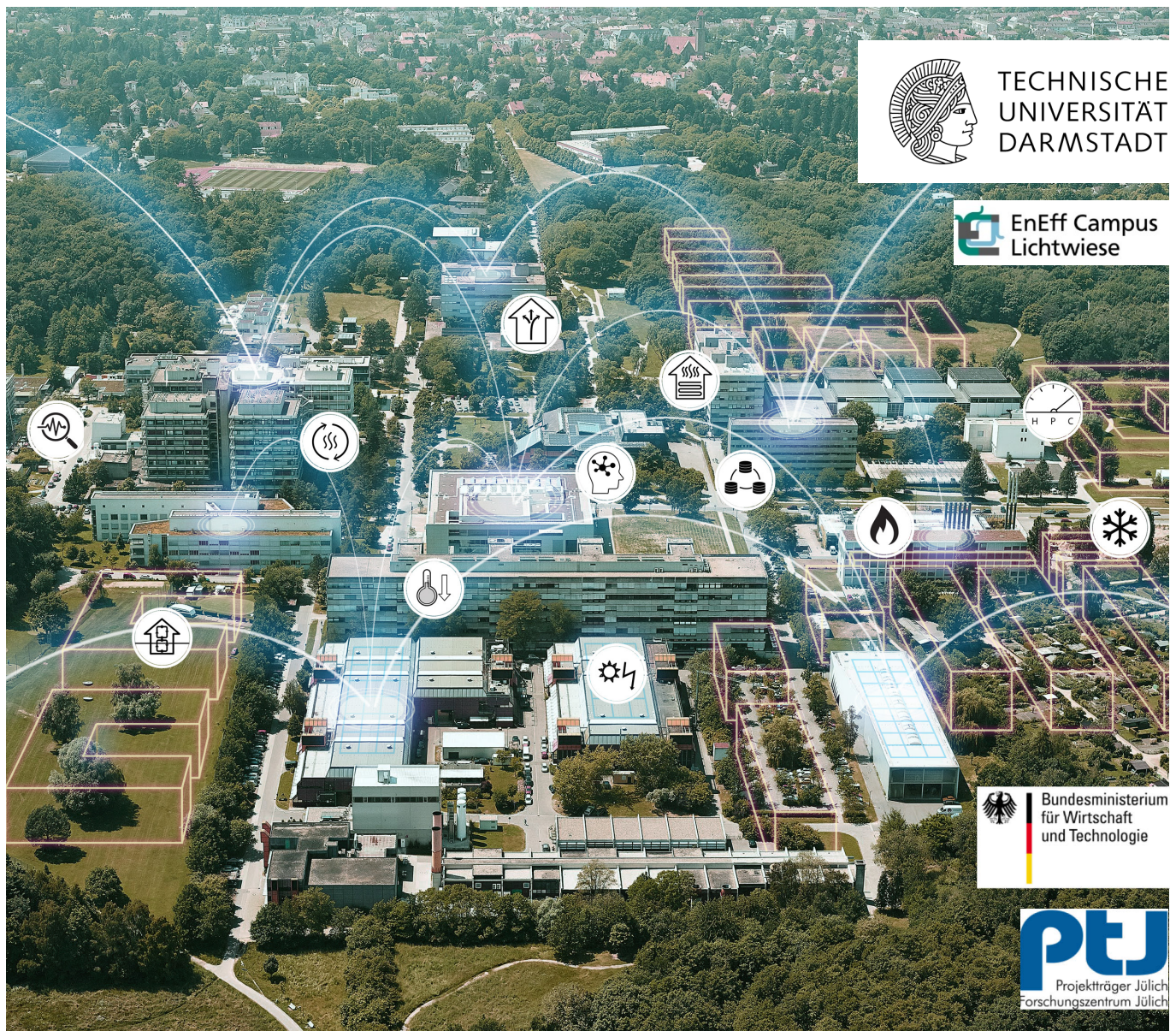


# EnEff:Stadt Campus Lichtwiese II

Weiterentwicklung eines Energiesystems auf Quartiersebene

Interdisziplinäres Forschungsprojekt  
im Rahmen des 7. Energieforschungsprogramms der Bundesregierung  
Gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi)



