

INNOVATIVE ENERGIEVERSORGUNG IM NEUBAU am Beispiel des Fraunhofer IEE





VORWORT

Als das vormalige Landesinstitut ISET (Institut für Solare Energieversorgungstechnik) des Landes Hessen im Jahre 2008 die Chance erhielt, in die Fraunhofer Gesellschaft aufgenommen zu werden, konnte zwischen Bund und Land der Bau eines neuen Institutsgebäudes verhandelt werden. Zu jenem Zeitpunkt war die Wahrnehmung des Klimaproblems – mit dem besonderen Fokus auf die Notwendigkeit einer fundamentalen Transformation des Energiesystems – massiv gestiegen. Das Vorhaben eines großen Institutsneubaus löste für uns nicht nur das Problem, der in dieser Phase stark gestiegenen Zahl von Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern eine neue, gemeinsame Heimat zu geben, sondern bot auch die Möglichkeit, dem inhaltlichen Erkenntnisfortschritt des Institutes, nämlich wie ein zukünftiges Energiesystem konstruiert werden müsse, eine weithin sichtbare, äußere Gestalt zu geben.

Dem Gewinner des europäisch ausgeschriebenen Architektur-Wettbewerbs hatten wir ins Baubuch geschrieben, eine „Leitwarte der Energiewende“ zu gestalten, sodass erkennbar würde, dass hier ein Ort sei, an dem diese existentiellen Fragen mit wissenschaftlicher Akribie bearbeitet würden. In Zusammenarbeit mit dem Architekturbüro ging es darüber hinaus auch darum, ein Gebäude zu schaffen, das in seiner lokalen, städtischen Umgebung als Referenzobjekt dafür dienen könne, wie ein modernes

Gebäude Klimaneutralität erreicht. Mit Architekt und technischem Gebäudeausstatter (TGA) wurden eine Vielzahl von Varianten der Heiz-, Kühl- und Lüftungstechnik miteinander verglichen.

Die Programmatik, die sich mit dem neuen Institutsnamen „Institut für Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik“ ausdrückt, erforderte auch, dass das Gebäude nicht den allerneuesten (und damit teuersten) technischen „Schrei“ demonstrieren, sondern zudem nachweisen sollte, dass Energiewende zu wirtschaftlichen Bedingungen möglich ist. Aus diesem Grunde wurde beispielsweise bewusst darauf verzichtet, die Fassade vollständig mit Photovoltaik-Panels auszurüsten. Aufgrund des ungünstigen Einstrahlwinkels, der vielen Flächendurchbrüche, der Wetterfestigkeit und Spannungsisolierung, der Bauteilzertifizierung, u.a. ist Fassaden-PV auch heute nur schwer wirtschaftlich darstellbar. Anstattdessen wurde gezielt eine kleinere Anzahl an PV-Panels in die Fassade integriert, um deren Performanz langfristig studieren zu können – was auch optisch eine interessante Wirkung erzeugt.

Unter der spannenden Herausforderung zwischen zukunftsweisender Technik und wirtschaftlicher Optimierung sind in diesem Gebäude Lösungen gefunden worden, die als Referenz überzeugend wirken können. Eine



solche Gebäudetechnik stellt einen komplexen „Organismus“ dar, der erst allmählich „laufen lernen“ muss. Deshalb haben wir ein Begleitprojekt ins Leben gerufen, um diese „Tuning“-Phase wissenschaftlich zu begleiten. Auf den folgenden Seiten dieses Projektberichtes ist dieser Lernprozess im Umgang mit der Steuerung, Regelung und Automatisierung dieser neuen Gebäudetechnik dokumentiert. Wir hoffen, dass unsere Erfahrungen mit diesem innovativen Gebäude viele zukünftige Baufrauen und Bauherren inspirieren kann. Wir freuen uns über viele Leserinnen und Leser dieses Reports und freuen uns auch, wenn wir den einen oder die andere Interessentin in unserem Gebäude begrüßen dürfen.

Prof. Dr. Clemens Hoffmann

Fachgebietsleiter Integrierte Energiesysteme
der Universität Kassel
(Institutsleiter Fraunhofer IEE von 2012–2021)

DAS PROJEKT

Am Neubau des Fraunhofer-Instituts für Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik IEE wurde aufgezeigt, welche Chancen sich ergeben, wenn innovative Technologien und Systeme in Gebäude integriert werden. Das Projekt beinhaltete ein umfangreiches Monitoring aller relevanten Anlagenparameter und Zustandsgrößen. Zudem wurden Daten erhoben und ausgewertet, die dem raumklimatischen Komfort und der Nutzerzufriedenheit dienen. Weiter konnte die Gebäudetechnik hinsichtlich der End- und Primärenergieverbräuche im Hinblick auf die energetischen Zielvorgaben bewertet und das Zusammenspiel aller Komponenten optimiert werden. Speziell in der Inbetriebnahmephase aber auch in der Lernphase im ersten Betriebsjahr konnten Fehlfunktionen detektiert und Parametereinstellungen nachjustiert werden.

Folgende Aspekte wurden detailliert untersucht:

- Gesamtgebäudeentwurf
- zentrales Heiz- und Kühlkonzept
- Nutzerinteraktion und Nutzerzufriedenheit

Gleichzeitig wurde analysiert, wie sich die Ergebnisse und technologischen Ansätze auf weitere Nichtwohngebäude mit komplexer Energieversorgung übertragen lassen. Die Bewertung der Gesamtenergieeffizienz sollte aufzeigen,

welche Anforderungen es zukünftig für Niedrigenergiestandards speziell im Bereich der öffentlichen Nichtwohngebäude gibt.

