ENERGIEWENDEBAUEN
Wissenschaftliche Begleitforschung

Schriftenreihe

PROJEKTLEITERTREFFEN

Retrospektive: Vier Jahre „Energie in Gebäuden und Quartieren“

Dokumentation des 8. Projektleitertreffens

Retrospektive: Vier Jahre „Energie in Gebäuden und Quartieren“

Digitales Meeting Plattform MS Teams

14. – 15. Mai 2020

Programm

Donnerstag, 14. Mai 2020

14:00 Uhr **Einführung durch die Wissenschaftliche Begleitforschung**

14:30 Uhr **Parallelsession I.I: Wasserstoffkonzepte – die Zukunft der Quartiersenergieversorgung?**

In der Session werden innovative Quartiersenergiekonzepte mit Wasserstofferzeugung von den Projektverantwortlichen vorgestellt. Dabei wird detailliert auf die bisher gemachten Erfahrungen und Herausforderungen eingegangen. Gemeinsam mit den Sessionteilnehmern wird anschließend über Anwendungsmöglichkeiten und weiteren Forschungsbedarf diskutiert.

Intro durch die Wissenschaftliche Begleitforschung
Heike Erhorn-Kluttig | Fraunhofer IBP

Praxisvortrag 1: Es_West_P2G2P: Wasserstoff-Energiekonzept inkl. Lessons Learned in der Neuen Weststadt Esslingen
Univ.-Prof. Dr. Manfred Norbert Fisch | Steinbeis Innovation gGmbH - Steinbeis-Innovationszentrum Energie-, Gebäude- und Solartechnik (SIZ)

Praxisvortrag 2: EnaQ: Wasserstoff-Energiekonzept inkl. Lessons Learned im energetischen Nachbarschaftsquartier Fliegerhorst Oldenburg
Thomas Götze | EWE NETZ GmbH

14:30 Uhr **Parallelsession I.II: Zukunft Gebäudebestand - Energieeffizienz durch intelligenten Betrieb?**

In dieser Session wird der deutsche Gebäudebestand in den Fokus gesetzt und Wege zur Energieeffizienzsteigerung durch einen intelligenten Betrieb aufgezeigt. Die in zwei ausgewählten Projekten gemachten Erfahrungen und aufgetretene Hemmnisse werden durch die Projektverantwortlichen in Kurzvorträgen erläutert und diskutiert.

Intro durch die Wissenschaftliche Begleitforschung
Tobias Beckhölter | RWTH Aachen, Lehrstuhl für Gebäude- und Raumklimatechnik

Praxisvortrag 1: GeopNu – Gebäudebetriebsoptimierung durch Nutzeridentifikation in Räumen
Dr.-Ing. Tobias Henzler | Universität Stuttgart, Institut für Gebäudeenergetik, Thermotechnik und Energiespeicherung

Praxisvortrag 2: AutoEnEff – Automatisierte EnergieEffizienzsteigerungen durch selbsttätige Regelparameteroptimierung im laufenden Betrieb
Yannick Fürst | TU Berlin, Hermann-Rietschel-Institut

15:45 Uhr **Ende**

Programm

Freitag, 15. Mai 2020

9:00 Uhr **Parallelsession II.I: Quartiere - Ergebnisse und Erfahrungen**

Für die energetische Quartiersplanung sind, im Prozess vom Konzept über die Planung bis hin zur Umsetzung von Maßnahmen, Erkenntnisse und Erfahrungen aus den Projekten besonders wertvoll. Die Forschungsansätze und Erfahrungsberichte von zwei Quartiersprojekten stehen in dieser Session im Fokus. Abschließend werden Projekterfahrungen aus Quartiersprojekten gemeinsam mit den Teilnehmenden der Session diskutiert.

Intro durch die Wissenschaftliche Begleitforschung
Carsten Beier | Fraunhofer UMSICHT

Praxisvortrag 1: +EQ-Net – Netzneutrales Energie-Quartier am Karl-Lederer-Platz in Geretsried
Steffen Lauterbach | Hochschule für angewandte Wissenschaften München, Fakultät 05 VSG Energie- und Gebäudetechnik

Praxisvortrag 2: WPuQ – Wind-Solar-Wärmepumpen-Quartier
Dr. Tobias Ohrdes | Institut für Solarenergieforschung Hameln

9:00 Uhr **Parallelsession II.II: Technologiefortschritt in Gebäuden und Quartieren – Innovation als Motor der Energiewende**

In dieser Session werden aktuell beforschte Technologietrends und Herausforderungen bei der Entwicklung und Umsetzung in Gebäuden und Quartieren vorgestellt. Zudem wird anhand zweier Projekte beispielhaft die Forschung im Bereich Technologie aufgezeigt.

Intro durch die Wissenschaftliche Begleitforschung
Sarah Welter | RWTH Aachen, Lehrstuhl für Gebäude- und Raumklimatechnik

Praxisvortrag 1: FlexQuartier Gießen
Prof. Dr.-Ing. Stefan Lechner |Technischen Hochschule Mittelhessen, Institut für Thermodynamik, Energieverfahrenstechnik und Systemanalyse

Praxisvortrag 2: smart-case-NZEB – Flexible Wärmepumpen mit integriertem Latentwärmespeicher
Timo Korth | Hochschule München, Fakultät 05 VSG Energie- und Gebäudetechnik

10:15 Uhr **kurze Pause**

Programm

Freitag, 15. Mai 2020

10:30 Uhr **Parallelsession III.I: Versorgungsnetze für die Energiewende**

Innerhalb der Session werden Im Rahmen von Projektvorträgen und einer anschließenden Diskussion unterschiedliche Aspekte des Themenbereiches, wie beispielsweise die Bereitstellung von Flexibilitäten, für das Stromnetz analysiert und diskutiert.

Intro durch die Wissenschaftliche Begleitforschung
Prof. Dr.-Ing. Peter Bretschneider | Fraunhofer IOSB-AST

Praxisvortrag 1: Thermischer Stromspeicher für die Kraft-Wärme-Kopplung
Prof. Dr.-Ing. Ulf Herrmann | Solar-Institut Jülich

Praxisvortrag 2: SmartGrid-fähige, intelligente Ladeinfrastruktur für den ländlichen Raum – Chancen der bidirektionalen Nutzung von Fahrzeugbatterien
Dr. Dirk Pietruschka | HFT Hochschule für Technik Stuttgart, Zentrum für nachhaltige Energietechnik

10:30 Uhr **Parallelsession III.II: Rolle der Softwareentwicklung in Energieforschungsprojekten – Einblick in Software-, Simulations- und Datenqualität**

Der Fokus der Session zu dem Thema Tools liegt auf der Behandlung von Querschnittsthemen zum vermehrten Einsatz digitaler Planungswerkzeuge. Im Rahmen von Impulsvorträgen sollen dabei Thesen oder Ansätze zum praktischen Umgang mit Software-, Simulations- und Datenqualität erarbeitet werden.

Intro durch die Wissenschaftliche Begleitforschung
Dr.-Ing. Jérôme Frisch | RWTH Aachen, Lehrstuhl für energieeffizientes Bauen

Praxisvortrag 1: BigDATA: Big Data Analysen von Automationsdaten zur energetischen Betriebsoptimierung des Gebäudebestands
Dr.-Ing. Stefan Plesser | Synavision GmbH

Praxisvortrag 2: SimQuality – Entwicklung von Qualitätsstandards für die energetische Gebäude- und Quartierssimulation als Planungswerkzeug
Dr. Iris Reichenbach | Hottgenroth Software GmbH & Co. KG

Praxisvortrag 3: FMI4BIM: Standardisierte Schnittstelle für Analysemodelle von Anlagen- und Gebäudekomponenten für BIM-basierte Planung und Betrieb
Dr. Andreas Nicolai | TU Dresden, Institut für Bauklimatik

11:45 Uhr **Verabschiedung durch die Wissenschaftliche Begleitforschung**

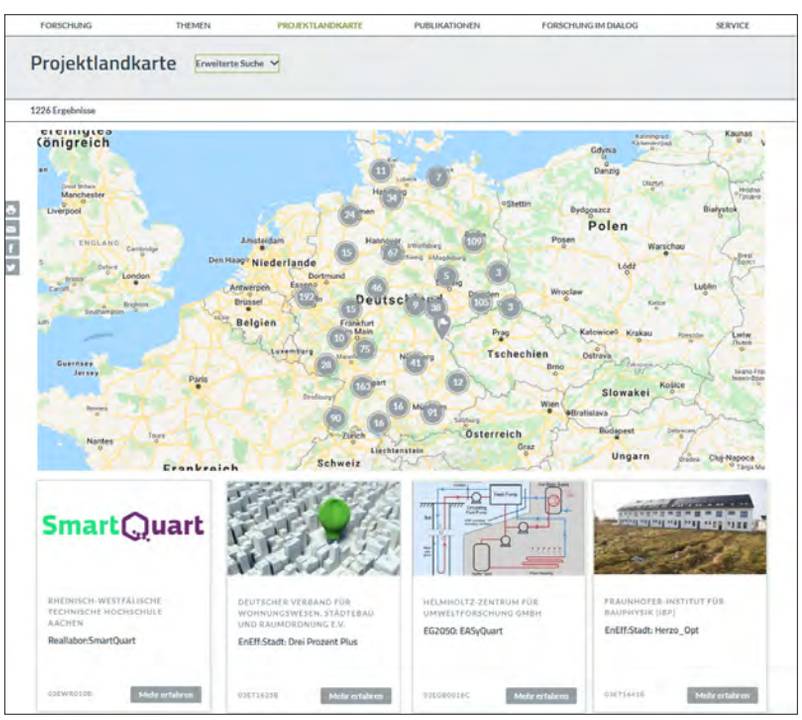
Vier Jahre Wissenschaftliche Begleitforschung

Vortragender: Prof. Dr.-Ing. Dirk Müller, RWTH Aachen
Konsortialleiter der Wissenschaftlichen
Begleitforschung Energiewendebauen

Die Wissenschaftliche Begleitforschung Energiewendebauen (BF) wurde mit der Aufgabe ins Leben gerufen, Ergebnisse und offene Fragestellungen aus laufenden und kürzlich abgeschlossenen Projekten zu extrahieren, Vorhaben zu sortieren und systematischen Auswertungen zu unterziehen. Ergänzend wurde die Wissensverbreitung unterstützt und der wichtige Austausch zwischen Projektnehmenden und Vertretern aus den unterschiedlichen Bereichen der Baupraxis intensiviert Hierbei soll durch Informationsaustausch und Veranstaltungen den Projektnehmenden die Möglichkeit gegeben werden, von anderen Projekten zu lernen und bewährte Ansätze zu übernehmen.

Die BF konnte während der letzten Jahre vier methodische Ansätze für die Erfüllung ihrer Aufgaben nutzen: Querauswertungen, „Tiefenbohrungen“, Leitfäden, Erstellung neuer Datenbanken und Durchführung unterschiedlicher Veranstaltungsformate. Die Querauswertung unterschiedlicher Projekte zeigt sowohl die Konvergenz von Ergebnissen, als auch wiederkehrende Hemmnisse auf, die in vielen Projekten überwunden werden müssen. Mit einer „Tiefenbohrung“ wird ein bestimmtes Konzept oder eine bestimmte Technik über mehrere Projekte hinweg analysiert.

Das Thema der Daten und Datenbanken hat einen besonderen Stellenwert bei der BF eingenommen. Alle BMWi-Projekte des Forschungsbereichs sind auf der, durch die Begleitforschung entwickelten, digitalen Projektlandkarte geografisch verortet und können mit unterschiedlichen Filtern ausgewertet und visualisiert werden. Die Datenbasis für die Projektlandkarte speist sich aus den öffentlich zugänglichen Informationen der Projekte sowie Kernelementen aus den neuen, elektronischen Fragebögen, die durch die BF an alle Projektnehmenden verschickt worden sind.



Die zweite Aufgabenstellung aus dem Bereich der Datenbereitstellung war die Konzeption einer neuen Messdatenbank, in der die vielseitig

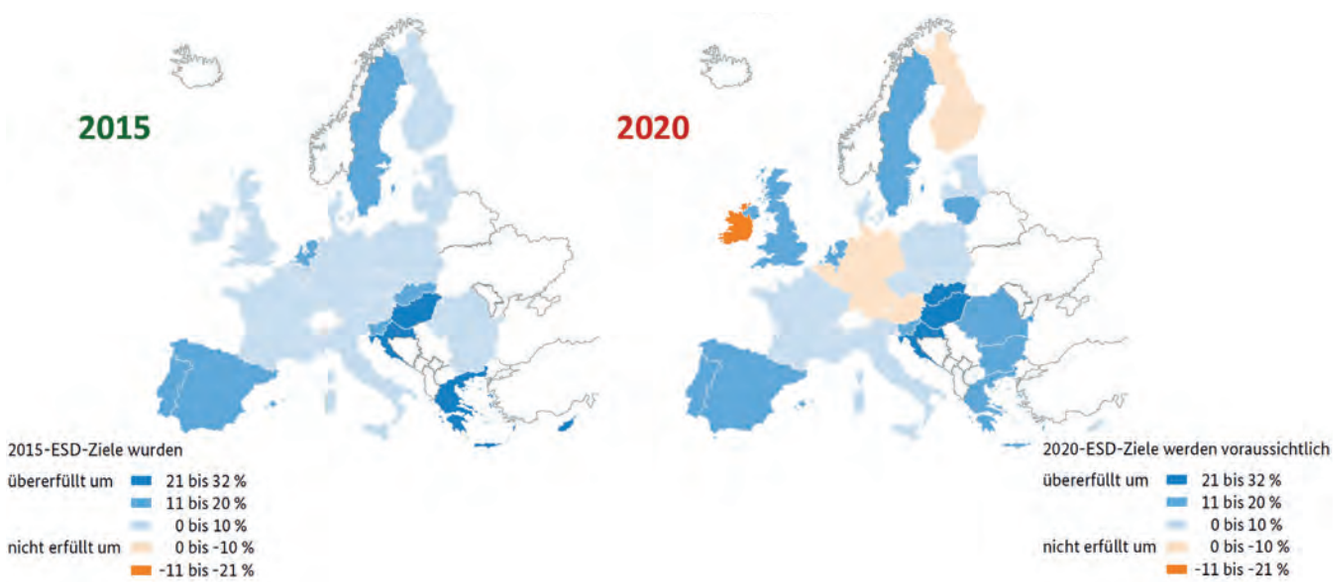
nutzbaren Daten aus den Monitoringprojekten gespeichert werden können. Diese Daten sollen langfristig allen Forschenden für weitere Untersuchungen zugänglich gemacht werden.

Der vierte methodische Baustein sind die verschiedenen Veranstaltungsformate. So wurde im Rahmen kleiner Think Tanks sehr detailliert mit Experten über aktuelle Themen der Energiewende diskutiert, in größeren Experten-Workshops wurden Meinungen und Thesen unterschiedlicher Akteursgruppen eingesammelt und zusammengefasst. Des Weiteren stand der Informationsaustausch und Wissenstransfer bei Projektleitertreffen, den beiden ENERGIEWENDEBAUEN Kongressen sowie dem Monitoring-Forum im Vordergrund.

Bei all diesen Tätigkeiten haben wir viele gute Projekte mit eindrucksvollen Lösungen für mehr Energieeffizienz im Gebäude- und Quartierkontext kennen gelernt, begleitet und unterstützt. Einige Projektbeispiele aus unterschiedlichen Themenbereichen sowie ausgewählte Erkenntnisse der BF werden im Buch „ENERGIEWENDEBAUEN - Forschungserkenntnisse von der Komponente bis zum Quartier“ präsentiert. Dieses steht ab Juli 2020 auf der Seite www.energiewendebauen.de zum Download zur Verfügung.

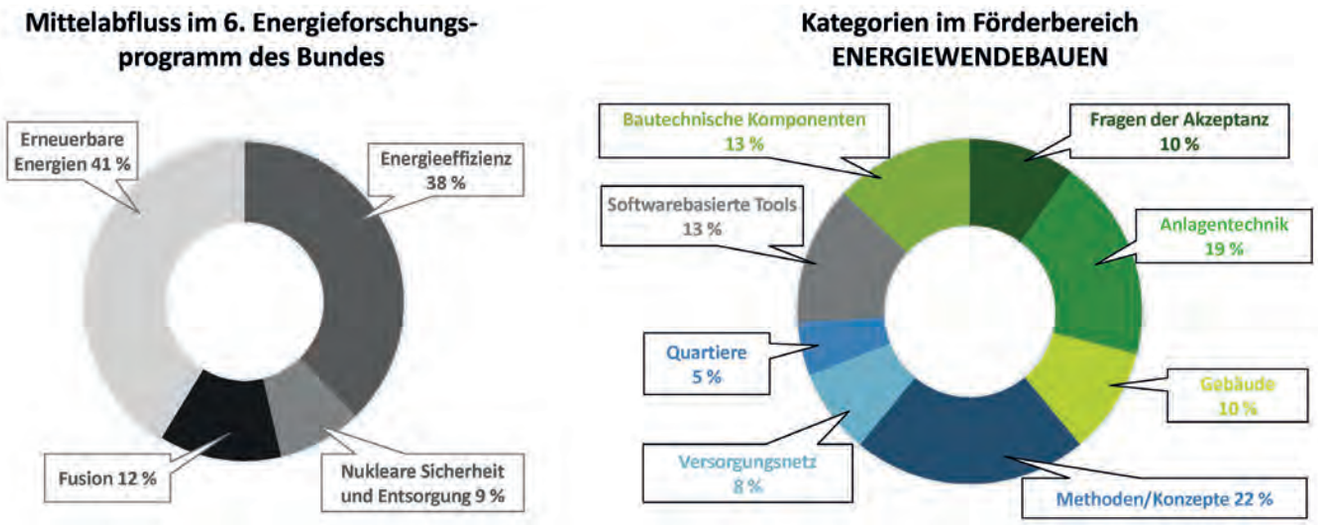
Ein Blick auf die aktuellen Zahlen zeigt, dass wir insgesamt mit der Energiewende im Bereich Gebäude und Quartiere noch am Anfang stehen. Die Sanierung des Bestands und die technische und regulatorische Ermöglichung von Quartiersprojekten sind die großen Bausteine für die nächsten Jahre. Nur in Verbindung mit einer innovativen Bautechnik und Sektorenkopplung unter Einbindung der Mobilität können wir die Ziele für den Klimaschutz in den kommenden Jahrzehnten erreichen.

Fortschritte der EU-Mitgliedsstaaten bei der Reduzierung von Treibhausgasen



Quelle: BMU, 2018

Aufstellung der Energieforschung im BMWi

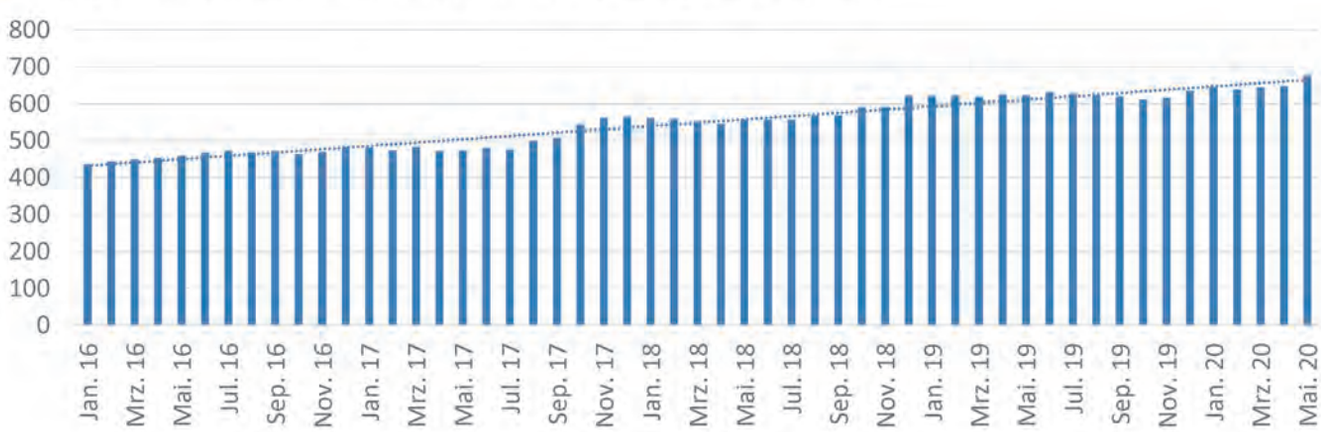


Quelle: Umfrage unter den vom BMWi geförderten Projekten des Förderbereichs ENERGIEWENDEBAUEN, 2018

Entwicklung im Bereich EWB über die letzten Jahre

Projektanzahl

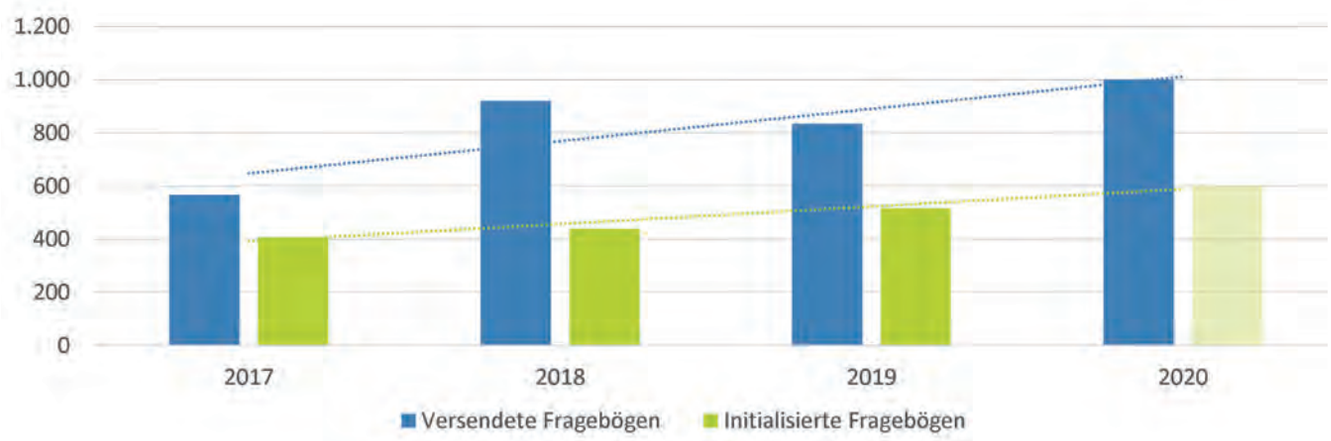
- Mai 2020: 1.211 EWB-Projekte, davon 675 aktuell laufend
- Projektzuwachs zw. 2016 und 2020: 4,6 Projekte/ Monat



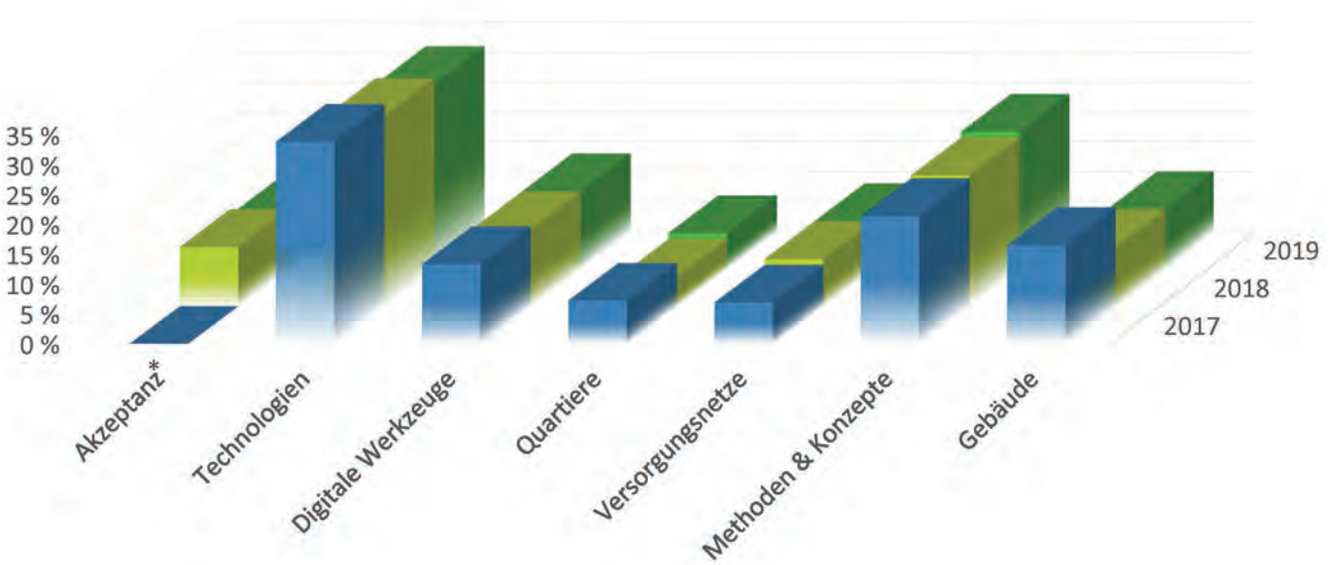
Quelle: Umfrage unter den vom BMWi geförderten Projekten des Förderbereichs ENERGIEWENDEBAUEN, 2018

Entwicklung im Bereich EWB über die letzten Jahre
Befragungsphasen

- Vier Befragungsphasen innerhalb der Laufzeit der BF EWB
- Gesteigerte Projekt und Teilnehmendenzahl



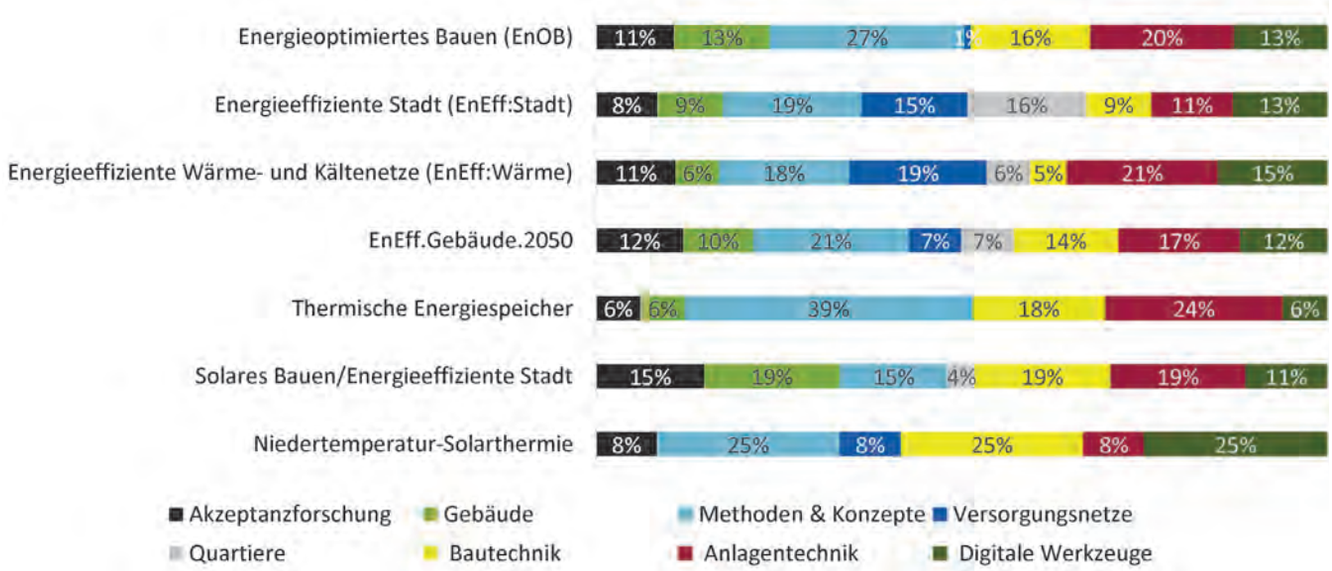
Entwicklung im Bereich EWB über die letzten Jahre
Projektkategorien



*Akzeptanz in 2017 nicht in Fragebögen abgefragt

Förderinitiativen und Projektkategorien in EWB

Stand 2019



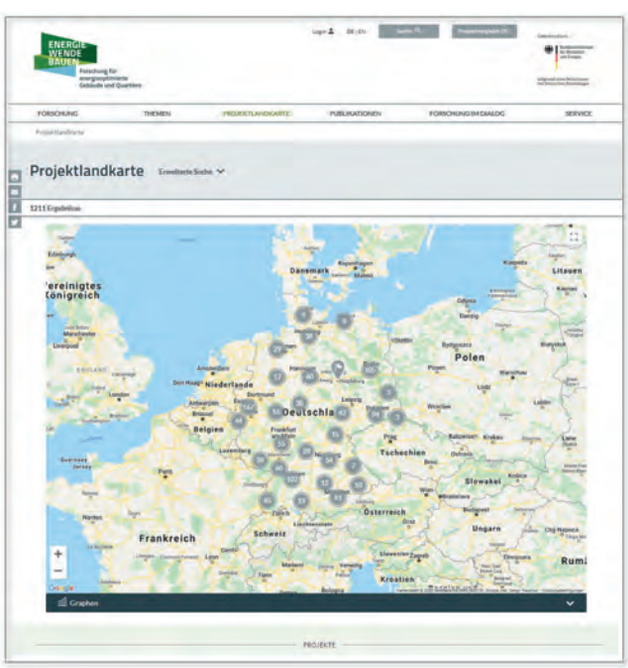
Digitale Projektlandkarte - Aufgaben und Funktionen

Aufgabe:

- Übersichtliche Darstellung der Forschungsprojekte im Bereich „Energie in Gebäuden und Quartieren“

Funktionen:

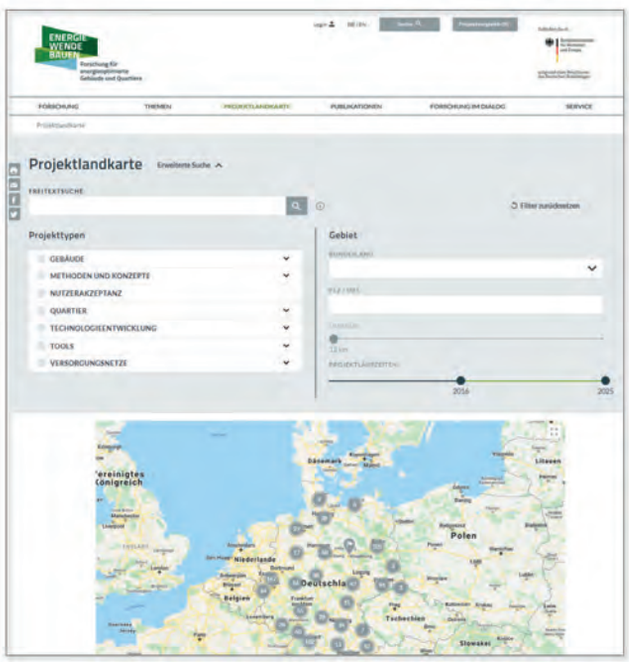
- Filtermöglichkeiten
- Projektdetailseiten
- Grafische Darstellung ausgewählter Themen
- Projektvergleich



Digitale Projektlandkarte - Filtermöglichkeiten

Auswahl verschiedener Filtermöglichkeiten

- Freitext
- Thematisch
- Räumlich
- Zeitlich



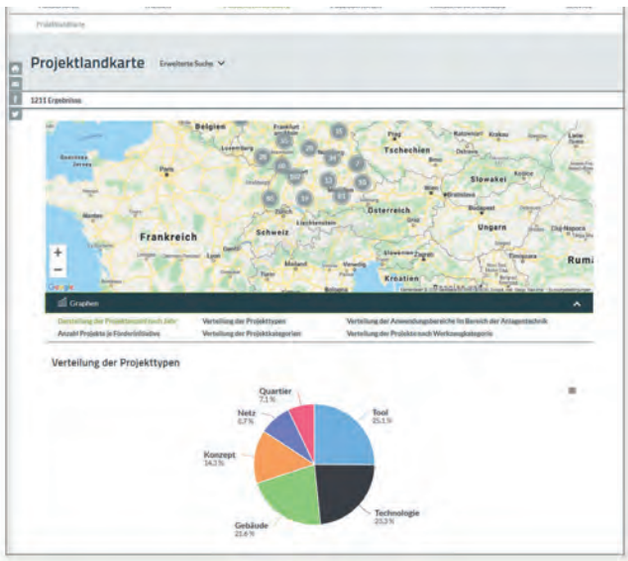
Digitale Projektlandkarte - Projektdetailseiten

- Jedes Projekt hat eine eigene Detailseite
- Darstellung projektspezifischer Informationen
- Verlinkungen zu Projektwebseiten, Veröffentlichungen und weiteren Informationen
- Darstellung sämtlicher Verbundpartner
- Teilweise redaktionell aufgearbeitete Projektbeschreibungen (PtJ)



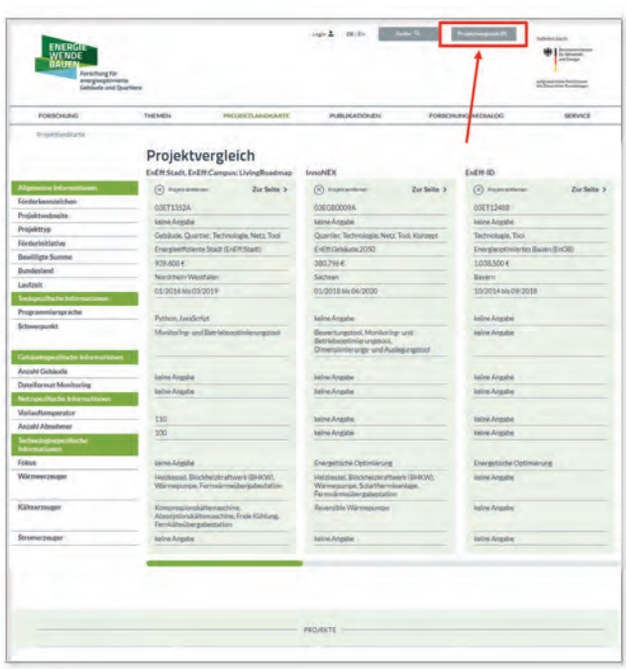
Digitale Projektlandkarte - Visualisierungen

- Grafische Darstellung ausgewählter Themen
- Darstellungen passen sich dynamisch den gewählten Filterungen an

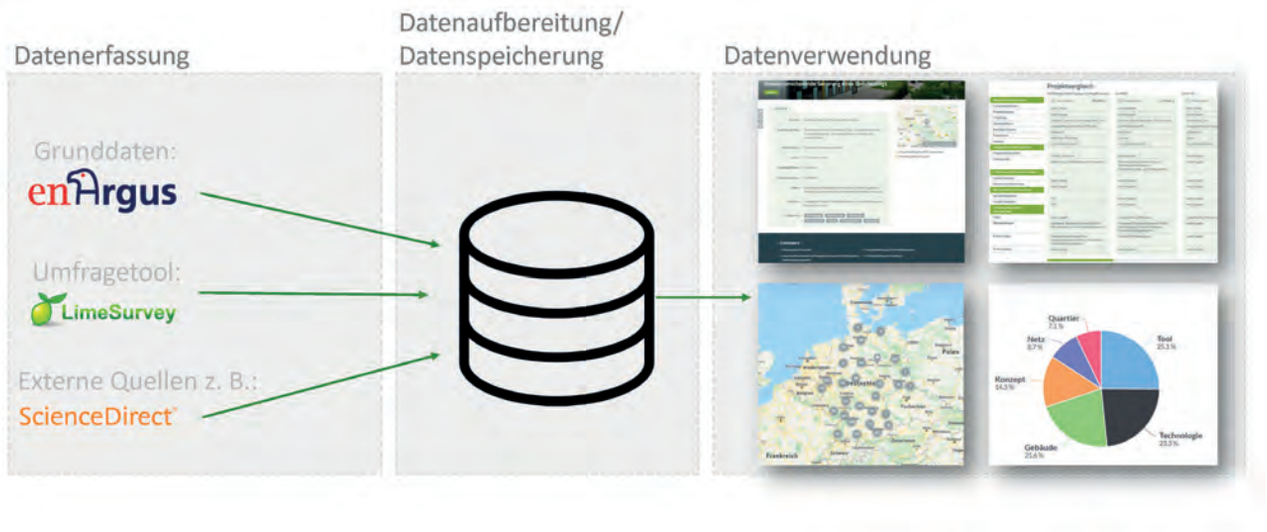


Digitale Projektlandkarte - Projektvergleich

- Möglichkeit Projekte tabellarisch zu vergleichen
- Auswahl von Projekten zum Vergleich an verschiedenen Stellen möglich
- Darstellung des Vergleich durch Klick auf „Projektvergleich“ am oberen Bildschirmrand



Digitale Projektlandkarte – Datenquellen



Die Monitoringdatenbank und ihre Möglichkeiten

- Die Monitoringdatenbank ist ein Instrument, um die zentrale Ressource von geförderten Monitoringprojekten nachnutzen zu können.
- Messdaten sind der Kern jeglicher Erkenntnis in einem Forschungsprojekt.
- In Zeiten von Machine und Deep Learning sowie intensiver Softwareentwicklung sind Verfügbarkeiten von Ressourcen zum Anlernen oder Validieren schon jetzt von sehr großer Bedeutung.
- Die zentrale Monitoringdatenbank soll daher ein zugänglicher Ort für die Möglichkeit einer Nutzung dieser wertvollen Ressourcen sein.

Potentiale von Messdaten – Status Quo

- Monitoringdaten erfüllen meist nur genau definierte Projektziele.
- Eine Nachnutzung findet nach jeweiligem Projektende nur selten statt.
- Messdaten sind teuer, insbesondere wenn sie nur einem einzigen Forschungsgegenstand dienen.



Es muss daher eine nachhaltige Verwertung für Monitoringdaten geschaffen werden.

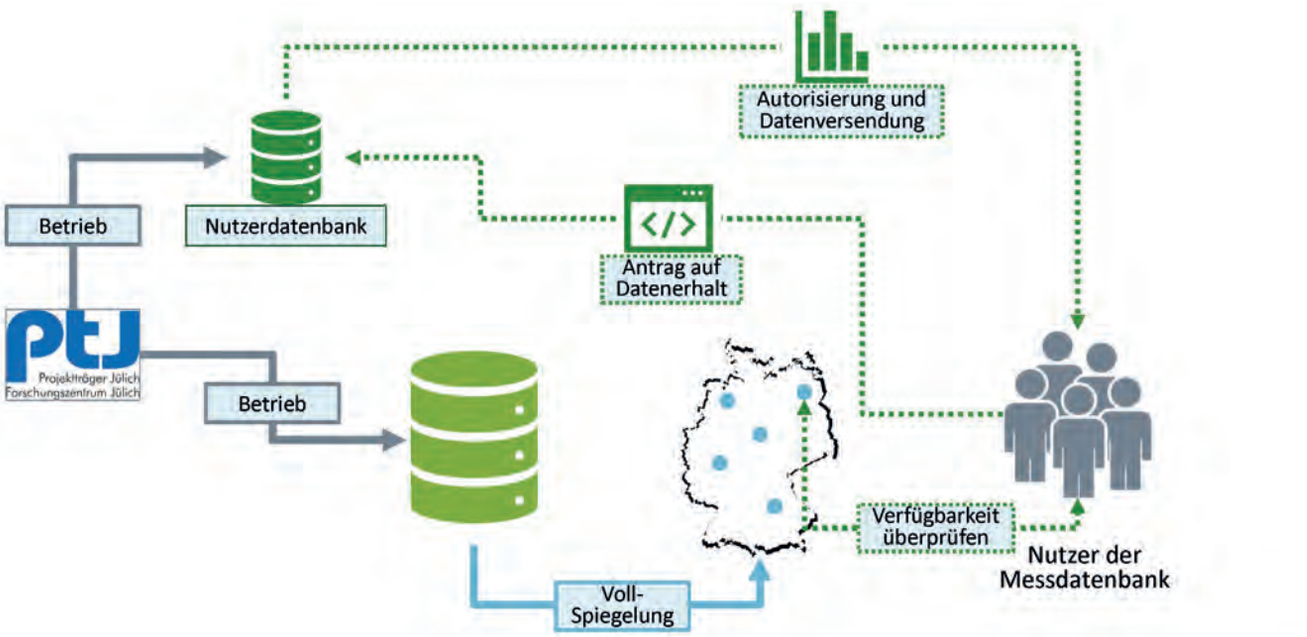
Potenziale von Messdaten – Vision

- Monitoringprojekte bieten das Potenzial, mehr als einem einzigen Forschungsgegenstand zu dienen.
- Ein hoher Grad an Nachnutzung führt zu mehr Erkenntnissen und Innovation.
- Für ein hohes Potenzial der Nachnutzung müssen Daten existent, zugänglich, übertragbar und transformierbar für andere Anwendungszwecke sein.



- Ermöglichung der wissenschaftlichen Nachnutzung von Messdaten
- Erhalt von Informationen über die Durchführung von Monitoring
- Vergleich von Monitoring-parametern verschiedener Art
- Vergleich von Projektparametern (insbesondere energetische Parameter)

Vision der zentralen Monitoringdatenbank

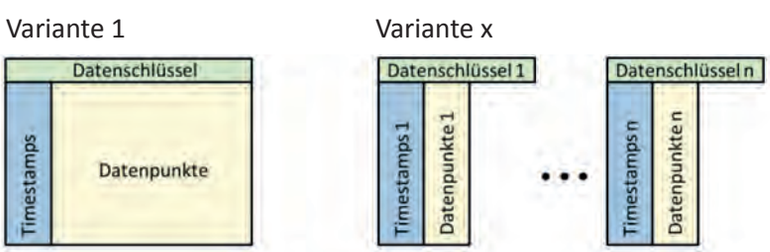


Wie erreichen wir dieses Ziel?

1. Durch definierte Strukturvorgaben, die der Anforderung einer zugänglichen Gestalt von Monitoringdaten gerecht werden

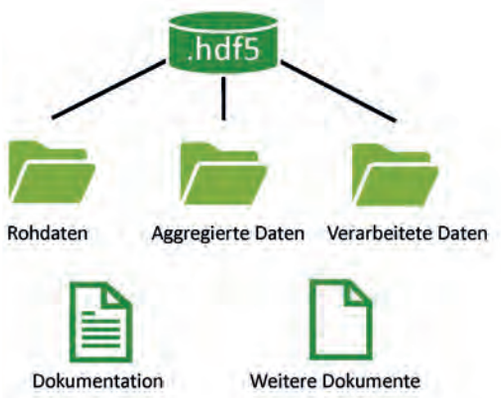
2. Durch definierte sowie robuste Formate und Mechanismen
   → Sicherstellung des Datenbankfor mates durch Anwendung der BF Toolbox

3. Durch Sichtung, Verarbeitung, Analyse und letztlich durch das Einbetten **Ihrer** Daten in die Datenbank zur Nachnutzung, denn Messdaten treten in verschiedenen Formaten und Erscheinungsformen auf

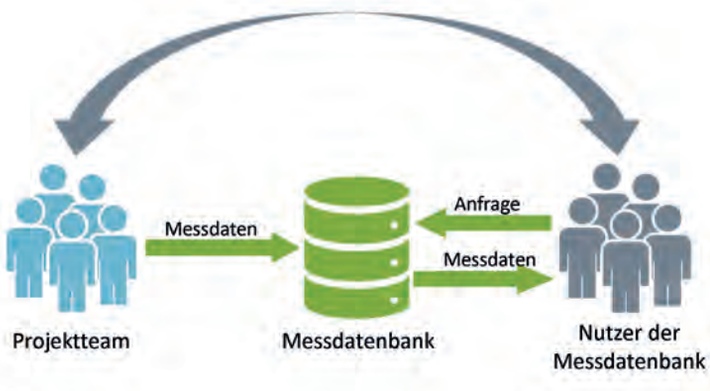


Vorteile vor und von Forschenden

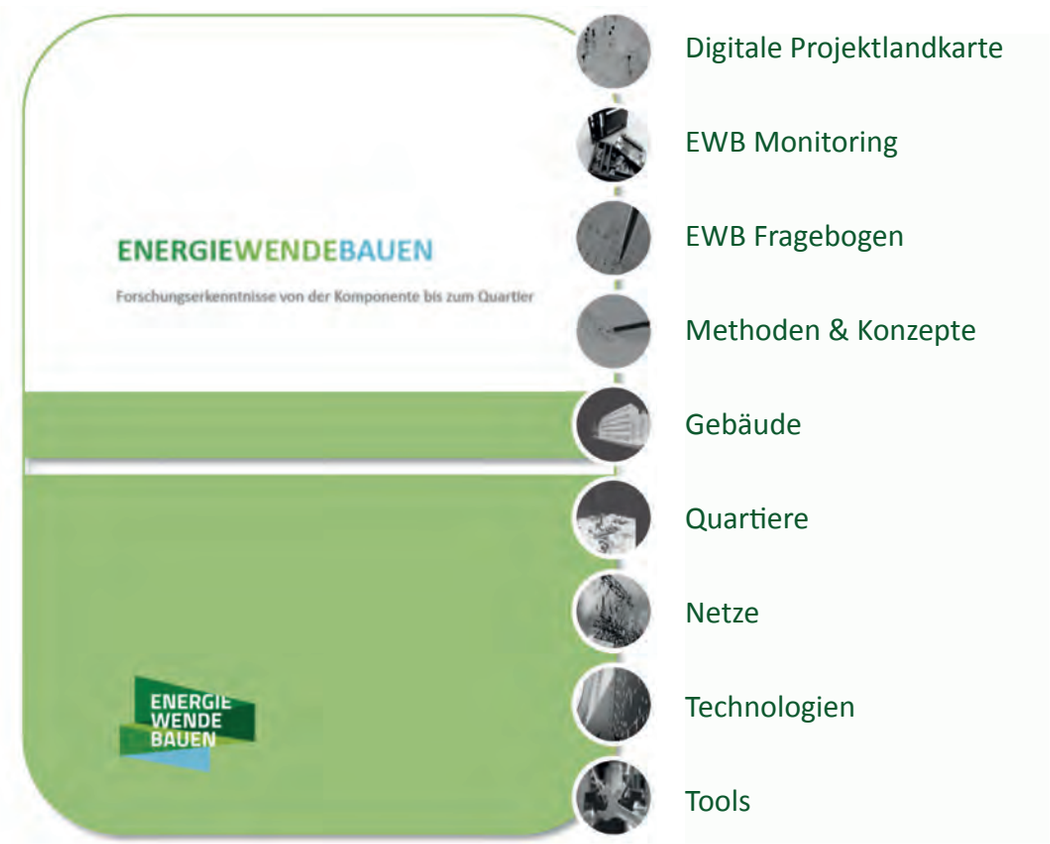
Sie erhalten Zugriff auf eine Vielzahl an diversen Daten und…



Sie sind dabei als Forscher gleichzeitig Förderer und Nutzer der Datenbank.



Buchveröffentlichung: Forschungserkenntnisse von der Komponente bis zum Quartier



Session I.I Wasserstoffkonzepte – die Zukunft der Quartiersenergieversorgung?

Moderation: **Heike Erhorn-Kluttig**
Hans Erhorn
Fraunhofer-Institut für Bauphysik

Die derzeit entwickelte nationale Wasserstoff-Strategie der Bundesregierung „Wasserstoff als Schlüsselelement für die Energiewende“[1] enthält u.a. folgende Ziele:

- Wasserstoff als Kernelemente der Energiewende zu etablieren
- Die regulativen Voraussetzungen für einen Markthochlauf der Wasserstofftechnologien schaffen, das heißt inländische Märkte für die Erzeugung und Verwendung von Wasserstoff ermöglichen. Dabei liegt der Fokus auf solchen Bereichen, die bereits nahe an der Wirtschaftlichkeit sind oder die sich nicht anders dekarbonisieren lassen, wie bestimmte Industrie- und Verkehrsbereiche.
- Mit diesen Maßnahmen die Kosten bei der Umsetzung von Wasserstofftechnologien senken
- Deutsche Unternehmen und ihre Wettbewerbsfähigkeit stärken, indem Forschung und Entwicklung und der Technologieexport rund um innovative Wasserstofftechnologien forciert werden.
- Die zukünftige nationale Versorgung mit CO_2-freiem Wasserstoff und dessen Folgeprodukten sichern und gestalten. Das heißt, neben heimischen Erzeugungspotenzialen verlässliche internationale Partner für die Gewinnung und den Transport von Wasserstoff finden beziehungsweise entsprechende Kooperationen und Importstrukturen aufbauen.

Es werden unter anderem 5,4 Millionen Arbeitsplätze in der Wasserstoff-Industrie und 800 Milliarden Euro Jahresumsatz bis 2050 erwartet. 100 Millionen Euro Fördermittel sollen jährlich für Reallabore der Energiewende bis 2022 zur Verfügung gestellt werden.

Wasserstoff (H_2) kann auf unterschiedliche Arten gewonnen werden, u.a. durch Elektrolyse[2], bei der man Wasser (H_2O) mit Hilfe elektrischen Stroms in Sauerstoff (O) und Wasserstoff (H2) aufspaltet. Dabei braucht es viel Energie, um das Molekül H2 abzuspalten. Man spricht

- Von grünem Wasserstoff, wenn die Herstellung mittels Elektrolyse mit Strom aus erneuerbaren Energien hergestellt wird. Dieser Wasserstoff ist CO_2-neutral.
- Von grauem Wasserstoff bei Gewinnung aus fossilen Brennstoffen, z. B. wird bei der Dampfreformierung Erdgas unter Hitze in Wasserstoff und CO_2 umge-

[1] Quelle: BMWi, https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Dossier/wasserstoff.html

[2] Quelle: BMWi, https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Dossier/wasserstoff.html

wandelt. Das CO2 wird anschließend ungenutzt in die Atmosphäre abgegeben und verstärkt so den globalen Treibhauseffekt.

- Von blauem Wasserstoff, wenn das CO_2 bei der Entstehung abgeschieden und gespeichert wird (Carbon Capture and Storage). So gelangt das CO_2 nicht in die Atmosphäre und die Wasserstoffproduktion kann bilanziell als CO_2-neutral betrachtet werden.
- Von türkisfarbigem Wasserstoff, wenn er über Methanpyrolyse (thermische Spaltung von Methan) hergestellt wurde. Wird der zugehörige Hochtemperaturreaktor aus erneuerbaren Energiequellen versorgt und der entstehende feste Kohlenstoff dauerhaft gebunden ist der Wasserstoff CO_2-neutral.[3]

Eine Recherche in EnArgus[4] ergab, dass bis zum Zeitpunkt des Projektleiter-Treffens insgesamt 22 Einzel-oder Verbundforschungsprojekte mit einem gleichzeitigen Fokus auf „Wasserstoff“ und „Quartiere“ gefördert wurden und werden, davon 19 vom Bundeswirtschaftsministerium und drei vom Forschungsministerium. Ebenfalls 19 Projekte davon befinden sich derzeit noch in ihrer Laufzeit. Die Gesamtfördersumme der 22 Projekte beträgt 49,7 Mio. €. Bei Berücksichtigung jeweils aller Verbundprojektanteile wurden und werden 67 Einzelprojekte gefördert mit insgesamt 95,9 Mio. €. Im Sommer 2019 wurden die Gewinner des Ideenwettbewerbs „Reallabor der Energiewende“ verkündet.[5] Darunter sind auch drei Projekte mit einer direkten Verbindung zwischen Wasserstoff und Quartieren:

- H2 Wyhlen - Entwicklung und Untersuchung eines Testraums für die lokale Energie- und Rohstoffversorgung der Sektoren Gebäude, Verkehr und Industrie auf Basis regenerativen, strombasierten Wasserstoffs
- Norddeutsches Reallabor – die Energiewendeallianz für Sektorkopplung
- SmartQuart – Smarte Energiequartiere

Mehrere Projekte forschen über Wasserstoff mit Anwendung für die Energieversorgung der Industrie.

In der Session „Wasserstoffkonzepte – die Zukunft der Quartiersenergieversorgung?“ wurden zwei Quartiersprojekte mit Einbeziehung von Wasserstofferzeugung eingeladen über die gemachten Erfahrungen zu berichten:

- Es_West_P2G2P: Wasserstoff-Energiekonzept in der Neuen Weststadt Esslingen
- EnaQ: Wasserstoff-Energiekonzept im Energetischen Nachbarschaftsquartier Fliegerhorst Oldenburg

Interessant war dabei, dass in einem Projekt die Perspektive eines Forschungs- und Planungsunternehmens aufgezeigt wurde und im anderen Projekt die Erfahrungen eines Industrieunternehmens zusammengefasst wurden.

[3] Quelle: BMBF, https://www.bmbf.de/de/eine-kleine-wasserstoff-farbenlehre-10879.html

[4] Quelle: EnArgus, https://www.enargus.de/

[5] Quelle: BMWi, https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Pressemitteilungen/2019/20190718-altmaier-verkuendet-gewinner-im-ideenwettbewerb-reallabore-der-energiewende.html

Forschungsprojekte zu Wasserstoff in Quartieren

Recherche in EnArgus: Wasserstoff&Quartiere

- 22 Einzel- bzw. Verbundprojekte, davon
  — 19 BMWi-Projekte, 3 BMBF-Projekte
  — 19 laufende Projekte

- Fördersumme der 22 Projekte: 49,7 Mio. €

- Bei Berücksichtigung aller Verbundprojektteile: 67 Einzelprojekte, 95,9 Mio. €

- EnStadt: ENaQ - Energetisches Nachbarschaftsquartier Fliegerhorst Oldenburg

- Reallabor: SmartQuart 'Smarte Energiequartiere‘

- EnStadt: QUARREE100: Resiliente, integrierte und systemdienliche Energieversorgungssysteme im städtischen Bestandsquartier unter vollständiger Integration Erneuerbarer Energien ‚Rüsdorfer Kamp‘

- EnStadt: Es_West_P2G2P: Klimaneutrales Stadtquartier Neue Weststadt Esslingen

- District Energy Storage and Supply System 2020+

- Einzelvorhaben SEKO: Energiesystemintegration & Sektorkopplung am Beispiel der Forschungsinfrastrukturen Energy Lab 2.0 und Living Lab Energy Campus

- Nationales Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NIP): CO_2-neutrale Energieversorgung eines sanierten Stadtquartiers

- Reallabor - Sofortprogramm: TurboFuelCellFuE - Multidisziplinäre Komponentenentwicklung für hybride Mikrogasturbinen-SOFC-Systeme

- SOFC-Units- Festoxidbrennstoffzellensysteme für stationäre Anwendungen - Prototypenfertigung von Brennstoffzellen, Stacks und Geräten für Demonstratoren zur Validierung und zur Serienvorbereitung

Forschungsprojekte zu Wasserstoff in Quartieren

Reallabore der Energiewende

BMWi-Pressemitteilung 18.07.2019

Altmaier verkündet Gewinner im Ideenwettbewerb ‚Reallabore der Energiewende': „Wir wollen bei Wasserstofftechnologien die Nummer 1 in der Welt werden"

In bundesweit 20 Reallaboren erproben Unternehmen künftig v. a. neue Wasserstofftechnologien im industriellen Maßstab und in realer Umgebung.

- Gewinnerprojekte mit direkter Verbindung zwischen Wasserstoff und Quartieren:
- Viele Projekte mit direkter Verbindung zwischen Wasserstoff und Industrie
- Bisher konnten 2 Reallabor-Projekte starten



© BMWi/Susanne Eriksson

Praxisprojektvorstellung I.I.I

Projekt:	**EnStadt: Es_West_P2G2P: Klimaneutrales Stadtquartier Neue Weststadt Esslingen**
Projektbeteiligte:	Stadt Esslingen am Neckar Steinbeis Innovation gGmbH - Steinbeis-Innovationszentrum Energie-, Gebäude- und Solartechnik (SIZ), Stuttgart Polarstern GmbH, München RVI GmbH, Saarbrücken Städtischer Verkehrsbetrieb Esslingen am Neckar Technische Universität Braunschweig Institut für Gebäude- und Solartechnik, Braunschweig Hochschule Esslingen, Esslingen am Neckar
Laufzeit:	2017 – 2022
Vortragender:	**Univ.-Prof. Dr. Manfred Norbert Fisch | Leiter Steinbeis Innovation gGmbH - Steinbeis-Innovationszentrum Energie-, Gebäude- und Solartechnik (SIZ)** **Tobias Nusser, M.Sc.** **Simon Marx, M.Sc.**

Projektbeschreibung:

In der 'Neuen Weststadt' von Esslingen soll das energie- und klimapolitische Ziel der Bundesregierung eines nahezu klimaneutralen Gebäudebestands bis 2050 beispielhaft umgesetzt und erprobt werden. Das Konzept basiert auf einer kostenoptimalen Reduzierung des Strom-, Wärme- und Kältebedarfs der Gebäude (Mischung aus Wohnen, Gewerbe, Dienstleistung, Hochschule) und der Nutzung erneuerbarer Energiequellen (PV und Biogas). Der Einsatz innovativer Technologien wie z. B. Wasserstoff-, Elektrolyse, bivalenter BHKW's, Wasserstoff-Abfüllstation, Stromspeicher, e-Ladeinfrastruktur und Elektrobusse erfolgt systemdienlich. Mit der langfristig angestrebten Umstellung der Stromproduktion auf bis zu 80 % regenerative Energiequellen werden sowohl Stromüberschüsse als auch Versorgungsengpässe unausweichlich. Die Umwandlung dieser Überschüsse in „Grünen Wasserstoff“ (Power to Gas, P2G), zur Nutzung für Industrie, Mobilität und zur Decarbonisierung des Gasnetzes ist eine absolut notwendige Technologie für Erreichung der Klimaschutzziele in Deutschland bzw. Europa.

In der 'Neuen Weststadt' entsteht die Blaupause für die vom BMWi geförderten Reallabore. Die Produktion von Grünem Wasserstoff mit einem Elektrolyseur (1 MW_{el}) im Stadtquartier ist erstmalig in Deutschland und wird im Rahmen der Förderinitiative EnEff:Stadt von BMBF und BMWi gefördert. Der für die Wasserspaltung eingesetzte Strom kommt aus lokaler Erzeugung (Gebäudeintegrierter PV) und überregionalen volatilen Stromüberschüssen aus PV- und Windstrom. Dabei wird besonderes Augenmerk auf den netzdienlichen Betrieb gelegt. Die beim Elektrolyseprozess entstehende Abwärme wird für Heizzwecke und die Trinkwarmwasserbereitung im Quartier genutzt, wodurch der Nutzungsgrad von 60 % auf rd. 90 % gesteigert wird. Die Untersuchung des Zusammenspiels zwischen Gebäude, Technik und Nutzer ist Gegenstand des technischen und sozialwissenschaftlichen Monitorings.

Kernaussagen des Vortrags:

Zur Erreichung der Klimaschutzziele ist eine Vervierfachung der installierten PV- und Wind-Generator-Leistungen auf mind. 500 GW_{el} erforderlich. Die mittleren Leistungsbedarfe des Stromnetzes in Deutschland werden weiter ansteigen. Der Sekundärenergieträger Strom wird bedingt durch den Umstieg auf die E-Mobilität und die weitere Marktdurchdringung von elektrische Wärmepumpen und Kältemaschinen kontinuierlich zunehmen. Für Nutzung von volatilen Stromüberschüssen und die Verschiebung von größeren Energiemengen vom Sommer aus PV-Anlagen in die Wintermonate sind Power to Gas- (Gasspeicher) und Power to Heat- (Saisonale Speicher) Technologien im großtechnischen Maßstab notwendig. Das Klimaquartier Neue Weststadt in Esslingen ist ein kleiner Baustein zur Transformation von fossiler zur erneuerbarer Energieversorgung in Deutschland.

