

TEXTE

70/2025

**Abschlussbericht**

# **Aufbau eines Registers für Rechenzentren in Deutschland und Entwicklung eines Bewertungssystems für energieeffiziente Rechenzentren**

**PEERDC**

**von:**

Prof. Dr.-Ing. Peter Radgen, Nicola Schuckert  
Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (IER), Universität Stuttgart, Stuttgart

in Kooperation mit

Jens Gröger, Felix Behrens  
Öko-Institut e.V., Freiburg

Dr. Dieter Thiel  
Data Center Group, Wallmenroth

Susann Bollmann, Mira Weber  
Deutsche Unternehmensinitiative Energieeffizienz e.V.

Martin Kohoutek  
German Datacenter Association e.V.

Ulrike Ostler  
Vogel IT-Media GmbH

**Herausgeber:**  
Umweltbundesamt



TEXTE 70/2025

EVUPLAN des Bundesministeriums für Wirtschaft und  
Klimaschutz

Forschungskennzahl 37EV 20 103 0  
FB001610

Abschlussbericht

# **Aufbau eines Registers für Rechenzentren in Deutschland und Entwicklung eines Bewer- tungssystems für energieeffiziente Rechen- zentren**

PEERDC

von

Prof. Dr.-Ing. Peter Radgen, Nicola Schuckert  
Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energiean-  
wendung (IER), Universität Stuttgart, Stuttgart

in Kooperation mit

Jens Gröger, Felix Behrens  
Öko-Institut e.V., Freiburg

Dr. Dieter Thiel  
Data Center Group, Wallmenroth

Susann Bollmann, Mira Weber  
Deutsche Unternehmensinitiative Energieeffizienz e.V.

Martin Kohoutek  
German Datacenter Association e.V.

Ulrike Ostler  
Vogel IT-Media GmbH

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

## Impressum

### Herausgeber

Umweltbundesamt  
Wörlitzer Platz 1  
06844 Dessau-Roßlau  
Tel: +49 340-2103-0  
Fax: +49 340-2103-2285  
[buergerservice@uba.de](mailto:buergerservice@uba.de)  
Internet: [www.umweltbundesamt.de](http://www.umweltbundesamt.de)

### Durchführung der Studie:

Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (IER), Universität Stuttgart  
Heßbrühlstraße 49a  
70565 Stuttgart

### Abschlussdatum:

Juni 2024

### Redaktion:

Fachgebiet Z 2.3 / V 1.4  
Marina Köhn / Andreas Halatsch

DOI:  
<https://doi.org/10.60810/openumwelt-7653>

ISSN 1862-4804

Dessau-Roßlau, Mai 2025

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.

**Kurzbeschreibung: Aufbau eines Registers für Rechenzentren in Deutschland und Entwicklung eines Bewertungssystems für energieeffiziente Rechenzentren**

Das Forschungsprojekt zielt darauf ab, eine valide Datenbasis über Rechenzentren in Deutschland zu schaffen, um zukünftige Entwicklungen besser zu gestalten und zu steuern. Dafür werden ein Register für Grunddaten und umweltrelevante Leistungskennzahlen von Rechenzentren konzipiert und prototypisch umgesetzt, ein Bewertungssystem und eine Software zur Bewertung für energieeffiziente Rechenzentren entwickelt und die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf europäischer Ebene geprüft. Das Projekt konzentriert sich insbesondere auf Dienstleistungs-Rechenzentren, wie bspw. Co-Location und Hosting Rechenzentren, das am schnellsten wachsenden Segment. Ziel ist es, ein nationales Rechenzentrumsregister und Bewertungssystem zu entwickeln, das die Energieeffizienz transparent darstellt und Unternehmen bei der Auswahl effizienter und nachhaltiger Rechenzentren unterstützt. Im Rahmen eines Stakeholder Prozesses werden die Konzepte, Ideen und die Akzeptanz der Projektergebnisse diskutiert und weiterentwickelt. Das erstellte Register und das Bewertungssystem werden anhand ausgewählter Rechenzentren validiert. Die Bereitstellung vergleichbarer Daten soll den Wettbewerb stärken und zur Reduktion des Gesamtenergieverbrauchs beitragen.

**Abstract: Development of a register for data centres in Germany and of an assessment system for energy-efficient data centres**

The research project aims to establish a valid database on datacentres in Germany to better shape and manage future developments. It involves developing and building a prototype register for fundamental data and environmentally relevant performance indicators of datacentres, developing an evaluation system and software for rating energy-efficient datacentres, and examining the transferability of the results at the European level. The project specifically focuses on Co-Location datacentres, the fastest-growing segment in the industry. The goal is to develop a national evaluation system that transparently represents energy efficiency and assists businesses in selecting efficient and sustainable datacentres. The concepts, ideas and acceptance of the project results are discussed and further developed as part of a stakeholder process. By providing easily accessible and comparable data, the project seeks to enhance competition and contribute to reducing the overall energy consumption of datacentres.

## Inhaltsverzeichnis

|                                                                                 |    |
|---------------------------------------------------------------------------------|----|
| Abbildungsverzeichnis.....                                                      | 9  |
| Tabellenverzeichnis .....                                                       | 10 |
| Abkürzungsverzeichnis.....                                                      | 12 |
| Zusammenfassung.....                                                            | 13 |
| Summary .....                                                                   | 15 |
| 1 Einleitung.....                                                               | 17 |
| 1.1 Begriffsbestimmungen.....                                                   | 17 |
| 1.2 Hintergrund und Zielsetzung.....                                            | 19 |
| 1.3 Aufbau des Forschungsberichts .....                                         | 22 |
| 2 Überblick über Forschung, Instrumente und Label.....                          | 23 |
| 2.1 Normen und Kennzahlen für RZ.....                                           | 23 |
| 2.2 RZ Datenbanken.....                                                         | 24 |
| 2.3 Gesetzliche Entwicklungen .....                                             | 26 |
| 3 Entwicklung eines Bewertungssystems für energieeffiziente Rechenzentren ..... | 29 |
| 3.1 Basisdaten .....                                                            | 29 |
| 3.2 Klassifizierung von RZ.....                                                 | 31 |
| 3.3 Indikatoren für Energieeffizienz und Umweltwirkungen.....                   | 32 |
| 3.3.1 Energieeffizienz.....                                                     | 33 |
| 3.3.2 Treibhausgasemissionen.....                                               | 37 |
| 3.3.3 Wasserverbrauch EN 50600-4-9 (Water Usage Effectiveness: WUE).....        | 39 |
| 3.3.4 Flächenversiegelung .....                                                 | 40 |
| 3.3.5 Elektroschrott-Aufkommen .....                                            | 42 |
| 3.4 Weitere Anforderungen.....                                                  | 42 |
| 3.4.1 Plausibilitätsprüfung .....                                               | 42 |
| 3.4.2 Daten für Beschaffung von RZ-Dienstleistungen .....                       | 43 |
| 3.4.3 Daten für Netzbetreiber und die kommunale Planung .....                   | 43 |
| 3.4.4 Forschungsfragen an das Register .....                                    | 43 |
| 3.5 Energieeffizienzkennzeichnung .....                                         | 44 |
| 3.5.1 Gebäudetechnik.....                                                       | 45 |
| 3.5.2 Informationstechnik.....                                                  | 49 |
| 3.5.3 Energieeffizienzkennzeichnung .....                                       | 57 |
| 4 Register für Rechenzentren.....                                               | 64 |
| 4.1 Entwicklung eines Registers für RZ .....                                    | 64 |

|         |                                                                                                        |     |
|---------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.1.1   | Aufbau des RZ Registers.....                                                                           | 64  |
| 4.1.2   | Datenpunkte und Datensammlung.....                                                                     | 66  |
| 4.1.3   | Bestandteile des Registers für RZ .....                                                                | 67  |
| 4.1.4   | Funktionen des Registers für RZ .....                                                                  | 70  |
| 4.1.5   | Visualisierung .....                                                                                   | 83  |
| 4.1.5.1 | Öffentliches Register.....                                                                             | 84  |
| 4.1.5.2 | Register zur Einsicht von Behörden.....                                                                | 98  |
| 4.1.6   | Sicherheit und Datenschutz .....                                                                       | 105 |
| 4.1.7   | Verbesserungsvorschläge .....                                                                          | 107 |
| 4.2     | Konzept für eine weitere Nutzung der Daten.....                                                        | 109 |
| 4.2.1   | Datenanalysen mithilfe der Registerapplikation von PEERDC.....                                         | 110 |
| 4.3     | Qualitätssicherung in der Praxis .....                                                                 | 112 |
| 4.3.1   | Akzeptanz und Hemmnisse.....                                                                           | 113 |
| 4.3.2   | Auswertung.....                                                                                        | 116 |
| 4.3.3   | Zusammenfassung der Qualitätssicherung.....                                                            | 118 |
| 5       | Machbarkeit eines EU-Bewertungssystems.....                                                            | 120 |
| 5.1     | Weitere Anforderungen an die Klassifizierung .....                                                     | 120 |
| 5.1.1   | Wasserknappheit .....                                                                                  | 120 |
| 5.1.2   | Menge des radioaktiven Abfalls.....                                                                    | 121 |
| 5.2     | Europäische Regulierungsansätze.....                                                                   | 122 |
| 5.2.1   | Richtlinie über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (2010/31/EU) .....                             | 122 |
| 5.2.2   | Ökodesign-Richtlinie (2009/125/EG) .....                                                               | 123 |
| 5.2.3   | Verordnung zur Energieverbrauchskennzeichnung (2017/1369/EU).....                                      | 123 |
| 5.2.4   | EU Topten Datenbanken.....                                                                             | 124 |
| 5.2.5   | European Code of Conduct for Energy Efficiency in Data Centres .....                                   | 125 |
| 5.2.6   | Taxonomie-Verordnung zur Erleichterung nachhaltiger Investitionen<br>(2020/852/EU) .....               | 125 |
| 5.2.7   | Delegierte Verordnung vom 4. Juni 2021 zur Ergänzung der Taxonomie-<br>Verordnung (2021/2139/EU) ..... | 126 |
| 5.2.8   | EU Green Public Procurement Guidelines .....                                                           | 127 |
| 5.2.9   | Freiwillige Selbstverpflichtungen der Rechenzentren-Branche („Self-Regulation“) .....                  | 128 |
| 5.2.10  | Energieeffizienzrichtlinie .....                                                                       | 129 |
| 5.2.11  | Verordnung über die Energiestatistik (2022/2008/EU).....                                               | 130 |
| 5.3     | Übersicht .....                                                                                        | 131 |
| 5.4     | Das europäische Register und Label .....                                                               | 132 |

|       |                                                                               |     |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 5.5   | Überarbeitungsbedarf des delegierten Rechtsaktes .....                        | 133 |
| 5.5.1 | Aktueller Gesetzestext der EED .....                                          | 133 |
| 5.5.2 | Bewertung.....                                                                | 134 |
| 6     | Kommunikation und Verbreitung der Ergebnisse .....                            | 135 |
| 6.1   | Flyer und Logo.....                                                           | 135 |
| 6.2   | Öffentlichkeitsarbeit .....                                                   | 136 |
| 6.3   | Begleitkreistreffen .....                                                     | 137 |
| 6.3.1 | Auswahl der Teilnehmenden .....                                               | 137 |
| 6.3.2 | Planung, Vorbereitung und Ergebnisse .....                                    | 138 |
| 6.3.3 | Nachbereitung der Begleitkreistreffen .....                                   | 143 |
| 7     | Projektergebnisse und weiterer Forschungsbedarf .....                         | 144 |
| 7.1   | Projektergebnisse .....                                                       | 144 |
| 7.2   | Verbleibender Forschungsbedarf .....                                          | 146 |
|       | Literaturverzeichnis .....                                                    | 148 |
| A     | Anhang: Verfügbarkeitsklassen.....                                            | 155 |
| A.1   | Verfügbarkeitsklassen .....                                                   | 155 |
| B     | Anhang: Klassifizierung von Rechenzentren .....                               | 156 |
| B.1   | Vorstellung vorhandener Kategorien von RZ.....                                | 156 |
| B.1   | Bewertung der Klassifizierung.....                                            | 167 |
| C     | Anhang: Benutzerhandbuch für das Datenerfassungstools.....                    | 171 |
| C.1   | Ausfüllen der Erfassungsmappe .....                                           | 172 |
| C.2   | Datensammlung .....                                                           | 172 |
| C.3   | Erstellen der JSON-Datei .....                                                | 172 |
| C.3.1 | Voraussetzungen .....                                                         | 172 |
| C.3.2 | Erstellen der JSON-Datei .....                                                | 173 |
| C.4   | Für IT-Betreiber: Auslesen der CPU-Auslastung mit Grafana und Prometheus..... | 173 |
| D     | Anhang: Anmeldung und Datenupload .....                                       | 176 |
| D.1   | Registrierung im Register.....                                                | 176 |
| D.2   | RZ-Betreiber anlegen .....                                                    | 176 |
| D.3   | IT-Betreiber anlegen .....                                                    | 177 |
| D.4   | Datenupload .....                                                             | 179 |
| D.4.1 | RZ-Betreiber .....                                                            | 179 |
| D.4.2 | IT-Betreiber .....                                                            | 179 |
| D.5   | Änderung Stammdaten.....                                                      | 180 |

|                                                         |     |
|---------------------------------------------------------|-----|
| D.6 Kontaktperson hinzufügen oder ändern.....           | 181 |
| E Anhang: Beschreibung der SQL-Datenbank .....          | 182 |
| E.1 Übersicht der Datenbankstruktur .....               | 182 |
| E.2 Beschreibung der Tabellen, Spalten, Datentypen..... | 182 |
| E.2.1 Tabellen Schema historie: .....                   | 182 |
| E.2.2 Tabellen Schema public:.....                      | 183 |
| E.3 Beschreibung der Views .....                        | 190 |

