomassestromerzeuger aus (Mittel-) Osteuropa sowie Photovoltaik aus Südeuropa und die solarthermischen Kraftwerke in Nordafrika könnten gemeinsam fluktuierende Stromerzeugungsmengen und Lasten ausgleichen. Ein sogenanntes „Smart Grid“, in dem Ströme dank moderner Informations- und Telekommunikationstechnik sowie Mess-, Steuer- und Regeltechnik sehr viel differenzierter als heute gesteuert werden können, kann dazu beitragen, das europäische Netz fit für die Zukunft zu machen. Das Smart Grid könnte die vielen kleinen regenerativen Stromerzeugungsanlagen wie Photovoltaikanlagen, Windparks oder auch Biomassekraftwerke miteinander verknüpfen, sodass sie gegenseitig Schwankungen abfangen und ähnlich zuverlässig wie ein konventionelles Kraftwerk Strom erzeugen.

Ein weiteres Element sind intelligente Stromzähler, das sogenannte Smart Metering. Über diese Stromzähler könnte man künftig zum Beispiel – entspre-

chend ausgerüstete – private Wärmepumpen und Wäschetrockner auch fernsteuern. Die Geräte würden dann gezielt an- oder ausgeschaltet, je nachdem, ob gerade ein Überangebot oder eine Knappheit an Strom besteht. Die große Menge an Haushaltsgeräten könnte zudem im Smart Grid für das Lastmanagement genutzt werden. Für ganz Deutschland könnten derzeit allein die vier großen Haushaltsgeräte-Gruppen (Kühl-/Gefrierschrank, Wäschetrockner, Wasch- und Spülmaschine) an einem Werktag im Sommer ein temporäres Lastmanagement-Potenzial von etwa 1.300 bis knapp 3.000 MW erbringen. Ein entsprechend ausgebautes Netz könnte Überkapazitäten aus Windstrom auffangen. Bislang müssen die Rotoren bei hohen Windgeschwindigkeiten gedrosselt werden, um eine Überlastung der Leitungen zu vermeiden. Künftig könnte man die Überkapazitäten nutzen, um Batterien von Elektro- und Hybridautos mit Naturstrom zu laden, die bei Bedarf den gespeicherten Strom wieder in das Netz einspeisen können. Auch große Kühllhäuser könnte man in einem solchen Fall versorgen. Die Temperatur der Lager würde mit dem zusätzlichen Strom weiter abgesenkt – als Kältepuffer für Spitzenlastzeiten, in denen der Strom teuer ist.

Wenn, wie in dieser Studie angenommen, ein großer Anteil des regenerativ erzeugten Stroms in Nord- und Südeuropa produziert wird, muss ein effizienter und sicherer Transport großer Strommengen über weite Entfernungen sichergestellt werden. Eine Lösung dafür sind Hochspannungsgleichstrom-Übertragungsanlagen (HGÜ). Diese können Strom deutlich effizienter über lange Entfernungen transportieren als die üblichen Wechselstromsysteme. Dass diese Systeme gut funktionieren und aufgrund ihrer dämpfenden Eigenschaften große Verbundnetze sogar sicherer gegen Störungen und Stromausfälle machen, zeigen zahlreiche Projekte. Unlängst wurde in China ein 1.500 Kilometer langes HGÜ-Netz installiert, das vom Jahr 2010 an 5.000 Megawatt aus Wasserkraft in die Industriezentren in Ostchina transportieren soll.



an, dass die Stadtwerke zu diesem Zweck vor allem in größere Anlagen zur erneuerbaren Stromerzeugung investieren. Dazu zählen Investitionen in Windparks sowie solarthermische Kraftwerke. Eine solche Beteiligung ließe sich möglicherweise im Rahmen eines großflächigen Netzverbundes regenerativer Energieerzeuger realisieren.

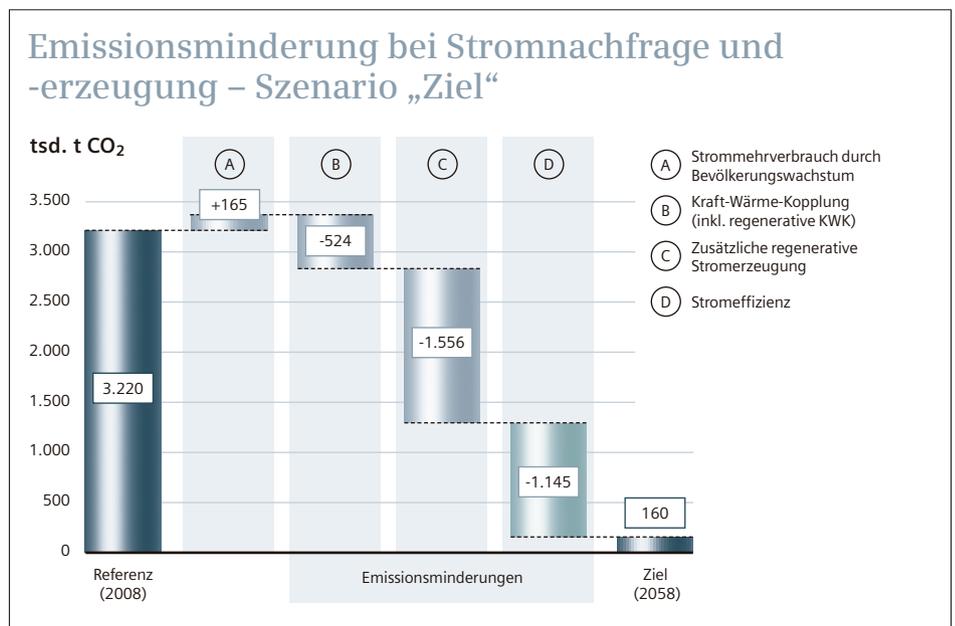
Das Szenario „Brücke“ hingegen geht von einem Stromverbrauch von mehr als 7 TWh aus. Der Anteil des lokal und regional erzeugten Stroms ist entsprechend geringer und liegt bei nur etwa 40 Prozent. Insgesamt wird von der gleichen Menge regenerativ erzeugten Stroms wie im Zielszenario ausgegangen. Der Strom-

mehrbedarf wird allerdings nicht mit zusätzlichem Strom aus erneuerbaren Energien, sondern vor allem mit Strom aus fossilen Kohlekraftwerken mit CCS (zum Beispiel an der Nordseeküste) gedeckt. In dieser wird Studie angenommen, dass diese Technologie ab 2020 marktfähig ist. Anders als bei den regenerativen Energien entstehen bei der Kohlendioxidabscheidung allerdings noch (Rest-) Emissionen.

Obwohl das Szenario „Brücke“ von einem höheren Stromverbrauch ausgeht als das Szenario „Ziel“, verringern sich die Kohlendioxid-Emissionen auch in diesem Szenario massiv. Im Szenario „Ziel“ sinken die Emissionen bis 2058 im Vergleich zu heute um 95 Prozent. Gemäß dem

Szenario „Brücke“ wären es immerhin noch rund 83 Prozent.

Im Szenario „Ziel“ ist die wichtigste Maßnahme der Ausbau der regenerativen Stromerzeugung. Ihr Anteil an der Emissionsminderung beträgt etwa 48 Prozent. An zweiter Stelle steht die Effizienz-Verbesserung beim Stromverbrauch, durch die allein etwa 36 Prozent der CO<sub>2</sub>-Emissionen im Sektor Stromversorgung eingespart werden könnte. Auch im Szenario „Brücke“ steht die regenerative Stromerzeugung (Einsparpotenzial 48 Prozent) an erster Stelle. Die Stromerzeugung auf Basis von fossilen Energieträgern mit CCS liegt mit einem Einsparpotenzial von 24 Prozent auf dem zwei-



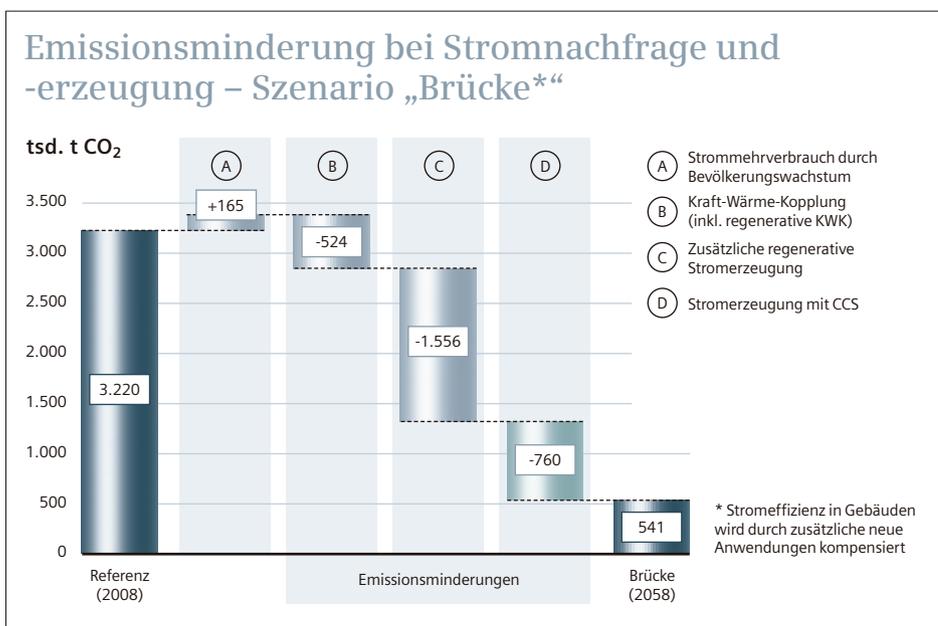


ten Platz. Der weitere Ausbau der KWK in Fern- und Nahwärme könnte die CO<sub>2</sub>-Emissionen um weitere 16 Prozent verringern.

**Was kostet der Strom im Jahr 2058?** Basierend auf den Annahmen des Leitszenarios 2008 des Bundesumweltministeriums geht diese Studie davon aus, dass die neuen regenerativen Stromerzeugungstechnologien im Mix ab circa 2020 zu wettbewerbsfähigen Preisen angeboten werden können. Bei den regenerativen Technologien werden insbesondere Degressions-effekte zu einer Verringerung der Kosten beitragen. Die konventionelle Stromerzeugung dürfte sich hingegen unter anderem aufgrund

der steigenden Kosten der Primärenergieträger und Emissionszertifikate verteuern. Das bedeutet indes nicht zwingend, dass der Strom aus erneuerbaren Quellen für den Endverbraucher langfristig günstiger würde. Das hat verschiedene Gründe. So schwankt die Stromerzeugung der erneuerbaren Energiequellen natürlicherweise – bei Flaute stehen Windparks still, bei starkem Wind hingegen liefern sie Spitzenwerte. Um diese Schwankungen auszugleichen und Stromangebot und Stromnachfrage in Einklang zu bringen, müssen einerseits Speichertechniken eingesetzt werden, die den überschüssigen Strom für produktionschwache Zeiten zwischenspeichern. Zudem müssen Spit-

zenlastkraftwerke betrieben werden, die Strom liefern, wenn die Produktion von Windrad und Solarzelle nicht ausreicht. Kurz: Die Reservehaltung muss erhöht werden. Zudem wird regenerativer Strom zum Teil weit entfernt vom Stromverbraucher erzeugt. Der erforderliche Stromtransport über weite Strecken zieht höhere Stromübertragungskosten nach sich, die wiederum auf den Strompreis umgelegt werden. Darüber hinaus wird man das Stromnetz an vielen Punkten so verstärken und ausbauen müssen, dass es die Erzeugungsspitzen der regenerativen Energiequellen aufnehmen kann. All das führt dazu, dass sich der Strom für den Endverbraucher nicht zwangsläufig verbilligt.





Szenarien wie die hier vorgestellten Varianten „Ziel“ und „Brücke“ sind ein wertvolles Werkzeug, um zu prüfen, inwieweit wünschbare Perspektiven und konkrete Entwicklungsziele in sich konsistent und technisch machbar sind. Doch alle Theorie ist grau. Es bleibt die Frage, wie sich diese Ziele in der Praxis erreichen lassen und wie man entsprechende Maßnahmen umsetzt. Das folgende Kapitel zeigt, wie ein bestehendes Mischgebiet aus Wohn- und Geschäftsgebäuden sowie ein Neubaugebiet in nur drei Jahrzehnten in einen Stadtteil mit annähernd ausgeglichener CO<sub>2</sub>-Bilanz verwandelt werden könnte. Die beiden fiktiven Mustersiedlungen

# 3.0

## Der Musterstadtteil – Vorbild für die Zukunft



orientieren sich zum einen am bestehenden, etwa 10.000 Einwohner zählenden Stadtteil Neuaubing am westlichen Stadtrand Münchens und zum anderen am direkt angrenzenden, noch unbebauten Gebiet Freiam-Nord<sup>1</sup>.

Dabei bezieht die Studie schon bestehende Überlegungen zur Entwicklung von Freiam-Nord mit ein, ohne jedoch einen konkreten Entwicklungsplan für den Musterstadtteil aufzustellen. Dieses Kapitel zeigt, dass bereits heute die Technologien vorhanden wären, um das insgesamt etwa 340 Hektar große Areal – etwa die neunfache Fläche der Münchner Theresienwiese oder ungefähr 480 Fußballfelder – durch

einen sinnvollen Einsatz von Gebäude-, Energie- und Verkehrstechnik schrittweise zu einem wirklichen Musterstadtteil auszubauen. Anders als die oben diskutierten Szenarien überblickt dieses Kapitel einen Zeitraum von nur 30 Jahren, da nach den derzeitigen Überlegungen der Umbau der Stadtteile in diesem Zeitraum weitgehend abgeschlossen sein soll. Es zeigt sich, dass in drei Jahrzehnten wahrscheinlich noch keine völlig ausgeglichene CO<sub>2</sub>-Bilanz erreicht werden kann. Dennoch sind die CO<sub>2</sub>-Einsparungen verglichen mit dem heutigen Standard ganz erheblich – insbesondere dank deutlicher Effizienzgewinne beim Stromver-

brauch, dem Einsatz von Elektrofahrzeugen, der konsequenten Nutzung der vorhandenen Potenziale erneuerbarer Energien sowie der Passivhaustechnik.

