



Historischer Baubestand im Spannungsfeld der CO₂-Diskussionen

Foto: Elektrizitätswerke Schönau
1997 war das „Schönauer Schöpfungsfenster“ die erste Photovoltaik-Anlage auf einem Baudenkmal in Baden-Württemberg

Klimaneutrale Gebäude & Quartiere: Bedarf an Lösungen für Neubau und Baubestand



Quartiere der Zukunft?

Visionen und Wirklichkeit

Beispiel Panasonic-City, Tokio

© Panasonic



Gebaute Realität!

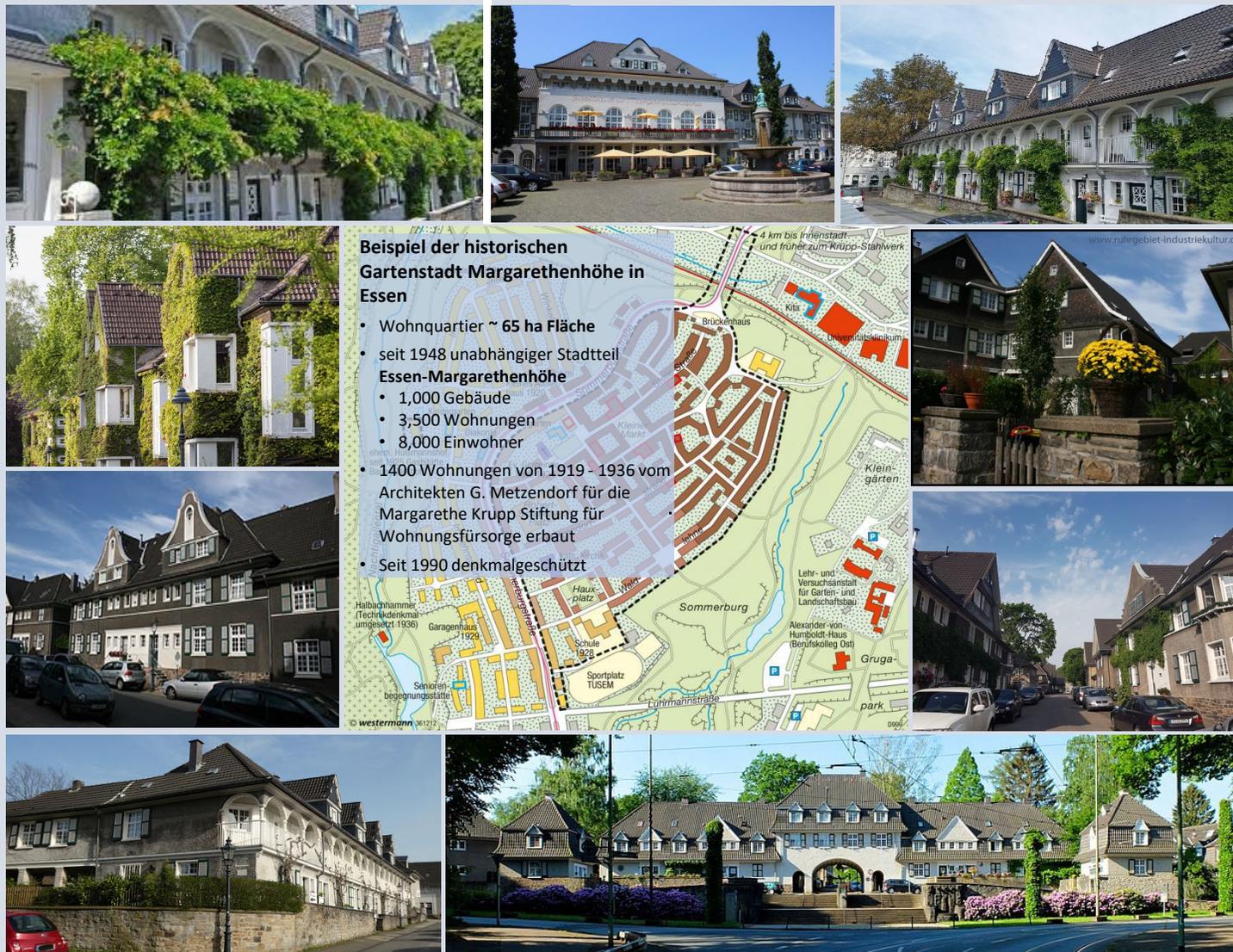
Mix aus Altem und Neuem –
eine besondere Herausforderung,
Energiewende hier umzusetzen
Bsp. Luftbild Eguisheim



Quelle: <https://www.bfd.bayern.de>

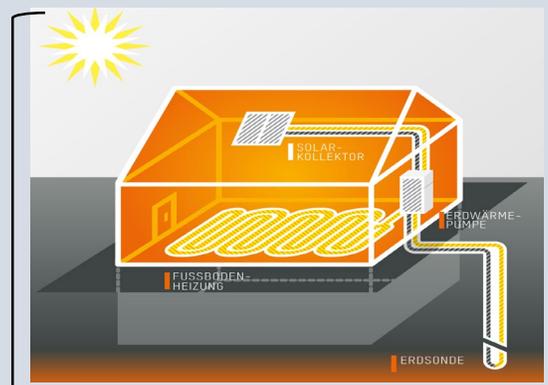


Universität Stuttgart und Partner aus Wissenschaft und Baupraxis



Beispiel der historischen Gartenstadt Margarethenhöhe in Essen

- Wohnquartier ~ 65 ha Fläche
- seit 1948 unabhängiger Stadtteil Essen-Margarethenhöhe
- 1,000 Gebäude
- 3,500 Wohnungen
- 8,000 Einwohner
- 1400 Wohnungen von 1919 - 1936 vom Architekten G. Metzendorf für die Margarethe Krupp Stiftung für Wohnungsfürsorge erbaut
- Seit 1990 denkmalgeschützt



?

Notwendigkeit denkmalverträglicher Lösungen für den historischen Baubestand unter Einbezug von lokal verfügbaren erneuerbaren Energien



Margarethe
Krupp
Stiftung



Klimaneutralität im denkmalgeschützten Baubestand - Energieoptimiertes Quartier Margarethenhöhe Essen (EnQM)

- denkmalverträgliche energetische Ertüchtigung der Gebäudehülle
- Modernisierung der anlagentechnischen Systeme
- Einbezug von erneuerbaren Energien
- digitale Vernetzung aller Systemkomponenten
- Betriebsoptimierung und -evaluierung

Ganzheitlicher Ansatz, um Ziele der Energiewende bis 2045 im Quartier umzusetzen



Quelle: <https://www.ebp.ch>



Gefördert durch:



Forschung für
energieoptimierte
Gebäude und Quartiere



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestags



Energieoptimiertes Quartier Margarethenhöhe - Phase I und II

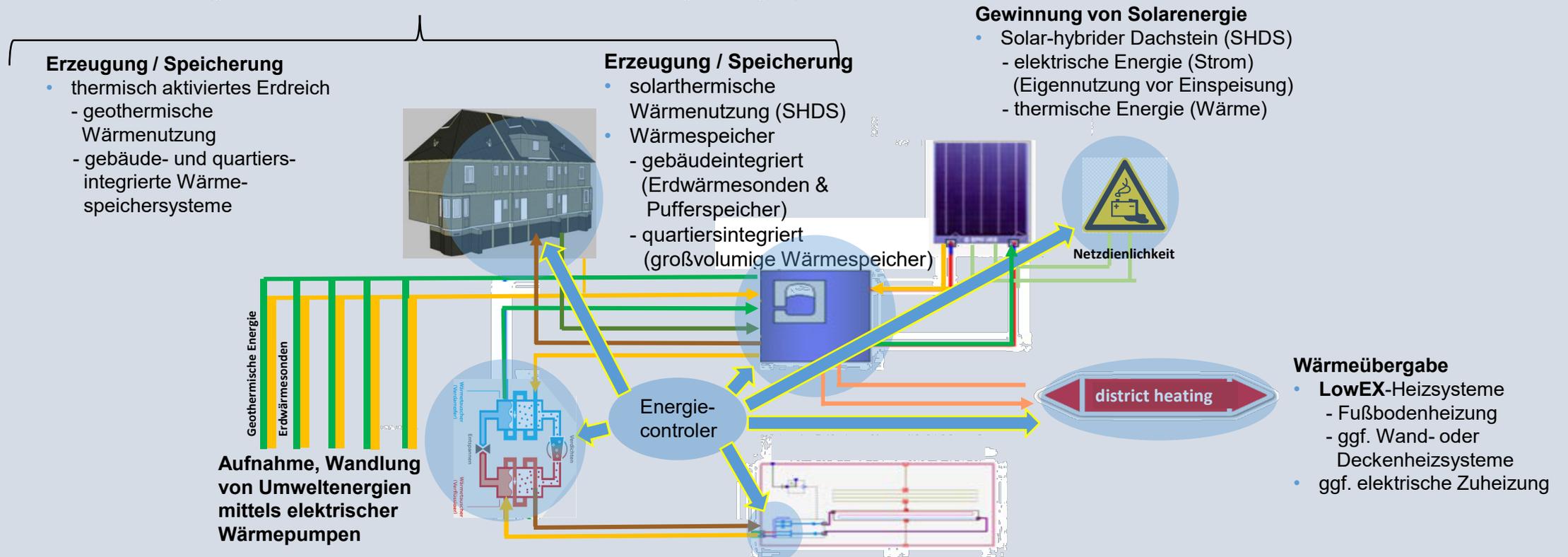
- Denkmalgerechte Verbesserung der Gebäudehülle
- Anlagentechnische Modernisierung
- Energieeinsparung und Verbesserung des Wohnkomforts
- Erneuerbare Energien ins Quartier einbinden
- Energetische Potenziale durch digitale Vernetzung im Quartier nutzen
- Erprobung und Bewertung am Bauwerk

→ Ganzheitliches Konzept zur Umsetzung der Energiewende in Bestandsquartieren



Schlüsseltechnologien Energieversorgung: Erzeugen, Speichern, Nutzen und Teilen von lokalen Erneuerbaren

Thermische Aktivierung der Dachsteine
und thermische Aktivierung des Bodens (Erdwärmesonden) zur
Erzeugung und Speicherung von Erneuerbaren
(geothermische, solar-thermische and elektrisch erzeugte Energien)



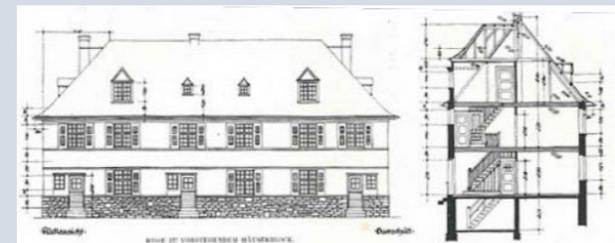
Simulative Parameterstudie mit ganzheitlichem Ansatz

