

# Smart Readiness von Demonstrationsgebäuden aus der Forschungsinitiative EWB

Analyse und Bewertung von Demonstrationsgebäuden hinsichtlich  
Smart Readiness anhand der Anwendung der EU-Bewertungsmethode des  
Smart Readiness Indicators (SRI)

Dezember 2022

*verfasst von Linda Lyslow, Heike Erhorn-Kluttig (Fraunhofer IBP)*



# Inhalt

1.	Einleitung.....	3
2.	Hintergrund des Smart Readiness Indicators.....	3
3.	Smartes Gebäude.....	4
4.	SRI-Bewertungsmethode.....	5
4.1	Multi-Kriterien-Bewertung.....	5
4.2	Ergebnisse der SRI-Bewertung.....	13
5.	Nationale Umsetzung des SRI.....	15
5.1	Deutsche nationale Spezifizierung.....	15
5.1.1	Grundlagenstudie SRI von HEA/BDEW.....	15
5.1.2	BMWK-Studie: Anpassung der SRI-Systematik für eine Einführung in Deutschland.....	16
5.1.3	Nationale Spezifizierung in Österreich.....	19
6.	Auswahl der Forschungsvorhaben aus der Forschungsinitiative Energiewendebauen für die Testanwendung durch die Begleitforschung.....	20
7.	Vorstellung der bewerteten Forschungsvorhaben.....	23
7.1	LLEC-Verwaltungsbau (FKZ: 03EGB0010A) EG2050: LLEC-Verwaltungsbau: Klimaneutraler Verwaltungsbau als aktiver Teil des Living Lab Energy Campus (LLEC).....	24
7.2	Plus-EQ-Net (FKZ: 03ET1299) und plus-EQ-Net II (FKZ: 03EN1046) EnOB: Plus-EQ-Net, plus-EQ-Net II – Netzneutrales Wohn- und Geschäftshaus puls G in Geretsried.....	27
7.3	Campo V (FKZ: 03EGB0011) EG2050: Campo V: Umsetzung, Monitoring und Betriebsoptimierung eines nahezu klimaneutralen Gebäudes „AktivPLUS Studentenwohnheim Campo V“.....	30
7.4	Eversol-MFH (FKZ: 03ETS004) Eversol-MFH – Technisch-wirtschaftliche und soziologische Evaluierung vernetzter hochgradig solar versorgter Mehrfamilienhäuser bei Einführung eines Pauschal-Mietmodells.....	32
7.5	MFH Möhringen (FKZ: 03EGB0015) EG2050: MFH Möhringen – Umsetzung, Monitoring und Betriebsoptimierung eines nahezu klimaneutralen Gebäudes – „AktivPLUS Mehrfamilienhaus in Stuttgart Möhringen“.....	35
7.6	SDE21-MIMO (FKZ: 03EGB0031) EG2050: SDE21-MIMO – Teilnahme des Teams MIMO der Hochschule Düsseldorf am Solar Decathlon Europe 2021 in Wuppertal.....	37
7.7	SDE21-coLLab (FKZ: 03EGB0028) EG2050: SDE21-coLLab – Teilnahme des Teams coLLab der HFT Stuttgart am Solar Decathlon Europe 2021.....	40
8.	SRI-Bewertung der Demonstrationsgebäude.....	42
8.1	Bewertungsgrundlage (Randbedingungen).....	42
8.2	Bewertungsergebnisse.....	44
9.	Voraussetzung zur Erreichung einer hohen Gesamt-SRI-Punktzahl.....	54
10.	Erfahrungen und Erkenntnisse.....	61
10.1	Tool-Anwendung.....	61
10.2	Bewertung und Ergebnisse.....	62
11.	Ausblick.....	63

## 1. Einleitung

Das Modul 2 (Gebäude) der wissenschaftlichen Begleitforschung der Forschungsinitiative Energiewendebauen (EWB) arbeitet an einer „Roadmap für einen klimaneutralen Gebäudebestand 2050“ (RokiG2050). Im Rahmen des Vorhabens sollen aufbauend auf den Erkenntnissen der Gebäudeprojekte der Forschungsinitiative Energiewendebauen die technischen, ökonomischen, ökologischen und sozialen Voraussetzungen, Einflussfaktoren, Methoden und Potentiale für einen klimaneutralen Gebäudebestand im Jahr 2050 analysiert, aufgezeigt und bewertet werden. Ein Themenschwerpunkt von Modul 2 ist der „smarte Gebäudebetrieb“. Durch die Planung und die korrekte Umsetzung eines energieeffizienten Gebäudes (Neubau, Sanierung und Bestandserweiterung) sind die Grundlagen für einen niedrigen Energieverbrauch gelegt. Oftmals weisen aber solche Gebäude einen höheren Energieverbrauch auf als ursprünglich berechnet. National und international erhofft man sich Optimierungspotentiale durch den Einsatz von smarten Technologien und Regelungen. Diese sind auch in der Weiterentwicklung der europäischen Gebäudeeffizienzrichtlinie (EPBD) verankert und es wird für sie derzeit der Smart Readiness Indicator (SRI) entwickelt. Mit dem Smart Readiness Indicator (SRI) soll ein Gebäude auf Nutzungsmöglichkeiten von Informations- und Kommunikationstechnik (IKT) und elektronischen Systemen zur Anpassung des Gebäudes auf Nutzeranforderungen sowie Netze und zur Verbesserung der Energieeffizienz bewertet werden. Mit der Novellierung der EPBD ist die Einführung des Smart Readiness Indicators (SRI) vorgesehen, die für die EU-Mitgliedsstaaten derzeit noch freiwillig ist und für Gebäude mit hohem Verbrauch ab 2026 verpflichtend werden soll. In Bezug auf diese Thematik bewertet das Modul 2 mehrere Demonstrationsgebäude aus der Forschungsinitiative EWB hinsichtlich der Smart Readiness, um so die EU-Methode des Smart Readiness Indicators zu testen und die ersten Erfahrungen und Erkenntnisse, die mit der Anwendung der Bewertungsmethode gewonnen werden können, zu sammeln und dokumentieren.

## 2. Hintergrund des Smart Readiness Indicators

Mit der Novellierung der europäischen Gebäudeeffizienzrichtlinie (EPBD) vom 30. Mai 2018 [1] hat die Europäische Union (EU) die Einführung des Smart Readiness Indicators, übersetzt „Intelligenzfähigkeitsindikator“, vorgesehen. Laut EPBD sollte „der Intelligenzfähigkeitsindikator verwendet werden, um die Fähigkeit von Gebäuden zu messen, Informations- und Kommunikationstechnologien sowie elektronische Systeme zur Anpassung des Betriebs der Gebäude an den Bedarf der Bewohner und des Netzes“ zu nutzen. Zusätzlich sollte mit Hilfe des Intelligenzfähigkeitsindikators die „Gesamtenergieeffizienz und -leistung der Gebäude“ verbessert werden. Des Weiteren wird beabsichtigt, dass „die Eigentümer und die Bewohner von Gebäuden“ mit dem Indikator „auf die Vorteile der Nutzung der Gebäudeautomatisierung und der elektronischen Überwachung gebäudetechnischer Systeme“ aufmerksam gemacht werden und „im Hinblick auf die durch diese neuen erweiterten Funktionen tatsächlich erzielten Einsparungen“ Vertrauen geschaffen wird.

Die Methode der Europäischen Union zur Bewertung des Intelligenzfähigkeitsindikators ist derzeit noch optional und freiwillig. Es ist jedem Mitgliedstaat überlassen, ob dieser den Intelligenzfähigkeitsindikator einführen möchte, ob die Anwendung nur auf bestimmte Gebäudearten beschränkt und ob die Umsetzung des Systems geändert, angepasst oder beendet werden sollte. Im Vorschlag für die Neufassung der EU-Gebäuderichtlinie (EPBD) soll der Intelligenzfähigkeitsindikator für Nichtwohngebäude mit hohem Verbrauch ab 2026 verpflichtend werden [2].

Die EU-Kommission hat dabei die Aufgabe, den Intelligenzfähigkeitsindikator zu definieren sowie eine Bewertungsmethode zu entwickeln und festzulegen. Die Anforderungen an die Bewertungsmethode bestehen darin, einerseits die Einheitlichkeit und Vergleichbarkeit in der gesamten EU zu gewährleisten, aber ausreichend Flexibilität zur Anpassung der Berechnung an besondere Bedingungen zu ermöglichen. Aktuell wird von einem Konsortium im Auftrag der EU-Kommission ein Tool in Form einer Kalkulationstabelle zur Ermittlung des SRI fertiggestellt. Das Tool befindet sich noch in der Testphase und ist als Offline-Version im Paket mit einem Handbuch in Verbindung mit einer Einverständniserklärung zur Erfüllung einiger Verpflichtungen (wie z. B. Weitergabe statistischer Angaben zur Anzahl durchgeführter Bewertungen, Anzahl Anwender, allgemeine Informationen zu den bewerteten Gebäuden sowie Teilnahme an Umfragen) auf der Homepage der Europäischen Kommission zu erhalten.

Im Rahmen der delegierten Verordnung zur Ergänzung der Richtlinie 2010/31/EU [3] ist es vorgesehen, dass der Intelligenzfähigkeitsindikator sowohl auf Bestandsgebäude und Neubauten als auch auf Gebäudeteile bzw. einzelne Gebäudeeinheiten angewendet wird. Gleichzeitig soll es möglich sein, alle Gebäudenutzungsarten damit zu bewerten. Es ist angedacht, dass der Intelligenzfähigkeitsindikator von qualifizierten oder zugelassenen Fachleuten ermittelt und zertifiziert werden soll. Dafür können die Mitgliedstaaten z. B. die Fachleute in Betracht ziehen, die bereits für die Erstellung von Gebäudeenergieausweisen berechtigt sind und unter anderem auch Kompetenzen im IKT-Bereich aufweisen. Die Zielgruppen, die mit dem Intelligenzfähigkeitsindikator in erster Linie angesprochen werden sollen, sind Verbraucher, Gebäudenutzer und -eigentümer.

### 3. Smartes Gebäude

Auf BUILD UP [4], einem Webportal initiiert von der Europäischen Kommission, wird die Beziehung zwischen einem Gebäude und einem Gebäudenutzer wie folgt beschrieben: „Die Beziehung zwischen einem Gebäude und seinen Bewohnern umfasst technische Systeme, die mit Menschen interagieren, um Dienstleistungen (z. B. Raummanagement, Parken, Personenfluss) und Innenraumbedingungen (z. B. Beleuchtung, Temperatur, Luftqualität) anzubieten. Diese Interaktionen werden häufig von Kontroll- und Automationssystemen gesteuert, die üblicherweise als Gebäudemanagementsysteme bezeichnet werden. Diese Systeme steuern die HLK (Heizung, Lüftung und Klimaanlage) und andere technische Systeme (Kameras, Zugangskontrolle, Brandschutzsysteme usw.) und können verschiedene Interaktionen zwischen unterschiedlichen Benutzern ermöglichen.“

Weiterhin wird in [4] darauf eingegangen, wie sich die Interaktion zwischen einem Gebäude und den Gebäudenutzern in Laufe der Zeit verändert: „In den letzten Jahrzehnten fanden diese Interaktionen meist innerhalb der Grenzen eines einzelnen Gebäudes statt, in dem die Gebäudenutzer nur sehr begrenzt interagieren konnten. Diese Situation ändert sich schnell aufgrund der explosionsartigen Entwicklung neuer Technologien (erneuerbare Energiequellen, Speichersysteme, prädiktive Steuerungsalgorithmen usw.), neuer und neu entstehender Bedürfnisse der Gebäudenutzer (flexibler Raumbedarf, Luftqualität, Energiekontrolle usw.) und komplexer Energieinteraktionen zwischen Gebäuden (Netzflexibilitätsdienste, Demand Side Management usw.). Dies führt zu einer neuen Generation von Gebäudemanagementsystemen und IKT-Tools wie dem Internet der Dinge (Internet of Things, IoT), Energieüberwachungsplattformen usw. Diese Systeme und Technologien ermöglichen neue Kapazitäten und Interaktionen zwischen Gebäuden, ihren Nutzern und mit anderen Gebäuden über Energienetze. Die Kombination dieser neuen Instrumente und Interaktionen macht ein Gebäude mehr oder weniger „intelligent“.“

Im Abschlussbericht über die technische Unterstützung für die Entwicklung eines Smart Readiness Indicators für Gebäude [8] werden intelligente Gebäude als Gebäude beschrieben, die modernste IKT-basierte Lösungen integrieren, um die energieeffiziente Steuerung gebäudetechnischer Anlagen zu optimieren und Energieflexibilität im täglichen Betrieb zu ermöglichen. Es wird davon ausgegangen, dass solche intelligenten Fähigkeiten dazu beitragen können, gesündere und komfortablere Gebäude zu schaffen, die sich sowohl an die Bedürfnisse der Nutzer als auch an die des Energienetzes anpassen und gleichzeitig den Energieverbrauch und die CO<sub>2</sub>-Emissionen des Gebäudes reduzieren. Mit dem Smart Readiness Indicator wird beabsichtigt, den Mehrwert der Gebäudeintelligenz den Gebäudenutzern, Eigentümern, Mietern und Anbietern von smarten Technologien greifbarer zu machen. Die Intelligenzfähigkeit eines Gebäudes wird im Rahmen des Abschlussberichtes wie folgt definiert:

„Die „Intelligenz“ eines Gebäudes bezieht sich auf seine Fähigkeit, sich verändernde Bedingungen in Bezug auf:

- den Betrieb gebäudetechnischer Systeme (Heizung, Kühlung, Lüftung usw.) oder
- die äußere Umgebung (einschließlich Energienetze) und
- die Anforderungen der Gebäudenutzer zu erkennen, zu interpretieren, zu kommunizieren und aktiv und auf effiziente Weise darauf zu reagieren.“

Zusammengefasst nach [4] weisen intelligente Gebäude folgende Hauptmerkmale auf:

- sie verbrauchen eine möglichst geringe Energiemenge, um die Komfortbedürfnisse der Bewohner zu erfüllen – Energieeffizienz an erster Stelle,
- sie erzeugen Energie aus erneuerbaren Energiequellen vor Ort oder in der Nähe oder versuchen sogar, eine positive Energiebilanz zu haben (Gebäude, die mehr Energie erzeugen als sie verbrauchen),
- sie nutzen Technologien, die intelligente Interaktionen mit dem Energienetz ermöglichen (Speicher, Lademanagement für Elektrofahrzeuge, Demand-Response-System usw.),
- sie ermöglichen den Benutzern, Zugriff auf Energieverbrauchs- und Erzeugungsdaten zu haben und geben ihnen Informationen und Kontrolle über die Auswirkungen ihres Verhaltens auf den Energieverbrauch und die Innenraumluftqualität.

## 4. SRI-Bewertungsmethode

### 4.1 Multi-Kriterien-Bewertung

Die von der EU-Kommission bzw. dem beauftragten Projektteam definierte Bewertungsmethode zur Ermittlung des Intelligenzfähigkeitsindikators wird in einem SRI-Bewertungs-Tool umgesetzt. Mit Hilfe des Tools soll ein Gebäude, ein Gebäudeteil bzw. eine Gebäudeeinheit unkompliziert und zuverlässig in Bezug auf Smart Readiness bewertet werden. Das Tool ist aktuell als Test-Offline-Version verfügbar. Im Laufe des Jahres 2022 wird geprüft, ob es sinnvoll und machbar ist, ein Online-SRI-Berechnungstool zu entwickeln [9].

Die SRI-Bewertungsmethode zur Ermittlung des Smart Readiness Indicators (SRI) basiert auf einer sogenannten Multi-Kriterien-Bewertung mit Gewichtungsfaktoren. Dabei bewertet der Smart Readiness Indicator ein Gebäude, ein Gebäudeteil bzw. eine Gebäudeeinheit in Bezug auf drei Kernfunktionalitäten. Die Kernfunktionalitäten sind Energieeffizienz, Anpassungsfähigkeit an die Nutzerbedürfnisse und Anpassungsfähigkeit an die Netzsignale. Die drei Kernfunktionalitäten sind in insgesamt sieben Wirkungskriterien unterteilt, für die im Rahmen der Bewertung in Abhängigkeit der

Relevanz und der Priorität einzelner Technologie- und Dienstleistungen Punkte vergeben werden. Die beiden Wirkungskriterien, die im Rahmen der „Energieeffizienz“ bewertet werden, sind Energieeffizienz des Gebäudes sowie Wartung und Fehlervorhersage. Bei der „Anpassungsfähigkeit an die Nutzerbedürfnisse“ werden vier Wirkungskriterien bewertet: Komfort, Bequemlichkeit, Gesundheit, Wohlbefinden und Zugänglichkeit sowie Information für Gebäudenutzer. Im Rahmen der „Anpassungsfähigkeit an die Netzsignale“ werden die Möglichkeiten der Energieflexibilität und -speicherung bewertet. Eine Übersicht über die drei Kernfunktionalitäten und die jeweils zugehörigen Wirkungskriterien sind in Abbildung 1 dargestellt.



Abbildung 1: Übersicht über die drei Kernfunktionalitäten der SRI-Bewertungsmethode und die sieben Wirkungskriterien. Abbildung in Anlehnung an [5].

Die Grundlage der Bewertungsmethode bildet ein sogenannter Technologie- und Dienstleistungskatalog, der bereits 2018 veröffentlicht wurde. Der Katalog basiert auf ca. 50 % der Technologie- und Dienstleistungen der DIN EN 15232-1 [6], erweitert um Technologie- und Dienstleistungen durch ExpertInnenwissen. Der Katalog enthält insgesamt neun technische Bereiche, auch Anwendungs- oder Funktionsbereiche genannt. Die neun technischen Bereiche sind Heizung, Kühlung, Warmwasser, Beleuchtung, Belüftung, dynamische Gebäudehülle, Elektrizität, Laden von Elektrofahrzeugen und Überwachung und Kontrolle. Jeder technische Bereich ist in zwei bis maximal sieben Dienstgruppen unterteilt (siehe Abbildung 2). In allen technischen Bereichen abgesehen von der Beleuchtung gibt es eine Dienstgruppe zu Informationen. Während sie in den Bereichen Heizung, Kühlung und Warmwasser Informationen zu Leistungskennzahlen wie Temperatur, Energieverbrauch usw. berücksichtigt („Informationen für Bewohner und Gebäudeverwalter“), sind es in den Bereichen Belüftung, dynamische Gebäudehülle, Elektrizität, Laden von Elektrofahrzeugen und Überwachung und Kontrolle Rückmeldungen zu Informationen wie z. B. Innenraumluftqualität, Position der Sonnenschutzsysteme, Informationen zu Stromerzeugung, -speicherung und -verbrauch usw. („Feedback – Information melden“). Eine weitere Dienstgruppe, die nahezu allen technischen Bereichen gemeinsam ist, ist die Bewertung der Kontrolle über die Steuerung der jeweiligen Anlagentechnik. Auch Flexibilität und Netzreaktion werden in den meisten technischen Bereichen bewertet. Weitere Dienstgruppen sind auf den jeweiligen technischen Bereich spezifiziert.

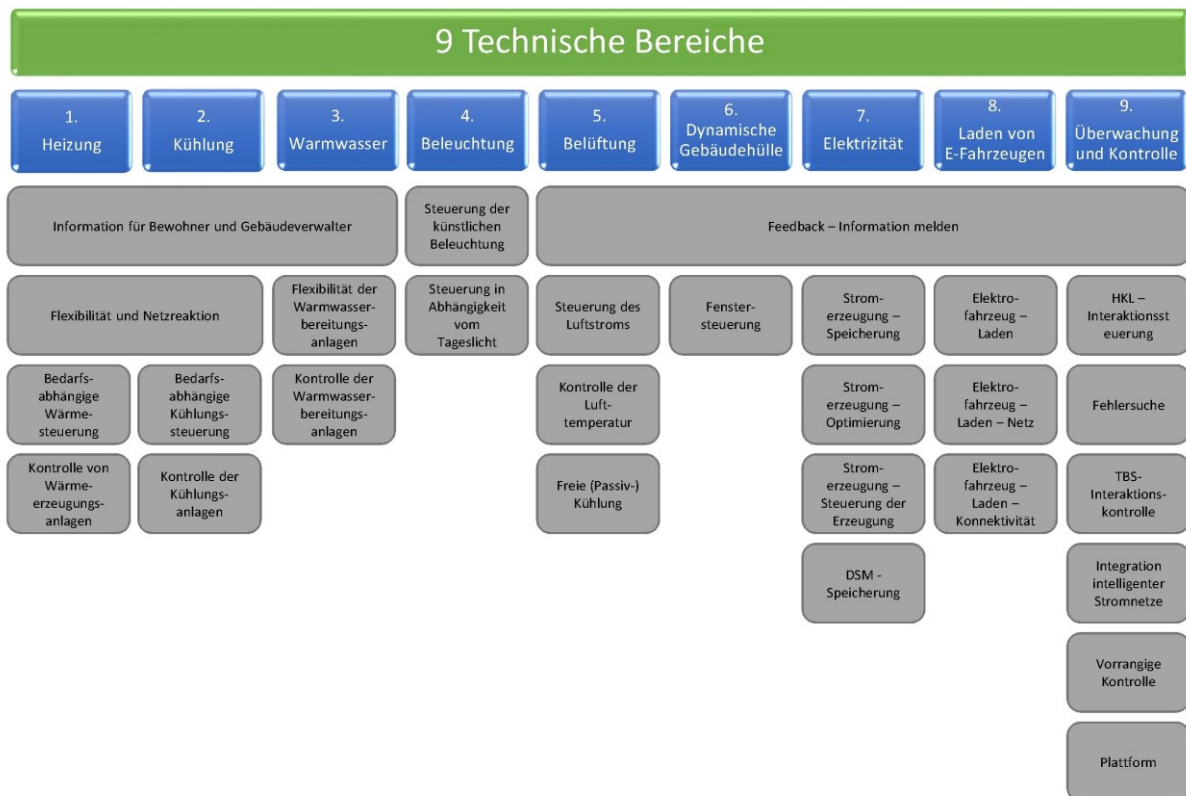


Abbildung 2: Übersicht über die einzelnen Dienstgruppen von neun technischen Bereichen der SRI-Bewertungsmethode.

Jede Dienstgruppe enthält mehrere sogenannte „Smart ready services“, die anhand von definierten Funktionalitätsstufen (insgesamt bis zu fünf Funktionalitätsstufen) zu bewerten sind (Beispiel siehe Tabelle 1). Unter einem „Smart ready service“ sind Technologie- oder Dienstleistungen zu verstehen. In der aktuell erarbeiteten Bewertungsmethode stehen insgesamt 54 „Smart ready services“ zur Verfügung. Dabei ist anzumerken, dass in der Regel nicht alle „Smart ready services“ zu bewerten sind und einige sich gegenseitig ausschließen.

Tabelle 1: Ausschnitt aus dem SRI-Bewertungs-Tool mit Darstellung der Dienstgruppe „Bedarfsabhängige Wärmesteuerung“ des technischen Bereiches „Heizung“ mit den beiden „Smart ready services“ und den dafür definierten Funktionalitätsstufen. Tabelle in Anlehnung an [7].

Code	Dienstgruppe	Smart ready service	Funktionalitätsstufe 0 (nicht smart)	Funktionalitätsstufe 1	Funktionalitätsstufe 2	Funktionalitätsstufe 3	Funktionalitätsstufe 4
H-1a	Bedarfsabhängige Wärmesteuerung	Regelung der Wärmeabgabe	Keine automatische Regelung	Zentrale automatische Steuerung (z. B. zentraler Thermostat)	Einzelraumregelung (z. B. Thermostatventile oder elektronische Regler)	Einzelraumregelung mit Kommunikation zwischen Reglern und zu BACS	Einzelraumregelung mit Kommunikation und Anwesenheitserkennung
H-1b	Bedarfsabhängige Wärmesteuerung	Regelung der Wärmeabgabe für TABs (Heizbetrieb)	Keine automatische Regelung	Zentrale automatische Steuerung	Erweiterte zentrale automatische Steuerung	Fortgeschrittene zentrale automatische Steuerung mit intermittierendem Betrieb und/oder Rückführung der Raumtemperatur	-
...	...	...	...	...	...	...	...

Für jede Funktionalitätsstufe sind für einzelne der sieben Wirkungskriterien Punkte hinterlegt. Die Höhe der Punktzahl liegt zwischen Null und maximal drei Punkten. Die Höhe der Punktzahl richtet sich dabei nach der Relevanz der Funktionalitätsstufe für das jeweilige Wirkungskriterium. Die Funktionalitätsstufe 0 steht für eine nicht smarte Anwendung. Das bedeutet, dass bei dieser Funktionalitätsstufe alle sieben Wirkungskriterien mit jeweils null Punkten bewertet werden. In zwei „Smart ready services“, einmal im technischen Bereich „Laden von Elektrofahrzeugen“ und einmal im technischen Bereich „Überwachung und Kontrolle“ wurden negative Punkte bis maximal -2 definiert. Die Vergabe von negativen Punkten deutet darauf hin, dass die entsprechende Funktionalitätsstufe nicht nur „nicht smart“ ist, sondern sogar negative Auswirkungen auf ein Wirkungskriterium aufweist. Ein Beispiel zur Vergabe von Punkten je Wirkungskriterium für fünf Funktionalitätsstufen eines „Smart ready services“ des technischen Bereiches „Heizung“ zeigt Tabelle 2.



Tabelle 2: Punkteverteilung für fünf Funktionalitätsstufen der Dienstleistung „Regelung der Wärmeabgabe“ des technischen Bereiches „Heizung“. Tabelle in Anlehnung an [7].

Code	Dienstleistung	Dienstgruppe: Wärmesteuerung – Bedarfsabhängig						
H-1a	Regelung der Wärmeabgabe	IMPACTS						
Funktionsebenen		Energieeffizienz	Energieflexibilität und -speicherung	Komfort	Bequemlichkeit	Gesundheit, Wohlbefinden und Zugänglichkeit	Wartung und Fehlervorhersage	Informationen für die Gebäudenutzer
Stufe 0	Keine automatische Regelung	0	0	0	0	0	0	0
Stufe 1	Zentrale automatische Steuerung	1	0	1	1	1	0	0
Stufe 2	Einzelraumregelung	2	0	2	2	2	0	0
Stufe 3	Einzelraumregelung mit Kommunikation zwischen Reglern und zu BACS	2	0	2	3	2	1	0
Stufe 4	Einzelraumregelung mit Kommunikation und Anwesenheitserkennung	3	0	2	3	2	1	0

Zur Ermittlung der Gesamt-SRI-Punktzahl des zu bewerteten Objekts werden die im Rahmen der Bewertung erreichten bzw. maximal möglichen Punkte gewichtet. Die Gesamt-SRI-Punktzahl wird ermittelt, indem ein Verhältnis zwischen der erreichten Punktzahl (gewichtet) zur maximal erreichbaren Punktzahl (gewichtet) gebildet wird. Dabei ist die erreichte Punktzahl die Summe der gewichteten Punkte für die zugeordneten Funktionalitätsstufen des jeweiligen „Smart ready services“. Die maximal mögliche erreichbare Punktzahl stellt die Summe der gewichteten Punkte für die höchste Funktionalitätsstufe des jeweiligen „Smart ready services“ dar. In die Bewertung fließen jedoch nur die im Objekt vorhandenen bzw. die im Objekt vorgeschriebenen technischen Bereiche ein. Nicht vorhandene und nicht obligatorische technische Bereiche werden bei der Ermittlung der Gesamt-SRI-Punktzahl nicht berücksichtigt. Damit soll zum einen gewährleistet werden, dass ein Objekt aufgrund von Nichtvorhandensein eines technischen Bereiches bei der SRI-Bewertung nicht benachteiligt wird und zum anderen soll dadurch der Einbau von eigentlich nicht vorgesehener Anlagentechnik nicht gefördert werden.

