

EnEff:Stadt Campus Lichtwiese I

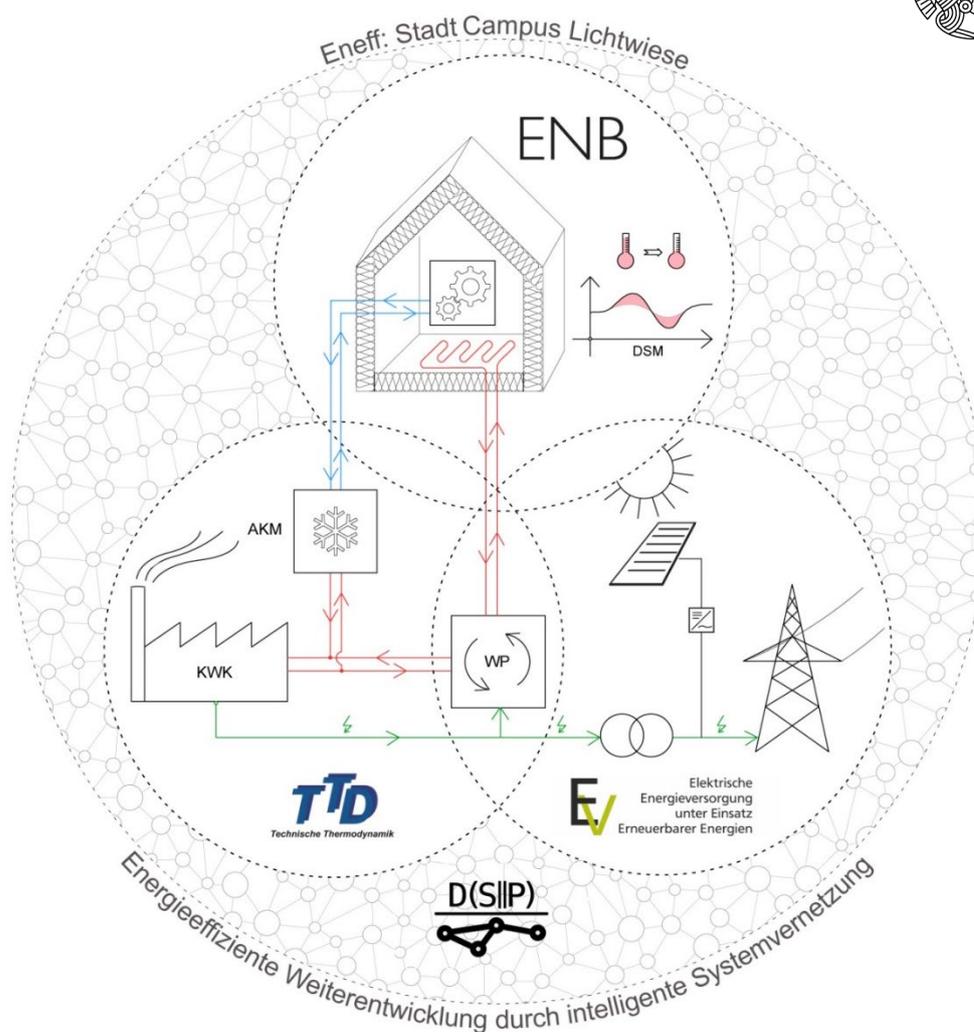
Energieeffiziente Weiterentwicklung des Campus Lichtwiese durch intelligente Systemvernetzung

Interdisziplinäres Forschungsprojekt (Fkz: 03ET1356 A)
im Rahmen des 6. Energieforschungsprogramms der Bundesregierung
Gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi)



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

EnEff Campus
Lichtwiese



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Technologie

PTJ
Projekträger Jülich
Forschungszentrum Jülich

EnEff:Stadt Campus Lichtwiese I

Energieeffiziente Weiterentwicklung des Campus Lichtwiese durch intelligente Systemvernetzung

In ihrem Energiekonzept vom September 2010 hat sich die deutsche Bundesregierung auf neue Ziele für eine umweltschonende, sichere und bezahlbare Energieversorgung festgelegt. Die Umsetzung dieses Konzepts erfordert Veränderungen auf allen Ebenen, die von internationalen und nationalen politischen und unternehmerischen Handlungs-ebenen über technische Innovationen bis hinunter zum individuellen Konsumverhalten reichen. Die mittlere räumliche Betrachtungsebene, das Quartier, wird dabei als idealer Handlungsraum angenommen. Hier verbinden sich politische Vorgaben, technische Möglichkeiten und dynamische Handlungsbereitschaft miteinander; sie können umfassende, schnelle und wirksame Veränderungen auslösen.

Gemeinsam mit der Universitätsleitung der TU Darmstadt haben die Partner des Projekts EnEff:Stadt Campus Lichtwiese I Ziele zur Verringerung der CO₂-Emissionen und des Primärenergiebedarfs der Universität bis 2050 definiert, die sich auf

das Energiekonzept der Bundesregierung aus dem Jahr 2010 beziehen.

Für dieses Forschungsprojekt wurden folgende Annahmen festgelegt:

- Bezugsjahr Endenergie: 2015 (Grundlage ist der gemittelte Energieverbrauch von 2013-2015)
- Bezugsjahr Treibhausgasemissionen: 1990
- Treibhausgasemissionen werden durch CO₂-Äquivalente angegeben
- Unter „Wärmebedarf“ wird ein endenergetischer Wärmebedarf verstanden.
- Regenerative Energien wirken in der Bilanz wie Effizienzmaßnahmen und werden vom Endenergiebedarf abgezogen.
- Die Bilanzgrenze umfasst den gesamten Campus Lichtwiese

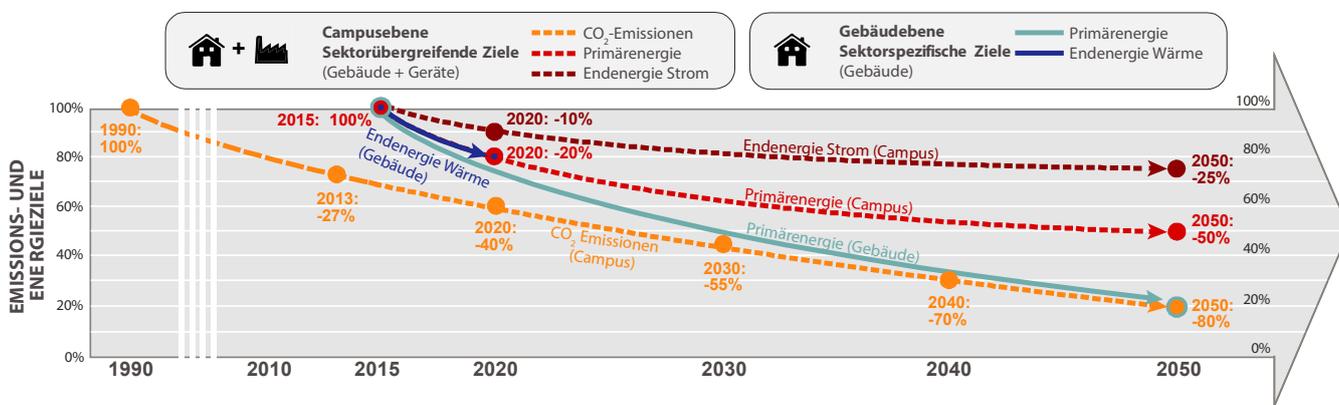


Abbildung 1 Energie- und Klimaziele der TU Darmstadt bis zum Jahr 2050

Ausgangssituation

Bevor Maßnahmen zur Verbesserung der Effizienz der Energieversorgung am Campus entwickelt werden können, muss zunächst der Ist-Zustand erfasst und modelliert werden. Dazu wurden gemeinsam mit dem Energiemanagement der Universität Daten zur aktuellen Gebäude-, Netz- und Versorgungsin-

frastruktur gesichtet und Messdaten zum Energiebedarf aus dem Energiemanagementsystem aufbereitet, um diese im Rahmen der Modellierung und Simulation des Systems nutzen zu können.