# EnEff:Stadt Campus Lichtwiese II

Weiterentwicklung eines Energiesystems auf Quartiersebene

Die Technische Universität Darmstadt und ihr Präsidium haben sich ausdrücklich dem Ziel verschrieben, ein ganzheitliches Konzept zur effizienten Energieversorgung „post 2030“ für den Campus Lichtwiese zu entwickeln, mit dem die im Rahmen der Initiative CO<sub>2</sub>-neutrale Landesregierung angestrebten Klimaschutzziele erreicht werden können. Im Projekt EnEff:Stadt Campus Lichtwiese werden sowohl die elektrische Energieversorgung als auch der Wärme- und Kältebedarf der Universität betrachtet. Ein umfassendes Monitoring der Energieflüsse auf dem Campus bildet die Grundlage für eine grundlegende Modernisierungsstrategie.

Im Rahmen der ersten Projektphase bis 2018 wurden wesentliche Potentiale zur Erhöhung der Energieeffizienz und Senkung des Energiebedarfs evaluiert. Die hier betrachteten Maßnahmen wurden hinsichtlich ihrer realen baulichen und energietechnischen Entwicklungen bewertet. Auf Grundlage von verschiedenen Szenarien wurde ermittelt, welche zukünftigen Entwicklungen sich für die Aufgaben der elektrischen und thermischen Netze am Campus Lichtwiese ergeben werden und welche Auswirkungen diese auf den Netzbetrieb haben können.

Der Campus ist aus einer Reihe von Gründen in besonderer Weise als Studienobjekt geeignet:

- eigentums- und planungsrechtliche Entität
- abgegrenzter Standort bzw. Bilanzraum
- hohe Nutzungsvielfalt (Büros, Labore, Hörsäle, Bibliotheken, Werkstätten, Sportstätten etc.)
- verschiedene Baualtersklassen und -formen (viele Großbauten der 1960er und 1970er Jahre)
- technische Gebäudeausstattungen aus dem Ur-Zustand
- eigene Energieerzeugung und Netze vorhanden

Basierend auf einem umfassenden Monitoring wird ein virtuelles Gesamtmodell („Digitaler Zwilling“) des Campusenergiesystems erstellt. Ein weiterer Schwerpunkt ist die Entwicklung einer Strategie zur Reduzierung der Temperaturen im Fernwärmenetz, um Verluste zu verringern und die Einbindung von regenerativ erzeugter Energie und Abwärme zu erleichtern.

Die interdisziplinäre und technologieübergreifende Betrachtungsweise ist das Alleinstellungsmerkmal dieses Forschungsprojektes. Für die Umsetzung ist die intensive Zusammenarbeit von Forschung, der Bauverwaltung und dem technischen Betrieb erfolgskritisch. Das so entstandene Reallabor Campus Lichtwiese fungiert als Anschauungsobjekt zur Nachahmung und Weiterentwicklung.

Rahmendaten Campus Lichtwiese	
Thermische Leistung der Heizkessel (Versorgung versch. Liegenschaften der TU Darmstadt)	55,8 MW
Thermische/elektrische Leistung der BHKW (Versorgung versch. Liegenschaften der TU Darmstadt)	7MW <sub>th</sub> /7,25MW <sub>el</sub>
Kälteleistung Absorptionskältemaschine (Versorgung Lichtwiese)	1MW
Anzahl Gebäude mit Fernwärme-/Fernkälteversorgung	34/13
Energiebezugsfläche	150.000 m <sup>2</sup>
Endenergiebedarf Wärme	27.500 MWh/a
Endenergiebedarf Kälte	7.500 MWh/a
Endenergiebedarf Strom	31.000 MWh/a
Leitungslänge Fernwärmenetz	4.200 m
Jährliche mittlere Vorlauftemperatur/Rücklauftemperatur	90 °C/60°C