## Abbildungsverzeichnis

|               |                                                                                                                       |    |
|---------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Abbildung 1   | Typische Wochenkurve der CPU-Auslastung und der Energieaufnahme .....                                                 | 37 |
| Abbildung 2:  | Energieeffizienzindex $EEl_{PUE}$ .....                                                                               | 46 |
| Abbildung 3:  | Energieeffizienzindex $EEl_{CER}$ .....                                                                               | 47 |
| Abbildung 4:  | Energieeffizienzindex $EEl_{ERF}$ .....                                                                               | 48 |
| Abbildung 5:  | Servereffizienz abhängig von der CPU-Auslastung und Servergeneration.....                                             | 51 |
| Abbildung 6:  | Zusammenhang zwischen CPU-Auslastung und elektrischer Leistungsaufnahme<br>von typischen und idealen Servern .....    | 52 |
| Abbildung 7:  | Zusammenhang zwischen CPU-Auslastung und Lastkorrelation ( $LC_{Server}$ ) von<br>typischen und idealen Servern ..... | 54 |
| Abbildung 8:  | Energieeffizienzkennzeichnung für Rechenzentren .....                                                                 | 59 |
| Abbildung 9:  | Online-Tool zur Erprobung der Energieeffizienzkennzeichnung .....                                                     | 60 |
| Abbildung 10: | Übersicht der Softwarearchitektur des Registers .....                                                                 | 66 |
| Abbildung 11: | Dashboard öffentliches Energieeffizienzregister für Rechenzentren .....                                               | 85 |
| Abbildung 12: | Darstellung zweistelliger Postleitzahlbereich.....                                                                    | 86 |
| Abbildung 13: | Gesamtstromverbrauch, Eigenerzeugung, Gesamtbezug und Stromrückspeisung.....                                          | 88 |
| Abbildung 14: | Zusammensetzung des Strombezugs .....                                                                                 | 88 |
| Abbildung 15  | Anzahl der Rechenzentren in Größenklasse je PLZ-Region 1-stellig .....                                                | 89 |
| Abbildung 16: | Information zur verfügbaren Abwärme je 1-stelligen PLZ-Bereich .....                                                  | 89 |
| Abbildung 17: | Treibhausgasemissionen durch Treibstoffe und Kältemittel .....                                                        | 90 |
| Abbildung 18: | Choroplethenkarte für die mittlere CPU-Auslastung .....                                                               | 90 |
| Abbildung 19: | Stromverbrauch der IT je 1-stelliger Postleitzahlregion.....                                                          | 91 |
| Abbildung 20: | Unterschiede der IT-Anschlussleistung je 1-stelliger Postleitzahlregion .....                                         | 91 |
| Abbildung 21: | Filtermöglichkeit Teil 1 .....                                                                                        | 92 |
| Abbildung 22: | Filtermöglichkeit Teil 2 .....                                                                                        | 92 |
| Abbildung 23: | Ausgabetabelle Rechenzentren.....                                                                                     | 93 |
| Abbildung 24: | Ausgabetabelle IT-Betreiber .....                                                                                     | 93 |
| Abbildung 25: | Standortdarstellung einzelnes Rechenzentrum .....                                                                     | 94 |
| Abbildung 26: | Energieeffizienzkennzahlen des Rechenzentrums .....                                                                   | 94 |
| Abbildung 27: | Informationen zur Abwärme eines einzelnen Rechenzentrums.....                                                         | 95 |
| Abbildung 28: | Tabelle mit Informationen zum Rechenzentrum .....                                                                     | 95 |

|               |                                                                                                             |     |
|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Abbildung 29: | Stromverbrauch der letzten 3 Jahre des ausgewählten Rechenzentrums.....                                     | 95  |
| Abbildung 30: | Stromproduktion und Rückspeisung des einzelnen Rechenzentrums .....                                         | 96  |
| Abbildung 31: | Choroplethenkarte IT-Betreiber .....                                                                        | 97  |
| Abbildung 32: | Einzel Darstellung für einen IT Betreiber für Stromverbrauch und Änderung der Anschlussleistung .....       | 98  |
| Abbildung 33: | Choroplethenkarte zur Einsicht von Behörden (RZ).....                                                       | 99  |
| Abbildung 34: | Stromverbrauch aufgeteilt nach Informationstechnik, Kühlung und sonstige Verbräuche .....                   | 100 |
| Abbildung 35: | Stromerzeugung des RZ.....                                                                                  | 100 |
| Abbildung 36: | Netzanschlussleistung des RZ, Leistung von NEA und USV .....                                                | 101 |
| Abbildung 37: | Brenn- und Treibstoffverbrauch nach Art .....                                                               | 101 |
| Abbildung 38: | Kältemittelverbrauch nach Art des Kältemittels .....                                                        | 101 |
| Abbildung 39: | Wasserverbrauch nach Art der Wasserqualität .....                                                           | 102 |
| Abbildung 40: | Wochenprofil der mittleren CPU-Auslastung aller Server.....                                                 | 102 |
| Abbildung 41: | Anzeige des Rechenzentrumsstandortes .....                                                                  | 103 |
| Abbildung 42: | Tabellarische Ausgabe von Informationen zum Rechenzentrum .....                                             | 103 |
| Abbildung 43: | Ansicht der Verbrauchsdaten eines einzelnen Rechenzentrums.....                                             | 104 |
| Abbildung 44: | Liste der IT-Betreiber in einem Rechenzentrum .....                                                         | 104 |
| Abbildung 45: | Ansicht der Verbrauchsdaten eines IT-Betreibers.....                                                        | 105 |
| Abbildung 46: | Ergebnis der Datenerfassung bei den Praxispartnerrechenzentren .....                                        | 117 |
| Abbildung 47: | Wasserknappheit in Europa .....                                                                             | 121 |
| Abbildung 48: | Logo PEERDC.....                                                                                            | 136 |
| Abbildung 49: | Titelseite des Flyers PEERDC.....                                                                           | 136 |
| Abbildung 50: | Agenda mit Themen und Referenten des ersten PEERDC Begleitkreistreffens ....                                | 139 |
| Abbildung 51: | Miroboards mit Fragen und Post-It's der ersten Diskussionsrunde des ersten PEERDC Begleitkreistreffens..... | 140 |
| Abbildung 52: | Agenda mit Themen und Referenten des zweiten PEERDC Begleitkreistreffens..                                  | 141 |
| Abbildung 53: | Agenda des 3. Begleitkreistreffens.....                                                                     | 142 |

## Tabellenverzeichnis

|             |                                                   |    |
|-------------|---------------------------------------------------|----|
| Tabelle 1:  | Basisdaten des Unternehmens.....                  | 30 |
| Tabelle 2:  | Basisdaten des RZ .....                           | 30 |
| Tabelle 3:  | Anzahl Mieter .....                               | 31 |
| Tabelle 4:  | Basisdaten des IT-Betreibers .....                | 31 |
| Tabelle 5:  | Absoluter Stromverbrauch der IT .....             | 33 |
| Tabelle 6:  | Absoluter Stromverbrauch des RZ.....              | 33 |
| Tabelle 7:  | Abwärmenutzung .....                              | 35 |
| Tabelle 8:  | Wochenprofil.....                                 | 36 |
| Tabelle 9:  | Anteil erneuerbarer Energien.....                 | 37 |
| Tabelle 10: | Treibhausgasemissionen der Kälteanlage .....      | 38 |
| Tabelle 11: | Treibhausgasemissionen der Netzersatzanlage ..... | 39 |
| Tabelle 12: | Wasserverbrauch.....                              | 39 |

|             |                                                                                                                   |     |
|-------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabelle 13: | Flächenversiegelung .....                                                                                         | 41  |
| Tabelle 14: | Leistungsdichte .....                                                                                             | 41  |
| Tabelle 15: | Elektroschrott .....                                                                                              | 42  |
| Tabelle 16: | Notwendige Ergänzungen der Datenerhebung .....                                                                    | 57  |
| Tabelle 17: | Zuordnung des Energieeffizienzindex EEI zur Effizienzklasse .....                                                 | 58  |
| Tabelle 18: | Bewertung der Regulierungsansätze für die Einführung eines Labels für energieeffizienten RZ- und IT-Betrieb ..... | 132 |
| Tabelle 19: | Verfügbarkeitsklassen nach BSI .....                                                                              | 155 |
| Tabelle 20: | Klassifikation „Zweck“ nach DIN EN 50600-1: 2019 .....                                                            | 156 |
| Tabelle 21: | Klassifikation Verantwortungsbereich der Akteure („type“) nach EU CoC .....                                       | 157 |
| Tabelle 22: | Klassifikation Verantwortungsbereiche des Betreibers nach Bilsen et al. ....                                      | 157 |
| Tabelle 23: | Klassifikation Unternehmens-RZ nach Salom et al. ....                                                             | 158 |
| Tabelle 24: | Klassifikation Co-Location-RZ nach Equinix .....                                                                  | 158 |
| Tabelle 25: | Klassifikation Verfügbarkeitsklassen nach Uptime Institute .....                                                  | 159 |
| Tabelle 26: | Klassifikation Verfügbarkeitsklassen nach DIN EN 50600-1: 2019 .....                                              | 160 |
| Tabelle 27: | Verfügbarkeit und Ausfallzeit nach DIN EN 50600-1: 2019 .....                                                     | 161 |
| Tabelle 28: | Klassifikation IT-Fläche nach Hintemann .....                                                                     | 162 |
| Tabelle 29: | Klassifikation IT-Fläche nach Mike Andrea .....                                                                   | 162 |
| Tabelle 30: | Klassifikation IT-Fläche nach United States Data Center Energy Usage Report ....                                  | 162 |
| Tabelle 31: | Klassifikation IT-Fläche nach Bilsen et al. ....                                                                  | 163 |
| Tabelle 32: | Klassifikation Anzahl Server nach Hintermann .....                                                                | 163 |
| Tabelle 33: | Klassifikation Anzahl Serverschränke nach Mike Andrea .....                                                       | 163 |
| Tabelle 34: | Klassifikation Anzahl Serverschränke nach Bilsen et al. ....                                                      | 164 |
| Tabelle 35: | Klassifikation Elektrische Anschlussleistung des gesamten RZ nach Hintemann ..                                    | 164 |
| Tabelle 36: | Klassifikation Elektrische Anschlussleistung des gesamten RZ nach Consumer Research Associates .....              | 164 |
| Tabelle 37: | Klassifikation IT-Anschlussleistung nach Hintemann .....                                                          | 165 |
| Tabelle 38: | Klassifikation IT-Anschlussleistung nach Warrenstein .....                                                        | 165 |
| Tabelle 39: | Klassifikation IT-Anschlussleistung nach Salom et al. ....                                                        | 166 |
| Tabelle 40: | Klassifikation IT-Anschlussleistung nach Bilsen et al. ....                                                       | 166 |

## Abkürzungsverzeichnis

| Abkürzung | Erläuterung                                    |
|-----------|------------------------------------------------|
| API       | Application Programming Interface              |
| BMWK      | Bundesamt für Wirtschaft und Klimaschutz       |
| CER       | Cooling Efficiency Ratio                       |
| CPU       | Central Processing Unit                        |
| DIN       | Deutsches Institut für Normung                 |
| EED       | Energy Efficiency Directive                    |
| EnEfG     | Energieeffizienzgesetz                         |
| engl.     | englisch                                       |
| ERF       | Energy Reuse Factor                            |
| EU        | Europäische Union                              |
| FK        | Foreign Key                                    |
| GIS       | Geoinformationssystem                          |
| ISO       | International Organization for Standardization |
| ITEE      | IT Equipment Energy Efficiency for Servers     |
| ITEU      | IT Equipment Utilization for Servers           |
| IT        | Informationstechnologie                        |
| Mrd.      | Milliarden                                     |
| MSP       | Managed Service Provider                       |
| NEA       | Netzersatzanlage                               |
| PK        | Primary Key                                    |
| PUE       | Power Usage Effectiveness                      |
| RZ        | Rechenzentrum                                  |
| SERT      | Server Efficiency Rating Tool                  |
| Sq.ft.    | Square feet                                    |
| SQL       | Structured Query Language                      |
| THG       | Treibhausgas                                   |
| UBA       | Umweltbundesamt                                |
| URL       | Uniform Resource Locator                       |
| USV       | Unterbrechungsfreie Stromversorgung            |
| WUE       | Water Usage Effectiveness                      |
| z.B.      | Zum Beispiel                                   |
| u.a.      | Unter anderem                                  |

## Zusammenfassung

Um die zukünftige Entwicklung in der Rechenzentrumsbranche besser in Richtung Klima- und Ressourcenschutz zu steuern und zu gestalten, ist eine solide Datenbasis unerlässlich. Einheitliche Standards sind erforderlich, um erhobene Daten hinsichtlich der Umweltvorteile vergleichbar und sinnvoll aggregieren zu können. Dadurch wird die Energieeffizienz eines Rechenzentrums transparent und nachvollziehbar dokumentiert, was letztendlich positive Verhaltensänderungen in der Branche fördern soll.

Drei Hauptmaßnahmen wurden umgesetzt:

1. **Aufbau eines Registers für Rechenzentren (RZ) und grafische Visualisierung und Aufbereitung der Inhalte:** Ein Prototyp des Registers wurde basierend auf einem in Zusammenarbeit mit der Branche entwickelten Erfassungstool erstellt. Die umfassende Datenbank, die darauf basiert, dient als solide Grundlage und sammelt unter anderem Stromverbräuche, Auslastungskurven der IT und Standorte der Rechenzentren. Um sensible Daten zu schützen, wurde ein Register erstellt, das öffentlich zugängliche Informationen enthält, während die vollständige Datenbank mit allen Informationen und Kennzahlen nur für Behörden zugänglich ist. Das Register ist in zwei Hauptbereiche unterteilt: einen für die Daten der RZ-Betreiber und einen für die Daten der IT-Betreiber, wobei für jeden Teilbereich relevante Kennzahlen und Verbrauchswerte visualisiert werden. Um Forschungsfragen zu beantworten wurden bereits Workflows zur Auswertung der Daten in die Datenbankstruktur implementiert.
2. **Entwicklung eines Bewertungssystems und einer Bewertungssoftware für energieeffiziente Rechenzentren:** Es wurde ein Energieeffizienzlabel entwickelt, das eine integrierte Bewertung von Infrastruktur und IT anhand der erfassten Daten durchführt. Energieeffizienzindizes wurden in Effizienzklassen von A bis G umgerechnet, die getrennt für Gebäude- und Informationstechnik angezeigt werden. Das Label bietet Platz für die wesentlichen Informationen wie die Power Usage Effectiveness (PUE), Cooling Efficiency Ratio (CER), Energy Reuse Factor (ERF) und den Anteil erneuerbarer Energien (REF). Ziel ist es, die Energieeffizienz sichtbar und vergleichbar zu machen, um einen fairen Wettbewerb zu fördern.
3. **Prüfung der Übertragbarkeit der Ergebnisse und Machbarkeit eines Bewertungssystems für Rechenzentren auf europäischer Ebene:** Für die Prüfung der Machbarkeit der Einführung eines europäischen Energieeffizienzlabels wurde die verschiedenen europäischen Regulierungsansätze geprüft. Es wird empfohlen, diese zu kombinieren, um eine zentrale europäische Datenbank für die Energieeffizienz von Rechenzentren und dem IT Betrieb einzurichten. Dabei werden auch unterschiedliche klimatische Bedingungen und Wasserknappheit berücksichtigt.

