



Weiterentwicklung eines Verfahrens zur Ermittlung der Intelligenzfähigkeit eines Gebäudes und dessen Optimierung

Zur Erlangung des akademischen Grades eines
DOKTORS DER INGENIEURWISSENSCHAFTEN
(Dr.-Ing.)

von der KIT-Fakultät für
Bauingenieur-, Geo- und Umweltwissenschaften des
Karlsruher Instituts für Technologie (KIT)

genehmigte

Dissertation

von
Tristan Emich, M.Sc.

Tag der	
mündlichen Prüfung:	06. Februar 2025
Hauptreferent:	Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wi.-Ing. Kunibert Lennerts
1. Korreferentin:	Ass. Prof. Dr.-Ing. Shiva Faeghinezhad
2. Korreferent:	Prof. Dr. rer. pol. Frank Schultmann

Karlsruhe (2025)

Kurzfassung

Ziel dieser Dissertation ist es, ein Verfahren zu entwickeln, das die Intelligenzfähigkeit eines Gebäudes bestimmt und damit den Gebäudebetrieb unterstützt. Dazu wurde zu Beginn eine umfangreiche Literaturrecherche durchgeführt und ein Verfahren zur Entwicklung eines Zertifizierungsmodells erarbeitet. Mit Hilfe dieses Verfahrens wird ein deskriptives, ein präskriptives und ein Benchmark-Modell entwickelt. Das deskriptive Modell verwendet als Grundlage den von der Europäischen Union entwickelten Smart Rediness Indicator. Die Berechnungsmethodik wurde robuster gestaltet und um zwei weitere Domains erweitert. Zudem gewährleistet das entwickelte Verfahren, dass sich das deskriptive Modell stets an schnell wandelnde Technologien anpassen kann.

Das Ziel des präskriptiven Modells ist es, einen Mehrwert durch die Aufdeckung möglicher Verbesserungspotenziale zu schaffen. Zur Identifikation von Verbesserungsoptionen aus dem sehr großen Lösungsraum wurde ein Genetischer Algorithmus verwendet. Die Nutzer dieses präskriptiven Modells können unterschiedliche Optimierungsziele definieren, sodass diese Optimierungen individuellen Ansprüchen entsprechen. Darüber hinaus kann auch die wirtschaftliche Komponente berücksichtigt werden, indem die Kosten für die Leveländerungen Teil der Fitnessfunktion des Genetischen Algorithmus sind.

Das Benchmark-Modell ermöglicht einen systematischen Vergleich der eingegebenen Gebäude sowie die Möglichkeit, das deskriptive und präskriptive Modell interaktiv zu verwenden. Dabei wurde stets hoher Wert auf Nutzerfreundlichkeit gelegt.

Abstract

The aim of this dissertation is to develop a method that determines the intelligence capability of a building and thus supports building operation. At the beginning an extensive literature research was done and a method for the development of a certification model was developed. With the help of this method, a descriptive, a prescriptive and a benchmark model were developed. The descriptive model uses the Smart Rediness Indicator developed by the European Union as a basis. The calculation methodology was made more robust and expanded to include two additional domains. In addition, the method developed ensures that the descriptive model can always adapt to rapidly changing technologies.

The aim of the prescriptive model is to create added value by identifying potential improvements. A genetic algorithm was used to identify improvement options from the very large solution space. The users of this prescriptive model can define different optimisation goals so that these optimisations meet individual requirements. In addition, the economic component can also be taken into account by including the costs for the level changes in the fitness function of the genetic algorithm.

The benchmark model enables a systematic comparison of the buildings entered as well as the possibility to interactively compare the descriptive and prescriptive model.

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	i
Abstract	iii
Abbildungsverzeichnis	xv
Tabellenverzeichnis	xxi
Abkürzungsverzeichnis	xxiii
1 Einführung	1
1.1 Ausgangssituation und Problemstellung	2
1.2 Ziele der Arbeit	4
1.3 Methodik	7
1.4 Aufbau der Arbeit	9
2 Allgemeine Grundlagen und Definitionen	13
2.1 Digitale Gebäude	13
2.1.1 Intelligente Gebäude	13
2.1.2 Smarte Gebäude	16
2.1.3 Abgrenzung intelligent vs. smart	18
2.1.4 Gebäudeautomation	19
2.2 Gebäudebetrieb	22
2.2.1 Facility Management	23
2.2.2 Stakeholder der Immobilienwirtschaft	25

2.2.3	Gebäudebestand in Deutschland	27
2.2.4	Kritische Erfolgsfaktoren	29
2.3	Reifegradmodelle	31
2.3.1	Reife eines Reifegradmodells	34
2.3.2	Methoden zur Entwicklung eines Reifegradmodells	35
2.4	Optimierungsmethoden	41
2.4.1	Genetischer Algorithmus	41
2.4.2	Rucksackproblem	44
3	Zertifizierungssysteme	47
3.1	Zertifizierungssysteme der Nachhaltigkeit	50
3.1.1	BREEAM	50
3.1.2	DGNB	53
3.1.3	LEED	55
3.2	Zertifizierungssysteme: digitale Gebäude	56
3.2.1	Building Intelligence Quotient	56
3.2.2	Smart System aus China	62
3.2.3	Smart Building Collective & Certification	67
3.2.4	Smart Building Rating	72
3.2.5	Smart Readiness Indicator	75
3.2.6	SmartScore	84
3.2.7	SPIRE Smart Buildings	86
3.3	Andere Zertifizierungssysteme	90
3.3.1	Wowi	90
3.3.2	Digital Ready Check	91
3.3.3	Intelligent Buildings Index	91
3.3.4	Smartness Index	92
3.4	Zusammenfassung der Systeme	95

4	Entwicklung eines Verfahrens zur Entwicklung eines Zertifizierungsmodells	101
5	Deskriptives Modell	111
5.1	Auswahl eines Zertifizierungsmodells	111
5.2	Ausgangssituation	114
5.2.1	Studien	115
5.2.2	EU geförderte Projekte	119
5.2.3	Testphasen	123
5.2.4	Anforderungen der Politik und dem Markt	124
5.3	Umfang definieren	124
5.3.1	Zusammensetzung der Experten	127
5.4	Erweiterung des SRI	130
5.4.1	Modell bewerten - Iteration 1	132
5.4.2	Weiterentwicklung - 1	136
5.4.3	Modell bewerten - 2	140
5.4.4	Weiterentwicklung - 2	146
5.4.5	Modell bewerten - 3	149
5.4.6	Weiterentwicklung - 3	153
5.4.7	Modell bewerten - 4	158
5.4.8	Weiterentwicklung - 4	162
5.4.9	Praxisphase	167
5.4.10	Modell bewerten - 5	169
5.5	Verbesserung der SRI-Berechnung	176
5.5.1	SRI-Berechnung bewerten - 1	177
5.5.2	SRI-Berechnung Weiterentwicklung - 1	187
5.5.3	Anwendung der Berechnungsmethode	189
5.5.4	SRI-Berechnung bewerten - 2	193
5.6	Etablierung	196

6	Präskriptives Modell	199
6.1	Ausgangssituation	199
6.2	Umfang definieren	200
6.3	Entwicklung - Iteration 1	202
6.3.1	Problemstellung	202
6.3.2	Lösungsansatz	203
6.4	Praxisphase - Iteration 1	207
6.5	Bewertung des Modells - Iteration 1	209
6.6	Weiterentwicklung - Iteration 2	212
6.6.1	Kostenfunktion	213
6.6.2	Fitnessfunktion	216
6.6.3	Portfolioebene	217
6.7	Praxisphase - Iteration 2	224
6.8	Bewertung des Modells - Iteration 2	226
6.9	Etablierung	230
7	Benchmark-Modell	233
7.1	Umfang definieren - Iteration 1	233
7.2	Bewertung des Modells - Iteration 1	234
7.3	Entwicklung - Iteration 1	235
7.3.1	Dateneingabe	236
7.3.2	Dashboard	238
7.3.3	Rollenvergabe	239
7.3.4	Optimierung	240
7.4	Etablierung	241
8	Einordnung der entwickelten Modelle	243
8.1	Bewertung des Verfahrens zur Entwicklung eines Zertifizierungsmodells	243

8.2	Bewertung des deskriptiven Modells	244
8.3	Bewertung des präskriptiven Modells	245
8.4	Bewertung des Benchmark-Modells	246
8.5	Bewertung Insgesamt	246
9	Schlussbetrachtung	249
9.1	Kritische Würdigung	249
9.2	Ausblick	250
A	Anhang	253
A.1	Stakeholder	254
A.1.1	Definition	254
A.1.2	Stakeholderanalyse	257
A.2	Kritische Erfolgsfaktoren	261
A.2.1	Environment	261
A.2.2	Finanzen	265
A.2.3	Unternehmenspolitik	268
A.2.4	Qualität	277
A.2.5	Sicherheit	279
A.3	Zertifizierungssysteme	281
A.3.1	DGNB	281
A.3.2	BiQ	283
A.3.3	Smart Readiness Indicator	285
A.3.4	SmartScore	286
A.4	SRI Berechnungsmethode	287
A.5	Rucksackproblem	293
A.6	Erweiterung der SRI-Methodik	298
A.6.1	Services	298
A.6.2	Impact-Scores	323

Literaturverzeichnis

353

Abbildungsverzeichnis

1.1	Aufbau der Doktorarbeit	10
2.1	Vorherrschende Treiber eines intelligenten Gebäudes	16
2.2	Komponenten eines intelligenten Gebäudes in der Literatur	16
2.3	Vorherrschende Treiber eines smarten Gebäudes	17
2.4	Komponenten eines smarten Gebäudes in der Literatur	17
2.5	Automatisierungspyramide	20
2.6	Automatisierungspyramide nach VDI	21
2.7	Automatisierung nach DIN	22
2.8	Übersicht Facility Management	23
2.9	FM Modell nach DIN	24
2.10	Lebenszyklusphasen nach GEFMA	25
2.11	Mehrstufiger Ansatz und Funktionen im REIM	26
2.12	Immobilienarten – Klassifizierung der Immobilien nach der Nutzungsart	27
2.13	Wohngebäude im Jahr 2020 in Deutschland	28
2.14	Endenergieverbrauch im Gebäudesektor nach Immobilienarten	28
2.15	Anzahl der beheizten Nichtwohngebäude	29
2.16	Entwicklungsschritte jeder Phase: de Bruin	36
2.17	Entwicklungsschritte jeder Phase: Maier	38
2.18	Entwicklungsschritte jeder Phase: Mettler	40
3.1	Übersicht der Begrifflichkeiten im Zertifizierungskontext	48
3.2	Neun Kategorien von BREEAM	51
3.3	Übersicht aller Verteilungen der DGNB Systeme	54
3.4	Übersicht des Smart Readiness Indiator	76
3.5	Zertifizierungslabel für SmartScore von WiredScore	85

3.6	Übersicht WoWi	91
3.7	Übersicht Drees & Sommer	91
3.8	Ausschnitt aus IB Index Katalog	92
4.1	Entwicklungsschritte nach de Bruin, Maier und Mettler . .	103
4.2	Verfahren zur Entwicklung eines Zertifizierungsmodells . . .	104
4.3	Übersicht unterschiedlicher Algorithmen zur Optimierung .	108
5.1	Aufbau des 5. Kapitels	112
5.2	Karte der geförderten SRI-EU-Projekte	120
5.3	Logo Smart Square	120
5.4	Logo easySRI	121
5.5	Logo SRI-ENACT	121
5.6	Logo iEPB	122
5.7	Logo SRI2MARKET	122
5.8	SRI Testphasen	123
5.9	Ablauf des Forschungsprojekts: Workshops und Arbeitsgruppen	128
5.10	Übersicht der Iterationsschritte zur Erweiterung des SRI . .	131
5.11	Ablauf des Forschungsprojekts: 1. Workshop	132
5.12	1. Workshop - DIN A0 Plakat der zu bewertenden Domain: Heizung	133
5.13	Grundlage für die 1. Bewertung: H-1a	133
5.14	Teilergebnisse der 1. Bewertung: H-1a	134
5.15	Ablauf des Forschungsprojekts: Arbeitsphase zwischen 1. Workshop und 2. Workshop	137
5.16	Übersicht der 1. Weiterentwicklung	138
5.17	Entwurfsmodell mit fünf neuen Domains und sechs neuen Impacts	140
5.18	Ablauf des Forschungsprojekts: 2. Workshop	141
5.19	2. Workshop - DIN A0 Plakat der zu bewertenden Domain: Facilty Service und Entsorgung	143
5.20	1. Teilergebnisse der 2. Bewertung: Abfall	144
5.21	2. Teilergebnisse der 2. Bewertung: Abfall	144
5.22	Ablauf des Forschungsprojekts: Arbeitsphase zwischen 2. Workshop und 3. Workshop	146
5.23	Übersicht der 2. Weiterentwicklung	147
5.24	Entwurfsmodell mit zwei neuen Domains	148

5.25	Ablauf des Forschungsprojekts: 3. Workshop	150
5.26	3. Workshop - DIN A0 Plakat der zu bewertenden Domain: Facility Management	150
5.27	1. Teilergebnisse der 3. Bewertung: FM-3	151
5.28	2. Teilergebnisse der 3. Bewertung: FM-3	151
5.29	Ablauf des Forschungsprojekts: Arbeitsphase zwischen 3. Workshop und 4. Workshop	153
5.30	Übersicht der 3. Weiterentwicklung	153
5.31	Entwurfsmodell mit zwei neuen Domains	157
5.32	Ablauf des Forschungsprojekts: 4. Workshop	158
5.33	4. Workshop - DIN A0 Plakat der zu bewertenden Domain: Facility Management	158
5.34	Teilergebnisse der 4. Bewertung: FM-3	159
5.35	Grundlage für die 4. Bewertung: FM-3	159
5.36	Ablauf des Forschungsprojekts: Arbeitsphase zwischen 4. Workshop und 5. Workshop	162
5.37	Entwurfsmodell mit zwei neuen Domains	164
5.38	Vorschlag der Farbskala für SRI-Klassen	166
5.39	Ablauf des Forschungsprojekts: Praxisphase	167
5.40	Ablauf des Forschungsprojekts: 5. Workshop	169
5.41	5. Workshop - DIN A0 Plakat der zu bewertenden Domain: Facility Management	169
5.42	Teilergebnisse der 5. Bewertung: FM-3	170
5.43	Grundlage für die 5. Bewertung: FM-3	170
5.44	Trend der Akzeptanz der neuen Service	173
5.45	Ablauf der Verbesserung der Berechnungsmethode: Übersicht	176
5.46	Ablauf der Verbesserung der Berechnungsmethode: 1. Be- wertung	177
5.47	Berechnete Ergebnisse des erwarteten SRI-Scores	179
5.48	Einfluss der Summe von $I_{max}(d,ic)$ auf den SRI-Score gemäß der EU-Methodik	186
5.49	Einfluss der Summe von $I_{max}(d,ic)$ (durch Hinzufügen von bis zu zehn neuen Services mit jeweils $(FL_{max}(S_{i,d})) = 3$) auf den SRI-Score gemäß EU-SRI-Methodik	187
5.50	Ablauf der Verbesserung der Berechnungsmethode: Weiter- entwicklung	187
5.51	Ablauf der Verbesserung der Berechnungsmethode: Praxisphase	189

5.52	Ablauf der Verbesserung der Berechnungsmethode: 2. Bewertung	193
5.53	Einfluss der Summe von $I_{max}(d,ic)$ auf den SRI-Score gemäß der verbesserten SRI-Methodik	195
5.54	Berechnete Ergebnisse des erwarteten SRI-Scores, des EU-SRI-Scores und des Verbesserten-SRI	195
6.1	Übersicht unterschiedlicher Algorithmen zur Optimierung	201
6.2	Flowchart der 1. Iteration	206
6.3	Veränderung des SRI-Scores in verschiedenen Szenarien	208
6.4	Laufzeit für verschiedene Szenarien	209
6.5	Anzahl der neu hinzugekommenen Kombinationen unter den zehn besten Kombinationen	210
6.6	Wahrscheinlichkeit in Prozent der Niveauverteilung aller Szenarioergebnisse, Merkmale und Ergebnisse	211
6.7	Grundlegende vier Kostenfunktion	213
6.8	Beispielgrößen der Kostenfunktion	215
6.9	Code Flowchart der 2. Iteration	223
6.10	Lineare Kostenfunktion	225
7.1	Übersicht der Dateneingabe	236
7.2	Antworten eines Service aufteilen	237
7.3	Beschreibung des Level 1 des Service H-1a	238
7.4	SRI-Dashboard von drei Gebäuden (blau, gelb, rot) & Durchschnitt	239
7.5	Optimierung eines Gebäudes	240
A.1	Übersicht aller Kriterien der DGNB Systeme - Teil 1	281
A.2	Übersicht aller Kriterien der DGNB Systeme - Teil 1	282
A.3	Berechnungsmethode: Heizung	288
A.4	Berechnungsmethode: Kühlung	288
A.5	Berechnungsmethode: Warmwasseraufbereitung	289
A.6	Berechnungsmethode: Belüftung	289
A.7	Berechnungsmethode: Beleuchtung	290
A.8	Berechnungsmethode: Dynamische Gebäudehülle	290
A.9	Berechnungsmethode: Elektrizität	291
A.10	Berechnungsmethode: Elektrofahrzeuge	291

A.11 Berechnungsmethode: Überwachung und Steuerung	292
--	-----

Tabellenverzeichnis

2.1	Auswahl von relevanten internen Stakeholdern	26
3.1	Bewertungsskala mit Prozentangaben und Sternsymbolen .	51
3.2	Prozentuale Verteilung des Building Intelligence Quotient .	60
3.3	Tabellarische Zusammenfassung: Building Intelligence Quotient	61
3.4	Gewichtungsfaktoren des Smart System aus China	66
3.5	Tabellarische Zusammenfassung: Smart System aus China .	67
3.6	Tabellarische Zusammenfassung: Smart Building Collective & Certification	71
3.7	Bereiche Smart Building Rating (Centre for Net Zero, 2023)	74
3.8	Tabellarische Zusammenfassung: Smart Building Rating . .	75
3.9	Nomenklatur	78
3.10	Gewichtungen $\omega_{d,ic}$ für ein Nichtwohngebäude in Westeuropa	81
3.11	Gewichtung ω_{ic}	81
3.12	Tabellarische Zusammenfassung: Smart Readiness Indicator	83
3.13	Tabellarische Zusammenfassung: SmartScore	86
3.14	Tabellarische Zusammenfassung: SPIRE Smart Buildings .	89
3.15	IB Index Bereiche und Domains	93
3.16	Bereiche und Variable, die die Intelligenz eines Gebäudes beeinflussen	94
3.17	Bewertung von verschiedenen Verfahren	96
5.1	Bewertung von verschiedenen Verfahren	114
5.2	Übersicht der geförderten SRI-EU-Projekte	119
5.3	Übersicht der kritischen Erfolgsfaktoren mit SRI	126
5.4	Übersicht der Forschungspartner	128

5.5	Übersicht der Forschungsteilnehmer und ihre Tätigkeitsbereich und Branchen	129
5.6	Übersicht der durchgeführten Schritte	130
5.7	Ergebnisse der 1. Bewertung	135
5.8	2. Bewertung der Services und Funktionslevels der fünf neuen Domains durch Experten	145
5.9	Veränderung der Domains und Services von der 1. Iteration zur 2. Iteration	149
5.10	3. Bewertung der Services und Funktionslevels der zwei neuen Domains durch Experten	152
5.11	Veränderung der Domains und Services von der 2. Iteration zur 3. Iteration	154
5.12	Neue Gewichtungen $\omega_{d,ic}$ nach der 3. Iteration	156
5.13	4. Bewertung der Services und Funktionslevels der zwei neuen Domains durch Experten	160
5.14	Veränderung der Domains und Services von der 3. Iteration zur 4. Iteration	163
5.15	Neue Gewichtungen $\omega_{d,ic}$ nach der 4. Iteration	164
5.16	Unterschiedliche Einteilung der SRI Ergebnisse	165
5.17	Einteilung der SRI Ergebnisse	166
5.18	SRI Ergebnisse von sechs realen Gebäuden mit zwei neuen Domains	168
5.19	5. Bewertung der Services und Funktionslevels der zwei neuen Domains durch Experten	171
5.20	Pflicht werdende Service	172
5.21	Übersicht der kritischen Erfolgsfaktoren mit SRI	175
5.22	Übersicht der durchgeführten Schritte zur Verbesserung der SRI-Berechnungsmethode	176
5.23	Gewichtung ω_{ic}	177
5.24	Gewichtungen $\omega_{d,ic}$ für ein Nichtwohngebäude in Westeuropa	178
5.25	Neuer fiktiver Service mit Funktionsleveln $FL(S_{i,d})$ und Impact-Scores $I_{ic}(FL(S_{i,d}))$	180
5.26	Übersicht über die Parameter in der hypothetischen Fallstudie: EU Berechnungsmethode	183
5.27	Ergebnisse von $I_{max}(d,ic)$ auf den SRI-Score nach EU-SRI-Methodik	183

5.28	SRI Ergebnisse des Mindest-Automationsgrad B des GEG bzw. DIN V 18599-11	190
5.29	Funktionslevels aller 54 Services der sechs realen Gebäude und dem fiktiven GEG-Gebäude	191
5.30	SRI Ergebnisse von sechs realen Gebäuden	192
5.31	Übersicht über die Parameter in der hypothetischen Fallstu- die - verbesserte Berechnungsmethode	197
5.32	Ergebnisse von $I_{max}(d,ic)$ auf den SRI-Score nach der ver- besserten SRI-Methodik	197
6.1	Levelverteilung des fiktiven Gebäudes	207
6.2	Iterationsszenarien: Merkmale und Ergebnisse	208
6.3	Kosten bei Änderung der Funktionslevels	214
6.4	Ergebnisse für ausgewählte n der Gleichung 6.27	222
6.5	Prozentuale Verteilung der Ergebnisse der Levels für Gebäu- de I & II	225
6.6	Ergebnisse (Levels) von zwölf Optimierungsdurchläufen von zwei Gebäuden	226
6.7	15 einflussreichsten Leveländerungen auf Gesamt-SRI-Score	227
6.8	Angabe der Levels der vier bestmöglichen Kombination für das genannte Beispiel	228
6.9	Einordnung der Optimierungsergebnisse	229
7.1	Gewichtungen ω_{d,ic_3} und ω_{d,ic_6} für alle Gebäudetypen und Klimazonen	235
A.1	Auswahl von relevanten internen Stakeholdern	254
A.2	Auswahl von relevanten externen ökonomischen Stakeholdern	255
A.3	Auswahl von relevanten externen nicht-ökonomischen Stake- holdern	256
A.4	Stakeholderanalyse von relevanten internen Stakeholdern	258
A.5	Stakeholderanalyse von relevanten externen ökonomischen Stakeholdern	259
A.6	Stakeholderanalyse von relevanten nicht-ökonomischen Sta- keholdern	260
A.7	Kritische Erfolgsfaktoren: Umwelt	261
A.8	Kritische Erfolgsfaktoren: Ressourcenverbrauch	262

A.9 Kritische Erfolgsfaktoren: physisch	263
A.10 Kritische Erfolgsfaktoren: nicht-physisch	264
A.11 Kritische Erfolgsfaktoren: Innovation	265
A.12 Kritische Erfolgsfaktoren: Kostenmanagement	266
A.13 Kritische Erfolgsfaktoren: Werterhaltung	267
A.14 Kritische Erfolgsfaktoren: Energieeffizienz und Kostenein- spaarung	268
A.15 Kritische Erfolgsfaktoren: Beziehung und Zufriedenheit . . .	269
A.16 Kritische Erfolgsfaktoren: Qualitätsmanagement	271
A.17 Kritische Erfolgsfaktoren: Personalmanagement und Arbeits- bedingungen	272
A.18 Kritische Erfolgsfaktoren: Qualitätsmanagement	274
A.19 Kritische Erfolgsfaktoren: Strategische Planung und Führung	275
A.20 Kritische Erfolgsfaktoren: Richtlinien und Standards	276
A.21 Kritische Erfolgsfaktoren: Effiziente Arbeitsabläufe und Res- ourcen	277
A.22 Kritische Erfolgsfaktoren: Zuverlässigkeit	278
A.23 Kritische Erfolgsfaktoren: Servicequalität	279
A.24 Kritische Erfolgsfaktoren: Sicherheit	280
A.25 Gewichtungen $\omega_{d,ic}$	285
A.26 Funktionslevel $FL(S_{i,d})$ und Impact-Scores $I_{ic}(FL(S_{i,d}))$ des Services „Wärmeemissionsregelung“	285
A.27 Umfang des SmartScore-Zertifikat	286
A.28 id Zuordnung der Services	293
A.29 SRI-Score für jedes Level	294
A.30 SRI-Score für jedes Level (Fortsetzung)	294
A.31 SRI-Score für jedes Level (Fortsetzung)	295
A.32 SRI-Score für jedes Level (Fortsetzung)	295
A.33 SRI-Score für jedes Level (Fortsetzung)	296
A.34 SRI-Score für jedes Level (Fortsetzung)	296
A.35 SRI-Score für jedes Level (Fortsetzung)	297
A.36 SRI-Score für jedes Level (Fortsetzung)	297
A.37 Fünf erarbeitete Domains mit Services und Bewertung nach 2. Workshop	299
A.38 Zwei erarbeitete Domains mit Services und Bewertung nach 3. Workshop	306

A.39 Zwei erarbeitete Domains mit Services und Bewertung nach 4. Workshop	312
A.40 Zwei erarbeitete Domains mit Services und Bewertung nach 5. Workshop	318
A.41 Kurzbezeichnungen der Impacts	323
A.42 Impact-Scores der beiden neuen Domains nach Durchlauf III	326
A.43 Impact-Scores der beiden neuen Domains nach 3. Weiterent- wicklung	329
A.44 Impact-Scores der beiden neuen Domains nach 4. Weiterent- wicklung	332

Abkürzungsverzeichnis

ASHB	Association for Smarter Homes & Buildings
BIM	Building Information Modeling
BiQ	Building Intelligence Quotient
BREEAM	Building Research Establishment Environmental Assessment Methodology
CABA	Continental Automated Buildings Association
csf	critical success factor
CREA	China Real Estate Association
DGNB	Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen
EPBD	Energy Performance of Buildings Directive
EZFH	Ein- oder Zweifamilienhaus
GM	Gebäudemanagement
GA	Gebäudeautomation
GAS	Gebäudeautomationssystem
GEFMA	German Facility Management Association
HLK	Heizung, Lüftung, Klimatechnik
HVAC	Heating, Ventilation and Air Conditioning
IBC	Intelligent Buildings Council
IGM	Infrastrukturelles Gebäudemanagement
IBI	Intelligent Buildings Index
KIT	Karlsruher Institut für Technologie

KGM	Kaufmännisches Gebäudemanagement
LEED	Leadership in Energy and Environmental Design
MFH	Mehrfamilienhaus
NZEB	Nearly Zero Energy Building
NWG	Nichwohngebäude
NSGA	nicht-dominanter genetischer Sortierungsalgorithmus
SPS	Speicherprogrammierbare Steuerung
SBC	Smart Building Collective & Certification
SRI	Smart Readiness Indicator
SI	Smartness-Index
TIA	Telecommunications Industry Association
TGM	Technisches Gebäudemanagement
uvm	und viele mehr

Einführung

Die Digitalisierung ist eines der zentralen gesellschaftlichen Themen der Gegenwart und spielt in nahezu allen Lebens- und Arbeitsbereichen eine wichtige Rolle. Insbesondere in der Immobilienwirtschaft gewinnt die Digitalisierung zunehmend an Bedeutung. Die fortschreitende technologische Entwicklung eröffnet neue Perspektiven für den Einsatz innovativer Technologien. Durch den Einsatz dieser neuen und innovativen Technologien in einem Gebäude kann ein Mehrwert geschaffen werden.

Eine wichtige Motivation für den Einsatz dieser Technologien ist die Steigerung der Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden, um die Klimaziele der Europäischen Union und der Bundesrepublik Deutschland zu erreichen. Die deutsche Bundesregierung strebt an, bis zum Jahr 2045 klimaneutral zu sein und bis 2030 eine bedeutende Reduktion der Treibhausgasemissionen (THG-Emissionen) zu erreichen. Diese ambitionierte Zielsetzung stellt die Immobilienwirtschaft vor erhebliche Herausforderungen, da etwa 40% des gesamten Endenergieverbrauchs auf den Gebäudesektor gemäß dem Verursacherprinzip entfallen. Daher trägt der Gebäudesektor eine erhebliche Verantwortung bei der Erreichung dieser Klimaziele.

Um die Klimaneutralität zu erreichen, sind schnell umsetzbare Maßnahmen von entscheidender Bedeutung. Die digitale Transformation von Gebäuden stellt hierbei einen bedeutenden Hebel dar. Innovationen, die aus der Digitalisierung gesamter Prozessketten resultieren, verändern die Bewirtschaftung von Gebäuden. Sowohl die Fachpresse als auch die Bauwirtschaft und die Facility Management-Branche stellen übereinstimmend fest, dass die Bau-

und Immobilienwirtschaft möglicherweise den Einstieg in die Digitalisierung verpasst hat. Es zeichnet sich jedoch eine wachsende Bereitschaft ab, sich intensiver mit diesem Thema auseinanderzusetzen. (Bühren, 2020)

Innovative Maßnahmen der Branche befinden sich derzeit größtenteils in einem frühen Stadium der Digitalisierung. Eine vollständige digitale Transformation scheint noch in weiter Ferne zu liegen. Diese Entwicklung ist unter anderem auf die langen Investitionszyklen in der Immobilienwirtschaft und die bestehenden rechtlichen Rahmenbedingungen zurückzuführen. Eine von der Europäischen Union geforderte Maßnahme ist die Einführung eines Smart Readiness Indicator (SRI), welcher in dieser Forschungsarbeit analysiert und erweitert wird. Mithilfe des SRI wird die aktuelle Intelligenzfähigkeit eines Gebäudes bestimmt und kann mit anderen Gebäuden verglichen und eingeordnet werden. Algorithmen können konkrete Empfehlungen für die Digitalisierung geben. Diese Arbeit hilft bei der Erstellung einer Digitalisierungsstrategie, damit ein Gebäude nutzerorientiert betrieben werden kann und somit die Klimaziele der Europäischen Union und der Bundesrepublik Deutschland maßgeblich unterstützen.

1.1 Ausgangssituation und Problemstellung

Die fortschreitende Digitalisierung ganzer Prozesse führt zu Innovationen, die das Gebäudemanagement der Zukunft maßgeblich verändern werden. Trotz vorhandener innovativer Ansätze beschränkt sich die Branche bisher überwiegend auf rein IT-gestützte Prozesse, während eine umfassende digitale Transformation noch aussteht. Ein zentrales Thema in der wissenschaftlichen Diskussion ist daher die Bewertung des aktuellen Digitalisierungsgrades.

Gemäß einer Studie aus dem Jahr 2024 (PWC, 2024) bewerten 55% der befragten Unternehmen ihren Digitalisierungsgrad als nicht groß und „ausbaufähig“. Insbesondere bei operativen Prozessen (55%) und digitalen Lösungen (64%) besteht der größte Nachholbedarf im Bereich der Digitalisierung. Auch frühere Studien von Ernst und Young, ein Beratungsunternehmen, (ZIA/EY Real Estate, 2023) und der Stufenplan Digitales Bauen

und Planen in Deutschland (Dipl.-Ing. Helmut Bramann, 2015) bestätigen diese Erkenntnisse.

Dieses Defizit wurde nicht nur von den einzelnen Ländern, sondern auch von der Europäischen Union erkannt und mit der Änderung der Energy Performance of Buildings Directive (EPBD) Richtlinie 2010/31/EU hat das Europäische Parlament gemeinsam mit dem Rat der Europäischen Union die Entwicklung eines Smart Readiness Indicators gefordert. Ein erster Vorschlag des SRI wurde im Oktober 2021 veröffentlicht. Das Ziel dieses Intelligenzfähigkeitsindikators ist es, das Bewusstsein für intelligente Gebäude zu schärfen und durch den verstärkten Einsatz intelligenter und innovativer Technologien die Gesamtenergieeffizienz und -leistung von Gebäuden nachhaltig zu verbessern. Dazu erhält ein Gebäude eine Bewertung in Form einer Prozentzahl, wobei ein höherer Prozentsatz bedeutet, dass mehr intelligente und innovative Technologien in diesem Gebäude eingesetzt werden. Je nach Standort, Gebäudetyp und zugrunde liegendem SRI-Score kann das geschätzte Einsparpotenzial an thermischer bzw. elektrischer Energie durch eine Erhöhung des SRI auf bis zu 60 Prozent bzw. 16 Prozent beziffert werden (Grözinger et al., 2017, Verbeke et al., 2018). Daraus ergibt sich ein enormes Energieeinsparpotenzial durch den Einbau solcher Technologien, wobei Einsparungen durch Prozessoptimierung und -effizienz noch nicht berücksichtigt sind.

In der aktuellsten Fassung der EPBD (Parlament and der Europäischen Union, 2024) von 2024 wird in Artikel 15 gefordert, dass die Mitgliedstaaten bis Ende Juni 2026 den SRI in nationalen Testphasen untersuchen und die Ergebnisse der europäischen Kommission vorlegen sollen. Bei positiver Bewertung soll der SRI als verpflichtend für große Nichtwohngebäude von mehr als 290 kW vorgeschrieben werden.

Neben dem SRI gibt es weitere Bewertungsmethoden, die den Digitalisierungsgrad von Gebäuden bestimmen können. Jede dieser Bewertungsmethoden hat andere Vor- und Nachteile. Ein Problem besteht darin, dass diese zwar existieren, dennoch den politischen Anspruch der EPBD nicht erfüllen. Es wird untersucht, wie die bestehenden Bewertungsmethoden den politisch geforderten SRI unterstützen können.

Damit die Stakeholder einen Mehrwert durch einen solchen Digitalisierungs-indicator erhalten, muss dieser den Stakeholdern eindeutiger aufgezeigt werden. Im Rahmen dieser Arbeit wird untersucht, wie der SRI als Mehrwert wahrgenommen werden kann und nicht als unnötige bürokratische Belastung. Eine weitere Herausforderung besteht in der hohen Geschwindigkeit, mit der neue und innovative Technologien auf den Markt kommen. Es muss ein Verfahren entwickelt werden, das eine hohe Reaktionsfähigkeit aufweist, um den SRI nachhaltig zu etablieren und ein hoher SRI-Score auch den aktuellen Stand der Technik widerspiegelt.

1.2 Ziele der Arbeit

Da die Europäische Union sich zum Ziel gesetzt hat, bis 2050 einen klimaneutralen Gebäudebestand zu erreichen und die Bundesrepublik Deutschland sich sogar verpflichtet hat, dieses Ziel bis 2045 umzusetzen, müssen Lösungen gefunden werden, um dieses Ziel zu realisieren. Lösungen werden unter anderem durch die energetische Sanierung von Gebäuden und die Verbesserung und den Tausch von alten Anlagentechnik vorgeschlagen. Der Einsatz erneuerbarer Energien, die Optimierung der Betriebsprozesse bestehender Gebäude und ihrer technischen Anlagen durch intelligente und digitale Ansätze sind weitere zentrale Einsparpotenziale. Gebäude müssen für die digitale Transformation vorbereitet werden, damit das Effizienz- und Wertschöpfungspotenzial des Lifecycle-Managements von Gebäuden durch digitale Technologien gesteigert werden kann.

Im Rahmen dieser Arbeit werden bestehende Methoden zur Bewertung des Digitalisierungsgrads untersucht, um festzustellen, inwieweit diese auf den Gebäudebetrieb adaptierbar sind. Insgesamt soll das zu entwickelnde Zertifizierungsmodell einen wirtschaftlichen Mehrwert bieten und die politischen Anforderungen der EPBD bedienen, um eine hohe Akzeptanz bei allen Stakeholdern eines Gebäudes zu erreichen.

Um einen wirtschaftlichen Mehrwert zu erzielen, müssen die Effizienz- und Wertschöpfungspotenziale des Energieverbrauchs und der Prozesse eines Gebäudes durch neue Technologien gehoben werden. Dazu muss zu Beginn

der aktuelle Digitalisierungsstand (IST-Zustand) eines Gebäudes identifiziert werden. Um einen vollständigen IST-Zustand eines Gebäudes zu erhalten, müssen die Bereiche identifiziert werden, die ein digitales Gebäude im Hinblick auf einen nutzerorientierten Gebäudebetrieb ausmachen. Dazu besteht die Möglichkeit der Identifizierung von kritischen Erfolgsfaktoren des Facility Managements, die die wichtigsten Komponenten zur Erreichung eines Erfolgs beschreiben. In dieser Arbeit wird untersucht, wie diese kritischen Erfolgsfaktoren durch die Digitalisierung des Gebäudes unterstützt werden können und welche Auswirkungen diese Technologie auf Effizienz- und Wertschöpfungspotenziale haben. Neben der Betrachtung der Energieeffizienz werden die Bedürfnisse des Nutzers, als auch die Energieflexibilität berücksichtigt und auf weitere externe Einflüsse hin untersucht, die zu definieren sind.

Das Ziel dieser Arbeit besteht in der Weiterentwicklung eines Zertifizierungsmodells, um Rückschlüsse auf die im Gebäude zu verbauenden Technologien ziehen zu können. Dabei werden nicht nur die direkt mit dem Gebäude verbundenen Bereiche berücksichtigt, sondern auch die Bereiche, die nicht physischer Natur sind. Beispielsweise können Cybersecurity, Kommunikation und Konnektivität einen großen Einfluss auf das Effizienz- und Wertschöpfungspotenzial haben und eine entscheidende Voraussetzung für eine erfolgreiche Digitalisierung sein. Neben dem aktuellen IST-Zustand ist eine Digitalisierungsstrategie von entscheidender Bedeutung sowie die Einordnung des zertifizierten Gebäudes im Vergleich zu anderen Gebäuden, um Rückschlüsse auf ganze Gebäude- und Stadtquartiere ziehen zu können. Das Ergebnis dieser Arbeit ist ein ganzheitliches Zertifizierungsmodell zur Bewertung der Intelligenzfähigkeit von Gebäuden im Gebäudebetrieb. Das Modell ist primär auf Nichtwohngebäude anwendbar. Das entwickelte Zertifizierungsmodell soll allen Stakeholdern der Immobilienbranche Vorteile bieten, um eine hohe Akzeptanz zu erreichen und somit eine hohe Marktdurchdringung zu gewährleisten.

Auf politischer Ebene wird in dieser Arbeit der in der EPBD geforderte Smart Readiness Indicator untersucht. Jedes Land der Europäischen Union kann bis 2026 einen Bericht zur Bewertung des SRI bei der Europäischen Kommission einreichen, der eine Empfehlung zur weiteren Verwendung des SRI enthält. Die hier gewonnenen Erkenntnisse bilden die Grundlage und

einen ersten Beitrag zur Berichterstellung für die Bundesrepublik Deutschland. Das Klimaschutzziel der Bundesregierung kann nur erreicht werden, wenn neben dem Einsatz erneuerbarer Energien auch die Betriebsabläufe bestehender Gebäude und deren Anlagentechnik optimiert werden. Die Erforschung der Nutzungsphase, der längsten, kostenintensivsten und energiereichsten Phase einer Immobilie, leistet daher einen zentralen Beitrag. Durch die Digitalisierung lassen sich leicht umsetzbare Maßnahmen mit hoher Wirkung, auch schnell wirksame Maßnahmen genannt, aufzeigen. Die hier gewonnenen Erkenntnisse können für die einzelnen Gesetzgeber in den verschiedenen Ländern von großem Interesse sein und Impulse für die zukünftige Gesetzgebung geben.

Im Rahmen dieser Arbeit werden verschiedene Methoden mit führenden Stakeholdern des Wirtschaftsstandortes Deutschland eingehend untersucht und analysiert. Es wird geprüft, wie die Methoden auf den Gebäudebetrieb adaptiert werden können. Dabei werden Effizienz- und Wertschöpfungspotenziale auf Facility Management Prozesse ausgeweitet. Es wird untersucht, welchen Einfluss innovative Technologien auf die Prozess- und Energieeffizienz haben und ob sich daraus Sanierungs- und Digitalisierungsstrategien für Gebäude ableiten lassen. Mit diesem Promotionsvorhaben bietet sich die Möglichkeit, praxisnahe Forschung an der Grenze des technisch Machbaren über das normale Maß hinaus mitzugestalten und damit den Wirtschaftsstandort Deutschland und Europa nachhaltig zu stärken.

Zusammenfassen lassen sich die Ziele in:

- Untersuchung bestehender Methoden und Verfahren zur Bewertung des Digitalisierungsgrads von Gebäuden
- Identifizierung von kritischen Erfolgsfaktoren des Facility Managements
- Weiterentwicklung eines Zertifizierungsmodells (Smart Readiness Indicator)
- Erstellung einer Digitalisierungsstrategie unter Berücksichtigung eines Budgets

- Benchmark: Einordnung des zertifizierten Gebäudes im Vergleich zu anderen Gebäuden
- Genwonne Erkenntnisse bilden die 1. Grundlage für die Berichterstellung der Bundesrepublik Deutschland an die Europäische Kommission der offiziellen deutschen Testphase des SRI

1.3 Methodik

Die Methodik dieser Arbeit folgte einem strukturierten Ansatz. Zunächst wurden allgemeine Definitionen im Zusammenhang mit nutzerorientiertem Gebäudebetrieb, Digitalisierung in der Immobilienwirtschaft und weitere für die Arbeit relevante Begriffe definiert und durch eine ausführliche Literaturrecherche erarbeitet.

Insgesamt werden sechs Forschungsfragen beantwortet. In einem ersten Schritt wird eine Methodik zur systematischen Erarbeitung eines Zertifizierungsmodells entwickelt.

1. Welche Methoden eignen sich zur Entwicklung eines Zertifizierungsmodells?

Für die Beantwortung der 1. Forschungsfrage wurde eine Literaturrecherche durchgeführt. Es wurden insbesondere Quellen aus dem Softwarebereich berücksichtigt, da hier der Ursprung dieser Methoden liegt und auf das hier vorliegende Problem adaptiert.

Die 2. Forschungsfragen identifiziert die relevanten Bereiche für einen nutzerorientierten Gebäudebetrieb.

2. Welche Bereiche müssen für einen nutzerorientierten Gebäudebetrieb betrachtet werden?

Zur Beantwortung der 2. Forschungsfrage wurden kritische Erfolgsfaktoren identifiziert und bereits bestehende Zertifizierungssysteme beschrieben. Die Erkenntnisse aus dieser Recherche bilden die Grundlage für das zu entwickelnde Zertifizierungsmodell. Aus dieser Recherche ergab sich eine weitere Forschungsfrage:

3. Wie kann ein Zertifizierungsmodell einen Mehrwert für die einzelnen Stakeholder schaffen?

Um diese 3. Forschungsfrage zu beantworten, wurden die Interessen der Stakeholder analysiert. Hierbei wurden Erkenntnisse aus der Literatur sowie direkte Einflüsse aus der Praxis einbezogen. Eine wichtige Erkenntnis ist, dass ein vollumfängliches Zertifizierungsmodell aus einem deskriptiven, präskriptiven und Benchmark-Modell besteht, um einen Mehrwert zu gewährleisten.

4. Wie gestaltet sich die Entwicklung der drei Phasen eines Zertifizierungsmodells?

Die Entwicklung des Zertifizierungsmodells erfolgte in mehreren Schritten. Dabei wurden Stakeholder aktiv in den Prozess eingebunden. Experten lieferten durch die Delphi-Methode wertvolle Inputs und Workshops sowie Arbeitsgruppen dienten der konkreten Ausgestaltung der Zertifizierungsmodelle. Besonderes Augenmerk galt dabei Nichtwohngebäuden.

5. Inwiefern erfüllen die erarbeiteten Phasen des Zertifizierungsmodells die Anforderungen an einen nutzerorientierten Gebäudebetrieb und welchen Mehrwert bietet es den Stakeholdern?

Nachdem die drei Phasen erarbeitet wurden, wurde die Umsetzung überprüft. Hierbei wurden sie mit den kritischen Erfolgsfaktoren abgeglichen und der Mehrwert für die Stakeholder bewertet, welches die 5. Forschungsfrage beantwortet.

6. Erfüllt das Verfahren zur Entwicklung eines Zertifizierungsmodells seinen Zweck?

Es erfolgt eine Analyse und kritische Diskussion des entwickelten Verfahrens sowie die Überprüfung der Zielerreichung und Effektivität des Modells. Die Methodik integrierte Literaturrecherche, Delphi-Methode, Umfragen, Stakeholderbeteiligung und praktische Entwicklung, um ein umfassendes, praxisorientiertes Zertifizierungsmodell zu schaffen, das die Anforderungen eines nutzerorientierten Gebäudebetriebs erfüllt.

1.4 Aufbau der Arbeit

Die vorliegende Arbeit ist in neun Kapitel (Abbildung 1.1) gegliedert. Nach einer thematischen Hinführung werden in den allgemeinen Grundlagen und Definitionen die für die Arbeit relevanten Begriffe und Konzepte erläutert und voneinander abgegrenzt. Der Fokus liegt auf den Begrifflichkeiten der Digitalisierung von Gebäuden, da diese im Alltag oft verwendet werden und von verschiedenen Menschen unterschiedlich verstanden werden.

Im darauffolgenden Kapitel werden bestehende Nachhaltigkeits- Zertifizierungssysteme sowie Zertifizierungssysteme für digitale Gebäude vorgestellt. Hierbei werden nicht nur deutsche, sondern auch internationale Zertifizierungssysteme aus Kanada, China, Singapur, den Niederlanden und Großbritannien behandelt. Dabei werden sowohl Systeme von privaten Organisationen und Unternehmen als auch von öffentlichen Einrichtungen berücksichtigt. Das vierte Kapitel dieser Arbeit beschäftigt sich mit der Entwicklung eines Verfahrens zur Entwicklung eines Zertifizierungsmodells. Dabei werden bereits angewendete Verfahren und Erkenntnisse aus der IT-Branche auf die spezifischen Problemstellungen angewandt und angepasst.

Die darauffolgenden Kapitel wenden das erarbeitete Verfahren zur Entwicklung eines deskriptiven, präskriptiven und Benchmark-Modells an. In fünf Iterationsschritten wird das deskriptive Modell erarbeitet, das den IST-Zustand eines Gebäudes repräsentiert. Dabei bildet der SRI der

Europäischen Union eine wesentliche Grundlage. Zunächst wird der SRI überprüft und anschließend um weitere Erkenntnisse verbessert. Im präskriptiven Modell wird ein Modell entwickelt, das Empfehlungen gibt, wo ein Gebäude und Gebäudeportfolio verbessert werden muss, um unter einem gegebenen Budget das beste Ergebnis zu erzielen. Das hier entwickelte Modell für diese Problemstellung ist neu, da es kein vergleichbares Modell gibt.

Das siebte Kapitel beschäftigt sich mit dem Benchmark-Modell, bei dem ein interaktives Tool entwickelt wird, um Gebäude miteinander zu vergleichen. Das Tool integriert die Ergebnisse aus Kapitel 5 und 6, sodass Nutzer Portfolio-Übersichten und Optimierungsempfehlungen erhalten können.

Im achten Kapitel werden die Stärken und Schwächen der Modelle aus den vorangegangenen Kapiteln vier, fünf, sechs und sieben erörtert. Die Arbeit endet mit einem Fazit, in dem die wichtigsten Erkenntnisse kritisch gewürdigt werden.

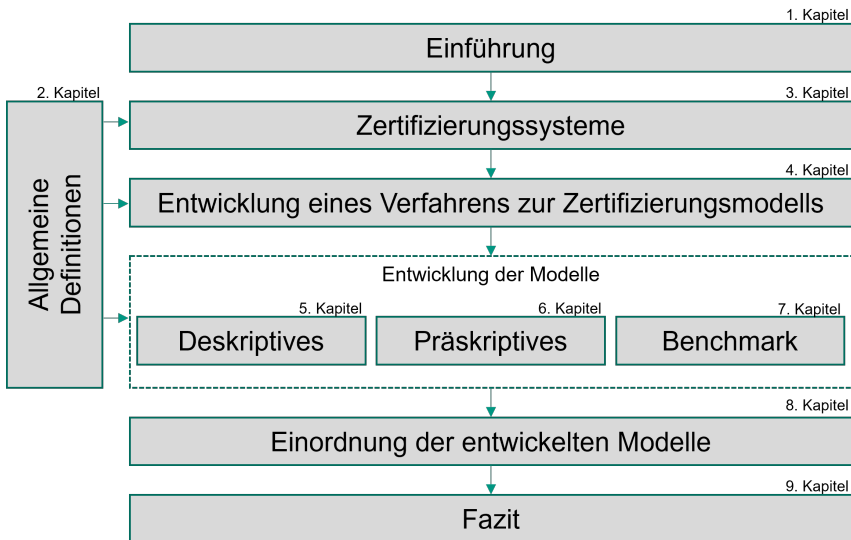


Abbildung 1.1: Aufbau der Doktorarbeit (eigene Darstellung)

Allgemeine Grundlagen und Definitionen

In der vorliegenden Dissertation ist ein präzises und einheitliches Begriffsverständnis von zentraler Bedeutung, um die Forschungsfragen eindeutig beantworten zu können. Im Folgenden werden daher die für diese Arbeit relevanten Begriffe, Ideen und Konzepte aus der Literatur aufgegriffen und dargestellt.

2.1 Digitale Gebäude

Die Digitalisierung hat einen starken Einfluss auf die Immobilienwirtschaft. Durch den zunehmenden Einsatz von speicherprogrammierbarer Steuerung können einzelne Gebäudebereiche oder Prozesse automatisiert werden. Die Bewirtschaftung von Gebäuden hat sich dadurch stark verändert. Etwa seit den 1980er Jahren gibt es erste Versuche, Definitionen für intelligente, smarte und digitale Gebäude zu finden. Die Begriffe „smart“ und „intelligent“ werden oft als Synonyme verwendet. In der Literatur wird darauf hingewiesen, dass es keine einheitliche Begriffsdefinition gibt, sodass es wichtig ist, die unterschiedlichen Begrifflichkeiten aufzuzeigen (Buckman et al., 2014).

2.1.1 Intelligente Gebäude

Die ersten Definitionen eines intelligenten Gebäudes stammen aus den 1980er Jahren. In den 1990er Jahren lag der Schwerpunkt auf fortschrittli-

chen Technologien, Kostenreduktion und der Berücksichtigung von Nutzerbedürfnissen (Derek and Clements-Croome, 1997). Generell hat ein intelligentes Gebäude das Ziel die Steigerung der Arbeitseffizienz in allen Lebenszyklusphasen, insbesondere in der Planungs-, Bau- und Betriebsphase (Derek and Clements-Croome, 1997). Zwischen 2000 und 2005 hat sich die Definition durch den technologischen Fortschritt verändert (Wong et al., 2005a), sodass die Erwartungen der Nutzer und die veränderten Anforderungen der Eigentümer mit einbezogen wurden. Zwischen 2005 und 2010 sind die wichtigsten Triebkräfte Effizienz, Kosten, Umwelt, Gesundheit und Sicherheit sowie die Kommunikation zwischen Gebäuden. Insgesamt sind die Definitionen eng mit den Merkmalen der Gebäudeautomation verknüpft (Ghaffarianhoseini et al., 2016a). Die neuesten Treiber für ein intelligentes Gebäude sind Nachhaltigkeit, Anpassung von Gebäuden an den Klimawandel, Energiesparstrategien und die Berücksichtigung sozialer Aspekte und des Wohlbefindens der Nutzer (Ghaffarianhoseini et al., 2016b).

Darüber hinaus wird in der Literatur eine geographische Divergenz der Definition festgestellt, die sich auf Technologien und Nutzungsanforderungen beziehen (So et al., 1999). In den USA, China und Singapur wurde der Begriff „intelligentes Gebäude“ zunächst primär auf die technologischen Aspekte reduziert, während der Interaktion mit den Nutzern noch keine bedeutende Rolle beigemessen wurde (Ghaffarianhoseini et al., 2016b, So et al., 1999, Wong et al., 2005b). Nach Clements-Croome (Derek and Clements-Croome, 1997) kann Intelligenz als eine „angeborene“ allgemeine kognitive Fähigkeit betrachtet werden, die im Kontext von Gebäuden als die eingebauten Technologien verstanden werden kann. So soll ein intelligentes Gebäude in China und Singapur drei wesentliche Merkmale aufweisen (So et al., 1999):

- Automatisierungssysteme zur Überwachung des Gebäudes
- Netzwerkinfrastruktur
- Telekommunikation

Diese rein technologische Sichtweise wurde von vielen Forschern kritisiert, sodass die Definitionen um Aspekte der Nutzeranforderungen, der

Gebäudesysteme, der Umwelt und der Lebensqualität (Ghaffarianhoseini et al., 2016b) erweitert wurden. Eigenschaften wie Wirtschaftlichkeit und Kosteneffizienz, Empfindungen der Menschen und Umweltfreundlichkeit (Ghaffarianhoseini et al., 2016b) rücken zunehmend in den Fokus. In Großbritannien ist ein intelligentes Gebäude ein Gebäude mit maximaler Effizienz und Ressourcenmanagement durch minimale Lebenszykluskosten der Hardware (So et al., 1999).

Steigende Komfortansprüche und Forderungen nach mehr Kontrolle des Nutzers über seine unmittelbare Umgebung beeinflussen die Definition (Wong et al., 2005a). Der Mensch rückt im Laufe der Zeit immer mehr in den Mittelpunkt. Neuere Definitionen aus dem Jahr 2018 (Omar, 2018) erweitern die Anforderungen an ein intelligentes Gebäude um Aspekte der Sicherheit, der Umwelt und des Energieverbrauchs.

Intelligente Gebäude müssen Arbeitsprozesse unterstützen und die Anforderungen der Nutzer erfüllen, um das Wohlbefinden der Menschen durch den Einsatz entsprechender innovativer Technologien (So et al., 1999, Wong et al., 2005b) in einem Gebäude zu steigern (Derek and Clements-Croome, 1997). Clements-Chroome sieht im Konzept des intelligenten Gebäudes (einschließlich seiner Dienstleistungssysteme und des Managements von Arbeitsprozessen) einen wesentlichen Beitrag zur Steigerung des Wohlbefindens der Mitarbeiter in einer Organisation (Derek and Clements-Croome, 1997).

Konkret werden solche Technologien, die in intelligenten Gebäuden zum Einsatz kommen sollen, von Wong (Wong et al., 2005b) zusammengefasst: Gebäudeautomationssysteme, Heizung-, Lüftung- & Klimatechnik, Beleuchtungssysteme, Aufzugssysteme, Brandschutzsysteme, Sicherheitssysteme und Kommunikationssysteme. Eine weitere Definition unterstützt den Einsatz von Versorgungssystemen wie Heizung-, Lüftung- & Klimatechnik, Beleuchtung und weiteren Bereichen, aber entscheidend ist die zunehmende Vernetzung zwischen den verschiedenen Systemen sowie zwischen der Gebäudestruktur (Arkin and Paciuk, 1997) (vgl. Abbildung 2.1 und Abbildung 2.2).

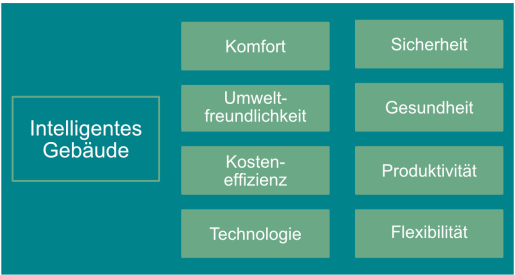


Abbildung 2.1: Vorherrschende Treiber eines intelligenten Gebäudes (eigene Darstellung)

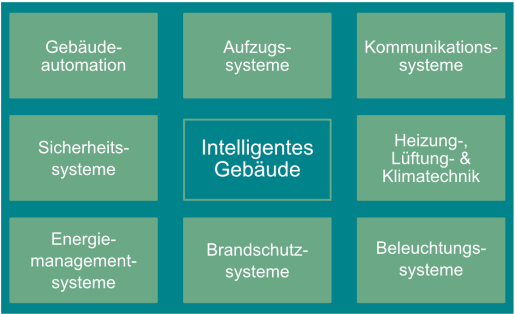


Abbildung 2.2: Komponenten eines intelligenten Gebäudes in der Literatur (eigene Darstellung)

2.1.2 Smarte Gebäude

Das Konzept eines smarten Gebäudes ist relativ neu, baut aber auf dem Konzept des intelligenten Gebäudes (Ghansah et al., 2022) auf und muss zwingend definiert werden (Buckman et al., 2014). Nach Froufe et al. (Froufe et al., 2020) liegt der Ursprung eines smarten Gebäudes in der Integration von Nachhaltigkeitsaspekten. Auch Buckmann et al. (Buckman et al., 2014) beschreiben, dass smarte Gebäude ein Nearly Zero Energy Building (NZEB) anstreben müssen und sich durch eine hohe Flexibilität auszeichnen sowie Energiebedarfe und Energieerzeugung basierend auf den lokalen klimati-

schen Bedingungen, den Bedürfnissen der Nutzer und den Anforderungen des Stromnetzes steuern können. Dabei können Dienstleistungsplattformen für das Management von Energieanlagen, die Überwachung des Verbrauchs sowie die Nutzung von Sicherheitssystemen und Videoüberwachung zum Einsatz kommen (Al Dakheel et al., 2020).



Abbildung 2.3: Vorherrschende Treiber eines smarten Gebäudes (eigene Darstellung)

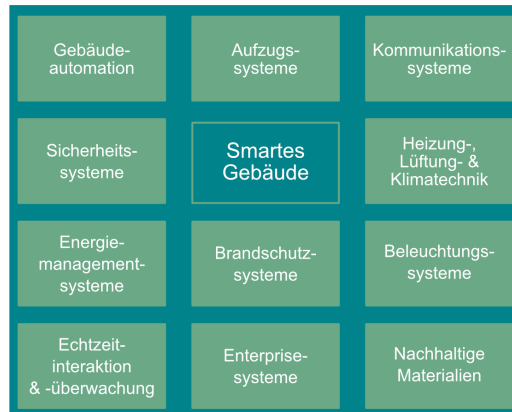


Abbildung 2.4: Komponenten eines smarten Gebäudes in der Literatur (eigene Darstellung)

Smarte Gebäude können sehr vielfältig gestaltet sein, grundsätzlich liegt der Fokus jedoch auf dem Einsatz von Gebäudetechniksystemen zur Optimierung von Gebäudedienstleistungen und Betriebsabläufen zum Wohle der Bewohner sowie zur Verbesserung des Managements (Vattano et al., 2014). Das Gebäude soll in der Lage sein, auf die Bedürfnisse der Nutzer und Bewohner zu reagieren und Fehler im Gebäudebetrieb zu diagnostizieren (Al Dakheel et al., 2020). Buckman et al. (Buckman et al., 2014) betont, dass die Anpassungsfähigkeit und nicht die Reaktionsfähigkeit im Vordergrund steht, um den treibenden Kräften der Gebäudeentwicklung, Energie und Effizienz, Langlebigkeit sowie Komfort und Zufriedenheit gerecht zu werden. Auch die Energy Performance of Buildings Directive (EPBD) definiert Smartness als zentrale Maßnahme zur Effizienzsteigerung der Energiemärkte (Omar, 2018).

Nach Vattano(Vattano et al., 2014) ist der Begriff „smart“ die Fähigkeit, Technologien in Gebäuden auf einfache Weise zu steuern. Um als „smart“ bezeichnet zu werden, erfordert dies die Integration von Systemen und Automatisierung, Programmierbarkeit und Anpassungsfähigkeit.

In Abbildung 2.3 sind die vorherrschenden Treiber eines smarten Gebäudes grafisch aufbereitet, sowie in Abbildung 2.4 die Komponenten, die laut Literatur eingebaut werden sollten.

2.1.3 Abgrenzung intelligent vs. smart

Der Unterschied der beiden Begriffe „smarteres“ und „intelligentes“ Gebäude ist, dass smarte Gebäude darauf abzielen, durch die Vernetzung von Gebäudetechnologien Energieeinsparungen zu erzielen, den Nutzerkomfort zu erhöhen, einen sicheren Betrieb zu gewährleisten und potenzielle Fehler im Gebäudebetrieb zu diagnostizieren. Der Schwerpunkt liegt auf der Anpassungsfähigkeit und nicht auf der Reaktionsfähigkeit. Während bei intelligenten Gebäuden häufig einzelne Funktionen wie Heizung, Beleuchtung und Sicherheitssysteme automatisiert werden, um den Komfort für die Bewohner zu erhöhen.

In smarten Gebäuden tauschen verschiedene Systeme wie Heizung, Lüftung, Klimatisierung, Beleuchtung, Sicherheits- und Gebäudemanagementsysteme Daten miteinander aus. Dadurch entsteht ein umfassendes Bild des Gebäudebetriebs, das für Effizienzsteigerungen genutzt werden kann. Beispielsweise können Daten über den Energieverbrauch genutzt werden, um diesen zu optimieren und so den Gebäudebetrieb nachhaltiger zu gestalten.

Ein weiterer Unterschied besteht darin, dass smarte Gebäude oft fortschrittlichere Technologien wie das Internet der Dinge nutzen. Dies ermöglicht es den Nutzern, Gebäudefunktionen und -systeme von überall aus zu überwachen und zu steuern.

2.1.4 Gebäudeautomation

Die Gebäudeautomation ist ein sehr wichtiger Bestandteil eines digitalen, intelligenten und smarten Gebäudes und wird in der DIN EN ISO 16484-2 (CEN/TC 247, 2004) wie folgt definiert: *„Einrichtungen, Software und Dienstleistungen für automatische Steuerung und Regelung, Überwachung und Optimierung sowie für Bedienung und Management zum energieeffizienten, wirtschaftlichen und sicheren Betrieb der Technischen Gebäudeausrüstung“*. Wobei Gebäudeautomationssysteme nach der Norm *„aus allen Produkten und Dienstleistungen für automatische Steuerung und Regelung (einschließlich Logikfunktionen), Überwachung, Optimierung, Betrieb sowie für manuelle Eingriffe und Management zum energieeffizienten, wirtschaftlichen und sicheren Gebäudebetrieb“* bestehen. Es ist anzumerken, dass die *„Verwendung des Wortes Automation nicht bedeutet, dass sich das System/die Einrichtung nur auf Automation bezieht. Verarbeitung der Daten und Informationen ist ebenso möglich.“* (CEN/TC 247, 2004).

In der Gebäudeautomation lassen sich die Ausprägungen einer Automation anhand der Automatisierungspyramide (Abbildung 2.5; Aschendorf (2014)) beschreiben, die im Ansatz auch in der VDI 3814 (VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik, 2019) und (CEN/TC 247, 2004) (Abbildung 2.6 und 2.7) definiert sind. Diese drei Hierarchien - Managementebene, Automationsebene und Feldebene - haben unterschiedliche Komponenten, die unterschiedliche Datenübertragungswege benötigen.

Es ist jedoch zwingend erforderlich, dass diese kommunizieren können (Arbeitskreis Maschinen- und Elektrotechnik staatlicher und kommunaler Verwaltungen (AMEV), 2019).

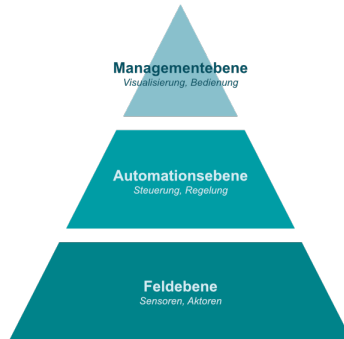


Abbildung 2.5: Automatisierungspyramide (in Anlehnung an Aschendorf (2014))

In der Literatur finden sich verschiedene Definitionen der Automatisierungspyramide (Meudt et al., 2017) mit unterschiedlichen Ebenen. In der Gebäudeautomation hat sich jedoch die Automatisierungspyramide nach Abbildung 2.5 (Aschendorf, 2014, CEN/TC 247, 2004, VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik, 2019) durchgesetzt. Die einzelnen Ebenen beschreiben unterschiedliche Ausprägungen, die in (Aschendorf, 2014) und (Lauckner and Krimmling, 2020) näher definiert sind:

1. Managementebene: Die höchste Ebene beinhaltet die Möglichkeit der Visualisierung der in der Feldebene erfassten Daten. Darüber hinaus können mehrere Gebäude von einer zentralen Stelle aus gesteuert werden, oft auch in Verbindung mit der Gebäudeleittechnik.
2. Automatisierungsebene: Diese Ebene befasst sich mit den Komponenten, die für die Steuerung und Regelung eines Gebäudes erforderlich sind, umgesetzt durch eine bestimmte Logik, unterstützt durch die Funktionen Zeitsteuerung, Anwesenheitssteuerung, Zustandssteuerung, Anwesenheitssimulation und andere. Die Automationsebene

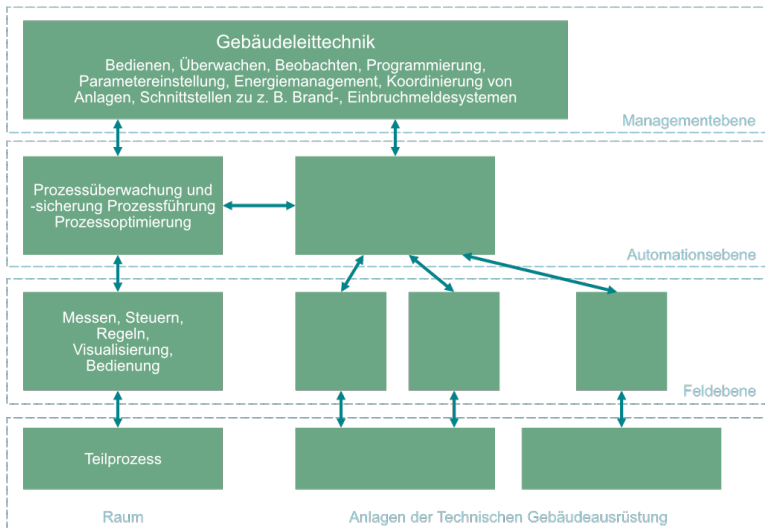
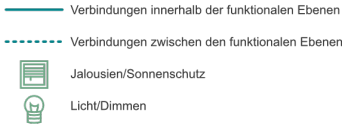


Abbildung 2.6: Automatisierungspyramide nach VDI
(VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik, 2019)

kann sowohl gebäudeintern als auch gebäudeübergreifend wirken. Prozesse werden überwacht, abgesichert und optimiert.

3. Feldebene: Die unterste Ebene beschreibt die im Gebäude installierte Sensorik und Aktorik. Hier werden die prozessnahen Funktionen der Mess-, Steuer- und Regelungstechnik (MSR) abgebildet.

Die Beschreibung einer Automatisierungspyramide greift jedoch zu kurz, da es sich um einen komplexeren Prozess handelt. Eine grafische Beschreibung der Ebenen findet sich in (VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik, 2019) und (CEN/TC 247, 2004), die in den Abbildungen 2.6 und 2.7 dargestellt sind. Wobei Abbildung 2.7 ein detailliertes Netzwerk beschreibt.



nagement (IGM) und Kaufmännisches Gebäudemanagement (KGM) (Abbildung 2.8) unterteilen lässt. Darüber hinaus gibt es den FM-Branchenverband German Facility Management Association (GEFMA), der mit der GEFMA 100-2 FM-Dienstleistungen Lebenszyklusphasen von Immobilien prozessorientiert strukturiert.

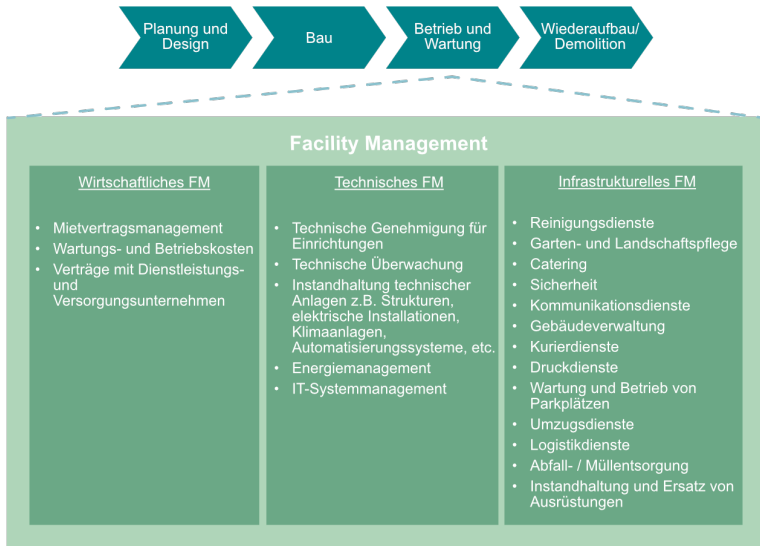


Abbildung 2.8: Übersicht Facility Management (Śliwiński and Gabryelczyk, 2010)

2.2.1 Facility Management

Facility Management ist ein multidisziplinärer Ansatz zur effizienten Organisation und Bewirtschaftung von Gebäuden, Anlagen und Ressourcen. Es umfasst eine Vielzahl von Aufgaben und Prozessen, die darauf abzielen, den reibungslosen Betrieb von Gebäuden sicherzustellen, um ein optimales Umfeld für Menschen und Unternehmen zu schaffen. Die DIN EN 15221-1 definiert das Facility Management als „*Integration von Prozessen inner-*

halb einer Organisation zur Erbringung und Entwicklung der vereinbarten Leistungen, welche zur Unterstützung und Verbesserung der Effektivität der Hauptaktivität der Organisation dienen“ (DIN, 2007a), welche durch die ISO 41011 ersetzt wurde (DIN, 2018). Es ergibt sich, dass das Ziel des Facility Managements eine optimale Unterstützung und Verbesserung der Geschäfts- bzw. Primärprozesse einer Organisation und darüber hinaus eine Optimierung der Wertschöpfungs- und Wettbewerbsfähigkeit ist. Dabei werden alle immobilien- und betriebsbezogenen Managementleistungen (auch Management Services genannt) auf strategischer, taktischer und operativer Ebene berücksichtigt und die Erbringung der vereinbarten operativen Leistungen (Facility Services) koordiniert (DIN, 2007a, 2018, Teichmann, 2009). Eine strukturierte Übersicht des in der Norm (DIN, 2011) definierten FM-Modells findet sich in Abbildung 2.9.

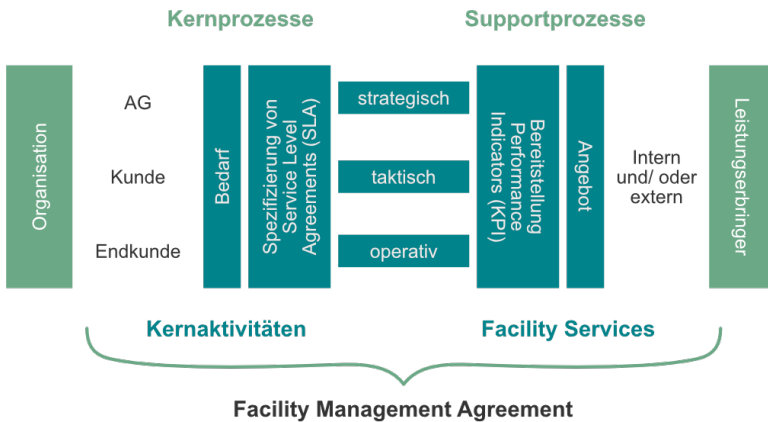


Abbildung 2.9: FM Modell nach DIN (DIN, 2011)

Ein Gebäude durchläuft verschiedene Phasen, die als Lebenszyklus (DIN, 2010) bezeichnet werden. Nach der GEFMA 100-1 ist der Lebenszyklus „sich wiederholende Abfolgen zeitlicher Abschnitte (Lebenszyklusphasen) in der Entstehung, Nutzung und Verwertung von Facilities“ (Association et al., 2004). Eine Übersicht der von GEFMA definierten Lebenszyklusphasen ist in Abbildung 2.10 dargestellt. Die jeweilige Sichtweise auf das

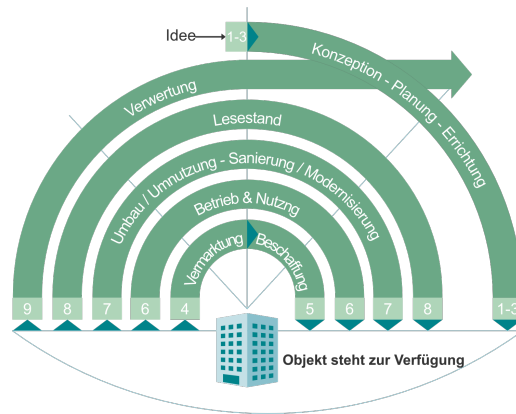


Abbildung 2.10: Lebenszyklusphasen nach GEFMA (Association et al., 2004)

Gebäude hängt stark von den unterschiedlichen Managementebenen ab. Die Abbildung 2.11 zeigt den mehrstufigen Ansatz und die Funktionen im Real Estate Investment Management nach (Teichmann, 2009).

2.2.2 Stakeholder der Immobilienwirtschaft

Ein Gebäude ist standortgebunden, welches eine Lebensdauer von mehreren Jahrzehnten oder Jahrhunderten geplant und betrieben wird (in Europa). Während dieser Zeit interagieren eine Vielzahl von Akteuren mit dem Gebäude, die alle unterschiedliche Bedürfnisse und Interessen haben (Just et al., 2017). Diese Akteure werden auch als Stakeholder bezeichnet. Allgemein kann der Begriff Stakeholder definiert werden als Personen, Gruppen oder Organisationen, die direkt oder indirekt von einer bestimmten Aktivität oder Entscheidung betroffen sind oder diese beeinflussen können (DIN, 2018). Ein Stakeholder hat ein generelles Interesse an den Ergebnissen, den Auswirkungen oder dem Erfolg des betreffenden Projekts, Unternehmens oder Vorhabens.

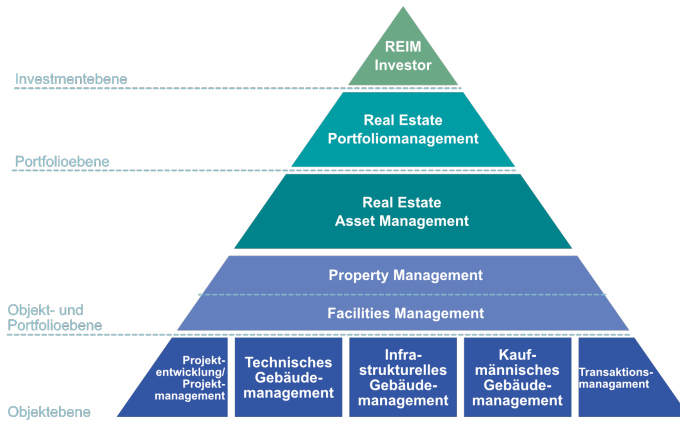


Abbildung 2.11: Mehrstufiger Ansatz und Funktionen im REIM nach (Teichmann, 2009)

Tabelle 2.1: Auswahl von relevanten internen Stakeholdern

Kategorie	Stakeholder
Interne Stakeholder	Asset Manager
	Eigentümer
	Facility Manager
	Mieter/Nutzer
	Mitarbeiter
	Portfoliomanager
	Property Manager (technisch und kaufmännisch)
Externe ökonomische Stakeholder	Architekt
	Berater
	Energie und Medien-Versorger
	Fachbetrieb/ Handwerker/ Ausführende Unternehmen
	Hardwarehersteller und Anlagenbauer
	Investor und Versicherung
	Planer
	Softwareentwickler
Externe nicht-ökonomische Stakeholder	Branchenverbände
	Politik, Behörden und Öffentliche Hand
	Weiterbildungsorganisatoren/ Universitäten
	Zertifizierer

Im Anhang werden die wichtigsten Stakeholder, die für den Gebäudebetrieb relevant sind, detaillierter aufgelistet (Abschnitt A.1 in den Tabellen A.1, A.2 und A.3). Die Darstellung beschränkt sich auf die Hauptakteure des Betriebs. Aus der Literatur lassen sich drei Gruppen von Stakeholdern ableiten: Interne, externe ökonomische und externe nicht-ökonomische Stakeholder (Heitel et al., 2012, Krips and Krips, 2017, Mosig et al., 2022) (Tabelle 2.1).

2.2.3 Gebäudebestand in Deutschland

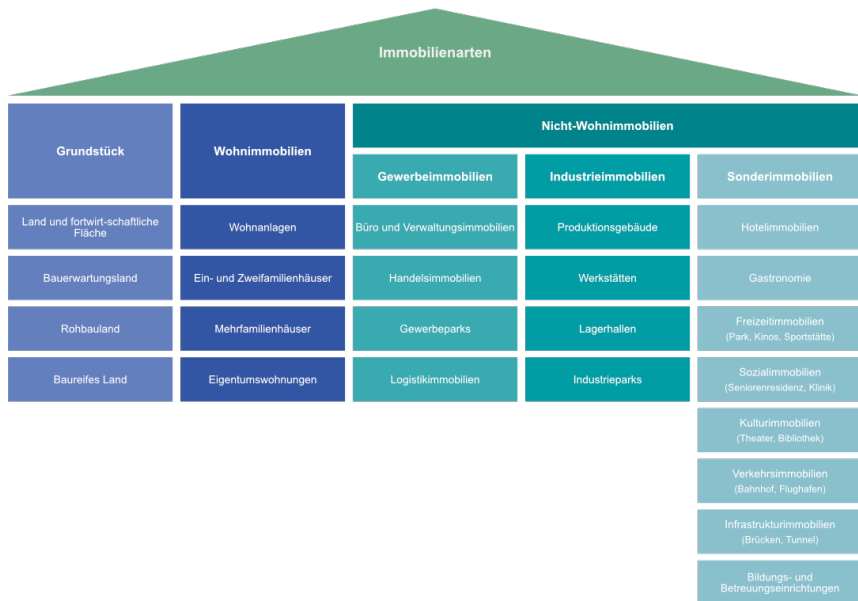


Abbildung 2.12: Immobilienarten – Klassifizierung der Immobilien nach der Nutzungsart (Schulte et al., 2015)

Immobilien werden in verschiedene Immobilienarten unterteilt. Diese Unterteilung kann nach unterschiedlichen Kriterien erfolgen: Zielgruppe der

Nutzer (z.B. Privatpersonen, Produktions- oder Dienstleistungsunternehmen) oder spezifische Nutzungsart. Letztere ist die am weitesten verbreitete Unterteilung. Im Allgemeinen können Immobilien in drei Hauptkategorien unterteilt werden: Grundstücke, Wohnimmobilien und Nichtwohnimmobilien mit entsprechenden Unterkategorien (Abbildung 2.12) (Schulte et al., 2015).

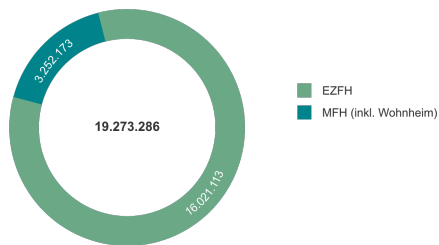


Abbildung 2.13: Wohngebäude im Jahr 2020 in Deutschland
(Energie-Agentur, 2021)

Abbildung 2.13 zeigt die absolute Anzahl (ca. 19 Mio.) der Wohngebäude in Deutschland, Abbildung 2.15 die Verteilung der beheizten Nichtwohngebäude. Es wird deutlich, dass die Anzahl der Wohngebäude die der Nichtwohngebäude deutlich übersteigt (Verhältnis ca. 5:1). Betrachtet man jedoch den Endenergieverbrauch der verschiedenen Hauptkategorien, so zeigt sich, dass die Nichtwohngebäude dennoch einen hohen absoluten Endenergieverbrauch aufweisen (37%), da diese Gebäude oft deutlich größer sind als Einfamilienhäuser (Abbildung 2.14).



Abbildung 2.14: Endenergieverbrauch im Gebäudesektor nach Immobilienarten (Stand 2019) (Energie-Agentur, 2021)

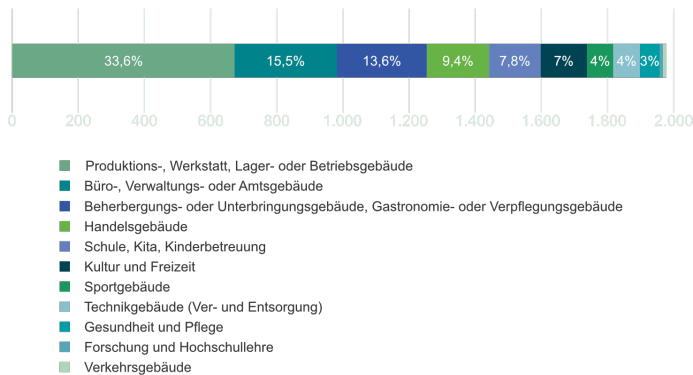


Abbildung 2.15: Anzahl der beheizten Nichtwohngebäude in Tausend (Energie-Agentur, 2021)

2.2.4 Kritische Erfolgsfaktoren

Um den Erfolg eines Unternehmens zu überprüfen und sicherzustellen, dass definierte (Geschäfts-)Ziele erreicht werden, helfen „kritische Erfolgsfaktoren (engl. Critical Success Factor)“ (csf). Im Jahr 1961 stellte Ronald Daniel das Konzept des „Erfolgsfaktors“ vor (Dadashzadeh et al., 1990, Daniel, 1961, Rockart, 1979). Das Konzept wurde über Jahre kontinuierlich weiterentwickelt und erstmals 1979 von John Rockart im Bereich der Informationssysteme verwendet (Dadashzadeh et al., 1990). Er versteht den Begriff der kritischen Erfolgsfaktoren als „*die Dinge, die getan werden müssen, damit ein Unternehmen erfolgreich sein kann*“ (Freund, 1988). In den 80er und 90er Jahren war der Begriff eines der am häufigsten verwendeten „Buzzwords“ in der Management-Szene (Freund, 1988).

In der Literatur werden kritische Erfolgsfaktoren als eine begrenzte Anzahl von Tätigkeitsbereichen definiert, in denen zufriedenstellende Ergebnisse unbedingt erforderlich sind, um eine erfolgreiche Leistung für den Einzelnen, die Abteilung oder die Organisation zu erzielen und wettbewerbsfähig zu sein. Die kritischen Erfolgsfaktoren sind die wenigen Schlüsselbereiche, in denen „*die Dinge richtig laufen müssen*“, damit das Unternehmen floriert

und die vom Management definierten Ziele erreicht werden können (Bullen and Rockart, 1981).

Für die vorliegende Dissertation ist es notwendig, kritische Erfolgsfaktoren im Gebäudebetrieb zu identifizieren, um untersuchen zu können, wie digitale, smarte und intelligente Gebäude einen nutzerorientierten Gebäudebetrieb unterstützen. Dazu wurde eine Vielzahl von wissenschaftlichen Arbeiten (tabellarische Übersicht im Anhang A.2) gesichtet und dort die wesentlichen kritischen Erfolgsfaktoren identifiziert, gruppiert und zusammengefasst. Eine Übersicht der gruppierten kritischen Erfolgsfaktoren sind nachfolgend aufgelistet:

1. Environment

- (a) Nachhaltigkeit
 - i. Umwelt
 - ii. Ressourcenverbrauch
- (b) Gebäude
 - i. physisch
 - ii. nicht-physisch
- (c) Innovation

2. Finanzen

- (a) Kostenmanagement
- (b) Werterhaltung
- (c) Energieeffizienz und Kosteneinsparung

3. Unternehmenspolitik

- (a) Externe Stakeholder
 - i. Beziehung und Zufriedenheit
 - ii. Qualitätsmanagement
- (b) Interne Stakeholder
 - i. Personalmanagement und Arbeitsbedingungen

- ii. Qualitätsmanagement
- (c) Management
 - i. Strategische Planung und Führung
 - ii. Richtlinien und Standards
 - iii. Effiziente Arbeitsabläufe und Ressourcen
- 4. Qualität
 - (a) Zuverlässigkeit
 - (b) Servicequalität
- 5. Sicherheit

2.3 Reifegradmodelle

Ein Reifegradmodell identifiziert Best Practices für bestimmte Prozesse und bewertet die Reife einer Organisation anhand der Anzahl der implementierten Best Practices. Reifegradmodelle (engl. maturity model) wurden ursprünglich im Qualitätsmanagement der Softwareentwicklung eingesetzt und haben sich seitdem auf viele andere Bereiche ausgedehnt (de Bruin et al., 2005, Fisher, 2004, Fraser et al., 2002, Harmon, 2004), so auch auf Informationssysteme und die Managementwissenschaft (Ahern et al., 2004, Mettler, 2011, Paulk et al., 1993). Mit Hilfe von Reifegradmodellen können Unternehmen ihre eigenen Leistungen, Fähigkeiten, Strukturen, Prozesse und viele weitere Bereiche bewerten und zur Selbst- oder Fremdbewertung nutzen (Fraser et al., 2002, Mettler, 2011). Der eigene Ist-Zustand kann mit einem solchen Modell ermittelt und ggf. mit anderen Wettbewerbern verglichen werden, was die Grundlage für eine Qualitätsbewertung bildet (Moker and Brosi, 2021). Durch das Aufzeigen eines Defizits wird das verbleibende Potenzial sichtbar und kann als Initialisierung eines Transformationsprozesses verstanden werden (Berghaus and Back, 2016b, Jüngst, 2016, Moker and Brosi, 2021).