Analysen mittels dynamischer Gebäudesimulation, CFD-Simulation und ökologischer Bilanzierung

- Erfassen und Bewerten der Energiebedarfe und –angebote aus erneuerbaren Energien
- Identifikation von Überschüssen und Defiziten
- Auswahl von Komponenten für ganzheitliches Energiekonzept (elektrische und thermische Erzeuger, Energiespeicher, thermische Aktivierung vorhandener Blockreservoirien zur Gewinnung bzw. Speicherung von Wärme, Ankopplung an Fernwärme, Geothermie, Einsatz kaskadierte Wärmepumpensysteme etc.)
- Entwicklung verschiedener Energiekonzepte
- Identifikation veränderbarer Parameter hinsichtlich energetischer und ökologischer Aspekte (Innendämmung, Raumtemperatur, etc.)
- Analyse des Einflusses durch Änderung einzelner sowie mehrerer Parameter



Energetische Gebäudeanalyse mit thermischer Gebäudesimulation



	Objekt A
U-Wert [W/m ² K] durch Dämmung	Außenwand: 0,54, Fußboden EG:0,57/ 0,66
Beheizte Fläche	393 m ²
Wärmeverbraucher	Fußbodenheizung (VL _{max} 35 °C)
Warmwasser	Kombiniert: Frischwasserstation mit Durchlauferhitzer
Wärmepumpe (alpha innotec)	22,35 kW
Erdsonden	5 EWS je 100 m, Abstand: 6 m



a) Referenz



b) Ist-Zustand



c) Sanierung HK



d) Sanierung FBH

Bau- und anlagentechnische Maßnahmen



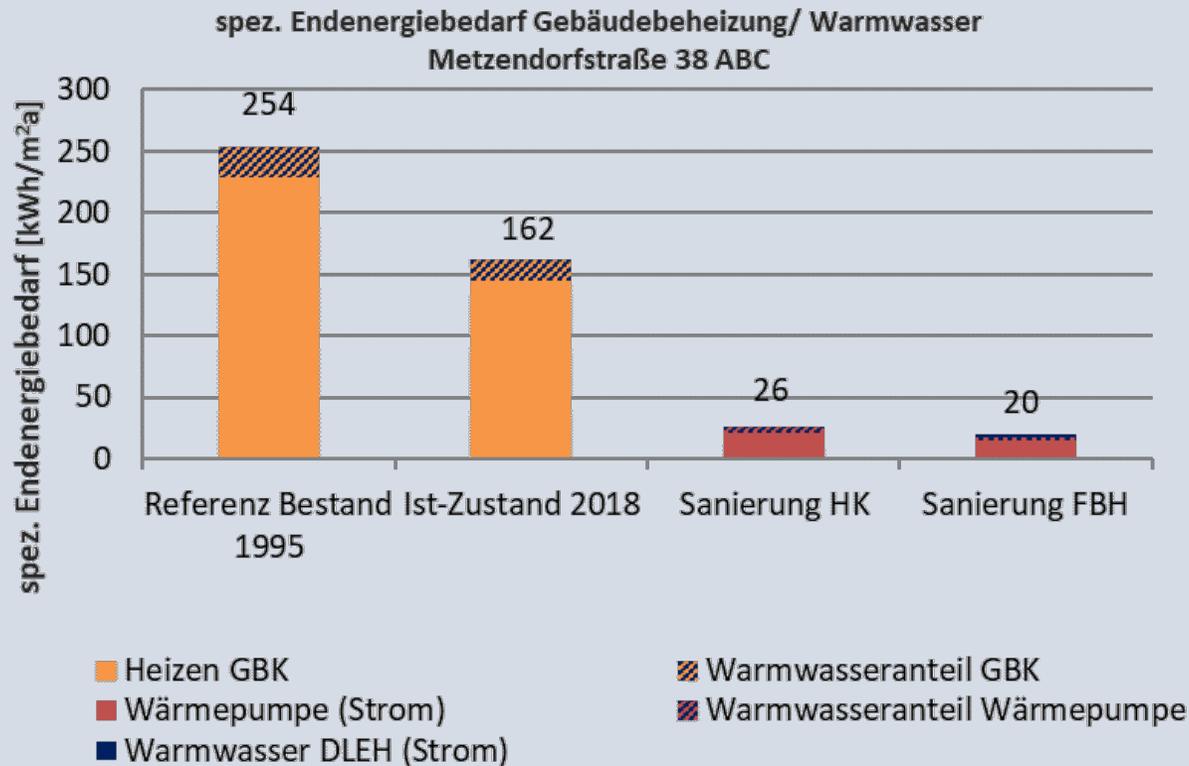
	Referenz 1995	Ist-Zustand 2018	Sanierung & Heizkörper (HK)	denkmalgerechte Sanierung & Fußbodenheizg. (FBH)
Beheizte Fläche	249	393	393	393
Anzahl der Bewohner/Nutzer [Anzahl Personen] (VDI 6002-1)	9,3	10,2	10,2	10,2
Max. Vorlauftemperatur [°C]	70	70	45	35
Warmwasser [°C]	60	60	45	45
Beleuchtung und Verbraucher [kWh]	6400	8900	8900	8900
Wärmeerzeugung [kWh]	51070	51090	8500	6704
Warmwasserbereitung [kWh]	5760	6180	1560	940
Gesamtwärmeerzeugung [kWh]	56830	57270	10060	8020
Gesamter geothermischer Wärmebezug [kWh]	-	-	33640	30050
Gesamtenergieaufnahme [kWh]	63230	66170	52600	46970

Bei Wärmepumpenbetrieb auf Basis von Erneuerbaren mit COP > 5

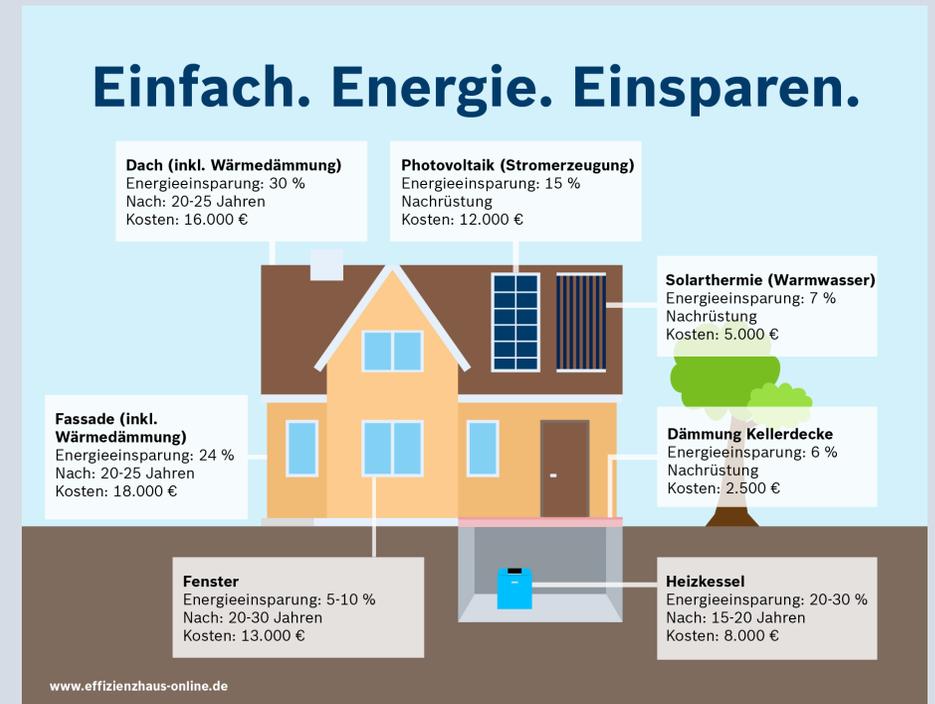
Gesamtwärmebedarf = 38.000 kWh_{th} = 30.000 kWh aus Erneuerbaren und 7.500 kWh Strom → PV

Variante	Objekt A
Wärmeübergabe	Fußbodenheizsystem (FBH) mit Vorlauftemperatur von max. 35 °C
Warmwasser	Kombination: WP und Durchlauferhitzer
Wärmepumpe	SW 232 H3: 22,35 kW _{th}
Erdwärmesonde	5 Erdwärmesonden jede 100 m mit Abstand von 6 m

Überblick spezifischer Endenergiebedarf

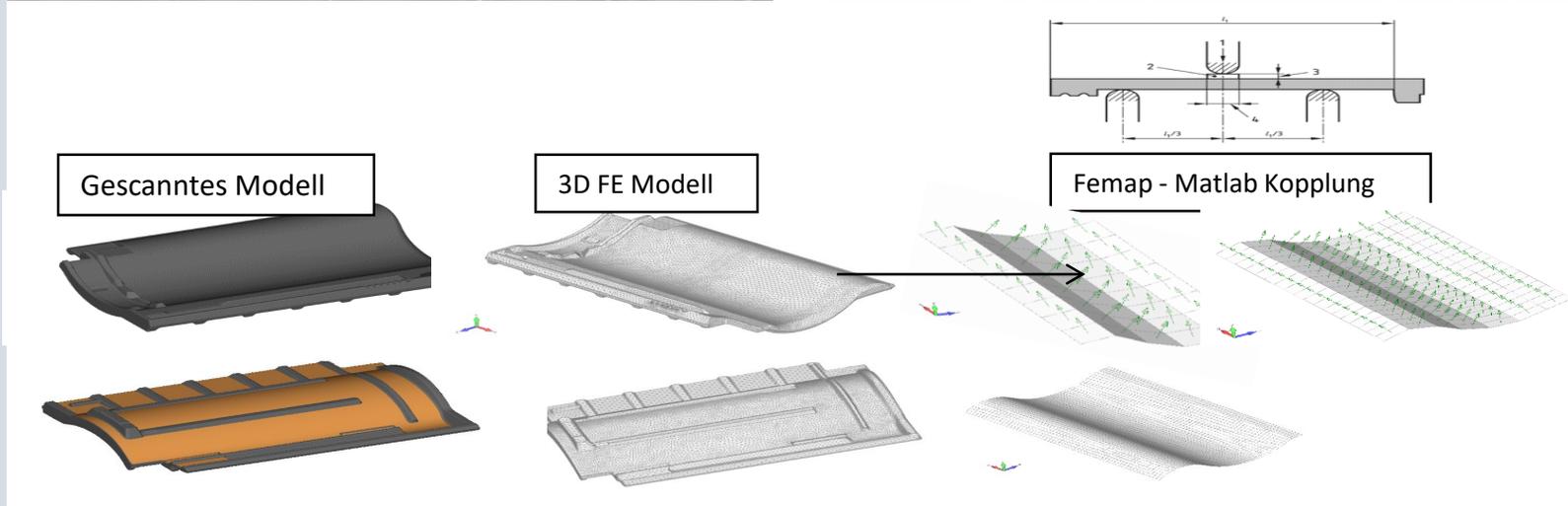
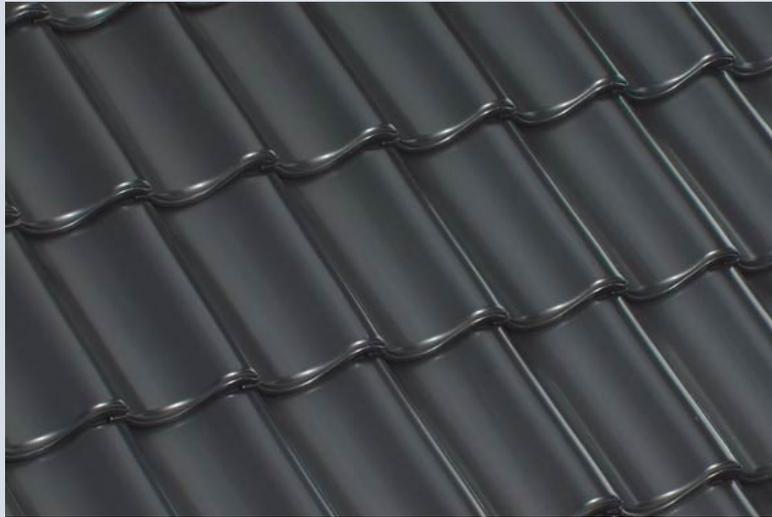