Zunächst wurde festgelegt, welche Daten in welcher Auflösung von Rechenzentrums- und IT-Betreibern erfasst werden müssen. Dabei wurden bestehende Kennzahlen, Normen und Regelwerke sowie die Anforderungen des Blauen Engels für Rechenzentren einbezogen. Ein Erhebungsbogen wurde entwickelt und mit relevanten Stakeholdern diskutiert, um die Transparenz und Vergleichbarkeit der Daten sicherzustellen und sicherzustellen, dass die Erfassung der Daten einfach möglich ist und der zumutbare Aufwand nicht überschritten wird, um die Akzeptanz für ein entsprechendes Register zu erreichen und gleichzeitig der erforderlichen Daten für vertiefte Analysen zu erfassen.

Um Rechenzentren in einem Energieeffizienzregister vergleichbar zu machen, wurde eine Klassifizierung erarbeitet. Diese umfasst vier Dimensionen:

1. Betreiber typ.
2. Verfügbarkeitsklasse und Sicherheitsniveau.
3. Physische Größe.
4. Klimatische Bedingungen.

Die Datenerfassung wurde einem Praxistest unterzogen. Dabei stellte sich heraus, dass viele Betreiber zwar Interesse an einem Effizienzregister für Rechenzentren zeigen, jedoch große Bedenken hatten, Daten für ihre Rechenzentren zur Verfügung zu stellen. In der Pilotphase des Projektes stellten letztlich elf Unternehmen Daten für das Forschungsprojekt zur Verfügung, wovon sich sieben intensiv engagierten und vollständige Daten bereitstellten, allerdings unter der Voraussetzung, dass diese nicht veröffentlicht werden.

Um das Bewusstsein für Energie- und Ressourceneffizienz in Rechenzentren zu schärfen und die Motivation zur Teilnahme zu fördern, wurden gezielte Kommunikationsmaßnahmen und Stakeholder-Prozesse durchgeführt. Das Projekt wurde auf einer Vielzahl von Veranstaltungen wie z.B. dem DataCenter Strategy Summit 2022 und der Data Center World in Frankfurt vorgestellt. Zudem wurde eine Projekt-Homepage erstellt, auf der Informationen zum Projekt, zum Rechenzentrumsregister, dem Energieeffizienzlabel und weiteren Aktivitäten im Projekt veröffentlicht und zur Diskussion gestellt wurden. Ein Begleitkreis mit Branchenvertretern wurde regelmäßig über die Projektfortschritte informiert. Außerdem wurden Themen wie den Umfang der Datenerfassung und die Veröffentlichung bestimmter Daten diskutiert.

Im September 2023 wurde das Energieeffizienzgesetz (EnEfG) beschlossen, dass Betreiber von Rechenzentren dazu verpflichtet, jährlich Daten zu ihrem Energieverbrauch und ihrer Effizienz in ein zentrales Register einzutragen. Die Ergebnisse des Forschungsvorhabens konnten dabei den gesetzlichen Prozess befruchten und es erfolgte aus dem Projekt heraus eine fachliche und inhaltliche Unterstützung bei der Umsetzung zum Aufbau eines Registers. So ergaben sich teilweise Überschneidungen zwischen dem Forschungsprojekt, den Arbeiten auf europäischer Ebene am Delegated Act zur Europäischen Energieeffizienzrichtlinie und der Entwicklung des deutschen Energieeffizienzgesetzes.

## Summary

In order to better steer and shape future developments in the data center industry towards climate protection and resource efficiency, a solid database of knowledge is essential. Uniform standards are required in order to be able to compare and meaningfully aggregate data collected from datacentres in terms of environmental benefits. This makes the energy efficiency of a datacentres transparent and comprehensibly well documented, which should ultimately promote behavioural changes in the datacentre industry to become more sustainable.

Three main research activities were implemented:

1. Establishment of a registry for datacentres and visualization of its contents: A prototype of the register was created together with a data collection tool in collaboration with the industry. The comprehensive and structured database had been designed and implemented to collect data points such as power and water consumption, IT utilization curves and datacentre locations. To protect business sensitive data, a second register was created that only contains the publicly accessible information, while the full database is only accessible by the entitled authorities. The register is divided into two main sections: one for the data centre operators' data (infrastructure) and one for the IT operators' data, with a visualization of relevant key figures and consumption values for each part. Workflows to analyse and evaluate the datasets have already been implemented in the database structure.
2. Development of an evaluation system and associated rating software for energy-efficient datacentres: An energy efficiency label was developed which enables the comparison of datacentres based on the data collected for infrastructure and IT. Energy efficiency indices were converted into efficiency classes from A to G, which are displayed separately for building and information technology but jointly in one label. The label provides space for information such as Power Usage Effectiveness (PUE), Cooling Efficiency Ratio (CER), Energy Reuse Factor (ERF) and the fraction of renewable energy used (REF). The aim is to make energy efficiency visible and comparable to promote a fair competition.
3. Examination of the transferability of results and feasibility of an evaluation system for datacentres at the European level: The feasibility of introducing a European energy efficiency label was examined by investigating the various regulations at European level. It is recommended that these being combined in order to establish a central European database for the energy efficiency of datacentres. Aspects such as local climate conditions and water scarcity are considered as well.

The first step was to determine which data should be recorded and reported by datacentres and IT operators and in what resolution. Existing key performance indicators, standards and regulations as well as the requirements for the German Blue Angel for datacentres were included. A data collection template was developed and discussed in detail with the industry in order to ensure the transparency and comparability of the data on one hand and to ensure that the data can be collected with reasonable effort on the other hand.

In order to make datacentres comparable in an energy efficiency register, a classification was developed. This comprises four dimensions:

1. Operator type.
2. Availability class and security level.
3. Physical size.
4. Climatic conditions.

The data collection was subjected to a practical test. It turned out that although many operators were interested in an efficiency register for datacentres, they were reluctant to make their data

available. This was mainly due to concerns about the security of their business models. In the end, eleven companies took part in the project, but only seven participated intensively in the data collection, on the condition that the data would not be made public.

Targeted communication measures and stakeholder processes were implemented to raise awareness of energy and resource efficiency in datacentres and promote motivation to participate. The project was presented at events such as the Data Center Strategy Summit 2022, Data Center World in Frankfurt and other conferences. A project website was also created on which the proposal for the energy efficiency label was published and put up for discussion. A committee of industry representatives was regularly informed about project development. Topics such as the scope of data collection and the publication of certain data were also discussed.

In September 2023, the Energy Efficiency Act (EnEfG) was passed, which obliges datacentre operators to enter data on their energy consumption and efficiency in a central register every year. The results of the research project were able to fertilise the legal process and the project provided technical and content-related support for the implementation of the register. This resulted in partial overlaps between the research project, the work at European level on the Delegated Act to the European Energy Efficiency Directive and the development of the German Energy Efficiency Act.

# 1 Einleitung

## 1.1 Begriffsbestimmungen

### Auslegungsleistung

Die Auslegungsleistung ist die vom Planer unter Anwendung der Regeln der Technik ermittelte Leistung. Sie wird ermittelt unter Zugrundelegung der Nutzerstruktur, der vorgesehenen Energieübergabe (z.B. Umluftkühlgeräte) und sämtlicher bei der Umwandlung und Verteilung auftretenden Verluste (z.B. Leitungsverluste, Umwandlungsverluste).

### Nennleistung

Die Nennleistung ist die vom Hersteller genannte Leistung eines Gerätes (z.B. Server) oder die Leistung eines Energiewandlers (z.B. Kältemaschine). Bei Energiewandlern wie der Kältemaschine werden Nennleistungen für den Input (Strom) als auch für den Output (Kälte) angegeben. Die Leistungen sind auf dem Typenschild als garantierte Leistungen des Herstellers dokumentiert und werden unter bestimmten Randbedingungen (Normrandbedingungen) z.B. Temperaturbedingungen ermittelt.

### Installierte Leistung

Bei der installierten Leistung handelt es sich um die kumulierte Leistung der technischen Ausstattung für die jeweilige Anforderung (z.B. alle Stromverbraucher, Kälte). Sie entspricht nicht der Summe der Auslegungsleistungen. Sie weicht bei Rechenzentren je nach Verfügbarkeitsanspruch nach DIN EN 50600 deutlich von der Auslegungsleistung nach oben ab. Bei redundanten Systemen hochverfügbarer Rechenzentren (2N Redundanz) ist die installierte Leistung für die entsprechenden Versorger doppelt so hoch wie die Auslegungsleistung. Für die Betriebssituation ergeben sich daraus unterschiedliche mögliche Regelungsstrategien (alternierend oder parallel). Neben der sicherheitsgeriebenen Abweichung der installierten Leistung von der Auslegungsleistung gibt es weitere Gründe für die Abweichung:

- ▶ Sicherheitszuschläge für Planer\*innen aufgrund unklarer Planvorgaben.
- ▶ Erweiterungsstrategien der Betreiber.
- ▶ Inkongruenz zwischen Bedarfswerten und technischen Produkten. Sie tritt immer dann auf, wenn die Leistung der Herstellerprodukte nicht dem exakten Auslegungswert entspricht (z.B. Auslegungswert Kühlleistung 156 kW; Herstellerleistung für das Produkt 200 kW).

### Betriebsleistung

Bei der Betriebsleistung handelt es sich um die unter realen typischen Betriebsbedingungen gemessene stichprobenartige Leistungsaufnahme einzelner Verbraucher oder des Gesamtsystems. Erfahrungsgemäß weicht diese erheblich von der Auslegungsleistung und der installierten Leistung ab. Meist erreicht sie nur 60 – 75% des Auslegungswertes und 40 -50% der installierten Leistung.

### **Mittlere Betriebsleistung**

Die Betriebsleistung kann auch als Mittelwert über einen bestimmten Zeitraum unter Zugrundelegung der Messstunden, meist eines Jahres, ermittelt werden. Sie errechnet sich in dem Fall als Quotient des über den Zeitraum eines Jahres gemessenen Jahresenergieverbrauch kWh/a unter zugrunde Legung der Jahresnutzungsstunden von 8760 h/a.

### **Rechenzentrum (lt. EnEfG)**

- a) eine Struktur oder eine Gruppe von Strukturen für die zentrale Unterbringung, die zentrale Verbindung und den zentralen Betrieb von Informationstechnologie- und Netzwerk-Telekommunikationsausrüstungen zur Erbringung von Datenspeicher-, Datenverarbeitungs- und Datentransportdiensten ...
- b) alle Anlagen und Infrastrukturen für die Leistungsverteilung, für die Umgebungskontrolle und für das erforderliche Maß an Resilienz und Sicherheit, das für die Erbringung der gewünschten Dienstverfügbarkeit erforderlich ist ... (EnEfG 2023)

### **RZ-Infrastruktur**

Alle Komponenten, die dazu dienen, dass die IT-Infrastruktur betrieben werden kann, wie z.B. Stromversorgung und -verteilung, Kälte- und Klimatechnik, Sicherheitstechnik, Telekommunikationsverkabelung, Racks, Steuerungs- und Monitoringsysteme, Lager- und Verwaltungsräume. (Hintemann und Graß 2022)

### **IT-Infrastruktur**

IT-Infrastruktur: alle Komponenten, die für den Betrieb der Software benötigt werden, wie z. B. Server, Storage, Netzwerktechnik, Sicherheitslösungen. (Hintemann und Graß 2022)

### **Co-Location RZ**

Eine Dienstleistung innerhalb eines Rechenzentrums, die darin besteht, technische Infrastruktur bereitzustellen, innerhalb derer Kunden ihre eigene Informationstechnik betreiben können (EnEfG 2023).

### **RZ Betreiber**

Ein Rechenzentrumsbetreiber ist ein Unternehmen, eine Organisation oder eine juristische Person, die für den Betrieb und die Verwaltung eines Rechenzentrums verantwortlich ist.

### **IT Betreiber**

Betreiben Informationstechnik in einem oder mehreren Rechenzentren.

### **Kennzahlen, KPI**

Im vorliegenden Bericht werden die Begriffe Kennzahlen und KPI (Key Performance Indicator, englisch für Leistungskennzahl) austauschbar verwendet. Aufgrund der thematischen Nähe und

Relevanz für Rechenzentren wird die Definition von Kennzahlen aus dem Forschungsvorhaben KPI4DC übernommen. Dort wird die Definition nach (Kütz 2008) verwendet „Zahlen die, die quantitativ erfassbare Sachverhalte in konzentrierter Form wiedergeben...“

## 1.2 Hintergrund und Zielsetzung

Der Energieverbrauch von Rechenzentren in Deutschland zeigt einen stetigen Anstieg, der maßgeblich durch die fortschreitende Digitalisierung und den verstärkten Einsatz von digitalen Technologien wie zum Beispiel Künstlicher Intelligenz vorangetrieben wird. Dies hat zu einem dynamischen Wachstum neuer RZ in Deutschland geführt. Dennoch fehlt bisher eine zuverlässige Erfassung grundlegender Daten wie Anzahl und Größe der Rechenzentren sowie Angaben zu deren Energieverbräuchen und der Energieeffizienz.