Konkret besteht ein Reifegradmodell in der Regel aus einer Abfolge von Stufen (oder Stadien), die aufeinander aufbauen und zusammen die Reifegrade bilden (Moker and Brosi, 2021, Poepelbuss and Roeglinger, 2011)

und durch eine logische Struktur von einem weniger reifen Ausgangszustand zu einem reiferen Zustand beschrieben werden (Poeppelbuss and Roeglinger, 2011). Aus diesem Grund werden Reifegradmodelle auch als Wachstumsstufenmodelle, Stufenmodelle oder Stufentheorien bezeichnet (Poeppelbuss and Roeglinger, 2011).

Reifegradmodelle werden üblicherweise eingesetzt, um den aktuellen Ist-Zustand eines Produktes oder Prozesses in verschiedenen Teilbereichen zu bewerten (Moker and Brosi, 2021), Verbesserungsmaßnahmen abzuleiten und zu priorisieren sowie den Fortschritt zu kontrollieren (Iversen et al., 1999). Der Reifegrad beschreibt dabei, in welchem Zustand man sich aktuell befindet, wie das Ergebnis einzuordnen ist (Berghaus and Back, 2016a, Jüngst, 2016, Moker and Brosi, 2021), wie weit man noch von der absoluten Reife entfernt ist und was dafür noch fehlt. Ziel dieser Modelle ist es, sich im Vergleich zu anderen zu positionieren und als Bewertungsgrundlage und Vergleichsmaßstab für Verbesserungen zu dienen (de Bruin et al., 2005, Fisher, 2004, Fraser et al., 2002, Harmon, 2004). Mit Hilfe dieser Bewertungsmethoden können Hinweise zur Optimierung der bewerteten Bereiche gegeben werden (Mettler et al., 2010). (Fraser et al., 2002) beschreibt sechs wesentliche Elemente, die typischerweise in einem Reifegradmodell enthalten sind:

- eine bestimmte Anzahl an Levels (normalerweise drei bis sechs), wobei ein höheres Level eine höhere Reife widerspiegelt
- eine Kennzeichnung für jedes Level (z. B. Start/ Wiederholbar/ Definiert/ Verwaltet/ Optimiert)
- eine allgemeine Beschreibung oder Zusammenfassung der Merkmale jedes Levels als Ganzes
- eine bestimmte Anzahl von Dimensionen oder Prozessbereichen
- eine bestimmte Anzahl von Elementen oder Aktivitäten für jeden Prozessbereich
- eine Beschreibung der einzelnen Aktivitäten, wie sie auf jeder Reifegradstufe durchgeführt werden kann

Die einzelnen Stufen des Reifegradmodells könnten auch mit der Likert-Skala verwechselt werden, da eine große Ähnlichkeit besteht. Allerdings lässt die Likert-Skala dem Befragten die Freiheit der Interpolation, da meist nur die Extremstufen explizit beschrieben werden. Die Reifegradmodelle definieren die einzelnen Befragungen individuell (Fraser et al., 2002). So wird z.B. in der Literatur der digitale Reifegrad anhand von Stufen bestimmt (Böhm et al., 2018, Fließ and Kleinaltenkamp, 2004).

Im Gegensatz dazu präzisiert Maier et al. (2011) die Begriffe und weist auf den Unterschied zwischen einer Reifegradmatrix (engl. Quality Management Maturity Grid) und Reifegradmodellen hin. Sie erklärt, dass die Reifegradmatrix für Unternehmen jeder Branche gilt und nicht vorschreibt, wie die Prozesse in dieser Branche auszusehen haben. Typisch für Reifegradmodelle seien Fragebögen und Checklisten mit Likert oder binärer Ja/Nein-Bewertung. Im Gegensatz dazu beschreibt die Reifegradmatrix die einzelnen Stufen mit Hilfe eines Textes für die einzelnen charakteristischen Leistungsmerkmale auf jeder Stufe.

Mithilfe von Reifegradmodellen können Lücken identifiziert werden, die durch Verbesserungsmaßnahmen geschlossen werden können. Viele dieser Modelle beschreiben jedoch nicht im Detail, wie diese Maßnahmen effektiv umgesetzt werden können. Das Problem dieser „Wissenslücke“ kann sehr schwer zu überwinden sein, selbst wenn die Entscheidungsträger wissen, was zu tun ist (Fraser and Vaishnavi, 1997, Mettler, 2011, Pfeffer and Sutton, 1999). Selbst wenn die Verantwortlichen die Handlungsnotwendigkeit erkennen, kann es vorkommen, dass sie sich auf bestimmte Maßnahmen konzentrieren und potenziell vorteilhafte alternative Maßnahmen außer Acht lassen (Proença and Borbinha, 2016).

Zudem ist zu beachten, dass es nicht nur ein Reifegradmodell gibt, sondern eine Variation (Proença and Borbinha, 2016). Es gibt also nicht nur einen Weg, der zu einem positiven Ergebnis führt (Mettler, 2011, Montoya-Weiss and Calantone, 1994).

2.3.1 Reife eines Reifegradmodells

Die Reife kann allgemein auch als „der Zustand der Vollständigkeit, Vollkommenheit oder Bereitschaft“ definiert werden, der eine Entwicklung von einem Anfangsstadium zu einem gewünschten Stadium beinhaltet (Mettler, 2011). Trotzdem existiert kein einheitliches Verständnis für den Begriff und verschiedene Interessensgruppen verstehen ihn unterschiedlich. In der Quelle Maier et al. (2011) wurden fünf wesentliche Reifekategorien identifiziert.

1. **Prozessreife:** Eine Verbesserung der Prozessreife führt in der Regel zu einem effizienteren und schlankeren Prozess, der mit weniger Ressourceneinsatz eine Steigerung der durchschnittlichen Prozessleistung bewirkt (Maier et al., 2011). Prozessreife bezieht sich auf den Grad, in dem ein bestimmter Prozess klar definiert, verwaltet, gemessen, kontrolliert und wirkungsvoll ist (Fraser and Vaishnavi, 1997, Mettler, 2009, 2011, Paulk et al., 1993).
2. **Organisatorische Reife:** Das anerkannte „Capability Maturity Model“ (CMM) beschreibt die Abbildung einzelner Prozesse in mehreren Stufen. Dabei wird angenommen, dass eine höhere Reife dazu führt, dass sich Organisationen besser strukturieren lassen. Die verschiedenen Stufen bilden einen evolutionären Weg von chaotischen Ad-hoc-Prozessen zu ausgereiften, disziplinierten Prozessen (Maier et al., 2011).
3. **Prozessfähigkeit:** Die Prozessfähigkeit bezieht sich darauf, die Fähigkeit eines Prozesses direkt zu messen, anstatt die organisatorische Fähigkeit mit einem einzigen Wert zu bewerten. Bei der Verwendung des Begriffs „organizational capability“ handelt es sich um eine hybride Charakterisierung zwischen organisatorischer Reife und Prozessfähigkeit (Maier et al., 2011).
4. **Projektreife:** Dieser Begriff bezeichnet ein Konzept, das aus verschiedenen Merkmalen und Indikatoren besteht, um Reife zu messen oder zu beschreiben. Eine Möglichkeit besteht darin, Organisationen und Menschen in ihrer operativen Tätigkeit zu betrachten, wobei der Reifegrad aus einer Kombination von Verhalten, Einstellung und

Kompetenzen bestimmt wird. Die Projektreife bezieht sich auf die Anwendung dieses Konzepts auf das Projektmanagement. Dies bedeutet, den Entwicklungsstand und die Effektivität von Projekten innerhalb einer Organisation zu bewerten (Maier et al., 2011). Es beschreibt, inwieweit ein bestimmtes Projekt einen vordefinierten Reifegrad erreicht (Gericke et al., 2006, Mettler, 2009, 2011).

5. **Reife der organisatorischen Fähigkeiten:** Dieser Begriff beschreibt die Kompetenzen und Fachkenntnisse einer Organisation in Bereichen wie Design, Innovation, Projektmanagement, Wissensmanagement, Zusammenarbeit und Führung. Es bezieht sich auf das Gesamtbild aller Fähigkeiten und nicht nur auf spezifische Prozesse oder Projekte (Maier et al., 2011). Es beschreibt, inwieweit die Belegschaft in der Lage ist, Wissen zu schaffen, zu ermöglichen und die Fähigkeiten zu verbessern (Mettler, 2009, 2011, Nonaka, 1994).

2.3.2 Methoden zur Entwicklung eines Reifegradmodells

Nach de Bruin

Die wachsende Entwicklung unterschiedlicher Reifegradmodelle um die Jahrtausendwende veranlasste (de Bruin et al., 2005) zur Standardisierung eines Reifegradmodells mit einem Standardentwicklungsrahmen. Eine wesentlichen Aussage ist, dass sich alle Reifegradmodelle in drei aufeinanderfolgende Phasen einordnen lassen:

- | | |
|-------------------------|---|
| 1. deskriptive Phase: | Beschreibung des Ist-Zustandes |
| 2. präskriptive Phase: | es wird aufgezeigt, wie die Verbesserung des Reifegrad angegangen werden sollte |
| 3. vergleichende Phase: | ein vergleichendes Modell ermöglicht ein Benchmarking über Regionen hinweg |



Abbildung 2.16: Entwicklungsschritte jeder Phase: de Bruin (de Bruin et al., 2005)

Die Entwicklung jeder einzelnen Phase lässt sich hierbei in sechs einzelne Prozessschritte aufteilen, welche in Abbildung 2.16 dargestellt sind. Die Prozessschritte werden nachfolgend definiert.

abgrenzen: In diesem Prozedurschritt wird der Fokus und der Umfang des zu entwickelnden Reifegrad bestimmt. Es werden allgemeine Fragestellungen berücksichtigt, welche Ziele das Modell verfolgen soll. Des Weiteren werden weitere Bewertungsverfahren herangezogen und erörtert, inwiefern sich dieses neue Modell von den bereits existierenden abgrenzt.

designen: Nach der Abgrenzung werden weitere Überlegungen angestellt, um die potenzielle Zielgruppe zu bestimmen und zu erläutern, warum sie das Reifegradmodell nutzen sollte. Es muss geklärt werden, auf welche Weise die Bedürfnisse der Zielgruppe erfüllt werden und wie das Modell in verschiedenen Unternehmensbereichen angewendet werden kann. Wer muss daran beteiligt sein und welche Ziele sollen insgesamt erreicht werden?

Nach Beendigung des Design-Prozesses soll ein vereinfachtes Modell vorhanden sein, dass die Realität widerspiegelt. Es ist jedoch darauf zu achten, dass das Modell nicht zu komplex wird, da dies das Interesse der Benutzer verlieren könnte. Andererseits darf es auch nicht zu simpel sein, um die Komplexität der Realität widerzuspiegeln. Zusätzlich werden die verschiedenen Definitionen der unterschiedlichen Reifegradstufen vorgenommen. Es ist hierbei wichtig, dass die verschiedenen Stufen und Ebenen sinnvoll gegliedert werden, gegebenenfalls auch in Untergruppen, jedoch ohne zu detailliert zu werden. Es gibt zwei mögliche Herangehensweisen:

- **Top-Down:** Zu Beginn werden allgemeine Definitionen verfasst, die erreicht werden sollen. Dieses Vorgehen eignet sich besonders, wenn der Bereich noch relativ unausgereift ist und nur wenige Anhaltspunkte darüber gibt, was unter den verschiedenen Reifestufen zu verstehen ist.
- **Bottom-Up:** Die Anforderungen und Maßnahmen werden zu Beginn festgelegt. Anschließend werden die passenden Definitionen geschrieben, die diese widerspiegeln.

entwickeln: Nach Festlegung des grundlegenden Designs müssen die einzelnen Bereiche ausgearbeitet und entwickelt werden. Es wird bestimmt, was und wie etwas gemessen werden soll. Zur Eingrenzung der zu untersuchenden Bereiche kann eine Literaturrecherche und die Erarbeitung der „kritischen Erfolgsfaktoren“ (vgl. Abschnitt 2.2.4) durchgeführt werden. Eine nachfolgende Priorisierung kann mithilfe verschiedener Techniken wie der Nominal-Group-Technik, der Delphi-Methode, Fallstudien und/oder Diskussionen in Fokusgruppen durchgeführt werden, um die spezifischen Fragen der (Unter-)Bereiche zu entwickeln.

testen: Es ist zwingend nötig, das entwickelte Reifegradmodell zu testen und auf Gültigkeit, Zuverlässigkeit und Verallgemeinerbarkeit hin zu überprüfen. Eine Überprüfung der Konstruktvalidität ist notwendig.

anwenden: Wenn das Modell validiert wurde und übertragbar ist, sollte es auch angewendet werden. Das Reifegradmodell soll einer breiten Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt werden und von vielen Unternehmen verwendet werden, um den letzten Schritt zur Standardisierung und weltweiten Akzeptanz zu erreichen.

warten: Die kontinuierliche Überprüfung der Relevanz, Wartung und Entwicklung von Lehr- und Schulungsmethoden ist unerlässlich für den Erfolg eines Reifegradmodells.

Nach Maier

(Maier et al., 2011) beschreibt in einer wissenschaftlichen Veröffentlichung eine Anleitung zur systematischen Entwicklung einer Reifematrix, die so-

wohl für Praktiker aus der Industrie als auch für akademische Forscher geeignet ist. Eine solche entwickelte Reifematrix kann mithilfe von definierten Parametern zur Verbesserung von Prozessen, Anwendung von Interventionen und generellem Änderungsmanagement beitragen.

Es wird ein allgemeingültiges Vorgehen vorgeschlagen, welches in vier Phasen eingeteilt ist (vgl. Abbildung 2.17).

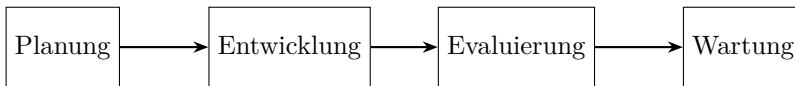


Abbildung 2.17: Entwicklungsschritte jeder Phase: Maier (Maier et al., 2011)

Planung: In der ersten Phase werden die Zielgruppen definiert und festgelegt, an die das zu entwickelnde Verfahren gerichtet werden soll. Es müssen Gruppen von Personen benannt werden, die sich damit auseinandersetzen. Die Erarbeitung von Zielen und Zwecken des Bewertungsverfahrens sind wesentliche Bestandteile der ersten Schritte. Soll das Verfahren allgemeine oder bestimmte Bereiche abdecken? Es ist wichtig, Erfolgskriterien präzise zu definieren, um später eine Evaluierung der Anwendung des entwickelten Verfahrens durchführen zu können. Nur so kann überprüft werden, ob das Verfahren den erforderlichen Zweck und das Ziel erfüllt.

Entwicklung: Zu Beginn werden die Schlüsselprozessbereiche ausgewählt, die den Umfang der Bewertung bestimmen. Diese Bereiche können von Experten benannt werden, wobei die Auswahl von ihrer Expertise und Erfahrung abhängt. Weitere Bereiche können durch eine Literaturrecherche identifiziert werden. Zudem sollten die verschiedenen Reifegrade klar und eindeutig definiert sein und einen logischen Zusammenhang aufweisen, um eine klare Interpretation der Ergebnisse zu ermöglichen. Sobald die Reifegrade definiert wurden, müssen Beschreibungen für die einzelnen Prozessbereiche und Ebenen formuliert werden. Dabei ist darauf zu achten, dass sie präzise, prägnant und eindeutig sind. Abschließend sollte festgelegt werden, wie das entwickelte

Verfahren den Nutzern zur Verfügung gestellt wird. Ein papierbasiertes Vorgehen wird in der Regel gewählt, um das Bewusstsein und die Leistung zu verbessern. Hingegen ermöglicht ein elektronisches Bewertungsverfahren einen überregionalen Vergleich.

Evaluierung: Der Übergang von der Entwicklung-Phase zur Evaluierungs-Phase verläuft fließend. Die Evaluierung beruht auf den Erfahrungen der beteiligten Unternehmen sowie dem Feedback der Teilnehmer. Anpassungen sind möglich und notwendig, wobei diese iterativ verfeinert werden sollten. Die Evaluation sollte so lange fortgesetzt werden, bis keine wesentlichen Änderungsvorschläge der Teilnehmer mehr vorliegen und/oder die Ergebnisse zufriedenstellend sind. Außerdem ist es von großer Bedeutung, die Auswertungen und Ergebnisse, die durch die Anwendung in der Praxis gewonnen wurden, auf ihre Korrektheit zu überprüfen. Es sollte daher unbedingt geprüft werden, ob die Ergebnisse des Autors mit dem Verständnis der Teilnehmer übereinstimmen. Darüber hinaus müssen die Tests in der Praxis wiederholbar sein.

Wartung: Die Wartung ist ein fortlaufender Prozess. Hier müssen die definierten Bereiche regelmäßig überprüft werden, um festzustellen, ob möglicherweise neuere technologische Lösungen und Best Practices existieren. Benchmarks können dabei helfen, solche Neuerungen aufzuzeigen. Wenn wesentliche Änderungen vorgenommen werden müssen, ist die Evaluierungsphase zu wiederholen.

Nach Mettler

Mettler (2009) beschäftigte sich mit der Entwicklung eines Reifegrads für Informationssysteme. Wesentlich ist hierbei, die theoretische Entwicklung und die spätere Anwendung nicht voneinander zu trennen, sondern eng miteinander zu verzahnen, damit sie parallel und unabhängig voneinander durchgeführt werden können. Eine Übersicht der Methode ist in Abbildung 2.18 dargestellt. Entscheidungen, die in der Anwendung getroffen werden, haben einen unmittelbaren Einfluss auf weitere Anwendungen des Modells (Mettler, 2009, 2011).

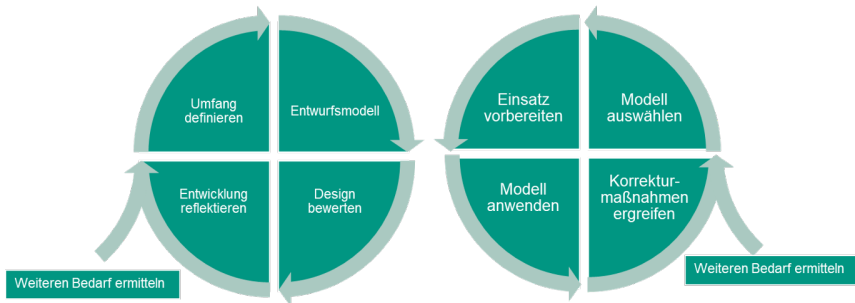


Abbildung 2.18: Entwicklungsschritte jeder Phase: Mettler (Mettler, 2009, 2011)

Umfang: Zu Beginn muss der Fokus des zu entwickelnden Reifegradmodells festgelegt werden. Soll das Modell eher allgemeine Themen behandeln oder ist es spezifischer Natur? Es muss festgelegt werden, wie breit das Reifegradmodell angelegt sein soll und für welche Zielgruppe es entwickelt wird. Soll das Modell auf Mitarbeiterebene, auf Organisationsebene, organisationsübergreifend oder gar auf globaler Ebene angewendet werden? Aus diesen Überlegungen ergibt sich auch das Verbreitungskonzept des Modells: Ist es öffentlich oder nur für bestimmte Gruppen zugänglich?

Entwurf: In der Entwurfsphase wird das Modell entwickelt, wobei der Reifegrad und die Betrachtungsebene (prozess-, objekt-, personenorientiert oder eine Kombination) festgelegt werden müssen. Darüber hinaus gibt es verschiedene Möglichkeiten, die Methode zu entwickeln: Akademisch orientiert durch reine Literaturrecherche oder praxisorientiert durch Experten und Gruppendiskussionen, wobei hier das Ergebnis stark von den Fähigkeiten der befragten Personen abhängt.

Bewertung: Die anschließende Bewertung befasst sich mit der Verifizierung und Validierung des entworfenen Reifegradmodells. Die Verifizierung beschreibt, ob die konzeptionelle Beschreibung ausreichend genau ist, die Validierung gibt an, wie genau das Modell die Realität widerspiegelt.

Reflexion: In der abschließenden Reflexion wird das Modell kritisch hinterfragt. Die Aktualität des Modells wird überprüft, indem neue Reifegradanforderungen oder neue Best-Practice-Lösungen sowie neue Technologien untersucht werden. Falls das Modell angepasst werden muss, wird mit der Anpassung begonnen.

Auswahl: Zu Beginn der praktischen Phase muss ein Modell ausgewählt werden, das angewendet werden soll und geklärt werden, wie es zugänglich gemacht werden kann.

Vorbereitung: In der Vorbereitung muss festgelegt werden, wo und von wem das Modell angewendet wird und wer für die Umsetzung verantwortlich ist.

Anwendung: Mit der Anwendung ist zu klären, in welcher Frequenz das Modell angewendet werden soll.

Korrekturmaßnahmen: Die anschließende Interpretation und kritische Reflexion der Ergebnisse führt zu möglichen Anpassungen. Es ist zu prüfen, ob und wie Änderungen vorgenommen werden müssen und ob diese in einem spezifischen Projekt erarbeitet werden müssen oder „on the fly“ geändert werden können.

2.4 Optimierungsmethoden

Im weiteren Verlauf der Arbeit (Abschnitt 6) wird eine Optimierungsmethode angewandt, die im Folgenden kurz erläutert wird.

2.4.1 Genetischer Algorithmus

Ein Genetischer Algorithmus ist eine Optimierungstechnik, die von der biologischen Evolution (Forrest, 1996) inspiriert wurde. Diese Technik wird verwendet, um Lösungen für komplexe Such- und Optimierungsprobleme zu finden. Genetische Algorithmen basieren auf den Prinzipien der natürlichen Selektion und der genetischen Vererbung und finden in der Wissenschaft

breite Anwendung. Die grundlegenden Komponenten eines Genetischen Algorithmus sind (Srinivas and Patnaik, 1994):

Population: Die Population ist eine Menge möglicher Lösungen für ein gegebenes Problem, welche vorhanden oder gegeben falls erstellt (Anfangspopulation) wird. Jede Lösung wird als „Individuum“ bezeichnet und durch eine Folge von Parametern repräsentiert.

Fitnessfunktion: Die Fitnessfunktion bewertet, wie gut jedes Individuum die Anforderungen des Problems erfüllt. Diese weist jedem Individuum einen „Fitnesswert“ zu, mit dessen Hilfe die einzelnen Individuen verglichen werden können.

Selektion: Individuen mit höheren Fitnesswerten haben bessere Chancen, für die nächste Generation ausgewählt zu werden. Dies spiegelt die natürliche Selektion wider, bei der „fittere“ Organismen eine höhere Überlebenschance haben.

Crossover: In diesem Schritt werden zwei ausgewählte Individuen miteinander kombiniert, um neue Individuen zu erzeugen. Dadurch wird die genetische Vererbung und der Informationsaustausch zwischen den Eltern simuliert. In der Literatur werden zwei Haupttypen von Crossover unterschieden: (Umbarkar and Sheth, 2015)

1. 1-Punkt Crossover: Hier werden zwei Elternteile ausgewählt und dann zufällig einen beliebigen Kreuzungspunkt gewählt. Die Nachkommen werden durch die Kombination der Eltern am Kreuzungspunkt erstellt. Ein Beispiel hierfür ist:

(a) Eltern-A: 1010|10010 / Eltern-B: 1011|10110

i. Nachkommen-1: 1011|10010

ii. Nachkommen-2: 1010|10110

2. k-Punkt Crossover: Es werden zwei Elternteile verwendet und anschließend zufällig ein k Crossover-Punkt ausgewählt. Die Nachkommen werden durch die Kombination der Eltern am Kreuzungspunkt erstellt. Ein Beispiel hierfür ist:

(a) Eltern-A: 10|10|100|10 / Eltern-B: 11|00|101|10

- i. Nachkommen-1: 10|00|100|10
- ii. Nachkommen-2: 11|10|101|10
- iii. Nachkommen-3: 10|10|101|10
- iv. Nachkommen-4: 11|00|101|10
- v. uvm.

Mutation: In diesem Schritt werden zufällige Änderungen der Parameter eines Individuums eingeführt, um die genetische Vielfalt zu erhalten. Dadurch kann der Algorithmus den Suchraum verlassen und neue Lösungen erkunden. Auf diese Weise werden nicht nur lokale Maxima gefunden.

Ersetzen: Die neuen Individuen ersetzen einen Teil der alten Generation, wobei der Fitnesswert ausschlaggebend ist.

Iteration: Die Schritte werden für eine bestimmte Anzahl von Generationen oder bis zum Erreichen eines Konvergenzkriteriums wiederholt.

Genetische Algorithmen sind besonders nützlich, wenn es viele mögliche Lösungen gibt und somit der Suchraum sehr groß ist. Sie haben die Fähigkeit, in großen und komplexen Suchräumen nach qualitativ hochwertigen Lösungen zu suchen, indem sie eine große Anzahl von Lösungen ständig untersuchen und weiterentwickeln. Genetische Algorithmen sind jedoch keine Garantie für eine optimale Gesamtlösung und erfordern oft eine Feinabstimmung der Parameter, um effizient zu sein (Forrest, 1996, Srinivas and Patnaik, 1994).

Ein besonders leistungsfähiger Algorithmus für einen sehr großen Entscheidungsraum, der auf einem Genetischen Algorithmus zur Lösung von Multi-objective Optimization Problems (MOOPs) basiert, ist der nicht-dominierte Genetische Sortieralgorithmus (NSGA). Der Algorithmus wurde erstmals im Jahr 2000 veröffentlicht (Deb et al., 2000) und im Jahr 2002 genauer spezifiziert (Deb et al., 2002).

NSGA-II führt ein verbessertes Auswahlverfahren ein, das Archiv- und Elternpopulationen verwendet, um die Lösungsvielfalt zu erhöhen. Dies hat sich bei der Lösung von MOOPs als sehr effektiv erwiesen hat. NSGA-III

erlaubt die simultane Optimierung vieler Zielfunktionen und hilft bei der Erzeugung einer gut verteilten Menge von Pareto-optimalen Lösungen. Eine pareto-optimale Lösung ist eine Lösung in einem Mehrzieloptimierungsproblem, bei der keine der Zielfunktionen weiter verbessert werden kann, ohne eine oder mehrere der anderen Zielfunktionen zu verschlechtern. Mit anderen Worten, eine pareto-optimale Lösung ist ein Punkt im Entscheidungsraum, an dem es keine bessere Lösung gibt, die alle Ziele gleichzeitig optimiert. Jede Verbesserung in einem Ziel führt unweigerlich zu einer Verschlechterung in einem oder mehreren anderen Zielen. (Ishibuchi et al., 2016, Subramanian et al., 2009, Verma et al., 2021)

2.4.2 Rucksackproblem

Das Rucksackproblem ist ein mathematisches Problem, bei dem aus einer Liste von Gegenständen mit unterschiedlichem Gewicht und Wert ausgewählt werden muss, um den Rucksack mit einem begrenzten Kapazität so zu füllen, dass der Gesamtwert der ausgewählten Gegenstände (bzw. Wert) maximiert wird. Dabei darf das Gewicht der ausgewählten Objekte das Rucksacklimit nicht überschreiten (Ross and Tsang, 1989). Mathematisch lässt sich das Optimierungsproblem nach Gleichung 2.1 beschreiben: Aus einer Liste von Gegenständen (die jeweils einen individuellen Gewicht v_i und einen Einfluss x_i haben), diejenigen auszuwählen, deren Wert maximiert werden soll, während eine bestimmte Grenze W nicht überschritten wird (Salkin and De Kluyver, 1975). Einfache Rucksackprobleme lassen sich durch reine Kombinatorik lösen, komplexere können unter anderem durch die Zuhilfenahme von Genetischen Algorithmen gelöst werden (Chu and Beasley, 1998, Rezoug et al., 2018).

$$\text{maximieren von } \sum_{i=1}^N v_i x_i \leq W \quad (2.1)$$

Zertifizierungssysteme

Ziel dieser Arbeit ist die Entwicklung eines Verfahrens zur Bestimmung der Intelligenzfähigkeit eines Gebäudes. Dazu werden im folgenden Abschnitt verschiedene Zertifizierungssysteme aus unterschiedlichen Bereichen vorgestellt¹. Neben den klassischen Nachhaltigkeitszertifizierungssystemen wie Building Research Establishment Environmental Assessment Methodology (BREEAM), Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (DGNB) oder auch Leadership in Energy and Environmental Design (LEED) stehen weitere Zertifizierungssysteme im Fokus, die die Intelligenz bzw. „Digitalität“ von Gebäuden messen bzw. bewerten. Zertifizierungssysteme, die über die Bewertung von Gebäuden hinausgehen und den Fokus auf (Management-)Prozesse legen, werden explizit nicht betrachtet. Es gibt jedoch Zertifizierungssysteme, die zwar einen Gebäudebezug haben, sich aber primär auf (Management-)Prozesse beziehen. Diese Zertifizierungssysteme werden im Abschnitt 3.3 der Vollständigkeit halber kurz erwähnt. Um ein einheitliches Verständnis der Begrifflichkeiten zu gewährleisten, werden im Folgenden wesentliche Begriffe erläutert sowie in Abbildung 3.1 deren Zusammenhang dargestellt:

¹Es ist zu beachten, dass die Datenlage der einzelnen Zertifizierungssysteme sehr unterschiedlich ist. Insbesondere privatwirtschaftliche Zertifizierungssysteme halten sich mit Informationen zurück, da die Methodik des Systems das wesentliche Geschäftsmodell darstellt.

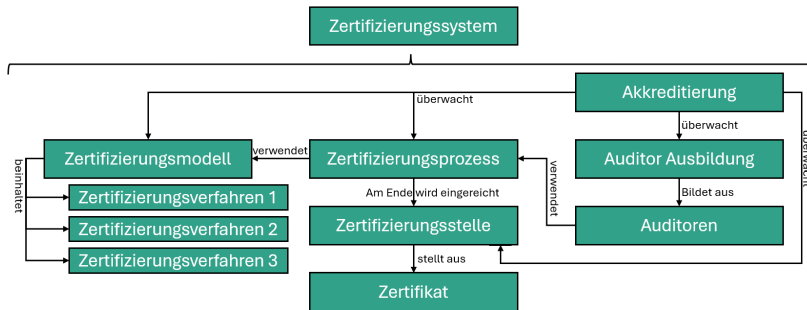


Abbildung 3.1: Übersicht der Begrifflichkeiten im Zertifizierungskontext (eigene Darstellung)

Zertifikat

Eine Zertifikat ist eine offizielle Bestätigung, dass ein Unternehmen, eine Person, ein Produkt oder ein Prozess bestimmte Anforderungen oder Standards erfüllt. Häufig wird ein Zertifikat von unabhängigen Institutionen oder Zertifizierungsorganisationen vergeben, die die Einhaltung der festgelegten Kriterien überprüfen. Als Resultat einer erfolgreichen Zertifizierung stellt das Zertifikat ein Zeugnis darüber aus, dass das zertifizierte Unternehmen, Person, Produkt oder Prozess bestimmten Qualitätsstandards entspricht oder bestimmte Fähigkeiten aufweist.

Zertifizierungssystem

Das Zertifizierungssystem ist ein weitreichender Begriff, der alle Aspekte und Komponenten einschließt, die für die Durchführung von Zertifizierungsaktivitäten notwendig sind. Es zieht mehrere Bereiche in Betracht: Zum Beispiel die Zertifizierungsstelle, die die Zertifikate ausstellt; die Akkreditierungsstelle, die die Zertifizierungsstellen überwacht; der Zertifizierungsprozess, bei dem die Kriterien geprüft werden; die Ausbildung der Zertifizierer sowie einschlägige Normen oder Standards, die für die Zertifi-

zierung gelten. Das Zertifizierungssystem gewährleistet die Glaubwürdigkeit und Zuverlässigkeit des Zertifikats.

Zertifizierungsprozess

Der Zertifizierungsprozess bezieht sich auf einen bestimmten Abschnitt oder Zeitraum innerhalb des Zertifizierungssystems. Zur Gewährleistung einer strukturierten und geordneten Vorgehensweise wird der Zertifizierungsprozess üblicherweise in mehrere Zertifizierungsphasen unterteilt. Diese können je nach Kontext variieren, beinhalten jedoch typischerweise:

1. Vorbereitungsphase: In dieser Phase werden die Bedingungen für die Zertifizierung geschaffen und die Zertifizierungsprüfung oder -bewertung vorbereitet.
2. Prüfungsphase: In dieser Phase wird eine Bewertung oder Prüfung durchgeführt, um zu entscheiden, ob die erforderlichen Kriterien für die Erlangung eines Zertifikats erfüllt sind. Das Zertifizierungsmodell bildet die Grundlage hierfür.
3. Abschlussphase: Nach erfolgreicher Prüfung und Erfüllung aller Anforderungen wird die Zertifizierung bei der Zertifizierungsstelle eingereicht.

Zertifizierungsmodell

Ein Zertifizierungsmodell beschreibt die Konzeption oder Struktur, gemäß der ein Zertifikat organisiert wird und definiert Zertifizierungsanforderungen. Es definiert die Kriterien und Verfahren, die erfüllt werden müssen, um ein Zertifikat zu erhalten. Ein Zertifizierungsmodell kann aus mehreren Zertifizierungsverfahren bestehen, die wiederum verschiedenste Methoden und Modelle verwenden. Ein Zertifizierungsverfahren kann beispielsweise eine Reifegradmodell oder eine Checkliste beinhalten.

Bewertungsmethode

Der Zertifizierungsprozess und eine Bewertungsmethode unterscheiden sich in ihrem Hauptzweck, ihrer Reichweite, Formalität und den resultierenden Ergebnissen. Der Zertifizierungsprozess zielt darauf ab, die Konformität einer Einheit mit spezifischen Standards sicherzustellen und führt zu einer formalen Zertifizierung. Dieser ist strukturiert und wird von unabhängigen Zertifizierungsstellen durchgeführt. Im Gegensatz dazu zielt eine Bewertungsmethode darauf ab, die Qualität, Leistung oder Effektivität von etwas zu analysieren. Sie kann formell oder informell sein und führt zu Erkenntnissen, ohne notwendigerweise zu einer Zertifizierung zu führen. Der Zertifizierungsprozess ist spezifisch und führt zu einem klaren Ergebnis. Bewertungsmethoden ermöglichen allgemeinere Analysen und können in verschiedenen Kontexten angewendet werden.

3.1 Zertifizierungssysteme der Nachhaltigkeit

3.1.1 BREEAM

BREEAM ist ein international anerkanntes Zertifizierungssystem für nachhaltige Gebäude. Es wurde vom *Building Research Establishment* in Großbritannien (BRE Group, o Ja) entwickelt und hat seit 1990 über 570.000 Gebäude bewertet (BREEAM, 2021). Dabei wird der gesamte Lebenszyklus von Gebäuden in neun Kategorien (BRE Group, o Jb) eingeteilt. Diese neun Kategorien gliedern sich in Management, Gesundheit und Wohlbefinden, Energie, Transport, Wasser, Materialien, Widerstandsfähigkeit, Boden und Ökologie sowie Emissionen (siehe Abbildung 3.2) auf (BREEAM, 2021).

BREEAM ist ein Bewertungssystem, das sich auf ökologische, soziale und wirtschaftliche Nachhaltigkeit konzentriert und die gesamte gebaute Umwelt umfasst. Das System verfolgt drei Hauptziele: die Förderung kontinuierlicher Leistungsverbesserungen und Innovationen, die Sensibilisierung von Gebäude- und Infrastrukturbetreibern für ihre eigenen Nachhaltigkeitsziele sowie die Schaffung von Vertrauen und Mehrwert durch eine unabhängige



Abbildung 3.2: Neun Kategorien von BREEAM
Neun Kategorien von BREEAM (in Anlehnung an (BRE Group, o Jb))

Zertifizierung. Tabelle 3.1 gibt einen Überblick über die zu erreichenden Ergebnisse.

Tabelle 3.1: Bewertungsskala mit Prozentangaben und Sternsymbolen

Bewertung	Prozent	Bewertungsstufe
herausragend	$\geq 85\%$	★★★★★
exzellent	$\geq 70\%$	★★★★
sehr gut	$\geq 55\%$	★★★
gut	$\geq 45\%$	★★
befriedigend	$\geq 30\%$	★
nicht klassifiziert	$< 30\%$	-

BREEAM stellt strenge, wissenschaftlich fundierte Anforderungen, die über die aktuellen Vorschriften und Praktiken hinausgehen. Dadurch werden kontinuierliche Verbesserungen und Innovationen gefördert, um ökologische, soziale und wirtschaftliche Nachhaltigkeit in der gebauten Umwelt

zu unterstützen. Darüber hinaus werden diejenigen, die Gebäude, Infrastruktur oder Gemeinden bauen, besitzen, betreiben oder verwalten, für die Nachhaltigkeitsziele sensibilisiert, die erreicht werden können.

Die unabhängige Zertifizierung durch BREEAM zeigt die Vorteile nachhaltiger Gebäude, Infrastrukturen und Kommunen für den Einzelnen, die Wirtschaft, die Gesellschaft und die Umwelt auf. Die Förderung von Nachhaltigkeit in der gebauten Umwelt schafft langfristige Vorteile und eine bessere Zukunft für alle (BREEAM, 2021). Das BREEAM-System hat unterschiedliche Zertifizierungsprozesse und -modelle für unterschiedliche Gebäude, Objekte oder Projekte in den unterschiedlichen Lebenszyklen (BREEAM, 2021):

- Neubau
- Bestand Wohnen
 - Teil 1 - Qualität des Gebäudes
 - Teil 2 - Qualität des Gebäudebetriebs
- Bestand Gewerbe
 - Teil 1 - Qualität des Gebäudes
 - Teil 2 - Qualität des Gebäudebetriebs

BREEAM berücksichtigt jedoch (fast) keine Komponente eines digitalen Gebäudes. Nachfolgend wird eine kurze Übersicht dargestellt, welche Sensoren bzw. Aktoren in BREEAM DE/AT/CH Bestand V6.0 (BREEAM, 2021) abgefragt werden:

- Qualität des Gebäudes: (Hea 09) Kohlenstoffdioxid-Warmmeldesystem (BREEAM, 2021)
 - Sind im Gebäude Sensoren installiert, die die CO₂-Konzentration der Innenraumluft überwachen?

- Qualität des Gebäudes: (Ene 17) Außenbeleuchtung (BREEAM, 2021)
 - Welche Art von Außen- und Parkplatzbeleuchtung ist vorhanden?
 - [...] mit automatischen Energiesparfunktionen ausgestattet
 - [...]:
 - Automatische Energiesparfunktionen umfassen Tageslichtsensoren für das automatische Ein- und Ausschalten der Beleuchtung am Tage sowie Präsenzmelder in unregelmäßig frequentierten Fußgängerbereichen.

3.1.2 DGNB

Die Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (DGNB) wurde 2007 als gemeinnütziger Verein mit Sitz in Stuttgart gegründet. Die DGNB setzt sich für die nachhaltige Entwicklung von Gebäuden und Quartieren ein. Ziel ist es, den Bau- und Immobilienmarkt zu nachhaltigem Handeln zu bewegen. Dazu vergibt die DGNB Zertifizierungen in Bronze, Silber, Gold und Platin, die das Qualitätsverständnis und den Nachhaltigkeitsbegriff der DGNB widerspiegeln, der ökologische, ökonomische und soziokulturelle Aspekte umfasst. Mit mehr als 8.700 zertifizierten Projekten und einer Fläche von 57,5 Millionen Quadratmetern ist die DGNB Marktführer für Gebäudezertifizierungen in Deutschland (DGNB GmbH, 2023).

Das DGNB-System berücksichtigt verschiedene Gebäude-(bereiche) die in unterschiedlichen Lebenszyklusphasen angewendet werden: bei Neubauten, bei Sanierung von Gebäuden, im Betrieb von Gebäuden, beim Rückbau von Gebäuden, bei Gebäudequartieren oder nur die Innenräume eines Gebäudes. Für jedes der zuvor genannten Lebenszyklusphasen sind individuelle Kriterien definiert worden. Eine Übersicht aller verwendeten Kriterien können aus dem Anhang aus Abbildung A.1 und A.2 entnommen werden. Generell werden fünf Themenbereiche berücksichtigt: die ökologische Qualität, die ökonomische Qualität, die soziokulturelle und funktionale Qualität, die technische Qualität, die Prozessqualität sowie die Standortqualität. Eine Übersicht der Verteilung der einzelnen Themenbereiche der jeweiligen Systeme sind in Abbildung 3.3 zu entnehmen.

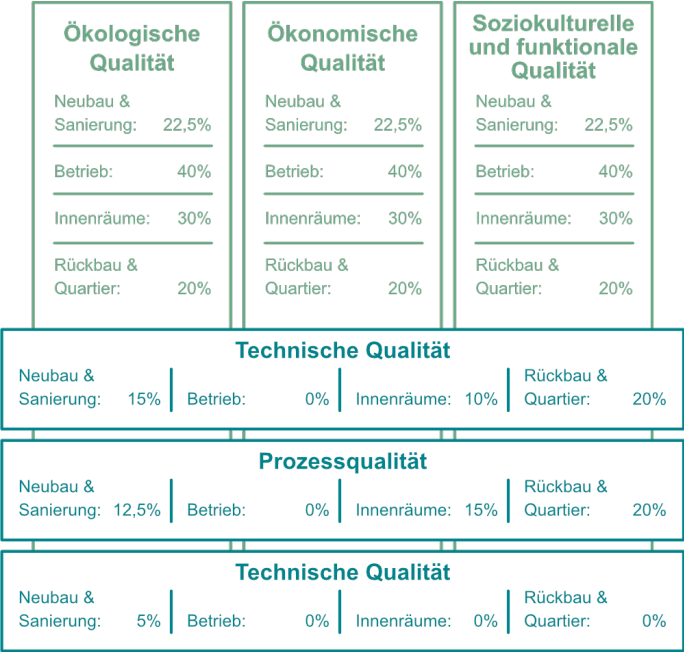


Abbildung 3.3: Übersicht aller Verteilungen der DGNB Systeme (in Anlehnung an (DGNB GmbH, 2023))

Die einzelnen Zertifizierungsbereiche haben wenig mit einem smarten oder intelligenten Gebäude zu tun. Vielmehr werden Ergebnisse bzw. Grenzwerte abgefragt, die nicht überschritten werden dürfen. So wird z.B. in SOC1.1 abgefragt, ob die Raumluft während der Heizperiode (auch bei niedrigen Außentemperaturen bzw. trockener Außenluft) nicht zu trocken ist, d.h. die Raumluftfeuchte nicht unter 25% liegt (DGNB GmbH, 2021). Die Einhaltung dieser Grenzwerte kann mit Hilfe von Technologien, aber auch mit nicht-technologischen Methoden erreicht werden. Mögliche Technologien werden nicht explizit abgefragt.

Wenn Technologien direkt abgefragt werden, dann nur sehr allgemein und mit sehr geringem Einfluss auf das Gesamtergebnis. So werden in TEC1.4

im Indikator 4.2 „Integrierte Systeme“ (DGNB GmbH, 2021) mögliche offene und standardisierte Protokolle in bestehenden Netzen abgefragt. Der Einfluss auf das Gesamtergebnis beträgt $\frac{10}{100} \times 2,3\% = 0,23\%$, was einen sehr geringen Einfluss auf das Gesamtergebnis hat.

3.1.3 LEED

Das Bewertungssystem LEED wurde 1994 vom gemeinnützigen *US Green Building Council* entwickelt. Es ist das weltweit am weitesten verbreitete Verfahren mit hoher Akzeptanz bei Nutzern und auf den internationalen Immobilienmärkten und setzt einen Standard für umweltgerechtes Bauen. Gegenüber den allgemeinen Grundsätzen des BREEAM-Systems weist LEED einige methodische Unterschiede auf. Während das BREEAM-System eine relative Zielerreichung über Punkte berechnet, handelt es sich bei LEED um ein „reines“ Punktesystem. Es werden keine Gewichtungsfaktoren zwischen den einzelnen Kategorien verwendet, die Gewichtung erfolgt implizit durch die Vergabe von Punkten für die einzelnen Kriterien. (Council, 2014, GGBA e.V., 2023)

Die Bewertung einer oder mehrerer Immobilien erfolgt anhand von acht Themenfeldern, die alle wichtigen Aspekte der Nachhaltigkeit abdecken:

Infrastrukturelle Einbindung des Standortes, Grundstücksqualitäten, Wassereffizienz, Energie & globale Umweltwirkungen, Materialkreisläufe & Ressourcenschonung, Innenraumluftqualität, Innovationen und Boni für Kriterien mit standortbedingt besonderer Bedeutung.

Im Rahmen der Bewertung werden die Kriterien in den oben genannten Themenfeldern bewertet. Je nach erreichter Punktzahl kann ein Projekt oder Gebäude eine von vier LEED-Bewertungsstufen erreichen: Certified, Silver, Gold oder Platinum. Je höher die Stufe, desto nachhaltiger und umweltfreundlicher ist das Gebäude. (Council, 2014, GGBA e.V., 2023)

Das LEED-Zertifizierungssystem berücksichtigt sensorische und aktorische Technologien in Gebäuden, jedoch nicht als eigenständige Kategorie, sondern integriert diese in die acht Themenfelder. Der Fokus liegt dabei auf der

Erhebung von Daten, welche die Bereiche Energie und Komfort betreffen. Zu den wesentlichen Anwendungen zählen beispielsweise CO-Sensoren und Sensoren zur Messung flüchtiger organischer Verbindungen (VOCs), welche eine negative Entwicklung der Luftqualität anzeigen können. Des Weiteren werden Punkte für den Einsatz von Temperatur- und Feuchtigkeitssensoren vergeben, welche ebenfalls einen Beitrag zum thermischen Komfort leisten. Auch die Überwachung des Energie- und Wasserverbrauchs wird entsprechend honoriert. (Council, 2014)

Obwohl LEED die Relevanz dieser Technologien anerkennt, werden keine konkreten Vorgaben hinsichtlich der zu verwendenden Technologien oder Sensoren gemacht. Stattdessen erfolgt eine Evaluierung der Integration solcher Technologien in das Gesamtkonzept der Gebäudeeffizienz und Nutzergesundheit. (Council, 2014)

3.2 Zertifizierungssysteme: digitale Gebäude

Neben den Nachhaltigkeitszertifizierungssystemen gibt es Zertifikate und Bewertungsmethoden, die sich auf intelligente und smarte Gebäude konzentrieren. Da das Thema des digitalen Gebäudes ein globales ist, werden mehrere Zertifizierungssysteme aus Europa aber auch aus Kanada, den USA und China identifiziert und nachfolgend vorgestellt. Jedes System wird eingeordnet sowie den Umfang und die Methode beschrieben² und abschließend kurz beurteilt.

3.2.1 Building Intelligence Quotient

Einordnung

Continental Automated Buildings Association (CABA) ist eine kanadische nicht-gewinnorientierte Organisation, die seit 1988 besteht und im Jahr 2022 mehr als 400 Unternehmen umfasst, die hauptsächlich im Bereich der intelligenten Gebäudevernetzung tätig sind. Im Juli 2023 wurde

²soweit wie es die Informationslage zulässt

CABA in Association for Smarter Homes & Buildings (ASHB) umbenannt. Der branchenübergreifende Zusammenschluss von Hardwareherstellern, Softwareentwicklern und Integratoren hat das gemeinsame Ziel, durch Zusammenarbeit die gebaute Umwelt lebenswerter, nachhaltiger, intelligenter und effizienter zu gestalten (CABA - The Continental Automated Buildings Association, 2021).

Zu Beginn des neuen Jahrtausends hat sich ASHB das Ziel gesetzt, eine Bewertungsmethode zu entwickeln, die die Intelligenz eines Gebäudes quantifiziert. Dabei versteht die entwickelte Methode unter dem Begriff „intelligentem Gebäude“, dass durch den Einsatz von Technologien und Prozessen ein Gebäude geschaffen wird, das für den Nutzer sicherer und produktiver ist und der Eigentümer das Gebäude effizienter betreiben kann. Die Definition des Begriffs „intelligentes Gebäude“ wird als sehr komplex bezeichnet und kann nur durch mehrere Bereiche und Branchen quantifiziert werden. Ein „intelligentes Gebäude“ kann daher nicht als „einfaches Ding“ beschrieben werden. Als Ergebnis dieser Entwicklung entstand 2006 der Building Intelligence Quotient (BiQ). (Katz and Skopek, 2009)

Das BiQ-Verfahren hat drei grundlegende Methoden, um ein Gebäude strategisch zu verbessern (Katz and Keel, 2008, Katz and Skopek, 2009).

Die Methode dient als:

1. ein Mittel zur Bewertung und Messung des „Wertes“ eines intelligenten Gebäudes
2. ein Leitfaden für die Integration von Gebäudeintelligenz
3. ein Aktionsplan-Tool für die Nachrüstung bestehender Gebäude mit Gebäudeautomation

Darüber hinaus kann das Verfahren als Grundlage für verschiedene Benchmarks verwendet werden. Der Vergleich eigener oder auch fremder Gebäude ist möglich, da die Daten in einer anonymisierten Datenbank gespeichert werden können. Auf Basis dieser Daten sind statistische Auswertungen

möglich (Katz and Keel, 2008, Katz and Skopek, 2009). Es wird davon ausgegangen, dass eine höhere Gebäudeintelligenz den Gebäudewert steigert, den Komfort, die Sicherheit und die Flexibilität verbessert und gleichzeitig durch eine höhere Zuverlässigkeit des Gebäudes die Kosten senkt und die Produktivität steigert (Katz and Skopek, 2009).

Das mittlerweile etwas ältere Verfahren wird aktuell um weitere Fragestellungen angepasst. Die Version 2.0 behandelt unter anderem markt- und sozioökonomische Themen, Trends und Anforderungen. BiQ 2.0 berücksichtigt folgende Bereiche (Katz, 2010):

1. kontinuierliche Erweiterung von Echtzeit-Systemdaten, Datenanalyse und Weiterentwicklung von Systemkriterien zur Bewertung der laufenden Leistung
2. Ermöglichung von *predictive maintenance*
3. Fähigkeit zur Teilnahme am Smart Grid
4. kostengünstiger Einsatz drahtloser Technologien zur Verbesserung der Nutzerumgebung und Optimierung des Energieverbrauchs (Heating, Ventilation and Air Conditioning (HVAC) und Beleuchtung)
5. Erweiterung der Berichterstattung der Nachhaltigkeit (Global Reporting Initiative)
6. Bereitstellung von Energie- und Leistungskennzahlen, die eine kontinuierliche Verbesserungen und Energieeinsparungsziele verfolgen
7. Schaffung einer Grundlage für das Netto-Nullenergiehaus bis 2025

Umfang

Das Bewertungsverfahren betrachtet Gebäudeautomationssysteme in bestehenden großen Gebäudekomplexen wie z.B. Bürogebäuden und unterstützt damit Planungs- und Lebenszykluskostenprozesse. Durch den Vergleich mit anderen Unternehmensportfolios können die einzelnen Stakeholder

und Akteure bessere Entscheidungen über zukünftig notwendige Automatisierungsmaßnahmen treffen. Die übersichtliche Auswertung gibt den Beteiligten Rückmeldung, welche Maßnahmen sinnvoll bzw. umsetzbar sind. Das Zertifizierungsverfahren umfasst Komponenten aus unterschiedlichen Bereichen, welche nachfolgend aufgelistet sind. Im Anhang A.3.2 sind weitere Unterpunkte dargestellt. (Katz and Skopek, 2009)

1. Systemübersicht
2. Stromverteilung für Büros
3. Sprach- und Datensysteme für Büros
4. Verbindungsoption für das Gebäude
5. Intelligente Gebäudesysteme
6. Gebäude-/Facility-Management-Anwendungen
7. Betrieb im herabgesetzten Modus
8. Gebäudeautomatisierungsumgebung

Methoden

Um die Intelligenz eines Gebäudes nach dem BiQ-Verfahren zu bestimmen, müssen insgesamt 329 Fragen aus den verschiedenen Bereichen (vgl. Anhang A.3.2 und Tabelle 3.2) beantwortet werden. Bei einem Großteil der Fragen besteht nur die Auswahlmöglichkeit zwischen „ja“ oder „nein“ (hier: vorhanden oder nicht vorhanden). Bei einem kleineren Teil der Fragen besteht zusätzlich die Möglichkeit, „N/A“ auszuwählen. Es ist anzumerken, dass die Fragen teilweise sehr allgemein gehalten sind oder nur Technologien abfragt werden, ohne auf den Einfluss oder das Ziel dieser Technologie einzugehen. Zur Veranschaulichung werden 2 Fragen dargestellt:

Tabelle 3.2: Prozentuale Verteilung des Building Intelligence Quotient

Bereich	Prozent	Anzahl Fragen
Systemübersicht	10	39
Stromverteilung für Büros	5	9
Sprach- und Datensysteme für Büros	4	10
Verbindungsoption für das Gebäude	5	18
Intelligente Gebäudesysteme	52	174
Gebäude-/Facility-Management-Anwendungen	8	21
Betrieb im herabgesetzten Modus	5	28
Gebäudeautomatisierungsumgebung	11	30
Summe	100	329

- „Systems Overview - Cost/Benefit Analysis“
 - Vorteile durch erhöhte Mitarbeiterzufriedenheit und -komfort.
 - * ja
 - * N/A
 - * nein
- „Intelligent Building System Features - Lighting Features“
 - Möglichkeit für Einzelpersonen, die aktuelle Beleuchtung zu ändern: Kann die Beleuchtung je nach Raumnutzung angepasst werden?
 - * ja
 - * N/A
 - * nein

Jeder Antwortmöglichkeit ist eine Gewichtung zugeordnet, sodass bei Erfüllung dieser Frage (Auswahl „ja“) die Gesamtintelligenz des Gebäudes steigert. Die Gewichtungen sind nicht gleich verteilt und sind durch die Methodik definiert. Tabelle 3.2 gibt die prozentuale Verteilung der Bereiche und deren Fragenanteil wieder.

Die Beantwortung der Fragen kann auf zwei verschiedene Arten erfolgen. Zum einen besteht die Möglichkeit, die vorhandenen Fragen selbst

auszufüllen. Zum anderen hat CABA in Zusammenarbeit mit einem Bildungsinstitut (Katz and Skopek, 2009) ein Validierungs-, Schulungs- und Zertifizierungsprogramm zur Ausbildung von Gutachtern eingeführt. Diese fachlich ausgebildeten Personen sind in der Lage, den BiQ-Score neutral und unabhängig zu ermitteln, sodass eine objektive Validierung gewährleistet werden kann. Nach erfolgreichem Abschluss des BiQ wird das Gebäude je nach BiQ-Score mit Silber, Gold oder Platin ausgezeichnet. (Katz and Keel, 2008)

Beurteilung

Der Building Intelligence Quotient stellt ein umfassendes und nützliches Bewertungsinstrument dar, welches dazu dient, die Intelligenz von Gebäuden in Bezug auf Automatisierung, Energieeffizienz und Nutzerkomfort zu messen. Aufgrund der Standardisierung der Fragen und Gewichtungen gewährleistet das BiQ-Verfahren eine transparente und objektive Evaluation.

Tabelle 3.3: Tabellarische Zusammenfassung: Building Intelligence Quotient

Allgemein	
<ul style="list-style-type: none">• für große Nichtwohngebäude geeignet (vorwiegend Bürogebäude)• umfasst die Energieverteilung, Kommunikations- und Netzwerksysteme und externe Anbindung des Gebäudes.	
Pro	Contra
<ul style="list-style-type: none">⊕ Von unterschiedlichen Stakeholdern entwickelt⊕ transparentes Bewertungsverfahren	<ul style="list-style-type: none">⊖ Mit 329 Fragen sehr umfangreich⊖ teilweise sehr allgemeine Fragen, ohne genauen Bezug zur Technologien

Als potenzieller Nachteil des Verfahrens kann dessen Komplexität mit 329 Fragen identifiziert werden, wodurch die Erhebung einen hohen zeitlichen Aufwand erfordert. Des Weiteren besteht aufgrund der teilweise allgemeinen Fragestellung Unklarheit darüber, ob das Kriterium erfüllt ist bzw. ab welchem Zeitpunkt das Kriterium als erfüllt gilt. Die Antwortmöglichkeiten „Ja“ und „Nein“ lassen keine Differenzierungen zu, wodurch die Realität nicht adäquat abgebildet wird. Insgesamt stellt der BiQ jedoch eine wertvolle Methode zur Bewertung intelligenter Gebäude dar.

3.2.2 Smart System aus China

Einordnung

Die Volksrepublik China hat das Zertifizierungssystem (T/CREA 002 2020 T/CBIMU 14 2020) für intelligente Gebäude im Jahr 2020 verabschiedet, das die Funktionalität eines intelligenten Gebäudes definiert. Verantwortliche Institution ist die China Real Estate Association (CREA) als Hauptinitiator in Zusammenarbeit mit dem Forschungszentrum für intelligente Gebäudetechnik in Jiangsu. Die Kennung (T/CREA 002-2020) ermöglicht eine genauere Einordnung: Das „T“ steht für „Verband“ (chinesisch „Tuanti“), somit handelt es sich um einen Verbandsstandard der Immobilienwirtschaft. Ein Verbandsstandard hat in China keine gesetzliche Verbindlichkeit, es sei denn, er wird vertraglich als verbindlich festgelegt. Dies kann auch mit einer Richtlinie gleichgesetzt werden. Ein solcher Standard soll bestimmte Wirtschaftszweige fördern und bestimmte Anforderungen an ein Unternehmen und den Markt stellen. (中国房地产协会, 2020)

Umfang

Dieses Zertifizierungssystem kann sowohl für ein einzelnes Gebäude als auch für Gebäudequartiere angewendet werden. Das Zertifizierungssystem versteht unter einem intelligenten Gebäude, dass *„Technologien wie IoT, Cloud Computing, Big Data, AI verwendet werden und durch automatisierte Wahrnehmung, allgegenwärtige Vernetzung, Echtzeit-Datenübertragung und Informationsintegration in der Lage ist, selbst zu lernen, selbst zu*

diagnostizieren, Entscheidungen des Menschens zu fördern und Aktionen auszuführen. Dadurch werden Sicherheit, Nachhaltigkeit, Effizienz und Wirtschaftlichkeit in der bebauten Umwelt realisiert.“ (中国房地产协会, 2020) Das Verfahren bewertet insgesamt acht Bereiche, wobei für jeden Bereich eine unterschiedliche Anzahl von Inhalten abgefragt wird. In jedem Bereich gibt es Mindestanforderungen, die erfüllt sein müssen. Die acht Bereiche lauten: (中国房地产协会, 2020)

1. Informationsinfrastruktur: In diesem Bereich wird die Grundkonzeption für die Kommunikations- und Datenverarbeitungsleistung eines intelligenten Gebäudes berücksichtigt. Es werden die Mindestanforderungen an ein Gebäude definiert, sodass ein intelligentes Gebäude über leistungsfähige Kommunikationseinrichtungen in Bezug auf Bandbreite und Stromversorgungsdesign verfügt.
2. Datenressourcen: In diesem Bereich geht es um den Umgang mit den erfassten Daten und den gewonnenen Datenressourcen innerhalb des Gebäudes. Voraussetzung ist, dass ein smartes Gebäude über eine klare Strategie zur Nutzung der Datenressourcen verfügt und die erfassten Daten auf einem Server in China gespeichert werden. Die Bewertung erfolgt nach folgenden Kriterien: Datenerfassung, Datenqualität, Datennutzung, Schnittstelle und Fernzugriff sowie Datenschutz.
3. Sicherheit und Katastrophenschutz: Ein intelligentes Gebäude sollte Systeme integrieren, die sowohl die Sicherheit des Gebäudes als auch den Schutz vor Katastrophen gewährleisten, einschließlich Brandschutzmaßnahmen.
4. Ressourcenschonung und -nutzung: In diesem Bereich geht es um den optimierten Einsatz von Ressourcen in einem intelligenten Gebäude in Bezug auf Klimatisierung, Beleuchtung, Wasserverbrauch sowie die Nutzung von Tageslicht zur Beleuchtung. Energiemanagement und Nachhaltigkeit spielen dabei eine entscheidende Rolle.
5. Gesundheit und Komfort: Ein Gebäude, das als „gesundes Gebäude“ bezeichnet wird, bietet eine Umgebung sowie Einrichtungen und

Dienstleistungen, die zum körperlichen, geistigen und sozialen Wohlbefinden der Nutzer beitragen. Die genaue Definition eines gesunden Gebäudes ist im Verbandsstandard „Assessment Standard for Healthy Building (T/ASC 02-2021)“ festgelegt.

Im Kontext eines intelligenten Gebäudes wird die Qualität der Innenraumluft überwacht. Darüber hinaus ist es ein Ziel des intelligenten Gebäudes, die Qualität des Trink- und Brauchwassers zu überwachen.

6. **Dienstleistung und Zugänglichkeit:** In einem intelligenten Gebäude werden gezielt digitale Werkzeuge eingesetzt, um die Funktionalität des Gebäudes zu unterstützen. Ein wesentlicher Bestandteil des intelligenten Gebäudes ist ein Facility-Management-System, das verschiedene Aspekte wie die Verwaltung der Gebäudeausrüstung, Reinigung, Mietverträge, Begrünung und das interne Verwaltungspersonal abdeckt.
7. **Intelligente Konstruktion:** In diesem Bereich steht die intelligente Planung eines Gebäudes im Vordergrund, die eine reibungslose Nutzung in der Zukunft gewährleisten soll. Wesentliche Voraussetzungen für ein intelligentes Gebäude sind: Der Einsatz von Building Information Modeling (BIM)-Technologien während der Planungs- und Bauphase sowie die Betriebsbereitschaft der zentralen Gebäudemanagementplattform vor der Übergabe.
8. **Innovative Anwendungen:** Der letzte Bereich des Verbandsstandard zielt darauf ab, die Zukunftsfähigkeit eines intelligenten Gebäudes zu bewerten und seine besondere Leistung in Bezug auf technische Innovation hervorzuheben. In diesem Bereich werden keine Anforderungen gestellt, sondern es werden Bonuspunkte vergeben.

Methoden

Dieses Zertifizierungssystem ist sowohl für einzelne Gebäude als auch für Gebäudegruppen innerhalb eines gemeinsamen Bauprojekts geeignet. Im Rahmen des Verfahrens müssen die Eigentümer Nachweise über die relevanten Bereiche führen und die entsprechenden Dokumente auf einem Online-Portal einreichen. Die zuständige Stelle prüft (bis zu 3 Monate) die

Richtigkeit der Unterlagen. Sind die einzelnen Bereiche nachgewiesen, erhält das Gebäude maximal 110 Punkte und ein Zertifikat, das drei Jahre gültig ist. Ein Gebäude muss mindestens 50 Punkte erreichen, um zertifiziert zu werden. Werden 50, 65, 80 oder 90 Punkte erreicht, wird das Gebäude als „akzeptabel“, „gut“, „exzellent“ oder „herausragend“ eingestuft. (中国房地产协会, 2020) Nachfolgend sind beispielhaft Fragen aufgeführt, die zu beantworten sind: Datenressourcen - Informationssicherheit und Datenschutz - Datenschutz:

- Die Einwilligung des Nutzers sollte eingeholt werden, bevor Nutzerinformationen gesammelt und in Übereinstimmung mit den geltenden Vorschriften verwendet werden. (1 Punkt)

Dienstleistung und Zugänglichkeit - Effizienter Service - Intelligente Müllklassifizierung:

- Ergreifen Sie intelligente Maßnahmen zur Förderung der Abfalltrennung. (1 Punkt)

In allen Bereichen außer „Innovative Anwendungen“ sind Mindestanforderungen definiert, die K.O.-Kriterien darstellen. Werden diese K.O.-Kriterien nicht erfüllt, erhält das Gebäude für diesen Bereich keine Punkte. Um eine Zertifizierung zu erhalten, müssen in den ersten sieben Bereichen jeweils mindestens 30 % der Punkte erreicht werden. Die einzelnen Bereiche werden unterschiedlich gewichtet (Tabelle 3.4). Die Gewichtungen unterscheiden sich je nach Nutzung des Gebäudes und dem Zeitpunkt der Berechnung. In der Planungsphase eines Bauvorhabens wird eine Vorberechnung durchgeführt. Bauherren können damit ihr eigenes Gebäude bewerten. Eine offizielle Berechnung wird nach der Errichtung des Gebäudes durchgeführt. Die Gesamtpunktzahl ergibt sich aus der Formel 3.1. (中国房地产协会, 2020)

$$Q = \sum_{i=1}^7 \alpha_i \frac{P_i}{P_{i,max}} \times 100 + P_8 \quad (3.1)$$

Tabelle 3.4: Gewichtungsfaktoren des Smart System aus China

		Gewichtungsfaktoren α_i							
Kategorie		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
max. Punkte		30	40	30	30	30	30	20	10
Planungsphase	Wohngebäude	0,24	0,14	0,14	0,14	0,14	0,15	0,05	-
	Nichtwohngebäude	0,26	0,17	0,15	0,14	0,1	0,13	0,05	-
Bestandsgebäude	Wohngebäude	0,22	0,12	0,16	0,15	0,15	0,15	0,05	-
	Nichtwohngebäude	0,25	0,15	0,14	0,14	0,12	0,15	0,05	-

mit:

Q : Gesamtpunktzahl

α_i : Gewichtungsfaktor für Kategorie i

P_i : Erreichte Punktzahl in Kategorie i

$P_{i,\max}$: Maximale Punktzahl in Kategorie i

Beurteilung

Das chinesische Zertifizierungssystem für intelligente Gebäude bietet einen umfassenden und technologisch fortschrittlichen Rahmen für die Bewertung moderner Gebäude, der wesentliche Aspekte wie Informationsinfrastruktur, Nachhaltigkeit, Sicherheit und Komfort abdeckt. Allerdings ist das System in China von einem hohen bürokratischen Aufwand geprägt, da für eine Vielzahl von Bereichen Nachweise erbracht und entsprechende Dokumente eingereicht werden müssen. Des Weiteren erfolgt in einigen Fällen eine Bewertung, die sich weniger auf die tatsächlichen Technologien als vielmehr auf Formalitäten konzentriert, wodurch die Relevanz der Technologiestandards teilweise untergraben wird. Einige Fragen sind sehr allgemein gehalten und bieten Interpretationsspielraum, da sie sich nicht immer konkret auf bestimmte Technologien beziehen. Dies könnte zu uneinheitlichen Bewertungen und Schwierigkeiten bei der Vergleichbarkeit führen. Insgesamt bietet das System jedoch eine zukunftsorientierte und transparente Grundlage für intelligente Gebäude.

Tabelle 3.5: Tabellarische Zusammenfassung: Smart System aus China

Allgemein	
<ul style="list-style-type: none">• Für Wohn- und Nichtwohngebäude sowie Gebäudequartiere in verschiedenen Lebenszyklusphasen• umfasst Anforderungen an Effizienz, Sicherheit, Nachhaltigkeit und Komfort	
Pro	Contra
<ul style="list-style-type: none">⊕ transparente Methodik⊕ berücksichtigt Bereiche wie Cloud Computing und AI	<ul style="list-style-type: none">⊖ Einreichen von Dokumente für Nachweis⊖ teilweise werden keine Technologien abgefragt, sondern nur Formalitäten⊖ teilweise allgemeine Fragen, ohne Bezug zur expliziten Technologien (daraus ergibt sich ein Interpretationsspielraum)

3.2.3 Smart Building Collective & Certification

Smart Building Collective & Certification (SBC) ist ein niederländisches Unternehmen, das intelligente Gebäude zertifiziert, mit Methoden, die auf wissenschaftlichen Erkenntnissen basieren, durch die Praxis verfeinert und von Experten optimiert werden.

Einordnung

Das SBC-Framework beschreibt sich selbst (Smart Building Collective, o J), dass es mehr als nur ein Zertifikat/Label für Smart Building ist und

über die Technologiebewertung hinausgeht. Es ist vielmehr ein Transformationsprozess, der von einem unterstützenden Ökosystem begleitet wird. Das Zertifikat geht davon aus, dass intelligente Gebäude einzigartig sind und von dynamischen menschlichen Prozessen beeinflusst werden und sich ständig weiterentwickeln. Neben der Technologie und dem integrativen Design misst das SBC Framework den menschlichen Prozess, die Unternehmensführungsstruktur, die Führungsqualität und das Prozessmanagement im Unternehmen.

Das Zertifikat ist ein Werkzeug, um bessere Immobilien- und Organisationsergebnisse zu erzielen, indem Menschen und Technologie zusammengebracht werden. Der Begriff wird von dem Unternehmen wie folgt definiert:

„Intelligente Gebäude implementieren, nutzen und optimieren ständig neue Infrastrukturen, um die vorhandenen Funktionen, Dienstleistungen, allgemeinen Leistungen und den Nutzen der gebauten Umgebung zu optimieren. Dabei nutzt ein intelligentes Gebäude Daten, um die Gebäudeautomation (die die Intelligenz bereitstellt) durch integriertes Design zu steuern, Systeme und Prozesse zu verbinden und Gesundheit, Wohlbefinden, menschliche Leistungsfähigkeit, Komfort, Effizienz und Sicherheit zu verbessern.“ (Smart Building Collective, o J)

Umfang

Das Zertifizierungsverfahren berücksichtigt sechs quantitative Messgrößen (Smart Building Collective, 2022):

1. Gebäudenutzung: Die Art und Weise, wie Menschen ein Gebäude nutzen, beeinflusst die Raumgestaltung. Wenn die Bedürfnisse der Nutzer besser erfüllt werden, kann die Leistung verbessert und die Kosten leichter optimiert werden. Die Belegungstechnologien, die Art und Weise, wie die Technologien genutzt werden, die Auslastung der Technologien und die Wahrnehmung der Technologien durch die Nutzer werden untersucht.

2. Gebäudeleistung: Die Kenntnis der Leistung eines Gebäudes ermöglicht es, den Betrieb zu optimieren und unnötige Kosten zu eliminieren, um Investitionen zu optimieren, die Umweltbelastung zu minimieren und die Effizienz zu verbessern. Energie-, Abfall-, Wasser-, Heizung, Lüftung, Klimatechnik (HLK)- und Instandhaltungstechnologien werden untersucht.
3. Gebäudeumgebung: Die physische Umgebung des Gebäudes wird untersucht. Luftqualität, Beleuchtung, Lärm, Wasserqualität und eingesetzte Reinigungstechnologien spielen eine wichtige Rolle bei der Bewertung.
4. Benutzerverhalten und Zusammenarbeit: In diesem Bereich wird untersucht, wie das Gebäude das Nutzerverhalten und die Zusammenarbeit zwischen Gebäude und Mensch unterstützt, um den größtmöglichen Nutzen aus einem Raum oder Gebäude zu ziehen. Es werden Technologien zur Gebäudesteuerung und zum Gebäudezugang, Technologien zur Zusammenarbeit im Allgemeinen, Benachrichtigungstechnologien und Technologien für Feedback-Mechanismen berücksichtigt.
5. Gesundheit, Sicherheit und Schutz: Inwieweit entsprechen die Gebäude den Gesundheits- und Sicherheitsstandards und sind sie in der Lage, die Sicherheit der Nutzer zu erhöhen? Sind physische Sicherheitssysteme gegen Feuer und Kohlenmonoxid vorhanden? Cyber-Sicherheitstechnologien und Zugangskontrolltechnologien werden ebenfalls berücksichtigt.
6. Konnektivität & Infrastruktur: Intelligente Gebäude und Geschäftsprozesse erfordern eine gute Internetverbindung innerhalb eines Gebäudes. In diesem Bereich wird die Konnektivität im Detail untersucht.

Des Weiteren werden zwei qualitative Messgrößen berücksichtigt (Smart Building Collective, 2022):

1. Unternehmensführungsstruktur: Diese Messgröße umfasst verschiedene Elemente, die für eine erfolgreiche Unternehmensführung von

großer Bedeutung sind. Dazu gehören das Engagement der Führungskräfte, die Integration von Prozessen, die Entwicklung von Strategien und Plänen sowie die Messung des Unternehmenserfolgs.

2. Integrative Design- und Technologielandschaft: Diese qualitative Bewertung berücksichtigt, wie komplex, benutzerfreundlich und zuverlässig das Gebäude und seine Technologien sind. Wie gut sind die Lösungen im Gebäude integriert? Sind bestimmte Technologien nur für bestimmte Abteilungen verfügbar und gibt es eine nahtlose Systemintegration?

Methode

Die Bewertung erfolgt durch einen zertifizierten Gutachter, der aufgrund seines Fachwissens und seiner Erfahrung insbesondere die qualitativen Aspekte bewerten kann. Dabei wird nicht einfach eine Checkliste abgearbeitet, sondern die Bewertung als dynamischer Prozess verstanden. Ziel ist es, das Vorhandensein und die Nutzung der Technologie zu bewerten. Es wird individuell bewertet, wie effektiv Technologie eingesetzt wird, um den Wert von Gebäuden zu steigern. Jedes Gebäude wird mit dem „Klassenbesten“ verglichen und die gesamte Skala wird im Laufe der Zeit erweitert und verbessert, wenn neue Standards, Technologien und Anwendungen auf den Markt kommen (Smart Building Collective, 2022).

Durch ein Benchmarking mit Gebäuden anderer Unternehmen erhält der Eigentümer eine Einschätzung, wie sein Gebäude im Vergleich abschneidet.

Beurteilung

Tabelle 3.6: Tabellarische Zusammenfassung: Smart Building Collective & Certification

Allgemein	
<ul style="list-style-type: none"> • sechs quantitative Messgrößen • zwei qualitative Messgrößen 	
Pro	Contra
<ul style="list-style-type: none"> ⊕ ganzheitlicher Ansatz, der Technologie und menschliche Prozesse integriert ⊕ individuelle Bewertung möglich 	<ul style="list-style-type: none"> ⊖ privatwirtschaftliches Tool, daher eingeschränkte Transparenz ⊖ subjektive Bewertung der qualitativen Bereiche, was die Vergleichbarkeit erschwert

Das Smart Building Collective (SBC) Zertifizierungssystem zeichnet sich durch eine ganzheitliche Herangehensweise aus, da neben den technologischen auch die menschlichen und organisatorischen Prozesse bewertet werden. Diese umfassende Perspektive birgt jedoch auch eine Schwäche: Die Fokussierung auf qualitative Faktoren wie Führungsstrukturen und Prozessmanagement führt zu einem hohen Maß an Subjektivität und Interpretationsspielraum. Im Gegensatz zu klar messbaren technologischen Standards könnte dies die Vergleichbarkeit erschweren und den Zertifizierungsprozess weniger transparent machen. Des Weiteren wird der Bewertungsprozess als dynamisch und individuell beschrieben, was zwar Flexibilität bietet, jedoch gleichzeitig für Unternehmen zusätzlichen Aufwand und Unsicherheiten bedeuten könnte. Anstatt sich auf klar definierte Technologien und Standards zu fokussieren, könnte das SBC-Framework als übermäßig komplex wahrgenommen werden, da es teilweise mehr Wert auf Management- und Unternehmensprozesse als auf konkrete technische Leistungen legt.

3.2.4 Smart Building Rating

Das Smart Building Rating wurde 2023 vom Centre for Net Zero entwickelt, einer gemeinnützigen Forschungseinrichtung, die 2021 von der Octopus Energy Group gegründet wurde. Es handelt sich um ein Bewertungssystem, das zunächst als freiwillige Bewertung für den Wohnungssektor eingeführt werden soll, um die Nachfrage nach intelligenten Häusern mit flexibler Ausstattung zu steigern. Wenn das Bewusstsein wächst und sich die Methodik im Laufe der Zeit bewährt, sollte sie auf andere Sektoren ausgeweitet und schließlich verpflichtend gemacht werden. (Centre for Net Zero, 2023, 2024)

Einordnung

In dem Vereinigten Königreich wird in den letzten Jahren eine Reform des Energieausweises gefordert, da dieser nicht alleine das Problem der energieeffizienten Gebäude lösen kann. Die Ergebnisse des Energieausweises können durch neuerer Technologien (sogar) weiter verschlechtert werden: So wird beispielsweise bei einem Austausch eines Gasheizkessels durch eine Wärmepumpe die Bewertung schlechter, da dieses auf den angenommenen Betriebskosten basiert und Strom derzeit teurer als Gas ist. Aus diesem Grund wurde von der Centre of Net Zero ein Rating-System entwickelt, dass eine separate Bewertung ermöglicht und eine Fokussierung auf Flexibilität von Gebäuden ermöglicht und den aktuellen Energieausweis ergänzen kann.

Das neue Rating-System soll die Flexibilitätskapazität eines Gebäudes messen, d.h. das Potenzial für eine flexible Energienutzung und nicht das tatsächliche Verhalten der Bewohner. Beispielsweise könnte ein Gebäude über eine Ladestation für Elektroautos verfügen, die aber nicht intelligent genutzt wird. Kurzfristig soll das SBR dabei helfen, britische Gebäude auf die intelligente Elektrifizierung vorzubereiten, indem es ihre aktuelle und zukünftige Flexibilitätskapazität bewertet, um mögliche Upgrades zu identifizieren. Das Potenzial hängt von den installierbaren Technologien ab, wie z.B. Solaranlagen oder Ladestationen, die nicht für alle Gebäude sinnvoll sind. (Centre for Net Zero, 2023, 2024)

Umfang

Die SBR-Methode berücksichtigt neben der Flexibilität, die Gebäudeleistung und auch die Technologie selbst mit dem Ziel, Innovationen zu fördern und Anreize für die Verwendung neuer Technologie zu schaffen. Dabei soll das Verständnis von Automatisierung dem Nutzer näher gebracht werden. Hierbei werden Technologien, die innerhalb eines Gebäudes verbaut sind und zur Flexibilität beitragen, berücksichtigt, welche der Tabelle 3.7 zu entnehmen sind. Zudem werden auch Technologien und Anlagen bewertet, die mit dem Gebäude „verbunden“ sind, nicht aber Anlagen, die mit dem Nutzer umziehen können wie beispielsweise Geschirrspüler, Kühlschränke und Waschmaschinen.

Methode

Die Berechnungsmethodik des Smart Building Ratings befindet sich noch in der Entwicklung und wird als grober Entwurf vorgestellt. Der Score soll sich aus zwei wesentlichen Daten bzw. Grundlagen zusammensetzen: (Centre for Net Zero, 2023)

1. Immobiliendaten

- verbaute Anlagen
- Anlagen, die potenziell verbaut werden könnten
- andere Bereich einer Immobilie, die sich auf die aktuelle und maximale Flexibilität der Anlagen auswirken

2. Flexible Daten

- Lastverlagerungspotenzial der Anlagen, die variieren können
- Wie das Lastverlagerungspotenzial aktuell von den Nutzern berücksichtigt wird

Insgesamt wird bewertet welche Anlagen in einem Gebäude installiert sind und wie viel Flexibilität diese bieten. Ferner wird überprüft, welche Anlagen zusätzlich eingebaut werden können, um das Potenzial zu maximieren.

Tabelle 3.7: Bereiche Smart Building Rating (Centre for Net Zero, 2023)

]In das Smart Building Rating einbezogene Bereiche]

Anlage		Bereitgestellte Flexibilität
Heizung	Wärme- pumpe	Steuerbare Last durch intelligentes thermisches Speichern und Vorheizen
	Speicher- heizung	Steuerbare Last durch Verschiebung des Verbrauchs über Nacht und Speicherung
	elektrische Heizsysteme	Steuerbare Last durch intelligente Thermostate und Zähler möglich
	Heiz- kessel	Keine
Heizungs- steuerung		Ermöglicht das Verschieben des Verbrauchs von Heizung, Warmwasser oder Haushaltsgeräten
Wärmespeicher- kapazität		Lastverschiebung durch thermische Speicherung (z.B. Wassertank) und Vorheizen
Elektroauto Ladestation		Intelligentes oder bidirektionales Laden (V2G) in Reaktion auf Preis- oder Kohlenstoffsignale
PV		Lastverschiebungspotenzial durch Nutzung der eigenen Stromerzeugung anstelle des Stromnetzes
Hausbatterie		Lastverschiebungspotenzial durch Nutzung des eigenen Speichers anstelle des Stromnetzes
Messung		Nutzung intelligente Tarife und Flexibilitätsergebnisse

Beurteilung

Die in 2023 entwickelte Methodik ist speziell auf Wohngebäude in Großbritannien ausgerichtet. Ein Vorteil ist, dass ein Teil der Methodik bereits bekannt ist, aber noch weiterentwickelt werden muss und daher noch nicht vollständig ausgereift ist. Es ist nicht bekannt, ob die zukünftige Methodik

transparent dargestellt wird. In der Methodik wird das Flexibilitätspotenzial individuell für jedes Gebäude betrachtet, was eine genaue Abschätzung des Potenzials ermöglicht. Ein weiterer Kritikpunkt ist, dass die Methode von einer Lobby entwickelt wurde, was zu möglichen Interessenskonflikten führen könnte.

Tabelle 3.8: Tabellarische Zusammenfassung: Smart Building Rating

Allgemein	
<ul style="list-style-type: none">• auf britische Wohngebäude ausgelegt• 2023 entwickelt	
Pro	Contra
<ul style="list-style-type: none">⊕ Teile der Methodik bekannt⊕ betrachtet individuell das Potenzial jeden Gebäudes	<ul style="list-style-type: none">⊖ Methodik noch in der Entwicklung⊖ entwickelt durch eine Lobby

3.2.5 Smart Readiness Indicator

Die Europäische Union und der Rat der Europäischen Union haben im Mai 2018 die Richtlinie „2010/31/EU über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden und die Richtlinie 2012/27/EU über die Energieeffizienz“ (EPBD) geändert. In der geänderten Fassung wird ein sogenannter Smart Readiness Indicator (SRI) gefordert, der von der Europäischen Kommission entwickelt und im Sommer 2021 veröffentlicht wurde. Mit der Veröffentlichung des SRI-Verfahrens sollen Mitgliedsstaaten und Stakeholder den SRI testen und evaluieren (Europäische Kommission, 2020).

Einordnung

Die EPBD fordert eine bessere Nutzung des Potenzials intelligenter Technologien im Gebäudesektor. Die EPBD beschreibt die Intelligenz eines Gebäudes als die Fähigkeit, veränderte Bedingungen der gebäudetechnischen Systeme, der äußeren Umwelt (einschließlich der Energienetze) sowie die Anforderungen der Gebäudenutzer zu erkennen, zu interpretieren, zu kommunizieren und aktiv und effizient darauf zu reagieren.

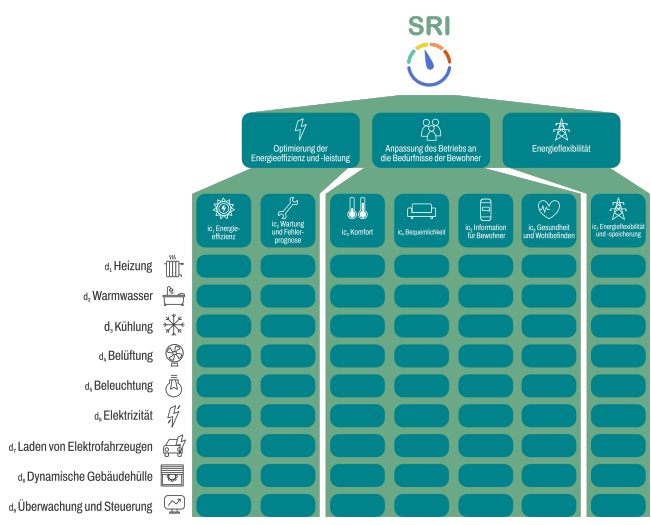


Abbildung 3.4: Übersicht des Smart Readiness Indicator (in Anlehnung an (Verbeke et al., 2020, 2018))

Mit der Einführung eines solchen EU-Bewertungssystems wird die technologische Reife von Gebäuden bewertet, inwieweit eine Interaktion mit dem Nutzer und dem Energienetz möglich ist und ob dadurch eine effizientere Bewirtschaftung eines Gebäudes realisierbar ist. Der Intelligenzfähigkeitsindikator zielt auch darauf ab, das Bewusstsein für intelligentere Gebäudetechnologien zu schärfen und ihren Mehrwert für Gebäudenutzer, Eigentümer, Mieter und Anbieter intelligenter Dienstleistungen greifbarer

zu machen. Er soll technologische Innovationen in der Immobilienwirtschaft unterstützen und ein Anreizsystem für die Integration moderner, intelligenter und innovativer Technologien in Gebäuden fördern (Europäische Kommission, 2020, Verbeke et al., 2020, 2018).

Umfang

Das SRI-Verfahren wurde in Zusammenarbeit mit einer Vielzahl von Stakeholdern entwickelt (Verbeke et al., 2018). Eine Übersicht des SRI ist in Abbildung 3.4 dargestellt sowie dazu eine Nomenklatur in Tabelle 3.9.