Im Vergleich zu Referenzvariante (spez. Endenergiebedarf von 254 kWh/m²a) sinkt bei Sanierungsvariante mit FBH, Erdwärmesonde, WP, Solardachstein) auf einen spez. Endenergiebedarf von 20 kWh/m²a → ca. **92 % Einsparung**



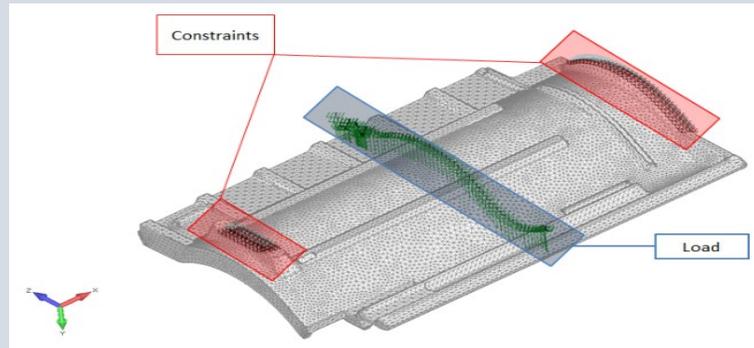
Ja, Suche nach denkmalverträglichen Lösungen im ganzheitlichen Versorgungsansatz mit Erneuerbaren

Vom Normaldach zum Energiegewinndach

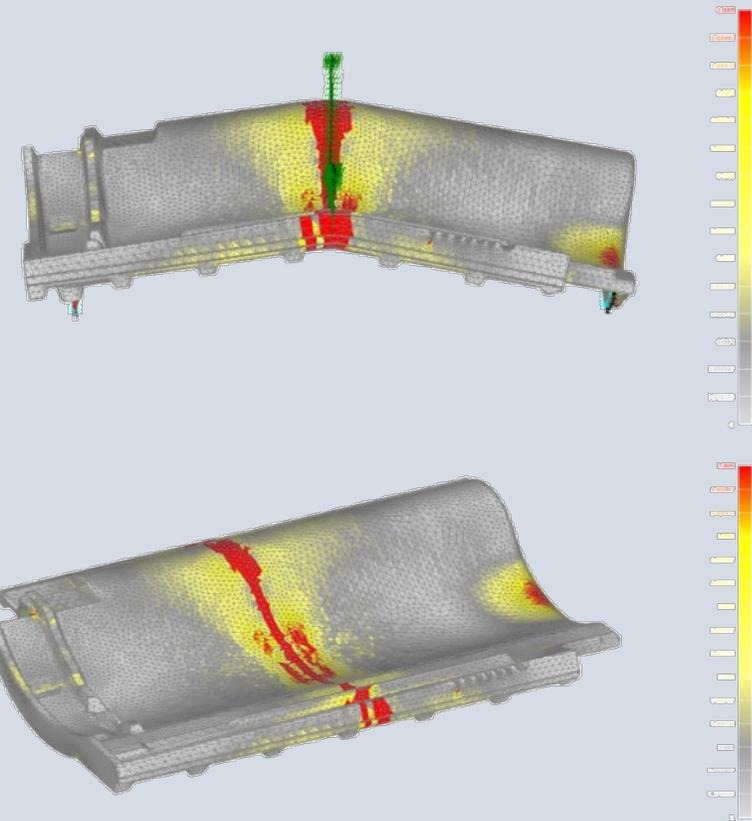


Geometrieoptimierung und Performanceanalyse

Randbedingungen



Bruchverhalten unter mechanischer und thermischer Last



Lastverformungskurve



Thermische Aktivierung der Betondachsteine



Thermische Aktivierung von Dach- und Wandbauteilen

- zur solarthermischen Wärmegewinnung
- zur Umweltwärmegewinnung
(Massivabsorber)

Koppelung mit Erdwärmekollektoren Bzw. Erdwärmesonden

- zur Steigerung der Effizienz von WP, da neben
solarthermischer Wärme auch
geothermische
Wärme von WP genutzt werden kann
(Winter)
- zur Regeneration des Erdreichs im Sommer

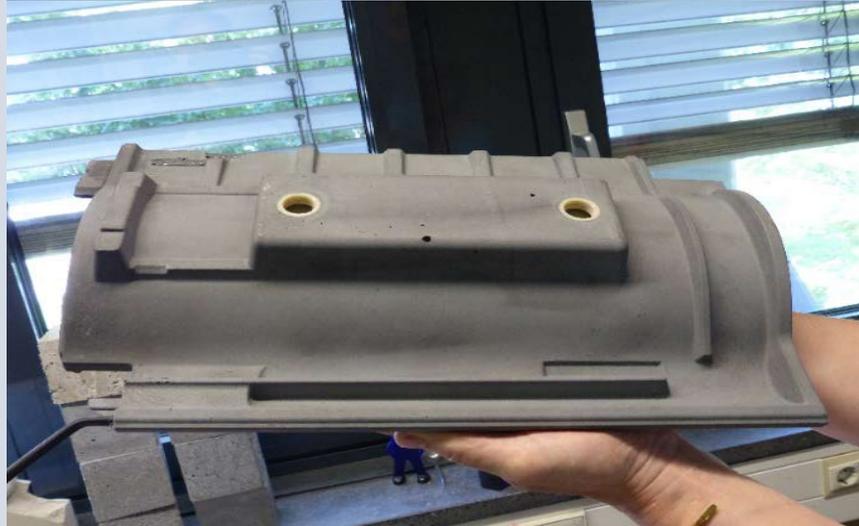


Quelle: Fa. Noventec

noventec[®]
Regenerative
Heizungs- & Energiesysteme



Die Idee: „solar-hybrider Dachstein (SHDS)“



Bemusterung mit der Denkmalpflege mit anerkennendem Erfolg werden

→ an 5 Gebäuden dürfen in Abstimmung mit Denkmalpflege alle im Verbundvorhaben entwickelten Maßnahmen umgesetzt

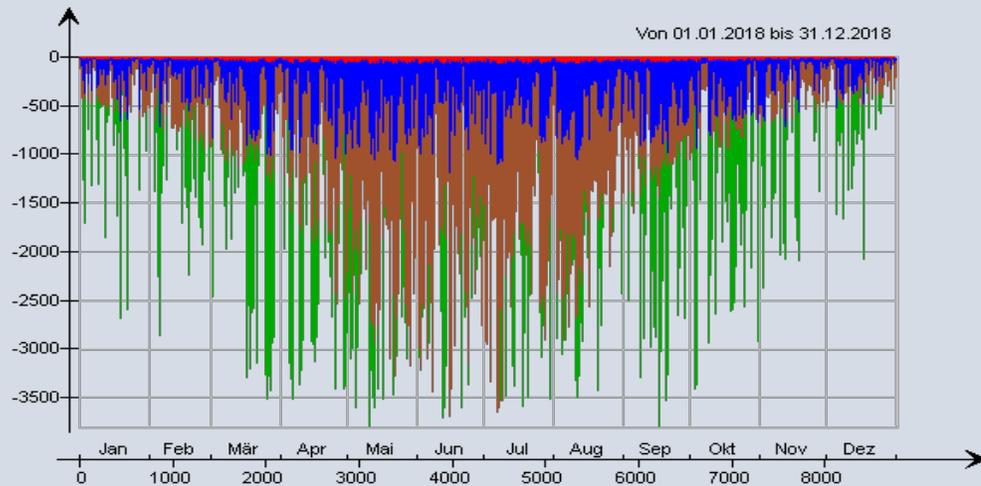


Erfolgreiche Bemusterung
am 19. August 2021

Umsetzung aller Maßnahmen:

1. Demonstrationsgebäude
 - Fertigstellung bis Ende Juli ohne SHDS
 - mit SHDS im November 2022
2. bis 5. Demonstrationsgebäude
 - April bis Juli 2023

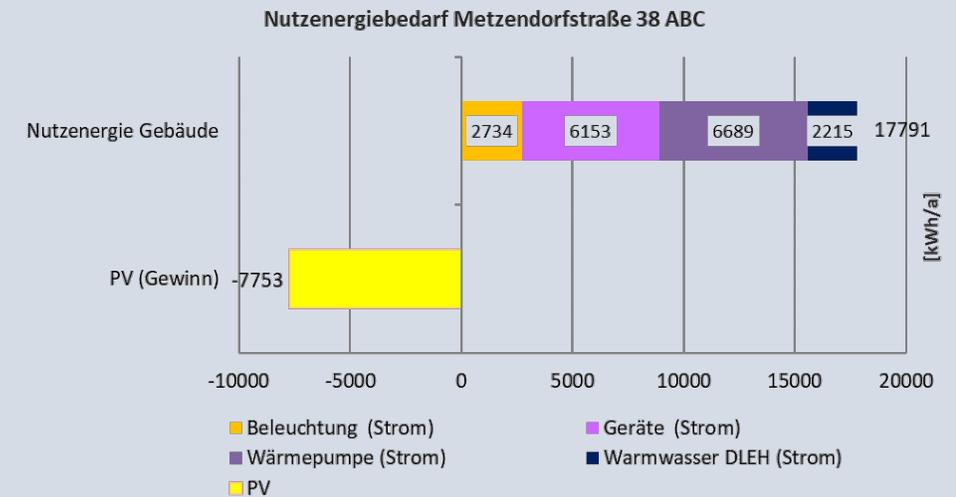
Warum hybrider Solardachstein aus Hochleistungsfeinkornbeton?