Die TU Darmstadt ist zwar Eigentümerin ihrer Energiezentrale und der entsprechenden Netze,

betreibt diese aber nicht selbst. Der Betrieb und die Instandhaltung sowie die Weiterentwicklung der Infrastruktur werden für jeweils 15 Jahre an einen externen Contractor vergeben. Aktuell ist dies die Entega Steag Wärme GmbH (ESW), ein Konsortium aus der ENTEGA AG und der Steag New Energies GmbH. Dadurch ist neben der Universitätsverwaltung auch die ESW ein wichtiger Ansprechpartner für die Projektteilnehmer, wenn es um die Umsetzung der in diesem Projekt entwickelten Vorschläge geht.

Wissenschaftliche Arbeitsziele

Die im Forschungsprojekt angestrebten wissenschaftlichen und technischen Arbeitsziele sind vielfältig. Letztendlich dienen alle ermittelten Ergebnisse in den Bereichen Gebäudemodernisierung, elektrische und thermische Energieversorgung sowie IT-Infrastruktur der Erreichung des übergeordneten Zieles, der Erreichung der Klimaschutzziele der TU Darmstadt. Die Untersuchungen der einzelnen Forschungspartner sind voneinander abhängig und beeinflussen sich gegenseitig, weshalb die übergeordneten Arbeitsziele nur durch intensive Abstimmung

der Projektpartner untereinander erreicht werden können. Dies wird insbesondere auch durch die enge Zusammenarbeit mit den Verwaltungseinheiten als zentrale Anlaufstellen im Projekt umfassend gewährleistet.

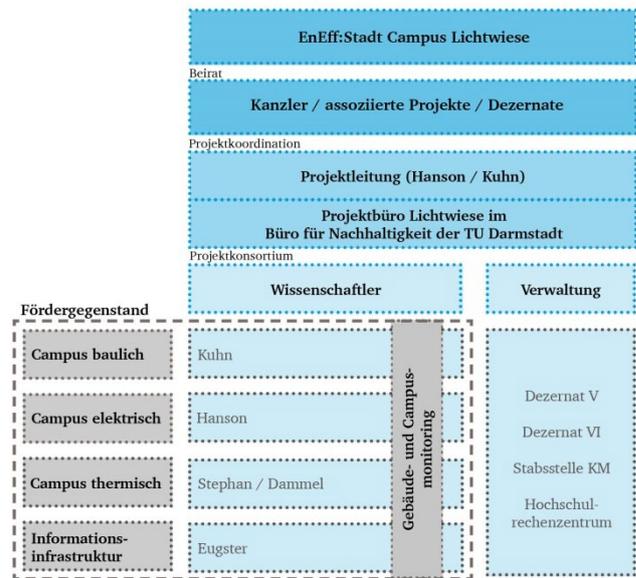


Abbildung 2 Projektstruktur

Ergebnisse

Die Ergebnisse des Projektes EnEff:Stadt Campus Lichtwiese haben gezeigt, dass sich die ambitionierten Energie- und Klimaschutzziele der TU Darmstadt nur dann erreichen lassen, wenn entsprechende Maßnahmen frühzeitig und koordiniert realisiert werden. Der Fokus liegt dabei auf der gemeinsamen Betrachtung aller relevanten Bereiche innerhalb des Energiesystems Lichtwiese, da das volle Potential an

Effizienzsteigerungen nur dann ausgeschöpft werden kann, wenn die verschiedenen Teilbereiche in Ihrem Zusammenspiel betrachtet und optimiert werden. Es ist nicht das primäre Ziel, den Energiebedarf einzelner Gebäude zu minimieren, sondern diejenigen Maßnahmen prioritär umzusetzen, die den größten Vorteil im Hinblick auf das Gesamtsystem versprechen. Die im Folgenden genannten Handlungsempfehlungen an das Baudezernat der TU Darmstadt berücksichtigen diesen Ansatz.

Campus baulich

Entwicklung von Sanierungsstrategien für den Gebäudebestand

Das Fachgebiet Entwerfen und Nachhaltiges Bauen hatte die Aufgabe, Strategien, Lösungsansätze und Handlungsoptionen für den Gebäudesektor auf dem Campus Lichtwiese zu entwickeln, durch die sich die Energie- und Klimaschutzziele der TU Darmstadt umsetzen lassen.

Hierfür wurden unterschiedliche Sanierungs-szenarien als Kombinationen aus Maßnahmen-paketen und verschiedener energetischer Standards (Effizienzniveaus) definiert. Es wurde zwischen baulichen und technischen Maßnahmen unterschieden. Sanierungspaket 1 (SP1) sieht lediglich den Austausch aller Fenster vor. SP2 hingegen entspricht einer vollständigen Sanierung der Hüllfläche (Decke unter EG, Außenwände, Dachflächen). In SP3 werden statt baulicher Maßnahmen nur technische Maßnahmen umgesetzt. SP4 ist schließlich eine Kombination von Maßnahmen zur Verbesserung des baulichen Wärmeschutzes und der Verbesserung der Anlagentechnik. Weiterhin werden drei unterschiedliche Effizienzniveaus unterschieden.

Die Auswertungen zeigen, dass sich die Sanierung der Gebäudetechnik (RLT, Wärmeversorgung, Beleuchtung) für alle Typgebäude wirtschaftlicher darstellt als die Sanierung der Gebäudehülle. Grund hierfür sind neben den geringeren Investitionskosten die höheren Energiepreise für Strom im Vergleich zur Wärme. Trotzdem ist eine Sanierung der Gebäudehülle bei besonders alten Gebäuden zur Vermeidung von Bauschäden auch aus Komfortgründen oft unumgänglich. Dies wurde bei der Auswahl typspezifischer Sanierungs-szenarien berücksichtigt. Die höchsten CO₂-Einsparungen können durch die Kombination baulicher und technischer Maßnahmen (SP4) erreicht werden. Der Einsatz von Photovoltaik (PV) refinanziert sich im angesetzten Betrachtungszeitraum. Der hohe Eigenverbrauchsanteil des solar erzeugten Stroms führt zu vergleichsweise kurzen Amortisationszeiten.