Das Smart Readiness Indicator (SRI)-Verfahren berücksichtigt neun Domains (Gebäudebereiche): (d_1) Heizung, (d_2) Kühlung, (d_3) Warmwasserebereitung, (d_4) Lüftung, (d_5) Beleuchtung, (d_6) dynamische Gebäudehülle, (d_7) Elektrizität, (d_8) Laden von Elektrofahrzeugen und (d_9) Überwachung und Steuerung. Jede Domain besteht aus mehreren Fragen, sogenannten Services (insgesamt 54), die unabhängig voneinander bewertet werden können. In jedem Service wird die Intelligenzfähigkeit einer Technologie abgefragt, wobei Level 0 eine geringe Intelligenzfähigkeit und Level 4 eine hohe Intelligenzfähigkeit darstellt.

Für jeden Service werden individuelle Einflussfaktoren (Impact-Scores) für sieben Impacts (Wirkungskriterien) definiert: (ic_1) Energieeffizienz, (ic_2) Wartung und Fehlerprognose, (ic_3) Komfort, (ic_4) Bequemlichkeit, (ic_5) Information für Bewohner, (ic_6) Gesundheit & Wohlbefinden, und (ic_7) Energieflexibilität und -speicherung. Die Gewichtung der einzelnen Impacts hängt von den neun Domains, dem Standort (Nord-, West-, Süd-, Nordost- und Südosteuropa) und der Art des Gebäudes (Wohn- oder Nichtwohngebäude) ab. Werden alle 54 Service bewertet, kann man einen SRI-Score in Prozent berechnen.

Tabelle 3.9: Nomenklatur

d	Anzahl der Domains $d \in \mathbb{N} d \leq 9$
$FL(S_{i,d})$	Funktionslevel eines Services $S_{i,d}$
$FL_{max}(S_{i,d})$	höchste Funktionslevel eines gegebenen Services $S_{i,d}$
$I(d,ic)$	Bewertung der Domain d und Impact ic
$I_{max}(d,ic)$	höchste erreichbare Bewertung der Domain d und Impact ic
$I_{i,d,ic,ist}$	$= I_{ic}(FL(S_{i,d}))$; Eingeführt für die Lesbarkeit
$I_{i,d,ic,max}$	$= I_{ic}(FL_{max}(S_{i,d}))$; Eingeführt für die Lesbarkeit
$I_{ic}(FL(S_{i,d}))$	Impact-Score für eine Impact ic , abhängig von $FL(S_{i,d})$
$I_{ic}(FL_{max}(S_{i,d}))$	höchster Impact-Score des Services $S_{i,d}$ für ein Impact ic
ic	Anzahl der Impacts $ic \in \mathbb{N} ic \leq 7$
M	Gesamtanzahl der Impacts ($\hat{=7}$)
N	N Gesamtanzahl der Domains ($\hat{=9}$)
N_d	Gesamtanzahl der Services in Domain d
$S_{i,d}$	Ein bestimmter Service i in Domain d
SR	Gesamter SRI [%]
SR_d	SRI-Score für die gesamte Domain d
$SR_{d,ic,ist}$	verfügbarer Wert für Domain d und Impact ic
$SR_{d,ic,max}$	maximaler Wert für Domain d und Impact ic
SR_{ic}	SRI-Score für die gesamte Impact ic
$\omega_{d,ic}$	Domain-Gewichtungsfaktor d für die Impact ic [%]
ω_f	Gewichtungsfaktor der Schlüsselfunktionen f
$\omega(ic)$	Gewichtungsfaktor der Impact ic
$\omega_f(ic)$	Gewichtungsfaktor des Impacts ic für die Schlüsselfunktionen f

Die EU schlägt drei Vorgehensweise zur Bestimmung des SRI vor, die zum Teil noch von den Mitgliedstaaten und ihren Stakeholdern ausgearbeitet werden müssen:

Vorgehen A: Ziel ist es, eine einfache und schnelle Bestandsaufnahme durchzuführen, die sich hauptsächlich auf Wohngebäude und kleine Nichtwohngebäude konzentriert. Das Verfahren könnte auf einem Checklistenansatz mit einer begrenzten oder vereinfachten Liste von Service basieren. Die Durchführung sollte durch eine (Online-) Selbstbewertung erfolgen und weniger als eine Stunde in Anspruch nehmen. Eine formelle Zertifizierung kann nur durch einen externen Experten erfolgen. (Verbeke et al., 2020)

Vorgehen B: Bei diesem Ansatz wird eine detailliertere SRI-Bewertung durchgeführt, die sich hauptsächlich auf Nichtwohngebäude konzentriert. Die Bewertung kann je nach Größe und Komplexität des Gebäudes bis zu einem Tag in Anspruch nehmen. Dazu ist eine Vor-Ort-Inspektion durch einen qualifizierten Sachverständigen erforderlich. Auch hier gilt, dass ein formelles Zertifikat nur dann ausgestellt werden kann, wenn die Bewertung von einem Experten durchgeführt wird. (Verbeke et al., 2020)

Vorgehen C: Langfristig soll eine messbare Bewertung eingeführt werden, bei der die Gebäudeautomations- und -steuerungssysteme in der Lage sind, ihre Funktionsfähigkeit selbst zu melden. Darüber hinaus sollte diese Bewertung die tatsächliche Leistung von Gebäuden im Betrieb quantifizieren, indem ein Benchmarking von Einsparungen, Flexibilität und Komfortverbesserungen durch intelligente Technologien durchgeführt wird. Alternativ könnte der Umfang über den aktuellen SRI hinaus erweitert werden, um eine Bewertung der tatsächlichen Leistung zu ermöglichen, anstatt sich ausschließlich auf intelligente Steuerungen zu konzentrieren. Diese Bewertung C wird als mögliche zukünftige Entwicklung eines Zertifizierungsverfahren für Gebäude betrachtet. Viele praktische und rechtliche Implikationen müssen noch geklärt werden. (Verbeke et al., 2020)

Methoden

Der gesamte SRI-Score SR wird gemäß Gleichung 3.2 aus der Summe des Produkts der Gewichtungen³ ω_{ic} des jeweiligen Impacts ic und SR_{ic} berechnet. SR_{ic} gibt den gesamten SRI-Score für jeden einzelnen Impact ic an und die Gewichtungen ω_{ic} sind von der EU festgelegt. Die Gewichtung ω_{ic} ist für jeden Gebäudetyp und jeden Standort gleich, aber individuell für jeden Impact. Die individuellen Gewichtungen können aus Tabelle 3.11

³Zur Vereinfachung wurde die Aufteilung der drei Schlüsselfunktionalitäten des SRI in dieser Berechnung zusammengeführt. Die hier gewählte Gewichtung ω_{ic} enthält im Gegensatz zur Primärquelle (Europäische Kommission, 2020) das Produkt der Gewichtung der Schlüsselfunktionalitäten ω_f und des Gewichtungsfaktors des jeweiligen Impacts $\omega_f(ic)$.

entnommen werden. Der SRI-Score für jeden individuellen Impact SR_{ic} wird gemäß Gleichung 3.3 berechnet.

$$SR = \sum_{ic=1}^M \omega_{ic} \times SR_{ic} \quad (3.2)$$

$$SR_{ic} = \frac{\sum_{d=1}^N \omega_{d,ic} \times I(d,ic)}{\sum_{d=1}^N \omega_{d,ic} \times I_{max}(d,ic)} \times 100 \quad (3.3)$$

In Gleichung 3.3 wird der Wert $I(d,ic)$ jeder Domain und Impact mit den entsprechenden Gewichtungen $\omega_{d,ic}$ multipliziert. Die von der EU definierte Gewichtung $\omega_{d,ic}$ variiert zu jeder Domain d , abhängig vom Standort (Nord, West, Süd, Nord-Ost und Süd-Ost Europa) und dem Gebäudetyp (Wohn- oder Nichtwohngebäude). Ein Beispiel für die Gewichtung $\omega_{ic,d}$ für den Standort Westeuropa und ein Nichtwohngebäude ist aus Tabelle 3.10 zu entnehmen. Das gleiche Verfahren wird mit den maximal erreichbaren Werten $I_{max}(d,ic)$ durchgeführt. Die Ergebnisse werden dann über alle neun (N) Domains (d) für jeden individuellen Impact ic summiert und beide Summen werden geteilt⁴. Die Ergebnisse sind sieben individuelle SRI-Scores (SR_{ic}) für jeden Impact.

Um den individuellen Score $I(d,ic)$ zu berechnen, ist es notwendig, die individuellen Funktionslevels $FL(S_{i,d})$ zu bestimmen. Jede Domain (d) besteht aus mehreren Services ($S_{i,d}$), die individuell bewertet werden. Für jeden Service ($S_{i,d}$) mit $i = 1, 2, \dots, N_d$ wird die individuelle Smart Readiness anhand der Spezifikationen eines bestimmten Funktionslevel ($FL(S_{i,d})$) definiert. Ein Funktionslevel ist die individuelle Beschreibung einer Technologie im jeweiligen Service. Zum Beispiel ist das niedrigste Funktionslevel (Level 0) des Services „Wärmesteuerung“ „Keine automatische Steuerung“ und das höchste Funktionslevel dieses Services (Level 4) „Individuelle Raumsteue-

⁴Es sollte beachtet werden, dass der Nenner in Gleichung 3.3 nicht null sein kann, da mindestens $\omega_{d,ic} \times I_{max}(d,ic) > 0$ in einem der neun Domains d gilt, sodass niemals durch 0 dividiert wird

Tabelle 3.10: Gewichtungen $\omega_{d,ic}$ für ein Nichtwohngebäude in Westeuropa
mit grün: Gewichtungen abhängig von Klimazonen; gelb: gleichverteilte
Gewichtungen; orange: feste Gewichtungen

	Energieeinsparung und Betrieb		Reaktion auf Benutzerbedürfnisse				Reaktion auf Bedürfnisse des Stromnetzes
Nichtwohngebäude in Westeuropa	Energieeffizienz ic_1	Wartung & Fehlerprognose ic_2	Komfort ic_3	Bequemlichkeit ic_4	Information für Bewohner ic_5	Gesundheit & Wohlbefinden ic_6	Energieflexibilität & Speicherung ic_7
d_1 Heizung	0.2728	0.3166	0.16	0.1	0.1000	0.16	0.4066
d_2 Warmwasser	0.0826	0.0958	0	0.1	0.1000	0	0.1231
d_3 Kühlung	0.1267	0.1470	0.16	0.1	0.1000	0.16	0.1889
d_4 Lüftung	0.1431	0.1661	0.16	0.1	0.1000	0.16	0
d_5 Beleuchtung	0.1038	0	0.16	0.1	0	0.16	0
d_6 Elektrizität	0.0211	0.0245	0	0.1	0.1000	0	0.0314
d_7 Laden von Elektrofahrzeugen	0	0	0	0.1	0.1000	0	0.0500
d_8 Dynamische Gebäudehülle	0.0500	0.0500	0.16	0.1	0.1000	0.16	0
d_9 Überwachung & Steuerung	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2

Tabelle 3.11: Gewichtung ω_{ic}

Energieeinsparung und Betrieb		Reaktion auf Nutzerbedürfnisse				Reaktion auf Bedürfnisse des Stromnetzes
Energieeffizienz ic_1	Wartung & Fehlerprognose ic_2	Komfort ic_3	Bequemlichkeit ic_4	Information für Bewohner ic_5	Gesundheit & Wohlbefinden ic_6	Energieflexibilität & -speicherung ic_7
0.16667	0.16667	0.08333	0.08333	0.08333	0.08333	0.33333

ung mit Kommunikation und Belegungserkennung“ (siehe Tabelle A.26 im Anhang).

Individuelle Service ($S_{i,d}$) und ihre verschiedenen Funktionslevels ($FL(S_{i,d})$) haben unterschiedliche Auswirkungen auf das Gebäude und seine Umgebung. Das Funktionslevel 0 hat die geringste Intelligenzfähigkeit und ein höheres Funktionslevel die höchste Intelligenzfähigkeit. Die Anzahl der Funktionslevels jedes Services ist unterschiedlich: elf der Services haben drei Funktionslevels, 20 der Services haben vier Funktionslevels und 23 der Services haben fünf unabhängige Funktionslevels (Emich et al., 2022). Insgesamt sind die Service ($S_{i,d}$) nicht gleichmäßig über die neun Domains (d) verteilt, sodass die Anzahl der Services (N_{d_i}) in jeder Domain ($N_{d_1} = 10; N_{d_2} = 5; N_{d_3} = 10; N_{d_4} = 6; N_{d_5} = 2; N_{d_6} = 7; N_{d_7} = 3; N_{d_8} = 3; N_{d_9} = 8$) unterschiedlich ist.

Für jedes Funktionslevel ($FL(S_{i,d})$) jeden Services sind individuelle Impact-Scores ($I_{ic}(FL(S_{i,d}))$) definiert. Diese Impact-Scores geben an, wie groß der Einfluss dieses bestimmten Funktionslevel ($FL(S_{i,d})$) auf die individuellen Impacts ist, wobei der Impact-Score in der Regel zwischen 0 und 3 liegt⁵, jedoch nicht linear über die individuellen Funktionslevels verteilt. Eine Übersicht über einen ausgewählten Service und die entsprechenden Impact-Scores der zugehörigen Funktionslevels ist in Tabelle A.26 dargestellt.

Die Ausgangssituation für die Berechnung des SRI-Scores ist, dass alle Funktionslevels ($FL(S_{i,d})$) jedes einzelnen Services ($S_{i,d}$) bestimmt werden und der Standort sowie der Gebäudetyp bekannt sind. Diese Informationen sind für die Berechnung des SRI zwingend erforderlich.

$$I(d,ic) = \sum_{i=1}^{N_d} I_{ic}(FL(S_{i,d})) \quad (3.4)$$

$$I_{max}(d,ic) = \sum_{i=1}^{N_d} I_{ic}(FL_{max}(S_{i,d})) \quad (3.5)$$

⁵Es gibt einige Ausnahmen: (1) für den Service „EV Charging Grid balancing“ für den Impact „Energieflexibilität und -speicherung“ mit dem Impact-Score = -2 im Funktionslevel 0; (2) für den Service „Override of DSM control“ für den Impact „Komfort“ mit dem Impact-Score = -2, für den Impact „Wartung und Fehlerprognose“ mit dem Impact-Score = -1 und für den Impact „Information für Bewohner“ mit dem Impact-Score = -2 im Funktionslevel 1

Beurteilung

Tabelle 3.12: Tabellarische Zusammenfassung: Smart Readiness Indicator

Allgemein	
<ul style="list-style-type: none"> • Für Wohn- und Nichtwohngebäude basierend auf neun Gebäudebereichen mit insgesamt 54 Fragen • Fokus auf Komponente der Energie 	
Pro	Contra
<ul style="list-style-type: none"> ⊕ transparente Methodik ⊕ Hohes politisches Interesse, SRI wird Pflicht ⊕ wurde von mehreren Stakeholdern entwickelt ⊕ Anpassung an Region und Gebäudetyp 	<ul style="list-style-type: none"> ⊖ Vergleichbarkeit erschwert durch Anpassung der Gewichtungen der EU-Mitgliedstaaten

Der Smart Readiness Indicator der Europäischen Union bietet eine strukturierte Methode zur Bewertung der technologischen Intelligenz von Gebäuden, insbesondere im Hinblick auf Energieeffizienz, Nutzerkomfort und Interaktion mit dem Energienetz. Besonders hervorzuheben ist, dass der SRI eine politisch geforderte und verbindliche Methode in Europa sein wird, die die Integration intelligenter Technologien unterstützt, nachhaltige Innovationen im Gebäudemanagement fördert und das Konzept des intelligenten Gebäudes für den Endnutzer greifbarer macht. Dadurch wird die Akzeptanz von Smart Buildings erhöht, sodass die Digitalisierung des Gebäudesektors ihren Beitrag zu einer emissionsfreien Zukunft leisten kann.

Dennoch gibt es auch Kritik an der Methode. Da es sich um ein Pflichtzertifikat handelt und den Mitgliedsstaaten die Freiheit gegeben wird, dieses

zu modifizieren, besteht die Gefahr, dass die einzelnen SRI in den Ländern sehr unterschiedlich und nicht mehr vergleichbar werden. Zudem ist unklar, wie die konkrete Umsetzung in den einzelnen EU-Ländern aussehen wird. Dies ist ein laufender Prozess, der mitgestaltet werden kann.

3.2.6 SmartScore

WiredScore ist ein Unternehmen, das 2013 in New York gegründet wurde. Es hat sich zum Ziel gesetzt, die digitale Infrastruktur von Bürogebäuden zu bewerten, um den Bedürfnissen der Mieter nach erhöhter Konnektivität gerecht zu werden.

Einordnung

Das Unternehmen hat zu Beginn seiner Aktivitäten das gleichnamige Zertifikat angeboten. Dieses WiredScore Zertifikat beurteilt, wie digital die Infrastruktur des Gebäudes ist. Mit der Zeit wurde ein weiteres Zertifikat entwickelt, welches den Immobilieneigentümern hilft, smarte Nutzeranforderungen und die entsprechenden technologischen Grundlagen ihrer Gebäude zu verstehen, zu verbessern und zu bewerben - „SmartScore“. (WiredScore, 2023)

Nach Aussagen des Geschäftsführers ist SmartScore für die besten 10% der Gebäude sinnvoll und WiredScore Zertifikat ist das am meisten verwendete (Kohts, 2023) für Gebäude ab 3.000 Quadratmeter.

Umfang

Der Betrachtungsumfang von SmartScore kann grundsätzlich in drei Bereiche unterteilt werden: Benutzerfreundlichkeit (engl.: User Functionality), die dem Nutzer allgemeine Vorteile im Alltag durch die Technologie bringen soll, Technologische Grundlagen (engl.: Technological Foundation), die das Gebäude zukunftssicher und robust machen und Innovation im Allgemeinen. Eine detaillierter Übersicht findet sich in der Tabelle A.27 im Anhang.

Methode



Abbildung 3.5: Zertifizierungslabel für SmartScore von WiredScore (WiredScore, 2023)

Zur genaueren Methodik des Verfahrens ist nichts näheres bekannt, jedoch sind die zu erreichenden Punkte der einzelnen Bereiche in Tabelle A.27 dargestellt. Eine genauere Aufschlüsselung wie die Punkte gewichtet werden und wie viele Punkte benötigt werden um eine der fünf Zertifikate (Abbildung 3.5) zu erhalten ist nicht näher erläutert.

Beurteilung

Das SmartScore-Zertifikat von WiredScore ist eine innovative Methode zur Bewertung der digitalen Infrastruktur von Gebäuden, insbesondere im Hinblick auf Benutzerfreundlichkeit, technologische Grundlagen und Innovationspotenzial. Das SmartScore-Zertifikat bewertet Bürogebäude anhand einer Reihe von Kriterien, die Benutzerfreundlichkeit, Nachhaltigkeit, Wartung, Sicherheit und technologische Basis umfassen. Dabei werden Aspekte wie Zugänglichkeit, Komfort, Energiemanagement, Cyber-sicherheit und Innovation berücksichtigt. Über die Methodik ist jedoch nichts Genaues bekannt - es gibt keine detaillierte Aufschlüsselung der Kriterien oder eine transparente Erklärung, wie die Punktevergabe funktioniert, was eine objektive Bewertung erschwert. Das Ranking wird häufig als Marketinginstrument für große Gebäude verwendet.

Tabelle 3.13: Tabellarische Zusammenfassung: SmartScore

Allgemein	
<ul style="list-style-type: none">• für große Nichtwohngebäude ab 3.000 Quadratmeter	
Pro	Contra
⊕ individuelle Assessments	⊖ privatwirtschaftliches Tool, daher eingeschränkte Transparenz ⊖ nur für große Nichtwohngebäude ⊖ Methodik nicht bekannt

3.2.7 SPIRE Smart Buildings

SPIRE wurde von TIA und UL Solutions entwickelt und führt ganzheitliche Messungen von vernetzten Gebäudetechnologien und -leistungen durch.

Einordnung

Das SPIRE-Programm hilft zu verstehen, wie Gebäude dekarbonisiert, der Energieverbrauch reduziert und die Mobilität verbessert werden können. Das Programm richtet sich an verschiedene Interessengruppen, darunter Architekten, Eigentümer, Gebäudebetreiber, Geräte- und Systemhersteller, Behörden, Versicherungsgesellschaften, Versorgungsunternehmen und viele andere.

Umfang

Das SPIRE-Programm bewertet die Gebäudeintelligenz anhand von 68 Fragen, die von Experten aus über 60 branchenführenden Unternehmen entwickelt wurden. Diese 68 Fragen sind in sechs Bereiche unterteilt

Konnektivität: Die Konnektivität bewertet die Netzwerkinfrastruktur eines Gebäudes unter verschiedenen Aspekten: Überwachung der physischen Infrastruktur, drahtlose Abdeckung, mögliche Verbesserungen, Wi-Fi- und 4G-Abdeckung, Wi-Fi-Sicherheit für Gäste, Sicherung kritischer Systeme, Asset-Tracking, Bandbreitennutzung, Technologiebewertung und Smart Building-Zertifikate. Außerdem werden die Interoperabilität von IT-Systemen, die Datensicherung, die Echtzeitüberwachung, die Verfügbarkeit von IT-Spezialisten, Serviceverträge und die Dokumentation kritischer Systeme überprüft.

Strom und Energie: Dieser Bereich befasst sich mit dem Energiemanagement in Gebäuden. Dazu gehören die Fähigkeit, Fehler zu erkennen, die Bewohner zum Energiesparen zu motivieren, die Installation intelligenter Gebäudesysteme, die Speicherung und Überwachung historischer Energieverbrauchsdaten, die Verfügbarkeit von Leistungsvorschlägen, die Reaktion auf die Energienachfrage und die Nutzung erneuerbarer Energiequellen im Gebäude, einschließlich der Überwachung durch ein Gebäudemanagementsystem.

Lebens- und Eigentumssicherheit: In diesem Bereich werden Themen wie die Dokumentation eines detaillierten Notfallplans, die Risikobewertung vernetzter Systeme, die Wartung von Gebäudesystemen, die Sensibilisierung der Bewohner für Notfallsituationen, der Zugang zu Notfalldiensten, Maßnahmen zur Bekämpfung einer Pandemie und die Durchführung einer Funkfeldmessung zur Sicherstellung einer ausreichenden Kommunikationsabdeckung behandelt.

Gesundheit und Wohlbefinden: Dieser Bereich umfasst die Innenraumluftqualität, das Wärmemanagement, den visuellen Komfort, das Lärmmanagement, das Wassermanagement und das Geruchsmanagement. Die Fragen beziehen sich auf verschiedene Aspekte wie die

Überwachung der Luftqualität, die Kontrolle von Schadstoffen, die Temperaturregelung, die Beleuchtung, die Blendbegrenzung, die Lärmbekämpfung, das Wassermanagement und die Geruchsbekämpfungsstrategien innerhalb des Gebäudes. Die Pläne und Maßnahmen des Gebäudes in diesen Bereichen werden bewertet, um die Gesundheit und den Komfort der Bewohner zu gewährleisten.

Nachhaltigkeit: Dieser Abschnitt umfasst Zertifizierungen und Programme, Wassermanagement, Abfallmanagement, Gebäudelebenszyklus und Betriebsmanagement, Gebäudemanagementsysteme, Innenraumluftqualität, Bewusstseinsbildung und Beteiligung sowie Instrumente und Prozesse. Die Fragen beziehen sich auf Themen wie Gebäudezertifikate, Dichtheitsprüfungen, Abfallmanagementpläne, Gebäudenutzungsanalysen, Gebäudebetriebsdaten, Innenraumluftqualität, Beteiligung der Bewohner an Nachhaltigkeitsbemühungen, Nachhaltigkeits-Dashboards, Engagement und Rechenschaftspflicht sowie Nachhaltigkeitsüberwachungs- und Managementsoftware. Es wird gefragt, welche Maßnahmen das Gebäude ergreift, um seine Nachhaltigkeitsziele zu erreichen und wie diese überwacht werden.

Cybersicherheit: Die Fragen behandeln Themen wie die Zusammenarbeit zwischen IT und Gebäudebetrieb, Datenschutzrichtlinien, Auswirkungen von Cybersicherheitsvorfällen, Risikomanagementpläne, Fernzugriff auf Ressourcen, Netzwerkintegrität, Benutzerschulung, Überwachung des physischen Zugangs, Kommunikationspläne für Sicherheitsvorfälle und Cybersicherheitsversicherungen. Es wird gefragt, wie das Gebäude seine IT-Systeme schützt, wie es auf Vorfälle reagiert und sich von ihnen erholt und ob es eine Versicherung für Cybersicherheit und Datenschutz hat.

Methoden

Wenn ein Gebäude zertifiziert werden soll, müssen 68 Fragen in einem Self-Assessment beantwortet werden. Jede Frage hat zwei bis fünf Antwortmöglichkeiten. Bei einigen Fragen sind Mehrfachnennungen möglich. Über die genaue Berechnungsmethode und die prozentuale Verteilung der

einzelnen Fragen ist nichts Näheres bekannt, da es sich um ein privatwirtschaftliches Tool handelt.

Beurteilung

Tabelle 3.14: Tabellarische Zusammenfassung: SPIRE Smart Buildings

Allgemein	
<ul style="list-style-type: none">• Für Wohn- und Nichtwohngebäude sowie Gebäudequartiere in verschiedenen Lebenszyklusphasen• 68 Fragen in sechs Bereichen	
Pro	Contra
<ul style="list-style-type: none">⊕ Self Assessment möglich⊕ ganzheitlicher Ansatz (Konnektivität, Energie, Sicherheit, Gesundheit, Nachhaltigkeit)⊕ berücksichtigt die Bedürfnisse zahlreicher Interessengruppen	<ul style="list-style-type: none">⊖ unklare Bewertungsmethodik und Gewichtung der Fragen⊖ privatwirtschaftliches Tool, daher eingeschränkte Transparenz

Das SPIRE-Programm bietet eine umfassende Bewertung der Gebäudeintelligenz und deckt wichtige Aspekte wie Konnektivität, Energie, Sicherheit, Gesundheit, Nachhaltigkeit und Cybersicherheit ab. Es ist besonders nützlich für verschiedene Interessengruppen und bietet einen ganzheitlichen Ansatz zur Verbesserung von Gebäudetechnologien. Allerdings bleibt die Bewertungsmethodik unklar, insbesondere wie die 68 Fragen gewichtet und zur Endbewertung aggregiert werden. Die fehlende Transparenz bei der Punktevergabe und der privatwirtschaftliche Charakter des Tools erschweren die Nachvollziehbarkeit und Vergleichbarkeit der Ergebnisse.

3.3 Andere Zertifizierungssysteme

Es gibt noch einige weitere Zertifizierungssysteme, die an dieser Stelle erwähnt werden sollten, die aber in dieser Arbeit keine Berücksichtigung finden, da sie zum Teil privatwirtschaftlich sind und nur geringe Marktanteile haben und/oder nur allgemeine Digitalisierungskonzepte abfragen. Die Abfrage von Gebäuden wird nur in geringem Umfang berücksichtigt, zudem sind die Informationen (auch auf mehrfache Nachfrage bei den Autoren) nur spärlich vorhanden.

3.3.1 Wowi

Die Dr. Klein Wowi Finanz AG ist ein Unternehmen der Hypoport SE und verfügt über mehr als sechs Jahrzehnte Erfahrung in der Wohnungswirtschaft. Ein besonderer Fokus liegt auf den Bereichen Finanzen und Digitalisierung, sodass das Unternehmen nach eigenen Angaben eine einzigartige und prozessorientierte Digitalisierungsberatung durchführt (Dr. Klein Wowi Digital AG, o J).

Das von Dr. Klein Wowi entwickelte Bewertungstool analysiert mit rund 90 Fragen neun Dimensionen. Dabei werden Bereiche vom Mietererlebnis bis zur Gebäudetechnik berücksichtigt. Das Verfahren ist explizit auf die Digitalisierung von Wohnungsunternehmen zugeschnitten und bietet immer eine individuelle Auswertung. Ziel des Verfahrens ist es, Digitalisierungsprojekte im Unternehmen richtig zu priorisieren und die Digitalisierungsstrategie zu strukturieren, wobei der Fokus auf den Unternehmensprozessen und nicht auf den Gebäuden selbst liegt.

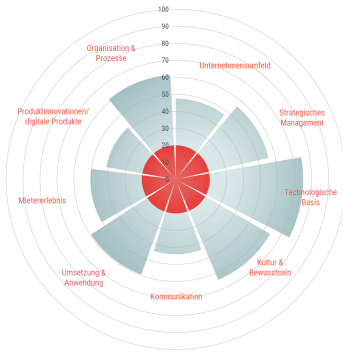


Abbildung 3.6: Übersicht
WoWi (Dr. Klein Wowi
Digital AG, o J)

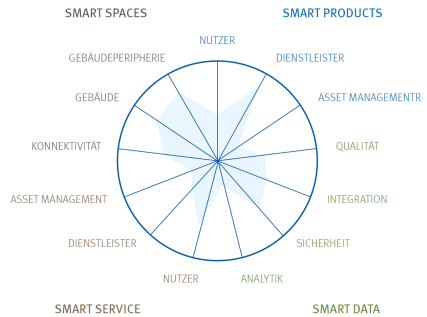


Abbildung 3.7: Übersicht Drees &
Sommer (Sommer, 2021)

3.3.2 Digital Ready Check

Der Digital Ready Check ist ein Katalog mit über 200 Kriterien, der in Zusammenarbeit mit Wissenschaftlern und Drees & Sommer sowie zahlreichen Experten aus der Immobilienwirtschaft (Sommer, 2021) entwickelt wurde. Die Abbildung 3.7 zeigt die Kategorien im Überblick. Weitere Details zu diesem Kriterienkatalog sind nicht veröffentlicht.

3.3.3 Intelligent Buildings Index

Die erste Idee zum Intelligent Buildings Index (IBI) entstand 2017 in Australien und sollte eine bessere Möglichkeit bieten, Entscheidungen (Shen Chiu, 2021)[01:05:52] zu dokumentieren. Im Wesentlichen ist IBI in drei Bereiche gegliedert: Projektlebenszyklus, Ausrüstung und Steuerung, Überwachung und Management (Borhani et al., 2020) sowie deren jeweiligen Domains, die in der Tabelle 3.15 dargestellt sind.

Tabelle 3.15: IB Index Bereiche und Domains

Bereiche	Domains	
Projekt- lebenszyklus	Intelligente Gebäudespezifikation	Rahmenwerk für die Datenverwaltung
	Informationsanforderungen	BIM-Lieferrahmen
	Datenüberprüfung und -validierung	
Geräte & Ausrüstung	Kommunikations- und Dateninfrastruktur	Energieerzeugung
	Intelligente Zugangskontrollen	Smart Parking (Intelligente Parklösungen)
	Elektrofahrzeug-Ladestationen	Digitale Mieterinformationsdienste
	Umweltüberwachungssysteme und Sensoren	Intelligente HLK-Systeme und Sensoren
	Elektrische Stromversorgung	Intelligente und vernetzte Beleuchtung
	Dynamische Gebäudehülle	Intelligente hydraulische Geräte - Systeme und Sensoren
	Intelligente Informationsdisplays	Vertikale Transportmittel
Kontrollen, Überwachung & Management	Intelligente Gebäudemanagementsysteme (BMS)	Intelligentes Energiemanagement
	Gebäudemanagement Dashboard und Anzeigeeinstrumente	Lastmanagement auf der Verbraucherseite
	Steuerung vertikaler Transportmittel	Nutzerbasierte Steuerungen
	Physische und Cyber-Sicherheitskontrollen	Lüftungssteuerungen
	Heiz- und Kühlungssteuerungen	Hydraulik - Warmwassersteuerungen

Intelligenz des Gebäudes wider, wobei (1) anzeigt, dass dieser Bereich keine intelligente Immobilie in Bezug auf wirtschaftliche, energetische und Nutzerkomfortaspekte widerspiegelt, und (5) die maximale Intelligenz darstellt (Arditi et al., 2015). Bei dieser Methode gibt es keine einzelnen Kriterien oder Hilfestellungen, die die Likert-Skala näher beschreiben, sodass die Bewertung jedes einzelnen Gebäudes sehr unterschiedlich ausfallen kann

und stark von den Erfahrungen und Kenntnissen der bewertenden Person abhängt. Die einzelnen Bewertungen $[X_1, \dots, Y_1, \dots, Z_1, \dots]$ werden in die Gleichung 3.6 bis 3.9 eingesetzt und mit Hilfe der Gewichtungen (W) (Tabelle 3.16) der SI-Wert berechnet. Je näher der SI-Wert eines Gebäudes bei 5 liegt, desto intelligenter ist es.

$$X = 0.28X_1 + 0.22X_2 + 0.26X_3 + 0.24X_4 \quad (3.6)$$

$$Y = 0.26Y_1 + 0.27Y_2 + 0.25Y_3 + 0.22Y_4 \quad (3.7)$$

$$Z = \begin{aligned} &0.12Z_1 + 0.12Z_2 + 0.14Z_3 + 0.12Z_4 \\ &+ 0.14Z_5 + 0.11Z_6 + 0.11Z_7 + 0.13Z_8 \end{aligned} \quad (3.8)$$

$$SI = 0.33X + 0.35Y + 0.32Z \quad (3.9)$$

Tabelle 3.16: Bereiche und Variable, die die Intelligenz eines Gebäudes beeinflussen

Bereich	Variable	Gewichtung W
Wirtschaftsfragen	X	0,33
Planungs- und Designkosten	X1	0,28
Baukosten	X2	0,22
Betriebs- und Wartungskosten	X3	0,26
Nachhaltigkeitskosten	X4	0,24
Energiefragen	Y	0,35
Heizsystem	Y1	0,26
Kühlsystem	Y2	0,27
Lichtsystem	Y3	0,25
Wassersystem	Y4	0,21
Probleme mit dem Komfort der Bewohner	Z	0,32
Temperatur	Z1	0,12
Feuchtigkeit	Z2	0,12
Luftqualität	Z3	0,14
Akustischer Komfort	Z4	0,12
Funktionalität	Z5	0,14
Psychologische Aspekte	Z6	0,11
Sicherheit	Z7	0,11
Brandschutz	Z8	0,13

3.4 Zusammenfassung der Systeme

Die Nachhaltigkeitszertifizierungssysteme aus dem Abschnitt 3.1 werden im Rahmen dieser Arbeit nicht weiter betrachtet, da der Fokus dieser Zertifizierungssysteme auf der Nachhaltigkeit, insbesondere dem nachhaltigen Bauen, liegt. Die Digitalisierung findet zwar auch hier zunehmend Beachtung, ist aber im direkten Vergleich zu den anderen vorgestellten Zertifizierungssystemen aus den Abschnitten 3.2 und 3.3 weit davon entfernt, eine Modell zur Bestimmung der Intelligenzfähigkeit eines Gebäudes zu sein.

Insgesamt weisen die Zertifizierungssysteme für digitale Gebäude sehr unterschiedliche Ansätze Bewertungen, Berechnungen und Betrachtungen auf. Einerseits gibt es Systeme, die oberflächlich die eingesetzten Technologien abfragen, aber auch Systeme, die sehr spezifisch auf die Technologie fokussieren. Auf der anderen Seite gibt es Systeme, die eine sehr offene und individuelle Bewertung zulassen, sodass die Bewertung nicht mehr zwingend vergleichbar sein muss. Einige Systeme basieren auf Reifegradmodellen, andere auf Checklisten und wieder andere bewerten das Gebäude individuell. Ein wesentlicher Unterschied besteht jedoch darin, von wem sie entwickelt wurden. Zum einen gibt es privatwirtschaftliche Systeme, bei denen die Datenlage eher schlecht ist, zum anderen nicht-privatwirtschaftliche Systeme, bei denen die Datenlage gut ist.

Zur Übersicht aller Digitalisierungszertifizierungssysteme sind die Allgemeinen Punkte sowie deren Pro und Contras aller Systeme in der Tabelle 3.17 übersichtlich dargestellt.

Tabelle 3.17: Bewertung von verschiedenen Verfahren

	Allgemein	Pro	Contra
BiQ	<ul style="list-style-type: none"> • Nichtwohngebäude • Energieverteilung, Kommunikations- und Netzwerksysteme und externe Anbindung des Gebäudes 	<ul style="list-style-type: none"> • von unterschiedlichen Stakeholdern entwickelt • transparentes Bewertungsverfahren 	<ul style="list-style-type: none"> • 329 Fragen • teilweise sehr allgemeine Fragen
Digital Ready Check	<ul style="list-style-type: none"> • 200 Kriterien 	<ul style="list-style-type: none"> • von unterschiedlichen Stakeholdern entwickelt 	<ul style="list-style-type: none"> • privatwirtschaftliches Tool, daher sehr geringe Informationslage
IB-Index	<ul style="list-style-type: none"> • drei Bereiche gegliedert: Projektlebenszyklus, Ausrüstung und Steuerung, Überwachung und Management 	<ul style="list-style-type: none"> • wissenschaftliche Basis 	<ul style="list-style-type: none"> • sehr geringe Informationslage
SBC	<ul style="list-style-type: none"> • sechs quantitative Messgrößen • zwei qualitative Messgrößen 	<ul style="list-style-type: none"> • ganzheitlicher Ansatz, der Technologie und menschliche Prozesse integriert • individuelle Bewertung möglich 	<ul style="list-style-type: none"> • privatwirtschaftliches Tool, daher eingeschränkte Transparenz • subjektive Bewertung der qualitativen Bereiche, was die Vergleichbarkeit erschwert

	Allgemein	Pro	Contra
SBR	<ul style="list-style-type: none"> • auf britische Wohngebäude ausgelegt • 2023 entwickelt 	<ul style="list-style-type: none"> • Teile der Methodik bekannt • betrachtet individuell das Potenzial jeden Gebäudes 	<ul style="list-style-type: none"> • Methodik noch in der Entwicklung • entwickelt durch eine Lobby
SMART-NESS-INDEX	<ul style="list-style-type: none"> • berücksichtigt: Wirtschaft, Energie und Komfort der Bewohner 	<ul style="list-style-type: none"> • wissenschaftliche Basis • wurde von mehreren Stakeholdern entwickelt • transparente Methode, die einfach und schnell ist 	<ul style="list-style-type: none"> • subjektive Bewertung
Smart Readiness Indicator	<ul style="list-style-type: none"> • Wohn- und Nichtwohngebäude • Bereiche, die im Zusammenhang mit Energieverbrauch stehen 	<ul style="list-style-type: none"> • transparente Methodik • politisches Interesse • wurde von mehreren Stakeholdern entwickelt • anpassungsfähig 	<ul style="list-style-type: none"> • Vergleichbarkeit wird durch anpassungsfähig der EU-Mitgliedstaaten erschwert
Smart Score	<ul style="list-style-type: none"> • für große Nichtwohngebäude 	<ul style="list-style-type: none"> • individuelle Assessments 	<ul style="list-style-type: none"> • privatwirtschaftliches Tool, daher eingeschränkte Transparenz • nur für große Nichtwohngebäude

	Allgemein	Pro	Contra
SPIRE	<ul style="list-style-type: none"> • Wohn- und Nichtwohngebäude sowie Gebäudequartiere • 68 Fragen in sechs Bereichen 	<ul style="list-style-type: none"> • Self Assessment möglich • ganzheitlicher Ansatz (Konnektivität, Energie, Sicherheit, Gesundheit, Nachhaltigkeit) 	<ul style="list-style-type: none"> • unklare Bewertungsmethodik und Gewichtung der Fragen • privatwirtschaftliches Tool, daher eingeschränkte Transparenz
WoWi	<ul style="list-style-type: none"> • Digitalisierung von Wohnungsunternehmen 	<ul style="list-style-type: none"> • individuelle Auswertung 	<ul style="list-style-type: none"> • privatwirtschaftliches Zertifizierungssystem • kein Fokus auf Digitale Gebäude
Zertifikat aus China	<ul style="list-style-type: none"> • Wohn- und Nichtwohngebäude sowie Gebäudequartiere in verschiedenen Lebenszyklusphasen • umfasst Anforderungen an Effizienz, Sicherheit, Nachhaltigkeit und Komfort 	<ul style="list-style-type: none"> • transparente Methodik • berücksichtigt Bereiche wie Cloud Computing und AI 	<ul style="list-style-type: none"> • Nachweise durch Dokumente zu führen • teilweise werden keine Technologien abgefragt, sondern nur Formalitäten • teilweise allgemeine Fragen, ohne Bezug zur expliziten Technologien (daraus ergibt sich ein Interpretationsspielraum)

Entwicklung eines Verfahrens zur Entwicklung eines Zertifizierungsmodells

Ziel dieser Arbeit ist die Entwicklung und Evaluation eines Zertifizierungsmodells zur Bestimmung der Intelligenz eines Gebäudes. Dazu soll ein Ansatz gewählt werden, der die systematische Entwicklung eines solchen Zertifizierungsmodells ermöglicht. Im Abschnitt 2.3 sind bestehende Verfahren (de Bruin et al., 2005, Maier et al., 2011, Mettler, 2009) dargestellt. Diese vorgestellten Verfahren müssen noch an die Immobilienwirtschaft angepasst werden, da sie ursprünglich für die Informationstechnologie entwickelt wurden.

Die Herausforderung besteht darin, ein Verfahren zu entwickeln, das einfach anzuwenden ist und dennoch die komplexe Realität abbildet. Die Literatur (vgl. 2.3) zeigt, dass eine einmalige Reifegradbewertung nicht ausreicht, um ein Gebäude signifikant zu verbessern. Die in Abschnitt 3 vorgestellten Systeme bewerten in erster Linie den IST-Zustand eines Gebäudes. Sie geben damit an, dass dies die Grundlage für ein Benchmarking bildet und durch eine gewisse Interpretation der Ergebnisse eine Optimierungsstrategie abgeleitet werden kann. Dies wird jedoch von keinem System explizit gefordert.

Zu Beginn des neuen Jahrtausends definierte de Bruin et al. (2005) drei wesentliche Phasen eines Bewertungsmodells (vgl. Abschnitt 2.3.2), die zwar individuell ablaufen können, jedoch essenziell für ein vollständiges Modell sind. Jede dieser Phasen beschreibt ein Modell, welches unterschiedliche

Methoden verwendet. Zusammen bilden diese drei Modelle das gesamte Zertifizierungsmodell. Wendet man diese drei Modelle auf die Bewertung einer Immobilie an, so lassen sie sich wie folgt beschreiben:

1. Deskriptives Modell: In dem deskriptiven Modell wird der Ist-Zustand beschrieben. Sobald ein Gebäude zertifiziert ist, ist der aktuelle Stand der verbauten Technik und Analgen bekannt. Da der technologische Wandel rasant ist, stellt dieser Zustand nur eine Momentaufnahme dar und wird mit hoher Wahrscheinlichkeit in wenigen Jahren veraltet sein. Im Gegensatz dazu veraltet eine Nachhaltigkeitsbewertung nicht, da häufig der Bau eines Gebäudes als solches zertifiziert wird. Daher muss ein Verfahren entwickelt werden, das den aktuellen IST-Zustand eines Gebäudes widerspiegelt und auch zukünftige neue Technologien berücksichtigt.
2. Präskriptives Modell: In dem präskriptiven Modell wird aufgezeigt, wie die Verbesserung des Reifegrades angegangen werden soll. Diese Phase kann auch als Interpretation der ersten Phase betrachtet werden. Um eine Immobilie erfolgreich zu betreiben, ist es notwendig, die zukünftigen finanziellen Aufwendungen frühzeitig zu kennen. Die strategische Planung einer Immobilie ermöglicht eine effizientere und nachhaltigere Bewirtschaftung von Gebäuden und ganzen Portfolios. Es soll ein Verfahren entwickelt werden, das den beteiligten Stakeholdern Vorschläge zur Verbesserung der Intelligenzfähigkeit unterbreitet und somit eine mögliche Digitalisierungsstrategie aufzeigt.
3. Benchmark-Modell: Das Benchmark-Modell ermöglicht ein Benchmarking zwischen Sektoren und/oder Regionen. Gerade weil die Immobilienbranche sehr konservativ ist und ihre Schlüsse oft aus solchen Benchmarks zieht, ist diese Phase von großer Bedeutung. Innovationen bergen Risiken, aber auch Chancen, die durch solche Benchmarks aufgezeigt werden können (Nutt, 2000). Es muss eine Methode entwickelt werden, die es den beteiligten Akteuren ermöglicht, ein Benchmarking durchzuführen, um daraus ihre eigenen Schlüsse zu ziehen.

Die Entwicklung der drei Modelle erfordert ein systematisches Vorgehen. Die in Abbildung 4.1 nochmals zur Übersicht dargestellten Verfahren (vgl. Abschnitt 2.3) weisen relativ ähnliche Schritte auf, die zeitlich aufeinander folgen. Die Autoren de Bruin et al. und Maier et al. haben dabei einen linearen Verlauf dargestellt und als letzten Schritt „warten“ bzw. „Warten“ deklariert. Dieser Schritt ist stark verallgemeinert, da auch die Wartung sehr arbeitsintensiv sein und ganze Verfahren verändern kann. Dieses Vorgehen wurde von (Mettler, 2009, 2011) mit einem zyklischen Verfahren umgangen, das auch die Realität besser widerspiegelt. Gerade in der sich schnell verändernden Technologiebranche und damit auch in der Digitalisierung der Immobilienwirtschaft ist dieses zyklische Vorgehen besser geeignet. Auch die Erkenntnisse aus der praktischen Erprobung der Verfahren sind ein wesentliches Merkmal dieses Verfahrens.

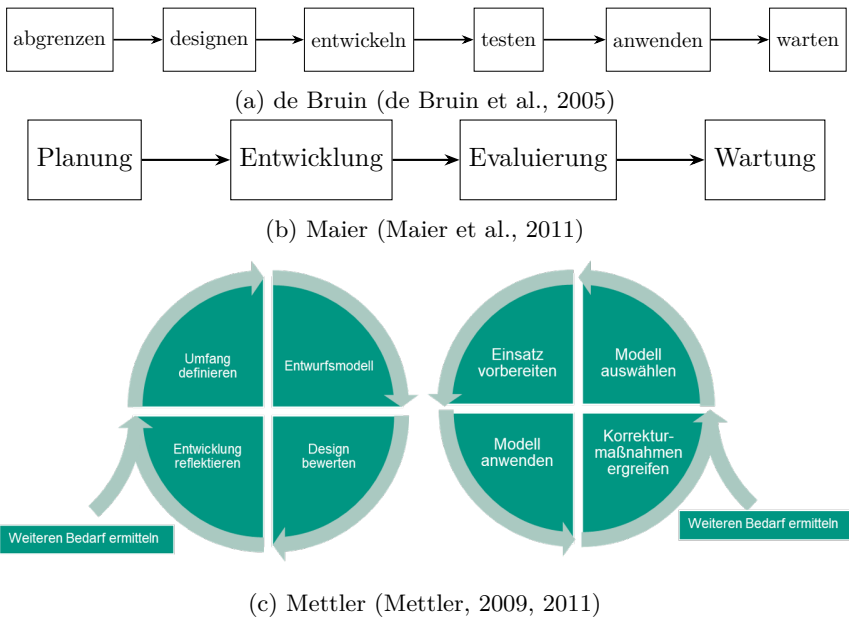


Abbildung 4.1: Entwicklungsschritte nach de Bruin, Maier und Mettler

Die im Abschnitt 2.3 beschriebenen Verfahren wurden an die Problemstellung der Immobilienbranche angepasst, kombiniert und ergänzt, sodass ein auf ein Gebäude anwendbares Verfahren im Hinblick auf den nutzerorientierten Gebäudebetrieb möglich wird. Das Ergebnis des entwickelten Verfahrens ist in Abbildung 4.2 dargestellt und die einzelnen Schritte werden im Folgenden genauer beschrieben.

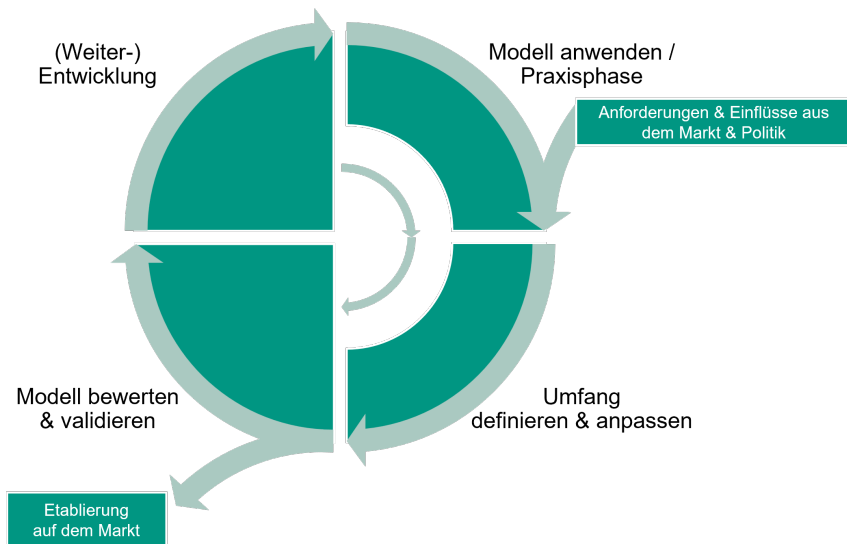


Abbildung 4.2: Verfahren zur Entwicklung eines Zertifizierungsmodells (eigene Darstellung)

Anforderungen & Einflüsse aus Markt & Politik: Generell muss es einen Bedarf für ein Zertifizierungssystem geben. Entweder ergibt sich dieser Bedarf aus einer politischen und/oder regulatorischen Forderung und/oder es kommt direkt aus dem Markt. Wenn ein Bedarf besteht, kann mit dem nächsten Schritt *Umfang definieren & anpassen* fortgefahren werden.

Umfang definieren & anpassen: Das zu entwickelnde Zertifizierungsmodell muss sich an eine Zielgruppe richten und einen Zweck für

diese Zielgruppe erfüllen. Zu Beginn muss diese Zielgruppe, für die das Modell entwickelt wird, klar definiert werden. Weiterhin muss definiert werden, wie die Bedürfnisse dieser Zielgruppe erfüllt werden können und wo der Fokus liegen soll. Hier werden grundlegende Entscheidungen für die Anwendbarkeit getroffen, wie z.B., ob es prozess-, objekt- oder personenorientiert oder eine Kombination aus allen sein soll. Die Besonderheit in der Immobilienwirtschaft ist, dass das zentrale Element ein Gebäude ist und andererseits eine Vielzahl von Stakeholdern (vgl. Abschnitt 2.2.2) mit dem Gebäude interagieren. Diese Interaktionen der Stakeholder können zur Zielerreichung der definierten Zielgruppe beitragen. Daher ist es notwendig die Interessen dieser Stakeholder zu identifizieren, um auch für sie einen Mehrwert zu schaffen und somit eine ganzheitliche Betrachtung zu erreichen.

Um die Methode zielgerichtet entwickeln zu können, muss von Anfang an ein Erfolgsziel definiert werden. Die Definition möglicher Erfolgskriterien ist notwendig, um eine aussagekräftige Bewertung der Methode durchführen zu können.

Nach der Ermittlung des Bedarfs und der Festlegung des Umfangs ist zu prüfen, ob die bestehenden Methoden diesen Bedarf und diesen Umfang abdecken. Dazu werden die vorhandenen Methoden näher analysiert.

Wenn ein bestehendes Zertifizierungsmodell angepasst wird, muss lediglich der Umfang überprüft und gegebenenfalls angepasst werden, falls das Verfahren mehrere Zyklen durchläuft.

Nach erfolgreicher Definition des Umfangs kann mit dem nächsten Schritt *Modell bewerten / validieren* fortgefahren werden.

Modell bewerten / validieren: In diesem Schritt wird das Modell mit seinen Verfahren und die verwendeten Methoden evaluiert. Dabei ist es unerheblich, ob zuvor eine *Praxisphase* stattgefunden hat oder ob das Modell direkt aus dem Schritt der *(Weiter-)Entwicklung* bewertet wird. In diesem Schritt wird überprüft, ob eine Übereinstimmung zwischen den Ergebnissen des Autors und dem Verständnis der Teilnehmer besteht und ob die definierten Ziele erreicht wurden. Eine kritische Auseinandersetzung mit der Methodik ist erwünscht, ebenso wie detaillierte Analysen, sodass Defizite aufgezeigt werden können.

Damit wird ein Änderungsbedarf aufgezeigt, sodass das hier vorgestellte Verfahren ggf. wiederholt werden muss (Folgeschritt (*Weiter-Entwicklung*) - falls nichts weiterentwickelt werden soll ist der nächste Schritt die *Etablierung auf dem Markt*).

Wird ein Modell von Grund auf neu entwickelt und gibt es weder eine Vorlage noch ein zu evaluierendes Modell, so wird dieser Schritt einmalig übersprungen und direkt mit der *Entwicklung* fortgefahren.

(Weiter-)Entwicklung: Nachdem der Umfang definiert ist und ggf. ein bereits bestehendes Modell bewertet wurde, kann das Verfahren (weiter-)entwickelt werden. Dabei ist zu beachten, dass die Entwicklung kein starrer, sondern ein aktiver Prozess ist, der vom interaktiven Austausch mit den Stakeholdern lebt. Insgesamt können mehrere Zyklen durchlaufen werden, die sich dem Endergebnis immer weiter annähern sollten, wobei die Veränderung mit jeder Iteration kleiner wird. Es sollte so lange weiterentwickelt werden, bis es keine wesentlichen Änderungsvorschläge der Teilnehmer mehr gibt. Dabei gilt, dass in den nächsten Schritt übergegangen wird (*Praxisphase, Umfang anpassen* oder *Modell bewerten & validieren*), wenn die Teilnehmer einen Konsens des erarbeiteten Modells gefunden haben. Es ist wichtig zu verstehen, dass ein Zwischenergebnis noch nicht das abschließende Ergebnis widerspiegelt, da durch eine erneute Bewertung festgestellt werden kann, dass weiterentwickelt werden sollte. Während der Entwicklung können unterschiedliche Methoden zum Einsatz kommen, die das Kernziel unterstützen wie beispielsweise Umfragetools, Benchmarks, Algorithmen und/oder mathematische Berechnungsmethoden. Bei den verwendeten Methoden sind keine Grenzen gesetzt. Dennoch gibt es Methoden und Vorgehensweisen die speziell für die einzelnen Phasen prädestiniert sind:

1. deskriptives Modell:

Für das deskriptive Modell muss definiert werden, welche Kernaufgabe, Schlüsselbereiche und/oder -prozess das Verfahren abdecken soll. Mithilfe einer umfassenden Literaturrecherche können die sogenannten kritischen Erfolgsfaktoren (vgl. Abschnitt 2.2.4) identifiziert werden. Diese grundlegende Literaturrecherche kann durch Experten verifiziert und ergänzt werden. Ei-

ne anschließende Priorisierung durch Nominal-Group-Technik, Delphi-Methode, Fallstudien und/oder Diskussion ergibt eine Prioritätenlist der zu entwickelnden Bereiche. Sind die einzelnen Bereiche definiert, können weitere (Unter-)Bereiche entwickelt werden. Eine wichtige Fragestellung bei der Entwicklung dieser (Unter-)Bereiche ist, wie die Bedürfnisse der Zielgruppe erfüllt werden können.

Zur Bewertung der einzelnen (Unter-)Bereiche kann ein Reifegradmodell verwendet werden. Aufgrund neuer technologischer Lösungen und neuer Best Practices ist diese Ausprägung des Reifegarads nie statisch und sollte mit der Zeit angepasst werden. Die Erarbeitung des jeweiligen Reifegrads kann auf zwei grundsätzlichen Methoden (de Bruin et al., 2005) durchgeführt werden:

- Top-Down: Diese Methode ist besonders geeignet, wenn noch nicht klar ist, was abgefragt werden kann. Diese Methode wird insbesondere in Bereichen angewandt, die noch relativ unausgereift sind und in denen es nur wenige Anhaltspunkte dafür gibt, was unter den verschiedenen Reifegraden zu verstehen ist. Es werden allgemeine Definitionen beschrieben, die erreicht werden sollten.
- Bottom-Up: Zuerst werden die Anforderungen, die Maßnahmen und die verwendeten Technologien festgelegt und dann die entsprechenden Definitionen erstellt, die diese repräsentieren. Dieses Vorgehen eignet sich, wenn bereits Erfahrungen vorliegen und der Reifegrad abgeschätzt werden kann.

2. präskriptives Modell:

Das präskriptive Modell gibt eine Empfehlung zur Verbesserung des Ist-Zustandes, die auch als Optimierungsstrategie bezeichnet werden kann. In der Wissenschaft haben sich einige Methoden für Optimierungsalgorithmen etabliert (Talbi, 2009). Einen Überblick über mögliche Methoden gibt die Abbildung 4.3.

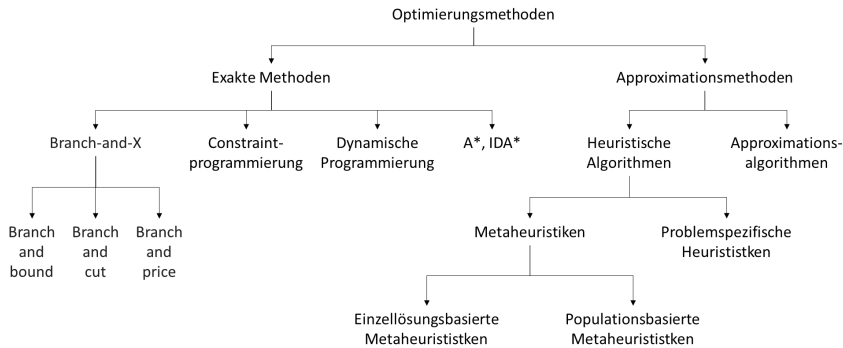


Abbildung 4.3: Übersicht unterschiedlicher Algorithmen zur Optimierung nach (Talbi, 2009)

3. Benchmark-Modell:

Bei dem Benchmark-Modell wird empfohlen, ein Benchmarking durchzuführen, wobei verschiedene Werkzeuge wie Excel oder interaktive Dashboards verwendet werden können.

Am Ende der Entwicklung liegt ein Entwurfsmodell vor. Es muss über das weitere Vorgehen entschieden werden: Ist das Entwurfsmodell so ausgereift, dass eine Praxisphase durchgeführt werden kann, um anschließend neue Erkenntnisse zur Verbesserung der Methode zu gewinnen, so ist dies der logische Folgeschritt. Ist das Entwurfsmodell noch nicht ausgereift oder sprechen andere Argumente gegen eine *Praxisphase*, wird diese übersprungen und direkt mit der *Modellbewertung* fortgefahren.

Modell anwenden / Praxisphase: Zu Beginn der Praxisphase ist festzulegen, wo und von wem das Modell angewendet wird und wer für die Durchführung verantwortlich ist. Der Untersuchungsrahmen muss klar definiert werden. Bei Gebäuden ist die Anzahl der zu erfassenden Immobilien sowie deren Art, Lage und Fläche festzulegen. Es ist zu klären, wie oft das Modell angewendet werden soll und wie die Daten erhoben werden. Die vorherige Definition einer erfolgreichen Praxisphase erleichtert die spätere Auswertung.

Während der Anwendung kann es zu Problemen oder Rückfragen einzelner Teilnehmer kommen, die beantwortet werden müssen. Es ist darauf zu achten, dass alle Teilnehmer den gleichen Informationsstand haben.

Etablierung auf dem Markt: Ist das entwickelte Modell marktreif und für eine breite Anwendung geeignet? Ziel ist es, das Verfahren zu vermarkten und dieses den relevanten Stakeholdern näher zu bringen. Wenn das Modell am Markt platziert ist, bedeutet dies nicht den Abschluss der Entwicklung. Im Laufe der Zeit kommen neue technologische Lösungen, Anforderungen und Einflüsse aus dem Markt und der Politik hinzu. Nach einer gewissen Zeit ist es notwendig, das Modell, dargestellt durch „Anforderungen & Einflüsse aus dem Markt & Politik“, neu zu bewerten und gegebenenfalls anzupassen.

Deskriptives Modell

In diesem Kapitel wird ein deskriptives Modell nach dem in Kapitel 4 beschriebenen Verfahren entwickelt. Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wurde entschieden, Abschnitt 5.4 und Abschnitt 5.5 getrennt zu dokumentieren, auch wenn die Entwicklung in diesen Bereichen parallel verlief. Abbildung 5.1 gibt einen Überblick über die einzelnen Unterabschnitte.

5.1 Auswahl eines Zertifizierungsmodells

Betrachtet man sich die zusammengestellten Zertifizierungssysteme aus Abschnitt 3 genauer, so sticht besonders der SRI heraus. Der SRI wird für Gebäudeeigentümer in Europa von höchstem Interesse sein, da seit der Neufassung der EPBD (Parlament und der Europäischen Union, 2024) aus dem Jahr 2024 der SRI ab Juni 2027 für große Nichtwohngebäude verpflichtend sein wird:

„Artikel 15 [...] (2) Bis zum 30. Juni 2026 legt die Kommission dem Europäischen Parlament und dem Rat auf der Grundlage der verfügbaren Ergebnisse der nationalen Testphasen und anderer einschlägiger Projekte einen Bericht über die Prüfung und Umsetzung des Intelligenzfähigkeitsindikators vor.

Die Kommission erlässt unter Berücksichtigung der Ergebnisse des Berichts bis zum 30. Juni 2027 einen delegierten Rechtsakt gemäß Artikel

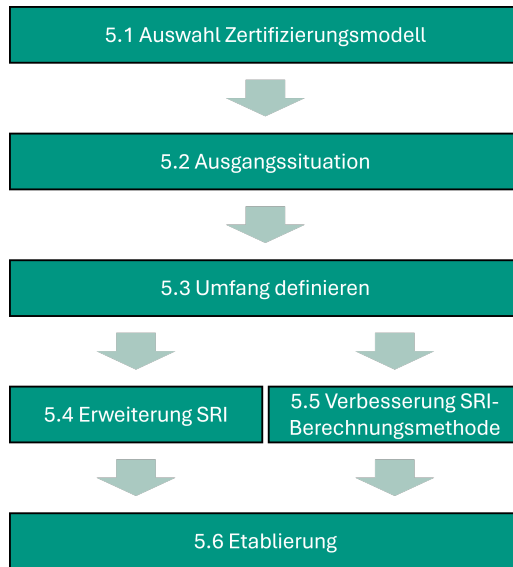


Abbildung 5.1: Aufbau des 5. Kapitels
Aufbau des 5. Kapitels (eigene Darstellung)

32 zur Ergänzung dieser Richtlinie, in dem die Anwendung des gemeinsamen Systems der Union zur Bewertung der Intelligenzfähigkeit von Gebäuden gemäß Anhang IV auf Nichtwohngebäude mit einer Nennleistung für eine Heizungsanlage, eine Klimaanlage, eine kombinierte Raumheizungs- und Lüftungsanlage oder eine kombinierte Klima und Lüftungsanlage von mehr als 290 kW vorgeschrieben wird.

[...]“

Artikel 15 stellt die Einigung des Trilogs zwischen dem Rat der Europäischen Union, der Europäische Kommission und dem Europäischen Parlament dar. Der Trilog ist ein zentraler Bestandteil des Gesetzgebungsprozesses, bei die drei europäischen Institutionen in informellen Verhandlungen zusammenkommen, um Einigungen über Gesetzesvorschläge zu erzielen. In diesen

Gesprächen wird versucht Differenzen frühzeitig auszuräumen und Kompromisse zu finden, damit die Gesetze effizienter und schneller verabschiedet werden können. Zu erwähnen ist, dass das Europäische Parlament im Bereich des SRI etwas schärfere Forderungen hatte (Europäisches Parlament, 2024):

„[...] Ab dem 1. Januar 2030 gilt das gemeinsame Unionsverfahren für nicht-wohnwirtschaftliche Gebäude mit einer effektiven Nennleistung von mehr als 70 kW. [...]“

Aus diesem Grund wird in dieser Arbeit der SRI als Grundlage verwendet, alle anderen Systeme (soweit die Methodik bekannt ist) werden für die Erweiterung des SRI berücksichtigt. Insbesondere die Tatsache, dass der SRI verpflichtend wird und von den Mitgliedsstaaten getestet werden kann und somit die Möglichkeit besteht, den SRI mitzugestalten, macht dieses Vorhaben umso relevanter. Intention ist, den SRI auf wissenschaftlicher Basis zu untersuchen und so der Kommission, wie beschrieben, durch „*anderer einschlägiger Projekte*“ Ergebnisse bereitzustellen und so die Zukunft der digitalen Gebäude in Europa mitzugestalten.⁶ Systeme, die aus anderen Ländern stammen, haben keinen politischen Einfluss auf Deutschland. Auch privatwirtschaftliche Systeme sind politisch irrelevant.

Im Abschnitt 2.2.4 wurden kritische Erfolgsfaktoren identifiziert, die für einen erfolgreichen Betrieb berücksichtigt werden sollten. Diese kritischen Erfolgsfaktoren stellen eine Hilfestellung für die (Weiter-)Entwicklung eines Modells dar und zeigen auf, auf welche Bereiche der Fokus gelegt werden sollte. Da es hier um die Auswahl eines Modells geht, das als Grundlage für die Weiterentwicklung dienen soll, ist das Fehlen dieser Erfolgsfaktoren in den entsprechenden Verfahren und Methoden nicht entscheidend, da nicht vorhandene Erfolgsfaktoren in zukünftigen Version ergänzt werden können bzw. sollten. Zudem muss eine Weiterentwicklung des verwendeten

⁶Zu Beginn dieses Forschungsvorhabens bzw. Dissertation konnte noch nicht abgesehen werden, dass die erarbeitenden Ergebnisse direkt in die deutsche Testphase eingehen werden. Seit Januar 2024 ist das KIT/TMB für die Durchführung der offiziellen Testphase für die BRD, welche maßgeblich durch das SRI-Forschungsobjekt und dieser Dissertation initiiert wurde, verantwortlich.

Zertifizierungsmodells möglich, das dahinter stehenden Verfahren sowie Methode bekannt sein, was beim SRI der Fall ist.

Bei der grundsätzlichen Auswahl des Zertifizierungsmodells ist die politische Relevanz am Standort Deutschland ein wichtiges Kriterium, da dies einen zukünftigen Treiber darstellt.

Eine Übersicht aller Zertifizierungsmodelle ist in Tabelle 5.1 zu entnehmen.

Tabelle 5.1: Bewertung von verschiedenen Verfahren

	BiQ	Digital Ready Check	WoWi	IB-Index	SBC	SBR	SMARTNESSINDEX	SRI	SmartScore	SPIRE	Zertifikat aus China
politische Relevanz in der BRD	○	○	○	○	○	○	○	●	○	○	○

5.2 Ausgangssituation

Wie bereits in den Abschnitten 3.2.5 und 5.1 erläutert, wurde der SRI politisch vom Europäischen Parlament und vom Europäischen Rat gefordert. Die Mitgliedstaaten der Europäischen Union wurden aufgefordert zu prüfen, wie der SRI in die nationale Gesetzgebung integriert werden kann. Dazu können die einzelnen EU-Mitgliedsstaaten nationale Testphasen durchführen (vgl. Abschnitt 5.2.3).

Die Entwicklung des Umfangs, die Praxisphase und die Bewertung des Modells fanden in mehreren Expertengremien statt (Verbeke et al., 2020, 2018) und wurden 2021 veröffentlicht. Zu dem haben einzelne Unternehmen

in den frühen Phasen des SRI einzelne Studien durchgeführt und diesen getestet (vgl. Abschnitt 5.2.1). Auch die EU hat Forschungsprojekte gefördert, die den SRI untersuchen sollen (vgl. Abschnitt 5.2.2).

5.2.1 Studien

Studie aus Dänemark

Das dänische Technologieinstitut hat im Auftrag der dänischen Energiebehörde eine Studie zum SRI durchgeführt. Diese Studie hat unterschiedliche Zielbereiche abgedeckt (Christiansen et al., 2022):

- Es wurde eine praktische Bewertung des SRI-Systems für bestehende Gebäude in Dänemark durchgeführt und der SRI-Score ermittelt. Die Ergebnisse wurden mit verschiedenen Interessengruppen diskutiert, einschließlich eines Vergleichs mit anderen Zertifizierungssystemen und dem dänischen Energieausweis.
- Es wurde untersucht, ob die Services der SRI-Methodik unter den dänischen Bedingungen anwendbar sind und ob eventuelle Anpassungen nötig sind. Weiterhin wurden die notwendigen Fähigkeiten identifiziert, die eine Person besitzen sollte, um ein SRI-Zertifikat für ein Gebäude ausstellen zu können.
- Die Ergebnisse und Erkenntnisse des Projekts wurden veröffentlicht und öffentlich zugänglich gemacht. Außerdem wurde ein Workshop mit relevanten Stakeholdern organisiert, um das Bewusstsein für das SRI-Programm zu steigern.

Die wichtigsten Projektergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Die Eigentümer von Gebäuden haben hohe Erwartungen bezüglich der Leistung ihrer Immobilien und streben einen hohen SRI-Score an. Diese erwarten, dass ein Gebäude mit einer hohen DGNB-Zertifizierung

(Gold oder Platin) auch einen hohen SRI-Score hat. Wenn ein hohes SRI-Ergebnis nicht erreicht wird, wird das System als uninteressant betrachtet. Ein Lösungsvorschlag der Studie zur Verbesserung ist die Anpassung der Klassengruppierungen des SRI (Christiansen et al., 2022) (z.B.: „SRI 65“: 100% bis 65%, „SRI 50“: 65% bis 50%, „SRI 35“: 50% bis 35%, „SRI 0“: 35% bis 0%) (Christiansen et al., 2022).

- Der SRI suggeriert eine umfassende Überprüfung der Gebäudeautomation, kann jedoch irreführend sein und die tatsächliche Wartungssituation verzerrt darstellen. In der Praxis ist es effizienter, die Gebäudeautomation von zehn Gebäuden ausgiebig zu prüfen, als hundert Gebäude oberflächlich mit dem SRI zu bewerten (Christiansen et al., 2022).
- Konkrete Vorschläge zur Verbesserung des SRI-Scores sollten gemacht werden (Christiansen et al., 2022) und ein Vergleich mit anderen Gebäuden gleicher Art, Größe und Alter sollte möglich sein (Christiansen et al., 2022).
- Der Servicekatalog sollte auch die Energieflexibilität für Lüftung und Fernwärme berücksichtigen und nicht nur den Strom im Gebäude (Christiansen et al., 2022). Trotzdem ist der Servicekatalog insgesamt sehr umfassend und praxiserprobt (Christiansen et al., 2022).
- Es ist sicherzustellen, dass eine sachliche Beratung bezüglich SRI zur Verfügung steht. Außerdem sollte die Beratung über potentielle Optimierungen und deren Auswirkungen angeboten werden. SRI ist von geringem Nutzen für eine Liegenschaft, wenn es keinen Mehrwert bietet (Christiansen et al., 2022).
- Der SRI-Berater muss über eine umfangreiche interdisziplinäre, theoretische und praktische Kompetenz im Bereich der Gebäudeautomation verfügen (Christiansen et al., 2022). Zudem sind praktische Erfahrungen in der Gebäudeinstallation und -automation erforderlich, die auf interdisziplinären Tätigkeiten basieren, wie beispielsweise der Raumklimaregelung, Energiekennzeichnung von Gebäuden, Funktionsprüfung von Gebäudeinstallationen sowie Gebäudebetrieb (Facility Management). Eine zweijährige Tätigkeit in verwandten Bereichen wird empfohlen. Die theoretische Ausbildung sollte dem Niveau 6

oder höher gemäß des Deutschen Qualifikationsrahmens, welches auch dem Bachelor-Niveau entspricht, entsprechen. Ein Einführungskurs in das SRI-System sollte verpflichtend sein (Christiansen et al., 2022).

Studie aus Deutschland

In einer anderen Studie werden die Optimierungsmöglichkeiten der SRI-Methodik der EU-Kommission untersucht und die positiven Auswirkungen des SRI auf die Energieeffizienz und CO₂-Bilanz von Gebäuden analysiert (Offermann et al., 2022). Die wesentlichen Ergebnisse und Erkenntnisse dieser Studie sind:

- Die Anzahl der Serviceleistungen soll von ursprünglich 54 auf 21 für Wohngebäude und 22 für Nichtwohngebäude verringert werden (Offermann et al., 2022).
- Die Gewichtungen aller Impacts sollen neu festgelegt werden:
 - 40 % Energieeffizienz
 - * 30 % Energieeffizienz
 - * 10 % Wartung und Fehlervorhersage
 - 40 % Netzdienlichkeit
 - * 40 % Energieflexibilität und -speicherung
 - 20 % Nutzerkomfort
 - * 5 % Komfort
 - * 5 % Benutzerfreundlichkeit
 - * 5 % Gesundheit, Wohlbefinden
 - * 5 % Verbrauchsinformation
- Ein Entwurf für ein mögliches SRI-Zertifikat mit den erforderlichen Informationen wurde erarbeitet.
- Der SRI evaluiert ausschließlich die theoretischen Potenziale der verwendeten Regelungstechnik und dient als Maß für deren Intelligenz.

Er erfasst nicht die Gesamtenergieeffizienz oder Bedarfsflexibilität eines Gebäudes, sondern zeigt lediglich, wie eine intelligente Steuerungs- und Regelungstechnik in der Theorie Verbesserungen erzielen könnte. Es sollte beachtet werden, dass der SRI ein relatives Maß ist und keine absoluten Werte für die möglichen Verbesserungen durch diese Technologie angibt. (Offermann et al., 2022)

- Es sollte ein Online-Tool entwickelt werden, welches den beteiligten Stakeholdern ermöglicht, eine Gebäudebewertung einfach darzustellen und potenzielle Verbesserungsmöglichkeiten zu erhalten.

Darüber hinaus wurde für einen Teil der bestehenden Stakeholder, die in Tabelle 2.1 aufgelistet sind, bewertet, ob und wie sie mit SRI interagieren können (Tabellen A.4 bis A.6).

Studie aus Österreich

Ziel der österreichischen Studie war es, verschiedene SRI-Ansätze im Rahmen einer Testphase zu analysieren. Daraus ergaben sich einige Punkte für die Weiterentwicklung des SRI. Der SRI-Österreich sollte auf drei wesentlichen „Säulen“ aufgebaut werden, wobei die Gewichtungen im Vergleich zur EU angepasst werden sollten (Knotzer et al., 2019):

- Flexibilität, Lastverschiebung (50%)
- Energieeffizienter Betrieb inkl. Erneuerbare (40%)
- Bedarf der Nutzer (10%)

Das Schlüsselkriterium „Flexibilität und Lastverschiebung“ soll an Bedeutung gewinnen: Die Netzstabilisierung sowie die dazugehörigen Speichermöglichkeiten in Gebäuden spielen dabei eine wesentliche Rolle. Um die Smartness von Gebäuden besser darzustellen, sollte dieses Schlüsselkriterium um die Erkenntnisse aus Märzinger und Österreicher (2019) ergänzt werden.

Die Gewichtungen der SRI-Methodik sollten von öffentlichen Entscheidungsträgern überprüft werden, wobei relevante Services unter Einbeziehung der Stakeholder identifiziert und entwickelt werden sollten. (Knotzer et al., 2022)

Der Komfort und die Bedürfnisse der Nutzer sollen weiterhin Bestandteil der Methodik von SRI-Austria bleiben, jedoch ist eine qualitative Überprüfung und Bewertung notwendig, um eine präzisere und objektivere Herangehensweise mit Unterstützung von Experten zu gewährleisten.

Die ursprünglich im EU-Vorschlag genannten sieben Impacts sollen auf die folgenden vier Impacts beschränkt werden (Knotzer et al., 2019):

- Nachhaltigkeit des Gesamtsystems (bezüglich CO₂ Emissionen und Primärenergiebedarf)
- Energieflexibilität / Netzdienlichkeit
- Gesundheit, Wohlbefinden und Komfort
- Information, Wartung, Fehlerwarnung, Anwenderfreundlichkeit, Eingriffsmöglichkeiten

5.2.2 EU geförderte Projekte

Die Europäische Union fördert Forschungsprojekte, die sich mit dem SRI auseinandersetzen. In Tabelle 5.2 sind für die fünf wesentlichen Projekte das Budget sowie den zeitlichen Rahmen angegeben.

Tabelle 5.2: Übersicht der geförderten SRI-EU-Projekte

Projekt	Start	Ende	Budget	Quelle
easySRI	11/2022	10/2025	2.104.563 €	(European Commission, 2024b)
iEPB	10/2023	09/2026	2.087.355 €	(European Commission, 2024c)
Smart Square	10/2022	09/2025	2.047.124 €	(European Commission, 2024e)
SRI-ENACT	12/2022	05/2025	2.097.587 €	(European Commission, 2024a)
SRI2MARKET	11/2022	10/2025	2.010.081 €	(European Commission, 2024d)

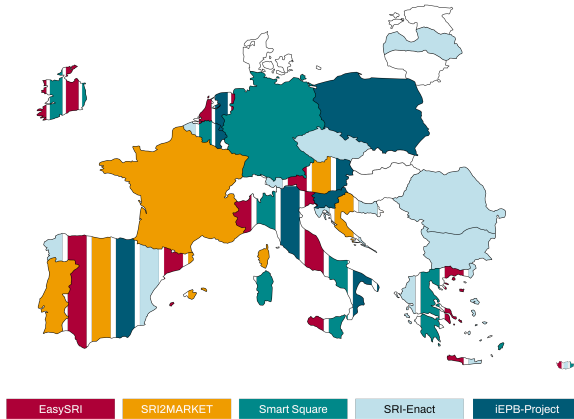


Abbildung 5.2: Karte der geförderten SRI-EU-Projekte (eigene Darstellung)

Smart Square

Das Projekt Smart Square entwickelt eine offene, cloud-basierte Plattform zur Bewertung der Gebäudeintelligenz gemäß SRI, die in allen 24 EU-Amtssprachen verfügbar und an die Besonderheiten der Mitgliedstaaten angepasst ist. Ziel ist es, die Rentabilität von Verbesserungen der Gebäudeintelligenz zu ermitteln und optimale Verbesserungsmaßnahmen auf der Grundlage bestehender CEN-Normen zu definieren. Das Projekt umfasst auch die Entwicklung eines SRI-Audits als Vorstufe zu einer standardisierten Bewertung, unterstützt durch Echtzeitdaten und unter Berücksichtigung von Interoperabilität und Cybersicherheit. Weitere Schwerpunkte sind die Integration von SRI in digitale Gebäudeloggbücher und ein SRI-Observatorium zur Überwachung der SRI-Entwicklung, begleitet von Schulungsinitiativen, einem Callcenter, Online-Schulungen und Veranstaltungen zur Förderung des intelligenten Gebäudemanagements. (European Commission, 2024e)



Abbildung 5.3:
Logo Smart
Square
(SMART²,
2024)

easySRI

Ziel von easySRI ist es, eine webbasierte Plattform zur Verfügung zu stellen, die eine automatisierte Berechnung der SRI von Gebäuden ermöglicht und damit die Etablierung des SRI unterstützt. Die Plattform wird zusätzliche Parameter zur Energieeffizienz und Wirtschaftlichkeit verwenden, um die Informationen für Gebäudenutzer verständlicher zu machen. Mit Hilfe von maschinellem Lernen werden Werkzeuge zur Bewertung der Gebäudeleistung und -Intelligenz bereitgestellt. Workshops und Schulungsmaterialien werden erarbeitet bzw. durchgeführt. Darüber hinaus werden neue Standards entwickelt und Verbindungen zu anderen EU-Initiativen wie Energieausweisen und Renovierungspässen hergestellt, um das Potenzial von SRI in der EU-Politik auszuschöpfen. (European Commission, 2024b)



Abbildung 5.4:
Logo easySRI
(easySRI, 2024)

SRI-ENACT

Das Projekt SRI-ENACT zielt darauf ab, die Einführung von SRI in Europa durch die Entwicklung einer einheitlichen, national angepassten Bewertungsmethode für Gebäudeintelligenz zu unterstützen. Um dies zu erreichen, bringt das Projekt verschiedene Interessengruppen zusammen, um länderspezifische SRI-Implementierungen zu entwerfen, und stellt mit dem SRI-ENACT Toolkit eine umfassende Sammlung von Bewertungs- und Entscheidungswerkzeugen zur Verfügung, die bei der Planung helfen. Darüber hinaus bietet SRI-ENACT Schulungen und Zertifizierungen für neue SRI-Auditoren an, die rund 1.200 Gebäude in acht EU-Ländern bewerten werden, um Erfahrungen zu sammeln und Best Practices zu entwickeln. Die Ergebnisse dieses groß angelegten Feldversuchs sollen Politikempfehlungen und Finanzierungsstrategien für eine breitere Anwendung von SRI-Bewertungssystemen liefern. (European Commission, 2024a)



Abbildung 5.5:
Logo
SRI-ENACT
(SRI-ENACT,
2024)

iEPB

Das iEPB-Projekt zielt darauf ab, die Energieeffizienz des Gebäudebestands in der EU zu verbessern, indem die verschiedenen Bewertungen der Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden, insbesondere Energieausweise, aber auch der SRI, als Grundlage verwendet werden. Zu diesem Zweck wird ein gemeinsames Datenmodell für die Bewertungen entwickelt, das eine einheitliche und skalierbare Anwendung in der gesamten EU ermöglicht, um die Kohärenz und Harmonisierung zwischen den Mitgliedsstaaten zu fördern. Das Modell wird an verschiedene validierte Softwarelösungen angepasst, um die Qualität der Bewertungen zu verbessern. (European Commission, 2024c)



Abbildung 5.6:
Logo iEPB
(iEPB, 2024)

SRI2MARKET

Das Projekt SRI2MARKET unterstützt sechs EU-Mitgliedsstaaten (Österreich, Kroatien, Zypern, Frankreich, Portugal und Spanien) bei der Einführung von SRI in die nationale Regulierung und den Markt. SRI2MARKET verfolgt dabei unterschiedliche Ansätze: In Österreich und Frankreich, wo bereits offizielle Testphasen laufen, unterstützt das Projekt diese mit Fallstudien und Tools und analysiert die Ergebnisse, um Erkenntnisse für andere Länder bereitzustellen. In Portugal und Spanien, die Interesse an der Einführung von SRI zeigen, unterstützt SRI2MARKET die Vorbereitung auf die Testphasen und die zukünftige Einführung von SRI durch die Initiierung von Erfahrungsaustausch und Dialog mit Stakeholdern. In Kroatien und Zypern zielt das Projekt darauf ab, Grundlagen für politische Entscheidungen zu schaffen, indem das Bewusstsein und Interesse für SRI bei politischen Entscheidungsträgern und Marktakteuren geweckt wird. (European Commission, 2024d)



Abbildung 5.7:
Logo
SRI2MARKET
(SRI2MARKET
, 2024)

5.2.3 Testphasen

Die EU-Mitgliedsstaaten sind dazu aufgefordert, den SRI in *nationalen Testphasen* (Parlament and der Europäischen Union, 2024) Ergebnisse bereit zustellen. Dieser Aufforderung sind 14 Mitgliedsstaaten⁷ gefolgt und testen den SRI, wobei Frankreich und Dänemark bereits die Testphase des SRI abgeschlossen haben. Eine Übersicht aller Länder können der Abbildung 5.8 entnommen werden.

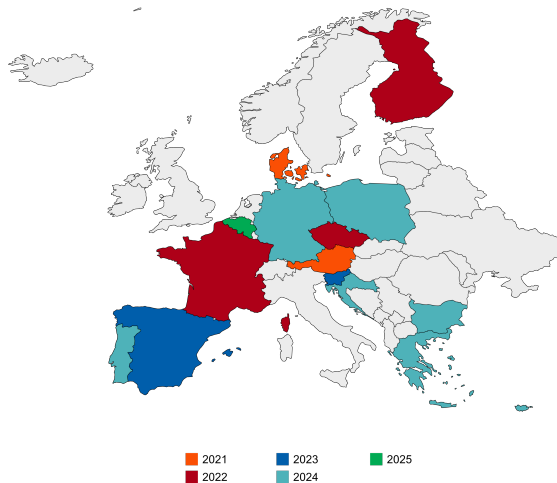


Abbildung 5.8: SRI Testphasen (eigene Darstellung)

Diese Testphasen werden von unterschiedlichen Unternehmen bzw. Institution betreut und organisiert. Teilweise werden die Testphasen im Rahmen der EU-Forschungsprojekte durchgeführt. Die offizielle Testphase Deutschlands betreut das KIT/TMB.

⁷zum Zeitpunkt der Abgabe der Dissertation

5.2.4 Anforderungen der Politik und dem Markt

Ein zentrales politisches Instrument und ein Treiber des SRI ist die EPBD, in der auch die Forderung nach einem SRI enthalten ist. Zum Zeitpunkt der Abgabe dieser Dissertation ist der genaue „Fahrplan“ sowie die Umsetzung des SRI in Europa und dessen Mitgliedsstaaten jedoch noch nicht bekannt. Ein politisches Interesse der drei EU-Institutionen ist jedoch erkennbar, da im Trilog zur EPBD von einer ursprünglich freiwilligen zu einer verpflichtenden SRI (Parlament and der Europäischen Union, 2024) übergegangen wurde. Darüber hinaus steigt die Anzahl der offiziellen Testphasen der einzelnen Mitgliedsstaaten, was ebenfalls auf ein gestiegenes politisches Interesse der Mitgliedsstaaten hindeutet - so auch die BRD.