## Vom Konzept in die Realisierung: Bauliche Maßnahmen

Zwei Pilotprojekte transferieren Konzepte der ersten Phase nun in die Umsetzung: Im Gebäudereich werden sowohl der bauliche Wärmeschutz verbessert als auch die raumluftechnischen Anlagen modernisiert. Hier erwartet man ein erhebliches Emissionsminderungspotential. Um den Wärmebedarf auf dem Campus langfristig effizient und umweltschonend decken zu können, soll ein Fernwärmenetz der 4. Generation entstehen, in welchem durch deutlich niedrigere Temperaturen Wärmeverluste verringert werden können. Außerdem ermöglicht ein geringeres Temperaturniveau die Einspeisung von regenerativer Energie und Abwärme, wie etwa die des neuen universitären Hochleistungsrechners „Lichtenberg II“.

### Abwärmenutzung Hochleistungsrechner

Das Hochschulrechenzentrum (HRZ) der TU Darmstadt betreibt einen Hochleistungsrechner (HLR), der schrittweise durch Hardware einer neuen Generation ersetzt wird. Solche Rechner haben einen großen Bedarf an elektrischer Energie und produzieren sehr viel Abwärme. Der neue HLR, dessen erste Ausbaustufe Anfang 2020 in Betrieb genommen wird, ist mit einer Warmwasserkühlung ausgestattet. Hier entsteht Abwärme bei Temperaturen von 40°C bis 45°C, die genutzt werden kann. Mit einer Wärmepumpe kann diese sehr effizient auf das Temperaturniveau des Rücklaufs des Fernwärmenetzes angehoben und so für die Fernwärmeversorgung genutzt werden. Darüber hinaus entfällt der Strombedarf der bisher für die Kühlung der Rechner genutzten Kältemaschine.

Nach Abschluss der Baumaßnahmen und der Inbetriebnahme des neuen Rechners wird anhand eines Energiemonitorings untersucht, inwiefern die tatsächlichen Einsparungen an Energie und CO<sub>2</sub>-Emissionen mit den Simulationen aus der Planungsphase übereinstimmen.

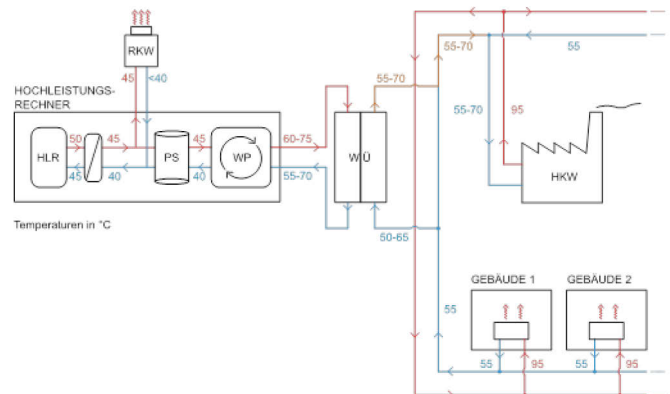


Abbildung 1 Strangschema der Kühlung des neuen Hochleistungsrechners „Lichtenberg II“

### Energieflexibilisierung Architekturgebäude

Am Institutsgebäude des Fachbereichs Architektur wird der Betrieb von Niedertemperaturheizsystemen im Gebäudebestand untersucht. Das Institutsgebäude ist ein Beispiel für einen Gebäudetypus auf dem Campus, bei dem Sanierungen sehr aufwendig sind. Um diese Gebäude mit Wärme zu versorgen, sollen zukünftig Flächenheizsysteme eingesetzt werden. Durch die Vergrößerung der Wärmeübertragerflächen kann die gleiche thermische Leistung bei geringerer Temperaturdifferenz zwischen Heizungsmedium und Raumluft in den Raum eingebracht werden.