Die Gewichtung der erreichbaren und der maximalen Punkte erfolgt in zwei Schritten. Im ersten Schritt wird die Gewichtung mit Hilfe von Gewichtungsfaktoren für einzelne technische Bereiche je

Wirkungskriterium (die sogenannte Bereichsgewichtung) vorgenommen. Dabei beträgt die Summe in jedem Wirkungskriterium über alle technischen Bereiche 100 %. Im zweiten Schritt werden die bereichsweise gewichteten Punkte zusätzlich mit den Gewichtungsfaktoren der Wirkungskriterien gewichtet (die sogenannte Auswirkungsgewichtung).

Im Rahmen des Abschlussberichts über die technische Unterstützung bei der Entwicklung eines Smart Readiness Indicators für Gebäude [8] wurde ein Vorschlag zur Verteilung der Gewichtungsfaktoren unterbreitet (siehe Abbildung 3). Demnach werden die Faktoren zur Gewichtung einzelner technischer Bereiche innerhalb jedes einzelnen Wirkungskriteriums in drei Bereiche eingeteilt: in fixe Faktoren, in gleichwertige Faktoren und Energie-kompensierende Faktoren. Die „Energie-kompensierenden Faktoren“ sind klimaabhängig und sollen individuell definiert werden.

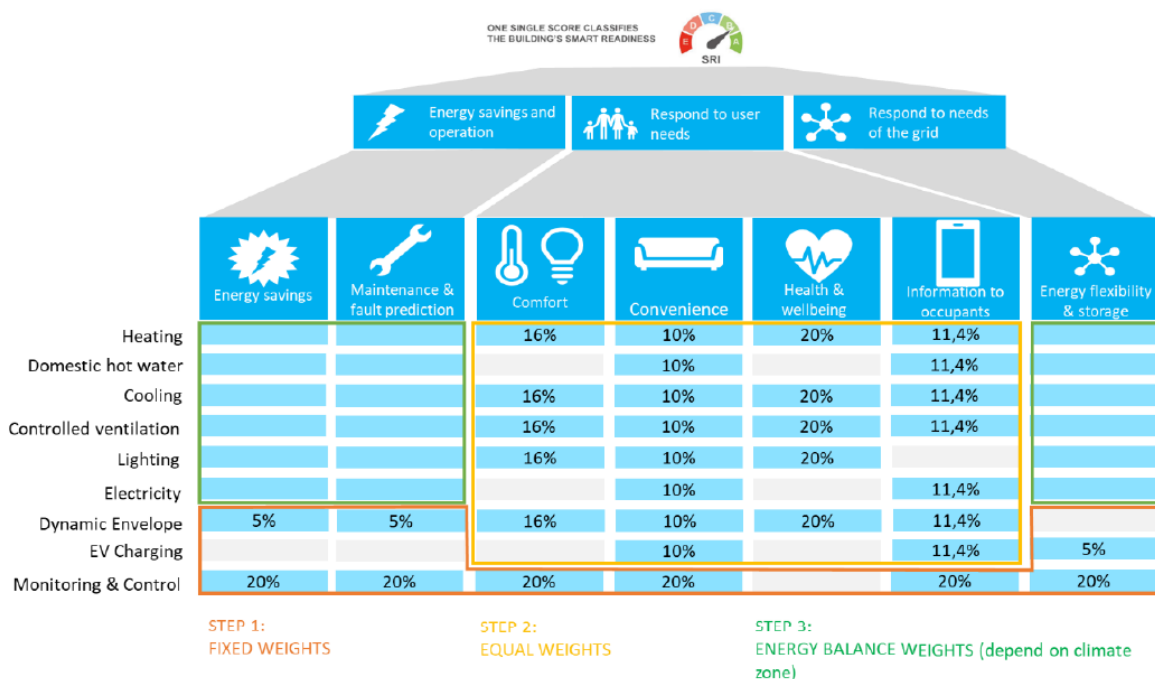


Abbildung 3: Schema zur Verteilung der Gewichtungsfaktoren für einzelne technische Bereiche je Wirkungskriterium gemäß einem Vorschlag des von der EU-Kommission beauftragten Projektteams. Abbildung in Anlehnung an [8].

In der aktuellen Fassung des SRI-Bewertungs-Tools werden standardmäßig Gewichtungsfaktoren abhängig vom Gebäudetyp und von der Klimazone angeboten. Die Faktoren unterscheiden sich nur in Bereich „Energie-kompensierende Faktoren“. Dies betrifft die technischen Bereiche Heizung, Trinkwarmwasser, Kühlung, Belüftung, Beleuchtung und Elektrizität für die Wirkungskriterien Energieeffizienz, Wartung und Fehlervorhersage sowie Energieflexibilität und -speicherung. In anderen Bereichen sind die Gewichtungsfaktoren für alle Typgebäude und Klimazonen gleich. Beim Gebäudetyp wird zwischen Wohngebäude und Nichtwohngebäude unterschieden und bei der Klimazone wird Europa in fünf Klimazonen eingeteilt. Deutschland wird der Klimazone West-Europa zugeordnet. In Tabelle 3 und Tabelle 4 sind die Gewichtungsfaktoren für Wohn- und Nichtwohngebäude für die Klimazone West-Europa zusammengestellt (der Bereich mit „Energie-kompensierenden Faktoren“ ist blau hervorgehoben). Größere Unterschiede in den Gewichtungsfaktoren zwischen Wohn- und Nichtwohngebäuden sind in den technischen Bereichen Kühlung, Beleuchtung und Elektrizität zu finden. Dabei werden die Kühlung und die Beleuchtung für

die Kriterien der Energieeffizienz, Energieflexibilität und -speicherung sowie der Wartung und der Fehlervorhersage bei den Nichtwohngebäuden stärker gewichtet als bei den Wohngebäuden. Die Elektrizität fällt dagegen bei den Wohngebäuden mehr ins Gewicht als bei den Nichtwohngebäuden. Die Gewichtung weiterer technischer Bereiche unterscheidet sich zwischen Wohn- und Nichtwohngebäuden nur geringfügig oder gar nicht.

Die Gewichtungsfaktoren der Wirkungskriterien sind in Tabelle 5 dargestellt. Auch hier soll die Summe über alle Wirkungskriterien 100 % ergeben. Die Gewichtungsfaktoren sind hier so aufgeteilt, dass die Summe der Gewichtungsfaktoren der Wirkungskriterien einer Kernfunktionalität jeweils ein Drittel ergibt. Dabei werden die Wirkungskriterien einer Kernfunktionalität gleich gewichtet.

An dieser Stelle ist anzumerken, dass finale Gewichtungsfaktoren entweder von den einzelnen Mitgliedsstaaten und/oder von der EU-Kommission im Rahmen des Einführungsprozesses definiert werden sollen. Im Bewertungs-Tool besteht weiterhin die Möglichkeit, dass der Nutzer die Gewichtungen definiert.

Tabelle 3: EU-Vorschlag zur Bereichsgewichtung einzelner technischer Bereiche je Wirkungskriterium für Wohngebäude der Klimazone West-Europa in der aktuellen Fassung des SRI-Bewertungs-Tools. Der Bereich mit „Energie-kompensierenden Faktoren“ ist blau hervorgehoben. Tabelle in Anlehnung an [7].

Wohngebäude Westeuropa							
	Energieeffizienz	Energieflexibilität und -speicherung	Komfort	Bequemlichkeit	Gesundheit, Wohlbefinden und Zugänglichkeit	Wartung und Fehlervorhersage	Informationen für die Gebäudenutzer
Heizung	0,34	0,46	0,16	0,10	0,20	0,35	0,11
Trinkwarmwasser	0,08	0,10	0,00	0,10	0,00	0,08	0,11
Kühlung	0,03	0,04	0,16	0,10	0,20	0,03	0,11
Belüftung	0,18	0,00	0,16	0,10	0,20	0,18	0,11
Beleuchtung	0,01	0,00	0,16	0,10	0,00	0,00	0,00
Elektrizität	0,11	0,15	0,00	0,10	0,00	0,11	0,11
Dynamische Gebäudehülle	0,05	0,00	0,16	0,10	0,20	0,05	0,11
Laden von Elektrofahrzeugen	0,00	0,05	0,00	0,10	0,00	0,00	0,11
Überwachung und Kontrolle	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Tabelle 4: EU-Vorschlag zur Bereichsgewichtung einzelner technischer Bereiche je Wirkungskriterium für Nichtwohngebäude der Klimazone West-Europa in der aktuellen Fassung des SRI-Bewertungs-Tools. Der Bereich mit „Energie-kompensierenden Faktoren“ ist blau hervorgehoben. Tabelle in Anlehnung an [7].

Nichtwohngebäude Westeuropa							
	Energieeffizienz	Energieflexibilität und -speicherung	Komfort	Bequemlichkeit	Gesundheit, Wohlbefinden und Zugänglichkeit	Wartung und Fehlervorhersage	Informationen für die Gebäudenutzer
Heizung	0,27	0,41	0,16	0,10	0,20	0,32	0,11
Trinkwarmwasser	0,08	0,12	0,00	0,10	0,00	0,10	0,11
Kühlung	0,13	0,19	0,16	0,10	0,20	0,15	0,11
Belüftung	0,14	0,00	0,16	0,10	0,20	0,17	0,11
Beleuchtung	0,10	0,00	0,16	0,10	0,00	0,00	0,00
Elektrizität	0,02	0,03	0,00	0,10	0,00	0,02	0,11
Dynamische Gebäudehülle	0,05	0,00	0,16	0,10	0,20	0,05	0,11
Laden von Elektrofahrzeugen	0,00	0,05	0,00	0,10	0,00	0,00	0,11
Überwachung und Kontrolle	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Tabelle 5: EU-Vorschlag für die Gewichtungsfaktoren einzelner Wirkungskriterien in der aktuellen Fassung des SRI-Bewertungs-Tools (gerundet auf zwei Nachkommastellen). Tabelle in Anlehnung an [7].

IMPACT WEIGHTINGS							
Energieeffizienz	Energieflexibilität und -speicherung	Komfort	Bequemlichkeit	Gesundheit, Wohlbefinden und Zugänglichkeit	Wartung und Fehlervorhersage	Informationen für die Gebäudenutzer	
0,17	0,33	0,08	0,08	0,08	0,17	0,08	1,00

Grundsätzlich stehen zwei Bewertungsmethoden zur Verfügung: eine vereinfachte und eine detaillierte Methode. Die detaillierte Methode enthält den vollständigen Technologie- und Dienstleistungskatalog. Bei der vereinfachten Methode wird der Technologie- und Dienstleistungskatalog von 54 „Smart ready services“ auf 27 reduziert. Mit der vereinfachten Methode soll der Bewertungsaufwand für Gebäude mit einfacherer System- und Anlagentechnik wie bestehende Wohngebäude und kleine Nichtwohngebäude deutlich reduziert werden. Die detaillierte Methode ist für Neubauten und größere Nichtwohngebäude angedacht. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit einer benutzerdefinierten Bewertung. In diesem Fall können die einzelnen „Smart ready services“ benutzerdefiniert ausgewählt werden und die Dienstgruppen um weitere „Smart ready services“ erweitert werden.

Die Gewichtungsfaktoren wurden in der aktuellen Fassung des SRI-Bewertungs-Tools standardmäßig für Wohn- und Nichtwohngebäude sowie für fünf Klimazonen definiert. Eine weitere Unterscheidung wie z. B. für Neu- und Bestandsgebäude und/oder für die Art der Nutzung des Gebäudes erfolgt nicht. Es ist angedacht, dass die finalen Gewichtungsfaktoren entweder von den einzelnen Mitgliedstaaten und/oder von der EU-Kommission im Rahmen des Einführungsprozesses verbindlich definiert werden.

#### 4.2 Ergebnisse der SRI-Bewertung

Zusätzlich zur Gesamt-SRI-Punktzahl werden im Rahmen der SRI-Bewertung auch weitere Ergebnisse produziert, die in diesem Abschnitt kurz vorgestellt werden. Es ist anzumerken, dass die alleinige Darstellung der Gesamt-SRI-Punktzahl nur wenig über die Stärken und Schwächen in Bezug auf die Smart Readiness eines bewerteten Objektes aussagt und eine detaillierte Darstellung der Ergebnisse mehr Aufschluss über die Intelligenzfähigkeit einzelner technischer Bereiche gibt. Ein endgültiger Vorschlag zur Gestaltung der Ergebnisse auf einem Zertifikat liegt noch nicht vor. Vom Projekt-Konsortium werden derzeit Überlegungen zur Darstellung eines einheitlichen Zertifikats angestellt, welche die Mitgliedsstaaten bei der Gestaltung ihrer SRI-Zertifikate unterstützen sollen [10]. Folgende Ergebnisse werden im SRI-Bewertungs-Tool ausgegeben:

##### ➤ Gesamt-SRI-Punktzahl

Die Gesamt-SRI-Punktzahl eines bewerteten Objektes wird ermittelt, indem ein Verhältnis zwischen der gewichteten erreichten Punktzahl zur maximal gewichteten erreichbaren Punktzahl gebildet wird. Die Gesamt-SRI-Punktzahl wird in insgesamt sieben SRI-Klassen eingeteilt, wie in Tabelle 6 dargestellt.




Tabelle 6: Übersicht über die Einteilung der Gesamt-SRI-Punktzahl in SRI-Klassen.

Gesamt-SRI-Punktzahl	≥ 0 bis < 20 %	≥ 20 bis < 35 %	≥ 35 bis < 50 %	≥ 50 bis < 65 %	≥ 65 bis < 80 %	≥ 80 bis < 90 %	≥ 90 bis 100 %
SRI-Klasse	Klasse G	Klasse F	Klasse E	Klasse D	Klasse C	Klasse B	Klasse A

##### ➤ Kernfunktionalitäten: Bewertung der drei Kernfunktionalitäten

Wie im Abschnitt 4.1 beschrieben, bewertet der Smart Readiness Indicator ein Gebäude, ein Gebäudeteil bzw. eine Gebäudeeinheit in Bezug auf drei Kernfunktionalitäten: Energieeffizienz, Anpassungsfähigkeit an die Nutzerbedürfnisse und Anpassungsfähigkeit an die Netzsignale. Das Ergebnis zeigt, inwiefern jede der drei Kernfunktionalitäten in einem bewerteten Objekt erfüllt wird (vergleiche das Beispiel in Tabelle 7). Der Erfüllungsgrad der einzelnen Kernfunktionalitäten wird anteilig aus den Auswirkungswerten der jeweiligen zugehörigen Wirkungskriterien ermittelt (siehe dazu Auswirkungswerte).

Tabelle 7: Beispiel zu Ergebnissen der Bewertung der drei Kernfunktionalitäten.

 <p>Energieeffizienz Gebäude: <b>89 %</b></p>	 <p>Anpassungsfähigkeit an die Nutzerbedürfnisse: <b>90 %</b></p>	 <p>Anpassungsfähigkeit an die Netzsignale: <b>89 %</b></p>
--	--	--

➤ **Auswirkungswerte: Bewertung der sieben Wirkungskriterien**

Die einzelnen Wirkungskriterien werden in ähnlicher Weise wie die Gesamt-SRI-Punktzahl ermittelt. Dabei wird ein Verhältnis zwischen gewichteter erreichter Punktzahl in einem Wirkungskriterium zur maximal gewichteten erreichbaren Punktzahl in diesem Wirkungskriterium gebildet. Abbildung 4 zeigt ein Ergebnisbeispiel.

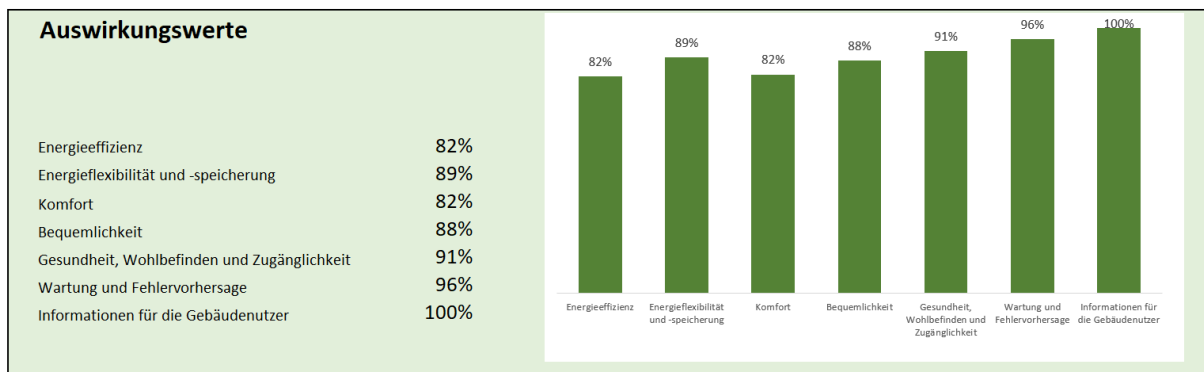
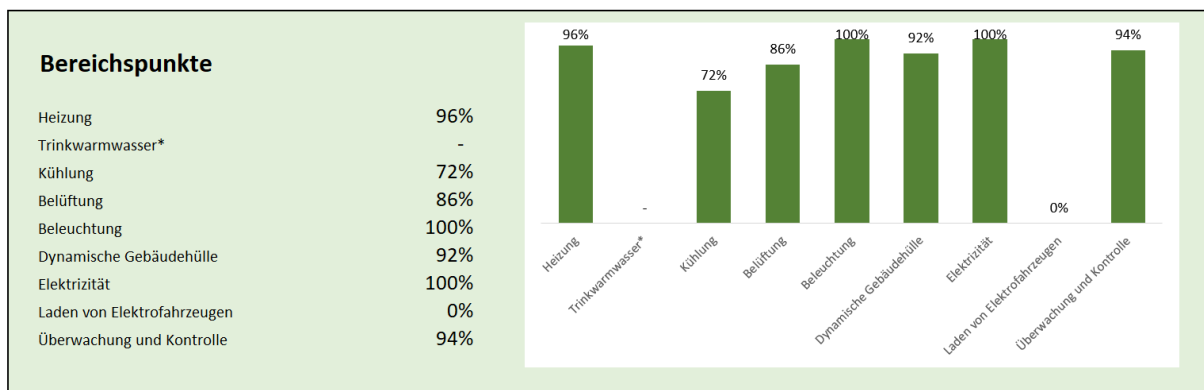


Abbildung 4: Beispielhafte Darstellung des Ergebnisses für die insgesamt erreichten Punkte je Wirkungskriterium in Anlehnung an [7].

➤ **Bereichspunkte: Bewertung der neun technischen Bereiche**

Die Ermittlung des Erfüllungsgrads der sieben Wirkungskriterien setzt die Berechnung des Erfüllungsgrads von einzelnen technischen Bereichen je Wirkungskriterium voraus (siehe detaillierte Bewertung). Abbildung 5 zeigt ein Ergebnisbeispiel.



\*Technischer Bereich geht nicht in die Bewertung ein

Abbildung 5: Beispielhafte Darstellung des Ergebnisses für die erreichten Punkte je technischem Bereich in Anlehnung an [7].

➤ **Detaillierte Bewertung einzelner technischer Bereiche innerhalb von jedem Wirkungskriterium**

Aus der detaillierten Darstellung der Bewertung ist ersichtlich, wie hoch der Anteil der erreichten Punktzahl jedes technischen Bereichs in einem Wirkungskriterium im Vergleich zu der Punktzahl ist, die in diesem Bereich maximal erreichbar wäre. Dabei wird das Verhältnis der Summe der erreichten Punkte zur Summe der maximal möglichen Punkte berechnet.

	Energieeffizienz				Gesundheit, Wohlbefinden und Zugänglichkeit		Wartung und Fehlerverhütung		Informationen für die Gebäude-nutzer	
	Energie-effizienz	Energieflexi-bilität und -speicherung	Komfort	Bequemlichkeit	Zugänglichkeit					
Heizung	88%	100%	80%	100%	100%		100%		100%	100%
Trinkwarmwasser*	-	-	-	-	-		-		-	-
Kühlung	57%	50%	63%	88%	100%		100%		100%	100%
Belüftung	64%	0%	88%	86%	89%		100%		100%	100%
Beleuchtung	100%	0%	100%	100%	100%		0%		0%	0%
Dynamische Gebäudehülle	100%	0%	80%	83%	75%		100%		100%	100%
Elektrizität	100%	100%	0%	100%	0%		100%		100%	100%
Laden von Elektrofahrzeugen	0%	0%	0%	0%	0%		0%		0%	0%
Überwachung und Kontrolle	100%	89%	100%	88%	100%		91%		100%	100%

\*Technischer Bereich geht nicht in die Bewertung ein

Abbildung 6: Beispielhafte Darstellung des Ergebnisses für die detaillierte Bewertung einzelner technischer Bereiche je Wirkungskriterium in Anlehnung an [7].

## 5. Nationale Umsetzung des SRI

### 5.1 Deutsche nationale Spezifizierung

Eine finale deutsche nationale Spezifizierung der SRI-Bewertungsmethode existiert aktuell nicht. Ein Jahr nach der Novellierung der EU-Gebäudeeffizienzrichtlinie, in welcher zum ersten Mal die Bewertung mittels Smart Readiness Indicator (SRI) verkündet wurde, wurde im Auftrag der HEA – Fachgemeinschaft für effiziente Energieanwendung e.V. gemeinsam mit dem Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e. V. (BDEW) die erste Grundlagenstudie zum SRI [11] veröffentlicht. Im Jahr 2021 wurde eine Studie im Auftrag von BMWK erarbeitet und Mitte 2022 veröffentlicht [12]. Auch in Österreich beschäftigt man sich mit der möglichen Einführung des SRI. Hier wird im Rahmen einer Studie ein Konzept als Vorbereitung einer nationalen Spezifizierung des SRI erarbeitet [13]. Die beiden deutschen Studien sowie die österreichische Studie werden nachfolgend kurz vorgestellt.

#### 5.1.1 Grundlagenstudie SRI von HEA/BDEW

Ein Jahr nach der Novellierung der EU-Gebäudeeffizienzrichtlinie wurde im Auftrag der HEA – Fachgemeinschaft für effiziente Energieanwendung e.V. gemeinsam mit dem Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e. V. (BDEW) eine Grundlagenstudie zum SRI im Februar 2019 veröffentlicht [11]. Im Rahmen der Grundlagenstudie wurde die erste Interpretation des Smart Readiness Indicators unter Berücksichtigung der veröffentlichten Erkenntnisse des EU-SRI erarbeitet. Die Grundlagenstudie behandelt nur die Ermittlung des Indikators, der den Grad der Intelligenzfähigkeit von Wohngebäuden bestimmt und fokussiert sich auf die Nutzer wie Besitzer und Bewohner. Zusätzlich zum erarbeiteten Vorschlag des Projekt-Konsortiums im Auftrag der EU-Kommission sollen gemäß dem Vorschlag von HEA und BDEW die technischen Bereiche wie AAL (Altersgerechte Assistenzsysteme), Unterhaltung und Sicherheit bewertet werden. Der Schwerpunkt der Bewertung liegt aber auf dem Thema Energie und Energieeffizienz. In der Grundlagenstudie wird außerdem vorgeschlagen, in der Bewertung nicht nur die bereits installierte Anlagentechnik sowie die installierten Regel- und Steuerelemente zu berücksichtigen, sondern auch die vorhandene Infrastruktur bzw. die infrastrukturellen Voraussetzungen und die sogenannte „vorbereitende Installationen“ zu bewerten, die es ermöglichen, das vorhandene System zu erweitern und weitere smarte Anwendungen zu integrieren. Die in der Grundlagenstudie entwickelte Bewertungsmethode wird anhand von zwei Anwendungsbeispielen aufgezeigt und vorgestellt. Es wird appelliert, die Bewertungsmethode unter Einbeziehung technologischer und politischer Weiterentwicklungen in regelmäßigen Abständen zu aktualisieren und anzupassen. Mit der Grundlagenstudie war es unter

anderem angedacht, einen lösungsorientierten Vorschlag zur Umsetzung des SRI zu erarbeiten und damit einen Beitrag zur nationalen Implementierung des EU-SRI zu leisten.

### **5.1.2 BMWK-Studie: Anpassung der SRI-Systematik für eine Einführung in Deutschland**

Die Studie „Anpassung der SRI-Systematik für eine Einführung in Deutschland“ wurde von einem Konsortium aus Guidehouse Germany GmbH, ITG Dresden, Öko-Institut e.V., FIW München und adelphi consult GmbH im Auftrag des BMWK erarbeitet und Mitte 2022 veröffentlicht [12]. Das Ziel der Studie ist es, die vorgeschlagene Bewertungsmethode der EU-Kommission bzw. des von ihr beauftragten Projekt-Konsortiums zu analysieren, an die Rahmenbedingungen in Deutschland anzupassen und einen Vorschlag zur Einführung des SRI zu erarbeiten. Weiterhin werden in der Studie die Auswirkungen des SRI auf die Energieeffizienz und CO<sub>2</sub>-Bilanz von Gebäuden untersucht und die Einsparungspotenziale jedes technischen Bereichs aufgezeigt. Die angepasste Bewertungsmethode wird anhand von insgesamt sieben Gebäudetypen (drei typische Wohngebäude und vier typische Nichtwohngebäude) getestet. Die vorgeschlagene SRI-Bewertungsmethode wird unter anderem auf Schwachstellen untersucht und es werden Empfehlungen zur Einführung des SRI in Deutschland abgeleitet.

Im Rahmen der Anpassung der SRI-Bewertungsmethode für Deutschland wird die grundsätzliche Struktur der Bewertung von drei Kernfunktionalitäten, sieben Wirkungskriterien, der Vergabe von Punkten für einzelne Funktionalitätsniveaus sowie die Gewichtungen gemäß dem EU-Vorschlag beibehalten. Allerdings werden aus den insgesamt 54 „Smart ready services“ des EU-Vorschlags nur 21 „Smart ready services“ für Wohngebäude und separat 22 „Smart ready services“ für Nichtwohngebäude gebildet. Dabei werden aus dem Katalog nur „Smart ready services“ mit der höchsten Relevanz für Deutschland ausgewählt. „Smart ready services“, die eine gemeinsame Bewertung erfordern, werden zusammengefasst. Zu der getroffenen Auswahl werden zusätzlich weitere „Smart ready services“, die marktgängige Technologie abbilden und/oder nahezu in jedem Gebäude vorhanden sind, hinzugefügt.