Zudem wird die Relevanz der Digitalisierung in der Immobilienbranche in mehreren unabhängigen Studien aufgezeigt. So sehen 85% der Befragten einer Digitalisierungsstudie 2023 (ZIA/EY Real Estate, 2023), dass Nachhaltigkeitsziele durch die digitale Transformation besser erreicht werden können. 77% der Befragten sehen keinen Relevanzverlust der Digitalisierung. Die Relevanz der Digitalisierung nimmt demnach kaum ab, denn 50% der Befragten wollen ihre Investitionen in die Digitalisierung erhöhen und 41% wollen sie auf gleichem Niveau halten. Dieses Interesse spiegelt sich auch in der SRI wider, da im Rahmen dieser Dissertation elf führende Unternehmen der Immobilienwirtschaft (vgl. Abschnitt 5.3.1) das Forschungsprojekt sowohl finanziell als auch durch die Teilnahme an Workshops unterstützt haben.

5.3 Umfang definieren

In dieser Arbeit wird der SRI als Grundlage verwendet (vgl. Abschnitt 5.1). Die verschiedenen Absichten und Ziele, die mit dem SRI verfolgt werden, sind in Artikel 30 der EPBD definiert (Europäische Kommission, 2020):

„Der Intelligenzfähigkeitsindikator sollte 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 sowie zur Verbesserung der Gesamtenergieeffizienz und -leistung der Gebäude zu nutzen. Der Intelligenzfähigkeitsindikator sollte die Eigentümer und die Bewohner von Gebäuden auf die Vorteile der Nutzung der Gebäudeautomatisierung und elektronischen Überwachung gebäudetechnischer Systeme aufmerksam machen und sollte bei den Bewohnern Vertrauen im Hinblick auf die durch diese neuen erweiterten Funktionen tatsächlich erzielten Einsparungen schaffen. [...]“

Aufbauend auf dieser Richtlinie hat die Europäische Kommission in Zusammenarbeit mit verschiedenen Stakeholdern unter der Leitung von VITO, WSEE, ECOFYS und OFFIS (Verbeke et al., 2020, 2018) den SRI weiterentwickelt und dabei den Anwendungsbereich weiter spezifiziert (Verbeke et al., 2020):

„Der SRI sollte in einer Nachhaltigkeitslandschaft positioniert sein und der SRI sollte sich jedoch auf die Gesamtenergieeffizienz konzentrieren. Andere Nachhaltigkeitsaspekte wie beispielsweise der Materialverbrauch in einem Gebäude, fallen nicht in den Anwendungsbereich des SRI. Die SRI-Methodik stützt sich insgesamt auf drei Schlüsselfunktionen in Bezug auf das Gebäude und seine gebäudetechnischen Systeme“: (vgl. Abschnitt 3.2.5)

- **Energieeinsparung und Betrieb:** Durch den SRI wird die Energieleistung und der Betrieb des Gebäudes durch Anpassung des Energieverbrauchs verbessert.
- **Reaktion auf Nutzerbedürfnisse:** Der SRI hat die Fähigkeit, die Betriebsweise des Gebäudes an die Bedürfnisse der Nutzer anzupassen.
- **Reaktion auf Bedürfnisse des Stromnetzes.**

Tabelle 5.3: Übersicht der kritischen Erfolgsfaktoren mit SRI

Übersicht der kritischen Erfolgsfaktoren		Smart Readiness Indicator
1. Environment		
1.1. Nachhaltigkeit		
1.1.1. Umwelt		-
1.1.2. Ressourcenverbrauch		Impact: Energieeffizienz
1.2. Gebäude		
1.2.1. Physisch		Domains d_1 bis d_8
1.2.2. Nicht-Physisch		Domain: Steuerung & Überwachung;
1.3. Innovation		
		-
2. Finanzen		
2.1. Kostenmanagement		
		Impact: Wartung und Fehlerprognose
2.2. Werterhaltung		
		je höher der SRI, desto besser
2.3. Energieeffizienz und Kosteneinsparung		
		Impact: Energieeffizienz;
3. Unternehmenspolitik		
3.1. Externe Stakeholder		
3.1.1. Beziehung und Zufriedenheit		-
3.1.2. Qualitätsmanagement		-
3.2. Interne Stakeholder		
3.2.1. Personalmanagement und Arbeitsbedingungen		Impact: Komfort & Bequemlichkeit, Wohlbefinden und Gesundheit
3.2.2. Qualitätsmanagement		Impact: Information für Bewohner
3.3. Management		
3.3.1. Strategische Planung und Führung		-
3.3.2. Richtlinien und Standards		DIN, EPBD
3.3.3. Effiziente Arbeitsabläufe und Ressourcen		-
4. Qualität		
4.1. Zuverlässigkeit		
		Impact: Wartung und Fehlerprognose; Domain: IT-Infrastruktur
4.2. Servicequalität		
		-
5. Sicherheit		
		-

Es ist wichtig anzumerken, dass der SRI nicht die (Energie-)Leistung der gebäudetechnischen Systeme selbst bewertet (z.B. Beleuchtungssteuerung), sondern nur den Mehrwert der intelligenten Steuerung, der Informationserfassung, der Kommunikationsfunktionen und der Interoperabilität. Das primäre Ziel des SRI ist es, den aktuellen Grad der Smartness im Vergleich zum maximalen Potenzial dieses spezifischen Gebäudes zu veranschaulichen. Ein sekundäres Ziel ist es, einen Vergleichsrahmen zwischen Gebäuden zu schaffen. Die SRI-Methodik ist objektorientiert und wenig bis gar nicht prozess- oder personenorientiert.

Der ursprüngliche Umfang und die Ziele sollen beibehalten werden, um der Richtlinie zu entsprechen. Es soll jedoch geprüft werden, wie weitere Bereiche berücksichtigt werden können, indem die Domains und/oder Impacts ergänzt werden, um den Bedürfnissen und Wünschen der verschiedenen Stakeholder gerecht zu werden. Diese individuellen Bedürfnisse sind in dem Anhang in Tabellen A.4 bis A.6 dargestellt. Im Abschnitt 2.2.4 wurden kritische Erfolgskriterien für einen erfolgreichen Gebäudebetrieb identifiziert. Ziel muss es sein, eine größere Anzahl von Erfolgskriterien abzudecken. Tabelle 5.3 zeigt alle kritischen Erfolgsfaktoren, die derzeit durch den SRI abgedeckt werden. Es ist jedoch zu beachten, dass nicht alle identifizierten kritischen Erfolgsfaktoren einen direkten Bezug zum Gebäude haben (z.B. 3.3. Management). Diese können daher nur schwer berücksichtigt werden, da der Smart Readiness Indikator das Objekt Gebäude und nicht die Prozesse betrachtet. Darüber hinaus ist zu diskutieren, ob die Erkenntnisse der einzelnen Länder aus dem Abschnitt 5.2 und aus anderen Zertifizierungssystemen (vgl. Abschnitt 3) berücksichtigt werden sollen. Das neu entwickelte Zertifizierungsmodell kann als erfolgreich angesehen werden, wenn ein Großteil der kritischen Erfolgsfaktoren integriert wird.

5.3.1 Zusammensetzung der Experten

Im Rahmen dieser Dissertation wurde ein Forschungsprojekt mit Unternehmen der Immobilienwirtschaft durchgeführt (vgl. Tabelle 5.5). Gemeinsam mit den Forschungspartnern wurde die SRI-Methodik bewertet und weiterentwickelt. Dazu wurde eine repräsentative Expertengruppe gebildet, die die verschiedenen Bereiche der Immobilienwirtschaft repräsentiert.

Tabelle 5.4: Übersicht der Forschungspartner

Forschungspartner	Stadt	Umsatz 2023 in Mio. €	Quelle
Apleona GmbH	Neu-Isenburg	3.590	(Lünendonk , 2024)
Getec Gruppe	Magdeburg	3.770	(GETEC Gruppe, 2024)
GOLDBECK Facility Services GmbH	Bielefeld	255	(Lünendonk , 2024)
ista Deutschland GmbH	Essen	1.054	(ista, 2024)
Jagdfeld RE Management GmbH	Düren	NA	
Nocentic GmbH	Hamburg	276	(BDI, 2024)
Real I.S. AG	München	1.302	(Real I.S. AG , 2023)
Dr. Sasse AG	München	310	(Lünendonk , 2024)
STRABAG Property and Facility Services GmbH	Frankfurt am Main	809	(Lünendonk , 2024)
Techem GmbH	Eschborn	1.012	(Techem, 2024)
Vaillant GmbH	Remscheid	3.800	(Vaillant, 2024)

Insgesamt wurden während dieser Arbeit fünf Workshops durchgeführt, deren unterschiedliche Inhalte in vier verschiedenen Arbeitsgruppen vorbereitet wurden. Ein Forschungsablauf der einzelnen Arbeitsgruppen und Workshops ist Abbildung 5.9 zu entnehmen. Die einzelnen Teilnehmer der einzelnen Arbeitsgruppen und Workshops können ebenfalls aus der Tabelle 5.5 entnommen werden. Die jeweilige Arbeitsgruppen beschäftigen sich mit unterschiedlichen Themenbereichen:

Arbeitsgruppe I: befasst sich mit **bestehenden Services**.

Arbeitsgruppe II: befasst sich mit möglichen **neuen Impacts**.

Arbeitsgruppe III: befasst sich mit möglichen **neuen Domains**.

Arbeitsgruppe IV: befasst sich mit der praktischen Entwicklung des **Onlineeingabe Tools** sowie **Gewichtungen** und **Impact-Scores**.

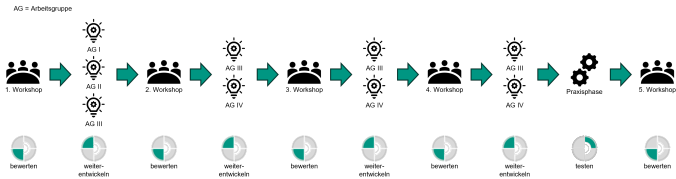


Abbildung 5.9: Ablauf des Forschungsprojekts: Workshops und Arbeitsgruppen (eigene Darstellung)














Tabelle 5.5: Übersicht der Forschungsteilnehmer und ihre Tätigkeitsbereich und Branchen

Person	Berufserfahrung in Jahren	Workshops					Arbeitsgruppe				Tätigkeitsbereich	Branche
		1	2	3	4	5	I	II	III	IV		
1	>25	x	x	x	x	x		x	x	x	Nachhaltigkeit & Digitalisierung	Energie und Medien-Versorger, Projektentwickler, Berater
2	>25	x		x	x	x		x	x		Geschäftsführung	Eigentümer, Projektentwickler, Investor, Asset Manager, Property Manager (technisch und kaufmännisch)
3	0 - 5			x		x				x	Innovationsmanagement	Facility Manager
4	5 - 10			x		x				x	Produkt- & Projektmanagement	Facility Manager
5	5 - 10	x				x				x	Nachhaltigkeit & Digitalisierung	Facility Manager
6	5 - 10		x	x		x	x	x			Nachhaltigkeit & Digitalisierung	Facility Manager
7	10 - 15	x	x			x		x			Strategie Manager	Energie und Medien-Versorger
8	15 - 20	x	x	x		x	x				Public Affairs	Energie und Medien-Versorger
9	5 - 10	x	x			x	x				Strategie Manager	Energie und Medien-Versorger
10	10 - 15		x		x				x	x	Produkt- & Projektmanagement	Energie und Medien-Versorger, Softwareentwickler/-hersteller/-händler
11	20 - 25	x	x		x					x	Geschäftsführung	Facility Manager
12	0 - 5		x		x					x	Produkt- & Projektmanagement	Facility Manager
13	0 - 5				x					x	Innovationsmanagement	Facility Manager
14	0 - 5		x		x			x	x		Strategie Manager	Eigentümer
15	0 - 5		x		x				x		Nachhaltigkeit & Digitalisierung	Facility Manager
16	>25		x	x					x		Verkauf	Facility Manager
17	>25	x	x					x			Produkt- & Projektmanagement	Projektentwickler
18	20 - 25	x	x					x			Geschäftsführung	Facility Manager
19	20 - 25		x					x			Marketing	Softwareentwickler/-hersteller/-händler, TGA-Planer, Energie und Medien-Versorger
20	0 - 5	x	x				x				Geschäftsführung	Facility Manager
21	20 - 25	x					x				Nachhaltigkeit & Digitalisierung	Facility Manager

5.4 Erweiterung des SRI

In den ersten beiden Abschnitten dieses Kapitels ist dargestellt, dass der SRI als Zertifizierungsgrundlage gewählt und welche Erkenntnisse aus bereits durchgeführten Studien gewonnen wurden. Der Umfang wurde in Abschnitt 5.3 definiert. In den folgenden Abschnitten wird der SRI erweitert, indem die in Abschnitt 4 erarbeitete Vorgehensweise angewendet wird. Die einzelnen Schritte und eine Kurzbeschreibung sind in der Tabelle 5.6 übersichtlich dargestellt. Die erarbeiteten Teilergebnisse werden von den vorgestellten Experten (vgl. Abschnitt 5.3.1) bewertet. Zur Einordnung und besseren Nachvollziehbarkeit werden die Ergebnisse und deren Teilergebnisse in Abbildung 5.10 vorweggenommen.

Tabelle 5.6: Übersicht der durchgeführten Schritte

Iter.	Phase	Abschnitt	Beschreibung
1.	 Einflüsse	5.2	politische und marktrelevante Einflüsse werden beschrieben
	 Umfang definieren	5.3	Der zu entwickelnde Umfang wird definiert
	 Modell bewerten	5.4.1	Der EU-SRI wird bewertet
	 Weiterentwicklung	5.4.2	Der SRI wird um fünf Domains und sechs Impacts erweitert
2.	 Modell bewerten	5.4.3	Der in Kapitel 5.4.2 entwickelte SRI wird bewertet
	 Weiterentwicklung	5.4.4	Der SRI wird auf zwei neue Domains reduziert die sechs Impacts werden verworfen
3.	 Modell bewerten	5.4.5	Der in Kapitel 5.4.4 entwickelte SRI wird bewertet
	 Weiterentwicklung	5.4.6	Die Anzahl der Services in den beiden neuen Domains wird angepasst & Impact-Scores und Gewichtungen werden erarbeitet
4.	 Modell bewerten	5.4.7	Der in Kapitel 5.4.6 entwickelte SRI wird bewertet
	 Weiterentwicklung	5.4.8	Die Anzahl der Services in den zwei neuen Domains wird angepasst & Impact-Scores und Gewichtungen werden erarbeitet
	 Praxisphase	5.4.9	Der erweiterte SRI wird getestet
5.	 Modell bewerten	5.4.10	Der in Kapitel 5.4.8 entwickelte SRI wird bewertet
	 Etablierung	5.6	Der erweiterte SRI kann etabliert werden

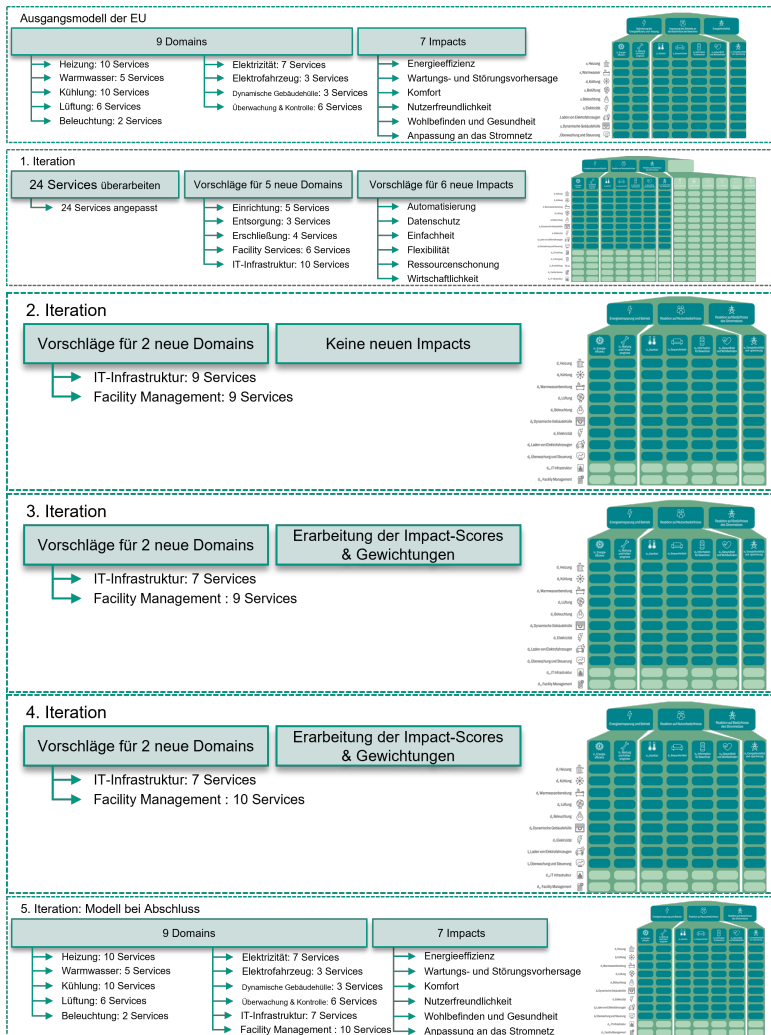
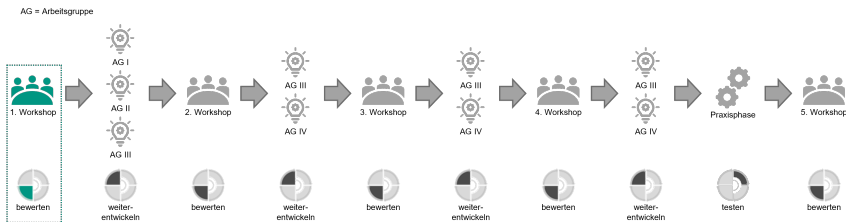


Abbildung 5.10: Übersicht der Iterationsschritte zur Erweiterung des SRI (eigene Darstellung)



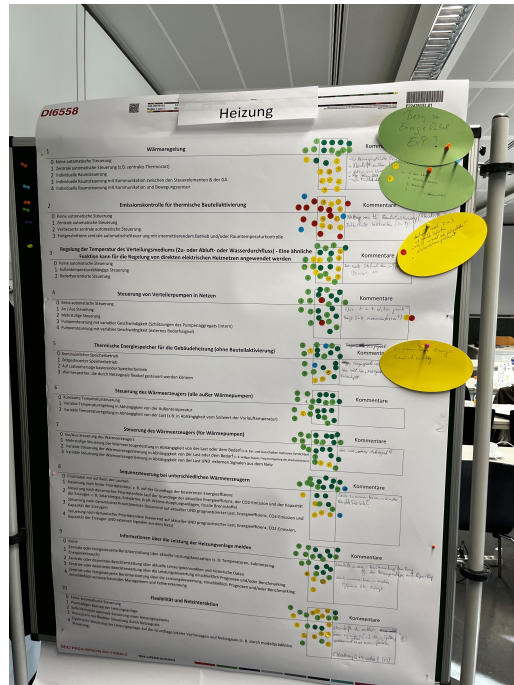


Abbildung 5.12: 1. Workshop - DIN A0 Plakat der zu bewertenden Domain: Heizung

für ein Plakat des Workshops für die Domain Heizung ist der Abbildung 5.12 zu entnehmen. Insgesamt gab es sechs solcher Stellwände, welche ermöglichten die Experten in zweier Gruppen aufzuteilen.

1	Wärmeregulierung		Kommentare
0	Keine automatische Steuerung		
1	Zentrale automatische Steuerung (z.B. zentrales Thermostat)		
2	Individuelle Raumsteuerung		
3	Individuelle Raumsteuerung mit Kommunikation zwischen den Stueurelementen & der GA		
4	Individuelle Raumsteuerung mit Kommunikation und Bewegungssensor		

Abbildung 5.13: Grundlage für die 1. Bewertung: H-1a (eigene Darstellung)

Anschließend haben die Experten-Gruppen jede einzelne Domain an den jeweiligen Plakaten bewertet und mussten insgesamt sechs mal rotieren. Auf jedem Plakat haben die Experten die Services bewertet, indem sie die Fragen und die Funktionslevels jedes Service bewertet haben. Auf den Plakaten haben die Experten die Fragen und die Funktionslevels vorgefunden sowie Platz zum kommentieren (vgl. Abbildung 5.13 und Abbildung 5.14). Zur Bewertung hat jede Person jede Frage und jeweils die dazugehörigen Funktionslevels bewertet, indem die Person durch eine Farbaufkleber eine Bewertung vornahm. Darüber hinaus sollten die Experten Kommentare zu den einzelnen Fragen und Levels dokumentieren. Insgesamt hatten die Experten vier unterschiedliche Farbaufkleber zur Verfügung, wobei die einzelnen Farben unterschiedliche Bedeutungen haben:

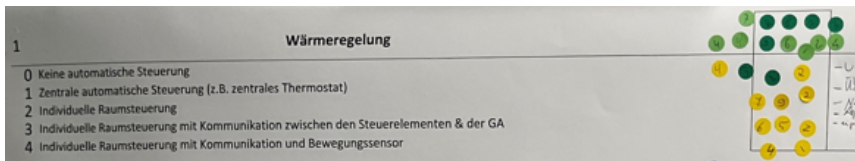


Abbildung 5.14: Teilergebnisse der 1. Bewertung: H-1a

grüner Aufkleber: Die Thematik des Service bzw. der Aufbau der Levels ist sinnvoll und wichtig.

gelber Aufkleber: Die Thematik des Service bzw. der Aufbau der Levels ist neutral (weder wichtig noch unwichtig bzw. verbesserungswürdig).

roter Aufkleber: Die Thematik des Service bzw. der Aufbau der Levels ist unwichtig bzw. nicht sinnvoll.

blauer Aufkleber: Die Thematik des Service bzw. der Aufbau der Levels kann die Person nicht einschätzen und/oder bewerten.

Am Ende des Workshops sollte jede Person 108 Farbaufkleber (54 Services x 2 (Frage und Level)) verwendet haben. Eine Übersicht Farbaufkleber und der Ergebnisse sind in Tabelle 5.7 dargestellt.

Tabelle 5.7: Ergebnisse der 1. Bewertung

id	Service					Level				
	grün	gelb	rot	blau	Bewertung	grün	gelb	rot	blau	Bewertung
H-1a	12	0	0	0	WAHR	2	10	0	0	FALSCH
H-1b	0	4	6	2	FALSCH	0	5	5	2	FALSCH
H-1c	8	4	0	0	WAHR	8	4	0	0	WAHR
H-1d	11	0	1	0	WAHR	11	0	1	0	WAHR
H-1f	10	1	0	1	WAHR	8	3	0	1	WAHR
H-2a	12	0	0	0	WAHR	11	1	0	0	WAHR
H-2b	12	0	0	0	WAHR	10	2	0	0	WAHR
H-2d	11	0	0	1	WAHR	5	5	0	1	FALSCH
H-3	12	0	0	0	WAHR	8	4	0	0	WAHR
H-4	7	5	0	0	FALSCH	4	8	0	0	FALSCH
DHW-1a	12	0	0	0	WAHR	11	0	0	1	WAHR
DHW-1b	12	0	0	0	WAHR	11	0	0	1	WAHR
DHW-1d	10	0	2	0	WAHR	10	0	2	0	WAHR
DHW-2b	5	7	0	0	FALSCH	8	4	0	0	WAHR
DHW-3	12	0	0	0	WAHR	12	0	0	0	WAHR
C-1a	9	1	2	0	WAHR	4	2	6	0	FALSCH
C-1b	10	2	0	0	WAHR	10	2	0	0	WAHR
C-1c	10	0	2	0	WAHR	4	5	2	0	FALSCH
C-1d	4	6	2	0	FALSCH	6	5	1	0	FALSCH
C-1f	0	6	3	3	FALSCH	0	3	5	2	FALSCH
C-1g	12	0	0	0	WAHR	11	1	0	0	WAHR
C-2a	11	0	0	1	WAHR	10	1	0	1	WAHR
C-2b	12	0	0	0	WAHR	6	2	4	0	FALSCH
C-3	11	0	0	1	WAHR	11	0	0	1	WAHR
C-4	12	0	0	0	WAHR	10	2	0	0	WAHR
V-1a	11	1	0	0	WAHR	9	3	0	0	WAHR
V-1c	12	0	0	0	WAHR	2	8	2	0	FALSCH
V-2c	10	2	0	0	WAHR	8	4	0	0	WAHR
V-2d	12	0	0	0	WAHR	11	1	0	0	WAHR
V-3	3	3	0	6	FALSCH	2	2	2	6	FALSCH
V-6	7	0	5	0	FALSCH	7	1	4	0	FALSCH
DE-1	12	0	0	0	WAHR	12	0	0	0	WAHR
DE-2	5	0	0	7	FALSCH	5	1	0	6	FALSCH
DE-4	12	0	0	0	WAHR	12	0	0	0	WAHR
L-1a	12	0	0	0	WAHR	8	4	0	0	WAHR
L-2	10	2	0	0	WAHR	10	2	0	0	WAHR
E-2	8	3	0	1	WAHR	3	8	0	1	FALSCH
E-3	12	0	0	0	WAHR	0	12	0	0	FALSCH
E-4	11	1	0	0	WAHR	12	0	0	0	WAHR
E-5	12	0	0	0	WAHR	5	7	0	0	FALSCH
E-8	12	0	0	0	WAHR	3	9	0	0	FALSCH
E-11	12	0	0	0	WAHR	12	0	0	0	WAHR
E-12	12	0	0	0	WAHR	2	10	0	0	FALSCH
EV-15	4	4	1	3	FALSCH	0	9	0	3	FALSCH
EV-16	11	1	0	0	WAHR	8	4	0	0	WAHR
EV-17	12	0	0	0	WAHR	4	8	0	0	FALSCH
MC-3	12	0	0	0	WAHR	12	0	0	0	WAHR
MC-4	12	0	0	0	WAHR	7	5	0	0	FALSCH
MC-9	10	2	0	0	WAHR	10	2	0	0	WAHR
MC-13	9	3	0	0	WAHR	2	8	0	0	FALSCH
MC-25	12	0	0	0	WAHR	11	1	0	0	WAHR
MC-28	12	0	0	0	WAHR	12	0	0	0	WAHR
MC-29	4	2	2	4	FALSCH	4	0	4	3	FALSCH
MC-30	11	1	0	0	WAHR	12	0	0	0	WAHR

Es wird untersucht, welche Services und Funktionslevels eine genauere Betrachtung benötigen. Dazu werden die Antworten der Experten auf die folgenden Bedingungen überprüft. Ist mindestens eine der Bedingungen nicht erfüllt, so muss dieser Service oder Funktionslevels überarbeitet werden. Die Bedingungen werden für jeden Service und jedes Level individuell geprüft, fließen aber in die Gesamtbewertung mit ein. Die Bedingungen lauten:

- Ist die Gesamtzahl der grünen Bewertungen $\geq 66,66\%$
- Ist die Gesamtzahl der roten Bewertungen $< 25\%$
- Ist die Gesamtzahl der blauen Bewertungen $< 25\%$

Die Ergebnisse dieser Bewertung sind in Tabelle 5.7 mit den Spalten *Bewertung* dargestellt.

Darüber hinaus wurde von den Experten festgestellt, dass der Umfang des bestehenden Systems nicht ausreichend ist und um weitere Domains ergänzt werden muss. Die vorhandenen Domains sind nicht ausreichend, einen vollumfänglichen digitalen Gebäudebetrieb zu gewährleisten. Auch die Analyse der kritischen Erfolgsfaktoren bestätigt diese Erkenntnis (vgl. Abschnitt 5.3).

5.4.2 Weiterentwicklung - 1

In diesem Abschnitt besteht die Aufgabe darin, die SRI-Methodik weiterzuentwickeln. Die Entwicklung erfolgte in Anlehnung an die Delphi-Methode: Eine anonyme Bewertung mittels einer Likert-Skala (Farbaufkleber) wurde von den Experten für die verschiedenen Domains und Services durchgeführt, gefolgt von einer offenen Diskussion im 1. Workshop. Diese Ergebnisse dienten als Grundlage für die Weiterentwicklung, sodass die neuen Inhalte in Arbeitsgruppen und in Diskussionen erarbeitet werden konnten. Die anschließende erneute anonymisierte Bewertung durch den erweiterten Expertenkreis (2. Workshop) akzeptiert die neu erarbeiteten Bereiche und

gibt Feedback für weitere Entwicklungen. Dieses Vorgehen wird solange wiederholt, bis der definierte Umfang erreicht wird und/oder die Experten die Weiterentwicklung als abgeschlossen sehen. Abbildung 5.15 gibt eine Übersicht der aktuellen Phase des gesamten Forschungsvorgehens.

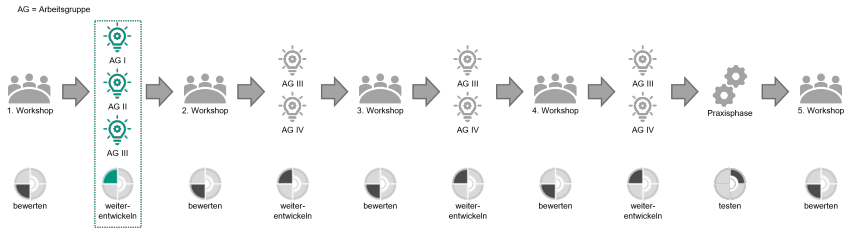


Abbildung 5.15: Ablauf des Forschungsprojekts: Arbeitsphase zwischen 1. Workshop und 2. Workshop (eigene Darstellung)

In den vorangegangenen Abschnitten wurde aufgezeigt, dass die Ausgangssituation des SRI nicht vollständig ist. Gemeinsam mit den Stakeholdern (vgl. Abschnitt 5.3.1) wurden in mehreren Arbeitsgruppen die vorhandenen Impacts und Domains ergänzt. Abbildung 5.16 gibt eine Übersicht über die Informationsgrundlage, die den Arbeitsgruppen zur Verfügung gestanden haben und stellt die in den Arbeitsgruppen erstellten Ergebnissen dar.

Überarbeitung der vorhandenen Services

In den Abschnitten 5.4.1 ist mithilfe der Stakeholder gezeigt worden, dass einige Services und Funktionslevel eine Überarbeitung benötigen. Dazu wurden mit den Experten in Arbeitsgruppen die Services angepasst. Hier wurden einzelne Übersetzungsfehler sprachlich angepasst und spezifiziert. Im wesentlichen hat sich hier keine Änderungen ergeben.

Erarbeitung neuer Domains

Die Experten haben in kleinen Arbeitsgruppen die SRI-Methodik erweitert und dabei verschiedene Inhalte berücksichtigt (vgl. Abbildung 5.16, Kapitel

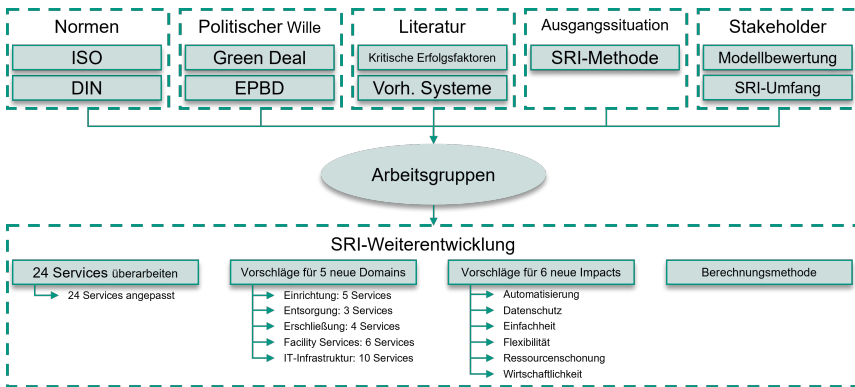


Abbildung 5.16: Übersicht der 1. Weiterentwicklung (eigene Darstellung)

3 und Kapitel 2). Das Ziel war es, den Umfang aus Abschnitt 5.3 stets zu erfüllen. Dank der hohen Expertise im Gebäudemanagement und des praxisorientierten Know-hows, z.B. in Bezug auf die eingesetzten Technologien, wurde das Bottom-Up-Prinzip für die Entwicklung der einzelnen Services der neuen Domains angewendet. Eine Zusammenfassung der neu erstellten Domains, Services und der zugehörigen Funktionslevel nach der 1. Weiterentwicklung ist der Abbildung 5.16 und eine detaillierte Zusammenfassung dem Anhang A.6 zu entnehmen:

- Einrichtung mit fünf Services
- Entsorgung mit drei Services
- Erschließung mit vier Services
- Facility Services mit sechs Services
- IT-Infrastruktur mit zehn Services

Erarbeitung neuer Impacts

Die Arbeitsgruppe II hat in mehreren Treffen eine erste Einschätzung für potenzielle neue Impacts gegeben. Dabei wurden Ideen gesammelt und gruppiert, sodass sechs potenzielle Impacts identifiziert wurden, die ebenfalls in Abbildung 5.16 dargestellt sind:

- Automatisierung
- Datenschutz
- Einfachheit
- Flexibilität
- Ressourcenschonung
- Wirtschaftlichkeit

Erarbeitung neuer Impact-Scores

In dieser Iteration wurde bewusst auf die Erhebung der Impact-Scores der neuen Services und der entsprechenden Funktionslevels verzichtet, da einige Services nur grob abgebildet wurden und mit großer Wahrscheinlichkeit in dem weiteren Prozess von den Experten überarbeitet werden. Um nicht zielführende Arbeit durchzuführen, wird die Erhebung erst im Abschnitt 5.4.4 durchgeführt.

Nach der 1. Weiterentwicklung beinhaltet das SRI-Zertifizierungsmodell 14 Domains sowie 13 Impacts. Abbildung 5.17 gibt das SRI-System grafisch wieder, wobei dunkelgrün die SRI-Methodik der EU und hellgrün die erarbeitete Erweiterung darstellt. Eine Praxisphase mit den neu erarbeiteten Domains und Impacts kann noch nicht durchgeführt werden, da die einzelnen Impact-Scores noch nicht definiert sind.

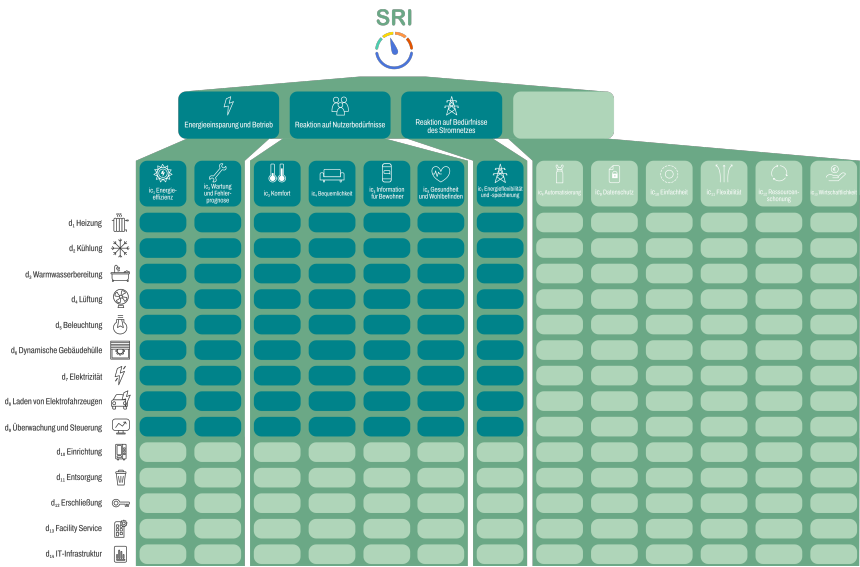


Abbildung 5.17: Entwurfsmodell mit fünf neuen Domains und sechs neuen Impacts (eigene Darstellung)

5.4.3 Modell bewerten - 2

In diesem Abschnitt werden die fünf neuen Domains und sechs neuen Impacts bewertet, die im Abschnitt 5.4.2 entwickelt wurden. Eine Übersicht der Vorgehensweise sowie die aktuelle Einordnung des Vorgehens ist in Abbildung 5.18 dargestellt.

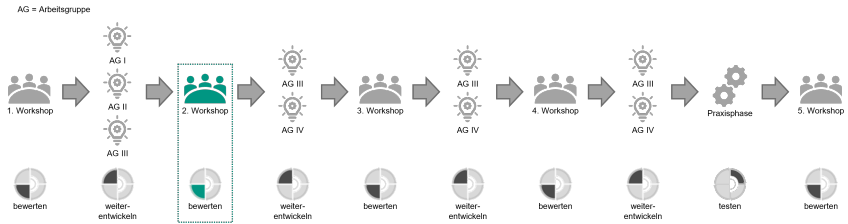


Abbildung 5.18: Ablauf des Forschungsprojekts: 2. Workshop (eigene Darstellung)

Impacts

Die von der Arbeitsgruppe II erarbeiteten Impacts sind dahingehend zu bewerten, ob diese sinnvoll ausgewählt wurden und ob sie mit dem Ziel und Umfang des SRI übereinstimmen. Dazu wurde die sechs neuen Impacts den Experten des 2. Workshops vorgestellt und anschließend über diese diskutiert. Die Ergebnisse dieser Diskussion kann allgemein zusammengefasst werden, dass die bisherigen sieben Impacts der EU ausreichend sind und keine neuen Impacts hinzugefügt werden müssen. Die detaillierte Beschreibung der Entscheidungen ist nachfolgend dokumentiert, wobei dies die Meinungen und Erfahrungen der Experten widerspiegelt:

- **Wirtschaftlichkeit:** Im Allgemeinen steigen die Implementierungskosten von Technologien proportional zum Grad der „Intelligenz“. Das heißt, je höher die Intelligenz, desto höher die Gesamtkosten. Wenn ein intelligentes Gebäude wirtschaftlich betrieben werden soll, wird dies derzeit unter den Impacts „Wartung und Störungsvorhersage“ und „Energieeffizienz“ berücksichtigt. Aus diesem Grund wird dieser neue Impact von den Experten als nicht relevant erachtet. Dieser Impact wird eher als kontraproduktiv angesehen, da höhere funktionale Levels kontraproduktiv zur Wirtschaftlichkeit sein können und das Hauptziel des SRI die Erhöhung der „Smartness“ ist. Aus diesen Gründen wird der Impact *Wirtschaftlichkeit* nicht für die weitere Betrachtung berücksichtigt.

- Einfachheit: Es ist schwierig, diesen potenziellen Impact zu berücksichtigen, da die Einfachheit und Integration neuer Systeme (oder ganzer Systemlandschaften) von der Qualität und dem Design der jeweiligen Hersteller und Anbieter der einzelnen Technologien abhängt. Der SRI fragt zwar die Technologien ab, ob diese Funktionen vorhanden sind, aber nicht danach, wie ein Upgrade durchgeführt werden kann. Darüber hinaus ist dieser Impact eng mit den bereits vorhandenen Impacts „Bequemlichkeit“, „Komfort“ und „Informationen für Bewohner“ verknüpft, welche die Interaktion mit dem Gebäude vereinfachen. Es ist wichtig, sich vor Augen zu halten, dass Technologien mit höherer Funktionalität in der Regel komplexer und damit fehleranfälliger sind. Aus diesem Grund wird der Impact *Einfachheit* ebenfalls nicht für die weitere Betrachtung berücksichtigt.
- Automatisierung: Dieser Impact wird zwangsläufig durch die einzelnen Funktionslevels abgedeckt. Mit steigender „Smartness“ ist in den einzelnen Services eine erhöhte Sensorisierung vorhanden, welches eine Automatisierung ermöglicht. Daher ist der geforderte Impact *Automatisierung* bereits durch die EU-SRI-Methodik abgedeckt und wird nicht weiter berücksichtigt.
- Datenschutz: Dieser Impact wird als wichtig erachtet, jedoch hängt der Datenschutz stark von den Anbietern und Herstellern ab. Der allgemeine Konsens der Experten ist, dass dies kein erforderlicher Impact ist, sondern in einem Service oder Domain besser abgedeckt werden kann, sodass der Impact *Datenschutz* nicht weiter berücksichtigt wird.
- Ressourcenschonung: Der SRI ist kein Nachhaltigkeitszertifikat. Dennoch werden die drei Säulen (Ökologie, Ökonomie und Soziales) der Nachhaltigkeit angesprochen, sodass auch die Ressourcenschonung berücksichtigt wird. Durch den vorhandenen Impact „Energieeffizienz“ wird die Ökologie berücksichtigt, da Technologien zur Energieeinsparung führen. Die ökonomische Komponente wird ebenfalls durch den Impact „Energieeffizienz“ berücksichtigt. Das Soziale ist stark durch die Impacts „Bequemlichkeit“, „Komfort“ und „Informationen für Bewohner“ vertreten. Diese Aspekte tragen zur Zufriedenheit und zum Wohlbefinden der Nutzer bei und fördern soziale Interaktionen und Vernetzung. Aus diesen Gründen sind die Experten der Meinung, dass

der Impact *Ressourcenschonung* nicht für die weitere Betrachtung berücksichtigt werden muss.

- Flexibilität: Die Flexibilität eines Gebäudes steigt in der Regel mit seiner Vernetzung, also mit höheren Funktionslevels, die diesen Aspekt abdecken bzw. beschreiben können. Daher ist der geforderte Impact *Flexibilität* bereits durch die EU-SRI-Methodik abgedeckt und wird nicht weiter berücksichtigt.

Neue Domains

The poster is a checklist for evaluating various services. It is divided into sections, each with a list of criteria and a corresponding grid of colored dots (green, yellow, red) indicating the evaluation level. Handwritten notes and stickers are present on the poster.

- Reinigung**
 - 1. Bestehen der Reinigungsbereiche (Flächen, etc.)
 - 2. Regelmäßige Reinigung
 - 3. Hygienisierende Reinigung
 - 4. NA
- Beheizung**
 - 1. Abdeckung des Tagesbedarfs durch Heizleistung und Lüftung
 - 2. Abdeckung des Tagesbedarfs durch sonstige Lüftung
 - 3. NA
 - 4. NA
- Brandschutz-Fluchweg**
 - 1. Beschriftung der Fluchwege
 - 2. Fluchwege werden nicht versperrt
 - 3. NA
 - 4. NA
- Elektrische Sicherheitsysteme**
 - 1. Elektrische Sicherheitsysteme sind dokumentiert
 - 2. Elektrische Sicherheitsysteme sind dokumentiert und elektrisch sicherheitskonform
 - 3. Elektrische Sicherheitsysteme sind dokumentiert und elektrisch sicherheitskonform
 - 4. NA
- Pflanzraum**
 - 1. Innenklima mit CO₂-Anzeigegerät
 - 2. Innenklima
 - 3. Innenklima mit CO₂-Anzeigegerät und geregelt
 - 4. NA
- Hauptgut**
 - 1. Hauptgut
 - 2. Hauptgut
 - 3. Hauptgut
 - 4. NA
- Entsorgung**
 - 1. Abfall
 - 2. Abfall
 - 3. Abfall
 - 4. NA
- Kreislaufwirtschaft, interne Prozesse**
 - 1. Kreislaufwirtschaft
 - 2. Kreislaufwirtschaft
 - 3. Kreislaufwirtschaft
 - 4. NA
- Technische Kanäle**
 - 1. Technische Kanäle
 - 2. Technische Kanäle
 - 3. Technische Kanäle
 - 4. NA

Abbildung 5.19: 2. Workshop - DIN A0 Plakat der zu bewertenden Domain: Facility Service und Entsorgung

Die neu entwickelten Domains werden wie auch in Abschnitt 5.4.1 durch die Experten in einem 2. Workshop bewertet. Dazu werden die fünf neuen Domains mit ihren Services und die dazugehörigen Funktionslevel auf DIN

A0 Plakate gedruckt, sodass die Experten diese übersichtlich betrachten und bewerten können. In Abbildung 5.19 ist exemplarisch ein Plakat der Domain „Facility Service“ und „Entsorgung“ dargestellt. Auf jedem Plakat können die Experten die Fragen, Impact-Scores und die Funktionslevels sehen und haben Platz zum kommentieren (vgl. Abbildung 5.20 und Abbildung 5.21). Jeder Experte bewertet jede Frage und die dazugehörigen Funktionslevels, indem Farbaufkleber aufklebt werden. Darüber hinaus sollten die Experten Kommentare zu den einzelnen Fragen und Levels dokumentieren. Insgesamt hatten die Experten vier unterschiedliche Farbaufkleber zur Verfügung, wobei die einzelnen Farben unterschiedliche Bedeutungen haben:

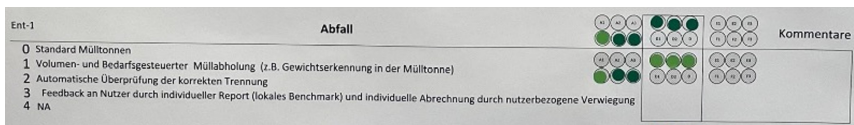


Abbildung 5.20: 1. Teilergebnisse der 2. Bewertung: Abfall

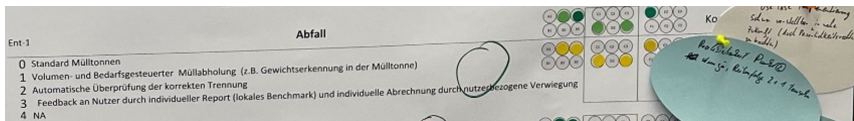


Abbildung 5.21: 2. Teilergebnisse der 2. Bewertung: Abfall

grüner Aufkleber: Die Thematik des Service bzw. der Aufbau der Levels ist sinnvoll und wichtig.

gelber Aufkleber: Die Thematik des Service bzw. der Aufbau der Levels ist neutral (weder wichtig noch unwichtig bzw. verbesserungswürdig).

roter Aufkleber: Die Thematik des Service bzw. der Aufbau der Levels ist unwichtig bzw. nicht sinnvoll.

blauer Aufkleber: Die Thematik des Service bzw. der Aufbau der Levels kann die Person nicht einschätzen und/oder bewerten.

Am Ende des Workshops sollte jeder Experte 56 Farbaufkleber (28 Services x 2 (Frage und Level)) verwendet haben. Eine Übersicht der Farbaufkleber und der Ergebnisse sind in Tabelle 5.8 dargestellt.

Tabelle 5.8: 2. Bewertung der Services und Funktionslevels der fünf neuen Domains durch Experten

id	Service					Level				
	grün	gelb	rot	blau	Bewertung	grün	gelb	rot	blau	Bewertung
IT1	13	0	0	0	WAHR	13	0	0	0	WAHR
IT2	10	0	3	0	WAHR	7	2	1	2	FALSCH
IT3	9	0	3	0	FALSCH	9	0	2	1	WAHR
IT4	6	6	0	0	FALSCH	8	4	0	0	WAHR
IT5	12	0	0	0	WAHR	8	3	0	1	WAHR
IT6	5	1	1	5	FALSCH	0	0	0	12	FALSCH
IT7	8	3	0	0	WAHR	8	3	0	1	WAHR
IT8	12	0	0	0	WAHR	10	2	0	0	WAHR
IT9	12	0	0	0	WAHR	10	2	0	0	WAHR
IT10	8	0	0	4	FALSCH	8	0	0	4	FALSCH
FS1	12	0	0	0	WAHR	6	5	0	0	FALSCH
FS2	5	2	3	0	FALSCH	3	4	0	3	FALSCH
FS3	7	1	3	0	FALSCH	3	4	1	3	FALSCH
FS4	10	1	0	0	WAHR	5	6	0	0	FALSCH
FS5	11	0	0	0	WAHR	4	7	0	0	FALSCH
FS6	0	1	9	0	FALSCH	1	1	8	0	FALSCH
ENT1	11	0	0	0	WAHR	6	5	0	0	FALSCH
ENT2	4	3	4	0	FALSCH	2	3	4	2	FALSCH
ENT3	0	1	2	7	FALSCH	0	1	2	7	FALSCH
EIN1	8	1	3	0	FALSCH	4	2	3	3	FALSCH
EIN2	9	0	3	0	FALSCH	8	1	3	0	FALSCH
EIN3	0	5	5	2	FALSCH	4	1	4	4	FALSCH
EIN4	6	2	4	0	FALSCH	6	3	3	0	FALSCH
EIN5	9	0	3	0	FALSCH	2	7	3	0	FALSCH
ERSCH1	12	0	0	0	WAHR	9	3	0	0	WAHR
ERSCH2	12	0	0	0	WAHR	6	6	0	0	FALSCH
ERSCH3	12	0	0	0	WAHR	9	3	0	0	WAHR
ERSCH4	12	0	0	0	WAHR	4	7	1	0	FALSCH

Anschließend wird untersucht, welche Services und Funktionslevels eine genauere Betrachtung benötigen. Dazu werden die Antworten der Experten auf die folgenden Bedingungen überprüft. Ist mindestens eine der Bedingungen nicht erfüllt, so muss dieser Service oder Funktionslevels überarbeitet

werden. Die Bedingungen werden für jeden Service und jedes Level individuell geprüft, fließen aber in die Gesamtbewertung mit ein. Die Bedingungen lauten:

- Ist die Gesamtzahl der grünen Bewertungen $\geq 66,66\%$
- Ist die Gesamtzahl der roten Bewertungen $< 25\%$
- Ist die Gesamtzahl der blauen Bewertungen $< 25\%$

Die Ergebnisse dieser Bewertung sind in Tabelle 5.8 mit den Spalten *Bewertung* dargestellt.

5.4.4 Weiterentwicklung - 2

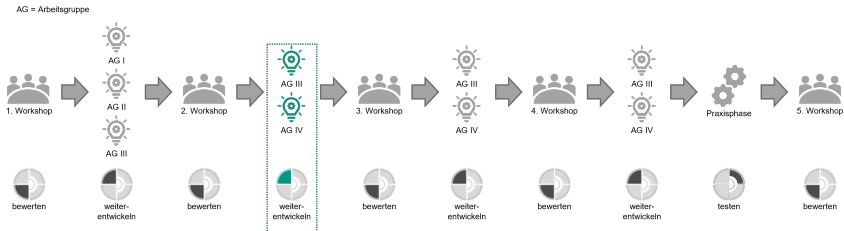


Abbildung 5.22: Ablauf des Forschungsprojekts: Arbeitsphase zwischen 2. Workshop und 3. Workshop (eigene Darstellung)

In diesem Abschnitt wird die SRI-Methodik unter Berücksichtigung der vorangegangenen Bewertung (Abschnitt 5.4.3) weiterentwickelt. Die Weiterentwicklung erfolgte in mehreren Arbeitsgruppensitzungen. Abbildung 5.15 gibt einen Überblick über den aktuellen Stand des gesamten Forschungsvorgehen.

Aus der Bewertung, Expertendiskussion und Kommentaren des 2. Workshops geht hervor, dass die zuvor erarbeiteten Domains teilweise kombiniert

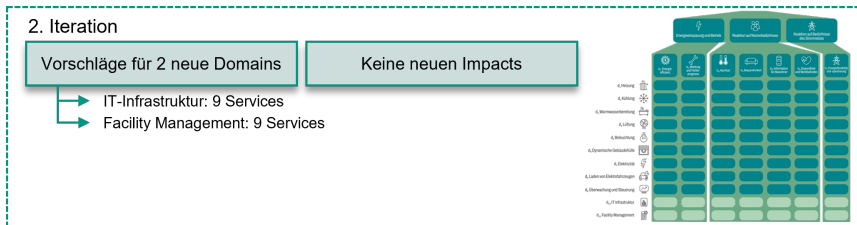


Abbildung 5.23: Übersicht der 2. Weiterentwicklung (eigene Darstellung)

werden sollen. Insgesamt sollen 21 der 28 neuen Service genauer betrachtet werden. Manche dieser Service werden als unnötig erachtet, andere benötigen eine Anpassung bzw. Präzisierung:

Die Experten haben die zuvor vorgeschlagenen Domains „Einrichtung“, „Entsorgung“, „Erschließung“ und „Facility Services“ zu einer übergeordneten Domain „Facility Management“ zusammengeführt, da diese neue Domain alle Bereiche sehr gut beschreibt und abdeckt.

Die detaillierte Beschreibung jedes einzelnen Services mit den dazugehörigen Funktionslevels sind dem Anhang aus Tabelle A.6 zu entnehmen. Die IT-Infrastruktur soll als Domain weiterhin bestehen bleiben, da die Experten der Meinung sind, dass dieses ein wichtiges und alleinstehende Domain sein muss und eine hohe Relevanz in der Intelligenzfähigkeit aufweist. Dennoch sind einzelne Funktionslevels und Überschriften anzupassen und werden in eine neue Bezeichnung hin überführt. Darüber hinaus wurden einige Services als nicht relevant eingestuft oder auch mit anderen kombiniert. In Tabelle 5.9 ist die Veränderung von der 1. zur 2. Iteration dargestellt.

Nach der 2. Iteration beinhaltet das SRI-Zertifizierungsmodell elf Domains mit 72 Services sowie die sieben ursprünglichen Impacts. Abbildung 5.24 stellt das Modell grafisch dar, wobei dunkelgrün die SRI-Methodik der EU und hellgrün die erarbeitete Erweiterung darstellt. Eine Praxisphase mit den neu erarbeiteten Domains und Impacts kann noch nicht durchgeführt werden, da die einzelnen Impact-Scores noch nicht definiert sind.

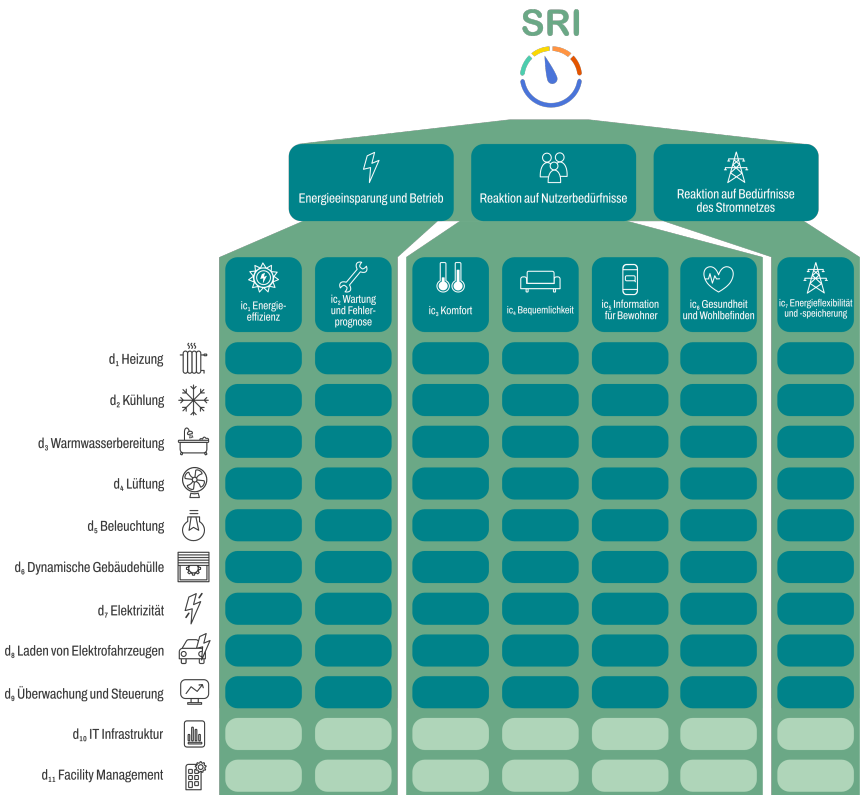


Abbildung 5.24: Entwurfsmodell mit zwei neuen Domains (eigene Darstellung)

Tabelle 5.9: Veränderung der Domains und Services von der 1. Iteration zur 2. Iteration

1. Iteration	Aktion	2. Iteration	Beschreibung
IT-1	übernommen	IT-1	Inhalt wird 1:1 übernommen
IT-2	verworfen	-	Service ist kein relevanter Bereich
IT-3	anpassen	IT-3	Änderungen werden vorgenommen
IT-4	anpassen	IT-4	Änderungen werden vorgenommen
IT-5	kombiniert	IT-5	Service wird mit IT-8 kombiniert
IT-6	anpassen	IT-6	Änderungen werden vorgenommen
IT-7	übernommen	IT-7	Inhalt wird 1:1 übernommen
IT-8	kombiniert	IT-5	Service wird mit IT-5 kombiniert
IT-9	übernommen	IT-9	Inhalt wird 1:1 übernommen
IT-10	aufgeteilt	IT-10 & IT-11	Service wird in 2 Service aufgeteilt
FS-1	anpassen	FM-1	Änderungen werden vorgenommen
FS-2	verworfen	-	Service ist kein relevanter Bereich
FS-3	verworfen	-	Service ist kein relevanter Bereich
FS-4	anpassen	FM-4	Änderungen werden vorgenommen
FS-5	kombiniert	FM-8	Service wird mit Ersch-4 kombiniert
FS-6	kombiniert	FM-2	Service wird mit EIN-5 kombiniert
EIN-1	verworfen	-	Service ist kein relevanter Bereich
EIN-2	verworfen	-	Service ist kein relevanter Bereich
EIN-3	verworfen	-	Service ist kein relevanter Bereich
EIN-4	verworfen	-	Service ist kein relevanter Bereich
EIN-5	kombiniert	FM-2	Service wird mit FS-6 kombiniert
ENT-1	anpassen	FM-3	Änderungen werden vorgenommen
ENT-2	verworfen	-	Service ist kein relevanter Bereich
ENT-3	verworfen	-	Service ist kein relevanter Bereich
Ersch-1	anpassen	FM-5	Änderungen werden vorgenommen
Ersch-2	anpassen	FM-6	Änderungen werden vorgenommen
Ersch-3	anpassen	FM-7	Änderungen werden vorgenommen
Ersch-4	kombiniert	FM-8	Service wird mit FS-5 kombiniert
	neu	FM-9	neuer Service wird erstellt

5.4.5 Modell bewerten - 3

In diesem Abschnitt werden die zwei neuen Domains, die im Abschnitt 5.4.4 angepasst wurden, bewertet. Eine Übersicht der Vorgehensweise sowie die aktuelle Einordnung des Vorgehens ist in Abbildung 5.25 dargestellt.

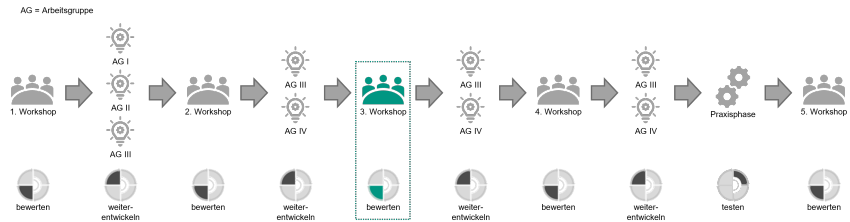


Abbildung 5.25: Ablauf des Forschungsprojekts: 3. Workshop (eigene Darstellung)

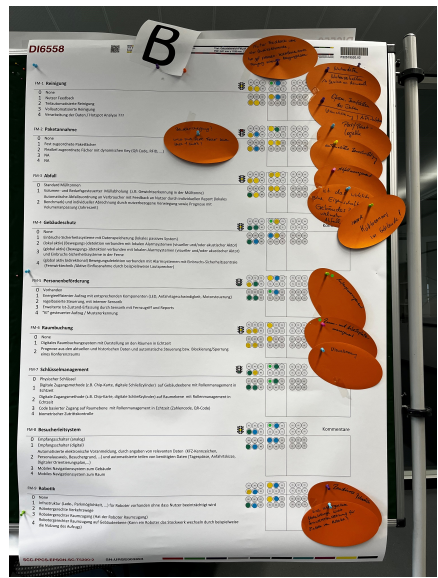


Abbildung 5.26: 3. Workshop - DIN A0 Plakat der zu bewertenden Domain: Facility Management

Die neu entwickelten Domains werden wie auch in Abschnitt 5.4.1 und Abschnitt 5.4.3 durch die Experten in einem 3. Workshop bewertet. Dazu werden auch hier die zwei zuvor erarbeiteten Domains mit ihren Services und die dazugehörigen Funktionslevel auf DIN A0 Plakate gedruckt, sodass

die Experten diese übersichtlich betrachten und bewerten können. Da nur zwei Domains bewertet worden sind, wurden für jede Domain zwei Plakate gedruckt, damit die Experten parallel die Domains bewerten können. In Abbildung 5.26 ist exemplarisch ein Plakat der Domain *Facility Management* dargestellt. Auf jedem Plakat können die Experten die Fragen, Impact-Scores und die Funktionslevels sehen und haben Platz zum kommentieren (vgl. Abbildung 5.27 und Abbildung 5.28). Jeder Experte bewertet jede Frage und die dazugehörigen Funktionslevels, indem Farbaufkleber aufklebt werden. Darüber hinaus sollten die Experten Kommentare zu den einzelnen Fragen und Levels dokumentieren. Insgesamt hatten die Experten vier unterschiedliche Farbaufkleber zur Verfügung, wobei die einzelnen Farben unterschiedliche Bedeutungen haben:

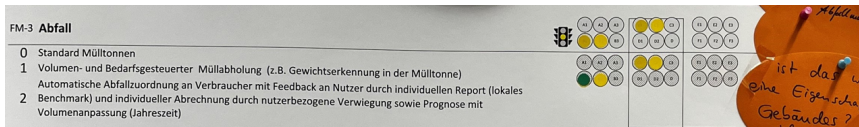


Abbildung 5.27: 1. Teilergebnisse der 3. Bewertung: FM-3

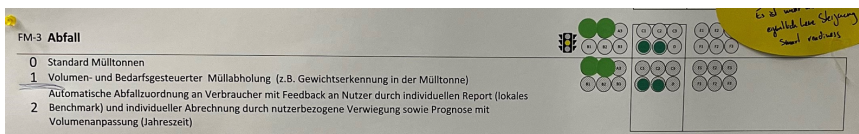


Abbildung 5.28: 2. Teilergebnisse der 3. Bewertung: FM-3

grüner Aufkleber: Die Thematik des Service bzw. der Aufbau der Levels ist sinnvoll und wichtig.

gelber Aufkleber: Die Thematik des Service bzw. der Aufbau der Levels ist neutral (weder wichtig noch unwichtig bzw. verbesserungswürdig).

roter Aufkleber: Die Thematik des Service bzw. der Aufbau der Levels ist unwichtig bzw. nicht sinnvoll.

blauer Aufkleber: Die Thematik des Service bzw. der Aufbau der Levels kann die Person nicht einschätzen und/oder bewerten.

Am Ende des Workshops sollte jeder Experte 36 Farbaufkleber (18 Services x 2 (Frage und Level)) verwendet haben. Eine Übersicht der Farbaufkleber und der Ergebnisse sind in Tabelle 5.10 dargestellt.

Tabelle 5.10: 3. Bewertung der Services und Funktionslevels der zwei neuen Domains durch Experten

id	Service					Level				
	grün	gelb	rot	blau	Bewertung	grün	gelb	rot	blau	Bewertung
IT1	7	0	0	1	WAHR	3	4	0	1	FALSCH
IT3	3	1	0	3	FALSCH	3	1	0	3	FALSCH
IT4	1	6	0	1	FALSCH	4	3	0	1	FALSCH
IT5	7	0	0	1	WAHR	4	4	0	0	FALSCH
IT6	3	0	2	2	FALSCH	0	3	1	3	FALSCH
IT7	6	2	0	0	WAHR	2	5	0	1	FALSCH
IT9	8	0	0	0	WAHR	3	2	0	3	FALSCH
IT10	4	1	0	3	FALSCH	2	4	0	2	FALSCH
IT11	4	1	0	3	FALSCH	2	4	0	2	FALSCH
FM1	5	2	0	1	FALSCH	0	6	1	1	FALSCH
FM2	5	2	0	1	FALSCH	0	7	0	1	FALSCH
FM3	4	4	0	0	FALSCH	5	3	0	0	FALSCH
FM4	7	1	0	0	WAHR	3	3	0	2	FALSCH
FM5	5	2	0	1	FALSCH	3	3	1	1	FALSCH
FM6	4	3	0	0	FALSCH	4	3	0	0	FALSCH
FM7	7	1	0	0	WAHR	5	3	0	0	FALSCH
FM8	5	1	0	2	FALSCH	3	2	0	3	FALSCH
FM9	3	3	0	2	FALSCH	1	5	0	2	FALSCH

Anschließend wird untersucht, welche Services und Funktionslevels eine genauere Betrachtung benötigen. Dazu werden die Antworten der Experten auf die folgenden Bedingungen überprüft. Ist mindestens eine der Bedingungen nicht erfüllt, so muss dieser Service oder Funktionslevels überarbeitet werden. Die Bedingungen werden für jeden Service und jedes Level individuell geprüft, fließen aber in die Gesamtbewertung mit ein. Die Bedingungen lauten:

- Ist die Gesamtzahl der grünen Bewertungen $\geq 66,66\%$
- Ist die Gesamtzahl der roten Bewertungen $< 25\%$
- Ist die Gesamtzahl der blauen Bewertungen $< 25\%$

Die Ergebnisse dieser Bewertung sind in Tabelle 5.10 mit den Spalten *Bewertung* dargestellt.

5.4.6 Weiterentwicklung - 3

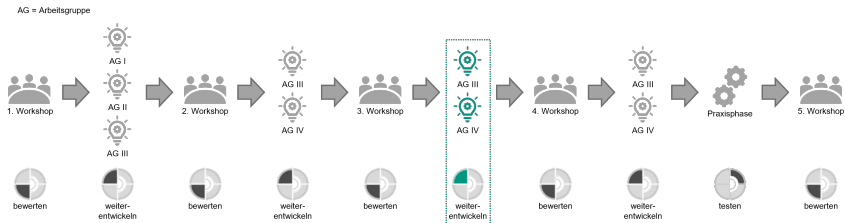


Abbildung 5.29: Ablauf des Forschungsprojekts: Arbeitsphase zwischen 3. Workshop und 4. Workshop (eigene Darstellung)

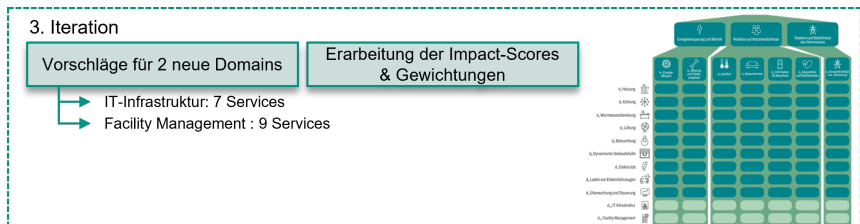


Abbildung 5.30: Übersicht der 3. Weiterentwicklung (eigene Darstellung)

Nach erneuter Bewertung der einzelnen Services müssen diese in den Arbeitsgruppen überarbeitet werden. Eine Einordnung in welcher Phase die aktuelle Weiterentwicklung sich befindet kann der Abbildung 5.29 entnommen werden sowie eine Übersicht der Ergebnisse in Abbildung 5.30. Es wurde festgestellt, dass die Anzahl der Domains unverändert bleiben kann und die beiden neuen Domains „Facility Management“ und „IT-Infrastruktur“ als gut angesehen werden. Die EU-SRI-Methodik erlaubt es, dass ein Gebäude für jeden Service unterschiedliche Funktionslevels erreicht. Dies kann der Fall sein, wenn beispielsweise unterschiedliche Technologien in unterschiedlichen Stockwerken verbaut sind. Um dies in der Methodik zu berücksichtigen, weist man dem entsprechenden Funktionslevel eine

Tabelle 5.11: Veränderung der Domains und Services von der 2. Iteration zur 3. Iteration

2. Iteration	Aktion	3. Iteration	Beschreibung
IT-1	anpassen	IT-1	Änderungen werden vorgenommen
IT-3	anpassen	IT-3	Änderungen werden vorgenommen
IT-4	anpassen	IT-4	Änderungen werden vorgenommen
IT-5	anpassen	IT-5	Änderungen werden vorgenommen
IT-6	anpassen	IT-6	weitere Experten benötigt
IT-7	anpassen	IT-7	Änderungen werden vorgenommen
IT-9	übernommen	IT-9	Inhalt wird 1:1 übernommen
IT-10	kombiniert	IT-3	Wird durch Aufteilung der Levels abgedeckt Kombination mit IT-3
IT-11	kombiniert	IT-3	Wird durch Aufteilung der Levels abgedeckt Kombination mit IT-3
FM-1	anpassen	FM-1	Änderungen werden vorgenommen
FM-2	anpassen	FM-2	Änderungen werden vorgenommen
FM-3	anpassen	FM-3	Änderungen werden vorgenommen
FM-4	anpassen	FM-4	Änderungen werden vorgenommen
FM-5	anpassen	FM-5	Änderungen werden vorgenommen
FM-6	anpassen	FM-6	Änderungen werden vorgenommen
FM-7	anpassen	FM-7	Änderungen werden vorgenommen
FM-8	anpassen	FM-8	Änderungen werden vorgenommen
FM-9	anpassen	FM-9	Änderungen werden vorgenommen

Prozentzahl zu (z.B. flächenabhängig: Level 0: 20% und Level 2: 80%). Dadurch werden die Services „IT-10“ und „IT-11“ in ihrer aktuellen Form überflüssig und können durch den Service „IT-3“ ersetzt werden. Alle anderen Services werden überarbeitet und die Anmerkungen der Stakeholder werden gemeinsam mit einer Arbeitsgruppe erarbeitet. Die überarbeiteten Services der Funktionslevel sind im Anhang in Tabelle A.38 aufgeführt sowie in Tabelle 5.11 dargestellt.

Erarbeitung der Impact-Scores

Für die erfolgreiche Implementierung weiterer Domains und deren Berücksichtigung in die SRI-Kalkulation ist es erforderlich, Impact-Scores für jedes einzelne Funktionslevel zu definieren. Die einzelnen Impact-Scores der Funktionslevel werden benötigt, um den SRI, wie in Abschnitt 5.5.2 beschrieben, zu berechnen.

Für die Entwicklung der Impact-Scores wurde die Delphi-Methode verwendet. Die Delphi-Methode ist ein systematisches, mehrstufiges Befragungsverfahren, das Expertenmeinungen zu einem Thema einholt, um fundierte Prognosen oder Einschätzungen zu generieren. In mehreren Runden geben die befragten Experten ihre Einschätzungen zu den einzelnen Impact-Scores ab. Anschließend werden die abgegebenen Ergebnisse in der Gruppe diskutiert, um einen Konsens der Expertenmeinungen zu erreichen und Unsicherheiten zu reduzieren. Die Delphi-Methode bietet eine objektivere Entscheidungsgrundlage für die Erarbeitung der Impact-Scores. Dabei liefen die Arbeitsgruppentreffen nach diesem Prozess ab:

Aufgabenformulierung: Die Aufgabe, Impact-Scores für die 18 neuen Services und dazugehörigen sieben Impacts zu bestimmen, wird den Experten vermittelt.

Befragungsrunde: Die Experten geben ihre individuellen Einschätzungen für die einzelnen Impact-Scores ab.

Feedback-Runde: Die Antworten werden zusammengefasst und den Experten zur Verfügung gestellt.

Diskussion: Die Antworten werden diskutiert und gegebenenfalls angepasst.

Alle neuen 126 erarbeiteten Impact-Scores sind im Anhang der Tabelle A.42 zu entnehmen.

Erarbeitung der Gewichtungen

Da nun zwei neue Domänen der SRI-Methodik hinzugefügt wurden, ist zu definieren, wie diese die Ergebnisse des Gesamt-SRI-Scores und die SRI-Score der einzelnen Impacts beeinflussen. Aus Tabelle A.25 im Anhang sowie Abschnitt 3.2.5 ist ersichtlich, dass die Gewichtungen der Impacts von den neun Domänen entweder gleich gewichtet, eine feste Größe oder in Abhängigkeit von der Klimazone sind. Da die Summe einer Spalte (somit die Gewichtungen eines Impacts) nicht größer als 100% sein darf, müssen die vorhandenen Gewichtungen angepasst werden. Hierzu gibt es mehrere Möglichkeiten, die es zu diskutieren gilt:

1. Das Verhältnis der bestehenden Gewichtungen bleibt unverändert.
2. Alle Gewichtungen werden neu aufgeteilt und bestimmt.
3. Teile der Gewichtungen bleiben unverändert und es werden nur Gewichtungen einzelner Domains aufgeteilt.

Tabelle 5.12: Neue Gewichtungen $\omega_{d,ic}$ nach der 3. Iteration mit grün: Gewichtungen abhängig von Klimazonen; gelb: gleichverteilte Gewichtungen; orange: feste Gewichtungen

	Nichtwohngebäude in Westeuropa	Energie- effizienz ic_1	Wartung & Fehlerprognose ic_2	Komfort ic_3	Bequemlichkeit ic_4	Information für Bewohner ic_5	Gesundheit & Wohlbefinden ic_6	Energieflexibilität & Speicherung ic_7
d_1	Heizung	0.2728	0.3166	0.1250	0.0909	0.1000	0.1429	0.4066
d_2	Warmwasser	0.0826	0.0958	0	0.0909	0.1000	0	0.1231
d_3	Kühlung	0.1267	0.1470	0.1250	0.0909	0.1000	0.1429	0.1889
d_4	Lüftung	0.1431	0.1661	0.1250	0.0909	0.1000	0.1429	0
d_5	Beleuchtung	0.1038	0	0.1250	0.0909	0	0.1429	0
d_6	Elektrizität	0.0211	0.0245	0	0.0909	0.1000	0	0.0314
d_7	Laden von Elektrofahrzeugen	0	0	0	0.0909	0.1000	0	0.0500
d_8	Dynamische Gebäudehülle	0.0500	0.0500	0.1250	0.0909	0.1000	0.1429	0
d_9	Überwachung & Steuerung	0.0667	0.0667	0.1250	0.0909	0.1000	0.1429	0.1000
d_{10}	Facility Management	0.0666	0.0666	0.1250	0.0909	0.1000	0.1429	0
d_{11}	IT-Infrastruktur	0.0666	0.0666	0.1250	0.0909	0.1000	0	0.1000
	Summe	1	1	1	1	1	1	1

Mit den Experten wurden die Gewichtungen der Tabelle 5.12 erarbeitet. In einer offenen Diskussion wurde festgestellt, dass die Gewichtungen nachvollziehbar und einheitlich sein müssen und es wurde sich darauf geeinigt, dass die Gewichtungen für die Impacts „Komfort“, „Bequemlichkeit“, „Information des Nutzers“ und „Gesundheit & Wohlbefinden“ analog zu den Gewichtungen der EU gleichmäßig verteilt werden. Darüber hinaus wird die Domain „Überwachung und Steuerung“ künftig nicht mehr gesondert gewichtet, sondern mit allen anderen Domains gleich gewichtet. Außerdem wurde festgelegt, dass für alle alten Domains außer „Überwachung und Steuerung“ die Gewichtungen für die Impacts „Energieeffizienz“, „Wartung und Fehlerprognose“ und „Energieflexibilität und Speicherung“ unverändert bleiben, damit der SRI den Energiefokus nicht verliert. Die ursprünglichen Prozentsätze der Domains „Überwachung und Steuerung“ für die Impacts „Energieeffizienz“, „Wartung und Fehlerprognose“ und „Energieflexibilität und Speicherung“ werden gleichmäßig auf die neuen Domains verteilt.

Den Experten ist auch bewusst, dass diese Verteilung ein erster Vorschlag ist, um mit dem SRI arbeiten zu können. Um die einzelnen Gewichtungen nachvollziehen zu können, müssen Faktoren, wie z.B. der Einfluss einer Domain auf den Energieverbrauch, definiert und anschließend Versuche und Experimente durchgeführt werden, die diesen Einfluss belegen.

Nach der 3. Iteration beinhaltet das SRI-Zertifizierungsmodell elf Domains mit 70 Services sowie die sieben ursprünglichen Impacts. Die Impact-Scores der 16 neuen Services sind ebenfalls erarbeitet worden und die Gewichtungen der Domains wurden angepasst. Abbildung 5.31 stellt das Modell grafisch dar, wobei dunkelgrün die SRI-Methodik der EU und hellgrün die erarbeitete Erweiterung darstellt. Eine Praxisphase mit den neu erarbeiteten Domains und Impacts wird noch nicht durchgeführt, da die erarbeiteten Impact-Scores zuvor noch von der gesamten Expertengruppe in einem Workshop bewertet werden müssen.

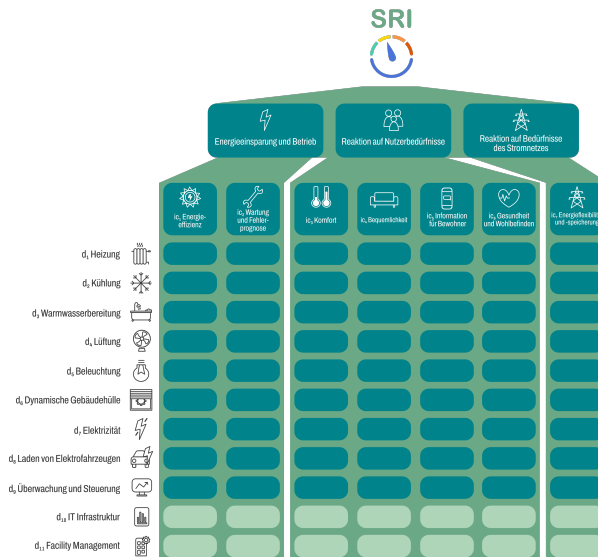


Abbildung 5.31: Entwurfsmodell mit zwei neuen Domains (eigene Darstellung)

Die neu entwickelten Domains werden wie auch in Abschnitt 5.4.1, Abschnitt 5.4.3 und Abschnitt 5.4.3 durch die Experten in einem 4. Workshop bewertet. Dazu werden auch hier die zwei zuvor angepassten Domains mit ihren Services mit den dazugehörigen Funktionslevel und den Impact-Scores auf DIN A0 Plakate gedruckt, sodass die Experten diese übersichtlich betrachten und bewerten können. Da nun auch die Impact-Scores mit abgedruckt worden sind, wurde jede Domain auf zwei Plakate aufgeteilt. In Abbildung 5.33 ist exemplarisch ein Plakat der Domain *Facility Management* dargestellt. Auf jedem Plakat können die Experten die Fragen, die Impact-Scores und die Funktionslevels sehen und haben Platz zum kommentieren (vgl. Abbildung 5.34 und Abbildung 5.35). Jeder Experte bewertet jede Frage und die dazugehörigen Funktionslevels sowie die Impact-Scores, indem Farbaufkleber aufgeklebt werden. Möchte ein Experte ein Gegenvorschlag für ein Impact-Score machen, so muss dieser durch einen Aufkleber (wobei die Farbe egal ist) und eine Zahl dieses dokumentieren. Darüber hinaus sollten die Experten Kommentare zu den einzelnen Fragen, Levels und Impact-Scores dokumentieren. Insgesamt hatten die Experten vier unterschiedliche Farbaufkleber zur Verfügung, wobei die einzelnen Farben unterschiedliche Bedeutungen haben:

FM-3 Abfallmanagement		Kommentare		Energieeffizienz		Energieeffizienz und Speicherung		Kosten		Reparaturkosten		Gesamtwert		Wertung und Informationsniveau	
0 Standard Abfallbehälter (fraktioniert)				0		0		0		0		0		0	
1 Volumen- und bedarfsgesteuerte Abfallentsorgung (z.B. Füllstand und Gewichtserkennung in den Abfallbehältern)				0		0		0		0		0		0	
2 Individuelle Abschneidung durch nutzerbezogene Verriegelung und individuelles Reporting (lokales Benchmark)				0		0		1		0		0		1	
3 NA				0		0		0		0		0		0	
4 NA				0		0		0		0		0		0	

Abbildung 5.34: Teilergebnisse der 4. Bewertung: FM-3

FM-3 Abfallmanagement		Kommentare		Energieeffizienz		Energieeffizienz und Speicherung		Kosten		Reparaturkosten		Gesamtwert		Wertung und Informationsniveau	
0 Standard Abfallbehälter (fraktioniert)				0		0		0		0		0		0	
1 Volumen- und bedarfsgesteuerte Abfallentsorgung (z.B. Füllstand und Gewichtserkennung in den Abfallbehältern)				0		0		0		0		0		0	
2 Individuelle Abschneidung durch nutzerbezogene Verriegelung und individuelles Reporting (lokales Benchmark)				0		0		1		0		0		1	
3 NA				0		0		0		0		0		0	
4 NA				0		0		0		0		0		0	

Abbildung 5.35: Grundlage für die 4. Bewertung: FM-3 (eigene Darstellung)

grüner Aufkleber: Die Thematik des Service bzw. der Aufbau der Levels ist sinnvoll und wichtig.

gelber Aufkleber: Die Thematik des Service bzw. der Aufbau der Levels ist neutral (weder wichtig noch unwichtig bzw. verbesserungswürdig).

roter Aufkleber: Die Thematik des Service bzw. der Aufbau der Levels ist unwichtig bzw. nicht sinnvoll.

blauer Aufkleber: Die Thematik des Service bzw. der Aufbau der Levels kann die Person nicht einschätzen und/oder bewerten.

Am Ende des Workshops sollte jeder Experte mindestens 32 Farbaufkleber (16 Services x 2 (Frage und Level)) verwendet haben, wobei für die Impact-Scores auch mehr Markierungen angebracht werden konnten. Eine Übersicht der Farbaufkleber und der Ergebnisse sind in Tabelle 5.13 dargestellt.

Tabelle 5.13: 4. Bewertung der Services und Funktionslevels der zwei neuen Domains durch Experten

id	Service					Level				
	grün	gelb	rot	blau	Bewertung	grün	gelb	rot	blau	Bewertung
IT1	0	8	0	0	FALSCH	4	4	0	0	FALSCH
IT3	4	0	0	3	FALSCH	4	1	0	3	FALSCH
IT4	6	2	0	0	WAHR	4	4	0	0	FALSCH
IT5	8	0	0	0	WAHR	8	0	0	0	WAHR
IT6	6	0	0	1	WAHR	0	3	4	1	FALSCH
IT7	3	5	0	0	FALSCH	4	4	0	0	FALSCH
IT9	8	0	0	0	WAHR	7	1	0	0	WAHR
FM1	3	5	0	0	FALSCH	3	5	0	0	FALSCH
FM2	7	1	0	0	WAHR	3	4	1	0	FALSCH
FM3	8	0	0	0	WAHR	7	0	0	0	WAHR
FM4	8	0	0	0	WAHR	5	3	0	0	FALSCH
FM5	8	0	0	0	WAHR	8	0	0	0	WAHR
FM6	8	0	0	0	WAHR	2	6	0	0	FALSCH
FM7	8	0	0	0	WAHR	8	0	0	0	WAHR
FM8	5	3	0	0	FALSCH	5	3	0	0	FALSCH
FM9	8	0	0	0	WAHR	6	1	0	0	WAHR

Anschließend wird untersucht, welche Services und Funktionslevels eine genauere Betrachtung benötigen. Dazu werden die Antworten der Experten auf die folgenden Bedingungen überprüft. Ist mindestens eine der Bedingungen nicht erfüllt, so muss dieser Service oder Funktionslevels überarbeitet

werden. Die Bedingungen werden für jeden Service und jedes Level individuell geprüft, fließen aber in die Gesamtbewertung mit ein. Die Bedingungen lauten:

- Ist die Gesamtzahl der grünen Bewertungen $\geq 66,66\%$
- Ist die Gesamtzahl der roten Bewertungen $< 25\%$
- Ist die Gesamtzahl der blauen Bewertungen $< 25\%$

Die Ergebnisse dieser Bewertung sind in Tabelle 5.13 mit den Spalten *Bewertung* dargestellt. Die Verbesserung der Fragen und Funktionslevel werden in Abschnitt 5.4.8 behandelt.

Bewertung Impact-Scores

Eine wesentliche Diskussion bei der Bewertung der Impact-Scores bestand in der Identifizierung der korrekten Interpretation der einzelnen Impacts. Da manche Fragen aus der Sicht der Experten (somit aus Sicht der Immobilienunternehmen) erstellt worden sind, ist nicht eindeutig, wer als Nutzer bei dem Impact „Information für Bewohner“ gemeint ist. Ist ein Unternehmen, das eine Dienstleistung in dem Gebäude durchführt, auch ein Nutzer oder ist nur der Nutzer als Individuum (der Bewohner) gemeint? So kann dies zu unterschiedlichsten Bewertungen führen:

So erhält beispielsweise in „Digitale Aktenführung“ (ab Abschnitt 5.4.6 „Digitales Gebäudedatenmanagement: Digital Logbook“) der Bewohner ab Level 1 „strukturierte Daten, die geteilt werden können (CAD, CAFM, BIM-Modell,...)“ Informationen, jedoch bringt eine höheres Level 2 („strukturierte Daten, die auf einer Plattform geteilt werden und Änderungen für alle aktualisiert werden (CAD, CAFM, BIM-Modell, ...)“) keine weiteren Informationen an den Bewohner. Jedoch würden Dienstleister durch die Informationen profitieren, die durch das höhere Level erreicht werden.