Eine Stadt setzt Zeichen: Auf dem ehemaligen Güterbahnhofsgelände der Stadt Esslingen am Neckar entsteht das erste „klimaneutrale Stadtquartier“ Deutschlands. Auf einer Fläche von rd. 12 ha wächst seit 2017 die „Neue Weststadt“ – direkt im Ballungsraum von Stuttgart: etwa 85.000 m^2, 70 % Wohnraum, 30 % Gewerbeflächen, verteilt auf fünf Baublöcke. Was 2011 mit einem städtebaulichen Wettbewerb für ein brach liegendes Gelände begann, soll 2022 zukunftsweisend abgeschlossen sein: ein urbanes Quartier inklusive neuer Hochschule, das Arbeiten, Wohnen und Leben sozial freundlich und klimaneutral kombiniert. In den rund 550 Wohnungen sollen eines Tages mehr als 750 Men-

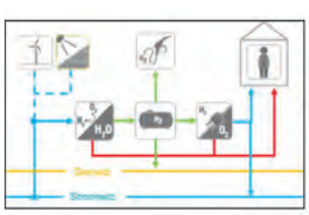
schen leben. 132 Wohnungen sind seit 2019 bewohnt, weitere 128 Wohnungen werden bis Mitte 2020 vermietet. Die Realisierung eines solchen Vorzeige-Stadtviertels ist ein wichtiger Baustein für die 90.000 Einwohner-Stadt, denn die schwäbische Kommune will ihr ehrgeiziges Ziel weiter vorantreiben, die Kohlendioxid-Emissionen im Stadtgebiet bis Ende 2020 um ein Viertel zu reduzieren.

Kernstück des technologisch innovativen Stadtquartiers ist das energetische, ganzheitliche Versorgungskonzept, das Strom, Wärme, Kälte und Mobilität auf intelligente Weise koppelt. Diesen Ansatz verfolgt das neu entstehende klimaneutrale Stadtquartier: Herzstück der Energiezentrale ist ein Elektrolyseur (1 MW_{el}), der Ende 2020 in Betrieb gehen soll. Er nutzt den überschüssigen Solarstrom (nachrangig zur Eigenstromnutzung) von den Gebäudedächern und dem importierten Strom aus EE, um grünen Wasserstoff herzustellen. Es wird also elektrische Energie in chemische Energie umgewandelt. Die Nutzung des Wasserstoffs (max. 400 kg/Tag) erfolgt im Projekt durch Einspeisung ins Erdgasnetz, die Abfüllung und Transport des verdichteten Wasserstoffs zu Industrieabnehmern sowie H2- Tankstellen. Im Forschungsprojekt wird die Rückverstromung des grünen Wasserstoffs in einem Blockheizkraftwerk (BHKW) erprobt, dass in der Regel mit Bio-Methan betrieben wird.

Das der Elektrolyseur mitten im Quartier und nicht auf der grünen Wiese steht, hat zwei große Vorteile: Die Transportwege für die Nutzung des Wasserstoffs sind verkürzt und die Abwärme (rd. 30 %) des Elektrolyseprozesses wird genutzt, um die benachbarten Gebäude über ein Nahwärmenetz mit Wärme (ca. 55 °C) zu versorgen. Der Nutzungsgrad von Elektrolyseuren, der bei etwa 60 % liegt, lässt sich so auf rd. 90 % steigern. Investor und Betreiber der Energiezentrale ist die Green Hydrogen Esslingen, ein Startup Unternehmen das eigens für das Projekt in 2019 gegründet wurde. Um dieses ausgeklügelte Konzept zu realisieren, wurde durch das Projektteam ein komplexes System aus Elektrolyse, H2-Abfüllstation, BHKW, Stromspeicher und Photovoltaik-Anlagen fürs Quartier entwickelt, das sie über ein intelligentes digitales Energie-Management-System vernetzen. Für die technisch-wirtschaftliche Optimierung des komplexen Systems aus dezentralen Energieerzeugern, Energieverbrauchern und Energiespeichern sowie der Mobilität wurde das Quartiers-Simulationsprogramm „QUASI“ entwickelt.

Das Besondere ist die Umsetzung des Gesamtsystems erstmals in einem städtischen Quartier. Dies war nur möglich durch eine frühzeitige und enge Zusammenarbeit mit der Stadtverwaltung und der Unterstützung durch OB Dr. J. Zieger. Alleine das Genehmigungsverfahren für die Wasserstoff-Herstellung, die Wasserstoff-Leitungen zur Abfüllstation und die Abfüllstation sowie die regulatorischen Hemmnisse sind Erfahrungen, die für künftige Projekte genutzt werden können.

Ende 2020 soll die Wasserstoffanlage in Betrieb gehen. Das wissenschaftlich-technische Monitoring wird die Betriebsoptimierung des Gesamtsystems „Klimaquartier“ bis 2022 unterstützen.

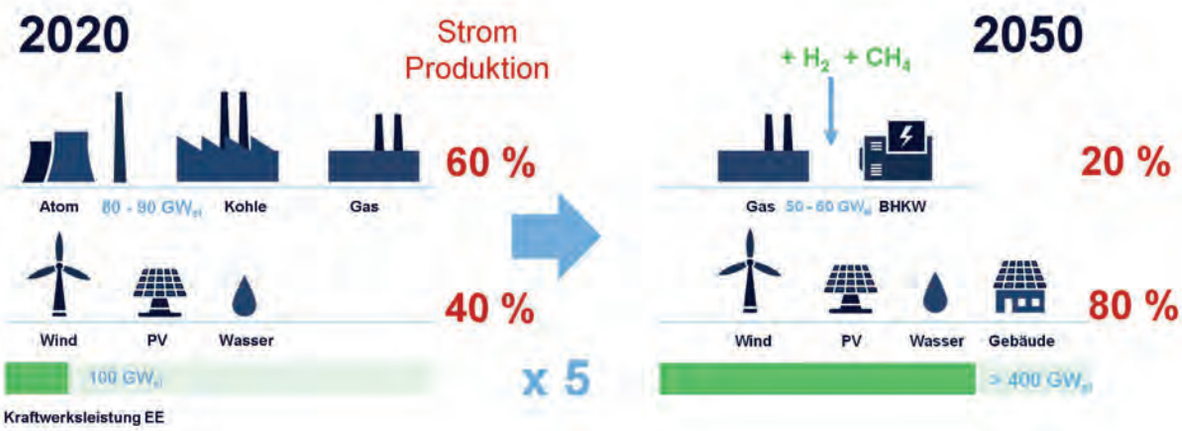




NEUE WESTSTADT KLIMAQUARTIER

Klimaneutralität aber wie?

Vervielfachung der Stromerzeugung aus EE erforderlich

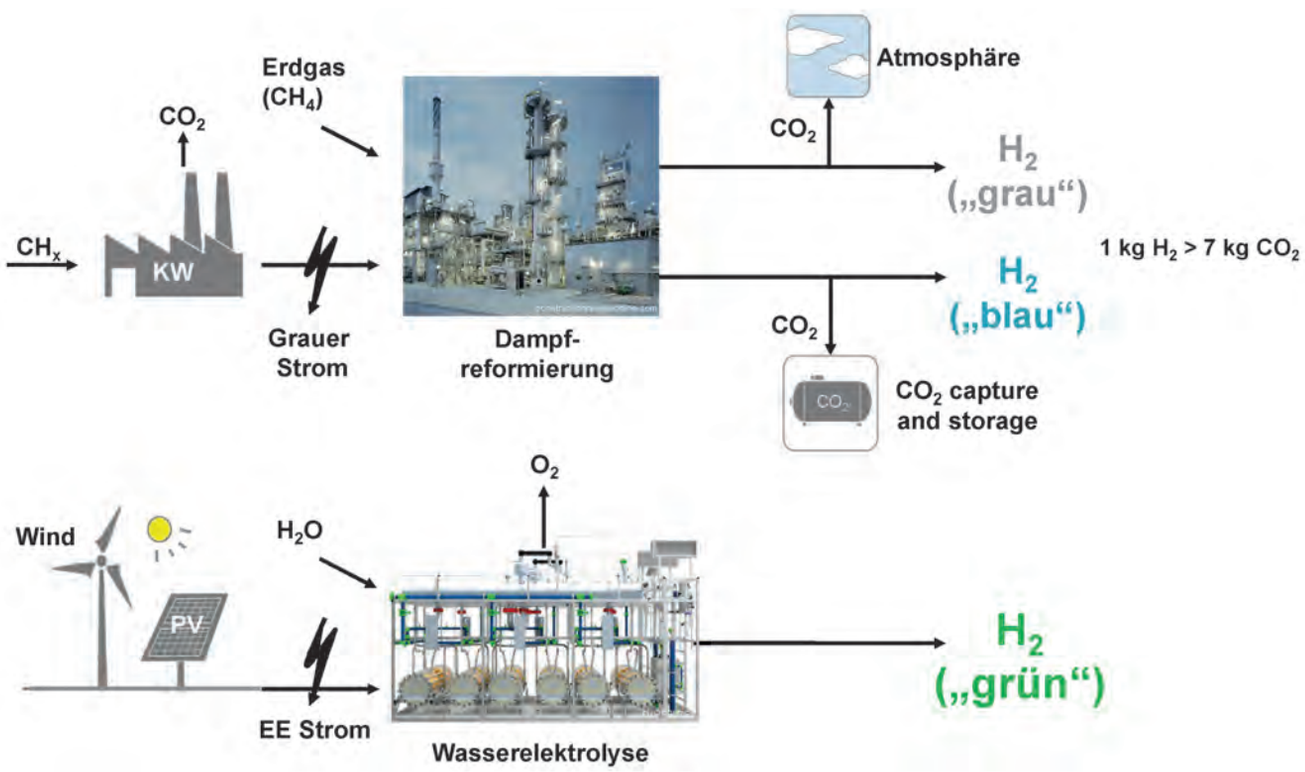


Grüner Wasserstoff ist Schlüsselelement der Energiewende

- Speicherung von erneuerbarem Strom (Langzeitspeicherung → Gasnetz, Tanks)
- Sektorenkopplung (Strom → H2 → Wärme, Mobilität, Industrie)

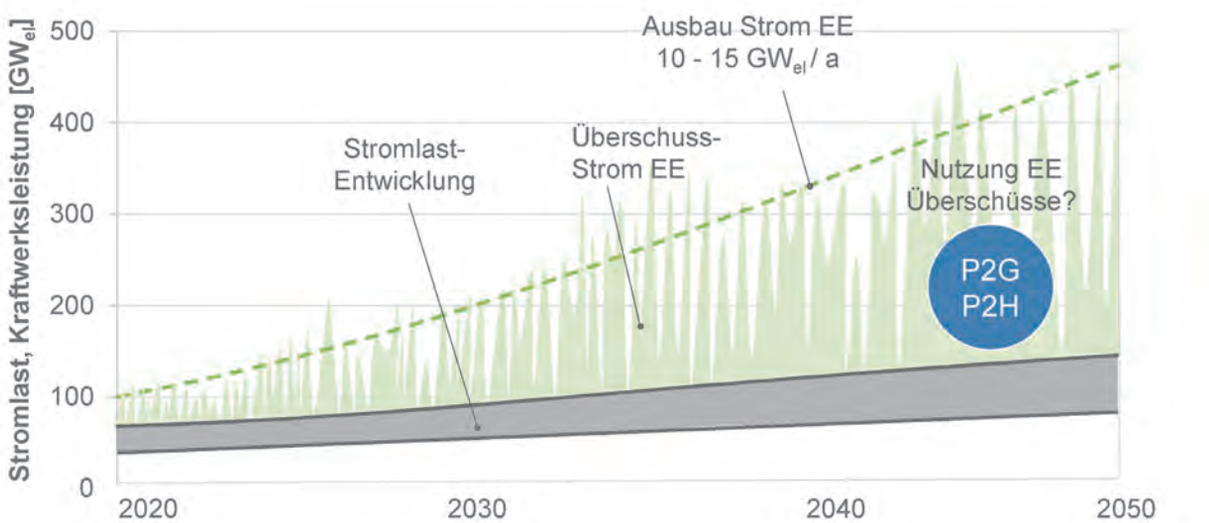
Grauer - Blauer - Grüner Wasserstoff

Dampfreformierung - Wasserelektrolyse



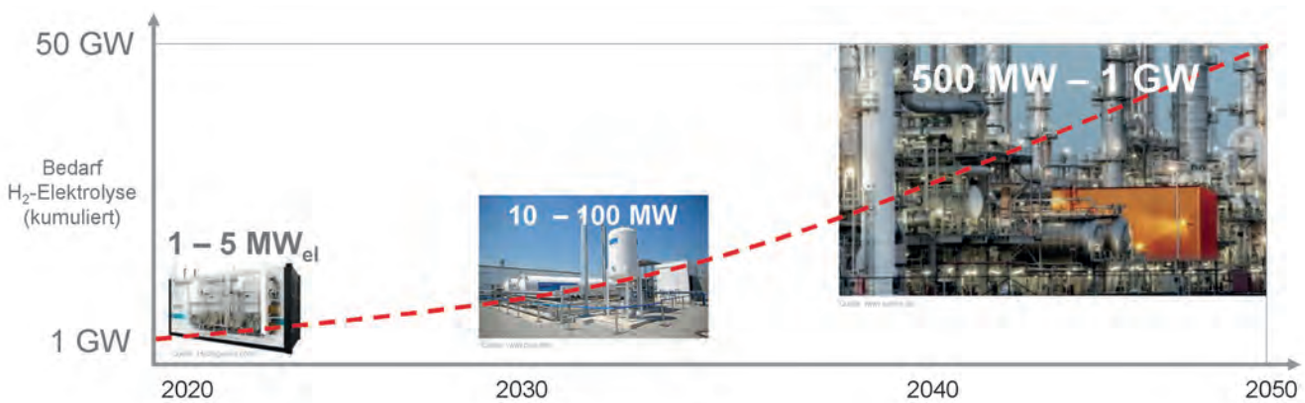
Entwicklung Stromlast & Kraftwerksleistung

Ohne Grünen Wasserstoff keine Energiewende



Marktentwicklung Wasserstoff-Elektrolyse

Min. Anlagenkapazität in Deutschland



Gebäude

- Nahezu klimaneutraler Gebäudebestand
- Gesteigerte Nachfrage nach erneuerbarer Wärme

Mobilität

- Reduzierung der verkehrsbedingten Treibhausgasemissionen
- Gesteigerte Nachfrage nach emissionsarmen Mobilitätskonzepten (MIV + ÖPNV)

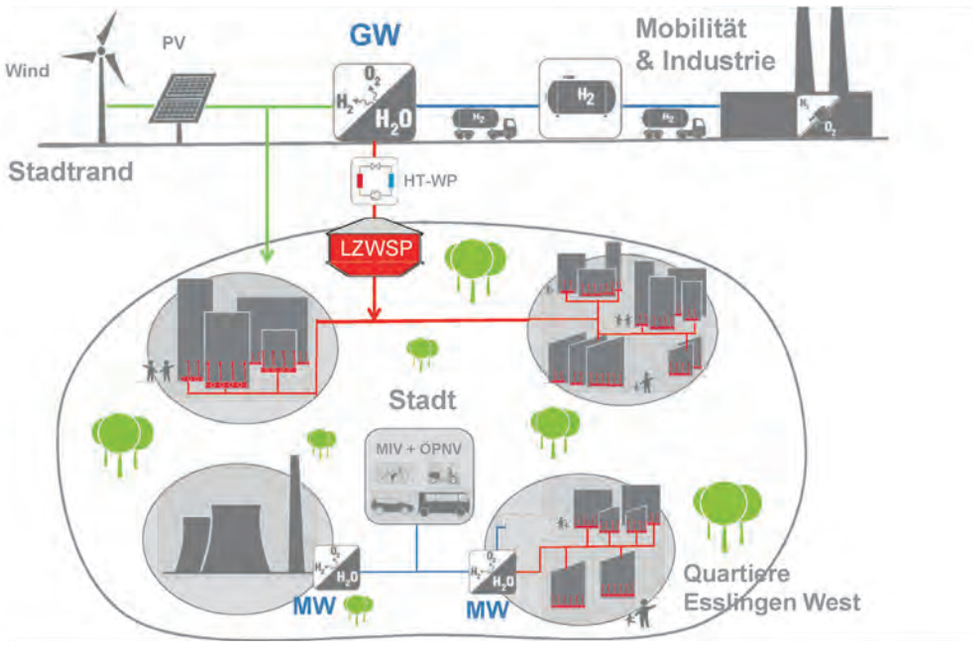
Industrie

- Stahlproduktion, Zementherstellung, Chemie

Energieversorgung / -speicherung

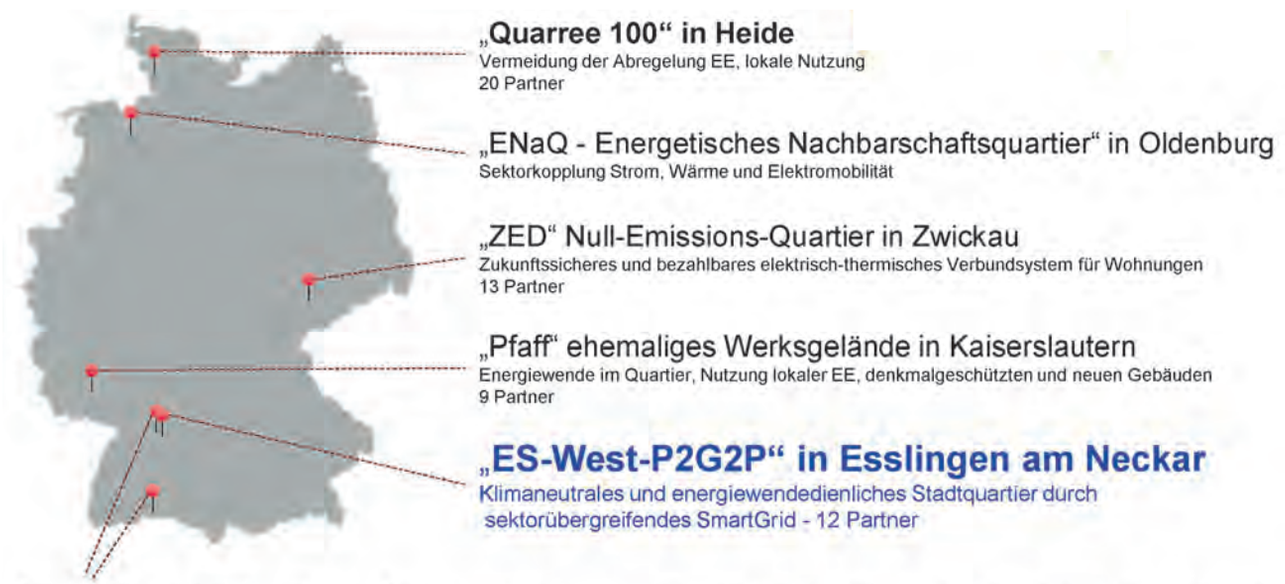
- Umstellung der Stromproduktion in Deutschland
- P2G als wichtige Technologie für die Zukunft

Grüner Wasserstoff
Dezentrale (Quartier) / Zentrale (Stadtrand) Produktion



Machen statt Reden!
BMWi & BMBF fördern Stadtquartiere

Förderinitiative Energieeffiziente Stadt (2017 – 2022)
die sechs Leuchtturmprojekte



„Stadtquartier 2050 – Herausforderungen gemeinsam lösen“ in Stuttgart (Bürgerhospital) und Überlingen
Innovative Gebäudelösungen verknüpft mit Sozialverträglichkeit durch Quartiersapp

Es_West_P2G2P
Forschungsschwerpunkte

- **Klimaneutralität**
(< 1 t CO_2 pro EW / Jahr
Gebäude + Mobilität)

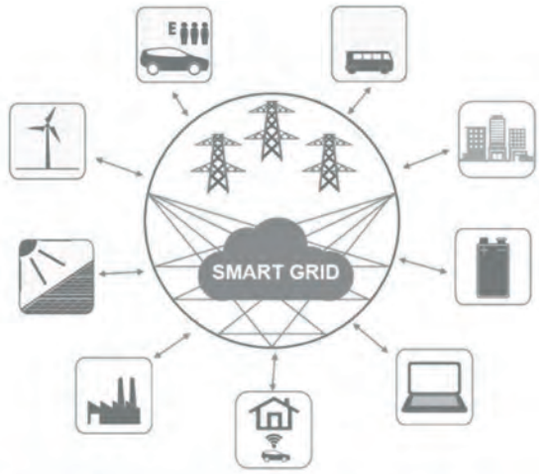
- **Smart-Grid und Sektorenkopplung**
(system- und energiewendedienlich)

- **Power-to-Gas (H2)**
(Industrie und Mobilität)

- **Emissionsarme Mobilität**
(Individual-Mob. und ÖPNV)

- **Zukunftstankstelle**

- **Nutzerintegration**





Bildquelle: www.chemanager-online.com

Forschungsprojekt „Es_West_P2G2P“
Konsortium und Fördergeber

Förderinitiative: „Solares Bauen/ Energieeffiziente Stadt“
Laufzeit: 11/2017 – 11/2022

Hauptantragsteller
Stadt Esslingen

Verbundkoordinator
Steinbeis-Innovationszentrum EGS
Stuttgart

Forschungsinstitute	Bauherr	Verkehrsbetriebe	Nutzerinterface	Energieversorger

Weitere Partner:

Gefördert von:

Neue Weststadt Esslingen

Lage



Baugebiet „Neue Weststadt“ Stadtzentrum Esslingen

Planungs- und Baustand

85.000 m² BGF, 20 % Gewerbe, > 550 WE,

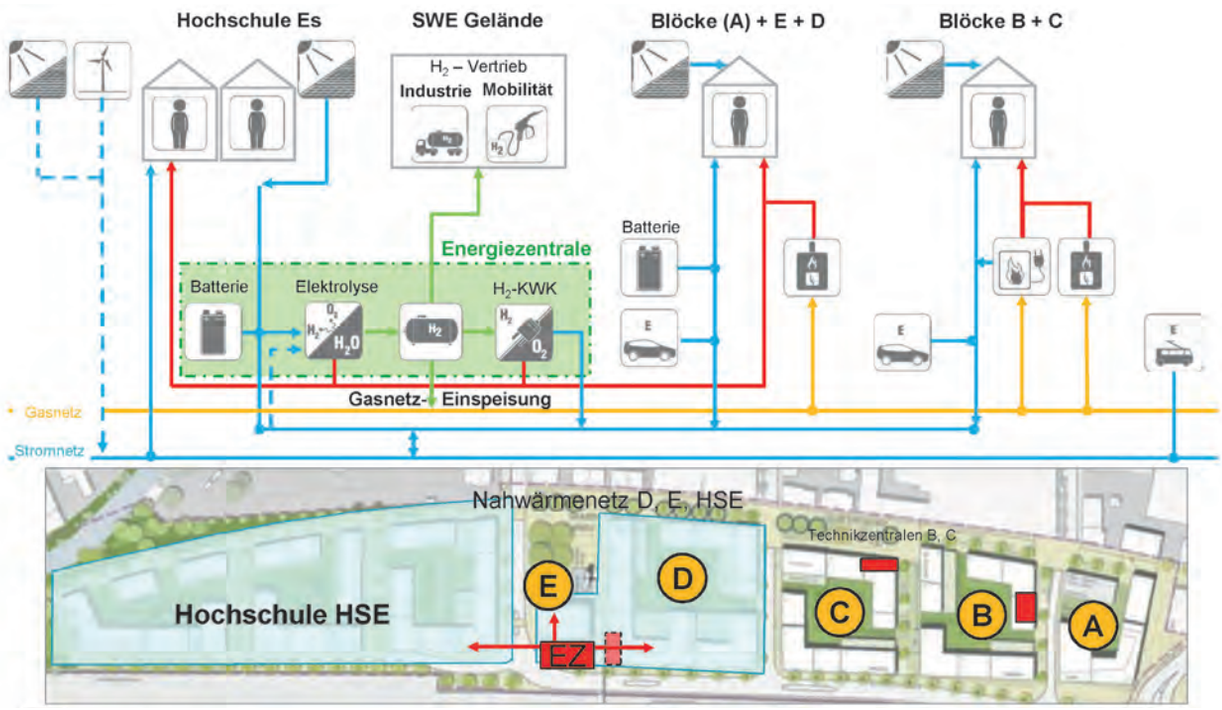
Hochschule Esslingen Start: in Planung
Start 2021, Fertigstellung 2024

Block A: Bauantrag Ende 2020, Start Mitte 2021
Block B: 132 WE fertiggestellt, bewohnt
Block C: 128 WE fertiggestellt
Block D: 167 WE, im Bau, Fertigstellung 2020
Block E: in Planung. Baubeginn 2022

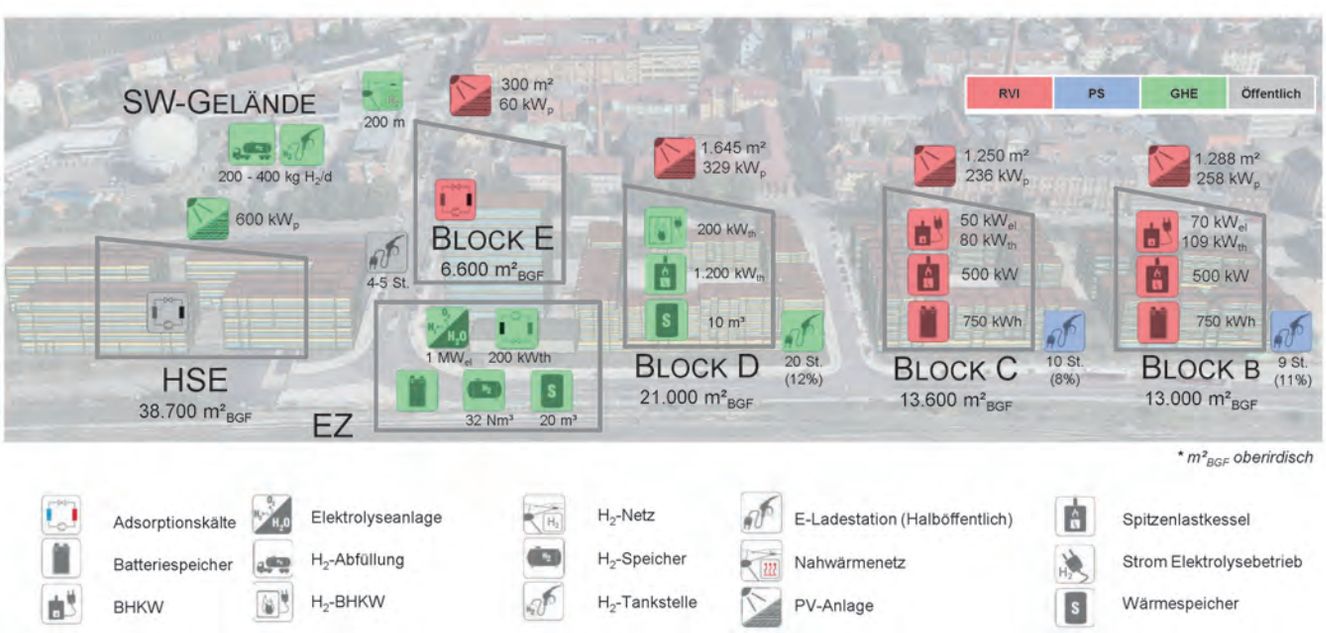


Bildquelle: Lehen drei, SIZ

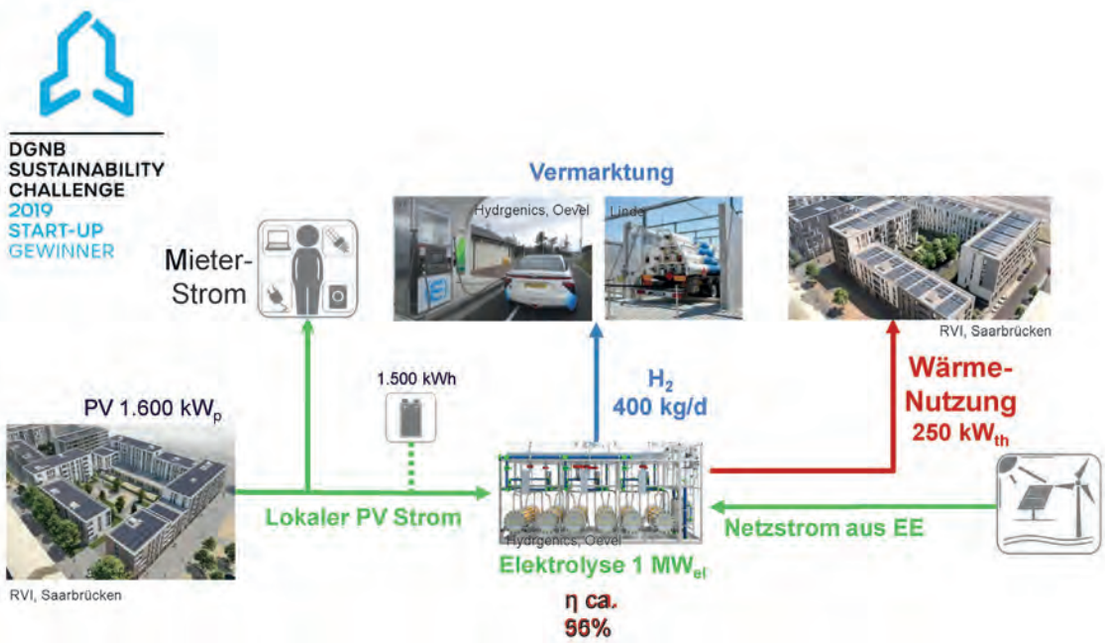
CO_2- neutrales Stadtquartier
Neue Weststadt Esslingen
Energieversorgungskonzept



Energiesystem - Komponentenauslegung
Anlagendimensionierung – Simulations-Planungstool „QUASI“



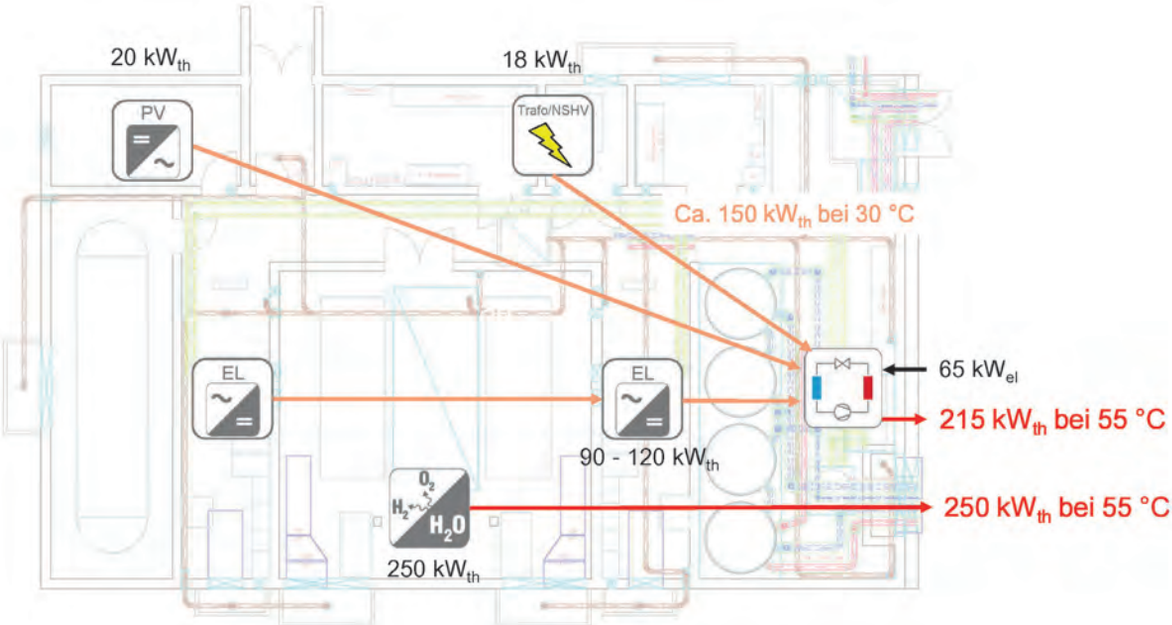
Energieversorgungskonzept
Wasserstofferzeugung und -nutzung



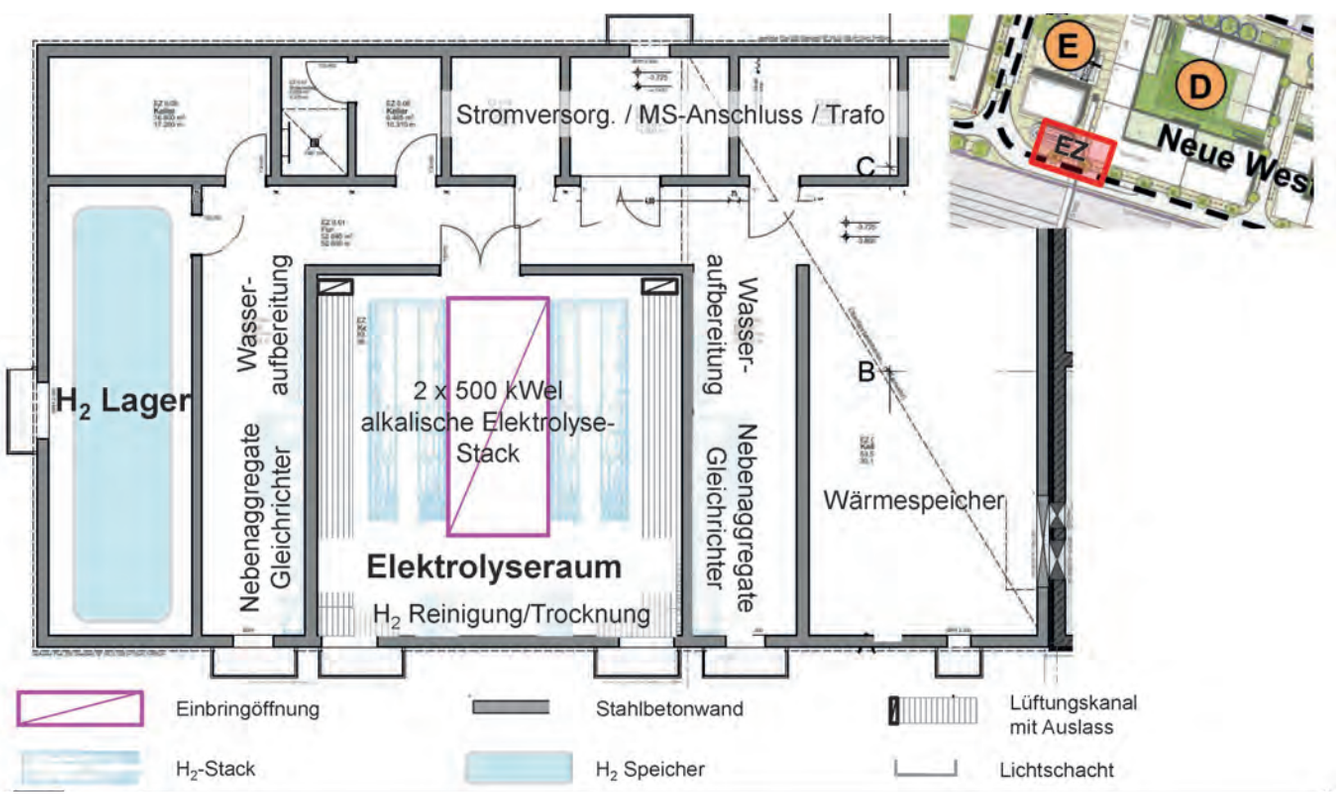
H2-Nutzungpfade
Lageplan



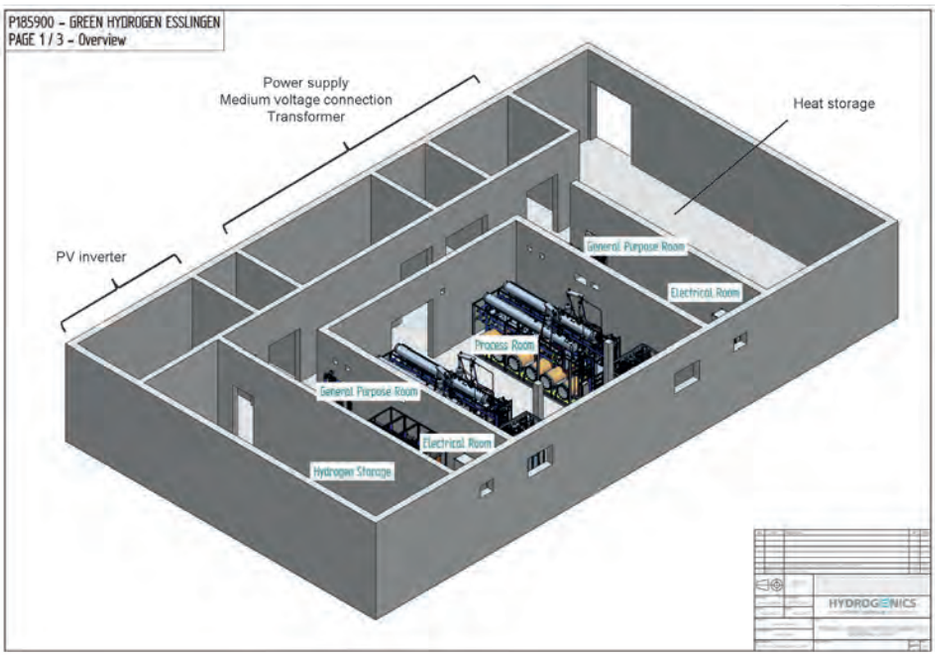
Energieversorgung
Energiezentrale - Wärmeauskopplung



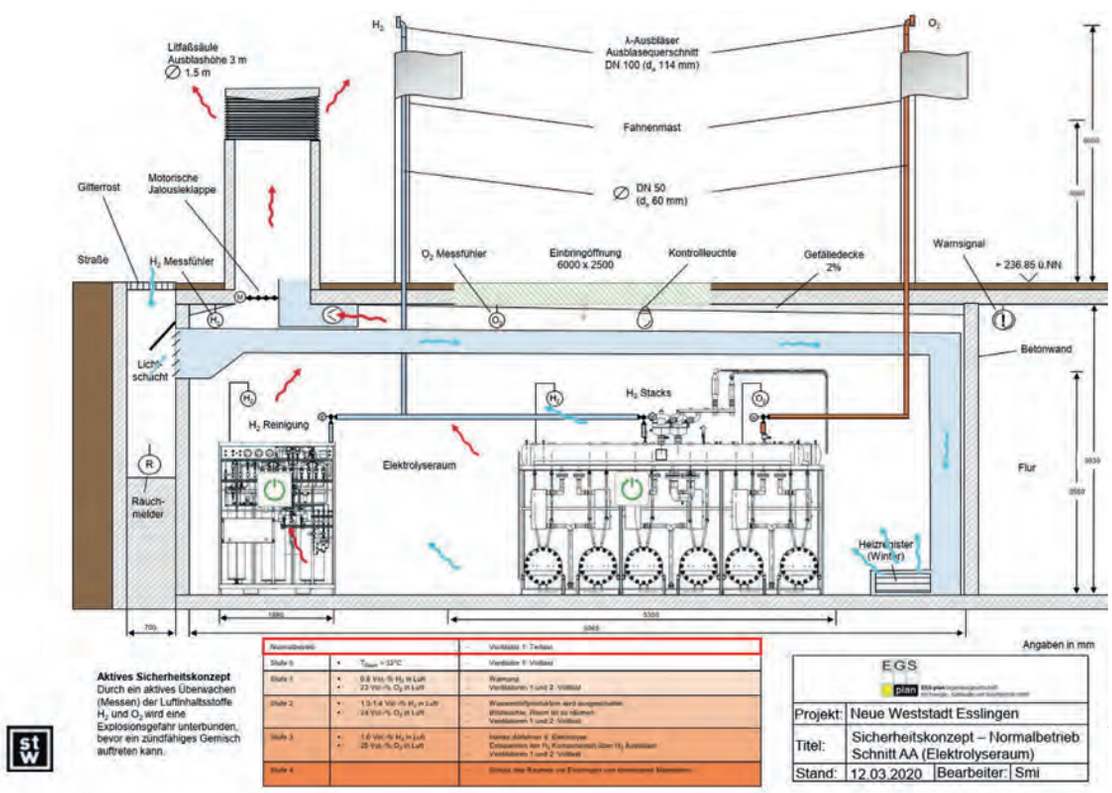
Energiezentrale (EZ)
Grundriss



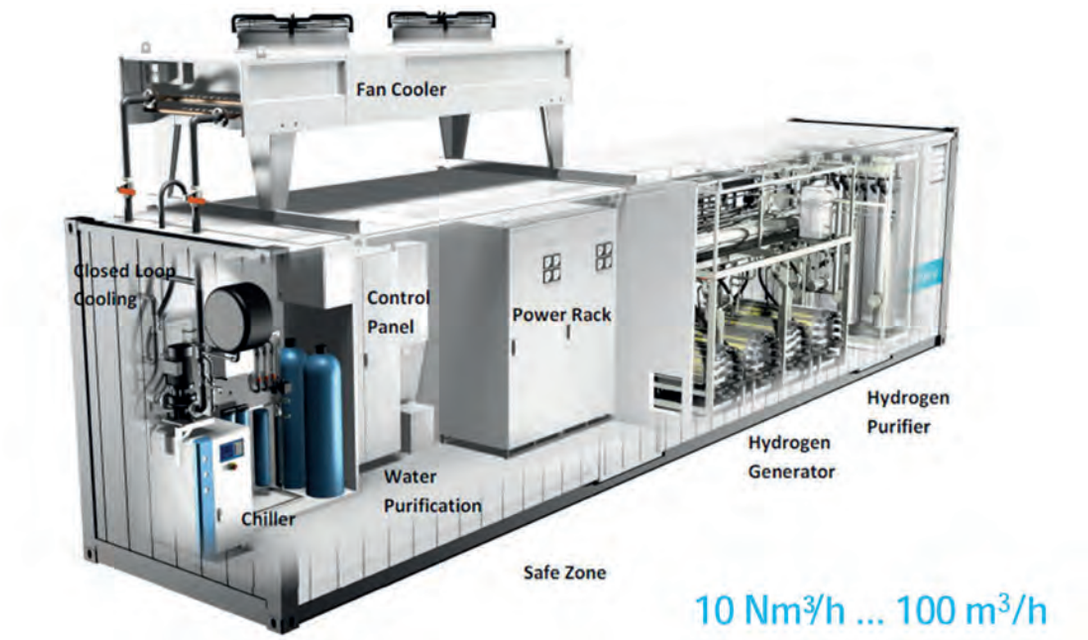
Energiezentrale (EZ)
BIM – 3D-Planung



Energiezentrale
Vertikalschnitt - Sicherheitskonzept

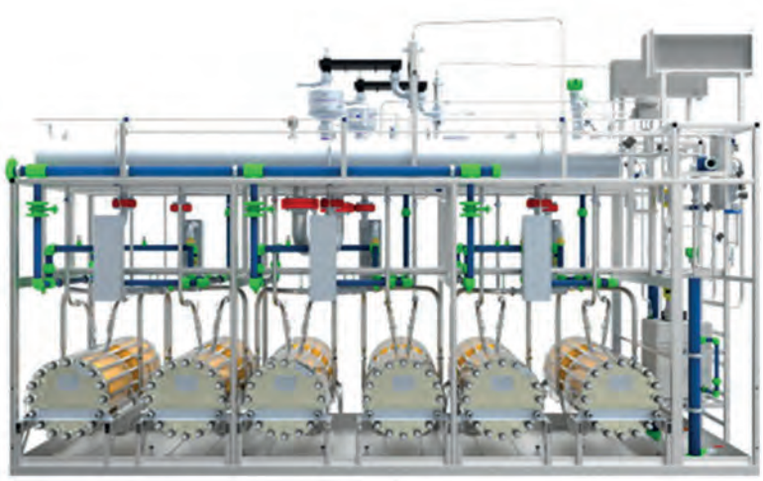


Alkalische Elektrolyse
Container - Ausführung



Bildquelle: Hydrogenics

Hydrogenics (Belgien / Kanada)



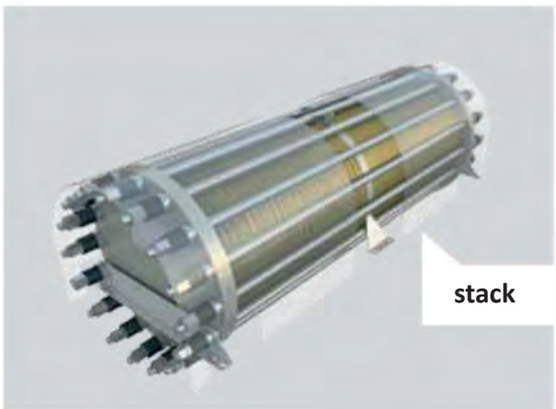
Skid mit 6 IMET Cell Stacks

Power 500 kW_{el}
Nominal: **100 m^3H_2/h** (200 kg H_2/d)
Minimum: 40 m^3H_2/ h
Betriebsdruck: 10 bar
Elektrolyt: 30 % Kalilauge, 500 l
H_2-Qualität: 99,998 %
Wasserbedarf 1,5 l / m^3 H_2 (18 l / kg H_2)

Nutzungsgrad: 5,2 kWh_{el} / m^3H_2 (ca. 60 %)
Abwärme: **ca. 60 °C** (30 - 35%)

Investitionskosten
Elektrolyseur inkl.
H_2O Aufber., H_2 Pur.: 1.400 – 1.500 €/kW_{el}
Gesamtsystem, Inbetr.: 1.850 – 2.000 €/kW_{el}

Alkalische Wasserstoff Elektrolyse
Hydrogenics HySTAT – IMET cell stack

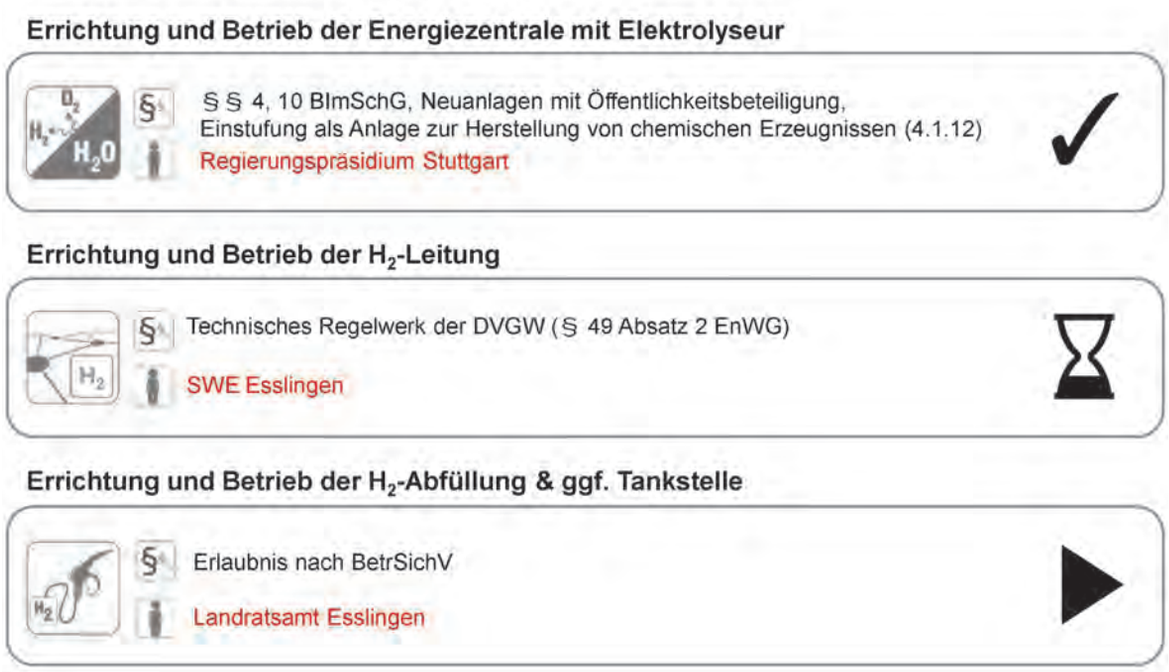


Stack: Zellenstapel durchströmt von Wasser/ 30 % **Kalilauge**

Serienschaltung runder Elektrolysezellen, Trennung Anode / Kathode durch anorganische Ionen-Austausch-Membran (IMET – Inorganic Membrane Electrolysis Technology)

Lebensdauer (Hydrogenics): ca. 50.000 h
ca. 8 - 10 a

Genehmigungsverfahren Energieversorgung
Übersicht



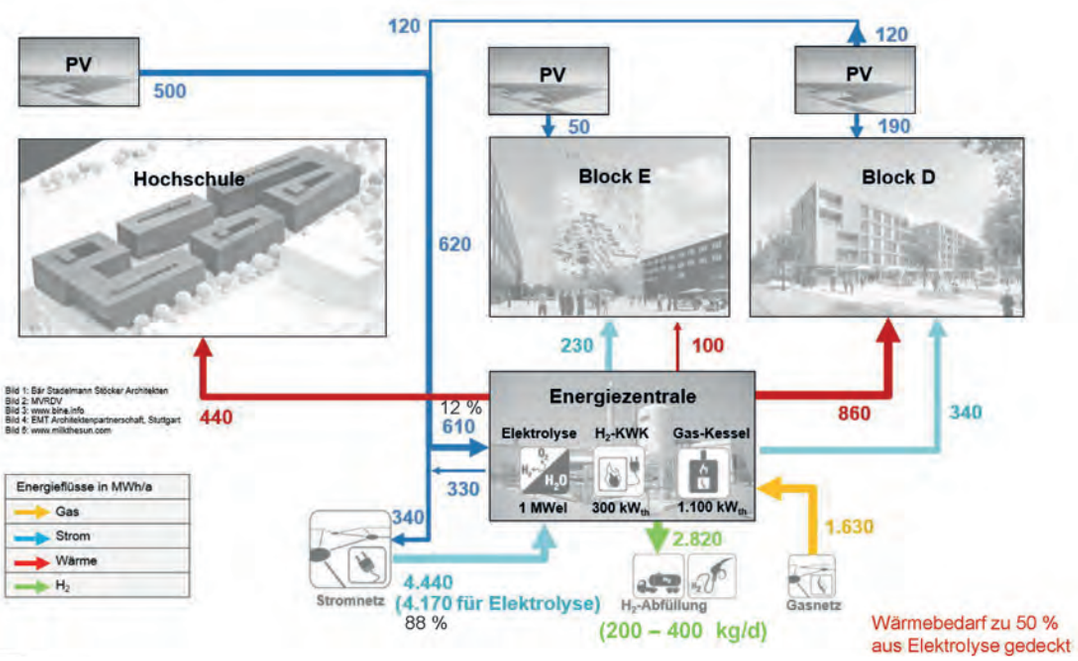
Genehmigungsverfahren Elektrolyseur
Lessons Learned – Transformation



- Forschungsprojektübergreifende Mitarbeit am Genehmigungsleitfaden PORTAL GREEN (Konsortium unter DVGW-Beteiligung entwickelt Genehmigungsleitfaden für PtG-Technologie)

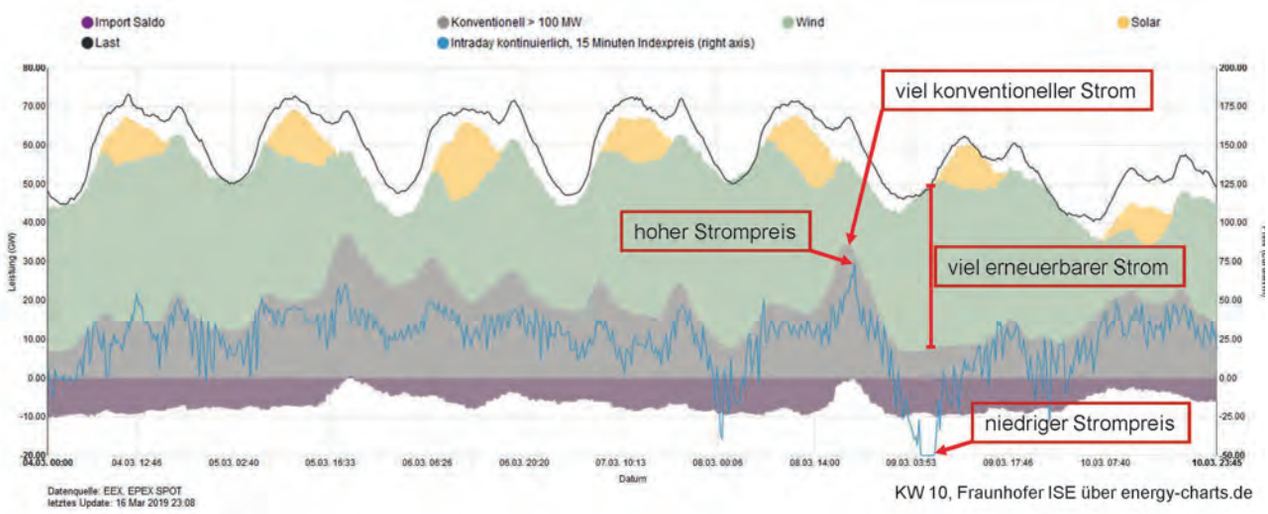
- Entwicklung eines eigenen Planungsleitfadens zur Umsetzung weiterer städtebaulich-integrierter Projekte

Energiezentrale – Sankey-Diagramm
Ergebnis aus Simulationstool „QUASI“



Elektrolyse
Betriebsweise

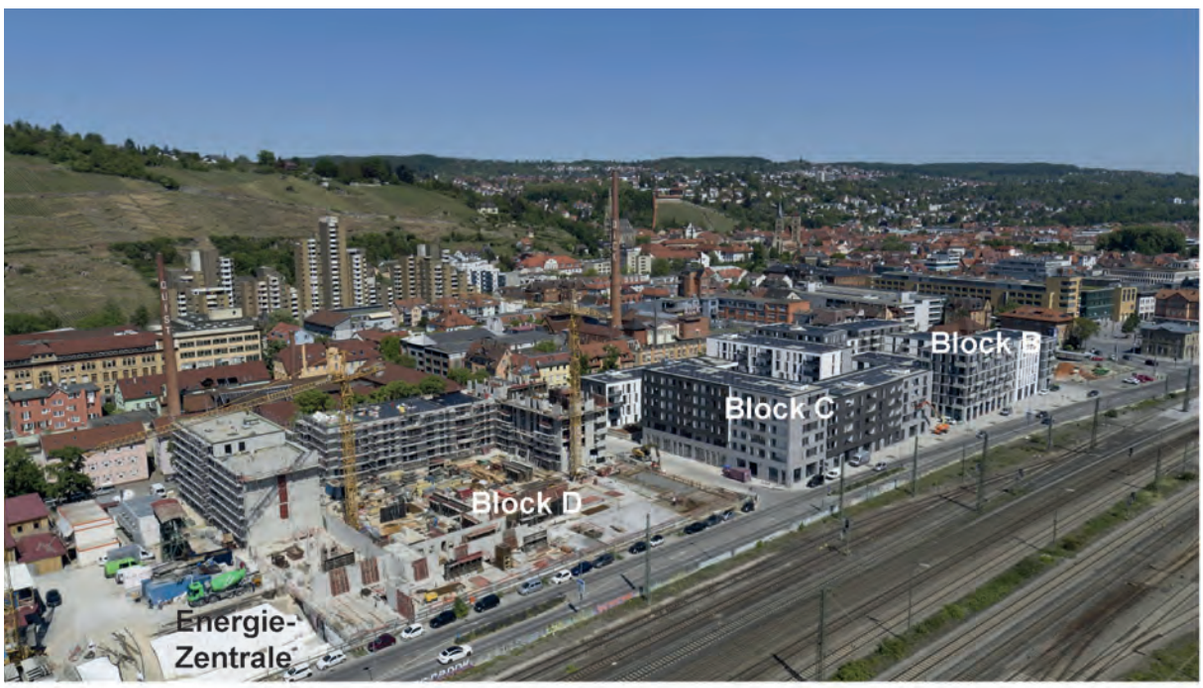
PV-Überschüsse aus Quartier reichen nicht aus (~ 610 MWh_{el}/a von 4.800 MWh/a)
→ Weiterer Strom wird energiewendedienlich bezogen



Stadtquartier in der Umsetzung
Baustand – Anfang 2020



Baufortschritt 9. Mai 2020



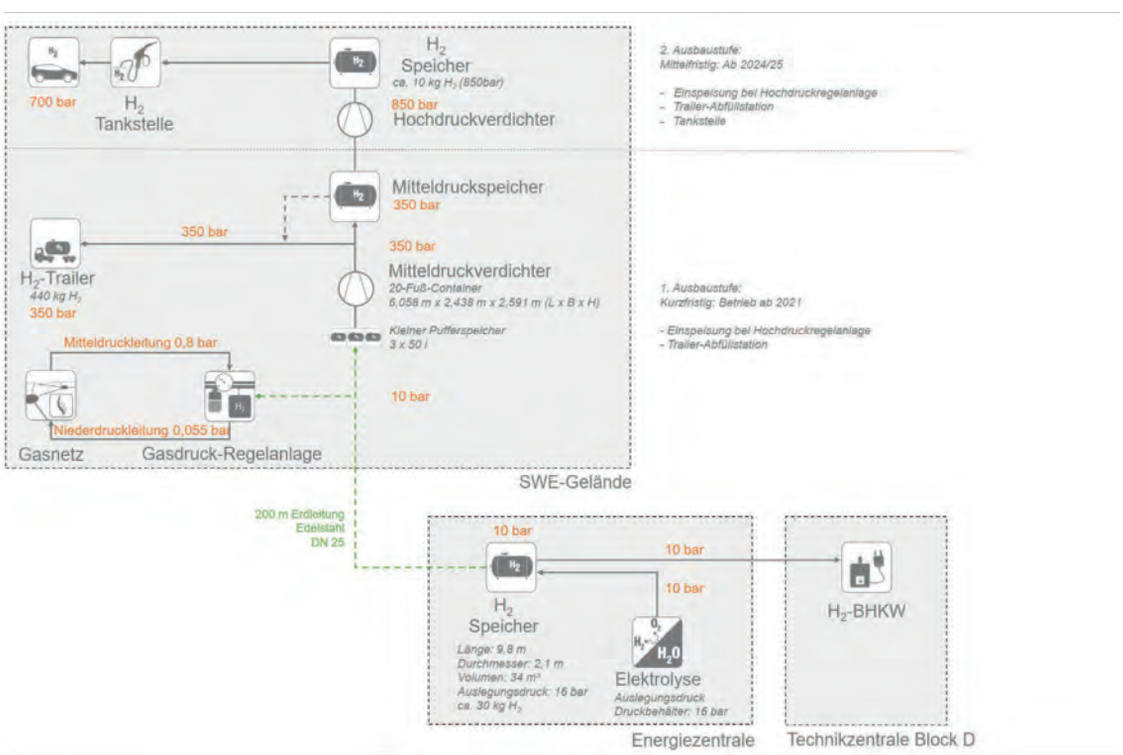
Innenhof Block B



H2-Verwertung
Energiezentrale – Energienetze - Infrastruktur
Lageplan



H2-Nutzungspfade
Rückverstromung, Gasnetzeinspeisung, Trailerabfüllung und Tankstelle



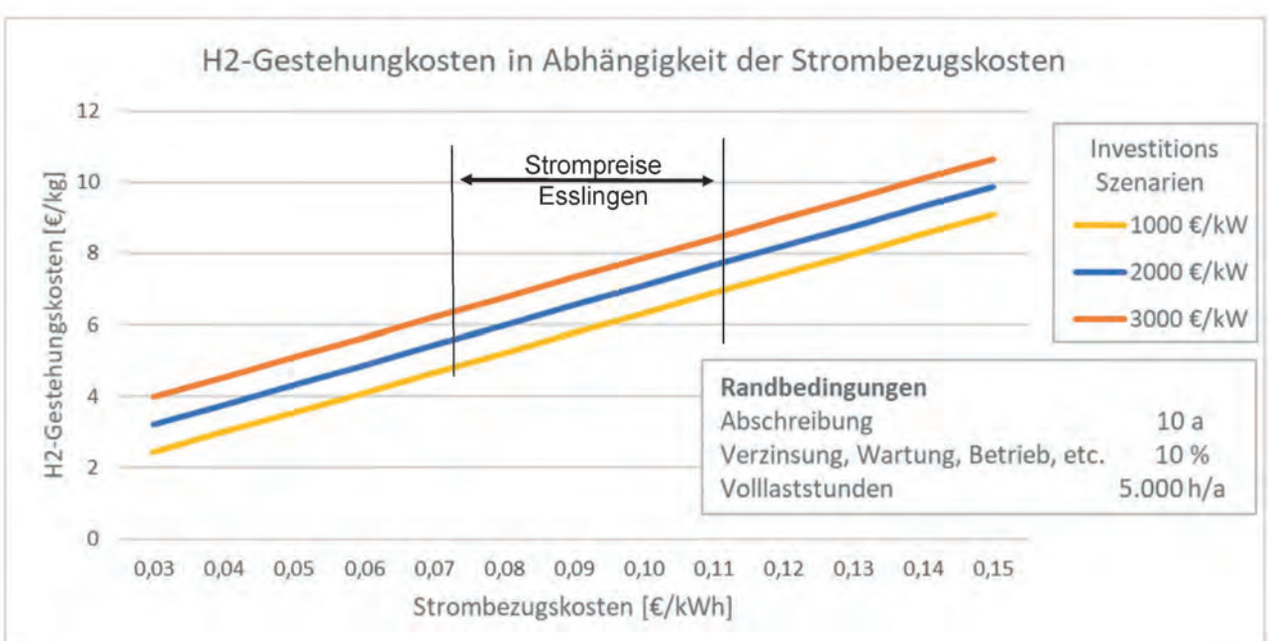
H2-Verwertung

Bewertung der Wirtschaftlichkeit



Datenquelle H2-Erlöse: u.a. Potenzialatlas P2G, dena, 2016

H2 Gestehungskosten



Trailer-Abfüllstation + Tankstelle

Ansichten und Energieinhalt



Ionenverdichter

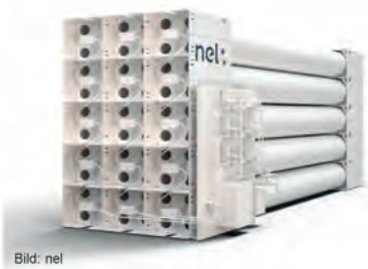


Bild: nel

Modulare Druckspeicher



Bild: wystrach

Standardtrailer:
300 bar Röhrenspeicher
Ca. 440 kg H_2 = 15 MWh



Bild: ZSW-Tankstelle Ulm



Bild: Hydrogenics, Gmbh

Angestrebte Abnahmemenge:
bis 50 - 100 kg/d
(Perspektive 2020-2022)

Lessons Learned

Voraussetzungen und Rahmenbedingungen

Grundsätzliches

- Stadt / Lokalpolitik / OB müssen brennen!
- Städtebau - und Hochbau-Wettbewerbe dem Ziel ausrichten!
- Ziele in B-Plan verankern!
- Bürger-Partizipation!
- Bauherren, Energieversorger, ... Motivation!
- Förderprogramme Bund-Land-Stadt
- Interdisziplinäres Projektteam

Akzeptanz und Genehmigungsfähigkeit

- Klimaneutralität: Max. Solarisierung, Biomethan, Grüner Wasserstoff
- Städtebauliche Integration Elektrolyse (1 MW_{el})
- Genehmigung nach BImSchG (Sicherheitskonzept)
- H2-Abfüllung & Vermarktung lokal (direkte Sektorenkopplung, nachfrage-orientierte Systemdimensionierung)

Voraussetzungen und Rahmenbedingungen
Wirtschaftlichkeit

- Strompreis entscheidend (< 5 ct/kWh)
- Investitionskosten Elektrolyse (< 1.000 € /kW_{el})
- Einspeisevergütung Grüner Wasserstoff!
- Effizienzsteigerung Elektrolyse durch Wärmenutzung im Quartier (η von 55 % auf bis zu 90 %)
  - ca. 10 % Verbesserung Wirtschaftlichkeit
  - ca. 50 bis 60 % CO_2- Reduzierung (Wärmeversorgung Gebäude)

Praxisprojektvorstellung I.I.II

Projekt:	**Verbundvorhaben EnStadt: ENaQ - Energetisches Nachbarschaftsquartier Fliegerhorst Oldenburg**
Projektbeteiligte:	OFFIS e.V., Oldenburg Stadt Oldenburg, Oldenburg EWE NETZ GmbH, Oldenburg KEHAG Energiehandel GmbH, Oldenburg BTC Business Technology Consulting AG, Oldenburg Schulz Systemtechnik GmbH, Visbek GSG Oldenburg Bau- und Wohngesellschaft mit beschränkter Haftung, Oldenburg Deutsche Wind Guard GmbH, Varel embeteco GmbH & Co. KG, Oldenburg junge haie GmbH, Oldenburg ELECTRIC-SPECIAL Photronicsysteme GmbH, Oldenburg Quantumfrog Gesellschaft mit beschränkter Haftung, Oldenburg ANLEG Gesellschaft mbH, Wesel ARSU-Arbeitsgruppe für regionale Struktur-und Umweltforschung GmbH, Oldenburg Universität Vechta, Vechta Carl von Ossietzky Universität Oldenburg - Fakultät II - Informatik, Wirtschafts- und Rechtswissenschaften - Department für Wirtschafts- und Rechtswissenschaften - Lehrstuhl für Ökologische Ökonomie, Oldenburg Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung (IFAM), Bremen Jade Hochschule Wilhelmshaven/Oldenburg/Elsfleth - Standort Oldenburg - Fachbereich Bauwesen und Geoinformation, Oldenburg Oldenburger Energiecluster OLEC e.V., Oldenburg DLR-Institut für Vernetzte Energiesysteme e.V., Oldenburg New Power Pack GmbH, Vechta
Laufzeit:	2018 – 2022
Vortragender:	**Thomas Götze** **EWE NETZ GmbH**

Projektbeschreibung:

Zur Realisierung eines Energetischen Nachbarschaftsquartiers wird im Rahmen dieses Vorhabens ein Infrastrukturkonzept erarbeitet und umgesetzt, das die physischen Infrastrukturen der Sektoren Strom, Wärme und Elektromobilität mit Hilfe von Energiekopplern miteinander zu einem sektorenübergreifenden Versorgungsnetz integriert. Ergänzend hierzu wird im Vorhaben die Machbarkeit einer digitalen Service-Plattform für ein intelligentes Last- und Beschaffungsmanagement auf Quartiersebene für dezentrale Energieerzeuger und -verbraucher erforscht. Diese Plattform soll als digitaler Zwilling der physischen Plattform die erforderliche Funktionalität bereitstellen, die zum Beispiel für die Bildung und den Betrieb lokaler Energiegenossenschaften oder anderer Kooperationsmodelle auf Quartiersebene in Zusammenarbeit mit unterschiedlichen Energiedienstleistern erforderlich ist. Neben technischen Fragestellungen werden die Anwohner als Energieproduzenten und -konsumenten in einem transdisziplinären Ansatz über ein Community-Portal auch in die Konzeption von Anreizmodellen für die Bildung lokaler Energiegenossenschaften und der daraus abgeleiteten Geschäftsmodelle für die Dienstleister zum Aufbau und Betrieb des Energetischen Nachbarschaftsquartiers einbezogen.