**Der Musterstadtteil im Überblick – fast CO<sub>2</sub>-frei bis 2038:** Das wohl eindrucksvollste Ergebnis dieser Musterstadtteil-Analyse ist, dass sich der durch den direkten Wärme- und Strombedarf der Haushalte verursachte CO<sub>2</sub>-Ausstoß insgesamt innerhalb von nur drei Jahrzehnten erheblich reduzieren ließe, und zwar von heute jährlich 23.000 Tonnen in Neuaubing auf 14.000 Tonnen in beiden Stadtgebieten zusam-

<sup>1</sup> Das angrenzende Gebiet Freiam-Süd, das vor allem für gewerbliche Nutzung vorgesehen ist, wird hier nicht betrachtet.



men – und das, obwohl rund 17.000 Bürger hinzukommen würden. Damit könnte der entsprechende CO<sub>2</sub>-Ausstoß pro Einwohner von derzeit 2,25 Tonnen pro Jahr, was etwa dem Bundesdurchschnitt entspricht, auf gut 0,5 Tonnen reduziert werden – eine Verringerung um mehr als 75 Prozent. Auch der Verkehrssektor wird zu Einsparungen beitragen, beispielsweise durch den verstärkten Einsatz von Elektrofahrzeugen und einen verbesserten ÖPNV. Ferner werden im Musterstadtteil viele heute noch mit dem eigenen Fahrzeug gefahrene Wege dank eines ausgeklügelten Lieferverkehrs überflüssig.

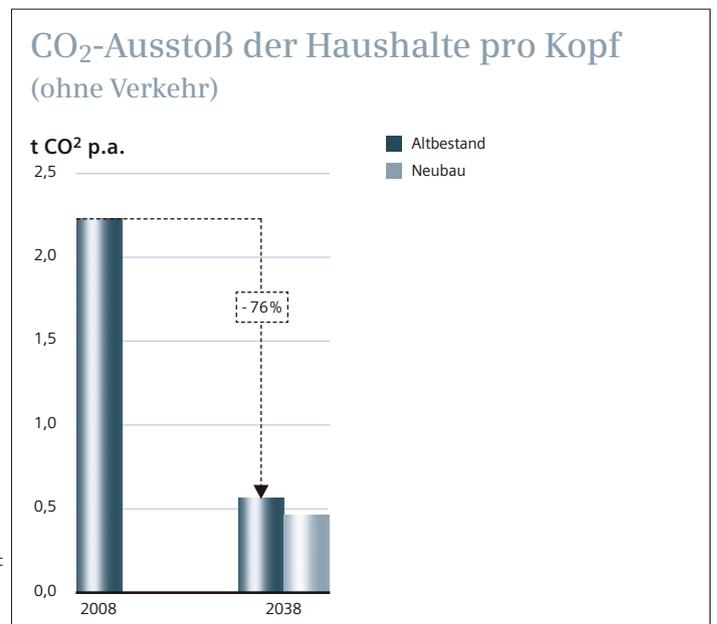
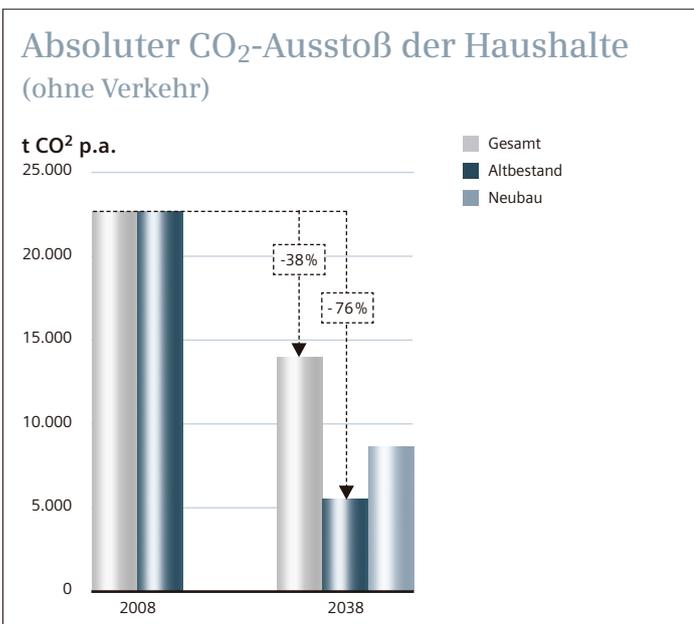
Der hier skizzierte Musterstadtteil umfasst

die Sanierung alter Bausubstanz in Neuaubing sowie die Entwicklung einer klimafreundlichen Stadteilerweiterung im angrenzenden Freiham-Nord. Heute beträgt die verfügbare Wohnfläche in Neuaubing etwa 300.000 Quadratmeter. In 30 Jahren wird sie im gesamten Musterstadtteil durch den Aus- und Neubau auf etwa 1,1 Millionen Quadratmeter ansteigen.

Im circa 150 Hektar großen Neuaubing leben heute rund 10.000 Einwohner. Der Gebäudebestand, der zwischen 1899 und 2006 erbaut wurde, umfasst Einfamilienhäuser sowie kleine und große Mehrfamilienhäuser mit bis zu neun Geschossen. Zu den übrigen Gebäuden zählen

Schul- und Verwaltungsgebäude, Gewerbegebäude, Kirchen, Parkhäuser und Garagenanlagen. Abgesehen von wenigen neueren Bauten entsprechen bislang nur wenige Gebäude den aktuellen Energieeffizienzstandards. Der energetische Sanierungsbedarf ist entsprechend hoch.

Diese Studie nimmt an, dass die fiktive Sanierung Neuaubings und der vollgeschossige Ausbau der bestehenden Dachgeschosse innerhalb von 30 Jahren abgeschlossen sein könnte. Um dieses Ziel zu erreichen, müssten in jedem Jahr 3,25 Prozent des Gebäudebestands saniert werden – das heißt rund 35 Gebäude, also mehr





noch als der im Szenario-Kapitel angenommene Mittelwert für ganz München. Die Studie geht ferner davon aus, dass im Durchschnitt die Dachgeschosse eines Drittels dieser Gebäude vollgeschossig ausgebaut werden. Bei der Sanierung und dem Ausbau der Häuser wird der Einsatz von Dämmmaterialien und dem Passivhausstandard entsprechenden Fenstern vorausgesetzt. Die Häuser würden außerdem mit zentralen oder dezentralen Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung ausgestattet. Dadurch ginge der Heizenergiebedarf des Altgebäudebestands im betrachteten Sanierungszeitraum kontinuierlich zurück.

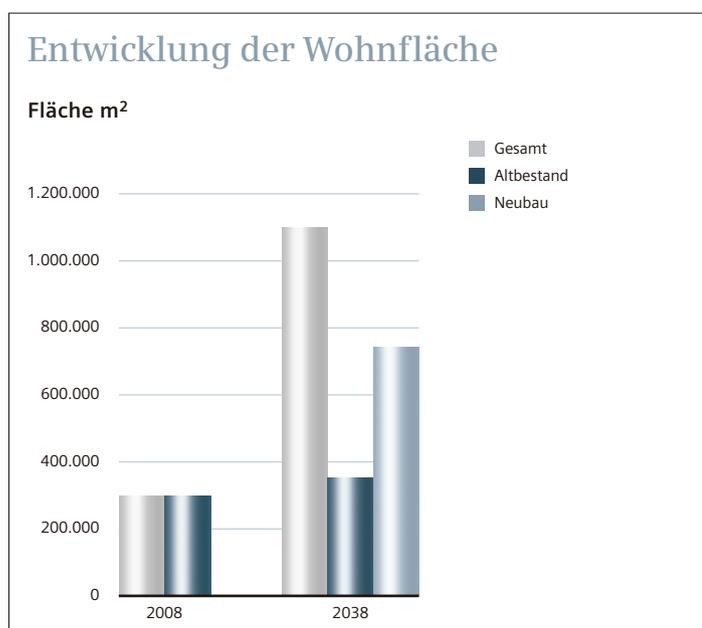
Auch das unbebaute Areal des benachbarten Stadtteils Freiham-Nord soll innerhalb von 30 Jahren erschlossen werden. Auf der etwa 190 Hektar großen ehemaligen landwirtschaftlichen Nutzfläche sollen überwiegend Wohnhäuser mit Wohnraum für mindestens 17.000 Einwohner entstehen. Für die Geschäfts- und Zweckgebäude, die diese Studie vorsieht, wird exemplarisch angenommen, dass sie für Büroanwendungen mit gehobener technischer Ausstattung verwendet werden. Alle Gebäudetypen sollen nach Passivhausstandard errichtet werden. Zusätzlich würden sie mit Photovoltaik-Anlagen zur Stromerzeugung und solarther-

mischen Anlagen ausgestattet, die den Restheizwärmebedarf zum Teil decken und die Warmwasserbereitung unterstützen. Die vorliegende Studie betrachtet Neuaubing und die neue Wohnbebauung Freiham-Nord als einen einzigen Musterstadtteil. Es wird angenommen, dass in diesem Musterstadtteil die Einwohnerzahl insgesamt von heute rund 10.000 auf etwa 27.000 Einwohner ansteigt, vor allem durch den Zuzug von Neubürgern in das Neubaugebiet.

Trotz dieses stetigen Zuwachses dürfte der Wärmebedarf sukzessive schrumpfen. So nimmt diese Studie an, dass die für die Erzeugung von Heizwärme und Warmwasser erforderliche Energiemenge im wachsenden Musterstadtteil bis zum Jahr 2038 von 55.600 MWh/a auf einen Wert von circa 39.000 MWh/a sinkt.

Zwar ergäbe sich im Neubaugebiet ein zusätzlicher Wärmebedarf, dieser würde aber durch die enormen Einsparungen der Sanierungsmaßnahmen überkompensiert. Zudem könnten die heute im Altbaubestand zur Erzeugung von Wärme überwiegend eingesetzten wenig effizienten Gas- und Ölheizungen durch neue Technik oder einen Anschluss an ein Geothermie-Fernwärmenetz im benachbarten Neubaugebiet ersetzt werden. Dort, wo ein Fernwärmeanschluss nicht rentabel ist, bieten sich Wärmepumpen oder effiziente Mikro-KWK-Anlagen an, die anfangs mit Erdgas und später zunehmend mit Biogas versorgt werden.

Auch der Strombedarf je Einwohner schrumpft im Musterstadtteil um etwa die Hälfte. Zwar ergibt sich damit in der Summe noch immer ein Anstieg des absoluten Bedarfs, da immerhin rund 17.000 Einwohner hinzukommen würden. Doch ist dieser Anstieg vergleichsweise mode-





rat. Möglich machen das Effizienzgewinne durch sparsamere Elektrogeräte und effizientere Beleuchtung.

Außerdem wird angenommen, dass bis zum Jahr 2038 elektrische Heißwasserboiler und Durchlauferhitzer verschwinden. Letztlich wird der Strombedarf des Musterstadtteils maßgeblich durch die Privathaushalte bestimmt. Das ist eine große Chance, denn jeder Bürger könnte damit aktiv zum Stromsparen beitragen. In Neuaubung ließe sich durch den sukzessiven, vollständigen Austausch von alten Geräten der Stromverbrauch erheblich senken. Es wird davon ausgegangen, dass die Bürger im Neubau-

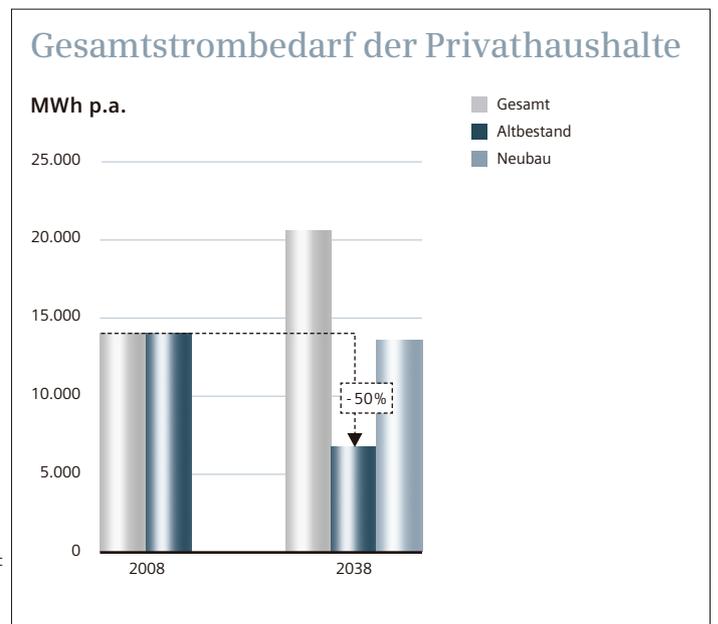
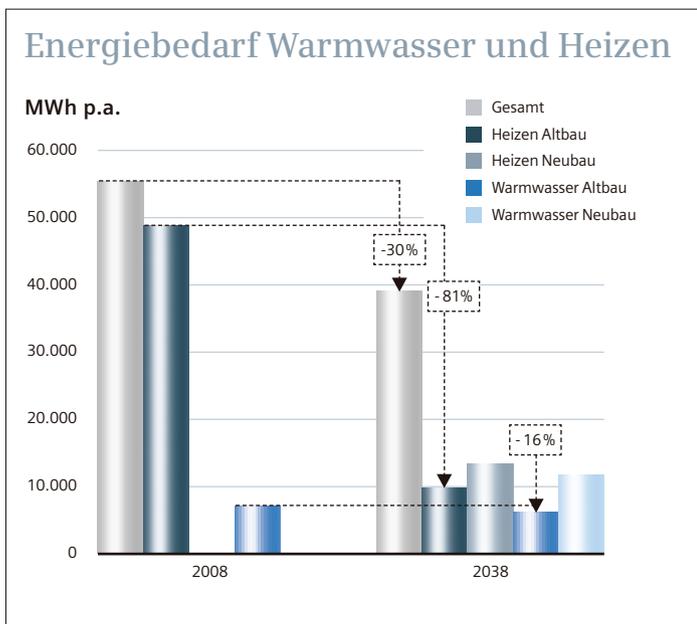
gebiet ohnehin modernere und sparsamere Geräte einsetzen. Im Neubaugebiet käme indes zusätzlich der Strombedarf für die Büroanwendungen in den Gebäuden mit Gemischnutzung hinzu.

