

Gebäude-Energieeffizienz und erneuerbare Energieversorgung in urbanem Maßstab

Auf dem Weg zum nachhaltigen Stadtviertel

Wie die nachhaltige Stadt der Zukunft aussehen könnte, zeigt der Stadtteil „Scharnhäuser Park“ in Ostfildern bei Stuttgart. In diesem Quartier versuchen Wissenschaftler und Investoren, einen ganzen Stadtteil so optimal wie möglich nach nachhaltigen Gesichtspunkten zu gestalten. Von Ursula Eicker, Tobias Erhart, Frank Hettler, Ursula Pietzsch und Aneta Strzalka

Unter Federführung der Hochschule für Technik Stuttgart ging das POLYCITY-Projekt im Jahr 2005 als eines der ersten der europäischen CONCERTO-Initiative an den Start (1). Die drei Projektgebiete sind ein Neubaugebiet im Norden von Barcelona, ein Altbau-Sanierungsgebiet mitten in Turin und ein Konversionsgebiet in Ostfildern, das nahe der Landeshauptstadt Stuttgart und dem Flughafen Stuttgart liegt.

Ein ungewöhnliches Förderprogramm zur nachhaltigen Stadtentwicklung hatte die EU-Kommission unter dem Namen CONCERTO aufgelegt: nicht einzelne Gebäude oder Technologien standen im Fokus, sondern ganze Stadtviertel, verbunden mit einem optimalen Mix an Techniken zur Senkung des Energiebedarfs und zur nachhaltigen Energieerzeugung. So sollte die bestmögliche Performance unter realen Bedingungen erreicht werden. Heute, sechs Jahre später, sind schon 58 Städte in 23 europäischen Ländern in die CONCERTO-Initiative eingebunden. Zusammen sparen sie derzeit 530.000 Tonnen Kohlenstoffdioxid (CO₂) jährlich ein.

Das Stadtviertel

Nach dem Abzug der amerikanischen Streitkräfte aus den Nellingen-Barracks war der Weg frei für die Konversion eines 150 Hektar großen Militärgeländes auf der Markung der Stadt Ostfildern in ein neues Stadtviertel. Der „Scharnhäuser Park“ sollte ein ökologisch vorbildliches und familienfreundliches Quartier für etwa 10.000 Bewohner mit 2.000 Arbeitsplätzen werden. Für alle Neubauten im Scharnhäuser Park wurde die Niedrigenergiebauweise vorgeschrieben.

Das Viertel umfasst Mehrfamilienhäuser, Reihenhausblocs und Einfamilienhäuser. Dazu kommen öffentliche Gebäude und 90.000 m² Gewerbefläche.

Etwa 80 Prozent des Wärme- und 50 Prozent des Stromverbrauchs des gesamten Areals werden heute durch ein Holzheizkraftwerk mit einer elektrischen Leistung von einem Megawatt

(MW) und einer thermischen Leistung von 6,3 MW gedeckt. Im Sommer wird überschüssige Wärme des Wärmenetzes durch eine dezentrale Absorptionskältemaschine zur Klimatisierung eines Bürogebäudes verwendet.

Bereits 1995 hatte die Stadt Ostfildern Gebäudeenergiestandards von 25 Prozent unter dem zu diesem Zeitpunkt existierenden nationalen Standard, der WärmeSchutzVerOrdnung 1995, für das Gelände festgelegt. Auf diese Weise brachte der Scharnhäuser Park beste Voraussetzungen für das POLYCITY-Projekt mit. EU-Zuschüsse gab es allerdings nur für Gebäude mit noch niedrigeren Standards: einem Verbrauch, der 40 Prozent unter dem durchschnittlichen Endenergieverbrauch der EnEV 2002 von etwa 90 Kilowattstunden pro Quadratmeter und Jahr (kWh/m²a) liegen sollte. Für Wohngebäude bedeutete dies 56 kWh/m²a und für Bürogebäude 50 kWh/m²a Heizenergie.

Die Projektziele für den Stromverbrauch lagen für Wohngebäude bei 28 kWh/m²a und für Bürogebäude bei 35 kWh/m²a. Für die Kühlung von Bürogebäuden galt es 30 kWh/m²a einzuhalten.

Zusammenfassend kann man sagen, dass die Anforderungen, die 2003 im Projekt festgelegt worden waren, etwa der heutigen Gesetzeslage in Deutschland entsprechen.