Optimierter Energiebetrieb

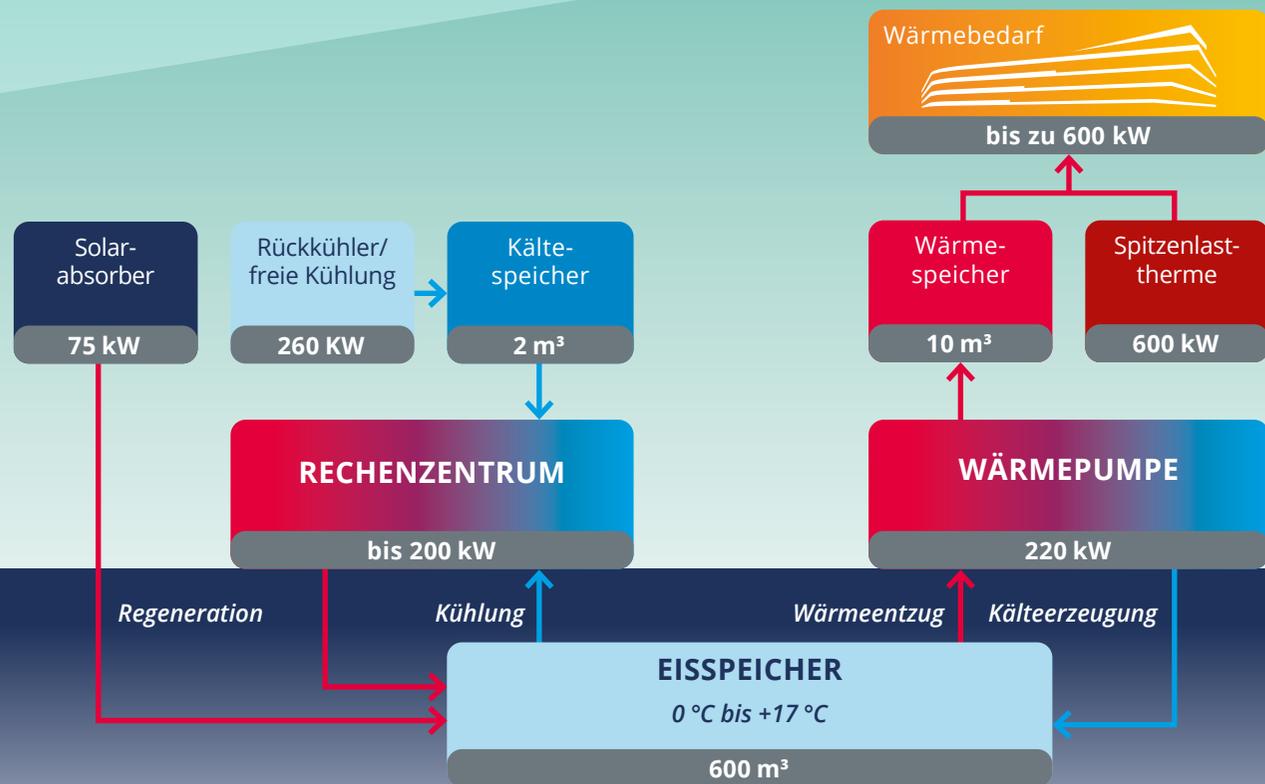
Dem Neubau des Fraunhofer IEE liegt ein ambitioniertes Gebäude- und Anlagenkonzept zu Grunde. Dieses erwärmt Büros und Labore über eine Eisspeicher-Wärmepumpe, nutzt dafür Abwärme aus dem Rechenzentrum sowie Wärme von Solar-Luft-Absorbern. Strom wird über fassadenintegrierte Photovoltaikmodule erzeugt. Über nächtliche Querlüftung und Eisspeicherkälte wird im Sommer ein kühles Klima für effektives Arbeiten erzielt. Mit einer Kombination aus außenliegender Verschattung, aktiver Betonkerntemperierung, Wärmepumpe und Eisspeichertechnologie sowie zentralen und dezentralen Lüftungsgeräten wird das Gebäude effizient und emissionsarm betrieben. Durch die Integration eines Monitoringsystems wurde der Betrieb im Rahmen dieses Projektes mess- und simulationstechnisch analysiert und hinsichtlich Energieverbrauch und Nutzerkomfort optimiert. Die Kombination von innovativer Technik und einem flexiblen Mess-, Steuerungs- und Regelungssystem ermöglicht über den Rahmen dieses Projekts hinaus weiterführende Forschungsfragen am Neubau des Fraunhofer IEE zu bearbeiten.



Visualisierung des Wärmekonzepts

Heizen und Kühlen intelligent kombiniert

Im Rechenzentrum des Instituts fällt ganzjährig Abwärme an. Diese dient als zentrale Wärmequelle zur Beheizung des Gebäudes. Über den Eisspeicher wird diese Abwärme zwischengespeichert und nutzbar gemacht. Dementsprechend wird der Eisspeicher hierüber regeneriert. Im Sommer wird der Eisspeicher vorrangig zur Kühlung des Gebäudetrakts genutzt. Dabei kann über die dezentralen Lüftungsanlagen ortsabhängig und über die Betondecken bedarfsorientiert gekühlt werden. Im Winter wird die gewonnene Wärme dann über die Wärmepumpe zur Beheizung des Gebäudes verwendet. Aus wirtschaftlichen Gründen wird die Wärmepumpe in Spitzenlastzeiten durch eine Gas-thermenkaskade unterstützt.



THEMENSCHWERPUNKTE

Gebäudeentwurf

Auf dem alten Zollgelände der Deutschen Bahn, das von der Stadt Kassel übernommen wurde, ist in der Nähe des Kulturbahnhofs Kassel das neue Institutsgebäude des Fraunhofer IEE gebaut und 2022 in Betrieb genommen worden. In dem aus Büro- und Laborräumen bestehenden, neuen Gebäudekomplex sollten die bisherigen Kasseler Standorte mit ihren ca. 450 Mitarbeiter:innen unter einem Dach vereint werden. Die Finanzierung erfolgte jeweils durch 30 Mio. Euro vom Land Hessen sowie vom Bundesforschungsministerium BMBF.

Nach einem mehrjährigen Planungsprozess, in dem das Architekturbüro HHS Planer + Architekten sowie die Anlagenplaner von enco energie consulting ein innovatives Gebäude- und Anlagenkonzept entwickelten, erfolgte der symbolische Spatenstich am 20.9.2017.



© Fraunhofer IEE

Das 4-geschossige Gebäude bietet den Mitarbeitenden mit einer Bürofläche von 5.350 m² 320 Arbeitsplätze. Darüber hinaus stehen den Fachabteilungen im Technikum auf 2.150 m² unterschiedliche Labore zur Verfügung. Aufgrund vermehrter Nutzung von Homeoffice wurde dem Wunsch der Mitarbeitenden nachgegangen und im Neubau eine flexible Arbeitsumgebung umgesetzt. Durch Desk-Sharing gibt es Büroarbeitsplätze für alle Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter.