Die Höhe der Gewichtungen wird für die deutsche Spezifizierung vor dem Hintergrund der Energiewende in Richtung Energieeffizienz und Netzdienlichkeit verschoben. Ein Vergleich der Gewichtungen mit dem EU-Vorschlag ist in der nachfolgenden Tabelle 8 dargestellt.



Tabelle 8: Vergleich der vorgeschlagenen Gewichtung für die SRI-Bewertungsmethode in Deutschland gemäß BMWK-Studie mit dem Vorschlag der EU-Kommission.

<b>Vorschlag Gewichtung SRI Deutschland</b>						
Energieeffizienz		Netzdienstlichkeit	Nutzerkomfort			
40 %		40 %	20 %			
Energieeffizienz	Wartung und Fehlervorhersage	Energieflexibilität und -speicherung	Komfort	Benutzerfreundlichkeit	Gesundheit, Wohlbefinden	Verbrauchsinformation
30 %	10 %	40 %	5 %	5 %	5 %	5 %

<b>Gewichtung SRI Vorschlag EU</b>						
Energieeffizienz		Netzdienstlichkeit	Nutzerkomfort			
33 %		33 %	33 %			
Energieeffizienz	Wartung und Fehlervorhersage	Energieflexibilität und -speicherung	Komfort	Bequemlichkeit	Gesundheit, Wohlbefinden und Zugänglichkeit	Informationen für Gebäudeutzer
17 %	17 %	33 %	8 %	8 %	8 %	8 %

Auch die Gewichtung der technischen Bereiche innerhalb einzelner Wirkungskriterien wird im Rahmen der deutschen Spezifizierung anders als im EU-Vorschlag vorgenommen. Die vorgeschlagenen Gewichtungen sind für Wohngebäude in Tabelle 9 und für Nichtwohngebäude in Tabelle 10 zusammengestellt. So soll im Rahmen der deutschen Bewertungsmethode bei Wohngebäuden der technische Bereich „Monitoring“ und bei Nichtwohngebäuden der technische Bereich „Trinkwassererwärmung“ nicht bewertet werden.

Tabelle 9: Vorschlag für die Gewichtung technischer Bereiche je Wirkungskriterium für Wohngebäude im Rahmen der Anpassung der Bewertungsmethode für Deutschland gemäß der BMWK-Studie.

Wohngebäude	Energieeffizienz	Energieflexibilität und -speicherung	Komfort	Benutzerfreundlichkeit	Gesundheit, Wohlbefinden	Wartung und Fehlervorhersage	Informationen für die Gebäudeutzer
Heizung	45,0 %	25,0 %	20,0 %	14,3 %	20,0 %	45,0 %	45,0 %
Trinkwassererwärmung	20,0 %	15,0 %	0,0 %	14,3 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %
Kühlung	5,0 %	0,0 %	20,0 %	14,3 %	20,0 %	10,0 %	0,0 %
Raumlufttechnische Anlage	10,0 %	0,0 %	20,0 %	0,0 %	20,0 %	25,0 %	10,0 %
Beleuchtung	5,0 %	0,0 %	20,0 %	14,3 %	20,0 %	0,0 %	0,0 %
Elektrizität	10,0 %	30,0 %	0,0 %	14,3 %	0,0 %	20,0 %	45,0 %
Dynamische Gebäudehülle	5,0 %	0,0 %	20,0 %	14,3 %	20,0 %	0,0 %	0,0 %
Laden von Elektrofahrzeugen	0,0 %	30,0 %	0,0 %	14,3 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %
Monitoring	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %
<b>Summe</b>	<b>100 %</b>	<b>100 %</b>	<b>100 %</b>	<b>100 %</b>	<b>100 %</b>	<b>100 %</b>	<b>100 %</b>

Tabelle 10: Vorschlag für die Gewichtung der technischen Bereiche je Wirkungskriterium für Nichtwohngebäude im Rahmen der Anpassung der Bewertungsmethode für Deutschland gemäß der BMWK-Studie.

Nichtwohngebäude	Energieeffizienz	Energieflexibilität und -speicherung	Komfort	Benutzerfreundlichkeit	Gesundheit, Wohlbefinden	Wartung und Fehlervorhersage	Informationen für die Gebäudenutzer
Heizung	25,0 %	25,0 %	16,7 %	12,5 %	16,7 %	25,0 %	25,0 %
Trinkwassererwärmung	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %
Kühlung	10,0 %	0,0 %	16,7 %	12,5 %	16,7 %	20,0 %	25,0 %
Raumlufttechnische Anlage	20,0 %	0,0 %	16,7 %	12,5 %	16,7 %	25,0 %	25,0 %
Beleuchtung	7,5 %	0,0 %	16,7 %	12,5 %	16,7 %	0,0 %	0,0 %
Elektrizität	10,0 %	25,0 %	0,0 %	12,5 %	0,0 %	20,0 %	25,0 %
Dynamische Gebäudehülle	7,5 %	0,0 %	16,7 %	12,5 %	16,7 %	0,0 %	0,0 %
Laden von Elektrofahrzeugen	0,0 %	25,0 %	0,0 %	12,5 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %
Monitoring	20,0 %	25,0 %	16,7 %	12,5 %	16,7 %	10,0 %	0,0 %
<b>Summe</b>	<b>100 %</b>	<b>100 %</b>	<b>100 %</b>	<b>100 %</b>	<b>100 %</b>	<b>100 %</b>	<b>100 %</b>

Des Weiteren wurde in der BMWK-Studie eine Darstellung des SRI-Zertifikats entworfen. Aus der Darstellung soll zusätzlich zur Gesamt-SRI-Punktzahl auch der Erfüllungsgrad der drei Kernfunktionalitäten ersichtlich werden. Außerdem wird die im Gebäude tatsächlich erreichte Punktzahl einmal mit dem im untersuchten Gebäude erreichbaren Maximum mit vorhandener Technik und ergänzend dazu mit dem Maximum eines einem smarten Beispielgebäudes entsprechenden Gebäudetyps mit grundsätzlich maximal möglicher technischer Ausstattung verglichen. Die grafische Darstellung der Ergebnisse soll mit angehängten Detailinformationen und Vorschlägen zu Optimierungsmaßnahmen ergänzt werden. Durch diese Vorgehensweise soll dem Nutzenden das Verbesserungspotential aufgezeigt und Hilfestellung zur Umsetzung geleistet werden.

Die angepasste Bewertungsmethode wird anhand von insgesamt drei typischen Wohngebäuden und vier Nichtwohngebäuden aus dem ZUB-Modellgebäudekatalog getestet. Dabei werden die drei Wohngebäude einmal als Bestand und zusätzlich als Neubauten mit einer für das Baualter jeweils typischen technischen Ausstattung betrachtet. Die Nichtwohngebäude werden in Bestandsgebäude und Neubaugebäude aufgeteilt. Der Test der Methode an den Beispielobjekten hat gezeigt, dass der Gesamt-SRI relativ niedrig ausfällt. Deswegen wurden im Rahmen der Bewertung auch Maßnahmen identifiziert, mit denen die SRI-Punktzahl angehoben werden kann. Bei der Auswahl der Maßnahmen wurde der Schwerpunkt auf technisch einfach umsetzbare und auch auf geringinvestive Maßnahmen bzw. Maßnahmen mit geringer Amortisationszeit gelegt. Als häufige Maßnahmen wurden dabei die Ausweitung der netzdienlichen EV-Ladepkapazitäten, die automatische Steuerung des Sonnenschutzes sowie die bedarfsgerechte Regelung von Heizung, Kühlung und Lüftung identifiziert.

Die angepasste SRI-Bewertungsmethode wird unter anderem auf Schwachstellen analysiert. Als Schwachstellen werden folgende Punkte hervorgehoben:

- Der SRI bewertet nur das theoretische Potential, so z. B. bei der Bewertung der Nutzerinformationen. Werden Gebäudenutzenden Informationen zur Verfügung gestellt, gehen diese nicht zwangsläufig mit Optimierungshandlungen einher.
- Die starre Gewichtung der technischen Bereiche, die derzeit nur für Wohn- und Nichtwohngebäude unterschieden werden. So kann es bei Gebäuden mit spezifisch ausgeprägten technischen Bereichen (wie z. B. Hotels mit hohem Warmwasserbedarf, Rechenzentren mit hohen internen Lasten, Kühllager mit hohem Kühlenergiebedarf, usw.) dazu kommen, dass die einzelnen Bereiche aufgrund der starren Gewichtung nicht entsprechend ihrer gebäude-spezifischen Bedeutung bewertet werden.
- Die Änderung der maximalen SRI-Punktzahl bei nicht vorhandenen technischen Bereichen kann zu Missverständnissen bei einem Gebäudevergleich führen.
- Der SRI wird ausschließlich als ein Maßstab für die Intelligenz der Steuerungs- und Regelungstechnik gesehen, welcher lediglich die (theoretisch) erzielbare Verbesserung durch die intelligente Steuerungs- und Regelungstechnik beschreibt.

Die Studie wird mit Empfehlungen zur Implementierung des SRI in Deutschland abgeschlossen. Als Umsetzungsempfehlungen werden unter anderem folgende Aspekte adressiert:

- Die vorgeschlagene Bewertungsmethode sollte weiter analysiert und tiefergehender geprüft werden, vor allem in Bezug auf die Anwendbarkeit in der Praxis.
- Zur Gewährleistung der Funktionsfähigkeit und der Akzeptanz sollten Stakeholder in den Dialogprozess mit eingebunden werden.
- Die Einführung des SRI sollte zunächst als freiwilliges Instrument erfolgen und das SRI-Zertifikat vor dem Hintergrund der Komplexität und zur Gewährleistung der Qualität durch zertifizierte ExpertInnen ausgestellt werden.
- Die Darstellung der Bewertungsergebnisse sollte in zwei Stufen erfolgen: Es wird empfohlen, die grafische Darstellung mit detaillierten Hintergrundinformationen und Verbesserungsmaßnahmen zu ergänzen.
- Weitere Empfehlungen sind: ein Online-Tool bereitzustellen, eine geeignete Datenbankstruktur zu entwickeln und einen Erfahrungsaustausch auf der EU-Ebene mit anderen Mitgliedstaaten zu führen.

### 5.1.3 Nationale Spezifizierung in Österreich

In Rahmen einer Studie wurde auch in Österreich das Thema Smart Readiness Indicator (SRI) analysiert und ein Konzept als Vorbereitung einer nationalen Spezifizierung des SRI sowie die Definition von wichtigen Punkten im SRI ausgearbeitet [13]. Mit der Studie sollte eine Grundlage für die nationale politische Entscheidung geliefert werden, den Smart Readiness Indicator entweder einzuführen oder bewusst nicht umzusetzen, sowie ein möglicher Prozess für eine nationale Umsetzung und Einbindung in die Energieausweiserstellung präsentiert werden. Es wurde ein österreich-spezifisches Bewertungsschema zur Ermittlung des SRI basierend auf dem Vorschlag des EU-Projekt-Konsortiums entwickelt. In die Entwicklung des österreichischen Vorschlags flossen unter anderem verstärkt die Meinung und die Einschätzung von Stakeholdern (erhoben in Befragungen, Interviews und Workshops), die Erkenntnisse aus parallellaufenden Masterarbeiten, Recherchen und aus dem Austausch mit dem EU-Projekt-Konsortium ein. Ähnlich wie in dem ausgearbeiteten Vorschlag der EU soll der Smart Readiness Indicator basierend auf den drei folgenden Säulen (im EU-Projekt „Kernfunktionalitäten“) bewertet werden:

- Säule 1: Flexibilität, Lastverschiebung
- Säule 2: Energieeffizienter Betrieb und Einsatz erneuerbarer Energietechnologien
- Säule 3: Bedarf der NutzerInnen

Dabei wird der Schwerpunkt bei der Gewichtung auf die beiden ersten Säulen mit je 50 und 40 % gelegt und die Säule „Flexibilität, Lastverschiebung“ als die Wichtigste erachtet. Die sieben Wirkungsbereiche aus dem EU-Vorschlag (Energieeffizienz, Wartung und Fehlervorhersage, Energieflexibilität und -speicherung, Komfort, Bequemlichkeit, Gesundheit, Wohlbefinden und Zugänglichkeit, Informationen für Gebäudenutzer) werden auf die folgenden vier konzentriert:

1. Nachhaltigkeit des Gesamtsystems (bezüglich CO<sub>2</sub>-Emissionen und Primärenergiebedarf)
2. Energieflexibilität / Netzdienlichkeit
3. Gesundheit, Wohlbefinden und Komfort
4. Information, Wartung, Fehlerwarnung, AnwenderInnenfreundlichkeit, Eingriffsmöglichkeiten

Außerdem wird vorgeschlagen, den Indikator in den Energieausweis zu integrieren und ihn so an den energetischen Gebäudestandard zu koppeln. Dadurch soll sichergestellt werden, dass Gebäuden mit hoher Umweltbelastung keine Smart Readiness zugesprochen werden kann.

## **6. Auswahl der Forschungsvorhaben aus der Forschungsinitiative Energiewendebauen für die Testanwendung durch die Begleitforschung**

Die Anwendung der von der EU vorgeschlagenen SRI-Bewertungsmethode soll anhand von mehreren Demonstrationsgebäuden aus der Forschungsinitiative Energiewendebauen getestet werden. Zusätzlich sollen erste Erfahrungen und Erkenntnisse, die mit der Anwendung der Bewertungsmethode gewonnen werden können, gesammelt und dokumentiert werden. Dafür werden aus den 157 Forschungsvorhaben, die Modul 2 (Gebäude) zugeordnet sind, basierend auf dem erarbeiteten Projektcluster und dem Ende des Jahres 2021 ausgesendeten Fragebogen insgesamt 20 Vorhaben identifiziert, die für die Bewertung geeignet erscheinen. Folgende Kriterien werden bei der Auswahl berücksichtigt:

- Im Rahmen des Forschungsvorhabens soll ein konkretes Demonstrationsgebäude oder ein Gebäudeteil bzw. eine Gebäudeeinheit geplant und umgesetzt werden bzw. worden sein.
- Das Forschungsvorhaben befindet sich in einer fortgeschrittenen Projektphase bzw. es ist bereits abgeschlossen und es liegt ein Abschlussbericht vor. So konnte davon ausgegangen werden, dass die Planung weit fortgeschritten bzw. abgeschlossen ist und ausreichend Informationen zur dynamischen Gebäudehülle, zur Anlagentechnik sowie zur Steuerung und Regelung vorliegen.
- Beim Demonstrationsgebäude werden über konventionelle Steuerung und Regelung hinaus im Bereich der Anlagentechnik und dynamischen Gebäudehülle „besondere“ evtl. smarte Ansätze und/oder eine Sektorkopplung verfolgt.

Bei der Auswahl wird weiterhin darauf geachtet, nach Möglichkeit alle Gebäudetypen wie Wohngebäude, Nichtwohngebäude, Mischgebäude, Bestandserweiterung sowie sowohl Neubau- als auch Sanierungsvorhaben in die SRI-Bewertung aufzunehmen. Aus den 20 identifizierten Forschungsvorhaben werden deshalb insgesamt 12 Vorhaben kontaktiert. Die restlichen acht Forschungsvorhaben werden als Ersatzoption zurückgehalten.

Die für die Bewertung erforderlichen Informationen werden in drei Schritten mit Unterstützung der Projektnehmer zusammengetragen und in das Tool eingepflegt. Die drei Schritte sind:

#### Schritt 1:

Im ersten Schritt identifiziert und kontaktiert die Begleitforschung den für das Thema (smarte) Regelungen und Technologien geeigneten Ansprechpartner innerhalb des jeweiligen Projekts. Die für das Projekt relevanten technischen Bereiche werden mit dem Ansprechpartner abgestimmt. Außerdem wird in Erfahrung gebracht, inwiefern (Zwischen-)Berichte bzw. anderweitige detaillierte Informationen zum Projekt vorliegen, die für die Bewertung zur Verfügung gestellt werden können. Dafür entwickelt die Begleitforschung eine tabellarische Abfrage, die vorausgefüllt mit bereits bekannten Informationen zur Anlagentechnik durch den Ansprechpartner zu ergänzen ist.

#### Schritt 2:

Aufbauend auf dem ersten Schritt werden nun detaillierte Informationen zu den jeweils im Demonstrationsgebäude vorliegenden technischen Bereichen abgefragt und ausgewertet. Die Informationsabfrage wird dabei für jedes Forschungsvorhaben individuell zusammengestellt. Bei Vorlage von (Zwischen-)Berichten oder anderen ausreichend detaillierten Informationsgrundlagen werden die verfügbaren Informationen von der Begleitforschung direkt in das SRI-Bewertungstool übertragen.

#### Schritt 3:

Im dritten Schritt ist die Finalisierung der Eingaben im Excel-Bewertungstool vorgesehen sowie die abschließende Kontrolle auf Korrektheit durch den Ansprechpartner im Projekt. Zur besseren Übersichtlichkeit und zur Reduzierung des Zeitaufwands werden dem Ansprechpartner nur die relevanten Einstellungen in einzelnen technischen Bereichen zur Kontrolle zusammengestellt.

Durch diese Vorgehensweise soll eine möglichst hohe Korrektheit der Eingaben bei gleichzeitig möglichst geringem Aufwand für die Ansprechpartner erzielt werden. Auf diese Weise können insgesamt sieben Demonstrationsgebäude für die SRI-Bewertung gewonnen werden. Bei den Gebäuden handelt es sich um fünf Neubauten und zwei Bestandserweiterungen. Vertreten sind folgende Gebäudetypen: ein Nichtwohngebäude, ein Mischgebäude, drei Wohngebäude und zwei Aufstockungen mit Wohnnutzung. Bei den ausgewählten Demonstrationsgebäuden werden nahezu alle technischen Bereiche der SRI-Bewertungsmethode abgedeckt. Eine Übersicht über die ausgewählten Forschungsvorhaben ist in Tabelle 11 enthalten. Eine ausführliche Beschreibung der Projekte erfolgt im Kapitel 7.

Tabelle 11: Übersicht über die für den SRI-Test ausgewählten Forschungsvorhaben aus der Forschungsinitiative Energiewendebauen (EWB).

Akronym	Forschungsvorhaben	Gebäudetyp und -nutzung	Besonderheiten
LLEC-Verwaltungsbau  Foto: @ hks   architekten GmbH, [16]	FKZ: 03EGB0010 Vorhaben: EG2050: LLEC-Verwaltungsbau: Klimaneutraler Verwaltungsbau als aktiver Teil des Living Lab Energy Campus (LLEC)	Neubau Nichtwohngebäude: Bürokomplex	<u>In allen Bereichen:</u> - Lernfähige und vorausschauende Regelstrategien - innovative Informations- und Kommunikationsplattform (IKT-Plattform): Regelung des Campus-Energiesystems, Erfassung von Echtzeitdaten, Sensibilisierung im Umgang mit Energie - Sensoren, Aktoren
Plus-EQ-Net  Foto: © Krämmel Unternehmensgruppe/ Matthias Fend	FKZ: 03ET1299 Vorhaben: EnOB: Plus-EQ-Net – Netzneutrales Wohn- und Geschäftshaus puls G in Geretsried	Neubau Mischgebäude: - Wohnen - Gewerbe	<u>Bereich Informationen:</u> Nutzer-App zur Verbrauchsvisualisierung <u>Bereich Lüftung:</u> Feuchtesensor für automatische Luftwechselanpassung <u>Bereich Elektrizität:</u> Optimierung der Nutzung des lokal erzeugten Stroms
Campo V  Foto: ©Roland Halbe, [21]	FKZ: 03EGB0011 Vorhaben: EG2050: Campo V: Umsetzung, Monitoring und Betriebsoptimierung eines nahezu klimaneutralen Gebäudes „AktivPLUS Studentenwohnheim Campo V“	Neubau Wohngebäude: Wohnheim	<u>Bereich Informationen:</u> - Nutzer-App - Dashboard vor Ort Differenzierte Darstellung von: - Betriebsdaten - Gebäudeperformance - Innenraumluftqualität - Erfassung und Visualisierung der Wärme- und Stromverbräuche
Eversol-MFH  Foto: © A. Gäbler, Technische Thermodynamik, TU Bergakademie Freiberg, [23]	FKZ: 03ETS004 Vorhaben: Eversol-MFH – Technisch-wirtschaftliche und soziologische Evaluierung vernetzter hochgradig solar versorgter Mehrfamilienhäuser bei Einführung eines Pauschal-Mietmodells	Neubau Wohngebäude: Mehrfamilienhaus	<u>Bereich Informationen:</u> Webseite und zusätzlich eigener Account mit Zugang zu ausgewählten/aufbereiteten Messwerten

Fortsetzung Tabelle 11: Übersicht über die für den SRI-Test ausgewählten Forschungsvorhaben aus der Forschungsinitiative Energiewendebauen (EWB).

Akronym	Forschungsvorhaben	Gebäudetyp und -nutzung	Besonderheiten
MFH Möhringen  Foto: © TAKTICS GmbH, [24]	FKZ: 03EGB0015 Vorhaben: EG2050: MFH Möhringen – Umsetzung, Monitoring und Betriebsoptimierung eines nahezu klimaneutralen Gebäudes – „AktivPLUS Mehrfamilienhaus in Stuttgart Möhringen“	Neubau Wohngebäude: Mehrfamilienhaus	<u>Bereich Informationen:</u> Monatliche Auswertung der Energieverbräuche Wärme und Strom und Informationen zu Mobilität
SDE21-MIMO  Foto: HDU Team MIMO, Foto Marvin Hillebrand	FKZ: 03EGB0031 Vorhaben: EG2050: SDE21-MIMO – Teilnahme des Teams MIMO der Hochschule Düsseldorf am Solar Decathlon Europe 2021 in Wuppertal	Bestandserweiterung: Wohnen	<u>Bereich Informationen:</u> Visualisierung der Werte sowie Benchmarking mittels Gira-Homeserver (App) <u>Bereich Lüftung:</u> Feuchtesensor für automatische Volumenstromregelung <u>Bereich Elektrizität:</u> Optimierung der Nutzung des lokal erzeugten Stroms
SDE21-coLLab  Foto: © Team coLLab HFT Stuttgart, [28]	FKZ: 03EGB0028 Vorhaben: EG2050: SDE21-coLLab – Teilnahme des Teams coLLab der HFT Stuttgart am Solar Decathlon Europe 2021	Bestandserweiterung: Wohnen	<u>Bereich Informationen:</u> App-Zugriff + zentrales Tablet mit Visualisierung der Werte sowie Prognosen <u>Bereich Heizung:</u> Steuerung lastabhängig und in Abhängigkeit von Netzsignalen <u>Bereich Beleuchtung:</u> Automatisches Dimmen <u>Bereich Elektrizität:</u> Optimierung der Nutzung des lokal erzeugten Stroms

## 7. Vorstellung der bewerteten Forschungsvorhaben

Im Folgenden werden die sieben Demonstrationsgebäude aus der Forschungsinitiative Energiewendebauen, welche mit Hilfe des aktuell zur Verfügung stehenden SRI-Bewertungs-Tools in Hinblick auf Smart Readiness bewertet werden, detaillierter vorgestellt. In einer kurzen Projektbeschreibung wird ein Überblick über den Inhalt und die Ziele des Forschungsvorhabens sowie den aktuellen Stand des Projektes gegeben. Danach werden das beinhaltete Demonstrationsgebäude sowie die im Gebäude installierte Anlagentechnik beschrieben. In einem

Steckbrief werden alle wesentlichen Informationen zum Gebäude und zu den zu bewertenden technischen Bereichen zusammengefasst. Der Steckbrief enthält auch Informationen zur Steuerung und Regelung der vorhandenen Anlagentechnik, zur Form der Informationen, die dem Gebäudenutzer zur Verfügung gestellt werden, sowie zu vorhandenen Maßnahmen in Bezug auf Flexibilität und Netzinteraktion.

### **7.1 LLEC-Verwaltungsbau (FKZ: 03EGB0010A)**

#### **EG2050: LLEC-Verwaltungsbau: Klimaneutraler Verwaltungsbau als aktiver Teil des Living Lab Energy Campus (LLEC)**

##### **Projektbeschreibung:**

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wird auf dem Gelände des Forschungszentrums Jülich am Beispiel eines Neubaus die Erstellung eines energieeffizienten Gebäudes mit einem komplexen Energiesystem unter der Einbeziehung erneuerbarer Energien und der Nutzung von Abwärmepotentialen demonstriert. Der Neubau soll als klimaneutrales Gebäude gebaut werden sowie eine positive Primärenergiebilanz aufweisen. Als Forschungsinhalte werden die datentechnische Erfassung sowie die Steuerung und Regelung komplexer, dezentraler Infrastrukturen adressiert. Das nachhaltige Gebäudekonzept soll sich durch geringe Lebenszykluskosten und eine gute Ökobilanz hervorheben [14].

Stand des Projektes Mitte 2022: Bau des Gebäudes (Laufzeit: Januar 2018 – Dezember 2022).

##### **Gebäude und Anlagentechnik:**

Beim Neubau des Forschungsvorhabens handelt es sich um ein viergeschossiges Bürogebäude mit einer quadratischen Grundform und einem mittig platzierten Innenhof mit einer gesamten Fläche von ca. 5.120 m<sup>2</sup>. Das Gebäude soll mit einer alternativen Gebäudeleittechnik und einem innovativen Lüftungskonzept ausgestattet werden. Außerdem soll im Gebäude das sogenannte „Data and Energy Service Lab“, eine Leitzentrale auf Basis einer innovativen IT-Plattform in Kombination mit einem Sensornetzwerk, verortet werden.

Die Wärmeversorgung des Gebäudes übernimmt ein kaltes Nahwärmenetz (ein Niedertemperaturnetz mit Abwärmennutzung eines wassergekühlten Supercomputers). Im Falle der Spitzenlast hebt eine Wärmepumpe die Vorlauftemperatur an. Die Wärmeübergabe erfolgt größtenteils durch Betonkernaktivierung. Die Betonkernaktivierung dient auch als Kälteübergabe zum Kühlen des Gebäudes. Dafür ist das Gebäude an bestehende zentrale Kaltwasserversorgungsanlagen, die über Kompressions- und Adsorptionskältemaschinen verfügen, angebunden. Das Lüftungskonzept sieht eine Kombination aus Fensterlüftung und mechanischer Lüftung vor. Bei diesem innovativen Lüftungskonzept wird Zuluft auf einer Seite des Flurs zugeführt und auf der anderen Seite des Flurs wieder abgeführt. Die am Flur angrenzenden Räume werden durch konvektive und diffusive Vorgänge mitgelüftet. Die Steuerung des Zuluftvolumenstroms erfolgt bedarfsabhängig anhand der Luftqualität der Abluft. Es ist auch eine Möglichkeit zur Nachtlüftung vorgesehen. Die im Gebäude installierte Beleuchtung ist dimmbar und in den Räumen sind Präsenzmelder installiert. So wird diese automatisch je nach Belegung und in Abhängigkeit des Tageslichtes entsprechend gesteuert. Für Beleuchtungs- und Jalousiesteuerung sind so genannte „Schaltaktoren“ installiert, die Stellsignale von einer Raumbedieneinheit oder aus der Cloud erhalten können. Dies ermöglicht auch eine modellprädiktive Steuerung des außenliegenden Sonnenschutzes [15]. Auf dem Dach und an der



Fassade sind Photovoltaikanlagen installiert. Der Strom wird in einer außerhalb des Gebäudes aufgestellten Batterie zwischengespeichert.