Abbildung 3 zeigt die ausgewählten typspezifischen Sanierungsszenarien, die einerseits eine ideale Balance aus Kosten- und CO₂-Einsparungen darstellen, aber auch Aspekte des Werterhalts der Immobilie und der Komfortverbesserung für die Nutzer berücksichtigen.

Gebäudevertreter							
Gebäudetyp	Institutsgebäude alt	Institutsgebäude neu	Versuchshalle alt	Versuchshalle neu	Sondergebäude	Sondergebäude	Laborgebäude alt
Sanierungspaket	Hülle+ Technik 	Technik 	Hülle+ Technik 	Technik 	Technik 	Fenster 	Hülle+ Technik 
Sanierungsniveau	optimiert 	optimiert 	optimiert 	optimiert 	optimiert 	optimiert 	optimiert 

Abbildung 3 Festlegung typspezifischer Sanierungsstrategien durch Auswahl von typgebäudebezogenen Sanierungsszenarien

Typisierung des Gebäudebestands

Anhand eines Typisierungsansatzes wurden Gebäude auf dem Campus mit vergleichbaren Merkmalen gruppiert (siehe Abbildung 4).

Ausgewählte, für ihren Typ repräsentative Gebäude mit guter Datenlage wurden als sogenannte „Typvertreter“ im weiteren Projektverlauf detailliert betrachtet.

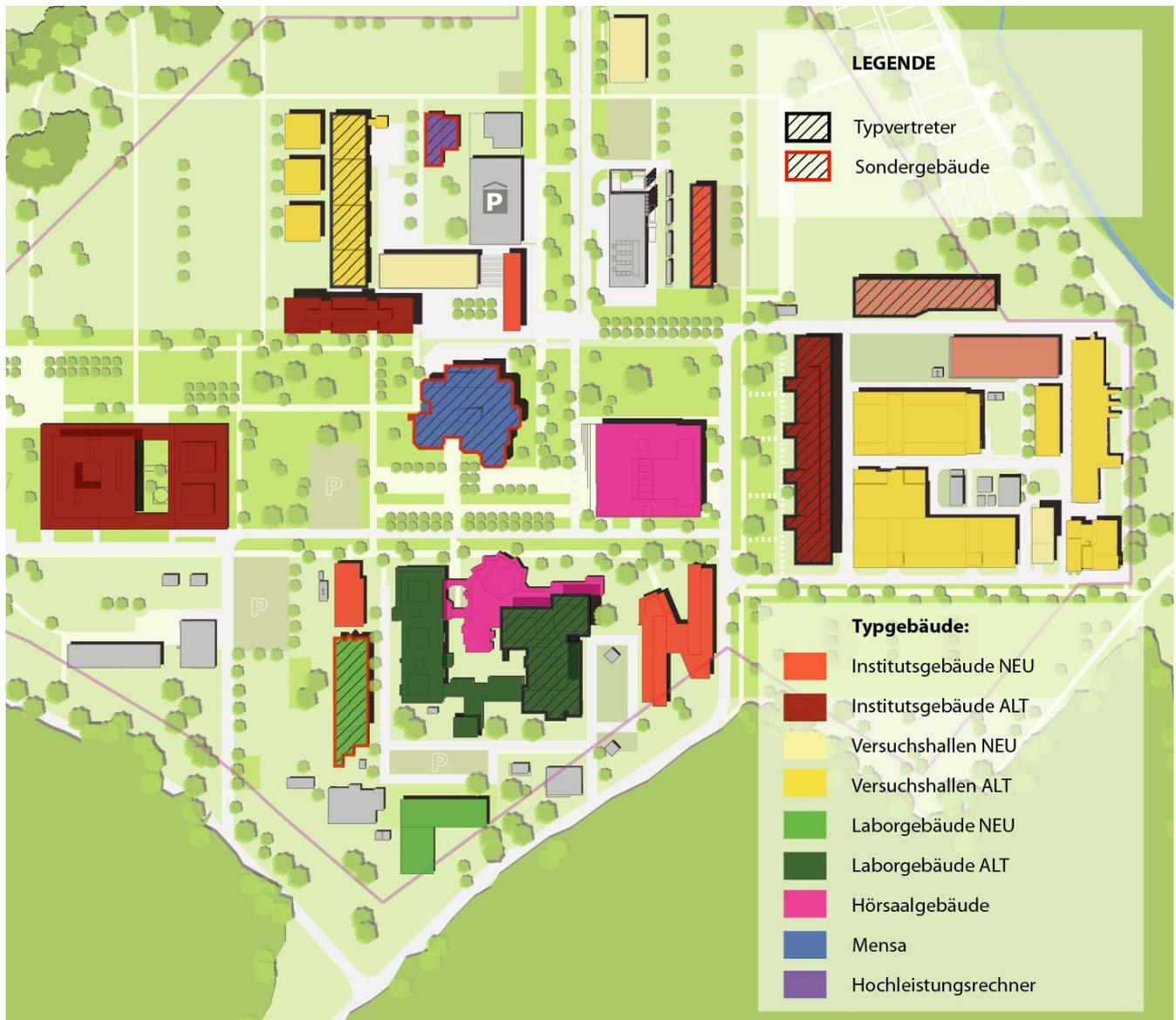


Abbildung 4 Lageplan mit Darstellung der Typgebäudezuordnung des Gebäudebestands

Einsparpotentiale von CO₂-Emissionen auf dem Campus Lichtwiese bis 2050

Die TU Darmstadt hat sich zum Ziel gesetzt, die CO₂-Emissionen für den Bereich der Lichtwiese gegenüber 1990 von ca. $149 \frac{kgCO_2}{m^2a}$ um 80 % auf ca. $29 \frac{kgCO_2}{m^2a}$ zu senken.

Die Ergebnisse einer Hochrechnung für das ambitionierteste Sanierungsszenario in Abbildung 5 zeigen, dass die thermische Energieversorgung durch die KWK bereits heute sehr energieeffizient und CO₂-

arm ist. Der dominierende Anteil bei den Gesamtemissionen fällt jedoch auf den nutzerbezogenen Stromverbrauch. Derzeit liegt die Steigerung des Stromverbrauchs als langjähriges Mittel bei 2,3 % pro Jahr. Erst durch einen gleichbleibenden, zukünftig nicht mehr ansteigenden Stromverbrauch ließe sich in Verbindung mit einem höheren Netzstromanteil und durch die angesetzte Verbesserung der CO₂-Faktoren für den deutschen Strommix eine CO₂-Emissionsminderung auf Campusebene von -80 % gegenüber 1990 erreichen.