Die Fassade im Erdgeschoss des Gebäudes ist als 3-Scheiben-Vorhangfassade ausgeführt. In den übrigen Geschossen wurde eine Bandfassade umgesetzt, bei der zusätzliche Blindelemente neben einem außenliegenden Sonnenschutz dafür sorgen, dass die Büroflächen im Sommer nicht überhitzt werden. Die Energieeffizienz wird verbessert, indem in einige nach Süden ausgerichtete Blindelemente Photovoltaik (BIPV) integriert wurden.



© Fraunhofer IEE



© Fraunhofer IEE



©www.studio-khf.de

Im Eingangsbereich des Gebäudes wurde ein großes Atrium realisiert, das alle Geschosse miteinander verbindet und aufgrund der guten akustischen Eigenschaften auch für größere Veranstaltungen genutzt werden kann. Eine Kantine sowie großzügige, offene Besprechungsflächen fördern das soziale und fachliche Interagieren der Forschenden.



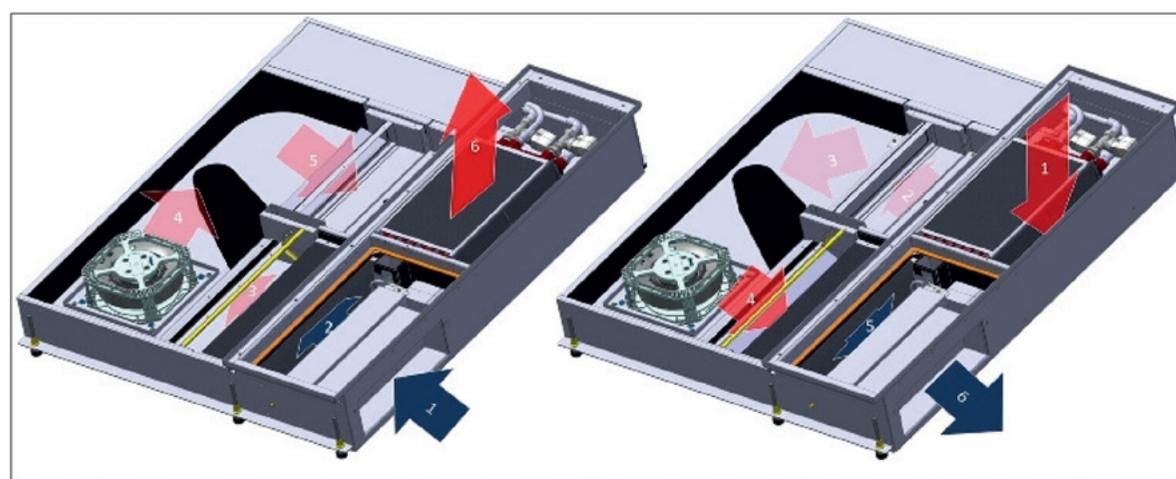
© Fraunhofer IEE / André Rauchhaupt

Gebäudetechnik

Die energetische Versorgung des Fraunhofer IEE Neubaus wird über viele verschiedene Komponenten sichergestellt. Um einen zufriedenstellenden Nutzerkomfort zu erreichen, muss das Zusammenspiel dieser Komponenten gut aufeinander abgestimmt werden.

Ein sehr großer Anteil der Wärme wird über Solarthermie sowie über die Abwärme des internen Rechenzentrums bereitgestellt. Für die Zwischenspeicherung dieser Abwärme ist ein Eisspeicher installiert, der zur Kühlung des Rechenzentrums eingesetzt wird. Mit einer Größe von 600 m³ und einer thermischen Kapazität von ca. 50 MWh wird der Eisspeicher im Winter als Wärmespeicher und im Sommer als Kältespeicher verwendet. Je nach Bedarf wird im Sommer damit passiv gekühlt und im Winter mit Hilfe einer Wärmepumpe geheizt. Die Abwärme des Rechenzentrums wird durch Nutzung des Eisspeichers bei einer anstehenden Heizlast im Gebäude über die Wärmepumpe nutzbar. Die Wärmepumpe mit einer thermischen Leistung von ca. 220 kW stellt den Hauptanteil des Wärmebedarfs für das Gebäude bereit. Für die Betriebssicherheit bei Ausfall einer Komponente sowie für die Deckung von Spitzenlasten sorgt eine Gasthermen-Kaskade mit einer thermischen Leistung von bis zu 600 kW. Um die Wärme an die Räume abzugeben, sind mit Fußbodenheizflächen, statischen Heizkörpern und zentralen und dezentralen Lüftungsanlagen verschiedene Übergabesysteme vorhanden.

Exkurs: Funktion der dezentralen Lüftungsanlagen.



EIN-Atmen (Winterfall)

AUS-Atmen (Winterfall)

Quelle: LTG Air Tech Systems

Die gezeigte Grafik bildet den Regelbetrieb einer dezentralen Lüftungsanlage ab. Hierbei wird in 2 Zyklen (Ein- und Ausatmen) belüftet. Beim Einatmen, links abgebildet, wird Luft aus der Umgebung angesaugt und über einen Wärmeübertrager (Wärmerückgewinnung) an den Raum abgegeben. Dies geschieht zwanzig Sekunden lang, wonach auf Ausatmen umgeschaltet wird.

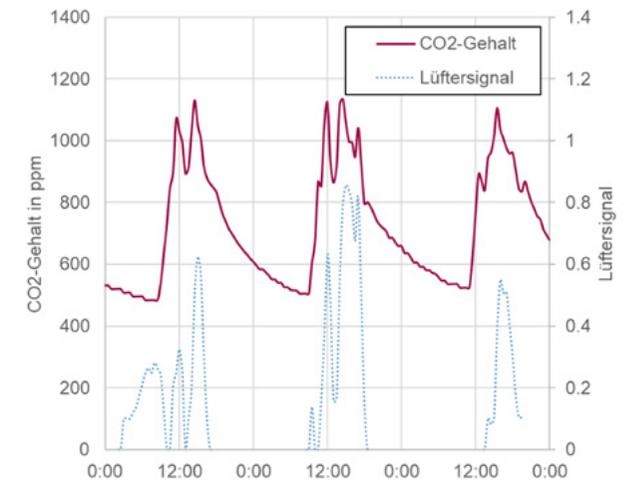
Das Ausatmen (rechtes Bild) funktioniert genau wie das Einatmen, nur mit dem Unterschied, dass Luft aus dem Innenraum abgesaugt wird. Die Wärme aus dem Raum wird dabei an den Wärmeübertrager abgegeben, wobei ca. 90 % der Wärme zurückgewonnen werden kann.