- 60° 13 qm, W
- 150° 83 qm, W
- 240° 13 qm, W
- 330° 83 qm, W

Leistung der Dachflächen je nach Ausrichtung

Bilanzielle Übersicht über die jährlichen elektrischen Energiegewinne und –verbräuche



Elektrischer Energieertrag der PV für die verschiedenen Dachausrichtungen

Ausrichtung	NO (60°)	SO (150°)	SW (240°)	NW (330°)
Fläche [m ²]	13	83	13	83
Leistung [kWh/a]	67	3516	965	3205
Spezifische Leistung [kWh/ m ² a]	5,2	42,4	74,2	38,6

Manufakturartige Herstellung der solarhybriden Dachsteine

Produktionsanlage
am IWB-Technikum



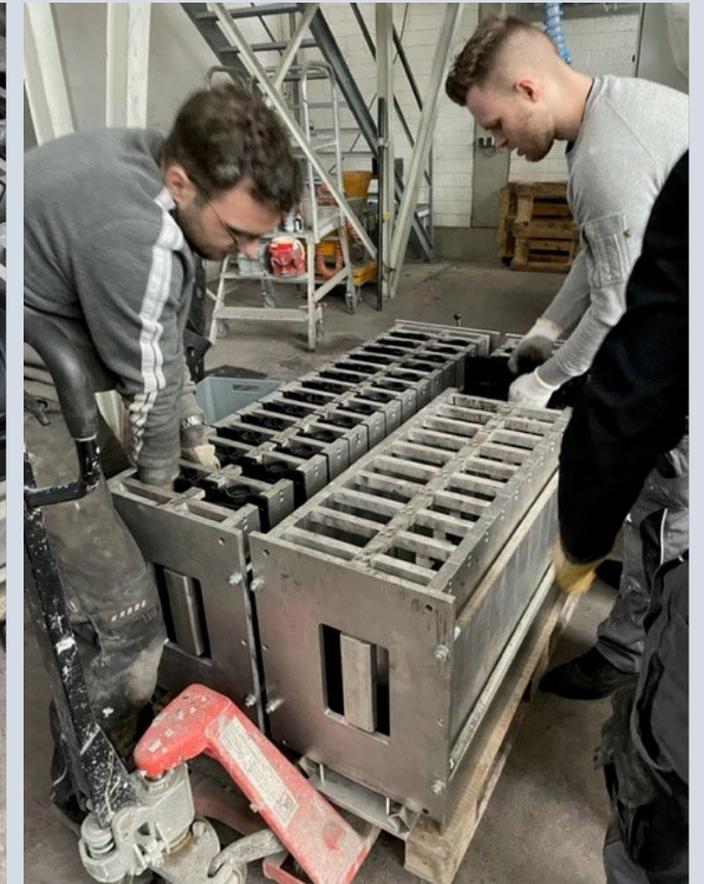
Einige Impressionen zur aktuell manufakturartigen Herstellung der solarhybriden Dachsteine

Von der 3D-Einzelschalung hin zur Batterieschalung ...



Einige Impressionen zur aktuell manufakturartigen Herstellung der solarhybriden Dachsteine

Vorbereiten und Zusammenbau der Blisterschalen nebst deren Einbau in Alurahmensystem der Batterieschalung



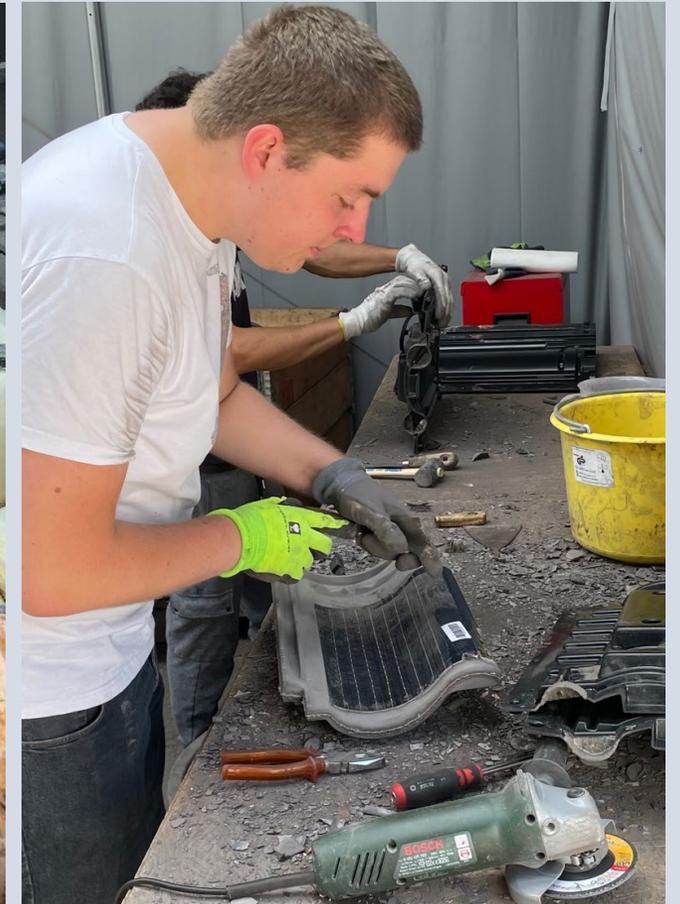
Einige Impressionen zur aktuell manufakturartigen Herstellung der solarhybriden Dachsteine

Entlüften des SVB-Gemisches
und Verfüllen der Schalung



Einige Impressionen zur aktuell manufakturartigen Herstellung der solarhybriden Dachsteine

Entschalen,
Reinigen der
SHDS und der
Schalung



Einige Impressionen zur aktuell manufakturartigen Herstellung der solarhybriden Dachsteine

Aufhübschen,
Verpacken und
Versand



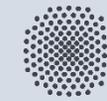
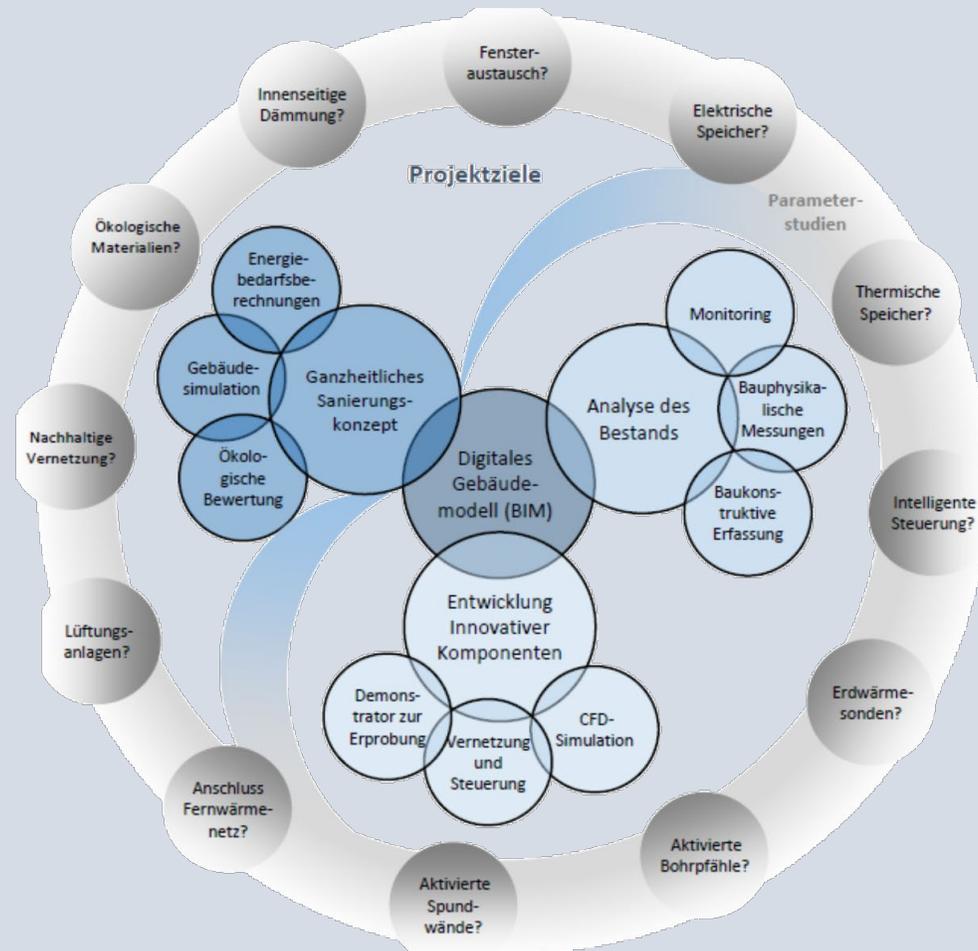
Simulative Parameterstudie mit ganzheitlichem Ansatz

Analysen mittels dynamischer Gebäudesimulation, CFD-Simulation und ökologischer Bilanzierung

- Erfassen und Bewerten der Energiebedarfe und –angebote aus erneuerbaren Energien
- Identifikation von Überschüssen und Defiziten
- Auswahl von Komponenten für ganzheitliches Energiekonzept (elektrische und thermische Erzeuger, Energiespeicher, thermische Aktivierung vorhandener Blockreservoirien zur Gewinnung bzw. Speicherung von Wärme, Ankopplung an Fernwärme, Geothermie, Einsatz kaskadierte Wärmepumpensysteme etc.)
- Entwicklung verschiedener Energiekonzepte
- Identifikation veränderbarer Parameter hinsichtlich energetischer und ökologischer Aspekte (Innendämmung, Raumtemperatur, etc.)
- Analyse des Einflusses durch Änderung einzelner sowie mehrerer Parameter