Kernaussagen des Vortrags:

Die Neugestaltung des Fliegerhorsts bietet der Stadt Oldenburg die einmalige Gelegenheit, sich als Vorreiter für die Entwicklung von Smart City-Konzepten für vergleichbare Kommunen und Städte in Deutschland und Europa zu positionieren. Ein Teilbereich des Fliegerhorsts – ein 3,9 ha großes, vormals militärisch genutztes Areal – ist als erklärtes Ziel der Stadt Oldenburg explizit als „lebendes“ Labor für die Erprobung neuer Smart City-Technologien, unter anderem aus den Domänen Energie und Mobilität ausgewiesen und soll mit zukunftsweisender und noch zu entwickelnder Infrastruktur versehen werden. Das erlaubt eine enge Integration und gemeinsame Eignungsprüfung einer Vielzahl von Technologien, welche derzeit von zahlreichen Interessenträgern meist isoliert entwickelt wurden und nur in Teilen erprobt werden konnten.

Im Rahmen von ENaQ bietet das Labor durch die dauerhafte praktische Umsetzung und den Betrieb die Möglichkeit, im Zuge der Digitalisierung der Energiewende Services und Mehrwerte für die Bewohner zu entwickeln und direkt zu evaluieren.

Auf dem stillgelegten Fliegerhorst in Oldenburg entsteht ein weitestgehend klimaneutrales Wohnquartier. In einem Reallabor werden die Anwohner ihren Energiebedarf überwiegend aus lokal erzeugter Energie decken.



Auf dem stillgelegten Fliegerhorst in Oldenburg entsteht ein weitestgehend klimaneutrales Wohnquartier. In einem Reallabor werden die Anwohner ihren Energiebedarf überwiegend aus lokal erzeugter Energie decken.

Bei der Realisierung des Wohnquartiers mit etwa 110 Wohneinheiten findet eine Integration der Energieformen Strom, Gas und Wärme/Kälte in einem lokalen multimodalen Energiesystem statt. Das dabei entstehende „Energetische Nachbarschaften“ genannte Quartierskonzept, stellt einen Verbund an Erzeugern und Verbrauchern dar, die sich in räumlicher Nähe zueinander befinden und ihre überschüssige Energie in andere Energieformen umwandeln und speichern oder direkt bereitstellen, sodass benachbarte

Verbraucher diese nutzen können. Das Konzept verfolgt den Gedanken, die Energieeffizienz zu steigern, indem „Abfallenergie“ vermieden und eine Maximierung des lokalen Verbrauchs von „nachbarschaftlich“ erzeugter Energie angestrebt wird. Neben der Sektorenkopplung wird eine offene, sichere und datenschutzkonforme digitale Plattform entwickelt, die es den Bürgern erlaubt, den lokalen Energietausch zu automatisieren.

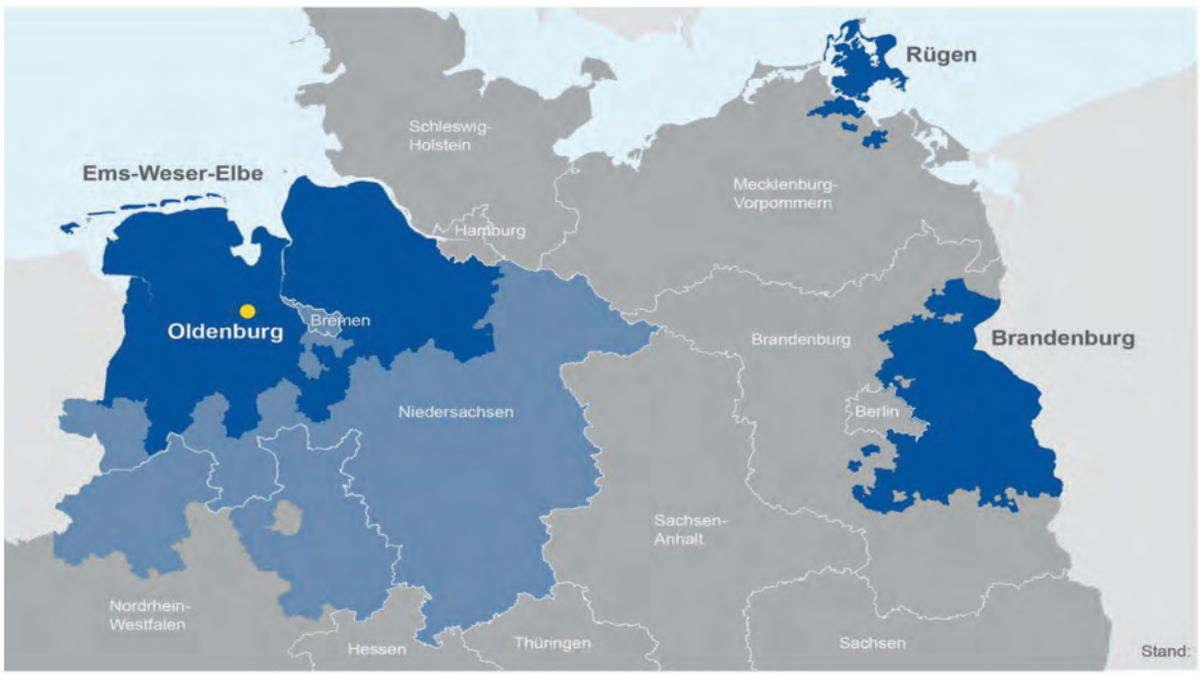
Neben diesen zwei technischen Voraussetzungen für das Entstehen nachhaltiger Energetischer Nachbarschaftsquartiere werden insbesondere auch soziale und betriebswirtschaftliche Zusammenhänge der Akteure erforscht. Die Bürgerakzeptanz und bürgernahe Kooperations- und Geschäftsmodelle werden letztendlich für den langfristigen Erfolg klimaneutraler Energieversorgung aus Eigenerzeugungsanlagen auf Quartiers- und Stadtteilebene ausschlaggebend sein.

Vor diesem Hintergrund adressiert das Vorhaben folgende Fragestellungen:

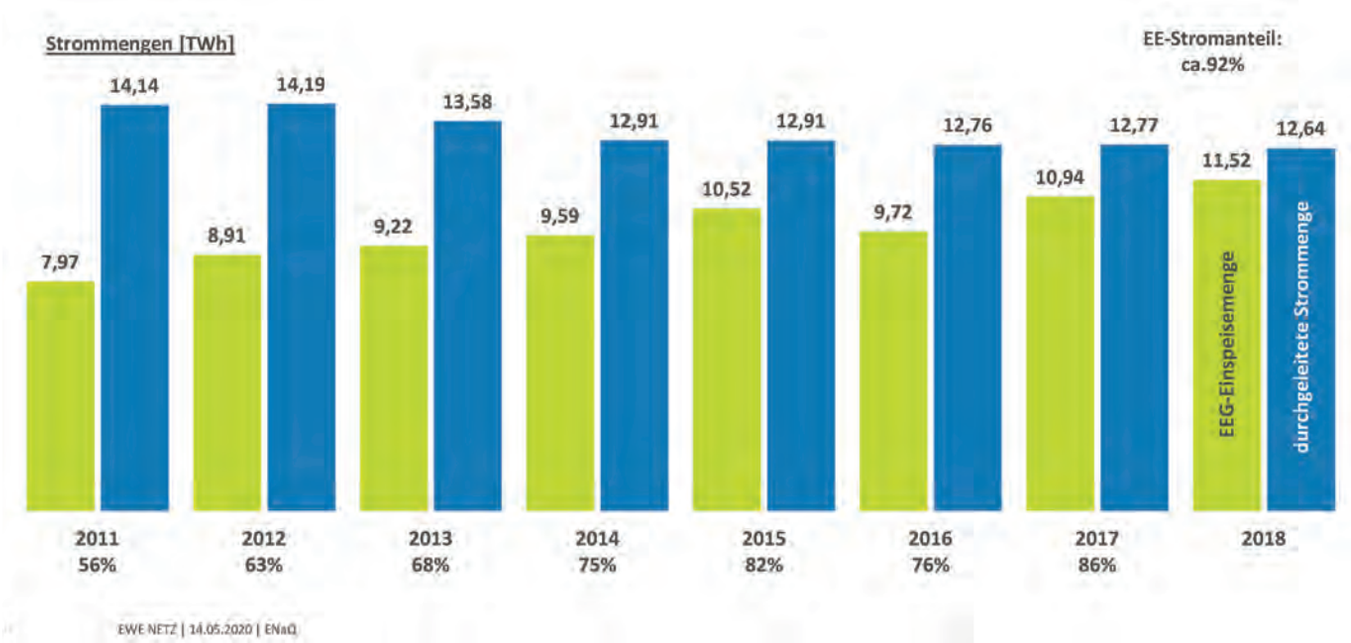
- Wie muss ein lokaler Energieaustausch eines Nachbarschaftsquartiers aus sozialer und betriebswirtschaftlicher Sicht ausgestaltet sein, um eine hohe Akzeptanz bei Anwohnern, Besitzern der Erzeugungseinheiten und Dienstleistern zu erlangen und um auch langfristig sozial attraktiv sowie betriebswirtschaftlich tragbar zu sein?
- Welchen Mindestanforderungen muss die physische Infrastruktur genügen, um die Energieflüsse des multimodalen Versorgungsnetzes mit dem Ziel der CO_2-Minimierung automatisier- und optimierbar zu machen und um in Bestandsquartieren Anwendung zu finden?
- Wie muss eine digitale Plattform und deren Kommunikation mit Anlagenbesitzern/ Prosumern standardisiert werden und wie können Anreizmodelle zur Partizipation der Quartiersbewohner aussehen, um eine schnelle und preiswerte Etablierung von z. B. Energiegenossenschaften in einer Vielzahl von Bestandsquartieren zu ermöglichen?

Das interdisziplinäre und aus allen relevanten Branchen zusammengesetzte Projektkonsortium mit kommunaler Beteiligung umfasst einen Energieversorger, einen Netzbetreiber, IKT-Unternehmen, FuE-Institute und Universitäten, Komponenten- und Anlagenhersteller, Ausstatter für erneuerbare Energien sowie eine Wohnbaugesellschaft und ein Innovationsnetzwerk.

Unsere Netze versorgen über zwei Millionen Kunden – und das in exzellenter Qualität



In 2018 stammten etwa 92 % des transportierten Stroms aus erneuerbaren Energien



Quelle: EWE NETZ 4 | 14.05.2020 | ENaQ

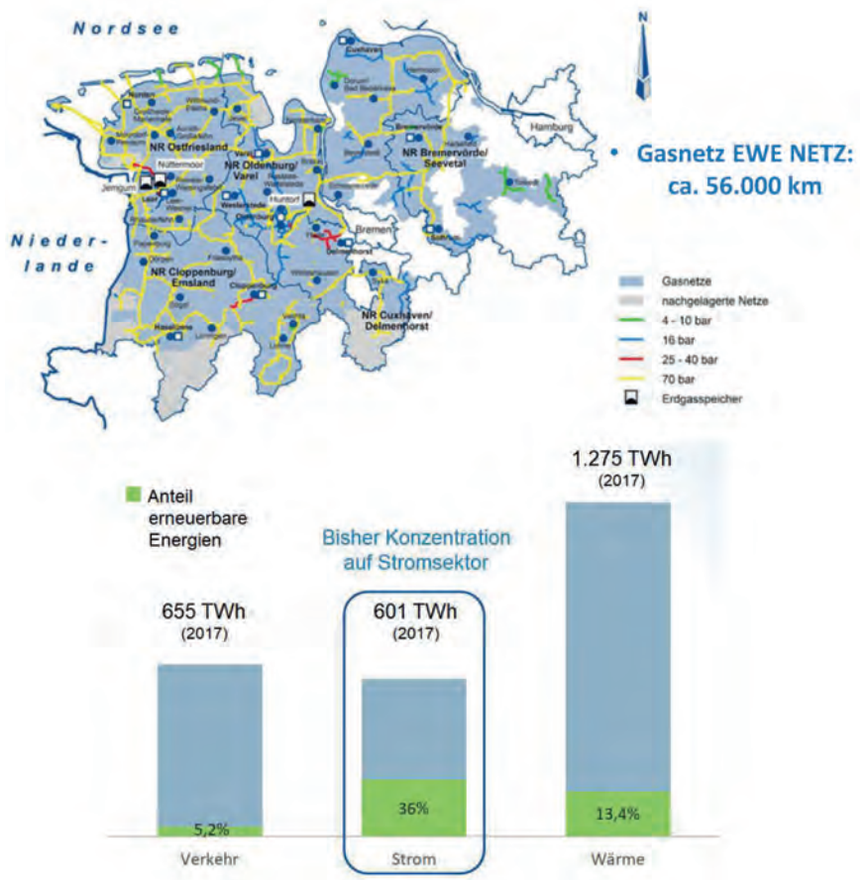
Infrastrukturelle Sektorenkopplung

Motivation

- Perspektive für die Gasinfrastruktur durch Erhöhung des Anteils grüner Gase (SNG, Wasserstoff)
- Transport größerer Energiemengen über Gasinfrastruktur und dadurch Ergänzung des Stromnetzausbaus

Ems-Weser-Elbe	Erdgas	Strom (MS)
Leistung	10 GW	2,3 GW
Arbeit	30 TWh	12 TWh

- Durch Nutzung der bestehenden Infrastrukturen Erhöhung der gesellschaftlichen Akzeptanz



Quelle: Zweiter Fortschrittsbericht zur Energiewende (BMWi)

Größter Energiesektor (Wärme) wird Teil der Energiewende

Leuchtturmprojekte

Förderinitiative „Solares Bauen / Energieeffiziente Stadt“

- Leuchtturmprojekt „Pfaff“ in Kaiserslautern
- Leuchtturmprojekt „Quaree 100“ in Heide (Schleswig Holstein)
- Leuchtturmprojekt „ENaQ – Energetisches Nachbarschaftsquartier“ in Oldenburg
- Leuchtturmprojekt „ZED“ in Zwickau
- Leuchtturmprojekt „ES-West-P2G2P“ in Esslingen
- Leuchtturmprojekt „Stadtquartier 2050 – Herausforderungen gemeinsam lösen“ in Stuttgart & Überlingen



Fliegerhorst Oldenburg



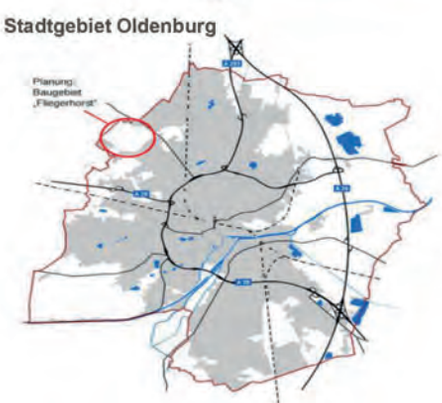
Tower



Bestandsgebäude (Truppenunterkunft)

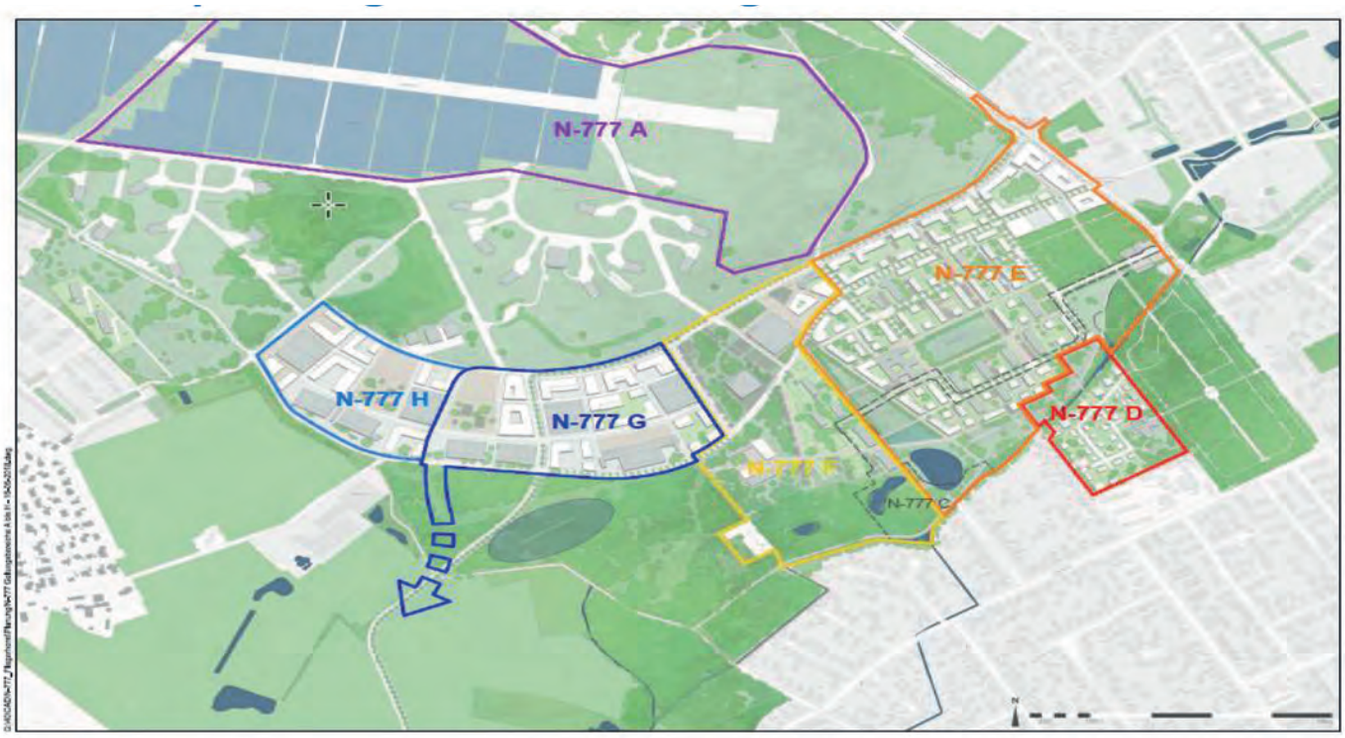


Bestandsgebäude (Casino)



- Militärflugplatz in Oldenburg und von 1964 bis 1993 Standort des Jagdbombergeschwaders 43 der Luftwaffe der Bundeswehr
- Nutzung durch Bundeswehr bis 2006 / Erwerb durch die Stadt Oldenburg
- Wichtigste Entwicklungsfläche in Oldenburg (200 ha) / Nähe zum Stadtzentrum
- Mischung aus Neu- und Bestandsbauten (Gebäude sollen möglichst erhalten bleiben
- Problem der Rüstungsaltlasten
- Großes öffentliches Interesse der Bürger (Infoveranstaltungen) sowie der Presse (informiert regelmäßig)

Masterplan Fliegerhorst Oldenburg



Konsortium Energetisches Nachbarschaftsquartier

OFFIS – Institut für Informatik
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt – Institut für Vernetzte Energiesysteme
Carl von Ossietzky Universität Oldenburg
Jade Hochschule
Stadt Oldenburg
OLEC – Energie bewegt den Nordwesten
Arbeitsgruppe für regionale Struktur- und Umweltforschung GmbH
Fraunhofer IFAM
EWE netz
BTC
KEHAG Unternehmensgruppe
GSG Bauen & Wohnen in und um Oldenburg
Deutsche WindGuard
Junge Haie – Doing Digital The Right Way.
Quantumfrog
Electric-Special Photronicsysteme GmbH
New Power Pack GmbH
Schulz Systemtechnik
ANLEG Advanced Technology
embeteco – we mesh the world with sense
Universität Vechta – University of Vechta

> 21 Partner aus Wirtschaft und Wissenschaft
> Laufzeit: 01/2018 – 12/2022
> 26 M€ Projektvolumen davon 8 M€ Industriemittel

Gefördert durch: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie; Bundesministerium für Bildung und Forschung

Projektinhalte ENaQ

- Entwicklung eines Smart City Wohnquartiers mit etwa 110 Wohneinheiten
- Partizipation an Forschung und Ausgestaltung
- Maximierung des lokalen Verbrauchs von nachbarschaftlich erzeugter Energie
- Umwandlung überschüssiger Energie in andere Energieformen
- Kopplung der Sektoren Strom, Wärme und Mobilität in einem Versorgungsnetz
- Aufbau und Betrieb einer Daten- und Transaktionsplattform
- Entwicklung und Erprobung von Geschäftsmodellen zum Aufbau und Betrieb von Energetischen Nachbarschaftsquartieren
- Übertragung auf für Norddeutschland typische Bestandsquartiere mit steigender Eigenversorgung



ENaQ-Ziele

Teilprojekt TP 1: Vernetzte physische Infrastruktur
- Konzeption und Planung des Stromnetzes, der Ladeinfrastruktur und der Wasserstoffinfrastruktur unter Berücksichtigung neuer Anforderungen
- Bewertung der Sektorenkopplung / Evaluation der Übertragbarkeit
- Wie muss die Infrastruktur mit dem Ziel der CO_2-Optimierung aussehen

Teilprojekt TP 2: Partizipative Gestaltung und Forschung
- Untersuchung der Erwartungen und Akzeptanz der Bürger und Übertragbarkeit auf andere Infrastrukturen

Teilprojekt TP 3: Digitale Plattform
- Rechtliche und regulatorische Bewertung der Anforderungen und Rahmenbedingungen
- Geschäftsmodelle und Dienstleistungen für Netzplanung, -betrieb und Digitalisierung

ZIELE:
Klimafreundliches Quartier als Reallabor konzipieren und umsetzen
Maximierung des Verbrauchs von „nachbarschaftlich“ erzeugter Energie (Autonomie des Quartiers erhöhen)

Veranstaltungsreihe: „Energiewende weiterdenken“



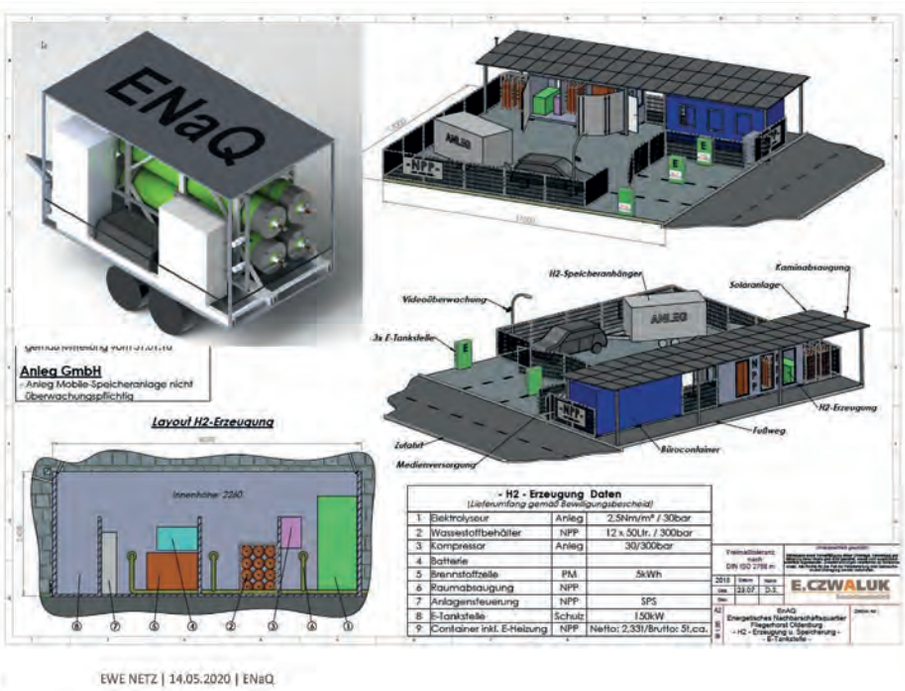




Infos über:

> Wasserstoffherstellung (Elektrolyse)
> Anwendungsmöglichkeiten von Wasserstoff
> Wasserstoff-Mobilität (Fahrzeuge und Tankstellen)
> Ist Wasserstoff gefährlich?

ENaQ: Wasserstofferzeugung und – verwendung



EWE NETZ | 14.05.2020 | ENaQ

solutions for renewable energy
NEW POWER PACK

„Energie zum Anfassen“ / H2 im Quartier etablieren

Elektrolyse: 10 kW (erweiterbar) H2-Produktion: 7 kg/d

PV-Anlage: 20-25 kW

ANLEG
Advanced Technology

PKW-Energieanhänger als mobile Energieerzeugungsanlage und H2-Speicherung

Speichervolumen: 4 x 214 Liter

Speicherinhalt: ca. 25 kg H2 (nutzbar)

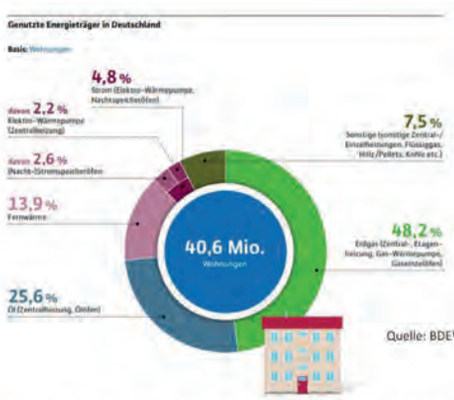
Designdruck: 500 bar

Projektinhalte ENaQ

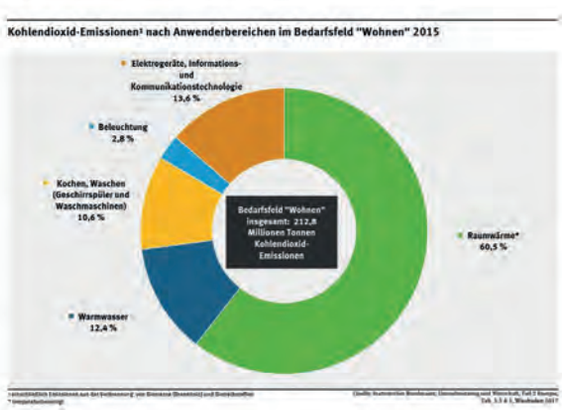


- Kampfmittelsondierung nahezu abgeschlossen
- Elektrolyseur / Technikinsel: Planungs-/Realisierungsphase
- Wasserstoffinfrastruktur & Gebäudeversorgung: Planungsphase

Herausforderungen im Wärmesektor



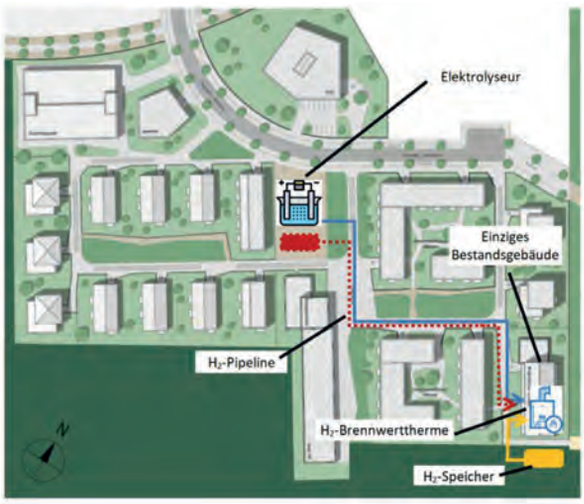
- Erdgas ist weiterhin die Nummer eins im Wärmemarkt (Nds.: 63,1 %)
- Hoher Altersdurchschnitt der Heizungen in Deutschland (17 Jahre)
- Das Umstellpotenzial ist groß aber längst noch nicht ausgeschöpft (überwiegend Wechsel auf Energieträger Erdgas)
- Ca. 2/3 des Endenergieverbrauchs eines privaten Haushalte entfällt auf das Heizen von Räumen (Raumwärme)



- Wärmepumpen bieten im Neubausektor große Vorteile, allerdings keine bis schlechte Option bei (alten) Bestandsgebäuden
- CO_2-freie Versorgung von Altgebäuden stellt den Wärmesektor vor große Herausforderung
- Gas wird grün: 100 % H_2-Brennwertthermen bieten die Möglichkeit zur sofortigen Dekarbonisierung des Wärmesektors

Wasserstoff-Infrastruktur ENaQ - Technologie

- Elektrolyseur stellt direkt vor Ort den nötigen Wasserstoff her (Nutzung / Umwandlung der lokal produzierten Energie)
- Verwendung des H_2 mittels flexiblem Wasserstoff-hochdruckspeicher in der Mobilität
- Aufbau einer H_2-Infrastruktur zur Versorgung eines Bestandsgebäudes mit 100 % Wasserstoff
- Wärmeversorgung mittels 100 % H_2-Brennwert-thermen
- Redundanter Aufbau mit bereits bestehender Erdgasleitung für konstante Versorgung auch im Störungsfall 18 EWE



Projekt H21 (https://www.h21.green/)



EWE NETZ | 14.05.2020 | ENaQ



Projekt Power2Gas (BDR-Thermea)

Option: Einspeisung von H_2 ins Erdgasnetz

juristischer Kunsttrick: Ergänzung der Definition des Begriffes Biogas

Begriffsbestimmungen Biogas im EnWG (§ 3, 10c):

„Biomethan, Gas aus Biomasse, … sowie Wasserstoff, der durch Wasserelektrolyse erzeugt worden ist, und synthetisch erzeugtes Methan (SNG), wenn der zur Elektrolyse eingesetzte Strom und das zur Methanisierung eingesetzte Kohlendioxid nachweislich weit überwiegend (mindestens 80%) aus erneuerbaren Energiequellen (…) stammen."

Geltung des Teil 6 („Biogas") der Gasnetzzugangsverordnung (GasNZV)

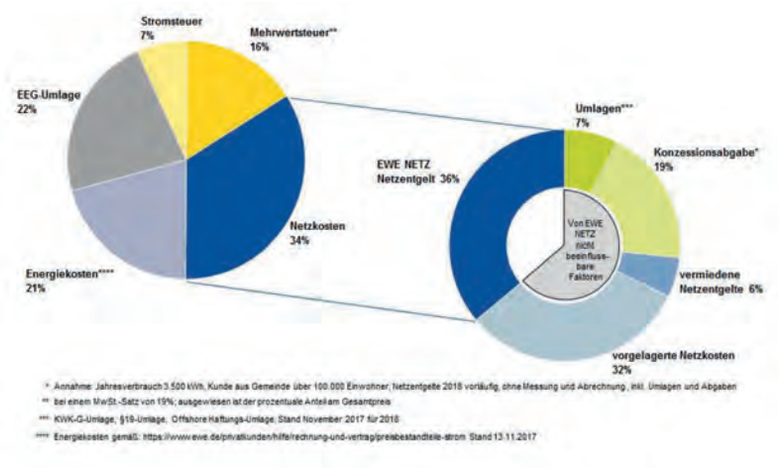
- Kostenteilung beim Netzanschluss: 75 % Netzbetreiber / 25 % Anschlussnehmer; maximal 250 T€ bei Anschluss kleiner 1km
- Netzbetreiber hat Verfügbarkeit des Netzanschlusses sicherzustellen (96 %) und ist für Wartung u. Betrieb verantwortlich
- Standardisiertes Verfahren zur Anschlussprüfung
- Vorrangiger Netzzugang
- Erweiterter Bilanzierungszeitraum
- Einhaltung der Anforderungen der Arbeitsblätter G260 bzw. G262 des DVGW

Vorteile Kundenanlage

Vorteile des Betriebs einer Kundenanlage

- keine regulatorischen Anforderungen an den Betreiber (z.B. Entflechtung zwischen Energieversorger und Netzbetreiber)
- für den innerhalb der Kundenanlage erzeugten und gelieferten Strom keine Netzentgelte oder sonstigen netznutzungsbezogenen Abgaben oder Umlagen (KWKG-Umlage, AblaV-Umlage, § 19-StromNEV-Umlage, Offshore-Haftungsumlage)

Hinweis: Pflicht zur Zahlung der Stromsteuer und der EEG-Umlage besteht



Entfallende Netzentgelte können wesentlicher Wirtschaftlichkeitsfaktor für dezentrale Geschäftsmodelle sein

Begriff der Kundenanlage (§ 3 Nr. 24a EnWG)



Energieanlagen zur Abgabe von Energie

- Von Kunden betriebenes „Mininetz“, über das einer überschaubaren Anzahl weiterer Kunden kostenlos der Zugang zum Netz von EWE NETZ eingeräumt wird Abzugrenzen von (regulierten) Energieversorgungsnetzen (§ 3 Nr. 16,17 EnWG)

Merkmale der Kundenanlage (kumulativ zu erfüllen):
I. Räumlich zusammenhängendes Gebiet
II. Verbindung zum Energieversorgungsnetz oder zu Erzeugungsanlagen
III. Fehlende Wettbewerbsverzerrung
IV. Diskriminierungsfrei und unentgeltliche Zurverfügungstellung der Anlage

Zwischen reguliertem Netz und Kundenanlage besteht ein Regel-Ausnahme-Verhältnis Kundenanlage kann wie ein Letztverbraucher angesehen werden

Fazit Kundenanlage

Die Einrichtung einer Kundenanlage wirft folgende Problemstellungen auf:

- Enge Auslegung des Begriffs der Kundenanlage (Rechtliche Prüfung im Einzelfall erforderlich)
- Aufgrund der einzelfallbezogenen Rechtsprechung „abstrakte“ Klärung schwierig
- Weder das EnWG noch andere energiewirtschaftsrechtliche Bestimmungen sehen ein behördliches Verfahren vor, um die Voraussetzungen für eine Kundenanlage prüfen und anerkennen zu lassen.
- Es muss daher allein eine Selbsteinschätzung des Betreibers der Kundenanlage getroffen werden (schriftliche Dokumentation!)
- spätere Prüfung durch BNetzA und Gericht bei Vorliegen einer Beschwerde und ggf. Einstufung als Teil des Verteilnetzes
  — Rechtsfolgen unsicher z. B. Nachzahlungen, Schadensersatz o.ä.
  — Kundenanlagenbetreiber könnte als Netzbetreiber eingestuft werden

Fazit / Lessons Learned

- ENaQ: Förderprojekt mit dem primären Ziel den Verbrauch von „nachbarschaftlich“ erzeugter Energie zu maximieren (klimafreundliches Quartier)
- Wasserstoff stößt in der Bevölkerung auf großes Interesse (viel Potential / wenig Diskussion zu sicherheitstechnischen Aspekten)
- Durch Wasserstoffproduktion („Energiewende zum Anfassen“) und Nutzung im Mobilitätssektor soll das Thema Wasserstoff im Quartier etabliert werden
- Einsatz von Wasserstoff in Brennwertgeräten bietet ideale Voraussetzungen zur Dekarbonisierung des Wärmesektors
- Die Einbindung eines Elektrolyseurs in eine Kundenanlage ist aufgrund der einzelfallbezogenen Rechtsprechung schwierig

Session I.II Zukunft Gebäudebestand – Energieeffizienz durch intelligenten Betrieb?

Moderation: **Tobias Beckhölter**
RWTH Aachen | Lehrstuhl für Gebäude- und Raumklimatechnik

Die Entwicklung der CO_2-Emissionen Deutschlands über alle Sektoren im Verlauf der letzten zehn Jahre weisen keinen deutlich sinkenden Trend auf. Erst in den letzten drei Jahren ist nach Jahren der Stagnation eine moderate aber kontinuierliche Reduktion der jährlichen CO_2-Emissionen festzustellen. Insbesondere die jährlichen Emissionen des Gebäudesektors bleiben allerdings seit Jahren auf einem gleichhohen Niveau. Die Ziele des Klimaschutzplans für das Jahr 2030 werden bei anhaltendem Trend verfehlt. Die Analyse der anwendungsspezifischen Endenergieverbräuche deutet auf einen potentiell großen Stellhebel hin: Einen großen Anteil am gebäuderelevanten Endenergieverbrauch hat die Raumwärme. Wie erreichen wir also das Ziel eines nahezu klimaneutralen Gebäudebestands 2050?

Sanierungsmaßnahmen im Bereich der Gebäudehülle oder der Anlagentechnik haben sich als Mittel zur Bedarfsreduktion oder Effizienzsteigerung bewährt. Sie bedingen allerdings einen besonders aus Sicht des Nutzers belastenden baulichen Aufwand.

Eine minimalinvasive Maßnahme hingegen ist die Betriebsoptimierung. Diesen Vorteil nutzen auch Forschungsprojekte aus dem Gebäudebereich. Die Befragung der Fördernehmer durch die Begleitforschung zeigt, dass als häufigstes Ziel der Betriebsoptimierung die Steigerung der Effizienz genannt wird, gefolgt von der Kostensenkung, der Emissionsreduktion und insbesondere im Nichtwohngebäudebereich der Verbesserung des Raumklimas.

Ein weiteres Argument für die Nutzung intelligenter Systeme zur Betriebsführung zeigt ein Blick auf die historische Entwicklung der Heizungstechnik. Angefangen bei Einzelraumöfen mit manueller Steuerung über die Brennstoffzufuhr, über zentrale wassergeführte Heizungsanlagen, witterungsgeführte Heizungssteuerungen, strombasierte Erzeuger wie Wärmepumpen oder hybride Systeme hat im Verlauf des letzten Jahrhunderts die Heizungstechnik an Diversität aber auch an Komplexität stark zugenommen. Der anhaltende Trend zur digitalen Vernetzung diverser Erzeuger und Verbraucher und der Umbau unseres Energiesystems hin zu einem auf volatilen Energiequellen basierenden System erlauben einen Blick in die Zukunft: Sie wird diverser, grüner, aber auch komplexer.

Es bedarf daher Lösungsansätzen, die mit dieser Systemkomplexität umzugehen wissen und dabei ein hohes Maß an Effizienz aufweisen. In diesem Kontext bietet eine Automatisierung der Regelung einen vielversprechenden Ansatz. Die konsistente Überwachung gebäudetechnischer Systeme und die gleichzeitige Ableitung sowie Umsetzung regelungstechnischer Maßnahmen im laufenden Betrieb ermöglichen es, den nutzerspezifischen Komfortbedarf möglichst effizient bereitzustellen.

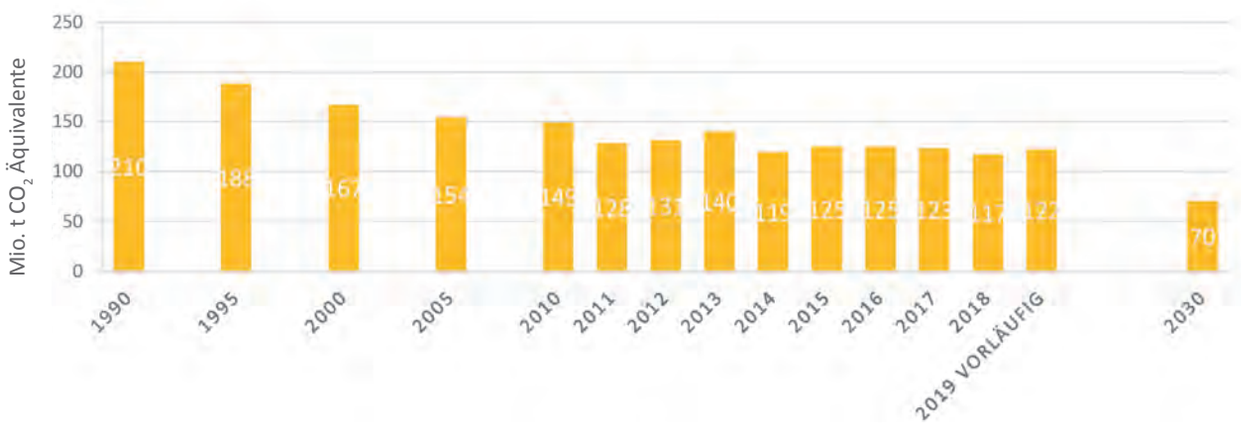
In dieser Session des 8. Projektleitertreffens werden daher Konzepte zur Betriebsoptimierung in Form zweier Praxisvorträge vorgestellt. Zum einen konnte das Projekt GeopNu: Gebäudebetriebsoptimierung durch Nutzeridentifikation in Räumen zeigen, mit welchen Mitteln der Gebäudebetrieb raumscharf am Nutzer ausgerichtet werden kann. Zum anderen wurde durch das Projekt Auto-EnEff: Automatisierte Energieeffizienzsteigerung durch selbsttätige Regelparameteroptimierung im laufenden Betrieb gezeigt, wie durch die Kopplung von Monitoringsystem und Gebäudesimulationsmodell in einem automatisierten Prozess optimierte Regelparameter an das Gebäudeenergiesystem übergeben werden können. Detailliertere Inhalte der Praxisvorträge sind auf den folgenden Seiten dokumentiert.

Entwicklung Treibhausgasemissionen



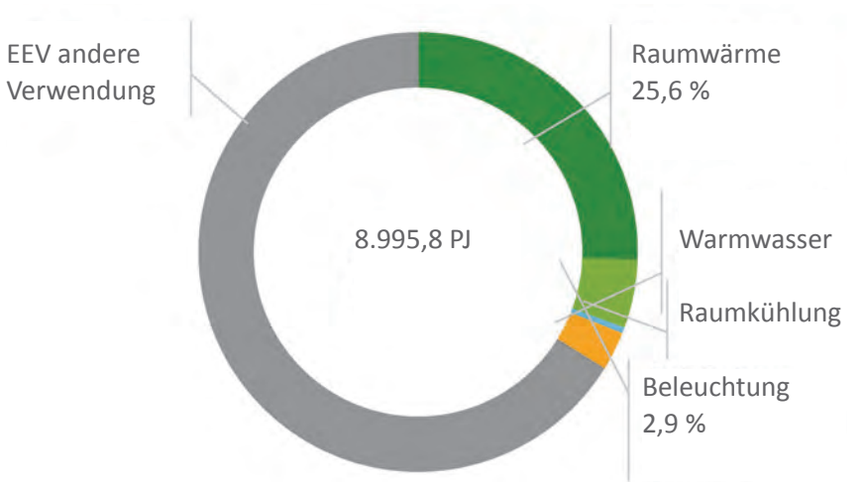
Quelle: UBA

Entwicklung Treibhausgasemissionen - Gebäude



Quelle: UBA

Endenergieverbrauch nach Anwendung



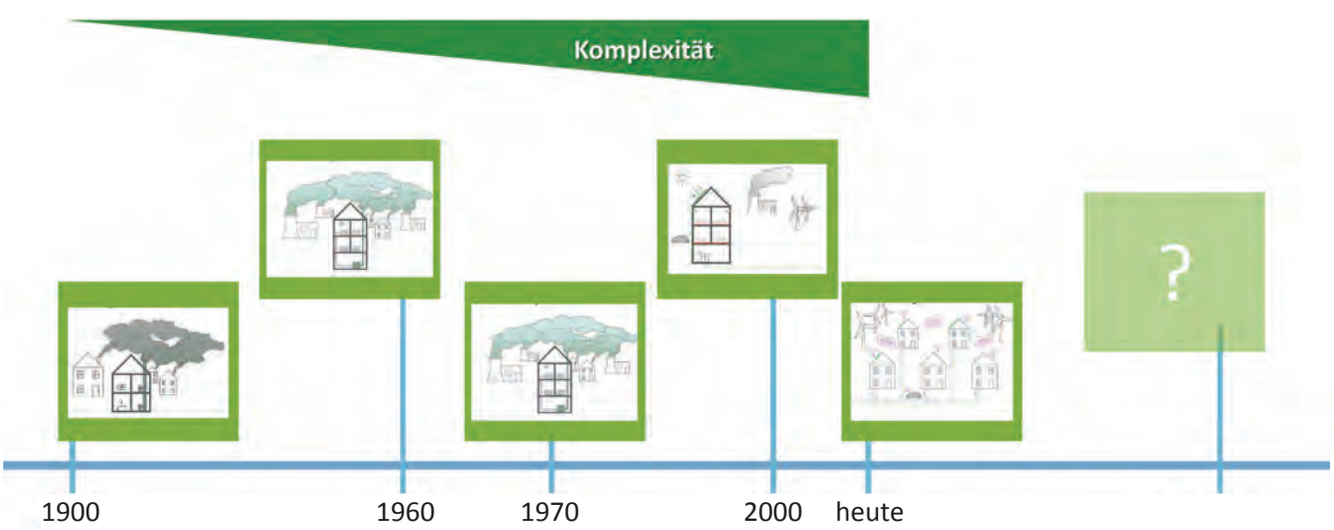


Quelle: AGEB

Gebäudeprojekte EWB - Betriebsoptimierung



Historie Gebäudebestand



Einsparung durch Automation

- Welche Potentiale bietet eine intelligente oder sogar automatisierte Regelung?
- Kurzstudie zu CO_2-Minderungspotentialen im Wohngebäudesektor durch Gebäude-automation:



6 % des Bestands an MFH



4 % des Bestands an EZFH

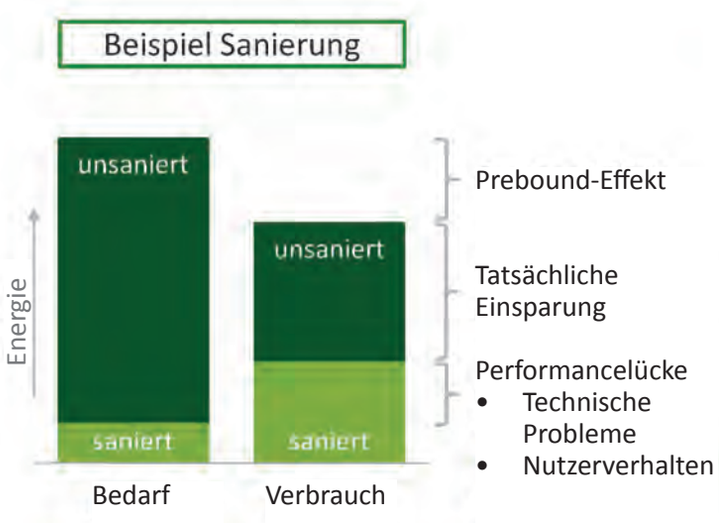


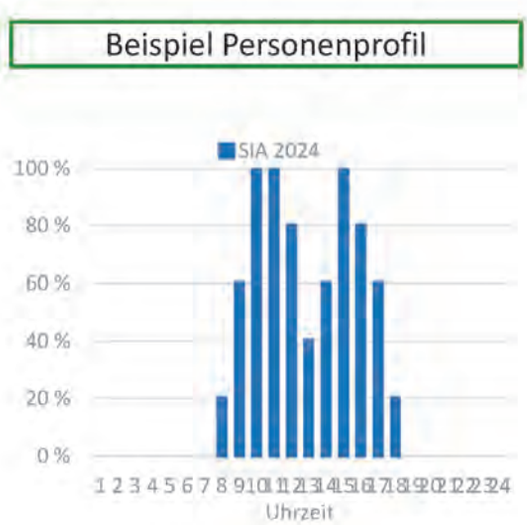
- 7,5 Mio. t CO_2-Äquivalente 2030

Gebäudeautomation im Wohngebäudesektor kann die für 2030 prognostizierte Lücke von 18 Mio. t CO_2-Äquivalenten im Klimaschutzprogramm um rund 40 % verringern.

Quelle: Kurzstudie im Auftrag der Wirtschaftsinitiative Smart Living, durchgeführt vom BorderstepInstitut, 2020

Nutzer als Hebel zur Effizienzsteigerung





Praxisprojektvorstellung I.II.I

Projekt:	**EnOB: GeopNu: Gebäudebetriebsoptimierung durch Nutzeridentifikation in Räumen**
Projektbeteiligte:	Universität Stuttgart - Universität Stuttgart, Institut für Gebäudeenergetik, Thermotechnik und Energiespeicherung (IGTE) Universität Kassel - Fachbereich 07 Wirtschaftswissenschaften - Institut für Wirtschaftsrecht - FG Öffentliches Recht - Projektgruppe verfassungsverträgliche Technikgestaltung (provet), Kassel
Laufzeit:	2016 – 2019
Vortragender:	**Dr.-Ing. Tobias Henzler** **Universität Stuttgart | Institut für Gebäudeenergetik, Thermotechnik und Energiespeicherung**

Projektbeschreibung:

Die Raumbelegung in Büro- und Wohngebäuden ändert sich ständig, weshalb sich im Betrieb deutliche Abweichungen gegenüber den bei der Planung angenommenen Belegungsprofilen ergeben. Die wachsende Verbreitung von mobilen Endgeräten ermöglicht es, die Anwesenheit eines Nutzers und damit die tatsächliche Belegung in Räumen festzustellen, um mit diesen Daten eine verbesserte Analyse der tatsächlichen Gebäudebelegung vorzunehmen. Ein solches System zur Nutzeridentifikation soll entwickelt sowie daraufhin in einem Bürogebäude als Demonstrationsvorhaben eingebaut und messtechnisch untersucht werden. Dafür werden die Anforderungen ermittelt, die sich aus gesetzlichen Vorgaben für den Datenschutz und die Datensicherheit ergeben. Die im Praxistest aufgenommenen Belegungsprofile werden zum einen mit den Messdaten von vorhandenen Präsenzmeldern verglichen; zum anderen werden die aufgenommenen Belegungsprofile in Gebäudesimulationen den Standard-Profilen gegenübergestellt und damit deren Einfluss auf den Energiebedarf aufgezeigt. Zudem wird in Gebäudesimulationen der Einfluss einer bedarfsgerechten Regelung mit Nutzeridentifikation für Wohn- und Bürogebäude untersucht. Zuerst werden die technischen und rechtlichen Anforderungen an ein System zur Nutzeridentifikation in Räumen ermittelt. Hierbei werden insbesondere die datenschutzrechtlichen Anforderungen und die Datensicherheit berücksichtigt. Anschließend wird das System zur Nutzeridentifikation entwickelt, in einem Bürogebäude installiert und im Betrieb messtechnisch ausgewertet. Die aufgenommenen Belegungsprofile werden mit Standardprofilen für die Planung verglichen. Anhand der Messergebnisse wird mit numerischen Untersuchungen der Einfluss der abweichenden Belegung auf den Energiebedarf ermittelt. Dabei werden Möglichkeiten zur Nutzung der Daten für ein verbessertes Energiemanagement untersucht. Abschließend werden der Praxistest ausgewertet und erfolgsversprechende Anwendungsbereiche aufgezeigt.

Kernaussagen des Vortrags:

Belegung von Büroräumen und energetische Auswirkungen

Bei der Planung wird die Anwesenheit der Nutzer üblicherweise mit festen Belegungsprofilen (zum Beispiel aus Normen) berücksichtigt; diese können jedoch das tatsächliche, individuelle Nutzerverhalten nur bedingt wiedergeben. Die Belegungsprofile aus Normen unterscheiden sich zudem untereinander - sowohl in der Verteilung und der Anzahl an Stunden der täglichen Anwesenheit als auch in der abgegebenen Wärme durch Geräte und Beleuchtung. Bild 1 fasst die Belegungsprofile bzw. die abgegebene Wärme durch Personen und Geräte pro Arbeitstag für ein Einzelbüro aus den folgenden Normen/ Richtlinien DIN EN 16798[1], SIA 2024[2], DIN EN 15232[3] und DIN V 18599[4] zusammen.

[1] Quelle: DIN EN 16798-1:2015-07. Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (Entwurf).
Teil 1: Eingangsparameter für das Innenraumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden bezüglich Raumluftqualität, Temperatur, Licht und Akustik

[2] Quelle: SIA 2024:2015-10. Raumnutzungsdaten für die Energie- und Gebäudetechnik

[3] Quelle: DIN EN 15232:2012-09. Energieeffizienz von Gebäuden. Einfluss von Gebäudeautomation und Gebäudemanagement

[4] Quelle: DIN V 18599-10:2016-10. Energetische Bewertung von Gebäuden - Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung (Vornorm).
Teil 10: Nutzungsrandbedingungen, Klimadaten

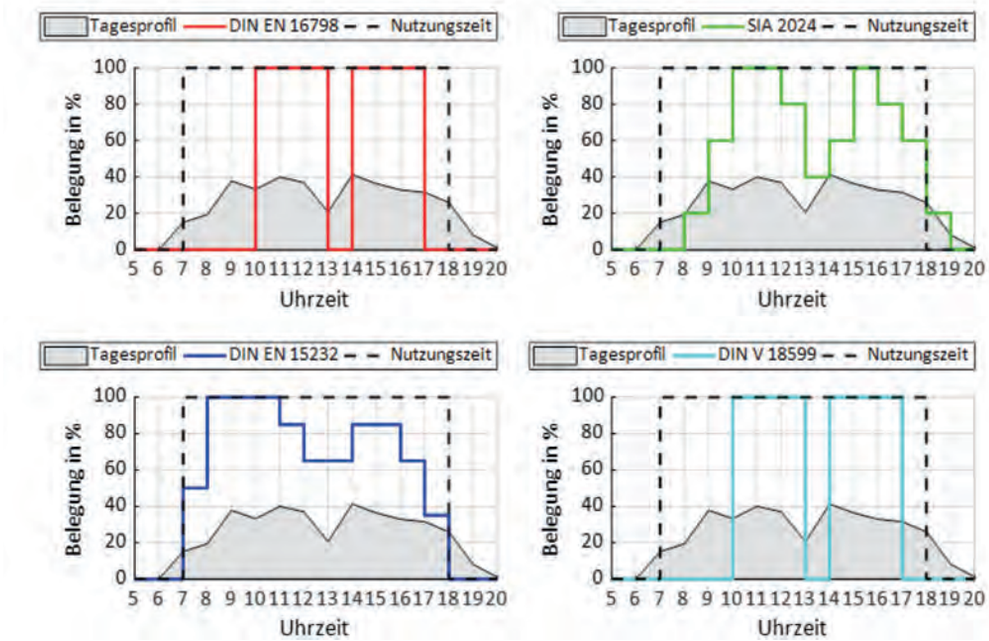


Bild 1: Belegungsprofile und kumulativ abgegebene Wärme durch Personen und Geräte pro Arbeitstag für ein Einzelbüro

Das sogenannte „Tagesprofil“ in Bild 1 stellt exemplarisch den Belegungsgrad für ein Einzelbüro an einem Arbeitstag dar. Es basiert auf den Signalen eines optischen Präsenzmelders in einem der untersuchten Büroräume. Zwischen den vier Normen sind Unterschiede bei der Anzahl an Belegungsstunden pro Arbeitstag erkennbar. Es zeigt sich auch, dass die mittlere Belegung des Tagesprofils wesentlich niedriger als die beschriebenen normativen Angaben ist. Auch bei Betrachtung der abgegebenen Wärme durch Personen und Geräte pro Arbeitstag zeigen sich deutliche Unterschiede.