In der englischen Literatur der Europäischen Union (Europäische Kommission, 2020, Verbeke et al., 2020, 2018) wird explizit der Bewohner

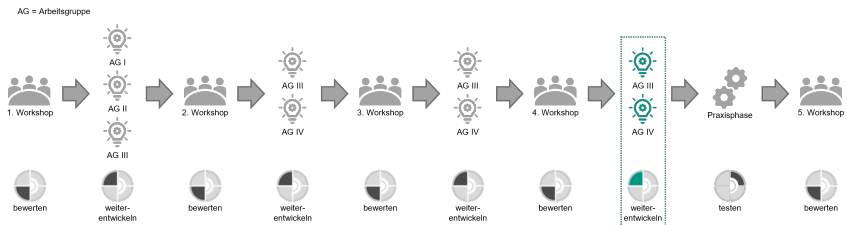


Tabelle 5.14: Veränderung der Domains und Services von der 3. Iteration zur 4. Iteration

3. Iteration	Aktion	4. Iteration	Beschreibung
IT-1	anpassen	IT-1	Änderungen werden vorgenommen
IT-3	anpassen	IT-3	Änderungen werden vorgenommen
IT-4	anpassen	IT-4	Änderungen werden vorgenommen
IT-5	übernommen	IT-5	Inhalt wird 1:1 übernommen
IT-6	anpassen	IT-6	Änderungen werden vorgenommen
IT-7	anpassen	IT-7	Änderungen werden vorgenommen
IT-9	übernommen	IT-9	Inhalt wird 1:1 übernommen
FM-1	anpassen	FM-1	Änderungen werden vorgenommen
FM-2	anpassen	FM-2	Änderungen werden vorgenommen
FM-3	übernommen	FM-3	Inhalt wird 1:1 übernommen
FM-4	anpassen	FM-4	Änderungen werden vorgenommen
FM-5	übernommen	FM-5	Inhalt wird 1:1 übernommen
FM-6	anpassen	FM-6	Änderungen werden vorgenommen
FM-7	übernommen	FM-7	Inhalt wird 1:1 übernommen
FM-8	aufgeteilt	FM-8 & FM-10	Service wird in 2 Service aufgeteilt
FM-9	übernommen	FM-9	Inhalt wird 1:1 übernommen

Die einzelnen Impact-Scores wurden während des 4. Workshop in einer offenen Diskussion überarbeitet und im Nachgang von der Arbeitsgruppe angepasst. Die Impact-Scores sind im Anhang A.43 zu finden. Da für alle Impacts der beiden neuen Domains die Impact-Scores überarbeitet wurden, müssen die zuvor definierten Gewichtungen angepasst werden. Hierbei wurde weiterhin die gleichmäßige Verteilung verwendet. Nach der Änderung hat sich teilweise ergeben, dass kein Impact-Score in einer Domain und in einem Impact vorhanden ist, wie z.B. der Domain *IT-Infrastruktur* und dem dazugehörigen Impact *Gesundheit & Wohlbefinden*. Diese Gewichtung darf somit nicht vorhanden sein. Die angepassten Gewichtungen sind der Tabelle 5.15 zu entnehmen .

Nach der 4. Iteration beinhaltet das SRI-Zertifizierungsmodell elf Domains mit 71 Services sowie die sieben ursprünglichen Impacts. Die Impact-Scores der 17 neuen Services sind ebenfalls erarbeitet worden und die Gewichtungen der Domains wurden angepasst. Abbildung 5.37 stellt das Modell grafisch dar, wobei dunkelgrün die SRI-Methodik der EU und

Tabelle 5.15: Neue Gewichtungen $\omega_{d,ic}$ nach der 4. Iteration mit grün: Gewichtungen abhängig von Klimazonen; gelb: gleichverteilte Gewichtungen; orange: feste Gewichtungen

Nichtwohngebäude in Westeuropa		Energieeffizienz ic_1	Wartung & Fehlerprognose ic_2	Komfort ic_3	Bequemlichkeit ic_4	Information für Bewohner ic_5	Gesundheit & Wohlbefinden ic_6	Energieflexibilität & Speicherung ic_7
d_1	Heizung	0.2728	0.3166	0.1250	0.0909	0.1000	0.1250	0.4066
d_2	Warmwasser	0.0826	0.0958	0	0.0909	0.1000	0	0.1231
d_3	Kühlung	0.1267	0.1470	0.1250	0.0909	0.1000	0.1250	0.1889
d_4	Lüftung	0.1431	0.1661	0.1250	0.0909	0.1000	0.1250	0
d_5	Beleuchtung	0.1038	0	0.1250	0.0909	0	0.1250	0
d_6	Elektrizität	0.0211	0.0245	0	0.0909	0.1000	0	0.0314
d_7	Laden von Elektrofahrzeugen	0	0	0	0.0909	0.1000	0	0.0500
d_8	Dynamische Gebäudehülle	0.0500	0.0500	0.1250	0.0909	0.1000	0.1250	0
d_9	Überwachung & Steuerung	0.0666	0.0666	0.1250	0.0909	0.1000	0.1250	0.0666
d_{10}	Facility Management	0.0666	0.0666	0.1250	0.0909	0.1000	0.1250	0.0666
d_{11}	IT-Infrastruktur	0.0666	0.0666	0.1250	0.0909	0.1000	0.1250	0.0666

hellgrün die erarbeitete Erweiterung darstellt. Eine Praxisphase mit den neu erarbeiteten Domains und Impacts kann durchgeführt werden.

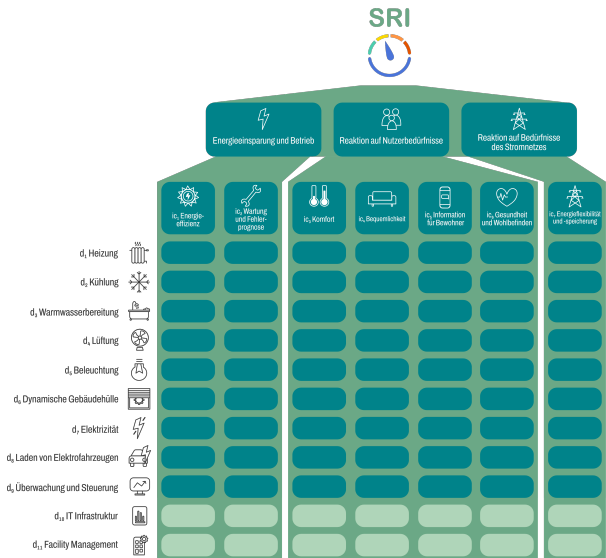


Abbildung 5.37: Entwurfsmodell mit zwei neuen Domains (eigene Darstellung)

Anpassung SRI-Skala





In den Diskussionen sowie in den Studien (vgl. Abschnitt 5.2.1) wurde angemerkt, dass der berechnete SRI-Score als zu niedrig empfunden wird. In dem Vorschlag der Europäischen Kommission (Verbeke et al., 2020, 2018) aber auch dem offiziellen Excel-Tool gibt es eine (Farb-)skala, die ähnlichen Bezug zum Energieausweis hat. Die vorgeschlagenen SRI-Klassen aus dem 1. Report (Verbeke et al., 2020), dem Excel-Tool, sind jedoch nicht einheitlich (Tabelle 5.16).

Generell besitzen Zertifizierungen (vgl. Abschnitt 3) Labels, die in Bronze, Silber und Gold eingeteilt werden können. Dies soll auch hier eingeführt werden (Tabelle 5.17), um eine objektive Bewertung zu gewährleisten. Darüber hinaus soll die Farbskala beibehalten werden. Nach dem GEG-Gebäude (vgl. Tabelle 5.28) besitzt ein Gebäude mit dem Automationsgrad B einen SRI von 54%, welche die untere Grenze der SRI-Klasse B bildet. Durch die Einführung einer weiteren Klasse A^+ ist es möglich, feinteilige SRI-Klassen (Abbildung 5.38) zu bilden, die linear in 15%-Schritten (SRI-Klasse A zu B : 16%) verteilt sind (Tabelle 5.17).

Tabelle 5.16: Unterschiedliche Einteilung der SRI Ergebnisse

1. Report		Excel	Klasse	
A	>86%	$\geq 90\%$	IV	>75%
B	>72%	$\geq 80\%$		
C	>58%	$\geq 65\%$	III	>50%
D	>44%	$\geq 50\%$		
E	>30%	$\geq 35\%$	II	>26%
F	>16%	$\geq 20\%$		
G	$\leq 16\%$	<20%	I	$\leq 26\%$

Tabelle 5.17: Einteilung der SRI Ergebnisse

Klasse	SRI-Score	Bezeichnung	Zertifikat
A ⁺	≥ 85%	Osmium	
A	≥ 70%		
B	≥ 54%	Gold	
C	≥ 40%		
D	≥ 25%	Silber	
E	≥ 10%		
F	< 15%	Bronze	

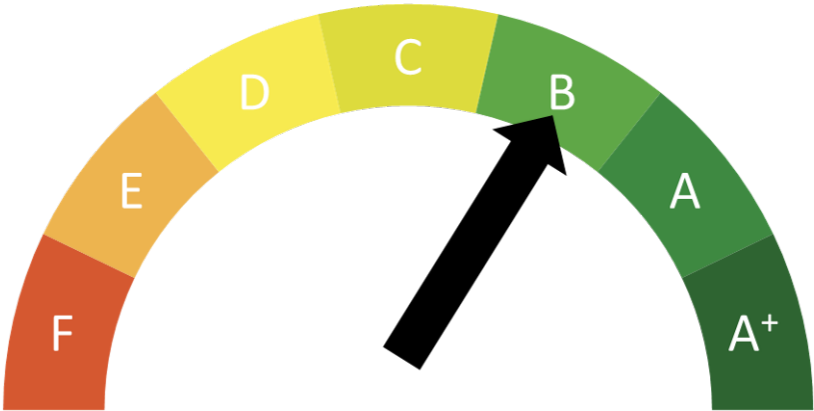


Abbildung 5.38: Vorschlag der Farbskala für SRI-Klassen (eigene Darstellung)

5.4.9 Praxisphase

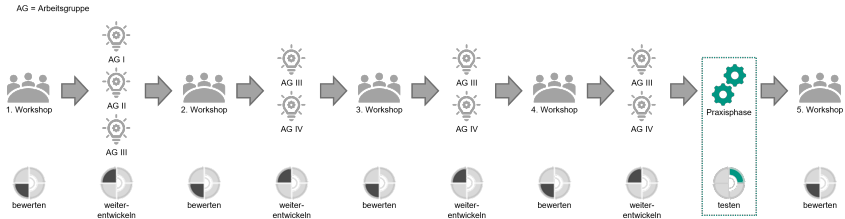


Abbildung 5.39: Ablauf des Forschungsprojekts: Praxisphase (eigene Darstellung)

Eine Praxisphase mit den neu erarbeiteten Domains und den dazugehörigen Impact-Scores wird durchgeführt. An sechs Gebäude werden die 71 Services erhoben, wobei diese Gebäude von den Experten bereitgestellt werden. Gemeinsam mit diesen und internen Fachkräften werden die benötigten Informationen jedes Gebäudes erhoben, sodass man den SRI berechnen kann. Die SRI Ergebnisse mit neun Domains (EU) und mit elf Domains (Erweiterter SRI) sind in Tabelle 5.18 dokumentiert. Die abweichenden Ergebnisse der beiden Kalkulationen sind auf die veränderten Gewichtungen zurückzuführen (vgl. Tabelle 3.10 mit Tabelle 5.15).

Es ist zu sehen, dass die Ergebnisse zwar einen Einfluss auf die einzelnen SRI-Scores haben, aber ähnliche Ergebnisse kalkuliert werden. Es ist möglich, dass einzelne Teilergebnisse sowohl besser als die ursprünglichen Ergebnisse, aber auch schlechter kalkuliert werden. Dies hängt von den neuen Gewichtungen der Tabelle 5.15 und den beiden neuen Domains ab. Erfüllt ein Gebäude in den neuen Domains gute Ergebnisse hat dies zwangsläufig einen positiven Einfluss auf den gesamten SRI-Score.

Tabelle 5.18: SRI Ergebnisse von sechs realen Gebäuden mit zwei neuen Domains

		Geb. 1		Geb. 2		Geb. 3		Geb. 4		Geb. 5		Geb. 6	
	SRI Version	EU	KIT	EU	KIT	EU	KIT	EU	KIT	EU	KIT	EU	KIT
	Anzahl Domains	9	11	9	11	9	11	9	11	9	11	9	11
Total	SRI-Score	54,69	52,39	31,70	31,09	23,49	25,66	37,90	35,22	27,18	27,77	35,15	35,27
Domain	Heizung	90,20	90,87	39,25	38,12	22,81	21,72	35,97	35,02	20,81	19,64	22,81	21,72
	Kühlung	49,71	47,59	38,42	37,02	0	0	23,99	23,15	19,39	18,28	28,44	27,72
	Warmwasserbereitung	0	0	40,68	40,2	41,01	41,21	68,61	68,66	0	0	0	0
	Lüftung	57,85	56,53	29,69	29,19	23,20	22,98	38,66	37,48	24,13	23,93	69,59	69,07
	Beleuchtung	77,70	78,22	6,62	6,93	27,67	27,95	27,81	28,09	13,91	14,28	27,67	27,95
	dynamische Gebäudehülle	42,17	43,15	13,85	14,33	9,28	9,33	46,92	48,94	21,51	22,49	66,97	67,35
	Elektrizität	0	0	9,60	8,79	30,22	29,16	31,01	29,80	54,83	54,17	54,83	54,17
	Laden von Elektrofahrzeugen	50,57	48,37	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Überwachung und Steuerung	40,17	44,71	35,64	35,05	37,04	39,26	48,88	53,58	51,11	54,82	46,88	52,54
	Facility Management	-	15,89	-	42,81	-	4,48	-	40,96	-	8,38	-	14,93
Impact	IT-Infrastruktur	-	47,56	-	23,74	-	86,81	-	17,58	-	87,37	-	77,82
	Energieeffizienz	61,23	53,73	52,58	48,42	37,06	42,06	64,08	59,08	38,6	41,1	51,38	54,71
	Wartung und Fehlerprognose	49,29	50,66	20,55	22,56	23,85	22,03	21,28	18,99	28,28	25,8	32,21	32,72
	Komfort	73,60	62,11	43,31	43,86	24,00	28,04	63,20	57,86	41,73	39,81	59,73	51,37
	Bequemlichkeit	53,28	49,87	33,73	33,36	26,23	28,13	42,34	38,98	28,93	30,03	38,90	38,56
	Information für Bewohner	44,44	44,72	29,03	32,72	41,94	35,19	36,20	33,95	54,84	47,22	59,86	52,16
	Gesundheit & Wohlbefinden	67,71	58,59	39,33	40,48	32,60	35,63	50,64	46,75	36,69	38,82	64,98	57,76
	Energieflexibilität und -speicherung	49,06	51,14	22,18	20,18	8,82	13,18	22,92	22,23	7,54	10,89	7,78	12,14

5.4.10 Modell bewerten - 5

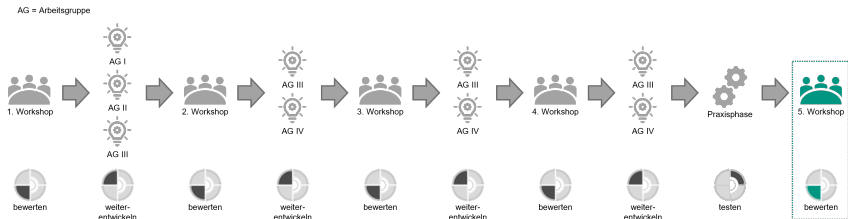


Abbildung 5.40: Ablauf des Forschungsprojekts: 5. Workshop (eigene Darstellung)

In diesem Abschnitt werden die zwei neuen Domains, die im Abschnitt 5.4.8 angepasst wurden, bewertet. Eine Übersicht der Vorgehensweise sowie die aktuelle Einordnung des Vorgehens ist in Abbildung 5.40 dargestellt.



Abbildung 5.41: 5. Workshop - DIN A0 Plakat der zu bewertenden Domain: Facility Management

Die neu entwickelten Domains werden wie auch in Abschnitt 5.4.1, Abschnitt 5.4.3, Abschnitt 5.4.5 und Abschnitt 5.4.7 durch die Experten in einem 5. Workshop bewertet. Dazu werden auch hier die zwei zuvor angepassten Domains mit ihren Services mit den dazugehörigen Funktionslevel und den Impact-Scores auf DIN A0 Plakate gedruckt, sodass die Experten diese übersichtlich betrachten und bewerten können. In Abbildung 5.41 ist exemplarisch ein Plakat der Domain *Facility Management* dargestellt. Auf jedem Plakat können die Experten die Fragen, Impact-Scores und die Funktionslevels sehen und haben Platz zum kommentieren (vgl. Abbildung 5.34 und Abbildung 5.35). In dieser Bewertung müssen die Experten zusätzlich einschätzen, ob der entsprechende Service in der Zukunft als zwingend erforderlich einzuschätzen ist. Jeder Experte bewertet jede Frage und die dazugehörigen Funktionslevels sowie die Impact-Scores und entscheidet, ob es Pflicht werden soll, indem Farbaufkleber aufgeklebt werden. Möchte ein Experte ein Gegenvorschlag für ein Impact-Score machen, so muss dieser durch einen Aufkleber (wobei die Farbe egal ist) und eine Zahl dieses dokumentieren. Darüber hinaus sollten die Experten Kommentare zu den einzelnen Fragen, Levels und Impact-Scores dokumentieren. Insgesamt hatten die Experten vier unterschiedliche Farbaufkleber zur Verfügung, wobei die einzelnen Farben unterschiedliche Bedeutungen haben:

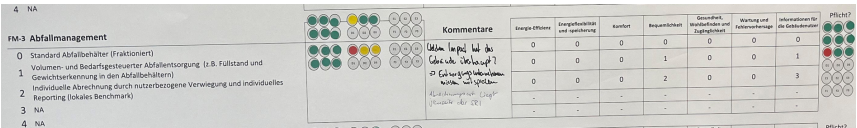


Abbildung 5.42: Teilergebnisse der 5. Bewertung: FM-3

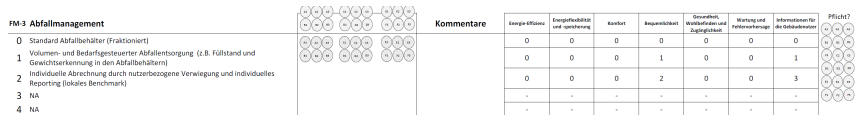


Abbildung 5.43: Grundlage für die 5. Bewertung: FM-3 (eigene Darstellung)

grüner Aufkleber: Die Thematik des Service bzw. der Aufbau der Levels ist sinnvoll und wichtig.

gelber Aufkleber: Die Thematik des Service bzw. der Aufbau der Levels ist neutral (weder wichtig noch unwichtig bzw. verbesserungswürdig).

roter Aufkleber: Die Thematik des Service bzw. der Aufbau der Levels ist unwichtig bzw. nicht sinnvoll.

blauer Aufkleber: Die Thematik des Service bzw. der Aufbau der Levels kann die Person nicht einschätzen und/oder bewerten.

Am Ende des Workshops sollte jeder Experte mindestens 51 Farbaufkleber (17 Services x 3 (Frage, Level und Pflicht)) verwendet haben, wobei für die Impact-Scores auch mehr Markierungen angebracht werden konnten. Eine Übersicht der Farbaufkleber und der Ergebnisse sind in Tabelle 5.19 dargestellt.

Tabelle 5.19: 5. Bewertung der Services und Funktionslevels der zwei neuen Domains durch Experten

id	Service					Level				
	grün	gelb	rot	blau	Bewertung	grün	gelb	rot	blau	Bewertung
IT1	8	0	0	0	WAHR	9	0	0	0	WAHR
IT3	4	2	0	3	FALSCH	4	1	0	4	FALSCH
IT4	9	0	0	0	WAHR	8	1	0	0	WAHR
IT5	9	0	0	0	WAHR	4	4	0	1	FALSCH
IT6	8	1	0	0	WAHR	2	6	0	1	FALSCH
IT7	6	2	0	1	WAHR	3	4	0	2	FALSCH
IT9	9	0	0	0	WAHR	6	1	0	1	WAHR
FM1	8	0	1	0	WAHR	6	2	0	0	WAHR
FM2	6	1	0	0	WAHR	7	1	0	1	WAHR
FM3	8	1	0	0	WAHR	6	2	1	0	WAHR
FM4	9	0	0	0	WAHR	9	0	0	0	WAHR
FM5	8	1	0	0	WAHR	8	1	0	0	WAHR
FM6	5	1	3	0	FALSCH	4	3	0	0	FALSCH
FM7	9	0	0	0	WAHR	8	1	0	0	WAHR
FM8	5	1	3	0	FALSCH	5	2	1	0	FALSCH
FM9	5	4	0	0	FALSCH	2	5	1	1	FALSCH
FM10	7	1	1	0	WAHR	5	0	1	1	WAHR

Anschließend wird untersucht, welche Services und Funktionslevels eine genauere Betrachtung benötigen. Dazu werden die Antworten der Experten

auf die folgenden Bedingungen überprüft. Ist mindestens eine der Bedingungen nicht erfüllt, so muss dieser Service oder Funktionslevels überarbeitet werden. Die Bedingungen werden für jeden Service und jedes Level individuell geprüft, fließen aber in die Gesamtbewertung mit ein. Die Bedingungen lauten:

- Ist die Gesamtzahl der grünen Bewertungen $\geq 66,66\%$
- Ist die Gesamtzahl der roten Bewertungen $< 25\%$
- Ist die Gesamtzahl der blauen Bewertungen $< 25\%$

Die Ergebnisse dieser Beurteilung sind in Tabelle 5.19 mit den Spalten *Bewertung* dargestellt.

Tabelle 5.20: Pflicht werdende Service

id	Pflicht?				Bewertung
	grün	gelb	rot	blau	
IT1	9	0	0	0	WAHR
IT3	4	1	1	2	FALSCH
IT4	2	0	7	0	FALSCH
IT5	8	0	0	0	WAHR
IT6	7	1	1	0	WAHR
IT7	7	1	0	1	WAHR
IT9	8	1	0	0	WAHR
FM1	7	0	0	0	WAHR
FM2	4	0	5	0	FALSCH
FM3	8	0	1	0	WAHR
FM4	8	1	0	0	WAHR
FM5	1	0	7	0	FALSCH
FM6	1	1	7	0	FALSCH
FM7	7	0	2	0	WAHR
FM8	0	1	7	0	FALSCH
FM9	4	2	3	0	FALSCH
FM10	1	1	6	0	FALSCH

Zudem haben die Experten bewertet, ob die entsprechenden Service in Zukunft als verpflichtend angesehen werden sollen. Jeder Service wird als verpflichtend bewertet, wenn mehr als die Hälfte der abgestimmten

Experten diesen Service als verpflichtend empfinden. Die Ergebnisse dieser Beurteilung sind der Tabelle 5.20 zu entnehmen.

Die Bewertung fällt durchweg positiv aus. Vergleicht man die ersten Bewertungen der neu entwickelten Domains aus der 2. Iteration (vgl. Abschnitt 5.4.3) mit den Ergebnissen der 5. Iteration, so ist ein klarer Trend zur Akzeptanz festzustellen, denn die Prozentuale Einhaltung der Bedingungen (*Ist die Gesamtzahl der grünen Bewertungen $\geq 66,66\%$, ist die Gesamtzahl der roten Bewertungen $< 25\%$, ist die Gesamtzahl der blauen Bewertungen $< 25\%$) nimmt stetig zu (Abbildung 5.44). Die neuen Domains sind nach dem Vorgehen, wie in Abschnitt 4 beschrieben, erarbeitet worden. Da es sich um einen zyklischen Prozess handelt, bei dem neue Technologien, politische Rahmenbedingungen und andere Aspekte berücksichtigt werden, ist dieser Prozess theoretisch nie abgeschlossen. Insgesamt sehen die Experten nur minimalen Handlungsbedarf. Es gibt einen kleinen Teil der Services, der von den derzeitigen Experten nicht genau bewertet werden kann (z.B. IT-4 & IT-6), da ihnen die Expertise fehlt. Zum anderen hat sich in den Diskussionen gezeigt, dass die Experten die Services gelb bewertet haben, wenn kleine sprachliche Anpassungen vorgenommen werden sollten.*

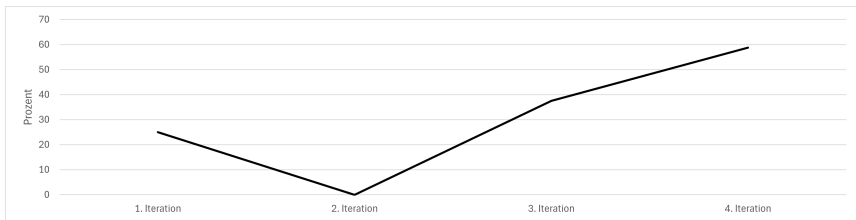


Abbildung 5.44: Trend der Akzeptanz der neuen Service (eigene Darstellung)

Insgesamt ist der eingangs definierte Umfang (Abschnitt 5.3) erreicht, sodass die Weiterführung des Zyklus an dieser Stelle unterbrochen werden kann, jedoch zu jedem (späteren) Zeitpunkt, wie zuvor definiert, wieder aufgenommen werden kann. Ziel war es, die zuvor identifizierten kritischen Erfolgsfaktoren (Abbildung 5.3) umfassender zu berücksichtigen, sodass der

SRI einen nutzenorientierten Gebäudebetrieb unterstützt. Der ursprüngliche Umfang und die Ziele der Methodik (Fokus auf die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (Verbeke et al., 2020)) durfte dabei nicht verändert werden, um der Richtlinie zu entsprechen.

Tabelle 5.21 zeigt die kritischen Erfolgsfaktoren, die durch die erweiterte SRI-Methode abgedeckt werden. Die Umweltwirkungen der Nachhaltigkeit werden weiterhin nicht direkt berücksichtigt und auch der Ressourcenverbrauch wird nicht mit einbezogen, da die SRI-Methode definitionsgemäß keine weiteren Nachhaltigkeitsaspekte wie z.B. den Materialverbrauch in einem Gebäude berücksichtigen soll. Die Unterstützung der kritischen Erfolgsfaktoren des nicht-physischen Gebäudes wird durch zwei neue Domains ergänzt. Die neue zyklische Entwicklungsmethodik des Zertifizierungssystems, die in Abschnitt 4 entwickelt wurde, stellt zudem sicher, dass neue Technologien und damit Innovationen kontinuierlich integriert werden.

Darüber hinaus werden mit der erweiterten Methodik die Bedürfnisse und Interessen externer Stakeholder berücksichtigt (vgl. Abschnitt 5.2), insbesondere da mit dem Domain „IT-Infrastruktur“ die Grundlagen für einen effizienten Service geschaffen werden und die Basis für eine gute Servicequalität gegeben sind. Neu hinzugekommen sind die Services „Cybersecurity“ und „Intrusion Detection“, welche die Sicherheit bedienen.

Das Management wird weiterhin nicht berücksichtigt, da es keinen direkten Bezug zu den digitalen Technologien eines Gebäudes hat. Es wird jedoch darauf hingewiesen, dass dies durch die zyklische Entwicklungsmethode des Zertifizierungssystems in Zukunft berücksichtigt werden könnte.

Tabelle 5.21: Übersicht der kritischen Erfolgsfaktoren mit SRI

Übersicht der kritischen Erfolgsfaktoren		Smart Readiness Indicator
1. Environment		
1.1. Nachhaltigkeit		
1.1.1. Umwelt		-
1.1.2. Ressourcenverbrauch		Impact: Energieeffizienz
1.2. Gebäude		
1.2.1. Physisch		Domains d_1 bis d_8
1.2.2. Nicht-Physisch		Domain: Steuerung & Überwachung; Facility Management, IT-Infrastruktur
1.3. Innovation		
		Kontinuierliche Erweiterungsmöglichkeit
2. Finanzen		
2.1. Kostenmanagement		
		Impact: Wartung und Fehlerprognose
2.2. Werterhaltung		
		je höher der SRI, desto besser
2.3. Energieeffizienz und Kosteneinsparung		
		Impact: Energieeffizienz; Mehrere neue Services
3. Unternehmenspolitik		
3.1. Externe Stakeholder		
3.1.1. Beziehung und Zufriedenheit		Domain: Facility Management, IT-Infrastruktur
3.1.2. Qualitätsmanagement		Domain: Facility Management, IT-Infrastruktur
3.2. Interne Stakeholder		
3.2.1. Personalmanagement und Arbeitsbedingungen		Impact: Komfort & Bequemlichkeit, Wohlbefinden und Gesundheit
3.2.2. Qualitätsmanagement		Impact: Information für Bewohner
3.3. Management		
3.3.1. Strategische Planung und Führung		-
3.3.2. Richtlinien und Standards		DIN, EPBD
3.3.3. Effiziente Arbeitsabläufe und Ressourcen		-
4. Qualität		
4.1. Zuverlässigkeit		
		Impact: Wartung und Fehlerprognose; Domain: IT-Infrastruktur
4.2. Servicequalität		
		Domain: IT- Infrastruktur
5. Sicherheit		
		Mehrere neue Services








5.5 Verbesserung der SRI-Berechnung

In den vorangegangenen Abschnitten dieses Kapitels ist dargestellt, dass der SRI als Zertifizierungsgrundlage gewählt und welche Erkenntnisse aus bereits durchgeführten Studien gewonnen wurden. Der SRI-Metodik wurde um zwei weitere Domains erweitert, der entsprechende Umfang dazu wurde in Abschnitt 5.3 definiert. In den folgenden Abschnitt wird die SRI-Berechnungsmethode genauer untersucht und robuster gestaltet, indem die in Abschnitt 4 erarbeitete Vorgehensweise angewendet wird. Die einzelnen Schritte und eine Kurzbeschreibung sind in der Tabelle 5.22 sowie in Abbildung 5.45 übersichtlich dargestellt.



Abbildung 5.45: Ablauf der Verbesserung der Berechnungsmethode:
Übersicht (eigene Darstellung)

Tabelle 5.22: Übersicht der durchgeführten Schritte zur Verbesserung der SRI-Berechnungsmethode

Iter.	Phase	Abschnitt	Beschreibung
1.	 Einflüsse	5.2	politische und marktrelevante Einflüsse werden beschrieben
	 Umfang definieren	5.3	Der zu entwickelnde Umfang wird definiert
	 SRI-Berechnung bewerten	5.5.1	Die EU-SRI Berechnungsmethode wird bewertet
	 Weiterentwicklung	5.5.2	Die EU-SRI Berechnungsmethode wird verbessert
	 Praxisphase	5.5.3	Die neue SRI Berechnungsmethode wird getestet
2.	 SRI-Berechnung bewerten	5.5.4	Die neue SRI Berechnungsmethode wird bewertet
	 Etablierung	5.6	Die neue SRI Berechnungsmethode kann etabliert werden

5.5.1 SRI-Berechnung bewerten - 1



Abbildung 5.46: Ablauf der Verbesserung der Berechnungsmethode: 1. Bewertung (eigene Darstellung)

Die Bewertung der Berechnungsmethodik gliedert sich in vier Teile. Im ersten Teil wird die Lücke der Methodik allgemein dargestellt, im zweiten Teil wird die Robustheit der Methodik gegenüber extremen Änderungen analysiert. Im dritten Teil wird untersucht, wie sich die Berechnungsmethodik bei kleinen inkrementellen Änderungen verändert. Der letzte Teil gibt einen kurzen Überblick über die Interpretation der ersten drei Teile.

Lücke der Methodik

Jeder Mitgliedstaat der Europäischen Union hat das Recht, die Anzahl der Services in jeder Domain zu ändern und anzupassen. Die Anzahl der Services in einer Domain sollte die definierten Gewichtungen (Tabelle 5.23 und Tabelle 5.24) nicht beeinflussen und das SRI-Ergebnis nicht beeinflussen. Dies bedeutet beispielsweise, dass der Service der Domain *Heizung* und Impact *Energieeffizienz* unabhängig von der Anzahl der Services maximal 27,28% (siehe Tabelle 5.23) des gesamten SRI-Impact-Scores und $27,28\% \cdot 16,667\% = 4,54\%$ ausmachen darf.

Tabelle 5.23: Gewichtung ω_{ic}

Energieeinsparung und Betrieb		Reaktion auf Nutzerbedürfnisse				Reaktion auf Bedürfnisse des Stromnetzes
Energieeffizienz ic_1	Wartung & Fehlerprognose ic_2	Komfort ic_3	Bequemlichkeit ic_4	Information für Bewohner ic_5	Gesundheit & Wohlbefinden ic_6	Energieflexibilität & -speicherung ic_7
0.16667	0.16667	0.08333	0.08333	0.08333	0.08333	0.33333

Um dieses zu prüfen wird ein einfache Beispiel konstruiert und folgendes angenommen:

Tabelle 5.24: Gewichtungen $\omega_{d,ic}$ für ein Nichtwohngebäude in Westeuropa mit grün: Gewichtungen abhängig von Klimazonen; gelb: gleichverteilte Gewichtungen; orange: feste Gewichtungen

		Energieeinsparung und Betrieb		Reaktion auf Benutzerbedürfnisse				Reaktion auf Bedürfnisse des Stromnetzes
Nichtwohngebäude in Westeuropa		Energieeffizienz ic_1	Wartung & Fehlerprognose ic_2	Komfort ic_3	Bequemlichkeit ic_4	Information für Bewohner ic_5	Gesundheit & Wohlbefinden ic_6	Energieflexibilität & Speicherung ic_7
d_1	Heizung	0,2728	0,3166	0,16	0,1	0,1000	0,16	0,4066
d_2	Warmwasser	0,0826	0,0958	0	0,1	0,1000	0	0,1231
d_3	Kühlung	0,1267	0,1470	0,16	0,1	0,1000	0,16	0,1889
d_4	Lüftung	0,1431	0,1661	0,16	0,1	0,1000	0,16	0
d_5	Beleuchtung	0,1038	0	0,16	0,1	0	0,16	0
d_6	Elektrizität	0,0211	0,0245	0	0,1	0,1000	0	0,0314
d_7	Laden von Elektrofahrzeugen	0	0	0	0,1	0,1000	0	0,0500
d_8	Dynamische Gebäudehülle	0,0500	0,0500	0,16	0,1	0,1000	0,16	0
d_9	Überwachung & Steuerung	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2

- Es wird die EU-SRI-Methodik mit 54 Domains verwendet
- Service EV-16 wird nicht berücksichtigt, da dieser Service ein negativen Impact-Score im niedrigstem Level im Impact *Energieflexibilität* hat
- Alle anderen 53 Services sind vorhanden
- Alle Funktionslevel der Domain *Heizung* befinden sich auf dem **höchsten** Funktionslevel
- Alle anderen Funktionslevel aller anderen acht Domains befinden sich auf dem **niedrigsten** Funktionslevel
- Die Anzahl der Service in der Domain *Heizung* wird verändert.

Berechnet man mit diesen Annahmen den SRI-Score⁸ eines Gebäudes⁹ und erhöht die Anzahl der Services, erhält man die Ergebnisse wie in Abbildung 5.47. Dort werden fünf verschiedene Berechnungen durchgeführt, jeweils unter den oben genannten Annahmen und ein bis zwei weiteren Service in einer Domain:

⁸Hierfür wurde das offizielle Berechnungstool Version 4.5 vom 19.02.2023 der EU verwendet.

⁹Das Gebäude hier ist ein Nichtwohngebäude und befindet sich in Westeuropa.

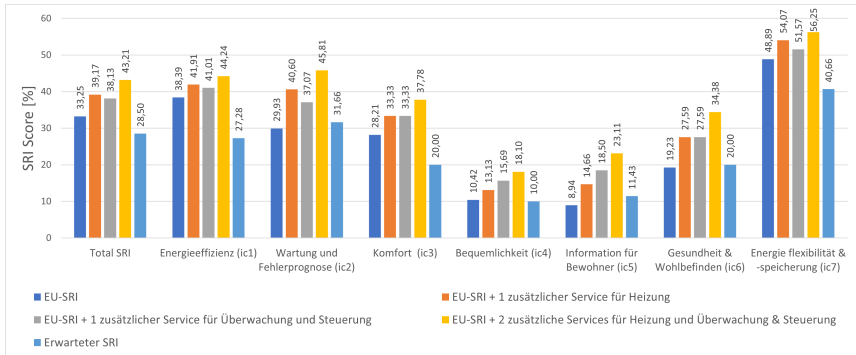


Abbildung 5.47: Berechnete Ergebnisse des erwarteten SRI-Scores (Eigene Darstellung)

EU-SRI:

Der SRI wird unter Verwendung der gegebenen 53 Service berechnet, keine weiterer Service wird hinzuzufügen.

EU-SRI + ein zusätzlicher Service in der Domain Heizung:

Ein Service mit den Parametern aus Tabelle 5.25 wird der Domain „Heizung“ hinzugefügt.

EU-SRI + ein zusätzlicher Service in der Domain Überwachung und Steuerung:

Ein Service mit den Parametern aus Tabelle 5.25 wird der Domain „Überwachung und Steuerung“ hinzugefügt.

EU-SRI + zwei zusätzliche Service in den Domains Heizung und Überwachung und Steuerung:

Ein Service wird sowohl der Domain „Heizung“ als auch der Kategorie „Überwachung und Steuerung“ mit den in Tabelle 5.25 gezeigten Parametern hinzugefügt.

erwarteter SRI:

Dies spiegelt den erwarteten Wert aller SRI-Scores wider, wobei die Werte für die Impacts aus der ersten Zeile der Tabelle 5.24 entnommen

werden. Der Gesamt-SRI-Score wird mit Gleichung 5.1 berechnet (Parameter aus Tabelle 5.23 und Tabelle 5.24).

$$\begin{aligned}
 & ((0,2728 + 0,3166) \times 0,16667 \\
 & + (0,2000 + 0,1000 + 0,1143 + 0,2000) \times 0,08333 \\
 & + 0,4066 \times 0,33333) \times 100\% \\
 & = 28,50\%
 \end{aligned} \tag{5.1}$$

Tabelle 5.25: Neuer fiktiver Service mit Funktionsleveln $FL(S_{i,d})$ und Impact-Scores $I_{ic}(FL(S_{i,d}))$

Neuer fiktiver Service	Impact ic und Impact-Score $I_{ic}(FL(S_{i,d}))$						
	Energieeinsparung und Betrieb		Reaktion auf Nutzerbedürfnisse				Reaktion auf Bedürfnisse des Stromnetzes
Funktionslevel $FL(S_{i,d})$	Energieeffizienz ic_1	Wartung und Fehlerprognose ic_2	Komfort ic_3	Bequemlichkeit ic_4	Information für Bewohner ic_5	Gesundheit & Wohlbefinden ic_6	Energieflexibilität & -speicherung ic_7
Level 0	0	0	0	0	0	0	0
Level 1	1	1	1	1	1	1	1
Level 2	2	2	2	2	2	2	2
Level 3	3	3	3	3	3	3	3

Die Ergebnisse der Berechnung sind in Abbildung 5.47 dargestellt und es wird gezeigt, dass eine **einzige** Änderung der Anzahl der Services die Ergebnisse beeinflusst, obwohl der „erwartete SRI-Score“ die korrekten Ergebnisse widerspiegelt. Darüber hinaus wird im Anhang gezeigt (Anhang A.4), dass dies nicht nur ein Phänomen einer Domain ist, sondern alle Domains betrifft. Dort werden die EU-Methode, der erwartete Score und die EU-Methode mit jeweils einem zusätzlichen Service für alle neun Domains verglichen. Dort hat jeder Service der untersuchten Domain das höchste Niveau, alle anderen Services der anderen acht Domains haben das niedrigste Niveau.

Diese unterschiedlichen Ergebnisse sind auf die fehlende Normalisierung des Smart Rediness Indicator zurückzuführen, die zu Diskrepanzen führt. Der SRI-Score reagiert empfindlich auf Änderungen in der Anzahl der Services, da das Hinzufügen neuer Services die relative Gewichtung der

verschiedenen Werte nicht berücksichtigt. Folglich können Domains mit einer höheren Anzahl von Services einen unverhältnismäßig großen Einfluss auf den endgültigen SRI-Score haben, obwohl die definierte Gewichtung dieser Domain geringer ist. Zweitens führt das Fehlen einer Normalisierung zu einer inkonsistenten Skalierung des resultierenden Durchschnitts. Diese Inkonsistenz kann zu einer Diskrepanz zwischen der Skala des Durchschnitts und der ursprünglichen Skala der gemittelten Werte führen. Dies erschwert die Interpretation und den Vergleich mit anderen Werten.

Robustheits- und Extremgewichtsanalyse

Die Europäische Kommission hat die Methodik zur Berechnung des SRI festgelegt, die im Abschnitt 3.2.5 erläutert wird. Insbesondere ist es jedem EU-Mitgliedsstaat erlaubt, die SRI-Methodik durch Hinzufügen von Services zu erweitern und zu modifizieren. Daher ist es notwendig, die Methodik zu plausibilisieren und zu normieren, um den Einfluss des grundlegenden Berechnungsmodells auf die Ergebnisse zu ermitteln. Im Folgenden werden Annahmen getroffen (Tabelle 5.26), die das Modell in gewisser Weise beeinflussen sollten. Es soll überprüft werden, ob der erwartete SRI-Score mit dem berechneten übereinstimmt und ob sich die Lücke der Methodik mathematisch bestätigen lassen kann. Dies wird anhand einer hypothetischen Fallstudie untersucht.

Hypothetische Fallstudie - EU-Berechnungsmethodik

Es wird angenommen, dass sich ein EU-Mitgliedstaat auf eine Domain (in dieser hypothetischen Fallstudie Domain d_1 *Heizung*) konzentriert, in der viele Services hinzugefügt werden, sodass $\lim_{N_{d_1} \rightarrow \infty}$ gilt. Es wird untersucht,

wie sich diese Änderung auf den gesamten SRI-Score auswirkt. Dazu wird ein fiktives Gebäude definiert, in dem alle Services verfügbar sind. Weiterhin haben alle Services N_{d_1} in der Domain d_1 das niedrigste Funktionslevel $FL(S_{i,d_1}) = \text{niedrig}$ (daraus folgt, dass mit der Gleichung 3.4: $I(d_1, ic) = 0$), in allen anderen acht Domains ($d_2 - d_9$) hat jeder Service S_{i,d_2-d_9} das höchst mögliche Funktionslevel: $I(d_x, ic) = I_{max}(d_x, ic)$ und $FL(S_{i,d_x}) \hat{=}$ den höchsten Impact-Score im Service; mit $x \in \mathbb{N} | 2 \leq x \leq 9$, die die

Domains d_2 bis d_9 repräsentieren. Eine Übersicht über alle Parameter findet sich in der Tabelle 5.26.

Vorüberlegungen: Der SRI-Score darf nicht Null sein, sondern das Ergebnis muss für jeden Impact die Summe der Gewichtungen ($\omega_{d,ic}$) der acht vorhandenen Domains ($d_2 - d_9$) sein, ohne die Gewichtung der Domain (d_1). Die Gleichung 5.2 stellt den erwarteten SRI dar, der den gesamten Einfluss von $d_2 - d_9$ enthalten soll, sodass die gesamte Gewichtung mit Ausnahme der Gewichtung der Domain d_1 gezählt werden kann, da alle Funktionslevels von d_1 die niedrigsten sind. Außerdem darf sich der SRI-Score nicht ändern und muss konstant bleiben, da der Impact einer Domain auf den SRI-Score gleich bleiben muss.

$$SR = 1 - \sum_{ic=1}^M (\omega_{ic} \times \omega_{d_1,ic}) \neq 0 \quad (5.2)$$

Tabelle 5.26: Übersicht über die Parameter in der hypothetischen Fallstudie: EU Berechnungsmethode

Nichtwohngebäude in Westeuropa	Verteilung der Funktionsleveln im Bereich								
	Heizung d_1	Warmwasser d_2	Kühlung d_3	Lüftung d_4	Beleuchtung d_5	Elektrizität d_6	Elektrofahrrzeug laden d_7	Dynamische Gebäudehülle d_8	Überwachung und Steuerung d_9
$FL(S_{i,d})$	Minimum	Maximum	Maximum	Maximum	Maximum	Maximum	Maximum	Maximum	Maximum
$I_{ic}(FL(S_{i,d}))$	= 0	= $I_{ic}(FL_{max}(S_{i,d_2}))$	= $I_{ic}(FL_{max}(S_{i,d_3}))$	= $I_{ic}(FL_{max}(S_{i,d_4}))$	= $I_{ic}(FL_{max}(S_{i,d_5}))$	= $I_{ic}(FL_{max}(S_{i,d_6}))$	= $I_{ic}(FL_{max}(S_{i,d_7}))$	= $I_{ic}(FL_{max}(S_{i,d_8}))$	= $I_{ic}(FL_{max}(S_{i,d_9}))$
$I_{i,d,ic,ist}$	= 0	= $I_{i,d,ic,max}$	= $I_{i,d,ic,max}$	= $I_{i,d,ic,max}$	= $I_{i,d,ic,max}$	= $I_{i,d,ic,max}$	= $I_{i,d,ic,max}$	= $I_{i,d,ic,max}$	= $I_{i,d,ic,max}$
N_d	∞	10	5	6	2	3	3	7	8

Tabelle 5.27: Ergebnisse von $I_{max}(d,ic)$ auf den SRI-Score nach EU-SRI-Methodik

Hinzugefügte Service	Hinzugefügte $I_{max}(d_1,ic)$ pro ic	$I_{max}(d_1,ic)$							$\sum_{ic} I_{max}(d_1,ic)$							$SR_{ic} [\%]$		SR Score
		Energieeffizienz ic_1	Wartung und Fehlerprognose ic_2	Komfort ic_3	Bequemlichkeit ic_4	Information für Bewohner ic_5	Gesundheit & Wohlbefinden ic_6	Energieflexibilität & -speicherung ic_7	Absolute Anzahl von $I_{max}(d_1,ic)$	Energieeffizienz ic_1	Wartung und Fehlerprognose ic_2	Komfort ic_3	Convenience ic_4	Information für Bewohner ic_5	Gesundheit & Wohlbefinden ic_6	Energieflexibilität & -speicherung ic_7		
0	0	0	19	5	11	10	4	5	13	67	61.61	70.07	71.79	89.80	91.06	80.77	52.22	67.14
1	3	22	8	14	13	7	8	16	88	58.09	59.40	66.67	87.13	85.34	72.41	47.03	61.22	
100	30	49	35	41	40	34	35	43	277	38.36	25.06	40.58	68.75	54.52	37.50	24.84	35.63	
100	300	319	305	311	310	304	305	313	2167	8.73	3.70	8.26	22.11	11.82	6.44	4.34	7.57	
1.000	3.000	3.019	3.005	3.011	3.010	3.004	3.005	3.013	21.067	1.00	0.39	0.92	2.84	1.34	0.69	0.47	0.87	

Durch Annahme von $\lim_{N_{d_1} \rightarrow \infty}$, wobei die Anzahl N_{d_1} der Service in der Domain d_1 unendlich ist und unter Verwendung von Gleichung 3.5 folgt, dass der maximal erreichbare Wert ebenfalls unendlich ist, wie Gleichung 5.3 zeigt.

$$I_{max}(d_1, ic) = \lim_{N_{d_1} \rightarrow \infty} \sum_{i=1}^{N_{d_1}} I_{ic}(FL_{max}(S_{i,d_1})) \rightarrow \infty \quad (5.3)$$

Des Weiteren sind die verbleibenden maximalen Impact-Scores der anderen acht Domains endlich, $I_{max}(d_{2-9}, ic) \neq \infty$, und auch die vorhandenen Impact-Scores dieser acht Domain sind endlich, $I(d_{2-9}, ic) \neq \infty$, während $I(d_1, ic) = 0$ ist.

Durch das Einsetzen der Bedingungen in die Gleichung 5.4, die den gesamten SRI-Score für einen Impact ic berechnet und der Langform der Gleichung 3.3 entspricht, erhält man Gleichung 5.5.

$$SR_{ic} = \frac{\omega_{d_1, ic} \times I(d_1, ic) + \omega_{d_2, ic} \times I(d_2, ic) + \dots + \omega_{d_9, ic} \times I(d_9, ic)}{\omega_{d_1, ic} \times I_{max}(d_1, ic) + \omega_{d_2, ic} \times I_{max}(d_2, ic) + \dots + \omega_{d_9, ic} \times I_{max}(d_9, ic)} \times 100 \quad (5.4)$$

$$\begin{aligned} SR_{ic} &= \\ \lim_{N_{d_1} \rightarrow \infty} &\frac{\omega_{d_1, ic} \times 0 + \omega_{d_2, ic} \times I_{max}(d_2, ic) + \dots + \omega_{d_9, ic} \times I_{max}(d_9, ic)}{\omega_{d_1, ic} \times \infty + \omega_{d_2, ic} \times I_{max}(d_2, ic) + \dots + \omega_{d_9, ic} \times I_{max}(d_9, ic)} \times 100 \\ \Rightarrow &\frac{\sum_{d=2}^9 \omega_{d, ic} \times I(d, ic)}{\infty} \approx 0 \end{aligned} \quad (5.5)$$

$$SR = \lim_{N_d \rightarrow \infty} \sum_{ic=1}^M \omega_{ic} \times SR_{ic} \approx 0 \quad (5.6)$$

Aus den Ergebnissen der Gleichung 5.5 und der Gleichung 3.2 folgen die Ergebnisse in Gleichung 5.6 für alle Impacts ic .

Es wurde gezeigt, dass die absolute Anzahl der Services in einer Domain einen Einfluss auf den Gesamtscore des SRI haben, und die Bedingung aus Gleichung 5.2 nicht erfüllt ist.

Sensitivitätsanalyse

Im vorhergehenden Abschnitt wurden die Ergebnisse der SRI-Methodik bei Anwendung von Extremwerten untersucht. Es ist jedoch zweifelhaft, dass diese Extremwerte von unendlichen Services auftreten. Aus diesem Grund wird eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt, um zu untersuchen, wie sich das Ergebnis bei kleinen inkrementellen Änderungen verhält. Es wird angenommen, dass neue Services zur Domain Heizung d_1 hinzugefügt werden. Jeder neu hinzugefügte Service hat ein Maximum $I_{ic}(FL_{max}(S_{i,d}))$ für jeden Impact mit einem Impact-Score von 3 (vgl. Tabelle 5.25). Außerdem wird, wie in dem vorhergehenden Abschnitt angenommen, dass alle Service N_{d_1} in der Domain d_1 die niedrigsten Funktionslevels $FL(S_{i,d_1}) = \text{niedrig}$ haben (Gleichung 3.4: $I(d_1, ic) = 0$), in allen anderen acht Domains ($d_2 - d_9$) hat jeder Service S_{i,d_2-d_9} die höchstmöglichen Funktionslevels: $I(d_x, ic) = I_{max}(d_x, ic)$ und $FL(S_{i,d_x}) \hat{=}$ den höchsten Impact-Score im Service; mit $x \in \mathbb{N} | 2 \leq x \leq 9$, die die Domain d_2 bis d_9 repräsentieren.

Die ersten beiden Spalten der Tabelle 5.27 geben an, wie viele Impact-Score-max ($I_{ic}(FL_{max}(S_{i,d}))$) und Service hinzugefügt werden. Jede Zeile entspricht eine Anzahl von: 0, 1, 10, 100 und 1.000 neu hinzugefügten Services, jeweils mit den Parametern wie in Tabelle 5.25. Die Spalten 3 - 8 dieser Tabelle zeigen die absolute Anzahl der neuen $I_{max}(d_1, ic)$, die restlichen Spalten die entsprechenden SRI-Scores für jeden Impact und den gesamten SRI-Score¹⁰.

Abbildung 5.48 zeigt den Einfluss der Summe von $I_{max}(d, ic)$ auf den SRI-Score nach der EU-Methodik. Die einzelnen Diagramme zeigen den

¹⁰Hierfür wurde das offizielle Berechnungstool Version 4.5 vom 19.02.2023 der EU verwendet.

SRI-Score für jeden Impact ic und den gesamten SRI-Score. Der Startpunkt jedes Diagramms hängt von der Anzahl der $I_{max}(d,ic)$ für die Ausgangssituation ab (erste Zeile der Tabelle 5.27). Auf der x-Achse der Abbildung 5.48 ist die absolute Anzahl von $I_{max}(d,ic)$ aufgetragen, die sich durch das Hinzufügen neuer Services erhöht. Es ist zu erkennen, dass alle SRI-Scores mit steigendem $I_{max}(d,ic)$ abnehmen, obwohl sich (wie zuvor in SRI erwartet) der SRI-Score nicht ändern sollte.

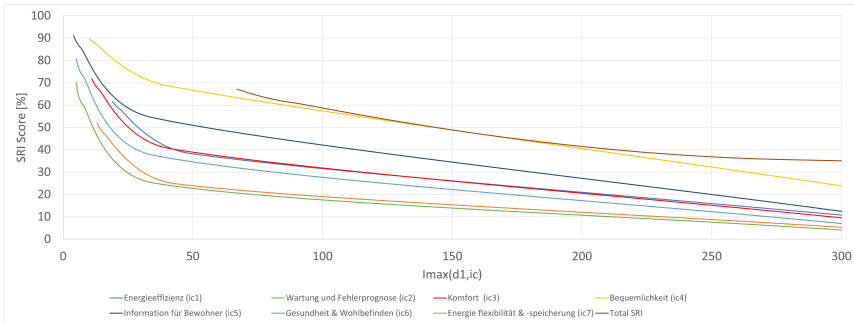


Abbildung 5.48: Einfluss der Summe von $I_{max}(d,ic)$ auf den SRI-Score gemäß der EU-Methodik (Eigene Darstellung)

Interpretation

Wenn ein Mitgliedstaat Services zu einer Domain hinzufügt, werden die Ergebnisse beeinflusst. Dieser Einfluss ist nicht auf eine Domain beschränkt (Anhang A.4). In dieser Arbeit wurde dies am Beispiel der Domain d_1 Heizung dargestellt, aber es gilt gleichermaßen für die anderen acht Domains, da die Berechnungsmethode identisch ist und sich nur die Gewichtungen ändern. Abbildung 5.49 zeigt deutlich, dass der SRI-Score mit dem Hinzufügen von Service sinkt ($I_{max}(d,ic)$ steigt). Dieser Effekt ist auch zu beobachten, wenn nur ein Service hinzugefügt wird (zweite Zeile in Tabelle 5.27 und Abbildung 5.47). Zusammenfassend kann gesagt werden, dass es bei einer Domain mit einer großen Anzahl von Services und einer schlechten Bewertung in diesen Services keine Rolle spielt, wie gut man in den anderen Services ist, da der Einfluss dieser Services abnimmt.

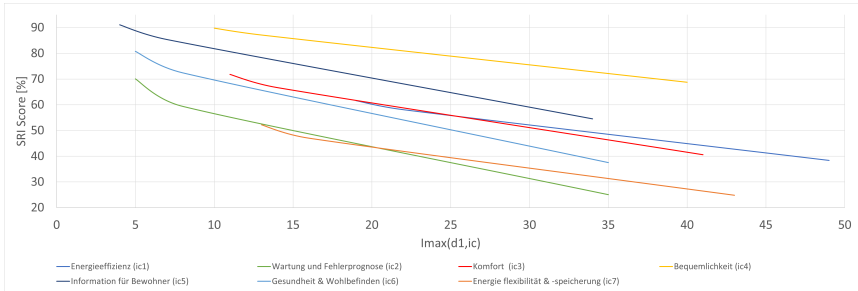


Abbildung 5.49: Einfluss der Summe von $I_{max}(d, ic)$ (durch Hinzufügen von bis zu zehn neuen Services mit jeweils $(FL_{max}(S_{i,d})) = 3$) auf den SRI-Score gemäß EU-SRI-Methodik (Eigene Darstellung)

5.5.2 SRI-Berechnung Weiterentwicklung - 1



Abbildung 5.50: Ablauf der Verbesserung der Berechnungsmethode: Weiterentwicklung (eigene Darstellung)

Im Abschnitt 5.5.1 wurde gezeigt, dass die definierte Berechnungsmethode unvollständig ist und zu inkonsistenten Ergebnissen führt. Extreme Merkmale und kleine Ergänzungen führen zu Fehlern, die ebenfalls antizipiert werden müssen. Zu diesem Zweck wird eine neue Berechnungsmethode vorgestellt. Um die Lesbarkeit zu verbessern und zu vereinfachen werden zwei neue Begriffe eingeführt, die jedoch die gleiche EU-Terminologie widerspiegeln. Zum bessern Verständnis sollte Tabelle 3.9 beachtet werden:

$$I_{ic}(FL(S_{i,d})) = I_{i,d,ic,ist}$$

$$I_{ic}(FL_{max}(S_{i,d})) = I_{i,d,ic,max}$$

Für diese verbesserte SRI-Berechnungsmethode müssen die individuellen Funktionslevels zu Beginn ebenfalls festgelegt werden und Standort und Gebäudetyp müssen bekannt sein. Anschließend werden für jede Domain d und Impact ic die entsprechenden Impact-Scores $I_{i,d,ic,ist}$ und $I_{i,d,ic,max}$ aufsummiert, anschließend werden die Summen geteilt (Gleichung 5.7). Da einige Domains auf einige Impacts ic keinen Impact-Score $I_{i,d,ic,max}$ haben, kann die Summe $\sum_{i=1}^{N_d} I_{i,d,ic,max}$ null sein. Diese Ausnahme muss geprüft und auf null gesetzt werden (Gleichung 5.7 und Gleichung 5.8). Zur Berechnung eines bestimmten SRI-Scores eines Impacts ic in einer bestimmten Domain d kann Gleichung 5.7 verwendet werden.

$$SR_{d,ic} = \begin{cases} \frac{\sum_{i=1}^{N_d} I_{i,d,ic,ist}}{\sum_{i=1}^{N_d} I_{i,d,ic,max}} & \text{wenn } \sum_{i=1}^{N_d} I_{i,d,ic,max} \neq 0 \\ 0 & \text{wenn } \sum_{i=1}^{N_d} I_{i,d,ic,max} = 0 \end{cases} \quad (5.7)$$

$$SR_{d,ic,max} = \begin{cases} \frac{\sum_{i=1}^{N_d} I_{i,d,ic,max}}{\sum_{i=1}^{N_d} I_{i,d,ic,max}} = 1 & \text{wenn } \sum_{i=1}^{N_d} I_{i,d,ic,max} \neq 0 \\ 0 & \text{wenn } \sum_{i=1}^{N_d} I_{i,d,ic,max} = 0 \end{cases} \quad (5.8)$$

Der SRI-Score einer gesamten Domain SR_d (relativ) lässt sich nach Gleichung 5.9 berechnen. Wobei relativ bedeutet, dass ein Ergebnis von 100 % möglich ist und nicht im Verhältnis zu anderen Domains d gesetzt wird. Darüber hinaus ist es nicht erforderlich, einen Fallunterschied zu machen, da $\sum_{ic=1}^M \sum_{i=1}^{N_d} I_{i,d,ic,max} \neq 0$.

$$SR_d = \frac{\sum_{ic=1}^M (SR_{d,ic} \times \omega_{ic} \times \omega_{d,ic})}{\sum_{ic=1}^M (SR_{d,ic,max} \times \omega_{ic} \times \omega_{d,ic})} \quad (5.9)$$

Der SRI-Score für eine gesamtes Impact berechnet sich auch Gleichung 5.10.

$$SR_{ic} = \sum_{i=1}^N (SR_{d,ic} \times \omega_{d,ic}) \quad (5.10)$$

Der Gesamt-SRI-Score berechnet sich aus Gleichung 5.11.

$$SR = \sum_{ic=1}^M \left(\sum_{i=1}^N (SR_{d,ic} \times \omega_{d,ic}) \times \omega_{ic} \right) \quad (5.11)$$

Die Bewertung dieser neuen Berechnungsmethode wird nach einer Anwendung in Abschnitt 5.5.4 durchgeführt.

5.5.3 Anwendung der Berechnungsmethode



Abbildung 5.51: Ablauf der Verbesserung der Berechnungsmethode:
Praxisphase (eigene Darstellung)

Die verbesserte Berechnungsmethode wird an realen Gebäuden getestet und der EU-SRI-Berechnungsmethode gegenübergestellt. Abbildung 5.51 gibt eine Übersicht des aktuellen Untersuchungsschritt. Vergleicht man die EU-Berechnungsmethode mit der verbesserten Berechnungsmethode, so ergibt eine neue Berechnungsmethode nicht zwangsläufig ein besseres Ergebnis. Wie bereits im Abschnitt 5.5.1 näher erläutert, werden die Ergebnisse durch die Anzahl der Fragen und deren Einflüsse beeinflusst. Die Ergebnisse beider Berechnungsmethoden von sechs realen Gebäuden, welche während des SRI-Forschungsprojekt gemeinsam mit den Experten erhoben wurden, sind in der Tabelle 5.30 und die Verteilung der Funktionslevel in der Tabelle 5.29 dargestellt.

Das durch die Bundesregierung im „Gesetz zur Einsparung von Energie und zur Nutzung erneuerbarer Energien zur Wärme- und Kälteerzeugung in Gebäuden (Gebäudeenergiegesetz - GEG)“ am 19. Oktober 2023 geforderte hypothetisches Praxisgebäude ist interessant. Dort ist in §71a geregelt, dass Nichtwohngebäude im Bestand mit einer Nennleistung der Heizungsanlage oder der kombinierten Raumheizungs- und Lüftungsanlage von mehr als 290 Kilowatt bis Ende 2024 mit einem Mindest-Automationsgrad nachzurüsten sind. Der Mindest-Automationsgrad umfasst dabei den Automationsgrad B nach DIN V 18599-11 für Heizung, Kühlung sowie die Einführung standardisierter Protokolle zur system- und herstellerübergreifenden Kommunikation zwischen allen gebäudetechnischen Systemen und Anwendungen.

In Tabelle 5.29 sind die Funktionslevels des hypothetischen GEG-Gebäudes jedes Service abgebildet. Dabei wurden die einzelnen Services, die mit der SRI-Methodik und der DIN V 18599-11 übereinstimmen, für den Automationsgrad B gewählt. Jedoch besitzt die SRI-Methodik verpflichtende Services, die in der DIN V 18599-11 nicht vorhanden sind. In diesen Fällen wurde der Automationsgrad B abgeschätzt.

Tabelle 5.28: SRI Ergebnisse des Mindest-Automationsgrad B des GEG bzw. DIN V 18599-11

Domain	Heizung	59,47%	52,60%
	Kühlung	59,05%	49,71%
	Warmwasserbereitung	68,52%	68,51%
	Lüftung	54,49%	54,16%
	Beleuchtung	53,32%	55,49%
	Dynamische Gebäudehülle	65,45%	68,70%
	Elektrizität	34,56%	31,97%
	Laden von Elektrofahrzeugen	NaN	NaN
	Überwachung und Steuerung	58,53%	52,69%
		EU-SRI	KIT-SRI
Total	SRI-Score	53,90	54,10
Impact	Energieeffizienz	76,91%	75,76%
	Wartung und Fehlerprognose	47,31%	47,76%
	Komfort	69,18%	67,73%
	Bequemlichkeit	58,33%	55,56%
	Information für Bewohner	52,03%	55,97%
	Gesundheit & Wohlbefinden	62,96%	63,56%
	Energieflexibilität und -speicherung	37,77%	39,85%

Tabelle 5.29: Funktionslevels aller 54 Services der sechs realen Gebäude und dem fiktiven GEG-Gebäude

#	id	Geb. 1	Geb. 2	Geb. 3	Geb. 4	Geb. 5	Geb. 6	Geb. GEG
1	H-1a	3	2	2	2	2	2	3
2	H-1b	2	2	1	2	2	1	-
3	H-1c	1 (50%) 2 (50%)	1	1	1	1	1	2
4	H-1d	3	2	1	3	1	1	2
5	H-1f	3	2	-	2	-	-	2
6	H-2a	1	-	2	2	1	2	2
7	H-2b	3	0	-	-	-	-	-
8	H-2d	4	3	-	-	-	-	3
9	H-3	4	2	2	2	2	2	2
10	H-4	3	0	1	1	1	1	1
11	DHW-1a	0	1	-	-	-	0	-
12	DHW-1b	0	2	1	2	-	0	2
13	DHW-1d	0	-	-	-	-	-	-
14	DHW-2b	0	1	-	-	-	-	-
15	DHW-3	0	2	1	2	0	0	2
16	C-1a	3	2	-	1	1	2	3
17	C-1b	2	2	-	1	-	1	-
18	C-1c	1	2	-	1	1	0	2
19	C-1d	3	3	-	2	1	1	2
20	C-1f	2	2	0	2	0	0	1
21	C-1g	0	1	-	1	-	-	2
22	C-2a	2	2	0	2	0	2	2
23	C-2b	2	2	-	-	-	-	2
24	C-3	3	2	0	0	2	1	2
25	C-4	2	1	0	1	1	1	1
26	V-1a	3	0 (90%) 1 (10%)	1	2	1	4	1
27	V-1c	1	4	2	3	4	4	2
28	V-2c	1	1	-	1	1	1	1
29	V-2d	1	2	1	2	2	3	2
30	V-3	1	2	-	2	0	2	2
31	V-6	1	0	0	0	0	1	1
32	L-1a	2	0 (80%) 3 (20%)	0	0	0	0	2
33	L-2	3	0	2	2	1	2	2
34	DE-1	2	1	1	2	1	2	3
35	DE-2	0	0	0	1	0	3	1
36	DE-4	3	-	0	-	1	3	-
37	E-2	0	-	-	-	-	-	-
38	E-3	0	-	-	-	-	-	-
39	E-4	0	-	-	-	-	-	-
40	E-5	0	-	-	-	-	-	-
41	E-8	0	0	-	-	-	-	-
42	E-11	0	-	-	-	-	-	-
43	E-12	0	1	2	2	3	3	2
44	EV-15	2	2	-	1	-	-	-
45	EV-16	1	0	-	0	-	-	-
46	EV-17	1	0	-	0	-	-	-
47	MC-3	2	2	0	2	1	2	2
48	MC-4	2	1	3	2	3	3	3
49	MC-9	1	1	0	1	1	0	0
50	MC-13	0	1	3	1	3	3	1
51	MC-25	0	0	0	0	0	0	2
52	MC-28	0	0	2	1	2	1	0
53	MC-29	0	1	0	2	0	0	0
54	MC-30	3	1	0	1	0	0	2

Tabelle 5.30: SRI Ergebnisse von sechs realen Gebäuden

		Geb. 1		Geb. 2		Geb. 3		Geb. 4		Geb. 5		Geb. 6	
	SRI-Method	EU	KIT	EU	KIT	EU	KIT	EU	KIT	EU	KIT	EU	KIT
Total	SRI-Score	54,33	54,69	35,10	31,70	32,21	23,49	41,04	37,90	37,13	27,18	42,27	35,15
Domain	Heizung	85,73	90,20	49,39	39,25	35,28	22,81	45,35	35,97	34,22	20,81	35,28	22,81
	Kühlung	60,97	49,71	48,21	38,42	0	0	29,33	23,99	29,87	19,39	35,07	28,44
	Warmwasserbereitung	0	0	47,82	40,68	41,21	41,01	68,65	68,61	0	0	0	0
	Lüftung	61,94	57,85	31,03	29,69	24,14	23,2	42,23	38,66	24,48	24,13	70,67	69,59
	Beleuchtung	76,59	77,70	5,95	6,62	26,58	27,67	26,71	27,81	13,37	13,91	26,58	27,67
	dynamische Gebäudehülle	41,72	42,17	13,19	13,85	9,17	9,28	43,40	46,92	19,47	21,51	67,27	66,97
	Elektrizität	0	0	14,00	9,60	32,57	30,22	33,73	31,01	54,37	54,83	54,37	54,83
	Laden von Elektrofahrzeugen	65,09	50,57	2,99	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Impact	Überwachung und Steuerung	50,61	40,17	33,67	35,64	44,68	37,04	57,81	48,88	61,22	51,11	59,43	46,88
	Energieeffizienz	66,05	61,23	60,71	52,58	41,23	37,06	65,39	64,08	44,61	38,6	55,92	51,38
	Wartung und Fehlerprognose	48,72	49,29	22,78	20,55	37,01	23,85	27,74	21,28	42,39	28,28	36,68	32,21
	Komfort	73,77	73,60	52,00	43,31	32,59	24	63,43	63,20	41,92	41,73	62,86	59,73
	Bequemlichkeit	51,52	53,28	37,92	33,73	32,35	26,23	46,43	42,34	40,54	28,93	45,68	38,90
	Information für Bewohner	34,64	44,44	22,38	29,03	59,71	41,94	41,26	36,20	68,35	54,84	67,13	59,86
	Gesundheit & Wohlbefinden	70,16	67,71	40,65	39,33	36,46	32,60	50,81	50,64	37,07	36,69	67,74	64,98
	Energieflexibilität und -speicherung	51,60	49,06	25,41	22,18	11,57	8,82	22,69	22,92	14,45	7,45	12,04	7,78

5.5.4 SRI-Berechnung bewerten - 2



Abbildung 5.52: Ablauf der Verbesserung der Berechnungsmethode: 2. Bewertung (eigene Darstellung)

Robustheits- und Extremgewichtsanalyse

Die neu vorgestellte Methodik muss auch daraufhin untersucht werden, wie extreme Veränderungen den SRI-Score beeinflussen. Hierfür wird ein hypothetischer Fall definiert und äquivalent zur EU-Methodik untersucht.

Hypothetische Fallstudie - Verbesserte Methodik

Um zu überprüfen, ob die neue Berechnungsmethodik die zuvor aufgezeigte Lücke verbessert, wird das hypothetische Fallbeispiel aus Abschnitt 5.5.1 mit den gleichen Annahmen (Tabelle 5.31) wieder aufgegriffen. Dazu werden die Annahmen in Gleichung 5.7 und Gleichung 5.8 eingesetzt, was zu den Ergebnissen Gleichung 5.12 und Gleichung 5.13 führt:

$$SR_{d,ic} = \begin{cases} \frac{\sum_{i=1}^{N_d} I_{i,d,ic,ist}}{\sum_{i=1}^{N_d} I_{i,d,ic,max}} & \text{wenn } \sum_{i=1}^{N_d} I_{i,d,ic,max} \neq 0 \\ 0 & \text{wenn } \sum_{i=1}^{N_d} I_{i,d,ic,max} = 0 \end{cases} \quad (5.7)$$

$$SR_{d,ic,max} = \begin{cases} \frac{\sum_{i=1}^{N_d} I_{i,d,ic,max}}{\sum_{i=1}^{N_d} I_{i,d,ic,max}} = 1 & \text{wenn } \sum_{i=1}^{N_d} I_{i,d,ic,max} \neq 0 \\ 0 & \text{wenn } \sum_{i=1}^{N_d} I_{i,d,ic,max} = 0 \end{cases} \quad (5.8)$$

$$SR_{d_1,ic} = \lim_{N_{d_1} \rightarrow \infty} \frac{\sum_{i=1}^{N_{d_1}} I_{i,d,ic,ist}}{\sum_{i=1}^{N_{d_1}} I_{i,d,ic,max}} = \frac{0}{\infty} = 0 \quad (5.12)$$

$$SR_{d_2-9,ic} = \frac{\sum_{i=1}^{N_{d_2-9}} I_{i,d,ic,ist}}{\sum_{i=1}^{N_{d_2-9}} I_{i,d,ic,max}} = \frac{\sum_{i=1}^{N_{d_2-9}} I_{i,d,ic,max}}{\sum_{i=1}^{N_{d_2-9}} I_{i,d,ic,max}} = 1 \quad (5.13)$$

Unter Verwendung von Gleichung 5.11, Gleichung 5.10 und den Ergebnissen aus Gleichung 5.12 und Gleichung 5.13 kann gezeigt werden, dass die ursprüngliche Annahme $SR \neq 0$ aus Gleichung 5.2 jetzt zutrifft (Gleichung 5.14) (im Gegensatz zur EU-Methodik, die nicht erfüllt ist):

$$\begin{aligned} SR &= \sum_{ic=1}^M \left(\lim_{N_{d_1} \rightarrow \infty} \sum_{i=1}^N \left(SR_{d,ic} \times \omega_{d,ic} \right) \times \omega_{ic} \right) \\ &\Rightarrow \sum_{ic=1}^M \left(\lim_{N_{d_1} \rightarrow \infty} \left(SR_{d_1,ic} \times \omega_{d_1,ic} + \dots + SR_{d_9,ic} \times \omega_{d_9,ic} \right) \times \omega_{ic} \right) \\ &\Rightarrow \sum_{ic=1}^M \left(\left(0 \times \omega_{d_1,ic} + 1 \times \omega_{d_2,ic} + \dots + 1 \times \omega_{d_9,ic} \right) \times \omega_{ic} \right) \\ &\Rightarrow \sum_{ic=1}^M \left(\left(\sum_{i=1}^N (\omega_{d,ic}) - \omega_{d_1,ic} \right) \times \omega_{ic} \right) \neq 0 \end{aligned} \quad (5.14)$$

Sensitivitätsanalyse

Die verbesserte Methodik deckt extreme Fälle ab, jedoch kann nicht angenommen werden, dass N_{d_1} gegen unendlich geht. Hier müssen auch einzelne Service hinzugefügt und untersucht werden. Daher werden die gleichen Annahmen, wie in Abschnitt 5.5.1 und Tabelle 5.31, getroffen.

Tabelle 5.32 zeigt, wie viele $I_{ic}(FL_{max}(S_{i,d}))$ hinzugefügt werden. Gemäß der obigen Annahme entspricht dies für jede Zeile 0, 1, 10, 100 und 1000

neu hinzugefügten Service, jeweils mit den Parametern wie in Tabelle 5.25. Spalten 3 - 8 dieser Tabelle zeigen die absolute Anzahl neuer $I_{max}(d_1, ic)$, die verbleibenden Spalten zeigen die entsprechenden SRI-Scores für jeden Impact und den Gesamt SRI-Score.

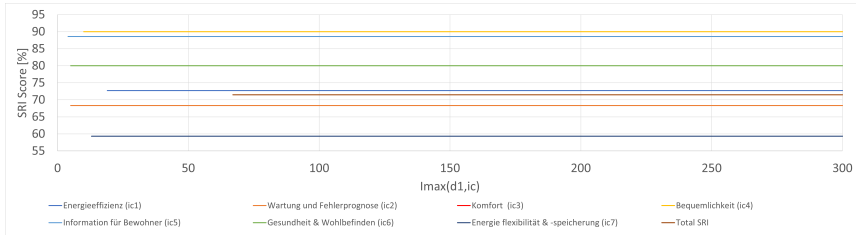


Abbildung 5.53: Einfluss der Summe von $I_{max}(d, ic)$ auf den SRI-Score gemäß der verbesserten SRI-Methodik (Eigene Darstellung)

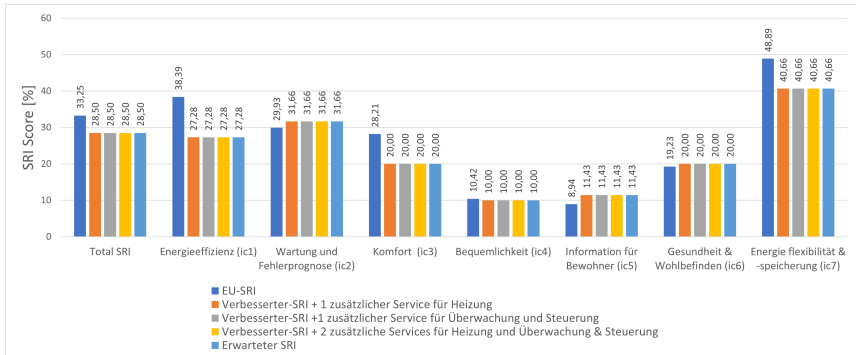


Abbildung 5.54: Berechnete Ergebnisse des erwarteten SRI-Scores, des EU-SRI-Scores und des Verbesserten-SRI (Eigene Darstellung)

Eine grafische Darstellung der Ergebnisse ist in Abbildung 5.53 und Abbildung 5.54 zu sehen. Dort ist zu erkennen, dass sich der individuelle SRI-Score nicht ändert, wenn die Anzahl der $I_{max}(d_1, ic)$ zunimmt. Die Ausgangspunkte jeder Grafik (die jeweils eine der sieben Impacts und den Gesamt SRI-Score darstellen) in Abbildung 5.53 sind identisch mit den

Ausgangspunkten der Grafiken in Abbildung 5.48. Jeder Ausgangspunkt repräsentiert die Anzahl $I_{max}(d_1, ic)$ der Ausgangssituation im entsprechenden Impacts oder dem Gesamt SRI, die auch in der ersten Zeile von Tabelle 5.32 dargestellt sind.

Interpretation

Diese neue und verbesserte Berechnungsmethodik ermöglicht es den EU-Mitgliedstaaten, Service zu den Domains hinzuzufügen, ohne die Ergebnisse der anderen Domains zu beeinflussen. Wie bei der EU-Methodik ist der Einfluss nicht auf eine Domain beschränkt, da die Berechnungsmethode für alle neun Domains gleich ist. Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass, wenn eine Domain eine große Anzahl an Service hat und ein Gebäude in allen Service einer Domain schlecht abschneidet, dies die Ergebnisse der verbleibenden Domains nicht beeinträchtigt, wie die linearen Graphen in Abbildung 5.53 zeigen. Mit dieser neuen Methodik können EU-Mitgliedstaaten Service zu den Domains hinzufügen, ohne die Ergebnisse der anderen Domains zu beeinflussen. Zudem kann festgestellt werden, dass bei Hinzufügen einer großen Anzahl von Services in einer Domain durch einen Mitgliedsstaat und der Feststellung, dass ein Gebäude in diesen Services dieser Domain schlecht abschneidet, der SRI-Score dennoch eine akzeptable Prozentzahl erreichen kann.

5.6 Etablierung

Der Abschnitt 5 konzentriert sich auf die Erweiterung der SRI-Methodik in der derzeitigen Form. Nach einem erfolgreichen Entwicklungsprozess kann das deskriptive Modell verwendet werden, wobei ein besonderes Augenmerk auf die kontinuierliche Anpassung und flexible Reaktion auf sich ändernde Marktanforderungen gelegt wird. Die Möglichkeit, Entwicklungsprozesse zyklisch zu wiederholen, gewährleistet eine kontinuierliche Optimierung und Anpassung an neue Herausforderungen und technologische Entwicklungen. Dieses systematische Vorgehen gewährleistet nicht nur die erfolgreiche Einführung des Verfahrens, sondern auch seine langfristige Etablierung als relevante Lösung in seinem spezifischen Anwendungsbereich.

Tabelle 5.31: Übersicht über die Parameter in der hypothetischen Fallstudie - verbesserte Berechnungsmethode

Nichtwohngebäude in Westeuropa	Verteilung der Funktionsleveln im Bereich								
	Heizung d_1	Warmwasser d_2	Kühlung d_3	Lüftung d_4	Beleuchtung d_5	Elektrizität d_6	Elektrofahrzeug laden d_7	Dynamische Gebäudehülle d_8	Überwachung und Steuerung d_9
$FL(S_{i,d})$	Minimum	Maximum	Maximum	Maximum	Maximum	Maximum	Maximum	Maximum	Maximum
$I_{ic}(FL(S_{i,d}))$	$= 0$	$= I_{ic}(FL_{max}(S_{i,d_2}))$	$= I_{ic}(FL_{max}(S_{i,d_3}))$	$= I_{ic}(FL_{max}(S_{i,d_4}))$	$= I_{ic}(FL_{max}(S_{i,d_5}))$	$= I_{ic}(FL_{max}(S_{i,d_6}))$	$= I_{ic}(FL_{max}(S_{i,d_7}))$	$= I_{ic}(FL_{max}(S_{i,d_8}))$	$= I_{ic}(FL_{max}(S_{i,d_9}))$
$I_{i,d,ic,ist}$	$= 0$	$= I_{i,d,ic,max}$	$= I_{i,d,ic,max}$	$= I_{i,d,ic,max}$	$= I_{i,d,ic,max}$	$= I_{i,d,ic,max}$	$= I_{i,d,ic,max}$	$= I_{i,d,ic,max}$	$= I_{i,d,ic,max}$
N_d	∞	10	5	6	2	3	3	7	8

Tabelle 5.32: Ergebnisse von $I_{max}(d,ic)$ auf den SRI-Score nach der verbesserten SRI-Methodik

		$I_{max}(d_1,ic)$							$\sum_{i=1}^9 I_{max}(d_i,ic)$	$SR_{ic} [\%]$							SR [%]	
Hinzugefügte Service	Hinzugefügte $I_{max}(d_1,ic)$ pro ic	Energie- effizienz ic_1	Wartung und Fehlerprognose ic_2	Komfort ic_3	Bequemlichkeit ic_4	Information für Bewohner ic_5	Gesundheit & Wohlbefinden ic_6	Energie flexibilität & -speicherung ic_7	Absolute Anzahl von $I_{max}(d_1,ic)$	Energie- effizienz ic_1	Wartung und Fehlerprognose ic_2	Komfort ic_3	Convenience ic_4	Information für Bewohner ic_5	Gesundheit & Wohlbefinden ic_6	Energieflexibilität & -speicherung ic_7	SRI-Score	
0	0	19	5	11	10	4	5	13	67	72.72	68.34	80.00	90.00	88.57	80.00	59.34	71.50	
1	3	22	8	14	13	7	8	16	88	72.72	68.34	80.00	90.00	88.57	80.00	59.34	71.50	
10	30	49	35	41	40	34	35	43	277	72.72	68.34	80.00	90.00	88.57	80.00	59.34	71.50	
100	300	319	305	311	310	304	305	313	2.167	72.72	68.34	80.00	90.00	88.57	80.00	59.34	71.50	
1.000	3.000	3.019	3.005	3.011	3.010	3.004	3.005	3.013	21.067	72.72	68.34	80.00	90.00	88.57	80.00	59.34	71.50	

Präskriptives Modell

Ist der Ist-Zustand eines Gebäudes bekannt, ist die nächste Phase das präskriptive Modell (vgl. Abschnitt 4). Ziel dieses Modells ist es, mögliche Verbesserungen aufzuzeigen. Dieses Modell kann auch als Interpretation des deskriptiven Modells verstanden werden. Für einen nutzerorientierten Gebäudebetrieb ist es unabdingbar, zukünftige Ausgaben an den richtigen bzw. effektiven Stellen zu investieren, um ein bestmögliches Kosten-Nutzen-Verhältnis zu erzielen. Das präskriptive Modell unterstützt eine strategische Immobilienplanung und führt somit zu einem effizienteren und nachhaltigeren Gebäude- und Portfoliomanagement (vgl. Abschnitt 4). Im Folgenden wird ein Modell entwickelt, das den einzelnen Stakeholder Vorschläge zur Steigerung des SRI unterbreitet und damit eine mögliche Strategie für die Digitalisierung aufzeigt¹¹. Dabei ist insbesondere zu berücksichtigen, dass unterschiedliche Stakeholder unterschiedliche Ziele verfolgen (vgl. Abschnitt 2.2.2) und daher die vorgeschlagenen Maßnahmen für die einzelnen Stakeholder unterschiedlich ausfallen können. Auch in diesem Abschnitt werden die einzelnen erarbeiteten Prozessschritte aus Abschnitt 4 durchgeführt.

6.1 Ausgangssituation

Die Europäische Union unterbreitet mit dem derzeitigen System des SRI (vgl. Abschnitt 3.2.5) keinen Vorschlag für eine solches deskriptive Modell. Aus den Studien aus Abschnitt 5.2 wird es von den einzelnen Ländern teilweise gefordert und eine Nachfrage aus dem Markt und Politik ist zu erkennen.

¹¹Diese Erkenntnisse wurden zu Teilen ebenfalls in einem wissenschaftlichen Artikel (Emich et al., 2022) veröffentlicht

6.2 Umfang definieren

Ziel des zu entwickelnden Verfahrens ist es, eine Empfehlung zu geben, in welchen Services Verbesserungen vorgenommen werden sollten, um einen maximalen SRI-Score zu erreichen. Die Vorschläge geben an, welche der bestehenden Funktionslevels verbessert werden sollten, um einen bestmöglichen SRI-Score zu erreichen. Das Ergebnis wird von den Prioritäten der einzelnen Stakeholder abhängen, sodass eine unterschiedliche Fokussierung auf einzelne Domains oder Impacts zu unterschiedlichen Ergebnissen führen kann.

Das Verfahren soll auf das gesamte Gebäude angewendet werden können, ohne dass der Anwender über eine hohe Expertise in den einzelnen Bereichen verfügen muss. Darüber hinaus sollen die notwendigen Kosten zur Verbesserung des SRI-Scores berücksichtigt werden.

Abbildung 6.1 gibt einen Überblick über verschiedene Optimierungsalgorithmen. Es muss entschieden werden, ob eine exakte Methode oder ein approximierte Methode verwendet werden soll. Im Allgemeinen sind exakte Methoden für kleine, aber schwierige Probleme sinnvoll, während approximative Methoden für sehr große Probleme besser geeignet sind (Talbi, 2009).