©Fraunhofer IEE

Für die Kühlung bzw. Reduzierung des Kühlbedarfs in den Büroflächen nehmen die dezentralen Lüftungsanlagen eine führende Rolle ein. Neben dem außenliegenden Sonnenschutz ermöglichen die dezentralen Lüftungsanlagen mittels Nachtquerlüftung eine Reduzierung des Kühlbedarfs. Die Anlagen sind im ganzen Gebäude verteilt und können autonom, aber auch im Kollektiv arbeiten. Im Falle der Nachtquerlüftung arbeiten alle Lüftungsanlagen zusammen und erzeugen eine Querdurchströmung durch den Gebäudekern. Dabei saugen die Anlagen auf einer Fassadenseite kühle Luft aus der Umgebung an und geben aufgeheizte Raumluft auf der gegenüberliegenden Fassadenseite wieder an die Umgebung ab. In den Türzargen befinden sich Überströmöffnungen, die ermöglichen, dass die Luft durch das ganze Gebäude strömt. Durch die niedrigeren nächtlichen Außentemperaturen kühlt somit das Gebäude ab. Für heißere Phasen im Sommer mit vergleichsweise tropischen Nächten wird der Eisspeicher herangezogen. Dessen Kühlenergie wird über die dezentralen Lüftungsanlagen und den installierten Betonkern abgegeben. Wenn die Solltemperaturen im Sommer überschritten werden, kann über die dezentralen Lüftungsanlagen gekühlt werden. Falls das nicht ausreicht, wird raumübergreifend die Abkühlung des Betonkerns vorgenommen, wodurch das gesamte Gebäude abgekühlt wird.

Zur Sicherung der Luftqualität im Raum reagieren die dezentralen Lüftungsanlagen auf die im Raum gemessene CO₂-Konzentration. Ab einem Wert von 1000 ppm schaltet sich die Lüftung an und tauscht die Luft im Raum aus bis wieder ein Wert von kleiner 1000 ppm erreicht ist.



Gebäudesteuerung und Monitoring

Der Projektpartner Smartrplace hat am Neubau des Fraunhofer IEE die übergeordnete Gebäudeleittechnik (GLT) realisiert. Eine wesentliche Aufgabe dieser GLT ist die Zusammenführung der Datenpunkte aus dem BACnet-Automationsystem, das die Gewerke Heizung/Lüftung/Klima (HLK) abdeckt und dem KNX-Automationsystem, das vor allem die Steuerung der Beleuchtung und der Jalousien umfasst. Die Gebäudeleittechnik ermöglicht ein übergreifendes Monitoring aller Messdaten aus beiden Bereichen der Gebäudeautomation. Darüber hinaus stellt die GLT eine Konfigurationsoberfläche für die Raumautomation zur Verfügung – mit einem „virtuellen Raumbediengerät“ als zentrales Element.

Die Gebäudeleittechnik ist so konzipiert, dass ca. 7.000 Hardware-Datenpunkte aus beiden Systemen für einen Zeitraum von mehr als 10 Jahren aufgezeichnet werden können. Es werden diverse Charts generiert, um die Daten strukturiert zu visualisieren. Außerdem wurden Exportfunktionen sowie eine REST-API zum Abruf der Daten für Forschungszwecke implementiert. Auf diese Weise kann das eigene Gebäude vom Fraunhofer IEE auch als „Living Lab“-Umgebung genutzt werden.

Smartrplace hat basierend auf dem Open-Source-Betriebssystem OGEMA, das gemeinsam von mehreren

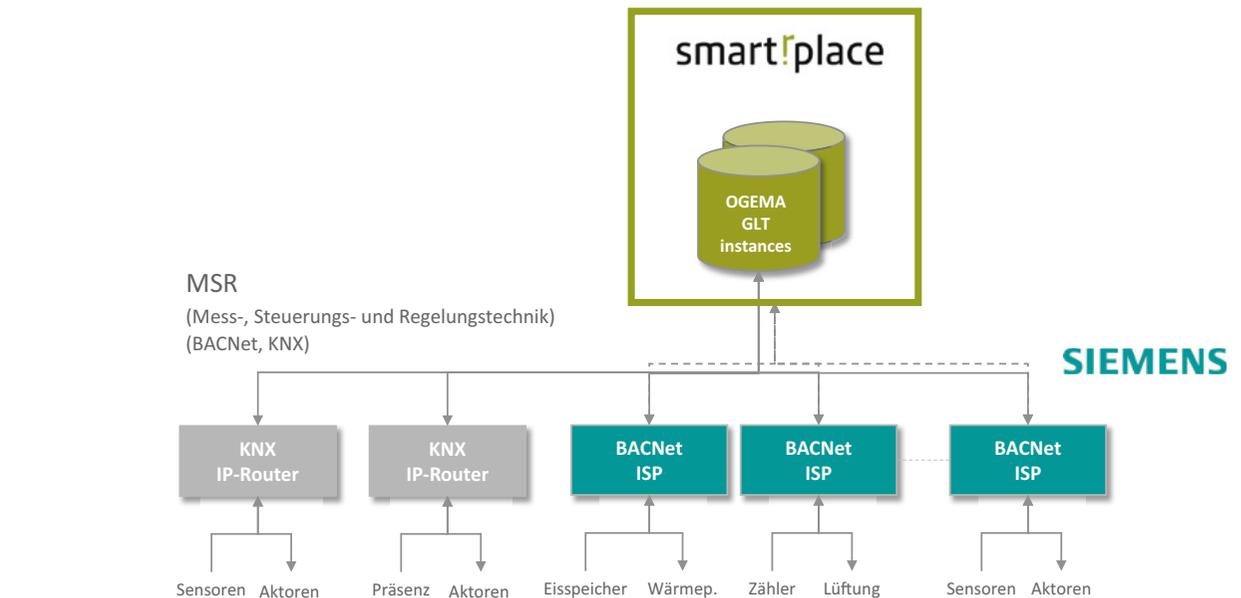


Abbildung: Position der OGEMA-GLT in der Gebäudeautomation

Fraunhofer-Instituten unter Führung des IEE entwickelt wurde, das Betriebssystem SmartrOS für Gebäudeautomation und Energiemanagement umgesetzt. Die Möglichkeit zur Erweiterung des Systems durch zusätzliche Hardware-Treiber und Anwendungen bildet die Grundlage für das Full-Service-Angebot von Smartrplace. Auch hierfür wird ein laufendes Monitoring ergänzt, um eine automatisierte Überwachung und Organisation der Fehlerbehebung einzusetzen.