Wenn die tatsächliche Belegung in einem Raum bekannt ist, besteht die Möglichkeit, die Sollvorgaben für den Gebäudebetrieb daran anzupassen, um den energetischen Aufwand für Heizen und Kühlen sowie die Hilfsenergien (z. B. für Ventilatoren oder Pumpen) im Vergleich zu einer vordefinierten Betriebszeit zu reduzieren. Mit zunehmenden Zeiträumen der Abwesenheit bzw. geringerer Anwesenheit der Raumnutzer steigt somit das prinzipiell erzielbare Energieeinsparpotenzial. Die durchgeführten gekoppelten Gebäude- und Anlagensimulationen im Projekt zeigen, dass mit einem an die Belegung optimierten Betrieb ein energetisches Einsparpotenzial für Heizen und Kühlen besteht. Durch einen an die Belegung angepassten Luftwechsel liegt im Heizfall eine Energieeinsparung vor und bei den Simulationen (mit einem mittleren Belegungsgrad von 60 %) beträgt dieses Einsparpotenzial 13 bis 19 % des Heizenergieaufwands. Durch einen angepassten Absenkbetrieb für die Nutzenübergabe können weitere Energieeinsparungen im Heiz- und Kühlbetrieb erzielt werden.

Beschreibung der Nutzeridentifikation und des Praxistests

Die Entwicklung des Systems zur Nutzeridentifikation erfolgt durch die indoo.rs GmbH. Für das System werden Bluetooth-Beacons in den Räumen installiert, die in festen Zeitintervallen Bluetooth-Signale senden. Die entwickelte Applikation ist für die Auswertung dieser Signale konfiguriert, wobei die mobilen Endgeräte als Signal-Empfänger die-

nen und in der Lage sind, die Signalstärke der in Reichweite befindlichen Beacons zu messen und sie zu identifizieren. Zur Ortung der mobilen Endgeräte in einem Gebäude muss zunächst eine entsprechende Gebäudekarte in der Applikation hinterlegt werden. Wenn die Position der Beacons im Gebäude (bzw. auf der Gebäudekarte) nach einem Einmessvorgang bekannt ist, kann anhand der jeweiligen Signalstärke der Ort einzelner Empfänger ermittelt werden. Anschließend werden die Informationen vom mobilen Endgerät regelmäßig in Form von Koordinaten anonymisiert an einen zentralen Server weitergeleitet.

Die generierten Daten beinhalten keine Informationen der Raumzuordnung. Im Forschungsvorhaben wird daher ein Zuordnungsalgorithmus entwickelt, der die generierten Koordinaten in Raumdaten übersetzt und damit die Anzahl der Personen im jeweiligen Koordinatenbereich eines Raums aufsummiert.

Die Ed. Züblin AG hat in ihrer Konzernzentrale (ZÜBLIN-Haus) in Stuttgart ein Stockwerk für die Erforschung alternativer Bürokonzepte eingerichtet. In diesem Stockwerk werden mehrere Räume mit dem im Forschungsvorhaben entwickelten System zur Nutzeridentifikation ausgestattet. Dieses wird zusätzlich zu den bestehenden optischen Präsenzmeldern installiert, die damit für Vergleichszwecke zur Verfügung stehen. Es werden insgesamt 28 Beacons in den einzelnen Räumen sowie in den Flurbereichen auf dem Stockwerk installiert und eingemessen. Während des Praxistests werden die Nutzerpositionen der im Praxistest beteiligten mobilen Endgeräte in Form von Orts- und Zeitdaten anonymisiert aufgenommen und an einen zentralen Server zur weiteren Verarbeitung übermittelt.

Die Projektergebnisse zeigen insgesamt, dass eine Unterscheidung der einzelnen Räume für die gespeicherten Orts- und Zeitdaten möglich ist, sodass sich auch die Anzahl der mobilen Endgeräte pro Raum ermitteln lässt. Aufgrund der mittleren Ortungsgenauigkeit von 2,8 m ist das System besser für größere Räume oder Bereiche (wie Großraumbüros bzw. Bürolandschaften) geeignet, da somit keine weiteren Maßnahmen (wie Filterfunktionen) entwickelt werden müssen, um die einzelnen Gebäudebereiche bei der Raumzuordnung voneinander zu unterscheiden.

Mit dem System zur Nutzeridentifikation kann ein Gebäudebetreiber genauere Informationen über die Belegung der einzelnen Bereiche im Gebäude erhalten. Somit kann die Auslastung des Gebäudes mit beispielsweise automatischer Zuteilung von Arbeitsplätzen optimiert werden. Die Informationen könnten auch bei der Bewertung von Energieverbrauchswerten (Bereinigung der Daten) eingesetzt werden. Darüber hinaus kann das System für die Ermittlung von Trainingsdaten als Basis für maschinelles Lernen eingesetzt werden, um somit beispielsweise die Regelung von trägen Nutzenübergabesystemen für Heizen und Kühlen zu verbessern. Ein weiterer Einsatzbereich stellt das Facility Management dar, da Gebäudebereiche mit einer hohen Auslastung identifiziert werden können und daran die entsprechende Gebäudereinigung angepasst werden kann.

Danksagung

Das Forschungsvorhaben GeopNu (FKZ: 03ET1428A) wird durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) gefördert. Wir danken dem BMWi für die finanzielle Unterstützung sowie allen weiteren Beteiligten für die Zusammenarbeit im Projekt.



Inhalt

- Hintergrund
- Projektziele GeopNu
- Belegung von Büroräumen
- Beschreibung der Nutzeridentifikation
- Berücksichtigung datenschutzrechtlicher Aspekte und der Datensicherheit
- Praxistest
- Zusammenfassung und Ausblick

Hintergrund

- Deutliche Abweichung des Energieverbrauchs (im Betrieb) gegenüber dem Energiebedarf (aus Planungsprozess)
- Annahme von Standardprofilen im Planungsprozess
  — Normen oder Erfahrungswerte
- Im Betrieb oftmals unterschiedliche Raumbelegung und Nutzungsänderungen
- Wesentlicher Einfluss der Nutzung auf den Energieverbrauch

Möglichkeiten zur Nutzererfassung

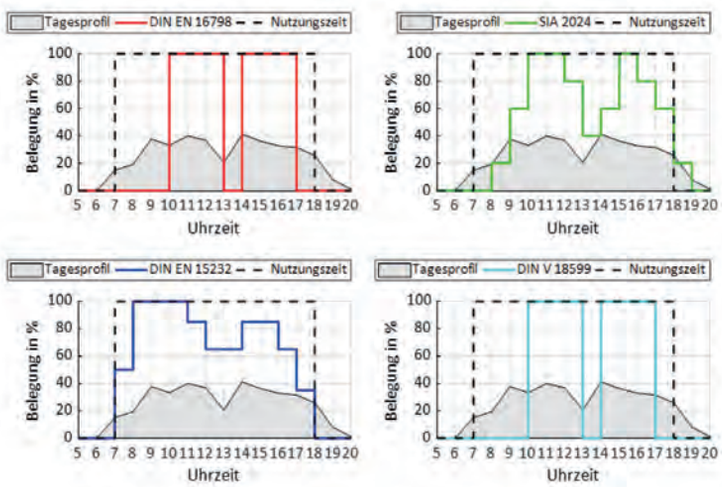
- Mobile Endgeräte (Smartphones, Tablets) weit verbreitet
- Herausforderung: Positionserfassung der Geräte (Nutzer) in Gebäuden

Projektziele GeopNu

- Entwicklung eines einfach anwendbaren Systems zur raumweisen Nutzeridentifikation mit mobilen Endgeräten
- Datenschutzkonforme Lösungen für Büroräume aufzeigen
- Ermittlung von Belegungsprofilen (Bürogebäude) in einem Praxistest
- Auswirkungen von abweichenden Belegungsprofilen und einer bedarfsgerechten Regelung von Anlagen auf den Energiebedarf (numerische Untersuchungen)
- Ableitung von erfolgsversprechenden zukünftigen Einsatzbereichen

Belegung von Büroräumen (1/2)
Normative Vorgaben zur Belegung

- Belegungsprofile aus Normen
  — Einzel-, Gruppen-oder Großraumbüro
- Tagesprofil
  — Belegungsgrad für ein Einzelbüro
  — Optischer Präsenzmelder
- Tatsächliche Belegung weicht oftmals von vordefinierter Nutzungszeit des Raumes ab
- Deutlich geringere Belegung



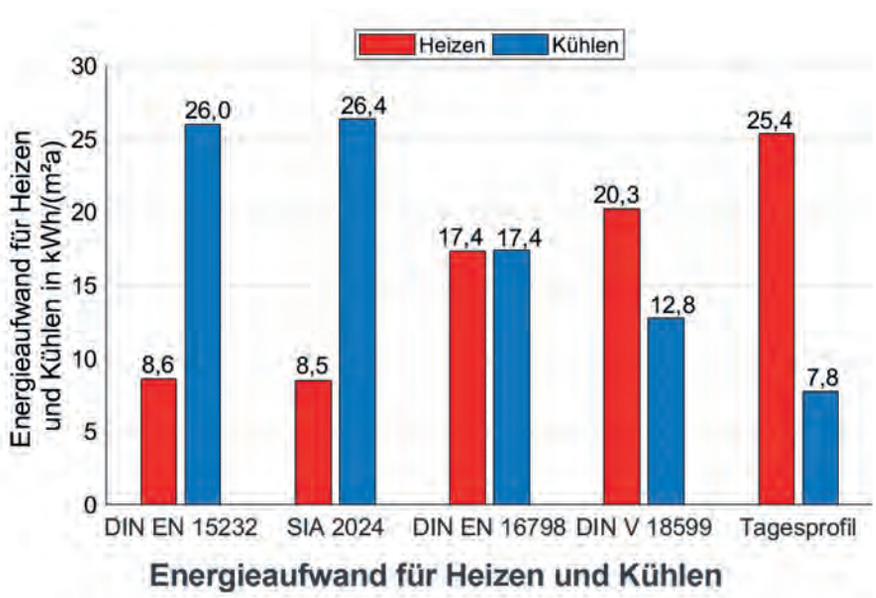
Belegungsprofile für ein Einzelbüro [1-4]

- Vorgaben bezüglich Wärmeabgabe von Personen, Geräten und Beleuchtung unterschiedlich

Belegung von Büroräumen (2/2)
Numerische Untersuchungen

Einzelbüro (18 m²) mit abgehängter Heiz-/Kühldecke und RLT-Anlage mit WRG

- Aufwand für Heizen nach SIA 2024 beträgt etwa 40 % des Aufwands nach DIN V 18599
- Aufwand für Kühlen verhält sich entgegengesetzt
- Tagesprofil
  — Höchster Aufwand für Heizen und niedrigster für Kühlen



Energieaufwand für Heizen und Kühlen

Beschreibung der Nutzeridentifikation

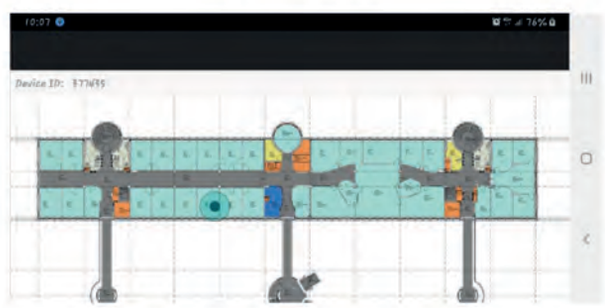
- Installation von Beaconsim Gebäude
  — Kommunikation über Bluetooth
  — Triangulation zur Positionsermittlung

- Mobile Endgeräte
  — Applikation läuft im Hintergrund
  — Kommunikation mit Beaconsund Berechnung der Position
  — Regelmäßige Positionsübertragung an Server

- Datenserver
  — Hinterlegter Grundriss des Gebäudes
  — Definierte Raumbereiche (Koordinatensystem)



Beacon [5]



Entwickelte Applikation

Berücksichtigung datenschutzrechtlicher Aspekte und der Datensicherheit (1/3)

- Anforderungen
  — Datenschutz-Grundverordnung (DSGVO)
  — Bundesdatenschutzgesetz (BDSG)
  — Betriebsverfassungsgesetz (BetrVG)

- Personenbezogene Daten
  — Identifizierte oder identifizierbare Person
  — durch z. B. Kennung (Name), Kennnummer (Account), Standortdaten

- Standortdaten
  — Rückschlüsse auf den individuellen Aufenthalt
  — Gefahr durch versteckte Leistungs-und Verhaltenskontrolle

1. DIN EN 15232 (2012): Energieeffizienz von Gebäuden
2. SIA 2024 (2015): Raumnutzungsdaten für die Energie-und Gebäudetechnik
3. DIN 16798-1 (2015): Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (Entwurf)
4. DIN V 18599-10 (2016): Energetische Bewertung von Gebäuden –Berechnung des Nutz-, End-und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung (Vornorm)
5. Kontakt.io, Smart BeaconSB16-2, URL: https://store.kontakt.io/our-products/30-smart-beacon-sb16-2.html, Abruf am 04.01.2019

Berücksichtigung datenschutzrechtlicher Aspekte und der Datensicherheit (2/3)

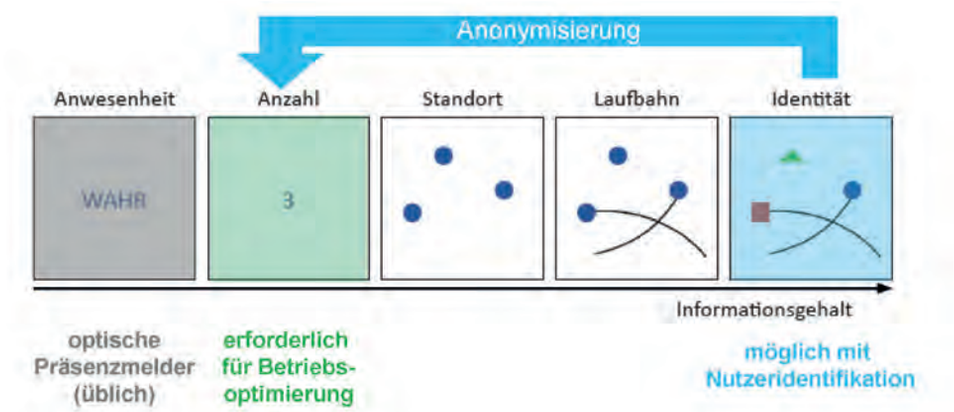
- Zulässigkeit der Verarbeitung personenbezogener Daten
  a) Einwilligung der einzelnen Beschäftigten
  — Schwierigkeiten: Nachweis der Freiwilligkeit, Widerrufsrecht der Beschäftigen
  b) Betriebsvereinbarung
  — Schafft verbindliches Datenschutzrecht für alle Beschäftigten
  — Vorgaben von DSGVO und BDSG an Betriebsvereinbarungen

- Technische und organisatorische Maßnahmen (b)
  — Umsetzung der Datenschutzgrundsätze (u.a. Rechtmäßigkeit, Datenminimierung, Speicherbegrenzung, Vertraulichkeit personenbezogener Daten)
  — Datenschutz durch Technikgestaltung (privacybydesign)
  — Datenschutz und -sicherheit bereits im Entwicklungs-und Erprobungsprozess berücksichtigen

Datenschutz und -sicherheit wesentlich für Technikgestaltung

Berücksichtigung datenschutzrechtlicher Aspekte und der Datensicherheit (3/3)

Erforderliche Daten für eine raumweise Nutzeridentifikation



Erfassbare räumlich-zeitliche Merkmale von Personen[6]

1. Thiago Teixeira, GershonDublonund Andreas Savvides. „A Survey of Human-Sensing: Methods for Detecting Presence, Count, Location, Track, and Identity“. In: ACM Computing Surveys 5 (Jan. 2010), S. 59.

Praxistest (1/3)
Bürogebäude, Stuttgart

Inbetriebnahme
- Installation von Beaconsin mehreren Büroräumen*
- Vorhandene optische Präsenzmelder*

Fragestellungen
- Zuverlässigkeit des Systems
  — Vergleich mit bestehender Präsenzerkennung
- Häufigkeit des Aufenthalts in den Räumen

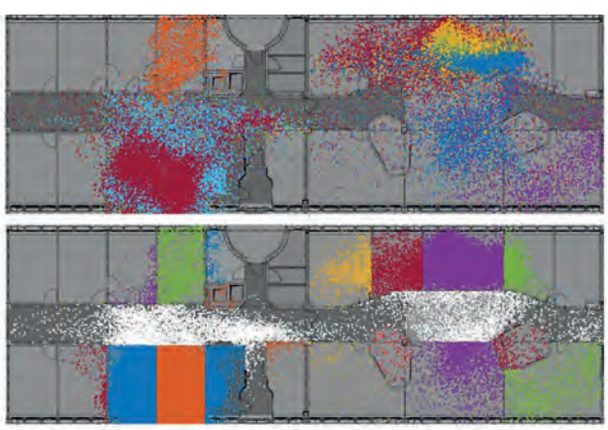


Installierte Beacons in Büroräumen

Praxistest (2/3)
Ergebnisse

Raumzuordnung anhand gespeicherter Ortsdaten im Praxistest

- Gebäudekarte (mit Pixeln) hinterlegt
  — Zuordnung der Räume in Pixelintervallen
- Gespeicherte Ortsdaten für Endgeräte
  — Verhältnis zwischen Ortsdaten (in mm) und Pixeln bekannt
  — Zuordnung zu Raumflächen
- Mobile Endgeräte werden im jeweiligen Raumbereich aufsummiert



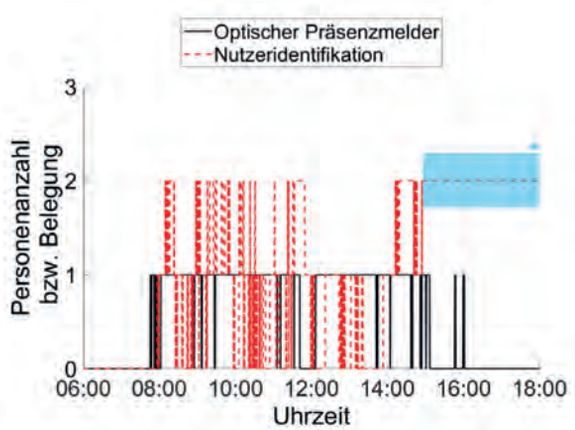
Oben: erfasste Ortsdaten farblich gekennzeichnet nach Endgerät
Unten: erfasste Ortsdaten farblich gekennzeichnet nach Raumbereich

Praxistest (3/3)
Ergebnisse

Anzahl der mobilen Endgeräte (mit Applikation) im Raum erfassbar

- Raum gilt als „belegt“, wenn Endgerät „anwesend“ *
- Nutzer mit mobilen Endgeräten ohne Applikation werden nicht erfasst

Mittlere Genauigkeit für die räumliche Erfassung beträgt 2,8 m



Belegung in Büroraum für einen Beispieltag

- System ist für Großraumbüros geeignet
- Für kleinere Räume fluktuiert die Belegungzwischen nebenliegenden Räumen
- Problembehebung: automatische Raumzuordnung nach Häufigkeit der Anwesenheit

Zusammenfassung und Ausblick

System ermöglicht detailliertere Feststellung der individuellen Raumbelegung
- Mitarbeiter/-innen müssen motiviert sein, die mobilen Endgeräte mitzuführen

Anwendung für Neubau-und Bestandsgebäude
- Angepasster Gebäudebetrieb sowie Facility Management
- Nutzungsbereinigte Verbrauchsdaten
- Generierung von Trainingsdaten für maschinelles Lernen (Modell-prädiktive Regelung)

Potenzial für größere Räume (Großraumbüro)

Anforderungen aus dem Datenschutz, dem Betriebsrecht und der Datensicherheit müssen beachtet werden
- Abstrakte rechtliche Vorgaben
- Abstimmung mit Betriebsrat

Praxisprojektvorstellung I.II.II

Projekt:	**EnOB: AutoEnEff: Automatisierte EnergieEffizienzsteigerungen durch selbsttätige Regelparameteroptimierung im laufenden Betrieb**
Projektbeteiligte:	Technische Universität Berlin - Fakultät III - Prozesswissenschaften - Institut für Energietechnik - Hermann-Rietschel Institut - Berlin dezem GmbH, Berlin
Laufzeit:	2016 – 2020
Vortragender:	**Yannik Fürst, M.Sc.** **Dennis Herrmann, M.Sc.** **Prof. Dr.-Ing. Martin Kriegel** **TU Berlin | Hermann-Rietschel-Institut**

Projektbeschreibung:

Heizungs- und Lüftungssysteme setzen sich aus Teilkomponenten wie Wärmeübertragern, Pumpen, Ventilatoren oder Regelventilen zusammen. Üblicherweise wird die Betriebsweise jedes Einzelsystems durch dedizierte Eingrößenregelungen oder -steuerungen beeinflusst. Für einen energieeffizienten und stabilen Betrieb des Gesamtsystems ist es notwendig, alle Regelungs- und Steuerungskomponenten aufeinander abzustimmen. Dies ist jedoch aufgrund der steigenden Komplexität der Anlagensysteme nur noch schwer manuell durchführbar. Dieser Umstand hat zur Folge, dass die Einregulierung der Regler nicht einmalig, sondern mehrmalig bei unterschiedlichen Betriebs- und Lastsituationen durchgeführt werden muss. Aufgrund des erhöhten Zeit- und Kostenaufwands kann in der Praxis eine optimale Reglereinstellung nicht sichergestellt werden, wodurch Anlagen nicht optimal betrieben werden. Zusätzlich wird die Inbetriebnahme der Anlagen durch das nichtlineare Regelstreckenverhalten (bspw. Ventilkennlinien) erschwert, was bei klassischen Verfahren zur Reglerparametrierung nicht beachtet wird. Bei diesen Verfahren wird ausgehend vom Arbeitspunkt immer von einem linearen Regelstreckenverhalten ausgegangen.

Die in der Praxis anzutreffenden Probleme erfordern ein neues Verfahren zur Reglerparametrierung, welches die folgenden Eigenschaften aufweisen muss:

- Berücksichtigung der konkreten Einbausituation
- Berücksichtigung der konkreten Betriebsweise
- Vollständige Automatisierung

Das neue Verfahren, das im Rahmen des Projektes entwickelt wird, weist diese Eigenschaften auf und beachtet die indivuellen Besonderheiten jeder Regelstrecke.

Das Forschungsvorhabens wird in Kooperation zwischen dem HRI der TU Berlin und der deZem GmbH Berlin durchgeführt. Die deZem GmbH entwickelt einen Prototyp zur Aufzeichnung der Messgrößen sowie zur Rückführung der Regelparameter in das Gebäude. Die Nutzung offener Schnittstellen soll dabei die Interoperabilität gewährleisten. Die nichtlinearen Modelle der Regelstrecken, die Parameteridentifikation sowie die automatisierte Ableitung von Reglerparametern werden durch das HRI ausgearbeitet.

Kernaussagen des Vortrags:

In Gebäuden sind überwiegend dezentrale Eingrößenregler installiert, die sich alle gegenseitig beeinflussen (vgl. Abbildung 1). Dieser Zusammenhang äußert sich dadurch, dass die Regelgröße eines Regelkreises meist als Störgröße auf einen anderen Regelkreis wirkt. Daher kann bereits ein einziger schlecht eingestellter Regler genügen, um eine Kettenreaktion auszulösen, die den Betrieb des gesamten Systems (erheblich) stört.

Die für die Regelung maßgebliche Regelstreckenverstärkung hängt einerseits von den auftretenden Störgrößen und damit dem momentanen Betriebspunkt ab und wird andererseits von dem nichtlinearen Übertragungsverhalten bestimmt. Daher werden beim Auto-EnEff Verfahren alle messbaren Störgrößen aufgezeichnet und gemeinsam mit den Nichtlinearitäten bei der Parametrierung der Regler berücksichtigt.

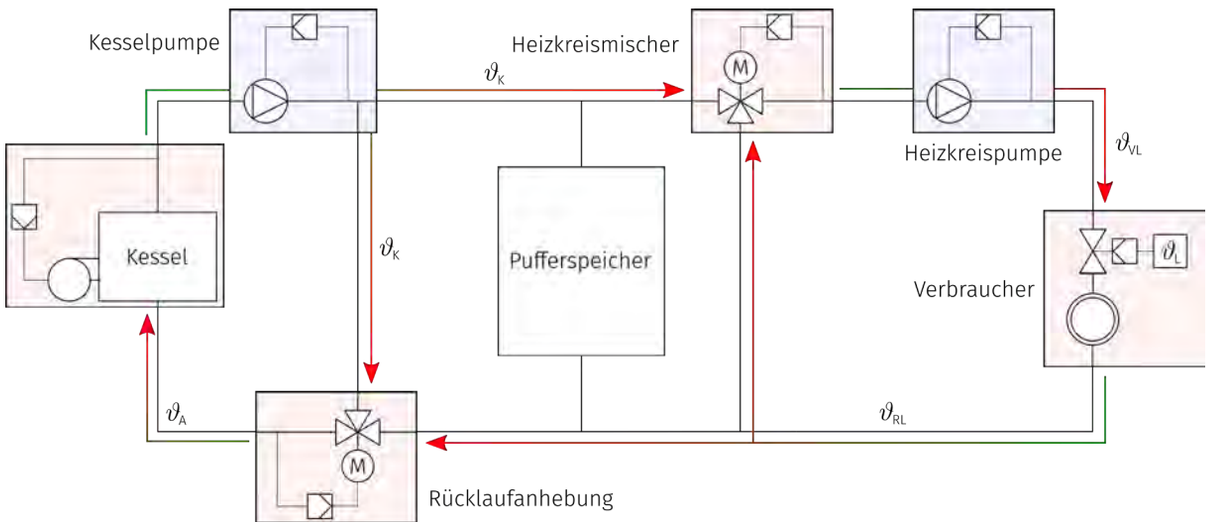


Abbildung 1: vereinfachtes Schema des Heizungssystems vom untersuchten Demonstrationsgebäude. Dargestellt sind neben den einzelnen Reglern auch die auftretenden Wechselwirkungen.

Das in Abbildung 2 dargestellte Auto-EnEff Verfahren ist adaptiv und basiert auf dynamischen, nichtlinearen, physikalisch motivierten Modellen. Es handelt sich um ein Zwei-Schritt-Verfahren, d. h. zunächst werden im Gebäude Messdaten der Regelstrecken aufgezeichnet um im Rahmen einer Parameteridentifikation die Prozessmodelle zu trainieren. In einem zweiten Schritt wird das trainierte Prozessmodell zu einer geschlossenen Regelstrecke erweitert und die optimalen Regelparameter durch Lösen eines dynamischen Optimierungsproblems ermittelt. Das Ergebnis sind Betriebspunkt abhängige Regelparameter für alle (messbaren) Betriebssituationen.

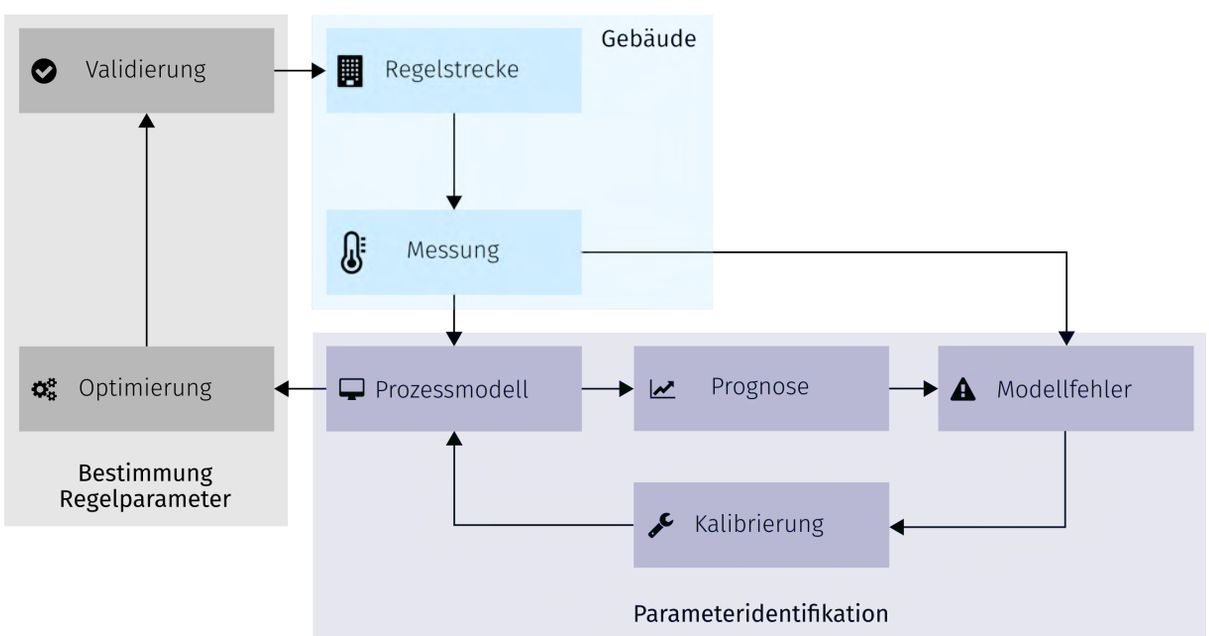
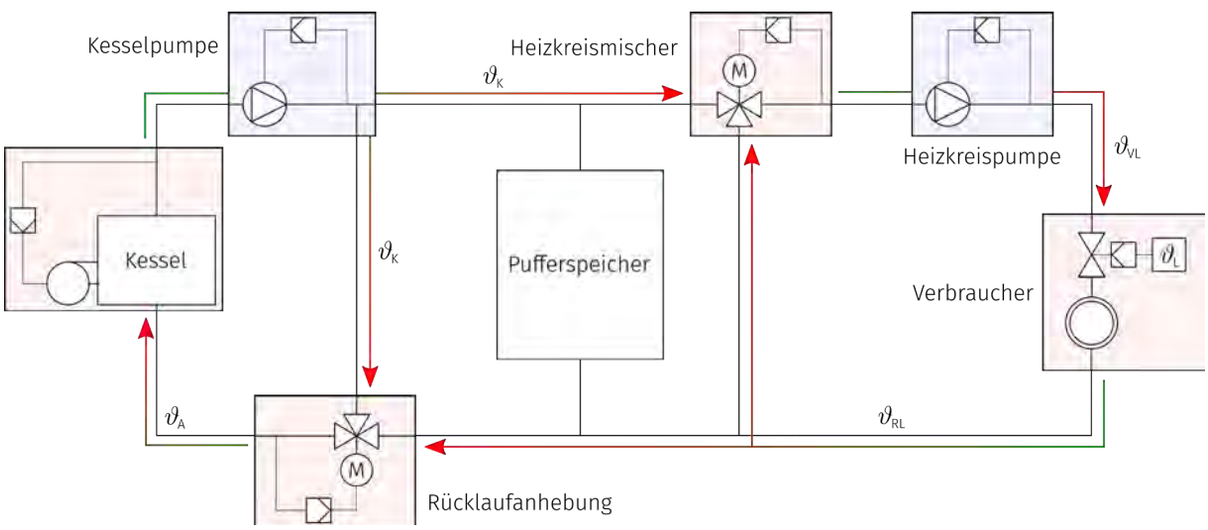


Abbildung 2: Schematische Darstellung des Auto-EnEff Verfahrens

GLIEDERUNG

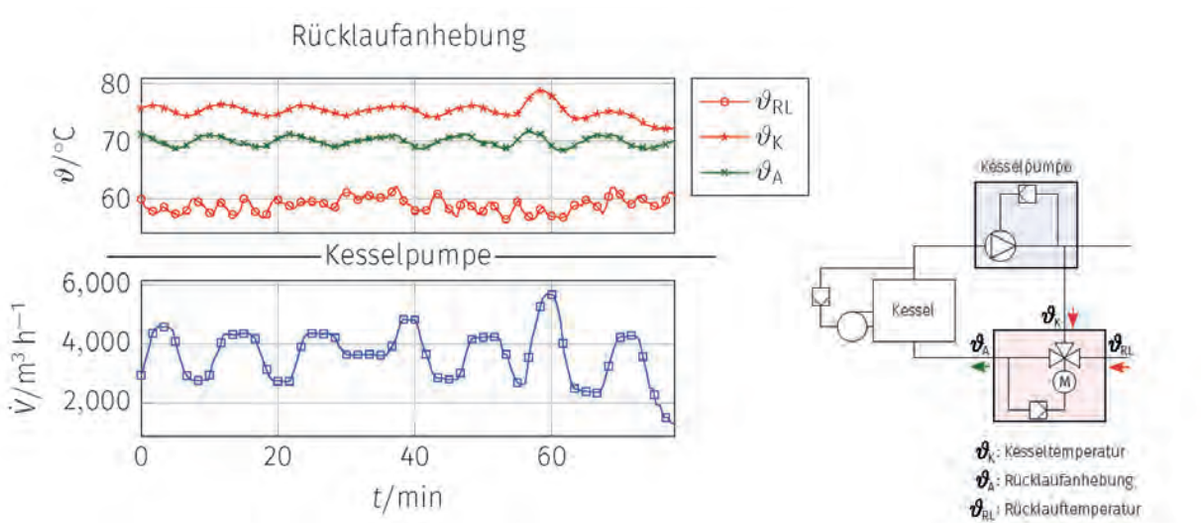
- Motivation
- Auto-EnEff Verfahren
- Methodik
- Ergebnisse der Optimierung
- Zusammenfassung und Ausblick

Wechselwirkungen zwischen Regelkreisen

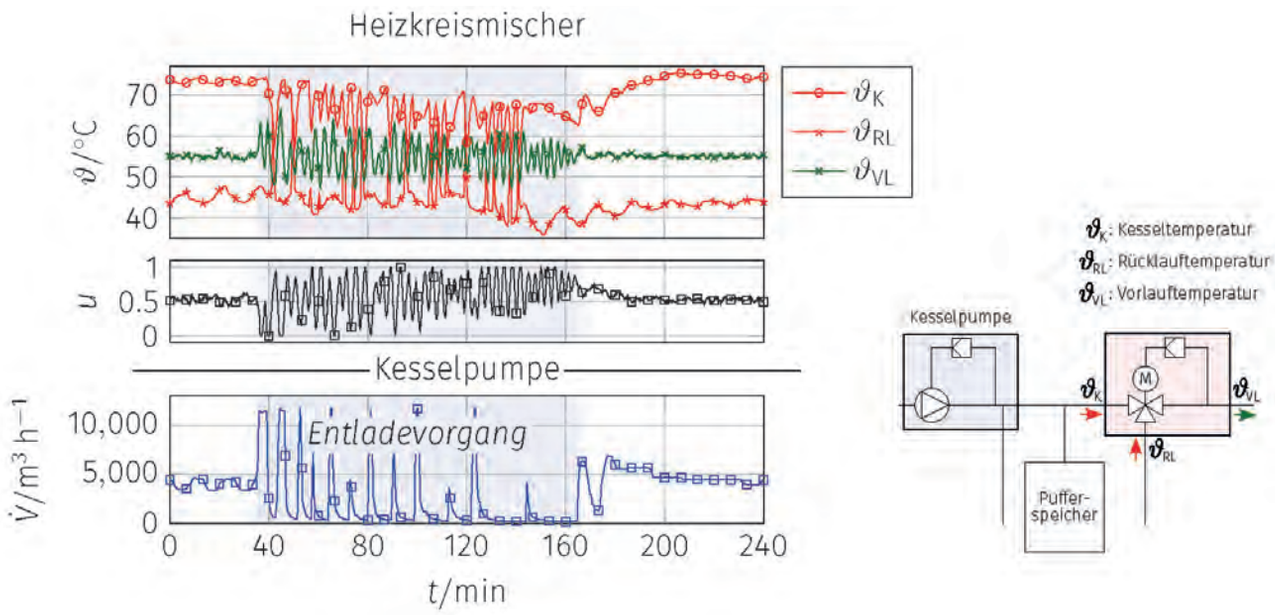


Die Regelgröße eines Systems wirkt als Störgröße auf ein anderes Systems.

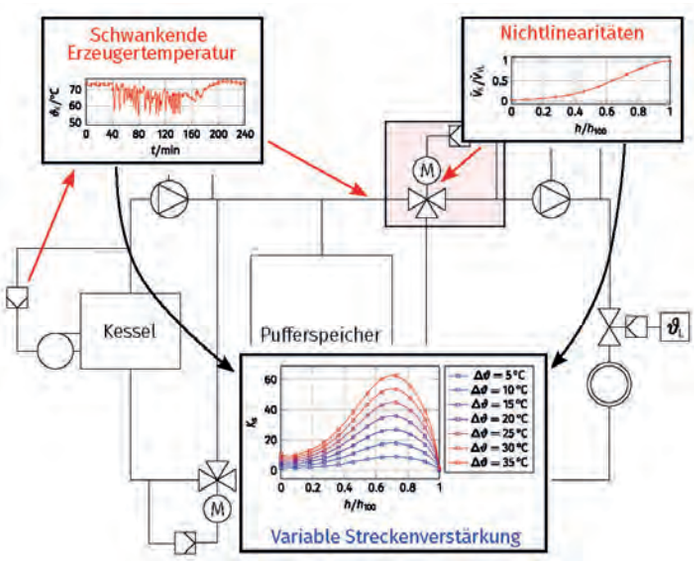
Zustand vor Projektbeginn



Zustand vor Projektbeginn



Problemstellung



Problem 1: Erschwerte Inbetriebnahme und Parametrierung der PID-Regler

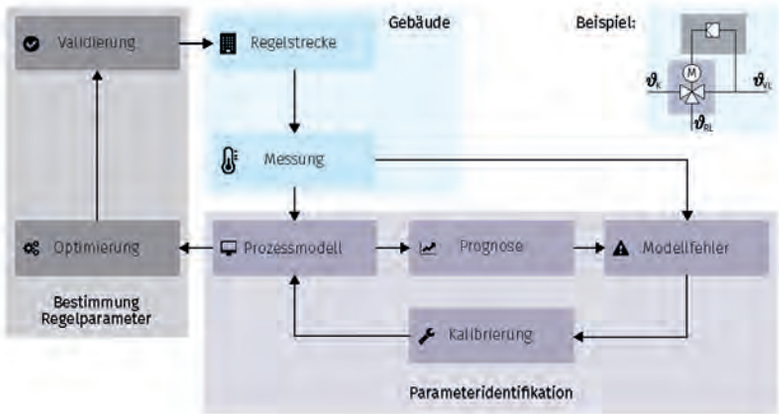
Problem 2: Stark nichtlineares Regelstreckenverhalten

Problem 3: Erhöhter Zeit- und Kostenaufwand

Anforderungen an neuen Ansatz:

- Berücksichtigung der konkreten Einbausituation
- Berücksichtigung der konkreten Betriebsweise
- Vollautomatisiert

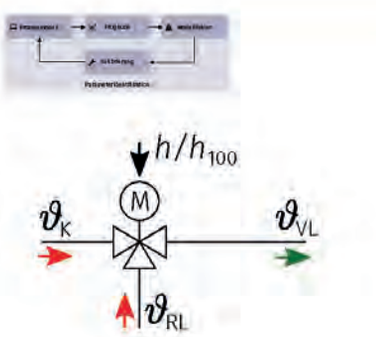
Auto-EnEff Verfahren



- Adaptiv, Modellbasiert
- Zweischritt-Verfahren
- Vollständig automatisiert

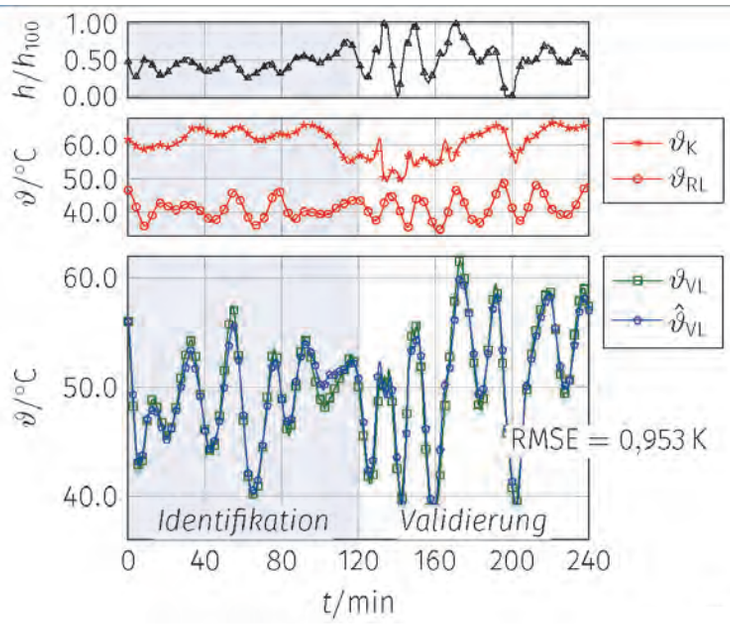
Ergebnis: Regelparameter für alle (messbaren) Betriebssituationen

Schritt 1: Parameteridentifikation

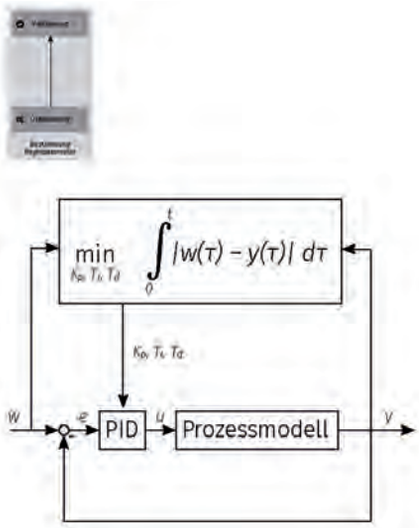


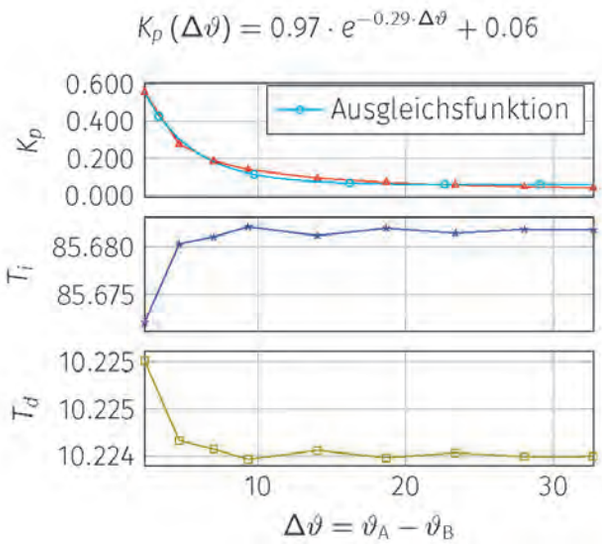
$$\hat{\vartheta}_{VL} = f\left(\hat{\vartheta}_{VL}, \frac{h}{h_{100}}, \vartheta_K, \vartheta_{RL}, p\right)$$

p: Parametervektor



Schritt 2: Bestimmung der Regelparameter

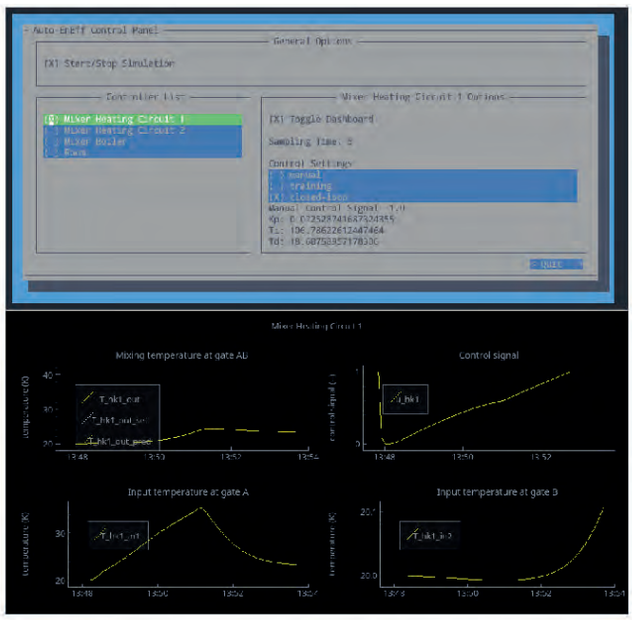




Wissenschaftliche Vorgehensweise



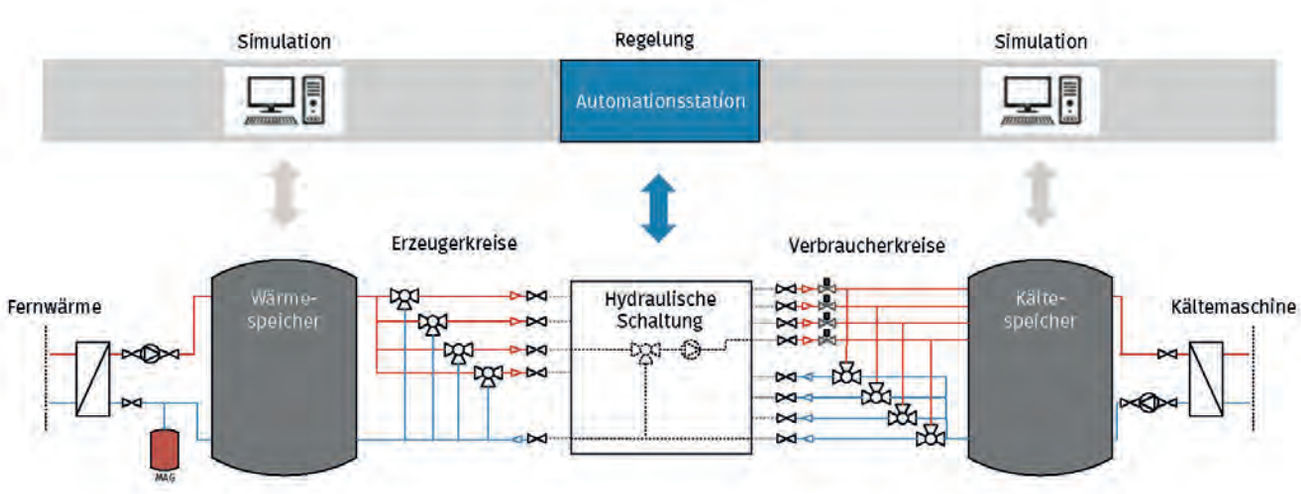
I. Software in the Loop (SiL)



Features:

- Plattformübergreifendes Frame work in Python
- Vollmodularer Aufbau
- Einbindung von FMU's
- Speicherung in HDF5
- Echtzeiteingriff durch schrittweise Simulation
- Plug & Play Integration von externen Reglern und Steuerungen

II. Hardware in the Loop (HiL)

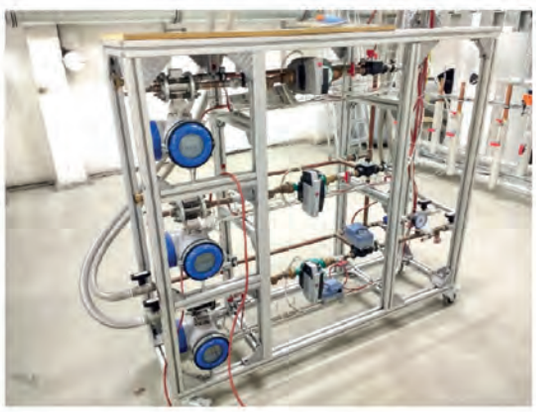


II. Hardware in the Loop (HiL)

Verbraucher- und Erzeugerseite



Hydraulische Schaltung (Prüfling)



III. Demonstrationsgebäude

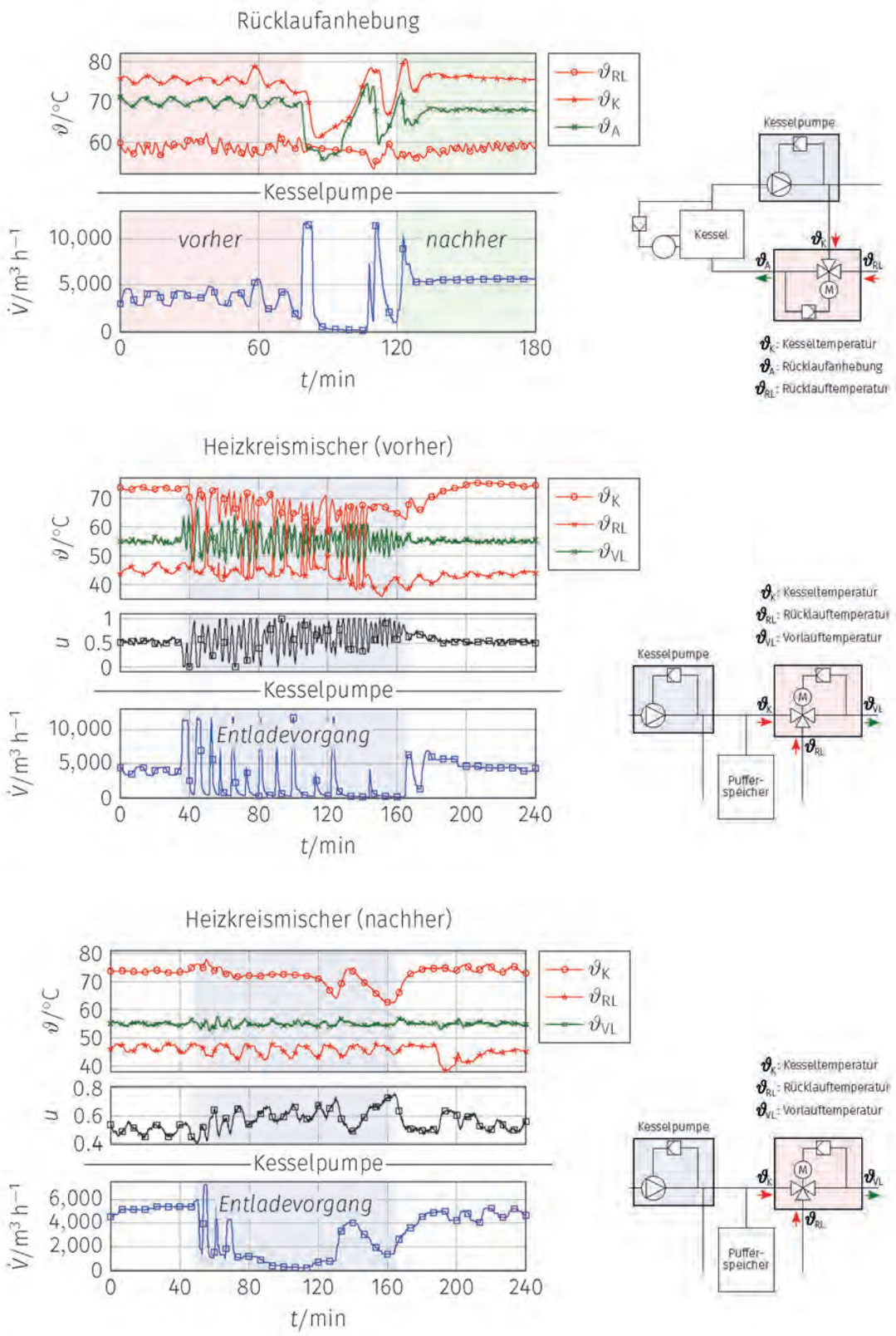




Grundschule Niederheide:

- Plusenergiegebäude (Baujahr 2011)
- Nutzfläche: 6562,70 m2
- Spez. Primärenergiebedarf: 53,74 kWh/(m2 a)
- Hybride Lüftung mit motorisierten Lüftungsflügeln
- Photovoltaik + Pelletkessel
- Umfassendes energetisches Monitoring

Zustand nach Optimierung der Regelparameter



Zusammenfassung

- Im Heizungssystem existieren starke Wechselwirkungen zwischen Regelkreisen, die zu sehr instabilem Regelverhalten führen können
- In der Praxis hat man kaum eine Chance die Regler geeignet zu parametrieren
- Das Auto-EnEff Verfahren berücksichtigt diese Wechselwirkungen und liefert Betriebspunkt abhängige Regelparameter
- Es basiert auf nichtlinearen physikalisch motivierten Modellen und erfordert keinen Nutzereingriff

Ausblick

Praxistransfer und Pilottest:

- Praxisnahe Weiterentwicklung und Untersuchung an weiteren Pilotanlagen
- Ganzheitliche Betriebsoptimierung aufbauend auf den Projekten Auto-EnEff und ExBop:

Ziel 1: Entwicklung von neuen Betriebsstrategien auf Basis einer automatisierten Ermittlung von optimalen Sollwerten

Ziel 2: Sicherstellung der Einhaltung der Sollwerte durch einen optimierten Betrieb derbvorhandenen Regler

- Die bisherigen Modelle und die aufgebaute Methodik/Struktur soll dafür weiter verwendet bzw. erweitert werden

Session II.I Quartiere – Ergebnisse und Erfahrungen

Moderation: **Carsten Beier**
Matthias Schnier
Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT

Quartiere haben ein großes Potenzial, einen wichtigen Beitrag zur Umsetzung der Energiewende zu leisten. Um die Folgen des Klimawandels wirtschaftlich und sozial verträglich meistern zu können, ist eine Transformation der Energiesysteme erforderlich. Im Vergleich zu den vergangenen 20 Jahren geht die Energiewende jetzt in eine neue Phase: ein großer Teil fossiler Großkraftwerke werden abgeschaltet, gleichzeitig müssen die Kapazitäten zur erneuerbaren Stromerzeugung nahezu verdoppelt und neue Mobilitätskonzepte entwickelt und umgesetzt werden. Dadurch steigt das Risiko von Versorgungs- und Netzengpässen. Quartierslösungen bieten hier eine Vielzahl an Möglichkeiten, Sektoren miteinander zu koppeln und die Schwankungen in der Stromerzeugung wirtschaftlich und technisch sinnvoll auszugleichen und Engpässe zu verhindern. Im Fokus stehen hierbei lokale Lösungen, die an die örtlichen Gegebenheiten angepasst sind. Mit Hilfe von integralen Lösungen können wirtschaftliche Konzepte beispielsweise aus der Verbindung von Sanierungsmaßnahmen im Gebäudebestand mit flexiblen Energieversorgungskonzepten entwickelt werden. Weiterhin können Elektrofahrzeuge in die Stromversorgung eingebunden und Überlastungen im örtlichen Stromnetz vermieden werden. Doch ergibt sich durch den integralen Ansatz eine unübersichtliche Anzahl an Konzeptvarianten, denn die Sanierungskonzepte für unterschiedliche Gebäude können mit einer Reihe an Energieversorgungskonzepten kombiniert werden. Zusätzliche Komplexität erhalten Quartierslösungen durch die Vielzahl an Akteuren, die in die Planung und die erfolgreiche Umsetzung einbezogen werden müssen. Durch den integralen Ansatz ergeben sich aber auch Möglichkeiten, beispielsweise um Bestandsgebäude warmmietenneutral zu sanieren, da an den Strommärkten durch den Verkauf von Flexibilitäten zusätzliche Erlöse erzielt werden können.

Vor diesem Hintergrund ist es Hauptaufgabe von Forschungsprojekten, Quartierslösungen für zukünftige Rahmenbedingungen zu entwickeln und sie vor allem zu testen, zu bewerten und ihre Wirksamkeit nachzuweisen, damit die breite praktische Umsetzung befördert wird. Im Rahmen der Förderinitiative ENERGIEWENDEBAUEN wird die Entwicklung und Umsetzung von neuen Quartierslösungen seit 2007 gefördert. Die aktuelle Förderung umfasst 157 Forschungsvorhaben im Bereich Energieeffiziente Stadt. Die Auswertung der geförderten Projekte durch die Wissenschaftliche Begleitforschung zeigt einen Schwerpunkt der Untersuchungen im Bereich der Quartiere mit Mehrfamilienhäusern, aber auch Quartiere mit einer lockeren, offenen Bebauung werden zunehmend untersucht. Komplexe Siedlungstypen wie ländlicher oder ehemaliger/städtischer Dorfkern, City und historische Altstadt sind weiterhin nicht Gegenstand der geförderten Projekte. Die überwiegende Zahl der Projekte werden im Bereich der Wohnsiedlungen



Schwerpunktthemen der geförderten Quartiersprojekte – Gesamtlösungen sowie Optimierung und Monitoring stehen im Fokus.

und Mischgebiete und weniger in Nicht-Wohnsiedlungen durchgeführt. Der Vergleich der Quartiersprojekte zeigt hinsichtlich der Energieversorgung, dass die eingesetzten Technologien deutlich vom Baualter der Gebäude abhängt: neuere Quartiere verfügen über Photovoltaikanlagen und werden über Wärmepumpen mit Wärme versorgt. Auch die Analyse der eingesetzten Energiespeicher ist interessant: zur besseren Nutzung und Integration von erneuerbaren Energien werden in Wohnsiedlung sowohl Wärme- als auch Stromspeicher häufig eingesetzt. Bei Mischgebieten gaben die Projekte im Rahmen der Querauswertung an, dass Wärmespeicher häufig, Stromspeicher hingegen seltener genutzt werden. Die Auswertung der Schwerpunktthemen wiederum hat gezeigt, dass insbesondere die Themen Optimierung und Monitoring aber auch die Integrale Planung, die dezentrale Einspeisung und Energieerzeugung sowie die Sektorkopplung Gegenstand der Untersuchungen sind. Dies lässt den Schluss zu, dass Gesamtlösungen mit Blick auf die anstehenden Herausforderungen der Energiewende im Fokus der Quartiersprojekte stehen. Zur vergleichenden Analyse der Projekte wurden im Rahmen der Wissenschaftlichen Begleitforschung die Basisdaten der Projekte sowie Ergebnisse von Umfragen ausgewertet. Die wesentlichen Ergebnisse der Wissenschaftlichen Begleitforschung ENERGIEWENDEBAUEN werden im Buch "Eneriewendebauen: Forschungserkenntnisse von der Komponente bis zum Quartier" im Sommer 2020 im IRB-Verlag veröffentlicht.

Quartierslösungen – komplexe Konzepte mit großem Potenzial



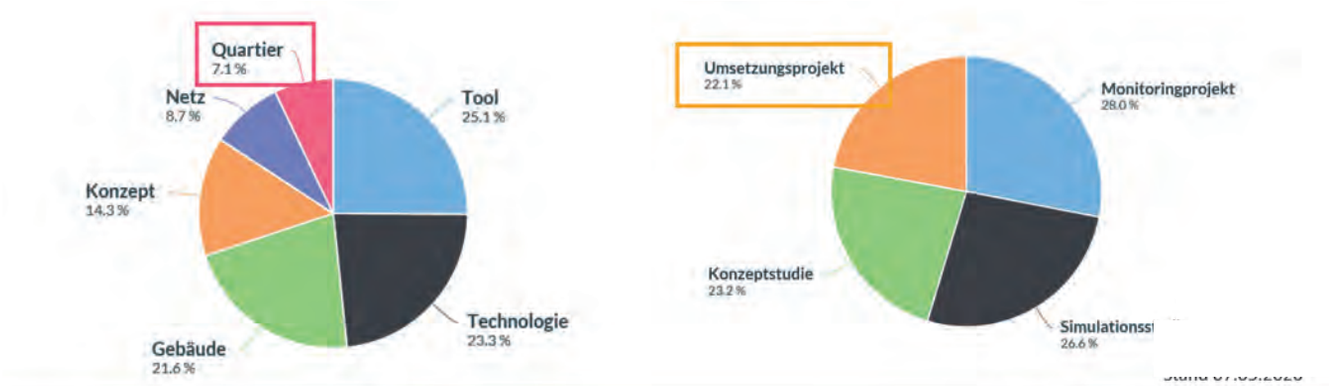
Aktuelle Projektförderung in ENERGIEWENDEBAUEN
1.211 Projekte – davon 157 in EnEff:Stadt



Stand 07.05.2020

Aktuelle Projektkategorien
7,1 % Quartiersprojekte, 22,1 % Umsetzungsprojekte

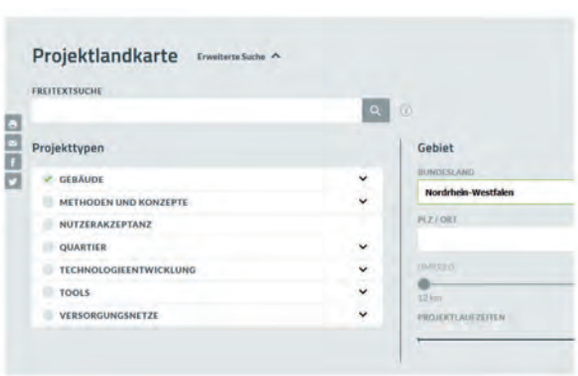
Ihre Projektergebnisse und -erfahrungen sind ein hohes Gut und enorm wichtig für das Gelingen der Energiewende!