Dem Rückgang des Bedarfs an elektrischer Energie im alten Gebäudebestand stünde ein leichter Bedarfsanstieg durch die bei den Sanierungsmaßnahmen eingebauten Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung entgegen – ein zusätzlicher Bedarf von ungefähr 520 MWh/a. Im Neubaugebiet würden die Lüftungsanlagen einen zusätzlichen Strombedarf von circa 950 MWh/a verursachen.

Insgesamt ergäbe sich damit bis zum Jahr 2038 im Musterstadtteil ein Anstieg des Strombedarfs von etwa 14.000 MWh/a auf rund 21.000 MWh/a. Doch es bleibt dabei: Der Pro-Kopf-Verbrauch sinkt um die Hälfte, und das wäre bereits ein großer Erfolg.

**Um die CO<sub>2</sub>-Emissionen des Gebäudealtbestands nennenswert zu reduzieren, bieten sich zusammenfassend folgende Maßnahmen an:**

- Verringerung des Heizenergiebedarfs durch verbesserte Isolation der Gebäudehüllen;
- weitgehender Ersatz von fossilen Heizener-





gieträgern durch den Anschluss einer großen Anzahl von Gebäuden an das durch Geothermie gespeiste Fernwärmenetz;

→ vollständiger Ersatz von reinen Stromheizungen und rein elektrischer Warmwasserbereitung;

→ die Ausrüstung der übrigen Gebäude des sanierten Altbestands mit gasbetriebenen Mikro-KWK-Anlagen, Holzpellettheizungen sowie Wärmepumpen;

→ sukzessiver Ersatz von Haushaltsgeräten und Leuchtmitteln durch effizientere Technik.

Die Gesamtkosten für die Neuinsulation der

Gebäudehüllen des Altbestands und eine Sanierung bis zum Passivhausstandard sowie die Investitionen für Lüftungsanlagen würden sich bis zum Ende des betrachteten Zeitraums auf etwa 95 Millionen Euro belaufen. Damit würden die Mehrkosten, verglichen mit einer Gebäudesanierung nach der Energieeinspar-Verordnung 2007, mit circa 40 Millionen Euro nur um knapp ein Drittel höher liegen.

Im Neubaugebiet würde die Errichtung von Passivhäusern einen zusätzlichen Mehraufwand von 83 Millionen Euro gegenüber EnEV-2007 bedeuten. Hier würden die durch den Energieverbrauch verursachten CO<sub>2</sub>-Emissionen fast ausschließlich durch den Strombedarf der Haushalte bestimmt, da der geringe Heizenergiebedarf und der Warmwasserbedarf der Passivhäuser durch Geothermie gedeckt würden. Durch die teilweise Nutzung der verfügbaren Dachflächenpotenziale für Photovoltaikmodule könnte die CO<sub>2</sub>-Bilanz noch verbessert werden.

#### **Kosten der CO<sub>2</sub>-freien Wärmeversorgung:**

Die erforderlichen Investitionen für eine CO<sub>2</sub>-freie Wärmeversorgung wären hoch: Im Vergleich zu einem entsprechenden Stadtteil mit einfachem EnEV-2007-Standard, in dem auf Geothermie und Fernwärme verzichtet wird, rechnet diese Studie mit einem zusätzlichen Investitionsbedarf von insgesamt rund 177 Millionen Euro 83 Millionen Euro für den Neubau, 40 Millionen Euro für die Altbausanierung sowie 24 Millionen Euro für eine Geothermieanlage und 30 Millionen Euro für das Fernwärmenetz. Doch bei näherer Betrachtung geht die Rechnung für den Musterstadtteil auf.

Bei einer 4-prozentigen Realverzinsung ergäben sich für den Musterstadtteil über einen Zeitraum von 40 Jahren jährliche Kostenbelastungen von knapp 9 Millionen Euro. Darin enthalten wären die zusätzlichen Ausgaben für eine optimale Sanierung, den Neubau nach Passivhausstandard sowie eine auf Geothermie basierende Fernwärmeversorgung.

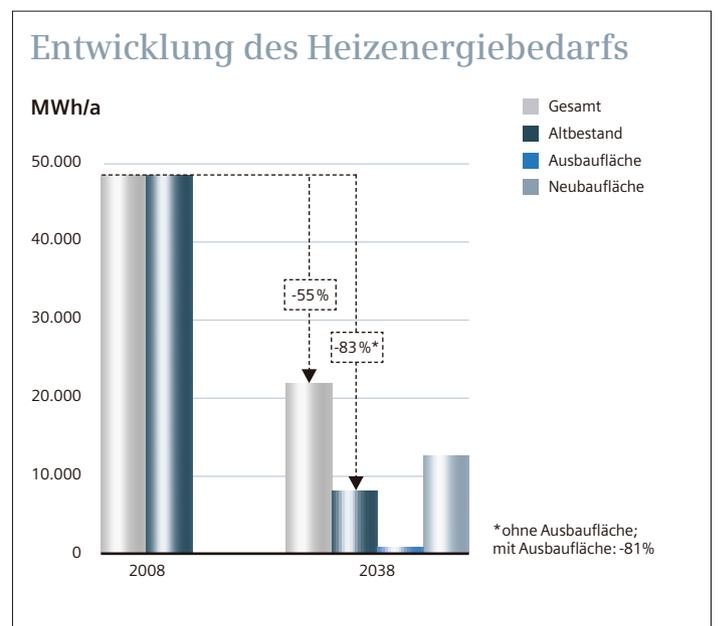
Hinzu kämen für die Betriebskosten der Fernwärmeanlagen und die Energiekosten für die nicht an die Fernwärme angeschlossenen Areale in Neuaubing jährlich noch etwa 2 Millionen Euro. Diesen gut 10,5 Millionen Euro pro Jahr stünden je nach angenommener Preissteigerungsrate jährliche Energiekosteneinsparungen von 14,5 bis 17 Millionen Euro gegenüber, je nach Entwicklung der Energiepreise.

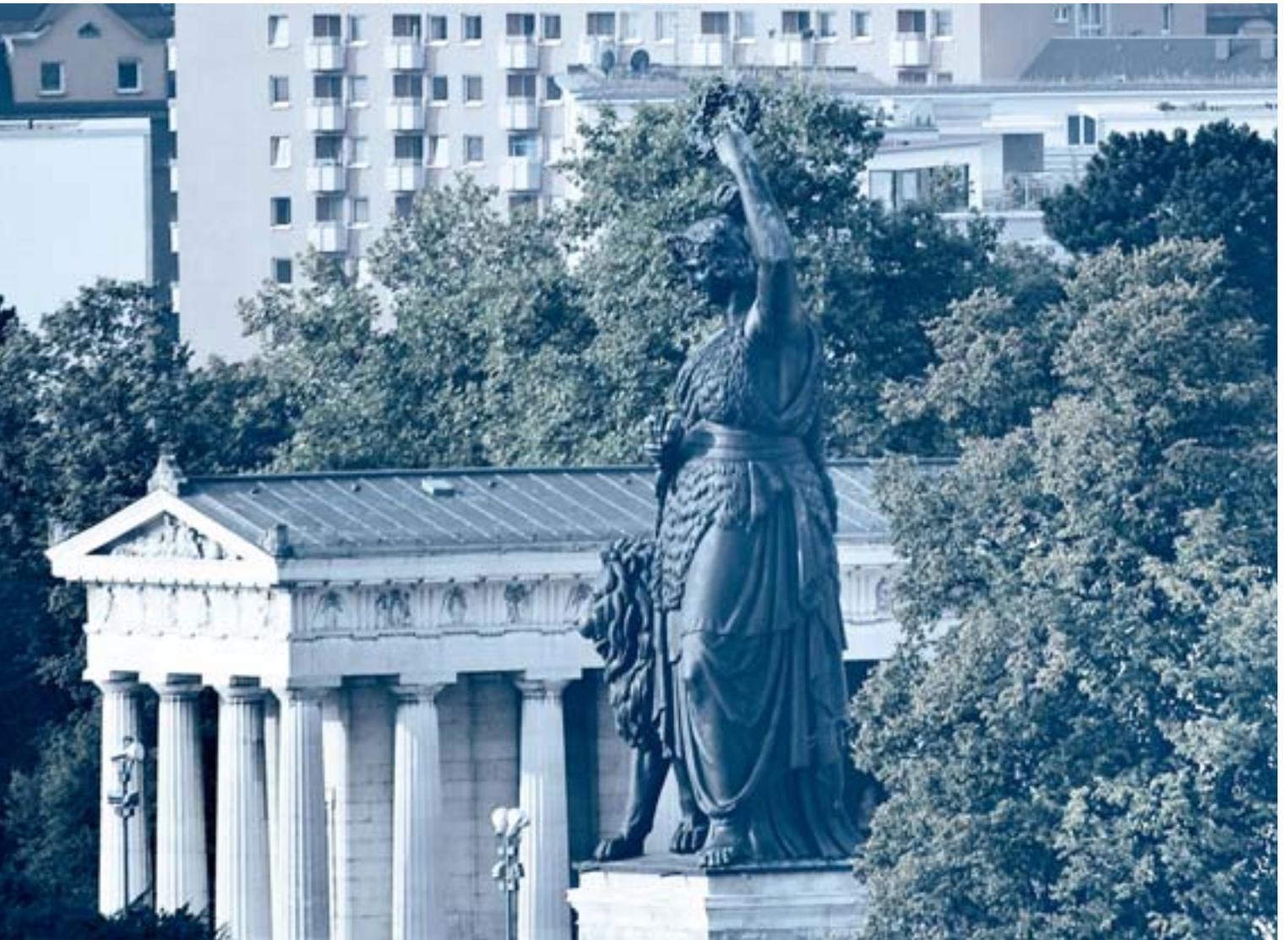
Es zeigt sich also, dass die Investitionen in die CO<sub>2</sub>-freie Wärmeversorgung nicht nur zu signifikanten Emissionsminderungen, sondern über die Lebensdauer der Anlagen auch zu einer signifikanten jährlichen Kostenentlastung von durchschnittlich 4 bis 6,5 Millionen Euro führen könnte.

Nicht eingerechnet wurden hier die Kosten für die grundlegende, nicht-energetische Sanierung der Altbauten, die sich nach den vorliegenden Berechnungen im Mittel auf etwa 240 Millionen Euro belaufen dürften. Diese Ausgaben fallen für die Wohnraumbereitstellung und -sicherung ohnehin an und wurden daher nicht den Kosten der CO<sub>2</sub>-freien Gestaltung des Musterstadtteils zugerechnet. Ebenso bleiben Kosten in der geschätzten Größenordnung von 1,2 Milliarden Euro unberücksichtigt, die in Freiam-Nord für die Errichtung der Neubauten ohnehin fällig würden.

# 3.1 Der Musterstadtteil im Detail – Wärmenachfrage der Gebäude

Wärme wird in Wohngebäuden für zwei Dinge benötigt: zum Heizen der Häuser und für die Erzeugung von Warmwasser. In Sachen Energieeffizienz sind diese beiden Wärmeanwendungen jedoch grundverschieden. Während sich der Heizwärmebedarf vor allem durch die Sanierung der Gebäude und einen konsequenten Einsatz der Passivhaustechnik erheblich reduzieren lässt, hängt der Warmwasserverbrauch insbesondere vom Verhalten der Bewohner ab. Wer häufig badet, benötigt mehr heißes Wasser. Wer nur kurz duscht, reduziert den Wärmebedarf deutlich; und je mehr Bürger im Stadtteil wohnen, desto höher ist





auch der Warmwasserverbrauch. Somit ergeben sich zwei Trends: Der Warmwasserbedarf des Musterstadtteils wird steigen, der Heizenergiebedarf aber sinken. Allerdings macht die Heizenergie vor der Sanierung den Löwenanteil aus, sodass der Gesamtwärmebedarf in der Summe letztlich stark abnehmen würde.

**Die wichtigste Stellschraube – die Heizenergie:** Wie im Szenario-Kapitel beschrieben, verursacht die Beheizung der Münchner Gebäude den größten Teil der CO<sub>2</sub>-Emissionen. Insofern ist die Verringerung des Heizenergiebedarfs auch für die Analyse des Musterstadtteils

wichtig. Wie die Berechnungen zeigen, könnte beispielsweise der Heizwärmebedarf eines kleinen Mehrfamilienhauses aus der Bauphase 1958 bis 1968 allein durch die Isolation der Gebäudehülle im Mittel um mehr als den Faktor 4 sinken.<sup>2</sup> Werden zusätzlich Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung installiert, reduziert sich der Wärmebedarf sogar fast um das Achtefache.<sup>3</sup> Die Gebäude im benachbarten Neubaugebiet würden von vornherein nach Passivhausstandard errichtet. Dadurch erreichen sie verglichen mit einem unsanierten Altbau einen sogar mehr als zehnfach niedrigeren Wärmebedarf.<sup>4</sup>

Es sind vor allem diese Maßnahmen, die den Heizwärmebedarf im gesamten Musterstadtteil von anfangs knapp 50.000 MWh/a auf einen Wert von nur noch 22.000 MWh/a im Jahr 2038 reduzieren würden, obwohl angenommen wird, dass sich im gleichen Zeitraum sowohl Wohnfläche als auch Bevölkerung in etwa verdreifachen.