Aktuelle Schätzungen des Borderstep Instituts und der Europäischen Kommission variieren leicht, deuten jedoch übereinstimmend auf einen steigenden Trend hin. So geht das Borderstep Institut von einem Energieverbrauch von 17,9 Mrd. kWh im Jahr 2022 aus (Hintemann und Hinterholzer 2023). Dies entspricht fast einer Milliarde kWh mehr als im Jahr 2021. Von diesen 17,9 Mrd. kWh Stromverbrauch entfallen 12 Mrd. kWh auf IT-Komponenten. Damit ist der RZ-Markt extrem energieintensiv und belastet die Umwelt jährlich mit rund 7,4 Tonnen CO<sub>2</sub> (Strommix laut UBA für 2023). Getrieben von zunehmender Digitalisierung werden Wachstumsraten für die nächsten Jahre von 8-10 % jährlich prognostiziert (Hintemann et al. 2023).

Die europäische Kommission veröffentlichte eine Schätzung, die für den gleichen Zeitraum einen Verbrauch von 15 Mrd. kWh für Rechenzentren angibt (Kamiya und Bertoldi 2024). Der Report der EU-Kommission zeigt zudem, dass Deutschland der größte Energieverbraucher in ganz Europa bezogen auf Rechenzentren ist. Die Schätzungen verdeutlichen, dass Rechenzentren eine zunehmende Bedeutung im Energiesektor des Landes spielen und dass entsprechende Maßnahmen zur Energieeffizienz und -optimierung erforderlich sind. Hierfür ist zunächst eine solide Datenbasis und die Entwicklung entsprechender Kennzahlen erforderlich, um den aktuellen Stand der Energieeffizienz bewerten und gezielte Maßnahmen zur Verbesserung ergreifen zu können.

Leicht verfügbare und vergleichbare Daten zur Energieeffizienz der Rechenzentren ermöglichen es Unternehmen, die RZ- oder IT-Dienstleistungen einkaufen möchten, den Aspekt der Effizienz und Nachhaltigkeit in die Entscheidungsfindung bei der Auswahl des Rechenzentrums einfließen zu lassen. Liegen diese Daten gebündelt in digitaler Form vor, so lassen sich die Ergebnisse der Effizienzbewertung numerisch, grafisch oder mittels einer Skala darstellen. Die Angabe der Energieeffizienz der Rechenzentren kann gleichzeitig zur Stärkung des Wettbewerbs und zur Steigerung der Energieeffizienz und unter der Reduktion des Gesamtenergieverbrauchs von RZ führen.

Wenn über den Energieverbrauch von Rechenzentren gesprochen wird, ist es von entscheidender Bedeutung, auch die Energieeffizienz zu betrachten. Während der Energieverbrauch den absoluten Wert der Energieaufnahme angibt, verdeutlicht die Energieeffizienz das Verhältnis zwischen dem Energieverbrauch und der erbrachten Leistung. Eine hohe Energieeffizienz bedeutet, dass weniger Energie benötigt wird, um dieselbe Leistung zu erzielen.

In einschlägigen Regelwerken und Leitfäden finden sich anstelle verbindlicher Angaben zur Energieeffizienz von RZ lediglich Empfehlungen. Die wichtigsten Regelwerke im europäischen Kontext sind die Europäische Normenreihe 50600 Teil 1-5 sowie die Technischen Reports Teil 1-3 für die Realisierung und den Betrieb von RZ, der EU Code of Conduct on Data Centre Energy Efficiency und die ISO 30314.

In Teil 4 der DIN EN 50600 sind Kennzahlen für einen europäischen Standard für Leistungskennzahlen von RZ beschrieben. Festgelegt sind folgende Kennzahlen:

- ▶ Power of Usage Effectiveness (PUE): Kennzahl zur eingesetzten Energie
- ▶ Renewable Energy Factor (REF): Anteil erneuerbarer Energien
- ▶ der Energy Reuse Factor (ERF): Faktor der Wiederverwendung von Energie
- ▶ Cooling Efficiency Ratio (CER): Wirkungsgrad der Kühlung
- ▶ Water Usage Effectiveness (WUE): Effektivität der Wasserverwendung

Öffentlich kommuniziert wird hauptsächlich die PUE (z. B. auf den Homepages einzelner Co-Location Betreiber). Allerdings beschreibt diese nur einen Teilaspekt der Effizienz von Rechenzentren. Der größte Anteil am Energieverbrauch wird durch die Informationstechnik verursacht, wird mit dem PUE nicht adressiert.

Die Forschungsergebnisse aus dem Projekt "Key Performance Indicators for Data Center Efficiency" (KPI4DCE) (Schödwel et al. 2018) verdeutlichen die Notwendigkeit einer ganzheitlichen und zuverlässigen Bewertung der Energie- und Ressourceneffizienz von allen Teilbereichen eines Rechenzentrums. Dabei wurde deutlich, dass es notwendig ist, über die Berechnung und Angabe des PUE hinaus zu gehen und auch die Effizienz der IT-Komponenten zu berücksichtigen.

Bereits im Rahmen des KPI4DCE-Projekts wurde die ISO 30134-Serie, insbesondere in Bezug auf IT-Energieeffizienzkennzahlen, erwähnt. Diese Normen berücksichtigen neben der Infrastruktureffizienz auch die IT-Effizienz mit Hilfe von zwei Kennzahlen:

- ▶ IT Equipment Energy Efficiency for Servers ( $ITEE_{sv}$ )
- ▶ IT Equipment Utilization for Servers ( $ITEU_{sv}$ )

Das Umweltzeichen Blauer Engel in der Trägerschaft des Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV) kann für besonders umweltschonende Produkte und Dienstleistungen vergeben werden. Die Anforderungen für „Blaue Engel Energieeffizienter Rechenzentrumsbetrieb DE-UZ 161“ (<https://be-rechenzentren.de/>) legt klare Mindestanforderungen zur Energieeffizienz von RZ-Infrastrukturen und der IT fest. Die Einhaltung der Kriterien ist jedoch freiwillig und die Zertifizierung wird in der Rechenzentrumsbranche bisher nur wenig nachgefragt. Darüber hinaus verpflichtet die Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Beschaffung klimafreundlicher Leistungen (AVV Klima) der Bundesregierung öffentliche Auftraggeber künftig grundsätzlich dazu, soweit vorhanden, die höchste erreichte Energieeffizienzklasse und Typ I Umweltzeichen entsprechend ISO 14024 (u.a. Blauer Engel) zu fordern.

KPI4DCE und die Vergabekriterien des Umweltzeichen Blauer Engel DE-UZ 161 und DE-UZ 214 bilden die Grundlage für das Forschungsvorhaben. Inzwischen wurden die beiden Vergabekriterien zusammengeführt und die Vergabekriterien in der Version Klimaschonende Co-Location-Rechenzentren (DE-UZ 228) vereinheitlicht (Blauer Engel 2024).

Bislang gestaltet es sich schwierig, ein umfassendes Bild zur Energieeffizienz von Rechenzentren zu erhalten. Dadurch ist es schwierig die Entwicklung des Energieverbrauchs der deutschen Rechenzentren zu bestimmen und zu bewerten oder mögliche Mindestanforderungen festzulegen und deren Einhaltung zu überprüfen. Es gibt zwar erste Ansätze zur Zusammenstellung von Daten zu Rechenzentren wie z.B. Data Center Map ([www.datacentermap.com](http://www.datacentermap.com)) und datacenter-Hawk ([www.datacenterhawk.com](http://www.datacenterhawk.com)), allerdings sind die Einträge hier hinsichtlich der verfügbaren

Informationen sehr eingeschränkt und es werden keine Daten zum Energieverbrauch oder der Energieeffizienz der entsprechenden RZ angegeben.

Innerhalb des RZ-Marktes ist das Geschäftsmodell der Co-Location RZ das am stärksten wachsende Segment. Die meisten großen und sehr großen Rechenzentren sind heutzutage entweder Co-Location oder Cloud RZ. Co-Location Betreiber haben allerdings keinen Einblick in die Technischen Daten oder die Auslastung der Server ihrer Mieter. Aus diesem Grund zielt das Projekt PEERDC darauf ab, diese Daten unabhängig von den RZ-Betreibern durch die IT-Betreiber zu erfassen und den jeweiligen RZ zuzuordnen.

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurde ein nationales Bewertungssystem für RZ entwickelt, das den Status der Energieeffizienz verständlich darstellt. Ein transparenter Entwicklungsprozess und die Einbindung der Branche sollen die Akzeptanz bei RZ- und IT-Betreibern erhöhen. Eine benutzerfreundliche Visualisierung und räumliche Darstellung der Ergebnisse sollen die Attraktivität und die Nutzbarkeit der Daten sicherstellen.

Das Projekt gibt zudem einen Überblick über bestehende Richtlinien, Normen und die gesetzlichen Entwicklungen in Deutschland und Europa. Es wurde ein Bewertungssystem entwickelt, das die RZ-Infrastruktur und die IT-Infrastruktur separat analysiert aber gemeinsam betrachtet. Dafür wurde eine Datenbasis geschaffen, mit welcher relevante Datenpunkte in einem Register aufgezeigt werden. Des Weiteren kann mit der Datenerfassung für das Register ein erster Ansatz zur Bewertung der Energieeffizienz gemacht werden.

Im September 2023 wurde das Energieeffizienzregister für Rechenzentren (RZReg) (EnEfG) verabschiedet, das Betreiber von RZ unter anderem dazu verpflichtet, Daten zu ihrem Energieverbrauch und ihrer Energieeffizienz jährlich an dieses Register zu übermitteln (EnEfG 2023). Das Gesetz setzt die Anforderungen der EU-Energieeffizienzrichtlinie (engl. Energy Efficiency Directive, EED) um (Europäisches Parlament und Rat 2023). Viele der Fragen die durch die Umsetzung des Effizienzregister für Rechenzentren aufgeworfen wurden bereits im Forschungsprojekt analysiert und Lösungsmöglichkeiten erarbeitet. Entsprechend konnten die Ergebnisse des Projektes direkt in die Arbeiten zur Umsetzung des Effizienzregisters durch das federführende BMWK einfließen.

Die mit dem Energieeffizienzgesetz verpflichtend eingeführten Meldungen durch die RZ Betreiber und der Aufbau des öffentlichen Energieeffizienzregister (Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz 2024b), erfolgte dabei unabhängig vom Forschungsprojekt PEERDC. Es ist deshalb zu beachten, dass die im Forschungsbericht behandelten Fragestellungen und Inhalte nicht deckungsgleich sind. Im Rahmen des Projektes wurde vielfach eine tiefergehende Erfassung und Analyse von Daten erarbeitet. Im Rahmen des Forschungsvorhabens bestand die Freiheit sinnvolle Metriken zu definieren und mit den Stakeholdern zu diskutieren. Zudem macht es für die Akzeptanz bei RZ- und IT-Betreibern und anderen Stakeholdern einen Unterschied, ob es sich um eine freiwillige Initiative handelt wie im Rahmen des Forschungsvorhabens oder um verpflichtende Vorgaben im Rahmen des EnEfG. Das Forschungsvorhaben zielt dabei insbesondere auch darauf ab, die Wissens- und Informationslücken zwischen IT und Gebäudetechnik zu schließen und eine Methode zur Bewertung der Energieeffizienz zu entwickeln. Das EnEfG dient hingegen zunächst dazu die verpflichtende EED Richtlinie der EU in nationales Recht zu überführen, was jedoch in einigen Punkten deckungsgleich mit den Ansätzen im Rahmen des Forschungsvorhabens ist.

Das öffentliche Energieeffizienzregister ist auf der Webseite des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) zugänglich<sup>1</sup>. Aktuell stehen dort die Anmeldung und die Datenübermittlung zur Verfügung. Zum Zeitpunkt des Abschlusses des Forschungsvorhabens standen noch keine Daten auf dem Energieeffizienzregister für Rechenzentren zur Verfügung.

### 1.3 Aufbau des Forschungsberichts

Der Forschungsbericht gliedert sich in sieben Kapitel und enthält zusätzlich ein Literaturverzeichnis sowie die Anhänge A bis E.

Kapitel 2 bietet einen Überblick über den aktuellen Stand der Forschung, bestehende Instrumente und Labels im Bereich energieeffizienter Rechenzentren. Es werden relevante Normen und Kennzahlen beschrieben sowie bereits existierende Datenbanken für Rechenzentren aufgelistet. Abschließend wird die aktuelle gesetzliche Entwicklung in Bezug auf die verpflichtende Datensammlung für Rechenzentren thematisiert.

Kapitel 3 widmet sich der Entwicklung eines Bewertungssystems für energieeffiziente Rechenzentren. Zunächst werden Basisdaten (Kapitel 3.1) und eine Klassifizierungsmethode für RZ vorgestellt (Kapitel 3.2). Anschließend werden die Indikatoren für Energieeffizienz und die dafür benötigten Datenpunkte beschrieben (Kapitel 3.3 und Kapitel 3.4). Zuletzt wird das Energieeffizienzlabel präsentiert (Kapitel 3.5).

Kapitel 0 behandelt die Entwicklung des Registers für Rechenzentren. In Abschnitt 4.1 wird der technische Aufbau des Registers erläutert, gefolgt von einem Konzept zur weiteren Nutzung der darin enthaltenen Daten (Kapitel 4.2). Abschließend wird die Qualitätssicherung in der Praxis, sowie die freiwillige Beteiligung von Rechenzentrumsbetreibern diskutiert (Kapitel 4.3).

Kapitel 5 überträgt die in Kapitel 3 erarbeiteten Ergebnisse auf die Machbarkeit eines Bewertungssystems auf europäischer Ebene. Es werden zusätzliche Anforderungen (Kapitel 5.1) und bestehende europäische Regulierungen (Kapitel 5.2) beschrieben. Kapitel 5.3 bietet eine Übersicht und Kapitel 5.4 geht auf das aktuell entwickelte europäische Register im Zusammenhang mit dem entwickelten Label (Kapitel 3.5) ein. In Kapitel 5.5 wird der Überarbeitungsbedarf des delegierten Rechtsakts (EED) aufgezeigt.