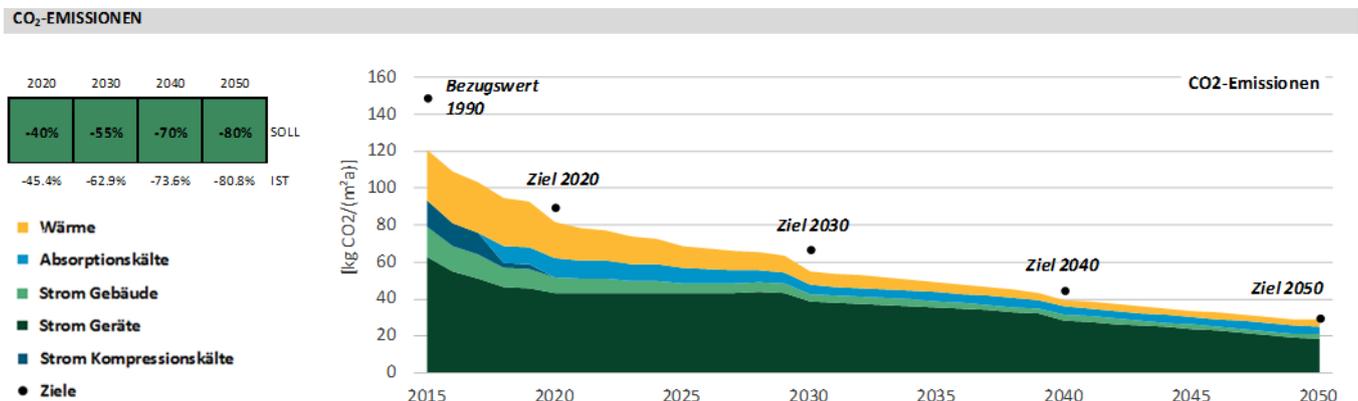


Abbildung 5 Zeitlicher Verlauf der CO₂-Emissionen auf dem Campus Lichtwiese bis 2050

Zusammenfassung und Ausblick

Die aktuelle Energieversorgung des Campus Lichtwiese basiert zu nahezu 100 % auf der Nutzung fossiler Energieträger (Erdgas). Der Stromverbrauch ist auf dem Campus für den höchsten Anteil an den CO₂-Emissionen verantwortlich. Hier werden zukünftig größere Anstrengungen nötig sein, damit der flächenbezogene Stromverbrauch auf lange Sicht nicht mehr ansteigt. In diesem Zusammenhang ist ein starker Ausbau von Photovoltaik (mindestens alle Dachflächen) ein wichtiger Baustein zur Effizienzverbesserung.

Die Instrumente zur Reduzierung der Wärmeverbräuche im Gebäudesektor durch energetische Gebäudesanierungen sind erprobt und Stand der Technik. Auch wenn aktuell die Wärmeerzeugung

durch KWK auf dem Campus sehr CO₂-effizient erfolgt, ist eine Sanierung der Gebäudehüllen aus mehreren Gründen trotzdem erforderlich: Neben Aspekten des Werterhalts der Immobilien, der Vermeidung von Bauschäden und einem besseren Nutzerkomfort, können durch die Reduzierung von Heizlasten die Systemtemperaturen wirksam abgesenkt werden. Damit werden Gebäude zu „Türöffnern“ für eine Absenkung der Netztemperaturen im Quartier und es bieten sich neue Handlungsoptionen für eine dekarbonisierte Energieversorgung. Durch die Erhöhung des Anteils erneuerbarer Wärme (Solarthermie, Abwärme, Umweltwärme) könnten zusätzliche Emissionsminderungspotentiale im Energieversorgungssystem der Lichtwiese nutzbar gemacht werden.

Campus thermisch

Zur Versorgung mit Wärme, Kälte und Strom verfügt die TU Darmstadt über ein eigenes Heizkraftwerk, das nicht nur den Campus Lichtwiese, sondern alle Liegenschaften der TU Darmstadt versorgt. Zu Beginn des Forschungsvorhabens im Jahr 2016 bestand das Heizkraftwerk aus drei Blockheizkraftwerken (BHKW) mit jeweils 1,95 MW elektrischer und 2,0 MW thermischer Leistung sowie sechs Erdgasheizkesseln, die zusätzlich 55,8 MW_{th} bereitstellen können. Über die BHKWs wurden zwei Drittel des Strombedarfs der Universität abgedeckt, während der restliche Strombedarf aus dem vorgelagerten Netz zugekauft wurde.

Thermische Netze

Die Wärmeversorgung der TU Darmstadt erfolgt über ein eigenes Fernwärmenetz mit einer Gesamtlänge von 13,5 km, wovon ca. 4 km den Campus Lichtwiese versorgen. Die Vorlauftemperatur im Fernwärmenetz der TU Darmstadt variiert zwischen 65 °C und 105 °C im Jahresverlauf, die Rücklauftemperatur liegt zwischen 50 °C und 75 °C. Ein Kältenetz steht nur am Campus Lichtwiese zur Verfügung und wird vor allem zur Prozesskühlung eingesetzt.

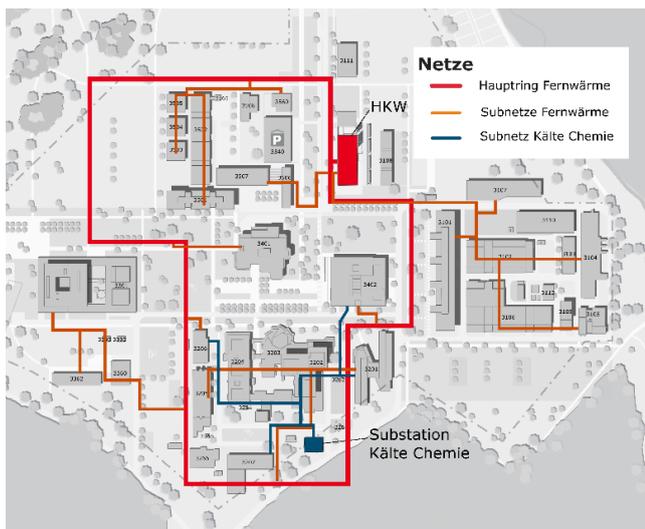


Abbildung 6 Netzplan Fernwärme Campus Lichtwiese Stand 2016

Wichtigster Abnehmer ist der universitätseigene Lichtenberg-Hochleistungsrechner. Bis 2017 wurde Kälte hauptsächlich dezentral bereitgestellt sowie im Fachbereich Chemie über ein lokales Netz an die dort befindlichen Gebäude verteilt. Zur Kälteerzeugung wurden bisher Kompressions-kälteanlagen verwendet. In Abbildung 6 sind die thermischen Netze am Campus Lichtwiese dargestellt, die zu Beginn des Projekts im Jahr 2016 vorhanden waren. Das Fernwärmenetz besteht aus einem Hauptring und Subnetzen in den einzelnen Quartieren.

Nutzung der Abwärme des Lichtenberg-Hochleistungsrechners

Das Hochschulrechenzentrum (HRZ) der TU Darmstadt betreibt am Campus Lichtwiese einen Hochleistungsrechner, der ab 2020 schrittweise durch eine neue Generation ersetzt wird. Rechenzentren haben einen hohen elektrischen Energiebedarf und erzeugen entsprechend große Mengen an Abwärme. Bisher wird diese Abwärme mittels einer Luftkühlung unter Aufwand von Kälteleistung an die Umgebung abgegeben. Da dies bei einer Temperatur zwischen 17 °C und 24 °C stattfindet, ist die Nutzung der Abwärme nicht sinnvoll. In der nächsten Rechnergeneration soll die Luftkühlung durch eine Warmwasserkühlung ersetzt werden. Die 1. Ausbaustufe des neuen Rechners, die im Frühjahr 2020 in Betrieb genommen werden soll, gibt unter Vollast eine Abwärmeleistung von ca. 360 kW bei einer Temperatur von 40-45°C an die Warmwasserkühlung ab. Im Rahmen des Projekts EnEff:Stadt Campus Lichtwiese wurde ein Konzept entwickelt, um diese Abwärme in das Fernwärmenetz am Campus einzuspeisen.