Ein Mix von energieeffizienten Maßnahmen

Drei Mehrfamilienhäuser mit insgesamt 5.540 Quadratmetern (m²) erhielten 28 Euro pro Quadratmeter für energetische Zusatzmaßnahmen, was weniger als drei Prozent der gesamten Baukosten von 1.065 €/m² entspricht. Außerdem erhielten zehn Einfamilienhäuser drei Prozent finanzielle Förderung bei Baukosten von 896 €/m². Diese Demo-Gebäude wurden zwischen 2005 und 2010 vom Siedlungswerk Stuttgart geplant und gebaut. Gefördert wurden höhere Isolierstandards wie eine sechs Zentimeter stärkere Wandisolierung und vier Zentimeter stärkere Dachisolierung, verbesserte beschichtete Doppelverglasung mit Kunststoff-Abstandshaltern, Niedertemperatur-Wärmeverteilungssysteme, um die Rücklauftemperatur des Fernwärmenetzes zu reduzieren sowie mechanische Lüftungssysteme.

Auch für ein Bürogebäude gab es Fördergelder. Die „Elektor air systems GmbH“ wurde mit einem Niedertemperatur-Wärme- und Kälteverteilungssystem über die Betondecken ausgestattet, um die Leistungszahlen und Laufzeiten der ebenfalls geförderten Absorptionskältemaschine für die Kühlung zu verbessern und um Verbrauchsspitzen zu reduzieren. Über mehrere Gründungspfähle wird im Winter Wärme aus dem →

Boden zugeführt und im Sommer das Lüftungssystem zur Kühlung unterstützt. Das Flurlicht im Elekto-Gebäude wird, um Strom zu sparen, in Abhängigkeit vom vorhandenen Tageslicht zentral gedimmt, ebenso die Einzelarbeitsplatz-Beleuchtung, die außerdem mit Präsenzsensoren ausgestattet ist.

Im Bereich der öffentlichen Gebäude wurde das Jugendzentrum „L-Quadrat“ gefördert und nahezu im Passivhausstandard gebaut. Lediglich bei der Verglasung wurde aufgrund des Beschädigungsrisikos keine teurere Dreifachverglasung verwendet. Wegen der entlegenen Lage wurde dieses Gebäude nicht ans Wärmenetz angeschlossen. Es wird durch eine auf Erdwärme basierende elektrische Wärmepumpe versorgt. Zwei Erdsonden mit je 134 Metern Bohrtiefe in Kombination mit einer Niedertemperaturheizung als träge Fußbodenheizung und dynamischer Luftheizung übernehmen die Temperierung der Räume. Die Warmwassererzeugung erfolgt elektrisch, da die Anforderungen gering sind. Während der Sommermonate kann mit diesem System auch gekühlt werden.

Auch bei der Vorpufferung der Zuluft wird das Erdreich genutzt. Ein im Arbeitsraum der Baugrube verlegtes Außenluftrohr tritt als Erdwärmetauscher vor allem im Winter in Funktion und bringt eisige Außenlufttemperaturen in den positiven Temperaturbereich.

Das Jugendzentrum weist sehr gute Energieverbrauchswerte auf. Vor allem im Bereich der Wärmeversorgung wird mit knapp 2.000 kWh Stromverbrauch für die Wärmepumpe die Größenordnung eines Passivhauses erreicht. Allerdings ist der Allgemestromverbrauch für Beleuchtung, Technik, Küche und sonstige Verbraucher mit einem Wert von knapp 13.000 kWh eher hoch einzuschätzen. Für Warmwasser werden nur etwa 1000 kWh/a benötigt, der Rest teilt sich gleichmäßig auf die vorgenannten Bereiche auf, wobei die Beleuchtung mit 4.500 kWh den größten Anteil ausmacht. Diese Werte unterliegen stark dem Nutzungseinfluss.

Energiemanagement in öffentlichen Gebäuden

Verbesserungen der Energieeffizienz wurden auch im Gebäudebestand erfolgreich praktiziert. Naturgemäß liegen die Einsparpotenziale bei Neubauten mit hohem Dämmstandard im Bereich der Regelungstechnik und beim elektrischen Energiebedarf.