Kapitel 6 beschäftigt sich mit den durchgeführten Kommunikationsmaßnahmen und der Verbreitung der Projektergebnisse. In Kapitel 6.1 werden der Projektflyer und das Logo vorgestellt. Kapitel 6.2 listet alle Maßnahmen der Öffentlichkeitsmaßnahmen im Rahmen des Projektes auf und Kapitel 6.3 fasst die Ergebnisse drei Begleitkreistreffen mit den Stakeholdern zusammen, die im Rahmen des Projekts durchgeführt haben.

Kapitel 7 bildet den Abschluss des Berichts, fasst die Projektergebnisse zusammen (Kapitel 7.1) und zeigt auf in welchen Bereichen und Themenfeldern weiter Forschungsbedarf besteht (Kapitel 7.2).

---

<sup>1</sup> <https://rzreg.bmwk.de/datacenter/>

## 2 Überblick über Forschung, Instrumente und Label

### 2.1 Normen und Kennzahlen für RZ

Zur Schaffung von Standards für die Bewertung und Verbesserung der Energieeffizienz von RZ wurden bereits Normen und Kennzahlen entwickelt. Diese bieten Richtlinien und Metriken, die es Betreibern ermöglichen sich zu orientieren. In diesem Kapitel werden die wichtigsten Normen und Kennzahlen vorgestellt, die für die Energieeffizienz von RZ relevant sind.

#### DIN EN 50600

Die Europäische Normreihe DIN EN 50600 wurde speziell für Rechenzentren entwickelt und bietet umfassende Leitlinien zur Planung, Errichtung und zum Betrieb von RZ. Diese Normen decken verschiedene Aspekte wie Gebäudekonstruktion, Stromversorgung, Kühlung, Sicherheit und Energieeffizienz ab (DIN EN 50600-1). Der Teil DIN 50600-4 definiert Leistungskennzahlen für Rechenzentren. Zum aktuellen Zeitpunkt sind dort folgende Kennzahlen festgelegt:

- DIN EN 50600-4-2: Kennzahl zur eingesetzten Energie (Power Usage Effectiveness: **PUE**)

Die PUE ist eine Kennzahl zur eingesetzten Energie und stellt die Energieverteilung in einem RZ dar. Sie ist der Quotient aus gesamtem Energieverbrauch des RZ und dem Energieverbrauch der IT. Dabei zählt der gesamte Energieverbrauch, nicht nur der elektrische (DIN EN 50600-4-2).

- DIN EN 50600-4-3: Anteil erneuerbarer Energien (Renewable Energy Factor: **REF**)

Der REF beschreibt den Prozentsatz der genutzten erneuerbaren Energien am Gesamtenergieverbrauch und ist der Quotient aus verbrauchten erneuerbaren Energien und dem gesamten Energieverbrauch des RZ. Ausschlaggebend sind „gültige Rechte an den Umweltattributen“ der Energie (DIN EN 50600-4-3).

- DIN EN 50600-4-6: Faktor der Energiewiederverwendung (Energy Reuse Factor: **ERF**)

Der Anteil wiederverwendeter Energie ist der Quotient aus wiederverwendeter Energiemenge und dem gesamten Energieverbrauch. Energie, die dafür aufgewendet wird, die Temperatur der abgeführten Wärme (z.B. Wärmepumpen) zu erhöhen, geht nicht in die Berechnung ein (DIN EN 50600-4-6), gleiches gilt für die intern genutzte Energie.

- DIN EN 50600-4-7: Effizienz der Kühlung (Cooling Efficiency Ratio: **CER**)

Die Effizienz des Kühlturms wird durch den Quotienten aus abgeführter Wärme und dem Energiebedarf des Kühlturms beschrieben. Als Kühlturm werden dabei alle zur Kühlung vorgesehenen Bestandteile des Rechenzentrums bezeichnet (DIN EN 50600-4-7).

- DIN EN 50600-4-8: Effektivität der Vermeidung von CO<sub>2</sub>-Emissionen

Der Carbon Usage Effectiveness (CUE) ist eine Kennzahl, die den CO<sub>2</sub>-Ausstoß eines RZ in Relation zum Energieverbrauch der Informationstechnik setzt. Dabei wird der CO<sub>2</sub>-Ausstoß aus verschiedenen Quellen berechnet: dem gesamten Energieverbrauch des Rechenzentrums, der vor Ort durch beispielsweise Dieselgeneratoren erzeugten Energie sowie den eingesetzten Kühlmitteln (DIN EN 50600-4-8).

- DIN EN 50600-4-9: Effektivität der Wassernutzung (Water Usage Effectiveness: **WUE**)

Die Effektivität der Wassernutzung ist der Quotient aus der Menge des vom RZ verbrauchten Wassers durch den Energieverbrauch der IT. Dabei ist die Menge des verbrauchten Wassers die Differenz aus aufgenommenem und zurückgegebenem Wasser (DIN EN 50600-4-9). Zu beachten ist, dass die Kennzahl dimensionsbehaftet ist und in der Einheit  $\text{m}^3/\text{MWh}$  angegeben wird.

### ISO/IEC 30134

Die ISO/IEC 30134 bietet eine Sammlung von KPIs, die speziell für Rechenzentren entwickelt wurden. In diesem Abschnitt werden die wichtigsten Kennzahlen der ISO/IEC 30134-Serie vorgestellt, die sich auf die Effizienz und Auslastung von Servern konzentrieren.

- ▶ ISO/IEC 30134-4:2017: IT Equipment Energy Efficiency for Servers ( $ITEE_{sv}$ ) : Er beschreibt das Verhältnis der maximalen Performance aller Server oder einer Gruppe von Servern bei Volllast und der resultierenden elektrischen Leistungsaufnahme im RZ.  $ITEE_{sv}$  gibt die Energieeffizienzfähigkeit von Servern auf Basis der Spezifikation des Herstellers wieder, jedoch nicht die Energieeffizienz der Server in einer realen Betriebssituation. Der  $ITEE_{sv}$  wurde in Teil 4 der ISO/IEC 30134-Reihe eingeführt, die 2017 veröffentlicht wurde.
- ▶ ISO/IEC 30134-5:2017: IT Equipment Utilization for Servers ( $ITEU_{sv}$ ): Der  $ITEU_{sv}$  ist eine Kennzahl zur Bewertung der Auslastung von Servern im RZ unter Betriebsbedingung. Sie misst den Anteil der Zeit, in der die Server tatsächlich produktive Arbeit verrichten, im Verhältnis zur Gesamtzeit, in der sie eingeschaltet sind. Diese Kennzahl hilft Betreibern, die Nutzung ihrer Serverressourcen zu optimieren und unnötigen Energieverbrauch zu vermeiden. Die Berechnung erfolgt durch den Quotienten der produktiven Betriebszeit und der Gesamtbetriebszeit des Servers.

Harryvan (2021) entwickelte die Kennzahl Server Idle Coefficient (SIC) und den Data Center Idle Coefficient (DCIC). Diese Metriken dienen dazu, die Auslastung sowohl einzelner Server als auch ganzer Rechenzentren zu bewerten. Der SIC wird berechnet, indem der Energieverbrauch eines Servers im Leerlaufmodus durch den gesamten Energieverbrauch des Servers geteilt wird. Der DCIC kann analog auch für das ganze Rechenzentrum berechnet werden.

Der European Code of Conduct for Energy Efficiency in Data Centres (Acton et al. 2022) ist eine freiwillige Initiative, die Best Practices und Richtlinien für den Betrieb energieeffizienter Rechenzentren bietet. Dieser Code of Conduct zielt darauf ab, den Energieverbrauch zu reduzieren und die Effizienz zu verbessern, indem er Betreibern bewährte Verfahren und Maßnahmen empfiehlt. Die Teilnahme an diesem Programm hilft Rechenzentrumsbetreibern, ihre Energieeffizienz zu steigern und ihre Betriebskosten zu senken, während gleichzeitig die Umweltbelastung verringert wird.

## 2.2 RZ Datenbanken

Um die Transparenz und Vergleichbarkeit in Bezug auf Energieeffizienz zu fördern, können öffentliche Register eine entscheidende Rolle spielen. Mehrere Institute und Plattformen haben bereits versucht Verzeichnisse der Rechenzentren zu erstellen oder Informationen über aggregierte Stromverbrauchsdaten in verschiedenen regionalen und zeitlichen Auflösungen zu bestimmen. Studien wurden unter anderem vom Uptime Institute, der German Datacenter Association und von Bitcom veröffentlicht.

Das Uptime Institute veröffentlicht regelmäßig Berichte und Studien zur Verfügbarkeit, Effizienz und Nachhaltigkeit von Rechenzentren. Diese Berichte basieren auf Umfragen bei Stakeholdern

und bieten wichtige Einblicke in Trends und Herausforderungen der Branche. Ergänzt werden die Umfragen durch Datenanalysen.

Die von Bitkom veröffentlichten Studien basieren häufig auf Arbeiten des Borderstep Instituts. Es beschäftigt sich ebenso wie das IER der Universität Stuttgart und das Ökoinstitut mit Fragen der Energieeffizienz und ökologischen Nachhaltigkeit von Rechenzentren, insbesondere in Deutschland und Europa. Eine Veröffentlichung des Bitkom ist die jährliche Studie Rechenzentren in Deutschland, die detaillierte Analysen zur Energieeffizienz und Umweltauswirkungen deutscher Rechenzentren liefert.

Neben den Berichten und Studien der Institute gibt es mehrere globale Plattformen, die detaillierte Informationen über Rechenzentren sammeln und veröffentlichen. Zu den wichtigsten gehören:

- ▶ **Data Center Map:** Diese Plattform bietet eine globale Karte und Datenbank von Rechenzentren. Nutzende können Rechenzentren nach Standort, Anbieter und technischen Spezifikationen wie Services durchsuchen. Data Center Map gibt einen Überblick der Dienstleistung gelisteter Rechenzentren (<https://www.datacentermap.com/>).
- ▶ **Data Center Locations:** Eine Datenbank, die Informationen über Rechenzentren weltweit sammelt und veröffentlicht. Diese Plattform bietet Profile von Rechenzentren (<https://datacenterlocations.com/>).
- ▶ **Data Center Hawk:** Eine Plattform, die Marktanalysen und Daten zu RZ weltweit anbietet. Data Center Hawk ermöglicht es Benutzern und Benutzerinnen Informationen zu Standorten von RZ zu erhalten (<https://datacenterhawk.com/>).
- ▶ **Cloudscene:** Ein globales Verzeichnis von RZ, Cloud-Service-Anbietern und Netzwerkanbietern. Cloudscene bietet Vergleichsmöglichkeiten für RZ und deren Dienstleistungen (<https://cloudscene.com/>).

Keines dieser Register fokussiert sich jedoch speziell auf die Erfassung und Darstellung energie- und umweltbezogener Daten. Es fehlt bisher ein zentrales Register, das detaillierte Verbrauchs- und Effizienzdaten zusammenführt und öffentlich verfügbar macht. Derzeit basieren alle veröffentlichten Daten auf Schätzungen, Hochrechnungen, Typisierungen und Selbstauskünften der Betreiber. Entsprechend groß sind die möglichen Fehler bei der Ermittlung von Aussagen für die Gesamtheit der Rechenzentren in Deutschland. Die Einführung eines verbindlichen Registers, das reale Verbrauchs- und Effizienzdaten erfasst und veröffentlicht, bietet entsprechend zahlreiche Vorteile:

- ▶ **Genauigkeit und Verlässlichkeit:** Ein zentrales Register verbessert die Genauigkeit der Daten, da alle wesentlichen Betreiber verpflichtet wären, ihre tatsächlichen Verbrauchsdaten zu melden. Dies würde die Verlässlichkeit der Daten verbessern und fundierte Entscheidungen ermöglichen.
- ▶ **Vergleichbarkeit und Benchmarking:** Ein solches Register würde es ermöglichen, die Leistung und Effizienz von RZ direkt zu vergleichen und Benchmarks zu erstellen. Dies hilft dabei Betreiber zu motivieren, die Effizienz ihrer RZ zu verbessern und sich an Best Practice zu orientieren.
- ▶ **Validierung und Überprüfung:** Die Annahmen und Hochrechnungen bisheriger Veröffentlichungen könnten anhand realer Zahlen validiert werden. Dies würde die Glaubwürdigkeit

und Verlässlichkeit von zukünftigen von Studien erhöhen, insbesondere angesichts der aktuell sehr hohen Zubauraten von RZ.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass ein zentrales Energieeffizienzregister für Rechenzentren einen wichtigen und erforderlichen Beitrag zur Transparenz und Nachhaltigkeit in der Branche leisten würde. Das Register wäre eine wertvolle Ergänzung zu den bestehenden Datenbanken und Verzeichnissen und würde sicherstellen, dass die Einschätzungen und Berichte durch reale und valide Daten gestützt werden.

Angesichts der deutlichen steigenden Energieverbräuche und der Energieverbrauchsanteile von Rechenzentren in Deutschland und in der EU erscheinen gesetzliche Maßnahmen, die darauf abzielen die Energieeffizienz und Nachhaltigkeit in der Rechenzentrumsbranche zu verbessern, angemessen.

## 2.3 Gesetzliche Entwicklungen

Die EU-Energieeffizienzrichtlinie (engl. Energy Efficiency Directive, EED) und die zugeordnete Delegierte Verordnung verpflichten Rechenzentren in der EU zur Auskunft über ihre Energieeffizienz durch Übermittlung relevanter Datenpunkte (Europäische Kommission 2024; Europäisches Parlament und Rat 2023). Bis zum 15. September 2024 müssen RZ mit einer IT-Anschlussleistung von mindestens 500 kW erstmals ihre Daten übermitteln, anschließend jährlich zum 31. Mai. Diese Daten werden in eine europäische Datenbank übertragen, wobei entsprechende Schnittstellen geschaffen werden sollen. Die Veröffentlichung soll auf europäischer Ebene in aggregierter Form erfolgen, wobei die Aggregationsebenen noch nicht endgültig festgelegt wurden. Ziel ist es die Vertraulichkeit schutzbedürftiger Daten zu gewährleisten.