Dieses Konzept wurde mit dem ersten Preis beim Deutschen Rechenzentrumspreis 2017 in der Kategorie „Ideen und Forschung rund um das Rechenzentrum“ ausgezeichnet.

Die verfügbare Temperatur von 40 °C bis 45°C im Sekundärkreislauf ist niedriger als die derzeitigen Temperaturen im Fernwärmenetz. Deshalb muss das Temperaturniveau mit einer Wärmepumpe (WP) angehoben werden, damit die Wärme an das Fernwärmenetz übertragen werden kann. Um an der Wärmepumpe eine möglichst hohe Leistungszahl zu erreichen, wird die Wärme an den Rücklauf der Fernwärme übertragen. Zu beachten ist, dass dadurch der Rücklauf mit einer erhöhten Temperatur dem Heizkraftwerk zugeführt wird. Die Soll-Eintrittstemperatur der BHKWs beträgt 70 °C, sodass diese Temperatur nicht überschritten werden darf.

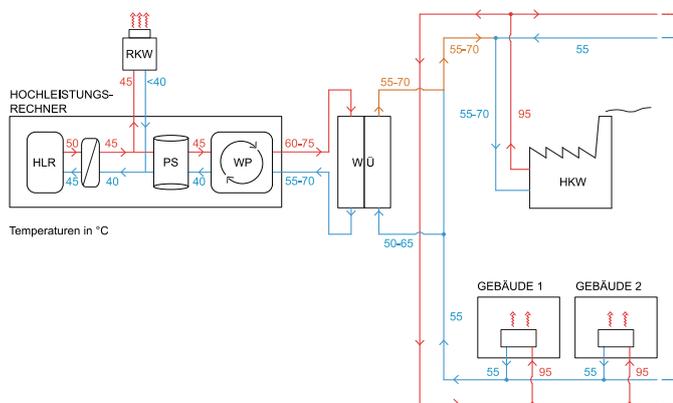


Abbildung 7 Vereinfachtes Schema der Abwärmenutzung. HLR: Hochleistungsrechner, WÜ: Wärmeübertrager, RKW: Rückkühlwerk, PS: Pufferspeicher, WP: Wärmepumpe, HKW: Heizkraftwerk

Für das Referenzszenario wurde angenommen, dass die Kompressionskältemaschine auch für den zukünftigen HLR mit der aktuellen Jahresarbeitszahl von 3,6 betrieben werden würde. Bevor der Rücklauf dieses Strangs im Heizkraftwerk endet, ist kein weiteres Gebäude angeschlossen.

Deshalb kann die Rücklauftemperatur an dieser Stelle bis auf maximal 70 °C angehoben werden. Um zu vermeiden, dass durch die Abwärmenutzung der Anteil der Kraft-Wärme-Kopplung an Strom- und Wärmeerzeugung erhöht wird und die CO₂-Emissionen insgesamt steigen, wird die Nutzung nur zugelassen, wenn dadurch keine BHKW-Wärme verdrängt wird.

In Abbildung 8 sind die Wärmemengen dargestellt, die in den einzelnen Monaten genutzt werden kön-

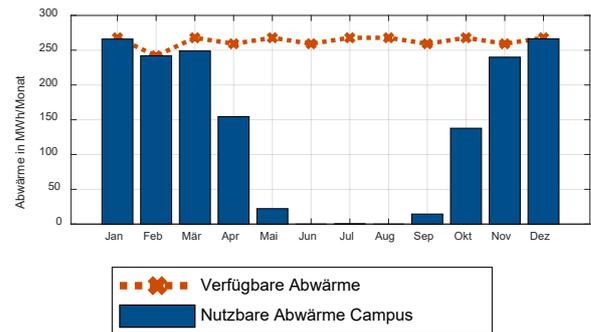


Abbildung 8 Verfügbare und nutzbare Abwärme des Hochleistungsrechners in der Campusvariante

nen. Im Winter kann die Abwärme vollständig genutzt werden, in den Sommermonaten kann keine Abwärme genutzt werden, weil in diesem Zeitraum die Summe aller Wärmebedarfe unter der Nennleistung der BHKWs liegt. Insgesamt können etwa 50 % der in einem Jahr anfallenden Abwärme in das Fernwärmenetz eingespeist werden. Dadurch und durch den deutlich reduzierten Bedarf an elektrischem Strom für eine Kompressionskältemaschine können im Vergleich zum Referenzszenario CO₂-Emissionen vermieden werden. Allerdings wird elektrischer Strom für die Wärmepumpe benötigt, wodurch sich die Einsparung an CO₂-Emissionen etwas verringert. Abbildung 9 zeigt monatsweise die drei Anteile und die daraus resultierenden CO₂-Einsparungen. Insgesamt können etwa 720 t CO₂ pro Jahr vermieden werden.

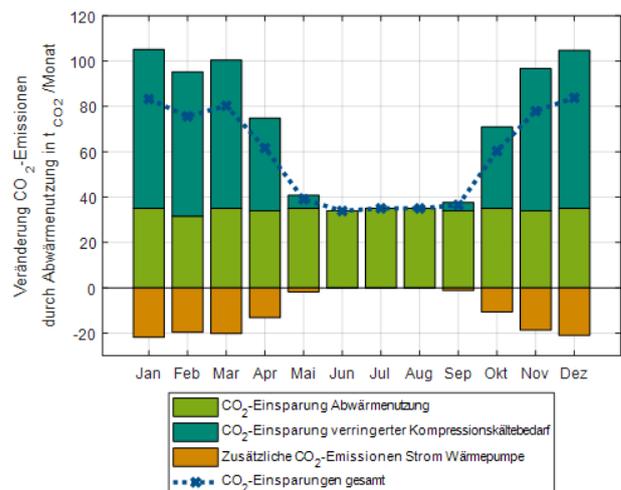


Abbildung 9 Einsparpotential an CO₂-Emissionen

Modellierung der Energieversorgung und Szenarienvergleich

Um die Auswirkungen zukünftiger Verbesserungen am Energiesystem Campus Lichtwiese auf die Zielgrößen CO₂-Emissionen und Energiebedarf bewerten zu können, wurden die energierelevanten Anlagen in einem MATLAB/Simulink-Modell abgebildet. Vier Szenarien wurden miteinander verglichen, wobei in den optimierten Szenarien neben den Erzeugungsanlagen auch Speicher berücksichtigt werden, die in der Realität noch nicht vorhanden sind:

- Szenario 2016: Ist-Zustand des Systems zu Beginn des Projektes im Jahr 2016, vor der Erneuerung der BHKWs und der Erweiterung des Erzeugungsparks um eine Absorptionskältemaschine, CO₂-Emissionsfaktor Netzstrom 2016 (0,516 tCO₂/MWh)
- Szenario 2018: Ist-Zustand am Ende des Projektes nach Erneuerung eines BHKW und Überholung der beiden anderen sowie Installation des Fernkälterings inklusive einer Absorptionskältemaschine, CO₂-Emissionsfaktor Netzstrom 2018 (0,472 tCO₂/MWh)
- Szenario 2018_{opt}: Optimierung der Anlagenauslegung und des Betriebs mithilfe der oben vorgestellten Betriebsstrategie inklusive Einsatz von thermischen Speichern, Integration der Abwärme des Lichtenberg-Hochleistungsrechners, CO₂-Emissionsfaktor Netzstrom 2018 (0,472 tCO₂/MWh)
- Szenario Lin.: Ergebnis einer linearen Auslegungsoptimierung der Erzeugungsanlagen und Speicher; CO₂-Emissionsfaktor Netzstrom 2018 (0,472 tCO₂/MWh)

Ergebnisse des Szenarienvergleichs

Abbildung 10 zeigt die Endenergiebedarfe in den verschiedenen Szenarien. Da sich der Bedarf des Campus an Strom und Wärme von 2016 bis 2018

nicht verändert hat, bleibt der Endenergiebedarf in Summe nahezu unverändert, nur die Anteile der einzelnen Anlagen verschieben sich. Mit dem Ersatz der bisherigen BHKWs durch neue größere und effizientere Anlagen konnte der Anteil der BHKWs an der Wärmeerzeugung von 44 % auf 46 % gesteigert werden und der Anteil an der Stromerzeugung von 70 % auf über 80 %.

In den Optimierungsszenarien 2018_{opt} und Lin. können leichte Einsparungen beim Endenergiebedarf erzielt werden. Dies ist vor allem auf den verringerten Kältebedarf des Hochleistungsrechners aufgrund der Warmwasserkühlung zurückzuführen. Gleichzeitig steigt der Wärmebedarf aufgrund der thermischen Verluste der Speicher leicht an. Die Unterschiede zwischen den beiden Optimierungsszenarien lassen sich damit erklären, dass im linearen Szenario die Verluste der Wärmespeicher unterschätzt werden.

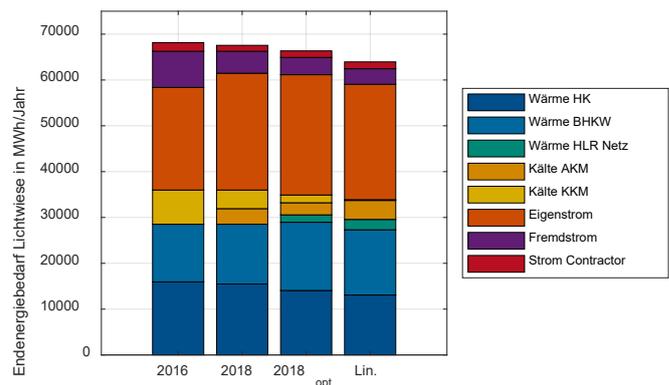


Abbildung 10 Vergleich Endenergiebedarf Lichtwiese nach Szenarien.

Durch die Erhöhung der BHKW-Leistung konnten die CO₂-Emissionen zwischen 2016 und 2018 um 10 % verringert werden. Den wichtigsten Beitrag liefert dabei die Verringerung der CO₂-Emissionen für Netzstrom, dessen Emissionen fast halbiert werden konnten.

Campus elektrisch

Potentiale des Einsatzes von Photovoltaik

Erneuerbare Energiequellen sind ein wichtiger Bestandteil für ein modernes Energieversorgungskonzept. Aus diesem Grund wurde im Rahmen des Projekts zusammen mit dem Fachgebiet ENB das Potential für die Nutzung von Photovoltaik Erzeugung auf dem Gelände des Campus Lichtwiese untersucht.

Zur Abschätzung des Potentials wurde untersucht wieviel PV-Anlagen auf den Dach- und Fassadenflächen der Gebäude auf dem Campus Lichtwiese installiert werden können. Zusätzlich zu dem aktuellen Gebäudebestand wurden die geplanten Neubauten bis zum Jahr 2050 bei der Untersuchung berücksichtigt. Anhand der installierten Leistung und historischen Daten bezüglich Globalstrahlung wurden die möglichen Energieerträge ermittelt. Die ermittelten potentiellen Erträge sind in Tabelle 1 gezeigt.

Anhand der Erzeugungsdaten wurde ein zeitaufgelöster Verlauf der möglichen PV-Einspeisung ermittelt. Die Einspeiseleistung für den Monat mit der

höchsten Einspeisung (Juni) und für die niedrigste Einspeisung (Januar) sind in Abbildung 11 dargestellt.

Die maximal mögliche Einspeisung durch PV-Anlagen liegt bei ca. 1,6 MW, was ca. 1/3 des maximalen Verbrauchs des Campus Lichtwiese entspricht. Weiterhin konnte ermittelt werden, dass der mögliche PV-Ertrag zu jedem Zeitpunkt durch Lasten der TU Darmstadt lokal verbraucht werden kann. Insgesamt kann die mögliche zusätzliche Einspeisung also problemlos in das Energieversorgungskonzept integriert werden.

Neben der reinen energetischen Betrachtung wurde zusätzlich untersucht welche Auswirkung die Integration auf den Betrieb des elektrischen Netzes hätte. Hierzu wurden die zusätzlichen PV-Quellen in das Netzmodell integriert. Durch die Untersuchungen konnte gezeigt werden, dass eine Integration in das bestehende Netz ohne weiteren Netzausbaubedarf realisiert werden könnte.

Tabelle 1 Potentieller Ertrag Photovoltaikanlagen nach Ausbaustufen

	Bestand	2020	2030	2040	2050	Summe
Dach	2457 MWh	177 MWh	341 MWh	601 MWh	151 MWh	3726 MWh
Fassade Ost	397 MWh	36 MWh	134 MWh	227 MWh	48 MWh	841 MWh
Fassade Süd	459 MWh	85 MWh	154 MWh	267 MWh	39 MWh	1002 MWh
Fassade West	403 MWh	40 MWh	136 MWh	216 MWh	47 MWh	842 MWh
Summe	3716 MWh	337 MWh	764 MWh	1311 MWh	282 MWh	6411 MWh