Abbildung 2 Typischer Gebäudebestand des Campus Lichtenwiese aus den 1960er und 1970er Jahren. In der Mitte der Fachbereich Architektur (Denkmalschutz)

Hier wird untersucht, wie stark sich die Temperatur tatsächlich absenken lässt, ohne dass Einbußen am Komfort auftreten. Darüber hinaus werden unterschiedliche Regelungsstrategien zur Steigerung der Flexibilität des Wärmebezugs untersucht.

# Digitaler Zwilling eines realen multi-modalen Energiesystems

Mithilfe eines virtuellen Gesamtmodells des Campus, dem sogenannten „Digitalen Zwilling“, wird eine Simulationsumgebung des multi-modalen Campus-Energiesystems geschaffen. Über alle Energieformen hinweg kann man damit sowohl Optimierungen für den Live-Betrieb entwickeln, als auch potentielle langfristige Investitionen in das Energiesystem detailliert evaluieren.

Aktuell werden nur eingeschränkt Energiedaten über mehrere unabhängige Systeme erhoben und gespeichert. Dazu zählen die Gebäudeleittechnik (GLT), das partiell vorhandene Energiemanagementsystem (EMS) sowie weitere zusätzliche Datenserver des Hochschulrechenzentrums. Eine erfolgreiche Energiewende im Quartierskontext erfordert aber maximale Transparenz des Energiesystems. Dieser Leitgedanke muss für alle Energieformen gelten, um ein besseres Verständnis und ein valides Optimierungsmodell zu schaffen. Daher bildet das im Rahmen dieses Projektes entstehende umfassende Energiemonitoring die wesentliche Grundlage für die Entwicklung des digitalen Zwillings eines multi-modalen Energiesystems. Damit soll in Zukunft die (Live-) Betriebsoptimierung berechnet werden. Mit dem Monitoring und der darauf basierenden Modellierung können auch potentielle Modernisierungen des Energiesystems evaluiert werden. Als Eingabedaten sind neben der Prognose des Bedarfs die Parameter der Erzeugungsanlagen, Speicher und Netze notwendig. Zur Steigerung der Modellgüte des digitalen Zwillings soll die Qualität dieser Inputparameter durch Verwendung von Machine Learning Methoden gesteigert werden. Ein Beispiel ist der dynamische Wirkungsgrad von Erzeugungsanlagen als Funktion der Außentemperatur während des realen Systembetriebs. Eine weitere Anwendung ist die Erstellung von Prognosen zukünftiger Verbräuche für

eine langfristige Auslegungsoptimierung. Dazu werden Prognosemodelle des Campus entwickelt, die sich neben gemessenen historischen Verbrauchsdaten des Campus auf weitere externe Daten, wie z.B. Campusausbauplanung und Szenarien zur Gebäudenutzung stützt. Diese Prognosemodelle sollen entwickelt, getestet und als separate Zeitreihe ebenfalls in die Monitoring Datenbank integriert werden, um als Input des Digitalen Zwillings zu dienen.

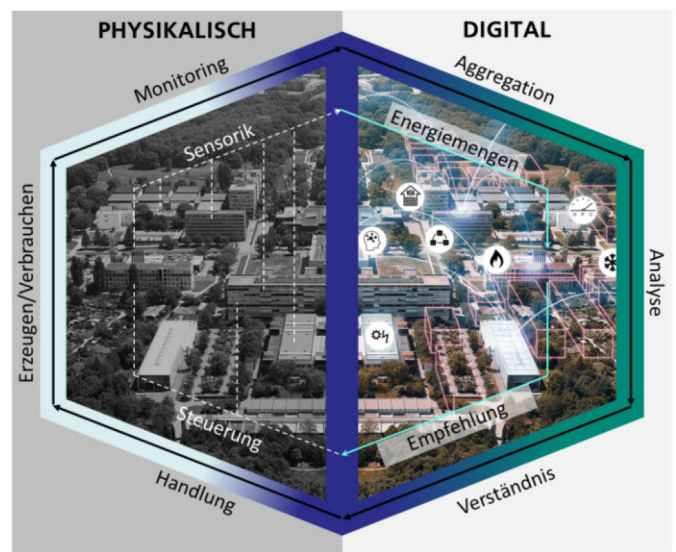


Abbildung 3 Konzeptionelle Darstellung des Digitalen Zwillings des Energiesystems Campus Lichtwiese