Die Daten umfassen unter anderem Information zum Energiebedarf der IT-Infrastruktur, zur genutzten Gebäudefläche, zum Wasserverbrauch und zur Nutzung von Abwärme. Wesentliche Leistungsindikatoren beinhalten den Gesamtenergieverbrauch, den Energieverbrauch der IT-Geräte, die Nutzung erneuerbarer Energien sowie die Effizienzkennzahlen der Kühl- und Klimaanlage. Weitere spezifische Kennzahlen wie der PUE, der WUE, der ERF und der REF sind ebenfalls zu melden. Diese Datenerfassung soll die Grundlage für weitere gesetzliche Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz und Nachhaltigkeit von RZ liefern.

In Deutschland setzt das Energieeffizienzgesetz (EnEfG<sup>2</sup>) die Anforderungen der EED um (Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz 2024a). Das Gesetz wurde im November 2023 verabschiedet und ist in Kraft getreten. Es adressiert nur die Betreiber von Rechenzentren und setzt Mindestanforderungen hinsichtlich der Effizienz der RZ. Im Folgenden werden die wesentlichen Inhalte des EnEfG mit Bedeutung für die RZ zusammengefasst.

### Mindestanforderungen an Effizienz

Es werden Mindestanforderungen an den PUE gestellt. Ab dem 1. Juli 2027 müssen Rechenzentren, die vor dem 1. Juli 2026 in Betrieb genommen wurden, eine PUE von kleiner gleich 1,5 erreichen und ab dem 1. Juli 2030 eine PUE von kleiner gleich 1,3. Rechenzentren, die ab dem 1. Juli 2026 den Betrieb aufnehmen, müssen eine PUE von kleiner gleich 1,2 erreichen und mindestens 10% der Energie wiederverwenden, basierend auf der DIN EN 50600-4-6. Dieser Anteil an wiederverwendeter Energie (ERF) steigt für Rechenzentren, die ab dem 1. Juli 2027 und 2028 in Betrieb genommen werden, auf 15% bzw. 20%. Diese Anforderungen müssen spätestens zwei

---

<sup>2</sup> Gesetz zur Steigerung der Energieeffizienz in Deutschland. (Energieeffizienzgesetz – EnEfG), [https://www.recht.bund.de/bgbl/1/2023/309/regelungstext.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=2](https://www.recht.bund.de/bgbl/1/2023/309/regelungstext.pdf?__blob=publicationFile&v=2)

Jahre nach Inbetriebnahme auf Basis der Jahreswerte erfüllt werden. Zudem müssen Rechenzentren ab dem 1. Januar 2024 50% und ab dem 1. Januar 2027 100% ihres Stromverbrauchs aus erneuerbaren Energien decken.

### **Energie- und Umweltmanagementsysteme**

Betreiber von Rechenzentren müssen bis zum 1. Juli 2025 ein Energie- oder Umweltmanagementsystem einrichten, das kontinuierliche Messungen des Energiebedarfs und Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz umfasst. Ab dem 1. Januar 2026 müssen Rechenzentren mit einer nicht redundanten Nennanschlussleistung größer gleich 1 Megawatt sowie solche, die von öffentlichen Trägern betrieben werden und eine nicht redundante Anschlussleistung größer gleich 300 Kilowatt haben, zusätzlich ihr Managementsystem validieren oder zertifizieren lassen. Rechenzentren, die mindestens 50% ihrer Energie über ein Wärmenetz wiederverwenden und einen jährlichen Energieverbrauch von weniger als 7,5 Gigawattstunden haben, sind von dieser Pflicht befreit.

Betreiber von Informationstechnik müssen ähnliche Anforderungen hinsichtlich der Einführung von Energie und Umweltmanagementsystemen erfüllen, einschließlich Validierung oder Zertifizierung ab 500 kW (300 kW bei öffentlichen Trägern). Rechenzentren, die vor dem 1. Juli 2027 stillgelegt werden sollen, sind von diesen Anforderungen ausgenommen.

### **Informationspflicht und Energieeffizienzregister für Rechenzentren**

Betreiber von Rechenzentren müssen bis zum 31. März eines jeden Jahres Informationen über ihr Rechenzentrum für das vorherige Kalenderjahr veröffentlichen und an den Bund übermitteln. Ein Energieeffizienzregister wird von der Bundesregierung eingerichtet, um diese Daten zu speichern und in eine europäische Datenbank zu übertragen. Betreiber, die Dienstleistungen für Dritte anbieten, sind ab dem 1. Januar 2024 verpflichtet, den Kunden jährlich ihren Energieverbrauch offenzulegen.

Betreiber von Rechenzentren mit einer nicht redundanten Nennanschlussleistung von größer gleich 300 kW sind verpflichtet, die im Gesetz festgelegten Daten zu melden. Für kleinere RZ gibt es keine Verpflichtung. Die Fristen für das erste Jahr (2024) wurden verlängert, ab 2025 müssen die Daten immer jeweils bis zum Ablauf des 31. März gemeldet werden.

Die zu meldenden Daten umfassen allgemeine Angaben wie die Bezeichnung des RZ, den Namen des Eigentümers und Betreibers, die Größenklasse nach Anschlussleistung, die Postleitzahl, die Gesamtgröße der Gebäudefläche sowie die nicht redundante Nennanschlussleistung. Zudem sind Daten zum Betrieb des Rechenzentrums im letzten Kalenderjahr zu melden, u.a. der Gesamtstromverbrauchs, der Anteil erneuerbarer Energien, die Menge und Temperatur der Abwärme, die gelieferte Abwärme, die Menge der gespeicherten und verarbeiteten Daten, die Energieverbrauchseffektivität, der Anteil wiederverwendeter Energie, die Effizienz des Kühlsystems und die Wassernutzungseffizienz (Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle 2024b).

Das Umweltbundesamt veröffentlichte in Zusammenarbeit mit dem Projektteam des Forschungsprojektes und weiteren Instituten einen Kommentar zum deutschen Energieeffizienzgesetz (Welk et al. 2023). Darin begrüßen sie den im Frühjahr 2023 erschienenen Gesetzentwurf als richtigen und wichtigen Schritt.

Positiv hervorgehoben wird insbesondere, dass sowohl die *„Reduktion des Endenergieverbrauchs durch den stromeffizienten Betrieb von RZ ...“* als auch die *„... externe Nutzung der Abwärme ...“* (ebd.) im Gesetz berücksichtigt werden.

Zudem wird auf die Chancen verwiesen, die das Gesetz für die Branche bietet, ihre Energieeffizienz zu steigern und dadurch Kosten zu senken. Die Einführung eines Energieeffizienzregisters

und die Verpflichtungen hinsichtlich erneuerbarer Energien, PUE und der Abwärmenutzung bieten den RZ-Betreibern die Möglichkeit, ihre Dienstleistungen als besonders klimafreundlich und nachhaltig zu positionieren. Die Transparenz durch Informationspflichten und einheitliche Kennzahlen wird deshalb von den Instituten begrüßt.

Das EnEfG wird als ein notwendiger Schritt zur Verbesserung der Energieeffizienz und zur Erreichung der Klimaziele betrachtet. Die vorgeschlagenen Maßnahmen bieten aus Sicht der Autoren und Autorinnen nicht nur ökologische Vorteile, sondern auch ökonomische Chancen, indem sie zur Senkung des Energieverbrauchs und der Kosten beitragen und neue Marktchancen eröffnen.

### **Datenanforderungen nach dem EnEfG**

Das EnEfG fordert die Übermittlung von Verbrauchs- und Betriebsdaten der RZ, dazu gehören u.a. (Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle 2024a):

- ▶ Bezeichnung des RZ, Name des Eigentümers und Betreibers
- ▶ Größenklasse und Postleitzahl
- ▶ Gesamtnutzfläche des RZ und Whitespace
- ▶ Art des RZ-Betreibers und Öko-Zertifizierungen
- ▶ Strom- und Kältemittelverbrauch (Art des Kältemittels), Anteil der erneuerbaren Energien, Abwärmenutzung
- ▶ Kennzahlen wie PUE, ERF, CER und WUE
- ▶ Datum der Inbetriebnahme des RZ
- ▶ Kapazitäten der IT-Systeme

Über das Serviceportal des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz „Energieeffizienzregister für Rechenzentren (RZReg)“ (Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz 2024b) sind Betreiber von Rechenzentren verpflichtet die geforderten Daten zu übermitteln. Die Bundestelle für Energieeffizienz (BfEE) im BAFA hat einen Leitfaden veröffentlicht, der die zu erfassenden Daten erläutert und zusammenfasst (Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle 2024a).

Mit den zukünftig vorhandenen Daten lassen sich Analysen zur Gebäudeeffizienz durchführen. Beispielsweise könnte der Einfluss von Effizienzmaßnahmen auf den PUE und den Gesamtstromverbrauch, das Wachstum von Rechenzentren sowie Prognosen zum Energie- und Ressourcenbedarf und zur Wärmebedarfsplanung betrachtet werden. Allerdings können mit Hilfe des Registers keine Aussagen zur Effizienz der IT-Systeme geliefert werden, da anstelle von Auslastungswerten nur Kapazitäten erfasst werden sollen. Eine genaue Beschreibung der möglichen Analysen befindet sich in Kapitel 4.2.

### 3 Entwicklung eines Bewertungssystems für energieeffiziente Rechenzentren

In diesem Kapitel werden die methodischen Grundlagen zur Bewertung der Effizienz von Rechenzentren erarbeitet und dargestellt. Es wird beschrieben, mit welchen Kennzahlen die Effizienz und die Energieeffizienz von Rechenzentren charakterisiert werden können. Aufbauend auf dieser Analyse wurde geprüft, wie diese Effizienz-Parameter für Rechenzentren in faire Weise miteinander verglichen werden können. Dafür erfolgt eine Klassifizierung der Rechenzentren.

Das Design und die Inhalte eines möglichen Energieeffizienz-Labels für Rechenzentren werden im Kapitel 3.5 vorgestellt.

Die Methodik wurde zudem anhand von 10 Fallbeispielen erprobt und das Feedback wurde wiederum iterativ zur Verbesserung der Methodik und des Erfassungsbogen genutzt. Für die Qualitätssicherung in der Praxis, siehe Abschnitt 4.3.

Klassifizierung und Effizienzbewertung münden letztendlich in Anforderungen für die Datenerhebung. Als lebendes Dokument kondensierte sich die Datenerhebung auf jeweils ein eigenes Datenblatt für RZ- und IT-Betreiber. Die jeweils aktuelle Version des Erfassungsbogens wurde während der Projektlaufzeit auf der Projektwebseite <https://peer-dc.de/wirken-sie-mit/bereitgestellt>.

Zur Weiterverarbeitung der Daten aus dem Erfassungsbogen wurde ein Python-Skript programmiert, das

- ▶ die eingetragenen Daten des Erfassungsbogens auf Vollständigkeit und Plausibilität prüft,
- ▶ die in Abschnitt 3.3 beschriebenen KPIs berechnet,
- ▶ Ein Json File erstellt, das für den Import in das Register (siehe Kapitel 4) geeignet ist.

Die entsprechende Anleitung ist in Anhang C.3 im Bericht enthalten.

RZ-Betreiber und IT-Betreiber geben jeweils die ihnen zur Verfügung stehenden Informationen über die Infrastruktur, ihre IT oder beides in das Register ein. Es wird definiert, welche Datenfelder verpflichtend eingegeben werden müssen. Dies ist z.B. der Fall, wenn diese Datenpunkte zwingend für die Berechnung von Kennzahlen der Energieeffizienz erforderlich sind. Datenpunkte, die der Plausibilitätsprüfung dienen oder zu nicht verbreiteten Kennzahlen führen, werden als optional ausgewiesen.

Typischerweise können einige Datenpunkte aus Datenschutzgründen im Register (siehe Kapitel 4) nicht veröffentlicht werden. Diese sind in den nachfolgenden Übersichtstabellen mit v für *vertraulich* gekennzeichnet. Öffentlich im Register einsehbare Daten sind mit ö für *öffentlich* gekennzeichnet.

#### 3.1 Basisdaten

Die einzelnen Datenpunkte zur Bezeichnung des Unternehmens und der Kontaktdaten sind in Tabelle 1, die Datenpunkte des Rechenzentrums in Tabelle 2 zusammengefasst.

Zur eindeutigen Identifikation des RZ und der IT im RZ werden Daten zum Namen des Unternehmens, des RZ und zu dessen Standort abgefragt.

**Tabelle 1: Basisdaten des Unternehmens**

| Basisdaten des Unternehmens                                              | Einheit | Wert | Kommentar |          |   |
|--------------------------------------------------------------------------|---------|------|-----------|----------|---|
| Name des Unternehmens                                                    |         |      |           | Pflicht  | ö |
| ggf. früherer Name des Unternehmens bei Änderung in den letzten 3 Jahren |         |      |           | optional | v |
| Sitz des Unternehmens                                                    |         |      |           |          |   |
| Straße                                                                   |         |      |           | Pflicht  | v |
| Hausnummer                                                               |         |      |           | Pflicht  | v |
| Postleitzahl                                                             |         |      |           | Pflicht  | v |
| Stadt                                                                    |         |      |           | Pflicht  | v |
| Land                                                                     |         |      |           | Pflicht  | v |
| Handelsregisternummer                                                    |         |      |           | Pflicht  | v |

Quelle: Auszug aus dem Datenerhebungsbogen, PEERDC

Kontaktdaten werden ausschließlich zu dem Zweck erhoben, bei unplausible Daten Rückfragen zu ermöglichen.