Simulative Parameterstudie mit ganzheitlichem Ansatz



Universität Stuttgart
Institut für Werkstoffe im Bauwesen



© Institut für Werkstoffe im Bauwesen, Universität Stuttgart

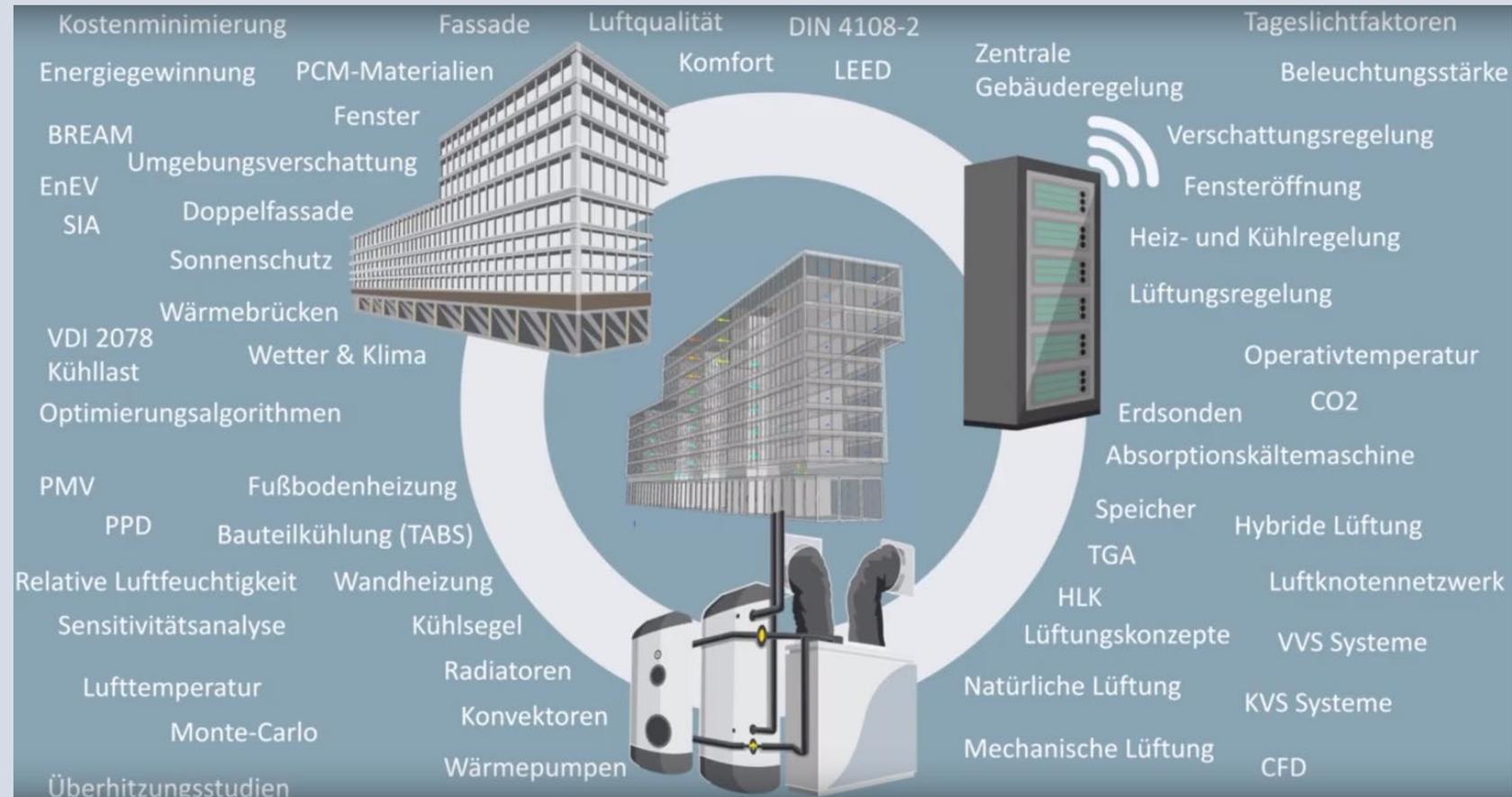
Forschungen und Entwicklungen der Universität Stuttgart und Partner aus Wissenschaft, Bau- und Denkmalpraxis | „Denk mal CO₂-neutral“



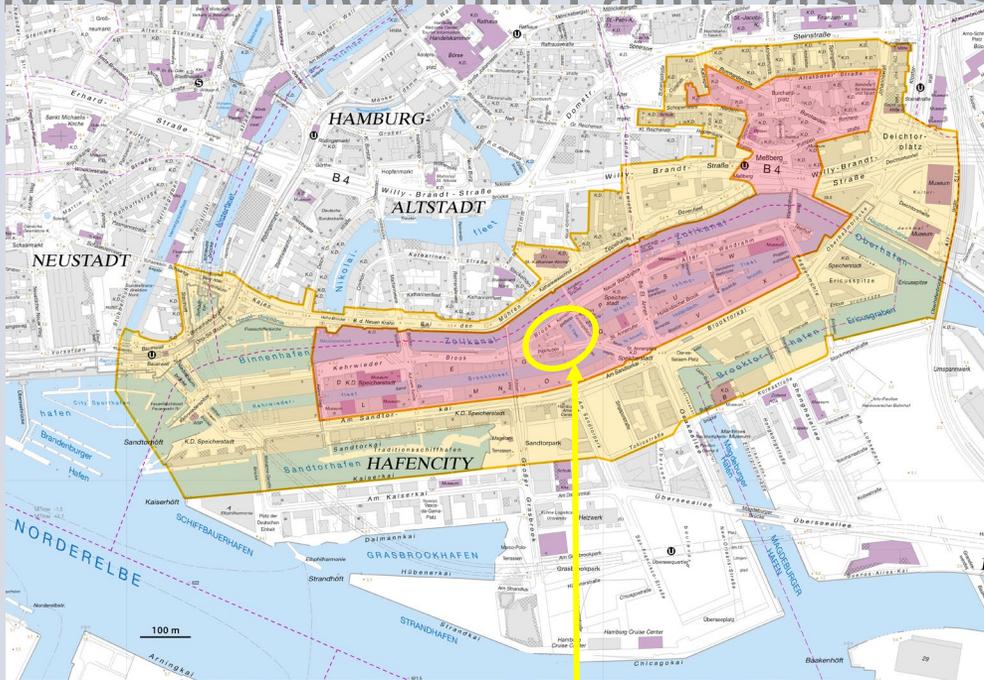
Grundlagen - Thermische Gebäudesimulation

Dynamische Gebäude-simulation mit IDA ICE

- Beachtung externe und interne Einflüsse auf das Gebäude
- Dynamische, detaillierte Berechnungen der Kombinationen aus Gebäudehülle, Systeme und Regelung
 - Virtueller Prüfstand
 - Senkt Investitions- und Betriebskosten
 - Sicherstellung des Wohnkomforts



Quelle: EQUA https://www.youtube.com/watch?v=rDUPjHy_k8



CO₂-neutrales Welterbe Speicherstadt Hamburg

„0-CO₂-WSHH“

Phase I (12.2021 – 9.2024)



Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz

Verbundkoordinator:



wissenschaftliche Leitung:



Universität Stuttgart
Institut für Werkstoffe im Bauwesen

antragstellende Partner:



assoziierte Partner:



Behörde für Kultur und Medien



Behörde für Umwelt und Energie

u.v.w. Partner im Unterauftrag



Neue Herausforderungen bei der Entwicklung und Erforschung von denkmalverträglichen Lösungen für den historischen Baubestand



CO₂-Neutralität mit denkmalangepassten Maßnahmen zur energetischen Ertüchtigung und Modernisierung unter Einbezug von erneuerbaren Energien

- denkmalverträgliche Ertüchtigung der Gebäudehülle
- Modernisierung der anlagentechnischen Systeme
- Einbezug von lokal anstehenden erneuerbaren Energien
- digitale Vernetzung aller Systemkomponenten
- Betriebsoptimierung und Evaluierung des Systemansatzes
- ganzheitliche ökologische Bilanzierung

ganzheitlicher Ansatz, um Zielsetzung der HHLA, die Klimaneutralität bis 2040 im Quartier umzusetzen, zu unterstützen



LowEx-Systemansatz im Vorhaben „0-CO₂-WSHH“

Bruttogeschossfläche der 15 Speicherblöcke der Speicherstadt umfasst ca. 450.000 m², von denen etwa 300.000 m² vermietet sind.

Wärmebedarf:

Jahresendenergieverbrauch der gesamten Speicherstadt ca. 15.000 MWh_{th}.

Potenzial der lokal verfügbaren erneuerbaren Energien

Dachflächen der Speicherstadt > 60.000 m²

Konservativer Ansatz (denkmalgerechte Lösung) für Umweltwärmegewinn:

- thermisch 300 kWh_{th}/m²a (theor. 350 bis 500 kW_{th}/m²) > 18.000 MWh_{th}
- elektrisch 80 kWh_{el}/m²a (theor. 100 bis 180 kW_{th}/m²) > 4.800 MWh_{th}

Aber: Wärme steht nur bedingt in der Heizperiode zur Verfügung

Um CO₂-neutralen Energieversorgungsansatz zu realisieren, **innovative Erzeuger-Speicher-Kopplungen**, damit lokal anstehende **Solar- und Umweltwärme** bestmöglich **genutzt und gespeichert** werden kann.



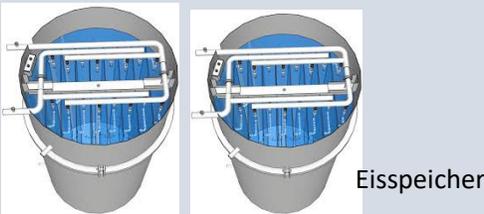
Universität Stuttgart und Partner aus Wissenschaft und Baupraxis

Systemansatz und Komponentenentwicklung

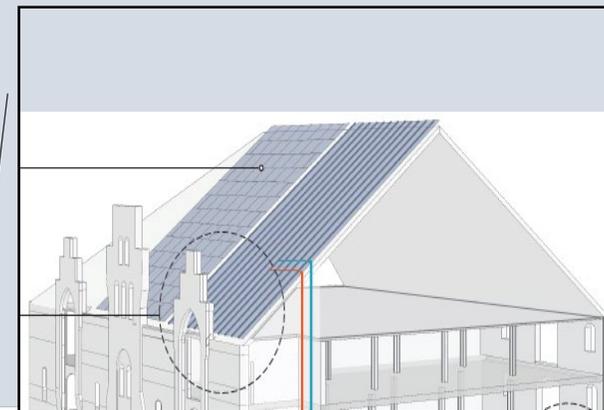
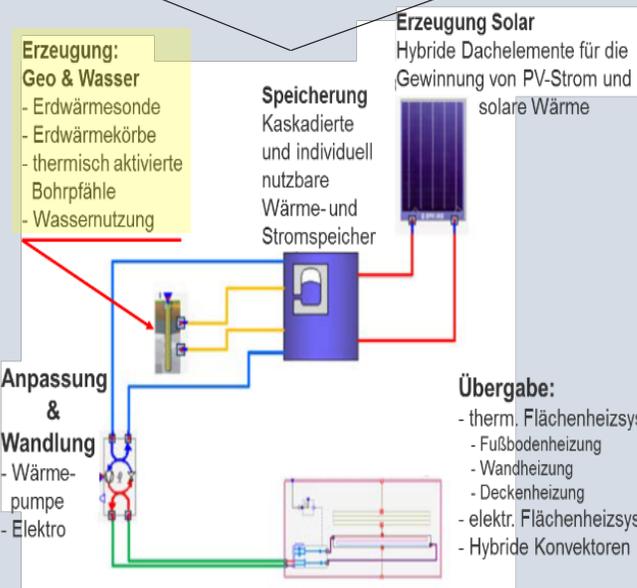
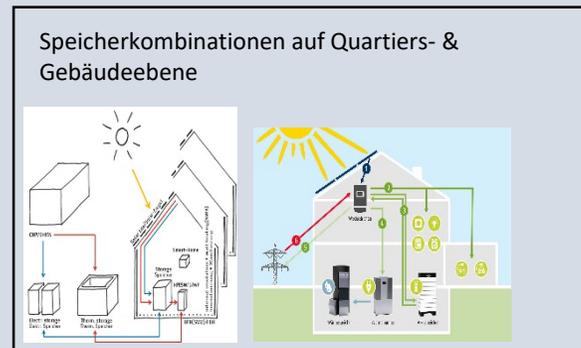
Kaskadierte und gestapelte Aufstellung thermisch aktivierter Speicherblöcke aus Öko-Beton