Zur effizienten Heizung und Kühlung der Räume wird für die Gebäudenutzer ein Dashboard „JuControl“ (eine grafische Benutzeroberfläche / -schnittstelle) entwickelt. Damit sollen die Nutzer einen besseren Einblick in den eigenen Verbrauch und die Luftqualität bekommen, aber auch Vorschläge zur Reduzierung des Verbrauchs und für die Komfortsteigerung erhalten. Außerdem können die Nutzer individuell für ihren Raum Betriebsszenarien vorgeben (z. B. Solltemperaturen, angedachte Präsenz im Raum etc.). Im Hintergrund werden modellprädiktive, adaptive Regelungsansätze eingesetzt, die unter anderem das bedarfsgerechte Beheizen der Räume unter optimaler Nutzung von bspw. Sonnenlicht erlauben. Dabei werden Prognosen bzgl. Raumbelastung und solarer Einstrahlung miteinbezogen. Das für den Regler zugrundeliegende Modell wird im Laufe der Zeit mit Hilfe von Messdaten schrittweise nachgebessert [15]. Direkt vor dem Gebäude befinden sich Parkplätze, die jedoch mit keiner Ladeinfrastruktur ausgestattet sind.

Am Gebäude soll ein bedarfsgerechter, dynamischer und optimierter Gebäudebetrieb auf Basis von modellbasierten prädiktiven Regelungsstrategien (multilevel MPC) demonstriert werden. Im Fokus des Projektes steht eine cloudbasierte Informations- und Kommunikationsplattform (IKT-Plattform), die die Grundlage für das Monitoring, die Optimierung und die Regelung der Energieströme auf Basis vorausschauender und lernfähiger Algorithmen, die Erfassung von Echtzeitdaten und die Sensibilisierung für den Umgang mit Energie darstellt. Dafür werden in den Räumen Sensoren und Aktoren installiert, die über Internet-of-Things- (IoT) Gateways eine Verbindung zur IKT-Plattform darstellen.

Steckbrief: LLEC-Verwaltungsbau		
Neubau: Nichtwohngebäude  Nutzung: Bürokomplex	 <p>           Foto: @ hks   architekten GmbH            Quelle: Forschungszentrum Jülich, Living Lab Energy Campus:            Klimaneutraler Verwaltungsbau G16.17 [16]         </p>	
Heizung	Wärmeversorgung	Grundlast: kalte Nahwärme mit konstanter Temperaturregelung Spitzenlast: Wärmepumpe mit variabler Steuerung der Leistung abhängig von der Heizlast und von externen Signalen aus dem Netz.
	Wärmeverteilung	Bedarfsorientierte Steuerung der Temperatur des Wärmeträgermediums mit mehrstufiger Steuerung der Umwälzpumpen.
	Wärmeübergabe	Büros: Betonkernaktivierung für Grundlast, Konvektoren für Spitzenlast Regelung: Automatische Steuerung mit intermittierendem Betrieb und/oder Rückführung der Raumtemperatur
Trinkwarmwasser	TWW-Bereitung	Keine
Kühlung	Kälteversorgung	zentrale Kaltwasserversorgungsanlagen mit Ein/Aus-Steuerung (Bestandsanlage)
	Kälteverteilung	Konstante Temperaturregelung der Kaltwassertemperatur im Verteilnetz ohne automatische Steuerung der Umwälzpumpen
	Kälteübergabe	Büros: Betonkernaktivierung Regelung: Automatische Steuerung mit intermittierendem Betrieb und/oder Rückführung der Raumtemperatur
Lüftung	Natürliche Lüftung	Fensterlüftung
	Mechanische Lüftung	Innovatives Lüftungskonzept mit Luftzufuhr und -abfuhr im Flur, automatische Volumenstrom- oder Druckregelung, bedarfsgesteuert anhand der Luftqualität.
Beleuchtung	Steuerung	Automatische Präsenzerfassung, automatisches Dimmen tageslichtabhängig sowie szenenbasiert
Dyn. Gebäudehülle	Sonnenschutz	Modellprädiktive Steuerung
	Fenster	Erfassung des Fensterstatus über Funkfenstergriffe (ebenso Öffnungsstatus der Türen)
Elektrizität	Stromerzeugung	Photovoltaik (Dachanlage und fassadenintegrierte Anlage)
	Stromspeicherung	Li-Ionen-Großbatterien
E-Mobilität	Ladesäulen	Die Parkplätze vor dem Gebäude sind mit keiner Ladeinfrastruktur ausgestattet.
Kontrolle, Feedback, Flexibilität und Netzinteraktion	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Es erfolgt eine zentralisierte automatische Erfassung und Überwachung der Anlagentechnik im Sinne des SRI, inkl. Fehleranzeige und Diagnose.</li> <li>- Echtzeitanalyse und Visualisierung der Energiedaten auf Energy Dashboards (historische und Echtzeit-Betriebsdaten). Über das „JuControl“-Dashboard besteht die Möglichkeit, auf die Messdaten des eigenen Raums zuzugreifen bzw. Eingaben für die Betriebsführung vorzugeben.</li> <li>- Informations- und Kommunikationsplattform (IKT-Plattform), Echtzeitdaten, modellprädiktive Steuerung, Prognosen (Wetter, Nutzung, Verbrauch), Demand Side Management (DSM).</li> <li>- Maßnahmen zur Flexibilität und Netzinteraktion finden in folgenden Bereichen statt: Heizung, Kühlung, Elektrizität, Überwachung und Kontrolle.</li> </ul>	

## 7.2 Plus-EQ-Net (FKZ: 03ET1299) und plus-EQ-Net II (FKZ: 03EN1046)

EnOB: Plus-EQ-Net, plus-EQ-Net II – Netzneutrales Wohn- und Geschäftshaus puls G in Geretsried

### Projektbeschreibung:

Das Forschungsprojekt „Plus-EQ-Net“ verfolgt das Ziel, ein intelligentes zukunftsfähiges Energiekonzept mit Einbezug marktreifer anlagentechnischer Komponenten zu entwickeln und in einem Pilotvorhaben umzusetzen. Folgende Themenschwerpunkte werden im Vorhaben adressiert: elektrische Netzneutralität, Entkopplung von Erzeugung und Verbrauch, hybride und möglichst erneuerbare Wärmeerzeugung, Power-to-Heat, saisonale Regelungskonzepte, integrale Planung und Betriebsoptimierung sowie stärkere Einbeziehung der NutzerInnen und ihrer Bedürfnisse. Mit Hilfe des Monitorings wird nicht nur eine energetische Bewertung vorgenommen, sondern ein Tool für die Betriebsoptimierung entwickelt und eine Verbrauchsvizualisierung umgesetzt. Das Forschungsprojekt „Plus-EQ-Net“ wird in einer zweiten Phase fortgeführt. Im Forschungsprojekt „plus-EQ-Net II“ ist es vorgesehen, den Betrieb des Wohn- und Geschäftshauses zu optimieren, ein wissenschaftliches Monitoring des Betriebsverhaltens durchzuführen und Erkenntnisse für die digitale Planung von komplexen Gebäudenutzungen zu gewinnen [17], [18], [19].

Stand des Projektes „Plus-EQ-Net“: abgeschlossen (Laufzeit: Juli 2017 – Juni 2021).

Stand des Projektes „plus-EQ-Net II“: in Durchführung (Laufzeit: August 2017 – Juli 2024).

### Gebäude und Anlagentechnik:

Im Rahmen des Pilotvorhabens wird ein Gebäude mit Mischnutzung realisiert. Im Erdgeschoss des Gebäudes befindet sich ein Supermarkt (Vollsortimenter). Das erste Obergeschoss ist für Gewerbeeinheiten wie Arztpraxen, eine Bank und Büros vorgesehen. In den darüberliegenden fünf Geschossen sind insgesamt 66 Wohnungen untergebracht. Das Gebäude ist unterkellert und verfügt über eine Tiefgarage. Für die SRI-Bewertung werden nur die Wohn- und Gewerbeeinheiten betrachtet.

Die Wärmeversorgung des Gebäudes übernehmen eine Wasser-Wasser-Wärmepumpe, eine Abluft-Wärmepumpe sowie ein Gas-Blockheizkraftwerk (BHKW). Unter der Bodenplatte des Gebäudes befindet sich ein Geothermiekollektorfeld, welches als Wärmequelle für die Wasser-Wasser-Wärmepumpe dient. Die Abluft-Wärmepumpe nutzt die Abluft aus den Wohnungen und Gewerbeeinheiten. Die BHKW gehen nur dann in Betrieb, wenn der thermische und elektrische Energiebedarf des Wohn- und Geschäftshauses nicht durch erneuerbare Energien gedeckt werden kann. Weiterhin wird vom Vollsortimenter Abwärme in das Kollektorfeld und auch direkt in die Pufferspeicher zur Nutzung eingespeist. Die thermische Energie wird in mehreren Pufferspeichern gespeichert, die zur Versorgung der Fußbodenheizung und der Frischwasserstationen dienen. Die Frischwasserstationen sind in den einzelnen Wohneinheiten installiert. Die Gewerbeeinheiten verfügen vereinzelt über dezentrale elektrische Durchlauferhitzer (WC/Teeküche). Damit kann das Wärmeverteilnetz für die Heizung und das Trinkwarmwasser ganzjährig auf einem Niedertemperaturniveau von weniger als 45 °C betrieben werden. Persönliche Komfortwünsche für höhere Trinkwarmwassertemperaturen sind in den Wohneinheiten über Fernbedienungen einstellbar (Elektro-Booster). Die Gewerbeflächen werden zusätzlich passiv über die Deckenkühlung gekühlt. Das Lüftungskonzept sieht eine Abluftanlage in Nassräumen vor, wobei die Frischluftzufuhr über Außenluftdurchlässe erfolgt. Die Wärmerückgewinnung erfolgt zentral über eine Wärmepumpe. Feuchtesensoren in der Abluft regeln automatisch die Höhe des Luftwechsels in den Wohneinheiten.

Sowohl die Beleuchtung als auch der außenliegende Sonnenschutz werden manuell gesteuert. Auf den Dachflächen des Gebäudes ist eine Photovoltaikanlage installiert. Zur Überbrückung des zeitlichen Versatzes zwischen Stromangebot und -bedarf dient ein Stromspeicher. Dabei wird die Nutzung des lokal erzeugten Stroms optimiert und der Stromverbrauch automatisiert gemanagt. Ein Teil der Parkplätze der Tiefgarage wird mit einer Ladeinfrastruktur ausgestattet. Zusätzlich zur zentralen Berichtserstattung über die Energieverbräuche (Wärme, Kälte, Strom) sowie über die Stromerzeugung und -speicherung ist es geplant, die Gebäudenutzer mittels einer App einzubeziehen und die Verbräuche zu visualisieren. Im Abschlussbericht [18] wurde gezeigt, dass das derzeit umgesetzte Regelungskonzept Verbesserungspotential hinsichtlich der Betriebsstrategie der Anlagen und Speicherauslastung birgt. Bereits mit einem einfachen prädiktiven Ansatz der Lastermittlung auf Basis von Vergangenheitsdaten könnte, so die Autoren des Berichtes, eine Verbesserung des Anlagen- und Regelungsbetriebes erwirkt werden.

<b>Steckbrief: Plus-EQ-Net</b>		
<p>Neubau: Mischgebäude bestehend aus einem Mehrfamilienhaus mit Gewerbeflächen</p> <p>Nutzung: Wohnen, Gewerbe</p>		
<p>Foto: © Krämmel Unternehmensgruppe/Matthias Fend Quelle: Krämmel Unternehmensgruppe/Matthias Fend</p>		
Heizung	Wärmeversorgung	Wasser-Wasser-Wärmepumpe und Abluft-Wärmepumpe mit Ein/Aus-Steuerung, Gas-BHKW mit konstanter Temperaturregelung; Abwärmenutzung Vollsortimenter direkt (Speicher) und indirekt (Erdkollektorfeld).
	Wärmespeicherung	Pufferspeicher, Betrieb mit dauerhafter Speicherung
	Wärmeverteilung	Bedarfsorientierte Steuerung der Temperatur des Wärmeträgermediums mit Steuerung der Umwälzpumpen über variable Drehzahl
	Wärmeübergabe	Wohnungen: Fußbodenheizung Gewerbe: Fußbodenheizung Regelung: Einzelraumregelung
Trinkwarmwasser	dezentral	Wohnungen: Frischwasserstationen mit Elektro-Booster und Nutzerwunscheinstellung (Temperatur) Gewerbe: Keine WW-Bereitung (vereinzelt elektrische Durchlauferhitzer)
Kühlung	Kälteversorgung	Geothermiekollektorfeld (passive Kühlung)
	Kälteverteilung	Außentemperaturgeführte Steuerung der Temperatur des Kälte-trägermediums mit Steuerung der Umwälzpumpen über eine variable Drehzahl
	Kälteübergabe	Wohnungen: Keine Kühlung Gewerbe: Deckenkühlung Regelung: Einzelraumregelung
Lüftung	Natürliche Lüftung	Fensterlüftung möglich
	Mechanische Lüftung	Abluftanlage mit zentraler Wärmerückgewinnung über Wärmepumpe in den Nassräumen mit Feuchtesensor zur Regelung des Luftwechsels
Beleuchtung	Steuerung	Wohnungen und Gewerbe: manuelle Steuerung über Schalter
Dyn. Gebäuhülle	Sonnenschutz	Rollladen manuell raumweise steuerbar
	Fenster	manuelles Öffnen
Elektrizität	Stromerzeugung	Photovoltaik, Gas-BHKW
	Stromspeicherung	Batterie
E-Mobilität	Ladesäulen	Für einen Teil der Parkplätze: Ladeinfrastruktur mit 1-Weg-gesteuertem Laden
Kontrolle, Feedback, Flexibilität und Netzinteraktion	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Es erfolgt keine automatische Erfassung und Überwachung der Anlagentechnik im Sinne des SRI.</li> <li>- Zentrale Berichterstattung der Energieverbräuche (Wärme, Kälte, Strom). In Planung die Einbeziehung der Gebäudenutzer mittels einer App.</li> <li>- Maßnahmen zur Flexibilität und Netzinteraktion finden in folgenden Bereichen statt: Elektrizität, Laden von Elektrofahrzeugen, Heizung (stromgeführtes BHKW und flexibler Betrieb der Wärmeerzeuger, Speicherladung bei Sonnenschein).</li> </ul>	

### 7.3 Campo V (FKZ: 03EGB0011)

#### EG2050: Campo V: Umsetzung, Monitoring und Betriebsoptimierung eines nahezu klimaneutralen Gebäudes „AktivPLUS Studentenwohnheim Campo V“

##### Projektbeschreibung:

Beim Projekt „AktivPLUS Studentenwohnheim Campo V“ handelt es sich um den Neubau eines Studentenwohnheims mit einem innovativen Energiekonzept. Es sollen die Umsetzung eines nahezu klimaneutralen Gebäudestandards sowie die dafür notwendigen innovativen Technologien und Methoden demonstriert und evaluiert werden. Zur Erreichung des Ziels wird eine wirtschaftlich abgestimmte Kombination aus Reduzierung des Energiebedarfs und Energiebereitstellung aus erneuerbaren Energiequellen verfolgt. Durch einen optimierten Energieverbrauch in Kombination mit der Nutzung von Erdwärme und dem Einsatz von Photovoltaik soll mehr Energie erzeugt werden als das Gebäude verbraucht. Zur Erhöhung des Eigennutzungsanteils der Photovoltaikanlage dienen ein Pufferspeicher mit großem Volumen und ein Stromspeicher [20].

Stand des Projektes: abgeschlossen (Laufzeit: März 2018 – August 2021).

##### Gebäude und Anlagentechnik:

Im Gebäude sind 126 Wohnungen mit insgesamt 2.650 m<sup>2</sup> Wohnfläche untergebracht. Das Gebäude wurde 2018 fertiggestellt und wird seit Anfang 2019 bewohnt und betrieben.

Im Gebäude ist eine Sole-Wasser-Wärmepumpe mit senkrechten Erdsonden installiert. Diese übernimmt in Kombination mit einem großen Pufferspeicher die Wärmeversorgung und über einen Warmwasserspeicher die zentrale Bereitstellung des Trinkwarmwassers. Die Wärmeübergabe erfolgt über eine Fußbodenheizung mit einer Regelung der Raumtemperatur über Raumthermostate (Einzelraumregelung). Im Sommer wird die Fußbodenheizung durch die Umstellung der Heizungssteuerung vom Heiz- auf den Kühlmodus zur passiven Kühlung über die Erdsonden und den Wärmetauscher eingesetzt und sorgt gleichzeitig für die Regeneration des Erdsondenfelds. Die Schrägdächer des Gebäudes sind mit einer Photovoltaikanlage belegt. Für die Erhöhung der Eigenstromnutzung sorgt ein Stromspeicher (Lithium-Eisen-Phosphat). Die Wohnungen werden über die Fenster gelüftet. Die innenliegenden Bäder verfügen über eine Abluftanlage. Die Beleuchtung in den Wohnungen wird manuell über Schalter gesteuert. Die Gemeinschaftsflächen, die ca. ein Drittel der Fläche ausmachen, verfügen über Präsenzmelder und eine Zeitschaltung. Zum Gebäude gehören insgesamt 13 Stellplätze. Da sich direkt vor dem Gebäude öffentliche Ladestationen befinden, verfügt keiner der Gebäudestellplätze aktuell über eine E-Ladestation.

Zur Steigerung der Energieeffizienz und der Gebäudeperformance ist ein detailliertes Mess- und Monitoringkonzept vorhanden. Des Weiteren erfolgt eine Sensibilisierung der Nutzer in Bezug auf den Energieverbrauch mit dem Ziel, Energie und Ressourcen zu sparen. Dafür wird den Nutzern eine App zur Verfügung gestellt, in welcher die Energieverbrauchswerte visualisiert werden. So werden die Nutzer über den aktuellen Energieverbrauch (Wärme, Strom) informiert. Der eigene Verbrauch wird einmal mit dem Verbrauch anderer Wohnungen und zusätzlich mit den Planungswerten für den Verbrauch verglichen (tageweise Bewertung). Der Warmwasserverbrauch wird nicht visualisiert, da dieser nur für einen Teil der Wohnungen auf Wohnungsebene gemessen wird. Um die Verbraucher auch auf dieses Thema aufmerksam zu machen, wird eine turnusmäßige Auslesung der Wasserzähler durch die Bewohner angedacht. Um die Häufigkeit der Nutzung der App zu steigern, enthält diese weitere Funktionen wie den Status der Waschmaschinen und Trockner, eine Nachrichtenfunktion zur

Kommunikation zwischen den Bewohnern und dem Vermieter und eine Verbindung mit der Brief- und Paket-Box. Zusätzlich zur Nutzer-App werden die Livedaten des Gebäudeverbrauchs, die Energiebilanzen und die detaillierte Analyse des Betriebs mit Hilfe eines Dashboards auf einem Monitor vor Ort im Treppenhaus dargestellt.

<b>Steckbrief: AktivPLUS Studentenwohnheim Campo V</b>		
Neubau: 126 Wohnungen mit insgesamt 2.650 m <sup>2</sup> Wohnfläche  Nutzung: Studentenwohnheim		 <p>Foto: ©Roland Halbe Quelle: Wohnbau-Studio [21]</p>
Heizung	Wärmeversorgung	Sole-Wasser-Wärmepumpe mit Ein/Aus-Steuerung
	Wärmespeicherung	Pufferspeicher, Betrieb mit dauerhafter Speicherung
	Wärmeverteilung	Außentemperaturgeführte Regelung der Temperatur des Wärmeträgermediums mit Ein/Aus-Steuerung von Umwälzpumpen
	Wärmeübergabe	Wohnungen: Fußbodenheizung Regelung: Einzelraumregelung
Trinkwarmwasser	zentral	Warmwasserspeicher mit automatischer Steuerung des Ladens durch Ein- und Ausschalten und Möglichkeit zum zeitgesteuerten Laden
Kühlung	Kälteversorgung	Sole-Wasser-Wärmepumpe mit Ein/Aus-Steuerung (passive Kühlung)
	Kälteverteilung	Außentemperaturgeführte Regelung der Temperatur des Kälte-trägermediums mit Ein/Aus-Steuerung von Umwälzpumpen
	Kälteübergabe	Wohnungen: Fußbodenkühlung Regelung: Einzelraumregelung
Lüftung	Natürliche Lüftung	Fensterlüftung in den Wohnungen
	Mechanische Lüftung	Dezentrale Abluftanlage in den innenliegenden Bädern
Beleuchtung	Manuelle Steuerung	Wohnungen
	Automatische Steuerung	Gemeinschaftsflächen: - Präsenzerfassungssensor - Zeitschaltung
Dyn. Gebäudehülle	Sonnenschutz	Rollladen, elektr. bedienbar, manuell und raumweise steuerbar
	Fenster	Manuelle Fensteröffnung
Elektrizität	Stromerzeugung	Photovoltaik
	Stromspeicherung	Lithium-Eisen-Phosphat-Batterien
E-Mobilität	Ladesäulen	Es sind keine Ladesäulen auf den Parkplätzen vorhanden
Kontrolle, Feedback, Flexibilität und Netzinteraktion	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Es erfolgt eine detaillierte Erfassung und Überwachung der Anlagentechnik im Sinne des SRI.</li> <li>- Es wird eine differenzierte Darstellung von Betriebsdaten und der Gebäudeperformance sowie eine Erfassung und eine Visualisierung der Wärme- und Stromverbräuche für die Gebäudenutzer vorgenommen.</li> <li>- Maßnahmen zur Flexibilität und Netzinteraktion finden in folgenden Bereichen statt: Trinkwarmwasser, Elektrizität.</li> </ul>	

#### 7.4 Eversol-MFH (FKZ: 03ETS004)

##### **Eversol-MFH – Technisch-wirtschaftliche und soziologische Evaluierung vernetzter hochgradig solar versorgter Mehrfamilienhäuser bei Einführung eines Pauschal-Mietmodells**

###### **Projektbeschreibung:**

Im Projekt „Eversol-MFH“ werden zwei baugleiche solar versorgte Mehrfamilienhäuser energetisch und soziologisch evaluiert. Das integrierte Gesamtkonzept besteht aus einer massiven Gebäudehülle in Kombination mit einer Energietechnik für eine hohe solare Eigenversorgung (Solarthermie und Photovoltaik inkl. Speicher). Überschüsse an Wärme und Strom sollen durch Vernetzung und Sektorkopplung im Quartier und durch die Nutzung von E-Mobilität dezentral verbraucht werden und damit die Energieeffizienz deutlich steigern. Zusätzlich wird ein neuartiger pauschaler Mietmodellansatz für die Wohnungswirtschaft und für Energieversorgungsunternehmen entwickelt, angewendet und durch eine begleitende soziologische Studie evaluiert [23].

Stand des Projektes: Monitoring (Laufzeit: April 2018 – Juni 2023).

###### **Gebäude und Anlagentechnik:**

Bei den Mehrfamilienhäusern handelt es sich um zwei nicht unterkellerte viergeschossige Gebäude mit jeweils sieben Wohnungen. Die Nutzfläche nach EnEV beträgt 854 m<sup>2</sup> und die beheizte Wohnfläche 635 m<sup>2</sup>. Die beiden Gebäude besitzen Außenwände aus hochwärmedämmendem Ziegelmauerwerk und wurden mit einer Dachneigung von 50° errichtet, um im Winter bei tieferstehender Sonne die Sonnenenergie durch die thermischen und PV-Kollektoren gut ausnutzen zu können. Die beiden Häuser wurden Ende 2018 fertiggestellt und bezogen.

Auf der südlichen Dachhälfte jedes Gebäudes ist eine 100 m<sup>2</sup> große Solarthermieanlage angebracht. Diese übernimmt in Kombination mit einem Langzeitwärmespeicher (24,6 m<sup>3</sup> Warmwasserspeicher) die Wärmeversorgung und die zentrale Bereitstellung des Trinkwarmwassers. Die Abdeckung der Spitzenlast und die saisonale Nachheizung geschehen durch eine Gasbrennwerttherme. Die Wärmeübergabe erfolgt über eine Fußbodenheizung mit Regelung der Raumtemperatur über Raumthermostate (Einzelraumregelung). Auch der Geschirrspüler und die Waschmaschine können an das Warmwasser angeschlossen werden. Im Sommer besteht die Möglichkeit, die Fußbodenheizung durch Umstellung der Heizungssteuerung vom Heiz- auf den Kühlmodus durch passive Kühlung über Geothermiesonden zu nutzen.

Sowohl auf den südlichen Dachhälften als auch an den Südfassaden der Gebäude sind Photovoltaikmodule mit insgesamt 29,6 kW<sub>p</sub> Leistung installiert. Die gewonnene elektrische Energie wird vorrangig direkt im Gebäude verbraucht. Für die Zwischenspeicherung der Überschüsse (und damit zur Erhöhung der Eigenstromnutzung) sorgt ein Stromspeicher (Lithium-Ionen-Akkumulator, Nennkapazität 47 kWh). Ist der Akku vollständig geladen, wird der überschüssige PV-Strom zunächst in das eigene Quartiersnetz und nachgelagert ins öffentliche Stromnetz abgegeben. Auch im Fall von Wärmeüberschüssen erfolgt ein Austrag in eine angeschlossene Nahwärmeleitung zur Quartiersversorgung [23]. In den Wohnungen sind dezentrale zeitgesteuerte Zu- und Abluftanlagen mit Wärmerückgewinnung installiert. Zusätzlich kann über die Fenster individuell gelüftet werden. Die eingebauten Beleuchtungsmittel sind teilweise dimmbar und werden manuell über Schalter gesteuert. Zu jeder Wohnung des Gebäudes gehört ein Stellplatz. Die Ausstattung mit einer E-Ladestation war bereits umgesetzt, wurde aber aufgrund rechtlicher Hürden wieder abgebaut. Im Rahmen eines Monitorings werden die beiden Häuser ausführlich vermessen. Ausgewählte und



aufbereitete Messwerte werden auf einer Webseite dargestellt. Dafür erhalten die Mieter und Vermieter (unter Berücksichtigung der Datenschutzrechte) einen Zugang und können Informationen zu ihrer Wohnung einsehen. Zusätzlich erfolgt ein Haus- und Wohnungsvergleich. Die Gebäudeeigentümer (Hausverwalter, eg Wohnen 1902) haben ebenfalls einen eigenen Datenzugang und können entsprechende Daten (bzw. einen definierten Auszug) in tageweiser Auflösung einsehen.