**Tabelle 2: Basisdaten des RZ**

| Basisdaten des Rechenzentrums               | Einheit    | Wert | Kommentar |         |   |
|---------------------------------------------|------------|------|-----------|---------|---|
| Rechenzentrums_ID                           |            |      |           | auto    | v |
| Bezeichnung des Rechenzentrums              |            |      |           | Pflicht | ö |
| Datum der Inbetriebnahme des Rechenzentrums | yyyy-mm-dd |      |           | Pflicht | ö |
| Standort des Rechenzentrums                 |            |      |           |         |   |
| Straße                                      |            |      |           | Pflicht | v |
| Hausnummer                                  |            |      |           | Pflicht | v |
| Postleitzahl                                |            |      |           | Pflicht | ö |
| Stadt                                       |            |      |           | Pflicht | ö |
| Land                                        |            |      |           | Pflicht | ö |
| Kontaktdaten Ansprechpartner                |            |      |           |         |   |
| Vorname                                     |            |      |           | Pflicht | v |
| Nachname                                    |            |      |           | Pflicht | v |
| Telefonnummer                               |            |      |           | Pflicht | v |
| Email Adresse                               |            |      |           | Pflicht | v |

Quelle: Auszug aus dem Datenerhebungsbogen, PEERDC

## Verknüpfung mit IT

RZ-Betreiber vermieten in vielen Fällen einen Teil und die gesamte IT-Fläche ihres RZ. Damit es möglich ist, die Effizienz der IT in Verbindung mit der Effizienz des RZ in Verbindung zu setzen, soll der RZ-Betreiber einen Hinweis darauf geben, wie viele IT-Betreiber sich seinem RZ zuordnen können, indem ersterer die Anzahl seiner Mieter nennt, Tabelle 3. Aus Datenschutzgründen wird der RZ-Betreiber nicht die Namen seiner Mieter nennen. Die IT-Betreiber sollen den Namen des RZ nennen, in dem die IT untergebracht ist.

**Tabelle 3: Anzahl Mieter**

|                                                                        |  |  |  |         |   |
|------------------------------------------------------------------------|--|--|--|---------|---|
| Anzahl von Mietern mit mehr als 10kW vereinbarter IT-Anschlussleistung |  |  |  | Pflicht | v |
|------------------------------------------------------------------------|--|--|--|---------|---|

Quelle: Auszug aus dem Datenerhebungsbogen, PEERDC

Die IT-Betreiber werden aufgefordert, Name und Anschrift des RZ, in dem sich die IT befindet, zu nennen, um eine Zuordnung zu ermöglichen, Tabelle 4.

**Tabelle 4: Basisdaten des IT-Betreibers**

| Basisdaten IT-Betreiber im Rechenzentrum                                                                                             | Einheit | Wert | Kommentare |         |   |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|------|------------|---------|---|
| Identifikationsnummer des RZs in dem die IT betrieben wird, falls nicht vorhanden, bitte Standortdaten und Betreiber des RZs angeben |         |      |            | Pflicht | v |
| Name des Rechenzentrums                                                                                                              |         |      |            | Pflicht | v |
| Straße                                                                                                                               |         |      |            | Pflicht | v |
| Hausnummer                                                                                                                           |         |      |            | Pflicht | v |
| PLZ                                                                                                                                  |         |      |            | Pflicht | ö |
| Stadt                                                                                                                                |         |      |            | Pflicht | ö |
| Land                                                                                                                                 |         |      |            | Pflicht | ö |

Quelle: Auszug aus dem Datenerhebungsbogen, PEERDC

## 3.2 Klassifizierung von RZ

Die Klassifizierung von RZ dient der Strukturierung der Datenbank und als Basis für Datenabfragen. Die Klassifizierung soll eine faire Vergleichbarkeit der Effizienz von verschiedenen Typen von Rechenzentren ermöglichen.

Im Anhang B sind die Ausführungen zur Klassifizierung von Rechenzentren zusammengefasst. Zunächst werden bestehende Klassifizierungen von Rechenzentren vorgestellt (siehe Anhang B.1) und anschließend bewertet (siehe Anhang B.1). Die Klassifizierung wird anschließend (siehe Abschnitt 3.3) um Bewertungskriterien in Bezug auf Energieeffizienz und Nachhaltigkeit ergänzt.

Anhand von Expertenmeinungen, Feedback aus den Begleitkreistreffen und frei verfügbaren Marktdaten wurde die erarbeitete Klassifizierung einem Praxistest unterzogen und ggf. notwendige Anpassungen vorgenommen.

Für einen fairen Vergleich der verschiedenen Kennzahlen der Effizienz eines RZ sollten diese entlang folgender Kategorien eingeteilt werden.

- ▶ **Betreibertyp:** Operator, Co-Location, Hosting, Network provider, Hybrid (jegliche Mischformen)
- ▶ **Verfügbarkeitsklasse nach EN 50600-1:** 1-4
- ▶ **Größe nach IT-Anschlussleistung:**  $\leq 5 \text{ kW}$ ,  $\leq 50 \text{ kW}$ ,  $\leq 100 \text{ kW}$ ,  $\leq 500 \text{ kW}$ ,  $\leq 1 \text{ MW}$ ,  $\leq 20 \text{ MW}$ ,  $> 20 \text{ MW}$
- ▶ **Klimatische Bedingungen – Kühlgradtage:**  $\leq 30$ ,  $\leq 50$ ,  $\leq 100$ ,  $\leq 200$ ,  $> 200$

### 3.3 Indikatoren für Energieeffizienz und Umweltwirkungen

Im Rahmen dieses Abschnittes werden die Ergebnisse der Entwicklung eines Bewertungssystems für die Energieeffizienz und Umweltwirkungen von Rechenzentren vorgestellt, die im Rahmen des Forschungsvorhabens erarbeitet wurden. Dazu wurden Eigenschaften, Indikatoren und Messpunkte festgelegt, die für die relevanten Umweltwirkungen von RZ relevante Eingangsgrößen darstellen.

Der Anspruch an die Datenerhebung ist es, alle relevanten Umweltkategorien abzubilden, sodass Potentiale und Verbesserungen erkannt, dargestellt und reflektiert werden können. In Anlehnung an die DIN EN 50600 werden die Kennzahlen der Energieeffizienz um weitere umweltrelevante Kennzahlen erweitert. Es sollen folgende Umweltwirkungen berücksichtigt werden:

- ▶ Bedarf an elektrischer Energie, Energieeffizienz und Abwärmenutzung
- ▶ Direkte Treibhausgasemissionen
- ▶ Wasserverbrauch
- ▶ Flächenversiegelung
- ▶ Elektroschrott

Anhand der folgenden Kriterien wurden existierende Kennzahlen selektiert. Die Auswahl beinhaltet Kennzahlen, die:

- ▶ vergleichsweise einfach durch die RZ-Betreiber ermittelt werden können,
- ▶ auch in unterschiedlichen Betreibermodellen und Architekturen von Rechenzentren erfasst werden können und
- ▶ eine richtungssichere Berechnung der Effizienz und der Umweltwirkungen von Rechenzentren zulassen.

Die zu erfassenden Daten werden nachfolgend jeweils mit ihrer Einheit und der Information, ob der Datenpunkt verpflichtend angegeben werden soll und ob der Datenpunkt in einem Register öffentlich einsehbar sein soll, in einer Tabelle zusammengefasst.

### 3.3.1 Energieeffizienz

#### Absoluter Energieverbrauch

Der absolute Energieverbrauch von RZ in Deutschland ist Gegenstand von wissenschaftlicher Forschung und wird auf Basis unterschiedlicher Modelle und Annahmen approximiert. Transparenz bei den Verbrauchsdaten würde es ermöglichen, unterstützende politische Maßnahmen vorzubereiten und den Gesamtenergiebedarf der Digitalisierung zu erfassen und zu steuern.

Der absolute Energieverbrauch des RZ setzt sich zusammen aus dem Strombezug vom Energieversorgungsunternehmen, der Eigenerzeugung aus eigenen Erzeugungsanlagen am Standort und der Stromerzeugung der Netzersatzanlage abzüglich der Energie, die ins Netz zurückgespeist wird.

Auf Verbrauchsseite setzt sich der absolute Energieverbrauch aus dem gesamten Stromverbrauch der IT, des Kühlsystems inklusive der Kältemaschine, dem Stromverbrauch der Unterbrechungsfreien Stromversorgung und ggf. dem Stromverbrauch von Wärmepumpen zur Aufwertung der Abwärme zusammen. Kleine Abweichungen durch Verbräuche für Beleuchtung etc. können typischerweise vernachlässigt werden, Tabelle 5 und Tabelle 6.

**Tabelle 5: Absoluter Stromverbrauch der IT**

|                       |       |  |  |         |   |
|-----------------------|-------|--|--|---------|---|
| Stromverbrauch der IT | kWh/a |  |  | Pflicht | ö |
|-----------------------|-------|--|--|---------|---|

Quelle: Auszug aus dem Datenerhebungsbogen, PEERDC

**Tabelle 6: Absoluter Stromverbrauch des RZ**

| Stromverbrauch im Berichtsjahr                                                              | Wert    | Kommentar |           |   |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|---------|-----------|-----------|---|
| Gesamter Stromverbrauch (EVU + im RZ genutzte Eigenerzeugung)                               | kWh/a   |           | Pflicht   | ö |
| Gesamter Strombezug EVU                                                                     | kWh/a   |           | Pflicht   | ö |
| Gesamter Stromverbrauch IT (gemessen hinter USV)                                            | kWh/a   |           | Pflicht   | ö |
| Gesamter Stromverbrauch der Kühlsysteme (abzüglich des Anteils nicht im RZ genutzter Kälte) | kWh/a   |           | Pflicht   | v |
| Gesamter Stromverbrauch der Wärmepumpen (falls vorhanden)                                   | kWh/a   |           | Pflicht   | v |
|                                                                                             |         |           |           |   |
| Stromerzeugung im Berichtsjahr                                                              | Einheit | Wert      | Kommentar |   |
|                                                                                             |         |           |           |   |
| Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien                                                    | kWh/a   |           | Pflicht   | v |

| Stromverbrauch im Berichtsjahr                |       | Wert | Kommentar |           |   |
|-----------------------------------------------|-------|------|-----------|-----------|---|
| Stromerzeugung Netzersatzanlagen (NEA + BHKW) | kWh/a |      |           | Pflicht   | v |
| Stromerzeugung gesamt                         | kWh/a | 0    |           | berechnet | ö |
| Ins Netz eingespeiste Menge                   | kWh/a |      |           | Pflicht   | ö |

Quelle: Auszug aus dem Datenerhebungsbogen, PEERDC

### Effizienz der Infrastruktur: EN 50600-4-2 (Power Usage Effectiveness: PUE)

Die PUE ist eine Kennzahl zur Nutzung der eingesetzten Energie und stellt die Zuordnung der Energieverteilung in einem RZ dar. Sie ist definiert als der Quotient aus dem gesamten Energieverbrauch des RZ und dem der Stromverbrauch der IT. Dabei zählt der gesamte Energieverbrauch, nicht nur der elektrische. Er untergliedert sich dabei bei je nach Lage der Messpunkte in drei Kategorien. Die drei Kategorien der Messpunkte sind: USV-Ausgang, PDU-Ausgang und Eingang der IT-Ausstattung.

Die begrenzte Aussagekraft des PUE wird in der Literatur bereits breit diskutiert, da das Verhältnis der Werte nicht zwingend eine sinnvolle Aussage zur Effizienz ermöglicht. So schreibt Bilsen, dass der PUE *“a problematic indicator as increasingly efficient IT equipment and stagnating building efficiency result in a poorer PUE.”* Ist (Bilsen et al. 2022). Dies gilt insbesondere auch, da die PUE Werte sich seit 2013 trotz der Verbesserungen nicht sehr stark gesunken sind (Ascierto und Lawrence 2020). Darüber hinaus wird die Sinnhaftigkeit dieses Indikators an sich infrage gestellt. *„Though widely used, PUE has industry-acknowledged shortcomings in terms of accuracy. For starters, PUE does not measure efficient performance of a data center’s end purpose, which is to conduct digital work. In reality, the data center’s job is not to provide energy to IT equipment or infrastructure, but to do useful and productive computing; that power is going to IT equipment does not mean the equipment is doing good work.”* (Data Center Knowledge 2013)

Da im Rahmen des Forschungsansatzes für ein RZ-Registers jedoch die Akteure RZ- und IT-Betreiber getrennt erfasst werden, ergibt es Sinn, die Energieeffizienz der Infrastruktur getrennt von der Energieeffizienz der IT auszuweisen. Dafür ist die PUE eine weit verbreitete und gut geeignete Kennzahl.

### Effizienz der Kühlung: EN 50600-4-7 (Cooling Efficiency Ratio: CER)

Die Effizienz des Kühlsystems wird durch den Quotienten aus abgeführter Wärme und dem Energiebedarf des Kühlsystems beschrieben. Das Kühlsystem umfasst dabei alle zur Kühlung vorgesehenen Bestandteile des Rechenzentrums.

### Abwärmenutzung: EN 50600-4-6 (Energy Reuse Factor: ERF)

Der Anteil wiederverwendeter Energie ist der Quotient aus der wiederverwendeten Energiemenge und dem gesamten Energieverbrauch. Energie, die dafür aufgewendet wird, die Temperatur der abgeführten Wärme (z.B. durch Wärmepumpen) zu erhöhen, geht in die Berechnung nicht ein. Die Art der abgegebenen, wiederverwendeten Energie (thermisch, elektrisch, chemisch, mechanisch) und die Kategorien der Messpunkte (siehe PUE) sollten angegeben werden. Die dazu zu erfassenden Datenpunkte sind in Tabelle 7 zusammengefasst.