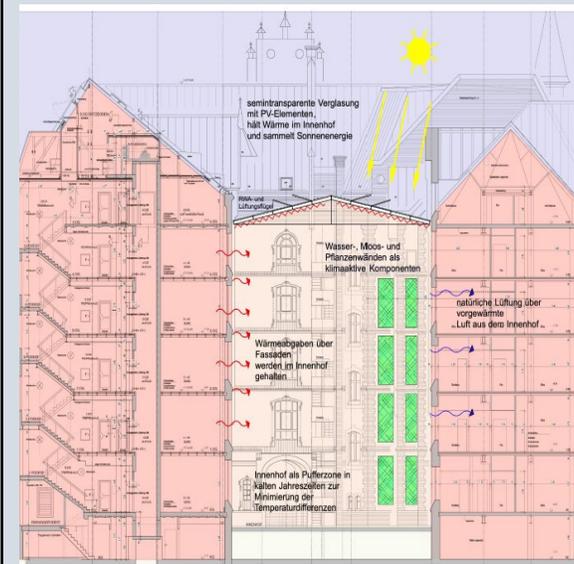
Sprinklerbecken



Eisspeicher



Hybride Solardachsysteme ?



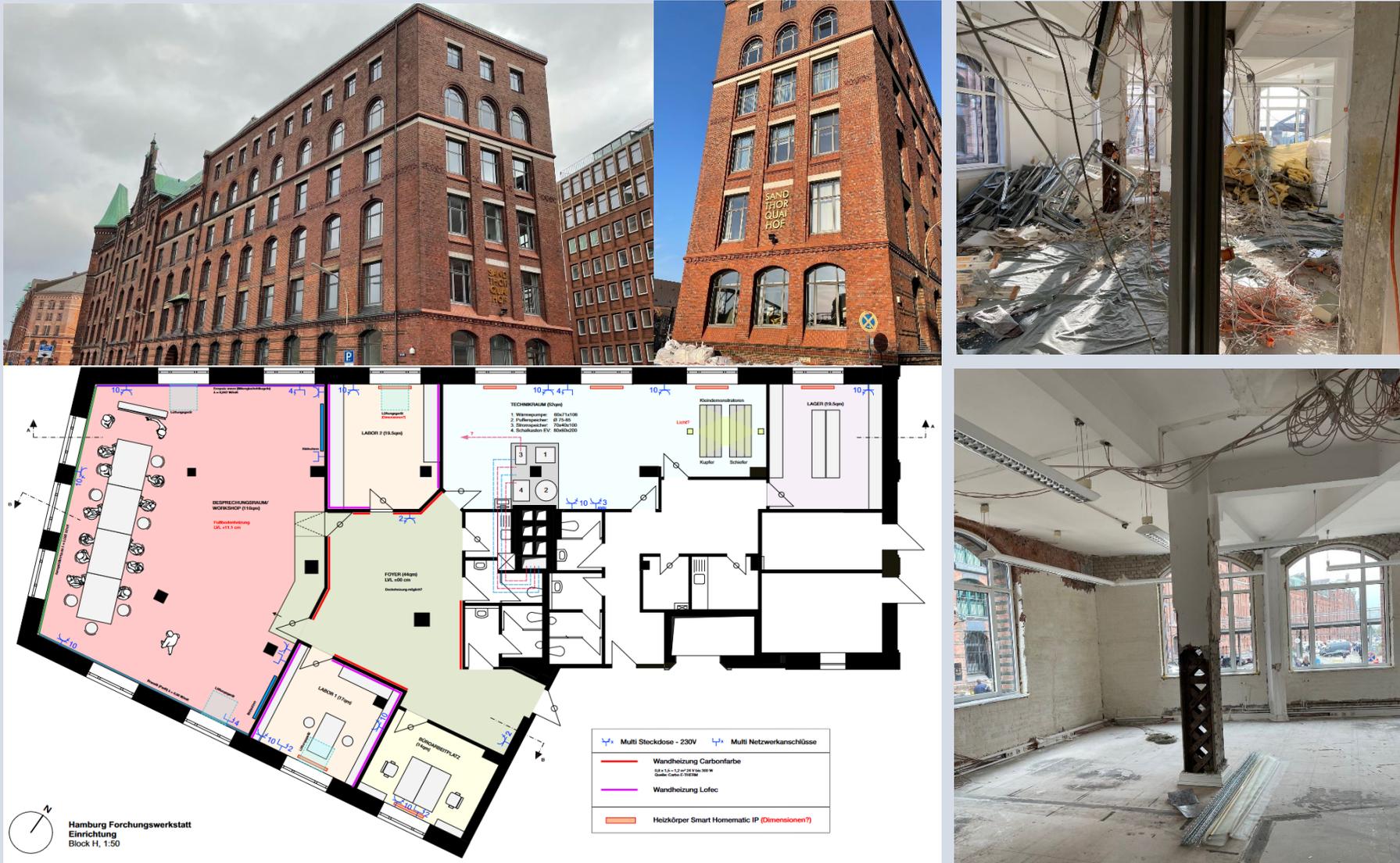
Energiegarten ?

Wärmepumpe (z.B. ecoGEO)



Universität Stuttgart und Partner aus Wissenschaft und Baupraxis

Forschungswerkstatt „0-CO2-WSHH“ – alles zum Anfassen



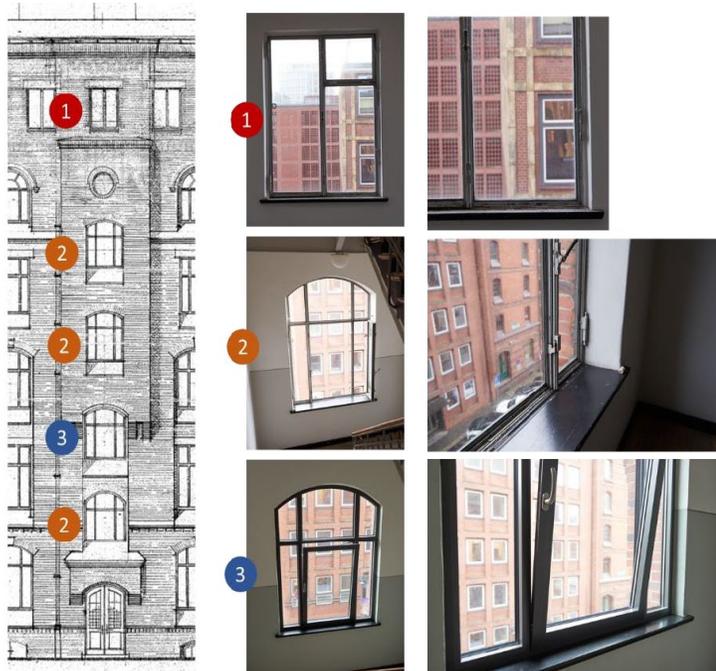
Forschungen und Entwicklungen der Universität Stuttgart und Partner aus Wissenschaft, Bau- und Denkmalpraxis | „Denk mal CO₂-neutral“





Treppenhaus

- alle Fenster bis auf Podest 2 sind augenscheinlich aus Wiederaufbau oder original
- Fenster haben Einscheibenverglasung mit Metallrahmen
- Fenster auf Podest 2 ist aus 2014 doppelverglast und Metallrahmen analog zu Fenstern in Forschungswerkstatt