Steckbrief: Eversol-MFH		
Neubau: 2 Mehrfamilienhäuser mit 14 Wohnungen auf insgesamt 1.270 m <sup>2</sup> beheizter Wohnfläche.		
Nutzung: Wohnen		
		Foto: © A. Gäbler, Technische Thermodynamik, TU Bergakademie Freiberg Quelle: Eversol Monitoring teilautarker Mehrfamilienhäuser [23]
Heizung	Wärmeversorgung	Solarthermieanlage und Gasbrennwerttherme zur Spitzenlastabdeckung
	Wärmespeicherung	Großer Warmwasserspeicher (24,6 m <sup>3</sup> ), Betrieb mit dauerhafter Speicherung
	Wärmeverteilung	Außentemperaturgeführte Regelung der Temperatur des Wärmeträgermediums mit mehrstufiger Steuerung der Umwälzpumpen
	Wärmeübergabe	Wohnungen: Fußbodenheizung Regelung: Einzelraumregelung
Trinkwarmwasser	zentral	Großer Warmwasserspeicher mit Steuerung des Ladens durch Ein- und Ausschalten und Möglichkeit zum zeitgesteuerten Laden über Wärmespeicher (24,6 m <sup>3</sup> )
Kühlung	Kälteversorgung	Geothermieanlage mit Ein/Aus-Steuerung (Sommer-/Wintermodus, passive Kühlung)
	Kälteverteilung	Außentemperaturgeführte Regelung der Temperatur des Kälteverteilermediums mit mehrstufiger Steuerung der Umwälzpumpen
	Kälteübergabe	Wohnungen: Fußbodenkühlung Regelung: Einzelraumregelung
Lüftung	Natürliche Lüftung	Fensterlüftung möglich
	Mechanische Lüftung	Wohnungen: dezentrale Zu- und Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung, Betrieb mit konstantem Luftvolumenstrom (3 Stufen), zeitgesteuert
Beleuchtung	Steuerung	Manuell, Ein/Aus-Schalter, teilweise dimmbar
Dyn. Gebäudehülle	Sonnenschutz	Rollladen manuell und raumweise steuerbar
	Fenster	Manuelle Steuerung
Elektrizität	Stromerzeugung	Photovoltaik (29,6 kW <sub>p</sub> )
	Stromspeicherung	Lithium-Ionen-Akkumulator (C <sub>N</sub> = 47 kWk)
E-Mobilität	Ladesäulen	Es sind keine Ladesäulen auf den Parkplätzen vorhanden
Kontrolle, Feedback, Flexibilität und Netzinteraktion	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Es findet eine Überwachung und Kontrolle gebäudetechnischer Anlagen im Sinne des SRI statt mit Echtzeitüberwachung von definierten Grenzen (Fehlererkennung).</li> <li>- Die Mieter und Vermieter erhalten einen Zugang zu einer Webseite mit der Darstellung von ausgewählten und aufbereiteten Messwerten für ihre individuellen Wohnungen. Gebäudeeigentümer und Hausverwalter haben Einsicht in nahezu alle Daten.</li> <li>- Maßnahmen zur Flexibilität und Netzinteraktion finden in folgenden Bereichen statt: TWW, Elektrizität, Überwachung und Kontrolle.</li> </ul>	

## 7.5 MFH Möhringen (FKZ: 03EGB0015)

### EG2050: MFH Möhringen – Umsetzung, Monitoring und Betriebsoptimierung eines nahezu klimaneutralen Gebäudes – „AktivPLUS Mehrfamilienhaus in Stuttgart Möhringen“

#### Projektbeschreibung:

Das Projektziel ist, durch das Mehrfamilienhaus-Bauvorhaben die Umsetzung eines nahezu klimaneutralen Gebäudestandards zu demonstrieren. Durch die Realisierung eines ganzheitlichen innovativen Energiekonzepts soll der EU-Niedrigstenergiegebäude-Standard erreicht werden. Weiterhin soll sich das Gebäude durch hohe Energieeffizienz, den Einsatz innovativer Technik und durch intensive Nutzung von Sonnenenergie und Umweltwärme auszeichnen. Die geplante energetische Performance des Gesamtsystems wird durch eine detaillierte Monitoringinfrastruktur sichergestellt. Die Energieeffizienz und die Gebäudeperformance sollen durch verschiedene Betriebsstrategien gesteigert werden [22].

Stand des Projektes: Monitoring (Laufzeit: August 2018 – Juli 2023).

#### Gebäude und Anlagentechnik:

Das Mehrfamilienhaus ist ein fünfgeschossiges Gebäude mit insgesamt 22 Wohnungen mit einer Gesamtwohnfläche von ca. 1.705 m<sup>2</sup>. Die Wärmeversorgung und die Warmwasserbereitung übernimmt eine monovalent betriebene Wasser-Wasser-Wärmepumpe, die als Wärmequelle einen nahegelegenen Abwasserkanal nutzt. Zur Wärmespeicherung steht ein großer Pufferspeicher zur Verfügung. Die Trinkwarmwasserbereitung erfolgt dezentral über Frischwasserstationen, die in jeder Wohnung installiert sind. Die Wärmeübergabe erfolgt über eine Fußbodenheizung mit der Regelung der Raumtemperatur über Raumthermostate (Einzelraumregelung). Das Gebäude wird über Fenster gelüftet und verfügt über keinen außenliegenden Sonnenschutz. Die Beleuchtung wird manuell über Schalter gesteuert. Auf dem Flachdach des Gebäudes ist eine Photovoltaikanlage installiert. Zusätzlich sind in den Balkonbrüstungselementen aus Glas organische Photovoltaikmodule integriert und so erstmals in der Praxis angewendet. Der Strom wird in einem großdimensionierten Batteriespeichersystem zwischengespeichert, welches für die Steigerung der Eigenstromnutzung sorgt. Jede Wohnung verfügt über einen Parkplatz mit einer Ladestation. Im Rahmen des Monitorings werden Informationen über den Energieverbrauch von Wärme, Strom und Mobilität generiert und monatlich ausgewertet.

<b>Steckbrief: MFH Möhringen</b>		
Neubau: 5-geschossiges Mehrfamilienhaus mit 22 Wohneinheiten auf insgesamt 1.705 m <sup>2</sup> beheizter Wohnfläche.		 <p>             Foto: © TAKTICS GmbH              Quelle: EGS-plan Ingenieurgesellschaft für Energie- Gebäude- und              Solartechnik mbH [24]           </p>
Nutzung: Wohnen		
Heizung	Wärmeversorgung	Wasser-Wasser-Wärmepumpe mit Ein/Aus-Steuerung
	Wärmespeicherung	Großer Pufferspeicher, Betrieb mit dauerhafter Speicherung
	Wärmeverteilung	Außentemperaturgeführte Regelung der Temperatur des Wärmeträgermediums mit Steuerung der Umwälzpumpen über eine variable Drehzahl
	Wärmeübergabe	Wohnungen: Fußbodenheizung Regelung: Einzelraumregelung
Trinkwarmwasser	dezentral	Frischwasserstationen
Kühlung	Kälteversorgung	keine
Lüftung	Natürliche Lüftung	Fensterlüftung
Beleuchtung	Steuerung	Manuell, Ein/Aus-Schalter
Dyn. Gebäudehülle	Sonnenschutz	Kein Sonnenschutz
	Fenster	Manuelle Steuerung
Elektrizität	Stromerzeugung	Photovoltaik
	Stromspeicherung	Stromspeicher
E-Mobilität	Ladesäulen	Alle Parkplätze verfügen über eine Ladestation. Der Ladevorgang erfolgt unkontrolliert.
Kontrolle, Feedback, Flexibilität und Netzinteraktion	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Es findet keine Überwachung und Kontrolle der gebäudetechnischen Anlagen im Sinne des SRI statt.</li> <li>- Die Auswertung und Kommunikation der Daten erfolgten im Wesentlichen im Rahmen des Monitorings</li> <li>- Maßnahmen zur Flexibilität und Netzinteraktion finden in den folgenden Bereichen statt: Elektrizität</li> </ul>	

## 7.6 SDE21-MIMO (FKZ: 03EGB0031)

### EG2050: SDE21-MIMO – Teilnahme des Teams MIMO der Hochschule Düsseldorf am Solar Decathlon Europe 2021 in Wuppertal

#### Projektbeschreibung:

Der Solar Decathlon ist ein internationaler Hochschulwettbewerb für nachhaltiges Bauen und Wohnen. Der thematische Rahmen des Wettbewerbs Solar Decathlon Europe 2021 (SDE21) ist die urbane Energiewende. Das zentrale Projektziel ist die Entwicklung von Gebäudekonzepten, die die Energiewende in urbanen Quartieren voranbringen und so gemeinschaftlich lebenswerte und zukunftsfähige Städte schaffen. Im Rahmen des Wettbewerbs werden Gebäudeprototypen entworfen und realisiert. Weitere Zielsetzungen sind Nachhaltigkeit, Energieeffizienz und verantwortungsbewusstes Ressourcenmanagement unter Berücksichtigung der Wiederbelebung und Weiterentwicklung von typischen Bestandsquartieren [25].


Im Vorhaben SDE21-MIMO wird in der sogenannten Design Challenge – ein vorangeschalteter theoretischer Projektteil – ein innovatives Gebäudekonzept für die behutsame Sanierung und Aufstockung eines bestehenden Wuppertaler Lagerhauses aus dem Jahre 1905 entwickelt. Der Fokus wird auf eine nachhaltige urbane Verdichtung unter Berücksichtigung eines spürbaren Mehrwertes für BewohnerInnen gelegt unter dem Motto „Minimal Impact – Maximum Output“ (kurz MIMO), so dass Konzepte und implementierte Technik maximale Leistung bei minimalem Eingriff leisten. Für die konzeptionierte Aufstockung wird ein stellvertretender Ausschnitt (die sog. HDU – House Demonstration Unit) 1:1 gebaut, um das Konzept in der Umsetzung präsentieren zu können [26]. Die gebaute Wohneinheit wird nach dem Wettbewerbsfinale im Sommer 2022 in Wuppertal als öffentlich begehbares Forschungs- und Ausstellungsobjekt in das Reallabor Living Lab NRW überführt. Von der Begleitforschung Energiewendebauen wird diese Wohneinheit hinsichtlich Smart Readiness bewertet.

Stand des Projektes: Wettbewerb abgeschlossen (Laufzeit: Dezember 2020 – Dezember 2022).

#### Gebäudeeinheit und Anlagentechnik:

Die umgesetzte House Demonstration Unit (HDU) des Team MIMO stellt das o. g. Konzept des energetisch optimierten Wohnens im urbanen Kontext beispielhaft dar. Während die theoretische Aufstockung aus insgesamt 17 Wohnmodulen in Holzbauweise besteht und Raum für 13 Wohnungen bietet, zeigt die HDU zwei Wohneinheiten sowie eine Gemeinschaftsfläche. Letztere bildet einen thermischen Pufferraum und ist von einer sogenannten Klimahülle umgeben, die von horizontalen beweglichen Fensterlamellen sowie Dachflächenfenstern umgeben ist. Die Öffnungselemente sind als Glas-Glas-Module ausgeführt und mit Photovoltaikzellen ausgestattet. Die Wärmeversorgung der Wohneinheit übernimmt im Umsetzungsbeispiel eine Außenluft-Wärmepumpe. Die Wärmeübergabe erfolgt über Wandflächen- (Wohnmodule) bzw. eine Fußbodenheizung (Gemeinschaftsbereich). Die Trinkwarmwasserversorgung erfolgt zentral über einen Warmwasserspeicher und Übergabestationen. Ein Kühlbetrieb ist nicht vorgesehen. In den Kreislauf der Wärmepumpe und der zwei thermischen Speicher mit unterschiedlichen Temperaturniveaus sind die Haushaltsgroßgeräte wie Kühlschrank, Wasch- und Spülmaschine integriert. Abwärme bzw. Wärmebedarf kann somit genutzt bzw. im Verbund bereitgestellt werden. Für die Wohneinheiten ist eine Zu- und Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung und automatischer Volumenstromregelung vorgesehen. Die Lüftungsanlage wird durch die Messung der Feuchtigkeit in der Abluft geregelt. Der Gemeinschaftsbereich wird abgesehen von der Fußbodenheizung als Back-Up als klimatische Pufferzone komplett natürlich

klimatisiert. Während die großen Fensterflächen vor allem zur Nutzung solarer Wärmegewinne (Winter) und einer hohen Tageslichtversorgung dienen, gewährleisten die eingelegten PV-Zellen samt innenliegender Vorhänge den sommerlichen Wärmeschutz in Kombination mit thermischer Speichermasse (u. a. großflächiger Einsatz von Lehmsteinen). Die steuerbaren Lamellen und Dachflächenfenster ermöglichen eine natürliche Lüftung und vor allem die Nachtlüftung zur passiven Kühlung. Die Steuerung der genannten Komponenten erfolgt zentral über Sensoren (Temperatur, Luftfeuchte, CO<sub>2</sub>, Präsenz). Die Beleuchtung sowie die Regelung der Beleuchtungsstärke kann zentral programmiert (Lichtszenarien, tageslichtabhängig, Präsenz) und manuell vorgenommen werden. Der eigenerzeugte Strom wird vorrangig selbst genutzt oder elektrisch bzw. thermisch gespeichert. Die Abwägung soll auf der Grundlage des Strompreisvektors vorgenommen werden. Dabei wird folgende Reihenfolge eingehalten: Steht Strom zur Verfügung, wird in erster Linie die Wärmepumpe in Betrieb genommen und der Wasserspeicher vollbeladen. Ist der Speicher voll, wird der überschüssige Strom bei einem niedrigen Strompreis in der Batterie gespeichert und bei einem hohen Strompreis ins Netz eingespeist. Optimierungsschritte sehen vor, die Öffnung der Lamellen nicht nur in Abhängigkeit des Raumkomforts und Außenkonditionen zu steuern, sondern auch den möglichen Stromertrag sowie die mögliche Eigenverschattung der PV-Zellen in Abhängigkeit der Neigung einzubeziehen.

<b>Steckbrief: SDE21-MIMO</b>		
Ausschnitt einer Bestanderweiterung: 2 Wohneinheiten plus Gemeinschaftsbereich  Nutzung: Wohnen		 <p>Foto: HDU Team MIMO, Foto Marvin Hillebrand</p>
Heizung	Wärmeversorgung	Wärmepumpe mit Ein/Aus-Steuerung
	Wärmespeicherung	Pufferspeicher, Betrieb mit dauerhafter Speicherung
	Wärmeverteilung	Außentemperaturgeführte Regelung der Temperatur des Wärmeträgermediums mit Steuerung der Umwälzpumpen über eine variable Drehzahl
	Wärmeübergabe	Wohnungen: Fußboden- und Wandheizung Regelung: Einzelraumregelung mit Kommunikation zur Gebäudeautomation
Trinkwarmwasser	zentral	Warmwasserspeicher mit automatischer Steuerung Ein/Aus
Kühlung	Kälteversorgung	Keine vorgesehen
Lüftung	Natürliche Lüftung	Fensterlüftung möglich
	Mechanische Lüftung	Zu-/und Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung, Betrieb mit automatischer Volumenstromregelung, geregelt durch die Messung der Feuchtigkeit in der Abluft
Beleuchtung	Steuerung	Zentral automatisch, manuell, Ein/Aus-Schalter, dimmbar
Dyn. Gebäudehülle	Sonnenschutz	Zentral automatisch, manuelle Steuerung möglich, motorbetrieben
	Fenster	Zentral automatisch, manuelle Steuerung möglich, motorbetrieben
Elektrizität	Stromerzeugung	Photovoltaik
	Stromspeicherung	Lithium-Ionen/Eisenphosphat-Batterie
E-Mobilität	Ladesäulen	Keine Parkplätze
Kontrolle, Feedback, Flexibilität und Netzinteraktion	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Es findet keine automatische Überwachung und Kontrolle der gebäudetechnischen Anlagen im Sinne des SRI statt.</li> <li>- Visualisierung der Daten mittels Gira-Homeserver (App).</li> <li>- Maßnahmen zur Flexibilität und Netzinteraktion finden in folgenden Bereichen statt: Elektrizität.</li> </ul>	

## 7.7 SDE21-coLLab (FKZ: 03EGB0028)

### EG2050: SDE21-coLLab – Teilnahme des Teams coLLab der HFT Stuttgart am Solar Decathlon Europe 2021

#### Projektbeschreibung:

Der Solar Decathlon ist ein internationaler Hochschulwettbewerb für nachhaltiges Bauen und Wohnen. Der thematische Rahmen des Wettbewerbs Solar Decathlon Europe 2021 (SDE21) ist die urbane Energiewende. Das zentrale Projektziel ist die Entwicklung von Gebäudekonzepten, die die Energiewende in urbanen Quartieren voranbringen und so gemeinschaftlich lebenswerte und zukunftsfähige Städte schaffen. Im Rahmen des Wettbewerbs werden Gebäudeprototypen entworfen und realisiert. Weitere Zielsetzungen sind Nachhaltigkeit, Energieeffizienz und verantwortungsbewusstes Ressourcenmanagement unter Berücksichtigung der Wiederbelebung und Weiterentwicklung von typischen Bestandsquartieren [25].

Im Vorhaben SDE21-coLLab wird ein Konzept für die Aufstockung und Sanierung eines bestehenden Universitätsgebäudes (Forschung, Verwaltung und Lehre) entwickelt. Es wird eine Demonstrationseinheit gebaut, die einen Ausschnitt der Gesamtplanung beispielhaft darstellen soll. Die Ziele des Vorhabens sind die Energieeffizienz bei Sanierungen und das nachhaltige Bauen im Bestand. Durch die geforderte Kostenoptimierung werden die wirtschaftlichen Potenziale systematisch erschlossen. Das Energiekonzept und die damit verbundenen niedrigen Energiekosten bieten Vorteile für die Nutzer und Nutzerinnen der Wohnungen. Die Umsetzung des Lösungsansatzes in die gebaute Realität soll Erkenntnisse schaffen, wie Prototypen aus kreislauffähigen Konstruktionen in Serie fabriziert und gebaut werden können [27]. Die gebaute Demonstrationseinheit ist zur Nachnutzung bei einem der Projektpartner vorgesehen.

Stand des Projektes: Wettbewerb abgeschlossen (Laufzeit: Dezember 2020 – Oktober 2022).

#### Gebäudeeinheit und Anlagentechnik:

Die geplante Aufstockung soll zu Wohnzwecken genutzt werden. Die SRI-Bewertung wird für die Demonstrationseinheit vorgenommen. Für die Wärmeversorgung und Warmwasserbereitung ist eine Abwasser-Wärmepumpe angedacht. Es ist vorgesehen, die Leistung der Wärmepumpe variabel abhängig von der Heizlast und von externen Netzsignalen zu steuern. Der Trinkwarmwasserspeicher soll durch die Wärmepumpe lastabhängig je nach dem solaren Stromertrag und dem Batterieladestatus beladen werden. Für die Spitzenlast wird zusätzlich ein elektrischer Heizstab installiert. Die Wärmeübergabe soll durch eine Fußbodenheizung erfolgen, welche raumweise und in Kommunikation zur Gebäudeautomation inkl. Präsenzerkennung geregelt wird. Das Lüftungskonzept sieht eine natürliche Belüftung über die Fenster vor, unterstützt durch einen Solarkamin. Zur Realisierung des Solarkamins erhalten die Lamellenfenster am Auslass des Solarkamins und die Fensterflügel jedes Fensters Fensterkontakte. Die Steuerung erfolgt automatisch in Abhängigkeit der Regelparameter Außentemperatur und Innenraumluftqualität (CO<sub>2</sub> und Raumlufttemperatur). Damit lässt sich auch eine Nachtlüftung im Sommer umsetzen. Auf dem Dach der Aufstockung und an der Fassade ist die Installation von organischen Photovoltaikmodulen vorgesehen. Der Strom soll zusätzlich in einer Batterie zwischengespeichert werden. Es soll möglich sein, die Speicherung netzdienlich anhand von Netzsignalen durchzuführen. Das Beleuchtungskonzept sieht eine automatisch dimmbare Beleuchtung im Wohnbereich und eine Präsenzerfassung in den Sanitärbereichen vor. Außerdem ist geplant, alle Daten wie die Energieverbräuche (Wärme, Strom), die Luftqualität, die Stromerzeugungsdaten und den Stromladezustand der Batterie zu visualisieren



und den Gebäudenutzern zur Verfügung zu stellen. Zusätzlich ist angedacht, diese Daten mit Prognose-Werten zu erweitern.

<b>Steckbrief: coLLab</b>		
Bestanderweiterung: In Form von Wohnmodulen		 <p>Foto: © Team coLLab HFT Stuttgart Quelle: coLLab – HFT Stuttgart [28]</p>
Nutzung: Wohnen		
Heizung	Wärmeversorgung	Abwasser-Wärmepumpe mit variabler Steuerung der Leistung, abhängig von der Last und externen Netzsignalen
	Wärmeverteilung	Außentemperaturgeführte Regelung, Steuerung der Temperatur des Wärmeträgermediums mit Steuerung der Umwälzpumpen über eine variable Drehzahl
	Wärmeübergabe	Wohnungen: Fußbodenheizung Regelung: Einzelraumregelung mit Kommunikation zur Gebäudeautomation und Anwesenheitserkennung
Trinkwarmwasser	zentral	Warmwasserspeicher mit lastabhängiger Beladung je nach solarem Stromertrag und Batterieladestatus.
Kühlung	Kälteversorgung	Keine vorgesehen
Lüftung	Natürliche Lüftung	Solarkamin: automatische Steuerung der Fensterflügel eines Fensters in Abhängigkeit der Luftqualität und der Raumsensordaten
Beleuchtung	Steuerung	Wohnbereich: Manuell, Ein/Aus-Schalter, automatisches Dimmen Sanitärbereich: Präsenzerfassung
Dyn. Gebäudehülle	Sonnenschutz	Feststehender Sonnenschutz
	Fenster	Fensterflügel eines Fensters verfügt über Fensterkontakte: automatische Steuerung und Nachtlüftung
Elektrizität	Stromerzeugung	Organische Photovoltaik
	Stromspeicherung	Batterie und Warmwasser
E-Mobilität	Ladesäulen	Keine Parkplätze
Kontrolle, Feedback, Flexibilität und Netzinteraktion	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Es findet eine automatische Überwachung und Kontrolle der gebäudetechnischen Anlagen im Sinne des SRI statt inkl. einer Alarm-Anzeige (Fehlermeldung) und der Aufzeichnung für alle angeschlossenen Systeme.</li> <li>- Visualisierung der Daten mittels eines zentralen Tablets, über App-Zugriff sowie über Webzugang.</li> <li>- Vorgesehen sind eine flexible Steuerung des Heizsystems und das Management des Stromverbrauchs auf der Grundlage von Netzsignalen sowie von einer lastabhängigen Beladung des Warmwasserspeichers durch die Wärmepumpe in Abhängigkeit des solaren Stromertrags und des Batterieladestatus.</li> <li>- Maßnahmen zur Flexibilität und Netzinteraktion finden in folgenden Bereichen statt: Heizung, Trinkwarmwasser, Elektrizität, Überwachung und Kontrolle.</li> </ul>	

## 8. SRI-Bewertung der Demonstrationsgebäude

### 8.1 Bewertungsgrundlage (Randbedingungen)

Die aus der Forschungsinitiative EWB ausgewählten Demonstrationsgebäude wurden mit Hilfe eines SRI-Bewertungs-Tools in Hinsicht auf die Smart Readiness bewertet. Dafür stand das Calculation Sheet „Smart Readiness Indicator for Buildings Version 4.2<sup>1</sup>“ [7] in Kombination mit dem zugehörigen Handbuch<sup>2</sup> zur Verfügung. Alle Demonstrationsgebäude wurden mit der detaillierten Methode (Methode B) und den Standardgewichtungsfaktoren für Wohn- und Nichtwohngebäude bewertet, um alle Technologie- und Dienstleistungen in die Bewertung einzubeziehen. Dadurch ist auch ein Vergleich der Bewertungsergebnisse zwischen den einzelnen Gebäuden, Gebäudeteilen bzw. Gebäudeeinheiten gleicher Nutzung (Wohnen bzw. Nichtwohnen) unter Berücksichtigung vorhandener bzw. nicht vorhandener technischer Bereiche möglich. Bei dem Demonstrationsgebäude mit einer Mischnutzung wurde für die unterschiedlichen Nutzungen aufgrund ungleicher technischer Bereiche je Nutzung eine getrennte SRI-Bewertung vorgenommen. So wurden für das Demonstrationsgebäude des Forschungsvorhabens „Plus-EQ-Net“ insgesamt zwei (Wohnen, Gewerbe) SRI-Bewertungen durchgeführt. Bei allen betrachteten Gebäuden, Gebäudeteilen bzw. -einheiten gingen mindestens sieben von neun technischen Bereichen in die Bewertung mit ein. Es ist anzumerken, dass bei allen Wohngebäuden und bei der Wohnnutzung des Mischgebäudes von den vorhandenen sieben bis neun technischen Bereichen jeweils zwei bis drei Bereiche keine smarte Anwendung im Sinne des SRI haben. Das bedeutet, dass diese technischen Bereiche zwar mindestens mit einem „Smart ready service“ in die Bestimmung der maximalen SRI-Punktzahl einfließen, dieser „Smart ready service“ für das reale Vorhaben selbst aber null Punkte erzielt. Bei diesen technischen Bereichen handelt es sich mehrheitlich um Bereiche wie die Belüftung, die dynamische Gebäudehülle, das Laden von Elektrofahrzeugen und die Überwachung und Kontrolle. Die bewerteten Demonstrationsgebäude mit ihren Nutzungen und technischen Bereichen sind in Tabelle 12 zusammengestellt.

---

<sup>1</sup> SRI3\_calculation-sheet\_v4\_4.xlsx

<sup>2</sup> Practical Guide: SRI calculation framework v4.4

Tabelle 12: Übersicht über die technischen Bereiche der bewerteten Demonstrationsgebäude aus der Forschungsinitiative EWB mit den jeweiligen auf Smart Readiness bewerteten Nutzungen.