**Steigender Verbrauch – Warmwasser:** Diese Studie geht davon aus, dass der Energiebedarf für die Warmwasserbereitung mit dem Zuzug von Neubürgern im gleichen Zeitraum von circa 6.800 MWh/a auf einen Wert von circa

<sup>2</sup> von jährlich 188 auf 43 kWh/m<sup>2</sup>. <sup>3</sup> auf 24 kWh/m<sup>2</sup>. <sup>4</sup> von 15 kWh/m<sup>2</sup>

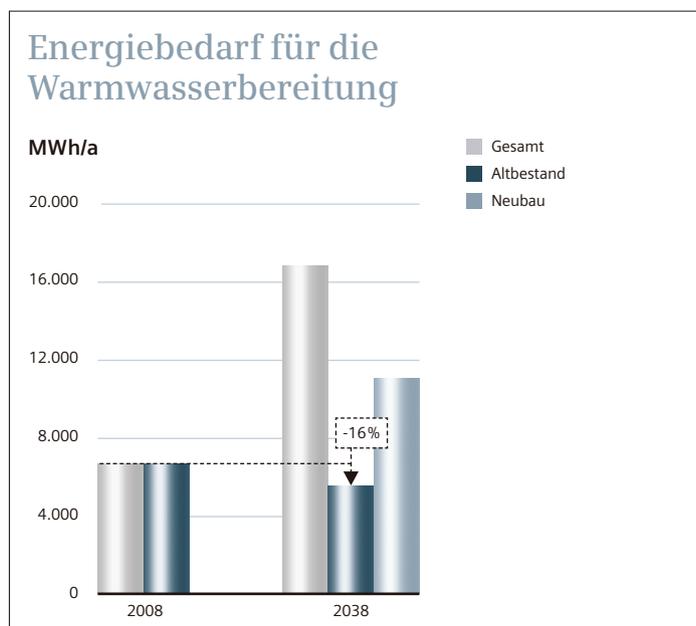


17.000 MWh/a ansteigt. Wie hoch der Anteil des Energiebedarfs für die Warmwasserbereitung am Ende ist, wird deutlich, wenn man ihn zum Heizwärmebedarf in Beziehung setzt: Warmwasser und Heizung bringen es derzeit zusammen auf einen Gesamtenergiebedarf von 55.600 MWh/a. Warmwasser hat daran lediglich einen Anteil von 12 Prozent.

In 30 Jahren würde der Gesamtenergiebedarf gemäß den hier gemachten Annahmen auf 39.000 MWh/a sinken. Dank der massiven Einsparungen beim Heizwärmebedarf würde der Anteil für die Warmwasserbereitung dann mehr als 43 Prozent betragen.

**Die Lösungen:** Die dieser Studie zugrunde liegenden Berechnungen machen deutlich, dass der Pro-Kopf-Wärmeverbrauch in nur 30 Jahren erheblich reduziert werden kann. Die folgenden Seiten zeigen, wie sich heute bereits technisch realisierbare Energieeffizienzmaßnahmen im Detail umsetzen ließen und mit welchen Kosten dabei zu rechnen wäre.

Der erste Schritt ist, die bestehenden Gebäude zu dämmen und weitgehend luftdicht zu machen, damit die Wärme nicht entweichen kann. Das erfordert eine automatische Lüftungsanlage, die für den Austausch der Luft und eine Abfuhr der Raumfeuchte sorgt. Diese Stu-





die geht davon aus, dass derartige Anlagen obligatorisch mit Wärmerückgewinnung ausgestattet sind. Da kaum ein Gebäude in Neuaubing unter Denkmalschutz steht, eignet sich für die Isolierung der Häuser ferner eine konventionelle Außendämmung aus Polystyrol- oder Polyurethanplatten. In Zukunft könnten alternativ vermehrt Vakuumisulationspaneele zum Einsatz kommen.

Moderne Gebäude zeichnen sich vor allem durch großzügige Fensterflächen und lichtdurchflutete Innenräume aus. Einen entsprechenden Stellenwert haben Fenster bei der Sanierung. Im Musterstadtteil werden für den

Passivhausneubau und auch bei Sanierungen daher die weiter oben beschriebenen dreifach verglasten Fenster oder Vakuum-Fenster eingesetzt.

Aufgrund der hochwertigen Dämmung der Gebäude im Neubaugebiet würde die Heizlast teilweise unter 10 W pro Quadratmeter Wohnfläche betragen. Die Lüftungsanlage kann in einem solchen Fall die Raumheizung weitgehend ersetzen. Bei den Altbauten Neuaubings würde der Wert etwas höher liegen. Tatsächlich verbleibt daher im Musterstadtteil ein zusätzlicher Heizwärmebedarf, der über vorhandene Radiatorheizungen gedeckt wird.

#### **Kosten für AltbauSanierung und Neubau im Musterstadtteil:**

Die Kosten für die Sanierung des Gebäudealtbestands werden sich nach den in dieser Studie vorgenommenen Berechnungen bis zum Jahr 2038 auf etwa 95 Millionen Euro belaufen. In dieser Summe sind die Ausgaben für die Isolierung der Gebäudehülle auf Passivhausniveau und für die Investitionen in Lüftungsanlagen enthalten. Gegenüber einer Sanierung nach EnEV-2007 wären das Mehrkosten in Höhe von knapp 40 Millionen Euro. Künftige Kostendegressionen aufgrund von effizienteren Verfahren und preisgünstigeren Materialien für die Wärmedämmung sowie aufgrund von möglichen Kostensteigerungen bei Löhnen oder Inflationsraten wurden dabei nicht berücksichtigt. Es ist davon auszugehen, dass bei einer Sanierung weitere „nicht-energetische“ Renovierungsmaßnahmen wie der Einbau neuer Bäder und Sanitäranlagen oder Veränderungen der Wohnungszuschnitte durchgeführt werden. Auch diese Kosten in Höhe von üblicherweise 500 bis 1000 Euro pro Quadratmeter Wohnfläche wurden nicht mit in die Berechnung aufgenommen. Für Neuaubing könnten sich hier bis 2038 zusätzliche Ausgaben in Höhe von 160 bis 320 Millionen Euro für die „nicht-energetische“ Sanierung ergeben.

Für das nach Passivhausstandard zu bebauende Neubauareal mit einer Neubaufläche von rund 746.000 Quadratmetern rechnet diese Studie mit Mehrinvestitionen von 83 Millionen Euro gegenüber einer Siedlung nach EnEV-2007. Das wären etwa acht Prozent mehr als die bislang auf Basis des EnEV-2007-Standards geschätzten 1 bis 1,2 Milliarden Euro Baukosten für das Projekt Freiham-Nord. Die acht Prozent entsprechen etwa 130 Euro pro Quadratmeter Wohnfläche.

# 3.2 Der Musterstadtteil im Detail – Stromnachfrage der Gebäude

Der Musterstadtteil besteht zum großen Teil aus Wohngebäuden. Ein kleinerer Teil wird gewerblich als Büroraum, Laden, Schule oder öffentliches Gebäude genutzt. Somit bleiben die Privathaushalte die größten Stromverbraucher. Sie sind zugleich der wichtigste Hebel, um den Strombedarf nennenswert zu reduzieren. Diese Studie zeigt, dass das tatsächlich möglich ist. Betrachtet werden außerdem mögliche Effizienzgewinne in den gewerblich genutzten Bürogebäuden.

Insgesamt sind die Effizienzgewinne im Musterstadtteil beträchtlich. Die Einwohnerzahl wächst zwar bis zum Jahr 2038 auf insgesamt 27.000. Dadurch steigt der Strombedarf im selben Zeitraum von etwa 14.000 MWh/a auf rund 21.000 MWh/a. Pro Einwohner aber sinkt der Bedarf dank der Effizienzgewinne in Haushalt und Büro von circa 1.400 kWh auf nur noch etwa 760 kWh pro Jahr, also nahezu um die Hälfte.

**Tausche alt gegen neu – der Musterhaushalt:** Ein neuer Kühlschrank oder eine Energiesparlampe im Wohnzimmer – im Vergleich zur groß angelegten Sanierung und Dämmung eines ganzen Stadtteils scheint das wenig zu sein. Doch die Effizienzgewinne im Haushalt sind beträchtlich. Ersetzt man alte, wenig stromsparende Technik konsequent durch neue effiziente Geräte, kann ein Drei-Personen-Musterhaushalt seinen Stromverbrauch um fast 50 Prozent drosseln – von heute rund 3.900 kWh pro Jahr auf gut 2.000 kWh. Auch hier gilt: Eine solche Reduktion lässt sich bereits mit heutiger Technik erreichen, ohne dass sich der Nutzer einschränken müsste. Berücksichtigt wird hier

sogar, dass Büro- und TV/Audio-Anwendungen noch zunehmen werden. Zwar sind energiesparende Techniken heute noch meist teurer als konventionelle Geräte. Die Mehrkosten aber erhält man über die Lebenszeit der Geräte in der Regel durch die Energieeinsparung zurück.

Möglich wird die Halbierung des Stromverbrauchs vor allem durch einen umfassenden Austausch der großen Haushaltsgeräte (Herd, Kühl- und Gefrierschrank, Spül- und Waschmaschine sowie Trockner). Denn trotz großer Effizienzverbesserungen ist der Anteil dieser Geräte am Gesamtstrombedarf mit 46 Prozent heutzutage noch immer am größten. Zwar sind während der vergangenen 15 Jahre Waschmaschinen um etwa 34 Prozent, Spülmaschinen um 36 Prozent und Kühlgeräte um 40 Prozent effizienter geworden, ihre Anzahl und Größe haben jedoch zugenommen, sodass der Gesamtverbrauch dieser Geräte etwa gleich geblieben ist.

Wie das oben beschriebene Beispiel des effizienten Kühlgeräts zeigt, lässt sich schon heute durch den Einsatz von Geräten der Effizienzklasse A++ erheblich Strom sparen. Trotz zunehmend besserer Ausstattungen der Kühlschränke mit zusätzlichen Temperaturzonen erscheint ein jährlicher Stromverbrauch von 160 kWh für Kühl- und Gefrierzwecke realistisch. Heute sind es durchschnittlich noch 390 kWh.

Für das elektrische Kochen und Backen hingegen sind nur geringe Effizienzgewinne zu erwarten. Die Effizienz von Backöfen und von Mikrowellengeräten kann eventuell noch leicht verbessert werden, beispielsweise durch eine Verringerung des Stand-by-Verbrauchs des Herdes. Diese Verbesserungen vorausgesetzt, er-

geben sich für den Musterhaushalt jährliche Stromverbräuche von 225 kWh für das Kochfeld, 112,5 kWh für den Backofen und 60 kWh für die Mikrowelle, was in etwa dem heutigen Verbrauch entspricht.

Auch die privaten Büroanwendungen im Musterhaushalt werden sich nicht grundsätzlich von den heutigen Funktionen unterscheiden. Allerdings werden Funktionen, die heute noch Einzelgeräte übernehmen, in wenigen Geräten zusammengefasst sein. Vermutlich wird in naher Zukunft ein zentraler Hausserver selbstverständlich sein, der alle Geräte im Haus vernetzt und die Funktionen von PC, Internetzugang, Fernsehempfang und Telefonanlage vereint. An verschiedenen Stellen im Haus wird es Eingabegeräte mit Flachbildschirmen geben. Die Studie geht davon aus, dass der zentrale Server jährlich 175 kWh und die im Haus auf vier Stellen verteilten Flachbildschirme mit Eingabefunktion rund 150 kWh Strom verbrauchen. Einen Fernseher als Einzelgerät wird es nicht mehr geben. Audioanwendungen machen allerdings eine Lautsprecheranlage erforderlich, die mit 240 kWh pro Jahr zum Stromverbrauch beiträgt.

Energiesparlampen sind schon heute etabliert. In Zukunft wird sich am Markt darüber hinaus die LED- und OLED-Technologie durchsetzen. Die sehr effizienten Energiesparlampen, LEDs und OLEDs können erheblich zum Stromsparen beitragen. Den Effizienzgewinnen stehen aber neue Anwendungen gegenüber. Das summiert sich zu einem Stromverbrauch für die Beleuchtung von jährlich 225 kWh im Vergleich zu durchschnittlich 430 kWh heute. Effizienzgewinne kann darüber hinaus eine intelligente Haus- oder Gebäudeleittechnik bringen, die



dank einer Reihe von Sensoren verschiedene Gebäudeparameter überwacht. Dabei gilt: Optimalisiert werden kann nur das, was auch gemessen wird. Neben den Präsenzwächtern für die Zimmerbeleuchtung kommen beispielsweise Sensoren in Frage, die auf unbeabsichtigt gekippte Fenster hinweisen, durch die Kälte eindringt. Schon heute gibt es Ferienabschaltungen für Heizungen. Und mit einem zentralen Abwesenheitsschalter an der Haustür könnte man beim Verlassen des Gebäudes viele verschiedene Geräte und Lampen zugleich ausknipsen.

Die Sanierung der alten Gebäude und der Passivhausstandard im Neubaugebiet würden zu weiteren wesentlichen Veränderungen beim Stromverbrauch führen. So wird das warme Wasser im Musterhaushalt nicht mehr elektrisch bereit, sondern entweder solar oder durch Fern-/Nahwärme erzeugt. Dem Privathaushalt erspart das weitere 430 kWh Stromverbrauch pro Jahr.

Allerdings benötigt ein Passivhaus, wie oben erwähnt, eine zentrale Lüftungsanlage mit Wärmetauscher. Verwendet man effiziente Ventilatoren, verbraucht eine solche Anlage bei einer Leistungsaufnahme von 40 W pro Jahr etwa 148 kWh an Strom. Für Umwälzpumpen, wie man sie für die Heizung oder Warmwasserzirkulation einer thermischen Solaranlage benötigt, kommen moderne elektrisch geregelte Permanentmagnetmotor-Geräte zum Einsatz, die eine Leistung von nur 5W aufnehmen. Diese verbrauchen weitere 26 kWh Strom pro Jahr.