Bauwerkanalysen

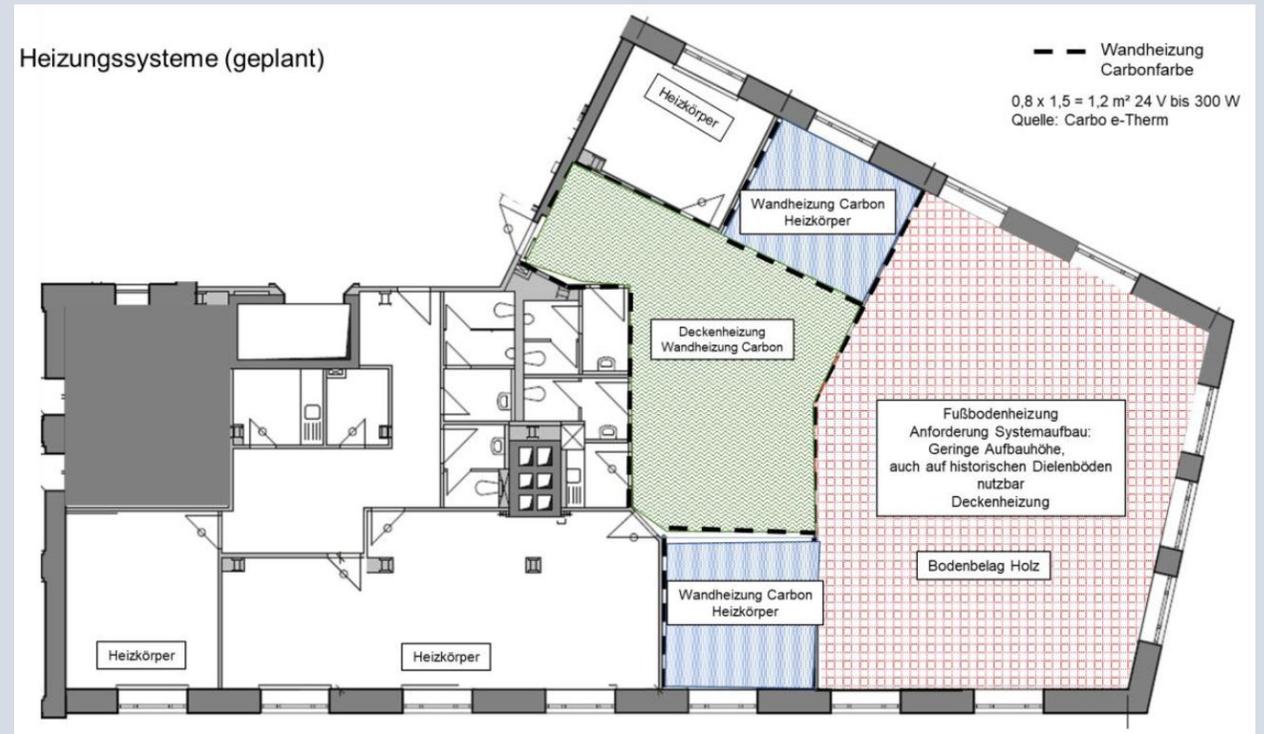
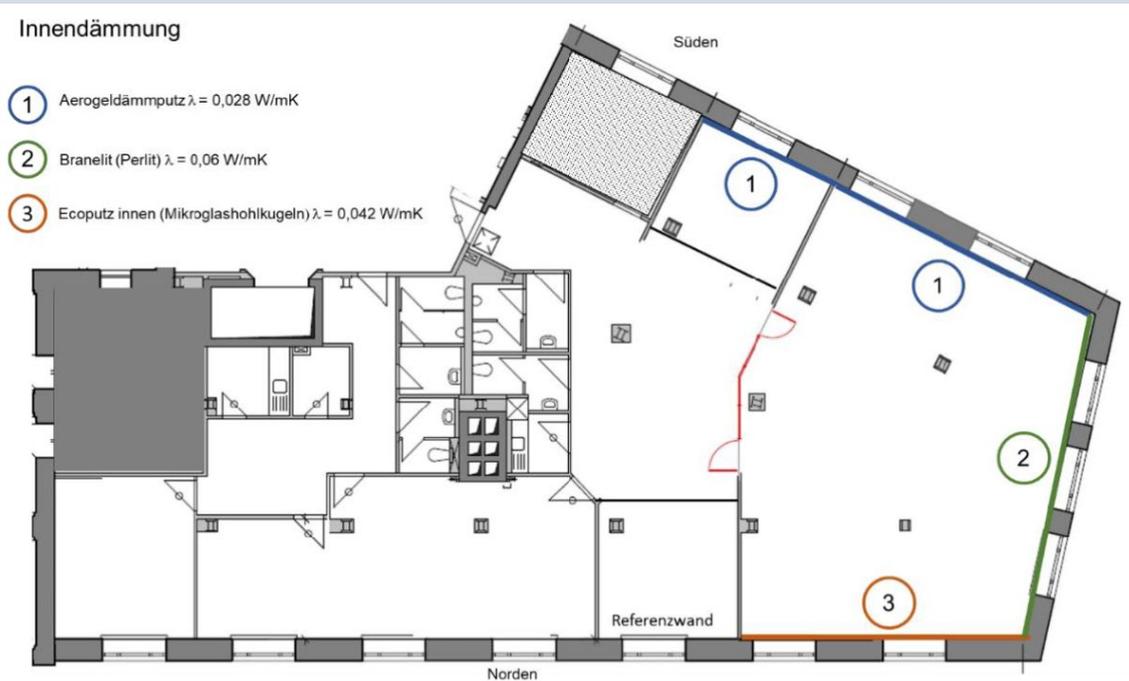
Speicherblock H

Laufende Bestandserfassung und messtechnische Untersuchungen

- Geometrieerfassung (Bestandspläne, 3D Laserscanning)
- Analyse des konstruktiven Aufbaus aller typischen Wand-, Decken-, Dach- und Kellerbodenkonstruktionen in allen Häusern des Speicherblocks H
- Fenstereinbausituation (Art, Zustand und Anschlussdetail)
- Schadenskartierung (Art, Intensität und Ursache der Schädigung)
- Luftdichtheit (Nutzereinheiten/Gebäude)
- Wärmeflussmessungen an ausgewählten Stellen
- Materialcharakterisierung
- Klima- und Bauteilmonitoring



Erprobung diverser Innendämmputze und Flächenheizsysteme



Aktuelle Entwicklungen zu solarhybriden Dachsystemen - Kupferblechnachbildung



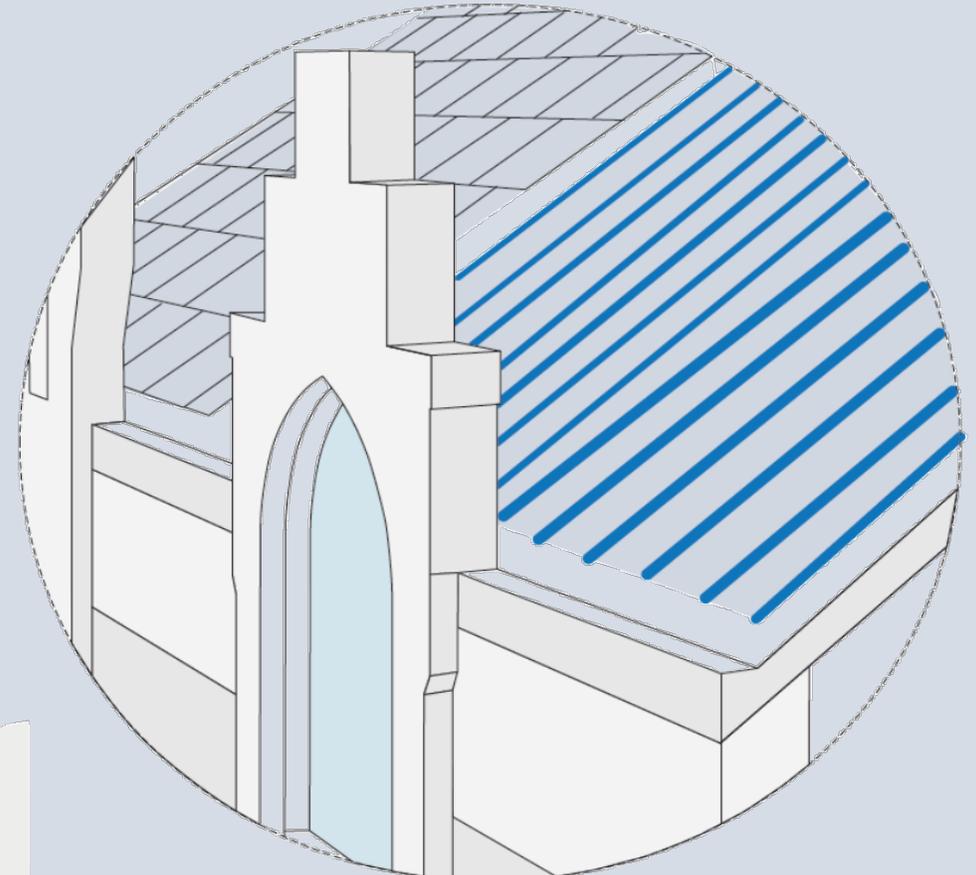
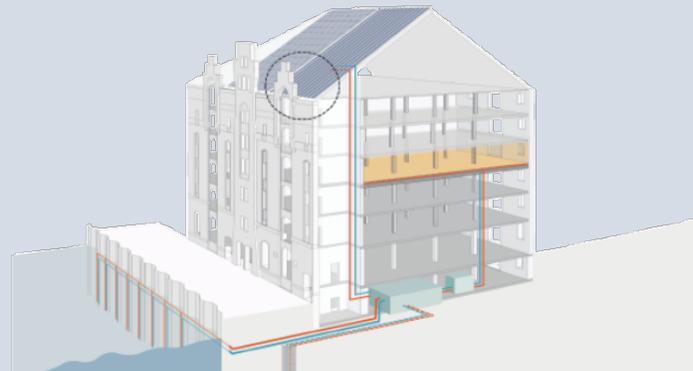
Aktuelle Entwicklungen zu solarhybriden Dachsystemen - Schiefernachbildung



Erprobungen der Komponenten hier: Hybride Dachelemente

Bsp. Dachdemonstrator zur Gewinnung solarer Energien

- 150 m² thermisch-elektrisch aktivierter Schiefernachbildung
- 150 m² thermisch-elektrisch aktiviertes Kupferblech auf Kupfer-Aufdachsystem
- Installation Messtechnik zum Monitoring
- Anschluss beider Systemvarianten an Wärmepumpe
- Bereitstellung, Installation und Integration von elektrischen und thermischen Speichern zur Systemcharakterisierung (Kopplung mit Wärmepumpe bzw. Wärmetauscher und Demonstrationsmassenspeicher im Kellergeschoss)
- Inbetriebnahme und Erprobung
- Visualisierung und Bewertung



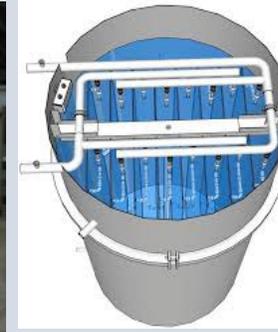
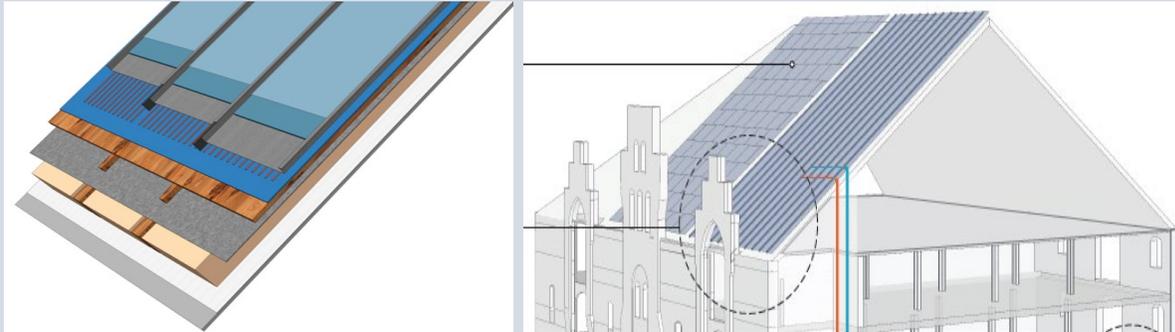
Simulative Parameterstudie mit ganzheitlichem Ansatz

Analysen mittels dynamischer Gebäudesimulation, CFD-Simulation und ökologischer Bilanzierung