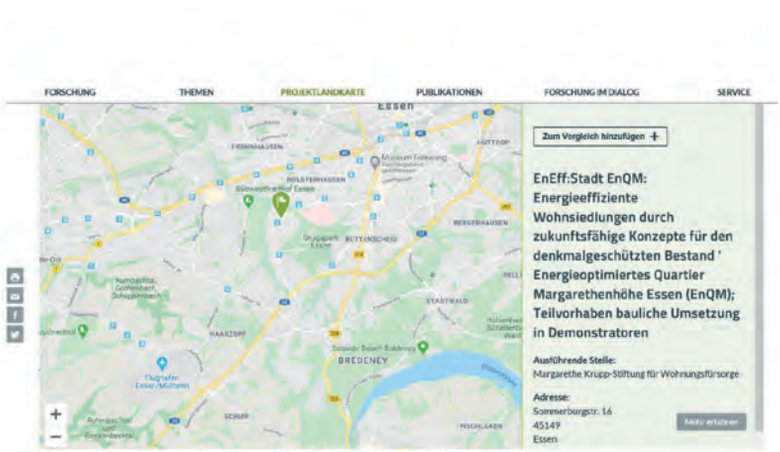


Stand 07.05.2020

Lösungsansätze finden, Erfahrungen austauschen
Die Projektlandkarte der BF

https://projektinfos.energiewendebauen.de/projektlandkarte





Lösungsansätze finden, Erfahrungen austauschen
Die Projektlandkarte der BF

Zu finden sind…Teilprojekte inkl. zeitl. Entwicklung, Projektpartner, Informationen zur Förderung, Themen, Innovationen, Schlagworte, Vergleich von Projekten, Projektveröffentlichungen, Quintessenz



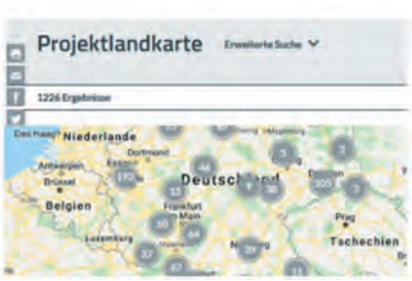


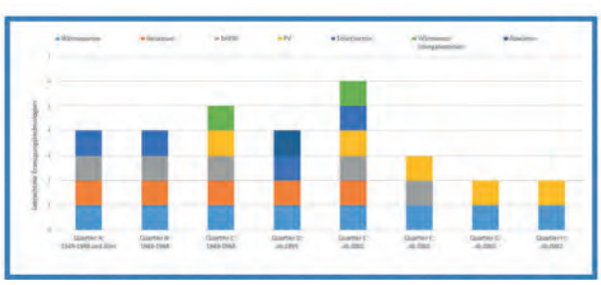


Was wird geforscht – Projektauswertung der BF

1. Projektinformationen: vorhandene Basisdaten aus enArgus, zusätzlich Detailinformationen aus den Projekten über Onlinefragebogen
2. Projektlandkarte: Überblick sowie Projekte und Themen finden
3. Auswertung: Vom Überblick zur Detailanalyse

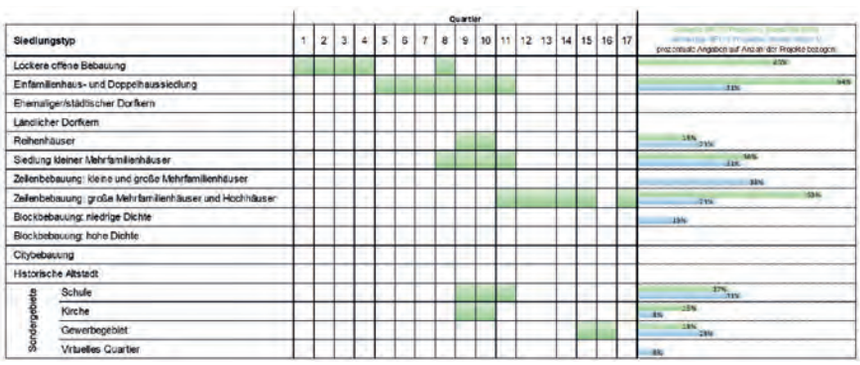






Siedlungstypen in den Quartiersprojekten

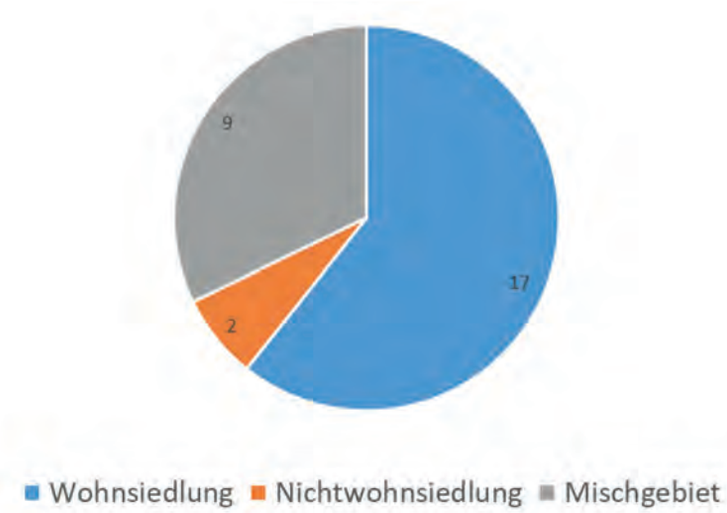
- Wie gehabt viele Quartiere mit Mehrfamilienhäusern sowie Schulen, Kirchen und Gewerbegebiete
- Vermehrt Lockere offene Bebauung sowie Einfamilienhäuser und Doppelhaushälften
- Weiterhin kein ländlicher oder ehemaliger/städtischer Dorfkern, keine City, keine historische Altstadt



11 Projekte
17 Quartiere

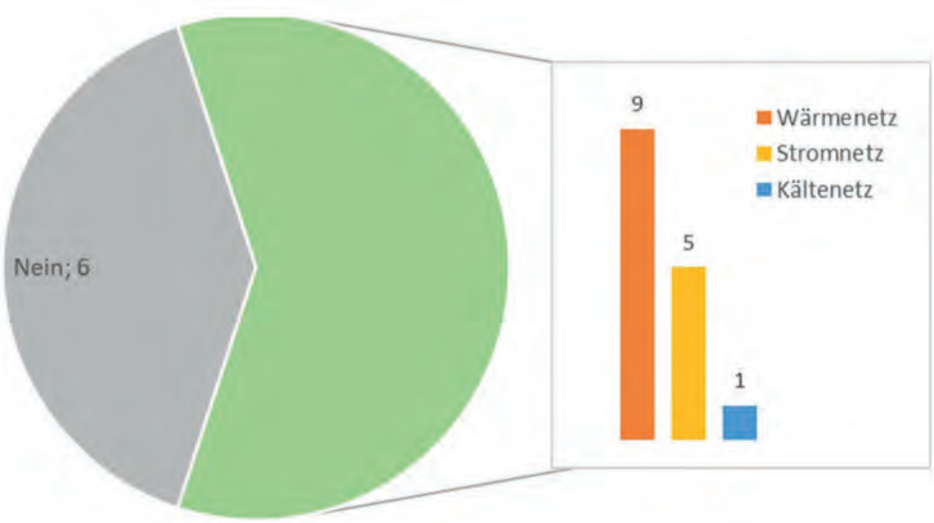
28 Quartiere: 17 reine Wohnsiedlungen, 2 Nicht-Wohnsiedlungen, 9 Mischgebiete

Vorteil von Quartieren ist der integrale Ansatz => mehr Mischgebiete?



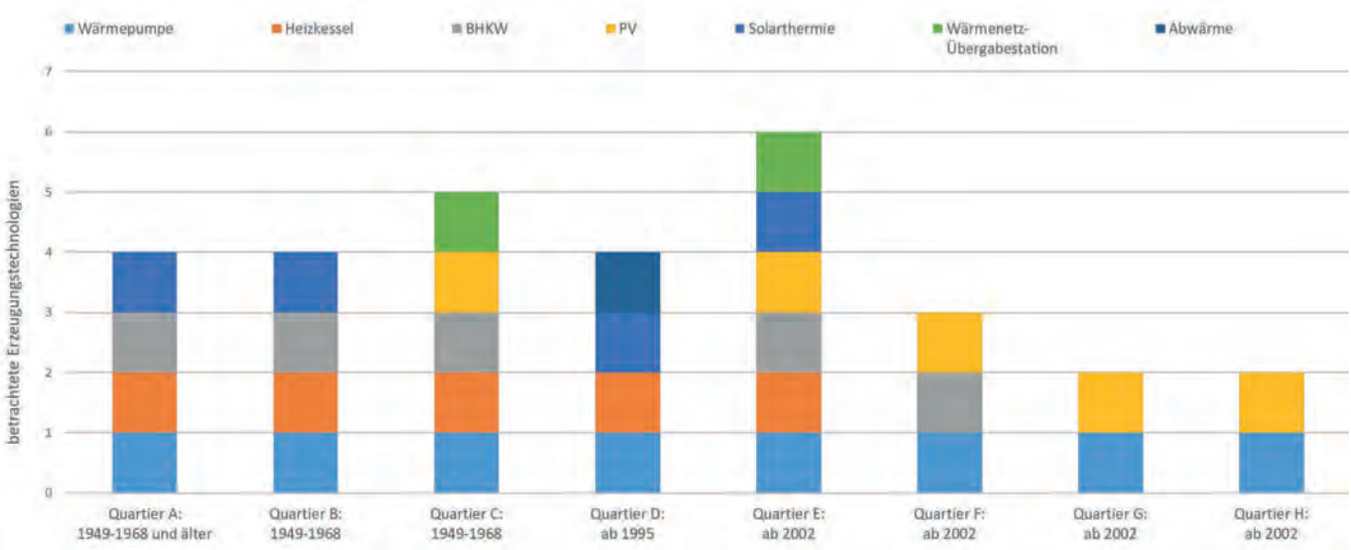
Netze sind Basis für integrale Lösungen

Wenn Netze untersucht werden, dann…
…immer Wärmenetze, zunehmend Stromnetze, Kältenetze bleiben Spezialthema



15 Projekte
Mehrfachnennung möglich

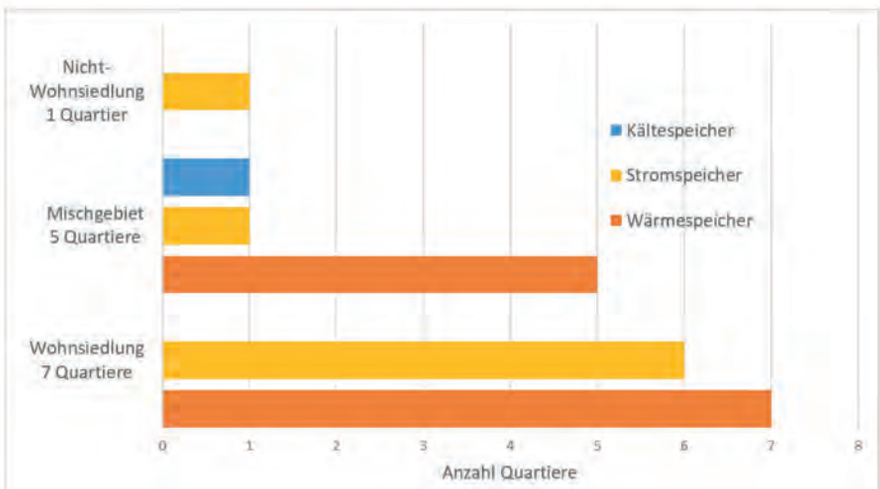
Alte Gebäudestruktur mit Erzeugermix, Neue Quartiere nur noch PV und WP



10 Projekte
13 Quartiere

Energiespeicher: bessere Nutzung und Integration von erneuerbaren Energien, mehr Flexibilität und Versorgungssicherheit

Wenn Speicher, dann immer Wärmespeicher.
Viele Stromspeicher, aber weniger in Mischgebieten?!



Die Schwerpunktthemen zeigen das Potenzial von Quartiersprojekten und der Förderung.

Abgestimmte Gesamtlösungen stehen im Fokus. Monitoring ist wichtiger Bestandteil.



Fragebogen: Auswahl von bis zu 10 Schlagworten pro Projekt

Das Quartier ≠ viele Gebäude…

…und kann mehr Probleme lösen: Integration von erneuerbaren Energien, Netz-und Versorgungsengpässe, Neue Mobilität…in Verbindung mit wirtschaftlicher Sanierung.

- Andere Bewertung
- Mehr testen, mehr Praxiserfahrung
- Mehr persönlicher Austausch zur Verwertung der Projektergebnisse
- Mehr Industrie in F&E-Projekte einbinden

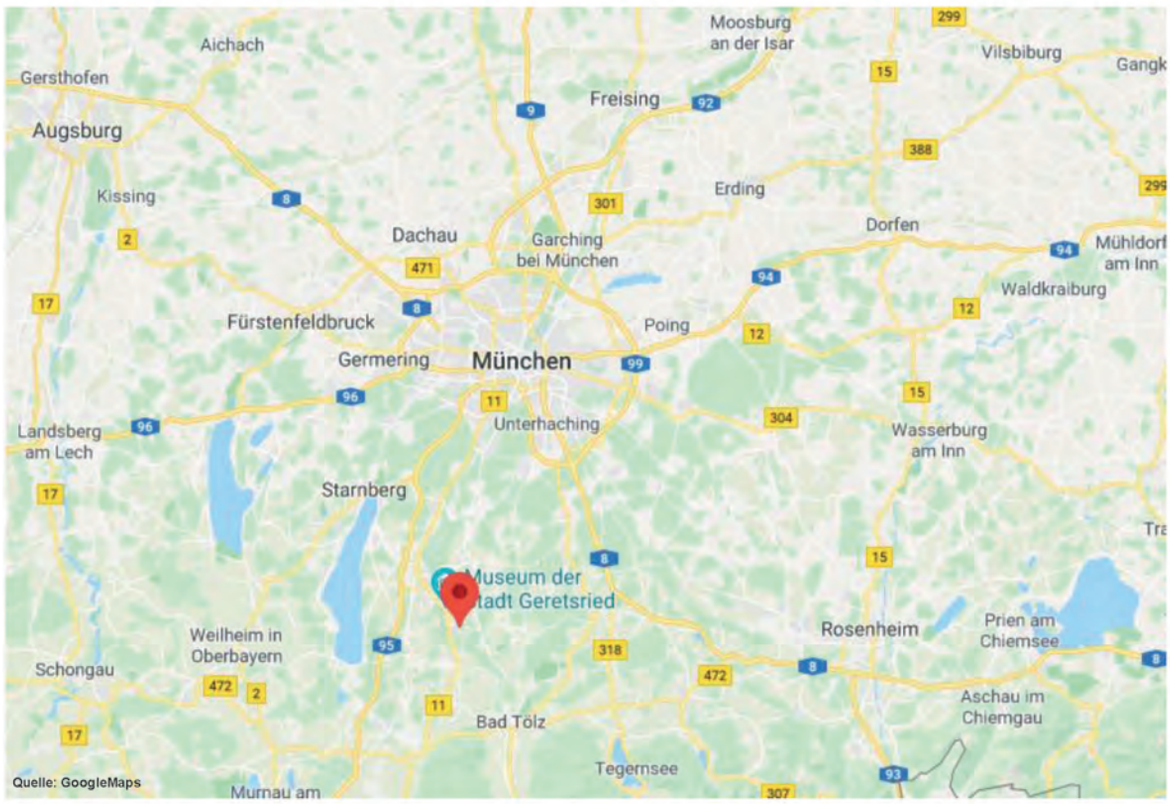
Praxisprojektvorstellung II.I.I

Projekt:	**Verbundvorhaben: EnEff: Stadt: Netzneutrales Energie-Plus-Quartier in Geretsried**
Projektbeteiligte:	Hochschule für angewandte Wissenschaften München - Fakultät 05 Versorgungs- und Gebäudetechnik, Verfahrenstechnik Papier und Verpackung, Druck- und Medientechnik, München Technische Universität Dresden - Fakultät Architektur - Institut für Bauklimatik, Dresden EREA-Projekt GmbH & Co. KG, Dietramszell
Laufzeit:	2015 – 2020
Vortragender:	**Steffen Lauterbach, M. Sc.** **Hochschule für angewandte Wissenschaften München | Fakultät 05 VSG Energie- und Gebäudetechnik**

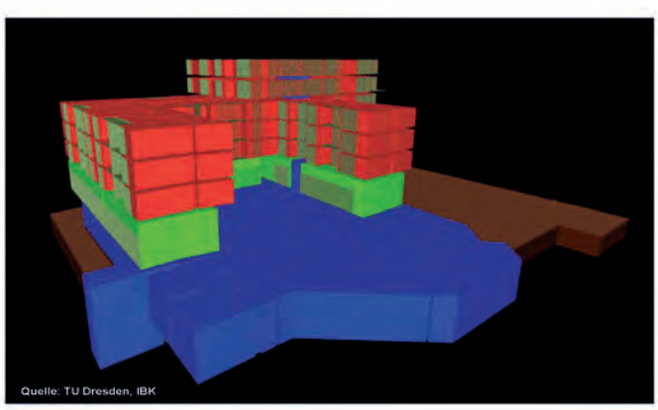
Projektbeschreibung:

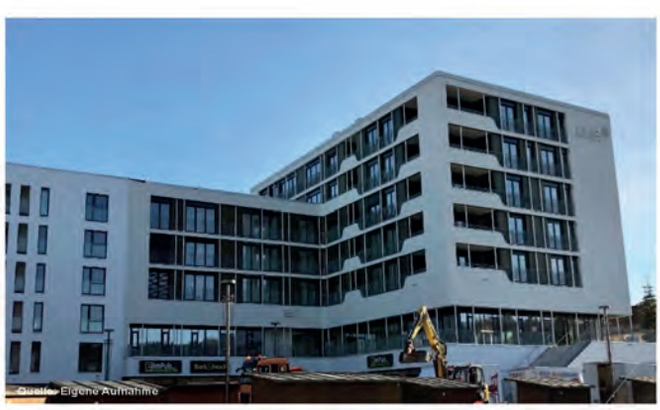
Das Vorhaben '+EQ-Net' basiert auf den Einsatz marktreifer Anlagentechnik, der Einbindung von regenerativem Strom sowie der Entwicklung eines intelligenten, zukunftsfähigen Energiekonzeptes, welches an einem Pilotprojekt umgesetzt werden soll. Durch die Kombination von Strom- und Wärmespeichern mit regenerativen Energieerzeugern und Kraft-Wärme-Kopplung wird ein netzneutraler elektrischer Betrieb mit maximalen Eigendeckungs- und Eigennutzungsgraden angestrebt. Es werden verschiedene Möglichkeiten der Wärme- und Stromspeicherung bzw. -erzeugung in die Betrachtungen einbezogen. Das Versorgungskonzept soll in der Lage sein, regulierenden Einfluss auf die elektrische Infrastruktur nehmen zu können. Ein besonderes Augenmerk liegt auf dem neuartigen Ansatz der hybriden Wärmebereitung für Heizung und Warmwasser. Hierdurch wird die nutzerabhängige Warmwasserversorgung mit individuellen Temperaturansprüchen von der zentralen Energiebereitstellung entkoppelt und somit ein Betrieb auf niedrigem Temperaturniveau sichergestellt. Durch die Hybridisierung der Wärmeerzeugung wird zusätzlich eine direkte Wärmebereitstellung aus regenerativem Strom realisiert (Power-to-Heat). Es kommen Simulationen zum Einsatz. Neben der energetischen Bewertung mit Hilfe eines Monitorings wird ein Betriebsoptimierungs-Tool entwickelt und eine Verbrauchs-Visualisierung aufgebaut. '+EQ-Net' ist auf vier Jahre angelegt. Zunächst erfolgt die Planung des Pilotprojektes als netzneutrales Quartier unter Einsatz von Simulation. Danach folgt die bauliche Umsetzung. Parallel zum Bau wird ein Monitoring aufgebaut. Im Anschluss findet eine mindestens zweijährige Monitoring-Phase statt. Das Monitoring wird zur Betriebsoptimierung mit einem eigenentwickelten Tool und der Ausstattung des Quartiers mit Verbrauchs-Visualisierung genutzt. Die Erkenntnisse werden sowohl den Nutzern und Planern des Projektes als auch der Allgemeinheit zugänglich gemacht und im Endbericht zusammengefasst.

Geretsried



Das Quartier pulsG





- 1 Vollsortimenter Supermarkt: 2200 m²
- 7 Gewerbeeinheiten ges.: 1000 m²
- 66 Wohneinheiten ges.: 4850 m²
- Gesamtfläche: 8050 m²

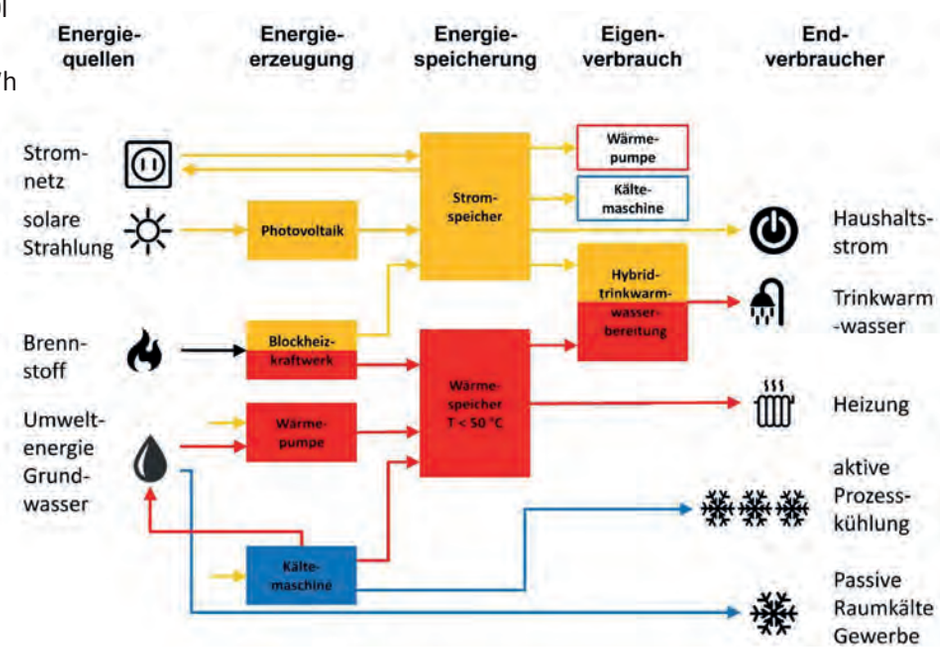
Ziele und Neuheitsgrade

- Elektrische Netzneutralität
- Entkopplung von Erzeugung und Verbrauch
- Hybride Wärmeerzeugung
- Saisonale Regelung
- Integrale Betriebsoptimierung
- Einbezug der Nutzer



Das Energiekonzept

- Photovoltaikanlage: 86 kWp
- Blockheizkraftwerk: 80 kW therm; 40 kW_{elektr}
- Wärmepumpen: 160 kW_{therm}
- Wärmespeicher: 10.000l
- Stromspeicher: 52,8 kWh



Einfluss der Öffentlichkeit



Ursprünglich Pilotprojekt in Penzberg geplant

Hemmnisse:

- unzureichende Kommunikation mit der Stadt Penzberg
- Verschärfung der Stellplatzverordnung
- Negative Presse gegenüber dem Bauvorhaben



→ Negative Emotionen gegenüber dem Bauprojekt

Auch hier mit Gegenwind zu kämpfen, aber:

- Einbindung des Pilotprojekts in städtebauliche Entwicklungsplan „neue Mitte Geretsried“
- Lokales Bauunternehmen
- Bessere Öffentlichkeitsarbeit um Bevölkerung mitzunehmen



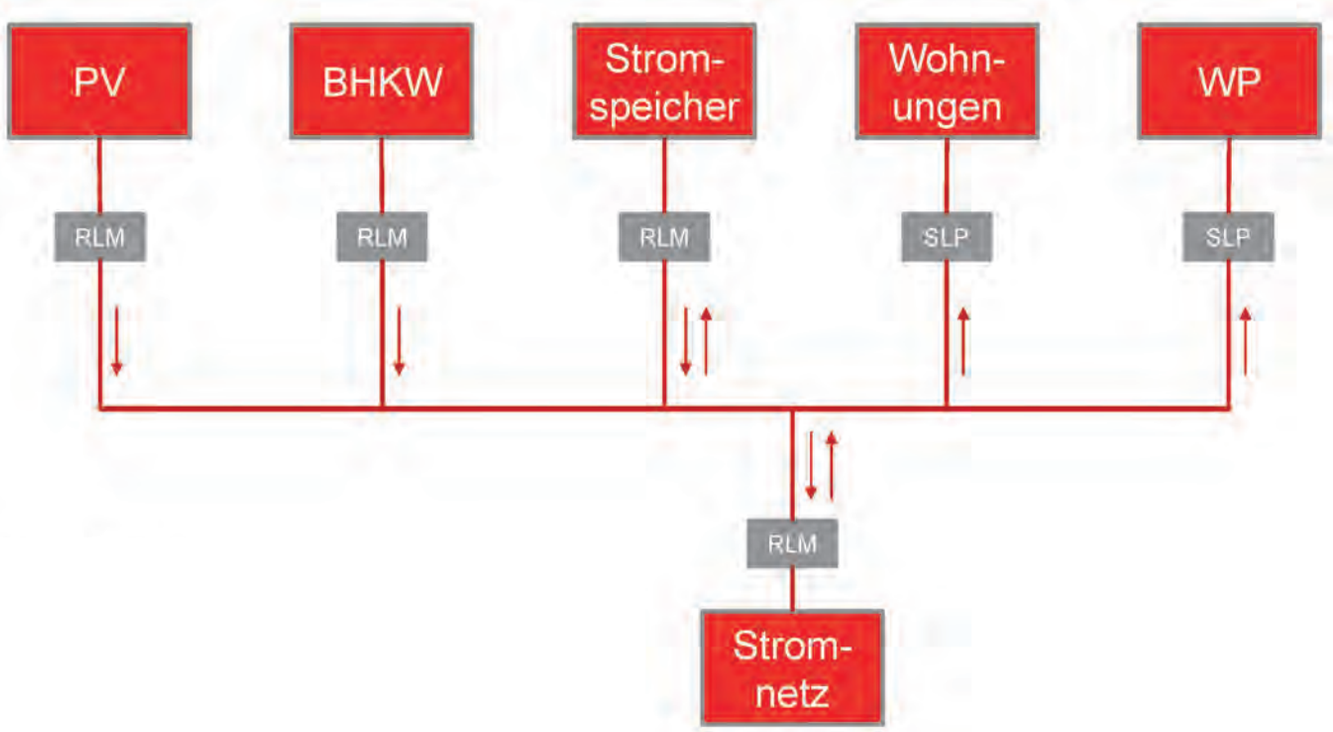


Wechsel Pilotprojekt zupulsG in Geretsried
→ Vorteile aus wissenschaftlicher Sicht



	Karl-Lederer-Platz in Geretsried	Bahnhofsplatz in Penzberg
Gesamtfläche	ca.8050 m²	ca. 4000 m²
Geschossanzahl	7 Geschosse Tiefgarage für Wohnen und Gewerbe/Handel	4 Geschosse + 2 Penthäuser Tiefgarage für Wohnen
Wohnfläche	4850 m² (66 WE)	2500 m² (30 WE)
Gewerbefläche	Vollsortimenter: 2200 m² Gewerbe: 1000 m²	Gewerbe: 1000 m²
Standort	"Leuchtturm" am Ortskern	Bahnhofsplatz
Technik	zusätzliche Prozesskälte (Kühlwaren)	
Nutzung	100 % Vermietung	100 % Verkauf

Mess-/Speicherkonzept



RLM: Registrierende Leistungsmessung
SLP: Standard-Last Profil

Strom aus Batterie ist Graustrom
→ kein KWK Zuschlag und keine Mieterstromförderung
Grund: Gesetzgebung → § 19 Abs. 1 EEG

Mess-/Speicherkonzept Lösungsvorschlag



Strom aus Batterie ist Graustrom
→ kein KWK Zuschlag und keine Mieterstromförderung

Grund:
Gesetzgebung → § 19 Abs. 1 EEG

Aber:
Mathematische Lösung problemlos möglich

→ Änderung Gesetzgebung zwingend notwendig
→ trotz finanzieller Verluste Umsetzung des Konzepts durch Bauherren/Eigentümer

Praxisprojektvorstellung II.I.II

Projekt:	**EnEff:Stadt Verbundvorhaben: Wind-Solar-Wärmepumpen-Quartier - Erneuerbar betriebene Wärmepumpen zur Minimierung des Primärenergiebedarfs**
Projektbeteiligte:	Institut für Solarenergieforschung GmbH, Emmerthal, Niedersachsen Energieservice Westfalen Weser GmbH, Kirchlengern Stiebel Eltron GmbH & Co. KG, Holzminden Technische Universität Clausthal - Fakultät für Energie- und Wirtschaftswissenschaften - Institut fur Elektrische Energietechnik und Energiesysteme, Clausthal-Zellerfeld
Laufzeit:	2017 – 2020
Vortragender:	**Dr. Tobias Ohrdes** **Institut für Solarenergieforschung Hameln**

Projektbeschreibung:

Die Umstellung der Gebäude-Wärmeversorgung auf mit erneuerbarem Strom betriebene Kompressionswärmepumpen bietet ein erhebliches Potential zur Primärenergieeinsparung in Quartieren, die dann besonders hoch ausfällt, wenn der Wärmepumpen- (WP-) und Haushalts-Strombedarf zeitgleich durch lokalen Wind- und Sonnenstrom gedeckt werden. Im vorliegenden Forschungsvorhaben sollen daher folgende Ziele erreicht werden: 1. Bestimmung der Gleichzeitigkeiten des Wärme- und Strombedarfs der Gebäude eines Quartiers untereinander und im Vergleich zum regionalen Dargebot an Wind- und Solarstrom bei unterschiedlichen WP-Wärmequellen. 2. Entwicklung und Bewertung von zentralen und dezentralen Betriebsstrategien für einzelne WP im Quartier unter Einbeziehung von dezentralen thermischen und elektrischen Speichern in Hinblick auf erneuerbaren Deckungsanteil, Eigenverbrauch, Primärenergieeinsparung, Netzentlastung, Wirtschaftlichkeit. 3. Allgemeingültige Planungshilfen zur Umsetzung von WP-Quartieren in Bestand und Neubau, mit mehr als 50 % Primärenergieeinsparung, für Planer, Kommunen und Versorger.

Kernaussagen des Vortrags:

Im Rahmen des Projekts wird ein ganzheitliches Monitoring in zwei Wärmepumpen-Quartieren durchgeführt. Das Quartier „Solarsiedlung am Ohrberg“ wurde um 2000 erbaut. Jedes der 70 Gebäude verfügt über eine Wasser-Wasser-Wärmepumpe, die an einem kalten Nahwärmenetz angeschlossen ist. Das zweite Quartier bildet die „Plus-Energiehaus-Siedlung bei Hügelshart“. Die Gebäude dieser Siedlung wurden im Jahr 2016 erbaut und sind mit Luft-Wasser-WP, Batterie- und Wärmespeichern, PV und einem Energiemanagementsystem ausgestattet, das die WP nach PV-Angebot steuert. Die Auswertung der Messdaten ermöglicht es dabei den aktuellen Stand der Wärmeversorgungskonzepte zu bewerten und Erfahrungen sowie Hemmnisse aus dem langjährigen Betrieb für neue Konzepte zu nutzen.

Der Fokus des Vortrages liegt auf der Solarsiedlung am Ohrberg. Das ursprüngliche Wärmeversorgungskonzept sah einen zweistufigen Wärmepumpenprozess vor, bei dem Flusswasser der Weser bei Bedarf auf ein Temperaturniveau von 12 °C erwärmt und einem Nahwärmenetz verteilt wurde. In jedem Gebäude sind Wärmepumpen installiert, die die kalte Nahwärme auf Heiztemperatur anheben. Nach wenigen Betriebsjahren stellte sich diese Lösung als nicht tragfähig heraus, da es vermehrt zu zugesetzten Filtern kam, sodass alternative Wärmequellen eingesetzt werden mussten. So wurde die Abwärme des ansässigen ISFH mit in das Netz eingebunden und der verbleibende Wärmebedarf mittels Gaskessel gedeckt.

Ausgehend vom Status Quo werden im Vortrag nun Wege aufgezeigt, wie durch einzelne Maßnahmen die Energieversorgung auf erneuerbare Energien umgestellt und die CO_2-Emissionen gesenkt werden können.

Zum Ersetzen des Gaskessels im kalten Nahwärmenetz bietet sich ein Brunnensystem an: Dieses liefert über das Jahr eine konstante Temperatur von ca. 10 °C und ermöglicht damit auch eine passive Kühlung. Auf diese Weise kann die CO_2-Emission für das Wärmenetz um 90 % gesenkt werden. Die verbleibenden 10 % fallen auf den notwendigen Pumpenstrom zur Förderung des Grundwassers und können zukünftig durch erneuerbaren Strom ersetzt werden.

Die Messdaten der Wasser-Wasser-Wärmepumpen in den einzelnen Gebäuden der Siedlung am Ohrberg zeigen, dass viele Wärmepumpen dauerhaft mit Heizstab heizen. Dies ist teilweise auf manuelle Einstellungen, aber auch auf Defekte zurückzuführen. Durch Einsatz moderner Wärmepumpen mit permantentem Anlagenmonitoring und Störmeldungen, lassen sich solche Probleme weitgehend vermeiden. Dies zeigen auch die Ergebnisse aus dem Quartier Hügelshart. Die durchschnittlichen Jahresarbeitszahlen der Luft-Wärmepumpen liegen hier über 3. Mit technisch aktuellen Wärmepumpen lässt sich im Quartier am Ohrberg die CO_2-Emission um weitere 30 % reduzieren.

Die verbleibenden CO_2-Emissionen werden nur noch durch den Stromverbauch der Haushalte und Wärmepumpen verursacht. Um die Potenziale aufzuzeigen, zu welchen Anteilen der Stromverbrauch aus lokalen erneuerbaren Energien gedeckt werden kann, werden dynamische Quartierssimulationen durchgeführt. Im Rahmen des Projekts wurde hierfür ein Quartiersmodell entwickelt, mit dem verschiedene Ausbau-Szenarien und Betriebsstrategien entwickelt und bewertet werden können. Das Modell wurde auf Basis der Messdaten eines Betriebsjahres validiert.

Wäre jedes Gebäude mit einer 5 kWp Photovoltaikanlage ausgestattet, könnten bereits 33 % des gesamten Strombedarfes für Haushalte und WP lokal gedeckt werden. Wird eine prognosebasierte WP-Steuerung umgesetzt, die möglichst viel PV-Strom nutzt, um die WP zu betreiben, erhöht sich der Deckungsgrad auf 39 %. Verwendet man in jedem Gebäude neben der PV-Anlage noch einen Batteriespeicher mit einer Kapazität von 5 kWh, können bereits 53 % des Energieverbrauchs solar gedeckt werden. Eine wesentliche Steigerung des erneuerbaren Deckungsanteils lässt sich aber auch ohne Speicher unter Einbeziehung von Windenergie erreichen, da sich das Angebot an Wind- und PV-Strom im Jahresverlauf sehr gut ergänzen. Bereits eine anteilige Windkraftanlagenleistung von 5 kW pro Gebäude ermöglicht einen Deckungsgrad von 72 %. Kombiniert man alle Szenarien, wird ein Deckungsgrad von 88 % erreicht. Dass diese Werte auch real erreicht werden können, zeigt das Quartier Hügelshart.

Die Ergebnisse aus den existierenden Quartieren zeigen, dass schon heute eine zu hohen Anteilen erneuerbare Energieversorgung von Quartieren mit Wärmepumpen und PV-Anlagen möglich ist. Bereits der Einsatz geringinvestiver Maßnahmen wie eines Energiemanagements mit intelligenter WP-Steuerung mit Wetter-Prognose steigert den Anteil regenerativen Energieversorgung im Gebäude. Unter Verwendung handelsüblicher Speicher und Einbeziehung der Windenergie ist eine vollständige erneuerbare Deckung in greifbarer Reichweite.

Quartier: Solarsiedlung am Ohrberg



Kenndaten:

- 70 Einfamilienhäuser
- Baujahr um 2000
- Wärme Contracting mit Solarthermieanlagen, Wärmepumpen
- Wärmepumpenquelle: kaltes Nahwärmenetz



Ganzheitliches Monitoring: Auswertung nach fast 20 Betriebsjahre

Kaltes Nahwärmenetz



Ortsnetz



37 Wärmepumpen& Haushalte



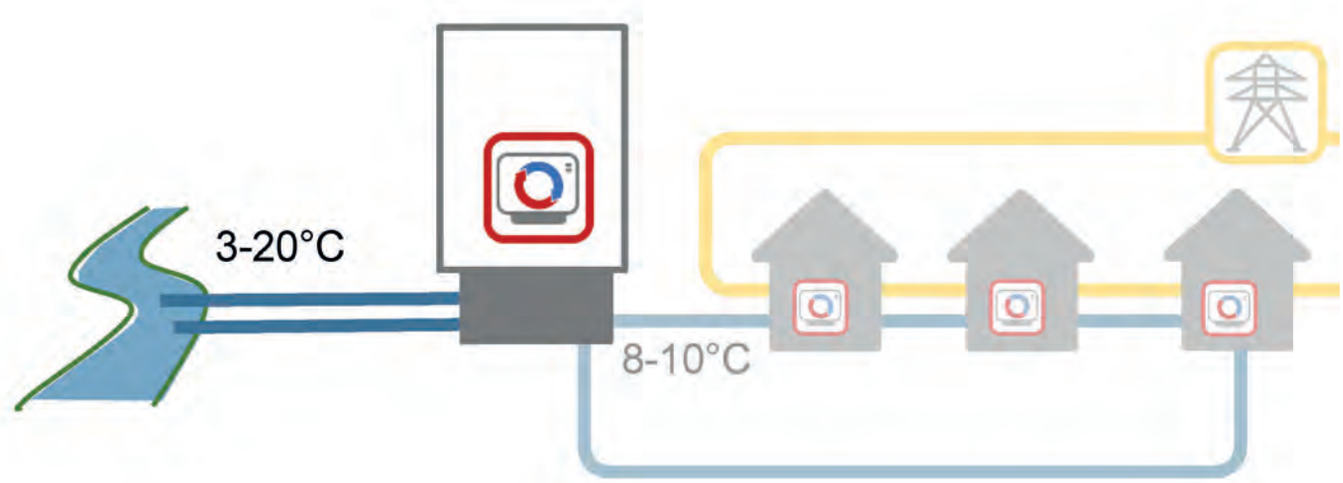
Wind & Photovoltaik



Betriebsdaten

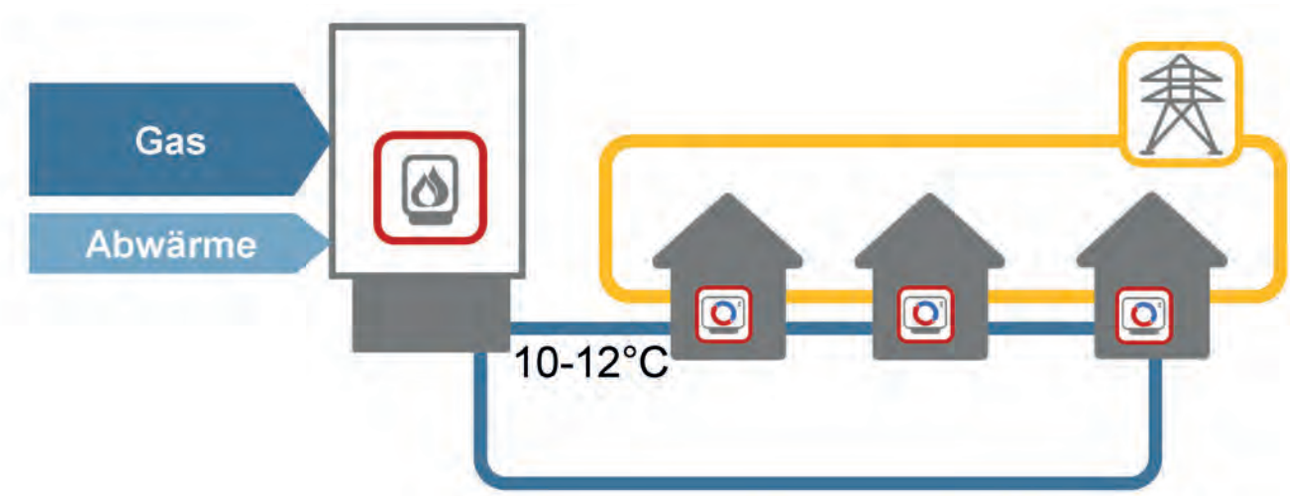


Konzepte für Quellenwärme am Ohrberg
Ursprüngliches Konzept aus 2000



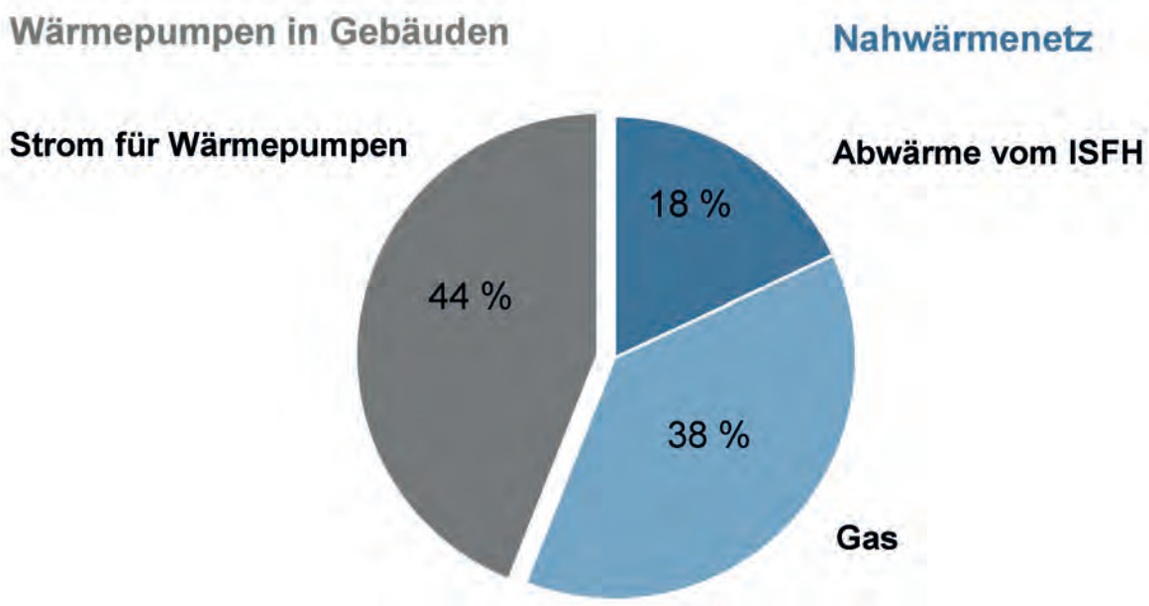
Weserwasser konnte auf Grund zugesetzter Filter nicht dauerhaft verwendet werden

Aktuelle Versorgung



Nutzung von Abwärme des ISFH und Gaskessel

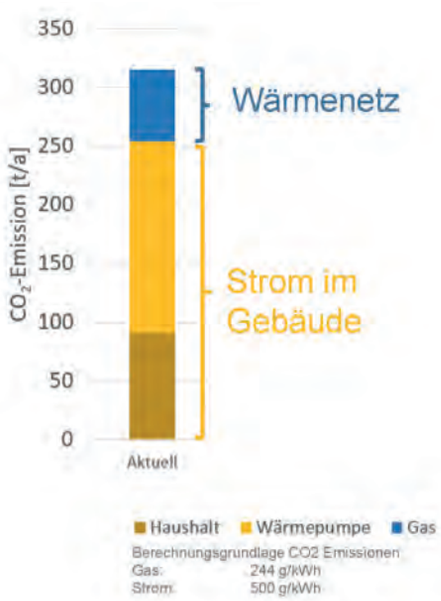
Wie viel Energie benötigt die Wärmeversorgung am Ohrberg pro Jahr?



Durchschnittliche Jahresenergien für die Jahre 2014 2018 basierend auf Betriebsdaten.

Quelle: Energieservice Westfalen Weser

Ganzheitliches Monitoring: Auswertung nach fast 20 Betriebsjahre



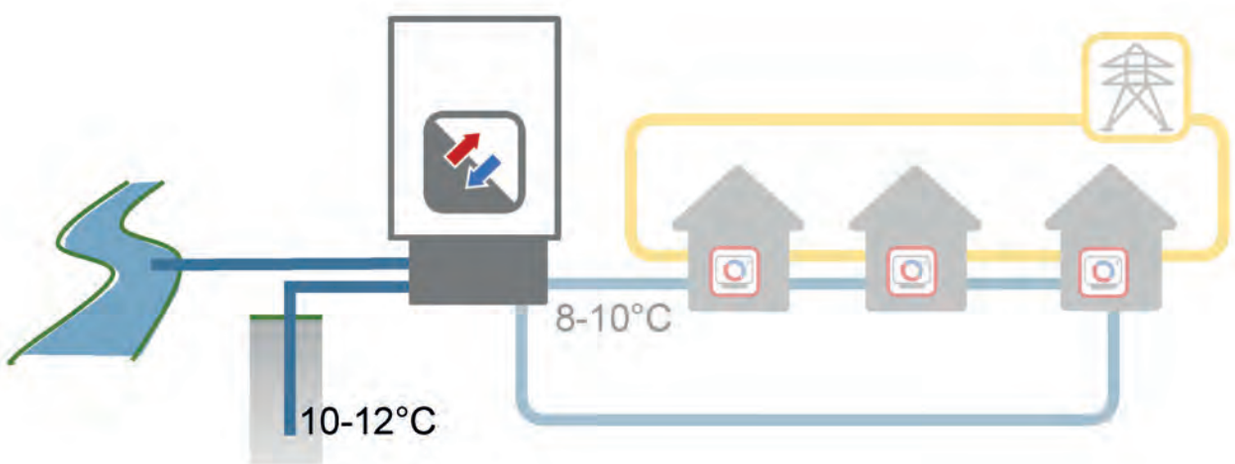
Wärmenetz

- 70 % Gaskessel
- 30 % Abwärme vom ISFH

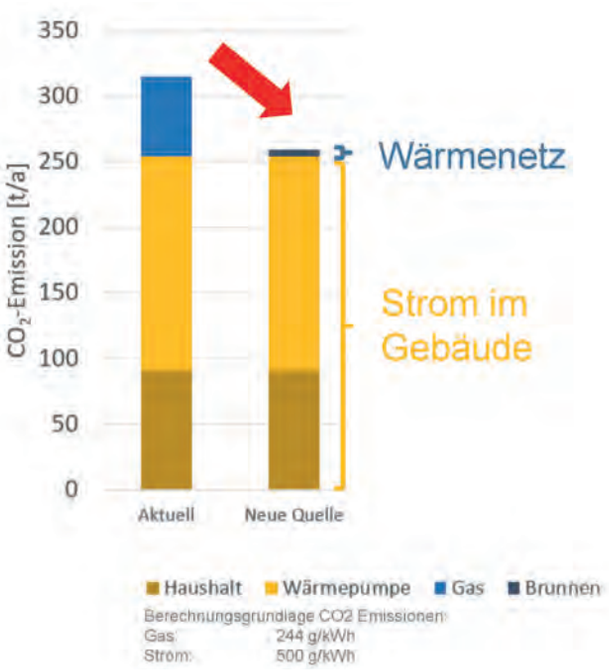
Gebäude

- Wärmepumpen arbeiten im Mittel über alle Gebäude nicht effizient

Konzepte für Quellenwärme: Nutzung von Brunnenwasser

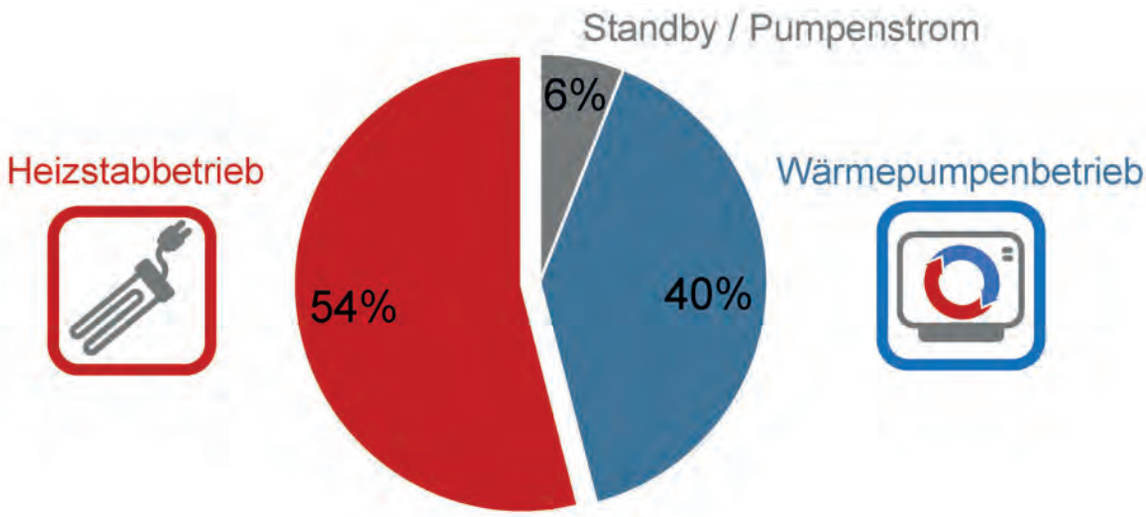


CO_2 Einsparung durch Erdwärmenutzung



- Einfaches System, da kein zentraler Wärmeerzeuger mehr notwendig
- 90 % Einsparung der CO_2 Emissionen im Wärmenetzes

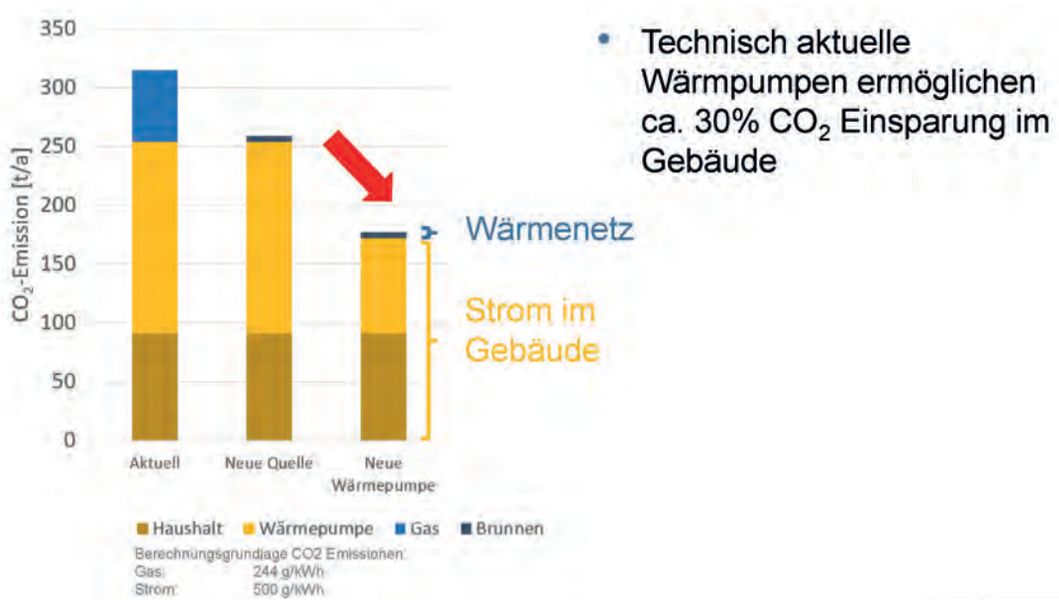
Wärmepumpen in Gebäuden am Ohrberg



Viele Wärmepumpen laufen ganzjährig im Heizstabbetrieb auf Grund von Defekten und fehlender Anlagenüberwachung

Quelle: Messungen in 37 Gebäuden im Zeitraum Juni 2018 – Mai 2019

CO_2 Einsparung durch neue Wärmepumpen

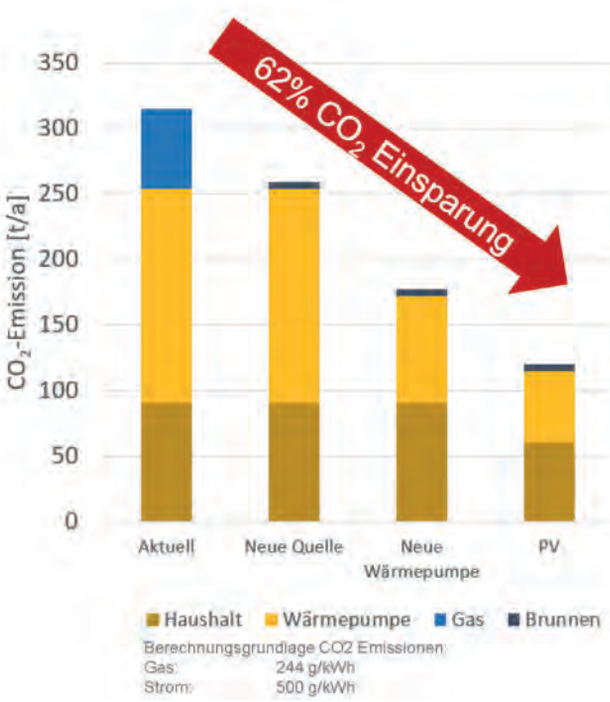


CO_2 Einsparung durch neue Wärmepumpen



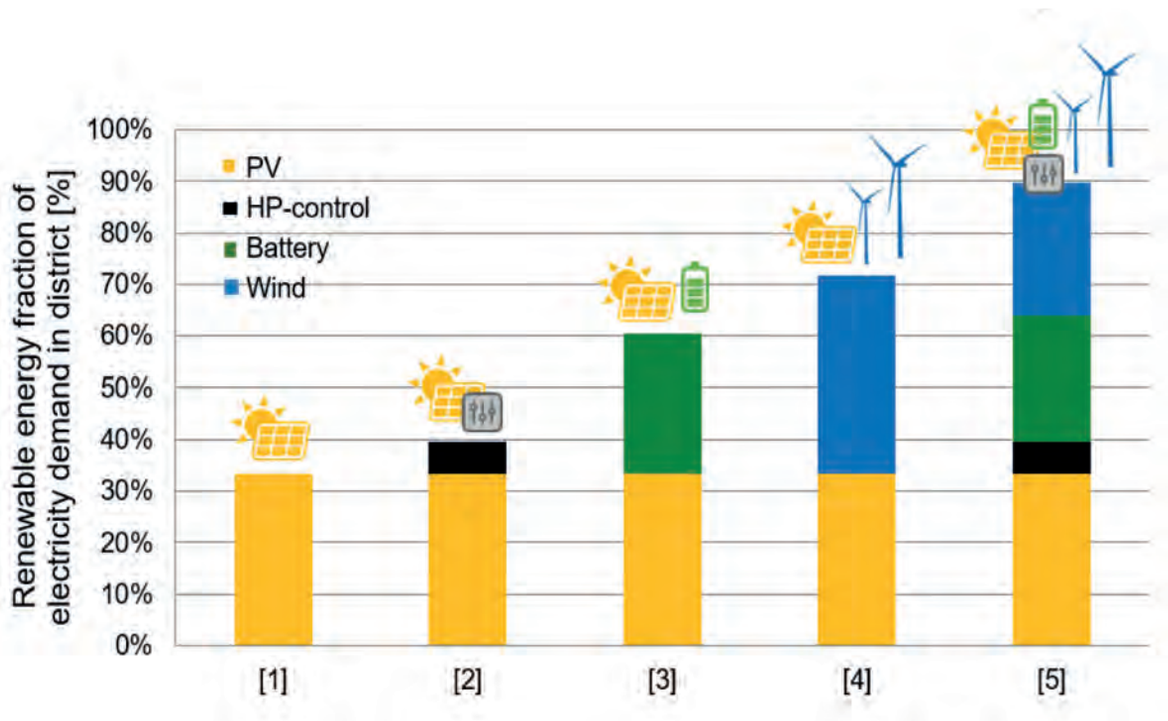
- ca. 30 % des Stromverbrauches aus eigener PV-Anlage decken
- dauerhafte Reduzierung der Stromkosten
- PV-optimierte Betriebsstrategien für WP ermöglichen weitere CO_2-Reduktion

CO_2 Einsparung des neuen Konzepts



- 65 % CO_2 Einsparung im Quartier
- Weitere Potenziale durch Nutzung lokaler Windenergie
- Ausbau der EE verringert in Zukunft die CO_2 Emission automatisch

Potenziale zur erneuerbaren Energieversorgung der Ohrbergsiedlung



Data based on measured household-load profiles and simulated supply concepts for the district at Ohrberg

[1] 5 kWp PV per building

[2] 5 kWp PV & decentralized HP control

[3] 5 kWp PV and 5 kWh battery per building

[4] 5 kWp PV and 5 kW wind power per building

[5] Combination from [1], [2], [3], [4]

Session II.II Technologiefortschritt in Gebäuden und Quartieren – Innovation als Motor der Energiewende

Moderation: **Sarah Welter, M. Sc.**
Yizhuo Zhang, M. Sc.
RWTH Aachen | Lehrstuhl für Gebäude- und Raumklimatechnik

Technologieentwicklung und Innovation liefern einen wichtigen Beitrag zur Erreichung der Klimaschutzziele der Bundesregierung. Auch im Rahmen der Förderinitiative Energie in Gebäuden und Quartieren werden Technologien weiterentwickelt, um bspw. die Energieeffizienz zu steigern. Auf Gebäudeebene können die technologischen Entwicklungen drei Bereichen zugeordnet werden. Diese sind Planung und Gebäudebetrieb, Gebäudehülle und Bautechnik sowie der Forschungsbereich Gebäudesystemtechnik. Auf Quartiersebene können sechs Themenfelder der Technologieforschung gebildet werden: dezentrale Stromerzeugung, Power-to-X, Einsatz und Entwicklung erneuerbarer Energien, Energietransport und Verteilung, Energiespeicher sowie Systemintegration.

Die Auswertungen der 4. Fragebogenrunde der Wissenschaftlichen Begleitforschung zeigen, dass die Weiterentwicklung der Technologien in den oben aufgelisteten Bereichen ebenfalls im Fokus der Forschungsprojekte der Förderinitiative steht. Schwerpunkte in der Methodenentwicklung sind hier Gebäude und Netze, aber auch Technologien zur Energieerzeugung (47 Projekte), die Entwicklung oder Weiterentwicklung von Einzelkomponenten oder Bauteilen (44 Projekte) und Energiespeicher (40 Projekte).