Die hierbei benötigte Messtechnik muss eine zeitliche Auflösung im Sekundenbereich bieten. Um diese sehr großen Datenmengen sinnvoll nutzen zu können, müssen Kommunikationsprotokolle und passende Datenbanken entwickelt werden. Darauf folgt die Erstellung eines komplexen multi-modalen Optimierungsmodells sowie die Entwicklung von intuitiv erfassbaren Darstellungen der Messdaten und Optimierungsergebnisse mit dem Ziel der Nutzung im Praxisbetrieb.

---

## Fernwärme der 4. Generation

---

**Zur Effizienzsteigerung der Wärmeversorgung ist die Verringerung der Temperaturen in der Fernwärme eine entscheidende Voraussetzung. Der Campus Lichtwiese dient als Reallabor, in dem untersucht wird, wie niedrige Temperaturen nicht nur in neuen Fernwärmenetzen, sondern auch in Bestandsnetzen erreicht werden können.**

### Netztemperaturen

Bei der Erzeugung und Verteilung von Wärme steht unter dem Begriff Fernwärme der 4. Generation die Absenkung der Netztemperatur im Vordergrund. Eine solche Absenkung ist nur möglich, wenn die Versorgungssysteme in den Gebäuden dies zulassen. Deshalb können Netz und Gebäude nicht unabhängig voneinander betrachtet werden. Durch eine Verringerung der Netztemperaturen sinken zum einen die thermischen Netzverluste und zum anderen steigt das Potential, regenerativ erzeugte Energie

aus Solar- oder Geothermie bzw. aus Abwärmequellen zu integrieren.

### Systemtemperaturen in Gebäuden

Der Schwerpunkt beim Thema Temperaturabsenkung in den Gebäuden liegt im Bereich der Validierung von Simulationsmodellen anhand von Messdaten des Architekturgebäudes und in der Erweiterung bestehender Modelle auf andere Nutzungstypologien und Baualtersklassen. Für alle Modelle werden die Potentiale und Grenzen einer gebäudeseitigen Absenkung der Vor- und Rücklauftemperaturen untersucht, um die Funktionstüchtigkeit des Konzepts für die Transformation des Energiesystems am Campus Lichtwiese nach 2030 nachzuweisen. Erweiterte Regelungsstrategien für unterschiedliche Sanierungsmaßnahmen sollen zur Steigerung der Energieflexibilität durch zyklisches Überheizen und Unterkühlen simulativ untersucht werden.

---

## Elektrischer Energiecampus

---

**Die Effizienzsteigerung elektrischer Energiesysteme führt häufig zu einer Steigerung leistungselektronischer Betriebsmittel im System, was wiederum in der Tendenz eine verschlechterte Spannungsqualität zur Folge hat. Um auch zukünftig eine normgerechte Qualität der Spannung auf Quartiersebene sicherstellen zu können, werden im Rahmen des Projektes Konzepte entwickelt, um auf Basis von Monitoringdaten und Erkenntnissen aus vorangegangenen Projekten die Spannungsqualität unter Einsatz der bestehenden Betriebsmittel zu steuern.**

Dazu wird im Rahmen des Projektes ein umfangreiches stationäres Power Quality Monitoring System

auf Basis von zentral angebundenen Netzanalysatoren im Campusnetz aufgebaut. Basierend auf den Monitoringdaten wird, neben der Sicherstellung einer normgerechten Spannungsqualität, die Spannungsabhängigkeit der elektrischen Lasten am Campus Lichtwiese untersucht. Die Kenntnis darüber soll zu einer besseren Ausnutzung des Spannungsbandes genutzt werden und damit für einen verbesserten Betrieb des elektrischen Netzes am Campus sorgen.