Ein öffentliches Gebäude, in dem Effizienzmaßnahmen realisiert wurden, ist das Stadthaus. Hier sind die Volkshochschule, eine Bibliothek, eine Kunstgalerie und ein Teil der Stadtverwaltung untergebracht. Im Blickpunkt stand die Reduzierung des Stromverbrauchs von einem Niveau von mehr als 40 kWh/m²a. Mit geringem materiellem Einsatz konn-

ten beeindruckende Einsparresultate erzielt werden. Neben der Installation eines Energiemonitorings und einzelner Veränderungen bei der Beleuchtungssteuerung, sowie einer LED-Ausstattung des Aufzugs wurde vor allem durch einfache Maßnahmen wie abschaltbare Steckdosenleisten, Zeitschaltuhren und entsprechende Anleitungen für die Nutzer eine Reduktion von mehr als 50.000 kWh erzielt, was einer Kosteneinsparung von rund 10.000 Euro pro Jahr entspricht.

Ebenso wie das Stadthaus hatte die Sporthalle im Scharnhaufer Park in der Vergangenheit hohe Kennwerte zu verzeichnen, die im Laufe des Projekts deutlich gesenkt werden konnten.

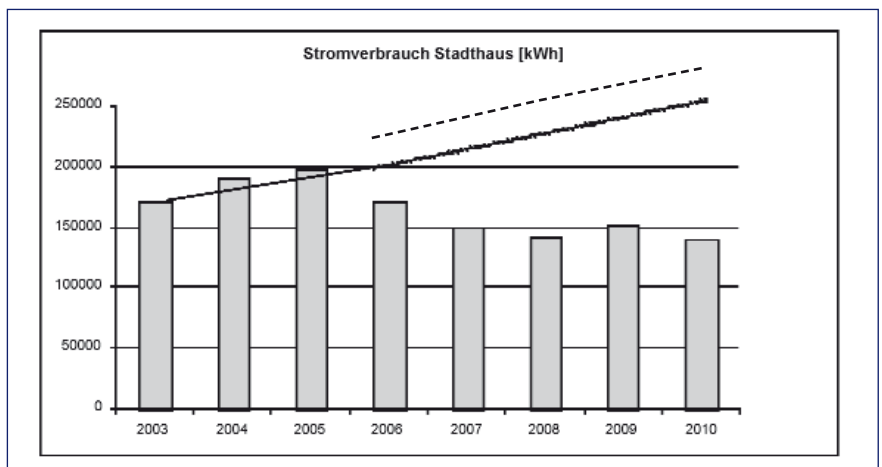
Die Hauptursache für den hohen elektrischen Verbrauchswert von rund 80.000 kWh/a war in Form der architektonisch gewünschten HQI-Beleuchtung schnell identifiziert. Die Umsetzung einer präsenzgesteuerten bedarfsgerechten Beleuchtung, die bei Nichtnutzung eines Hallendrittels selbstständig abschaltet, war allerdings nicht einfach, da beispielsweise Abkühlzeiten der Leuchtmittel von etwa zehn bis 15 Minuten berücksichtigt werden mussten. Letztendlich wurde ein System von zwei Präsenzmeldern je Hallendritteln realisiert, die nach etwa zehn Minuten Bewegungslosigkeit die Beleuchtung automatisch ausschalten. Der Verbrauchswert konnte so auf ein übliches Niveau für Dreifeldhallen mit entsprechender Nutzungsintensität von etwa 50.000 kWh/a abgesenkt werden.

Bei allen Gebäuden konnten mithilfe des Energiemonitorings die Verbrauchswerte auf entsprechend niedrigem Niveau gehalten bzw. abgesenkt werden. Einsparmaßnahmen oder Verbrauchsanstiege sind durch automatische Zähleraufschaltungen mit Alarmmeldungen zeitnah erkennbar und weitere Schritte können eingeleitet werden.

Transparente Verbrauchsdaten

Die Energieverbrauchsdaten für alle Gebäude im Stadtteil Scharnhaufer Park wurden in ein Geoinformationssystem eingegeben und auf der Projekt-Homepage öffentlich visualisiert

Abbildung 1: Prognose und tatsächlicher Stromverbrauch nach Einsparungsmaßnahmen



Quelle: Eigene Darstellung

(2). Hier können die Anwohner den jährlichen Wärmeverbrauch für ihren Gebäudetyp einsehen und prüfen, ob ihr Haushalt unter oder über dem durchschnittlichen Verbrauch liegt (aus Datenschutzgründen kann nur der Mittelwert für jeden Gebäudetyp veröffentlicht werden). Außerdem wurde das Solarpotenzial aller Dachflächen für Photovoltaik-Anlagen errechnet. Auch diese Information ist jetzt individuell für jedes Gebäude im Projektgebiet Scharnhäuser Park abrufbar.