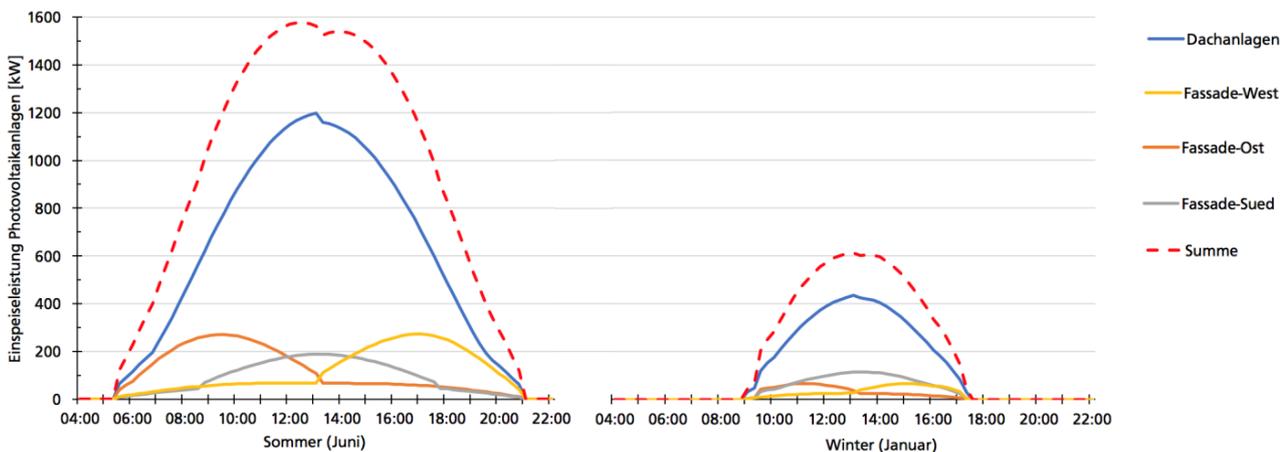


Abbildung 11 Potentielle PV-Tageserzeugungskurve Sommer / Winter

Integration von E-Mobilität auf dem Campus

Die steigende Zahl von Elektrofahrzeugen ist in Deutschland ein anhaltender Trend und stellt das Stromnetz vor neue Herausforderungen. Auf Basis von erfassten Lastprofilen und vom Netzbetreiber zur Verfügung gestellten Daten wurde ein Simulationsmodell des Campusgebietes erstellt. Der Ausbauplan für das Campusgelände wurde berücksichtigt, um eine nachhaltige Planung der zukünftigen Netzstruktur zu gewährleisten. Die Entwicklung der Elektromobilität wurde analysiert und die Schätzwerte bis zum Jahr 2050 auf die Situation auf dem Campus übertragen. Zwei Integrationskonzepte wurden erarbeitet und hinsichtlich der Belastung, des Spannungsbereichs und der Leistungsbilanz verglichen.

Für die Entwicklung der Elektromobilität wurden die Ergebnisse mehrerer Studien analysiert, um die Penetration von Elektrofahrzeugen für die Zukunft abzuschätzen. Der Auslastungsfaktor berücksichtigt eine Erhöhung der Batteriegröße und eine Verbesserung der globalen Ladeinfrastruktur, was den Ladebedarf reduziert.

Tabelle 2: Erwartete Durchdringung und Ladepunkte am Campus Lichtwiese

Jahr	EV Durchdringung	Auslastungsfaktor	Ladepunkte
2020	1,2 %	75 %	8
2030	13,3 %	25 %	32
2050	50 %	20 %	96

Zur Integration der Ladesäulen mussten geeigneten Punkten am Campus gefunden werden. Die zentrale Anordnung verwendet nur einen Anschlusspunkt zum Netz, das bestehenden Parkhauses des Campus Lichtwiese. Die dezentrale Anordnung nutzt mehrere Anschlusspunkte, die Standorte der aktuellen und zukünftigen Parkplätze.

Die Auslastung beider Transformatoren liegt bei kompletter Nutzung der Ladestationen bei 100 % und 108 %. Daher müssen Maßnahmen ergriffen werden, um einen sicheren Betrieb gewährleisten zu

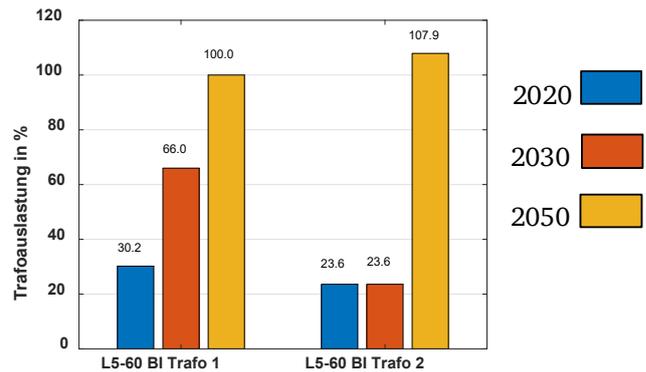


Abbildung 12 Auslastung der Transformatoren für die zentrale Anordnung

können. Werden die Transformatoren im Parallelbetrieb betrieben, kann die Belastung auf 98,75 % reduziert werden. Bei der dezentralen Anordnung tritt die höchste Belastung in der Schaltanlage L2-66 mit 65,5 % erreicht, was unkritisch ist.

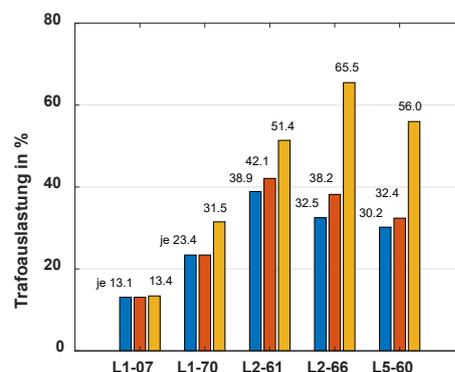


Abbildung 13 Auslastung der Transformatoren für die dezentrale Anordnung

Für die Leistungsbilanzanalyse wird die zusätzliche Wirkleistung für einen Tag berücksichtigt. Es zeigt sich, dass in beiden Konzepten fast die gleiche Menge an Wirkenergie benötigt wird.

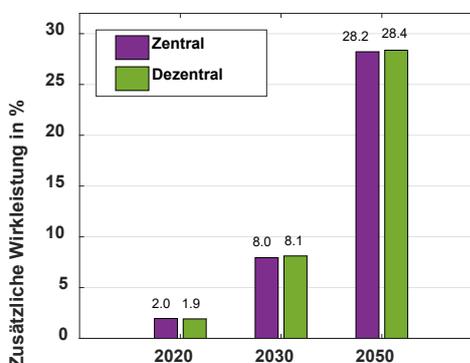


Abbildung 14 Zusätzliche Leistung pro Tag für beide Integrationskonzepte

Auswirkung des Einsatzes von Wärmepumpen auf das elektrische Netz

Die Wärmepumpentechnik spielt eine Schlüsselrolle bei der Verknüpfung der Bereiche thermische und elektrische Energie. Es wurden drei Szenarien entwickelt und betrachtet, die sich in Höhe und Intensität der elektrischen Leistungsaufnahme der Wärmepumpen unterscheiden. Es fand eine Steigerung von Szenario 1 bis hin zu Szenario 3 statt. Ziel dieser Szenarien ist es, Wärmepumpen einer definierten Größe den bestehenden Gebäuden auf dem Campus zuzuordnen. Das Referenz-szenario wird als Szenario 0 bezeichnet und betrachtet den aktuellen Zustand des Stromnetzes auf dem Campus. Als Beobachtungszeiträume für jedes Szenario werden drei Wochen gewählt. Aufgrund der thermischen Abhängigkeit sind Schwankungen zwischen den Jahreszeiten zu erkennen, daher wird eine exemplarische Woche im Winter, eine im Frühjahr und eine im Sommer berücksichtigt. Die Betrachtung der Kabel ist aufgrund der hohen Anzahl auf die Maximalwerte

reduziert. In Abbildung 15 ist zu erkennen, dass die Belastung aller Kabel in allen Szenarien unter der oberen Lastgrenze liegt.