**Aus für den „Stand-by“-Betrieb – das Musterbüro:** In heutigen Büros werden im Durchschnitt 50 kWh Strom pro Jahr und Quadrat-

meter benötigt. Den Hauptanteil machen mit 40 Prozent die Bürogeräte aus, dicht gefolgt von der Beleuchtung mit 35 Prozent. Weitere 20 Prozent benötigt die Lüftungsanlage, die restlichen 5 Prozent verbrauchen Geräte wie Telefonanlage und Kaffeemaschine. Zwar ist das eine deutlich andere Zusammensetzung als im Privathaushalt, doch lässt sich auch hier der Stromverbrauch durch den Einsatz effizienterer Technik um gut die Hälfte auf 21 kWh pro Jahr und Quadratmeter reduzieren. In dieser Rechnung ist sogar schon eine leichte Zunahme der Ausstattung an Bürogeräten berücksichtigt.

Vermutlich werden Bürogeräte in Zukunft ganz anders aussehen als heute. Zudem werden bestimmte Funktionen zusammengeführt. Im Großen und Ganzen aber werden die klassischen Funktionen erhalten bleiben. Zum Stromverbrauch tragen heute neben Computern vor allem Geräte wie Kopierer und Drucker bei. Ein wesentlicher Anteil des Stromverbrauchs dieser Geräte wird nicht durch die eigentliche Funktion, sondern durch Stromverbräuche während des Bereitschaftszustands und im „Aus“-Zustand verursacht.

Die Ursache sind ineffiziente Netzgeräte und nicht optimierte Elektronik – hier liegt ein enormes Potenzial für Effizienzsteigerungen. Durch den Einbau echter Aus-Schalter, effizienter Netzteile, durch einen geeigneten „Sleep-Modus“ sowie die Nutzung von LED- und OLED-Technik als Hintergrundbeleuchtung bei Monitoren lassen sich hier mindestens 50 Prozent Strom sparen.

Der zweite große Stromverbraucher mit etwa 16 kWh/m<sup>2</sup>a ist die Beleuchtung. In vielen Büros kommen heute noch wenig effiziente Leuchten

zum Einsatz, die sich durch moderne sparsame Technologien ersetzen ließen. In anderen Fällen basiert die Beleuchtung auf Entladungslampen, die bereits eine hohe Beleuchtungsstärke pro Watt aufweisen.

Doch auch da kann optimiert werden: Mit einer Tageslichtsteuerung und der Planung einer optimal dimensionierten Beleuchtungsanlage lassen sich so noch einmal 50 Prozent Strom sparen. Zusammen mit anderen Effizienzverbesserungen dürfte sich im Musterbüro der Stromverbrauch für die Beleuchtung auf nur noch etwa 8 kWh/m<sup>2</sup>a einpendeln.

Lüftung und Klimaanlage verbrauchen heutzutage in einem durchschnittlichen Büro etwa 10 kWh/m<sup>2</sup>a. Wie sich zeigt, sind diese Lüftungsanlagen häufig überdimensioniert. Zudem wird häufig veraltete Technik eingesetzt. Darüber hinaus sind die Anlagen oft länger als nötig in Betrieb. Effizienzpotenziale bestehen dementsprechend in einer angemessenen Dimensionierung der Anlage, im Einsatz sparsamer Antriebsmotoren und in einer bedarfsabhängigen Steuerung mithilfe von Zeitschaltuhren und CO<sub>2</sub>-Sensoren. So lassen sich 30 Prozent thermische Energie und 60 Prozent an Elektrizität einsparen. Ein Verbrauch von 4 kWh/m<sup>2</sup>a wäre damit schon heute und nicht erst in 30 Jahren im Musterbüro realisierbar.

Dank der hervorragenden Isolierung nach Passivhausstandard wird das Musterbüro ohne zusätzliche Klimatisierung auskommen. Sollten sich Räume durch die Abwärme von Personen und Geräten dennoch zu stark aufheizen, können alternative Klimatisierungstechnologien wie etwa die oben erwähnten Absorptionskältemaschinen Kühlung liefern.

# Der Musterstadtteil im Detail – Verkehr im Musterstadtteil

Vermutlich wird sich auch im Jahr 2038 ein Großteil des Personenverkehrs über die klassischen Infrastrukturen Schiene und Straße bewegen. Der motorisierte Individualverkehr (MIV) wird weiter Pkw und Zweiräder umfassen. Menschen werden weiterhin zu Fuß gehen oder Fahrrad fahren. Und Güter werden weiter auf dem Luftwege und über Schiene und Straße transportiert. Da Verkehrsinfrastrukturen ähnlich wie Siedlungsstrukturen eine Lebensdauer von vielen Jahrzehnten haben, wirken sich heutige Verkehrsentwicklungsmaßnahmen bis weit in die Zukunft auf den städtischen Verkehr und die damit verbundenen CO<sub>2</sub>-Emissionen aus. Natürlich lässt sich der Verkehr im Musterstadt-

teil nicht separat, vom übrigen Stadtgebiet und vom Umland losgelöst betrachten. Denn die Verkehrsströme des Stadtteils beeinflussen auch das Geschehen außerhalb – beispielsweise durch den Transport von Waren in den Musterstadtteil. Diese Studie berücksichtigt diese Wechselwirkungen. Prognosen deuten darauf hin, dass sich die Anzahl der täglich zurückgelegten Wege von heutzutage 3,3 bis zum Jahr 2038 nicht wesentlich verändern wird. Für den Güterverkehr wiederum wird bis 2038 ein weiterer Anstieg des Warentransports prognostiziert.

Wie aber lässt sich unter diesen Bedingungen der CO<sub>2</sub>-Ausstoß des Verkehrs in nur drei Jahrzehnten nennenswert reduzieren? Diese Studie

geht davon aus, dass es dafür drei wesentliche strategische Hebel gibt:

1. eine Umgestaltung der Siedlungsstrukturen, die den umweltfreundlichen Verkehr erleichtert,
2. die Weiterentwicklung der lokalen und regionalen Verkehrssysteme,
3. die massive Verbesserung der Fahrzeugeffizienz bei Pkw, Lkw, Bus und Bahn.

## **1. Umgestaltung der Siedlungsstrukturen:**

Vor allem das Neubaugebiet des Musterstadtteils könnte sich künftig durch Kompaktheit auszeichnen. Wohnen, Gewerbe, Handel und Dienstleistungen lägen dicht beieinander. Diese Nutzungsmischung würde zu einer Verkürzung der Weglän-



gen führen, sodass viele Strecken nicht mit dem Auto, sondern zu Fuß oder mit dem Fahrrad zurückgelegt werden können. Das würde die CO<sub>2</sub>-Emissionen reduzieren, den Lärm mindern und die Luftqualität verbessern. Fahrten in die Innenstadt oder in das Umland wären durch das Angebot vor Ort seltener nötig. Die Fußwege im Stadtteil wären für ein vermehrtes Fußgängeraufkommen ausgelegt. Zum Wegenetz im Musterstadtteil würden ferner eigene, lückenlose Fahrstreifen für den Fahrradverkehr oder für kleinstmotorisierte Zweiräder gehören. Für den Fahrradverkehr würden möglichst direkte, von stark befahrenen Straßen abgetrennte Wege in die Innenstadt und in die angrenzenden Stadtteile gebaut.

**2. Weiterentwicklung der lokalen und regionalen Verkehrssysteme:** Um den CO<sub>2</sub>-Ausstoß zu reduzieren, müsste auch der öffentliche Personennahverkehr gestärkt werden. Das heißt, dass Verkehrsteilnehmer, die bislang vor allem das Auto bevorzugen, durch ein attraktives ÖPNV-Konzept zum Umsteigen bewegt werden. Daher wird der am Stadtrand gelegene Musterstadtteil über Hauptachsen wie etwa S-Bahnverbindungen, Straßenbahnen und Schnellbuslinien mit der Innenstadt und anderen Münchner Stadtteilen verbunden. Die Wege innerhalb des Stadtteils zu dieser Hauptachse könnten die Bewohner dann beispielsweise mit Elektrofahrzeugen zurücklegen. Alternativ dazu

wäre ein kleinteiliger und modularer ÖPNV denkbar: Dieser bestünde aus straßengebundenen Kleinbussen, die auf stark frequentierten Strecken zu Stoßzeiten im Linienbetrieb fahren, ansonsten jedoch bedarfsorientiert verkehren. Ein solcher Bus könnte über Telefon, Internet oder SMS spontan oder im Abonnement angefordert werden. Die Fahrtenplanung würde auch dadurch erleichtert, dass den Verkehrsteilnehmern vor Fahrtantritt und während der Reise Informationen weitestgehend individuell zur Verfügung gestellt werden. Über mobile Endgeräte und stationäre Anlagen werden Routen, Preise und Reisezeiten entsprechend der aktuellen Verkehrssituation berechnet. Ein solches System



wäre ausgesprochen flexibel, gut erreichbar und damit deutlich attraktiver als heutige ÖPNV-Systeme. Zudem reduziert es Warte- und Reisezeiten.

Es ist anzunehmen, dass dadurch künftig mehr Verkehrsteilnehmer vom MIV auf den ÖPNV umsteigen. Da die Größe der ÖPNV-Fahrzeuge, beispielsweise Klein- oder Stadtbusse, an die Nachfrage angepasst wird, ist die Auslastung stets hoch und der CO<sub>2</sub>-Ausstoß pro Fahrgast würde sinken.

Der optimierte ÖPNV könnte von verkehrlenkenden Maßnahmen begleitet werden, die das Verkehrssystem der ganzen Stadt betreffen,

beispielsweise Straßenbenutzungsgebühren oder eine CityMaut. Diese Maßnahmen beeinflussen allerdings das Verkehrsaufkommen im gesamten Stadtgebiet und nicht nur im Musterstadtteil.

Diese Studie geht davon aus, dass der flexiblere ÖPNV und ein „Musterstadtteil der kurzen Wege“ zu Veränderungen des sogenannten „Modal Split“ führen werden, welcher den Anteil der mit den verschiedenen Verkehrsmitteln zurückgelegten Wege angibt. Aufgrund der kurzen Wege im Musterstadtteil würde der Anteil des ÖPNV etwas niedriger ausfallen als in einem heutigen vergleichbaren Stadtteil. Der

Anteil der zu Fuß und mit dem Rad zurückgelegten Wege hingegen würde steigen. Insgesamt würden im Jahr 2038 66 Prozent aller Wege im Musterstadtteil mit dem Umweltverbund (Fuß, Rad, öffentlicher Nah- und Fernverkehr) zurückgelegt.

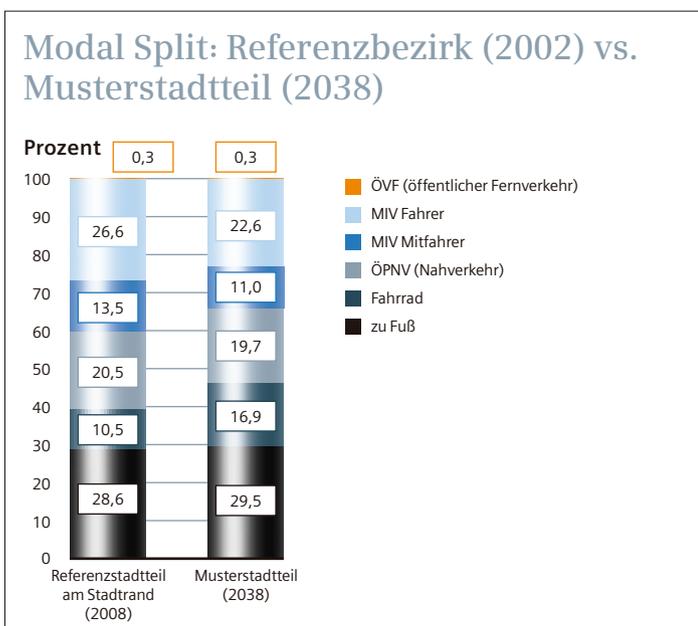
Im Vergleich zu einem heutigen Referenzbezirk am Stadtrand der Stadt München (Werte für das Jahr 2002) wäre dies eine Steigerung um 6,5 Prozentpunkte. Der Anteil der mit dem MIV zurückgelegten Wege würde sich entsprechend verringern. Der dargestellte Modal Split schließt alle Wege ein, also auch solche, die von Bewohnern des Musterstadtteils komplett außerhalb stattfinden.

### 3. Verbesserung der Fahrzeugeffizienz:

Etwa 40 Prozent aller Wege legen die Münchner heutzutage mit Auto oder Motorrad zurück, die Benzin, Diesel sowie Erd- oder Flüssiggas verbrauchen. Das CO<sub>2</sub>-Einsparpotenzial ist entsprechend hoch. Eine Reduzierung dieser Emissionen kann prinzipiell auf zwei Wegen erreicht werden:

- durch die Elektrifizierung des motorisierten Verkehrs mit Batterietechnik oder wasserstoffbetriebener Brennstoffzelle.
- durch deutlich effizientere Verbrennungsmotoren.

Welche dieser zwei Alternativen zur Elektrifizierung sich auf Dauer durchsetzen wird oder ob sich alle drei Entwicklungslinien letztlich sogar mischen, lässt sich heute noch nicht beurteilen. An dieser Stelle wird die erste Variante näher erläutert, da die Effizienzgewinne bereits oben dargestellt sind.