Gemessene Verbrauchsdaten der Gebäude

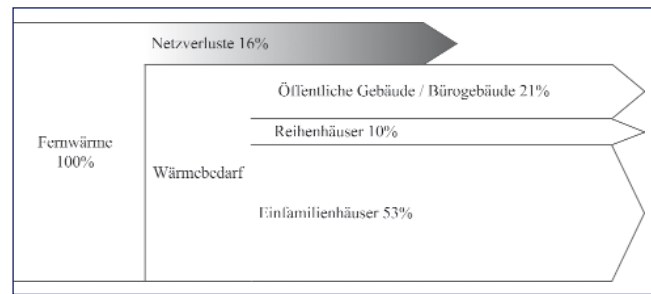
Insgesamt gibt es im Scharnhäuser Park rund 600 öffentliche, kommerziell genutzte und Wohngebäude. Mit einem Bedarf von 53 Prozent an der gesamten Heizenergie, die das Biomasseheizkraftwerk produziert, dominieren die Mehrfamilienhäuser.

Vergleicht man den durchschnittlichen Wärmeverbrauch von Mehrfamilienhäusern und Reihenhäusern, so liegt der Verbrauch der Mehrfamilienhäuser generell etwas unter dem der Reihenhäuser: zwischen 56 und 68 kWh/m²a in den Jahren 2005 und 2009, verglichen zu 62 bis 69 kWh/m²a für Reihenhäuser.

Drei Mehrfamilienhäuser des Siedlungswerks Stuttgart, nämlich im POLYCITY-Projekt erstellte Demogebäude mit erhöhter Dämmung, erfüllen die gestellten Anforderungen von 56 kWh/m²a für den Heizenergiebedarf gut. Dabei muss berücksichtigt werden, dass der Verbrauch in den einzelnen Wohnungen stark differiert.

Die Reihenhäuser erhielten keine Finanzmittel aus dem Projekt und wurden von verschiedenen Wohnungsbaugesellschaften errichtet. Reihenhäuser ähnlichen Bautyps mit einer Fläche von durchschnittlich 148 m² wurden miteinander verglichen. Die Messergebnisse zeigen starke Schwankungen des Ver-

Abbildung 2: Verteilung der vom Biomassekraftwerk in das Quartier gelieferten Heizenergie (2009)



Quelle: Eigene Darstellung

brauchs um einen Mittelwert von 53 kWh/m²a. Abweichungen von maximal 65 Prozent nach unten und von maximal 75 Prozent nach oben sind auf unterschiedliches Nutzerverhalten zurückzuführen.

Die Ursachen für diese Unterschiede wurden in einem Gebäudesimulationsmodell untersucht. Hier wurden nutzerbezogene Parameter wie Luftwechselraten, Heiztemperatur oder Nachtabschaltungsperioden statistisch variiert. So konnten die errechneten Wärmebedarfswerte an die tatsächlichen Verbrauchswerte angenähert werden.

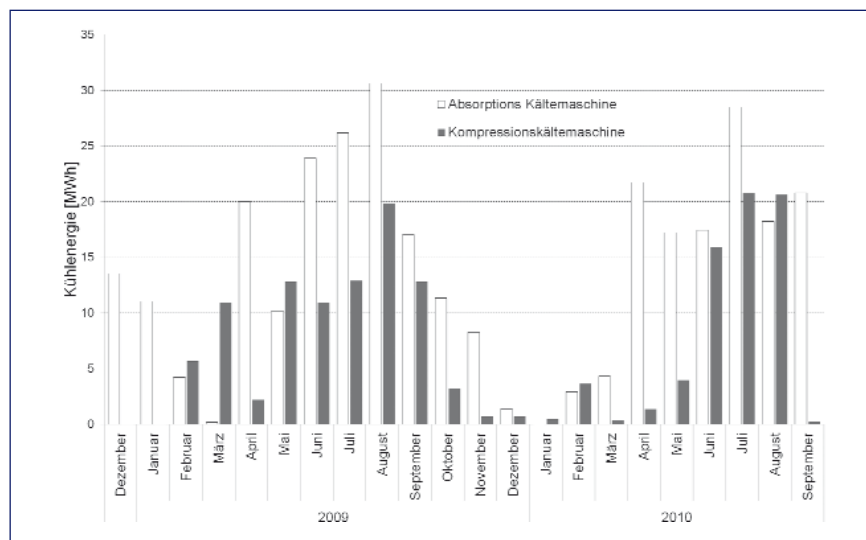
Das Herz des Quartiers: Das Biomassekraftwerk