Auf der Gebäudeleittechnik können mittels zusätzlicher OGEMA-Apps sowie der REST-API praktisch beliebig neue Anwendungen ergänzt und erprobt werden. Auch dies ist eine wesentliche Funktion für die Nutzung des Gebäudes als Living Lab. Es wurde ein spezielles Appstore-Konzept realisiert, das es ermöglicht, neue Funktionen in einzelnen Gebäudeteilen isoliert zu erproben und immer wieder auf bekannte, funktionierende Software- und Konfigurationsstände zurückzuspielen.

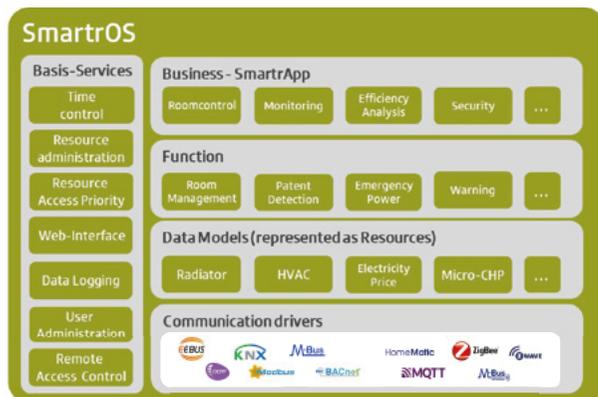
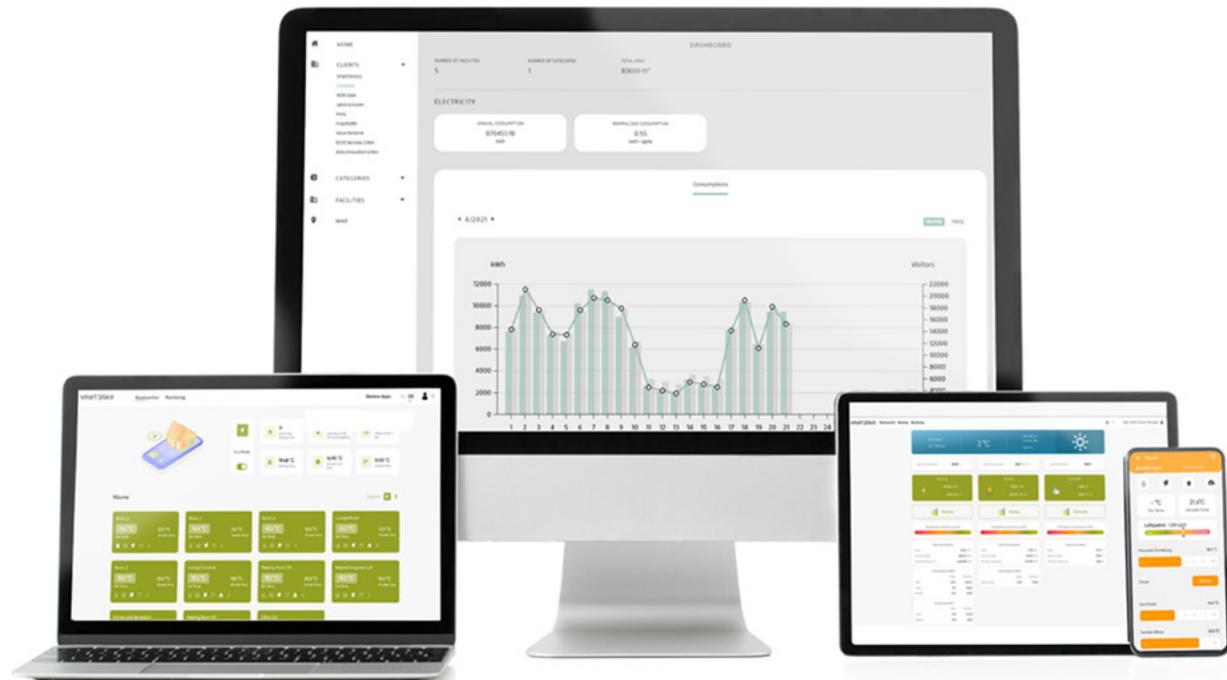


Abbildung: Architektur SmartrOS basierend auf OGEMA

Aufgrund des New-Work-Konzepts im Fraunhofer-Neubau werden die Arbeitsplätze im Gebäude flexibel genutzt. Aktuell führt das Institut eine Buchungslösung ein, über die die Raumheizung durch eine Erweiterung an die Buchungen gekoppelt werden soll. Im Rahmen des Projekts wurde dies bereits für einen Testbereich über die Lösung SmartrBooking erfolgreich demonstriert.

Das virtuelle Raumbediengerät ist eine Monitoring- und



Konfigurationsoberfläche. Dieses kann einerseits von den Mitarbeitenden des Gebäudemanagement genutzt werden, um Einstellungen und Messwerte der Raumautomation zu überwachen und zu setzen. Außerdem ermöglicht das virtuelle Raumbediengerät weitere Nutzerkonten für Personen, die z.B. aufgrund körperlicher Einschränkungen die Raumbediengeräte nicht oder nur eingeschränkt nutzen können oder einen Fernzugriff auf die Einstellungen der genutzten Räume benötigen.

Über die Projektlösung hinaus kann eine entsprechende Einzelraumsteuerung mittels funkbasierter Aktoren und Sensoren auch in Bestandsgebäuden kosteneffizient nachgerüstet werden. Hierfür bietet Smartrplace eine Full-Service-Lösung an, die Planung, Installation und Wartung aus einer Hand umfasst und auf SmartrOS basiert.

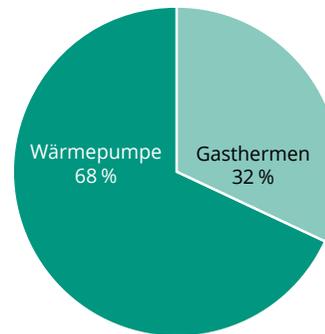
LESSONS LEARNED

Die Universität Kassel hatte im Rahmen des Projektes „Entwicklung und Bewertung innovativer Energieversorgungssysteme am Beispiel des Fraunhofer Neubaus in Kassel“ die Konsortialführung inne. Die Inbetriebnahme sowie der Regelbetrieb des neuen Fraunhofer-Gebäudes in Kassel wurden wissenschaftlich begleitet, bewertet und Optimierungspotentiale wurden aufgezeigt.