**Elektrifizierung des motorisierten Verkehrs durch Batterietechnik:** Elektrisch betriebene Fahrzeuge gibt es seit Langem. Im Automobilmarkt aber konnte sich die Technik bislang nicht gegen den Verbrennungsmotor durchsetzen. Das liegt vor allem an der heute noch begrenzten Reichweite der Batterien, der relativ langen Aufladezeit und der relativ geringen Haltbarkeit. Diese Studie nimmt an, dass die Batterietechnik in den nächsten Jahren soweit verbessert wird, dass sich Elektrofahrzeuge im Musterstadtteil als selbstverständlicher Bestandteil einer diversifizierten Fahrzeugflotte etablieren können. Ferner wird ange-

nommen, dass kurze Fahrten innerhalb des Stadtteils oder in die Münchener Innenstadt mit den kleinen Elektrofahrzeugen erledigt werden. Für Überlandfahrten und Fernreisen hingegen stehen Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor sowie Voll-Hybrid-Fahrzeuge bereit. Im Stop-and-go-Verkehr einer Stadt würde das Fahrzeug mit Elektromotor fahren, da dieser gerade beim Anfahren sehr viel effizienter arbeitet. Auf langen Strecken hingegen erreicht ein Verbrennungsmotor seinen optimalen Leistungsbe- reich. Zudem ist die Reichweite eines Benzin- oder Dieselmotors deutlich größer als die eines Elektrofahrzeugs.

Im Musterstadtteil haben sich Mobilitätsdienstleister darauf spezialisiert, für verschiedene Zwecke das maßgeschneiderte Fortbewegungsmittel bereitzustellen – vom brennstoffzellen-betriebenen Roller zum Kleinlastwagen mit Hybridantrieb. Carsharing-Angebote runden den Fuhrpark ab. Garagen und Parkplätze verfügen über Möglichkeiten zum Aufladen von Elektrofahrzeugen. Das System wird durch „Tankstellen“ ergänzt, in denen die Batterie entweder in kurzer Zeit über eine Schnellaufdefunktion „betankt“ oder eine leere Batterie gegen eine volle ausgetauscht werden kann. Ein weiterer Vorteil eines großen Elektrofuhrparks im Musterstadtteil wäre, dass er sich an das Stromnetz anschließen ließe und damit die fluktuierenden Stromlasten aus der Photovoltaik abdämpfen könnte.

Die Differenzierung der Autoflotte nach Reichweite und Funktion würde dazu führen, dass die Bürger künftig beim Kauf oder Leasen eines Privatwagens genauer als heute analysieren müssen, welcher Fahrzeugtyp für die persönliche Lebenssituation der geeignete ist. Werden fast ausschließlich Wege im Stadtgebiet oder in der Umgebung unternommen, reicht womöglich ein Elektroauto.

Werden jedoch häufig lange Strecken gefahren, ist ein Voll-Hybrid-Fahrzeug oder ein effizientes Auto mit Verbrennungsmotor wahrscheinlich die beste Wahl. Die meisten Haushalte haben allerdings wechselnde Bedarfe: Einkaufsfahrten finden im Musterstadtteil oder im übrigen Stadtgebiet statt. Freizeit- und Urlaubsfahrten jedoch gehen häufig über die Region hinaus. Da sich die Haushalte nicht mit mehreren Fahrzeugen für die verschiedenen Bedarfe ausrüsten können, würden im Stadtteil Hybrid-



Fahrzeuge oder flexible Verleihsysteme und Leasingmodelle eine wichtige Rolle spielen. Denkbar ist auch, dass die Haushalte ganz auf private Fahrzeuge verzichten und ausschließlich die Dienstleistungsmodelle in Anspruch nehmen. Dass das ohne Einschränkung der individuellen Mobilität möglich ist, zeigen heute schon Vorbilder wie Car-Sharing-Konzepte oder Autovermieter.

**Effizientere Verbrennungsmotoren:** Durch die im Szenario-Kapitel aufgeführten Optimierungen bei Kraftfahrzeugen – etwa bei Antrieb, Getriebe, Gewicht – ist im Jahr 2038 ein Durch-

schnittsverbrauch der Neuwagenflotte von unter 5 Litern auf 100 Kilometer technisch möglich.

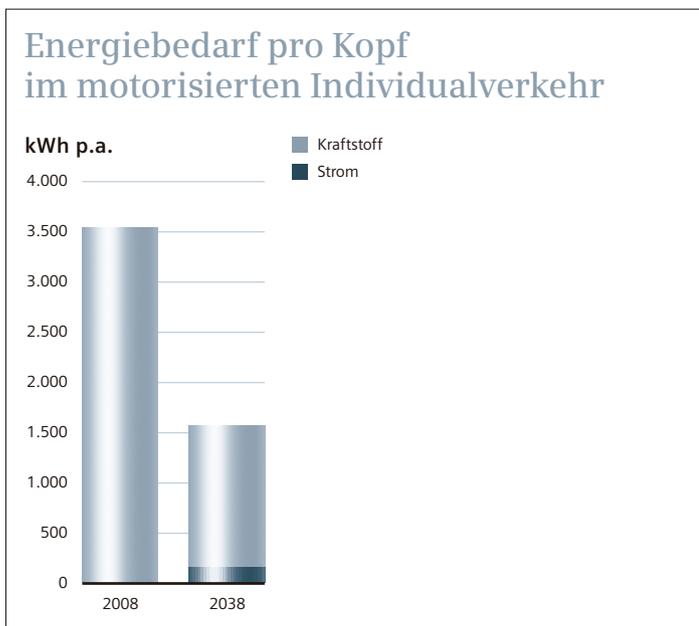
Der gesamte Energiebedarf des MIV im Musterstadtteil sinkt entsprechend. Ein kleinerer Teil dieses Bedarfs wird aufgrund der zunehmenden Elektromobilität auf den elektrischen Strom verlagert. Weitere Einsparungen würde im Musterstadtteil der Einsatz von Hybrid-Fahrzeugen bringen.

**Mehr Effizienz – auch im ÖPNV:** Ein nahezu CO<sub>2</sub>-freies Verkehrssystem lässt sich natürlich nicht allein durch innovative Fahrzeugtech-

nologien beim motorisierten Individualverkehr erreichen. Auch der ÖPNV muss effizienter werden.

Die meisten Schienenfahrzeuge des öffentlichen Nahverkehrs in München werden heute bereits elektrisch angetrieben. Da der Wirkungsgrad von Elektromotoren höher als der von Verbrennungsmaschinen ist, wird für den Musterstadtteil angenommen, dass künftig auch die Busse teilweise elektrisch fahren.

In der Übergangszeit könnten, wie im Szenario-Kapitel beschrieben, alternative Kraftstoffe oder Hybridbusse eingesetzt werden. Auch Erdgasbusse brächten eine Verbesserung. Im Mus-





terstadtteil würden sie vorwiegend mit Biogas versorgt. Auch im schienengebundenen Personennahverkehr (SPNV) gibt es, wie im Szenario-Kapitel näher erläutert, noch beträchtliche Potenziale zur Reduzierung der CO<sub>2</sub>-Emissionen, die auch für den Musterstadtteil angenommen werden.

**Herausforderung Wirtschaftsverkehr:** Zur vollständigen Analyse des künftigen Verkehrs im Musterstadtteil gehört selbstverständlich auch der Wirtschaftsverkehr – der Transport von Lebensmitteln und Konsumgütern zum Beispiel. Es ist davon auszugehen, dass bis 2038 deutlich mehr Waren transportiert werden als heute. Das damit verbundene Verkehrsaufkommen lässt sich kaum auf einen einzelnen Stadtteil beschränken, weil die im Musterstadtteil erzeugte Nachfrage zwangsläufig Verkehr außerhalb verursacht.

Aus diesem Grund lässt sich CO<sub>2</sub>-Freiheit im Güterverkehr im Gegensatz zum Personenverkehr deutlich schwieriger erreichen. Für den überregionalen Verkehr wäre eine Verlagerung der Transporte von der Straße auf die umweltfreundlichere Schiene eine Option. Im regionalen und städtischen Güterverkehr ist eine solche Verlagerung jedoch nur sehr beschränkt möglich.

Die Feinverteilung der transportierten Güter wird daher künftig zu einem großen Teil weiterhin über die Straße abgewickelt werden müssen – zunächst mit konventionellen Dieselfahrzeugen und später zunehmend mit elektrisch betriebenen Kleinlastwagen. Andererseits ließen sich die Emissionen des Warenverkehrs am ehesten durch eine Verringerung des Trans-

portaufwands sowie die Verlagerung von der Straße zur Schiene reduzieren. Dass das zumindest teilweise möglich ist, zeigt das Beispiel der „CarGoTram“ in Dresden, die eine Autofabrik in der Innenstadt im Stundentakt mit Bauteilen beliefert. Ähnliche Konzepte sind die Wiener „Güterbim“ und die Züricher „Cargo-tram“.

Ein echter Gewinn wäre zudem die Bündelung des Lieferverkehrs. Für den Musterstadtteil wird angenommen, dass nicht mehr jedes einzelne Unternehmen seine Ware zu seinen Kunden bringt, sondern dass die Güter in Güterverkehrszentren am Stadtrand neu kommissioniert und dann gebündelt in den Musterstadtteil transportiert werden. Dadurch würde sich die Zahl der Fahrten deutlich verringern. Weitertransportiert und feinverteilt würde mit Hybrid-Fahrzeugen und elektrischen Kleinfahrzeugen.

Auch der Einkaufsverkehr ließe sich in das lokale Güterverkehrssystem einbinden: Heute ist es noch eher ungewöhnlich, dass sich ein Kunde Waren nach Hause liefern lässt – nicht zuletzt wegen der hohen Liefergebühren. In der Regel holt man sperrige Güter wie etwa den Flachbildfernseher oder die Mikrowelle mit dem Auto selbst ab.

Künftig aber dürfte der städtische Lieferverkehr, der Artikel aus den verschiedensten Geschäften oder aus dem Internet-Einkauf gebündelt bis zur Wohnungstür bringt, gang und gäbe sein. Fortgeschrittene IT- und Kommunikationssysteme könnten die komplexe Koordination von Lieferbedarf, Lager- und Transportkapazitäten sowie der Routenplanung im Musterstadtteil ermöglichen. Dazu gehören

eine internetbasierte Laderaumbörse und eine Kennzeichnung der Güter mit kleinen per Funk auslesbaren RFID-Etiketten.

Diese sogenannten Tags enthalten Absender- und Empfängerinformationen, die per Funk automatisch in die Warenwirtschaftssysteme übertragen werden. Trotz allem verbleibt künftig ein großer Teil des Warenverkehrs auf der Straße. Wie bei den Pkw auch ist daher eine verbesserte Effizienz der Nutzfahrzeuge unumgänglich.

**Gut gelenkt ans Ziel:** Kohlendioxid kann darüber hinaus durch eine intelligente Lenkung des Verkehrs eingespart werden. Parkleitsysteme und je nach Verkehrssituation dynamisch veränderbare Routenvorschläge wären im Musterstadtteil selbstverständlich.

Darüber hinaus wären Fahrzeuge zum automatisierten Fahren fähig: Autos sammeln Daten aus der Umgebung, verarbeiten diese und tauschen so mit anderen Fahrzeugen Verkehrs- und Gefahrenhinweise aus. Dank einer solchen Abstimmung kann der Verkehr gleichmäßiger fließen, was nicht nur im Vergleich zum „Stop-and-go“ pro Fahrzeug deutlich Energie spart.

Zu bedenken ist allerdings, dass der Individualverkehr umso attraktiver wird, je besser er fließt und damit wiederum zu erhöhtem Verkehrsaufkommen führen kann. Mit derartigen Verkehrsinformationssystemen lässt sich also nur dann CO<sub>2</sub> sparen, wenn der öffentliche und der nicht-motorisierte Verkehr mit einbezogen und besonders gefördert werden und damit ein wirklich attraktives Alternativangebot darstellen.

# 3.4 Der Musterstadtteil im Detail – Wärme für den Musterstadtteil

Eines ist sicher: Die Zukunft der Wärmeversorgung im Musterstadtteil ist vielfältig. So wird die Wärme künftig mit einem ganzen Bündel von Wärmeerzeugungstechnologien gewonnen. Dieser Abschnitt beschreibt, wie ein solcher Wärme-Mix aussehen kann.

Im Stadtteil Neuaubing wird Wärme bislang zu je etwa einem Drittel mit individuellen Ölheizungsanlagen in den Wohngebäuden, gasbetriebenen Anlagen und in einem zentralen Holz-hackschnitzelheizwerk erzeugt. Diese Studie jedoch geht davon aus, dass man bei der Wärmeversorgung – in Freiam-Nord und Neuaubing – künftig weitgehend ohne die fossilen Energieträger auskommen könnte. Möglich macht das unter anderem ein konsequenter Einsatz von Geothermie, Solarthermie und Wärmepumpen.

**Das Neubaugebiet:** Am Beispiel Freiam-Nord zeigt sich, dass eine konsequent CO<sub>2</sub>-arme Ausrichtung beim Neubau eines Stadtviertels einfacher als bei der Sanierung ist, denn hier lässt sich eine weitgehend CO<sub>2</sub>-neutrale (Rest-) Wärmeversorgung schon mit wenigen Schritten realisieren. So eignet sich Freiam-Nord etwa gut für eine Fernwärmeversorgung, da das Versorgungsnetz von Grund auf neu angelegt werden kann.

Südbayern und auch der Großraum München sind Gebiete mit günstigen geologischen Voraussetzungen für eine hydrothermale Wärmenutzung. Damit bietet sich für die Fernwärmeversorgung auch im Neubaugebiet die Einspeisung geothermischer Wärme an. Der große Vorteil der Geothermie besteht darin, dass sie kontinuierlich Wärme und gegebenenfalls auch Strom bereitstellen kann – ähnlich wie ein herkömm-

liches Grundlastheizkraftwerk. Der Gesamtwärmebedarf würde sich im Neubaugebiet im Jahr 2038 auf circa 24.000 MWh pro Jahr belaufen. Ein reines Geothermie-Heizwerk wie das bereits heute in München Riem arbeitende Werk könnte jährlich eine Wärmemenge von etwa 45.000 MWh für Warmwasser und Heizung bereitstellen und damit sogar noch einen Teil Neuaubings mitversorgen. Wie viel Wärme für den Gebäudealtbestand letztlich bereitstünde, hängt vor allem davon ab, ob das künftige Geothermie-Kraftwerk nur zur Wärme- oder auch zur Stromerzeugung verwendet wird, da für die Stromgewinnung ein beträchtlicher Teil

der Wärme abgezweigt werden müsste. Das wiederum ist abhängig von der Temperatur des Wassers in den tiefen Bodenschichten unter der Stadt München. Will man Dampf für die Stromgewinnung erzeugen, benötigt man Quelltemperaturen von mindestens 100 °C. Nach heutigem Wissen liegen diese in München bei etwa 93 °C und damit knapp unter dem erforderlichen Wert.