Das Biomassekraftwerk im Scharnhäuser Park wird mit Landschaftspflegeholz und etwa 20 Prozent Waldholz befeuert. Dieser nachwachsende Rohstoff stammt aus der Region und hat deshalb keine langen Transportwege. Wenn das Kraftwerk wegen Wartungsarbeiten abgeschaltet werden muss, übernehmen zwei Erdgaskessel die Versorgung. Diese werden auch in Spitzenlastzeiten zugeschaltet.

Die Stromerzeugung erfolgt über einen sogenannten Organic Rankine Cycle (ORC), einen Dampfturbinenprozess mit organischem Arbeitsmedium, der ohne hohe Drücke und Temperaturen betrieben werden kann und sich somit gut mit Biomassefeuerungen kombinieren lässt. Die Leistung des ORC-Biomasseheizkraftwerks im Scharnhäuser Park wurde über die Jahre im Detail analysiert.

Mehr als 80 Prozent der zur Beheizung des Wohnviertels benötigten Energie werden durch den Biomassekessel gedeckt. Rund 50 Prozent des Strombedarfs wird durch das Kraft-Wärme-Kopplungs-System gedeckt. Die Energie aus der Biomassefeuerung wird über ein Thermoöl-system in das ORC-System übertragen. Die Abwärme aus dem ORC-Kreislauf speist das Nahwärmenetz. Im Verlauf →

Abbildung 3: Kühlenergie im Bürogebäude durch Absorptions- und Kompressionskältemaschinen



Quelle: Eigene Darstellung

des Jahres 2009 gab es einen längeren Betriebsausfall aufgrund eines Brands. Infolgedessen lief die Anlage, bis zur vollständigen Reparatur, nur mit reduzierter Leistung.

Über einen Zeitraum von sechs Jahren wurden die Hilfsenergieströme der Biomasseanlage überwacht. Für die Umwandlung von Biomasse zu Fernwärme sind für den Verbrennungsprozess 43 kWh an elektrischer Energie je MWh thermischer Energie notwendig. Wird der Gaskessel hinzugeschaltet, sinkt der spezifische Wert, der sich dann auf die thermische Energie bezieht, auf 26 kWh/MWh. Dies zeigt deutlich, dass die Verbrennung von Biomasse aufgrund des erhöhten Prozessaufwands, mehr elektrische Hilfsenergie benötigt als die Gasverbrennung.

Wenn das ORC-Modul eine geringe Anzahl an Betriebsstunden aufweist oder oft im Teillastbereich betrieben wird, ist der Eigenstromverbrauch der gesamten Anlage und des Verbrennungsprozesses vergleichsweise hoch. Im Jahr 2007 lag der Anteil des Eigenstrombedarfs bei 28 Prozent des ins Netz eingespeisten Stroms und 30 Prozent im Jahr 2008.

Es wurde erwartet, dass der elektrische Wirkungsgrad des ORC Moduls etwa 17 Prozent beträgt. Bis jetzt überschritt der jährliche Wirkungsgrad jedoch noch nicht zwölf Prozent. Maximale Werte von 15 Prozent wurden im alltäglichen Betrieb erreicht.

Dezentrale Absorptionskälte im Büro

Das Elektror-Gebäude mit einer Bürofläche von 3.280 m² wird durch die Wärme des ORC Biomasseheizkraftwerkes geheizt und mittels einer dezentralen, wärmebetriebenen Absorptionskältemaschine gekühlt. Im Winter strömt die Heizenergie durch die thermisch aktivierten Decken und wird zusätzlich den Luftkonvektoren zugeführt. Die sommerliche Kühlung erfolgt ausschließlich über die Betonkerndecke. Die installierte Absorptionskältemaschine mit einer Kühlleistung von 105 kW ist direkt mit dem Fernwärmenetz verbunden und liefert etwa zwei Drittel des gesamten Kühlenergiebedarfs des Gebäudes.