Im Bereich der Einzelkomponenten oder Bauteile liegt der Forschungsfokus auf Fassaden (22 %), aktiven und adaptiven Bauteilen (32 %) sowie Komponenten für Wärmeschutz und Dämmung (33 %). Beforschte Dämmmaterialien und -konzepte sind vor allem pflanzliche sowie mineralische Materialien mit besonderem Fokus auf den Einsatz als Innendämmung. Besonders intensiv betrachtete anlagentechnische Komponenten sind Wärmeerzeuger (63 %). Hierbei wird die Wärmepumpentechnologie sowie deren Verbindung mit anderen Anlagen zur Erhöhung der Gesamtsystemeffizienz vorrangig untersucht.

Zudem werden im Bereich der Analagentechnologie thermische Speicher, insbesondere Heißwasserspeicher intensiv beforscht. Eine Gegenüberstellung der Speicherarten und -anwendungsbereiche in der Forschung zeigt, dass der Einsatz verschiedener Wärmespeicher wie Eisspeicher und sorptive Speicher umfangreich erforscht wird. Vor allem die Anwendung von Wärmespeichern in Wohn- und Nichtwohngebäude werden beforscht, aber auch die Anwendung in Wohnsiedlungen oder Wärmenetzen.

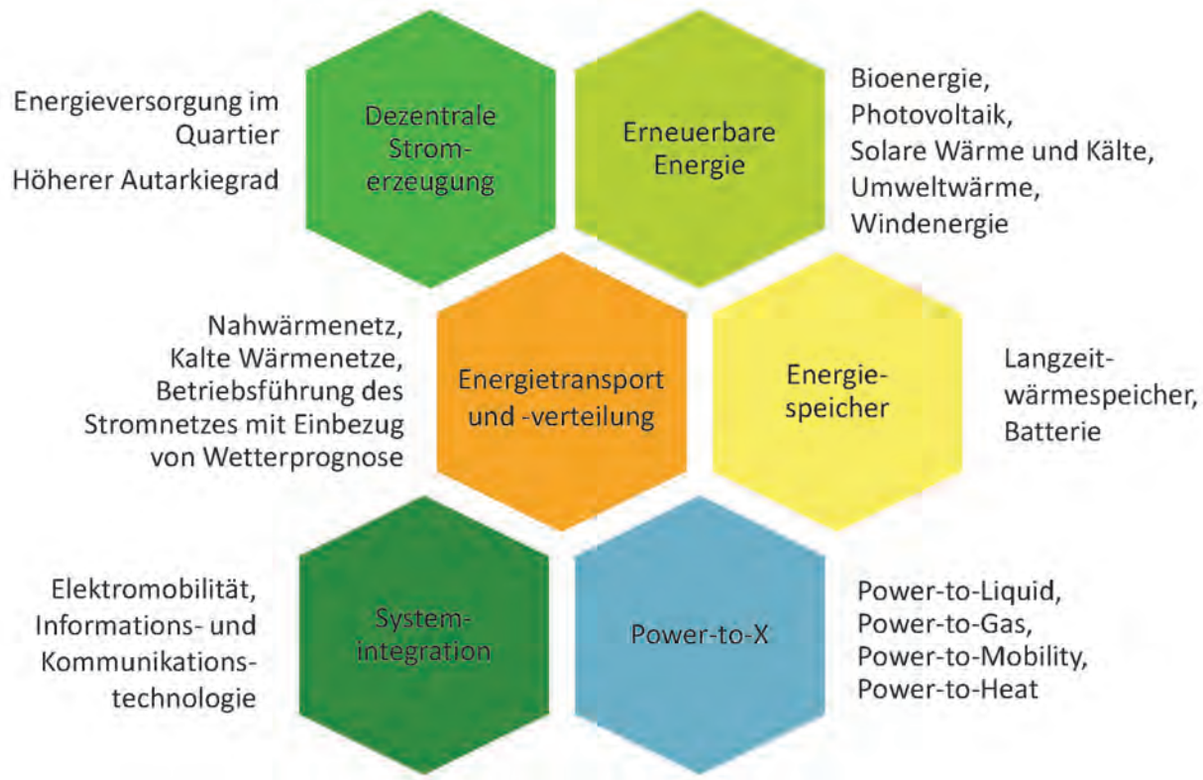
Auch in der Technologieentwicklung wird der Projekterfolg durch nicht-technische Hemmnisse beeinflusst. Die meisten Projekte haben angegeben, dass sie keine Probleme durch nicht-technische Erfolgsfaktoren haben, jedoch treten durch veränderte oder unklare politische Rahmenbedingungen oder fehlendes Wissen bei Endnutzern sowie dem Facility Management in einigen Projekten Probleme auf.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass innovative Fassaden-Elemente, Wärmepumpen und Energiespeicher zu den aktuellen Schwerpunktthemen der Technologieentwicklung in den Forschungsprojekten der Förderinitiative „Energie in Gebäuden und Quartieren“ zählen.

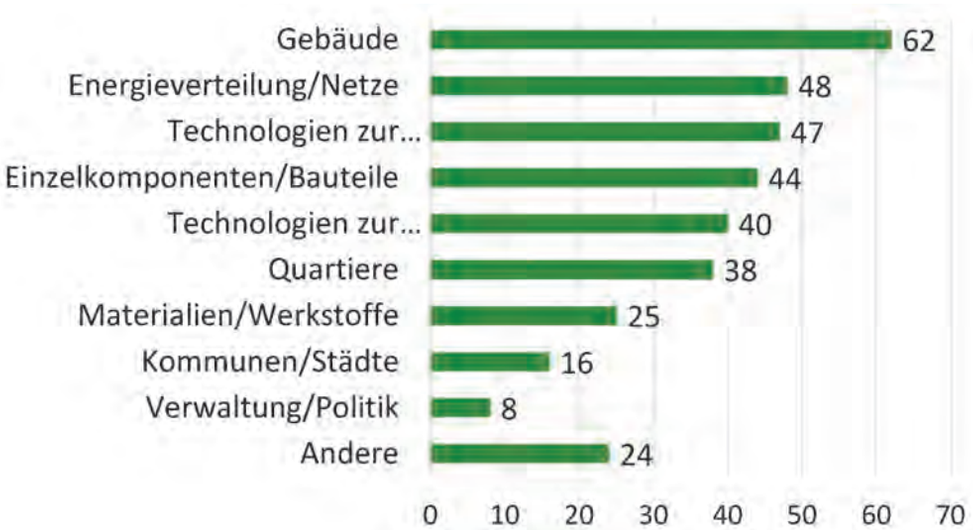
Technologien für die Energiewende – Gebäudeebene



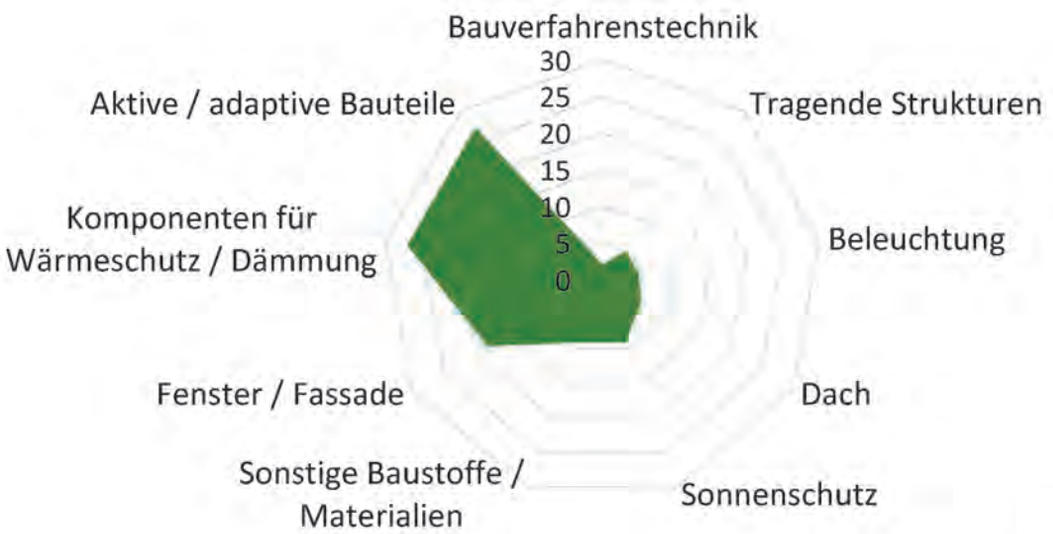
Technologien für die Energiewende – Quartierebene



Untersuchungsschwerpunkte Förderbereich EWB

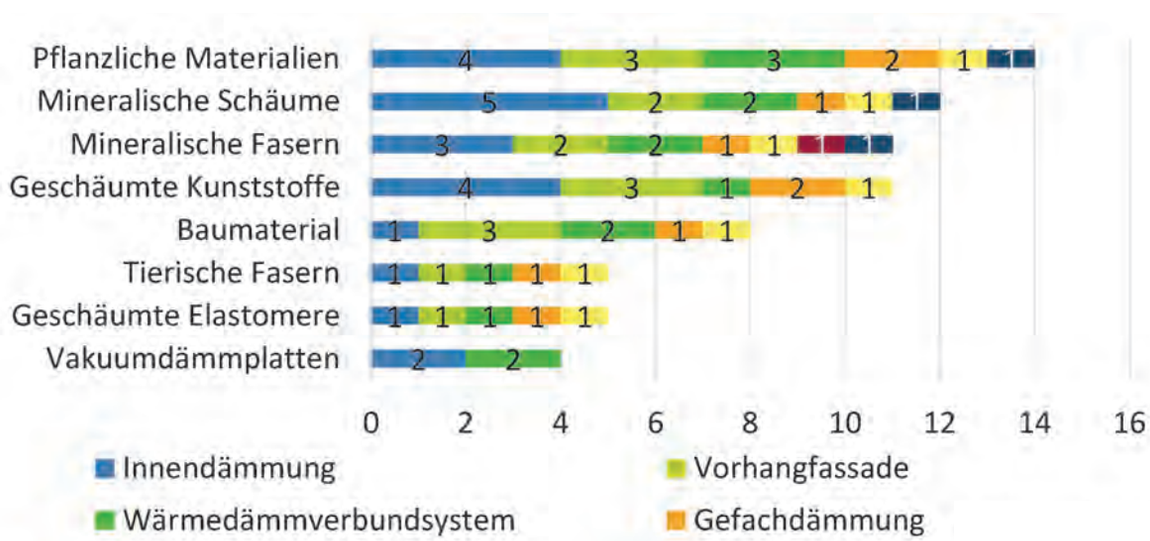


Bautechnische Komponente – Kategorien



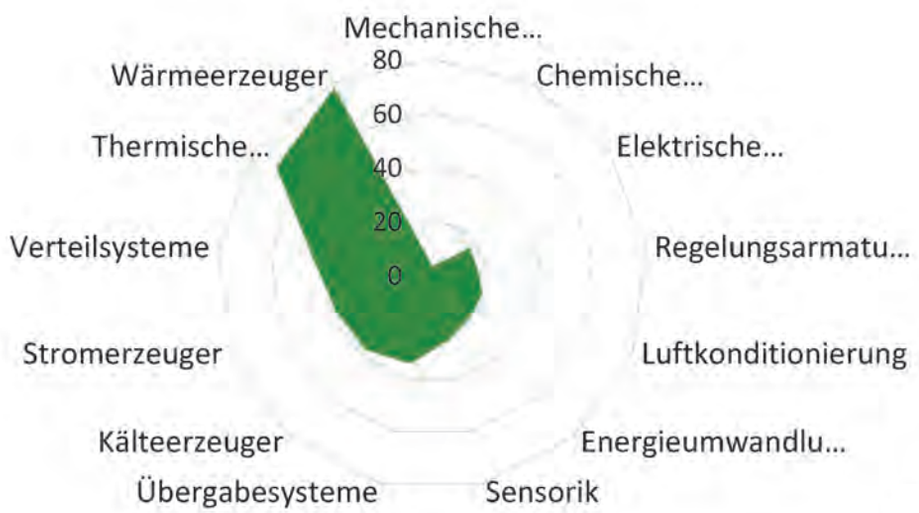
Mehrfachauswahl möglich

Bautechnische Komponente – Dämmmaterialien



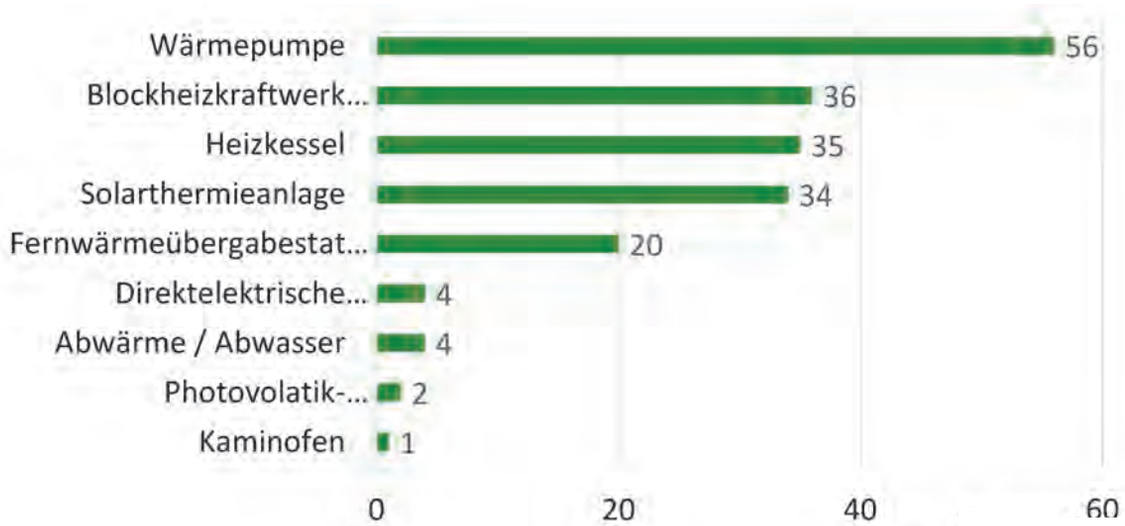
Mehrfachauswahl möglich

Anlagentechnische Komponente – Kategorie



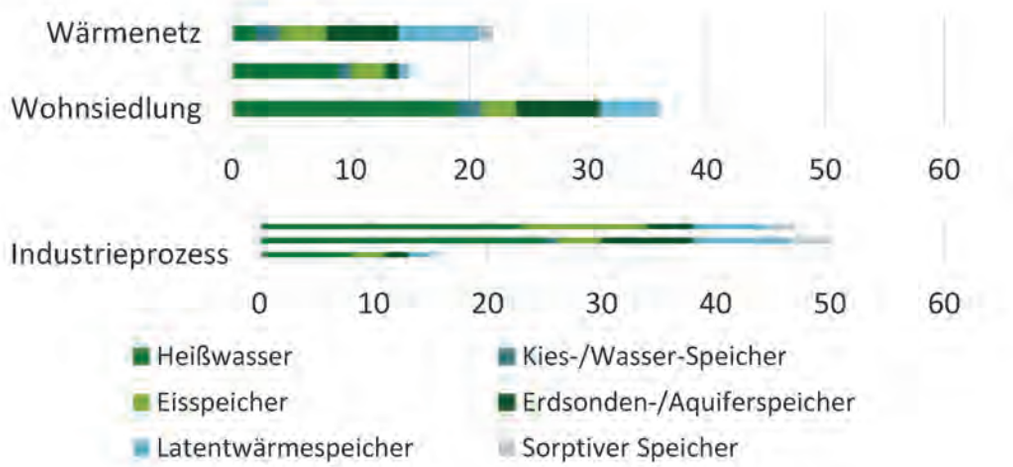
Mehrfachauswahl möglich

Anlagentechnische Komponente – Wärmeerzeuger



Mehrfachauswahl möglich

Anlagentechnische Komponente – Wärmespeicher



Mehrfachauswahl möglich

Praxisprojektvorstellung II.II.I

Projekt:	**EnEff:Stadt: FlexQuartier Gießen: Integrale Planung und Errichtung eines hochflexiblen Hybridspeichers mit Sektorenkopplung für ein energieeffizientes netzdienliches Neubau-Quartier (FlexQuartier)**
Projektbeteiligte:	Technische Hochschule Mittelhessen Zentrum für Energietechnik und Energiemanagement (etem.THM), Gießen, Hessen Stadtwerke Gießen AG, Gießen Mittelhessen Netz GmbH, Gießen Smart Power GmbH, Feldkirchen bei München Universitätsstadt Gießen, Der Magistrat, Stadtplanungsamt Dr. Holger Hölscher, Gießen
Laufzeit:	2018 – 2022
Vortragender:	**Prof. Dr.-Ing. Stefan Lechner** **Technischen Hochschule Mittelhessen | Institut für Thermodynamik, Energieverfahrenstechnik und Systemanalyse**

Projektbeschreibung:

Das Verbundprojekt 'EnEff:Stadt FlexQuartier Gießen' entwickelt und untersucht die Netzdienlichkeit eines 7,9 ha großen Quartiers durch Flexibilisierung und Sektorkopplung. Auf einer Konversionsfläche entwickelt die Universitätsstadt Gießen zusammen mit der THM, der Stadtwerke Gießen AG und dem Netzbetreiber MIT.N sowie der Smart Power GmbH & Co. KG ein Energieeffizienzquartier mit systemdienlich aktivierbaren Speichertechnologien. Der Projektansatz beruht auf der systemischen Flexibilisierung des Neubauquartiers durch unterschiedliche zentrale Energiespeichertechnologien sowie auf dem hierfür zu entwickelnden Energiemanagement mittels Regelalgorithmen. Anstelle eines konventionell energieverbrauchenden Wohngebiets entsteht ein intelligentes und vielseitig systemdienlich regelbares Quartier, welches als Vorreiter zukünftiger energie-aktiver dezentraler Einheiten Verantwortung für die Systemsicherheit übernimmt und zum Gelingen der Energiewende beiträgt. Die Sektorkopplung in der Energiezentrale des Quartiers wird realisiert durch Entwicklung einer neuartigen Hochtemperatur-Speichertechnologie (Power-to-Heat-and-Power), in Kombination mit einem multifunktionalen Batteriespeicher für Strom und einem zentralen Warmwasser-Schichtenspeicher für Abwärme. Auf diese Weise entsteht eine hochflexible und effiziente Speicher- und Nutzungskette entlang des Exergieniveaus. Elektromobilität wird als zusätzlicher Baustein realisiert, so dass alle Verbrauchssektoren berücksichtigt werden. Aus der primärenergieschonenden Versorgung des Quartiers mit hohen Anteilen PV-Strom resultieren temporäre Energieüberschüsse, welche in dem Hybridspeichersystem sowohl kurz- als auch mittelfristig speicherbar sind. Eine weitere Besonderheit ist der Einsatz des Speichersystems für Energie- und Systemdienstleistungen über die Quartiersgrenzen hinaus, z.B. für positive und negative Regelenergie oder zur Einspeisung in das Gießener Fernwärmenetz.

Kernaussagen des Vortrags:

Auf einer innerstädtischen Konversionsfläche der Stadt Gießen entsteht zurzeit auf insgesamt 7,9 ha ein neues Stadtquartier mit über 400 Wohneinheiten und einem Gewerbegebiet. Die Projektpartner Stadt Gießen, Stadtwerke Gießen AG, Mittelhessen Netz GmbH, Smart Power GmbH & Co. KG sowie die Technische Hochschule Mittelhessen haben sich zum Ziel gesetzt, daraus ein Energieeffizienzquartier mit zeitgemäßen Wohn- und Lebensformen sowie innovativen Lösungen im Bereich der Energie- und Systemdienstleistungen zu formen, welches als Beispiel bei der zukünftigen Erschließung weiterer Stadtquartiere herangezogen werden kann.

Ein Bestandteil des Projektes ist die umfassende Einbindung des gesamten Planungs-, Bau- und Betriebszyklus in eine softwaregestützte Informations- und Integrations-Anwendung. In Anlehnung an die neue Arbeitsweise nach der bekannten Methodik Building Information Modeling (BIM) soll ein Quartiers-Informations-Modell (QIM) entwickelt und angewendet werden, welches um energetische und Monitoring-Gesichtspunkte erweitert wird. Durch QIM soll es erstmals möglich werden, die ehemals getrennten Disziplinen der Energieerzeugung, -verteilung, -speicherung (Energiesystem-Technik) und des Energiebedarfs auf Quartiers-, Infrastruktur- und Gebäude-Ebene (Architektur und bauliche Infrastruktur) taxonomisch in Beziehung zu setzen.

Durch die umfangreiche Einbindung von PV-Anlagen, dem Anschluss an das Gießener Fernwärmenetz mit einem sehr geringem Primärenergiefaktor und durch die energieeffiziente Gebäudeplanung, soll das Quartier die energiepolitischen Ziele von 2050 erfül-

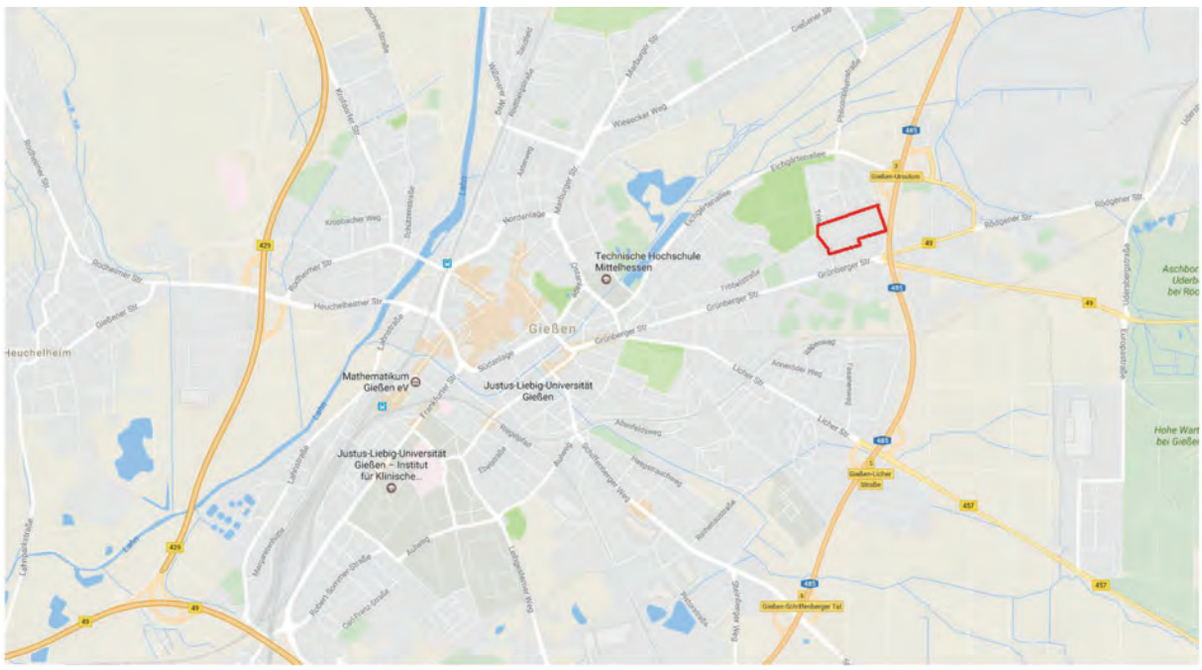
len. Die Schlüsseltechnologie des energieeffizienten und netzdienlichen FlexQuartiers ist dabei ein innovatives Hybridspeichersystem, bestehend aus einem neuartigen Hochtemperaturspeicher (Power-to-Power-and-Heat, HTS), in Kombination mit einem modernen quartiers-zentralen Batteriespeicher für Strom und einem großvolumigen Warmwasser-Schichtenspeicher für die Abwärme des HTS. Auf diese Weise entsteht eine hochflexible und effiziente Speicher- und Nutzungskette entlang des Exergieniveaus der eingespeicherten Energien. Elektromobilität wird als zusätzlicher Baustein durch Schaffung und Nutzung von Ladestationen an mehreren Stellen des Quartiers betrachtet, so dass im Projekt alle Verbrauchssektoren Berücksichtigung finden.

Es ist hervorzuheben, dass die innovative Speichertechnologie des HTS im Rahmen des Projekts erstmals im Feldeinsatz demonstriert werden wird. Der im FlexQuartier eingesetzte Hochtemperaturspeicher unterscheidet sich vor allem in der Rückverstromung von Wärme von den aus der Literatur bekannten Konzepten. Hierbei soll der einzuspeichernde Strom in sensible Wärme mit einem Temperaturniveau über 1.200 °C gewandelt, gespeichert und bei Bedarf mittels eines externen Gasturbinenprozesses rückverstromt werden. Die Technologie des Hochtemperaturspeichers wird derzeit an der THM innerhalb des vom BMBF geförderten Projektes „High-T-Stor“ an einem Demonstrator erforscht. Die Skalierung von Ladeleistung, Entladeleistung, Speichertemperatur und Speicherkapazität, sowie die Weiterentwicklung der Speicherhülle sind Bestandteile des Projektes FlexQuartier. Ebenfalls wird das Rückverstromungskonzeptes mit dem Ziel der Steigerung von Energie- und Kosteneffizienz weiterentwickelt.

Das Projekt befindet sich aktuell in der Detailplanung. Die Teilkomponenten des Hybridspeichers in der Energiezentrale des FlexQuartiers werden ausgelegt und mit dem Fokus einer flexiblen und energieeffizienten Betriebsführung in die Gesamtschaltung integriert. Parallel wird das Messstellenkonzept der Energiezentrale sowie des gesamten Quartiers entwickelt. Ebenfalls wird das Energiemanagementsystem (EMS) des Hybridspeichers aufgebaut, in welches die erzeuger- und verbraucherseitigen Leistungsdaten auf Basis von Messwerten und Prognosen einfließen. Das EMS steuert auf Grundlage der Leistungsdaten und der Speicherzustände die Betriebsführung des Hybridspeichers. Die Zielgrößen Quartiersautarkie, Blindleistungs-/ Spannungshaltung, Regelleistung (PRL / SRL), Kappung der Quartiersbezug-Spitzenlast, Kappung der Quartiersüberschuss-Spitzenlast, E-Mobilität sollen flexibel wählbar sein und im späteren Versuchsbetrieb untersucht und optimiert werden.

Der gesamte Hybridspeicher mit integriertem EMS wird in der Opensource Programmiersprache Modelica modelliert und simuliert. Hierfür wird eine neue Bibliothek mit den entsprechenden Komponenten entwickelt.

Lageplan „FlexQuartier“



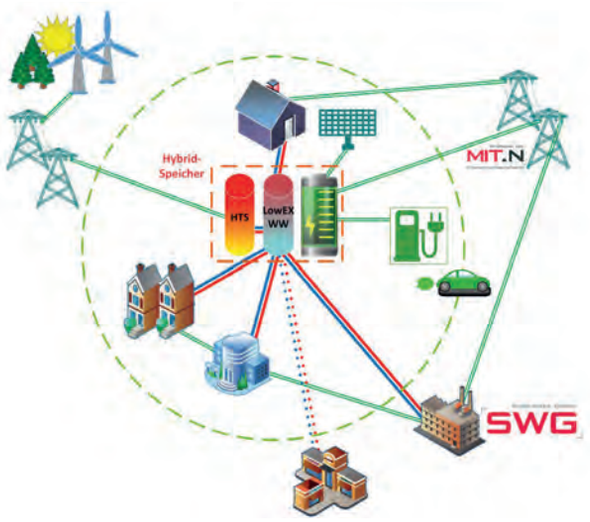
Bebauungsplan „FlexQuartier“



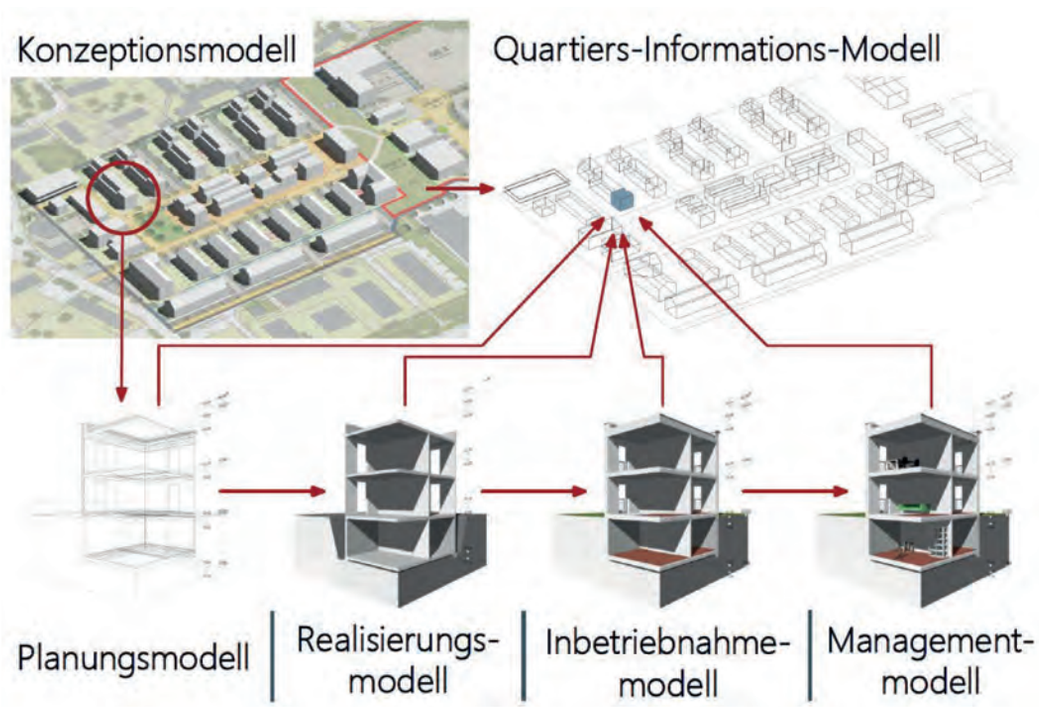
- 7 ha Fläche
- über 300 Wohneinheiten
- zzgl. Gewerbegebiet

Gesamtkonzept „Flex-Quartier“

- Demonstrations-Quartier für die energiepolitischen Ziele 2050
  - Anschluss Fernwärme mit niedriger Primärenergiefaktor
  - Min. 30 % unter EnEV-Standard
  - Umfangreiche Einbindung der PV von den vorhandenen Dachflächen
- Sektorenkopplung über Hybridspeicher, Wärme-und Stromnetz, sowie E-Mobilität
- Netzdienliche Systemdienstleistungen



Teilprojekt „BIM → QIM“ (Fachbereich Bau der THM, Prof. Diaz)



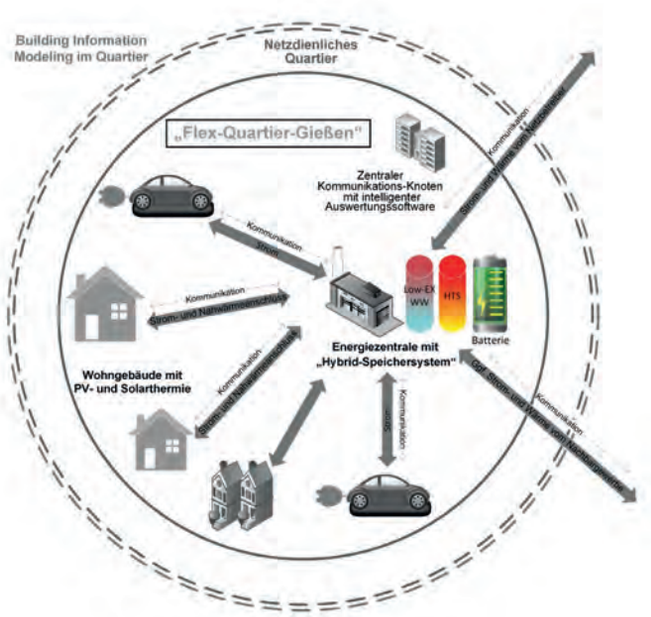
Teilprojekt „Hybridspeicher“

Synergetischer Speicherverbund aus drei Speichersystemen:

- Innovativer Hochtemperaturspeicher mit Rückverstromungseinrichtung
- Flexibler Warmwasser-Schichtenspeicher
- Batteriespeicher

Flexible Wahl der Betriebsmodi:

- Freier Fahrplan
- Quartiersautarkie
- Blindleistungs-/ Spannungshaltung
- Regelleistung (PRL / SRL)
- Kappung der Quartiersbezug-Spitzenlast
- Kappung der Quartiersüberschuss-Spitzenlast
- E-Mobilität



Teilprojekt „Netzdienliches Quartier“ (Fachbereich EI der THM, Prof. Stetz)

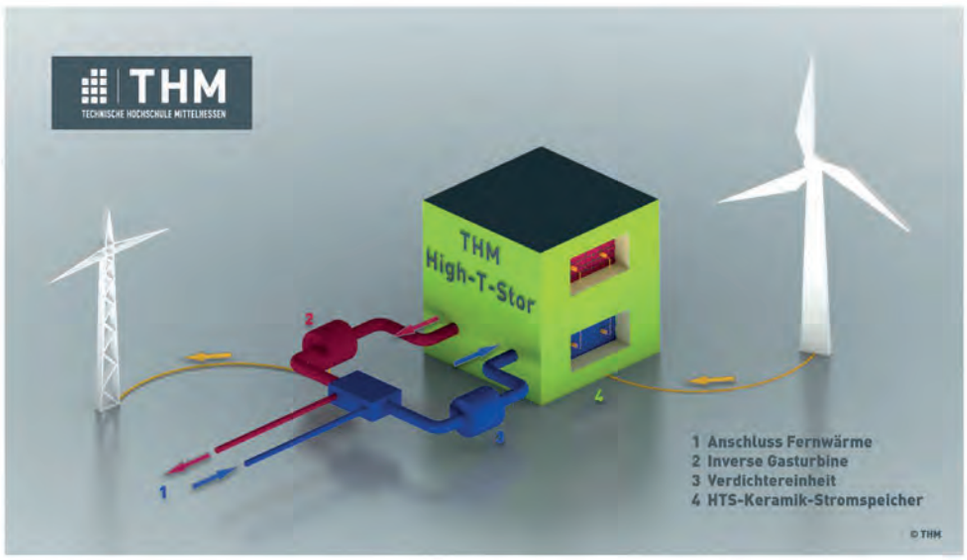
Zusatznutzen Netzdienliches Quartier		Zusatznutzen Verteilnetzbetreiber
• Vergünstigte Quartierserschließung	**Netzplanung** (mittel-langfristig)	• Vermeidung von spannungsbedingten Netzausbau • Vermeidung von strombedingten Netzausbau • Reduzierung von Back-Up-Kapazitäten (insbesondere Wärmeleistung)
• Maximierung des lokalen Eigenverbrauchs • Effizientes Energiemanagement im Quartier • Erwirtschaftung von Deckungsbeiträge durch Vermarktung von Energiedienstleistungen	**Normalbetrieb** (Wirken der Martmechnismen)	• Verbesserung der Spannungsqualität
• Erwirtschaftung von Deckungsbeiträge durch Vermarktung von Netzdienstleistungen	**Gefährdeter Betrieb** (Netzdienstleistungen durch Marktteilnehmer)	• Engpassmanagement (geplante Eingriffe)
• USV-Funktionalität für priorisierte Versorgungseinheiten	**Gefahr im Verzug / Störung** (Steuerung durch Netzbetreiber)	• Engpassmanagement (akute Eingriffe) • Frequenzabhängiger Lastabwurf

Baustein: Hochtemperaturspeicher (HTS)

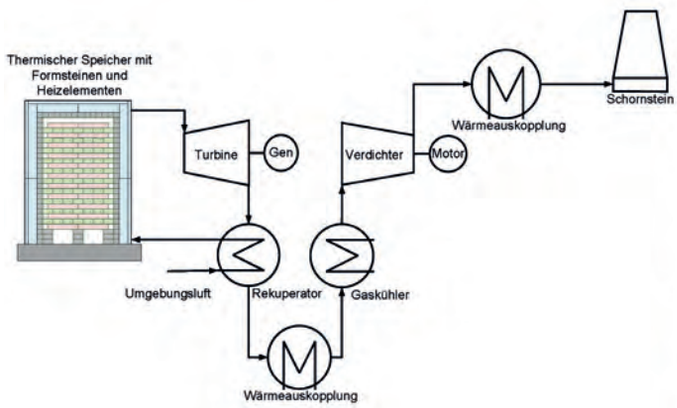
Beladung des Speichers durch Heizelemente
Strom → Wärme

Speicherung der sensiblen Wärme auf hohem exergetischem Niveau (bis 1200°C)

Entladung des Speichers mittels Gasturbinenprozess
Wärme → Strom + Nutzwärme



Vorprojekt High-T-Stor (Stand: 17.09.2019)





Vorprojekt High-T-Stor (Stand: 11.05.2020)

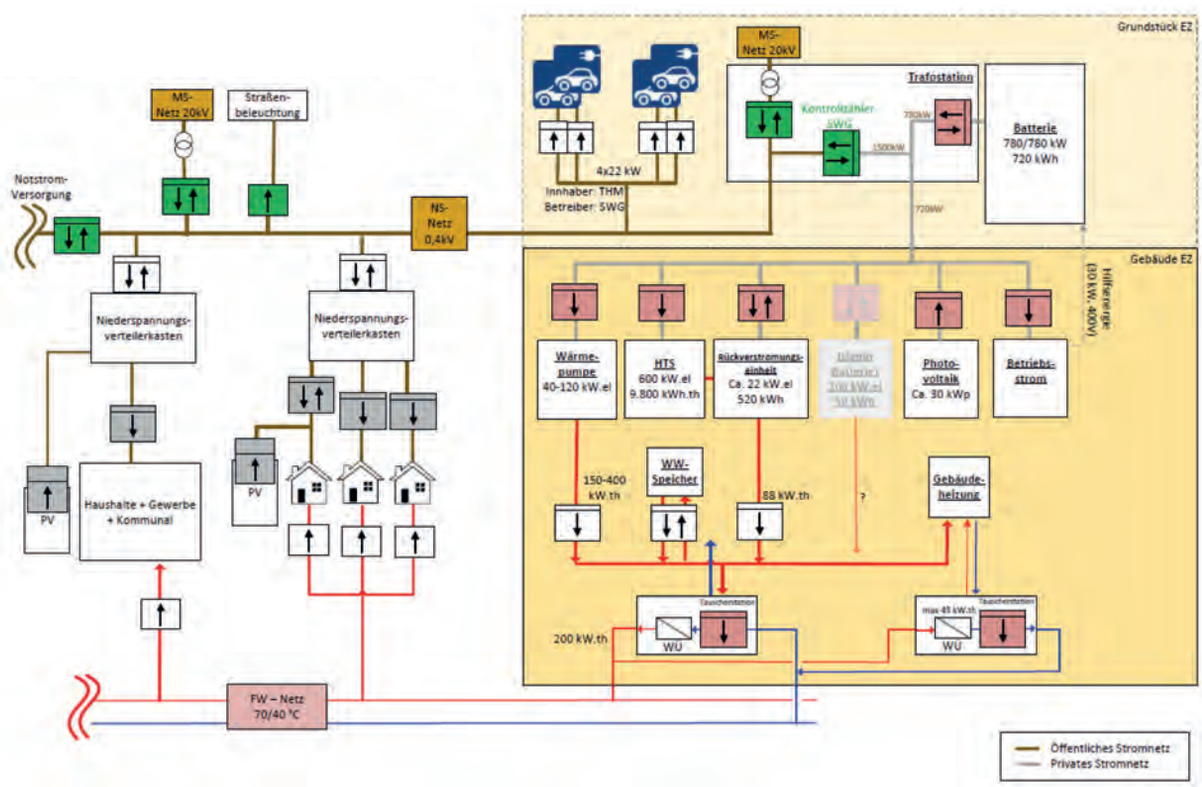
Aktuelle Schritte

- Versuchsdurchführungen
- Lessons Learned
  - Konzeptionierung alternativer Speicheraufbauten
  - Bewertung alternativer Rückverstromungskonzepte

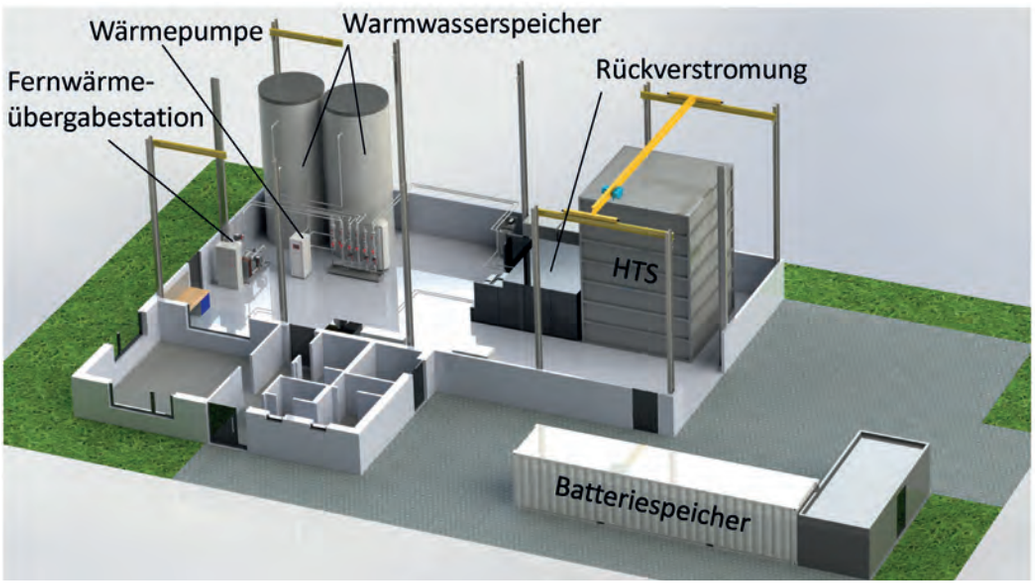




Messstellenkonzept FlexQuartier

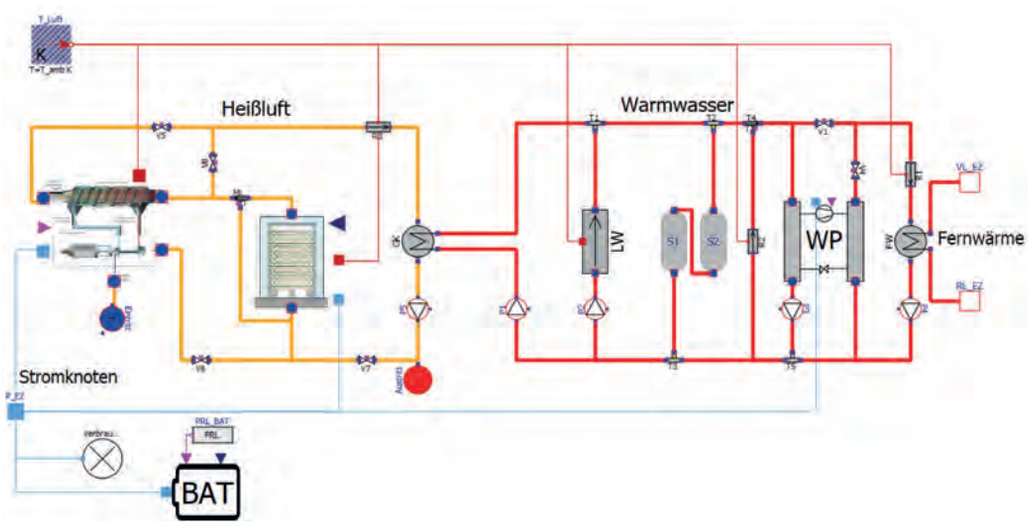


Vorläufiges Konzept der Energiezentrale „Hybridspeicher“



Energetische Simulation des Hybridspeichers mit Modelica

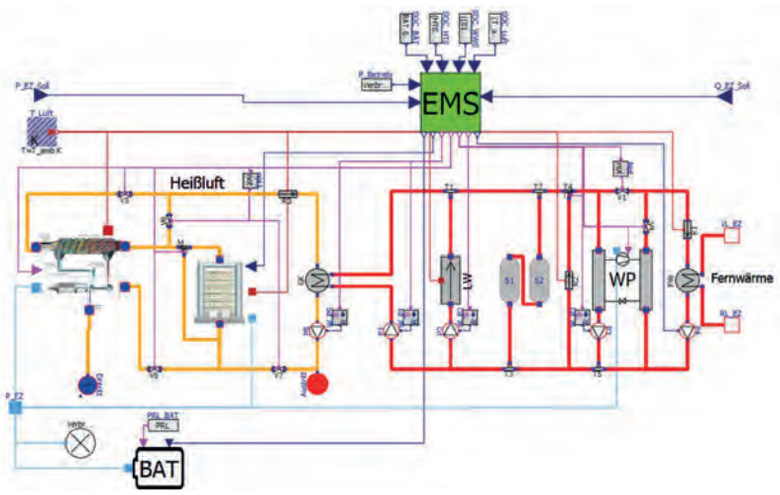
- Opensource Software für dynamische Simulationen multiphysikalischer Systeme
- Entwicklung einer neuen Modell-Bibliothek



Implementierung des Energiemanagementsystems (EMS)

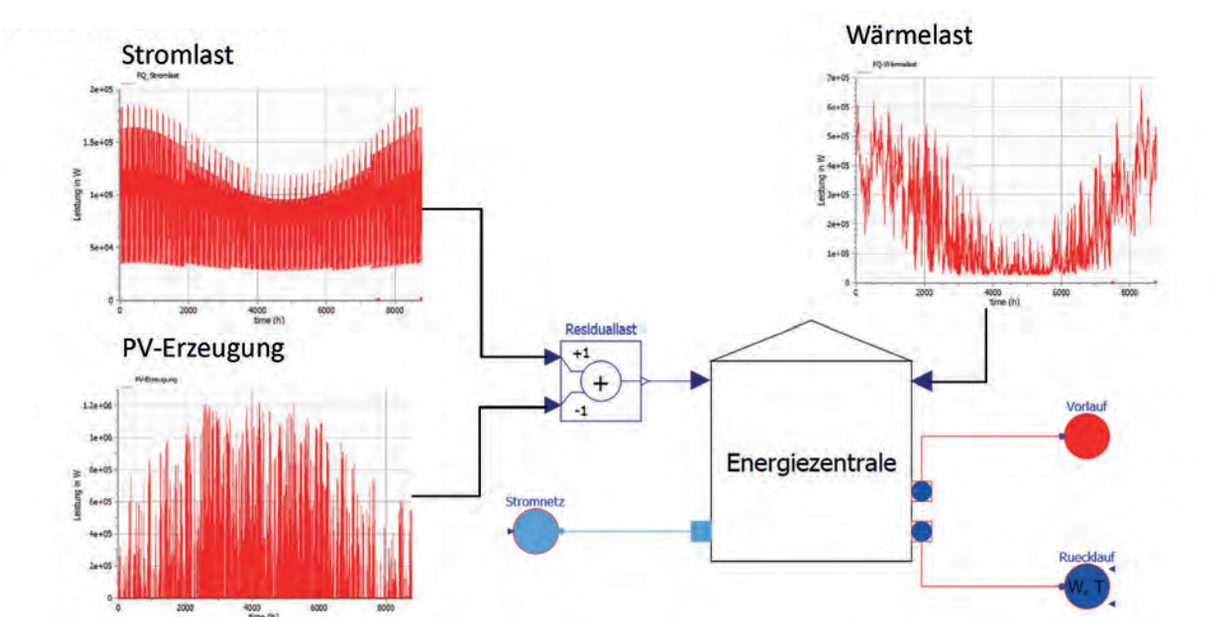
- Input des EMS
  - thermische, elektrische Leistungsvorgabe
  - Speicherzustände
  - Betriebsmodus

- Output des EMS:
  - Kapazitätsströme der Pumpen
  - Betriebsmodi bzw. Leistungs-vorgaben der Komponenten



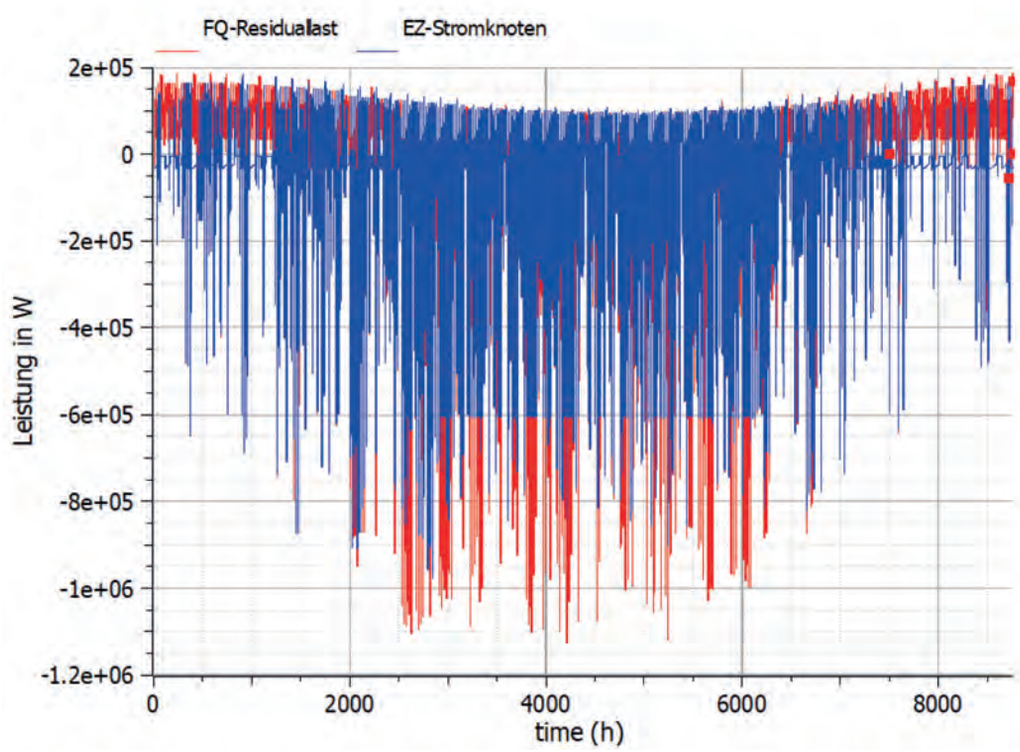
Vorläufige Jahressimulation: Betriebsmodus Quartiersautarkie

Angenommene Lastprofile:

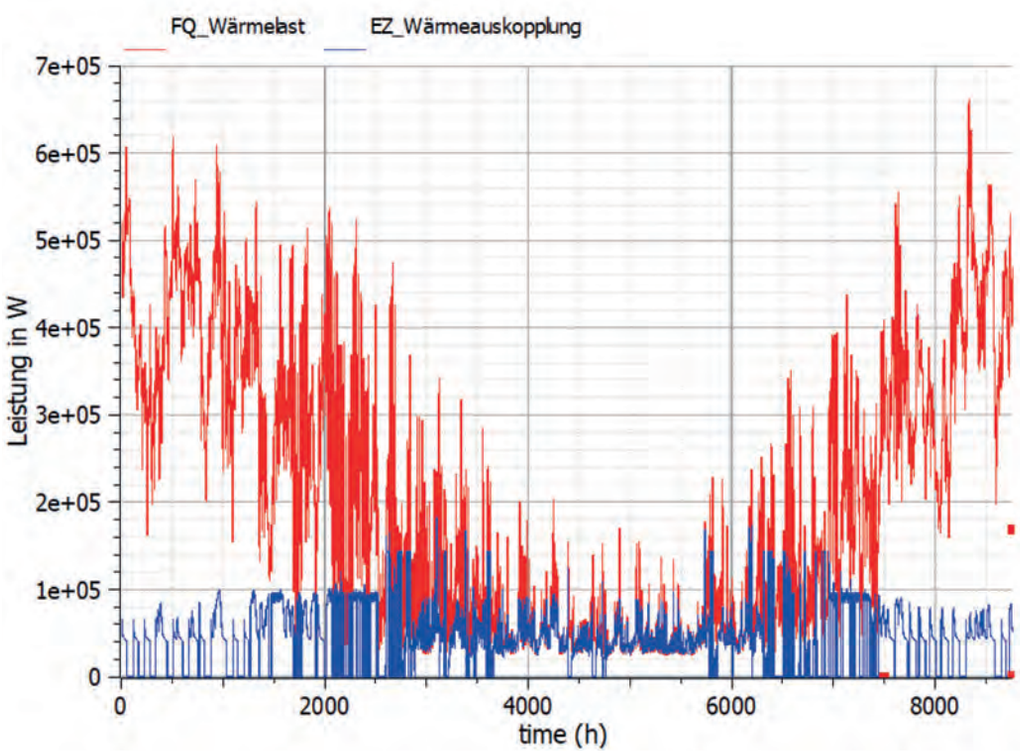


Jahressimulation: Bsp.-Betriebsmodus Quartiersautarkie

Ergebnisse Strom:



Ergebnisse Wärme:





Weitere Informationen: www.thm.de/etem

Praxisprojektvorstellung II.II.II

Projekt:	**EnOB: smart-Case-NZEB - Flexible Wärmepumpen mit integriertem Latentwärmespeicher**
Projektbeteiligte:	Hochschule für angewandte Wissenschaften München Fakultät 05 | Bereich Versorgungs- und Gebäudetechnik (VSG) CENERGIE – Forschungsinstitut für Energie-effiziente Gebäude und Quartiere Tampere University of Applied Sciences Cabero Wärmetauscher GmbH & Co. KG, Grafrath
Laufzeit:	2018 – 2021
Vortragender:	**Timo Korth, M. Sc.** **Hochschule München | Fakultät 05** **VSG Energie- und Gebäudetechnik**

Projektbeschreibung:

Das hier beschriebene Vorhaben befasst sich konkret mit Fragestellungen der Kopplung von Strom- und Wärmeversorgung von Gebäuden. Ziel ist die Steigerung der Flexibilität beim Bezug und bei der Einspeisung elektrischer Energie ins Netz durch die optimierte Steuerung der Gebäudetechnik zum Heizen und Kühlen sowie den Einsatz elektrischer und thermischer Speicher. Das Vorhaben soll im Sinne einer 'Wärmewende' dazu beitragen, die aktuell wachsende Einengung auf die Stromversorgung zu überwinden und das Potenzial innovativer wärmetechnischer Lösungen für das Gelingen der Energiewende zu erschließen.

Ziele:

- Verminderung der Belastung der Stromversorgung, für die durch den Einsatz von Elektrowärmepumpen zusätzlichen Anforderungen entstehen
- Steigerung der Effizienz der Wärmepumpensysteme

Zur Entlastung des Stromnetzes muss die starre Kopplung von Wärmebedarf und Strombezug zum Antrieb der Wärmepumpe oder Kältemaschine aufgehoben werden. Dies kann durch Einsatz elektrischer oder thermischer Speicher erfolgen. Im Rahmen des Vorhabens sollen

1. Lösungen für den Einsatz von Latentwärmespeichern in Wärmepumpen entwickelt und erprobt werden, um günstig verfügbaren Strom für die Wärmeerzeugung zu nutzen und diese Wärme zeitversetzt dem Gebäude zuzuführen. Der Strombezug aus dem Netz zum Antrieb der Wärmepumpe/Kältemaschine orientiert sich an der Angebotssituation, die durch die fluktuierende Einspeisung aus regenerativen Quellen dominiert wird. Die bereitgestellte Nutzenergie wird in Form von Wärme oder Kälte gespeichert.
2. In Zusammenarbeit mit den finnischen Partnern sollen Konzepte zum Einsatz elektrischer und thermischer Speicher entwickelt und erprobt werden. Dazu wird an der Hochschule TAMK in Tampere eine Pilotanlage erstellt und betrieben, in der neben verschiedenen Wärmeerzeugern auch elektrische Batteriespeicher und eine Wärmepumpe mit integriertem Latentwärmespeicher erprobt werden sollen. Die Entwicklung dieser Wärmepumpe mit Wärmespeicher ist Gegenstand des hier beschriebenen Vorhabens.

Das Vorhaben beinhaltet die folgenden Bearbeitungsschritte:

- Potentialermittlung im Wohngebäudesektor
- Thermodynamische Modellierung und Auslegung des Wärmepumpenkreislaufs
- Konstruktion einer Labor-Versuchsanlage mit Latentwärmespeicher
- Durchführung von Versuchsreihen im Labor
- Einbindung des Systems in ein Gebäude
- Durchführung von Messungen im Dauerbetrieb

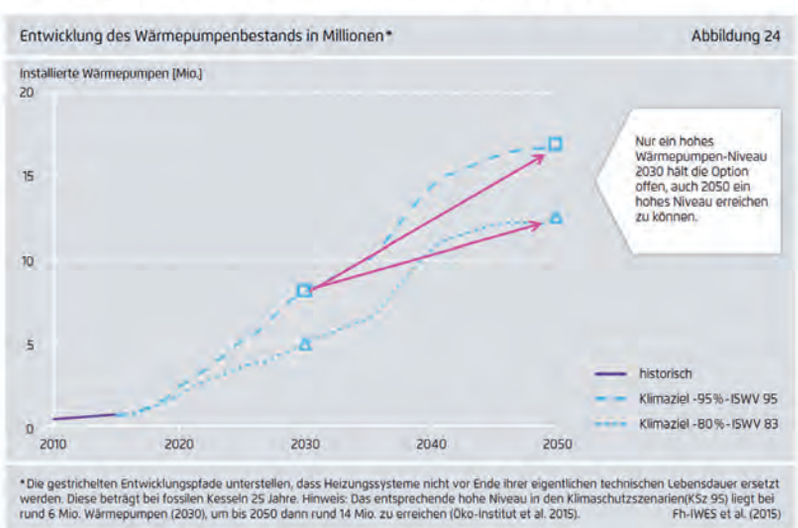
Flexible Wärmepumpensysteme mit integriertem Latentwärmespeicher

- **Projekt SolarSplit**
  Solar-elektrisch angetriebenes Heizen und Kühlen mit thermischen Speichern und optimierter Netzkopplung
  Laufzeit: 01.01.2016 bis 31.12.2019
  FKZ 0325900B

- **Projekt smart CASE NZEB** Study and Test of smart Control and Storage of Energy for nearly zero energy buildings, Finnish-German Project
  Laufzeit: 01.10.2018 bis 30.09.2021
  FKZ 03ET1600A

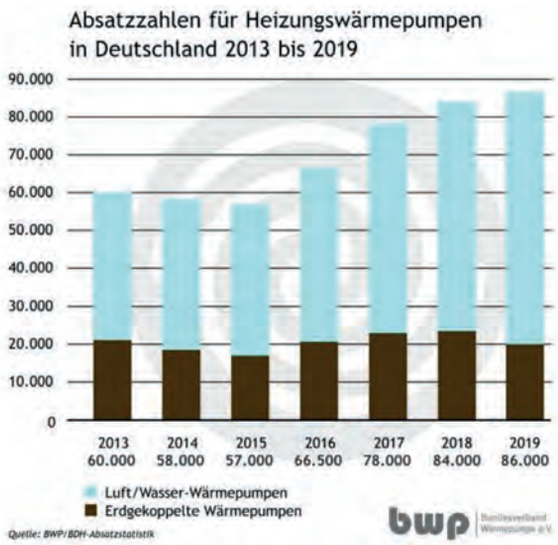
Motivation

- Szenario aus AGORA – Wärmewende 2030





Aktueller Stand



Absatzzahlen für Wärmepumpen in Deutschland 2019

	Absatz 2019	Vergleich zu 2018	Anteil Quellen
Gesamtzahl Heizungswärmepumpen	**86.000**	**+ 2 %**	
Erdreich	**20.000**	**- 15 %**	**23 %**
Sole	17.500	- 8 %	
Grundwasser und Sonstige	2.500	- 44 %	
Luft	**66.000**	**+ 9 %**	**77 %**
Monoblock	35.000	+ 6 %	
Split	31.000	+ 11 %	
Gesamtzahl Warmwasserwärmepumpen	**16.500**	**+ 10 %**	

Quelle: BWP/BDH-Absatzstatistik

bwp Bundesverband Wärmepumpe e.V.