Nr.	1	2		3	4	5	6	7
Forschungsvorhaben	LLEC-Verwaltungsbau	Plus-EQ-Net		Campo V	Eversol-MFH	MFH Möhringen	SDE21-MIMO	SDE21-coLLab
Art und Typ des Gebäudes Technischer Bereich	Nichtwohngebäude	Mischgebäude		Wohngebäude	Wohngebäude	Wohngebäude	Bestandserweiterung	Bestandserweiterung
	Bürokomplex	Wohnen	Gewerbe	Wohnheim	Mehrfamilienhaus	Mehrfamilienhaus	Wohnen	Wohnen
1. Heizung	X	X	X	X	X	X	X	X
2. Warmwasser	-	X	-	X	X	X	X	X
3. Kühlung	X	-	X	X	X	-	-	-
4. Belüftung	X	X	X	(X)	X	(X)	X	X
5. Beleuchtung	X	X	X	X	X	X	X	X
6. Dynamische Gebäudehülle	X	(X)	(X)	X	(X)	(X)	X	X
7. Elektrizität	X	X		X	X	X	X	X
8. Laden von Elektrofahrzeugen	(X)	X		(X)	(X)	X	-	-
9. Überwachung und Kontrolle	X	(X)		X	X	(X)	X	X

-: technischer Bereich nicht vorhanden

X: technischer Bereich vorhanden

(X): vorhandener technischer Bereich ohne smarte Anwendung im Sinne des SRI

## 8.2 Bewertungsergebnisse

Die Gesamt-SRI-Punktzahl der bewerteten Demonstrationsgebäude variiert zwischen 18 % (SRI-Klasse G) und 88 % (SRI-Klasse B). Fünf der sieben bewerteten Demonstrationsgebäude erreichen die beiden niedrigsten SRI-Klassen G (< 20 %) und F (< 35 %). Nur zwei der Vorhaben (SDE21-coLLab und LLEC-Verwaltungsbau) erreichen eine hohe SRI-Punktzahl und damit die Klassen C (71 %) und B (88 %). Die bewerteten Demonstrationsvorhaben sowie die erreichten SRI-Punktzahlen und die SRI-Klassen sind in Tabelle 13 zusammengestellt. Die Abstufung der SRI-Klassen ist in Abbildung 7 dargestellt.

Tabelle 13: Übersicht über die bewerteten Forschungsvorhaben mit Darstellung der erreichten SRI-Punktzahlen und der daraus resultierenden SRI-Klassen.

Nr.	Forschungsvorhaben	Gebäudeart	Gebäudetyp	Gesamt-SRI-Punktzahl	SRI-Klasse
1	LLEC-Verwaltungsbau	Neubau: Nichtwohngebäude	Bürokomplex	88 %	B
2	Plus-EQ-Net	Neubau: Mischgebäude	Wohnen	22 %	F
			Gewerbe	19 %	G
3	Campo V	Neubau: Wohngebäude	Wohnheim	18 %	G
4	Eversol-MFH	Neubau: Wohngebäude	Mehrfamilienhaus	26 %	F
5	MFH Möhringen	Neubau: Wohngebäude	Mehrfamilienhaus	18 %	G
6	SDE21-MIMO	Bestands-erweiterung	Wohnnutzung	35 %	F
7	SDE21-coLLab	Bestands-erweiterung	Wohnnutzung	71 %	C

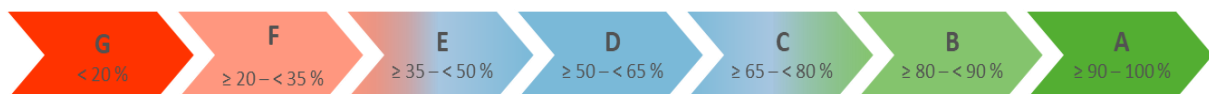


Abbildung 7: Abstufung der SRI-Klassen in Abhängigkeit der Gesamt-SRI-Punktzahl.

### Demonstrationsgebäude mit niedriger Gesamt-SRI-Punktzahl

Bei den Demonstrationsgebäuden mit einer SRI-Punktzahl von weniger als 35 % wird im Wesentlichen eine konventionelle Regelung und Steuerung der dynamischen Gebäudehülle und der Anlagentechnik umgesetzt. Auch eine Überwachung und Kontrolle der gebäudetechnischen Anlagen findet nur vereinzelt statt und es werden kaum Maßnahmen zur Flexibilität und Netzinteraktion durchgeführt. Smarte Akzente werden nur in einzelnen technischen Bereichen gesetzt. Dies verdeutlicht Tabelle 14, in welcher nur die mehrheitlich umgesetzten bzw. mehrheitlich geplanten Regelungen und Steuerungen der installierten Anlagentechnik in einzelnen technischen Bereichen

dargestellt sind. Aus der Tabelle ist außerdem ersichtlich, dass in den meisten „Smart ready services“ nur die Funktionalitätsstufen 0 oder 1 erreicht werden. Die „Smart ready services“ mit einer smarten Regelung/Steuerung (d. h. mit der höchsten bzw. der zweithöchsten Funktionalitätsstufe) sind in der Tabelle farblich hervorgehoben. Bei diesen handelt es sich aber, wie bereits beschrieben, eher um einzelne Anwendungen wie z. B. im Bereich Warmwasser die automatische Regelung der Solar-speicherladung mit einem Multi-Sensor-Speicher-Management oder im Bereich der künstlichen Beleuchtung, indem diese automatisch mit Hilfe von Präsenzmeldern geschaltet und/oder mit Hilfe von Tageslichtsensoren zusätzlich gedimmt wird (Letzteres ist in der Tabelle nicht dargestellt, da dieser Bereich in allen anderen bewerteten Demonstrationsvorhaben manuell gesteuert wird). Ein weiteres Beispiel ist die mechanische Lüftung mit einer automatischen Steuerung des Luftwechsels über Luftqualitätssensoren (z. B. Feuchtesensoren).

Ein Trend bei den bewerteten Demonstrationsvorhaben ist die Visualisierung der erhobenen Daten vor allem für die Gebäudenutzer. Alle bewerteten Demonstrationsgebäude versuchen über verschiedene Systeme den Nutzer für den Energieverbrauch in unterschiedlichen technischen Bereichen zu sensibilisieren. Die Visualisierung erfolgt dabei über eine Nutzer-App, einen Web-Zugang und/oder die Visualisierung der Bilanzen vor Ort im Treppenhaus mit Hilfe eines Monitors.

Tabelle 14: Mehrheitlich umgesetzte bzw. geplante Regelungen und Steuerungen der Anlagentechnik in den technischen Bereichen bei Demonstrationsgebäuden mit niedriger SRI-Punktzahl. Hinweis: Bei einem Teil der Begriffe aus dem Tool wurde eine Anpassung der Übersetzung vorgenommen.

Technische Bereiche	„Smart ready service“	Funktionalitätsstufe	Erreichte Stufe (Stufen: 0, 1, 2 bis max. 4)
Heizung	Regelung der Wärmeübergabe	Einzelraumregelung	2 von 0-4
	Regelung der Temperatur des Wärmeträgermediums	Außentemperaturgeführte Regelung	1 von 0-2
	Steuerung von Umwälzpumpen	Steuerung mit einer variablen Drehzahl	3 von 0-4
	Thermischer Energiespeicher	Betrieb mit dauerhafter Speicherung	1 von 0-3
	Steuerung des Wärmeerzeugers (Wärmepumpe) bzw. Steuerung des Wärmeerzeugers (alle außer Wärmepumpen)	Ein/Aus-Steuerung bzw. konstante Temperaturregelung	0 von 0-3 bzw. 0 von 0-2
	Flexibilität	Planmäßiger Betrieb	1 von 0-4
	Reihenfolge	Steuerung nach fester Prioritätenliste	1 von 0-4

Fortsetzung Tabelle 14: Mehrheitlich umgesetzte bzw. geplante Regelungen und Steuerungen der Anlagentechnik in den technischen Bereichen bei Demonstrationsgebäuden mit niedriger SRI-Punktzahl.

Technische Bereiche	„Smart ready service“	Funktionalitätsstufe	Erreichte Stufe (Stufen: 0, 1, 2 bis max. 4)
Kühlung	Regelung der Kälteübergabe	Einzelraumregelung	2 von 0-4
	Regelung der Kaltwassertemperatur im Verteilungsnetz	Außentemperaturgeführte Regelung	1 von 0-2
	Steuerung von Umwälzpumpen	Steuerung mit einer variablen Drehzahl	3 von 0-4
		oder Mehrstufige Steuerung / Ein/Aus-Steuerung	oder 2 / 1 von 0-4
	Steuerung des Kälteerzeugers	Ein/Aus-Steuerung	0 von 0-3
	Vermeidung von gleichzeitigem Heizen und Kühlen im selben Raum (nur Kühlung)	Vollständige Verriegelung	2 von 0-2
	Flexibilität	Planmäßiger Betrieb	1 von 0-4
Lüftung	Regelung des Zuluftstroms auf der Raumebene	Kein Belüftungssystem oder manuelle Steuerung oder Zeitregelung / zentrale Bedarfssteuerung auf Grundlage von Luftqualitätssensoren / lokale Bedarfssteuerung auf Grundlage von Luftqualitätssensoren	0 von 0-4 oder 1 / 3 / 4 von 0-4
		Keine automatische Steuerung: kontinuierliche Zufuhr des Luftstroms für eine maximale Belüftung aller Räume oder mehrstufige Steuerung: zur Reduzierung des Hilfsenergiebedarfs des Ventilators / automatische Luftstrom- oder Druckregelung ohne Druckrückstellung: lastabhängige Versorgung des Luftstroms für den Bedarf aller angeschlossenen Räume	0 von 0-4 oder 2 / 3 von 0-4
	Luftstrom- oder Druckregelung auf der Ebene der Lüftungsanlage		
	Vermeidung von Überhitzung	Anpassung oder Umgehung der Wärmerückgewinnung anhand von Sensoren in der Abluft	1 von 0-2

Fortsetzung Tabelle 14: Mehrheitlich umgesetzte bzw. geplante Regelungen und Steuerungen der Anlagentechnik in den technischen Bereichen bei Demonstrationsgebäuden mit niedriger SRI-Punktzahl.

Technische Bereiche	„Smart ready service“	Funktionalitätsstufe	Erreichte Stufe (Stufen: 0, 1, 2 bis max. 4)
Warmwasser	Steuerung der Speicherbeladung des Trinkwarmwasserspeichers (durch Warmwassererzeugung)	Automatische Steuerung Ein/Aus <i>oder</i> automatisches Ein/Aus und zeitgesteuertes Laden möglich	0 von 0-3 <i>oder</i> 1 von 0-3
	Steuerung der Speicherbeladung des Trinkwarmwasserspeichers mit Solarkollektor (Einzelfall)	Automatische Regelung der Solarspeicherbeladung (Prio. 1) und Speichergänzungsladung, bedarfsgerechte Vor- und Rücklauf temperaturregelung und Multi-Sensor-Speicher-Management	3 von 0-3
	Reihenfolge	Steuerung nach fester Prioritätenliste	1 von 0-4
Beleuchtung (künstliche Beleuchtung)	Belegungssteuerung für die Innenbeleuchtung	Manueller Ein/Aus-Schalter	0 von 0-3
	Steuerung der Leistung in Abhängigkeit vom Tageslicht	Manuell (pro Raum/Zone)	1 von 0-4
Dynamische Gebäudehülle	Sonnenschutz	Kein Sonnenschutz oder manuelle Bedienung <i>oder</i> Motorbetrieb mit manueller Steuerung	0 von 0-4 <i>oder</i> 1 von 0-4
	Steuerung des Öffnens und Schließens von Fenstern	Manuelle Bedienung oder nur festverglaste Fenster, die sich nicht öffnen lassen	0 von 0-3
Elektrizität	Speicherung von (lokal erzeugtem) Strom	Speicherung von Strom vor Ort (z. B. Batterie) <i>oder</i>	1 von 0-4 <i>oder</i>
		Speicherung vor Ort (z. B. Batterie oder thermisch) mit einer Steuerung zur Optimierung der Nutzung	3 von 0-4
	Optimierung des Eigenverbrauchs von lokal erzeugtem Strom	Keine <i>oder</i> automatisches Management des lokalen Stromverbrauchs auf der Grundlage der aktuellen Verfügbarkeit von erneuerbaren Energien	0 von 0-3 <i>oder</i> 2 von 0-3
	Steuerung von Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen (KWK) (Einzelfall)	Steuerung der KWK-Laufzeit unter dem Einfluss der schwankenden Verfügbarkeit von erneuerbaren Energien; Überproduktion wird ins Netz eingespeist	1 von 0-2
	Unterstützung von (Mikro-) Netzbetriebsarten	Keine	0 von 0-3

Fortsetzung Tabelle 14: Mehrheitlich umgesetzte bzw. geplante Regelungen und Steuerungen der Anlagentechnik in den technischen Bereichen bei Demonstrationsgebäuden mit niedriger SRI-Punktzahl.

Technische Bereiche	„Smart ready service“	Funktionalitätsstufe	Erreichte Stufe (Stufen: 0, 1, 2 bis max. 4)
Laden von Elektrofahrzeugen	Elektrofahrzeug – Ladekapazität	Nicht vorhanden oder 0–9 % der Parkplätze mit Ladestationen / > 50 % der Parkplätze mit Ladestationen	0 von 0-4 oder 2 / 4 von 0-4
	Elektrofahrzeug – Laden Netzausgleich	unkontrollierte Aufladung oder gesteuertes unidirektionales Laden	0 von 0-2 oder 1 von 0-2
Überwachung und Kontrolle	Aus Platzgründen werden hier nicht die acht „Smart ready services“ aufgezählt	In überwiegenden Fällen: Keine	0 von 0-2 / 0 von 0-3 / 0 von 0-4

### Demonstrationsgebäude mit hoher Gesamt-SRI-Punktzahl

Bei den beiden Demonstrationsgebäuden mit einer hohen SRI-Punktzahl werden in nahezu allen technischen Bereichen smarte Regelungen und Steuerungen der dynamischen Gebäudehülle und der Anlagentechnik umgesetzt. Um einige Beispiele der eingesetzten smarten Regelungen und Steuerungen zu nennen: im Bereich Heizung bedeutet das in beiden Vorhaben eine variable Steuerung der Wärmeerzeugerleistung in Abhängigkeit der Heizlast und von Signalen aus dem Netz. Bei der Trinkwarmwasserspeicherung handelt es sich im Vorhaben mit Trinkwarmwasserbedarf um eine automatische Steuerung der Speicherbeladung basierend auf der lokalen Verfügbarkeit erneuerbarer Energien. Die Lüftungsanlage wird jeweils bedarfsgesteuert mit automatischer Volumenstromregelung. Die künstliche Beleuchtung wird in beiden Vorhaben automatisch in Abhängigkeit des Tageslichts gedimmt. Lokal erzeugter Strom wird sowohl im Vorhaben „SDE21-coLLab“ als auch „LLEC-Verwaltungsbau“ vor Ort mit Hilfe einer Batterie gespeichert und der Strom-Eigenverbrauch durch automatisiertes Management in Abhängigkeit von der Verfügbarkeit erneuerbarer Energien und des prognostizierten Energiebedarfs optimiert. Weiterhin werden jeweils alle Daten und Informationen historisiert, analysiert und visualisiert und um Prognosen und/oder Benchmarking ergänzt. Die Funktionalitätsstufen, die zur Erreichung eines hohen SRI-Wertes erforderlich sind, werden in Abschnitt 9 dargestellt.

Aufgrund der vorgegebenen Gewichtung für Wohn- und Nichtwohngebäude und den hinterlegten Punkten für die einzelnen Funktionalitätsstufen beeinflussen die einzelnen technischen Bereiche die Gesamt-SRI-Punktzahl unterschiedlich stark. Ausgehend von der maximal möglichen Punktzahl in einem technischen Bereich können diese in Bereiche mit einem hohen, mittleren und niedrigen Einfluss eingeteilt werden (siehe Tabelle 15). So weisen bei einem Wohngebäude die technischen Bereiche Heizung, Überwachung und Kontrolle, Elektrizität und Belüftung einen hohen Einfluss auf, während bei einem Nichtwohngebäude die technischen Bereiche Heizung, Überwachung und Kontrolle und Kühlung einen großen Einfluss haben. Die technischen Bereiche mit einem mittleren Einfluss sind Trinkwarmwasser und Kühlung bei Wohngebäuden und Belüftung und Trinkwarmwasser



bei Nichtwohngebäuden. Die technischen Bereiche dynamische Gebäudehülle, Laden von Elektrofahrzeugen und Beleuchtung haben sowohl bei Wohn- als auch bei Nichtwohngebäuden einen eher geringen Einfluss. Bei Nichtwohngebäuden kommt noch der technische Bereich Elektrizität als wenig gewichtig hinzu.

Tabelle 15: Höhe des Einflusses der einzelnen technischen Bereiche auf die Gesamt-SRI-Punktzahl ausgehend von der maximal möglichen Punktzahl.

Einfluss	Wohngebäude	Nichtwohngebäude
hoch	Heizung Überwachung und Kontrolle Elektrizität Belüftung	Heizung Überwachung und Kontrolle Kühlung
mittel	TWW Kühlung	Belüftung TWW
niedrig	Dynamische Gebäudehülle Laden von Elektrofahrzeugen Beleuchtung	Elektrizität Dynamische Gebäudehülle Beleuchtung Laden von Elektrofahrzeugen

### Detaillierte Bewertungsergebnisse von einzelnen Demonstrationsgebäuden

Wie bereits im Abschnitt 4.2 angemerkt, sagt die alleinige Darstellung der Gesamt-SRI-Punktzahl nur wenig über die Stärken und Schwächen eines bewerteten Objektes in Bezug auf Smart Readiness aus. Deswegen geben die detaillierten Darstellungen weiterer Ergebnisse mehr Aufschluss über die Intelligenzfähigkeit einzelner technischer Bereiche und über die Erfüllung der drei Kernfunktionalitäten sowie die sieben Wirkungskriterien.

Abbildung 8 zeigt die Bewertung der drei Kernfunktionalitäten „Energieeffizienz Gebäude“, „Anpassungsfähigkeit an die Nutzerbedürfnisse“ und „Anpassungsfähigkeit an die Netzsignale“ von den untersuchten Demonstrationsgebäuden. Zur Beibehaltung der Übersicht wird hier beim Forschungsvorhaben „Plus-EQ-Net“ nur die Bewertung der Wohnnutzung dargestellt. Die Bewertung des Gebäudeteils mit der Nutzung „Gewerbe“ fällt nahezu gleich hoch aus wie die Bewertung der zur Darstellung gewählten Nutzung „Wohnen“. Der Abbildung kann entnommen werden, dass die Erfüllung der beiden ersten Kernfunktionalitäten bei der überwiegenden Anzahl von Demonstrationsgebäuden in der unteren Hälfte liegt. Diese erreichen Werte zwischen 25 % und 47 % bzw. 21 % und 38 %. Im Mittel über alle Demonstrationsgebäude werden bei Kernfunktionalität „Energieeffizienz Gebäude“ 46 % und bei Kernfunktionalität „Anpassungsfähigkeit an die Nutzerbedürfnisse“ 47 % erreicht. An der Bewertung der Kernfunktionalität „Anpassungsfähigkeit an die Netzsignale“ ist ersichtlich, dass dieses Thema von den meisten Forschungsvorhaben kaum angegangen wird. Der Durchschnitt über alle sieben Demonstrationsgebäude liegt hier bei 28 %. Bei allen drei Kernfunktionalitäten treten die beiden Demonstrationsgebäude mit der hohen Gesamt-SRI-Punktzahl hervor. Diese erreichen in allen Kernfunktionalitäten ein Erfüllungsgrad von über 63 % bis 90 %.

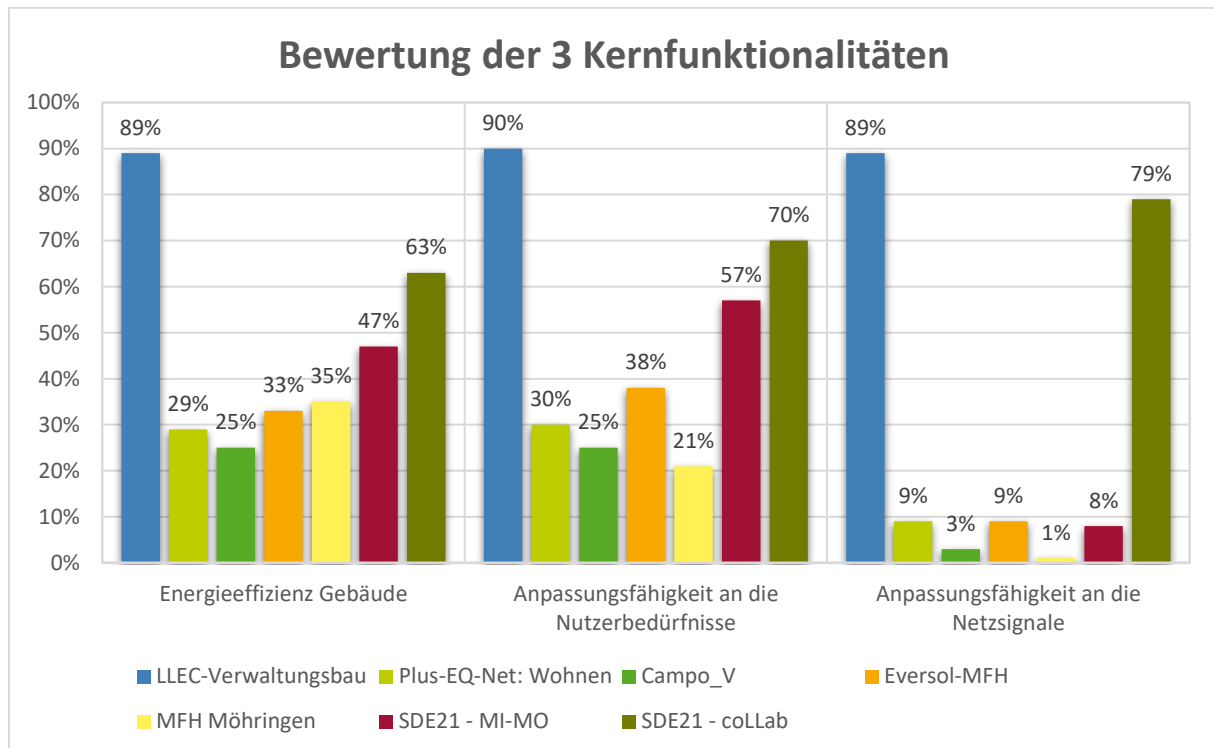


Abbildung 8: Bewertung der drei Kernfunktionalitäten „Energieeffizienz Gebäude“, „Anpassungsfähigkeit an die Nutzerbedürfnisse“ und „Anpassungsfähigkeit an die Netzsignale“ von einzelnen Demonstrationsgebäuden. Beim Forschungsvorhaben „Plus-EQ-Net“ ist nur die Bewertung der Wohnnutzung dargestellt.

Die Bewertung der einzelnen technischen Bereiche der untersuchten Demonstrationsgebäude ist in Abbildung 9 dargestellt. Auch in dieser Abbildung wird zur Beibehaltung der Übersicht beim Forschungsvorhaben „Plus-EQ-Net“ nur die Bewertung der Wohnnutzung dargestellt. Die Ergebnisse der Bewertung werden als so genannte Bereichspunkte bezeichnet, die den Anteil der insgesamt erreichten Punkte je technischem Bereich angeben. Aus der Abbildung ist ersichtlich, dass die technischen Bereiche Heizung, Trinkwarmwasser, Belüftung, Beleuchtung und Elektrizität am besten bewertet, d. h. in diesen Bereichen die meisten Bereichspunkte erreicht werden. Die technischen Bereiche Heizung, Belüftung und Elektrizität erreichen im Mittel die höchsten Bereichspunkte mit je 52 %, 50 % und 53 %. Der technische Bereich Kühlung ist bei der Hälfte der Demonstrationsgebäude nicht vertreten. Bei Gebäuden mit Kühlung werden im Schnitt 42 % der Bereichspunkte erreicht. Die beiden technischen Bereiche „dynamische Gebäudehülle“ und „Laden von Elektrofahrzeugen“ stellen die schwächsten Bereiche dar, in denen mehr als drei Demonstrationsgebäude gar keine Bereichspunkte erzielt haben. Ein weiterer technischer Bereich, in welchem die Demonstrationsgebäude nur wenige Bereichspunkte erzielt haben, ist „Überwachung und Kontrolle“. Im Durchschnitt betragen die Bereichspunkte 35 % im Bereich „dynamische Gebäudehülle“, 8 % im Bereich „Laden von Elektrofahrzeugen“ und 27 % im Bereich „Überwachung und Kontrolle“. Des Weiteren veranschaulicht diese Abbildung, dass die Demonstrationsgebäude mit einer hohen Gesamt-SRI-Punktzahl (LLEC-Verwaltungsbau und SDE21-coLLab) in nahezu allen technischen Bereichen hohe Bereichspunkte von über 49 % erreichen. Andererseits erkennt man, dass die Demonstrationsgebäude mit einer niedrigen Gesamt-SRI-Punktzahl sich nur in einzelnen bzw. wenigen technischen Bereichen hervorheben und sonst bei den Bereichspunkten deutlich unter dem Wert von 50 % liegen.

## Bereichspunkte: Bewertung der technischen Bereiche

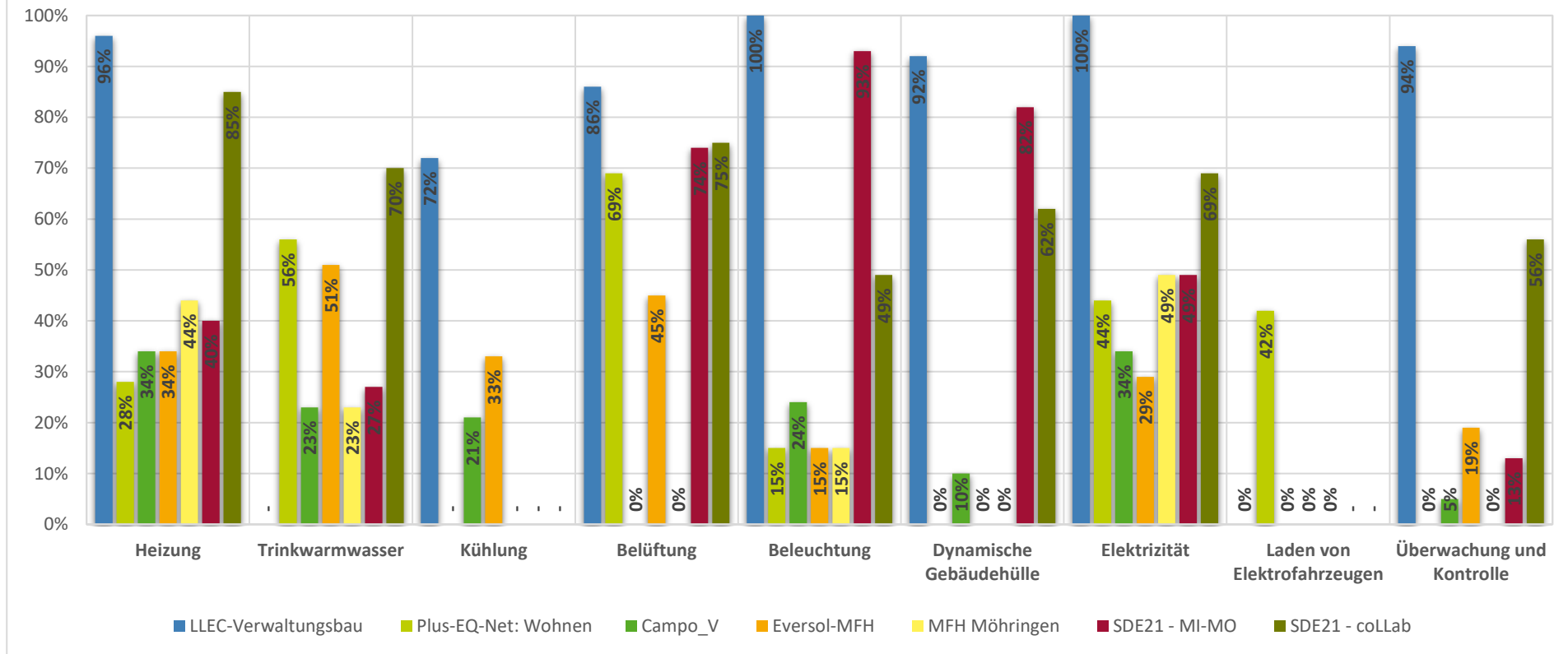


Abbildung 9: Bewertung der neun technischen Bereiche der einzelnen Demonstrationsgebäude. Beim Forschungsvorhaben „Plus-EQ-Net“ ist nur die Bewertung der Wohnnutzung dargestellt.