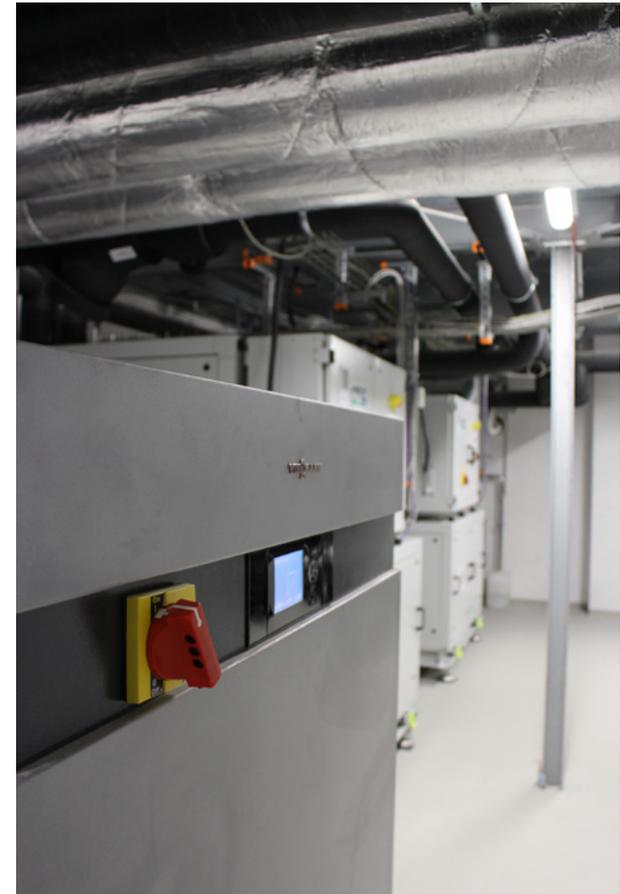
Erste messtechnische Analysen ergaben, dass eine Differenz bei der mittleren elektrischen Leistung des Rechenzentrums und damit der zur Verfügung stehenden Abwärmeleistung gegenüber der Annahme während der Planung besteht. Das Rechenzentrum weist eine konstante mittlere thermische Leistung von ca. 46 kW auf, angenommen wurden jedoch 100 kW. Gründe hierfür sind die technische Entwicklung der Rechenzentren und deren Rechereffizienz, die hinsichtlich der Energieeffizienz sehr schnell voranschreitet sowie ein verzögerter Ausbau der Rechenleistung. Somit stellte sich die Frage, welcher Anteil des Wärmebedarfs durch die Wärmepumpe bereitgestellt werden kann bzw. wie groß der Anteil der Gastherme ist. Eine messtechnische Bewertung der Winterperiode wurde herangezogen und wird im Folgenden beschrieben. Die grundlegende Anforderung für die Wärmeversorgung des Gebäudes ist einen möglichst klimaneutralen Betrieb bei ausreichendem Komfort sicherzustellen.

Dementsprechend soll ein möglichst geringer Gasverbrauch erzielt werden.

Messungen ergaben im Zeitraum vom 17.12.22 bis 16.03.23 folgende Endenergieanteile zur Deckung des Gesamtwärmebedarfs (s. Abb.).



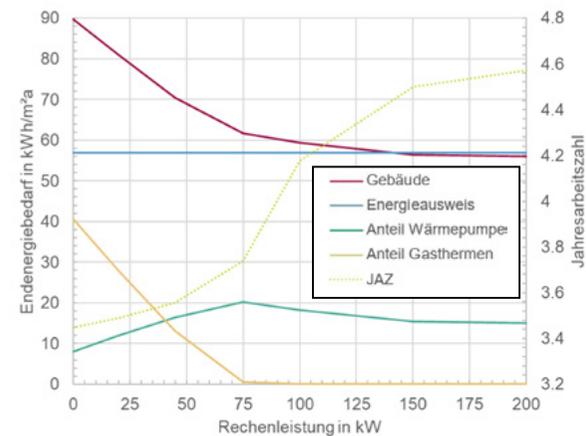
Die Ergebnisse zeigen, dass zwei Drittel des Endenergiebedarfs zur Wärmebereitstellung über die Wärmepumpe und somit auch über die Abwärmenutzung gedeckt werden konnten. Es ist anzumerken, dass der Anteil des Gasverbrauchs überschätzt wird, denn vor dem Start der Messungen lag schon eine Nutzung der Energie aus dem Eisspeicher vor. Folglich liegt der Deckungsanteil der Wärmepumpe schätzungsweise bei drei Viertel. Obwohl die Abwärmeleistung des Rechenzentrums nur der Hälfte des Planungswertes entspricht, konnte auf eine übermäßige Nutzung der Gasthermen verzichtet werden. Dies ist zum einen der durch die bundesweite Energiekrise motivierten Absenkung der Raumsolltemperaturen (19 °C) durch das



Facility-Management geschuldet und zum anderen dem relativ milden Winter 2022/23. Die mittleren Umgebungstemperaturen lagen über 1,5 °C höher als beim Testreferenzjahr 2010, welches für die Planung und Dimensionierung der Anlagentechnik verwendet wurde. Mit der Absenkung wurde aber nicht nur der Energieverbrauch beeinflusst, sondern auch die Zufriedenheit der Nutzenden. Bei einer Umfrage zur Bewertung der winterlichen Raumtemperaturen gaben 80 % der Teilnehmenden an, dass es zeitweise zu kalt sei. Dementsprechend hat die Absenkung der Raumtemperaturen zu einem Komfortverlust und damit zu einer geringeren Nutzerzufriedenheit geführt.

Um die Abhängigkeit des Endenergiebedarfs des Gebäudes von der Abwärme des Rechenzentrums zu verdeutlichen, wurde ein Simulations-Modell entwickelt und mit Messdaten validiert.

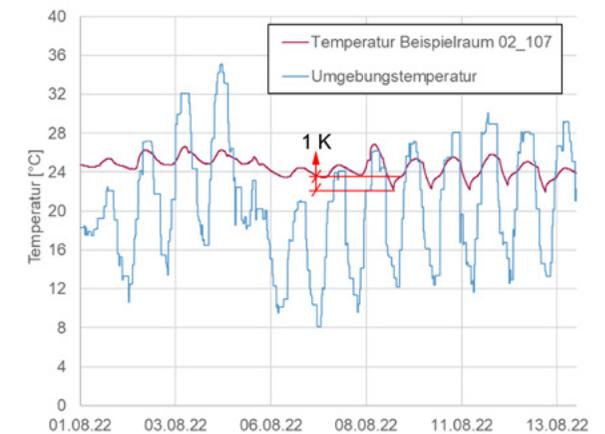
In der folgenden Abbildung ist der Endenergiebedarf des Gesamtgebäudes (rot) und der Endenergieanteil der Gasthermen (gelb) sowie der Wärmepumpe (grün) am Gesamtgebäude über die Rechenzentrumsleistung dargestellt.