In Abbildung 16 sind alle Niederspannungs-transformatoren aufgeführt, die neben der normalen elektrischen Last des jeweiligen Gebäudes auch die entsprechenden Wärmepumpen versorgen. Unter Berücksichtigung aller drei Szenarien ist die maximale elektrische Belastung im Szenario 3 zu erwarten. Daher werden die entsprechenden Werte mit dem Basis-szenario 0 verglichen. Die größten Veränderungen sind vor allem im Winter und Frühjahr zu beobachten, da der zusätzliche Wärmebedarf für die meisten Gebäude während dieser Jahreszeiten höher ist. Bei allen Transformatoren ist die Belastung nach der Integration der Wärmepumpen unkritisch. Trotz des verstärkten Einsatzes von Wärmepumpen über- oder unterschreitet keines der Szenarien den zulässigen Spannungsbereich. Die vorhandene Spannungsreduzierung durch die Wärmepumpen ist so gering, dass sie keine negativen Auswirkungen auf den Netzbetrieb hat.

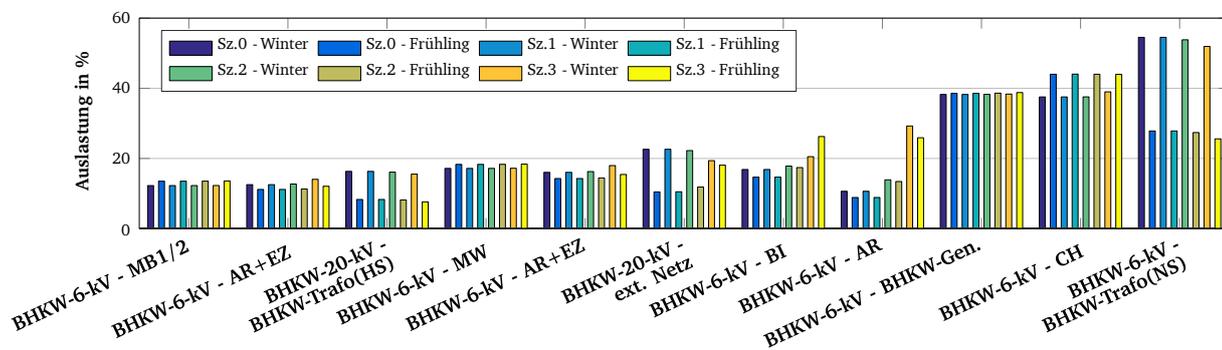


Abbildung 15 Maximale Kabelauslastung im Winter und Frühjahr für jedes Szenario

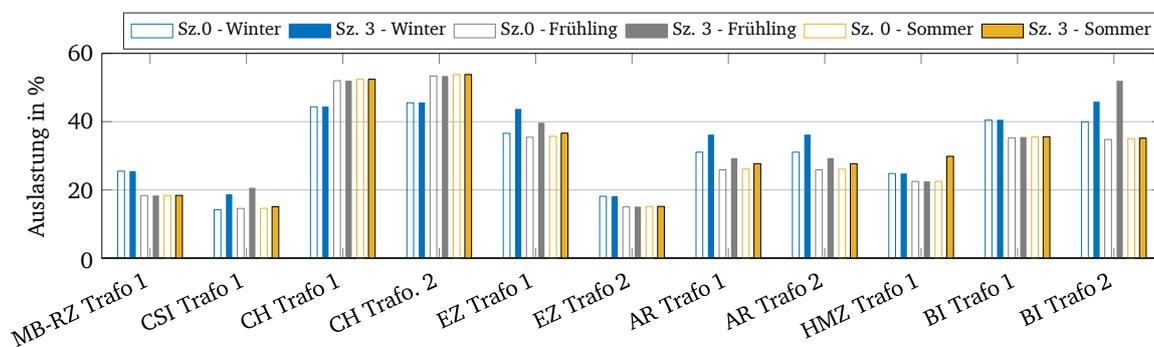


Abbildung 16 Maximale Auslastung der Niederspannungstransformatoren

Ausblick Phase II

In Phase II des Projektes EnEff:Stadt Campus Lichtwiese (2019-2022) steht die Realisierung von Maßnahmen zur Verringerung der CO₂-Emissionen im Vordergrund. Um diese Umsetzungsprojekte erfolgreich zu bearbeiten, wird die bereits bisher intensive Zusammenarbeit zwischen Forschung und Verwaltung weiter ausgebaut und das Energiemanagement der TU Darmstadt noch stärker in das Projektteam integriert. Neben der Abwärmenutzung des Hochleistungsrechners soll im Architekturgebäude eine Feldstudie zur Absenkung der erforderlichen Temperatur bei der Heizwärmeversorgung erstellt werden, auf der die Entwicklung einer allgemeinen Strategie zur Absenkung der Temperaturen in der Fernwärmeversorgung aufbauen soll. Zudem wird in Phase II ein umfassendes medienübergreifendes Energiemonitoring am Campus Lichtwiese realisiert,

das neben den Leistungsverläufen der einzelnen Gebäude auch die Power Quality auf der Mittelspannungsebene des Netzes misst. Das Monitoring liefert die Grundlage für eine detaillierte Abbildung des Energiesystems des Campus, den „Digitalen Zwilling“. Dieser soll langfristig die Möglichkeit bieten, sowohl den Betrieb des Energiesystems unter Berücksichtigung aller Energiearten (Strom, Wärme und Kälte) in Echtzeit zu optimieren als auch das Integrationspotential neuer Technologien für zukünftige Erweiterungen im Detail evaluieren zu können.

Am Ende der Phase II soll ein neues Konzept für das Energiesystem ab 2030 stehen, hinterlegt mit konkreten Handlungsempfehlungen für kosteneffiziente Maßnahmen zur Erreichung der gesteckten Klimaschutzziele.

Projektbearbeitung

Wissenschaftliche Leitung

Prof. Dr. Jutta Hanson

Fachbereich Elektrotechnik

Fachgebiet Elektrische Energieversorgung unter Einsatz Erneuerbarer Energien – E5

Tim Plößer und Dominik Maihöfner

Prof. Dr.-Ing. Peter Stephan

Fachbereich Maschinenbau

Fachgebiet Technische Thermodynamik – TTD

Dr.-Ing. Frank Dammel

Johannes Oltmanns

Prof. Christoph Kuhn

Fachbereich Architektur

Fachgebiet Entwerfen und Nachhaltiges Bauen – ENB

David Sauerwein und Theresia vom Stein, unter Mitarbeit von: Niall Fitzgerald

Administrative Projektkoordination

Dezernat V | Büro für Nachhaltigkeit

Tel. +49 6151 16-57230

heike.bartenschlager@tu-darmstadt.de

johanna.schulze@tu-darmstadt.de

www.intern.tu-darmstadt.de/dez_v