Letztlich könnte aber nur eine Probebohrung zeigen, welche Temperaturen und welche Thermalwasserfließmengen tatsächlich zur Verfügung stehen. Die Voraussetzungen auf der Wärmeabsatzseite sind günstig: Denn dank des



Passivhausstandards wäre für die Raumheizung schon ein Niedertemperatur-Fernwärmenetz nach LowEx-Prinzip mit geringer Vorlauf- und Rücklauf-temperatur ausreichend. Durch die geringe Vor- und Rücklauf-temperatur sinken die Wärmeverluste. Die Stromausbeute im Kraftwerksprozess steigt.

Natürlich würde ein Fernwärmenetz nur dann Sinn machen, wenn möglichst alle Häuser des Neubaugebiets daran angeschlossen wären. Auf die kostspielige Verlegung eines Erdgasnetzes könnte zudem verzichtet werden. Im Stadtteil anfallende Biomasse wie etwa Holz, landwirtschaftliche Abfälle oder Grünschnitt könnten dann benachbarten Stadtteilen zur Ver-

fügung gestellt werden, die nicht an das Geothermie-Fernwärmenetz angeschlossen sind.

**Der alte Gebäudebestand – die Mischung macht's:** Wie bereits angedeutet, ist die Versorgung des Neuaubinger Musterareals komplexer, denn Versorgungsstrukturen wie etwa Erdgasnetze gibt es bereits. Besonders für den Gebäudealtbestand gilt deshalb: Die Mischung macht's. Wie groß dabei der Anteil der Geothermie-Fernwärme wäre, hängt einerseits davon ab, wie viele Haushalte wirtschaftlich angeschlossen werden können. Entscheidend ist aber auch, wie die Geothermie künftig genutzt

würde – allein zur Wärmezeugung oder zusätzlich zur Stromgewinnung.

Ein Geothermie-Heizwerk könnte nicht nur das Neubaugebiet versorgen, sondern auch jenes Neuaubinger Gebäudedrittel, das heutzutage durch das Holzhackschnitzelheizwerk (HHS) gespeist wird. Der Vorteil: Der Stadtteil wäre damit unabhängig von der Preisentwicklung des Holzbrennstoffs. Zudem geht diese Studie davon aus, dass die Geothermie durch Ausdehnung des bestehenden Netzes etwa die Hälfte der derzeit mit Heizöl versorgten Gebäude beliefern wird. Dazu müssten die Anwohner zunächst von der Fernwärme überzeugt



werden. Insgesamt ließen sich auf diese Weise 31.500 MWh Fernwärme absetzen – 24.000 MWh im Neubaugebiet und 7.500 MWh im Gebäudealtbestand.

Eine Geothermieanlage erfordert hohe Investitionskosten, zeichnet sich aber durch geringe Betriebskosten aus. Daher wird eine möglichst hohe Auslastung angestrebt. Im Musterstadtteil ist dabei allerdings Folgendes zu bedenken: Zwar bleibt der Warmwasserbedarf über das Jahr annähernd gleich. Der Heizbedarf für die wärmegeprägten Siedlungen ist hingegen auf wenige Monate im Winter und in der Übergangszeit beschränkt.

Vor diesem Hintergrund bieten sich drei Betriebsstrategien an:

→ Vollständige Wärmebedarfsdeckung (Warm-

wasser und Heizung) über Geothermieanlage (ohne Speicher): Eine solche Anlage muss groß ausgelegt werden. Entsprechend hoch sind die Kosten für die Förderbohrungen und die Förderpumpen.

→ Vollständige Deckung des Warmwasserbedarfs und teilweise Deckung des Heizwärmebedarfs: Der Grundlastbedarf wird über die Geothermieanlage, die Spitzenlast wird über Spitzenlastkessel (zum Beispiel Biomasse) gedeckt.

→ Vollständige Wärmebedarfsdeckung (Warmwasser und Heizung) über Geothermieanlage (mit Speicher): Als Speicher eignen sich unter anderem tiefe, wasserführende Schichten im Boden (sogenannte Aquifere). In diese wird warmes Wasser eingelagert, das als Puffer bei

Lastspitzen wieder ins System eingespeist werden kann.

Welche der drei genannten Betriebsvarianten sich letztlich als die ökonomisch vorteilhafteste herausstellt, müsste in einer Detailanalyse untersucht werden.

Einige grundlegende Berechnungen zur Wirtschaftlichkeit einer Geothermieanlage für den Musterstadtteil werden hier im Folgenden bereits vorgestellt. Diese Studie berücksichtigt bei der Kostenanalyse sowohl die Erschließungs- als auch die Betriebskosten der Anlage sowie die Kosten des Fernwärmenetzausbaus. Die Erschließungskosten für die Geothermieanlage werden auf etwa 24 Millionen Euro geschätzt, die vor allem durch die Bohrung entstehen. Bei einem Realzinssatz von 4 Prozent



und einer Lebensdauer der Anlage von 40 Jahren ergäben sich jährliche Kapitalkosten von gut 1,2 Millionen Euro und zusätzlich etwa 300.000 Euro Personal- und Instandhaltungskosten. Die Kosten der Wärmeverteilung hängen hingegen stark von den jeweiligen Bebauungsdichten ab. Investitionen fallen hier vor allem im Neubaugebiet sowie bei etwa einem Sechstel der Gebäude im alten Stadtteil an, die zusätzlich an die bestehende Nah-/Fernwärme angeschlossen werden. Nach den vorliegenden Berechnungen wäre zusätzlich zur eigentlichen Geothermieanlage für die Fernwärmeversorgung beider Gebiete inklusive der Hausanschlussleitungen eine Investitionssumme von gut 30 Millionen Euro zu veranschlagen. Um die Kosten so gering wie möglich zu halten, wäre es sinnvoll, die

Netze möglichst kostengünstig während des Neubaus oder der Gebäudesanierung mitzuliegen. Als jährliche Kapitalkosten ergeben sich aus dem Netzausbau etwa 1,5 Millionen Euro. Insgesamt wäre auf Basis dieser Annahmen für die Haushalte des Musterstadtteils mit Wärmekosten in Höhe von etwa 119 Euro/MWh zu rechnen. Sie würden über den gesamten Zeitraum weitgehend konstant bleiben, da sie sich zu mehr als zwei Dritteln aus den Kapitalkosten der Geothermieanlage und des Fernwärmenetzes zusammensetzen. Dieser Betrag wäre damit etwa mit den Kosten anderer Wärmeversorgungssysteme vergleichbar, bei denen Brennstoffkosten in Höhe von etwa 80 Euro/MWh sowie zusätzliche Kosten in Höhe von rund 30 Euro/MWh für den Erdgasanschluss oder den Öltank gezahlt werden müssen. Allerdings dürfte sich das mit der angenommenen Energiepreissteigerung künftig ändern. Steigen die Energiekosten, wie im Niedrigpreisfad angenommen, nur langsam, so wäre die geothermische Fernwärme über die kommenden 30 Jahre im Schnitt um etwa 11 Prozent günstiger als Öl oder Gas. Steigen die Energiekosten hingegen, wie in der Hochpreisvariante angenommen etwas rascher, dann wäre die geothermische Fernwärme im Durchschnitt um etwa 23 Prozent günstiger als Heizungen mit fossilen Brennstoffen.

Doch zurück zum Wärme-Mix im zukünftigen Neubaubereich: Diese Studie geht davon aus, dass eine zusätzliche Fernwärme-Leitung für die bereits an das Erdgasnetz angeschlossenen Gebäude nicht wirtschaftlich ist. Um den Kohlendioxid-Ausstoß dennoch zu drücken, könnten diese Gebäude zusätzlich zur Sanierung nach

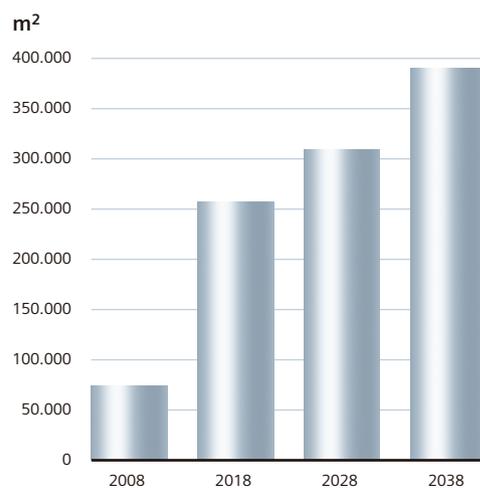
Passivhausstandard mit einer Solaranlage zur Warmwasserbereitung und Heizungsunterstützung (Solarthermie-Anlage) ausgerüstet werden. Auf diese Weise ließen sich bis zu 70 Prozent des Gesamt-Wärmebedarfs (Heizung und Warmwasser) solar decken. Für den Fall, dass sich die Dachfläche aufgrund von Verschattungen oder ungünstiger Nord-Ausrichtung für eine Solaranlage nicht eignet, könnte eine Umrüstung der konventionellen Erdgas-Heizkessel auf Gas-Wärmepumpen oder Mikro-KWK-Anlagen eine Möglichkeit sein, um Energie zu sparen und die CO<sub>2</sub>-Emissionen um weitere 20 bis 30 Prozent zu reduzieren. Sinnvoll wäre es ferner, dem fossilen Erdgas sukzessive Biogas beizumischen.

Anders als Erdgas-Heizungsanlagen sind Ölheizungen nicht an ein Versorgungsnetz angebunden. Der Anschluss an das Fernwärmenetz erscheint daher in vielen Fällen wirtschaftlich. Immerhin wird keine doppelte Infrastruktur errichtet, da das bestehende Nahwärmenetz nur ergänzt werden muss, um weitere Gebäude anzuschließen. Diese Studie geht davon aus, dass das bei etwa der Hälfte der mit Öl beheizten Gebäude der Fall ist. Eine weitere sinnvolle und nahezu vollständig CO<sub>2</sub>-neutrale Alternative ist die Verwendung von Pelletheizungen (Kessel beziehungsweise Öfen), die vor allem Ölheizungen ersetzen können. Der durch die Demontage des Tanks gewonnene Platz lässt sich sehr gut für die Lagerung der Pellets nutzen. Idealerweise werden die Pelletanlagen um eine Solaranlage zur Brauchwassererwärmung ergänzt. Dies spart etwa 30 Prozent Brennstoff. Vor allem im Sommer, wenn der Heizbedarf gering ist, kann das Pellet-System so ganz abgeschaltet werden.

# 3.5 Der Musterstadtteil im Detail – Strom für den Musterstadtteil

Das Wichtigste vorweg: Der jährliche Strombedarf des Musterstadtteils ließe sich rein rechnerisch zu 100 Prozent – und mehr – durch vor Ort produzierten Photovoltaikstrom decken. Auch wenn dies nicht im gesamten Münchner Stadtgebiet realisierbar wäre, zeigt es die Potenziale regenerativer Energien auf. Die im Musterstadtteil vorhandenen Dachflächen bieten ausreichend Platz für die erforderliche Zahl an Photovoltaik-Modulen. Berücksichtigt wurden dabei unter anderem typische Ertragswerte von zehn verschiedenen Haustypen mit unterschiedlicher Ausrichtung, Form oder Neigung des Daches. Ob auch die Geothermie zur Strom-

Potenziale für solare Dachflächen



Quelle: Wuppertal Institut



erzeugung genutzt werden könnte, hängt, wie erwähnt, vor allem von der zur Verfügung stehenden Thermalwassertemperatur ab.