In blau ist der Planungswert des Endenergiebedarfs unter der Annahme von 100 kW konstanter Rechenzentrumsleistung zum Vergleich zu sehen. Die hellgrün gepunktete Linie bezieht sich auf die rechte Achse, also die Jahresarbeitszahl (JAZ) der Wärmepumpe. Je höher die Leistung des Rechenzentrums, desto geringer ist sowohl der Endenergiebedarf des Gebäudes als auch der Gasanteil am Endenergiebedarf. Der Endenergiebedarf der Wärmepumpe erhöht sich vorerst mit steigender Rechenleistung, da der Nutzungsgrad der Wärmepumpe steigt. Ab einer Leistung von 75 kW nimmt der Endenergiebedarf der Wärmepumpe durch die Verbesserung der JAZ wieder ab, was auf eine komplette Ausnutzung des Eisspeichers

hinweist. Je höher die Rechenleistung ist, desto mehr Abwärme wird dem Eisspeicher zugeführt. Und umso höher die mittlere Eisspeichertemperatur ist, desto höher wird die Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe.

Die Verbesserung des sommerlichen Wärmeschutzes wird neben dem Einsatz der Verschattungssysteme über die Nachtquerlüftung umgesetzt. In der folgenden Abbildung wird die Funktion der nächtlichen Querlüftung verdeutlicht. Zu sehen sind die Temperatur eines Beispielsraums (rot) sowie die Umgebungstemperatur (blau) über einen Zeitraum von ca. zwei Wochen.



Am 08.08.22 begann die nächtliche Querlüftung, was den Temperaturverlauf des Beispielraums stark verändert hat. Das umgekehrte Sägezahnmuster verdeutlicht die ordnungsgemäße Funktion. Die Raumtemperatur wurde auf einen Sollwert von 22 °C abgekühlt. Als dieser Grenzwert erreicht war, schaltete sich die nächtliche Querlüftung ab. Direkt nach Abschaltung gab es einen kurzen, aber deutlichen Anstieg der Raumtemperatur, was zeigt, wie groß der Einfluss der thermischen Gebäudemasse ist. Demzufolge erhöht sich die Temperatur des Raumes direkt nach Belüftung um ca. 1 K. Um den Raum effektiver abzukühlen, könnte die Solltemperatur gesenkt werden. Dafür wäre die Nutzung von Wettervorhersagen zu empfehlen. Vor allem in den Übergangsphasen Frühling und Herbst sollte die thermische Gebäudemasse nicht zu stark gekühlt werden. So wird vermieden, dass es zum unnötigen Heizen des Gebäudes kommt. Obwohl die nächtliche Querlüftung erst im August begann, empfanden die Hälfte der Nutzenden die Raumtemperatur im Sommer als optimal und nur 33 % empfanden es als etwas zu warm. Dieses Ergebnis lässt sich auf den hohen Dämmstandard sowie den außenliegenden Sonnenschutz zurückführen. Aber auch der Eisspeicher, über den das Gebäude aktiv gekühlt werden kann, spielt eine wichtige Rolle.

Neben der Auswertung der Messungen, konnte das Moni-

toring in der Einregulierungsphase des Gebäudebetriebs Fehler erkennen und zur Behebung beitragen. Einige Beispiele sind:

- Fehlbetrieb der Gasthermen im Sommer und Störung des Wärmepumpenbetriebs
- Fehlerhafte Parametrisierung der dezentralen Lüftungsanlagen und der Jalousiesteuerung
- Detektion defekter Anlagenteile: Pumpen, Wärmemengenzähler, Thermostate etc.
- Unterbrechung der Kühlung des Rechenzentrums
- Fehlende Abwärmenutzung im Spätsommer und in der Übergangszeit
- Fehlfunktion der Messung des Gefriergrades des Eisspeichers.

Um ein großes und komplexes Gebäude energieeffizient sowie ressourcenschonend zu betreiben, ist ein Monitoring sowohl in der Inbetriebnahmephase, aber auch kontinuierlich während des Betriebs ein wichtiges Instrument zur Steigerung von Energieeffizienz und Nutzerkomfort. Über die ständige Kontrolle können Fehlfunktionen von Anlagenkomponenten schnell erkannt werden, wodurch sich größere Schäden und Kosten vermeiden lassen. Zusätzlich können die größten Einsparpotentiale über die Zeit identifiziert und optimiert werden.

ÜBERTRAGBARKEIT UND AUSBLICK

Das Energiekonzept des Fraunhofer IEE-Neubaus ermöglicht, das Gebäude mit einem sehr hohen Anteil erneuerbarer Energien zu versorgen und gleichzeitig dem Nutzerkomfort gerecht zu werden. Die grundlegenden Bedarfe sind bei vielen Nichtwohngebäuden einer solchen Größe ähnlich: Neben der Wärmeversorgung ist häufig eine maschinelle Lüftung und auch in zunehmendem Maße eine Klimatisierung gefordert. Im IEE-Neubau wird die Wärme- und Kälteversorgung durch eine ganzheitliche Lösung bereitgestellt und ist damit für eine Übertragung auf andere Gebäude sehr interessant. Die Übertragbarkeit soll nicht nur für Neubauten, sondern auch für Bestandsgebäude einer ähnlichen Größenklasse und Nutzungsart betrachtet werden.

Die zentralen Komponenten des Anlagenkonzeptes sind eine Wärmepumpe in Kombination mit einem Eisspeicher, ein Lüftungskonzept mit dezentralen Geräten sowie ein erweitertes Energiemanagement und Monitoring. Einen Eisspeicher einzurichten, kann eine Alternative zu Geothermie- oder Luftwärmepumpe sein, wenn Solarthermie oder Abwärme zur Regeneration zur Verfügung stehen. Der Bau eines Eisspeichers erfordert wenig Grundstücksfläche im Gegensatz zu Erdsonden, Erdkollektoren oder auch Grundwasserbrunnen und ist genehmigungstechnisch einfacher umzusetzen.