Wenn eine bestimmte SRI-Bewertung für ein bestimmtes Gebäude verbessert werden soll, kann dies durch die Erhöhung der Funktionslevels jedes einzelnen Services erreicht werden. Da jedes der Services der SRI-Methode unabhängig bewertet werden kann, gibt es eine Vielzahl von möglichen Kombinationen: elf der Services haben drei Funktionslevel, 20 der Services haben vier Funktionslevel und 23 der Services können fünf unabhängige Funktionslevel erreichen. Dies bedeutet, dass insgesamt etwa $5^{23} \cdot 4^{20} \cdot 3^{11} \approx 2,3 \cdot 10^{33}$ mögliche Kombinationen gibt. Es handelt sich also um ein großes kombinatorisches Problem. Hinzu kommt, dass in dieser Arbeit zwei weitere Domains mit 17 Services entwickelt wurden, was die Kombinatorik um ein Vielfaches erhöht ($5^{27} \cdot 4^{28} \cdot 3^{16} \approx 2,3 \cdot 10^{43}$). Jede Erhöhung der Service vergrößert das Problem um ein vielfaches.

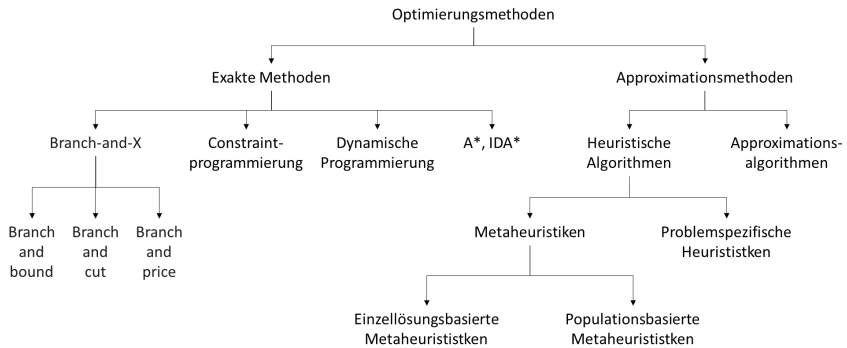


Abbildung 6.1: Übersicht unterschiedlicher Algorithmen zur Optimierung nach (Talbi, 2009)

Approximationsmethoden lassen sich in zwei Algorithmentypen unterteilen: Approximationsalgorithmen und heuristische Algorithmen. Während Approximationsalgorithmen formale Garantien für die Qualität ihrer Lösungen bieten, finden heuristische Algorithmen schnell akzeptable Lösungen. Die Wahl fällt hier auf heuristische Algorithmen, da die Hauptpriorität darin besteht, schnell gute Lösungen für große Probleminstanzen zu finden, anstatt Ergebnisse mit höherer Güte zu erzielen, die jedoch eine deutlich höhere Laufzeit erfordern würden. Insbesondere da das Ziel darin besteht, eine Empfehlung abzugeben und nicht zwingend durchzuführende Maßnahmen zu bestimmen. Der Anwender muss stets die Lösungen interpretieren und hinterfragen müssen. (Talbi, 2009)

Heuristische Algorithmen lassen sich in zwei Formen unterteilen: problemspezifische Heuristiken und Metaheuristiken. Spezifische Heuristiken sind auf ein bestimmtes Problem oder einen bestimmten Fall zugeschnitten. Metaheuristiken sind allgemeine Algorithmen, die zur Lösung fast aller Optimierungsprobleme eingesetzt werden können, auch wenn das Problem zuvor nicht beschrieben und gelöst wurde. (Talbi, 2009) Da es für dieses präskriptive SRI-Problem noch keine Lösungsansätze gibt, müssen und können theoretisch alle Algorithmen auf dieses Problem angewendet werden. Zunächst wird auf allgemeine Algorithmen zurückgegriffen, da diese auf eine

Vielzahl von Problemen anwendbar sind. Es ist zu prüfen, ob diese auch für dieses SRI-Problem verwendet werden können. Anschließend können bei Bedarf speziellere Algorithmen untersucht werden.

Dort wird zwischen einzellösungsbasierten und populationsbasierten Metaheuristiken unterschieden. Beide führen zu Beginn eine Exploration durch, bei der nach neuen, vielversprechenden Lösungen gesucht wird. Anschließend erfolgt eine Exploitation (Intensivierung), die sich auf bekannte gute Lösungen konzentriert und sich in Richtung besserer Lösungen bewegt, um die Qualität der Lösungen zu verbessern. In diesem beschriebenen Problem wird die populationsbasierte Methode verwendet, da durch die Vielfalt der einzustellenden Parameter unterschiedliche gute Lösungen im Lösungsraum gefunden werden können. Insbesondere wird der Genetische Algorithmus verwendet, da dieser einer der meistverwendeten populationsbasierten Algorithmen ist und sich bei verschiedenen Problemstellungen bewährt hat. (Talbi, 2009)

Da noch keine grundlegendes präskriptives Modell vorhanden ist, entfällt die Bewertung und es wird mit der Entwicklung gestartet.

6.3 Entwicklung - Iteration 1

6.3.1 Problemstellung

Die Methodik des SRI besitzt 54 und durch die Erweiterung insgesamt 71 verschiedene Services mit jeweils eigenen Funktionslevel. Jedes einzelne Funktionslevel hat einen individuellen Einfluss auf alle sieben Impacts, die unabhängig von der EU durch die Impact-Scores definiert sind (vgl. Abschnitt 3.2.5). Darüber hinaus hat jede Domain und jeder Impact eine individuelle Gewichtung, die von der Europäischen Kommission festgelegt wurde. Möchte man nun ein Gebäude optimieren, ist dies abhängig nach dem Optimierungsziel (SRI-Score für Domain, Impacts und/oder Total SRI-Score). Darüber hinaus ist die Verbesserung jedes Funktionslevel mit Kosten verbunden. Da in der Regel nur ein begrenztes Budget für ein Projekt zur Verfügung steht, ist es sinnvoll, das Budget so einzusetzen, dass

ein möglichst hoher SRI-Score erreicht wird. Zu Beginn der Entwicklung wird davon ausgegangen, dass jede Erhöhung eines Funktionslevel gleich viel kostet. In weiteren Entwicklungsschritten (Abschnitt 6.6) wird dies noch angepasst. Zusammenfassend kann dieses Optimierungsproblem unter Budgetrestriktionen wie folgt beschrieben werden (Emich et al., 2022):

$$\textit{Maximiere} \quad \textit{SRI} \quad (6.1)$$

$$\textit{Unter der Bedingung} \quad \sum_{q=1}^{54} C_{q,\Delta Level} \leq B \quad (6.2)$$

mit:

$C_{q,\Delta Level}$ – Kosten für die Leveländerung Δ Level der Frage q
 B – Budget

6.3.2 Lösungsansatz

Da der Entscheidungsraum des beschriebenen Problems sehr groß ist, wurde als Lösungsansatz (Emich et al., 2022) ein Genetischer Algorithmus gewählt. Ein entscheidender Vorteil von Genetischen Algorithmen ist ihre Fähigkeit zur parallelen Suche nach Lösungen in einer Population. Dies bedeutet, dass mehrere Lösungskandidaten gleichzeitig evaluiert und weiterentwickelt werden können. In großen Suchräumen kann diese parallele Suche die Effizienz erheblich steigern und zu schnelleren Fortschritten bei der Lösungsfindung führen.

Genetische Algorithmen zeichnen sich auch durch ihre Robustheit aus, da sie in der Lage sind, lokale Minima zu umgehen und somit globalere Lösungen zu finden. Die Einbeziehung des Zufalls in Genetische Algorithmen trägt dazu bei, dass der Algorithmus nicht in vorhersehbaren Mustern stecken bleibt, was in komplexen Suchräumen von Vorteil ist. In solchen Situationen kann eine deterministische Suche weniger effizient sein. Eine

weitere nützliche Eigenschaft von Genetischen Algorithmen ist, dass die Populationsgröße an die Komplexität des Problems angepasst werden kann. In großen Suchräumen kann es sinnvoll sein, eine größere Population zu verwenden, um die Wahrscheinlichkeit zu erhöhen, vielversprechende Lösungen zu finden.

In der ersten Entwicklungsiteration wird eine modifizierte Version des nicht-dominanten Genetischen Sortierungsalgorithmus II (NSGA-II) (Deb et al., 2002) verwendet. In dieser modifizierten Version gibt es zwei Mutationsfunktionen und eine Crossover-Funktion. Die erste Mutationsfunktion mutiert die 100 besten Kombinationen jeder Population und die zweite wendet eine zufällige Mutation auf die gesamte Population an. Diese beiden Mutationen sollen die Vielfalt in der Population erhöhen und lokale Optima vermeiden. Jeder Mutationsabschnitt wird durchgeführt und nach jeder Iteration wird die Population sortiert, um „tournament selection“ und „multiple-mutation“ zu simulieren. Zusätzlich wird die Crossover-Funktion auch über die zehn besten Kombinationen iteriert. Auch hier wird nach jeder Iteration eine Sortierung durchgeführt, um ebenfalls „tournament selection“ und „multiple-mutation“ zu simulieren. Zusätzlich wird eine nicht-dominante Sortierung auf jede Funktion angewendet, um die Eliten zu erhalten. Der vorgeschlagene Algorithmus ist in Abbildung 6.2 und den folgenden Schritten zusammengefasst:

1. Anfangspopulation: Zu Beginn werden zufällige Kombinationen erzeugt, wobei die Anzahl der Wiederholungen der Iterationen n_0 ist. Jedem der 54 (EU) bzw. 71 (KIT-Erweiterung) Services wird ein Level zwischen dem vorhandenen und dem maximal erreichbaren Level für jedes Service zugewiesen. Eine anschließende Überprüfung des Budgets zeigt, ob die zufällig erzeugte Kombination weiterhin verwendet werden kann. Erfüllt die Kombination die Budgetbeschränkung (Gleichung 6.2), wird sie in eine neue Liste übertragen. Die überlebenden Kombinationen werden sortiert und in den nächsten Schritt übernommen.
2. Erzeugung einer mutierten Population aus den besten 100: Es wird eine zufällige Kombination der 100 Besten ausgewählt und analog zum ersten Schritt verfahren, wobei die Anzahl der Wiederholungen

der Iterationen n_1 beträgt. Die in Schritt 2 erzeugte Population wird der Population hinzugefügt.

3. Crossover: Aus den zehn Besten vorhandenen Kombinationen werden zwei zufällige Kombinationen ausgewählt, um Nachkommen zu erzeugen. Die Crossover-Funktion ist hier ein k-Punkt-Crossover, wobei k zufällig gewählt wird. Die Anzahl der Wiederholungen der Iteration ist n_2 . Die in Schritt 3 erzeugte Population wird der Population hinzugefügt.
4. Mutation der gesamten Population: 100 Kombinationen werden nach dem Zufallsprinzip aus der Gesamtpopulation ausgewählt, mutiert und analog zum zweiten Schritt behandelt, wobei die Anzahl der Wiederholungen der Iterationen n_3 beträgt. Die in Schritt 4 erzeugte Population wird der Population hinzugefügt.

Die Schritte zwei bis vier werden solange wiederholt, bis die Konvergenzkriterien erfüllt sind. Die Konvergenzkriterien besagen, dass die Änderungen des SRI-Scores in den letzten fünf Iterationen weniger als 1% betragen dürfen. Wie aus den obigen Schritten ersichtlich, ist die Populationsgröße dynamisch und ändert sich nach jeder Iteration. Um ein unkontrolliertes Wachstum der Grundgesamtheit zu vermeiden, wird die Gleichung 6.2 immer berücksichtigt.

Nach der 1. Iteration ist eine Methode beschrieben, die unter einem gegebenen Budget ein gutes Ergebnis für ein Gebäude mit linearen Kosten der Levelsänderung findet.

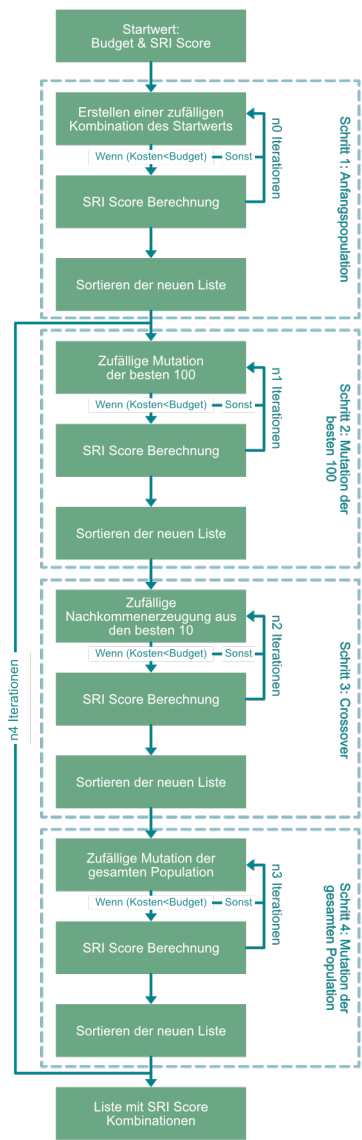


Abbildung 6.2: Code Flowchart der 1. Iteration (Emich et al., 2022)

6.4 Praxisphase - Iteration 1

Zur Überprüfung der Methode wird ein hypothetisches Nichtwohngebäude in Deutschland mit einem aktuellen EU-SRI von 24,7%¹² ausgewählt (vgl. Tabelle 6.1). Um einen SRI von 100% zu erreichen, müssen insgesamt 130 Funktionslevel angehoben werden, d.h. unter den oben getroffenen Annahmen sind 130 Geldeinheiten erforderlich. Das in der Simulation zur Verfügung stehende Budget beträgt jedoch nur 10% der 130 Geldeinheiten.

Tabelle 6.1: Levelverteilung des fiktiven Gebäudes

#	id	Geb.	#	id	Geb.
1	H-1a	0	28	V-2c	2
2	H-1b	0	29	V-2d	2
3	H-1c	0	30	V-3	2
4	H-1d	0	31	V-6	1
5	H-1f	0	32	L-1a	1
6	H-2a	0	33	L-2	1
7	H-2b	0	34	DE-1	1
8	H-2d	0	35	DE-2	1
9	H-3	0	36	DE-4	1
10	H-4	0	37	E-2	1
11	DHW-1a	1	38	E-3	1
12	DHW-1b	1	39	E-4	1
13	DHW-1d	1	40	E-5	1
14	DHW-2b	1	41	E-8	0
15	DHW-3	1	42	E-11	0
16	C-1a	1	43	E-12	0
17	C-1b	1	44	EV-15	0
18	C-1c	1	45	EV-16	0
19	C-1d	1	46	EV-17	0
20	C-1f	1	47	MC-3	0
21	C-1g	2	48	MC-4	0
22	C-2a	2	49	MC-9	0
23	C-2b	2	50	MC-13	0
24	C-3	2	51	MC-25	1
25	C-4	2	52	MC-28	1
26	V-1a	2	53	MC-29	1
27	V-1c	2	54	MC-30	1

¹²Hierfür wurde das offizielle Berechnungstool Version 4.5 vom 19.02.2023 der EU verwendet.

Tabelle 6.2: Iterationsszenarien: Merkmale und Ergebnisse (Emich et al., 2022)

Szenarien:	a	b	c	d
Schritt 1: Anfangspopulation (n_0)	100	1000	100	100
Schritt 2: Mutation von top 100 (n_1)	100	100	1000	100
Schritt 3: Crossover (n_2)	100	100	100	1000
Schritt 4: Mutation der gesamten Population (n_3)	100	100	100	100
SRI-Score [%]	43.28	43.27	43.23	43.29
No. Iteration [-]	9	8	9	4
Duration [min]	13.6	16.0	17.3	23.6

In dieser Arbeit werden vier Szenarien untersucht, die in Tabelle 6.2 definiert sind. Die verschiedenen Szenarien untersuchen den Einfluss der Wiederholungen ($n_0 - n_3$) jedes Algorithmusabschnitts auf die Ergebnisse und die Performance. Wie die Ergebnisse zeigen, spiegeln die einzelnen Diagramme in den Abbildungen 6.4 und 6.3 die Anzahl der Iterationen der vier Schritte des Algorithmus wider und sind über die Iteration n_4 aufgetragen. Alle Simulationen wurden auf einem Computer mit einem Intel® Core™ i7-8550U Prozessor mit 1,80 GHz und 16,0 GB RAM unter Windows® 10 durchgeführt. Der Algorithmus wurde in Python entwickelt.

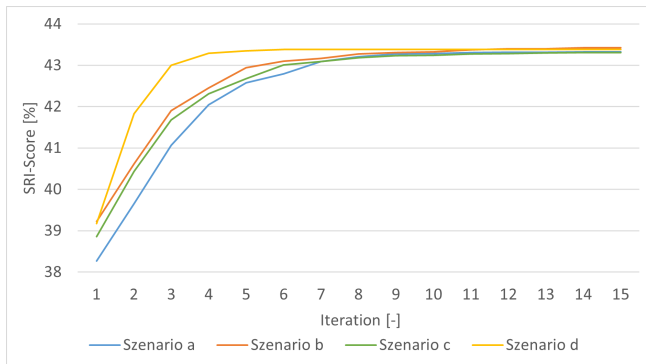


Abbildung 6.3: Veränderung des SRI-Scores in verschiedenen Szenarien (Emich et al., 2022)

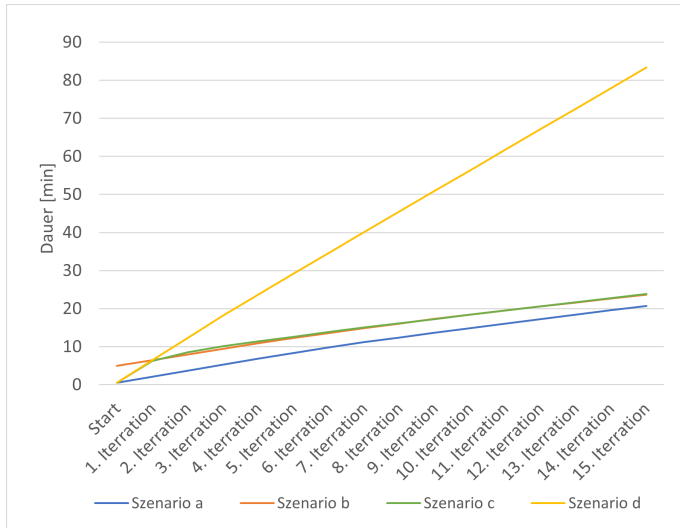


Abbildung 6.4: Laufzeit für verschiedene Szenarien (Emich et al., 2022)

6.5 Bewertung des Modells - Iteration 1

Tabelle 6.2 zeigt die Ergebnisse der verschiedenen Iterationsszenarien und den erzielten SRI-Scores, bei der ein aussagekräftiger SRI-Score ausgegeben wird und die Iterationen theoretisch beendet werden können. Zusätzlich zeigt Abbildung 6.3 den durchschnittlichen SRI-Score aller Szenarien nach jedem Iterationsschritt. Es ist zu erkennen, dass alle Szenarien (nach einer bestimmten Wiederholungszahl) den gleichen SRI-Score von ca. 43,3% erreichen (Emich et al., 2022).

Alle Diagramme in Abbildung 6.5 zeigen, dass die zufällige Mutation auf die gesamte Population (n_3) nur einen geringen Einfluss auf die zehn besten Kombinationen hat. In Zukunft kann auf die Simulation dieses Teils verzichtet oder nur zu Beginn durchgeführt werden.

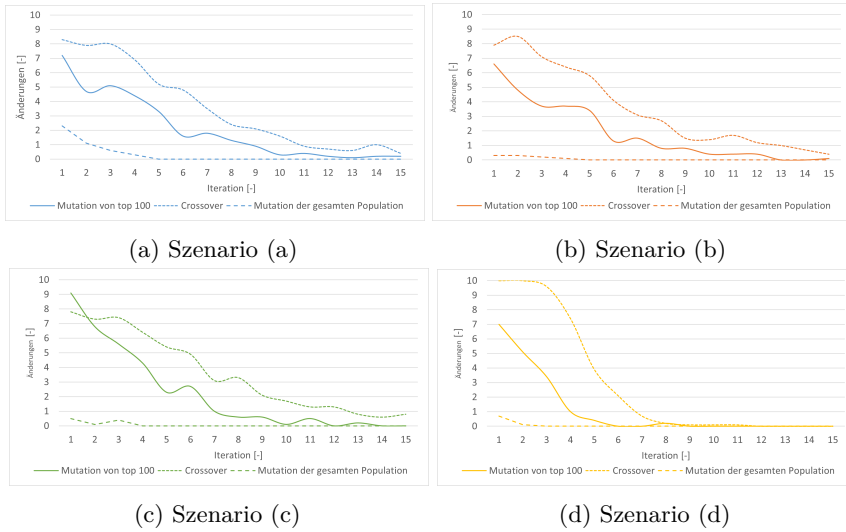


Abbildung 6.5: Anzahl der neu hinzugekommenen Kombinationen unter den zehn besten Kombinationen (Emich et al., 2022)

Den größten Einfluss auf die Veränderung der Top zehn hat die Kombination aus den Top zehn (*Crossover* (n_2)). Allerdings ist dieser Abschnitt des Algorithmus sehr zeitaufwendig, da die Kosten oft geringer sind als das Budget und viele Berechnungen durchgeführt werden. Dagegen verliert die *Mutation von top 100* (n_1) mit jedem weiteren Iterationsschritt an Bedeutung. Dies ist das Ergebnis der Budgetüberprüfung: Wenn es bereits Kombinationen in den Top 100 mit Grenzkosten gibt, wird der SRI-Score für diese Kombination nicht berechnet, da jede Erhöhung zu Kosten führen würde, die das Budget übersteigen. Szenario (a) liefert nach ca. 13,6 Minuten und neun Iterationen Ergebnis, dass sich nicht mehr ändert (vgl. Tabelle 6.2). Auch nach einer noch höheren Iterationenanzahl bleibt der SRI-Score unverändert (vgl. Abbildung 6.4), sodass er auch als Konvergenzkriterium verwendet werden kann.

Die Analyse der Dauer der einzelnen Schritte in Abhängigkeit von der Anzahl der Wiederholungen zeigt, dass ein proportionaler Zusammenhang besteht und keine signifikanten Unterschiede auftreten, wie in Abbildung 6.4 dargestellt. Die Dauer pro 100 Schritte beträgt etwa 0,5 Minuten, aber die Dauer der *Mutation von Top 100* nimmt mit jedem Iterationsschritt ab, was auf die oben beschriebene Tatsache zurückzuführen ist.

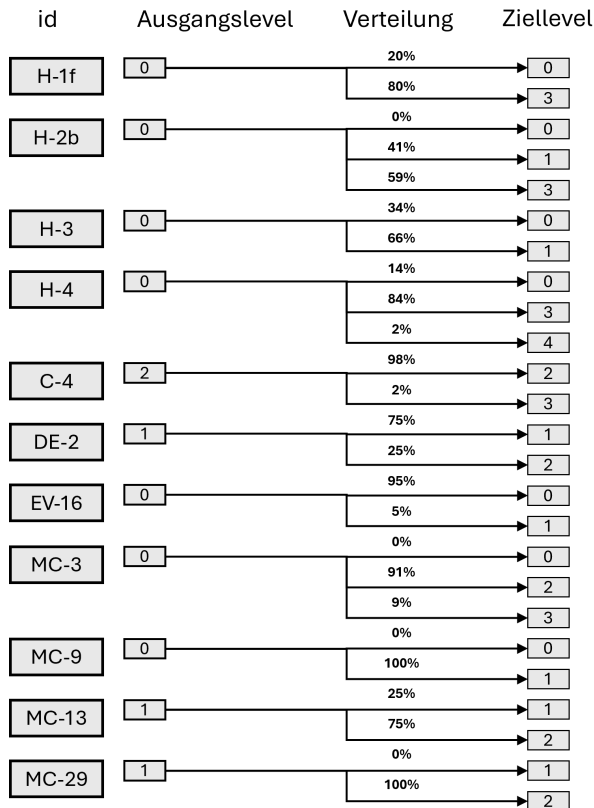


Abbildung 6.6: Wahrscheinlichkeit in Prozent der Levelverteilung aller Szenarioergebnisse, Merkmale und Ergebnisse wobei **fett** das Ausgangslevel ist (Eigene Darstellung)

Die Abbildung 6.6 zeigt, mit welcher Wahrscheinlichkeit und in welchem Umfang ein Service geändert wurde. Die Ergebnisse wurden für alle Simulationsszenarien berechnet. Das hier dargestellte Ergebnis spiegelt die Gewichtung wider, da alle Kosten auf eine Geldeinheit gesetzt wurden. Es ist zu erkennen, dass einige Fragen, wie 47, 49 und 52, effizienter sind als andere, da diese einen höheren Einfluss auf den SRI-Score haben und somit das Optimierungsziel (*maximiere SRI*) besser unterstützen. Diese drei Fragen gehören zur Domain „Überwachung und Steuerung“, was bedeutet, dass für den vorliegenden Gebäudefall Services wie das Management von HLK-Systemen (47), die Erkennung der Belegung (49) und die Bereitstellung von Informationen über die Nachfrageseite (52) im Vordergrund stehen sollten.

6.6 Weiterentwicklung - Iteration 2

Diese Iteration nutzt als Methode eine angepasste Version des NSGA II Algorithmus, um den SRI-Score eines existierenden Gebäudes unter Berücksichtigung von Budgetbeschränkungen zu maximieren. Ein hypothetisches numerisches Beispiel wird herangezogen, um die Effektivität und Effizienz des vorgeschlagenen Algorithmus zu demonstrieren. Es wurde speziell für das beschriebene Einzelzielproblem entwickelt, bei dem nur ein Gebäude optimiert wird. Gebäudeeigentümer besitzen oft ein Portfolio, das aus mehreren Gebäuden bestehen. Aus diesem Grund muss diese Methode auch für Multizielprobleme verwendet werden. Darüber hinaus wurden die Kosten der Funktionslevel der Einfachheit halber als gleich und linear angenommen, was nicht der Realität entspricht und erweitert werden muss.

Deshalb wird der Umfang der zu entwickelnden Methode auf mehrere Gebäude (n) erweitert, um ein optimales Ergebnis für ein gesamtes Portfolio zu finden. Außerdem werden die Kosten der Änderung der Funktionslevel sorgfältig untersucht und nicht als linear angenommen.

6.6.1 Kostenfunktion

Um eine realitätsnahe Lösung zu erhalten, müssen die Kosten für jede Änderung jedes Funktionslevels aller Services einzeln definiert werden ($C_{i,d,IST,SOLL}$), was in Tabelle 6.3 in allgemeiner Form dargestellt ist. Zur Erleichterung der Kostenermittlung können die Kosten der einzelnen Funktionslevel durch vier übergeordnete Kostenfunktionen beschrieben werden, die in Abbildung 6.7 dargestellt sind. Diese Abbildung beschreibt die Kosten (y-Achse) von Funktionslevel 0 zu einem höheren Funktionslevel (x-Achse), die auch durch die Gleichungen 6.3 bis 6.6 (die nur zur Veranschaulichung definiert wurden und keine exakten Kosten darstellen) beschrieben werden. Die verschiedenen Kostenarten beschreiben unterschiedliche Eigenschaften:

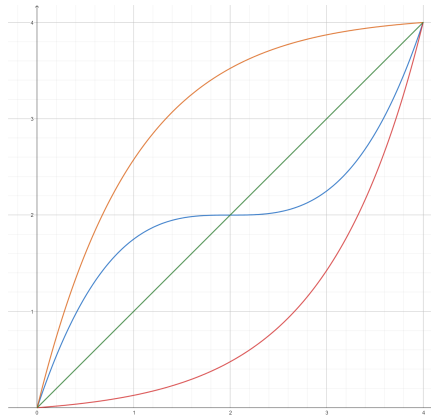


Abbildung 6.7: Grundlegende vier Kostenfunktion (eigene Darstellung)

f(x): Die Kosten für das Erreichen der ersten, zweiten und dritten Funktionslevel sind ähnlich groß.

$$\text{blau:} \quad f(x) = 0.25(x - 2)^3 + 2 \quad (6.3)$$

g(x): Die Kosten für das Erreichen der ersten und zweiten Funktionslevel sind deutlich niedriger als für die anderen Funktionslevel.

$$\text{rot:} \quad g(x) = e^x \cdot 0.07463 - 0.07463 \quad (6.4)$$

h(x): Die Kosten für das Erreichen der ersten Funktionslevel sind im Verhältniss zu den anderen Funktionslevel deutlich höher.

$$\text{orange:} \quad h(x) = -e^{-x} \cdot 4.07463 + 4.07463 \quad (6.5)$$

p(x): Die Kosten sind linear.

$$\text{grün:} \quad p(x) = x \quad (6.6)$$

Tabelle 6.3: Kosten bei Änderung der Funktionslevels

Level-IST \ Level-SOLL	0	1	2	3	4
0	-	$C_{i,d,0,1}$	$C_{i,d,0,2}$	$C_{i,d,0,3}$	$C_{i,d,0,4}$
1	-	-	$C_{i,d,1,2}$	$C_{i,d,1,3}$	$C_{i,d,1,4}$
2	-	-	-	$C_{i,d,2,3}$	$C_{i,d,2,4}$
3	-	-	-	-	$C_{i,d,3,4}$
4	-	-	-	-	-

Diese Kostenfunktionen in Abbildung 6.7 beschreiben, wie sich die einzelnen Kosten der Funktionslevel verhalten können. Dabei ist zu beachten, dass die Kostenfunktion auch von der Ausgangssituation des Funktionslevels abhängt (vgl. Tabelle 6.3). Zudem sind die einzelnen Kosten der verschiedenen Services nicht gleich gewichtet, sodass die Kosten zur Erreichung eines Funktionslevels deutlich höher sind als die eines anderen, Abbildung 6.8 veranschaulicht dies, indem die einzelnen Kostenfunktionen gestreckt oder gestaucht werden. Diese Abbildung zeigt die Kostenfunktion von vier theoretischen Services, die alle unterschiedlich groß sein können.

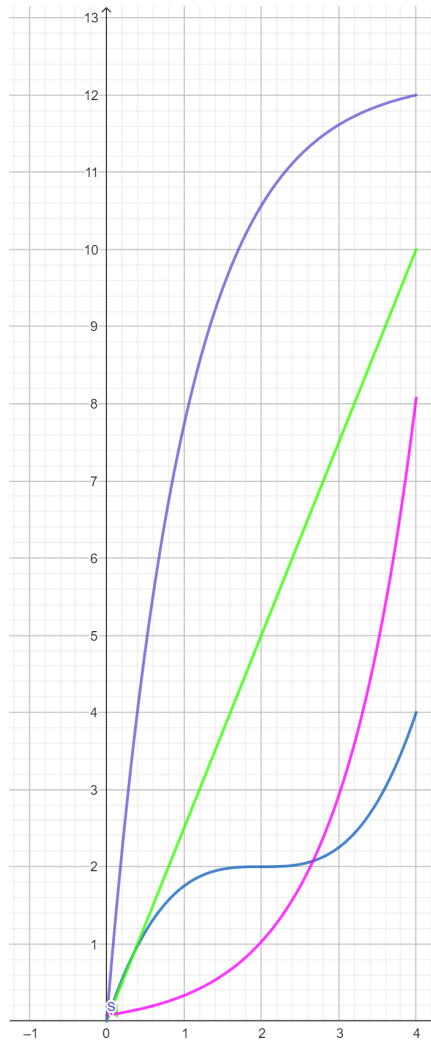


Abbildung 6.8: Beispielgrößen der Kostenfunktion (eigene Darstellung)

Die in Abbildung 6.7 und Abbildung 6.8 beschriebenen Kosten sind noch dimensionslos und ohne Bezug zu den Kosten eines Gebäudes. Die Kosten eines Gebäudes können von verschiedenen Faktoren abhängen. Insbesondere da die einzelnen Funktionslevel mit Herstellungskosten für Sensoren, Aktoren und/oder Installationen verbunden sind, wurden mögliche Einflusskriterien identifiziert. So können die Kosten der zu installierenden Technik abhängig sein von der Fläche, dem Energieverbrauch der jeweiligen Komponente bzw. des Mediums, der Anzahl der Räume bzw. Zonen oder von einem einmaligen Festpreis ($Faktor_{d,i}$), der sich in allen Services unterscheiden können.

Ausgehend von dieser Definition müssen die Kosten für alle Funktionslevel aller Services bestimmt werden (\Rightarrow Gleichung 6.7), wobei es sich um einen iterativen Prozess handelt und die Kosten und Preise im Laufe der Zeit angepasst werden müssen.

$$23 \cdot 10 + 20 \cdot 6 + 11 \cdot 3 = 383 \quad \text{für} \quad \text{EU-SRI} \quad (6.7)$$

$$27 \cdot 10 + 28 \cdot 6 + 16 \cdot 3 = 486 \quad \text{für} \quad \text{Erweiterter-SRI} \quad (6.8)$$

Die Prüfung der Budgetgrenze beschreibt die Gleichung 6.9 mit den definierten Werten $Faktor_{d,i}$ und $C_{i,d,IST,SOLL}$ aus der Beispieltabelle 6.3 für alle 383 Funktionslevel (Gleichung 6.7) definierte Kosten.

$$\text{Neue Bedingung} \quad \sum_{d=1}^N \sum_{i=1}^M C_{i,d,IST,SOLL} \cdot Faktor_{d,i} \leq B \quad (6.9)$$

6.6.2 Fitnessfunktion

Die zuvor erarbeitete Zielfunktion wird durch die Gleichung 6.1 beschrieben, deren Ziel es ist, einen möglichst hohen Gesamt-SRI-Score zu erreichen. Wie zuvor beschrieben, sollen die einzelnen Stakeholder (also die Anwender dieser Optimierung) jedoch individuelle Schwerpunkte setzen können. Daher

sollte es dem Anwender erlaubt sein, den Fokus der Optimierungsfunktion selbst zu setzen. Ein möglicher Fokus kann auf einem der Domains, den Impacts, dem gesamten SRI-Score oder einer Kombination aus allen liegen. Um dies zu erreichen werden Optimierungsgewichtungen definiert. Es ist jedoch zu beachten, dass die Summe der Optimierungsgewichtungen 100% nicht überschreiten darf (Gleichung 6.10).

$$\sum_{d=1}^N \omega_{(GA,d)} + \sum_{ic=1}^M \omega_{(GA,ic)} + \omega_{(GA,SRI)} = 100\% \quad (6.10)$$

Die neue Fitnessfunktion ergibt für ein Gebäude somit aus Gleichung 6.11ff.

$$E_d = \sum_{d=1}^N (SR_d \cdot \omega_{(GA,d)}) \quad (6.11)$$

$$E_{ic} = \sum_{ic=1}^M (SR_{ic} \cdot \omega_{(GA,ic)}) \quad (6.12)$$

$$E_{SRI} = SR \cdot \omega_{(GA,SRI)} \quad (6.13)$$

$$E_{total} = E_d + E_{ic} + E_{SRI} \quad (6.14)$$

$$\text{Maximiere } E_{total} \quad (6.15)$$

Es ist anzumerken, dass bei einer Fokussierung auf eine Domain und ein hohes Budget diese Optimierung definitiv überdimensioniert ist, da es relativ klar ist, dass alle vorhandenen Services auf das höchstmögliche Funktionslevel dieser Domain gebracht werden sollten.

6.6.3 Portfolioebene

Die oben vorgestellte Optimierungsmethode bezieht sich bisher nur auf ein Gebäude. Will man sie auf ein ganzes Portfolio von n Gebäuden anwenden,

so müssen die Kosten aller Gebäude in gleicher Weise berücksichtigt werden (Gleichung 6.16).

$$\sum_{Geb.=1}^n \left(\sum_{d=1}^N \sum_{i=1}^M C_{i,d,IST,SOLL,Geb.} \cdot Faktor_{d,i,Geb.} \right) \leq B \quad (6.16)$$

Zur Berechnung der Fitnessfunktion müssen die einzelnen Gebäude gewichtet werden. Dabei ist zu beachten, dass größere Gebäude mit einer größeren Fläche eine deutlich höhere Bedeutung für das Portfolio haben als z.B. ein kleines Einfamilienhaus. Aus diesem Grund werden die berechneten Einflüsse (Impacts, Domain und Total SRI-Score) aller Gebäude mit der Fläche gewichtet (vgl. Gleichung 6.17).

$$\omega_{(GA,Geb.)} = \frac{Fläche_{Geb.}}{\sum_{Geb.=1}^n Fläche_n} \quad (6.17)$$

Es sei darauf hingewiesen, dass die Gewichtungen einzelner Domains, Impacts und des gesamten SRI-Scores in allen Gebäuden auf der Portfolioebene gleich berücksichtigt werden, lediglich die Flächenverteilung führt zu einer zusätzlichen Gewichtung.

$$E_{d,Geb.} = \sum_{d=1}^N (SR_{d,Geb.} \cdot \omega_{(GA,d)}) \quad (6.18)$$

$$E_{ic,Geb.} = \sum_{ic=1}^M (SR_{ic,Geb.} \cdot \omega_{(GA,ic)}) \quad (6.19)$$

$$E_{SRI,Geb.} = SR_{Geb.} \cdot \omega_{(GA,SRI)} \quad (6.20)$$

$$E_{total} = \sum_{Geb.=1}^n ((E_{d,Geb.} + E_{ic,Geb.} + E_{SRI,Geb.}) \cdot \omega_{(GA,Geb.)}) \quad (6.21)$$

$$\text{Maximiere } E_{total} \quad (6.22)$$

Algorithmus

Wird nun für eine große Anzahl an Gebäuden das optimale Ergebnis gesucht, so ist die Kombinationsmöglichkeit noch um ein Vielfaches größer (Gleichung 6.23), da n Gebäude betrachtet werden.

$$5^{23 \cdot n} \cdot 4^{20 \cdot n} \cdot 3^{11 \cdot n} \gg \gg 2,3 \cdot 10^{33} \quad (6.23)$$

Da der Entscheidungsraum dieses Problems noch deutlich größer ist als das in Abschnitt 6.3.2, wird auch für diese Optimierung ein Genetischer Algorithmus als Lösungsansatz gewählt. In dieser modifizierten Version wird lediglich eine Crossover-Funktion sowie eine Mutationsfunktion für die Ausgangspopulation verwendet und auf die zweite Mutationsfunktion, die auf die gesamte Population angewendet wurde, verzichtet. Nach der Initialisierung einer Ausgangspopulation wird die Crossover-Funktion über die 100 besten Kombinationen iteriert. Anschließend wird nach jeder Crossover-Funktion die Mutationsfunktion auf die 100 besten Kombinationen jeder Population angewendet, um die Vielfalt in der Population zu erhöhen und lokale Optima zu vermeiden. Durch die Anwendung dieser Methoden wird eine Art Selektion und Diversität in der Population erreicht,

um bessere Ergebnisse in der Optimierung zu erzielen. Nach jeder Funktion (Iteration) wird die Population sortiert, um das Konzept der „tournament selection“ und der „multiple-mutation“ zu simulieren. Zusätzlich wird für jede Funktion eine nicht-dominante Sortierung angewendet, um die besten Individuen zu erhalten. Der vorgeschlagene Algorithmus ist in Abbildung 6.9 dargestellt und in den folgenden Schritten zusammengefasst:

1. Anfangspopulation: Zu Beginn werden 10.000 zufällige Kombinationen erstellt. Für jeden der $54 \cdot n$ bzw. $71 \cdot n$ Services wird ein zufälliger Funktionslevel zugewiesen, der sich zwischen dem vorhandenen Funktionslevel und dem maximal erreichbaren Funktionslevel für jeden Service befindet. Anschließend wird das Budget überprüft, um zu entscheiden, ob die zufällig erstellte Kombination weiterhin verwendet werden kann. Wenn die Kombination die Budgetbeschränkung (Gleichung 6.9) erfüllt, wird E_{total} gemäß Gleichung 6.11 berechnet und in eine neue Liste der Populationen übertragen. Abschließend wird die Populationen-Liste sortiert und in den nächsten Schritt übernommen.

Wenn das Budget sehr niedrig ist, besteht eine hohe Wahrscheinlichkeit, dass alle zufällig generierten Anfangspopulationen die Budgetbeschränkung nicht erfüllen (Gleichung 6.9). Um das zu überprüfen, wird davon ausgegangen, dass jede Kostenänderung über dem Budget liegt, mit Ausnahme einer einzigen Änderung des Levels eines Services. Darüber hinaus wird der ungünstigste Fall angenommen, dass sich das Funktionslevel (mit $\text{Kosten} < \text{Budget}$) in einem Service mit insgesamt fünf Funktionslevels befindet. Die Wahrscheinlichkeit, dass ausschließlich dieses Funktionslevel gewählt wird und alle anderen 53 Services unverändert bleiben, ergibt sich aus Gleichung 6.24. Die Wahrscheinlichkeit dafür, dass der beschriebene Fall bei mindestens einem von 10.000 Durchläufen eintritt, lässt sich aus Gleichung 6.25 berechnen.

$$\frac{1}{5}^{23 \cdot n} \cdot \frac{1}{4}^{20 \cdot n} \cdot 3^{11 \cdot n} = 4,3^n \cdot 10^{-34 \cdot n} \quad (6.24)$$

$$1 - (1 - 4,3^n \cdot 10^{-34 \cdot n})^{10.000} \approx 1 - (1 - 0)^{10.000} = 0 \quad (6.25)$$

Da in diesem Fall die Wahrscheinlichkeit, dass innerhalb der ersten 10.000 Iterationen der Anfangspopulation kein Ergebnis gefunden wird, gegen Null geht, muss die Anfangspopulation auf andere Weise gebildet werden. Es wird vorgeschlagen, das Budget auf die 54 Service zu verteilen. Dazu wird eine der 54 Leistungen zufällig ausgewählt und dort ein Funktionslevel zwischen dem vorhandenen und dem maximal erreichbaren Funktionslevel zufällig bestimmt. Wenn die Kosten das Budget nicht überschreiten, kann ein weiterer Service gewählt und erneut berechnet werden.

Für den Fall, dass die Kosten das Budget überschreiten, muss die notwendige Anzahl an Iterationen bestimmt werden, um mit einer Wahrscheinlichkeit von 99,99% das Funktionslevel zu wählen, bei dem die Kosten unter dem Budget liegen (hier auch das Beispiel wie oben beschrieben). Die Wahrscheinlichkeit, dass dieses Funktionslevel bei der ersten zufälligen Auswahl ausgewählt wird, berechnet sich aus Gleichung 6.26. Aus Gleichung 6.27 ergibt sich die Anzahl der Iterationen in Abhängigkeit von der Anzahl der Gebäude n . In Tabelle 6.4 sind die Ergebnisse für ausgewählte n aufgeführt.

$$\frac{1}{54 \cdot n} \cdot \frac{1}{5} = \frac{1}{270 \cdot n} \quad (6.26)$$

$$Anzahl \geq \frac{\ln(1-a)}{\ln(1-p)} = \frac{\ln(1-0,9999)}{\ln(1-\frac{1}{270 \cdot n})} \quad (6.27)$$

mit:

- a – Mindestwahrscheinlichkeit
- p – Wahrscheinlichkeit

Tabelle 6.4: Ergebnisse für ausgewählte n der Gleichung 6.27

n	Anzahl der Iterationen
1	2.483
2	4.969
3	7.456
4	9.943
5	12.430
6	14.617
7	17.403
8	19.890
9	22.377
10	24.864
15	37.298
50	124.335

2. Crossover: Um eine neue Generation zu erzeugen, werden zwei zufällige Kombinationen aus den vorhandenen Top-100-Kombinationen ausgewählt. Als Kreuzfunktion wird eine k-Punkt-Kreuzfunktion verwendet, wobei k zufällig gewählt wird. Anschließend wird geprüft, ob die neue Kombination die Budgetbeschränkung erfüllt (vgl. Gleichung 6.9). Wenn eine neue Kombination die Budgetbeschränkung erfüllt, wird E_{total} gemäß Gleichung 6.18 berechnet und zur bestehenden Population hinzugefügt und sortiert.
3. Erzeugung einer mutierten Population aus den besten 100: Ein zufälliges Individuum der 100 Besten wird ausgewählt und jedem der $54 \cdot n$ bzw. $71 \cdot n$ Services wird ein zufälliges Funktionslevel zwischen dem aktuellen Funktionslevel und dem maximal zu erreichenden Funktionslevel für jeden Service zugewiesen. Eine anschließende Überprüfung des Budgets zeigt, ob die zufällig generierte Kombination weiterhin verwendet werden kann. Erfüllt die neue Kombination die Budgetrestriktion (Gleichung 6.9), wird E_{total} gemäß Gleichung 6.18 ermittelt und in die Populationsliste übertragen. Die Populationsliste wird sortiert und im nächsten Schritt verwendet.

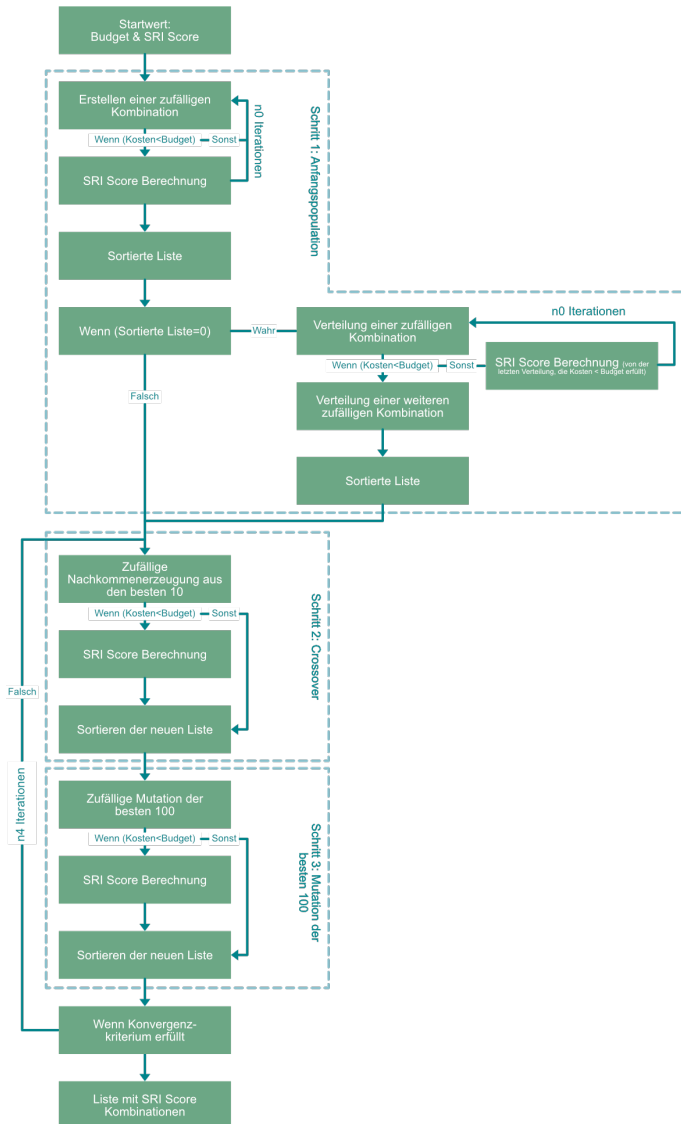


Abbildung 6.9: Code Flowchart der 2. Iteration (eigene Darstellung)

Die Schritte 2 und 3 werden so oft wiederholt, bis das Konvergenzkriterium erfüllt ist. Das Konvergenzkriterium bedeutet, dass die letzten 200 zufällig erzeugten Kombinationen nicht unter den besten 100 der Populationsliste enthalten sind. Wie aus den obigen Schritten hervorgeht, ist die Populationsgröße dynamisch und ändert sich nach jeder Iteration. Um ein unkontrolliertes Wachstum der Population zu verhindern, wird die Gleichung 6.9 immer berücksichtigt.

Nach der 2. Iteration kann die Optimierungsmethode auf das gesamte Portfolio angewendet werden, wobei der Nutzer entscheiden kann, welche Priorisierung er haben möchte. Die Budgetgrenze wird weiterhin berücksichtigt und weiter spezifiziert.

6.7 Praxisphase - Iteration 2

Zur Überprüfung der entwickelten Methode werden zwei hypothetische Nichtwohngebäude in Deutschland mit einem SRI von 0,0% mit identischer Fläche definiert. Um diese 0% zu erreichen, besitzt jedes Gebäude 53 der 54 Services jeweils mit Funktionslevel 0. Lediglich der Service „EV-16“ wird als „nicht vorhanden“ definiert, da dieses Funktionslevel einen negativen Impact-Score besitzt und somit der SRI negativ wäre. Zusätzlich wird für alle Service eine lineare Kostenfunktion angesetzt, wobei jede Leveländerung mit 100 Geldeinheiten bewertet wird und nicht flächen-, verbrauchs- oder raumabhängig ist, sondern nur einmalige Kosten verursacht (Abbildung 6.10). Daraus ergibt sich, dass $(5 - 1) \cdot 100 \cdot 23 + (4 - 1) \cdot 100 \cdot 20 + (3 - 1) \cdot 100 \cdot (11 - 1) = 17.200$ Geldeinheiten benötigt werden, um einen SRI von 100% zu erreichen. Darüber hinaus ist das Optimierungsziel ein maximaler Gesamt-SRI.

Für die spätere Bewertung (vgl. Abschnitt 6.8) ist es sinnvoll, das Budget relativ klein zu halten, um die Ergebnisse z.B. durch Kombinatorik überprüfen zu können. Die hier durchgeführten Optimierungen wurden auf einem Linux-Server mit Ubuntu 20.04, 16,0 GB RAM und 4 Prozessorkernen durchgeführt.

NAME
linear 100

UPGRADE-KOSTEN Einmalig

Ziellevel

	1	2	3	4
Ausgangslevel 0	100	200	300	400
1	/	100	200	300
2	/	/	100	200
3	/	/	/	100

▼ KOSTEN ABSCHÄTZEN

Von Auf Funktion ☐ ☐ ☐ ☐ Kosten € Abschätzen

Abbildung 6.10: Lineare Kostenfunktion (eigene Darstellung)

Die beiden oben beschriebenen Gebäude werden mit dem Optimierungsziel maximaler SRI-Gesamtwert und der Kostenfunktion aus Abbildung 6.10 optimiert. Das Budget wird auf 1.000 Geldeinheiten gesetzt. Als Ergebnis erhält man die Optimierungslösung in Tabelle 6.6. Die Tabelle gibt zwölf Optimierungen wieder, wobei die Levels der besten gefunden Lösung angegeben werden. Tabelle 6.5 listet für beide Gebäude die Verteilung der geänderten Services auf und fasst diese auch in prozentualen Abweichungen zusammen.

Tabelle 6.5: Prozentuale Verteilung der Ergebnisse der Levels für Gebäude I & II

Service Level	Gebäude I					Gebäude II				
	H-2b	H-3	H-4	V-6	MC-3	H-2b	H-3	H-4	V-6	MC-3
0	75%	100%	0%	83%	0%	83%	100%	33%	75%	50%
1	0%	0%	0%	17%	8%	0%	0%	0%	25%	17%
2	0%	0%	0%	0%	33%	0%	0%	0%	0%	33%
3	25%	0%	100%	0%	58%	17%	0%	67%	0%	0%
4	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

Tabelle 6.6: Ergebnisse (Levels) von zwölf Optimierungsdurchläufen von zwei Gebäuden

#	SRI		Level					
	[%]		[%]	H-2b	H-3	H-4	V-6	MC-3
1	15,48	Gebäude I	13,48	3	0	3	0	3
		Gebäude II	2	0	0	0	1	0
2	15,32	Gebäude I	10,74	3	0	3	0	1
		Gebäude II	4,58	0	0	3	0	0
3	15,76	Gebäude I	7,88	0	0	3	0	2
		Gebäude II	7,88	0	0	3	0	2
4	15,71	Gebäude I	11,13	0	0	3	1	3
		Gebäude II	4,58	0	0	3	0	0
5	15,48	Gebäude I	15,48	3	0	3	1	3
		Gebäude II	0	0	0	0	0	0
6	15,53	Gebäude I	7,88	0	0	3	0	2
		Gebäude II	7,65	3	0	0	0	2
7	15,52	Gebäude I	9,13	0	0	3	0	3
		Gebäude II	6,39	0	0	3	0	1
8	15,71	Gebäude I	9,13	0	0	3	0	3
		Gebäude II	6,58	0	0	3	1	0
9	15,71	Gebäude I	9,13	0	0	3	0	3
		Gebäude II	6,58	0	0	3	1	0
10	15,53	Gebäude I	7,88	0	0	3	0	2
		Gebäude II	7,65	3	0	0	0	2
11	15,76	Gebäude I	7,88	0	0	3	0	2
		Gebäude II	7,88	0	0	3	0	2
12	15,52	Gebäude I	9,13	0	0	3	0	3
		Gebäude II	6,39	0	0	3	0	1

6.8 Bewertung des Modells - Iteration 2

Die in Abschnitt 6.7 durchgeführte Optimierung wurde stark vereinfacht, um die Ergebnisse mit Hilfe des Rucksackproblems (vgl. Abschnitt 2.4.2) darstellen und überprüfen zu können. Dazu wird für jedes Level jeden Services der Einfluss auf den gesamten SRI-Score berechnet (vgl. Anhang A.5). In Tabelle 6.7 sind die SRI-Scores sowie die Kosten (vgl. Abbildung 6.10) für die 15 einflussreichsten Leveländerungen in Abhängigkeit von den Kosten ($\frac{SRI-Score}{Kosten}$) dargestellt.

Tabelle 6.7: 15 einflussreichsten Leveländerungen auf Gesamt-SRI-Score

Service	Level	Kosten	SRI-Score	$\frac{SRI-Score}{Kosten}$
L-1a	1	100	2,00%	0,02%
MC-3	1	100	1,81%	0,0181%
MC-3	2	200	3,30%	0,0165%
H-2b	1	100	1,56%	0,0156%
H-4	3	300	4,58%	0,0153%
MC-3	3	300	4,55%	0,0152%
H-3	1	100	1,51%	0,0151%
MC-25	1	100	1,48%	0,0148%
H-2b	3	300	4,35%	0,0145%
V-6	3	300	4,16%	0,0139%
MC-9	1	100	1,37%	0,0137%
MC-25	2	200	2,74%	0,0137%
DHW-3	1	100	1,24%	0,0124%
H-4	4	400	4,96%	0,0124%
V-6	2	200	2,46%	0,0123%
MC-28	2	200	2,34%	0,0117%

Durch diese starke Einschränkung und Vereinfachung ergibt sich eine Kombinatorik (Gleichung 6.28), die berechnet werden kann. Es gilt, die beste Kombination zu finden und diese mit den Lösungen des Optimierungsalgorithmus zu vergleichen bzw. die gefundenen Lösungen in die möglichen Kombinationen einzuordnen und zu interpretieren. Zunächst müssen n und k bestimmt werden. Diese beiden Variablen dürfen nicht zu groß sein, da sonst auch die Kombinatorik zu groß und unlösbar wird. Daher wird $k = 10$ gewählt, da es in diesem Beispiel (aufgrund der linearen Kostenverteilung vgl. Abschnitt 6.6) maximal eine Lösung mit zehn verschiedenen Funktionsebenen geben kann. Mehr als zehn Kombinationen können nicht verwendet werden, da sonst das Budget von 1.000 Geldeinheiten überschritten wird, da jede Leveländerung hier 100 Geldeinheiten kostet. Um n zu bestimmen, wird in den Optimierungslösungen diejenige Leveländerung gesucht, die den geringsten Einfluss auf den gesamten SRI hat. Dies ist Service sieben auf Funktionslevel drei. Aus der Tabelle 6.7 geht hervor, dass dies die 9.

Tabelle 6.8: Angabe der Levels der vier bestmöglichen Kombination für das genannte Beispiel

SRI			Level				
Summe [%]		[%]	H-2b	H-3	H-4	V-6	MC-3
16,83	Gebäude I	9,95	1	0	3	1	1
	Gebäude II	6,88	1	1	0	1	1
16,83	Gebäude I	6,88	1	1	0	1	1
	Gebäude II	9,95	1	0	3	1	1
16,83	Gebäude I	11,46	1	1	3	1	1
	Gebäude II	5,37	1	0	0	1	1
16,83	Gebäude I	5,37	1	0	0	1	1
	Gebäude II	11,46	1	1	3	1	1

beste Leveländerung ist. Da in diesem Beispiel zwei Gebäude optimiert werden, ergibt sich für $n = 9 \cdot 2 = 18$. Daraus ergeben sich 199.140 mögliche Kombinationen (Gleichung 6.29).

$$\sum_{k=0}^k \frac{n!}{k!(n-k)!} \quad (6.28)$$

$$\sum_{k=0}^{10} \frac{18!}{k!(18-k)!} = 199.140 \quad (6.29)$$

Es ist jedoch zu beachten, dass ein Großteil der Kombinationsmöglichkeiten die Bedingung aus Gleichung 6.9 nicht erfüllen. Für das genannte Beispiel gibt es aus 199.140 nur 19.149 Kombinationen, die die Bedingung erfüllen. Der bestmögliche SRI-Score beziffert sich auf 16,83% (Summe beider Gebäude) und ist in Tabelle 6.8 dargestellt, wobei dieses Ergebnis durch vier unterschiedliche Verteilungen erreicht werden kann.

In Tabelle 6.9 sind die Ergebnisse aus Tabelle 6.6 um die Optimierungslücke sowie die Platzierung der gefunden Lösungen (von insgesamt 19.149

Tabelle 6.9: Einordnung der Optimierungsergebnisse

#	Platzierung		Abweichung zum Besten SRI-Score	Optimierungslücke	SRI
	[%]	[absolut]	[%]	[%]	[%]
1	23,88%	4.572	1,35	8,02%	15,48
2	26,41%	5.057	1,51	8,97%	15,32
3	16,61%	3.181	1,07	6,36%	15,76
4	18,53%	3.548	1,12	6,65%	15,71
5	23,88%	4572	1,35	8,02%	15,48
6	22,10%	4232	1,3	7,72%	15,53
7	22,20%	4252	1,31	7,78%	15,52
8	18,53%	3548	1,12	6,65%	15,71
9	18,53%	3548	1,12	6,65%	15,71
10	22,10%	4232	1,3	7,72%	15,53
11	16,61%	3181	1,07	6,36%	15,76
12	22,20%	4252	1,31	7,78%	15,52

möglichen Kombinationen) dargestellt. Es ist zu sehen, dass der absolute SRI-Score maximal um 1,35% von dem besten SRI-Score abweicht, was einer Optimierungslücke ($\hat{=} \frac{\text{Abweichung}}{16,83\%}$) von weniger als 9% entspricht. Zudem sind alle gefunden Lösungen unter den besten 25%, wobei nur die Kombinationen berücksichtigt werden, die die Budget-Bedingung erfüllen.

Diese Optimierungen sollen nicht den Anspruch haben, das beste Ergebnis zu finden, sondern eine Empfehlung abgeben, welche der bestehenden Funktionslevels verbessert werden sollten.

Dabei sollen sie als Orientierungshilfe dienen wenn insbesondere die Ergebnisse in einem akzeptablen Bereich liegen. Tabelle 6.5 bietet Variationen, die aus den besten Kombinationen nahezu alle Lösungen enthält, was einen zielführenden Algorithmus bezeichnet. Zudem werden Kosten berücksichtigt, die individuell für jedes Funktionslevels angepasst werden können. Auch die Stakeholder können mit dieser Ergebnis sehr gut arbeiten, da dies eine Diskussionsgrundlage bildet.

6.9 Etablierung

Unter Verwendung der hier entwickelten Methodik und der Erweiterung der SRI-Methodik wurde ein umfassender Vorschlag zur Digitalisierung eines gesamten Portfolios erarbeitet. Die präsentierten Ergebnisse zeigen die Priorisierung der einzelnen Service des Portfolios und ermöglichen eine erfolgreiche Erstellung einer Digitalisierungsstrategie. Die Methode identifiziert potenzielle Schwachstellen und zeigt gleichzeitig Verbesserungsmöglichkeiten eines Portfolios auf. Insbesondere können durch die individuell definierbaren Kosten der Leveländerungen der Aufwand für eine Realisierung abgebildet werden. Darüber hinaus wird den Stakeholder durch die individuelle Einstellung der Gewichtung der Optimierungsziele eine individuelle Betrachtung ermöglicht.

Benchmark-Modell

Das Benchmark-Modell ist die logische Konsequenz aus den Anforderungen des Marktes. Unternehmen möchten erfahren, wie ihre Gebäude im Vergleich zu ihren Mitbewerbern abschneiden, um gegebenenfalls ihre Marktstrategie anzupassen. Die Benchmark-Phase ermöglicht den Vergleich unterschiedlicher Eingaben des SRI von Gebäuden aus verschiedenen Branchen und Regionen. Eine einheitliche Daten-Infrastruktur ist erforderlich, um Daten effizient zu verwalten. Da die Europäische Union keinen Vorschlag unterbreitet hat, muss eine vergleichende Phase entwickelt werden. Obwohl die EU mit dem Vorgehen C (vgl. Abschnitt 3.2.5) fordert, dass die tatsächliche Leistung von Gebäuden im Betrieb quantifiziert wird und die Gebäudeautomations- und -steuerungssysteme in der Lage sind, Messpunkte zu sammeln.

7.1 Umfang definieren - Iteration 1

Eine einheitliche Dateninfrastruktur stellt ein wesentliches Element für das Benchmark-Modell dar und dient als Grundlage für Benchmarking-Analysen von Gebäuden. Die zu entwickelnde Anwendung richtet sich in erster Linie an größere Bestandshalter, die interne Benchmarks durchführen möchten, sowie an interessierte Einfamilienhausbesitzer, die ihr Gebäude im Vergleich zu benachbarten Gebäuden bewerten möchten. Im Kontext von Einfamilienhausbesitzern, die üblicherweise über wenig bis keine immobilienwirtschaftliche Expertise verfügen, ist es empfehlenswert, Mittel zur Erkennung von Potenzialen bereitzustellen. Dieses Modell ist darauf

ausgelegt, relevante Informationen auch für Laien einfach zugänglich zu machen.

Das Hauptziel dieses Tools besteht darin, eine objektive und intuitive Gebäudebewertung zu ermöglichen. Die Dateneingabe wird so gestaltet, dass eine einfache Verarbeitung und ein Vergleich möglich sind. Dazu wird den Nutzern eine intuitive Dateneingabe zur Verfügung gestellt (Abbildung 7.1). Zudem besteht die Möglichkeit, Daten aus bestehenden Excel-Dateien zu importieren, um den Nutzern eine vertraute Umgebung zu bieten. Wenn die Dateninfrastruktur einen umfassenden, überregionalen Vergleich ermöglicht und das eigene Portfolio übersichtlich darstellt, sodass die Nutzer den aktuellen Status und die empfohlenen Maßnahmen leicht umsetzen können, erfüllt sie ihren Zweck. Es ist wichtig, dass die Dateninfrastruktur die Möglichkeit bietet, sich an neue Gegebenheiten anzupassen. Außerdem müssen Erweiterungs- und Entwicklungsmöglichkeiten der Dateninfrastruktur in diesem sich schnell verändernden Sektor geschaffen werden, um den Bedürfnissen der Zielgruppe gerecht zu werden.

7.2 Bewertung des Modells - Iteration 1

Zwar stellt die Europäische Union den Stakeholdern keine zentrale Möglichkeit zum Vergleich ihrer eingegeben Gebäude zur Verfügung, dennoch könnte dies durch das Excel-Bewertungstool aufwendig durchgeführt werden. Mithilfe dieses Tools können einzelne Services beantwortet und ein Gebäude bewertet werden. Es handelt sich um ein Tool, das höchstwahrscheinlich nicht weiterentwickelt wird. Es ist in seiner Funktion sehr limitierend. Nach genauer Analyse wurden in der offiziellen Berechnungstool-Version 4.5 der EU vom 19.02.2023 einige Fehler entdeckt:

1. Die Gewichtungen für die Impacts Komfort und Gesundheit & Wohlbefinden sind falsch definiert (Tabelle 7.1).
2. Die Aufteilung einer Frage ist maximal auf zwei Funktionslevels beschränkt.

Tabelle 7.1: Gewichtungen ω_{d,ic_3} und ω_{d,ic_6} für alle Gebäudetypen und Klimazonen

	Komfort		Gesundheit & Wohlbefinden	
	IST	SOLL	IST	SOLL
Heizung	0,2	0,16	0,2	0,16
Warmwasser	0	0	0	0
Kühlung	0,2	0,16	0,2	0,16
Lüftung	0,2	0,16	0,2	0,16
Beleuchtung	0,2	0,16	0,2	0,16
Elektrizität	0	0	0	0
Laden von Elektrofahrzeugen	0	0	0	0
Dynamische Gebäudehülle	0	0,16	0	0,16
Überwachung & Steuerung	0,2	0,2	0,2	0,2

3. Für den Service H-1c werden für die ausführliche Methode die Impacts-Scores der vereinfachten Methode (A) verwendet.
4. Für den maximalen Impact-Score wird stets der Wert des höchsten Funktionslevels verwendet, was nicht immer der Fall ist (vgl. Service: MC-29 Impact: Energieflexibilität und -speicherung).

Obwohl eine erste Einschätzung jedes Gebäudes mit dem Berechnungstool in Excel möglich ist, stößt man bei der Analyse und Bewertung eines großen Portfolios schnell an seine Grenzen. Für jedes einzelne Gebäude muss eine individuelle Excel-Datei angelegt werden, die nicht zentral gespeichert wird und daher nicht übergreifend bewertet werden kann.

7.3 Entwicklung - Iteration 1

Die Stakeholder sollen den SRI ihrer Gebäude barrierefrei berechnen und verwalten können. Die Excel-Lösung der EU ermöglicht Nutzern eine einfache Dateneingabe ohne umfassendes Fachwissen, ist jedoch auf eine Gebäudeberechnung beschränkt und bietet begrenzte Möglichkeiten zur Datenverarbeitung. Excel ist anfällig für Fehler, da unbeabsichtigte Ände-

rungen an einer Zeile dazu führen können, dass das Tool keine Ergebnisse liefert. Aus diesem Grund wird eine Lösung entwickelt, die online erreichbar ist und die eingegebenen Daten für Analysen vorhält.

7.3.1 Dateneingabe

The screenshot shows a web interface for 'Frage 1: Service H-1a'. It features a sidebar with five radio button options for service levels, a main content area with a grid of 31 green circular input fields, and a bottom navigation bar.

Frage 1: Service H-1a

Regelung der Wärmeabgabe ⓘ

Antworten aufteilen Service H-1a ist nicht vorhanden

☒ Level 0: Keine automatische Regelung ⓘ

☐ Level 1: Zentrale automatische Steuerung (z. B. zentraler Thermostat) ⓘ

☐ Level 2: Einzelraumregelung (z.B. Thermostatventile, oder elektronische Regler) ⓘ

☐ Level 3: Einzelraumregelung mit Kommunikation zwischen Reglern und zu BACS ⓘ

☐ Level 4: Einzelraumregelung mit Kommunikation und Anwesenheitserkennung ⓘ

Heizung

1 2 3 4 5

6 7 8 9 10

Warmwasser

11 12 13 14 15

Kühlung

16 17 18 19 20

21 22 23 24 25

Belüftung

26 27 28 29 30

31

Beleuchtung

Vorherige Speichern Berechnen Nächste

Abbildung 7.1: Übersicht der Dateneingabe (eigene Darstellung)

Die Struktur der Domain des SRI wird als sinnvoll erachtet und dient der übersichtlichen Dateneingabe (Abbildung 7.1). Die Überschrift der Services benennt den aktuellen Service eindeutig. Es besteht die Möglichkeit zu wählen, dass die gegenwärtigen Fragen nicht berücksichtigt werden, indem „Service *id* ist nicht vorhanden“ ausgewählt wird. Der Endanwender kann durch Auswahl eines Funktionslevels das Level bestimmen. Wenn ein Gebäude mehrere Funktionslevels aufweist, können die einzelnen Verteilungen

mithilfe des Buttons „Antworten aufteilen“ definiert werden (Abbildung 7.2).

Teilweise sind die Funktionslevels und Überschriften der einzelnen Services sehr technisch, was ein entsprechendes Verständnis erfordert. Da jedoch nicht jeder dieses Wissen besitzt, wurde für jedes Funktionslevel und jede Überschrift eine detaillierte Beschreibung erstellt (vgl. Abbildung 7.3). Diese Beschreibung kann stetig durch das Feedback der Nutzer verbessert werden. Sie können die Beschreibung bewerten und gegebenenfalls Verbesserungsvorschläge oder Unklarheiten beschreiben. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit der Interaktion mit Personen aus ihrem Unternehmen durch die Kommentarfunktion.

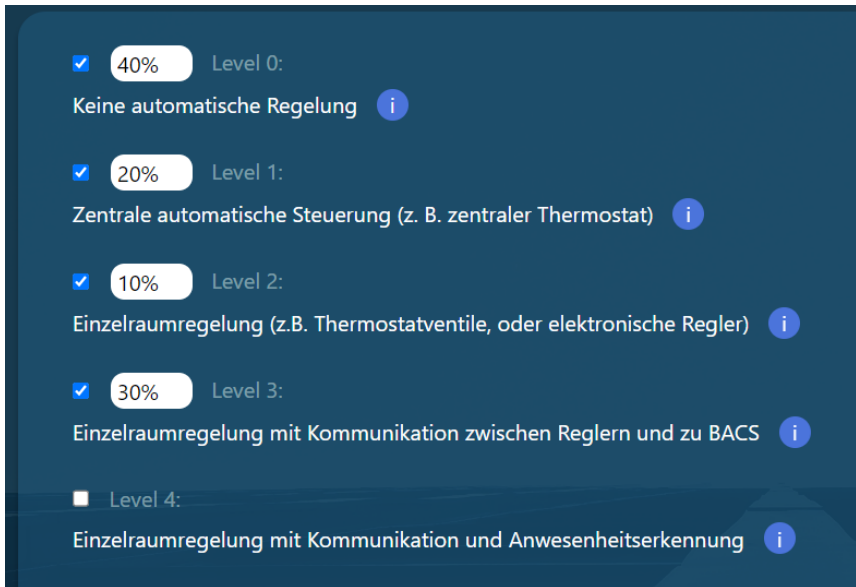
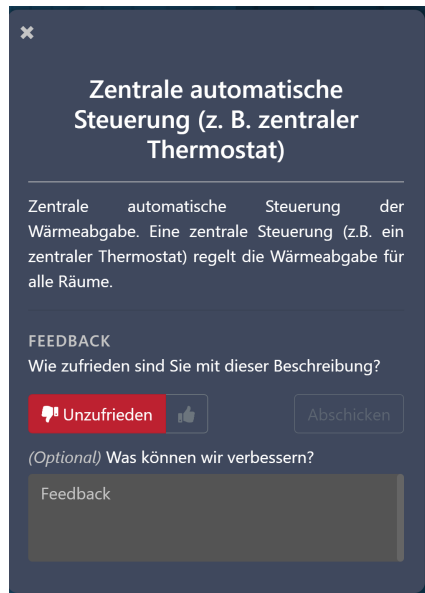


Abbildung 7.2: Antworten eines Service aufteilen (eigene Darstellung)



The image shows a feedback form on a dark blue background. At the top left is a close button (X). The title is 'Zentrale automatische Steuerung (z. B. zentraler Thermostat)'. Below the title is a horizontal line, followed by the text: 'Zentrale automatische Steuerung der Wärmeabgabe. Eine zentrale Steuerung (z.B. ein zentraler Thermostat) regelt die Wärmeabgabe für alle Räume.' Below this is a section labeled 'FEEDBACK' with the question 'Wie zufrieden sind Sie mit dieser Beschreibung?'. There are two buttons: a red one with a speech bubble icon and the text 'Unzufrieden', and a grey one with a thumbs up icon. To the right of these is a grey button labeled 'Abschicken'. Below the buttons is the text '(Optional) Was können wir verbessern?' followed by a text input field with the placeholder 'Feedback'.

Abbildung 7.3: Beschreibung des Level 1 des Service H-1a (eigene Darstellung)

7.3.2 Dashboard

Ein weiteres zentrales Element ist die Möglichkeit, die einzelnen SRI-Berechnungen verschiedener Gebäude miteinander zu vergleichen. Hierzu wurde ein interaktives Dashboard entwickelt, welches die Möglichkeit bietet, verschiedene Gebäude auszuwählen und direkt miteinander zu vergleichen (Abbildung 7.4). Neben dem Gesamt-SRI-Durchschnitt wird auch der Durchschnitt der einzelnen Auswirkungen und Bereiche grafisch dargestellt. Der Durchschnitt kann nach zwei unterschiedlichen Berechnungsmethoden berechnet werden: 1. Jedes Gebäude wird gleich berücksichtigt; 2. die einzelnen SRI-Ergebnisse werden entsprechend der Flächenverteilung des jeweiligen Gebäudes berücksichtigt.

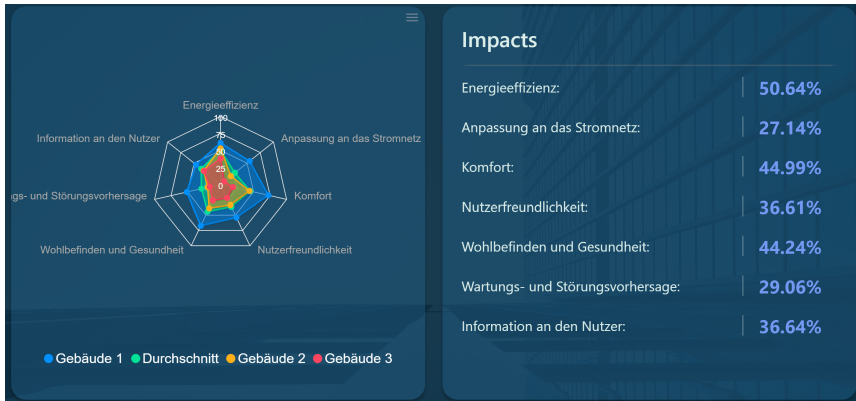


Abbildung 7.4: SRI-Dashboard von drei Gebäuden (blau, gelb, rot) & Durchschnitt (eigene Darstellung)

7.3.3 Rollenvergabe

Wie im Abschnitt 2.2.2 beschrieben, gibt es eine Vielzahl unterschiedlicher Stakeholder, die mit einem Gebäude interagieren. Um eine vollständige SRI-Bewertung durchführen zu können, müssen Informationen von verschiedenen Stellen bzw. Personen eingeholt werden. Um die Personen, die den SRI-Fragebogen ausfüllen, nicht zu überfordern, besteht die Möglichkeit, die Dateneingabe für einzelne Personen auf Gebäudebereiche und/oder Services zu beschränken. Dies hat den Vorteil, dass die ausfüllende Person nur die relevanten Services sieht, die sie sehen soll und nicht mit einer zu großen Dateneingabe überfordert wird. Die eingegebenen Daten können auch von einer anderen Person eingesehen werden, da die Daten an einem zentralen Ort gespeichert und unternehmensintern zur Verfügung gestellt werden. Auf diese Weise können mehrere Personen auf die Daten desselben Gebäudes zugreifen und diese bearbeiten.

7.3.4 Optimierung

Das in Abschnitt 6 entwickelte Modell bietet die Möglichkeit, bei gegebenem Budget ein Ergebnis zu finden. Zu diesem Zweck müssen für jeden einzelnen Service die Kosten der Änderungen des Funktionsumfangs (Tabelle 6.3), die auch als Kostenklassen bezeichnet werden, definiert werden. Jedem Service und deren Leveländerungen können individuelle Kosten zugeordnet werden (Abbildung 6.10). Die Optimierung kann durch die Auswahl von Gebäuden, den Kosten, SRI-Versionen und den Optimierungszielen gestartet werden (Abbildung 7.5).

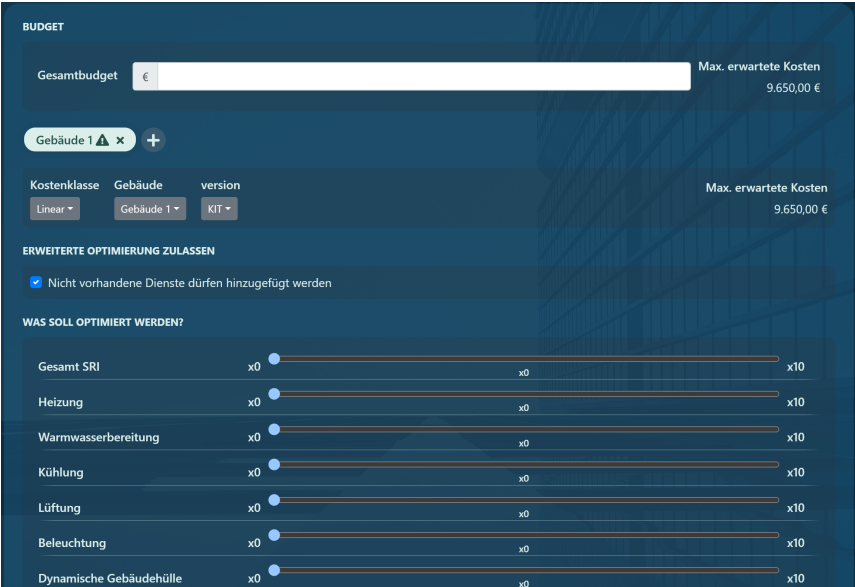


Abbildung 7.5: Optimierung eines Gebäudes (eigene Darstellung)

Das Benchmark-Modell ist eine vollständige Webanwendung, welche auf smartreadinessindicator.com ¹³ erreichbar ist.

¹³Zum Zeitpunkt der Abgabe der Dissertation

7.4 Etablierung

Die im Abschnitt 6.7 beschriebenen Analysen wurden mit Hilfe der entwickelten Webanwendung durchgeführt. Die benutzerfreundliche Oberfläche ermöglicht eine einfache Auswertung und Visualisierung der Ergebnisse. Die intuitive Gestaltung gewährleistet die geforderte Anwendbarkeit auch für Laien. Zusätzlich sind an den entsprechenden Stellen weiterführende Informationen hinterlegt, die bei Unklarheiten weiterhelfen. Nach diesen erfolgreichen Tests, auch durch die Stakeholdern (Abschnitt 5.3.1), kann das Tool etabliert werden.

Einordnung der entwickelten Modelle

Zu Beginn der Arbeit wurde ein Verfahren entwickelt, mit dessen Hilfe ein Zertifizierungsmodell systematisch entwickelt werden kann. Anschließend wurden mit diesem Verfahren das deskriptive, präskriptive und Benchmark-Modell entwickelt, die die Intelligenzfähigkeit eines Gebäudes im Hinblick auf einen nutzerorientierten Gebäudebetrieb ermitteln. Abschließend sollen das Vorgehen zur Entwicklung eines Zertifizierungsmodells und die drei Modelle übergeordnet bewertet werden.

Dabei ist zu beachten, dass die methodischen Inhalte der (Weiter-) Entwicklungsphasen in den jeweiligen Bewertungsabschnitten bereits bewertet wurden. Dort wurden die technischen Herausforderungen identifiziert und in weiteren Iterationen verbessert, sodass derzeit keine weiteren Verbesserungen der Methodik erforderlich sind. Dennoch sollten die einzelnen Phasen in ihrer Gesamtheit bewertet werden, insbesondere im Hinblick darauf, wo potenzieller Erweiterungs- und Entwicklungsbedarf besteht.

8.1 Bewertung des Verfahrens zur Entwicklung eines Zertifizierungsmodells

Das Verfahren zur Entwicklung eines Zertifizierungsmodells, welches aus der Literatur in Abschnitt 4 entwickelt worden ist, wurde in den Abschnitten 5, 6 und 7 angewendet. Während der Anwendung hat sich herausgestellt, dass diese Verfahren die Arbeitsschritte gut repräsentiert und sehr robust

ist. Die geforderten Entwicklungsleistung konnten erfolgreich durchgeführt werden und die Anforderungen an ein Reifegradmodell aus Abschnitt 2.3 wurden erfüllt:

- eine bestimmte Anzahl an Levels
- eine Kennzeichnung für jedes Level
- eine allgemeine Beschreibung oder Zusammenfassung der Merkmale jedes Levels als Ganzes
- eine bestimmte Anzahl von Dimensionen oder Prozessbereichen
- eine bestimmte Anzahl von Elementen oder Aktivitäten für jeden Prozessbereich
- eine Beschreibung der einzelnen Aktivitäten, wie sie auf jeder Reifegradstufe durchgeführt werden kann.

Die hier vorgestellte Methodik betont die Möglichkeit einer kontinuierlichen Fortführung und Weiterentwicklung, um den dynamischen Anforderungen der Branche gerecht zu werden. Die zyklische Methodik hat sich als sehr nützlich erwiesen, da sie die Anpassungsfähigkeit an schnelle Veränderungen zeigt. Diese Methode stellt sicher, dass das Unternehmen nicht nur mit den aktuellen technologischen Entwicklungen Schritt hält, sondern auch seine langfristige Wettbewerbsposition stärkt.

8.2 Bewertung des deskriptiven Modells

Während der einzelnen Iterationsschritte wurde gezeigt, dass es teilweise schwierig ist, die unterschiedlichen Meinungen vollständig abzubilden und alle zu berücksichtigen. Dennoch ist es möglich, einen Konsens zu bilden. In Zukunft muss beobachtet werden, ob die Einteilung in der Bewertungsskala ausreicht oder ob weitere Veränderungen vorgenommen werden müssen. Es ist zu beachten, dass Gebäude bisher nicht nach der SRI-Methodik optimiert gebaut oder geplant wurden. Die Methodik ist erweiterbar.

In der vorliegenden Methode sind Funktionslevel mit identischen Impact-Scores vorhanden, sodass eine Erhöhung keinen Einfluss auf den SRI-Score hat. Ein SRI-Score von 100% kann somit durch mehrere Verteilungen erreicht werden. Zusätzlich besitzen die Impact-Scores der einzelnen Funktionslevels nicht den exakt gleichen Einfluss, obwohl sie denselben Wert haben (z.B. „3“), was zu Verwirrung führt. Dies liegt an den unterschiedlichen Gewichtungen der einzelnen Domains. Außerdem konkurrieren die Impact-Scores innerhalb einer Domain miteinander. Bei gleichen Impact-Scores in einem Bereich, wie zum Beispiel der Energieeffizienz, können zwei Services rechnerisch den gleichen Einfluss haben, obwohl die tatsächlichen Energieeinsparungen deutlich voneinander abweichen können. Es ist wichtig, dies genauer zu untersuchen und genau zu bestimmen.

8.3 Bewertung des präskriptiven Modells

Die in Abschnitt 6 erarbeitete Methode gibt eine Empfehlung für den SRI-Score unter Berücksichtigung einer Budgetgrenze. Es ist zu beachten, dass der verwendete Genetische Algorithmus nur eine Näherung ist und keine exakte Lösung findet, da der Lösungsraum sehr groß ist.

Schwächen dieses Verfahrens liegen in den Kostenmodellen, welche das Ergebnis stark beeinflussen. Um ein aussagekräftiges Ergebnis zu erhalten, müssen die Kosten verifiziert werden. Zudem ist der Implementierungsaufwand der einzelnen Funktionslevels nicht direkt abgebildet, sondern nur indirekt über die Kosten. Je teurer ein Funktionslevel ist, desto höher ist der damit verbundene Implementierungsaufwand. Darüber hinaus können sich die Implementierungskosten bei gleichzeitigem Einbau mehrerer Funktionslevels verändern, was bisher noch nicht berücksichtigt wird. Wenn dies in Zukunft berücksichtigt werden soll, würde dies den Algorithmus weiter verkomplizieren. Daher wird die Wahl des Genetischen Algorithmus bekräftigt.

Das präskriptive Modell optimiert nach dem Impact-Score, der jedoch eine Unsicherheit aufweist (vgl. Abschnitt 8.2). Das Ergebnis entspricht möglicherweise nicht dem tatsächlichen Optimum.

8.4 Bewertung des Benchmark-Modells

Das entwickelte Tool erreicht das Ziel einer objektiven und intuitiven Gebäudebewertung. Es ermöglicht eine mühelose Verarbeitung und einen unkomplizierten Vergleich durch bewusste Gestaltung der Dateneingabe. Stakeholder profitieren von einer benutzerfreundlichen Dateneingabe. Eine umfassende, überregionale Vergleichsmöglichkeit sowie eine klare Darstellung des eigenen Portfolios gewährleisten, dass Stakeholder den aktuellen Status und empfohlene Maßnahmen problemlos umsetzen können. Dies trägt zu ihrer Zufriedenheit bei. Die Anpassungsfähigkeit an neue Gegebenheiten sowie die Schaffung von Erweiterungs- und Entwicklungsmöglichkeiten stellen sicher, dass das Tool den sich schnell verändernden Anforderungen des Sektors gerecht wird. Insgesamt erfüllt die Dateninfrastruktur alle gestellten Anforderungen. Dies führt zu einer positiven Resonanz und Zufriedenheit der Stakeholder.

8.5 Bewertung Insgesamt

Die vorliegende Arbeit entwickelt ein Modell für ein Zertifizierungssystem. Es müssen jedoch weitere Rahmenbedingungen untersucht werden, wie beispielsweise der Ablauf des Zertifizierungsprozesses, wer zur Zertifizierung legitimiert ist und wie das Zertifikat ausgestaltet sein soll. Insgesamt muss ein einheitliches Zertifizierungssystem entwickelt werden. Dennoch wurden einige Forderungen aus den Studien einzelner Länder erfüllt. Dänemark fordert, dass die Klassifizierung des SRI angepasst wird und konkrete Vorschläge zur Verbesserung des SRI-Scores gemacht werden. Insgesamt sollen Vergleiche mit anderen Gebäuden möglich sein und ein Mehrwert geschaffen werden. Deutschland fordert ebenfalls die Entwicklung eines Online-Tools, das es den beteiligten Stakeholdern ermöglicht, eine Gebäudebewertung einfach darzustellen und potenzielle Verbesserungsmöglichkeiten zu erhalten. Die vorgestellten Zertifizierungsmodelle erfüllen diese Forderungen.