Anzahl Wärmepumpen 2019: ~966.000

Motivation

Projektübergreifendes Ziel:

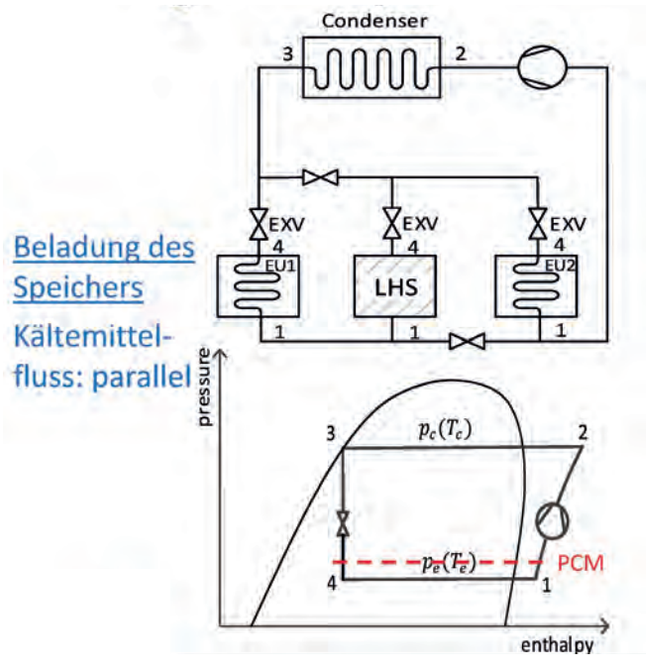
- Entwicklung und Erprobung eines Systems aus Wärmepumpe/Klimatisierungssystem mit Latentwärmespeicher

→ Flexibler Einsatz im Stromnetz, Lastmanagement

Projekt SolarSplit: Luft/Luft -Klimatisierungssystem

Projekt smart CASE NZEB: Sole/Wasser-Wärmepumpe

Neuartiges Konzept: Klimatisierungssystem + LWS

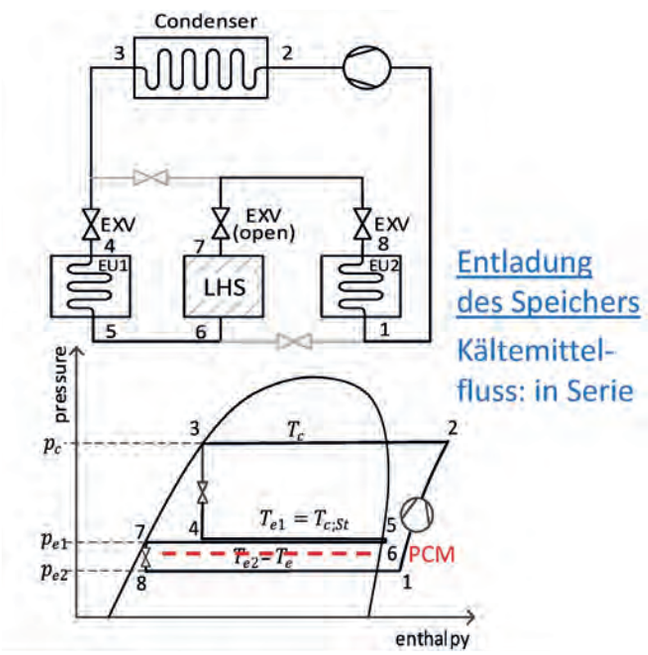


Beladung des Speichers

Kältemittel-fluss: parallel

Ziel:
Die Speicherintegration soll keinen negativen Einfluss auf die Effizienz des Gesamtsystems haben

- **Keine Änderung des Saugdruckes des Verdichters**
- **Speichertemperatur muss unter der Nutz-Temperatur liegen**

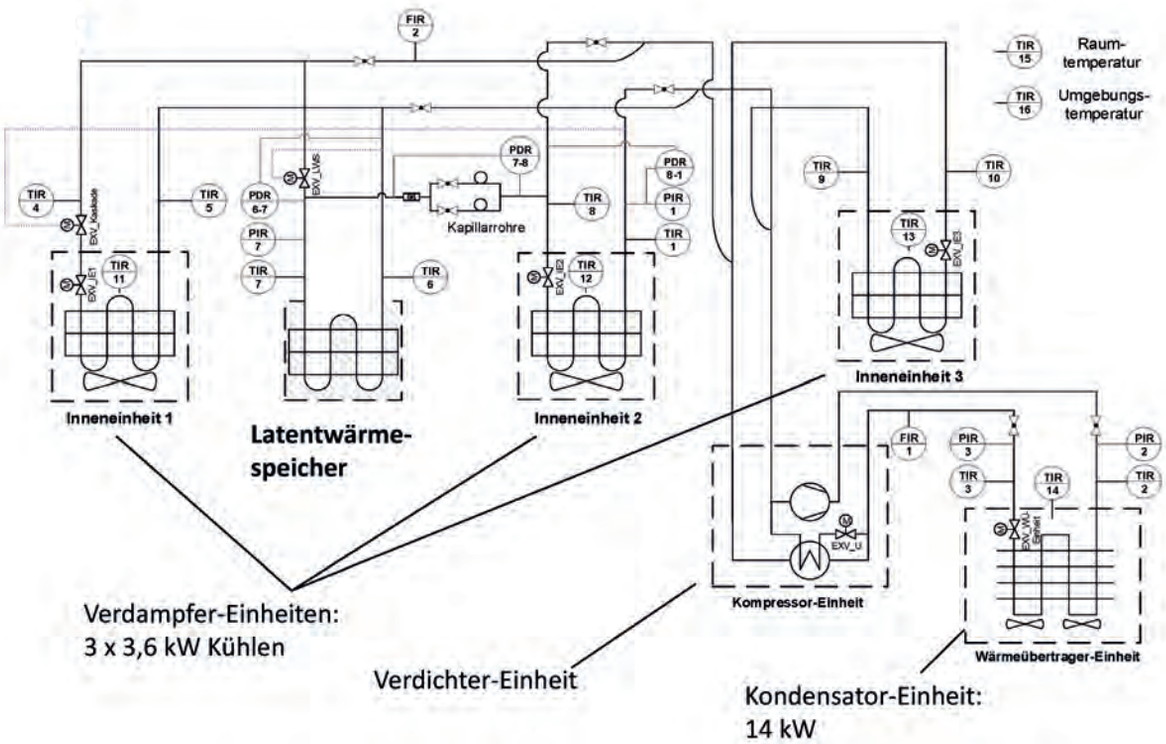


Entladung des Speichers

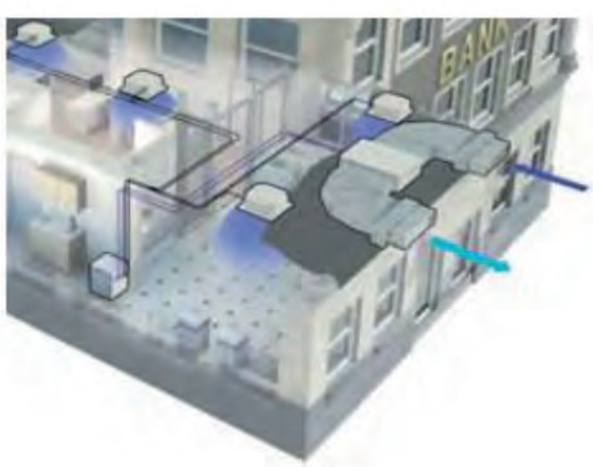
Kältemittel-fluss: in Serie

Methodik

Aufbau einer Laboranlage: ein kommerzielles Multi-Split Klimatisierungssystem



Aufbau einer Laboranlage: ein kommerzielles Multi-Split Klimatisierungssystem

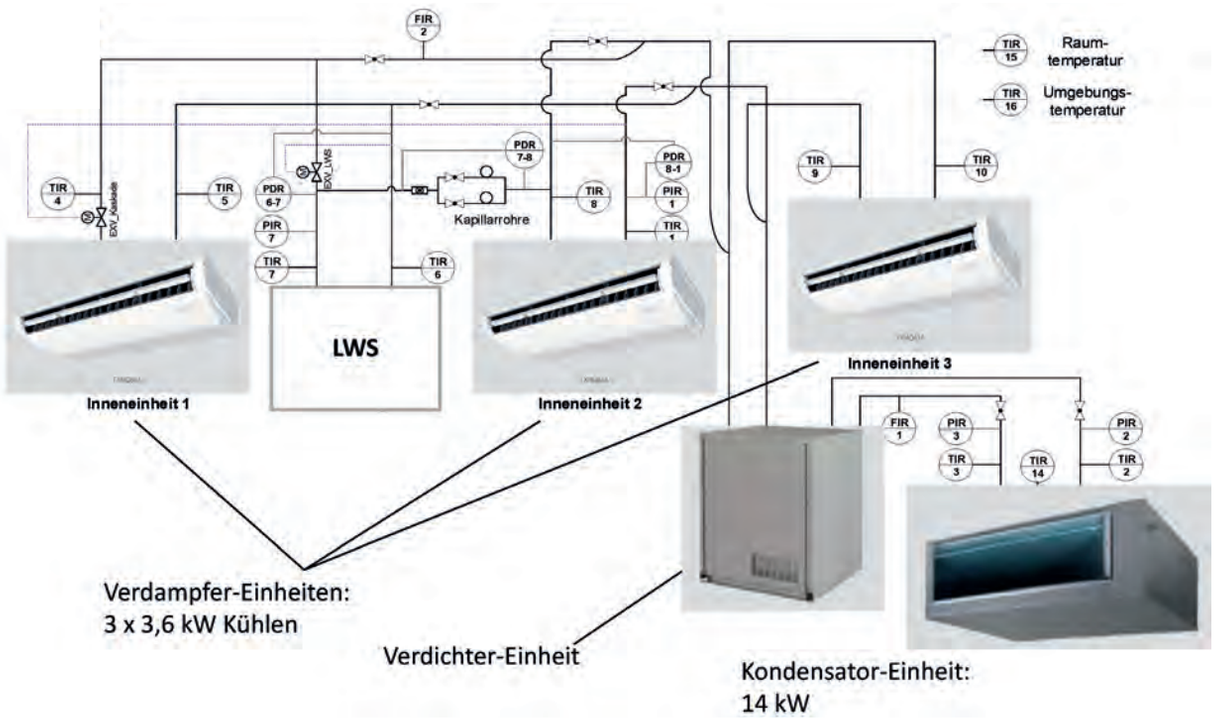


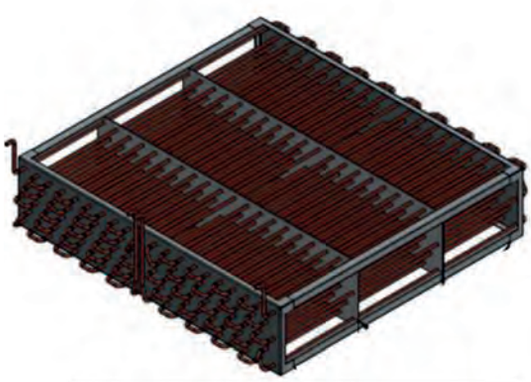




Quelle: Daikin „VRVi“

Methodik





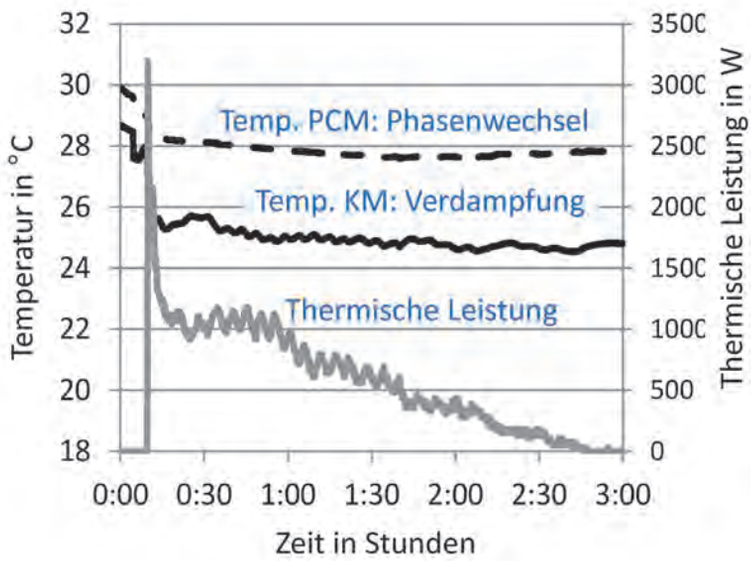
Latentwärmespeicher:
- Energieinhalt: 6,3 kWh
- Thermische Leistung: 2,8 kW
- PCM: Paraffin
- Verbesserung der Wärmeleitfähigkeit durch Beimischung von Graphit-Pulver

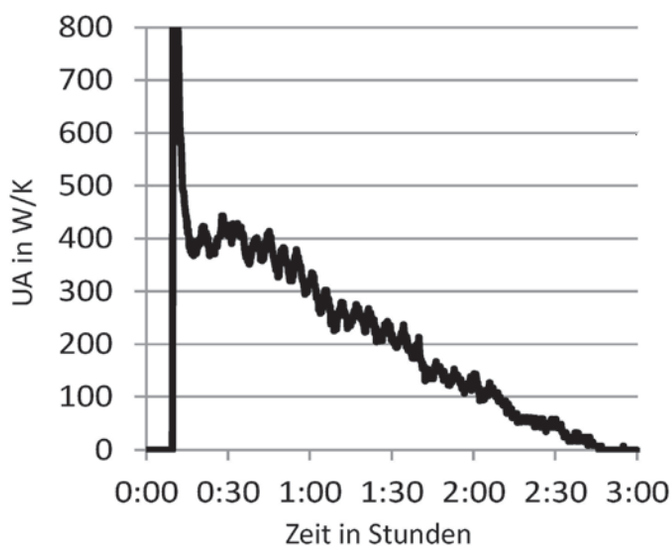
Integration des validierten Simulationsmodells des Latentwärmespeichers (*) in das Simulationsmodel der Laboranlage

* Korth, T., Krönauer, A., Storch, A., Loistl, F., Schex, R., Schweigler, C: Capacity enhancement of air conditioning systems by direct integration of a latent heat storage. Applied Thermal Engineering (2019) DOI 10.1016/j.applthermaleng.2019.114727

Analyse des Einflusses des LWS auf das System in Hinblick auf
– Verdampfungs- und Kondensationsdruck
– Kältemittelmassenstrom
– Energy Efficiency Ratio (EER)
– Charakterisierung des LWS: UA-Wert, thermische Leistung

Laboruntersuchungen: Direkte Kältemittelverdampfung im LWS – Erstarren des Phasenwechselmaterials

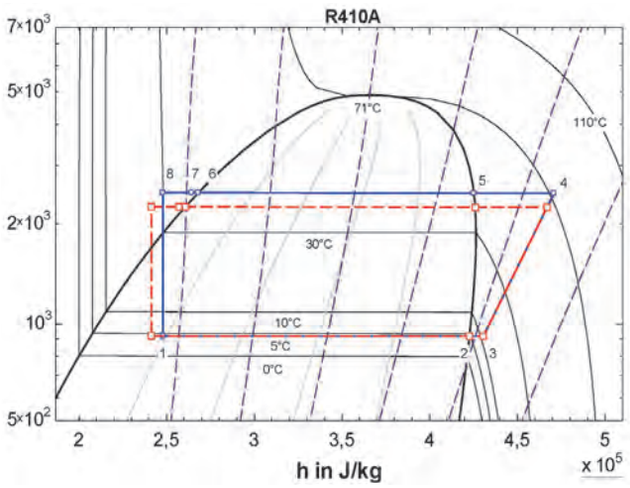


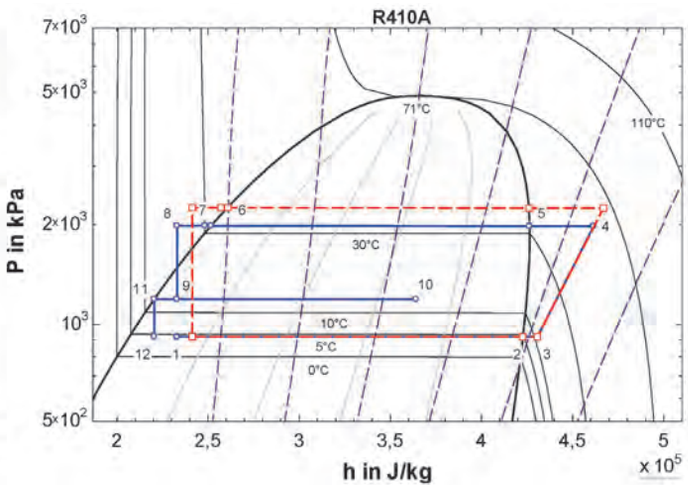


- 3-4 K Temperaturdifferenz zwischen der Phasenwechseltemperatur des PCM und der Kältemittelverdampfung
- Leistungsverlauf charakteristisch für Latentwärmespeicher, da der Wärmewiderstand mit der Verlagerung der Phasenfront anwächst
- Mittlere Speicherleistung von ca. 700 W

Zyklusanalyse: Standardbetrieb vs. Speicherbetrieb

Ziel: Speicherintegration ohne negativen Einfluss auf die Effizienz des Systems

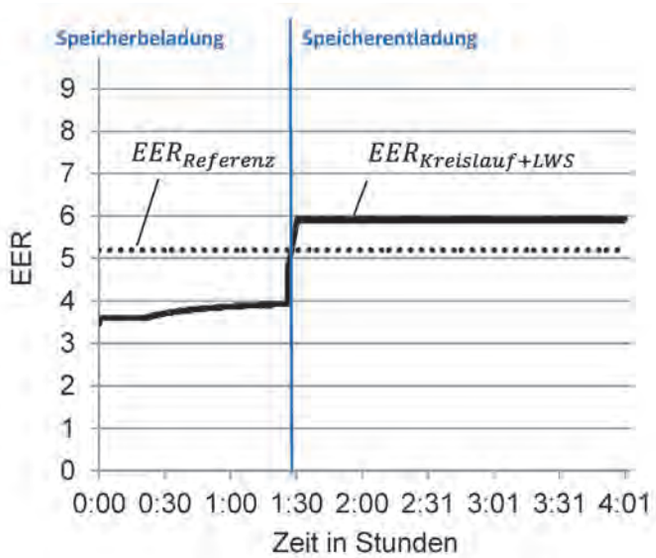




- Standardbetrieb, stationär (gestrichelt, rot)
- Speicherbeladung (blau, Zustandspunkte zu Beginn des Prozesses)
- Speicherentladung (blau, Zustandspunkte am Ende des Prozesses)

Zyklusanalyse

Analyse eines vollständigen Speicherzyklus unter konstanten Rahmenbedingungen.

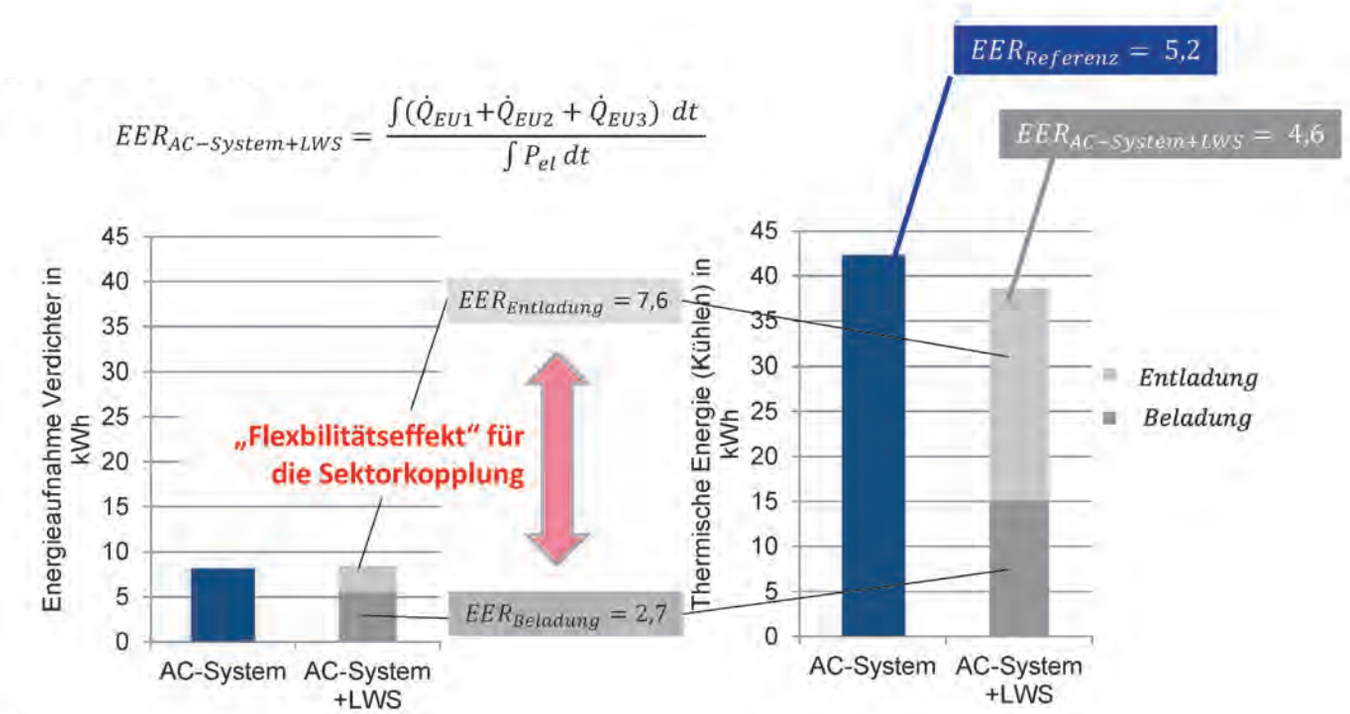


$$EER_{Referenz} = \frac{\dot{Q}_{EU1} + \dot{Q}_{EU2} + \dot{Q}_{EU3}}{P_{el}}$$

$$EER_{Kreislauf+LWS} = \frac{\dot{Q}_{EU1} + \dot{Q}_{EU2} + \dot{Q}_{EU3} + \dot{Q}_{LHS}}{P_{el}}$$

- Geringerer EER im Lademodus folgt aus dem höheren Kondensationsdruck
- Ansteigender Verlauf im Lademodus resultiert aus der abfallenden Leistung des LWS
- Höherer EER im Entlademodus resultiert aus dem niedrigeren Kondensationsdruck

Systemanalyse



Zusammenfassung und Ausblick

- Neuartiges Konzept für einen flexibleren Betrieb von Multi-Split Klimatisierungssystemen
- Direkte Integration eines Latentwärmespeichers in den Kältekreislauf
- Kaskadenschaltung des LWS mit zwei Verdampfer-Einheiten
- Flexibilität und Lastmanagement: Reduzierter Strombezug um 40 % bei annähernd gleicher Kälteleistung für eine Dauer von 2,5 Stunden (Dauer der Beladung: 1,5 Stunden)
- Speicherintegration: Nur geringfügiger Rückgang des EER gegenüber Standardbetrieb
- Nächster Schritt: Speicherintegration in eine Sole/Wasser Wärmepumpe

Session III.I Versorgungsnetze für die Energiewende

Moderation: **Prof. Dr.-Ing. Peter Bretschneider**
Samir Kharboutli, M.Sc.
Dipl.-Ing. Sebastian Flemming
Fraunhofer IOSB | Institutsteil Angewandte Systemtechnik (AST)

Der Klimaschutzplan der Bundesregierung sieht vor, dass Deutschland bis 2050 weitestgehend treibhausgasneutral wird. Dies bedeutet unter anderem die Umstellung der noch überwiegend auf fossilen Energieträgern basierenden energierelevanten Sektoren auf regenerative Energiequellen. Dies betrifft den Sektor der elektrischen Energieversorgung und insbesondere den Wärmesektor sowie den Verkehrssektor. Einer solchen Entwicklung müssen auch die historisch gewachsenen Versorgungsnetze, wie das elektrische Netz, das Gasnetz und auch Wärmenetze folgen. Durch die beschlossene Umstellung auf Erneuerbare Energien (EE) ergeben sich auf dem Gebiet der Versorgungsnetze, neben dem wesentlichen Ausbau- auch Umstrukturierungsbedarf. Werden die Ausbaukosten für das elektrische Netz betrachtet, kann festgestellt werden, dass diese zum Großteil auf die Verteilnetzebene entfallen und eine zunehmende Relevanz von Flexibilität zum Ausgleich der fluktuierenden Energiebereitstellungscharakteristik Erneuerbarer Energien verzeichnet werden kann.

Innerhalb des Bereichs der Versorgungsnetze lassen sich durch Nutzung der Projektlandkarte ENERGIEWENDEBAUEN insgesamt 152 Projekte diesem Themengebiet zuordnen. Hierbei muss zwischen Strom-, Wärme-, Kälte- und Gasnetzen unterschieden werden, wobei ein Projekt auch mehrere der genannten Netzarten abdecken kann. Durch diesen Ansatz lässt sich folgende Verteilung der Projekte nach Art des Versorgungsnetzes aufstellen:

- Stromnetz: 42 Projekte
- Wärmenetz: 111 Projekte
- Kältenetz: 21 Projekte
- Gasnetz: 4 Projekte

Werden, wie in Abbildung 1 dargestellt, die einzelnen Fokusthemen der Projekte betrachtet, fällt auf, dass es lediglich bei 15 % der 152 Projekte um reine Netzprojekte handelt. Die restlichen 85 % der Projekte verfügen über einen wenigstens teilweise ausgeprägten Bezug zu weiteren Themengebieten wie Gebäude, Tools, Technologie, Konzept und Quartier.

Bei detaillierterer Untersuchung der genutzten Anlagentechnik bei Projekten mit Bezug zu Wärmenetzen ist festzustellen, dass sowohl Wärmeerzeuger, als auch thermische Speicher erwartungsgemäß am häufigsten in den Projekten eingesetzt werden. Vor dem Hintergrund einer ganzheitlichen Betrachtung und Einbeziehung von crosssektoralen Ansätzen wurde auch der Stromsektor bei der Betrachtung von Wärmenetzen berücksichtig, sodass in 23 der 111 Wärmenetzprojekten auch Stromerzeuger adressiert und betrachtet werden.

Um unterschiedliche Aspekte des vielschichtigen Themenbereiches der Versorgungsnetze, wie beispielsweise die Bereitstellung von Flexibilität für das gesamte Energiesystem näher zu beleuchten, wurden diese innerhalb der Session „Versorgungsnetze für die Energiewende“ im Rahmen von Projektvorträgen und einer anschließenden Diskussion analysiert und diskutiert. Diese Projektvorträge werden im Folgenden näher beschrieben.

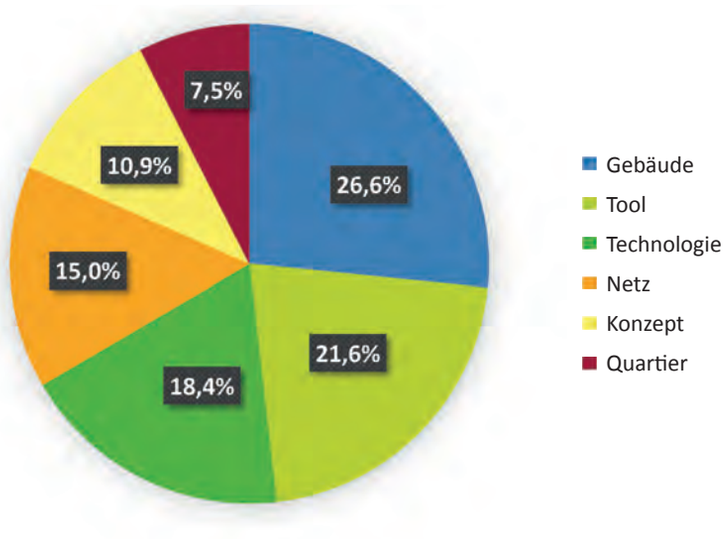


Abbildung 1

Versorgungsnetze für die Energiewende

- Umstellung auf Erneuerbare Energien erfordert Ausbau und Umstrukturierung der Versorgungsnetze
- Großteil der Ausbaukosten für das elektrische Netz entfällt auf die Verteilnetzebenen (insbesondere Hochspannung)
- Zunehmende Relevanz von Flexibilitäten (z. B. Energiespeicher)
- Nutzung von sektorübergreifendenSynergiepotenzialen zwischen Energiebereitstellung und Verbrauch

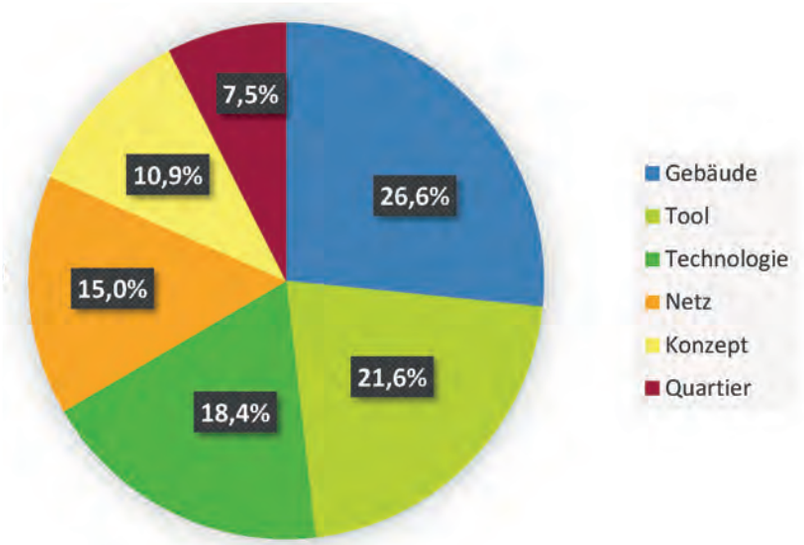
Projekte im Bereich der Versorgungsnetze

- 152 Projekte insgesamt
  (Quelle: Projektlandkarte ENERGIEWENDEBAUEN)
- Unterscheidung zwischen:
  - Stromnetz
  - Wärme-/ Kältenetz
  - Gasnetz



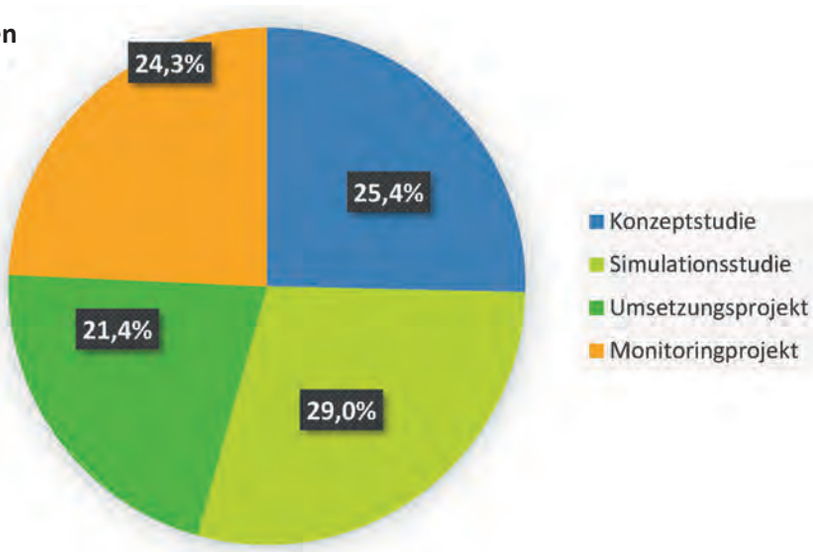
Verteilung der Projekttypen

- Lediglich 15 % reine Netzprojekte
- 85 % der Projekte mit Bezugzu weiteren Themengebieten



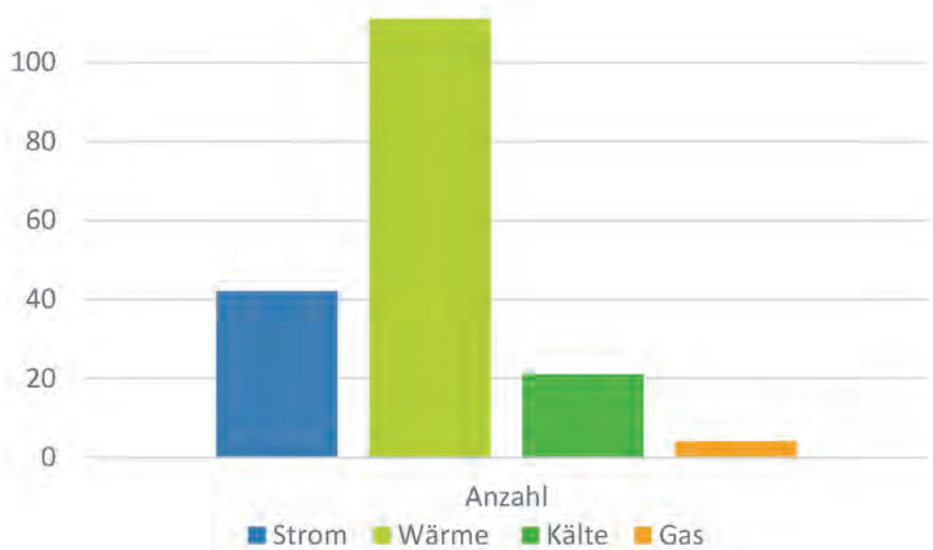
Verteilung der Projektkategorien

- Gleichmäßige Verteilung zwischen Kategorien

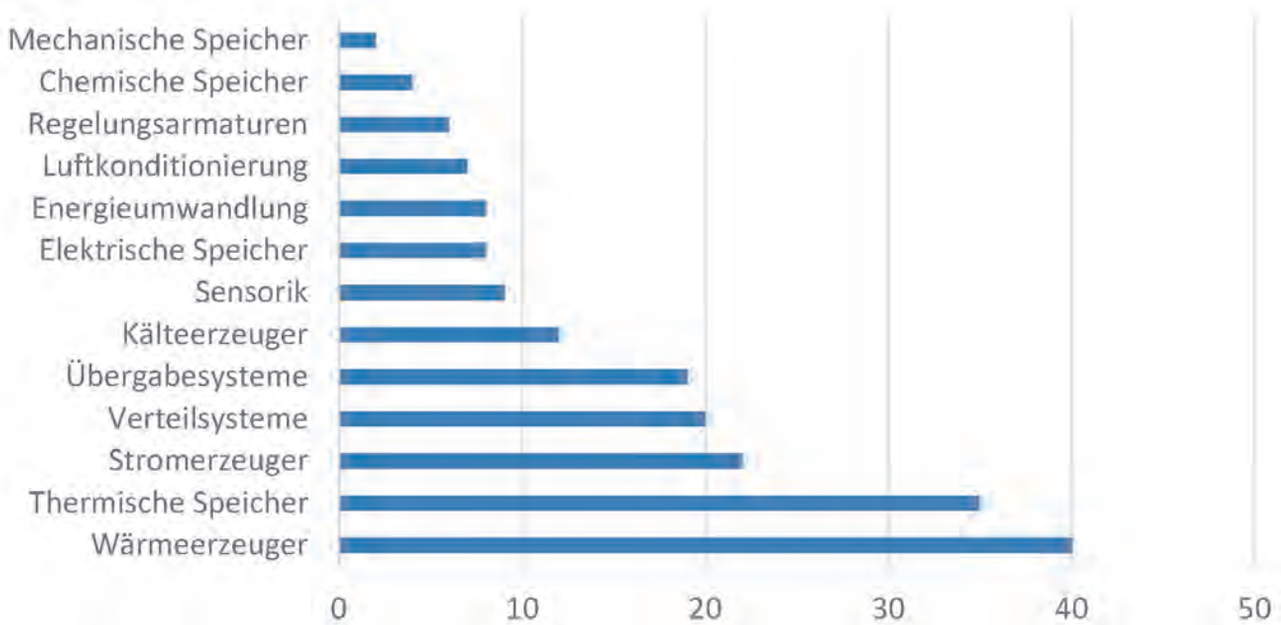


Projekte im Bereich der Versorgungsnetze

Verteilung nach Art des Versorgungsnetzes



Wärmenetze: Verteilung nach Anlagentechnik



Praxisprojektvorstellung III.I.I

Projekt:	**Verbundvorhaben TESS 2.0: Thermischer Stromspeicher für den Strommarkt 2.0**
Projektbeteiligte:	Fachhochschule Aachen - Campus Jülich - Solar-Institut Jülich Kraftanlagen München GmbH, München Otto Junker GmbH, Simmerath Dürr Systems AG, Bietigheim-Bissingen
Laufzeit:	2017 – 2020
Vortragender:	**Prof. Dr.-Ing. Ulf Herrmann** **Solar-Institut Jülich**

Projektbeschreibung:

In dem Vorhaben TESS 2.0 wird ein Power-to-Heat&Power-Konzept entwickelt und erprobt, bei dem die gespeicherte Wärme teilweise rückverstromt wird und damit wieder als hochwertige elektrische Energie zur Lastdeckung beiträgt. Im Zentrum des Konzeptes steht ein Hochtemperatur-Speicher mit Luft als Wärmeträgermedium, der nach dem Power-to-Heat-Prinzip mithilfe einer Widerstandsheizung mit Überschussstrom aus dem Netz thermisch beladen werden kann. Anders als bei herkömmlichen Konzepten wird hierbei die Wärme auf einem hohen Temperaturniveau gespeichert (bis zu 1.000 °C), so dass sie anschließend nicht nur als Wärme dem Nutzer zur Verfügung steht, sondern auch in einem Wärmekraftprozess teilweise wieder in Strom zurückgewandelt werden kann. Im Vergleich zu herkömmlichen Power-to-Heat Anwendungen erhöht sich der exergetische Wirkungsgrad dadurch von ca. 20 % auf über 50 %. Das innovative Konzept wird durch eine Versuchsanlage realisiert und anhand von unterschiedlichen Betriebsstrategien die Bereitstellung und die Wechselwirkung von Strom und Wärme experimentell untersucht und optimiert.

Kernaussagen des Vortrags:

Die Energiewende schafft neue Herausforderungen: Die nicht bedarfsgerechte und volatile Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien, wie z. B. Photovoltaik und Windkraft, kann zu Stromüberschuss sowie Stromknappheit führen. Durch die zeitliche Entkopplung von Angebot und Nachfrage können Speicher dem entgegenwirken und so für die Aufrechterhaltung der Versorgungssicherheit sorgen. Eine alleinige Stromwende ohne Wärmewende ist allerdings nicht ausreichend. Vielmehr ist die Verknüpfung von erneuerbarer Strom- und Wärmeerzeugung notwendig. Zur Realisierung dieser Sektorenkopplung bieten thermische Speicher eine Lösung an. Mithilfe von Hochtemperaturspeichern lässt sich neben der Wärmeabgabe auf unterschiedlichen Temperaturniveaus auch eine Rückverstromung durch verschiedene Wärmekraftmaschinen realisieren.

Mit dem multifunktionalen thermischen Stromspeicher multiTESS entwickelt das SIJ der FH Aachen nun gemeinsam mit seinen Partnern aus der Industrie in dem vom BMWi geförderten Projekt TESS 2.0 einen neuen Ansatz zur Kopplung der Strom- und Wärmenetze: Kern des neuen Konzeptes ist die Umwandlung von Strom in Wärme, auch Power-to-Heat genannt, kombiniert mit einem Wärmespeicher, wie er aus solarthermischen Kraftwerken wie dem Solarturm Jülich bekannt ist und am SIJ seit Jahren weiterentwickelt wird. Im Gegensatz zu den bereits verfügbaren Power-to-Heat-Lösungen, bei denen aus Strom Wärme bei ca. 100 °C erzeugt und gespeichert wird, werden beim multiTESS zehnmal höhere Temperaturen erreicht. Die Power-to-Heat Einheit funktioniert dabei ähnlich wie ein überdimensionierter Föhn, wobei ein Luftstrom mit bis zu 1.000 °C erzeugt wird. Der heiße Luftstrom wird dann zum Beladen eines Hochtemperaturspeichers, bestehend aus keramischen Wärmespeicher, verwendet, wo die Wärme zwischengespeichert wird und bei Bedarf wieder abgerufen werden kann. Durch die hohe Temperatur im Wärmespeicher kann aus der Wärme in einer Wärmekraftmaschine erneut Strom erzeugt werden. Der multiTESS kann zusätzlich zur Stromerzeugung aber auch Prozesswärme auf verschiedenen Temperaturniveaus bereitstellen und ist dadurch flexibel einsetzbar, z. B. für verschiedene Industrieanwendungen sowie zum Heizen und Kühlen. Somit eignet sich der multiTESS insbesondere für Standorte, an denen ein Fernwärmenetz oder sonstige größere Wärmeverbraucher vorhanden sind. Durch diese Art der Kraft-Wärmekopplung

können Energienutzungsgrade von mehr als 80 Prozent erreicht werden. Der mutilTESS stellt damit die erste Power-to-Heat Technologie dar, die ein Kopplung des Strom- und des Wärmesektors in beide Richtungen erlaubt.

Darüber hinaus lässt sich der multiTESS kostengünstig mit einer zusätzlichen Feuerung kombinieren, sodass die Strom- und Wärmeversorgung selbst bei längeren Phasen ohne Solar- oder Windstromproduktion gewährleistet ist. Wird die Feuerung dabei mit einem regenerativen Brennstoff betrieben, z. B. Biogas, entsteht mit dem multiTESS der erste Speicher, der eine gesicherte Strom- und Wärmeversorgung auch während einer Dunkelflaute garantieren kann. Der multifunktionale Stromspeicher multiTESS wird nun in einem auf drei Jahre angelegten Projekt mit dem Titel „TESS 2.0“ (Thermischer Stromspeicher für den Strommarkt 2.0) in unmittlebarer Nähe zum Campus Jülich der FH Aachen realisiert und getestet. Vom Industriepartner Otto Junker GmbH wird dazu eine Elektroheizung speziell für diese Anwendung entwickelt. Weitere Projektpartner sind die Firma Dürr Systems AG, die den Wärmespeicher entwickelt, und die Kraftanlagen München GmbH, die für die Gesamtanlagenplanung verantwortlich ist.

Die Entwicklung der Power-to-Heat Einheit durch die Firma Otto Junker ist zwischenzeitlich abgeschlossen. Der Prototyp wurde bereits erfolgreich im Labor von Otto Junker getestet. Eine Heizungseinheit mit einer Leistung von ca. 360 kW_{el} wurde nun in einer eigens für den multiTESS errichteten Halle aufgebaut. Auch der Aufbau des Speichers mit einer Speicherkapazität von 1400 kWh_{th} konnte bereits abgeschlossen werden. Im Laufe dieses Jahres erfolgt nun der Aufbau der vollständigen Pilotanalge, in der erstmals die gesamte Nutzungskette Power-to-Heat&Power abgebildet ist. Die Anlage wird auf dem Gelände des Brainergy Parks Jülich, der in unmittelbarer Nähe des Campus Jülich der FH Aachen liegt, errichtet. Die Inbetriebnahme ist für Herbst 2020 geplant.

Praxisprojektvorstellung III.I.II

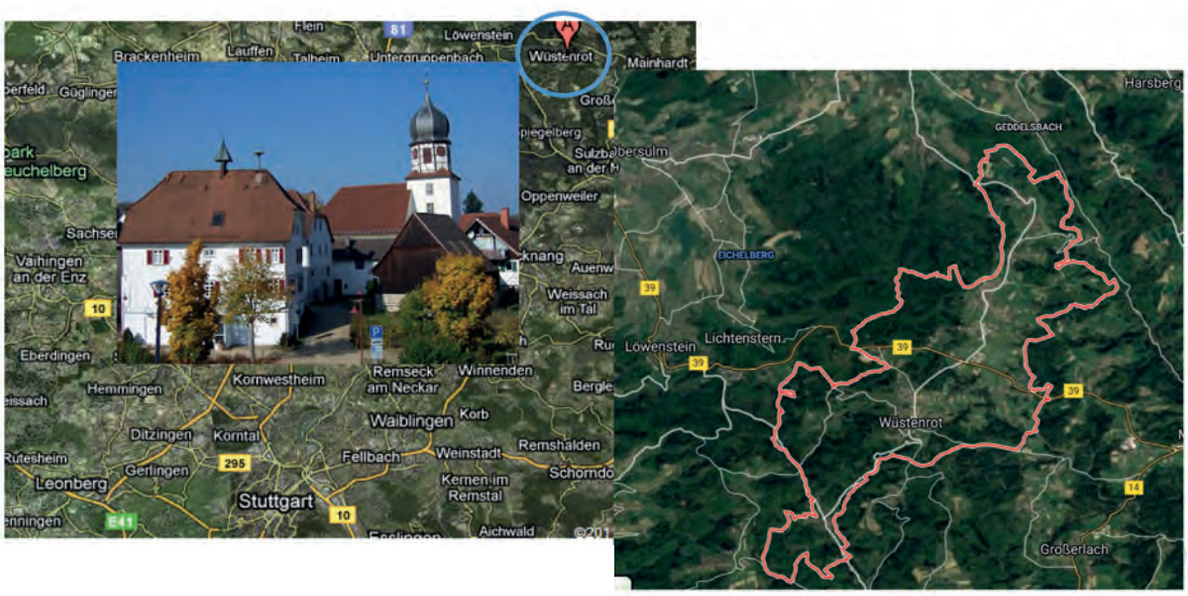
Projekt:	**EnEff:Stadt:Smart2Charge - SmartGrid-fähige, intelligente E-Ladeinfrastruktur für den ländlichen Raum - Planung und Umsetzung, Akzeptanz und Wirtschaftlichkeit am Beispiel der Gemeinde Wüstenrot**
Projektbeteiligte:	Hochschule für Technik - Institut für angewandte Forschung Zentrum für nachhaltige Energietechnik, Stuttgart, Baden-Württemberg Oxygen Technologies GmbH, Freiburg im Breisgau enisyst GmbH, Pliezhausen Gemeinde Wüstenrot, Wüstenrot Castellan AG, Kreuztal
Laufzeit:	2019 – 2022
Vortragender:	**Dr. Dirk Pietruschka** **HFT Hochschule für Technik Stuttgart | Zentrum für nachhaltige Energietechnik**

Projektbeschreibung:

Die Gemeinde Wüstenrot ist auf dem Weg zur Plusenergiegemeinde und will nun auch beim Ausbau der Elektromobilität rasch voranschreiten. Dabei stellen sich herausfordernde Fragen: Wie kann die Ladeinfrastruktur intelligent und zukunftsweisend aufgebaut werden? Wie kann sie in das bestehende, über Generationen gewachsene Stromnetz integriert werden? Wie ist dies wirtschaftlich umsetzbar? Wie können E-Ladestationen langfristig mit hoher Frequentierung (= Akzeptanz) betrieben werden? Beispielhaft für viele andere Kommunen im ländlichen Raum soll dies im Projekt Smart2Charge wissenschaftlich analysiert und umgesetzt werden - dabei eröffnen sich auch neue Chancen: Durch intelligente digitale Vernetzung können Fahrzeugspeicher im Zusammenspiel mit ortsgebundenen Stromspeichern Flexibilität für das Stromnetz zur Verfügung stellen und so eine bessere Ausnutzung volatiler erneuerbarer Energie ermöglichen. Anhand von Pilotprojekten in kommunalen Gebäuden, Privathaushalten und Betrieben soll dies demonstriert werden.

Smart2Charge - SmartGrid-fähige, intelligente E-Ladeinfrastruktur für den ländlichen Raum - Planung und Umsetzung, Akzeptanz und Wirtschaftlichkeit am Beispiel der Gemeinde Wüstenrot

Wüstenrot – eine innovative Gemeinde



Motivation für Smart2Charge



Beteiligte Projektpartner

- Projektleitung

HFT Stuttgart
zafh.net

- Projektpartner

Smart2Charge - Kernidee

Modellhafte Strategieentwicklung zum schnellen Ausbau der Elektromobilität

→ Focus Plus-Energiegemeinde im ländlichen Raum!

- Ist-Analyse der Nutzergruppen und Verkehrsströme
- Ausbaustrategie E-Mobilität Verteilnetzanalysen (Niederspannungsebende) + Ableitung Ertüchtigungsmaßnamen Infrastruktur
- Batteriespeicher als Alternative / Ergänzung zum Netzausbau
- Bidirektionale Nutzung der Fahrzeugbatterien
- Rückwirkung auf den Plusenergiestatus durch intelligente
  Nutzung verteilter Stromspeicher



Smart2Charge - Kernidee

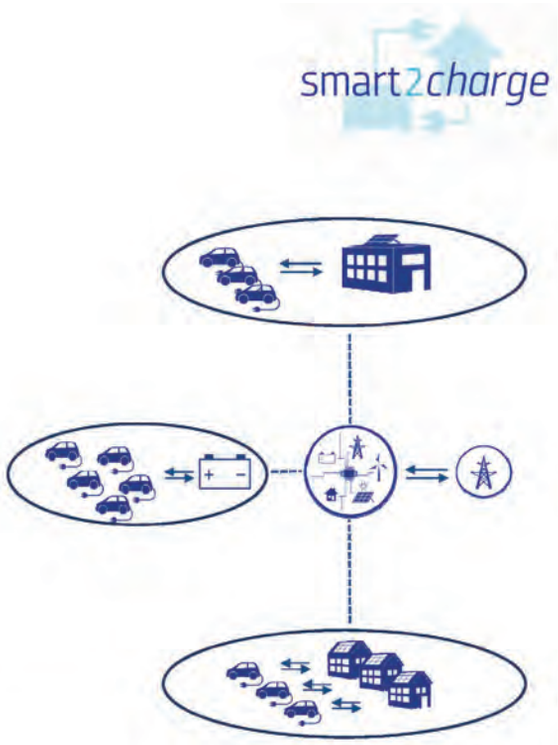
Demonstration
Kommunal / Handwerk / Privat / Car Sharing Pool

Technische Innovationen / Herausforderungen
- Bidirektionale Nutzung der Fahrzeugbatterien
- Anbindung an Gebäude-/ Quartiersenergiemanagement
- Anbindung an das SmartGrid

→ Optimierung der Eigenstromversorgung im Gemeindegebiet
→ Bereitstellung von Regelenergie für das übergeordnete Stromnetz

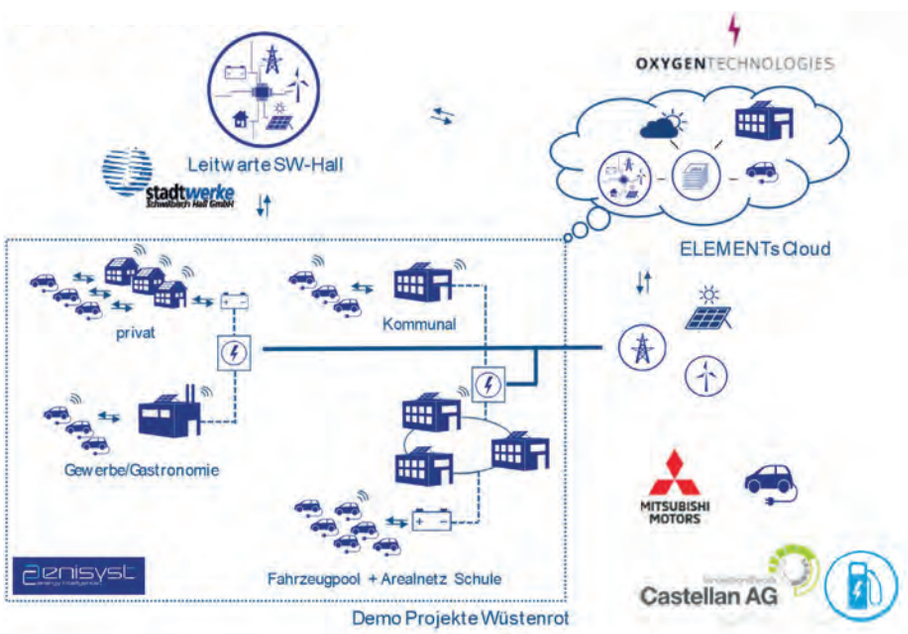
Akzeptanz und Nutzungsanalysen
- Erkenntnisse zur Praxistauglichkeit in den unterschiedlichen Anwendungsfällen

Wirtschaftlichkeitsanalysen und Geschäftsmodelle
- Zukunftsfähige Modelle für Stadtwerke, Contractoren oder Car Sharing Anbieter



Smart2Charge - Demonstration

- Demonstration
  Kommunal
  Privat
  Gewerbe
- Daten und Kommunikationsstruktur
- Zentrale Cloud zum Datenaustausch und zur Optimierung
- Anbindung an Netzleittechnik Stadtwerke Schwänisch Hall



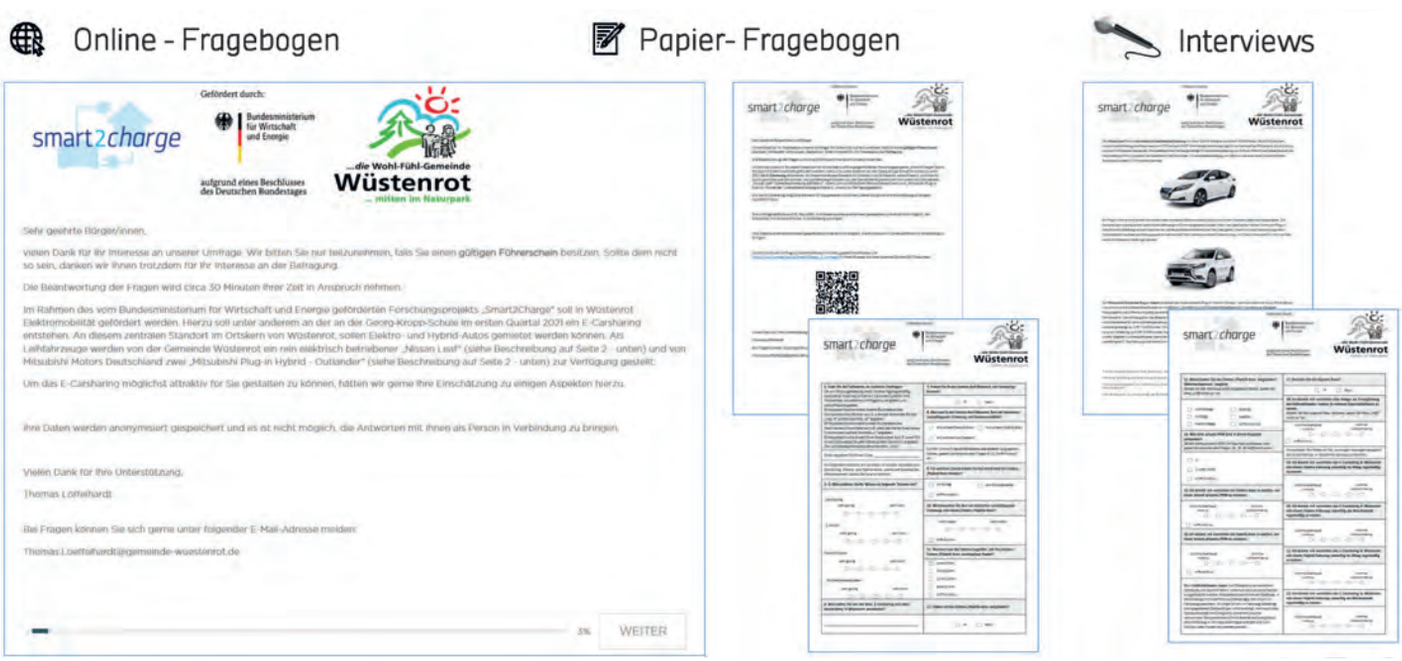
Akzeptanz- und Zielgruppenanalyse

Forschungsfragen:

1. Wer ist die Zielgruppe für das E-Carsharing an der Georg-Kropp-Schule?
2. Welche Anforderungen stellt die Zielgruppe an das E-Carsharing an der Georg-Kropp-Schule?
3. Welche Treiber und Hemmnisse gibt es zur Nutzung eines E-Fuhrparks[1]…

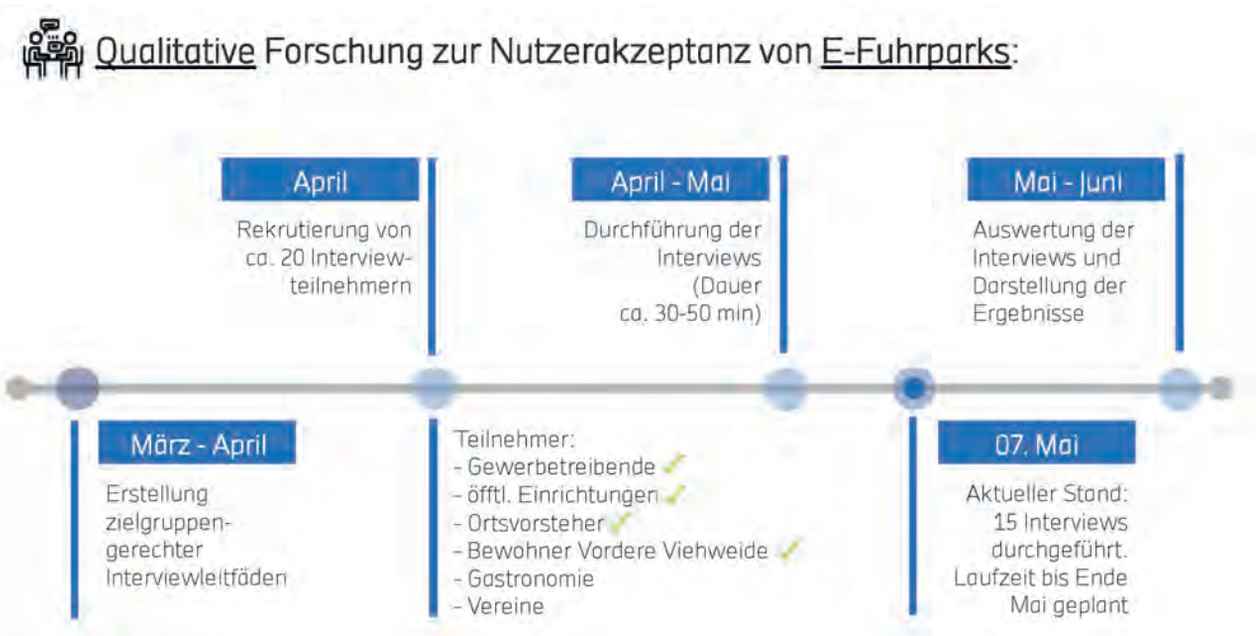
… in den kommunalen Liegenschaften (Rathaus/Bauhof/Feuerwehr)?
… im Handwerk (Schreinerei/Bäckerei/Gastronomie)?
… in der Plusenergiesiedlung „Vordere Viehweide“?

[1] Bidirektional ladendes E-Fahrzeug und die zugehörige Ladeinfrastruktur (mit/ohne Peer-to-Peer Handelsplattform für den Energietausch).