Unter kreisförmig angeordneten Bänken befindet sich der Eisspeicher. ©Fraunhofer IEE | André Rauchhaupt

Insbesondere bei Bestandsgebäuden wäre eine Realisierung dieser geothermischen Optionen auf einem bestehenden Grundstück meist mit erheblichen Beeinträchtigungen verbunden.

Eine wesentliche Frage ist, ob eine hinreichend große Wärmequelle zur Regeneration, wie in dem Fall die Rechenzentrumsabwärme verfügbar ist. Um den Eisspeicher richtig zu dimensionieren ist entscheidend, die dauerhaft anstehende Leistung der Abwärme genau zu kennen. Anderenfalls könnte eine Luftwärmepumpe ergänzt werden, um den Speicher und die Wärmequelle wirtschaftlich zu dimensionieren. Es wird erwartet, dass zukünftig der Anteil an Luftwärmepumpen stark zunimmt. Bei sehr niedrigen Außentemperaturen wird dies zu enormen Strombedarfsspitzen führen, die mit sehr hohen Strompreisen einhergehen. Daher könnte der Eisspeicher als Backup zu einem System, das bei mildereren Temperaturen überwiegend mit Luftwärmepumpe arbeitet, zukünftig ein großes Potenzial entwickeln.

Im Rahmen des Projektes hat sich bestätigt, dass die dezentralen Lüftungsanlagen in Einzelräumen sowie in Großraumbüros für eine gute Luftqualität sorgen und dies auch in anderen Nichtwohngebäuden mit der richtigen Parametrisierung der Fall sein kann. Die nächtliche

Querlüftung in Kombination mit den automatisierten Außenjalousien reduziert die Kühllast erheblich, kann jedoch nicht sicherstellen, dass während längerer Hitzeperioden effektiv gekühlt wird.

Für die Kühlung kann der Eisspeicher ebenfalls ein wichtiges Backup sein, hier ist die Wärmespeicherfähigkeit des Eisspeichers aber eine wesentliche und oftmals begrenzte Randbedingung. In der Praxis kann zum Kühlen häufig überschüssiger PV-Strom genutzt werden, wodurch die realen Stromkosten deutlich reduziert werden. Das heißt, die Eisspeicherlösung kann insbesondere für Gebäude, bei denen PV-Eigenstromnutzung nur sehr eingeschränkt möglich und gleichzeitig Kühlung wünschenswert, aber nicht durchgängig erforderlich ist, interessant sein.

Wärmepumpen bieten ein enormes Flexibilisierungspotenzial. Durch die Nutzung der thermischen Speicher im System, aber auch durch die Aktivierung der Gebäudemasse im Heiz- und Kühlfall kann die Wärmepumpe sowohl stromnetzdienlich als auch strompreisoptimiert betrieben werden. Dabei ist zu beachten, dass die mögliche thermische Bandbreite je nach Gebäudeteil und Raum stark schwankt und sichergestellt werden muss, dass keine unzulässigen Einschränkungen durch tem-

poräres Überheizen bzw. leichtes Auskühlen der Räume entstehen. Zur Ausnutzung dieser Potenziale ist ein Energiemanagement notwendig, welches mit einer Einzelraumregelung die Heizungssollwerte koppelt sowie zulässige Bandbreiten und die Geschwindigkeit der Aufheiz- und Abkühlvorgänge erkennen kann. Der Projektpartner Smartplace bereitet eine solche Lösung derzeit vor. Sofern geeignete Informationen, Anreize oder Vorgaben des Netzbetreibers vorliegen, könnte ein solches Energiemanagement auch Anforderungen berücksichtigen, die die lokale Netzlast verringern. Gegenwärtig ist noch offen, wie entsprechende Mechanismen zur Netzdienlichkeit regulatorisch ausgestaltet werden.

Zur Evaluation des Energiekonzeptes, das im laufenden Betrieb untersucht wurde, fand ein Monitoring der wesentlichen Größen statt. Noch ist der Aufwand, die gewonnenen Daten zu strukturieren, mit der Hardware abzugleichen und zu analysieren sehr aufwändig. Die Standardisierung einer monitoringbasierten Inbetriebnahme von gebäudetechnischen Anlagen und deren Steuerung zur Abnahme ist unabdingbar, um zukünftig komplexe Energiekonzepte wie geplant umzusetzen.

Der Neubau des Fraunhofer IEE ist ein gutes Beispiel dafür, dass es gelingen kann, ein architektonisch sehr ansprechendes Gebäude mit einer anspruchsvollen und nachhaltigen Energieversorgung umzusetzen. Es bietet zeitgemäße und komfortable Arbeitsplätze, einladende Veranstaltungsräume und innovative Labore. Sowohl durch die Ausstattung mit innovativen Technologien als auch durch die umfassenden und flexiblen Monitoring-, Steuerungs- und Regelungssysteme bietet das Gebäude mit seinen vielfältigen Räumlichkeiten die Grundlage für zahlreiche weitere Energieforschungen.

© BENJAMIN ZWEIF



ANSPRECHPARTNER:INNEN

Gebäude

**Fraunhofer-Institut für Energiewirtschaft
und Energiesystemtechnik IEE**

Dr. Michael Krause

michael.krause@iee.fraunhofer.de



Konsortialführer

Universität Kassel

Leon-Moritz Schellhase

leon.schellhase@uni-kassel.de

U N I K A S S E L
V E R S I T Ä T

Projektpartner

Smarrplace GmbH

Dr. David Nestle

david.nestle@smarrplace.de

smart!place

Projektbegleitung

House of Energy e.V.

Katrin Schalk

k.schalk@house-of-energy.org

House 
of Energy



IMPRESSUM

Herausgeber

House of Energy e. V.
Universitätsplatz 12
34127 Kassel

Tel.: +49 (0)561 953 79-790
E-Mail: info@house-of-energy.org
www.house-of-energy.org

Registergericht:

Amtsgericht Kassel VR 5251

Vertretungsberechtigter Vorstand:

Staatssekretär Jens Deutschendorf (Vorsitz)
Dr. Marie-Luise Wolff
Prof. Dr. Rolf-Dieter Postlep

Redaktion

Ivonne Müller (House of Energy)

Texte

Dr. Michael Krause (Fraunhofer IEE)
Leon-Moritz Schellhase (Universität Kassel)
Dr. David Nestle (smarrplace)
Katrin Schalk (House of Energy)

Gestaltung

Caroline Enders (House of Energy)

Erscheinungstermin

Juli 2023