In Abbildung 10 ist die Bewertung der sieben Wirkungskriterien dargestellt. Auch in dieser Abbildung wird beim Forschungsvorhaben „Plus-EQ-Net“ nur die Bewertung der Wohnnutzung dargestellt. Die Ergebnisse dieser Bewertung werden als Auswirkungswerte bezeichnet, die den Anteil der insgesamt erreichten Punkte je Wirkungskriterium angeben. Der Abbildung kann entnommen werden, dass die vier Wirkungskriterien „Energieeffizienz“, „Komfort“, „Gesundheit, Wohlbefinden und Zugänglichkeit“ und „Informationen für die Gebäudenutzer“ im Vergleich zu den anderen drei Kriterien im Durchschnitt eine höhere Bewertung erreichen. Der Mittelwert bei diesen Kriterien bewegt sich zwischen 46 % und 54 %. Die beiden Wirkungskriterien „Bequemlichkeit“ und „Wartung und Fehlervorhersage“ erreichen etwas niedrigere mittlere Auswirkungswerte mit je 40 %. Am schwächsten fällt das Wirkungskriterium „Energieflexibilität und -speicherung“ aus. Hier wird ein Mittelwert der Auswirkungswerte von 28 % erreicht. Auch bei dieser Abbildung fällt auf, dass sich die beiden Demonstrationsgebäude mit der höchsten Gesamt-SRI-Punktzahl in nahezu allen Wirkungskriterien in der Bewertung deutlich von den anderen hervorheben und Auswirkungswerte von 51 % bis 100 % erreichen.

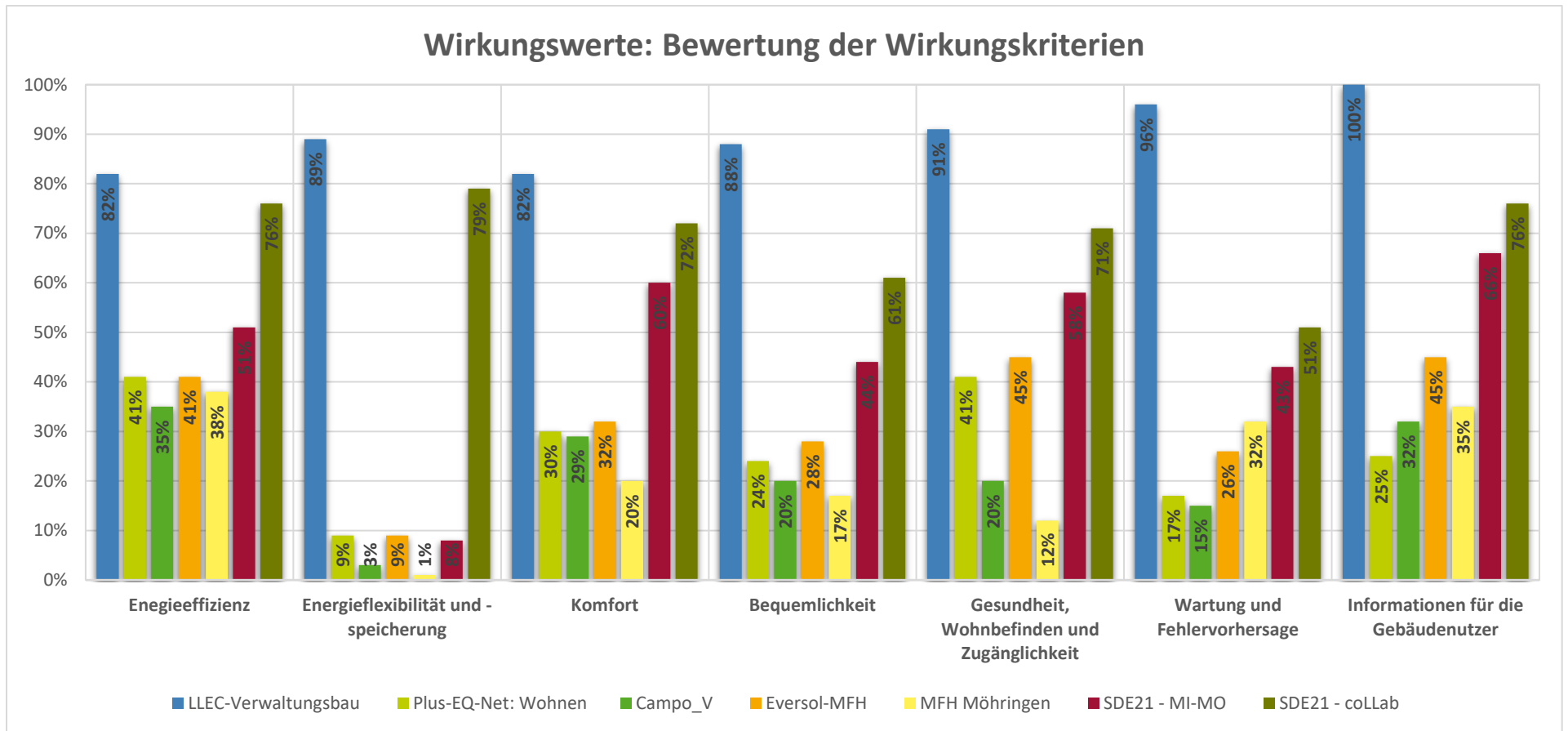


Abbildung 10: Bewertung der sieben Wirkungskriterien der einzelnen Demonstrationsgebäude. Beim Forschungsvorhaben „Plus-EQ-Net“ wird nur die Bewertung der Wohnnutzung dargestellt.

## 9. Voraussetzung zur Erreichung einer hohen Gesamt-SRI-Punktzahl

Zur Erreichung einer hohen Gesamt-SRI-Punktzahl ist es erforderlich, in nahezu allen technischen Bereichen smarte Anwendungen einzusetzen, wie die Bewertung der sieben ausgewählten Demonstrationsgebäude gezeigt hat. Aus diesem Grund werden im Folgenden die Regelungs- und Steuerungsdetails zusammengestellt, die sich bei der SRI-Bewertung unter den Funktionalitätsstufen mit den jeweils maximalen Punktzahlen verbergen. In einigen wenigen Fällen haben zwei Funktionalitätsstufen eine gleich hohe maximale Punktzahl. Im Rahmen einer SRI-Bewertung sind in der Regel nicht alle „Smart ready services“ in einem zu bewerteten Objekt vorhanden. Einige der „Smart ready services“ können sich auch gegenseitig ausschließen. Es ist zu beachten, dass einige „Smart ready services“ in einem vorhandenen technischen Bereich unabhängig davon, ob dieser „Smart ready service“ im zu bewertenden Objekt vorhanden ist oder nicht, dennoch in die Ermittlung der maximal möglichen SRI-Punktzahl einfließen. Diese „Smart ready services“ sind in der Tabelle 16 entsprechend gekennzeichnet.

Tabelle 16: Erforderliche Regelung und Steuerung der Anlagentechnik für hohe Funktionalitätsstufen in einzelnen technischen Bereichen. Die mit „\*“ markierten „Smart ready services“ fließen in jedem Fall in die Ermittlung der maximalen SRI-Punktzahl ein, wenn der technische Bereich mit diesem „Smart ready service“ als im Gebäude vorhanden ausgewählt wurde.

Technischer Bereich	„Smart ready service“	Funktionalitätsstufe	Stufe mit höchster Punktzahl (Stufen: 0, 1, 2 bis max. 4)
Heizung	Regelung der Wärmeübergabe	Einzelraumregelung mit Kommunikation zwischen Reglern und zu BACS und Anwesenheitserkennung (BACS: Building Automation and Control System)	4
	Regelung der Übergabe für TABS (Heizbetrieb) (TABS: Thermally Activated Building Systems)	Fortgeschrittene zentrale automatische Steuerung mit intermittierendem Betrieb und/oder Rückführung der Raumtemperatur	3
	Regelung der Temperatur des Wärmeträgermediums	Bedarfsorientierte Steuerung	2
	Steuerung von Umwälzpumpen in Netzen	Pumpensteuerung mit variabler Drehzahl	3 oder 4
	Thermischer Energiespeicher	Wärmespeicher, der durch Netzsignale flexibel gesteuert werden kann (z. B. DSM Demand Side Management)	3
	Steuerung des Wärmeerzeugers (Wärmepumpe) bzw. Steuerung des Wärmeerzeugers (alle außer Wärmepumpen)	Variable Steuerung der Wärme- bzw. der Kälteerzeugerleistung in Abhängigkeit von der Last UND externen Signalen aus dem Netz bzw. variable Temperaturregelung in Abhängigkeit von der Last (z. B. in Abhängigkeit vom Sollwert der Vorlauftemperatur)	2 bzw. 3
	Reihenfolge bei unterschiedlichen Wärmeerzeugern	Steuerung nach dynamischer Prioritätenliste (basierend auf aktueller UND prognostizierter Last, Energieeffizienz, Kohlendioxidemissionen und Kapazität der Erzeuger)	4
	Informationen über die Leistung der Heizungsanlage melden*	Zentrale oder ferngesteuerte Berichterstattung über die Leistungsbewertung, einschließlich Prognosen und/oder Benchmarking; einschließlich vorausschauendem Management und Fehlererkennung	4
	Flexibilität und Netzinteraktion*	Optimierte Steuerung der Heizungsanlage auf der Grundlage lokaler Vorhersagen und Netzsignale (z. B. durch modellprädiktive Steuerung)	4

Fortsetzung Tabelle 16: Erforderliche Regelung und Steuerung der Anlagentechnik für hohe Funktionalitätsstufen in einzelnen technischen Bereichen. Die mit „\*“ markierten „Smart ready services“ fließen in jedem Fall in die Ermittlung der maximalen SRI-Punktzahl ein, wenn der technische Bereich mit diesem „Smart ready service“ als im Gebäude vorhanden ausgewählt wurde.

Technischer Bereich	„Smart ready service“	Funktionalitätsstufe	Stufe mit höchster Punktzahl
Kühlung	Regelung der Kälteübergabe	Einzelraumregelung mit Kommunikation zwischen Reglern und zu BACS und Anwesenheitserkennung (BACS: Building Automation and Control System)	4
	Regelung der Übergabe für TABS (Kühlbetrieb) (TABS: Thermally Activated Building Systems)	Fortgeschrittene zentrale automatische Steuerung mit intermittierendem Betrieb und/oder Rückführung der Raumtemperatur	3
	Regelung der Temperatur des Kälteübertragungsmediums	Bedarfsorientierte Steuerung	2
	Steuerung von Umwälzpumpen in Netzen	Pumpensteuerung mit variabler Drehzahl	3 oder 4
	Thermischer Energiespeicher	Kältespeicher, der durch Netzsignale flexibel gesteuert werden kann (z. B. DSM Demand Side Management)	3
	Steuerung des Kälteerzeugers*	Variable Steuerung der Kälteerzeugerleistung in Abhängigkeit von der Last UND externen Signalen aus dem Netz	2 bzw. 3
	Vermeidung von gleichzeitigem Heizen und Kühlen im selben Raum*	Vollständige Verriegelung (das Kontrollsystem stellt sicher, dass nicht gleichzeitig geheizt und gekühlt werden kann)	2
	Reihenfolge bei unterschiedlichen Kälteerzeugern	Sequenzierung auf der Grundlage einer dynamischen Prioritätenliste, einschließlich externer Signale vom Netz	4
	Informationen über die Leistung der Kälteanlage melden*	Zentrale oder ferngesteuerte Berichterstattung über die Leistungsbewertung, einschließlich Prognosen und/oder Benchmarking; einschließlich vorausschauendem Management und Fehlererkennung	4
	Flexibilität und Netzinteraktion*	Optimierte Steuerung der Kälteanlage auf der Grundlage lokaler Vorhersagen und Netzsignale (z. B. durch modellprädiktive Steuerung)	4



Fortsetzung Tabelle 16: Erforderliche Regelung und Steuerung der Anlagentechnik für hohe Funktionalitätsstufen in einzelnen technischen Bereichen. Die mit „\*“ markierten „Smart ready services“ fließen in jedem Fall in die Ermittlung der maximalen SRI-Punktzahl ein, wenn der technische Bereich mit diesem „Smart ready service“ als im Gebäude vorhanden ausgewählt wurde.

Technischer Bereich	„Smart ready service“	Funktionalitätsstufe	Stufe mit höchster Punktzahl
Warmwasser	Steuerung der Warmwasser-Speicherbeladung (mit direkter elektrischer Heizung oder integrierter elektrischer Wärmepumpe)	Automatische Ladesteuerung basierend auf der lokalen Verfügbarkeit von erneuerbaren Energien oder Informationen aus dem Stromnetz (DR Demand Response, DSM Demand Side Management)	3
	Steuerung der Speicherbeladung (durch Warmwassererzeugung)	Trinkwarmwasserbereitungsanlage mit automatischer Ladesteuerung auf der Grundlage externer Signale (z. B. vom Fernwärmenetz)	3
	Steuerung der Speicherbeladung (mit Solarkollektor und Zusatzwärmeerzeugung)	Automatische Regelung von Solarspeicherladung (Priorität 1) und Speicherergänzungsladung, bedarfsgerechte Vor- und Rücklauftemperaturregelung und Multi-Sensor-Speicher-Management	3
	Reihenfolge bei unterschiedlichen Warmwassererzeugern	Steuerung nach dynamischer Prioritätenliste (basierend auf aktueller UND prognostizierter Last, Energieeffizienz, Kohlenstoffemissionen, Kapazität der Erzeuger UND externen Signalen aus dem Netz)	4
	Informationen über die Leistung der Warmwasserbereitung melden*	Leistungsbewertung, einschließlich Vorhersage und/oder Benchmarking; einschließlich vorausschauendem Management und Fehlererkennung	4

Fortsetzung Tabelle 16: Erforderliche Regelung und Steuerung der Anlagentechnik für hohe Funktionalitätsstufen in einzelnen technischen Bereichen. Die mit „\*“ markierten „Smart ready services“ fließen in jedem Fall in die Ermittlung der maximalen SRI-Punktzahl ein, wenn der technische Bereich mit diesem „Smart ready service“ als im Gebäude vorhanden ausgewählt wurde.

Technischer Bereich	„Smart ready service“	Funktionalitätsstufe	Stufe mit höchster Punktzahl
Lüftung	Regelung des Zuluftstroms auf der Raumebene*	Lokale Bedarfssteuerung auf der Grundlage von Luftqualitätssensoren (CO <sub>2</sub> , VOC, ...) mit lokalem Durchfluss von/zu der Zone, der durch Klappen geregelt wird	4
	Luftstrom- oder Druckregelung auf der Ebene der Lüftungsanlage	Automatische Luftstrom- oder Druckregelung ohne oder mit Druckrückstellung: Lastabhängige Versorgung des Luftstroms für den Bedarf aller angeschlossenen Räume (bei variablen Luftmengensystemen mit VFD (Variable Frequency Drives, ein Frequenzumrichter))	4
	Vermeidung von Überhitzung	Modulierung oder Umgehung der Wärmerückgewinnung auf der Grundlage mehrerer Raumtemperatursensoren oder vorausschauender Steuerung	2
	Regelung der Zulufttemperatur auf Ebene des Lüftungsgerätes	Variabler Sollwert mit lastabhängiger Kompensation. Ein Regelkreis ermöglicht die Regelung der Zulufttemperatur. Der Sollwert wird in Abhängigkeit von den Lasten im Raum definiert.	3
	Freie Kühlung mit mechanischem Belüftungssystem	H,x-gesteuerte Regelung: Die Menge der Außenluft und der Umluft wird während aller Zeiträume moduliert, um die Menge der mechanischen Kühlung zu minimieren. Die Berechnung erfolgt auf der Grundlage von Temperaturen und Feuchtigkeit	3
	Meldung von Informationen über IAQ (Indoor Air Quality)*	Echtzeit-Überwachung und historische IAQ-Informationen, die den Bewohnern zur Verfügung stehen + Warnung bei Wartungsbedarf oder Bewohneraktionen (z. B. Öffnen von Fenstern)	3
künstliche Beleuchtung	Belegungssteuerung für Innenbeleuchtung*	Automatische Erkennung (manuell ein/gedimmt oder automatisch aus)	3
	Steuerung der Leistung der künstlichen Beleuchtung in Abhängigkeit vom Tageslicht*	Automatisches Dimmen mit szenenbasierter Lichtsteuerung (in Zeitintervallen werden dynamische und angepasste Lichtszenen eingestellt, z. B. in Bezug auf die Beleuchtungsstärke, unterschiedliche korrelierte Farbtemperaturen (CCT) und die Möglichkeit, die Lichtverteilung im Raum zu verändern, z. B. je nach Design, menschlichen Bedürfnissen oder Sehaufgaben)	4

Fortsetzung Tabelle 16: Erforderliche Regelung und Steuerung der Anlagentechnik für hohe Funktionalitätsstufen in einzelnen technischen Bereichen. Die mit „\*“ markierten „Smart ready services“ fließen in jedem Fall in die Ermittlung der maximalen SRI-Punktzahl ein, wenn der technische Bereich mit diesem „Smart ready service“ als im Gebäude vorhanden ausgewählt wurde.

Technischer Bereich	„Smart ready service“	Funktionalitätsstufe	Stufe mit höchster Punktzahl
Dynamische Gebäudehülle	Sonnenschutz für Fenster	Prädiktive Jalousiesteuerung (z. B. auf der Grundlage der Wettervorhersage)	4
	Steuerung des Öffnens und Schließens von Fenstern, kombiniert mit HLK-System*	Erkennung von offenem/geschlossenem Zustand zum Abschalten von Heiz- oder Kühlsystemen + automatisierte mechanische Fensteröffnung auf der Grundlage von Raumsensordaten + zentrale Koordinierung von bedienbaren Fenstern, z. B. zur Steuerung der freien natürlichen Nachtlüftung	3
	Berichterstattung über die Leistung von dynamischen Systemen der Gebäudehülle	Position der einzelnen Produkte, Fehlererkennung, vorausschauende Wartung, Echtzeit- und historische Sensordaten (Wind, Beleuchtungsstärke, Temperatur...)	4
Elektrizität	Speicherung von (lokal erzeugtem) Strom	Vor-Ort-Energiespeicherung (z. B. elektrische Batterie oder thermische Speicherung) mit Steuerung zur Optimierung der Nutzung des lokal erzeugten Stroms und Möglichkeit der Rückspeisung ins Netz	4
	Optimierung des Eigenverbrauchs von lokal erzeugtem Strom	Automatisiertes Management des lokalen Stromverbrauchs auf der Grundlage des aktuellen und prognostizierten Energiebedarfs und der Verfügbarkeit erneuerbarer Energie	3
	Steuerung von Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen (KWK)	Steuerung der KWK-Laufzeit in Abhängigkeit von der schwankenden Verfügbarkeit von erneuerbaren Energien und Netzsignalen; dynamische Lade- und Laufzeitsteuerung zur Optimierung des Eigenverbrauchs erneuerbarer Energien	2
	Unterstützung von (Mikro-) Netzbetriebsarten	Automatisiertes Management von Stromverbrauch und -versorgung (auf Gebäudeebene) mit der Möglichkeit, in begrenztem Umfang weiterhin netzunabhängig zu arbeiten (Inselbetrieb)	3
	Meldung von Informationen über die lokale Stromerzeugung	Leistungsbewertung, einschließlich Vorhersage und/oder Benchmarking; einschließlich vorausschauendem Management und Fehlererkennung	4
	Meldung von Informationen über die Energiespeicherung		
	Meldung von Informationen über den Stromverbrauch*	Echtzeit-Feedback oder Benchmarking auf Geräteebene mit automatischen personalisierten Empfehlungen	4

Fortsetzung Tabelle 16: Erforderliche Regelung und Steuerung der Anlagentechnik für hohe Funktionalitätsstufen in einzelnen technischen Bereichen. Die mit „\*“ markierten „Smart ready services“ fließen in jedem Fall in die Ermittlung der maximalen SRI-Punktzahl ein, wenn der technische Bereich mit diesem „Smart ready service“ als im Gebäude vorhanden ausgewählt wurde.

Technischer Bereich	„Smart ready service“	Funktionalitätsstufe	Stufe mit höchster Punktzahl
Laden von Elektrofahrzeugen	Elektrofahrzeug – Ladekapazität	10–50 % der Parkplätze haben eine Aufladestation oder > 50 % der Parkplätze haben eine Aufladestation	3 oder 4
	Elektrofahrzeug – Laden Netzausgleich	Gesteuertes bidirektionales Laden (z. B. mit gewünschter Abfahrtszeit und Netzsignalen zur Optimierung)	2
	Informationen zum Laden von Elektrofahrzeugen und zu Anschlussmöglichkeiten	Meldung von Informationen über den Ladestatus des E-Fahrzeugs an den Fahrzeuginsassen UND automatische Identifizierung und Autorisierung des Fahrers an der Ladestation (ISO 15118-konform)	2
Überwachung und Kontrolle	Laufzeitmanagement von HLK-Systemen	Ein- und Ausschalten von Heiz- und Kühlanlagen auf der Grundlage einer vorausschauenden Steuerung oder in Abhängigkeit von Netzsignalen	3
	Erkennen von Fehlern an gebäudetechnischen Anlagen und Unterstützung bei der Diagnose dieser Fehler	Mit zentraler Anzeige von erkannten Fehlern und Alarmen für alle relevanten TBS, einschließlich Diagnosefunktionen (TBS: Technical Building System)	3
	Belegungserkennung: vernetzte Dienste	Zentralisierte Personenerkennung, die mehrere TBS wie Beleuchtung und Heizung steuert	2
	Zentrale Berichterstattung über TBS-Leistung und Energieverbrauch	Zentrale oder ferngesteuerte Berichterstattung über den Echtzeit-Energieverbrauch pro Energieträger, die die TBS aller Hauptbereiche in einer Schnittstelle zusammenfasst	3
	Integration intelligenter Stromnetze	Koordinierte Nachfragesteuerung für mehrere TBS	2
	Berichterstattung über die Leistung und den Betrieb der Bedarfssteuerung	Berichterstattung über den aktuellen und prognostizierten DSM-Status, einschließlich der verwalteten Energieflüsse (DSM: Demand Side Management)	2
	Außerkraftsetzen der DSM-Steuerung	Zeitgesteuertes Außerkraftsetzen der DSM-Steuerung und Wiedereinschalten mit optimierter Steuerung	4
	Eine einzige Plattform, die eine Steuerung und Koordinierung zwischen den TBS ermöglicht.	Eine einzige Plattform, die eine automatische Steuerung und Koordinierung zwischen den TBS sowie eine Optimierung des Energieflusses auf der Grundlage von Belegung, Wetter und Netzsignalen ermöglicht	3

## 10. Erfahrungen und Erkenntnisse

### 10.1 Tool-Anwendung

Im Folgenden werden die Erfahrungen und Erkenntnisse zusammengefasst, die mit der Anwendung der SRI-Bewertungsmethode mit Hilfe des Tool Calculation Sheets „Smart Readiness Indicator for Buildings Version 4.2“<sup>3</sup> [7] gemacht wurden. Eine ausführliche Darstellung des technischen Feedbacks ist im Anhang enthalten.

Das angewendete Tool basiert auf einer Kalkulationstabelle und ist übersichtlich aufgebaut und gut strukturiert. Das beiliegende Handbuch fasst die Grundlagen der Bewertung zusammen, führt durch die einzelnen Bewertungs-Schritte und erläutert die Bewertungsergebnisse. Die erste Herausforderung vor der Anwendung des Tools besteht darin, die für die Bewertung erforderlichen Informationen mit Hilfe einer Recherche und der Unterstützung der Projektnehmer herauszufinden und zusammenzustellen. Eine Schwierigkeit war die Tatsache, dass einige der bewerteten Objekte sich noch in der Planung befanden, so dass nicht alle notwendigen Informationen vorlagen. Die zweite Herausforderung war die Übertragung der vorliegenden Informationen in das Tool. Im Rahmen dieser beiden Schritte ist Folgendes aufgefallen:

- Da es sich bei der SRI-Bewertung um eine Bewertung von gebäudetechnischen Anlagen handelt, war es nicht gleich ersichtlich, dass auch technische Bereiche, die über keine eigentliche Anlagentechnik verfügen, zu bewerten sind. Zum Beispiel der technische Bereich „Laden von Elektrofahrzeugen“: dieser Bereich ist zu bewerten bzw. auszuwählen, sobald ein Gebäude über eigene Parkplätze verfügt (denn die Parkplätze bieten ein Potential zum Aufstellen einer Ladestation für E-Autos).
- Für einen Anwender mit wenig Erfahrung im anlagentechnischen Bereich kann die Beschreibung von einzelnen „Smart ready services“ im Tool ungenügend sein. Die Auswahl relevanter „Smart ready services“ kann mit Hilfe von Beispielen wesentlich vereinfacht werden. Dies erfolgt zum Teil bereits im Blatt „Overview of services“ und wurde bei der vorliegenden Bewertung als sehr hilfreich empfunden. Eine Ergänzung von weiteren Beispielen bzw. detaillierteren Beschreibungen der angedachten Situationen für einzelne „Smart ready services“ (wie dies beispielsweise in der DIN EN 15232-1 der Fall ist) im Handbuch wäre wünschenswert.
- Im Tool werden einige Anlagentechniken nicht bewertet. Als Beispiel ist der technische Bereich Trinkwarmwasser zu nennen: Hier wird nur eine ausführliche Bewertung von Speichersystemen vorgenommen. Systeme wie z. B. Durchlauferhitzer ohne Speicher können aktuell nur in Bezug auf Informationen für die Bewohner und die Gebäudeverwalter bewertet werden.
- Bei weniger typischen Anlagenkonzepten war es nicht immer klar, ob und wie diese im Tool umzusetzen sind. Ein Beispiel dafür stellen Lüftungskonzepte dar, die eine mechanische Abluft in einem Bereich (z. B. Flur oder Nassräume) und die Zuluft in anderen Räumen vorsehen, bei welchen die Steuerung nur in den Abluftelementen erfolgt. Das bedeutet, dass die Steuerung des Zuluftvolumenstroms nur indirekt stattfindet.
- Bei „Smart ready services“ wie die Bewertung von Informationen war es nicht eindeutig, welche Informationen tatsächlich in die Bewertung aufzunehmen sind. So sind bei den technischen Bereichen wie die Heizung, das Warmwasser und die Kühlung Informationen zu bewerten, die den Bewohnern und Gebäudeverwaltern zur Verfügung stehen sollen. Bei den technischen Bereichen Belüftung, dynamische Gebäudehülle, Elektrizität und Überwachung und Kontrolle wird nur „Feedback – Informationen melden“ abgefragt. Hier fehlt die Erklärung, welchen

---

<sup>3</sup> SRI3\_calculation-sheet\_v4\_4.xlsx

Personenkreisen (Gebäudeverwalter, Gebäudenutzer, Gebäudeeigentümer, Mieter, Anlagenbetreiber etc.) und in welcher Aktualität (täglich, wöchentlich, monatlich) die Daten vorliegen bzw. gemeldet werden sollen.