Weiterhin wird mit Hilfe des neuen Monitorings die hohe Grundlast des Campus tiefergehend untersucht, um insbesondere die großen Unterschiede zwischen Grund- und Spitzenlast der einzelnen Campusabschnitte besser zu verstehen.

---

---

## Energiekonzept „post 2030“

---

Es ist zu erwarten, dass in Zukunft die CO<sub>2</sub>-Emissionen der aus dem Netz bezogenen elektrischen Energie abnehmen werden. Grund ist der steigende Anteil regenerativer Quellen.

Weil diese Quellen aber volatil sind, könnte es günstig sein, die elektrische Energie nur zu Zeiten eines hohen Angebots regenerativen Stroms aus dem Netz beziehen zu müssen. Eine verstärkt strombasierte thermische Versorgung könnte folgende Komponenten beinhalten:

- zunehmende Nutzung von Erd- und Umweltwärme mit Wärmepumpen
- weiterhin zentrale Versorgung über Niedrig-Temperatur-Fernwärmenetz
- Unterstützung der Versorgung durch Solarthermie
- Kälteversorgung im Sommer durch Kompressionskältemaschinen

Als Basis des Energiekonzepts „post 2030“ wird zunächst ermittelt, welche Lücke zur Erreichung der Reduktionsziele noch geschlossen werden muss. Die Nutzung von Geothermie und Solarthermie kann in das vorhandene Modell der Energieversorgung des Campus Lichtwiese integriert werden. Anhand eines Vergleichs verschiedener Szenarien kann dann untersucht werden, wie die Energieversorgung „post 2030“ aussehen könnte. Im Fokus der Bewertung stehen das Einsparpotential an CO<sub>2</sub>-Emissionen, die Steigerung der Versorgungsflexibilität, Verfügbarkeit notwendiger Flächen, die Komplexität der Integration bzw. Umsetzbarkeit und erwartete Akzeptanz durch die Nutzer\*innen.

Ziel ist es, eine profunde Grundlage für das Energiekonzept für den Zeitraum nach 2030 zu erarbeiten und eine Entscheidungsvorlage für die Gremien der TU Darmstadt zur kaufmännischen und technischen Bewertung langfristiger infrastruktureller Investitionsprojekte zu entwickeln.

---

## Organisationsstruktur und Beteiligte

---

Die interdisziplinäre Zusammenarbeit bündelt die Forschungsexpertise der beteiligten Fachbereiche Architektur (Prof. Kuhn | ENB), Elektrotechnik und Informationstechnik (Prof. Hanson | E5 und Prof. Steinke | EINS) und Maschinenbau (Prof. Stephan und Dr. Dammel | TTD) und soll in einem iterativen Entwicklungsprozess das Erreichen der Projektziele gewährleisten.

Die direkt involvierten Verwaltungseinheiten sind das Dezernat V, Baumanagement und Technischer Betrieb und das Hochschulrechenzentrum. Das Forschungsprojekt gilt als Vorzeigebispiel für die zunehmenden Synergien und entsprechenden wechselseitigen Impulse innerhalb der Zusammenarbeit von Forschung und Verwaltung.

**Wissenschaftliche Leitung**  
FB Architektur | ENB | Prof. Kuhn  
Tel.: +49 6151 16-22950  
kuhn@enb.tu-darmstadt.de  
www.enb.architektur.tu-darmstadt.de

**Administrative Projektkoordination**  
Dezernat V G | Büro für Nachhaltigkeit  
Tel.: +49 6151 16-57230  
johanna.schulze@tu-darmstadt.de  
heike.bartenschlager@tu-darmstadt.de  
www.intern.tu-darmstadt.de/dez\_v

---