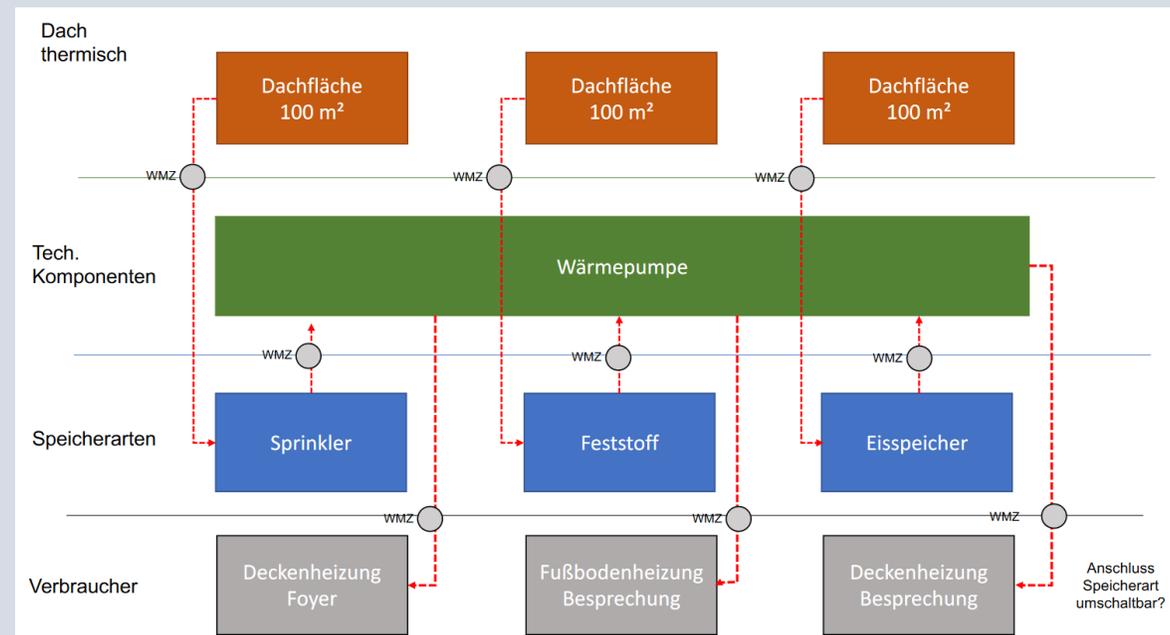
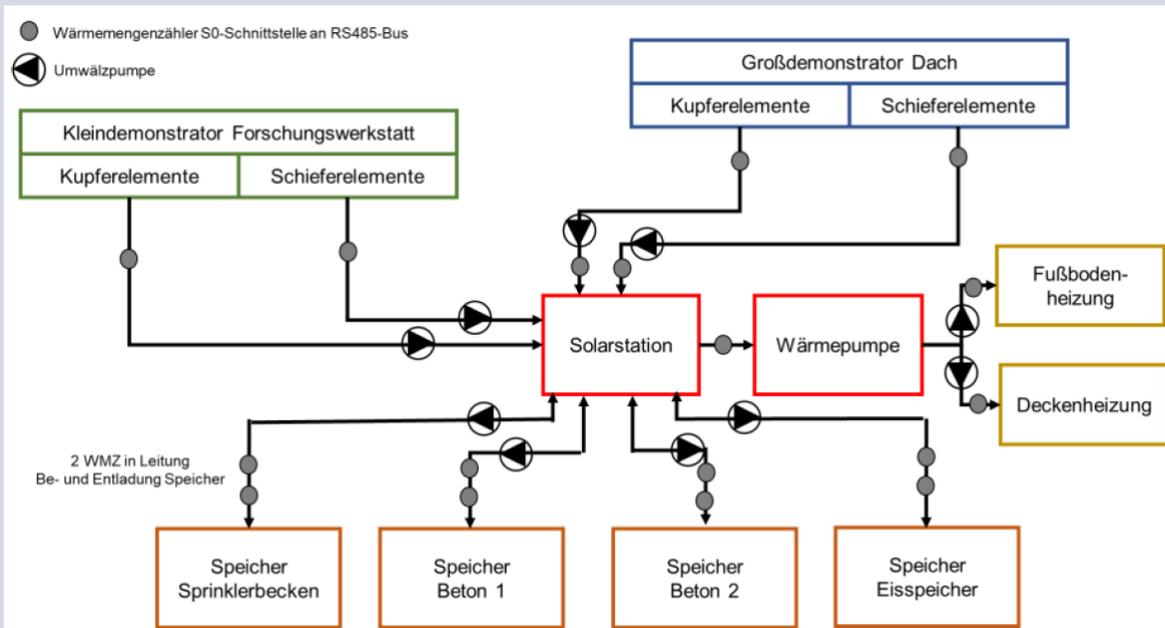
- Erfassen und Bewerten der Energiebedarfe und –angebote aus erneuerbaren Energien
- Identifikation von Überschüssen und Defiziten
- Auswahl von Komponenten für ganzheitliches Energiekonzept (elektrische und thermische Erzeuger, Energiespeicher, thermische Aktivierung vorhandener Blockreservoirien zur Gewinnung bzw. Speicherung von Wärme, Ankopplung an Fernwärme, Geothermie, Einsatz kaskadierte Wärmepumpensysteme etc.)
- Entwicklung verschiedener Energiekonzepte
- Identifikation veränderbarer Parameter hinsichtlich energetischer und ökologischer Aspekte (Innendämmung, Raumtemperatur, etc.)
- Analyse des Einflusses durch Änderung einzelner sowie mehrerer Parameter



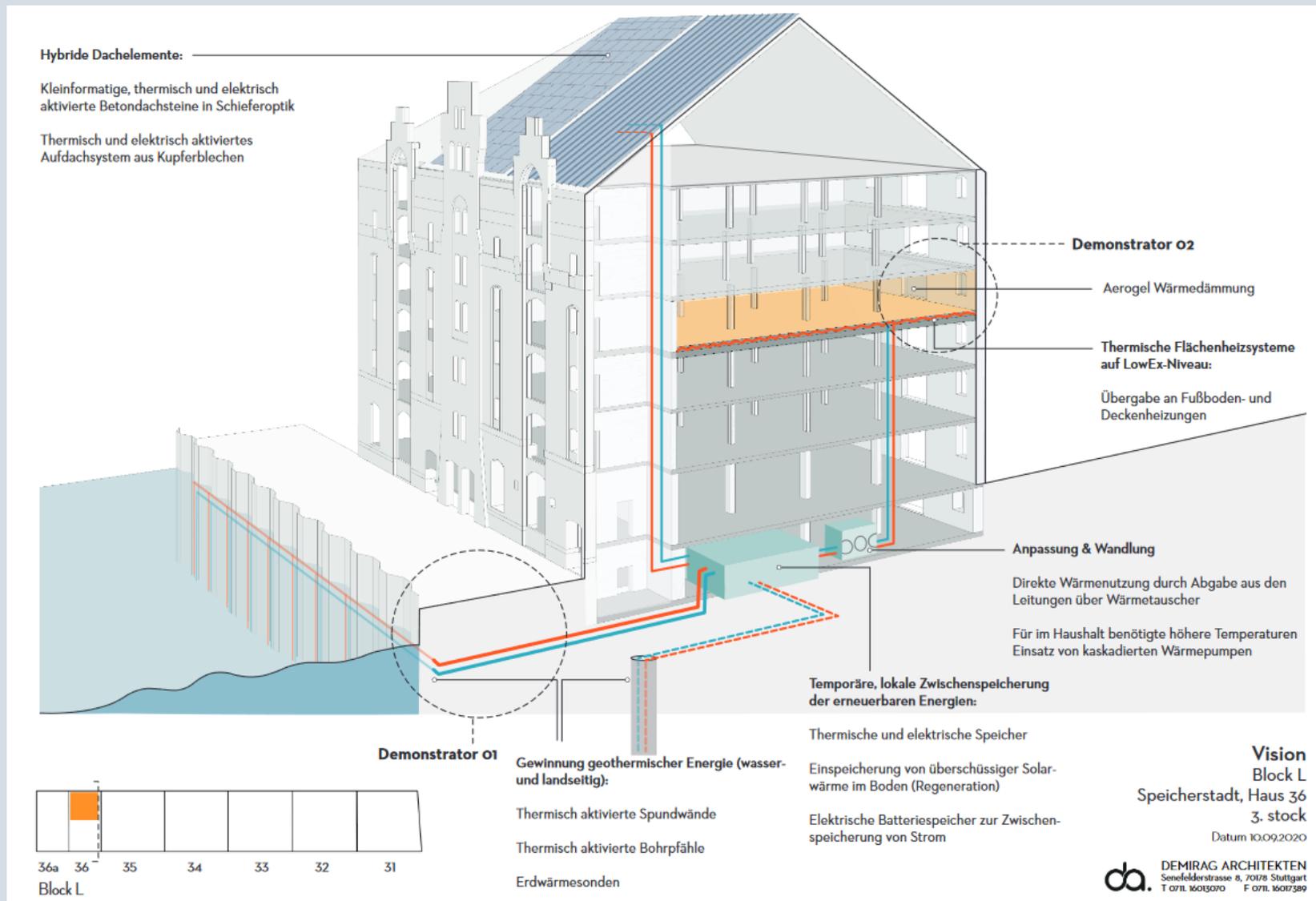
Vernetzung aller thermischen und elektrischen Versorgungskomponenten



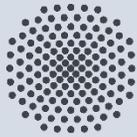
Sprinklerbecken



Vision einer CO₂-neutralen Versorgung der Speicherblöcke im Quartier



Universität Stuttgart und Partner aus Wissenschaft und Baupraxis



Universität Stuttgart
Institut für Werkstoffe im Bauwesen



noventec®

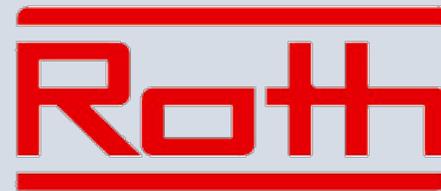
Regenerative
Heizungs- & Energiesysteme



cerabran
SYSTEMBAUSTOFFE



KME



basierend auf einem Beschluss des
Deutschen Bundestags



University of Stuttgart
Institute for Construction Materials
Hein H., M.Sc. | Teichmann L., M.Sc.

Forschungen und Entwicklungen der Universität Stuttgart und Partner aus Wissenschaft, Bau-
und Denkmalpraxis | „Denk mal CO₂-neutral“

Erneuerbare
Energien
im Baudenkmal



Foto: Elektrizitätswerke Schönau
1997 war das „Schönauer Schöpfungsfenster“ die erste Photovoltaik-Anlage auf einem Baudenkmal in Baden-Württemberg

Forschungen und Entwicklungen der Universität Stuttgart und Partner aus Wissenschaft, Bau- und Denkmalpraxis | „Denk mal CO₂-neutral“



Klimaneutralität in Quartieren: Suche nach Lösungen für Neubauten und Baubestand

Quartiere der Zukunft?

Visionen und in Umsetzung befindliche Realität
Panasonic-Stadt bei Tokio © Panasonic

Gebaute Realität!

Mix aus Altem und Neuem im urbanen Kontext
– Umsetzung der Energiewende stellt hier
besondere Herausforderung dar
Bsp. Luftbild Eguisheim