Im Rahmen der Beschaffung von erforderlichen Informationen haben nahezu alle Projekte Interesse am Ergebnis der SRI-Bewertung gezeigt. Einige Projekte haben berichtet, dass die „Anforderungen“ an den SRI mitbedacht werden und in die Planung miteinfließen würden. Allgemein kann bezüglich der Anwendung des Tools in Kombination mit dem Handbuch zusammengefasst werden, dass vor allem bei typischen Standardlösungen im Bereich der Anlagentechnik das Tool als nicht kompliziert einzustufen und gut verständlich ist. Schwierigkeiten ergeben sich bei der Bewertung von weniger typischen Konzepten, die derzeit im Wesentlichen bei Pilotprojekten/Leuchtturmprojekten wie im Förderbereich Energiewendebauen umgesetzt werden. Bei Vorliegen bzw. bei Kenntnis der erforderlichen Informationen ist die Bewertung selbst mit wenig Aufwand verbunden. Für die Übertragung der Informationen in das Tool und grobe Prüfung und Zusammenstellung der Ergebnisse ist mit einem Zeitaufwand von ca. einem halben Arbeitstag zu rechnen.

Der Schwierigkeit bei der Bewertung der beiden Bestandserweiterungen lag darin, dass das Design-Challenge-Konzept für die geplante Aufstockung, das Konzept für die Demonstrationseinheit und das Energiekonzept für die Nachnutzung der Demonstrationseinheit zum einen sich teilweise unterscheiden haben und zum anderen noch in der Planung waren. So war es für die Bewertung notwendig, sich für ein Konzept zu entscheiden und bei Bedarf Annahmen zu treffen bzw. die zunächst nur angedachten/favorisierten Lösungen zu bewerten.

## 10.2 Bewertung und Ergebnisse

Die SRI-Bewertung von Demonstrationsgebäuden aus der Forschungsinitiative Energiewendebauen zeigt, dass die überwiegende Anzahl der bewerteten Objekte nur eine niedrige Gesamt-SRI-Punktzahl erreicht. Anhand der Gesamt-SRI-Punktzahl ist aber nicht ersichtlich, in welchen technischen Bereichen ein Gebäude, ein Gebäudeteil bzw. eine Gebäudeeinheit smarte Anwendungen hat, inwiefern diese zu hohen Bewertungen führen und welche Bereiche noch ausbaufähig sind. Deswegen sollte die Auswertung von einzelnen technischen Bereichen gestärkt werden. In ähnlicher Weise, wie Sanierungsempfehlungen im Gebäudeenergieausweis, wäre es auch beim SRI-Zertifikat zweckmäßig, Empfehlungen aufzunehmen, an welcher Stelle bzw. in welchem Bereich smarte Anwendungen sinnvoll und mit geringem Aufwand aufgenommen bzw. nachgerüstet werden können.

Im Rahmen der Bewertung ist uns außerdem aufgefallen, dass in vielen Bereichen konventionell gesteuert und geregelt wird, obwohl es sich bei den untersuchten Objekten um Forschungsvorhaben handelt. Ggf. sollte untersucht werden, welche Hintergründe das hat und wie die Umsetzung von smarten Anwendungen im Sinne des SRI vorangetrieben werden kann, damit sich diese als Stand der Technik etablieren. Ein Beispiel dafür ist die Steuerung von Umwälzpumpen, die in vielen Fällen noch über „Ein/Aus“ und nicht variabel mit Drehzahlregelung gesteuert werden. Oder im Falle der mechanischen Lüftung, wo eine kontinuierliche Luftstromzufuhr für eine maximale Belüftung aller Räume vorgenommen wird, anstatt einer automatischen Volumenstrom- oder Druckregelung.

Bei einigen Forschungsvorhaben hat sich gezeigt, dass eine smarte Regelung bzw. Steuerung zwar angedacht und geplant war, aber nicht umgesetzt worden ist bzw. die entsprechende Komponente, die eine smarte Regelung ermöglicht hätte, nicht beschafft wurde. Es wäre aber ohne weiteres möglich, diese nachzurüsten. Des Weiteren wurde berichtet, dass eine Anlage zwar im Sinne des SRI

eine smartere Regelung/Steuerung ermöglicht, diese Art der Regelung aber im Gebäude nicht ausgeführt wird. In solchen Fällen wurde die smartere Einstellung (d. h. die höhere Funktionalitätsstufe) berücksichtigt, da die Voraussetzungen zur Umsetzung vor Ort bereits gegeben sind.

Im Bereich des Ladens von Elektrofahrzeugen hat sich gezeigt, dass bei einigen Forschungsvorhaben die Infrastruktur für die Ladestationen vorgerüstet ist, die Ladestationen selbst aber nicht bzw. noch nicht umgesetzt wurden. In einem Fall mussten aufgrund von rechtlichen Hürden die Ladestationen wieder abgebaut werden.

Nahezu alle der untersuchten Forschungsvorhaben beinhalten eine Monitoringphase, für die eine entsprechende Monitoringinfrastruktur vorzuinstallieren ist. Ein Demonstrationsgebäude wurde für den Zustand der Monitoringphase bewertet. Zum Zeitpunkt der Bewertung des Projektes stand noch nicht fest, inwiefern die Datenerfassung, Auswertung und Weitergabe der Messdaten über den Monitoringzeitraum hinaus weitergeführt wird. Es stand aber fest, dass die Infrastruktur und die Grundlage dafür im Gebäude bereits vorhanden waren. Anhand dieses Projekts konnte verglichen werden, welchen Einfluss das Monitoring auf den Smart Readiness Indicator hat. Im Rahmen des Monitorings wurden im Wesentlichen die Erfassung, die Auswertung und die Kommunikation der Daten in den Bereichen Heizung, Trinkwarmwasser und Elektrizität vorgenommen. Werden diese Daten nicht mehr erfasst und als Information zur Verfügung gestellt, reduziert sich die Gesamt-SRI-Punktzahl um die Hälfte von 18 % auf 9 %. Dabei brechen die technischen Bereiche Heizung um ca. 50 %, Trinkwarmwasser um 100 % und Elektrizität um ca. 90 % ein. Dies hat eine hohe Auswirkung auf die Wirkungskriterien „Energieeffizienz“, „Wartung und Fehlervorhersage“ sowie „Informationen für Gebäudenutzer“. Die Erfüllung der „Energieeffizienz“ geht um ca. 1/3, die der „Wartung und Fehlervorhersage“ vollständig und die der „Informationen für Gebäudenutzer“ um ca. 90 % zurück. Die beiden technischen Bereiche „Heizung“ und „Elektrizität“ haben dabei die größten Auswirkungen (wie bereits im Abschnitt 8.2 in Bezug auf den Einfluss der technischen Bereiche auf die Gesamt-SRI-Punktzahl für Wohngebäude gezeigt).

## 11. Ausblick

Die SRI-Bewertung wurde an insgesamt sieben Demonstrationsgebäuden aus der Forschungsinitiative Energiewendebauen durchgeführt. Dabei war es notwendig, bei einem Mischgebäude die SRI-Bewertung für die einzelnen Nutzungen getrennt durchzuführen. Die Mehrheit der bewerteten Demonstrationsgebäude erreicht nur eine niedrige Gesamt-SRI-Punktzahl. Nur zwei der Forschungsvorhaben haben eine Gesamt-SRI-Punktzahl im hohen Bereich. Die Bewertungen zeigen, dass es nicht ausreicht, smarte Anwendungen in einzelnen technischen Bereichen umzusetzen, um eine hohe SRI-Punktzahl zu erreichen. Es müssen dafür smarte Anwendungen in nahezu allen technischen Bereichen vorliegen. Es fällt auf, dass smarte Regelungsansätze im Sinne des SRI sich in vielen Bereichen noch nicht als Stand der Technik etabliert haben. Eine Untersuchung, aus welchen Gründen die teilweise geplanten smarten Regelungsansätze in der Umsetzung gescheitert sind und mit welchem technischen, aber auch finanziellen Aufwand die Umsetzung einer smarteren Regelung und Steuerung im Vergleich zu einer konventionellen bzw. dem Stand der Technik entsprechenden verbunden ist, könnte interessant sein. Dabei sollte auch die Sinnhaftigkeit von smarten Anwendungen in Bezug auf die unterschiedlichen Kriterien (z. B. Energieeffizienz, Netzdienlichkeit, Komfort usw.) herausgearbeitet werden.

Im aktuellen Vorschlag zur SRI-Bewertung ist vorgesehen, in einem Gebäude, einem Gebäudeteil bzw. einer Gebäudeeinheit nur die Anlagentechnik bzw. die Steuerung/Regelung zu bewerten, die bereits vorhanden ist bzw. genutzt werden kann. So ist es nur zu einem sehr geringen Teil möglich, „Smart ready services“ zu bewerten, die für eine Anwendung nur vorbereitet sind bzw. bei denen es sich nur um eine Vorrüstung handelt. Dies ist beispielsweise im technischen Bereich „Laden von Elektrofahrzeugen“ möglich, wenn die Infrastruktur für eine Ladestation schon vorgerichtet wurde, aber nicht genutzt wird. Zumeist ist es nicht vorgesehen, vorbereitende Installationen für Anwendungen zu bewerten. Auch Anwendungen, die noch nicht umgesetzt wurden und zu einem späteren Zeitpunkt angekoppelt bzw. ohne Weiteres nachgerüstet bzw. erweitert werden können, werden bei dem Bewertungsverfahren nicht berücksichtigt. Deswegen stellt sich die Frage, ob es sich beim Smart Readiness Indicator nicht eher um einen Smartness Indicator handelt. Die HEA-Studie [11] unterbreitet in diesem Zusammenhang den Vorschlag, auch die vorbereitende Infrastruktur für die Erweiterung oder die Nachrüstung von Anwendungen in die Bewertung miteinzubeziehen und mit der Hälfte der „normalen“ Punktzahl zu bewerten. Auf diese Weise lassen sich Gebäude, Gebäudeteile bzw. Gebäudeeinheiten, die für smarte Anwendungen besser vorbereitet sind, von den Objekten, die für solche Anwendungen nicht vorbereitet sind, unterscheiden. Eine prägnante Dokumentation über die in dem bewerteten Objekt vorhandene Anlagentechnik, Steuerung und Regelung sowie die bereits installierte Infrastruktur ist als Ergänzung zu einem SRI-Zertifikat auf jeden Fall unerlässlich, wie dies auch in der BMWK-Studie [12] vorgeschlagen wird. Als zweckmäßig wird in diesem Zusammenhang auch die Darstellung des Verbesserungspotentials gesehen. Es sollen Empfehlungen aufgenommen werden, die aufzeigen, an welcher Stelle bzw. in welchem Bereich smarte Anwendungen sinnvoll und mit geringem Aufwand erweitert bzw. nachgerüstet werden können.

Bei der SRI-Bewertung liegt ein starker Fokus auf der Regelung und der Steuerung von anlagentechnischen Systemen, die im besten Falle auf smarte Weise miteinander kommunizieren, bedarfsabhängig regeln und die erforderliche Leistung in Abhängigkeit von der Last und/oder von Signalen aus dem Netz steuern. Ein weiterer Schwerpunkt der SRI-Bewertung liegt in der Bewertung von vorzulegenden Informationen über die Leistung der Systeme wie bspw. die Temperatur, den Energieverbrauch, die Raumluftqualität, den Ladestatus usw. Diese Erwartungen erfordern unter anderem einen flächendeckenden Einsatz von Sensoren und Aktoren sowie deren Anbindung an die Gebäudeautomation, aber auch an Monitoring-Systeme. Nahezu alle der untersuchten Forschungsvorhaben beinhalten eine Monitoringphase und wurden bzw. werden entsprechend mit der notwendigen Infrastruktur ausgestattet. Dies zeigt sich auch in den Ergebnissen der SRI-Bewertung: Im Bereich der Informationsbereitstellung wurde ein Grundstein gelegt, welcher in einigen Fällen mit Benchmarks und Prognosen erweitert wird. Der Trend geht zur Visualisierung der erhobenen Daten vor allem für die Gebäudenutzer bzw. Mieter und Vermieter. Alle bewerteten Demonstrationsgebäude versuchen, über verschiedene Systeme den Nutzer für den Energieverbrauch in verschiedenen technischen Bereichen zu sensibilisieren. Die Visualisierung erfolgt dabei unterschiedlich über eine Nutzer-App, einen Web-Zugang und/oder eine Visualisierung der Bilanzen vor Ort im Treppenhaus mit Hilfe eines Monitors. So unterstützt der SRI den Aspekt des Gebäudemonitorings, das gleichzeitig zur Betriebsoptimierung genutzt werden kann. Die Durchführung der Betriebsoptimierung wird von vielen Fachleuten als wichtig erachtet, da beispielsweise in vielen Fällen technische Anlagen beim Einbau auf Werkeinstellungen gelassen oder nicht korrekt eingestellt werden.



Die Erreichung eines hohen SRI-Wertes ist mit dem Einsatz von relativ „viel“ Technik verbunden. Dabei stellen sich Fragen, inwiefern die Forderungen des SRI einen Widerspruch zum robusten Gebäudebetrieb darstellen und wie hoch der Aufwand zum Nutzen ausfällt bspw. in Bezug auf die Einsparung an Energie.

Die SRI-Bewertung findet aktuell im Wesentlichen auf der Gebäudeebene statt. Wie es in der österreichischen Studie richtigerweise angesprochen wird, sind „die Herausforderungen der Zukunft aber nur im Gebäudeverbund bzw. auf Siedlungs- oder Quartiersebene zu bewältigen, vor allem, wenn es um Energieflexibilität und Ausgleich von Energieerzeugung und -verbrauch geht.“ [13]. Ein weiterer Diskussionspunkt wäre deshalb, die SRI-Bewertungsmethode auf die Quartiersebene auszuweiten.

Im Rahmen des Einführungsprozesses der SRI-Bewertungsmethode ist es vorgesehen, dass die finalen Gewichtungsfaktoren entweder von den einzelnen Mitgliedstaaten selbst und/oder zentral von der EU-Kommission definiert werden. Dabei erscheint die Möglichkeit der nationalen Gewichtung als wichtig. Denn so können die einzelnen Mitgliedstaaten die neun technischen Bereiche mehr bzw. weniger gewichten, die beispielsweise aufgrund des Klimas für das Land relevant bzw. weniger relevant sind. Aber auch auf die sieben Wirkungskriterien und die drei Kernfunktionalitäten kann individuell je nach nationaler Kultur und/oder gesetzlichen Anforderungen mehr oder weniger Wert gelegt werden.

## Literaturverzeichnis:

- [1] *Europäisches Parlament und Rat der Europäischen Union: Richtlinie (EU) 2018/844 vom 30. Mai 2018 zur Änderung der Richtlinie 2010/31/EU über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden und der Richtlinie 2012/27/EU über Energieeffizienz. Amtsblatt der Europäischen Union, L 156/75.*
- [2] *Europäische Kommission: Vorschlag für eine Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden, Brüssel, 15.12.2021, COM/2021/802 final.*
- [3] *Europäische Kommission: Delegierte Verordnung (EU) 2020/2155 der Kommission vom 14. Oktober 2020 zur Ergänzung der Richtlinie 2010/31/EU des Europäischen Parlaments und des Rates durch Festlegung eines optionalen gemeinsamen Systems der Union zur Bewertung der Intelligenzfähigkeit von Gebäuden. Amtsblatt der Europäischen Union, L 431/9.*
- [4] *BUILD UP – The European portal for energy efficiency in buildings (initiative of the European Commission): Practices „Overview – Smart buildings and smart grids“. Verfügbar unter [www.buildup.eu/en/news/overview-smart-buildings-and-smart-grids](http://www.buildup.eu/en/news/overview-smart-buildings-and-smart-grids). Letzter Zugriff am 15.11.2022.*
- [5] *European Commission: Smart Readiness Indicator (SRI), Training slide deck, Version 2.0 (January 2022).*
- [6] *DIN EN 15232-1: Energieeffizienz von Gebäuden – Teil 1: Einfluss von Gebäudeautomation und Gebäudemanagement. Beuth Verlag, Dezember 2017.*
- [7] *European Commission: Calculation sheet Smart Readiness Indicator for Buildings, Version 4.2 (SRI3\_calculation-sheet\_v4\_4.xlsx).*
- [8] *Verbeke, S.; Aerts, D.; Reynders, G.; Ma, Y.; Waide, P.: Final report on the technical support to the development of a smart readiness indicator for buildings, June 2020.*
- [9] *European Commission: SRI explained – Questions and answers about the SRI in general, its implementation and methodology. Verfügbar unter [https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/smart-readiness-indicator/sri-explained\\_en#general-questions](https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/smart-readiness-indicator/sri-explained_en#general-questions). Letzter Zugriff am 09.08.2022.*
- [10] *Newsletter Smart Readiness Indicator (SRI): March 2022. Verfügbar unter <https://ec.europa.eu/newsroom/ener/newsletter-archives/37893>. Letzter Zugriff am 12.08.2022.*
- [11] *HEA – Fachgemeinschaft für effiziente Energieanwendung e. V. mit Unterstützung von BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e. V.: Grundlagenstudie: Smart Readiness Indicator (SRI), 1. Auflage Februar 2019. Verfügbar unter [www.hea.de/themen/digitalisierung/smart-readiness-indicator](http://www.hea.de/themen/digitalisierung/smart-readiness-indicator). Letzter Zugriff am 12.09.2022.*
- [12] *Offermann, M.; Gräf, D.; Oschatz, B.; Mailach, B.; Köhler, B.; Braungardt, S.; Sprengard, C.; Barckhausen, A. im Auftrag von BWWK: Anpassung der SRI-Systematik für eine Einführung in Deutschland. Berlin, Dresden, Freiburg, Gräfelfing, Köln 2022.*

- [13] Österreichisches Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK): Smart Readiness Indikator, Bewertungsschema und Chancen für intelligente Gebäude. SRI Austria, Schriftenreihe 8/2020. Verfügbar unter [https://nachhaltigwirtschaften.at/resources/sdz\\_pdf/schriftenreihe-2020-08-sri-austria.pdf](https://nachhaltigwirtschaften.at/resources/sdz_pdf/schriftenreihe-2020-08-sri-austria.pdf). Letzter Zugriff am 12.09.2022.
- [14] Wissenschaftliche Begleitforschung EnEff.Gebäude.2050: Projektforum EnEff.Gebäude.2050, Projektvorstellung „Klimaneutraler Verwaltungsbau – dynamisches und dezentrales Energiesystem“. Juni 2020. Verfügbar unter [www.energiewendebauen.de/lw\\_resource/datapool/systemfiles/agent/ewbpublications/C711096AA8F86E17E0537E695E86CBA3/live/document/EnEff\\_Geb%C3%A4ude\\_2050\\_3.\\_Projektforum\\_Reader\\_r.pdf](http://www.energiewendebauen.de/lw_resource/datapool/systemfiles/agent/ewbpublications/C711096AA8F86E17E0537E695E86CBA3/live/document/EnEff_Geb%C3%A4ude_2050_3._Projektforum_Reader_r.pdf). Letzter Zugriff am 26.09.2022.
- [15] Forschungszentrum Jülich, Living Lab Energy Campus: Verbesserung der Energieeffizienz und des Komforts in Räumen durch Nutzerbeteiligung und innovative Automatisierungslösungen. Verfügbar unter <https://blogs.fz-juelich.de/llec/2022/02/21/verbesserung-der-energieeffizienz-und-des-komforts-in-raeumen-durch-nutzerbeteiligung-und-innovative-automatisierungsloesungen/>. Letzter Zugriff am 10.10.2022.
- [16] Forschungszentrum Jülich, Living Lab Energy Campus: Klimaneutraler Verwaltungsbau G16.17. Verfügbar unter <https://blogs.fz-juelich.de/llec/2022/10/11/klimaneutraler-verwaltungsneubau-g16-17/>. Letzter Zugriff am 23.01.2023.
- [17] EnArgus Förderprojekte: Verbundvorhaben EnOB: Plus-EQ-Net – Netzneutrales Wohn- und Geschäftshaus puls G in Geretsried; Teilvorhaben: Planung und Umsetzung, Monitoring, Betriebsoptimierung, wissenschaftliche Koordination. Verfügbar unter [www.enargus.de/detail/?id=360935](http://www.enargus.de/detail/?id=360935). Letzter Zugriff am 06.10.2022.
- [18] Dietrich-Rust, C.; Hahn, J.; Jensch, W.; Lauterbach, S.; Stockinger, V.: Schlussbericht Verbundvorhaben Plus-EQ-Net – Netzneutrales Wohn- und Geschäftshaus puls G in Geretsried. München, 02.02.2022.
- [19] EnArgus Förderprojekte: Verbundvorhaben EnOB: plus-EQ-Net II – Netzneutrales Wohn- und Geschäftshaus puls G in Geretsried –q Monitoringphase; Teilvorhaben: Monitoring und Qualitätssicherung. Verfügbar unter [www.enargus.de/detail/?id=4486118](http://www.enargus.de/detail/?id=4486118). Letzter Zugriff am 14.02.2023.
- [20] Wissenschaftliche Begleitforschung EnEff.Gebäude.2050: Projektforum EnEff.Gebäude.2050: „Performance Gaps – Der Beitrag von Forschungsprojekten auf dem Weg zum nahezu klimaneutralen Gebäudebestand 2050“, Projektvorstellung „AktivPLUS Studentenwohnheim Campo V in Stuttgart-Vaihingen“. Oktober 2018. Verfügbar unter [www.forschungsnetzwerke-energie.de/lw\\_resource/datapool/systemfiles/agent/fnepublications/99F92746A3044E32E0539A695E867533/live/document/Handout\\_1.\\_PF\\_EnEff\\_Geb%C3%A4ude\\_2050.pdf](http://www.forschungsnetzwerke-energie.de/lw_resource/datapool/systemfiles/agent/fnepublications/99F92746A3044E32E0539A695E867533/live/document/Handout_1._PF_EnEff_Geb%C3%A4ude_2050.pdf). Letzter Zugriff am 27.04.2022.
- [21] Wohnbau-Studio Planungsgesellschaft mbH & Co.: Wohnbau-Studio. Verfügbar unter [www.wohnbaustudio.de/news/page/3/](http://www.wohnbaustudio.de/news/page/3/). Letzter Zugriff am 27.04.2022.

- [22] *Wissenschaftliche Begleitforschung EnEff.Gebäude.2050: Projekteforum EnEff.Gebäude.2050, Projektvorstellung „AktivPLUS Mehrfamilienhaus in Stuttgart-Möhringen“.* Juni 2020. Verfügbar unter [www.energiewendebauen.de/lw\\_resource/datapool/systemfiles/agent/ewbpublications/C711096AA8F86E17E0537E695E86CBA3/live/document/EnEff\\_Geb%C3%A4ude\\_2050\\_3\\_Projekteforum\\_Reader\\_r.pdf](http://www.energiewendebauen.de/lw_resource/datapool/systemfiles/agent/ewbpublications/C711096AA8F86E17E0537E695E86CBA3/live/document/EnEff_Geb%C3%A4ude_2050_3_Projekteforum_Reader_r.pdf). Letzter Zugriff am 26.09.2022.
- [23] *Technische Universität Bergakademie Freiberg: EVERSOL, Monitoring teilautarker Mehrfamilienhäuser.* Verfügbar unter [https://eversol.iwtt.tu-freiberg.de/index\\_de.html](https://eversol.iwtt.tu-freiberg.de/index_de.html). Letzter Zugriff am 16.05.2022.
- [24] *EGS-plan, Ingenieurgesellschaft für Energie-, Gebäude- und Solartechnik mbH: Projektbeschreibung AktivPLUS MFH "energylofts SSB-Areal".* Verfügbar unter <https://egs-plan.de/projekt/aktivplus-mfh-quot-energylofts-ssb-areal-quot-m%C3%B6hringen>. Letzter Zugriff am 16.05.2022.
- [25] *Hochschule für Technik Stuttgart, Institut für Angewandte Forschung (IAF): Jahresbericht 2022, Projekt 3.1.48 SDE21-coLLab.* Verfügbar unter [www.hft-stuttgart.de/fileadmin/Dateien/Forschung/Dateien-Informationsmaterial/IAF-Jahresbericht-2022.pdf](http://www.hft-stuttgart.de/fileadmin/Dateien/Forschung/Dateien-Informationsmaterial/IAF-Jahresbericht-2022.pdf). Letzter Zugriff am 08.05.2023.
- [26] *Hochschule Düsseldorf: Hochschule Düsseldorf beim Solar Decathlon Europe 21: Team MIMO entwickelt innovatives Gebäudekonzept.* Düsseldorf, 03.12.2020. Verfügbar unter <https://mimo-hsd.de/wp-content/uploads/2020/12/mimo-press-release-20-12-03-de.pdf>. Letzter Zugriff am 27.09.2022.
- [27] *Hochschule für Technik Stuttgart: Projektübersicht, aktuelle Projekte, SDE21-coLLab und SDE21-Wuppertal.* Verfügbar unter [www.hft-stuttgart.de/forschung/projekte/aktuell/sde21-collab](http://www.hft-stuttgart.de/forschung/projekte/aktuell/sde21-collab); [www.hft-stuttgart.de/forschung/projekte/aktuell/sde21-wuppertal](http://www.hft-stuttgart.de/forschung/projekte/aktuell/sde21-wuppertal). Letzter Zugriff am 27.09.2022.
- [28] *Hochschule für Technik Stuttgart: coLLab.* Verfügbar unter [www.collab.hft-stuttgart.de/](http://www.collab.hft-stuttgart.de/). Letzter Zugriff am 27.09.2022.