Schlussbetrachtung

9.1 Kritische Würdigung

Ein Teil der Ergebnisse des deskriptiven Modells wurde in Zusammenarbeit mit Stakeholdern aus der Immobilienwirtschaft erarbeitet. Wie bereits in der Literatur erwähnt, ist dies ein limitierender Faktor, da die Ergebnisse stark von der Expertise und dem Wissen der Stakeholder abhängen. Probleme werden nur innerhalb eines bekannten Horizonts behandelt. Obwohl eine große Vielfalt an Stakeholdern an der Erarbeitung beteiligt war, kann nicht ausgeschlossen werden, dass Bereiche, die für andere Stakeholder als wichtig erachtet werden, nicht berücksichtigt wurden. Darüber hinaus wurde der SRI zwar erweitert, jedoch nur für den Standort Deutschland. Andere europäische Länder können andere Schwerpunkte setzen.

Die Verwendung eines Genetischen Algorithmus für das präskriptive Modell liefert nur eine Annäherung an die optimale Lösung. Mit zunehmender Rechnerleistung und verbesserten Algorithmen könnten in Zukunft andere Verfahren zielführender sein. Zudem wurde nicht überprüft, wie zeitaufwendig der hier verwendete Genetische Algorithmus bei sehr großen Gebäudeportfolios ist. Möglicherweise ist hier ein anderes Optimierungsverfahren zielführender.

Die Übertragbarkeit des Verfahrens zur Entwicklung eines Zertifizierungsmodells auf andere Modelle und auf andere Bereiche ist noch zu prüfen. Insbesondere die wiederholten zyklischen Entwicklungsschritte sind mit

Aufwand verbunden. Für die hier beschriebene Problemstellung ist das entwickelte Verfahren jedoch sehr gut geeignet.

Insgesamt hat diese Forschungsarbeit maßgeblich dazu beigetragen, dass eine offizielle Testphase der BRD seit Anfang 2024 existiert. In diese Testphase werden die Ergebnisse dieser Arbeit mit einfließen und so den SRI auf nationaler und europäischer Ebene beeinflussen.

9.2 Ausblick

Da der SRI digitale Technologien bewertet, ist es unerlässlich, den SRI im Laufe der Zeit weiterzuentwickeln. Eine weitere große Herausforderung ist die Quantifizierung der einzelnen Impact-Scores. Zudem beschränkt sich die Methodik derzeit auf Wohn- und Nichtwohngebäude, wobei einige Fragen nicht für alle Gebäudetypen sinnvoll sind, sodass auch hier weitere Unterscheidungen getroffen werden müssen.

Insbesondere das politische Interesse aller EU-Mitgliedstaaten und darüber hinaus macht es notwendig, ein vergleichbares System zu entwickeln. Aufgrund des Föderalismus müssen die unterschiedlichen Meinungen und Absichten zusammengeführt werden. Es muss ein Prozess entwickelt werden, wie dies systematisch umgesetzt werden kann.



Anhang

A.1 Stakeholder

A.1.1 Definition

Tabelle A.1: Auswahl von relevanten internen Stakeholdern

Kategorie	Stakeholder	Beschreibung
Interne Stakeholder	Asset Manager	Ein Asset Manager ist verantwortlich für die Verwaltung und Optimierung eines Immobilienportfolios im Auftrag des Eigentümers oder Investors. Sie kümmern sich um die strategische Ausrichtung, Bewertung, Finanzierung und Performance des Portfolios (Mosig et al., 2022).
	Eigentümer	Die Person oder Organisation, die die Immobilie besitzt und für Entscheidungen über die Nutzung, Instandhaltung und Verwaltung verantwortlich ist.
	Facility Manager	Facility Manager sind für die operative Bewirtschaftung von Gebäuden verantwortlich, je nach Schwerpunkt Technisches Gebäudemanagement (TGM), Infrastrukturelles Gebäudemanagement (IGM), Finanz- und Liegenschaftsmanagement (FLM) oder Kaufmännisches Gebäudemanagement (KGM). Die strategische, taktische und operative Sicherstellung der Funktionsfähigkeit, des Werterhalts sowie die Beachtung der Betreiberverantwortung sind maßgebliche Ziel. Facility Manager können als intern Stakeholder aber auch in Form der Einzel- oder Komplettvergabe als externe Dienstleister tätig sein.(Mosig et al., 2022)
	Mieter/ Nutzer	Personen oder Unternehmen, die die Immobilie mieten oder nutzen, um ihre Geschäfts- oder Wohnbedürfnisse zu erfüllen. Diese Stakeholder erwarten möglichst große Behaglichkeit, niedrige Kosten eine angemessene Flächenauslastung und -verfügbarkeit unter Einhaltung der gesetzlichen Richtlinien. (Mosig et al., 2022)
	Mitarbeiter	Menschen, die in den Immobilienunternehmen oder -projekten arbeiten, z. B. Angestellte der Verwaltung, Techniker, Hausmeister
	Portfolio-manger	Ähnlich wie Asset Manager, aber der Fokus liegt oft auf einem bestimmten Immobilienportfolio bzw. auf der Gesamtportfolioebene gemäß der Investmentstrategie des Investors, das verwaltet wird. (Mosig et al., 2022)
	Property Manager	Der Property Manager besitzt eine entsprechenden Handlungsvollmachten. Der technische Property Manager kümmert sich um die technische Instandhaltung und Reparaturen der Immobilie, während kaufmännische Property Manager für Finanzen, Mietverträge und Mieterbeziehungen verantwortlich sind. Für Sanierungs- und Renovierungsarbeiten wird das Projektmanagement übernommen sowie daszugehörige das Mängel- und Schadensmanagement. (Mosig et al., 2022)

Tabelle A.2: Auswahl von relevanten externen ökonomischen Stakeholdern

Kategorie	Stakeholder	Beschreibung
Externe ökonomische Stakeholder	Architekt	Entwirft in der Regel ein nachhaltiges, ökologisches, funktionales, gestalterische und wirtschaftliches Gebäude und Strukturen, oft auch für Renovierungen und Umbauten verantwortlich. (Mosig et al., 2022)[S. 33]
	Berater	Beratungsunternehmen oder Einzelpersonen, die Fachwissen in verschiedenen Aspekten der Immobilienbranche anbieten, z. B. Rechtsberatung, Finanzberatung oder Projektmanagement. Dadurch soll eine Effizienz- und Effektivitätssteigerung erreicht und Risiken vermieden werden. (Mosig et al., 2022)[S. 32]
	Energie und Medien-Versorger	Unternehmen, die Energie und andere Versorgungsleistungen wie Wasser, Gas und Internet in den Immobilien bereitstellen. (Mosig et al., 2022)[S. 27]
	Fachbetrieb/Handwerker/Ausführende Unternehmen	Unternehmen und Handwerker, die für die Ausführung von Bau- und Instandhaltungsarbeiten in den Immobilien verantwortlich sind. (Mosig et al., 2022)[S. 37]
	Hardwarehersteller und Anlagenbauer	Unternehmen, die Baumaterialien, Ausrüstung und Anlagen für die Immobilienbranche herstellen. (Mosig et al., 2022)[S. 33]
	Investor und Versicherung	Investoren, die in Immobilienprojekte investieren, um sie zu einem späteren Zeitpunkt mit Gewinn wieder verkaufen, sowie Versicherungsgesellschaften, die Policen für Immobilien abdecken. (Mosig et al., 2022)[S. 30]
	Planer	Spezialisten, die für verschiedene Aspekte der Gebäudeplanung und -entwicklung verantwortlich sind, wie technische Gebäudeausrüstung (TGA), Brandschutz, Statik und Bauphysik. (Mosig et al., 2022)
	Softwareentwickler	Unternehmen oder Einzelpersonen, die spezielle Software und Lösungen für die Immobilienbranche entwickeln, z. B. Property-Management-Software oder Immobilienmarkt-Analysen. (Mosig et al., 2022)[S. 47]

Tabelle A.3: Auswahl von relevanten externen nicht-ökonomischen Stakeholdern

Kategorie	Stakeholder	Beschreibung
Externe nicht-ökonomische Stakeholder	Branchenverbände	Branchenverbände sind Organisationen, die die gemeinsamen Interessen und Anliegen von Unternehmen innerhalb einer bestimmten Branche vertreten. Sie fördern den Austausch von Informationen, setzen Standards und unterstützen die Zusammenarbeit zwischen den Mitgliedern.
	Politik, Behörden und Öffentliche Hand	Regierungsinstitutionen und öffentliche Organisationen, die rechtliche Rahmenbedingungen setzen und Genehmigungen für Immobilienprojekte erteilen. (Mosig et al., 2022)[S. 26]
	Weiterbildungsorganisatoren/ Universitäten	Bildungseinrichtungen, die Aus- und Weiterbildungen für Immobilienprofis anbieten, sowie Universitäten, die entsprechende Studiengänge anbieten. (Mosig et al., 2022)[S. 48]
	Zertifizierer	Organisationen, die Zertifizierungen für Immobilienprojekte und -betrieb vergeben, um Nachhaltigkeitsstandards, Qualität oder Sicherheit zu bestätigen. (Mosig et al., 2022)[S. 49]

A.1.2 Stakeholderanalyse

Tabelle A.4: Stakeholderanalyse von relevanten internen Stakeholdern
(Offermann et al., 2022)

Kategorie	Stakeholder	Analyse
Interne Stakeholder	Asset Manager	(Offermann et al., 2022) hat keine Analyse für diesen Stakeholder durchgeführt
	Eigentümer	In vermieteten Nichtwohngebäuden kann der SRI als Entscheidungskriterium genutzt werden. Begünstigende Faktoren für eine Berücksichtigung des SRI bei Gebäudenutzenden sind einerseits der Energieverbrauch (höherer Anreiz bei Gebäuden mit hohem Verbrauch) und andererseits die Mietmarktstruktur.
	Facility Manager	Ein hoher SRI-Score kann Erleichterungen im Facility-Management bezüglich der Betriebsoptimierung bringen. Voraussetzung dafür ist allerdings, dass die entsprechenden Technologien, insbesondere das Monitoring, vorhanden sind und die Betriebsoptimierung auch im Auftragsumfang des Facility-Managements enthalten ist.
	Mieter/Nutzer	(Offermann et al., 2022) hat keine Analyse für diesen Stakeholder durchgeführt
	Mitarbeiter	(Offermann et al., 2022) hat keine Analyse für diesen Stakeholder durchgeführt
	Portfolio-manager	SRI kann Akteur*innen im Bereich des Portfoliomanagements Unterstützung bieten, sowohl in Bezug auf Energieeinsparungen in Gebäuden als auch in Bezug auf deren Netzdienlichkeit und Komfort.
	Property Manager (technisch und kaufmännisch)	(Offermann et al., 2022) hat keine Analyse für diesen Stakeholder durchgeführt

Tabelle A.5: Stakeholderanalyse von relevanten externen ökonomischen Stakeholdern (Offermann et al., 2022)

Kategorie	Stakeholder	Analyse
Externe ökonomische Stakeholder	Architekt	Bei einer weiteren Verbreitung von SRI werden die entsprechenden Dienstleistungen stärker in die Gebäudeplanung integriert, um die Kompetenzen in diesem Bereich weiter zu stärken und die Verbreitung zu erhöhen.
	Berater	Für Ausstellende und Beratende bildet der SRI grundsätzlich eine Erweiterung des Tätigkeitsfelds.
	Energie und Medien-Versorger	Der SRI kann auch einen Mehrwert für Netzbetreiber und Aggregatoren bieten, da er die Netzdienlichkeit und die möglichen Flexibilität in einem Gebäude oder Gebiet anzeigt. Dadurch kann er indirekt den Netzbetrieb und das Lastmanagement erleichtern bzw. verbessern.
	Fachbetrieb/ Handwerker/ Ausführende Unternehmen	(Offermann et al., 2022) hat keine Analyse für diesen Stakeholder durchgeführt
	Hardwarehersteller und Anlagenbauer	Für die Hersteller von Technologien zur Gebäudeautomatisierung bietet die SRI potenziell verbesserte Marktchancen, da sie die Verbreitung der Technologien unterstützt.
	Investor und Versicherung	Sofern sich SRI am Markt als relevantes Entscheidungskriterium bei Immobilienkäufen durchsetzt, ist zu erwarten, dass institutionelle Investor*innen vor einer Veräußerung des Gebäudes gezielte Maßnahmen durchführen, um den SRI-Score zu erhöhen.
	Planer	Bei einer weiteren Verbreitung des SRI werden die entsprechenden Services stärker in die Planungen der Gebäude einbezogen, sodass die Kompetenzen in diesem Bereich weiter gestärkt werden und die Diffusion gesteigert wird.
	Softwareentwickler	Bei einer weiteren Verbreitung von SRI werden die entsprechenden Dienstleistungen stärker in die Gebäudeplanung integriert, um die Kompetenzen in diesem Bereich weiter zu stärken und die Verbreitung zu erhöhen.

Tabelle A.6: Stakeholderanalyse von relevanten nicht-ökonomischen Stakeholdern (Offermann et al., 2022)

Kategorie	Stakeholder	Analyse
Externe nicht-ökonomische Stakeholder	Branchenverbände	(Offermann et al., 2022) hat keine Analyse für diesen Stakeholder durchgeführt
	Politik, Behörden und Öffentliche Hand	Öffentliche Gebäude können eine Vorbildfunktion einnehmen und so zur Verbreitung von SRI beitragen. Bei Gebäuden mit starkem Publikumsverkehr kann zudem die allgemeine Bekanntheit von SRI erhöht werden, wenn SRI am Gebäude sichtbar ist.
	Weiterbildungsorganisatoren/Universitäten	(Offermann et al., 2022) hat keine Analyse für diesen Stakeholder durchgeführt
	Zertifizierer	Für Emittenten und Berater stellt SRI grundsätzlich eine Erweiterung des Tätigkeitsfeldes dar.

A.2 Kritische Erfolgsfaktoren

A.2.1 Environment

Nachhaltigkeit

Umwelt

Der kritische Erfolgsfaktor Umwelt konzentriert sich auf die umweltfreundlichen Praktiken und die Übernahme von sozialer Verantwortung in Bezug auf die Umweltauswirkungen eines Gebäudes.

Tabelle A.7: Kritische Erfolgsfaktoren: Umwelt

kritischer Erfolgsfaktor	Primärquelle	Sekundär- -quelle
Umwelt-freundlichkeit	(Tan et al., 2014a), (Tucker et al., 2014a)	(Shin et al., 2018)
Umwelt- und soziale Verantwortung	(Shen and Liu, 2003), (Shen et al., 2003)	(Tan et al., 2014a)
Abfall	(Fowler et al., 2004), (Epstein and Wisner, 2001), (Baldwin et al., 2000), (Jasch, 2000)	(Lavy et al., 2010)

Ressourcenverbrauch

Ressourcenverbrauch befasst sich mit der effizienten Nutzung von Ressourcen in Gebäuden, um die Umweltauswirkungen zu minimieren und Nachhaltigkeit zu fördern. Zu den kritischen Erfolgsfaktoren gehören die Reduzierung und ordnungsgemäße Entsorgung von Abfällen, ein effizientes Energiemanagement, Wassereinsparungen sowie die Optimierung des Materialverbrauchs und die Förderung nachhaltiger Beschaffungsstrategien.

Tabelle A.8: Kritische Erfolgsfaktoren: Ressourcenverbrauch

kritischer Erfolgsfaktor	Primärquelle	Sekundär- -quelle
Ressourcen- verbrauch - Ener- gie	(Brackertz, 2006), (Gillespie et al., 2006a), (Pati et al., 2009a), (Barley et al., 2005), (Fowler et al., 2005), (Cable et al., 2005), (Fowler et al., 2004), (O' Sullivan et al., 2004), (Chow et al., 2003), (Cohen et al., 2001), (Loosemore and Hsin, 2001), (Baldwin et al., 2000)	(Lavy et al., 2010)
Ressourcen- verbrauch - Wasser	(Hammond et al., 2005), (Fowler et al., 2004), (Fowler et al., 2005), (Shohet et al., 2003), (Epstein and Wisner, 2001), (Loosemore and Hsin, 2001), (Jasch, 2000), (Gillespie et al., 2006b), (Lebas, 1995), (Seebauer and Viniczay, 2006)	(Lavy et al., 2010)
Ressourcen- verbrauch - Mate- rial	(Lebas, 1995), (Jasch, 2000), (Gillespie et al., 2006b), (Fowler et al., 2004), (Fowler et al., 2005), (Epstein and Wisner, 2001), (Tsang, 1998)	(Lavy et al., 2010)

Gebäude

physisch

Der kritische Erfolgsfaktor für das physische Gebäude umfasst die Verwendung aktueller Anlagen und Ausrüstungen, die Umsetzung der Zugänglichkeit für Behinderte, ausreichende Parkmöglichkeiten, die Vermeidung minderwertiger Baumaterialien und die qualitative Bewertung des Gebäudezustands (Gebäudeinstandhaltung). Diese Faktoren sind entscheidend für die Funktionalität, Sicherheit und Effizienz des Gebäudes und tragen dazu bei, den Komfort und die Zufriedenheit der Bewohner oder Nutzer zu gewährleisten und die Lebensdauer des Gebäudes zu verlängern.

Tabelle A.9: Kritische Erfolgsfaktoren: physisch

kritischer Erfolgsfaktor	Primärquelle	Sekundär- -quelle
Aktuelle Anlagen und Ausrüstung	(Tse, 2002)	(Tan et al., 2014a)
Barrierefreiheit für Behinderte	(Preiser and Wang, 2006), (Sanoff, 2001), (Preiser, 1995)	(Lavy et al., 2010)
Parkplätze	(Seebauer and Viniczay, 2006), (Fowler et al., 2005), (Gumbus, 2005), (Hammond et al., 2005), (Loosemore and Hsin, 2001)	(Lavy et al., 2010)
Mangelhafte Baumaterialien	(Waziri, 2016)	(Dahlan and Zainuddin, 2018)
Gebäudezustand - quantitativ: Gebäudeleistungsindex (Building Performance Index, BPI)	(Pati et al., 2009b), (Pati et al., 2009a), (Shohet et al., 2003), (Lavy and Shohet, 2007)	(Lavy et al., 2010)
Gebäudezustand - qualitativ: Allgemeine Gebäudeinstandhaltung in den Bereichen (1) Gebäudezustand; (2) Sanitär-, Sanitär- und Regenwassersysteme; (3) technische Dienstleistungen; und (4) Beleuchtung und Elektrik	(Pati et al., 2009b), (Mignola and Terry, 2006), (Preiser and Wang, 2006), (Seebauer and Viniczay, 2006), (Pati et al., 2009a), (Fowler et al., 2005), (Hammond et al., 2005), (Leung et al., 2005), (Mendell and Heath, 2005), (Gillespie et al., 2006b), (Kincaid, 1994), (Douglas, 1994)	(Lavy et al., 2010)

nicht-physisch

Tabelle A.10: Kritische Erfolgsfaktoren: nicht-physisch

kritischer Erfolgsfaktor	Primärquelle	Sekundär- -quelle
kritischer Erfolgsfaktor	Primärquelle	Sekundär- -quelle
Standort und Lage	(Brackertz, 2006), (Fowler et al., 2005), (Hammond et al., 2005), (Kelly et al., 2005), (Cable et al., 2005), (Mendell and Heath, 2005), (Moore, 2008), (Kyle, 2001)	(Lavy et al., 2010)
Raumnutzung	(Preiser and Wang, 2006), (Deru and Torcellini, 2005), (Gumbus, 2005), (Hammond et al., 2005), (Kelly et al., 2005), (Ilozor and Treloar, 2002), (Loosemore and Hsin, 2001), (Baldwin et al., 2000), (Kincaid, 1994), (Hinks and McNay, 1999)	(Lavy et al., 2010)
Mission und Vision sowie Abhängigkeitsindex der Mission (Mission Dependency Index, MDI)	(Gillespie et al., 2006a), (Mignola and Tery, 2006), (Cable et al., 2005)	(Lavy et al., 2010)
Angemessene Raumgrößen	(Preiser and Wang, 2006), (Preiser, 1995)	(Lavy et al., 2010)
Architektonische Mängel	(Waziri, 2016)	(Dahlan and Zainuddin, 2018)

Zu den kritischen Erfolgsfaktoren für den nicht-physischen Teil eines Gebäudes gehören Standort und Lage, optimale Raumnutzung, Klarheit der Mission und Vision. Darüber hinaus sind angemessene Raumgrößen und das Erkennen von architektonischen Mängeln wichtig, um die Effizienz und den Erfolg der Organisation oder des Unternehmens zu fördern. Diese

Faktoren beeinflussen die Zweckerfüllung des Gebäudes und tragen zur Produktivität und Zufriedenheit der Nutzer bei.

Innovation

Der kritische Erfolgsfaktor für Innovation betreffen den Einsatz moderner Technologien, die Fähigkeit zur Innovation und den Umgang mit neuen Materialien, um die Entwicklung und Wettbewerbsfähigkeit einer Einrichtung oder eines Unternehmens zu stärken.

Tabelle A.11: Kritische Erfolgsfaktoren: Innovation

kritischer Erfolgsfaktor	Primärquelle	Sekundär- -quelle
Anwendung von IT (E-Instandhaltung)	(Yasamis et al., 2002)	(Tan et al., 2014a)
Innovationsfähigkeit	(Yiu et al., 2002)	(Tan et al., 2014a)
Verwendung neuer und ungetesteter Materialien	(Waziri, 2016)	(Dahlan and Zainuddin, 2018)

A.2.2 Finanzen

Kostenmanagement

Der kritische Erfolgsfaktor für das Kostenmanagement umfassen ein effektives Kostenmanagement, das Erreichen von Kosteneffizienz und ein angemessenes Preis-Leistungs-Verhältnis. Dies beinhaltet die Kontrolle der Betriebs-, Versorgungs- und Kapitalkosten. Darüber hinaus spielen die Kosten für Gebäudeinstandhaltung, Gartenpflege, Reinigung und Hausmeisterdienste sowie der Umgang mit Personalfuktuation und den damit verbundenen Kosten eine wichtige Rolle.

Tabelle A.12: Kritische Erfolgsfaktoren: Kostenmanagement

kritischer Erfolgsfaktor	Primärquelle	Sekundär- -quelle
Kostenmanagement		(Tan et al., 2014a)
Kosten-effizienz/Preis-Leistungs-Verhältnis	(Kalumbu et al., 2016), (Tan et al., 2014b), (Tucker et al., 2014b)	(Dahlan and Zainuddin, 2018)
Betriebskosten	(Baldwin et al., 2000), (MacSporran and Tucker, 2010), (Tsang, 2002), (Ho et al., 2000), (Loosemore and Hsin, 2001), (Epstein and Wisner, 2001), (Cable et al., 2005), (Gibberd, 2007)	(Lavy et al., 2010)
Versorgungskosten	(Baldwin et al., 2000), (Barley et al., 2005), (Gillespie et al., 2006a), (Cable et al., 2005), (Loosemore and Hsin, 2001), (Jasch, 2000), (Gursel et al., 2007), (Seebauer and Viniczay, 2006), (Chow et al., 2003), (Wireman, 2005), (Luskay et al., 2002)	(Lavy et al., 2010)
Kapitalkosten	(Kelly et al., 2005), (Epstein and Wisner, 2001), (Baldwin et al., 2000), (Jasch, 2000)	(Lavy et al., 2010)
Gebäudeinstandhaltungskosten	(Fowler et al., 2005), (Kutucuoglu et al., 2001), (Loosemore and Hsin, 2001), (Ho et al., 2000), (Baldwin et al., 2000), (Fowler et al., 2004)	(Lavy et al., 2010)
Gartenpflegekosten	(Gibberd, 2007), (Cable et al., 2005), (Epstein and Wisner, 2001), (Loosemore and Hsin, 2001), (Baldwin et al., 2000), (Ho et al., 2000), (Tsang, 2002)	(Lavy et al., 2010)
Reinigungs- und Hausmeisterkosten	(Baldwin et al., 2000), (Ho et al., 2000)	(Lavy et al., 2010)
Fluktuation und Fluktuationskosten	(Fowler et al., 2005), (Fowler et al., 2004), (Baldwin et al., 2000), (Ho et al., 2000)	(Lavy et al., 2010)

Werterhaltung

Der kritische Erfolgsfaktor für die Werterhaltung umfassen Belegungskontrollen, den aktuellen Wiederbeschaffungswert, die Vermeidung von aufgeschobener Instandhaltung und aufgestautem Instandhaltungsbedarf sowie die regelmäßige Kapitalerneuerung. Diese Faktoren sind entscheidend, um den Wert von Gebäuden und Anlagen langfristig zu erhalten und zu steigern. Eine wirksame Werterhaltung schützt Vermögenswerte, maximiert ihre Nutzungsdauer und trägt zur finanziellen Rentabilität und zum Erfolg einer Einrichtung oder eines Unternehmens bei.

Tabelle A.13: Kritische Erfolgsfaktoren: Werterhaltung

kritischer Erfolgsfaktor	Primärquelle	Sekundär- -quelle
Belegungsprüfungen	(Massheder and Finch, 1998), (Ho et al., 2000), (Baldwin et al., 2000), (Mignola and Tery, 2006)	(Lavy et al., 2010)
Aktueller Wiederbeschaffungswert (CRV)	(Cable et al., 2005), (Epstein and Wisner, 2001), (Loosemore and Hsin, 2001), (Ho et al., 2000), (Jasch, 2000), (Shohet et al., 2003), (Kyle, 2001)	(Lavy et al., 2010)
Aufgeschobene Instandhaltung und aufgestauter Instandhaltungsbedarf	(Cable et al., 2005), (Ho et al., 2000), (Kyle, 2001)	(Lavy et al., 2010)
Kapitalerneuerung		(Lavy et al., 2010)
Indikatoren für Instandhaltungseffizienz (MEI)	(Pati et al., 2009b), (Lavy and Shohet, 2007), (Shohet et al., 2003), (Pati et al., 2009a)	(Lavy et al., 2010)
Gebäudezustandsindex (Facility Condition Index, FCI)		(Lavy et al., 2010)

Energieeffizienz und Kosteneinsparung

Die kritischen Erfolgsfaktoren für Energieeffizienz und Kosteneinsparungen umfassen die gezielte Verfolgung von Kosten- und Energieeinsparungen, um die Effizienz und Nachhaltigkeit einer Einrichtung oder eines Unternehmens zu verbessern. Die Beachtung dieser kritischen Erfolgsfaktoren trägt dazu bei, die Betriebskosten zu senken, die Umweltauswirkungen zu minimieren und langfristig wirtschaftlich zu agieren und dadurch einen Beitrag zur Nachhaltigkeit zu leisten.

Tabelle A.14: Kritische Erfolgsfaktoren: Energieeffizienz und Kosteneinsparung

kritischer Erfolgsfaktor	Primärquelle	Sekundär- -quelle
Kosteneinsparung	(Mukelas et al., 2012), (Tan et al., 2014a), (Tucker et al., 2014a)	(Shin et al., 2018)
Energie-einsparung	(Tucker et al., 2014a)	(Shin et al., 2018)

A.2.3 Unternehmenspolitik

Externe Stakeholder

Beziehung und Zufriedenheit

Die kritischen Erfolgsfaktoren für die Unternehmenspolitik gegenüber externen Stakeholdern beziehen sich auf die Beziehungspflege und die Zufriedenheit von Behörden, Gebäudeeigentümern, Fachleuten und Lieferanten. Eine positive Zusammenarbeit und gute Beziehungen zu diesen Partnern sind entscheidend für den langfristigen Erfolg und die Wettbewerbsfähigkeit eines Unternehmens. Eine gute Zusammenarbeit und ein guter Ruf können sich positiv auf das Image und den Erfolg des Unternehmens auswirken.

Tabelle A.15: Kritische Erfolgsfaktoren: Beziehung und Zufriedenheit

kritischer Erfolgsfaktor	Primärquelle	Sekundär- -quelle
Beziehung zu Regierungsbehörden		(Tan et al., 2014a)
Beziehung zu Gebäudeeigentümern		(Tan et al., 2014a)
Beziehung zu Fachleuten		(Tan et al., 2014a)
Beziehung zu Lieferanten		(Tan et al., 2014a)
Kommunikation zwischen Organisation und Kunden	(Zutshi and Sohal, 2004), (Kalumbu et al., 2016), (Tan et al., 2014b)	(Dahlan and Zainuddin, 2018)
Beziehung zu Kunden	(Zutshi and Sohal, 2004), (Kalumbu et al., 2016), (Tan et al., 2014b)	(Dahlan and Zainuddin, 2018)
Zufriedenheit der Mieter	(Mukelas et al., 2012)	(Shin et al., 2018)
Zufriedenheit der Kunden/Gebäudenutzer mit Produkten oder Dienstleistungen	(Baldwin et al., 2000), (Fowler et al., 2005), (Fowler et al., 2004), (Amaratunga and Baldry, 2003), (Ilozor and Treloar, 2002), (Kyle, 2001), (Harris and Mongiello, 2001), (Kagioglou et al., 2001), (Amaratunga and Baldry, 2000), (Hinks and McNay, 1999), (Lebas, 1995), (Climaco, 1992), (Wireman, 2005)	(Lavy et al., 2010)
Zufriedenheit und Beteiligung der Gemeinschaft	(Gibberd, 2007), (Brackertz, 2006), (Sannoff, 2001), (Jasch, 2000), (Climaco, 1992)	(Lavy et al., 2010)
Mitglied von Berufsorganisationen		(Dahlan and Zainuddin, 2018)
Zufriedenheit des Kunden	(Siu et al., 2001a)	(Tan et al., 2014a)
Mitglied von Berufsorganisationen	(Lai and Pang, 2010a)	(Tan et al., 2014a)
Fluktuationsrate der Mitarbeiter/Bewohner	(Fowler et al., 2005), (Fowler et al., 2004), (Baldwin et al., 2000)	(Lavy et al., 2010)

Qualitätsmanagement

Zu den kritischen Erfolgsfaktoren für die Unternehmenspolitik und das Qualitätsmanagement in Bezug auf externe Stakeholder gehören die Erfüllung der Kundenerwartungen, die Gewährleistung der Zuverlässigkeit der Dienstleistungen, die Einhaltung von Qualitätsstandards und Zertifizierungen, die Bereitstellung von Qualitätsressourcen, die effektive Reaktion auf Zwischenfälle und Beschwerden, die Schaffung eines angenehmen Umfelds und einer lernfördernden Umgebung. Auch das Image der Einrichtung spielt eine Rolle. Schulung und Sensibilisierung von Lieferanten und anderen Interessengruppen sind ebenfalls wichtige Faktoren. Die Zertifizierung als registrierter Anbieter kann das Image des Unternehmens stärken.

Tabelle A.16: Kritische Erfolgsfaktoren: Qualitätsmanagement

kritischer Erfolgsfaktor	Primärquelle	Sekundär- -quelle
Kundenerwartung	(Tan et al., 2014b), (Ganisen et al., 2015)	(Dahlan and Zainuddin, 2018)
Zuverlässigkeit des Dienstes	(Tan et al., 2014b)	(Dahlan and Zainuddin, 2018)
Qualitätsstandards/ Zertifizierung	(Kalumbu et al., 2016), (Tan et al., 2014b)	(Dahlan and Zainuddin, 2018)
Qualitätsressourcen	(Zutshi and Sohal, 2004), (Kalumbu et al., 2016), (Tan et al., 2014b)	(Dahlan and Zainuddin, 2018)
Reaktion auf Vorfälle	(Ganisen et al., 2015), (Tan et al., 2014b)	(Dahlan and Zainuddin, 2018)
Reaktion auf Beschwerden	(Lai and Pang, 2010b), (Mukelas et al., 2012), (Siu et al., 2001b)	(Shin et al., 2018)
Komfort der Umgebung	(Kwak et al., 2004), (Kwon et al., 2011)	(Shin et al., 2018)
Lernumgebung, Eignung für Bildungszwecke und Eignung der Einrichtung für ihre Funktion	(Gibberd, 2007), (Hammond et al., 2005), (Cable et al., 2005), (Sanoff, 2001), (Hinks and McNay, 1999), (Climaco, 1992)	(Lavy et al., 2010)
Erscheinungsbild	(Preiser and Wang, 2006), (Hammond et al., 2005), (Sanoff, 2001), (Baldwin et al., 2000), (Preiser, 1995)	(Lavy et al., 2010)
Allgemeine Schulung & Bewusstsein für Lieferanten & andere Interessengruppen	(Zutshi and Sohal, 2004)	(Dahlan and Zainuddin, 2018)
Zertifizierung des Unternehmens (registrierte Auftragnehmer)	(Chau et al., 2003), (Hatush and Skitmore, 1997)	(Tan et al., 2014a)

Interne Stakeholder

Personalmanagement und Arbeitsbedingungen

Tabelle A.17: Kritische Erfolgsfaktoren: Personalmanagement und Arbeitsbedingungen

kritischer Erfolgsfaktor	Primärquelle	Sekundär- -quelle
Mitarbeiterschulung	(Tan et al., 2014b), (Zutshi and Sohal, 2004), (Tucker et al., 2014b), (Ganisen et al., 2015), (Kalumbu et al., 2016)	(Dahlan and Zainuddin, 2018)
Unfähige Arbeitskräfte	(Waziri, 2016)	(Dahlan and Zainuddin, 2018)
Unfähige Arbeitskräfte im Baubereich	(Waziri, 2016)	(Dahlan and Zainuddin, 2018)
Kommunikation (intern und extern)		(Tan et al., 2014a)
Entwicklung der Mitarbeiterkompetenz	(Lai and Pang, 2010b), (Mukelas et al., 2012), (Siu et al., 2001b), (Tan et al., 2014a), (Tucker et al., 2014a)	(Shin et al., 2018)
Mitarbeiterqualifikation	(Ganisen et al., 2015), (Tan et al., 2014b)	(Dahlan and Zainuddin, 2018)
Arbeitsbedingungen/ effektive Arbeitspraxis/ gute Kommunikation	(Tan et al., 2014b), (Ganisen et al., 2015), (Tucker et al., 2014b)	(Dahlan and Zainuddin, 2018)
Arbeitsbedingungen		(Tan et al., 2014a)
Bildung und Schulung		(Tan et al., 2014a)
Mitarbeiterqualifikation und Erfahrung		(Tan et al., 2014a)

Die kritischen Erfolgsfaktoren für die Unternehmenspolitik und das Personalmanagement in Bezug auf die internen Stakeholder beziehen sich auf die Ausbildung der Mitarbeiter, die Vermeidung von ungeeigneten Arbeitskräften, insbesondere im Bausektor, eine effektive Kommunikation (intern und extern), die Entwicklung von Mitarbeiterkompetenzen, die Qualifikation und Erfahrung der Mitarbeiter, gute Arbeitsbedingungen sowie Aus- und Weiterbildungsmöglichkeiten. Die Berücksichtigung dieser Faktoren fördert die Kompetenz und Effizienz der Mitarbeiter, schafft ein positives Arbeitsklima und verbessert die Leistung und Zufriedenheit der internen Stakeholder, was zu einer nachhaltigen und erfolgreichen Unternehmensführung beiträgt.

Qualitätsmanagement

Der kritische Erfolgsfaktor für die Unternehmenspolitik und das Qualitätsmanagement in Bezug auf interne Stakeholder beziehen sich auf die Förderung des kulturellen Wandels und der Innovationsfähigkeit, das Lernen aus den Erfahrungen anderer Organisationen und das Benchmarking. Gleichzeitig werden mögliche Probleme wie unzureichendes Monitoring, Mängel in den Spezifikationen und unzureichende Qualitätskontrolle vor Ort berücksichtigt. Die Berücksichtigung dieser Faktoren fördert eine innovationsfreundliche Kultur, ermöglicht das Lernen aus den Erfahrungen anderer und Benchmarking, vermeidet Qualitätsprobleme und trägt dazu bei, die Leistung der Organisation zu verbessern und ihre Wettbewerbsfähigkeit zu stärken.

Tabelle A.18: Kritische Erfolgsfaktoren: Qualitätsmanagement

kritischer Erfolgsfaktor	Primärquelle	Sekundär- -quelle
Kulturelle Veränderungen/Innovationsfähigkeit	(Zutshi and Sohal, 2004), (Tan et al., 2014b), (Tucker et al., 2014b), (Ganisen et al., 2015), (Firdauz et al., 2015)	(Dahlan and Zainuddin, 2018)
Lernen aus den Erfahrungen anderer Organisationen und Benchmarking	(Zutshi and Sohal, 2004)	(Dahlan and Zainuddin, 2018)
Schlechte Überwachung	(Waziri, 2016)	(Dahlan and Zainuddin, 2018)
Mängel aufgrund von Spezifikationen	(Waziri, 2016)	(Dahlan and Zainuddin, 2018)
Schlechte Qualitätskontrolle vor Ort	(Waziri, 2016)	(Dahlan and Zainuddin, 2018)

Management

Strategische Planung und Führung

Zu den kritischen Erfolgsfaktoren für Unternehmenspolitik und strategische Planung und Führung gehören die Unterstützung durch das Top-Management, eine klare Politik, Strategie & Planung, die Bereitstellung ausreichender Ressourcen und die Ernennung eines kompetenten Managements. Die Berücksichtigung dieser Faktoren trägt dazu bei, klare Ziele zu setzen, die erforderlichen Ressourcen bereitzustellen und fähige Führungskräfte zu ernennen, um eine erfolgreiche Umsetzung der Unternehmensstrategien zu gewährleisten und das langfristige Wachstum und den Erfolg des Unternehmens zu fördern.

Tabelle A.19: Kritische Erfolgsfaktoren: Strategische Planung und Führung

kritischer Erfolgsfaktor	Primärquelle	Sekundär- -quelle
Unterstützung des Top-Managements	(Zutshi and Sohal, 2004), (Kalumbu et al., 2016), (Tan et al., 2014b)	(Dahlan and Zainuddin, 2018)
Klare Politik, Strategie & Planung	(Zutshi and Sohal, 2004), (Tan et al., 2014b), (Tucker et al., 2014b), (Ganisen et al., 2015), (Kalumbu et al., 2016) (Dahlan and Zainuddin, 2018)	
Ausreichende Ressourcen/dedizierte Ressourcen	(Zutshi and Sohal, 2004), (Ganisen et al., 2015)	(Dahlan and Zainuddin, 2018)
Ernennung eines fähigen Managers	(Zutshi and Sohal, 2004), (Ganisen et al., 2015)	(Dahlan and Zainuddin, 2018)

Richtlinien und Standards

Die CSFs für Unternehmenspolitik, Richtlinien und Standards beinhalten die Einhaltung von Branchenrichtlinien und -standards, regelmäßige Audits, Leistungsüberwachung und Qualitätsbewertung sowie die Implementierung eines effektiven Dokumentenkontrollsystems (Hardware oder Software) unter Verwendung von IT-Technologie. Die Berücksichtigung dieser Faktoren gewährleistet die Einhaltung von Standards, die Überwachung von Leistung und Qualität und ermöglicht eine effiziente Dokumentenkontrolle. Dies fördert die Effizienz, Qualität und Transparenz des Unternehmens und unterstützt die Erreichung strategischer Ziele.

Tabelle A.20: Kritische Erfolgsfaktoren: Richtlinien und Standards

kritischer Erfolgsfaktor	Primärquelle	Sekundär- -quelle
Bezugnahme auf Branchenrichtlinien / Standards	(Zutshi and Sohal, 2004)	(Dahlan and Zainuddin, 2018)
Notwendigkeit & Nutzung von Audits/Überwachung der Leistung/Qualitätsbewertung	(Zutshi and Sohal, 2004), (Tan et al., 2014b), (Tucker et al., 2014b), (Ganisen et al., 2015), (Firdauz et al., 2015)	(Dahlan and Zainuddin, 2018)
Dokumentenkontrollsystem (Hard- oder Software)/IT & Technologie	(Zutshi and Sohal, 2004), (Tan et al., 2014b), (Ganisen et al., 2015), (Firdauz et al., 2015), (Kalumbu et al., 2016)	(Dahlan and Zainuddin, 2018)
Unternehmensreputation/ Zertifizierung	(Tan et al., 2014b)	(Dahlan and Zainuddin, 2018)
Vertrags- und Risikomanagement	(Tan et al., 2014b)	(Dahlan and Zainuddin, 2018)
Vertrags- und Risikomanagement		(Tan et al., 2014a)

Effiziente Arbeitsabläufe und Ressourcen

Die kritischen Erfolgsfaktoren für Unternehmenspolitik und Effizienz der Arbeitsabläufe und Ressourcen umfassen Lernprozesse, Organisation und Arbeitsstruktur, Know-how in der Instandhaltungstechnologie, Marktanteil der Instandhaltung, Dienstleistungsangebot und Produktivität. Die Berücksichtigung dieser Faktoren ermöglicht es dem Unternehmen, die Fähigkeiten der Mitarbeiter zu verbessern, die Organisation zu optimieren, modernste Technologien einzusetzen, die Wettbewerbsfähigkeit zu stärken und die Produktivität zu steigern, was zu einer nachhaltigen und erfolgreichen Geschäftsentwicklung führen kann.

Tabelle A.21: Kritische Erfolgsfaktoren: Effiziente Arbeitsabläufe und Ressourcen

kritischer Erfolgsfaktor	Primärquelle	Sekundär- -quelle
Lernprozesse	(Ganisen et al., 2015)	(Dahlan and Zainuddin, 2018)
Organisation und Arbeitsstruktur		(Tan et al., 2014a)
Know-how in der Instandhaltungstechnologie	(Tsang et al., 1999)	(Tan et al., 2014a)
Marktanteil der Instandhaltung	(Yiu, 2008)	(Tan et al., 2014a)
Angebot an Dienstleistungen	(Zavadskas and Vilutienė, 2006)	(Tan et al., 2014a)
Produktivität	(Fowler et al., 2005), (Mendell and Heath, 2005), (Ilozor and Treloar, 2002), (Cohen et al., 2001), (Kagioglou et al., 2001), (Lebas, 1995), (Amaratunga et al., 2000), (Eagan and Joeres, 1997)	(Lavy et al., 2010)

A.2.4 Qualität

Zuverlässigkeit

Die kritischen Erfolgsfaktoren für Qualität und Zuverlässigkeit umfassen Anlagenzuverlässigkeit, Lebensdauerverlängerung, Anlagenleistung, Anlagenausrüstung und Servicezuverlässigkeit. Die Berücksichtigung dieser Faktoren ermöglicht es dem Unternehmen, die Anlagen effizient zu betreiben, ihre Lebensdauer zu verlängern, ihre Leistung zu verbessern und zuverlässige Dienstleistungen zu erbringen, was zur Steigerung der Kundenzufriedenheit und des Unternehmenserfolgs beiträgt.

Tabelle A.22: Kritische Erfolgsfaktoren: Zuverlässigkeit

kritischer Erfolgsfaktor	Primärquelle	Sekundär- -quelle
Zuverlässigkeit der Einrichtung	(Kwak et al., 2004), (Tan et al., 2014a)	(Shin et al., 2018)
Lebensdauer- verlängerung der Einrichtung	(Mukelas et al., 2012)	(Shin et al., 2018)
Leistung der Ein- richtung	(Tucker et al., 2014a)	(Shin et al., 2018)
Aufrüstung der Einrichtung	(Tucker et al., 2014a)	(Shin et al., 2018)
Zuverlässigkeit des Services		(Tan et al., 2014a)

Servicequalität

Zu den kritischen Erfolgsfaktoren für Servicequalität und -zuverlässigkeit gehören der Ruf des Unternehmens, die Servicequalität, die Reaktionsfähigkeit bei Zwischenfällen, die Kontrolle der Arbeitsausführung, die Erfahrung im Instandhaltungsgeschäft oder die Vertrautheit mit Instandhaltungsplänen, die Erfahrung im Instandhaltungsgeschäft und die Vertrautheit mit den örtlichen Instandhaltungspraktiken. Die Berücksichtigung dieser Faktoren fördert eine hohe Servicequalität, stärkt die Kundenbeziehungen, minimiert Ausfallzeiten und trägt zur kontinuierlichen Verbesserung der Dienstleistungen und des Unternehmenserfolgs bei.

Tabelle A.23: Kritische Erfolgsfaktoren: Servicequalität

kritischer Erfolgsfaktor	Primärquelle	Sekundär- -quelle
Unternehmens-reputation		(Tan et al., 2014a)
Qualität des Ser-vices		(Tan et al., 2014a)
Reaktionsfähigkeit bei Vorfällen		(Tan et al., 2014a)
Arbeitsausführungs-kontrolle		(Tan et al., 2014a)
Erfahrung im Wartungsgeschäft / Vertrautheit mit Wartung & anderen Wartungs-plänen	(Kalumbu et al., 2016), (Tan et al., 2014b)	(Dahlan and Zainud-din, 2018)
Erfahrung im War-tungsgeschäft	(Lu and Shen, 2008)	(Tan et al., 2014a)
Immobilien und Immobilien	(Brackertz, 2006), (Seebauer and Vinsiczay, 2006), (Hammond et al., 2005), (Baldwin et al., 2000), (Ho et al., 2000), (Douglas, 1994) (Lavy et al., 2010)	
Vertrautheit mit den örtlichen Gebäudeinstand-haltungspraktiken	(Shen et al., 2004), (Shen et al., 2006), (Tan et al., 2007)	(Tan et al., 2014a)

A.2.5 Sicherheit

Die kritischen Erfolgsfaktoren für Sicherheit umfassen die Sicherheit der Bewohner, Notfallvorsorge, Gesundheit und Sicherheit, Innenraumluftqualität und allgemeine Sicherheit. Die Berücksichtigung dieser Faktoren trägt dazu bei, potenzielle Risiken zu minimieren, ein gesundes und sicheres Umfeld für Bewohner und Mitarbeiter zu gewährleisten und das Vertrauen in die

Einrichtung zu stärken, was langfristig zur Stabilität und zum Erfolg des Unternehmens beiträgt.

Tabelle A.24: Kritische Erfolgsfaktoren: Sicherheit

kritischer Erfolgsfaktor	Primärquelle	Sekundär- -quelle
Sicherheit der Mieter	(Lai and Pang, 2010b), (Tan et al., 2014a)	(Shin et al., 2018)
Notfallvorbereitung	(Lai and Pang, 2010b), (Tan et al., 2014a)	(Shin et al., 2018)
Sicherheit der Mieter	(Tan et al., 2014a)	(Shin et al., 2018)
Gesundheit und Sicherheit	(Kyle, 2001), (Pitt and Tucker, 2008), (Gibberd, 2007), (Seebauer and Viniczay, 2006), (Mignola and Tery, 2006), (Hammond et al., 2005), (Leung et al., 2005), (Mendell and Heath, 2005), (Moore, 2008), (Cohen et al., 2001), (Epstein and Wisner, 2001), (Baldwin et al., 2000)	(Lavy et al., 2010)
Qualität der Innenraumlufth (Indoor Environmental Quality, IEQ)	(Pati et al., 2009b), (Gillespie et al., 2006a), (Preiser and Wang, 2006), (Pati et al., 2009a), (Fowler et al., 2005), (Leung et al., 2005), (Mendell and Heath, 2005), (Moore, 2008), (Cohen et al., 2001), (Sanoff, 2001), (Gursel et al., 2007), (Gillespie et al., 2006b)	(Lavy et al., 2010)
Sicherheit	(Chrusciel, 2006), (Mignola and Tery, 2006), (Preiser and Wang, 2006), (Hammond et al., 2005), (Leung et al., 2005), (Moore, 2008), (Sanoff, 2001), (Loosemore and Hsin, 2001), (Preiser, 1995), (Baldwin et al., 2000)	(Lavy et al., 2010)

A.3 Zertifizierungssysteme

A.3.1 DGNB

THEMEN- FELD	KRITERIENGRUPPE	KRITERIENBEZEICHNUNG	Neubau 2023	Sanierung 2023	Betrieb 2020	Rückbau 2020	Quartiere 2020	Innenräume 2018
ÖKOLOGISCHE QUALITÄT (ENV)	WIRKUNGEN AUF GLOBALE UND LOCALE UMWELT (ENV1)	ENV1.1 Ökobilanz des Gebäudes	x	x			x	x
		ENV1.2 Risiken für die lokale Umwelt	x	x			x	x
		ENV1.3 Verantwortungsbewusste Ressourcengewinnung	x	x				x
		ENV1.5 Stadtklima – Mesoklima					x	
		ENV1.8 Energieeffizienz und Klimaschutz						x
		ENV2.2 Trinkwasserbedarf und Abwasseraufkommen	x	x			x	
	RESSOURCENAN- SPRUCHNAHME UND ABFALLAUFKOMMEN (ENV2)	ENV2.3 Flächeninanspruchnahme	x	x				
		ENV2.4 Biodiversität am Standort	x	x			x	
		ENV1-B Klimaschutz und Energie			x			
	BETRIEB	ENV2-B Wasser			x			
		ENV3-B Wertstoffmanagement			x			
		ENV1-R Materialstrombilanz						
		ENV2-R Gefahrostoffsanierung						
ÖKONOMISCHE QUALITÄT (ECO)	LEBENSZYKLUSKOSTEN (ECO1)	ECO1.1 Gebäudebezogene Kosten im Lebenszyklus	x	x			x	x
		ECO2.1 Flexibilität und		x			x	x
	WERTENTWICKLUNG (ECO2)	ECO2.2 Marktfähigkeit		x				
		ECO2.3 Flächeneffizienz					x	
		ECO2.4 Wertstabilität	x				x	
		ECO2.5 Umweltrisiken					x	
		ECO2.6 Klimaresilienz	x					
		ECO2.7 Dokumentation	x					
	BETRIEB	ECO1-B Betriebskosten			x			
		ECO2-B Risikomanagement und Werterhalt			x			
		ECO3-B Beschaffung und Bewirtschaftung			x			
	RÜCKBAU	ECO1-R Risikobewertung und Kostensicherheit				x		
		ECO2-R Werte ausbaufähiger Ressourcen				x		
		SOC1.1 Thermischer Komfort	x	x			x	x
		SOC1.2 Innenraumluftqualität	x	x				x
		SOC1.3 Akustischer Komfort	x	x				x
SOZIOKULTURELLE UND FUNKTIONALE QUALITÄT (SOC)	GESUNDHEIT, BEHAGLICHKEIT UND NUTZERZUFRIEDENHEIT (SOC1)	SOC1.4 Visueller Komfort	x	x				x
		SOC1.5 Einflussnahme des Nutzers		x				
		SOC1.6 Aufenthaltsqualitäten innen und außen	x	x			x	x
		SOC1.7 Sicherheit		x				
		SOC1.8 Gesundheitsfördernde Angebote					x	x
		SOC1.9 Emissionen / Immissionen					x	
	FUNKTIONALITÄT (SOC2)	SOC2.1 Barrierefreiheit	x	x			x	x
		SOC3.1 Städtebau					x	
	SOZIOKULTURELLE QUALITÄT (SOC3)	SOC3.2 Soziale und funktionale Mischung					x	
		SOC3.3 Soziale und erwerbswirtschaftliche Infrastruktur					x	
	BETRIEB	SOC1-B Innenraumkomfort			x			
		SOC2-B Nutzerzufriedenheit			x			
		SOC3-B Mobilität			x			
		SOC1-R Projektkommunikation						
		SOC2-R Sicherheit				x		

Abbildung A.1: Übersicht aller Kriterien der DGNB Systeme - Teil 1
(eigene Darstellung)

TECHNISCHE QUALITÄT	QUALITÄT DER TECHNISCHEN AUSFÜHRUNG (TEC)	TEC1.2 Schallschutz		x					x
		TEC1.3 Qualität der Gebäudehülle	x	x					
		TEC1.4 Einsatz und Integration von Gebäudetechnik	x	x					
		TEC1.5 Reinigungsfreundlichkeit des Baukörpers		x					
		TEC1.6 Rückbau- und Recyclingfreundlichkeit	x	x					x
		TEC1.7 Immissionsschutz		x					
	TECHNISCHE INFRASTRUKTUR (TEC2)	TEC2.1 Energieinfrastruktur						x	
		TEC2.2 Wertstoffmanagement						x	
		TEC2.4 Smart Infrastructure						x	
	MOBILITÄT (TEC3)	TEC3.1 Mobilitätsinfrastruktur	x	x				x	
		TEC3.2 Mobilitätsinfrastruktur – Nichtmotorisierter Verkehr						x	
	RÜCKBAU	TEC1-R Verwertung und Entsorgung					x		
		TEC2-R Sortenreine Trennung und Kreislaufführung					x		
PROZESSQUALITÄT	QUALITÄT DER PLANUNG (PRO1)	PRO1.1 Qualität der Projektvorbereitung	x	x					x
		PRO1.2 Integrale Planung						x	
		PRO1.4 Sicherung der Nachhaltigkeitsaspekte in Ausschreibung und Vergabe	x	x					
		PRO1.5 Dokumentation für eine nachhaltige Bewirtschaftung		x					
		PRO1.6 Verfahren zur städtebaulichen und gestalterischen Konzeption	x	x					x
		PRO1.7 Partizipation						x	
		PRO1.8 Konzeptionierung und Voraussetzungen für eine optimale Nutzung						x	x
		PRO1.9 Governance						x	
		PRO1.10 Sicherheitskonzepte						x	
	QUALITÄT DER BAUAUSFÜHRUNG (PRO2)	PRO2.1 Baustelle / Bauprozess	x	x				x	x
		PRO2.2 Qualitätssicherung der Bauausführung		x					
		PRO2.3 Geordnete Inbetriebnahme	x	x					
		PRO2.4 Nutzerkommunikation		x					x
		PRO2.5 FM-gerechte Planung	x	x					
	QUALITÄTSSICHERUNG IN DER NUTZUNGSPHASE (PRO3)	PRO3.5 Qualitätssicherung und Monitoring						x	
	RÜCKBAU	PRO1-R Rückbauplanung					x		
		PRO2-R Ausschreibung					x		
		PRO3-R Qualitätssicherung und Dokumentation					x		
		PRO4-R Baustelle und Rückbauprozess					x		
STANDORT-QUALITÄT	STANDORTQUALITÄT (SITE)	SITE1.1 Mikrostandort	x	x					
		SITE1.2 Ausstrahlung und Einfluss auf das Quartier		x					
		SITE1.3 Verkehrsanbindung	x	x					
		SITE1.4 Nähe zu nutzungsrelevanten Objekten und Einrichtungen	x	x					

Abbildung A.2: Übersicht aller Kriterien der DGNB Systeme - Teil 2
(eigene Darstellung)

A.3.2 BiQ

1. Systemübersicht

- Dokumentation
- Betrieb und Wartung
- Festlegung von Leistungsanforderungen
- Inbetriebnahme
- Aus- und Weiterbildung
- Kosten-Nutzen-Analyse

2. Stromverteilung für Büros

- Elektrische Ausrüstung
- Verteilte Stromversorgung und USV

3. Sprach- und Datensysteme für Büros

- Infrastruktur
- Anpassungsfähigkeit
- Standby-Telekommunikation

4. Verbindungsoption für das Gebäude

5. Intelligente Gebäudesysteme

- Lebenssicherheitssysteme
- Sicherheitssysteme: Zugangskontrolltechnologien, Einbruchserkennung, Luftgetragene Kontaminationserkennung, Alarm, Überwachung und Meldung, Überwachung, Überwachungsaufzeichnung, Notfall-Sprachkommunikation
- Beleuchtungsfunktionen
- HLK-Funktionen
- Vertikale Transportfunktionen
- Sprach- und Datenkommunikationsfunktionen für öffentliche Räume

- Gebäudezustandsüberwachung
- 6. Gebäude-/Facility-Management-Anwendungen
 - Utility-Management
- 7. Betrieb im herabgesetzten Modus
 - Störungs- und Notbetrieb
- 8. Gebäudeautomatisierungsumgebung
 - Interaktion mit anderen Subsystemen
 - BAS-Infrastruktur
 - BAS-Funktionen
 - Verkabelung
 - Kommunikationsraum

A.3.3 Smart Readiness Indicator

Tabelle A.25: Gewichtungen $\omega_{d,ic}$ mit grün: Gewichtungen abhängig von Klimazonen; gelb: gleichverteilte Gewichtungen; orange: feste Gewichtungen

Nichtwohngebäude in Westeuropa	Energieeinsparung und Betrieb		Reaktion auf Benutzerbedürfnisse				Reaktion auf Bedürfnisse des Stromnetzes	
	Energieeffizienz ic_1	Wartung & Fehlerprognose ic_2	Komfort ic_3	Bequemlichkeit ic_4	Information für Bewohner ic_5	Gesundheit & Wohlbefinden ic_6	Energieflexibilität & Speicherung ic_7	
d_1 Heizung	0,2728	0,3166	0,16	0,1	0,1000	0,16	0,4066	
d_2 Warmwasser	0,0826	0,0958	0	0,1	0,1000	0	0,1231	
d_3 Kühlung	0,1267	0,1470	0,16	0,1	0,1000	0,16	0,1889	
d_4 Lüftung	0,1431	0,1661	0,16	0,1	0,1000	0,16	0	
d_5 Beleuchtung	0,1038	0	0,16	0,1	0	0,16	0	
d_6 Elektrizität	0,0211	0,0245	0	0,1	0,1000	0	0,0514	
d_7 Laden von Elektrofahrzeugen	0	0	0	0,1	0,1000	0	0,0500	
d_8 Dynamische Gebäudehülle	0,0500	0,0500	0,16	0,1	0,1000	0,16	0	
d_9 Überwachung & Steuerung	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	

Tabelle A.26: Funktionslevel $FL(S_{i,d})$ und Impact-Scores $I_{ic}(FL(S_{i,d}))$ des Services „Wärmeemissionsregelung“

Domain d_1 : Heizung Service ($S_{1,d}$): Wärmeemissionsregelung		Auswirkungen ic und Auswirkungsbewertung $I_{ic}(FL(S_{1,d}))$						
Funktionslevel $FL(S_{1,d})$		Energieeinsparung und Betrieb		Reaktion auf Nutzerbedürfnisse			Reaktion auf Bedürfnisse des Stromnetzes	
		Energieeffizienz ic_1	Wartung und Fehler- vorhersage ic_2	Komfort ic_3	Bequemlichkeit ic_4	Information für Bewohner ic_5	Gesundheit, Wohlbefinden ic_6	Energie- flexibilität und -speicherung ic_7
0	Keine automatische Regelung	0	0	0	0	0	0	0
1	Zentrale automatische Regelung (z. B. zentrales Thermostat)	1	0	1	1	0	1	0
2	Individuelle Raumregelung (z. B. Thermostatventile oder elektronischer Regler)	2	0	2	2	0	2	0
3	Individuelle Raumregelung mit Kommunikation zwischen Reglern und BACS	2	1	2	3	0	2	0
4	Individuelle Raumregelung mit Kommunikation und Anwesenheitserkennung	3	1	2	3	0	2	0

A.3.4 SmartScore

Tabelle A.27: Umfang des SmartScore-Zertifikat

Bereich			Credits	Subbereiche	
Benutzerfreundlichkeit	UF1	Zugang und Navigation	13	UF1:1	Gebäudezugang
				UF1:2	Besuchererlebnis
				UF1:3	Inklusive Wegeführung
				UF1:4	Aufzugsoptimierung
	UF2	Gesundheit und Wohlbefinden	15	UF2:1	Luftqualität
				UF2:2	Berichterstattung über das Wohlbefinden
				UF2:3	Benutzerkomfortkontrolle
				UF2:4	Komfortoptimierung
	UF3	Nachhaltigkeit	17	UF3:1	Energiemanagement
				UF3:2	Wasserbewirtschaftung
				UF3:3	Abfallwirtschaft
				UF3:4	Betriebskohlenstoff
				UF3:5	Embodied carbon
	UF4	Gemeinschaften und Dienstleistungen	11	UF4:1	Lokale Veranstaltungen und Dienstleistungen
				UF4:2	Lieferungsmanagement
				UF4:3	Buchung von Gemeinschaftsflächen
				UF4:4	EV-Laden
	UF5	Wartung und Betrieb	14	UF5:1	Gebäudereinigung
				UF5:2	Arbeitsauftragsverwaltung
				UF5:3	Fehlererkennung und -diagnose (FDD)
				UF5:4	Kosteneffiziente Instandhaltung
	UF6	Sicherheit und Schutz	10	UF6:1	Gebäudesicherheit
				UF6:2	Gebäudemutzung
				UF6:3	Notfallwarnungen
				UF6:4	Zugang für Dritte
Technologische Grundlage	TF1	Interoperabilität von Gebäudesystemen	7	TF1:1	Gebäudesystem-Internetverbindung
				TF1:2	Gebäudeautomation und -steuerung
				TF1:3	Gebäudesystemintegration
				TF1:4	Benutzererfahrungsplattform
	TF2	Cybersicherheit	6	TF2:1	Cybersecurity policy
				TF2:2	Umsetzung der Cybersicherheitsstrategie
				TF2:3	Laufende Bewertungen der Cybersicherheit
				TF2:4	Datenschutzpolitik
	TF3	Verwaltung von Gebäudedaten	7	TF3:1	Datenontologie
				TF3:2	Datenaggregation und -zugänglichkeit
				TF3:3	Dateneigentum und Segmentierung
				TF3:4	Asset-Informationsmodell
	IN1	Innovation	5	IN1:1	Innovation

A.4 SRI Berechnungsmethode

In jeder Abbildung wurden drei verschiedene Berechnungen durchgeführt. Dabei wurde jeweils angenommen, dass alle Service der Domain in der Überschrift das höchste Level haben, während alle anderen Service der anderen acht Domains das niedrigste Level aufweisen und alle Service außer EV-16 (aufgrund des negativen Impact-Scores in Level 0 durch die Auswirkungen der Energieflexibilität) vorhanden sind.

EU-SRI Der SRI wird mit den gegebenen 54 Services berechnet, ohne weitere Service hinzuzufügen.

EU-SRI + 1 Service Ein Service mit den Parametern aus Tabelle 5.25 wird der Domain in der Überschrift hinzugefügt. Wenn jedoch das Gewicht aus Tabelle 3.10 für die entsprechende Domain und den entsprechenden Impact gleich null ist, wird kein Impact-Score für das neu hinzugefügte Service für diesen entsprechenden Impact und dieser Domain festgelegt ($FL_{max}(S_{i,d}) = 0$).

Erwarteter SRI Dies spiegelt den erwarteten Wert aller SRI-Werte wider, wobei die Werte für die Impacts aus der entsprechenden Zeile von Tabelle A.25 entnommen werden. Der Gesamt-SRI-Wert wird für jede Domain mit Tabelle 3.11 und Tabelle 3.10 gemäß Gleichung 5.1 berechnet.

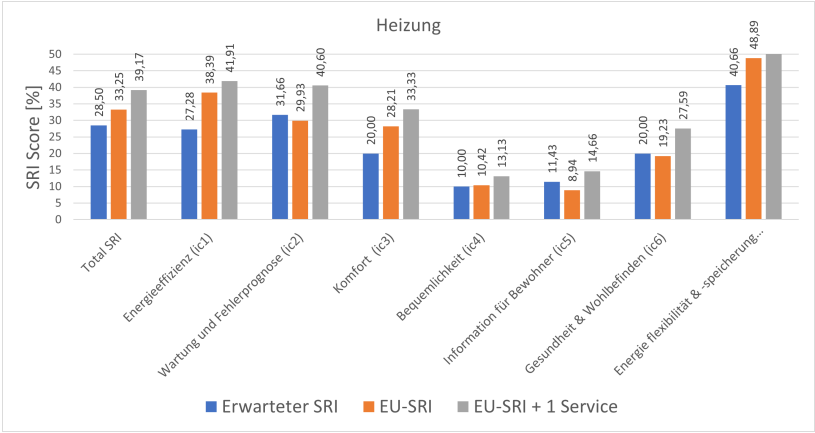


Abbildung A.3: Berechnungsmethode: Heizung (eigene Darstellung)

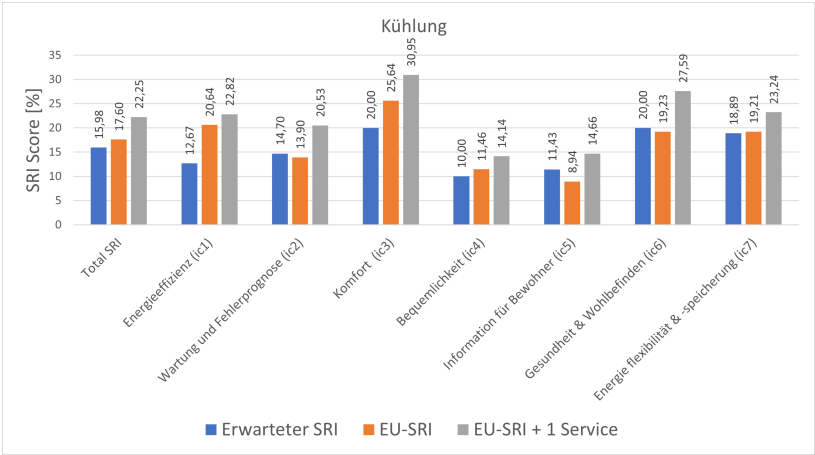


Abbildung A.4: Berechnungsmethode: Kühlung (eigene Darstellung)

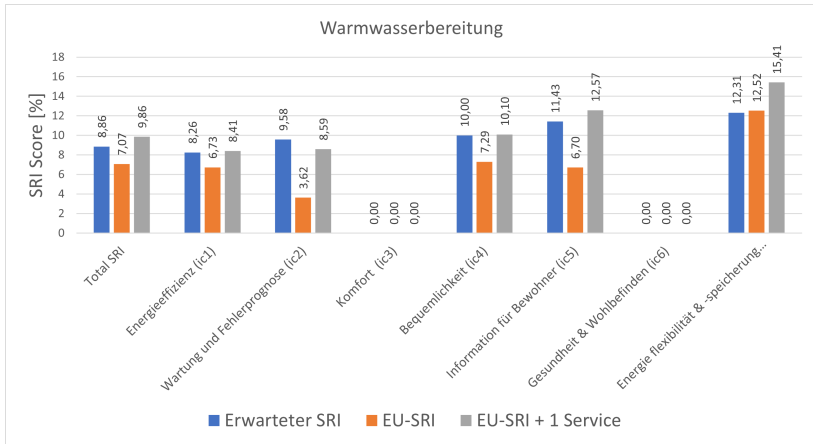


Abbildung A.5: Berechnungsmethode: Warmwasseraufbereitung (eigene Darstellung)

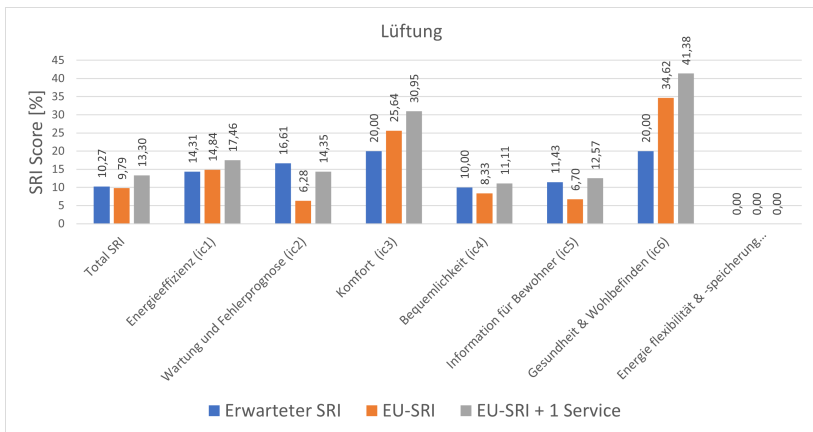


Abbildung A.6: Berechnungsmethode: Belüftung (eigene Darstellung)

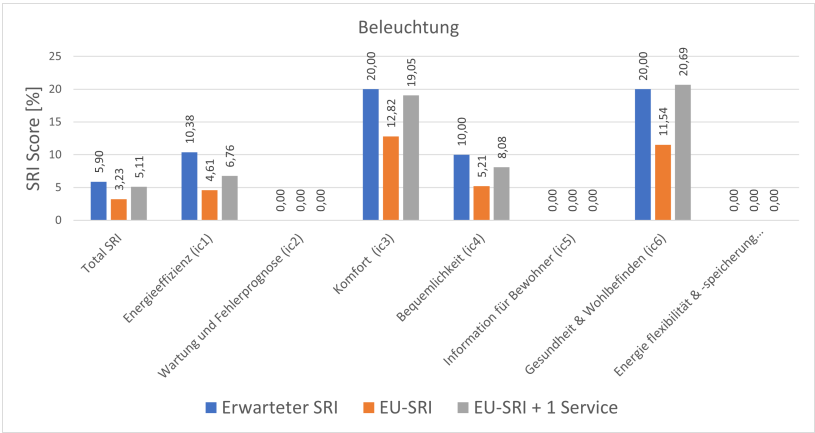


Abbildung A.7: Berechnungsmethode: Beleuchtung (eigene Darstellung)

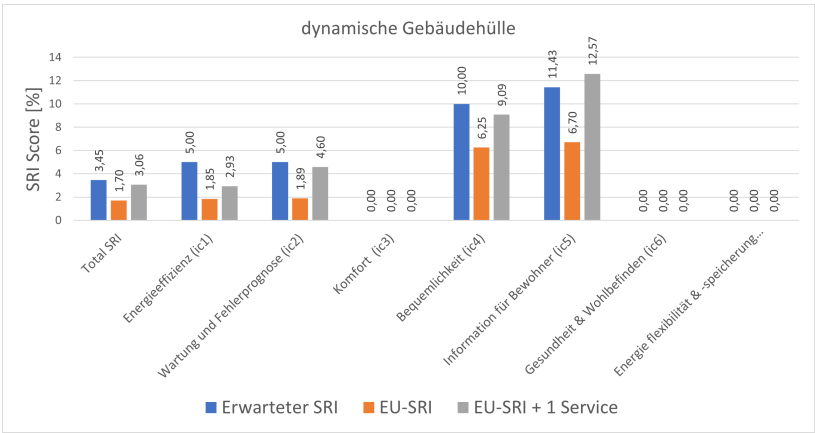


Abbildung A.8: Berechnungsmethode: Dynamische Gebäudehülle (eigene Darstellung)

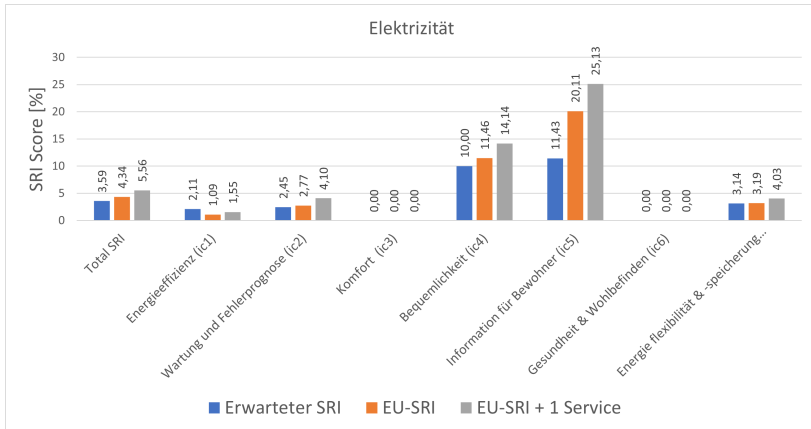


Abbildung A.9: Berechnungsmethode: Elektrizität (eigene Darstellung)

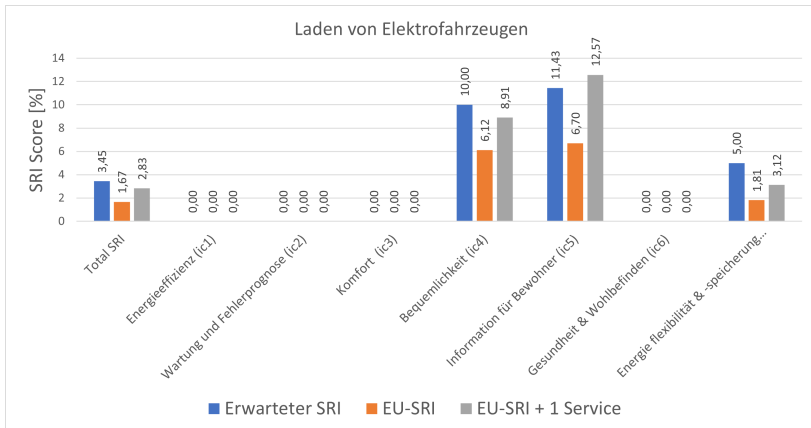


Abbildung A.10: Berechnungsmethode: Elektrofahrzeuge (eigene Darstellung)

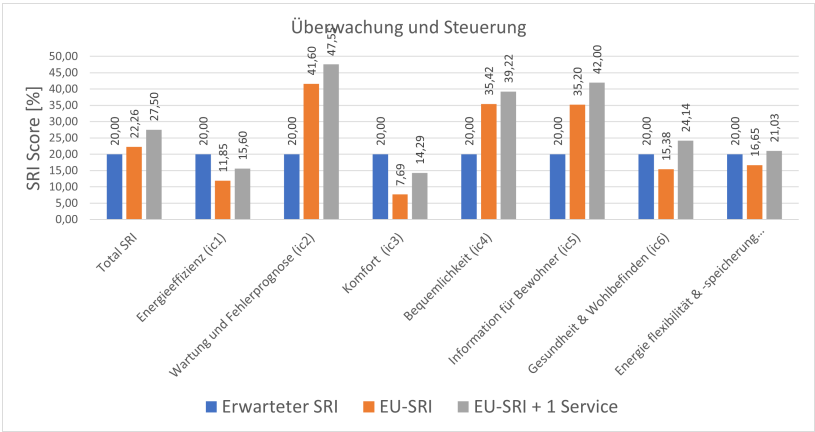


Abbildung A.11: Berechnungsmethode: Überwachung und Steuerung (eigene Darstellung)

A.5 Rucksackproblem

Tabelle A.28: id Zuordnung der Services

1	H-1a	16	C-1a	32	L-1a	47	MC-3
2	H-1b	17	C-1b	33	L-2	48	MC-4
3	H-1c	18	C-1c	34	DE-1	49	MC-9
4	H-1d	19	C-1d	35	DE-2	50	MC-13
5	H-1f	20	C-1f	36	DE-4	51	MC-25
6	H-2a	21	C-1g	37	E-2	52	MC-28
7	H-2b	22	C-2a	38	E-3	53	MC-29
8	H-2d	23	C-2b	39	E-4	54	MC-30
9	H-3	24	C-3	40	E-5		
10	H-4	25	C-4	41	E-8		
11	DHW-1a	26	V-1a	42	E-11		
12	DHW-1b	27	V-1c	43	E-12		
13	DHW-1d	28	V-2c	44	EV-15		
14	DHW-2b	29	V-2d	45	EV-16		
15	DHW-3	30	V-3	46	EV-17		
		31	V-6				

Tabelle A.29: SRI-Score für
jedes Level

Service	Level	SRI-Score
1	0	0,00%
1	1	0,67%
1	2	1,34%
1	3	2,47%
1	4	2,69%
2	0	0,00%
2	1	0,67%
2	2	1,01%
2	3	2,71%
3	0	0,00%
3	1	0,40%
3	2	0,62%
4	0	0,00%
4	1	0,22%
4	2	0,43%
4	3	0,43%
4	4	0,43%
5	0	0,00%
5	1	0,22%
5	2	1,67%
5	3	2,90%
6	0	0,00%
6	1	0,33%
6	2	0,66%
7	0	0,00%
7	1	1,56%
7	2	1,89%
7	3	4,35%

Tabelle A.30: SRI-Score für
jedes Level (Fortsetzung)

Service	Level	SRI-Score
8	0	0,00%
8	1	0,22%
8	2	1,67%
8	3	3,11%
8	4	4,35%
9	0	0,00%
9	1	1,51%
9	2	1,75%
9	3	1,99%
9	4	4,17%
10	0	0,00%
10	1	0,40%
10	2	2,04%
10	3	4,58%
10	4	4,96%
11	0	0,00%
11	1	0,62%
11	2	1,23%
11	3	1,61%
12	0	0,00%
12	1	0,62%
12	2	1,23%
12	3	1,61%
13	0	0,00%
13	1	0,24%
13	2	0,86%
13	3	1,36%

Tabelle A.31: SRI-Score für
jedes Level (Fortsetzung)

Service	Level	SRI-Score
14	0	0,00%
14	1	0,13%
14	2	0,62%
14	3	1,12%
14	4	1,49%
15	0	0,00%
15	1	1,24%
15	2	1,56%
15	3	1,88%
15	4	2,79%
16	0	0,00%
16	1	0,57%
16	2	0,91%
16	3	1,71%
16	4	1,81%
17	0	0,00%
17	1	0,57%
17	2	0,84%
17	3	1,95%
18	0	0,00%
18	1	0,31%
18	2	0,40%
19	0	0,00%
19	1	0,10%
19	2	0,19%
19	3	0,19%
19	4	0,19%
20	0	0,00%
20	1	0,19%
20	2	0,29%

Tabelle A.32: SRI-Score für
jedes Level (Fortsetzung)

Service	Level	SRI-Score
21	0	0,00%
21	1	0,10%
21	2	0,76%
21	3	1,34%
22	0	0,00%
22	1	0,80%
22	2	1,03%
22	3	2,18%
23	0	0,00%
23	1	0,10%
23	2	0,76%
23	3	1,43%
23	4	2,00%
24	0	0,00%
24	1	0,82%
24	2	1,06%
24	3	1,30%
24	4	2,36%
25	0	0,00%
25	1	0,31%
25	2	1,18%
25	3	2,40%
25	4	2,80%
26	0	0,00%
26	1	0,56%
26	2	0,94%
26	3	1,50%
26	4	1,67%
27	0	0,00%
27	1	0,17%
27	2	0,34%
27	3	0,51%
27	4	0,51%

Tabelle A.33: SRI-Score für jedes Level (Fortsetzung)

Service	Level	SRI-Score
28	0	0,00%
28	1	0,56%
28	2	1,11%
29	0	0,00%
29	1	0,41%
29	2	0,71%
29	3	0,88%
30	0	0,00%
30	1	0,93%
30	2	1,10%
30	3	1,27%
31	0	0,00%
31	1	2,00%
31	2	2,46%
31	3	4,16%
32	0	0,00%
32	1	0,72%
32	2	1,44%
32	3	1,73%
33	0	0,00%
33	1	0,72%
33	2	1,45%
33	3	2,62%
33	4	3,50%
34	0	0,00%
34	1	0,57%
34	2	1,21%
34	3	2,12%
34	4	2,72%
35	0	0,00%
35	1	0,74%
35	2	1,34%
35	3	1,48%

Tabelle A.34: SRI-Score für jedes Level (Fortsetzung)

Service	Level	SRI-Score
36	0	0,00%
36	1	0,73%
36	2	1,05%
36	3	1,37%
36	4	1,92%
37	0	0,00%
37	1	0,22%
37	2	0,33%
37	3	0,44%
37	4	0,58%
38	0	0,00%
38	1	0,25%
38	2	0,34%
38	3	0,34%
38	4	0,44%
39	0	0,00%
39	1	0,17%
39	2	0,34%
39	3	0,44%
40	0	0,00%
40	1	0,22%
40	2	0,37%
41	0	0,00%
41	1	0,34%
41	2	0,34%
41	3	0,51%
42	0	0,00%
42	1	0,22%
42	2	0,33%
42	3	0,44%
42	4	0,58%

Tabelle A.35: SRI-Score für
jedes Level (Fortsetzung)

Service	Level	SRI-Score
43	0	0,00%
43	1	0,11%
43	2	0,26%
43	3	0,49%
43	4	0,68%
44	0	0,00%
44	1	0,14%
44	2	0,28%
44	3	0,42%
44	4	0,42%
45	0	-0,83%
45	1	0,69%
45	2	1,53%
46	0	0,00%
46	1	0,77%
46	2	1,51%
47	0	0,00%
47	1	1,81%
47	2	3,30%
47	3	4,55%
48	0	0,00%
48	1	1,00%
48	2	2,01%
48	3	3,01%
49	0	0,00%
49	1	1,37%
49	2	1,68%
50	0	0,00%
50	1	1,00%
50	2	1,59%
50	3	2,18%

Tabelle A.36: SRI-Score für
jedes Level (Fortsetzung)

Service	Level	SRI-Score
51	0	0,00%
51	1	1,48%
51	2	2,74%
52	0	0,00%
52	1	1,11%
52	2	2,34%
53	0	0,00%
53	1	0,44%
53	2	0,84%
53	3	1,24%
53	4	2,08%
54	0	0,00%
54	1	0,40%
54	2	0,92%
54	3	1,43%

A.6 Erweiterung der SRI-Methodik

A.6.1 Services

Tabelle A.37: Fünf erarbeitete Domains mit Services und Bewertung nach 2. Workshop

#	Service	LVL	Funktionslevels	Kommentar
IT-1	Digitale Aktenführung	0	Keine digitale Akten vorhanden	wird übernommen
		1	unstrukturierte digitale Daten, welche zur weiteren Verarbeitung manuell Interpretiert werden müssen (.png, .pdf, ...)	
		2	strukturierte Daten, die geteilt werden können (CAD, CAFM, BIM-Modell, ...)	
		3	strukturierte Daten, die auf einer Plattform geteilt werden und Änderungen für alle aktualisiert werden (CAD, CAFM, BIM-Modell, ...)	
		4	Schnittstelle, sodass Daten von Dritten ergänzt werden können und für Berechtigte einsehbar ist	
IT-2	Datenkommunikation	0	Keine digitale Datenkommunikation vorhanden	in den Levels direkt enthalten
		1	Lesen	
		2	Lesen in Echtzeit	
		3	Lesen und Schreiben	
		4	Lesen und Schreiben in Echtzeit	
IT-3	Funkstandards	0	Keine Funkstandard vorhanden	wird nicht angepasst, da vorwiegend blaue Aufkleber
		1	Verwendung von proprietären Systemen: Kommunikation von Anbieter stark einschränkt (Loxone,...)	
		2	Halb-Offene Systeme: Manche Systeme können integriert werden (EnOcean,...)	
		3	Offene Systeme: Es gibt Schnittstellen und hohe Kompatibilität zu vielen Lösungen (Wlan, Bluetooth, ZigBee, Z-Wave, ...)	
		4	NA	
IT-4		0	Keine Sprachkommunikation vorhanden	
		1	Gesteuerte Ausgabetechnologien in den Allgemeinbereichen auf Gebäudeebene (Lautsprecher)	

Tabelle A.37 Fortsetzung
Funktionslevels

#	Service	LVL	Funktionslevels	Kommentar
	Sprach-kommuni-kation	2	Gesteuerte Ausgabetechnologien auf Raum- oder Zonenebene mit Schnittstellen	wird übernommen
		3	Ein- und Ausgabetechnologien in den Allgemeinbereichen auf Gebäudeebene (Lautsprecher und Mikrofon)	
		4	Ein- und Ausgabetechnologien auf Raum- oder Zonenebene mit Schnittstellen (Lautsprecher und Mikrofon)	
IT-5	Konnek-tivität: Wlan	0	Flächenabdeckung: 0 - 50%	Mit IT-8 zu IT-5 kombiniert
1		Flächenabdeckung: 50 -70%		
2		Flächenabdeckung: 70 -80%		
3		Flächenabdeckung: 80 -90%		
		4	Flächenabdeckung: 90 -100%	
IT-6	Cyber-security	0	NA	weitere Experten benötigt
		1	NA	
		2	NA	
		3	NA	
		4	NA	
IT-7	Konnek-tivität: Mobiles Internet	0	Kein Flächendeckender Empfang	wird übernommen
		1	Flächendeckender Empfang von Edge (max. Bandbreite 220 Kbit/s)	
		2	Flächendeckender Empfang von 3G (max. Bandbreite 42 Mbit/s)	
		3	Flächendeckender Empfang von 4G (max. Bandbreite ca. 150 Mbit/s)	
		4	Flächendeckender Empfang von 5G (max. Bandbreite 10 Gbit/s)	
IT-8		0	None oder geringer als Wifi 4	Mit IT-5 zu IT-5 kombiniert
		1	Wi-Fi 4 (Maximale Datenübertragungsrate 289 Mbit/s bis zu 600 Mbit/s)	
		2	Wi-Fi 5 (Maximale Datenübertragungsrate 433 Mbit/s bis zu 1299 Mbit/s - 80 MHz Kanalbreite)	