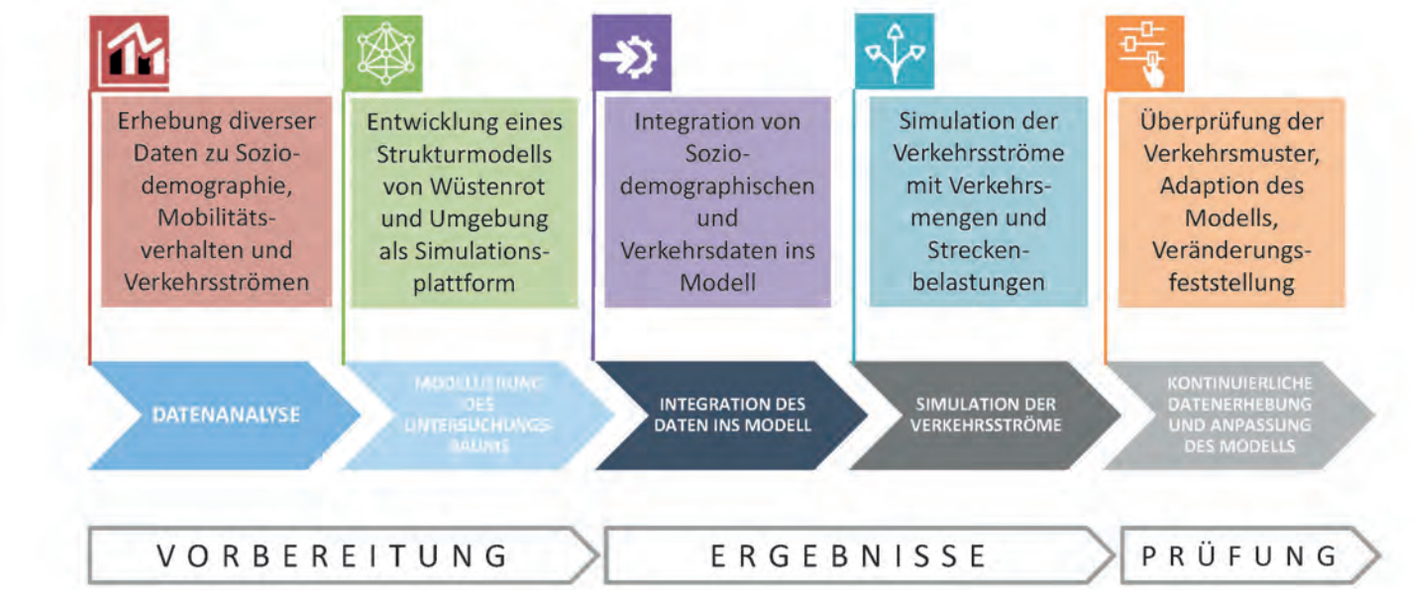


Akzeptanz- und Zielgruppenanalyse

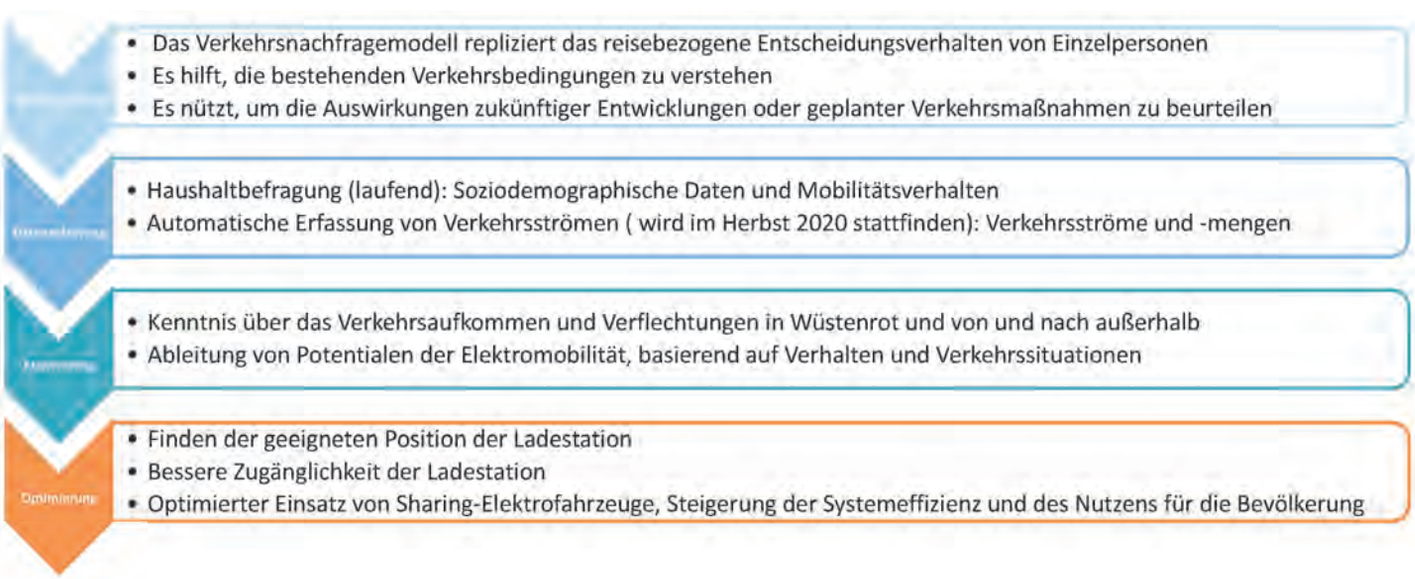




Verkehrsstromanalyse – Ableitung von Nutzungsprofilen

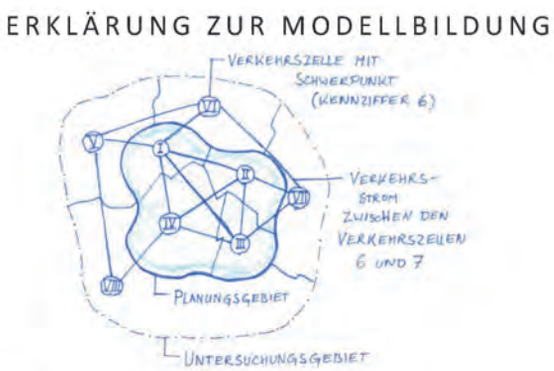


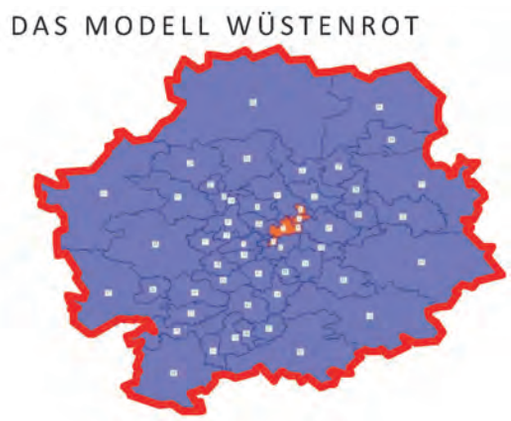
Modell, Datenanalyse und -integration



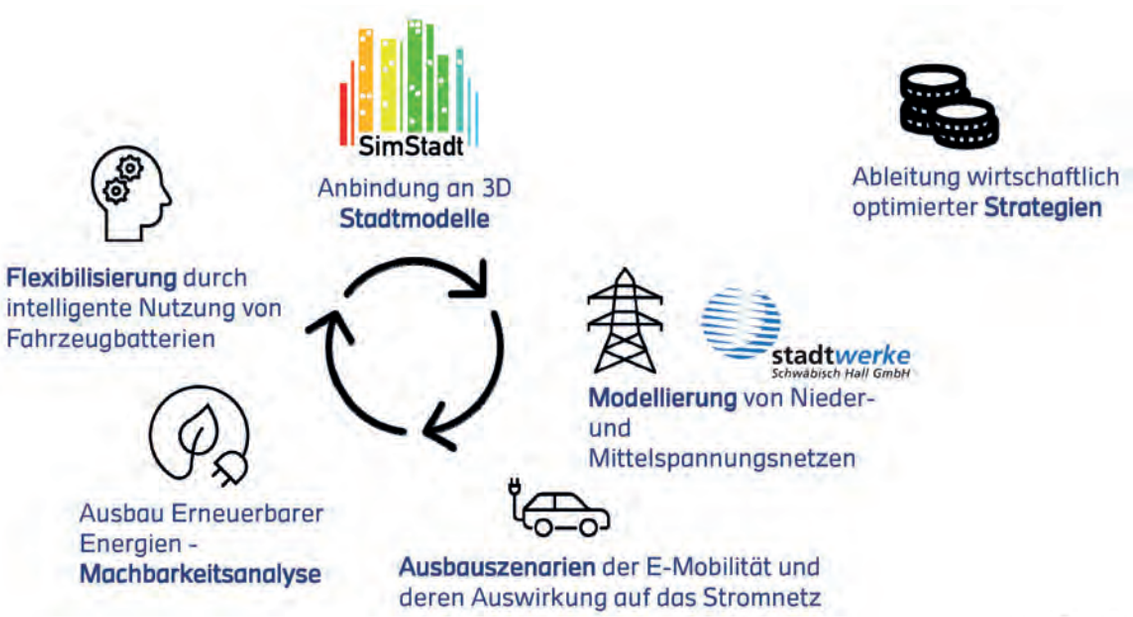
Überblick über Modell und Simulation

- Definition des Untersuchungsraums (rot)
- Mit 55 Bezirken im Modell, jeder Bezirk ist eine Zelle (Zellgrenze dunkelblau)
  - o davon 5 Stadtteile Wüstenrots (orange) = Planungsgebiet
  - o 50 Außenbezirke, mit denen Verflechtungen bestehen (blau)
- Die Quell-Ziel-Matrix gibt an, welche Verkehrsströme von einem Bezirk in einen anderen führen





Entwicklung Ausbaustrategie E-Mobilität

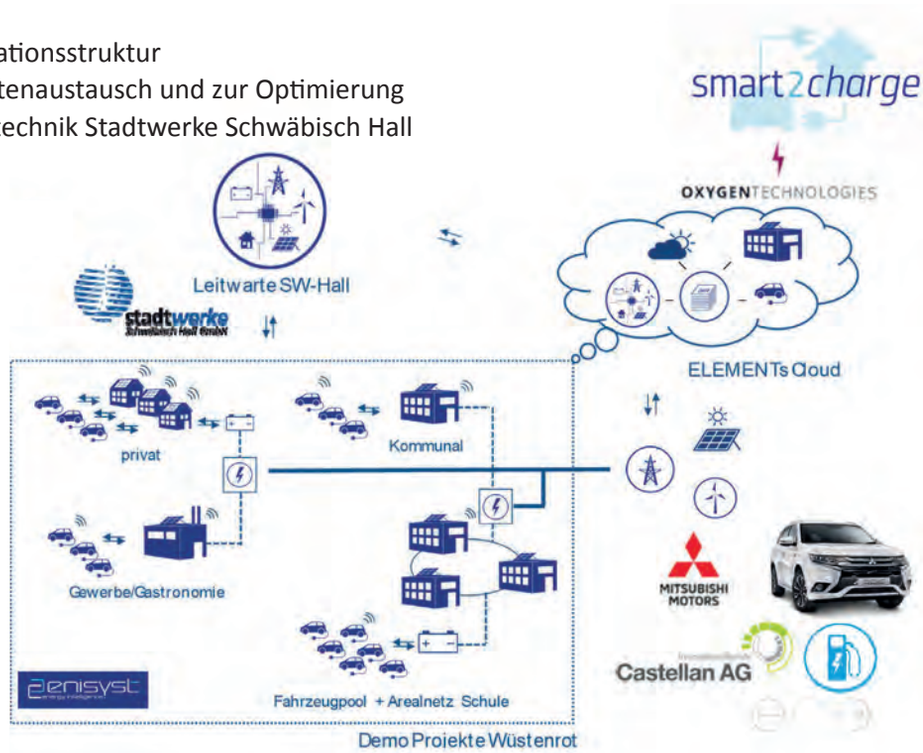


Demonstration

Einbindung der Fahrzeugbatterien in das Gebäude / Liegenschaftsmanagementsystem:



- Daten- und Kommunikationsstruktur
- Zentrale Cloud zum Datenaustausch und zur Optimierung
- Anbindung an Netzleittechnik Stadtwerke Schwäbisch Hall



Erwartete Ergebnisse

1. Zielgruppenverständnis → Bedarfsgerechte Planung
2. Verkehrsstromanalyse → Nutzungsprofile + Verkehrsverhalten
3. Ausbaustrategie E-Mobilität und Rückwirkung aus das Stromnetz
→ Bidirektionales Laden zur Sektorenkopplung und Netzentlastung
4. Praktische Erfahrungen aus der realen Umsetzung (Kommunal, Gewerblich, privat)
5. Geschäfts- und Betreibermodelle (Fahrzeugbatterienutzung und Carsharingsysteme)

Session III.II Rolle der Softwareentwicklung in Energieforschungsprojekten - Einblicke in Software-, Simulations- und Datenqualität

Moderation: **Dr.-Ing. Jérôme Frisch**
RWTH Aachen | Lehrstuhl für energieeffizientes Bauen

Der Fokus der Session III zu dem Thema Tools liegt auf der Behandlung von Querschnittsthemen zum vermehrten Einsatz digitaler Planungswerkzeuge. Im Rahmen von Impulsvorträgen sollen dabei Thesen oder Ansätze zum praktischen Umgang mit Software-, Simulations- und Datenqualität erarbeitet werden.

Digitale Planungswerkzeuge finden immer häufiger Einsatz in vielen verschiedenen Querschnittsthemen. Jedes Planungswerkzeug erfüllt dabei spezielle Aufgaben, die relevant für eine gesamtheitliche Aussage in dem jeweiligen Fachgebiet ist. Aus der Vielzahl an Planungswerkzeugen stellt sich dabei letztlich die Frage, inwieweit diese Ergebnisse qualitativ bewertet werden können und wie mit solchen Ergebnissen umzugehen ist. Dabei spielt es in hierarchischer Abfolge eine Rolle, wie in der Praxis mit verschiedenen und verschieden guten Datenqualitäten umgegangen wird. Daraus ergeben sich weitere potenzielle Qualitätsunterschiede in den Ergebnissen von Simulationen und letztlich steht an erster Stelle die Frage, welche Qualität uns eine Software, also ein digitales Planungswerkzeug, eigentlich liefern kann.

Um Qualitätsmanagement betreiben zu können, müssen unter anderem auch Fehlerquellen ermittelt werden. Menschliche Erfahrungen bei dem Umgang mit Daten sind dabei ebenso wichtig wie ein passender Workflow zur Qualitätsanalyse. Im Vordergrund der Qualitätsfrage steht auch immer das Anwendungsgebiet und der Anwender selbst. Können die jeweiligen Ergebnisqualitäten die Forderungen und Bedürfnisse der Anwendung zufriedenstellend und auf wissenschaftlicher Basis befriedigen? In dieser Session wird diese Fragestellung anhand von Beispielen aus dem praktischen Umgang mit Software,- Simulations- und Datenqualität bearbeitet.

Praxisprojektvorstellung III.II.I

Projekt:	**EnOB/EnBop_BigDATA: Big Data Analysen von Automationsdaten zur energetischen Betriebsoptimierung des Gebäudebestands.**
Projektbeteiligte:	Technische Universität München - Fakultät für Architektur - Lehrstuhl für Gebäudetechnologie und klimagerechtes Bauen, München Steinbeis Innovation gGmbH - Steinbeis Innovationszentrum energie+, Braunschweig Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen - Fakultät 1 - Mathematik - Informatik - Naturwissenschaften - Fachgruppe Informatik - Lehrstuhl für Software Engineering, Aachen synavision GmbH, Bielefeld WILO SE, Dortmund
Laufzeit:	2017 – 2019
Vortragender:	**Dr.-Ing. Stefan Plesser** **Synavision GmbH**

Projektbeschreibung:

In unterschiedlichen Forschungsbereichen wurden in den letzten Jahren in Bezug auf die Analyse und Visualisierung von Big Data große Fortschritte gemacht. Mit dem in diesem Verbundvorhaben vorgeschlagenen interdisziplinären Ansatz der Anwendung von Big Data Analysen auf Daten der Automation soll untersucht werden, in wieweit die Entwicklung einer speziellen Analyse, Visualisierung und Mapping von 'Automations-Big Data' die Betriebsoptimierung von Gebäuden ' und weitere Anwendungen ' systematisiert unterstützen kann. TU München bearbeitet im Einzelnen folgende Fragen und Schwerpunkte: 1. Systematische Aufbereitung von Betriebsdaten mit und ohne Betriebsfehler; 2. Standardisierung von Betriebsfehlern und Entwicklung typisierter Datenmuster; 3. Zuordnung von Ursachen (Produktion, Installation, Betrieb etc.) und Gegenmaßnahmen (Umbau, korrigierte Programmierung der Automation, optimierte Betriebsführung etc.) zu einzelnen Betriebsfehlern; 4. Technisch-Wirtschaftliche Bewertungsansätze für typische Fehler; 5. Entwicklung von Indikatoren für Betriebsfehler; 6. Optimierung von Identifikationskonzepten; 7. Automatisierung von einzelnen Arbeitsschritten der Betriebsoptimierung; 8. Demonstration möglicher Anwendungskonzepte in realen Software- und Gebäudeumgebungen; 9. Analyse von synergetischem Zusatznutzen neben der energetischen Betriebsoptimierung (z.B. Analyse von Produkt- und Installationsqualitäten). Innerhalb der Demophase werden dann gezielt typische Betriebsfehler in die Gebäude implementiert, um eindeutige Aussagen zur Identifikationskraft der entwickelten Methoden machen zu können.

Praxisprojektvorstellung III.II.II

Projekt:	**EnOB: SimQuality - Entwicklung von Qualitätsstandards für die energetische Gebäude- und Quartierssimulation als Planungswerkzeug**
Projektbeteiligte:	Technische Universität Dresden -Fakultät Architektur- Institut für Bauklimatik- Professur für Technischen Ausbau und Klimagerechtes Bauen, Dresden Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen - Lehrstuhl für energieeffizientes Bauen (E3D), Aachen Hochschule für angewandte Wissenschaften München - Fakultät 05 Versorgungs- und Gebäudetechnik, Verfahrenstechnik Papier und Verpackung, Druck- und Medientechnik, München Hottgenroth Software GmbH & Co. KG, Köln INNIUS DÖ GmbH, Dresden
Laufzeit:	2018 – 2021
Vortragender:	**Dr. Iris Reichenbach** **Hottgenroth Software GmbH & Co. KG**

Projektbeschreibung:

SimQuality verfolgt das Ziel der anforderungsgerechten Integration von Simulationsprogrammen in den Planungsprozess im Bauwesen. Hierbei müssen unabhängige Prüfmethoden entwickelt werden, die geeignet sind, die Planungs- und Rechtssicherheit für Softwareentwickler und Praxisanwender zu verbessern. Dazu gehören: ' Zusammenstellung einer Anforderungsmatrix (z. B. Modellierungstiefe, Nutzeranforderungen, Simulationsgeschwindigkeit) für repräsentative Anwendungsszenarien ' Entwicklung neuer Validierungsverfahren und standardisierter Eingabedaten und Referenzergebnisse ' Ausarbeitung eines Praxisleitsfadens und Qualifikationsanforderungen an Fachplaner und Ingenieure für den Einsatz energetischer Simulationsmethoden. Der Fokus des Teilvorhabens liegt auf der Entwicklung einer Methodik für die Prüfung und Bewertung von Simulationsverfahren. Es werden Referenzlösungen implementiert, existierende Rechenkerne entsprechend der Anforderungen erweitert und öffentlich verfügbare Validierungslösungen zusammengestellt. Im Praxisleitfaden werden Hilfestellungen für Planer und Ingenieure zusammengetragen, welche bei der selbständigen Auswahl und Bewertung von Simulationstools helfen.

Kernaussagen des Vortrags:

Auch bei der Entwicklung von Software im akademischen Bereich sollten verschiedene Praktiken von der professionellen Softwareentwicklung übernommen werden, um langlebigere Software zu erhalten. So kann eine Qualitätssicherung sowie Übergänge zwischen verschiedenen Bearbeitern erleichtern.

Im Vortrag wird dabei besonders auf drei Praktiken eingegangen. Diese sind erstens die Verwendung eines Versionsverwaltungssystems, welches es leichter macht die Entwicklung des Programms nachzuverfolgen, und so zum Beispiel auch den Stand zu einer Publikation wieder herzustellen. Zusätzlich wird dadurch die Zusammenarbeit erleichtert. Zweitens wird auf das Schreiben und automatische Ausführen von Tests eingegangen. Das stellt sicher, dass Veränderungen an einer Stelle des Codes keine negativen Auswirkungen an anderen Stellen hat. Der Dritte Punkt sind eigentliche Codepraktiken, welche das Lesen und damit die Übergabe des Codes erleichtern.

Der Vortrag schließt mit einem Ausblick in weiterführende Richtlinien zur Programmierung ab.

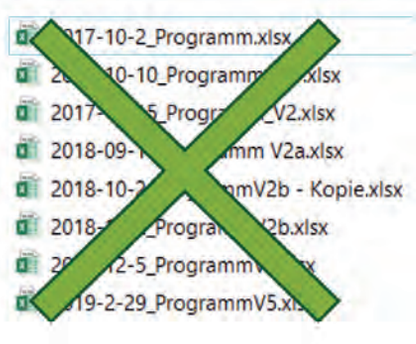
Qualität von Simulationssoftware

Im Projekt geht es um die Qualität von Software zur Simulation von Gebäuden und Anlagen. Um hier eine hohe und gleichbleibende Qualität zu gewährleisten sind zwei Komponenten zwingend erforderlich:
1. Qualität der Berechnung (Algorithmen, mathematische Validität der Berechnung, richtige Interpretation der Eingabedaten etc.)
2. Qualität der Implementierung

Langlebige(re) Software

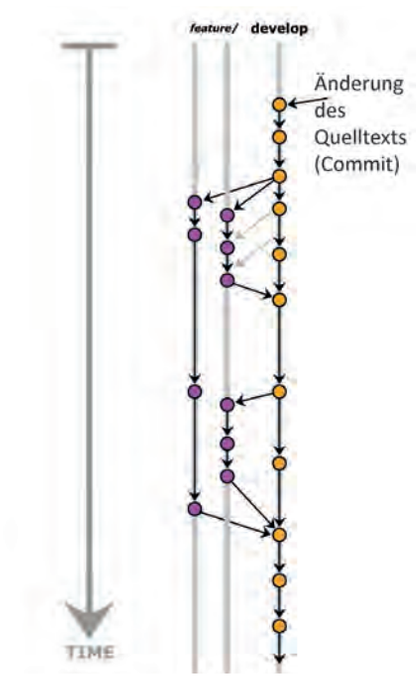
Auch für den akademischen Bereich

- Verwenden eines Versionsverwaltungssystem
- Automatisierte Tests
- Programmierrichtlinien



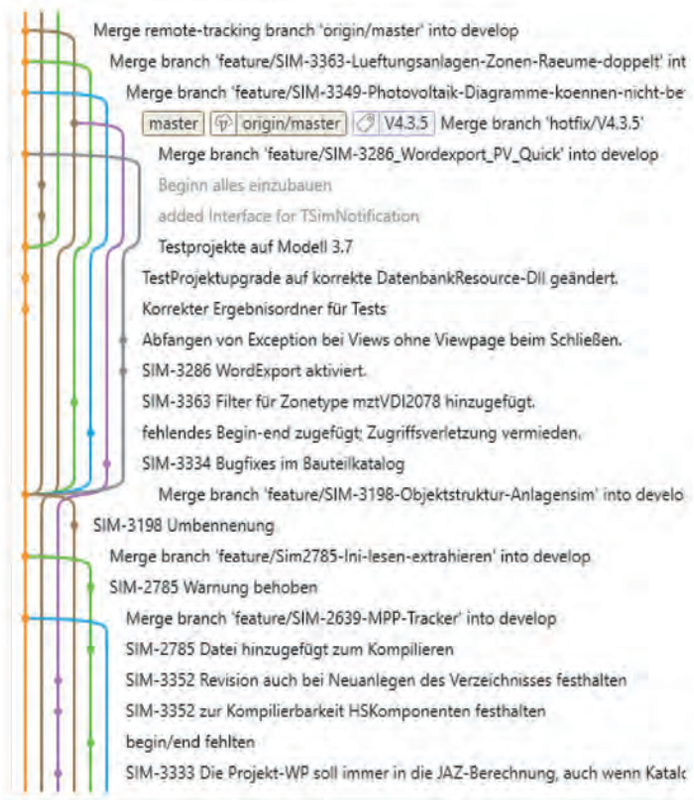
Versionsverwaltungssystem

- Bei der Verwendung von Versionsverwaltungssystemen (wie SVN, git, CVS…) wird jede Änderung des Quellcodes zeitlich nachvollziehbar gespeichert.
- Dadurch können frühere Stände wiederhergestellt werden und
- neue Features unabhängig voneinander entwickelt werden.

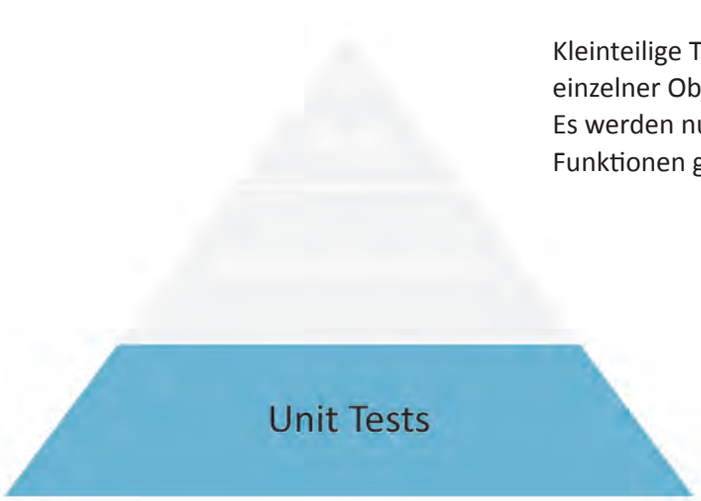


Versionsverwaltungssystem

- Dies funktioniert für alle textbasierten Programmiersprachen wie C++, C, C#, Fortran, Delphi, Matlab…
- Aber nicht für Excelfilesmit integ-rierten Makros. Daher ist von Excel abzuraten.
- Tipp: Aussagekräftige Kommentare verwenden!

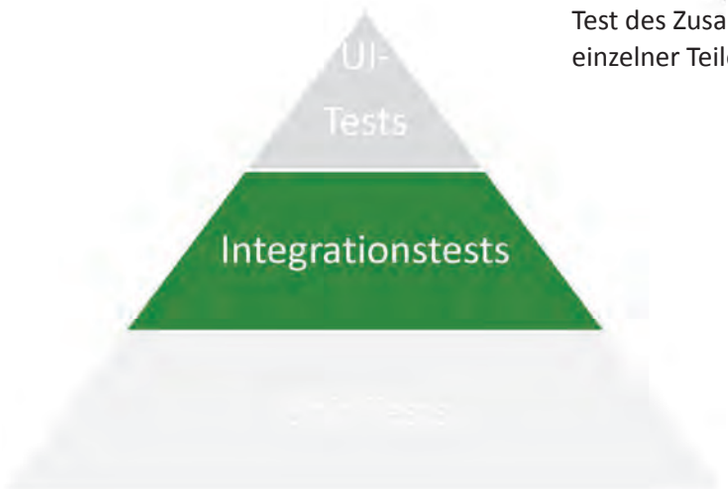


Tests, Tests und noch mehr Tests

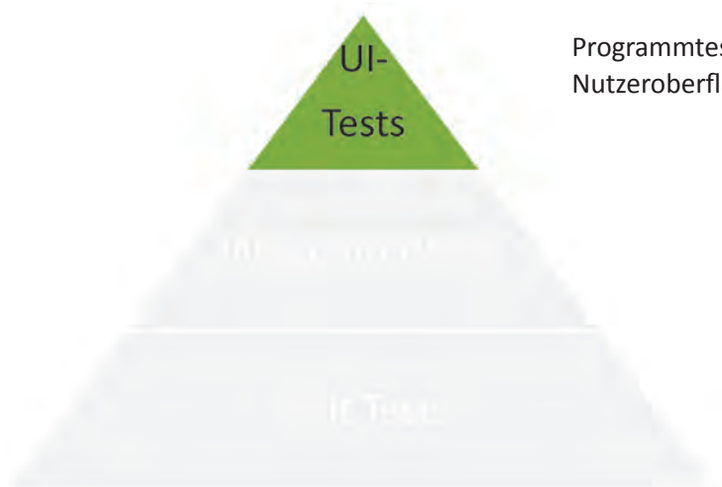


Kleinteilige Tests
einzelner Objekte.
Es werden nur einzelne
Funktionen getestet.

Tests, Tests und noch mehr Tests



Test des Zusammenspiels einzelner Teile

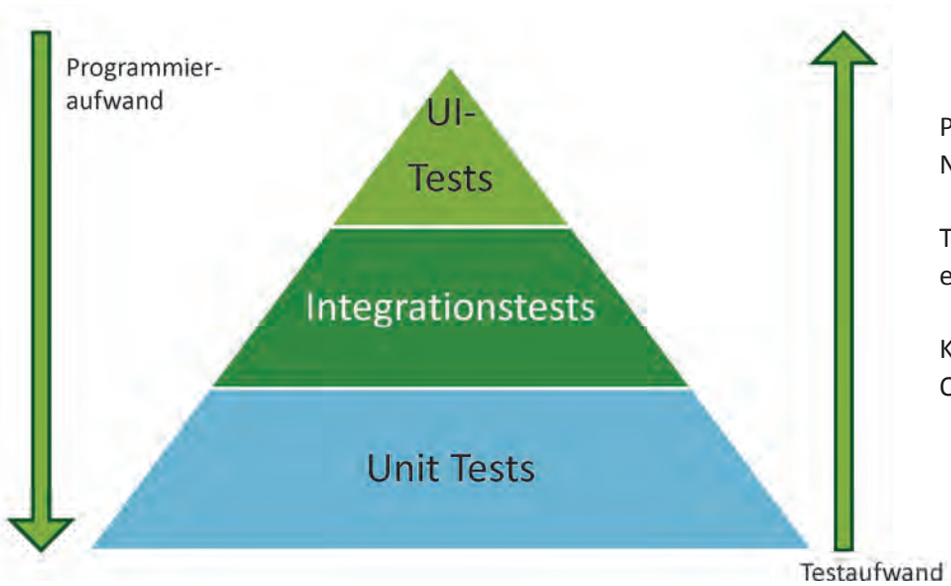


Programmtest auf Ebene der Nutzeroberfläche – oft manuell



https://publicdomainvectors.org/

Tests, Tests und noch mehr Tests



Programmtest auf Ebene der Nutzeroberfläche – oft manuell

Test des Zusammenspiels einzelner Teile

Kleinteilige Tests einzelner Objekte

Testautomatisierung

- Die besten Tests sind nutzlos, wenn sie nicht regelmäßigausgeführt werden.
- Es gibt Programme, die Tests automatisch durchführen können. (z.B. Jenkins)
- Diese Programme können auch mit dem Versionsverwaltungssystemen gekoppelt werden und bei jedem Commit automatisch laufen.



	Declarative: Checkout SCM	Declarative: Tool Install	Checkout	ApplicationSolutionBuild	BuildTests	Run Tests	Group A	Group B	Collect Tests
Average stage times: (Average full run time: ~1h 45min)	44s	202ms	2min 55s	4min 36s	2min 12s	477ms	1h 4min	1h 18min	2s
#47 May 13 13:00 1 commit	9s	237ms	42s	5min 37s	2min 48s	138ms	1h 28min	1h 47min	2s
#46 May 08 15:49 1 commit	8s	230ms	33s	4min 57s	2min 35s	254ms	1h 14min	1h 31min	2s
#45 May 08 14:05 1 commit	9s	191ms	32s	5min 58s	2min 42s	173ms	1h 17min	1h 34min	3s
#44 May 07 13:05 3 commits	2s	173ms	34s	4min 54s	2min 40s	1s	1h 17min	1h 33min	3s
#43 May 07 12:35 1 commit	8s	177ms	2min 23s	1min 36s failed	48ms failed	102ms	94ms failed	95ms failed	46ms failed

Programmierrichtlinien

Aussagekräftige Namen für Funktionen und Variablen verwenden.

Tr(a0,a1,t)
CalcHeatTransmission(Uvalue,DeltaT,Timestep)

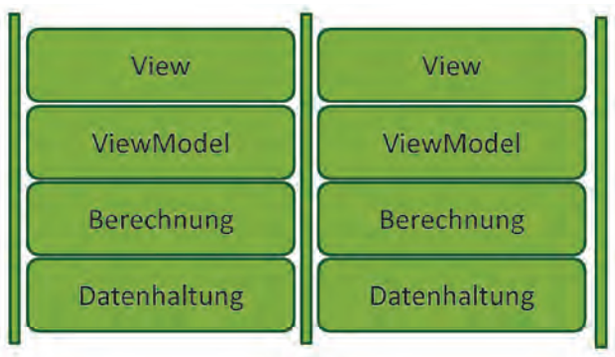
Code wird wesentlich öfter gelesen als geschrieben!

Trennung von GUI und Berechnungen/Programmlogik.

Testautomatisierung!

Möglichst kleine Klassen.
Trennung von einzelnen Schichten.

Stichwort: CleanCode



Praxisprojektvorstellung III.II.III

Projekt:	**EnOB: SimQuality - Entwicklung von Qualitätsstandards für die energetische Gebäude- und Quartierssimulation als Planungswerkzeug. Teilvorhaben: Anforderungen und Lösungen für den Einsatz von Gebäude- und Anlagensimulation in der Lehre, Forschung und Praxis.**
Projektbeteiligte:	INNIUS DÖ GmbH, Dresden Technische Universität Dresden - Institut für Bauklimatik, Planungsgruppe M+M AG, Böblingen Hochschule München, Hottgenroth Software GmbH & Co.KG, Köln IB Scholz GmbH & Co.KG, Regensburg RWTH Aachen, Aachen INNIUS DÖ GmbH, Dresden
Laufzeit:	2018 – 2021
Vortragender:	**Dr. Andreas Nicolai** **TU Dresden, Institut für Bauklimatik**

Projektbeschreibung:

SimQuality verfolgt das Ziel der anforderungsgerechten Integration von Simulationsprogrammen in den Planungsprozess im Bauwesen. Hierbei müssen unabhängige Prüfmethoden entwickelt werden, die geeignet sind, die Planungs- und Rechtssicherheit für Softwareentwickler und Praxisanwender zu verbessern. Dazu gehören die Zusammenstellung einer Anforderungsmatrix (z.B. Modellierungstiefe, Nutzeranforderungen, Simulationsgeschwindigkeit) für repräsentative Anwendungsszenarien, die Entwicklung neuer Validierungsverfahren und standardisierter Eingabedaten und Referenzergebnisse, sowie die Ausarbeitung eines Praxisleitsfadens und Qualifikationsanforderungen an Fachplaner und Ingenieure für den Einsatz energetischer Simulationsmethoden. Die Hochschule München wird bei dem Vorhaben die Anforderungen für den Einsatz der Simulation in Lehre und Forschung in Bezug auf Modellierungstiefe und Relevanz der Grundlagendaten formulieren und die von den Projektpartnern im Vorhaben entwickelten Prozeduren für typische, praxisnahe Anwendungsfälle testen und dokumentieren. Ziel des Vorhabens ist die anforderungsgerechte Integration der Simulationsprogramme in den Planungsprozess.

Kernaussagen des Vortrags:

In der bis 2050 zwangsläufig notwendigen Dekarbonisierung aller gesellschaftlichen Prozesse spielt die Energiewende im Gebäudesektor eine zentrale Rolle.

Dabei sorgt die Verwendung regenerativer Energiequellen für eine dynamische und zeitlich begrenzte Verfügbarkeit für das Gebäude. Um deren Nutzung dennoch im großen Maße zu ermöglichen, ist es erforderlich, zukünftig smarte und energieeffiziente Gebäude zu entwerfen und zu planen, die sich an diese Rahmenbedingungen anpassen und somit möglichst geringe Energiebedarfe aufweisen. Das verlangt jedoch ausgereifte Planungs- bzw. Berechnungstools, die dynamische Prozesse in Form von dynamischen Simulationen genau abbilden können. Der aktuelle Stand in der Gebäudesimulation ist, dass eine Reihe von Randbedingungen, wie Klima, Nutzungsanforderungen, Kubatur und Bauart des Gebäudes sowie die Anlagentechnik, definiert und dann zeitlich aufgelöste Energiebedarfswerte, wie Heiz-, Kühl- sowie der Strombedarf errechnet werden. Daraus ergibt sich wiederum die Bedarfslinie für die Heiz- und Kühlsysteme, um die Gebäude zu betreiben. Dabei wird aber immer davon ausgegangen, dass ausreichend Energie zur Verfügung steht und CO2-Emissionen nicht stärker bepreist werden. Soll ein Gebäude jedoch mit möglichst wenig und regenerativer Energie (wie z.Bsp. eine Wärmepumpe in Verbindung mit Erdkollektoren) und damit geringen CO2-Emissionen betrieben werden, kann jedoch der Zustand eintreten, dass die verfügbare Energie nicht ausreicht, um die Behaglichkeitsanforderungen zu erfüllen. Somit spielen zunehmend dynamischen Lastverschiebung und die Berücksichtigung eventueller Unterversorgungen eine Rolle. Da die Behaglichkeitseinbußen eingeschätzt sowie dynamische Lastverschiebungen zur Vermeidung analysiert werden müssen, ist die genaue dynamische Betrachtung aller Prozesse, die im Gebäude stattfinden, von Nöten. Damit wandert die Verfügbarkeit von regenerativer Energie ebenso in die Eingangsparameter der dynamischen Simulation. Nun ist es möglich, künftige Energiebedarfe, Behaglichkeitseinbußen und CO2-Emissionen zu quantifizieren. So könnte man zukünftig einen Klimaschutzindex erstellen, der eingepreist wird und somit Anreize zur CO2-Emissionsreduktion für den Bauherren bietet.

Um die genannten Szenarien zu untersuchen, stellen sich zukünftig eine Reihe von Anforderungen an die Berechnungswerkzeuge. Modelle müssen einerseits eine ausrei-

chende Komplexität aufweisen, um die betrachteten Prozesse abzubilden, sie müssen ausreichend parametrierbar sein und sie müssen weiterhin gewisse Ausgaben in erforderlichen Detailstufen erzeugen. Letztendlich müssen sie aber vor allem „korrekt“ rechnen. Bestehende Normen und Richtlinien sind oftmals nicht ausreichend dokumentiert, weisen fehlerhafte Validierungsfälle auf oder gehen nicht schrittweise bei der Validierung vor, weshalb die genannten Anforderungen an die Berechnungstools nur mangelhaft untersucht werden können. Weiterhin findet die Validierung oftmals nur durch den Urheber selbst statt und ist durch Dritte nur schwer oder gar nicht wegen mangelnder Dokumentation nachzuvollziehen.

Um diese Probleme zu adressieren, werden im Rahmen des Forschungsprojektes SimQuality Qualitätsstandards und Testfälle definiert, die unabhängig prüfbar sind und Planungs- und Rechtssicherheit für den Planer bieten. Um dies zu erreichen, werden Komplexvalidierungsszenarien – Validierungsszenarien, in denen eine Kombination mehrerer Modellkomponenten betrachtet werden – definiert, die als Ziel etwa die Berechnung des sommerlichen Wärmeschutzes aufweisen und die auf dem Weg dorthin physikalische Einzeleffekte untersuchen. So werden in einem Programmvergleich beispielsweise zuerst klimatische Randbedingungen (Solarstrahlung, Temperatur) getestet, anschließend erfolgt die Untersuchung der Gebäudehülle (Wärmeleitung und -speicherung), danach folgen Lüftung, Wärmelasten, Zeitpläne, sowie Heizung-/Kühlung bzw. Klimatisierung (ideal bis komplex) bis das Komplexszenario erreicht ist. Bei auftretenden Abweichungen zwischen den Berechnungstools lässt sich durch die Einzelschritte genau ermitteln, an welcher Stelle die Abweichung auftritt und sich so die Fehlerursache eingrenzen. Augenmerk ist auf den Vergleich der Ergebnisse der Berechnungstools zu legen, die sich in ihren Modellen stark unterscheiden können. Genauso entstehen Differenzen zwischen „schnellen“, im Gegensatz zu physikalisch detaillierten Simulationen sowie infolge der unterschiedlichen Auswirkung der zeitlichen Dynamik. Oftmals führen beide Faktoren zu differierenden Ergebnissen und müssen betrachtet werden. Dergleichen spielt die Interpretation der Ergebnisse (Momentanwert zum Anfang oder Ende der Stunde oder Stundenmittelwert) eine wichtige Rolle. Hier gilt es genau abzuschätzen und zu definieren, welche Ergebnisse gefordert sind, welche als korrekt gelten und in welchem Maße das Tool davon abweichen darf. So stellt sich die wichtige Frage, wie man korrekte Referenzergebnisse mit einem Toleranzband definiert, sodass spezifische Fehler erkannt werden aber auch eine gewisse Streuung zulässig ist. In jedem Falle müssen diese Referenzwerte dann genauestens dokumentiert werden, damit sie später transparent und nachvollziehbar sind.

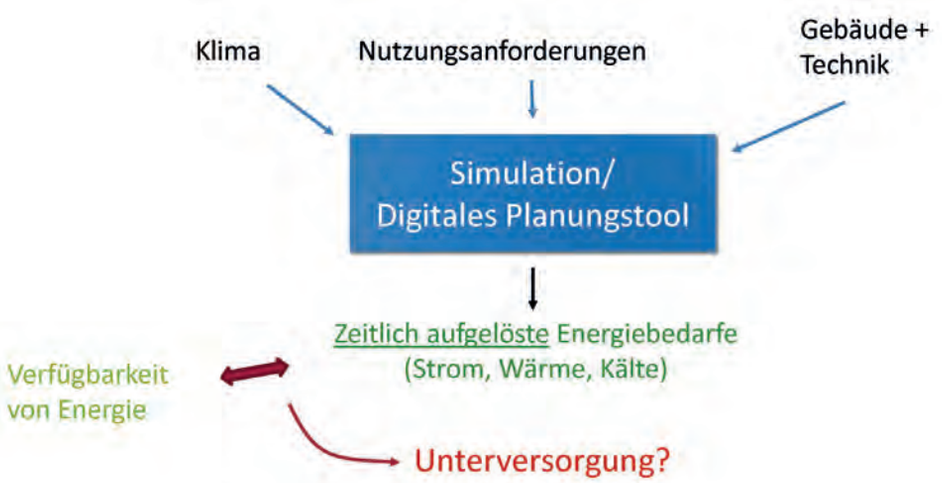
Abschließend lässt sich sagen, dass diese Fragestellungen keineswegs trivial sind und viel Detailwissen erfordern. Dynamische Simulationen werden mit Sicherheit in Zukunft eine größere Rolle spielen. Dafür Referenzwerte und ausgefeilte Validierungsfälle zu erstellen und damit die Qualitätssicherung zu gewährleisten, ist der zentrale Aspekt in SimQuality.

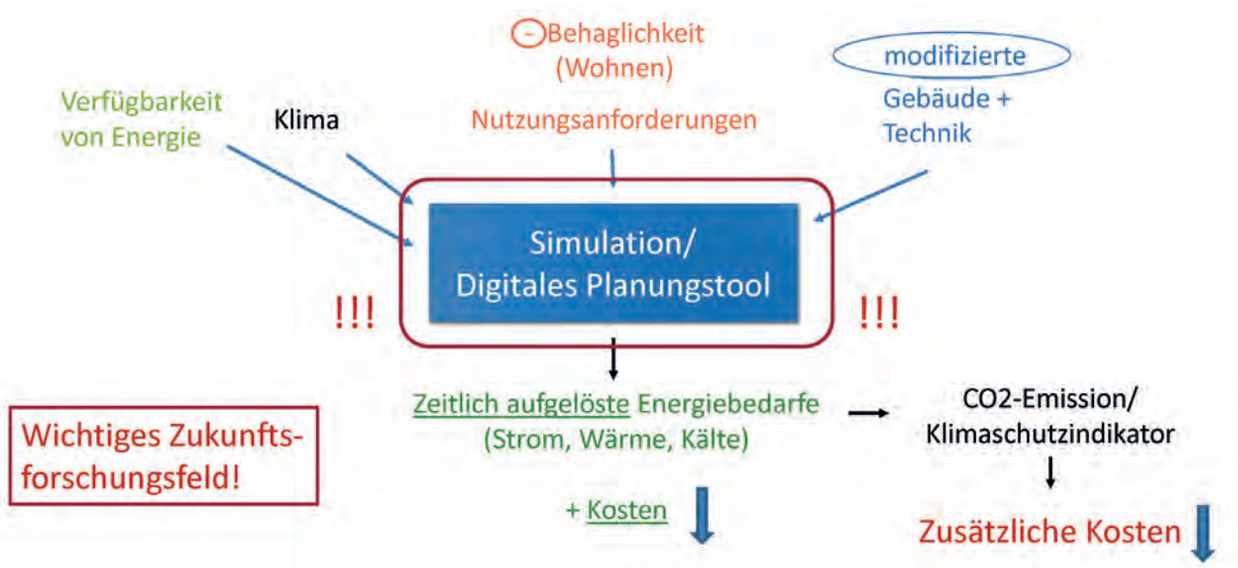
Motivation

Kausalkette:

- Energiewende = dynamische/zeitlich begrenzteVerfügbarkeit von Energie
- (Smarte) energieeffiziente Gebäude benötigen entsprechende Planung
- Planung nur sinnvoll mit dynamischenBerechnungstools = digitale Planungstools (Simulationen)
- Ingenieure brauchen geeigneteund korrektfunktionierende Tools!

Woher weiß man, ob ein Tool geignetist und korrektfunktioniert?
→ Validieren!(…prüfen, benchmarken, testen, verifizieren,…)





Fehlerquellen/Eignungseinschränkung

- Physikalisches Modell unpassend/zu einfach („…wie möglich, aber nicht einfacher.“)
- Interpretation der Eingangsdaten (Klimadaten etc.)
- Parameterdefinition/-konvertierung (unpräzise Parameteranforderung)
- Ungeeigneter mathematischer Lösungsansatz/numerisches Verfahren
- Ungeeignete Numerikparameter(Zeitschrittlängen, Gitterdetails, Stabilitätskriterien, …)
- Unpräzise Ausgaben (→ Interpretationsfehler)
- Programmierfehler (einschließlich bewusste „Korrekturen“ unphysikalischerErgebnisse)
  → Begrenzung durch **Qualitätssicherung bei der Softwarenentwicklung**

Validierungsverfahren

Experimentelle Validierung

- Fehlerquellen: Messfehler, Interpretation der Messwerte, Parametrisierung des Modells, Modell-und Berechnungsfehler, Interpretation und Bewertung der Ergebnisse
- Erbringt den Nachweis, dass ein Modell **prinzipiell** in der Lage ist, die Beobachtung zu reproduzieren; Wichtig: Freiheitsgrade so weit wie möglich begrenzen!
- Übereinstimmung von Messwerten und Berechnungsergebnissen schließt nicht aus, dass sich Fehlerquellen kompensieren
- Messtechnische Erfassung eines komplexen Systems sehr **aufwändig** – sonst nur Teilprüfung möglich

Validierungsverfahren

Vergleich gegen Referenzwerte/exakte Lösungen und Modell-Modell-Vergleich

- Für isolierte Modellkomponenten (Solarstrahlung, Wärmeleitung, Lüftung, …)
- Exakte Lösungen nur für wenige (praxisrelevante) Tests
- Häufig idealisierte Modelle und Eingabedaten
- Fehler aus **Kombination** von Einzelkomponenten nur bedingt prüfbar
- Hohe Anzahl von Modellkomponenten und Parametervariante erfordert **große Anzahl von Tests** (= aufwändig = wird nicht gemacht)
- **Komplextests** kombinieren mehrere Modellkomponenten –mit dem Risiko, dass Fehler durch andere Modelleffekte überschattet werden

Softwarespezifische Tests („Entwickler“-Tests)

- Regressionstests
- Unit-Tests
- Komplementärimplementierung (gleicher Algorithmus, andere Softwareumsetzung)
- … → Folgevortrag

Wichtig: In Forschungsprojekten erarbeitete Qualitätskriterien und -methoden werden in der Softwarewirtschaft für die Entwicklung guter Planungstools benötigt!

Komponententests → SimQuality-Ansatz

Ziel : Komplexvalidierungsszenarien

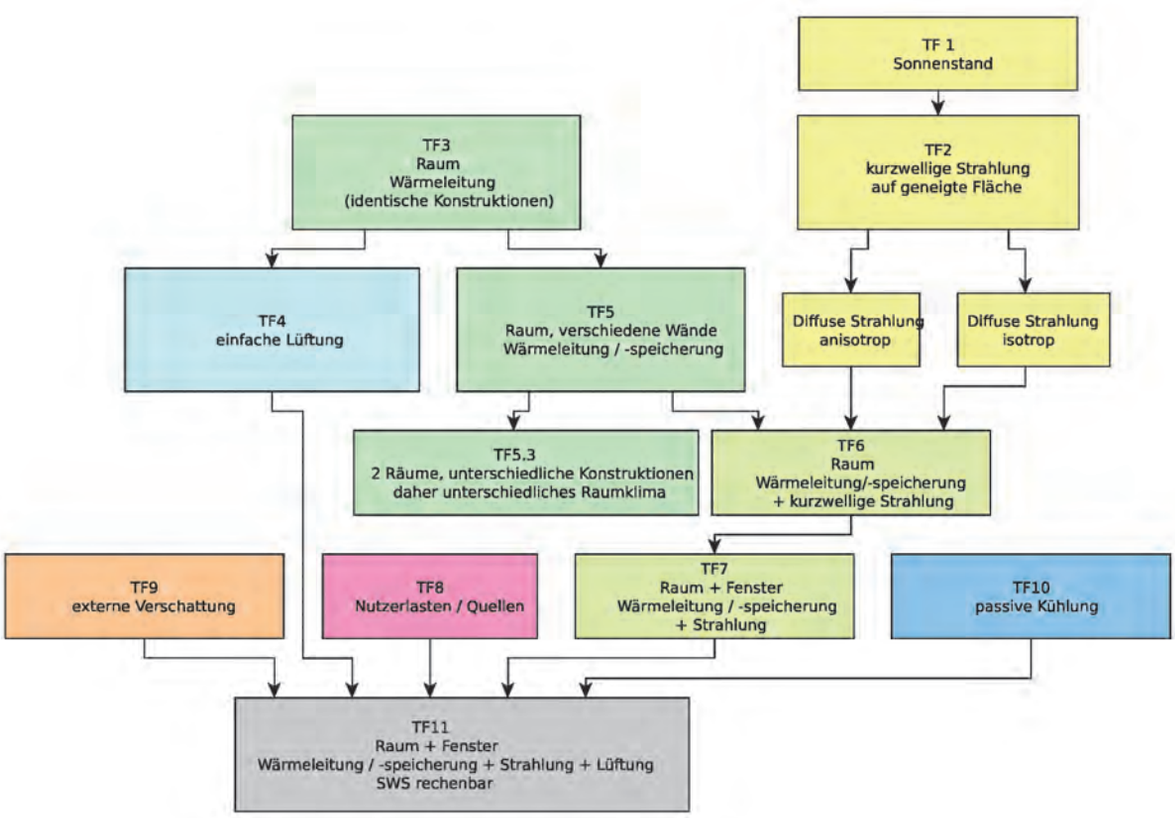
- Sommerlicher Wärmeschutz, Heiz-und Kühllast, (geplante) Unterversorgung –realistische Anlagentechnik/Gebäudeversorgung

Weg dorthin : Physikalische Effekte trennen und einzeln testen:

- Klimatische Einwirkungen (Solarstrahlung, Außentemperatur, …)
- Gebäudehülle, Wärmetransmission und -speicherung
- Lüftung, Wärmelasten, Zeitpläne
- Heizung-/Klimatisierung (ideal bis komplex)
- …

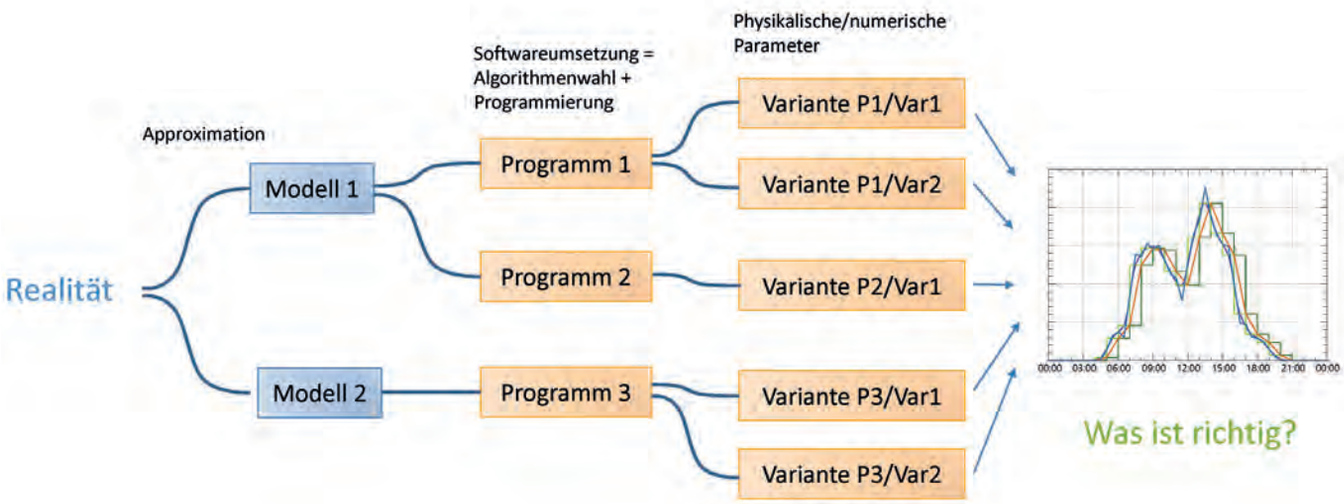
„Validierungsbaum“

- Komponententestfälle fürBerechnungsszenario„Sommerlicher Wärmeschutz“



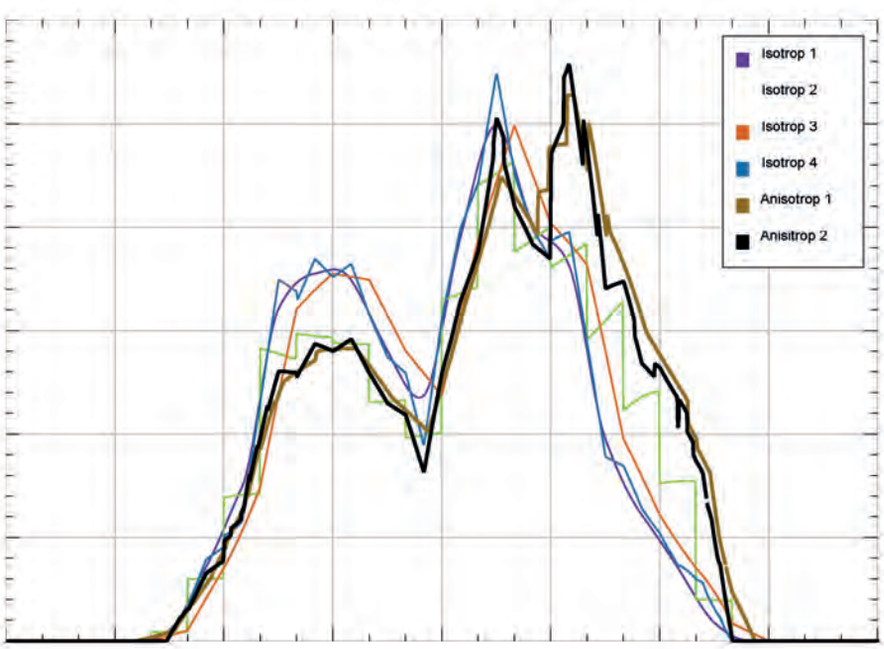
Komponententests → SimQuality-Ansatz

Problem Modellvielfalt



Beispiel: Solarstrahlung

- Isotrope / anisotrope Diffusstrahlungsmodelle
- Modellspezifische Referenzergebnisse?
- Auswirkung auf Folgevarianten?

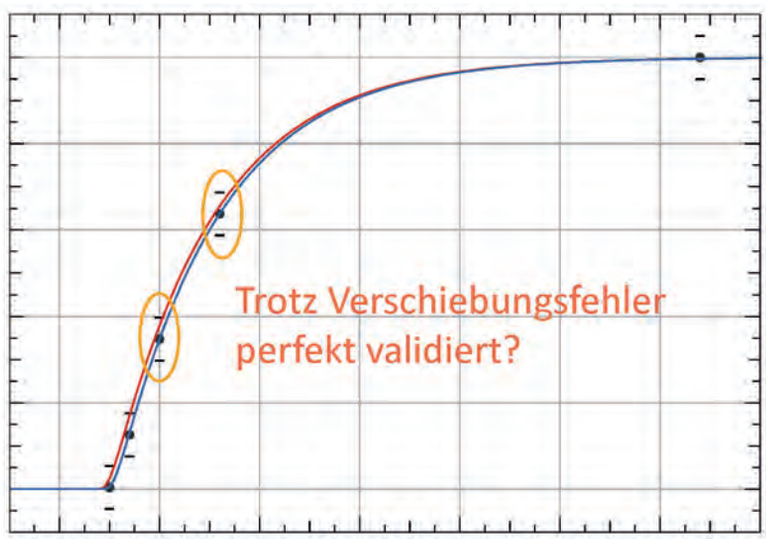


Komponententests → SimQuality-Ansatz

Beispiel: Interpretation Eingangsdaten

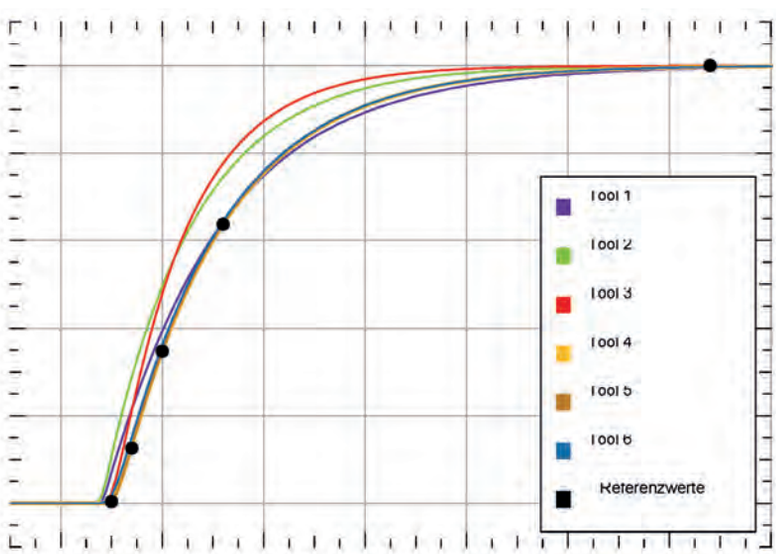
- Stundenwerte bei Eingabedaten; Mittelwerte oder Momentanwerte? Stundenanfang/Ende?

- Werden Fehler überhaupt erkannt?



- Streuung zwischen Programmen größer, als spezifische Fehler?

- **Auswertungskriterien kritisch prüfen!**



Auswertungskriterien?

Spannungsfeld : Geschwindigkeit vs. Genauigkeit:

- Bewertung für „Standard“-Einstellungen (schnelle Rechnung) und
- Bewertung für „Detaillierte“-Einstellungen
- Beide Diagramme/Kennwerte als Teil der Bewertung einesProgrammes (gute Programme haben hier geringe Unterschiede)

Genauigkeit einer Modellkomponente?

- Jede Modellkomponente beeinflusst die Ergebnisse nur zum Teil (problemabhängig)
- **Toleranz unabhängig vom Verwendungsszenario festlegen!**

Zwischenfazit Qualitätssicherung durch Validierung

- Validierung von Simulationsprogrammen ist keineswegs trivial
- Aufteilung der Komponententests schwierig, mit Hinblick auf Modellunterschiede
- Schwierigkeiten bestehen bei Festlegungen der Akzeptanzgrenzen/Toleranzen
- Auswertung **muss zeitliche Dynamik berücksichtigen,** nicht nur Summenwerte!
- Bisherige Vergleichstests zeigen auch zwischen etablierten kommerziellen Programmen **zum Teil deutliche Unterschiede** und Abweichungen von der Referenz

Qualitätssicherung durch Validierung von digitalen Planungstools ist und bleibt wichtig (wenn auch schwierig)!

Impressum

Herausgeber: Wissenschaftliche Begleitforschung ENERGIEWENDEBAUEN
RWTH Aachen University
Lehrstuhl für Gebäude- und Raumklimatechnik
Mathieustraße 10
52074 Aachen

E-Mail: begleitforschung@eonerc.rwth-aachen.de
Internet: energiewendebauen.de
Autoren: Wissenschaftliche Begleitforschung

Gefördert durch:

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Bildquellen wenn nicht explizit anders angegeben Wissenschaftliche Begleitforschung.

Für den Inhalt und das Bildmaterial der einzelnen Beiträge tragen alleine die Autoren die Verantwortung.
Alle Rechte vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf in irgendeiner Form (Druck, Fotokopie oder in einem anderen Verfahren) ohne schriftliche Genehmigung des Herausgebers reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

ISBN: 978-3-948234-92-8