Auf Grundlage dieser Daten wurde in dieser Studie die Bandbreite möglicher Ausbau-Optionen für die Photovoltaik (PV) analysiert. Dabei wurde zudem berücksichtigt, dass aufgrund von Dachfenstern und nicht passgenauen Modulen nicht immer die gesamte Dachfläche als nutzbare Fläche zur Verfügung steht. Als Obergrenze wurde angenommen, dass im Laufe der Zeit alle im Neubauareal verfügbaren und geeigneten Dachflächen mit Photovoltaikanlagen bestückt werden. Die Ergebnisse sind beeindruckend:

Ende 2038, wenn die Erschließung und Bebauung in Freiam-Nord abgeschlossen ist, könnten die PV-Anlagen eine Leistung von 40 MWp liefern. Bezogen auf das ganze Jahr könnte die Photovoltaik damit die gesamte Stromnachfrage im Musterstadtteil abdecken. Bereits zwischen 2018 und 2028 würde die Photovoltaik im Musterstadtteil einen bilanziellen Deckungsgrad von 100 Prozent und Ende 2038 sogar einen Wert von 118 Prozent erreichen. Im Vergleich zu heutigen Werten ist das sehr viel. Denn obwohl in München im bundesweiten Vergleich sehr gute solare Strahlungsbedingungen herrschen, waren im ganzen Stadtgebiet Ende 2006 insgesamt nur

etwa 12,3 MWp installiert. Das sind etwa 9,5 Watt installierte Leistung pro Kopf. Bundesweit lagen die Werte Ende 2006 bei etwa 32,8 und im Land Bayern sogar bei 88 W je Einwohner. Natürlich ist eine solche solare Vollversorgung nicht ohne ausgefeilte Prognose-, Mess- und Regelsysteme, entsprechende Telekommunikationssysteme für den Datenaustausch oder auch Stromspeicher möglich. Immerhin schwankt die solare Stromerzeugung im Tagesverlauf. Die Herausforderung bei der PV-Integration liegt – neben einem adäquaten Stromspeicher-Management – vor allem darin, die umfangreichen Rückspeisungen in die überlagerte Netzebene zu beherrschen und zu re-

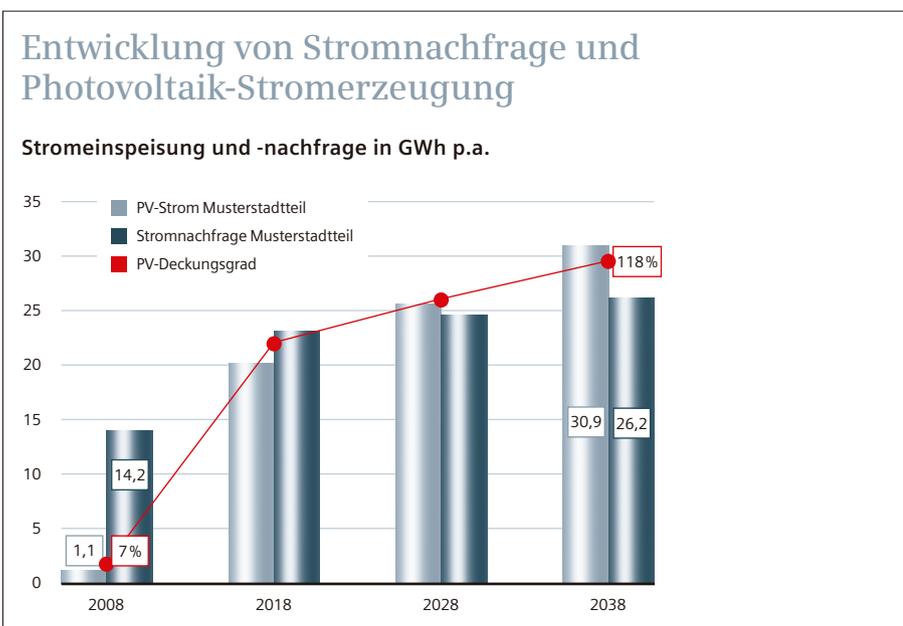


geln. Schließlich treten bei solchen Größenordnungen bei wechselndem Wetter oder zwischen den Tageszeiten nennenswerte Leistungs-Fluktuationen auf. Bei dem hier angenommenen ambitionierten Ausbau der Photovoltaik im Musterstadtteil wird die Netztechnik anders und stärker auslegt werden müssen.

**Kosten der Photovoltaik im Musterstadtteil:** Eine Stütze des Musterstadtteil-Konzepts ist die flächendeckende Nutzung der Solarenergie durch Photovoltaikanlagen. Die Studie nimmt an, dass die verfügbaren Dachflächen direkt beim Bau oder bei der Sanierung mit

Photovoltaik ausgestattet werden. Da die Photovoltaik hier im großen Stil eingesetzt wird, ist davon auszugehen, dass Planung, Kauf und Installation einer Anlage günstiger als bei einem individuellen Bauprojekt sind. Insgesamt können auf den Gebäuden unter Annahme einer maximalen Ausnutzung der vorhandenen Flächen Photovoltaikanlagen mit einer Spitzenleistung von etwa 40 MW installiert werden. Dies entspricht im Durchschnitt etwas mehr als 1 MW pro Jahr. Die Preise von Photovoltaikanlagen liegen derzeit (Stand 2007) zwischen gut 4.000 und 5.000 Euro pro installiertem Kilowatt Spitzenleistung. In dieser Studie wird erwartet, dass

die zugrunde liegenden Kosten in den kommenden Jahren allerdings erheblich zurückgehen, weil durch größere Märkte und verbesserte Verfahren die Produktions- und Anlagenkosten der Photovoltaik deutlich sinken werden. Hier wird damit gerechnet, dass die 40-MW-Anlagenleistung insgesamt mindestens 70 Millionen Euro kosten wird, was einem mittleren Preis von rund 1.750 Euro pro KWpeak entspricht.<sup>5</sup> Allerdings wird der größere Teil der Investitionssumme bereits bis 2020 anfallen. Erst danach wird der Ausbau deutlich kostengünstiger werden. Die Photovoltaikanlagen werden über die degressive Förderung im Rahmen des Energieeinspeisegesetzes finanziert. Der Investor erhält damit für seine Anlagen, die in den ersten Jahren errichtet werden, eine hohe Einspeisevergütung; zu einem Zeitpunkt also, da die Investitionskosten der Photovoltaik noch sehr hoch sind. Spätere, preisgünstigere Anlagen erhalten eine entsprechend geringere Förderung. Für eine 4-kW-Anlage muss der Investor im Mittel rund 18.000 Euro aufbringen. Baut der Investor im Jahr 2009, so erhält er pro eingespeister Kilowattstunde über einen Zeitraum von 20 Jahren hinweg 0,43 Euro garantiert vergütet. Bei einem jährlichen Ertrag von 4.000 Kilowattstunden Solarstrom, die von einer guten Anlage bei optimaler Ausrichtung und ohne Verschattung an einem durchschnittlichen Standort in Süddeutschland erzielt werden, erlöst er in diesen 20 Jahren rund 34.400 Euro. Da nur im geringen Umfang Betriebskosten für die Zählergebühr oder einen eventuellen Ersatz des Wechselrichters anfallen, bleibt ihm ein beträchtlicher Nettoertrag. Die Investition in eine Solaranlage macht sich demnach bezahlt.



<sup>5</sup> Für die Berechnung der Investitionssumme wird hier davon ausgegangen, dass bis zur Fertigstellung des Musterstadtteils keine Reinvestitionen erforderlich sein werden. Dies ist bei einer Gesamterrichtungszeit von 30 Jahren eine eher optimistische Annahme.



## Best Practice

## Malmö



Erfreulicherweise gibt es inzwischen weltweit eine ganze Reihe von Projekten, in denen CO<sub>2</sub>-arme Stadtteile entstanden sind oder geplant werden. Zu den Vorreitern gehört die schwedische Stadt Malmö, die bereits vor etwa zehn Jahren mit dem Bau eines umweltfreundlichen Neubaugebiets mit 3.000 Wohnungen für etwa 10.000 Einwohner begonnen hat. Das Ziel der Stadtverwaltung Malmö und des privaten Energieversorgers Sydkraft bestand darin, das Neubaugebiet Västra Hamnen bis

zum Jahr 2010 bilanziell zu 100 Prozent mit Strom und Wärme aus erneuerbaren Energien beziehungsweise aus der Müllverbrennung zu versorgen. Die Siedlung liegt nahe des Zentralbahnhofs zwischen der Ostseeküste und einem Parkgelände. Sie ist damit zu Fuß oder per Fahrrad gut erreichbar. Um den motorisierten Individualverkehr weiter zu reduzieren, wurden zwei Buslinien eingerichtet. Die Busse verkehren im Sechs-Minuten-Takt. Strom wird vor allem durch Windräder und Photovoltaikanlagen zur Verfügung gestellt. Deren Leistung ist so groß, dass sie das Areal bilanziell vollständig versorgen könnten. Wegen der je nach Wetter und Tageszeit auftretenden Lastschwankungen aber ist Västra Hamnen zusätzlich an das öffentliche Stromnetz angeschlossen. Wärme bezieht der Stadtteil vor allem aus einer geothermischen Tiefbohrung. Diese fördert nur etwa 15 Grad warmes Wasser aus tieferen, wasserführenden Gesteinsschichten (sogenannten Aquiferen), dem seine Wärme durch Wärmetauscher entzogen wird. Mit Wärmepumpen und durch den Einsatz von solarthermischen Anlagen lässt sich die Temperatur auf mehr als 60 Grad Celsius erhöhen. Im Sommer wiederum wird das kühle Tiefenwasser zu Kühlzwecken durch die Gebäude im Stadtteil gepumpt. Letztlich deckt die Geothermie etwa 85 und die Solarthermie etwa 15 Prozent des Wärmebedarfs.

Auch im Berliner Reichstag macht man sich wasserführende Aquifere für Heiz- und Klimatisierungszwecke und als saisonale Wärmespeicher zunutze. Überschüssige Wärme aus einem Pflanzenöl-BHKW und aus den Solaranlagen auf den Dächern des Reichstags und der Nachbargebäude wird im Sommer in die tiefen Aquiferschichten gepumpt und dort gespeichert. Da die Wärme nur langsam aus dem großen Wasserreservoir entweicht, ist im Winter noch genug Energie vorhanden, um zurück an die Erdoberfläche gepumpt zu werden und den Reichstag zu erwärmen. Gekühlt wird im Sommer wiederum mit Wasser aus einer zweiten, „kalten“ Aquiferschicht.



Die Frage, ob es der Menschheit gelingt, in den kommenden Jahrzehnten bei der Entwicklung energieeffizienter Infrastrukturen einen nachhaltigen Kurs einzuschlagen, wird in den Städten beantwortet werden. Städte sind in Summe die größten CO<sub>2</sub>-Emittenten. Zugleich aber sind sie dank der Konzentration von technischem Wissen auch Schmelztiegel des Fortschritts, die neue Sichtweisen und Lösungen generieren. Entsprechend zeigt diese Studie Wege, wie sich moderne energieeffiziente Technologien im großen Stil implementieren und nachhaltige Stadtentwicklungskonzepte realisieren lassen. Doch nachhaltige Entwicklung gibt es

# 4.0 Ausblick



nicht frei Haus. Eine Stadt wie München, ihre Bürger und Unternehmen werden für die CO<sub>2</sub>-Freiheit in den kommenden Jahrzehnten erhebliche Summen investieren müssen. Allerdings zeichnet sich schon heute ab, dass sich viele dieser Investitionen über Energieeinsparungen rechnen werden. Ein weiterer Gewinn ist, dass sich Potenziale für die lokale Wirtschaft mobilisieren und Know-how aufbauen lassen, was für die Zukunft Standortvorteile bringt.

Die Wandlung einer Metropole in einen annähernd CO<sub>2</sub>-freien Ballungsraum ist eine große Aufgabe, die nur bewältigt werden kann, wenn das Ziel der CO<sub>2</sub>-Freiheit mit hoher Priorität in

den gesamten Entwicklungsprozess der urbanen Infrastrukturen, in die Stadt-, Gebäude-, Verkehrs- und Energieplanung sowie in die Investitionsentscheidungen der privaten Akteure integriert wird. Das ist zum einen Aufgabe der Entscheider, der Verwaltungen, der Energieversorger und der Stadtplaner. Mindestens ebenso wichtig ist das Engagement der Bürger und Investoren und deren klares Bekenntnis zur Energieeffizienz. Ein so tiefgreifender Wandel in der Energieerzeugung und im Energieverbrauch lässt sich aber vermutlich nur durch entsprechende politische Rahmenbedingungen schaffen, die effiziente und CO<sub>2</sub>-arme Technologien

fördern. Ebenso wichtig ist die Aufklärung. Energieeffizienz wird vor allem dann interessant, wenn sie sich lohnt. Eine wichtige Aufgabe wird deshalb darin bestehen, die Vorzüge und den finanziellen Gewinn der Investitionen in effizientere Technologien künftig noch bekannter und noch transparenter zu machen. Andererseits dürfte auch der technische Fortschritt sowie eine zunehmend rationellere Produktion der zum Teil noch relativ jungen Technologien künftig einer weiteren Kostendegression und damit zu einem verstärkten Einsatz führen. Wenn all dies zusammenkommt, dann können die hier skizzierten Szenarien tatsächlich Realität werden.

**Herausgeber:** Siemens AG  
Corporate Communications and Government Affairs  
Wittelsbacherplatz 2, 80333 München  
**Für den Herausgeber:** Stefan Denig  
stefan.denig@siemens.com  
Tel. +49 89 636 83110  
**Projektkoordination:** Daniel Müller  
daniel\_sebastian.mueller@siemens.com  
Tel.: +49 89 636 33826

**Redaktion:** Tim Schröder

**Research:** Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH, www.wupperinst.org  
**Projektleitung und Szenarien:** Stefan Lechtenböhrer, Dieter Seifried, Kora Kristof  
**Verkehr:** Susanne Böhrer, Clemens Schneider, Frederic Rudolph  
**Wärmenachfrage:** Rüdiger Hofmann  
**Wärmeversorgung:** Dietmar Schüwer  
**Stromnachfrage:** Claus Barthel  
**Stromnetz und dezentrale Stromerzeugung:** Frank Merten

**Bildredaktion:** Judith Egelhof, Irene Kern, Publicis Pro, München

**Fotografie:** Kurt Bauer, Simon Katzer

**Fotonachweis:** Nagyl/Presseamt München (2/3, 8/9); Osram (20/21);  
Landeshauptstadt München Baureferat (21), Stadtwerke München (41)  
Alle weiteren Abbildungen: Copyright Siemens AG  
**Layout:** Rigobert Ratschke, Seufferle Mediendesign GmbH, Stuttgart  
**Grafik:** Jochen Haller, Seufferle Mediendesign GmbH, Stuttgart  
**Druck:** Bechtle Druck&Service, Esslingen

Bei allen weiteren Abbildungen liegt das Copyright bei der Siemens AG.  
Für den Nachdruck von Beiträgen – auch auszugsweise – ist die Genehmigung  
des Herausgebers erforderlich. Dies gilt ebenso für die Aufnahme in elektronische  
Datenbanken, das Internet und Vervielfältigung auf CD-ROM.

Obwohl die Richtigkeit der in diesem Dokument enthaltenen Informationen  
nach bestem Bemühen überprüft wurde, übernehmen weder das Wuppertal Institut  
für Klima, Umwelt, Energie GmbH noch die Siemens AG oder ein mit ihr verbundenes  
Unternehmen die Verantwortung oder Haftung für eventuelle Folgen, wenn jemand  
auf die hier gegebenen Informationen vertraut.

Printed in Germany

© 2009 by Siemens AG. Alle Rechte vorbehalten.  
Siemens Aktiengesellschaft

Bestell-Nr. A19100-F-P135