Tabelle A.37 Fortsetzung
Funktionslevels

#	Service	LVL		Kommentar
	Wlan	3	Wi-Fi 6 (Maximale Datenübertragungsrate bis zu 10 Gbit/s -160 MHz Kanalbreite)	
		4	NA	
IT-9		0	weniger als 50 Mb/s im upload und download	
	Gebäude-anschluss:	1	zwischen 50 Mb/s und 100 Mb/s im upload und download	
		2	zwischen 100 Mb/s und 250 Mb/s im upload und download	
	Breitband	3	zwischen 250 Mb/s und 750 Mb/s im upload und download	
		4	Mehr als 750 Mb/s im upload und download	wird übernommen
IT-10		0	Flächenabdeckung: 0 - 50%	
	Konnektivität:	1	Flächenabdeckung: 50 -70%	
	Gebäudeprotokoll	2	Flächenabdeckung: 70 -80%	
		3	Flächenabdeckung: 80 -90%	
		4	Flächenabdeckung: 90 -100%	wird weiter aufgeteilt
FS-1		0	None	
	Reinigung	1	Bedarfsorientiert Reinigungserkennung (Präsenzmelder, Zähler, ...)	
		2	Teilautomatisierte Reinigung	
		3	Vollautomatisierte Reinigung	wird zu FM-1 angepasst
FS-2		0	None	
	Bewirtung	1	Abschätzung des Tagesbedarfs durch Präsenzmelder und Auslastung	
		2	Abschätzung des Tagesbedarfs durch vorherige Befragung	
		3	NA	keine smartness eines Gebäudes
FS-3	Brand-	0	gesetzliche Anforderungen	
	schutz:	1	Fluchtrouten werden aktiv angezeigt	
	Fluchtweg	2	NA	keine smartness eines Gebäudes
FS-4		0	None	
		1	Einbruchs-Sicherheitssysteme mit Datenspeicherung	Gebäude

Tabelle A.37 Fortsetzung
Funktionslevels

#	Service	LVL		Kommentar
	Einbruchs-Sicherheits-systeme	2	Bewegungsdetektion verbunden mit Alarmsystemen und Einbruchs-Sicherheitssysteme	wird zu FM-4 angepasst
		3	Bewegungsdetektion verbunden mit Einbruchs-Sicherheitszentrale	
		4	NA	
FS-5		0	None	
	Parkraum	1	Schrankensysteme mit KFZ-Kennzeichenerkennung	Mit Ersch-4 zu FM-8 kombiniert
		2	Parkleitsysteme	
		3	Onlineabrufbare Auslastungsanzeige und -prognosen	
		4	NA	
FS-6		0	None	
	Hauspost	1	Manuelle Verteilung	Mit Ein-5 zu FM-2 kombiniert
		2	Automatische Verteilung	
		3	NA	
		4	NA	
Ent-1		0	Standard Mülltonnen	
		1	Volumen- und Bedarfsgesteuerter Müllabholung (z.B. Gewichtserkennung in der Mülltonne)	
	Abfall	2	Automatische Überprüfung der korrekten Trennung	wird zu FM-3 angepasst
		3	Feedback an Nutzer durch individueller Report (lokales Benchmark) und individuelle Abrechnung durch nutzerbezogene Verwiegung	
		4	NA	
Ent-2	Kreislauf	0	Verwendung von Einwegprodukten in allen Prozessen (z.B. Parkticket, Wartenummer, Besucherausweis, ...)	
		1	Verwendung von Mehrwegprodukten in allen Prozessen (z.B. Parkscheibe, Plastikkarte, Tischaufsteller, ...)	keine smartness eines Gebäude
	wirtschaft Interne	2	Verwendung von digitalen Produkten in allen Prozessen (QR-Code auf dem Mobiltelefon)	

**Tabelle A.37 Fortsetzung
Funktionslevels**

#	Service	LVL		Kommentar
		3	NA	
	Prozesse	4	NA	
Ent-3		0	None	
		1	unstrukturierte digitale Daten, welche zur weiteren Verarbeitung manuell Interpretiert werden müssen (.png, .pdf, ...)	
	Sonder- abfall- Katastar	2	strukturierte digitale Daten, die geteilt werden können (CAFM, BIM-Modell, ...)	keine smartness eines Gebäude
		3	aktive Handlungsempfehlung	
		4	NA	
Ein-1	Inventar-0		Aufkleber	
	isierung der		QR Code / Strichcode	
	Assets, die in		Kurzdistanz RFID/NFC	
	AVA aufgeführt		RFID/NFC auf mehrere Meter, Inventarisierung durch "vorbeigehen"	keine smartness eines Gebäude
	sinc	4	Aktiver Sender (z.B. Beacons)	
Ein-2		0	None	
	Flächen- nutzung	1	Präsenzmelder auf Gebäudeebene	Bereits in einzelnen Services enthalten
		2	Präsenzmelder auf Zonen / Raumbene (Anzahl der Personen)	
		3	Präsenzmelder auf Arbeitsplatzebene (Anzahl der Personen)	
		4	NA	
Ein-3		0	None	
	Vending Maschinen	1	Digitale Karte: Wo finde ich was?	
		2	Echtzeit Information des Bestands + Nachbestellung	keine smartness eines Gebäude
		3	Regelbasierte Parametereinstellungen (z.B. Energieeffizienz)	
		4	Dynamische bedarfsorientierte Parametereinstellungen (z.B. Energieeffizienz, Verschleiß)	
Ein-4		0	Bargeld	

Tabelle A.37 Fortsetzung
Funktionslevels

#	Service	LVL	Funktionslevels	Kommentar
	Bezahl-systeme	1	Bargeldlose interne Systeme (Mitarbeiterausweis) oder Kredit & EC-Karte	keine smartness eines Gebäude
		2	Manuelle Self Service Kasse	
		3	Vollautomatisierte Self Service Kasse	
		4	NA	
Ein-5	Paket-lieferung	0	None	Mit FS-6 zu FM-2 kombiniert
		1	Fest zugeordnete Fächer	
		2	Flexibel zugeordnete Fächer mit dynamischem Key (QR Code, RFID o.ä.)	
		3	Zukunft: Drohnenlandeplatz	
		4	NA	
Ersch-1	Förder-anlagen	0	Vorhanden	wird zu FM-5 angepasst
		1	Komponenten Optimierung (z.B. LED, Anfahrtsgeschwindigkeit, Motorsteuerung)	
		2	Statische regelbasierte Steuerung, mit interner Sensorik	
		3	Erweiterte Ist-Zustand-Erfassung durch Sensorik mit Fernzugriff und Reports	
		4	"KI"gesteuerter Aufzug / Mustererkennung	
Ersch-2	Raum-buchung	0	None	wird zu FM-6 angepasst
		1	Digitales Raumbuchungssystem mit Darstellung an den Räumen in Echtzeit	
		2	Intelligente Lüftungs und Heizungssteuerung durch Präsenzerkennung sowie manuelle Analyse der Historie	
		3	Prognose aus den historischen Daten und automatische Steuerung	
		4	NA	

Tabelle A.37 Fortsetzung				Kommentar
#	Service	LVL	Funktionslevels	
Ersch-3	Schlüsselmanagement	0	Physischer Schlüssel	wird zu FM-7 angepasst
		1	Digitale Zugangsmethode (z.B. Chip-Karte, digitale Schließzylinder) auf Gebäudeebene mit Rollenmanagement in Echtzeit	
		2	Digitale Zugangsmethode (z.B. Chip-Karte, digitale Schließzylinder) auf Raumebene mit Rollenmanagement in Echtzeit	
		3	Code basierter Zugang auf Raumebene mit Rollenmanagement in Echtzeit (Zahlencode, QR-Code)	
		4	NA	
Ersch-4	Informationsinfrastruktur-Leitsystem	0	Empfangsschalter	Mit FS-5 zu FM-8 kombiniert
		1	Automatisierte elektronische Voranmeldung, durch angaben von relevanten Daten (KFZ-Kennzeichen, Personalausweis, Besuchergrund, ...) und automatisierte teilen von benötigten Daten (Tagespässe, Anfahrtskizze, ...)	
		2	Digitaler Orientierungsplan	
		3	Mobiles Navigationssystem auf Quartiersebene	
		4	Mobiles Navigationssystem auf Gebäudeebene	

Tabelle A.38: Zwei erarbeitete Domains mit Services und Bewertung nach 3. Workshop

#	Service	LVL	Funktionslevels	Kommentar
IT-1	Digitale Aktenführung	0	Keine digitale Akten vorhanden	wird angepasst
		1	unstrukturierte digitale Daten, welche zur weiteren Verarbeitung manuell Interpretiert werden müssen (.png, .pdf, ...)	
		2	strukturierte Daten, die geteilt werden können (CAD, CAFM, BIM-Modell, ...)	
		3	strukturierte Daten, die auf einer Plattform geteilt werden und Änderungen für alle aktualisiert werden (CAD, CAFM, BIM-Modell, ...)	
		4	Schnittstelle, sodass Daten von Dritten ergänzt werden können und für Berechtigte einsehbar sind	
IT-3	Funkprotokolle	0	Keine Funkstandard vorhanden	wird nicht angepasst, da vorwiegend blaue Aufkleber
		1	Verwendung von proprietären Systemen: Kommunikation von Anbieter stark einschränkt (Loxone,...)	
		2	Halb-Offene Systeme: Manche Systeme können integriert werden (EnOcean,...)	
		3	Offene Systeme: Es gibt Schnittstellen und hohe Kompatibilität zu vielen Lösungen (Wlan, Bluetooth, ZigBee, Z-Wave, ...)	
		4	NA	
IT-4	Sprachkommunikation	0	Keine Sprachkommunikation vorhanden	wird angepasst
		1	Gesteuerte Ausgabetechnologien in den Allgemeinbereichen auf Gebäudeebene (Lautsprecher)	
		2	Gesteuerte Ausgabetechnologien auf Raum- oder Zonenebene mit Schnittstellen	
		3	Ein- und Ausgabetechnologien in den Allgemeinbereichen auf Gebäudeebene (Lautsprecher und Mikrofon)	
		4	Ein- und Ausgabetechnologien auf Raum- oder Zonenebene mit Schnittstellen (Lautsprecher und Mikrofon)	

Tabelle A.38 Fortsetzung

#	Service	LVL	Funktionslevels	Kommentar
IT-5		0	Flächenabdeckung: 0 - 50% und geringer als Wifi 4	wird angepasst
		1	Flächenabdeckung: 50 -70% und Wi-Fi 4 (Maximale Datenübertragungsrate 289 Mbit/s bis zu 600 Mbit/s)	
		2	Flächenabdeckung: 70 -80% und Wi-Fi 5 (Maximale Datenübertragungsrate 433 Mbit/s bis zu 1299 Mbit/s - 80 MHz Kanalbreite)	
	Konnektivität: Wlan	3	Flächenabdeckung: 80 -90% und Wi-Fi 6 (Maximale Datenübertragungsrate bis zu 10 Gbit/s - 160 MHz Kanalbreite)	
		4	Flächenabdeckung: 90 -100% und Wi-Fi 6 (Maximale Datenübertragungsrate bis zu 10 Gbit/s - 160 MHz Kanalbreite)	
IT-6		0	NA	weitere Experten benötigt
	Cyber-	1	NA	
	security	2	NA	
		3	NA	
		4	NA	
IT-7	Konnektivität: Netzab-	0	Kein Flächendeckender Empfang	wird angepasst
	deckung für	1	Flächendeckender Empfang von Edge (max. Bandbreite 220 Kbit/s)	
	Mobiles	2	Flächendeckender Empfang von 3G (max. Bandbreite 42 Mbit/s)	
	Internet	3	Flächendeckender Empfang von 4G (max. Bandbreite ca. 150 Mbit/s)	
	und Tele.	4	Flächendeckender Empfang von 5G (max. Bandbreite 10 Gbit/s)	
IT-9	Gebäude-	0	weniger als 50 Mb/s im upload und download	wird über- nommen
	anschluss	1	zwischen 50 Mb/s und 100 Mb/s im upload und download	
	Breitband	2	zwischen 100 Mb/s und 250 Mb/s im upload und download	

Tabelle A.38 Fortsetzung
Funktionslevels

#	Service	LVL		Kommentar
		3	zwischen 250 Mb/s und 750 Mb/s im upload und download	
		4	Mehr als 750 Mb/s im upload und download	
IT-10	Konnektivi-0		Flächenabdeckung: 0 - 50%	Wird durch Aufteilung der Levels abgedeckt + Kombination mit IT-3
	tät: Short 1		Flächenabdeckung: 50 -70%	
	Range Funk-2		Flächenabdeckung: 70 -80%	
	protokolle 3		Flächenabdeckung: 80 -90%	
	(Z-Wave, 4		Flächenabdeckung: 90 -100%	
	Zigbee,			
	RFID,			
	Bluetooth)			
	(Wifi			
	ausge-			
	nommen			
IT-11		0	Flächenabdeckung: 0 - 50%	Wird durch Aufteilung der Levels abgedeckt + Kombination mit IT-3
	Konnektivi-1		Flächenabdeckung: 50 -70%	
	tät: Long 2		Flächenabdeckung: 70 -80%	
	Range Funk-3		Flächenabdeckung: 80 -90%	
	protokolle 4		Flächenabdeckung: 90 -100%	
	(LoRaWAN,			
	Sigfox)			
	(LTE			
	ausge-			
	nommen)			
FM-1	Reinigung	0	None	wird angepasst
		1	Nutzer Feedback	
		2	Teilautomatisierte Reinigung	

Tabelle A.38 Fortsetzung
Funktionslevels

#	Service	LVL		Kommentar
		3	Vollautomatisierte Reinigung	
		4	Verarbeitung der Daten / Hotspot Analyse ???	
FM-2	Paket- annahme	0	None	
		1	Fest zugeordnete Paketfächer	wird angepasst
		2	Flexibel zugeordnete Fächer mit dynamischen Key (QR Code, RFID, ...)	
		3	NA	
		4	NA	
FM-3	Abfall	0	Standard Mülltonnen	
		1	Volumen- und Bedarfsgesteuerter Müllabholung (z.B. Gewichtserkennung in der Mülltonne)	
		2	Automatische Abfallzuordnung an Verbraucher mit Feedback an Nutzer durch individuellen Report (lokales Benchmark) und individueller Abrechnung durch nutzerbezogene Verwiegung sowie Prognose mit Volumen Anpassung (Jahreszeit)	wird angepasst
		3	NA	
		4	NA	
FM-4	Gebäude- schutz	0	None	
		1	Einbruchs-Sicherheitssysteme mit Datenspeicherung (lokales passives System)	
		2	(lokal aktiv) (Bewegungs-)detektion verbunden mit lokalen Alarmsystemen (visueller und/oder akustischer Aktor)	
		3	(global aktiv) (Bewegungs-)detektion verbunden mit lokalen Alarmsystemen (visueller und/oder akustischer Aktor) und Einbruchs-Sicherheitssysteme in der Ferne	wird angepasst
		4	(global aktiv bidirektional) Bewegungsdetektion verbunden mit Alarmsystemen mit Einbruchs- Sicherheitszentrale (Fernwirktechnik / Aktive Einflussnahme durch beispielsweise Lautsprecher)	

Tabelle A.38 Fortsetzung
Funktionslevels

#	Service	LVL		Kommentar
FM-5		0	Vorhanden	
		1	Energieeffizienter Aufzug mit entsprechenden Komponenten (LED, Anfahrtsgeschwindigkeit, Motorsteuerung)	
	Personen- beförderung	2	regelbasierte Steuerung, mit interner Sensorik	
	Anlagen	3	Erweiterte Ist-Zustand-Erfassung durch Sensorik mit Fernzugriff und Reports	wird angepasst
		4	"KI"gesteuerter Aufzug / Mustererkennung	
FM-6		0	None	
		1	Digitales Raumbuchungssystem mit Darstellung an den Räumen in Echtzeit	
	Raum- buchung	2	Prognose aus den aktuellen und historischen Daten und automatische Steuerung bzw. Blockierung/Sperrung eines Konferenzraums	wird angepasst
		3	NA	
		4	NA	
FM-7		0	Physischer Schlüssel	
		1	Digitale Zugangsmethode (z.B. Chip-Karte, digitale Schließzylinder) auf Gebäudeebene mit Rollenmanagement in Echtzeit	
		2	Digitale Zugangsmethode (z.B. Chip-Karte, digitale Schließzylinder) auf Raumebene mit Rollenmanagement in Echtzeit	
	Schlüssel- management	3	Code basierter Zugang auf Raumebene mit Rollenmanagement in Echtzeit (Zahlencode, QR-Code)	wird etwas angepasst
		4	biometrischer Zutrittskontrolle	
FM-8		0	Empfangsschalter (analog)	
		1	Empfangsschalter (digital)	

Tabelle A.38 Fortsetzung
Funktionslevels

#	Service	LVL		Kommentar
	Besucherleitsystem	2	Automatisierte elektronische Voranmeldung, durch angaben von relevanten Daten (KFZ-Kennzeichen, Personalausweis, Besuchergrund, ...) und automatisierte teilen von benötigten Daten (Tagespässe, Anfahrtsskizze, Digitaler Orientierungsplan,...)	wird angepasst
		3	Mobiles Navigationssystem zum Gebäude	
		4	Mobiles Navigationssystem zum Raum	
FM-9		0	None	
	Robotik	1	Infrastruktur (Lade-, Parkmöglichkeit, ...) für Roboter vorhanden ohne dass Nutzer beeinträchtigt wird	wird angepasst
		2	Robotergerichte Verkehrswege	
		3	Robotergerichter Raumzugang (Hat der Roboter Raumzugang)	
		4	Robotergerichter Raumzugang auf Gebäudeebene (Kann ein Roboter das Stockwerk wechseln durch beispielweise die Nutzung des Aufzugs)	

Tabelle A.39: Zwei erarbeitete Domains mit Services und Bewertung nach 4. Workshop

#	Service	Level	Funktionslevels	Kommentar
IT-1	Digitales Gebäude- daten- manage- ment: Digital Logbook/ Digitale Akten- führung	0	Keine digitale Akten vorhanden (kein Speicherort vorhanden)	wird angepasst
		1	unstrukturierte digitale Daten, welche zur weiteren Verarbeitung manuell interpretiert werden müssen (.png, .pdf, ...) (an einem Speicherort)	
		2	strukturierte Daten, die geteilt werden können (CAD, CAFM, BIM-Modell, ...)	
		3	strukturierte Daten, die auf einer Plattform geteilt werden und Änderungen für alle aktualisiert werden (CAD, CAFM, BIM-Modell, ...)	
		4	Interoperabel/Systemübergreifendes teilen an Externe, sodass Daten von Dritten ergänzt werden können und für Berechtigte einsehbar sind	
IT-3	Funk- protokolle	0	Keine Funkstandard (Long Range und/oder Short Range) vorhanden	wird nicht angepasst, da vorwiegend blaue Aufkleber
		1	Verwendung von proprietären Systemen: Kommunikation von Anbieter stark einschränkt (Loxone, ...)	
		2	Halb-Offene Systeme: Manche Systeme können integriert werden (EnOcean, ...)	
		3	Offene Systeme: Es gibt Schnittstellen und hohe Kompatibilität zu vielen Lösungen (Wlan, Bluetooth, ZigBee, Z-Wave, ...)	
		4	NA	
IT-4		0	Keine Sprachkommunikation vorhanden	
		1	Gesteuerte Ausgabetechnologien in den Allgemeinbereichen auf Gebäudeebene (Lautsprecher)	
		2	Gesteuerte Ausgabetechnologien auf Raum- oder Zonenebene mit Schnittstellen	

Tabelle A.39 Fortsetzung

#	Service	Level	Funktionslevels	Kommentar
	Sprachkommunikation	3	Ein- und Ausgabetechnologien in den Allgemeinbereichen auf Gebäudeebene (Lautsprecher und Mikrofon	wird angepasst
		4	Ein- und Ausgabetechnologien auf Raum- oder Zonenebene mit Schnittstellen (Lautsprecher und Mikrofon) (Parkhaus, Aufzug, Empfang, Schranke, Hausmeister, ...)	
IT-5	Konnektivität: Wlan	0	geringer als Wifi 4	wird übernommen
		1	Wi-Fi 4 (Maximale Datenübertragungsrate 289 Mbit/s bis zu 600 Mbit/s)	
		2	Wi-Fi 5 (Maximale Datenübertragungsrate 433 Mbit/s bis zu 1299 Mbit/s - 80 MHz Kanalbreite)	
		3	Wi-Fi 6 (Maximale Datenübertragungsrate bis zu 10 Gbit/s -160 MHz Kanalbreite)	
		4	NA	
IT-6	Cybersecurity	0	Gesetzlich vorgeschrieben	wird angepasst
		1	Stand der Technik (incl. 1)	
		2	über den Stand der Technik hinausgehend...	
		3	->Dynamik d. Entw. berücksichtigen	
		4	NA	
IT-7	Konnektivität: Netzabdeckung für Mobiles Internet und Telefonie	0	Empfang von Edge (max. Bandbreite 220 Kbit/s)	wird angepasst
		1	Empfang von 3G (max. Bandbreite 42 Mbit/s)	
		2	Empfang von 4G (max. Bandbreite ca. 150 Mbit/s)	
		3	Empfang von 5G (max. Bandbreite 10 Gbit/s)	

Tabelle A.39 Fortsetzung
Funktionslevels

#	Service	Level		Kommentar
IT-9		0	weniger als 50 Mb/s im upload und download	
	Gebäude anschluss: Breitband	1	zwischen 50 Mb/s und 100 Mb/s im upload und download	wird über- nommen
		2	zwischen 100 Mb/s und 250 Mb/s im upload und download	
		3	zwischen 250 Mb/s und 750 Mb/s im upload und download	
		4	Mehr als 750 Mb/s im upload und download	
FM-1		0	None	
	Initial- isierung des Services	1	Direktes Feedback durch den Nutzer	
		2	Teilautomatisierte Auslösung (Hybrid: Nutzerfeedback + passive Sensorik z.B. Präsenzmelder)	wird angepasst
		3	Vollautomatisierte Auslösung mit Prognosen (inklusive Anwendung bzw. Zutrittskontrollsysteme, Arbeitsplatz- und Raumbuchungssysteme)	
		4	NA	
FM-2		0	None	
	Digitale Post- und Paket- logistik	1	Digitale Post- und Paketstation, die von DHL und co. befüllt werden können	wird angepasst
		2	NA	
		3	NA	
		4	NA	
FM-3		0	Standard Abfallbehälter (Fraktioniert)	
	Abfall- manage- ment	1	Volumen- und Bedarfsgesteuerter Abfallentsorgung (z.B. Füllstand und Gewichtserkennung in den Abfallbehältern)	wird über- nommen
		2	Individuelle Abrechnung durch nutzerbezogene Verwiegung und individuelles Reporting (lokales Benchmark)	
		3	NA	
		4	NA	
FM-4		0	None	

Tabelle A.39 Fortsetzung
Funktionslevels

#	Service	Level		Kommentar
	Gebäude-sicherheit	1	Sicherheitssysteme mit Datenspeicherung (lokales passives System) (z.B. Tür- und Fensterkontakte, Präsenzmelder) (visueller und/oder akustischer Aktor)	wird angepasst
		2	Bewegungsdetektion verbunden mit lokalen Alarmsystemen (visueller und/oder akustischer Aktor) und Fernüberwachung durch Dritte	
		3	Bewegungsdetektion verbunden mit Alarmsystemen, inklusive Aufschaltung Sicherheitszentrale (Fernwirktechnik /Aktive, bidirektional Einflussnahme durch beispielsweise Lautsprecher, Kamera, Monitor)	
		4	NA	
FM-5	Förder- technik Aufzugs- manag- ement	0	Vorhanden	wird über- nommen
		1	Energieeffizienter Aufzug mit entsprechenden Komponenten (Anfahrtsgeschwindigkeit, Motorsteuerung)	
		2	regelbasierte Steuerung, mit interner Sensorik (z.B. Zeit- und Bedarfssteuerung)	
		3	Erweiterte Ist-Zustand-Erfassung durch Sensorik mit Fernzugriff und Reports (Optimierte Wartungsintervalle durch Predictive Maintenance)	
		4	NA	
FM-6	Raum- & Arbeits- platz- buchung	0	None	wird angepasst
		1	Digitales Raumbuchungssystem mit Darstellung an den Räumen in Echtzeit	
		2	Digitales Raumbuchungssystem mit Darstellung an den Räumen in Echtzeit + automatische Freigabe bei "No Show"	
		3	NA	
		4	NA	

Tabelle A.39 Fortsetzung
Funktionslevels

#	Service	Level		Kommentar
FM-7	Zutritts- kontrolle	0	Physischer Schlüssel	wird über- nommen
		1	Digitale Zugangsmethode (z.B. Chip-Karte, digitale Schließzylinder, Zahlencode, QR-Code) auf Gebäudeebene mit Rollenmanagement in Echtzeit	
		2	Digitale Zugangsmethode (z.B. Chip-Karte, digitale Schließzylinder, Zahlencode, QR-Code) auf Raumebene mit Rollenmanagement in Echtzeit	
		3	biometrischer Zutrittskontrolle auf Raumebene mit Rollenmanagement in Echtzeit	
		4	NA	
FM-8	Besucher- leitsystem	0	Empfangsschalter (analog)	wird in FM-8 und FM-10 aufgeteilt
		1	Empfangsschalter (digital)	
		2	Automatisierte elektronische Voranmeldung, durch angaben von relevanten Daten (KFZ-Kennzeichen, Personalausweis, Besuchergrund, ...) und automatisierte teilen von benötigten Daten (Tagespässe, Anfahrtsskizze, Digitaler Orientierungsplan,...)	
		3	Mobiles Navigationssystem zum Raum (z.B. Indoor Navigation durch Beacons)	
		4	Mobiles, geführtes Navigationssystem durch visuelle Hilfen zum Raum (z.B. mittels Augmented Reality)"	
FM-9		0	None	
		1	Infrastruktur (Lade-, Parkmöglichkeit, ...) für Roboter vorhanden ohne dass Nutzer beeinträchtigt wird und robotergerechte Verkehrswege sind vorhanden	
		2	Robotergerechter Raumzugang (Hat der Roboter Raumzugang)	

Tabelle A.39 Fortsetzung
Funktionslevels

#	Service	Level		Kommentar
	Readiness für Robotik	3	Robotergerichter Raumzugang auf Gebäudeebene (Kann ein Roboter das Stockwerk wechseln durch beispielweise die Nutzung des Aufzugs)	wird über- nommen
		4	NA	

Tabelle A.40: Zwei erarbeitete Domains mit Services und Bewertung nach 5. Workshop

#	Service	LVL	Funktionslevels
IT-1	Digitales Dokumentenmanagement	0	Keine digitale Stammdaten vorhanden (kein Speicherort vorhanden)
		1	unstrukturierte digitale Stammdaten, welche zur weiteren Verarbeitung manuell interpretiert werden müssen (an einem Speicherort)
		2	strukturierte Stammdaten, die geteilt werden können
		3	strukturierte Stammdaten, die auf einer Plattform geteilt werden und Änderungen für alle aktualisiert werden
		4	Interoperabel/Systemübergreifendes teilen an Externe, sodass Daten von Dritten ergänzt werden können und für Berechtigte einsehbar sind
IT-3	Funkprotokolle	0	Keine Funkstandards (Long Range und/oder Short Range) vorhanden
		1	Verwendung von proprietären Systemen: Kommunikation von Anbieter stark einschränkt (Loxone, ...)
		2	Halb-Offene Systeme: Manche Systeme können integriert werden (EnOcean, ...)
		3	Offene Systeme: Es gibt Schnittstellen und hohe Kompatibilität zu vielen Lösungen (Wlan, Bluetooth, ZigBee, Z-Wave, ...)
		4	NA
IT-4	Sprachkommunikation	0	Keine Sprachkommunikation vorhanden
		1	Gesteuerte Ausgabetechnologien in den Allgemeinbereichen auf Gebäudeebene
		2	Gesteuerte Ausgabetechnologien auf Raum- oder Zonenebene mit Schnittstellen
		3	Ein- und Ausgabetechnologien in den Allgemeinbereichen auf Gebäudeebene
		4	Ein- und Ausgabetechnologien auf Raum- oder Zonenebene mit Schnittstellen
IT-5		0	geringer als Wi-Fi 4

Tabelle A.40 Fortsetzung

#	Service	LVL	Funktionslevels
	Konnektivität: Wlan	1	Wi-Fi 4 (Maximale Datenübertragungsrate 289 Mbit/s bis zu 600 Mbit/s)
		2	Wi-Fi 5 (Maximale Datenübertragungsrate 433 Mbit/s bis zu 1299 Mbit/s - 80 MHz Kanalbreite)
		3	Wi-Fi 6 (Maximale Datenübertragungsrate bis zu 10 Gbit/s -160 MHz Kanalbreite)
		4	NA
IT-6		0	Kein besonderer Schutz vorhanden
	Cyber-security	1	Schutz vor unbeabsichtigtem oder zufälligem Missbrauch
		2	Schutz vor vorsätzlichem Missbrauch
		3	NA
		4	NA
IT-7		0	Empfang von Edge (max. Bandbreite 220 Kbit/s)
	Konnektivität: Netza- bedeckung für Mobiles Internet (Provider übergreifend)	1	Empfang von 3G (max. Bandbreite 42 Mbit/s)
		2	Empfang von 4G (max. Bandbreite ca. 150 Mbit/s)
		3	Empfang von 5G (max. Bandbreite 10 Gbit/s)
		4	NA
IT-9		0	weniger als 50 Mb/s im upload und download
	Gebäude- anschluss: Breitband	1	zwischen 50 Mb/s und 100 Mb/s im upload und download
		2	zwischen 100 Mb/s und 250 Mb/s im upload und download
		3	zwischen 250 Mb/s und 750 Mb/s im upload und download
		4	Mehr als 750 Mb/s im upload und download
FM-1		0	Initialisierung durch ein nicht digitales Tool
		1	Nutzerfeedback mittels digitaler Tools (Feedbackbutton)

Tabelle A.40 Fortsetzung

#	Service	LVL	Funktionslevels
	Initialisierung des Services	2	Automatisierte Auslösung durch Sensorik
		3	Prognosebasierte Auslösung (inklusive Anwendung bzw. Verarbeitung von Daten aus Drittsystemen z.B. Urlaubsdatenbank, Zutrittskontrollsysteme, Arbeitsplatz- und Raumbuchungssysteme)
		4	NA
FM-2	Digitale Post- und Paketlogistik	0	None
		1	Digitale Post- und Paketstation, die von allen Lieferdiensten befüllt und geleert werden können
		2	automatische Erkennung und Benachrichtigung bei Botenaufgaben
		3	NA
	4	NA	
FM-3	Abfallmanagement	0	Standard Abfallbehälter (Fraktioniert)
		1	Volumen- und Bedarfsgesteuerter Abfallentsorgung (z.B. Füllstand und Gewichtserkennung in den Abfallbehältern)
		2	Individuelle Abrechnung durch nutzerbezogene Verwiegung und individuelles Reporting (lokales Benchmark)
		3	NA
	4	NA	
FM-4	Gebäudesicherheit	0	None
		1	Sicherheitssysteme mit Datenspeicherung (lokales passives System) (z.B. Tür- und Fensterkontakte, Präsenzmelder) (visueller und/oder akustischer Aktor)
		2	Bewegungsdetektion verbunden mit lokalen Alarmsystemen (visueller und/oder akustischer Aktor) und Fernüberwachung durch Dritte
		3	Bewegungsdetektion verbunden mit Alarmsystemen, inklusive Aufschaltung Sicherheitszentrale (Fernwirktechnik /Aktive, bidirektional Einflussnahme durch beispielsweise Lautsprecher, Kamera, Monitor)
	4	Aktive Steuerung sicherheitsrelevanter Infrastruktur (z.B. Türen) aus der Ferne	

Tabelle A.40 Fortsetzung
Funktionslevels

#	Service	LVL	Funktionslevels
FM-5	Förder- technik Aufzugs- manage- ment	0	Vorhanden
		1	Energieeffizienter Aufzug mit entsprechenden Komponenten
		2	(Anfahrtsgeschwindigkeit, Motorsteuerung)
		3	regelbasierte Steuerung, mit interner Sensorik (z.B. Zeit- und Bedarfssteuerung)
		4	Erweiterte Ist-Zustand-Erfassung durch Sensorik mit Fernzugriff und Reports (Optimierte Wartungsintervalle durch Predictive Maintenance)
FM-6	Raum- & Arbeits- platz- buchung	0	None
		1	Digitales Raumbuchungssystem mit Darstellung an den Räumen in Echtzeit
		2	Digitales Raumbuchungssystem mit Darstellung an den Räumen in Echtzeit + automatische Freigabe bei "No Show"
		3	Digitales Raumbuchungssystem mit Verbindung zur GLT-Steuerung mit bedarfsgerechter Regelung der Beleuchtung und der Klimatisierung
		4	NA
FM-7	Zutritts- kontrolle	0	Physischer Schlüssel
		1	Digitale Zugangsmethoden (z.B. Chip-Karte, digitale Schließzylinder, Zahlencode, QR-Code) auf Gebäudeebene mit Rollenmanagement in Echtzeit
		2	Digitale Zugangsmethoden (z.B. Chip-Karte, digitale Schließzylinder, Zahlencode, QR-Code) auf Raumebene mit Rollenmanagement in Echtzeit
		3	biometrische Zutrittskontrolle auf Raumebene mit Rollenmanagement in Echtzeit
		4	NA
FM-8	Besucher- anmeldung	0	None
		1	Besetzer Empfangsschalter
		2	Elektronischer Anmeldeprozess: Automatisierte elektronische Voranmeldung, durch angaben von relevanten Daten und automatisierte
		3	bereitstellen von benötigten Daten
		4	NA

Tabelle A.40 Fortsetzung

#	Service	LVL	Funktionslevels
		4	NA
FM-9		0	None
		1	Infrastruktur (Lade-, Parkmöglichkeit, ...) für Roboter vorhanden ohne dass Nutzer beeinträchtigt wird und robotergerechte Verkehrswege sind vorhanden
	Readiness für Robotik	2	Robotergerechter Raumzugang (Hat der Roboter Raumzugang)
		3	Robotergerechter Raumzugang auf Gebäudeebene (Kann ein Roboter das Stockwerk wechseln durch beispielweise die Nutzung des Aufzugs)
		4	NA
FM-10		0	Analoges Besucherleitsystem durch Schilder & Personenbegleitung
	Besucherleitsystem	1	Digitales Besucherleitsystem durch (dynamische) Monitore bis zum Raum
		2	Mobiles Navigationssystem zum Raum (z.B. Indoor Navigation)
		3	NA
		4	NA

A.6.2 Impact-Scores

Tabelle A.41: Kurzbezeichnungen der Impacts

ic_1	Energieeinsparung
ic_2	Wartung und Fehlervorhersage
ic_3	Komfort
ic_4	Bequemlichkeit
ic_5	Information für Bewohner
ic_6	Gesundheit und Wohlbefinden
ic_7	Energieflexibilität

Nach Weiterentwicklung der 3. Iteration

	ic_1	ic_2	ic_3	ic_4	ic_5	ic_6	ic_7
FM-1							
level 0	0	0	0	0	0	0	0
level 1	0	1	1	0	0	0	0
level 2	1	2	1	1	0	1	0
level 3	2	3	2	2	0	2	0
level 4	-	-	-	-	-	-	-
FM-2							
level 0	0	0	0	0	0	0	0
level 1	0	0	1	1	1	0	0
level 2	0	0	1	2	1	0	0
level 3	-	-	-	-	-	-	-
level 4	-	-	-	-	-	-	-
FM-3							
level 0	0	0	0	0	0	0	0
level 1	0	0	0	1	1	0	0
level 2	0	0	0	2	3	0	0
level 3	-	-	-	-	-	-	-
level 4	-	-	-	-	-	-	-
FM-4							

	ic_1	ic_2	ic_3	ic_4	ic_5	ic_6	ic_7
level 0	0	0	0	0	0	0	0
level 1	0	0	0	1	1	1	0
level 2	0	0	0	2	1	2	0
level 3	0	0	0	3	1	2	0
level 4	1	0	0	3	1	2	0
FM-5							
level 0	0	0	0	0	0	0	0
level 1	1	1	0	0	0	0	0
level 2	2	2	1	1	0	0	1
level 3	3	3	2	2	1	0	1
level 4	-	-	-	-	-	-	-
FM-6							
level 0	0	0	0	0	0	0	0
level 1	1	0	0	1	1	0	0
level 2	1	0	0	2	2	0	0
level 3	2	0	1	3	3	0	0
level 4	-	-	-	-	-	-	-
FM-7							
level 0	0	0	0	0	0	0	0
level 1	0	1	0	1	0	0	0
level 2	0	2	0	2	0	0	0
level 3	0	2	0	3	0	1	0
level 4	-	-	-	-	-	-	-
FM-8							
level 0	0	0	0	0	0	0	0
level 1	0	0	0	0	0	0	0
level 2	0	1	1	1	1	0	0
level 3	0	2	2	2	2	1	0
level 4	0	3	3	3	3	2	0
FM-9							
level 0	0	0	0	0	0	0	0
level 1	0	1	0	0	0	0	0
level 2	0	2	0	0	0	0	0
level 3	0	3	0	0	0	0	0
level 4	-	-	-	-	-	-	-

	ic_1	ic_2	ic_3	ic_4	ic_5	ic_6	ic_7
IT-1							
level 0	0	0	0	0	0	0	0
level 1	0	0	0	0	0	0	0
level 2	0	1	0	1	0 - 1 - 1	0	0
level 3	0	2	0	2	0 - 1 - 2	0	0
level 4	0	3	0	3	0 - 1 - 3	0	0
IT-3							
level 0	0	0	0	0	0	0	0
level 1	0	1	0	1	1	0	0
level 2	0	1	0	1	1	0	0
level 3	0	2	0	2	2	0	0
level 4	-	-	-	-	-	-	-
IT-4							
level 0	0	0	0	0	0	0	0
level 1	0	0	1	1	1	1	0
level 2	0	0	1	1	1	1	0
level 3	0	0	2	2	1	1	0
level 4	0	0	2	2	1	1	0
IT-5							
level 0	0	0	0	0	0	0	0
level 1	0	0	1	0	1	0	0
level 2	0	0	2	0	2	0	0
level 3	0	0	3	0	3	0	0
level 4	-	-	-	-	-	-	-
IT-6							
level 0	0	0	0	0	0	0	0
level 1	0	0	0	1	0	0	0
level 2	0	0	0	2	0	0	0
level 3	-	-	-	-	-	-	-
level 4	-	-	-	-	-	-	-
IT-7							
level 0	0	0	0	0	0	0	0
level 1	0	0	1	0	0	0	0
level 2	0	0	2	0	0	0	0
level 3	0	0	3	0	0	0	0
level 4	-	-	-	-	-	-	-

	<i>ic</i> ₁	<i>ic</i> ₂	<i>ic</i> ₃	<i>ic</i> ₄	<i>ic</i> ₅	<i>ic</i> ₆	<i>ic</i> ₇
IT-9							
level 0	0	0	0	0	0	0	0
level 1	0	0	0	0	0	0	0
level 2	0	0	0	0	0	0	0
level 3	0	0	1	0	0	0	0
level 4	0	0	1	0	0	0	0

Tabelle A.42: Impact-Scores der beiden neuen Domains nach Durchlauf III

Nach 3. Weiterentwicklung

	<i>ic</i> ₁	<i>ic</i> ₂	<i>ic</i> ₃	<i>ic</i> ₄	<i>ic</i> ₅	<i>ic</i> ₆	<i>ic</i> ₇
FM-1							
level 0	0	0	0	0	0	0	0
level 1	0	1	1	0	0	0	0
level 2	1	2	1	1	0	1	0
level 3	2	3	2	2	0	2	0
level 4	-	-	-	-	-	-	-
FM-2							
level 0	0	0	0	0	0	0	0
level 1	0	0	1	1	1	0	0
level 2	0	0	1	2	1	0	0
level 3	-	-	-	-	-	-	-
level 4	-	-	-	-	-	-	-
FM-3							
level 0	0	0	0	0	0	0	0
level 1	0	0	0	1	1	0	0
level 2	0	0	0	2	2	0	0
level 3	-	-	-	-	-	-	-
level 4	-	-	-	-	-	-	-
FM-4							
level 0	0	0	0	0	0	0	0
level 1	0	0	0	1	1	1	0
level 2	0	0	0	2	1	2	0

	ic_1	ic_2	ic_3	ic_4	ic_5	ic_6	ic_7
level 3	0	0	0	3	1	2	0
level 4	1	0	0	3	1	2	0
FM-5							
level 0	0	0	0	0	0	0	0
level 1	1	1	0	0	0	0	0
level 2	2	2	1	1	0	0	1
level 3	3	3	2	2	1	0	2
level 4	-	-	-	-	-	-	-
FM-6							
level 0	0	0	0	0	0	0	0
level 1	1	0	0	1	1	0	0
level 2	1	0	0	2	2	0	0
level 3	2	0	1	3	3	0	0
level 4	-	-	-	-	-	-	-
FM-7							
level 0	0	0	0	0	0	0	0
level 1	0	1	0	1	0	0	0
level 2	0	2	0	2	0	0	0
level 3	0	2	0	3	0	1	0
level 4	-	-	-	-	-	-	-
FM-8							
level 0	0	0	0	0	0	0	0
level 1	0	0	0	1	1	0	0
level 2	0	1	1	1	1	0	0
level 3	-	-	-	-	-	-	-
level 4	-	-	-	-	-	-	-
FM-9							
level 0	0	0	0	0	0	0	0
level 1	0	1	0	0	0	0	0
level 2	0	2	0	0	0	0	0
level 3	0	3	0	0	0	0	0
level 4	-	-	-	-	-	-	-
FM-10							
level 0	0	0	0	0	0	0	0
level 1	0	0	0	1	1	0	0
level 2	0	1	0	2	2	0	0

	ic_1	ic_2	ic_3	ic_4	ic_5	ic_6	ic_7
level 3	-	-	-	-	-	-	-
level 4	-	-	-	-	-	-	-
IT-1							
level 0	0	0	0	0	0	0	0
level 1	0	0	0	0	0	0	0
level 2	0	1	0	1	1	0	0
level 3	0	2	0	2	1	0	0
level 4	0	3	0	3	2	0	0
IT-3							
level 0	0	0	0	0	0	0	0
level 1	0	1	0	1	1	0	0
level 2	0	1	0	1	1	0	0
level 3	0	2	0	2	2	0	0
level 4	-	-	-	-	-	-	-
IT-4							
level 0	0	0	0	0	0	0	0
level 1	0	0	1	1	1	1	0
level 2	0	0	1	1	1	1	0
level 3	0	0	2	2	1	1	0
level 4	0	0	2	2	1	1	0
IT-5							
level 0	0	0	0	0	0	0	0
level 1	0	0	1	0	1	0	0
level 2	0	0	2	0	2	0	0
level 3	0	0	3	0	3	0	0
level 4	-	-	-	-	-	-	-
IT-6							
level 0	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
level 1	0	0	0	0	0	0	0
level 2	1	1	1	1	1	1	1
level 3	-	-	-	-	-	-	-
level 4	-	-	-	-	-	-	-
IT-7							
level 0	0	0	0	0	0	0	0
level 1	0	0	1	0	0	0	0
level 2	0	0	2	0	0	0	0

	ic_1	ic_2	ic_3	ic_4	ic_5	ic_6	ic_7
level 3	0	0	3	0	0	0	0
level 4	-	-	-	-	-	-	-
IT-9							
level 0	0	0	0	0	0	0	0
level 1	0	0	0	0	0	0	0
level 2	0	0	0	0	0	0	0
level 3	0	0	1	0	0	0	0
level 4	0	0	1	0	0	0	0

Tabelle A.43: Impact-Scores der beiden neuen Domains nach 3. Weiterentwicklung

Nach 4. Weiterentwicklung

	ic_1	ic_2	ic_3	ic_4	ic_5	ic_6	ic_7
FM-1							
level 0	0	0	0	0	0	0	0
level 1	0	1	1	0	0	0	0
level 2	1	2	1	1	0	1	0
level 3	2	3	2	2	0	2	0
level 4	-	-	-	-	-	-	-
FM-2							
level 0	0	0	0	0	0	0	0
level 1	0	0	1	1	1	0	0
level 2	0	0	1	2	1	0	0
level 3	-	-	-	-	-	-	-
level 4	-	-	-	-	-	-	-
FM-3							
level 0	0	0	0	0	0	0	0
level 1	0	0	0	1	1	0	0
level 2	0	0	0	2	2	0	0
level 3	-	-	-	-	-	-	-
level 4	-	-	-	-	-	-	-
FM-4							

	ic_1	ic_2	ic_3	ic_4	ic_5	ic_6	ic_7
level 0	0	0	0	0	0	0	0
level 1	0	0	0	1	1	1	0
level 2	0	0	0	2	1	2	0
level 3	0	0	0	3	1	2	0
level 4	1	0	0	3	1	3	0
FM-5							
level 0	0	0	0	0	0	0	0
level 1	1	1	0	0	0	0	0
level 2	2	2	1	1	0	0	1
level 3	3	3	2	2	1	0	2
level 4	-	-	-	-	-	-	-
FM-6							
level 0	0	0	0	0	0	0	0
level 1	0	0	0	1	1	0	0
level 2	0	0	0	2	2	0	0
level 3	2	0	1	3	3	0	0
level 4	-	-	-	-	-	-	-
FM-7							
level 0	0	0	0	0	0	0	0
level 1	0	1	0	1	0	0	0
level 2	0	1	0	2	0	0	0
level 3	0	1	0	3	0	1	0
level 4	-	-	-	-	-	-	-
FM-8							
level 0	0	0	0	0	0	0	0
level 1	0	0	0	1	1	0	0
level 2	0	1	1	1	1	0	0
level 3	-	-	-	-	-	-	-
level 4	-	-	-	-	-	-	-
FM-9							
level 0	0	0	0	0	0	0	0
level 1	0	1	0	0	0	1	0
level 2	0	2	0	0	0	1	0
level 3	0	3	0	0	0	1	0
level 4	-	-	-	-	-	-	-

	ic_1	ic_2	ic_3	ic_4	ic_5	ic_6	ic_7
FM-10							
level 0	0	0	0	0	0	0	0
level 1	0	0	0	1	1	0	0
level 2	0	1	0	2	2	0	0
level 3	-	-	-	-	-	-	-
level 4	-	-	-	-	-	-	-
IT-1							
level 0	0	0	0	0	0	0	0
level 1	0	0	0	0	0	0	0
level 2	0	1	0	1	1	0	0
level 3	0	2	0	2	1	0	0
level 4	0	3	0	3	2	0	0
IT-3							
level 0	0	0	0	0	0	0	0
level 1	0	1	0	1	1	1	0
level 2	0	1	0	1	1	1	0
level 3	0	2	0	2	2	1	0
level 4	-	-	-	-	-	-	-
IT-4							
level 0	0	0	0	0	0	0	0
level 1	0	0	1	1	1	1	0
level 2	0	0	1	1	1	1	0
level 3	0	0	2	2	1	1	0
level 4	0	0	2	2	1	1	0
IT-5							
level 0	0	0	0	0	0	0	0
level 1	0	0	1	0	1	0	0
level 2	0	0	2	0	2	0	0
level 3	0	0	3	0	3	0	0
level 4	-	-	-	-	-	-	-
IT-6							
level 0	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
level 1	0	0	0	0	0	0	0
level 2	1	1	1	1	1	1	1
level 3	-	-	-	-	-	-	-
level 4	-	-	-	-	-	-	-

	<i>ic</i> ₁	<i>ic</i> ₂	<i>ic</i> ₃	<i>ic</i> ₄	<i>ic</i> ₅	<i>ic</i> ₆	<i>ic</i> ₇
IT-7							
level 0	0	0	0	0	0	0	0
level 1	0	0	1	0	0	0	0
level 2	0	0	2	0	0	0	0
level 3	0	0	3	0	0	0	0
level 4	-	-	-	-	-	-	-
IT-9							
level 0	0	0	0	0	0	0	0
level 1	0	0	0	0	0	0	0
level 2	0	0	0	0	0	0	0
level 3	0	0	1	0	0	0	0
level 4	0	0	1	0	0	0	0

Tabelle A.44: Impact-Scores der beiden neuen Domains nach 4.
Weiterentwicklung

Literaturverzeichnis

- Ahern, D. M., Clouse, A., and Turner, R. (2004). *CMMI distilled: a practical introduction to integrated process improvement*. Addison-Wesley Professional.
- Al Dakheel, J., Del Pero, C., Aste, N., and Leonforte, F. (2020). Smart buildings features and key performance indicators: A review. *Sustainable Cities and Society*, 61:102328.
- Amaratunga, D. and Baldry, D. (2000). Assessment of facilities management performance in higher education properties. *Facilities*, 18:293–301.
- Amaratunga, D. and Baldry, D. (2003). A conceptual framework to measure facilities management performance. *Property Management*, 21:171–189.
- Amaratunga, D., Baldry, D., and Sarshar, M. (2000). Assessment of facilities management performance - what next? *Facilities*, 18:66–75.
- Arbeitskreis Maschinen- und Elektrotechnik staatlicher und kommunaler Verwaltungen (AMEV) (2019). *Hinweise für Planung, Ausführung und Betrieb der Gebäudeautomation in öffentlichen Gebäuden (Gebäudeautomation 2019)*. Geschäftsstelle des AMEV im Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat (BMI), Berlin. lfd. Nr.: 145.
- Arditi, D., Mangano, G., and De Marco, A. (2015). Assessing the smartness of buildings. *Facilities*, 33(9/10):553–572.
- Arkin, H. and Paciuk, M. (1997). Evaluating intelligent buildings according to level of service systems integration. *Automation in construction*, 6(5-6):471–479.
- Aschendorf, B. (2014). *Energiemanagement durch Gebäudeautomation: Grundlagen-Technologien-Anwendungen*. Springer-Verlag.
- Association, G.-G. F. M. et al. (2004). Richtlinie gefma 100-1, facility management-grundlagen. *Bonn (Entwurf 2004-07)*.

- Baldwin, L. H., Camm, F. A., and Moore, N. Y. (2000). *Strategic sourcing: Measuring and managing performance*. Rand.
- Barley, D., Deru, M., Pless, S., and Torcellini, P. (2005). Procedure for measuring and reporting commercial building energy performance. Technical report, National Renewable Energy Lab.(NREL), Golden, CO (United States).
- BDI (2024). noventic group - bdi. Zugriff: 28 Oktober 2024.
- Berghaus, S. and Back, A. (2016a). Gestaltungsbereiche der digitalen transformation von unternehmen: entwicklung eines reifegradmodells. *Die Unternehmung*, 70(2):98–123.
- Berghaus, S. and Back, A. (2016b). Stages in digital business transformation: Results of an empirical maturity study.
- Böhm, M., Müller, S., Krcmar, H., and Welp, I. (2018). Digitale transformation in ausgewählten ländern im vergleich. *Digitale Transformation: Fallbeispiele und Branchenanalysen*, pages 73–85.
- Borhani, A., Jupp, J., and Sturts-Dossick, C. (2020). Ib index: towards a standard for building intelligence evaluation. In Faust, K. and Kanjanabootra, S., editors, *18th Annual Engineering Project Organization Conference*.
- Brackertz, N. (2006). Relating physical and service performance in local government community facilities. *Facilities*, 24:280–291.
- BRE Group (o. J.a). Breeam. <https://bregroup.com/products/breeam/>. [Online; accessed 05. Mai 2023].
- BRE Group (o. J.b). Warum breeam? <https://breeam.de/breeam/was-ist-breeam/>. [Online; accessed 05. Mai 2023].
- BREEAM (2021). Breeam de/at/ch bestand v6.0.
- Buckman, A. H., Mayfield, M., and Beck, S. B. (2014). What is a smart building? *Smart and Sustainable Built Environment*, 3(2):92–109.
- Bühren, K. (2020). Digitalisierung am bau nimmt fahrt auf. *IZ*, 8:13. Ausgabe IZ 8/2020.

- Bullen, C. V. and Rockart, J. F. (1981). A primer on critical success factors. *Center for Information Systems Research Working Paper*.
- CABA - The Continental Automated Buildings Association (26.11.2021). Governing principles.
- Cable, J., Davis, J., Council, F., Hoc, F., and Management, C. (2005). *Key Performance Indicators for Federal Facilities Portfolios*. National Academies Press.
- CEN/TC 247 (2004). DIN EN ISO 16484-2: Systeme der gebäudeautomation (ga) - teil 2: Hardware. Internationale Organisation für Normung. ISO 16484-2:2004.
- Centre for Net Zero (2023). The smart building rating: A digital tool to scale demand flexibility. White paper, Centre for Net Zero. Zugriff: 21 Oktober 2024.
- Centre for Net Zero (2024). About. Zugriff: 21 Oktober 2024.
- Chau, C., Sing, W., and Leung, T. (2003). An analysis on the hvac maintenance contractors selection process. *Building and Environment*, 38:583–591.
- Chow, S., Ganji, A. R., Hackett, B., Parkin, P., and Feters, A. (2003). Energy assessment of selected schools in anchorage school district. In *26th World Energy Engineering Congress, Atlanta, GA*, pages 12–14. Citeseer.
- Christiansen, C. H., Hvenegaard, C. M., Vielwerth, K., and Draborg, S. (2022). Test af smart readiness indicator (sri) i dansk kontekst. Teknologisk Institut - Center for Energieffektivisering og Ventilation.
- Chrusciel, D. (2006). Exploring the facilities management effective rate as a useful metric. *Facilities*, 24:18–30.
- Chu, P. C. and Beasley, J. E. (1998). A genetic algorithm for the multidimensional knapsack problem. *Journal of heuristics*, 4:63–86.
- Climaco, C. (1992). Getting to know schools using performance indicators: Criteria, indicators and processes. *Educational Review - EDUC REV*, 44:295–308.

- Cohen, R., Standeven, M., Bordass, B., and Leaman, A. (2001). Assessing building performance in use 1: The probe process. *Building Research & Information*, March 1:85–102.
- Council, U. G. B. (2014). Leed v4 for building design and construction. *USGBC Inc*, 332.
- Dadashzadeh, M. et al. (1990). Information and management: A critical success factor study. *Journal of Applied Business Research (JABR)*, 6(1):70–75.
- Dahlan, F. and Zainuddin, A. (2018). Identifying critical success factors (csfs) of facilities management (fm) in non-low cost high-rise residential buildings. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, volume 117, page 012036. IOP Publishing.
- Daniel, D. R. (1961). Management information crisis. *Harvard business review*, pages 111–121.
- de Bruin, T., Freeze, R., Kulkarni, U., and Rosemann, M. (2005). Understanding the main phases of developing a maturity assessment model. *Australasian Conference on Information Systems*.
- Deb, K., Agrawal, S., Pratap, A., and Meyarivan, T. (2000). A fast elitist non-dominated sorting genetic algorithm for multi-objective optimization: Nsga-ii. In *Parallel Problem Solving from Nature PPSN VI: 6th International Conference Paris, France, September 18–20, 2000 Proceedings 6*, pages 849–858. Springer.
- Deb, K., Pratap, A., Agarwal, S., and Meyarivan, T. (2002). A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: Nsga-ii. *IEEE transactions on evolutionary computation*, 6(2):182–197.
- Derek, T. and Clements-Croome, J. (1997). What do we mean by intelligent buildings? *Automation in construction*, 6(5-6):395–400.
- Deru, M. and Torcellini, P. (2005). Performance metrics research project - final report. Technical report, National Renewable Energy Lab.(NREL), Golden, CO (United States).

- DGNB GmbH (2021). *DGNB SYSTEM Kriterienkatalog Gebäude Sanierung*. DGNB .
- DGNB GmbH (2023). Dgnb e.v. – deutsche gesellschaft für nachhaltiges bauen.
- DIN (2000). Din 32736 gebäudemanagement - begriffe und leistungen.
- DIN (2007a). 15221-1 (2007) facility management–teil 1: Begriffe (deutsche fassung).
- DIN, C. (2007b). Gebäudemanagement - begriffe und leistungen; deutsche fassung.
- DIN, E. (2010). 13306: Instandhaltung–begriffe der instandhaltung. *Maintenance Terminology: Berlin, Germany*.
- DIN, E. (2011). 15221-3 (2011) facility management–teil 3: Leitfaden für qualität im facility management (deutsche fassung).
- DIN, E. (2018). En iso 41011:2018 facility management begriffe (deutsche fassung).
- Dipl.-Ing. Helmut Bramann, D. I. M., editor (2015). *Stufenplan Digitales Planen und Bauen*. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur.
- Douglas, J. (1994). Developments in appraising the total performance of buildings. *Structural Survey*, 12:10–15.
- Dr. Klein Wowi Digital AG (o. J.). Wer oder was ist dr. klein wowi? <https://www.drklein-wowi.de/unternehmen/>. Accessed: 2023-06-05.
- Eagan, P. and Joeres, E. (1997). Development of a facility-based environmental performance indicator related to sustainable development. *Journal of Cleaner Production*, 5:269–278.
- easySRI (2024). easysri: Improving and demonstrating the potential of sri. <https://www.easysri.eu/en>. Zugriff: 28 Oktober 2024.

Emich, T., Faeghi, S., and Lennerts, K. (2022). Maximization of the smart readiness indicator of buildings under budget constraints. In *International Conference on Operations Research*, pages 261–269. Springer.

Energie-Agentur, D. (2021). Dena-gebÄudereport 2022. zahlen, daten, fakten.

Epstein, M. and Wisner, P. (2001). Using a balanced scorecard to implement sustainability. *Environmental Quality Management*, 11:1 – 10.

European Commission (2024a). Co-creating tools and services for smart readiness indicator uptake. <https://webgate.ec.europa.eu/life/publicWebsite/project/LIFE21-CET-SMARTREADY-SRI-ENACT-101077201/co-creating-tools-and-services-for-smart-readiness-indicator-uptake>. Zugriff: 28 Oktober 2024.

European Commission (2024b). Improving and demonstrating the potential of sri. <https://webgate.ec.europa.eu/life/publicWebsite/project/LIFE21-CET-SMARTREADY-easySRI-101077169/improving-and-demonstrating-the-potential-of-sri>. Zugriff: 28 Oktober 2024.

European Commission (2024c). Integrated epb assessments: A pathway for effective epbd implementation. <https://webgate.ec.europa.eu/life/publicWebsite/project/LIFE22-CET-iEPB-101120690/integrated-epb-assessments-a-pathway-for-effective-epbd-implementation>. Zugriff: 28 Oktober 2024.

European Commission (2024d). Paving the way for the adoption of the sri into national regulation and market. <https://webgate.ec.europa.eu/life/publicWebsite/project/LIFE21-CET-SMARTREADY-SRI2MARKET-101077280/paving-the-way-for-the-adoption-of-the-sri-into-national-regulation-a>. Zugriff: 28 Oktober 2024.

European Commission (2024e). Smart tools for smart buildings: Enhancing the intelligence of buildings in europe. <https://webgate.ec.europa.eu/life/publicWebsite/>

project/LIFE21-CET-SMARTREADY-SMART-SQUARE-101077241/
 smart-tools-for-smart-buildings-enhancing-the-intelligence-of-build
 Zugriff: 28 Oktober 2024.

Europäische Kommission (2020). Durchführungsverordnung (eu) 2020/2155
 der kommission vom 14. dezember 2020. EU-Verordnung 2020/2155,
 Europäische Union.

Europäisches Parlament (2019-2024). Gesamtenergieeffizienz von gebäuden
 (neufassung). ANGENOMMENE TEXTE.

Firdauz, A., Sapri, M., and Mohammad, I. S. (2015). Facility management
 knowledge development in malaysia. *Facilities*, 33:99–118.

Fisher, D. M. (2004). The business process maturity model: a practical
 approach for identifying opportunities for optimization. *Business Process
 Trends*, 9(4):11–15.

Fließ, S. and Kleinaltenkamp, M. (2004). Blueprinting the service company:
 Managing service processes efficiently. *Journal of Business research*,
 57(4):392–404.

Forrest, S. (1996). Genetic algorithms. *ACM computing surveys (CSUR)*,
 28(1):77–80.

Fowler, K. M., Dyer, B., Berlow, C., Glover, S., Howell, C., Talton, D., Navy,
 U., Todd, J., and Walker, A. (2004). Building cost and performance
 measurement data. In *Green-build 2004, International Conference and
 Expo, Portland, OR*.

Fowler, K. M., Solana, A. E., and Spees, K. L. (2005). Building cost and
 performance metrics: Data collection protocol, revision 1.0. Technical
 report, Pacific Northwest National Lab.(PNNL), Richland, WA (United
 States).

Fraser, M. D. and Vaishnavi, V. K. (1997). A formal specifications maturity
 model. *Communications of the ACM*, 40(12):95–103.

Fraser, P., Moultrie, J., and Gregory, M. (2002). The use of maturity
 models/grids as a tool in assessing product development capability. In

- IEEE International Engineering Management Conference*, volume 1, pages 244–249 vol.1. IEEE.
- Freund, Y. P. (1988). Critical success factors. *Planning Review*, 16(4):20–23.
- Froufe, M. M., Chinelli, C. K., Guedes, A. L. A., Haddad, A. N., Hammad, A. W., and Soares, C. A. P. (2020). Smart buildings: Systems and drivers. *Buildings*, 10(9):153.
- Ganisen, S., Mohammed, M. a. h., Nesan, L., and Kanniyapan, G. (2015). Critical success factors for low cost housing building maintenance organization. *Jurnal Teknologi*, 74.
- Gericke, A., Rohner, P., and Winter, R. (2006). Vernetzungsfähigkeit im gesundheitswesen—notwendigkeit, bewertung und systematische entwicklung als voraussetzung zur erhöhung der wirtschaftlichkeit administrativer prozesse. *HMD-Praxis der Wirtschaftsinformatik*, 251:20–30.
- GETEC Gruppe (2024). Übernahme der GETEC ENERGIE GmbH durch BP beschlossen. Pressemitteilung.
- GGBA e.V. (08.2023). Leadership in energy and environmental design | leed.
- Ghaffarianhoseini, A., Berardi, U., AlWaer, H., Chang, S., Halawa, E., Ghaffarianhoseini, A., and Clements-Croome, D. (2016a). What is an intelligent building? analysis of recent interpretations from an international perspective. *Architectural Science Review*, 59(5):338–357.
- Ghaffarianhoseini, A., Berardi, U., AlWaer, H., Chang, S., Halawa, E., Ghaffarianhoseini, A., and Clements-Croome, D. (2016b). What is an intelligent building? analysis of recent interpretations from an international perspective. *Architectural Science Review*, 59(5):338–357.
- Ghansah, F. A., Owusu-Manu, D.-G., Ayarkwa, J., Darko, A., and Edwards, D. J. (2022). Underlying indicators for measuring smartness of buildings in the construction industry. *Smart and Sustainable Built Environment*, 11(1):126–142.

- Gibberd, J. (2007). South africa's school infrastructure performance indicator system. *OECD, Directorate for Education, PEB Exchange, Programme on Educational Building*.
- Gillespie, K., Haves, P., Hitchcock, R., Deringer, J., and Kinney, K. (2006a). Performance monitoring in commercial and institutional buildings. *HPAC Engineering*, 78:39–44.
- Gillespie, K., Haves, P., Hitchcock, R., Deringer, J., and Kinney, K. (2006b). Performance monitoring in commercial and institutional buildings. *HPAC Engineering*, 78:39–44.
- Grözinger, J., Hermelink, A., von Manteuffel, B., Offermann, M., Schimschar, S., and Waide, P. (2017). Optimising the energy use of technical building systems – unleashing the power of the epbd's article 8. Technical report, ECOFYS, WAIDE STRATEGIC EFFICIENCY LIMITED. Project number: UENDE16827.
- Gumbus, A. (2005). Introducing the balanced scorecard: Creating metrics to measure performance. *Journal of Management Education*, 29:617–630.
- Gursel, I., Stouffs, R., and Sariyildiz, S. (2007). A computational framework for integration of performance information during the building lifecycle. In *24th W78 Conference, Maribor*, pages 26–29.
- Hammond, D., Dempsey, J., Szigeti, F., and Davis, G. (2005). Integrating a performance-based approach into practice: A case study. *Building Research and Information - BUILDING RES INFORM*, 33:128–141.
- Harmon, P. (2004). Evaluating an organizations business process maturity. *Business Process Trends*, 2:1–11.
- Harris, P. and Mongiello, M. (2001). Key performance indicators in european hotel properties: General managers' choices and company profiles. *International Journal of Contemporary Hospitality Management - INT J CONTEMP HOSP MANAG*, 13:120–128.
- Hatush, Z. and Skitmore, M. (1997). Criteria for contractor selection. *Construction Management & Economics*, 15:19–38.

- Heitel, S., Kämpf-Dern, A., and Pfnür, A. (2012). Nachhaltiges management von stakeholderbeziehungen kommunaler wohnungsunternehmen: Eine empirische untersuchung am beispiel der bauverein ag darmstadt. Technical report, Arbeitspapiere zur immobilienwirtschaftlichen Forschung und Praxis.
- Hinks, J. and McNay, P. (1999). The creation of a management-by-variance tool for facilities management performance assessment. *Facilities*, 17:31–53.
- Ho, D., Chan, E., Wong, N., and Chan, M.-w. (2000). Significant metrics for facilities management benchmarking in the asia pacific region. *Facilities*, 18:545–556.
- iEPB (2024). iepb: Integrated epb assessments. <https://iepb-project.eu/>. Zugriff: 28 Oktober 2024.
- Ilozor, D. and Treloar, G. (2002). The impact of work settings on organisational performance measures in built facilities. *Facilities*, 20:61–67.
- Isibuchi, H., Imada, R., Setoguchi, Y., and Nojima, Y. (2016). Performance comparison of nsga-ii and nsga-iii on various many-objective test problems. In *2016 IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC)*, pages 3045–3052. IEEE.
- ista (2024). ista fortschrittsbericht 2023/24. Zugriff: 28 Oktober 2024.
- Iversen, J., Nielsen, P. A., and Norbjerg, J. (1999). Situated assessment of problems in software development. *ACM SIGMIS Database: the Database for Advances in Information Systems*, 30(2):66–81.
- Jasch, C. (2000). Environmental performance evaluation and indicators. j clean prod 8:79-88 london: Elsevier. *Journal of Cleaner Production*, 8:79–88.
- Jüngst, J. (2016). *Reifegradmodell zur digitalen Kundeninteraktion im Internet*. BoD–Books on Demand.
- Just, T., Voigtländer, M., Eisfeld, R., Henger, R., Hesse, M., and Toschka, A. (2017). Wirtschaftsfaktor immobilien 2017. *IREBS International Real Estate Business School, Universität Regensburg*.

- Kagioglou, M., Cooper, R., and Aouad, G. (2001). Performance management in construction: A conceptual framework. *Construction Management & Economics*, 19:85–95.
- Kalumbu, R., Mutingi, M., and Mbohwa, C. (2016). Critical success factors for developing building maintenance strategies: A case of namibia. In *2016 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)*, pages 1402–1406.
- Katz, D. (2010). Building intelligence quotient 2.0 development update.
- Katz, D. and Keel, T. M. (2008). Caba’s intelligent building programs. *ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings*.
- Katz, D. and Skopek, J. (2009). The caba building intelligence quotient programme. *Intelligent Buildings International*, 1(4):277–295.
- Kelly, J., Hunter, K., Shen, G., and Yu, A. (2005). Briefing from facilities management perspective. *Facilities*, 23:356–367.
- Kincaid, D. (1994). Measuring performance in facility management. *Facilities*, 12:17–20.
- Knotzer, A., Fechner, J., Zelger, T., and Berger, A. (2019). Smart readiness indikator bewertungsschema und chancen für intelligente gebäude. Auftraggeber: Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK).
- Knotzer, A., Zirkel, A., Österreicher, D., Löffler, R., Zelger, T., Drexel, R., and Fechner, J. (2022). Analytische begleitung der sri testphase in Österreich. Auftraggeber: Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK).
- Kohts, S. (2023). Nutzeranforderungen im digitalen zeitalter.
- Krips, D. and Krips, D. (2017). Inhalt einer stakeholderanalyse. *Stakeholdermanagement: Kurzanleitung Heft 5*, pages 11–34.
- Kutucuoğlu, K., Hamali, J., Irani, Z., and Sharp, J. (2001). A framework for managing maintenance using performance measurement systems. *International Journal of Operations & Production Management*, 21.

- Kwak, R.-Y., Takakusagi, A., Sohn, J.-Y., Fujii, S., and Park, B.-Y. (2004). Development of an optimal preventive maintenance model based on the reliability assessment for air-conditioning facilities in office buildings. *Building and environment*, 39(10):1141–1156.
- Kwon, S.-H., Chun, C., and Kwak, R.-Y. (2011). Relationship between quality of building maintenance management services for indoor environmental quality and occupant satisfaction. *Building and Environment*, 46(11):2179–2185.
- Kyle, B. R. (2001). Toward effective decision making for building management. In *APWA international public works congress, NRCC/CPWA/IPWEA seminar series “innovations in urban infrastructure”*, Philadelphia, USA, pages 51–69. Citeseer.
- Lai, A. and Pang, P. (2010a). Measuring performance for building maintenance providers. *Journal of Construction Engineering and Management-asce - J CONSTR ENG MANAGE-ASCE*, 136.
- Lai, A. W. and Pang, P. S. (2010b). Measuring performance for building maintenance providers. *Journal of construction engineering and management*, 136(8):864–876.
- Lauckner, G. and Krimmling, J. (2020). Raum-und gebäudeautomation für architekten und ingenieure. *Dresden: Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH*, pages 175–226.
- Lavy, S., Garcia, J. A., and Dixit, M. K. (2010). Establishment of kpis for facility performance measurement: review of literature. *Facilities*, 28(9/10):440–464.
- Lavy, S. and Shohet, I. (2007). On the effect of service life conditions on the maintenance costs of healthcare facilities. *Construction Management & Economics*, 25:1087–1098.
- Lebas, M. J. (1995). Performance measurement and performance management. *International journal of production economics*, 41(1-3):23–35.
- Leung, M.-Y., Lu, X., and Ip, H.-y. (2005). Investigating key components of the facility management of secondary schools in hong kong. *Facilities*, 23:226–238.

- Loosemore, M. and Hsin, Y. (2001). Customer-focused benchmarking for facilities management. *Facilities*, 19:464–476.
- Lu, W. and Shen, L. (2008). Critical success factors for competitiveness of contractors: China study. *Journal of Construction Engineering and Management-asce - J CONSTR ENG MANAGE-ASCE*, 134.
- Luskay, L., Haasl, T., Irvine, L., and Frey, D. (2002). Retrocommissioning case study-applying building selection criteria for maximum results. *Energy Systems Laboratory (<http://esl.tamu.edu>)*.
- Lünendonk (2024). Lünendonk-liste 2024: Führende facility-service-unternehmen in deutschland. Stand: 17.06.2024.
- MacSporran, C. and Tucker, S. (2010). Target budget levels for building operating costs. *Construction Management and Economics*, 14:103–119.
- Maier, A. M., Moultrie, J., and Clarkson, P. J. (2011). Assessing organizational capabilities: reviewing and guiding the development of maturity grids. *IEEE transactions on engineering management*, 59(1):138–159.
- Märzinger, T. and Österreicher, D. (2019). Supporting the smart readiness indicator—a methodology to integrate a quantitative assessment of the load shifting potential of smart buildings. *Energies*, 12(10):1955.
- Massheder, K. and Finch, E. (1998). Benchmarking metrics used in uk facilities management. *Facilities*, 16:123–127.
- Mendell, M. and Heath, G. (2005). Do indoor pollutants and thermal conditions in schools influence student performance? a critical review of literature. *Indoor air*, 15:27–52.
- Mettler, T. (2009). A design science research perspective on maturity models in information systems. *St. Gallen: Institute of Information Management, University of St. Gallen*.
- Mettler, T. (2011). Maturity assessment models: a design science research approach. *International Journal of Society Systems Science (IJSSS)*, 3(1/2):81–98.

- Mettler, T., Rohner, P., and Winter, R. (2010). Towards a classification of maturity models in information systems. In *Management of the interconnected world*, pages 333–340. Springer.
- Meudt, T., Pohl, M., and Metternich, J. (2017). Die automatisierungspyramide-ein literaturüberblick. *Universitäts- und Landesbibliothek Darmstadt*.
- Mignola, L. and Tery, E. (2006). Finding appropriate external benchmarks. *Building Operating Management, Trade Press Media Group, Milwaukee, WI, March*.
- Moker, A. and Brosi, P. (2021). Digitale reifegradmodelle für dienstleistungsprozesse. In *Systematische Entwicklung von Dienstleistungsinnovationen: Augmented Reality für Pflege und industrielle Wartung*, pages 53–67. Springer.
- Montoya-Weiss, M. M. and Calantone, R. (1994). Determinants of new product performance: A review and meta-analysis. *Journal of product innovation management*, 11(5):397–417.
- Moore, G. T. (2008). The children’s physical environments rating scale (cpers). *Sydney: Environment, Behaviour and Society Research Group, University of Sydney, Australia*.
- Mosig, M., Kukovec, S., and Jacob, C. (2022). Welche stakeholder und interessen bestimmen die zusammenhänge der traditionellen wertschöpfung? In *Auf dem Weg zu einer nachhaltigen, effizienten und profitablen Wertschöpfung von Gebäuden: Grundlagen–neue Technologien, Innovationen und Digitalisierung–Best Practices*, pages 25–55. Springer.
- Mukelas, M., Zawawi, E. A., Kamaruzzaman, S., Ithnin, Z., and Zulkarnain, S. (2012). A review of critical success factors in building maintenance management of local authority in malaysia. In *2012 IEEE Symposium on Business, Engineering and Industrial Applications*, pages 653–657. IEEE.
- Nonaka, I. (1994). A dynamic theory of organizational knowledge creation. *Organization science*, 5(1):14–37.
- Nutt, B. (2000). Four competing futures for facility management. *Facilities*, 18(3/4):124–132.

- O' Sullivan, D., Keane, M., Kelliher, D., and Hitchcock, R. (2004). Improving building operation by tracking performance metrics throughout the building lifecycle (blc). *Energy and Buildings*, 36:1075–1090.
- Offermann, M., Gräf, D., Oschatz, B., Mailach, B., Köhler, B., Braungardt, S., Sprengard, C., and Barckhausen, A. (2022). Anpassung der sri-systematik für eine einföhrung in deutschland. BMWi-Projekt-Nr.: 115/21-1.
- Omar, O. (2018). Intelligent building, definitions, factors and evaluation criteria of selection. *Alexandria engineering journal*, 57(4):2903–2910.
- Parlament, E. and der Europäischen Union, R. (2024). Richtlinie (eu) 2024/1275 des europäischen parlaments und des rates vom 24. april 2024 über die gesamtenergieeffizienz von gebäuden (neufassung). EU-Richtlinie 2024/1275.
- Pati, D., Park, C.-S., and Augenbroe, G. (2009a). Roles of quantified expressions of building performance assessment in facility procurement and management. *Building and Environment*, 44:773–784.
- Pati, D., Park, C.-S., and Augenbroe, G. (2009b). Roles of quantified expressions of building performance assessment in facility procurement and management. *Building and Environment*, 44:773–784.
- Paulk, M. C., Curtis, B., Chrissis, M. B., and Weber, C. V. (1993). Capability maturity model, version 1.1. *IEEE software*, 10(4):18–27.
- Pfeffer, J. and Sutton, R. I. (1999). Knowing “what” to do is not enough: Turning knowledge into action. *California management review*, 42(1):83–108.
- Pitt, M. and Tucker, M. (2008). Performance measurement in facilities management: Driving innovation? *Property Management*, 26:241–254.
- Poepelbuss, J. and Roeglinger, M. (2011). What makes a useful maturity model? a framework of general design principles for maturity models and its demonstration in business process management. In *European Conference on Information Systems*.

- Preiser, W. (1995). Post-occupancy evaluation: How to make buildings work better. *Facilities*, 13:19–28.
- Preiser, W. and Wang, X. (2006). Assessing library performance with gis and building evaluation methods. *New Library World*, 107:193–217.
- Proença, D. and Borbinha, J. (2016). Maturity models for information systems-a state of the art. *Procedia Computer Science*, 100:1042–1049.
- PWC (2024). Die bauindustrie in krisenzeiten: Fortschritte bei esg, stillstand bei digitalisierung.
- Real I.S. AG (2023). Real i.s. grundvermögen gmbh & co. geschlossene investment-kg jahresbericht zum 31.12.2023. Jahresbericht, Real I.S. AG.
- Rezoug, A., Bader-El-Den, M., and Boughaci, D. (2018). Guided genetic algorithm for the multidimensional knapsack problem. *Memetic Computing*, 10:29–42.
- Rockart, J. (1979). Chief executives define their own data needs. *Harvard business review*, 57(2):81–93.
- Ross, K. W. and Tsang, D. H. (1989). The stochastic knapsack problem. *IEEE Transactions on communications*, 37(7):740–747.
- Salkin, H. M. and De Kluyver, C. A. (1975). The knapsack problem: a survey. *Naval Research Logistics Quarterly*, 22(1):127–144.
- Sanoff, H. (2001). School building assessment methods.
- Schulte, K.-W., Bone-Winkel, S., and Schäfers, W. (2015). *Betriebswirtschaftliche Grundlagen*. Walter de Gruyter GmbH & Co KG.
- Seebauer, M. and Viniczay, Z. (2006). Seafm facility management project, integrated management methodology for the property and facility of companies. In *Proceedings of 3rd Romanian-Hungarian Joint Symposium on Applied Computational Intelligence, SACI*, pages 25–26.
- Shen, G. and Liu, G. (2003). Critical success factors for value management studies in construction. *Journal of Construction Engineering and Management-asce - J CONSTR ENG MANAGE-ASCE*, 129.

- Shen, L., Li, Q., Drew, D., and Shen, G. (2004). Awarding construction contracts on multicriteria basis in china. *Journal of Construction Engineering and Management-asce - J CONSTR ENG MANAGE-ASCE*, 130.
- Shen, L., Lu, W., Shen, G., and Li, H. (2003). A computer-aided decision support system for assessing a contractor's competitiveness. *Automation in Construction*, 12:577–587.
- Shen, L., Lu, W., and Yam, M. (2006). Contractor key competitiveness indicators: A china study. *Journal of Construction Engineering and Management-asce - J CONSTR ENG MANAGE-ASCE*, 132.
- Shen Chiu, J. D. (2021). 047: Shen chiu on investa property group's smart buildings program and the ib index. *Nexus Labs*.
- Shin, H., Lee, H.-S., Park, M., and Lee, J. G. (2018). Facility management process of an office building. *Journal of Infrastructure Systems*, 24(3):04018017.
- Shohet, I., Lavy, S., and Bar-On, D. (2003). Integrated maintenance monitoring of hospital buildings. *Construction Management & Economics*, 21:219–228.
- Siu, G., Bridge, A., and Skitmore, M. (2001a). Assessing the service quality of building maintenance providers: Mechanical and engineering services. *Construction Management & Economics*, 19:719–726.
- Siu, G. K. W., Bridge, A., and Skitmore, M. (2001b). Assessing the service quality of building maintenance providers: mechanical and engineering services. *Construction Management and Economics*, 19(7):719–726.
- Śliwiński, B. and Gabryelczyk, R. (2010). Facility management process architecture framework. *Journal of Internet Banking & Commerce*, 15(3).
- Smart Building Collective (2022). Smart building certification design guide.
- Smart Building Collective (o. J.). Sbc framework how it works. <https://smartbuildingcollective.com/sbc-framework>. [Online; accessed 09. Mai 2023].

- SMART² (2024). Smart²: Smart tools for smart buildings. <https://www.smartsquare-project.eu/>. Zugriff: 28 Oktober 2024.
- So, A. T., Wong, A. C., and Wong, K.-C. (1999). A new definition of intelligent buildings for asia. *Facilities*, 17(12/13):485–491.
- Sommer, D. . (2021). Digital approved kriterienkatalog ein zertifizierungs-label mit mehrwert.
- SRI-ENACT (2024). Sri-enact: Co-creating tools and services for smart readiness indicator uptake. <https://srienact.eu/>. Zugriff: 28 Oktober 2024.
- SRI2MARKET (2024). Sri2market: Smart readiness indicator assessment tool. <https://sri2market.eu/>. Zugriff: 28 Oktober 2024.
- Srinivas, M. and Patnaik, L. M. (1994). Genetic algorithms: A survey. *computer*, 27(6):17–26.
- Subramanian, R., Subramanian, K., and Subramanian, B. (2009). Application of a fast and elitist multi-objective genetic algorithm to reactive power dispatch. *Serbian Journal of Electrical Engineering*, 6(1):119–133.
- Talbi, E.-G. (2009). *Metaheuristics: from design to implementation*. John Wiley & Sons.
- Tan, Y., Shen, L., Langston, C., Lu, W., and CH Yam, M. (2014a). Critical success factors for building maintenance business: A hong kong case study. *Facilities*, 32(5/6):208–225.
- Tan, Y., Shen, L., Langston, C., Lu, W., and Yam, M. (2014b). Critical success factors for building maintenance business: A hong kong case study. *Facilities*, 32.
- Tan, Y., Shen, L., Yam, M., and Lo, A. (2007). Contractor key competitiveness indicators (kcis): A hong kong study. *Surveying and Built Environment*, 18:33–46.
- Techem (2024). Das unternehmen techem: Wir stellen uns vor. Zugriff: 28 Oktober 2024.

- Teichmann, S. A. (2009). *Integriertes Facilities-Management in Europa: theoretische Konzeption, empirische Untersuchung und Marktanalyse zur Gestaltung und Steuerung von Wertschöpfungspartnerschaften im internationalen Kontext*, volume 55. Immobilien-Manager-Verl.
- Tsang, A. (1998). A strategic approach to managing maintenance performance. *j of qual in maint eng* 4(2): 87-94. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 4:87–94.
- Tsang, A. (2002). Strategic dimensions of maintenance management. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 8:7–39.
- Tsang, A., Jardine, A., and Kolodny, H. (1999). Measuring maintenance performance: A holistic approach. *International Journal of Operations & Production Management*, 19:691–715.
- Tse, P. (2002). Maintenance practices in hong kong and the use of the intelligent scheduler. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 8:369–380.
- Tucker, M., Turley, M., and Holgate, S. (2014a). Critical success factors of an effective repairs and maintenance service for social housing in the uk. *Facilities*, 32(5/6):226–240.
- Tucker, M., Turley, M., and Holgate, S. (2014b). Critical success factors of an effective repairs and maintenance service for social housing in the uk. *Facilities*, 32.
- Umbarkar, A. J. and Sheth, P. D. (2015). Crossover operators in genetic algorithms: a review. *ICTACT journal on soft computing*, 6(1).
- Vaillant (2024). Vaillant group in schwierigem marktumfeld weiter gewachsen. Zugriff: 28 Oktober 2024.
- Vattano, S. et al. (2014). Smart buildings for a sustainable development. *Journal of Economics World*, 2:310–324.
- VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik (2019). VDI 3814: Gebäudeautomation (ga). Richtlinie, VDI/VDE-IT, Düsseldorf, Deutschland.

- Verbeke, S., Aerts, D., Reynders, G., Ma, Y., and Waide, P. (2020). Final report on the technical support to the development of a smart readiness indicator for buildings.
- Verbeke, S., Ma, Y., Van Tichelen, P., Bogaert, S., Gómez Oñate, V., Waide, P., Bettgenhäuser, K., Ashok, J., Hermelink, A., Offermann, M., Groezinger, J., Uslar, M., and Schulte, J. (2018). Support for setting up a smart readiness indicator for buildings and related impact assessment final report.
- Verma, S., Pant, M., and Snasel, V. (2021). A comprehensive review on nsga-ii for multi-objective combinatorial optimization problems. *Ieee Access*, 9:57757–57791.
- Waziri, B. S. (2016). Design and construction defects influencing residential building maintenance in nigeria. *Jordan Journal of Civil Engineering*, 10:313–323.
- WiredScore (2023). WiredScore SmartScore. Zugriff am 28. Dezember 2023.
- Wireman, T. (2005). *Developing performance indicators for managing maintenance*. Industrial Press Inc.
- Wong, J., Li, H., and Wang, S. W. (2005a). Intelligent building research: a review. *Automation in Construction*, 14(1):143–159.
- Wong, J. K., Li, H., and Wang, S. (2005b). Intelligent building research: a review. *Automation in construction*, 14(1):143–159.
- Yasamis, F., Arditi, D., and Mohammadi, J. (2002). Assessing contractor quality performance. *Construction Management & Economics*, 20:211–223.
- Yiu, E. (2008). Intelligent building maintenance — a novel discipline. *Journal of Building Appraisal*, 3:305–317.
- Yiu, E., Lo, S., Ng, S., and Ng, M. (2002). Contractor selection for small building works in hong kong. *Structural Survey*, 20:129–135.

- Zavadskas, E. and Vilutienė, T. (2006). A multiple criteria evaluation of multi-family apartment block's maintenance contractors: I—model for maintenance contractor evaluation and the determination of its selection criteria. *Building and Environment - BLDG ENVIRON*, 41:621–632.
- ZIA/EY Real Estate (2023). Digitalisierungsstudie 2023: Digitalisierung in der Immobilienbranche: Stockt der Fortschritt?
- Zutshi, A. and Sohal, A. (2004). Adoption and maintenance of environmental management systems: Critical success factors. *Management of Environmental Quality: An International Journal*, 15:399–419.
- 中国房地产协会(2020). 智慧建筑评价标准. 中国房地产业协会/国家建筑信息模型 (BIM) 产业技术创新战略联盟.