Die Leistungszahl der Kältemaschine liegt zwischen 0,6 und 0,7 während der Sommermonate und entspricht damit den Erwartungen. Der Leistungseinbruch während der Herbst- und Wintermonate kann den häufigen Ein- und Ausschaltvorgängen unter Teillast zugeordnet werden und muss in den nächsten Monaten optimiert werden. Die jährlich benötigte Wärmeenergie der Absorptionskältemaschine entspricht etwa dem Heizenergiebedarf im Winter und hilft so, die Betriebszeit der ORC-Anlage im Sommer zu verlängern (Heizenergie 2009: 371 MWh, Wärme für Kühlung: 320 MWh).

Fazit

Das Gesamt-Monitoring des Scharnhäuser Parks hat gezeigt, dass Niedrigenergie-Gebäudestandards im städtischen Maßstab erreicht werden können. Allerdings führt das unterschiedliche Nutzerverhalten zu starken Schwankungen bei den Verbrauchs-

werten, obwohl die Gebäude in Baujahr und Baustandard vergleichbar sind. Bei den öffentlichen Bestandsgebäuden zeigt sich, dass ein gutes Energiemanagement mit teils recht kostengünstigen Maßnahmen sehr gute Resultate bringt.

Der Scharnhäuser Park wird mit einem sehr hohen Anteil an erneuerbarer Energie versorgt. 80 Prozent der Wärme und – virtuell gesehen, denn der Strom wird ja ins Netz eingespeist – 50 Prozent des Stromverbrauchs. Der Eigenstromverbrauch der ORC-Anlage ist recht hoch, da Vollastbetriebszustände selten erreicht werden. Diese Situation wird sich verbessern, wenn die Anwohnerzahl von derzeit rund 7.000 und damit die Zahl der zu versorgenden Haushalte steigt, und mit einer zusätzlichen Nutzung der Wärme im Sommer, etwa durch thermische Kühlung in weiteren Bürogebäuden. Das erste Projekt zur thermischen Kühlung wurde im Gebäude der Firma Elektror im Gewerbegebiet realisiert. Die Heizenergie zum Kühlen des Gebäudes verlängert die Vollaststunden des Biomassekraftwerks im Sommer während etwa 50 Stunden.

Anmerkung

- (1) Die Arbeit wurde durch das europäische POLYCITY Projekt gefördert (TREN/05FP6EN/S07.43964/513481).
- (2) Informationen im Internet unter: <http://www.polycity.net>.

AUTOREN + KONTAKT

Dr. Ursula Eicker ist Professorin an der Hochschule für Technik Stuttgart und leitet das Forschungsinstitut Nachhaltige Energietechnik (zafh.net).

Tobias Erhart ist Mitarbeiter und Doktorand im zafh.net und beschäftigt sich mit Biomassekraftwerken.

Frank Hettler ist Energiebeauftragter der Stadt Ostfildern mit Schwerpunkt Energieeffizienz und Monitoring.

Aneta Strzalka ist Mitarbeiterin und Doktorandin im zafh.net im Bereich Gebäudeenergieeffizienz.

Ursula Pietzsch arbeitet im Projektmanagement und in der Öffentlichkeitsarbeit des zafh.net.

Hochschule für Technik Stuttgart, Forschungszentrum nachhaltige Energietechnik (zafh.net), Schellingstr. 24, 70174 Stuttgart. Tel.: +49 711 8926-2831, Fax: +49 711 8926-2698, E-Mail: ursula.eicker@hft-stuttgart.de



Lizenzhinweis

Die Beiträge in *Ökologisches* Wirtschaften werden unter der Creative-Commons-Lizenz "CC 4.0 Attribution Non-Commercial No Derivatives" veröffentlicht. Im Rahmen dieser Lizenz muss der Autor/Urheber stets genannt werden, das Werk darf nicht bearbeitet, abgewandelt oder in anderer Weise verändert und außerdem nicht kommerziell genutzt werden.

Die digitale Version des Artikels bleibt für zwei Jahre Abonnent/innen vorbehalten und ist danach im Open Access verfügbar.