**Tabelle 7: Abwärmenutzung**

| Jährliche Wärmenutzung                                                                                                                  | Einheit | Wert | Kommentar |         |   |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|------|-----------|---------|---|
| Summe der genutzten Wärme im Berichtsjahr                                                                                               | kWh/a   |      |           | Pflicht | ö |
| durchschnittl. Vorlauftemperatur der genutzten Abwärme                                                                                  | °C      |      |           | Pflicht | ö |
| Summe der ungenutzten Wärme (abgegeben an Luft/Wasser/Boden) im Berichtsjahr (=Energie der gekühlten Geräte+Kühlsystem- genutzte Wärme) | kWh/a   |      |           | Pflicht | ö |
| durchschnittl. Temperatur der ungenutzten Abwärme                                                                                       | °C      |      |           | Pflicht | ö |

Quelle: Auszug aus dem Datenerhebungsbogen, PEERDC

### Effizienz der Server: Server Idle Energy Coefficient (SIEC)

Der SIEC eines Servers ist der Quotient aus der im Idle-Mode verbrauchter Energie und dem gesamten Energieverbrauch des Servers. Dies beschreibt die Ineffizienz die durch eine schlechte Auslastung gepaart mit hohem Energiebedarf im Warte- und Ruhezustand entsteht. Je kleiner der Wert dieser Kennzahl, desto effizienter arbeitet der Server. Der Data Centre Idle Coefficient (DCIEC) summiert erst über alle Server und bildet anschließend den Quotienten. Zur Errechnung des SIC werden Datenreihen der Energieaufnahme und der CPU-Auslastung der betrachteten Server mit Zeitstempel benötigt (Harryvan 2021). Es wird empfohlen, mindestens eine Woche mit einer Intervallgröße zwischen einer Minute und einer Stunde zu messen (ebd.). Der SIEC lässt sich im laufenden Betrieb bestimmen.

$$SIEC = \frac{E_{idle}}{E_{Server}} \quad (1)$$

$$E_{Server} = \sum_{n=1}^N P(n) \cdot t(n) \quad (2)$$

$$E_{idle} = P_{idle} \cdot \sum_{n=1}^N (1 - CPU(n)) \cdot t(n) \quad (3)$$

Dabei sind:

- n die Nummer des Messintervalls,
- P(n) die Leistungsaufnahme des Servers zum Zeitpunkt n
- CPU(n) die gemessene CPU-Auslastung zum Zeitpunkt n
- P<sub>idle</sub> ist die Energieaufnahme im Idle-Zustand

- $t(n)$  ist die Länge des Messintervalls
- $N$  ist die Anzahl an Messungen.

$P_{idle}$  kann über zwei Wege bestimmt werden.

1. „Gibt es ein Messintervall, in dem die CPU-Auslastung unter 1% lag, so kann die gemessene Leistung in diesem Intervall als  $P_{idle}$  angesehen werden.
2. Die lineare Extrapolation der gemessenen Leistungen als Funktion der CPU-Auslastung nach 0% CPU-Auslastung ist  $P_{idle}$ .“ (Harryvan 2021)

Die Kennzahl des Anteils an im Idle-Mode verbrauchter Energie macht sich zu Nutze, dass alle CPU idle-loops fahren, wenn sie nichts zu tun haben, und in der Lage sind, ihre Auslastung zu berichten. Diese Kennzahl ignoriert den Energieverbrauch von Speichersystemen und dem Netzwerk. Jedoch kann argumentiert werden, dass die CPU in den meisten Fällen für über 80% des Gesamtenergiebedarfs eines Servers verantwortlich ist und deshalb repräsentativ für den Energiebedarf der IT ist.

Der Server Idle Coefficient für alle Server in einem Rechenzentrum (data center idle energy coefficient) ist weiterhin die im Idle-Modus verbrauchte Energie geteilt durch die Gesamtenergie.

Die Summe läuft jeweils über alle betrachteten Server  $j$  von 1 bis  $M$ .

$$DCIEC = \frac{\sum E_{idle}}{\sum E_{Server}} \cdot 100\% = \frac{\sum_{j=1}^M P_{idle,j} \cdot \sum_{n=1}^N (1 - CPU_j(n)) \cdot t(n)}{\sum_{j=1}^M \sum_{n=1}^N P_j(n) \cdot t(n)} \cdot 100\% \quad (4)$$

Eine vereinfachte Rechnung für eine repräsentativ ausgewählte baugleicher Server ermittelt aus einer Wochenkurve der CPU-Auslastung und einer Wochenkurve der elektrischen Leistung den DCIC inklusive den y-Achsenabschnitt  $P_{idle}$  erfasst werden, Tabelle 8.

**Tabelle 8: Wochenprofil**

Das Wochenprofil enthält die durchschnittliche CPU-Auslastung einer repräsentativ ausgewählten Gruppe baugleicher Server für alle Werte als mit Semikolon getrennte (;) Auflistung. Dabei ist der erste Eintrag die mittlere CPU Last dieser Server von allen Montagen zwischen 0 Uhr und 1 Uhr im Berichtszeitraum, 1 Uhr bis 2 Uhr als zweite Zahl usw. bis zur 168. Zahl (Sonntag 23 bis 24 Uhr). Beachten Sie die Ländereinstellung Ihres Excel-Programms und die dadurch gegeben automatische Formatierung.

|                                                                          |    |  |          |   |
|--------------------------------------------------------------------------|----|--|----------|---|
| mittleres Wochenprofil CPU-Auslastung<br>(1-stündige Auflösung)          | %  |  | Pflicht  | v |
| mittlere Wochenkurve der elektrischen Leistung<br>(1-stündige Auflösung) | kW |  | optional | v |

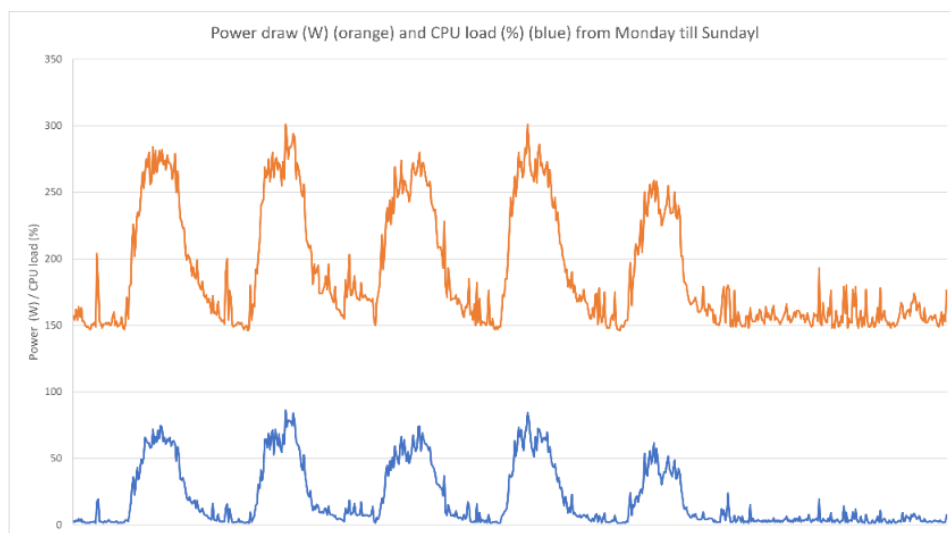
Quelle: Auszug aus dem Datenerhebungsbogen, PEERDC

### Effizienz der Server: Wochenprofil der durchschnittlichen Auslastung der Server

Die Auslastung der Server ist eine der wichtigsten Kennzahlen für die Energieeffizienz des IT Betriebes. Der überwiegende Zweck eines Rechenzentrums ist es, Rechenleistung zu erbringen. Die gesamte Infrastruktur dient diesem Zweck und verursacht einen großen Grundbedarf an Energie. Bei Auslastungen der IT im Bereich zwischen 60 und 80% kann die RZ-Infrastruktur meist am effizientesten betrieben werden. Bei kleinerer Auslastung werden Kapazitäten in Reserve

gehalten, die Energie verbrauchen ohne einen direkten Nutzen zu erzeugen. Je besser es einem IT-Betreiber gelingt die Rechenarbeit über den Tages- und Wochenverlauf zu verteilen, desto weniger Reserve in IT-Ausstattung und Infrastruktur wird benötigt. Einseitig ausgerichtete RZ, z.B. für Videokonferenzsysteme, sind einem stark schwankenden Bedarf, der eine typische Wochenkurve zeichnet, ausgesetzt (Gröger et al. 2021). Je kleiner die Varianz der Kurve, desto energieeffizienter kann das RZ betrieben werden. Zusammen mit einer Wochenkurve der Energieaufnahme lässt sich für baugleiche Server der Data Center Idle Energy Coefficient (DCIC) berechnen. Eine typische Wochenkurve beider Größen ist in Abbildung 1 dargestellt.

**Abbildung 1** Typische Wochenkurve der CPU-Auslastung und der Energieaufnahme



Quelle: Harryvan (2021)

Das Lastprofil ist die durchschnittliche Auslastung der zentralen Verarbeitungseinheiten (CPU) über repräsentativ ausgewählte ähnliche Server im Wochenverlauf. Die Auflösung sollte eine Stunde betragen, sodass 168 Werte für die CPU-Auslastung und 168 Werte für die Energieaufnahme vorliegen je Woche erfasst werden. Bei Messungen über mehr als eine Woche werden die stündlichen Werte gemittelt.

### 3.3.2 Treibhausgasemissionen

#### Anteil erneuerbarer Energien: EN 50600-4- 3 (Renewable Energy Factor: REF)

Der REF (Renewable Energy Factor) beschreibt den Prozentsatz der erneuerbaren Energie am Gesamtenergieverbrauch und ist der Quotient aus verbrauchten erneuerbaren Energien durch den gesamten Energieverbrauch des RZ. Ausschlaggebend für die Eigenschaft Erneuerbare Energie sind „gültige Rechte an den Umweltattributen“ der Energie (DIN EN 50600-4-3). In Tabelle 9 sind die zu erfassenden Daten zusammengestellt.

**Tabelle 9:** Anteil erneuerbarer Energien

| Zusammensetzung des Stroms des EVU im Berichtsjahr             | Einheit | Wert | Kommentar |  |  |
|----------------------------------------------------------------|---------|------|-----------|--|--|
| Tragen Sie hier die Informationen aus Ihrer Stromrechnung ein. |         |      |           |  |  |

| Zusammensetzung des Stroms des EVU im Berichtsjahr                                               | Einheit | Wert | Kommentar |         |   |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|------|-----------|---------|---|
| Anteil aus fossilen Energieträgern (Gas, Kohle, sonstige)                                        | %       |      |           | Pflicht | ö |
| Anteil aus erneuerbaren Energien                                                                 | %       |      |           | Pflicht | ö |
| Anteil aus Kernenergie                                                                           | %       |      |           | Pflicht | ö |
| Spezifischer CO2 Emissionsfaktor für den Strombezug (aus Rechnung des Stromversorgers entnehmen) | g/kWh   |      |           | Pflicht | ö |

Quelle: Auszug aus dem Datenerhebungsbogen, PEERDC

### Treibhausgasemissionen von Kältemitteln und Notstromanlagen

Der Großteil der in Rechenzentren eingesetzte Kältemittel haben ein hohes Treibhausgaspotential, wenn sie in die Atmosphäre gelangen. Da alle Kälteanlagen im Normalbetrieb eine Leckagerate aufweisen und auch bei Reparaturen und Instandhaltungen Kältemittel freigesetzt werden kann, ist die Erfassung relevant dieser Mengen von Interesse. Natürliche Kältemittel (CO<sub>2</sub>, Ammoniak, Propan, H<sub>2</sub>O, etc.), freie Kühlung und die direkte Wasserkühlung der Anlagen und IT Geräte bergen ein weitaus geringeres Umweltrisiko in mehreren Dimensionen. Neben einem sehr niedrigen GWP (global warming potential) bilden chlor- und fluorfreie Kältemittel keine stark reaktiven und toxischen Abbauprodukte in der Atmosphäre. Deshalb sollte die Art des Kältemittels, die Füllmenge sowie die jährlich nachgefüllten Mengen transparent erfasst werden, Tabelle 10.

Notstromanlagen werden in der Regel mit fossilen Brennstoffen betrieben, da diese einfach zu lagern und nachzufüllen sind. Dies widerspricht allerdings dem Streben nach Treibhausgasneutralität. Deshalb sollten entsprechende Verbräuche in einen Register erfasst werden, auch wenn die Notstromaggregate typischerweise nur für kurze Testzeiten pro Jahr betrieben werden.

**Tabelle 10: Treibhausgasemissionen der Kälteanlage**

| Kältemittelverbrauch pro Jahr je Art des Kältemittels                                                | Einheit | Wert | Kommentar |         |   |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|------|-----------|---------|---|
| Für jede Art von Kältemittel eine neue Zeile verwenden. Falls vorhanden, Wärmepumpe nicht vergessen! |         |      |           |         |   |
| Kurzbezeichnung des Kältemittels                                                                     |         |      |           | Pflicht | v |
| Gesamtfüllmenge des Kältemittels                                                                     | kg      |      |           | Pflicht | v |
| Summe des nachgefüllten Kältemittels im Berichtsjahr                                                 | kg      |      |           | Pflicht | v |
| Summe des entsorgten Kältemittels im Berichtsjahr                                                    | kg      |      |           | Pflicht | v |

Quelle: Auszug aus dem Datenerhebungsbogen, PEERDC

**Tabelle 11: Treibhausgasemissionen der Netzersatzanlage**

| Jährliche Verbrauchsdaten der Netzersatzanlagen | Einheit     | Wert | Kommentar |         |   |
|-------------------------------------------------|-------------|------|-----------|---------|---|
| Art des Kraftstoffes                            |             |      |           | Pflicht | v |
| Summe Kraftstoffverbrauch im Berichtsjahr       | t [1000Nm3] |      |           | Pflicht | v |

Quelle: Auszug aus dem Datenerhebungsbogen, PEERDC

### 3.3.3 Wasserverbrauch EN 50600-4-9 (Water Usage Effectiveness: WUE)

Die Effektivität der Wassernutzung ist der Quotient aus der Menge des vom RZ verbrauchten Wassers durch den Energieverbrauch der IT. Dabei ist die Menge des verbrauchten Wassers die Differenz aus aufgenommenem und zurückgegebenem Wasser.

Die WUE ist in drei Kategorien unterteilt, der Informationsgehalt sich unterscheidet:

- Direkte Wassernutzung des RZ,
- Zusätzlich Wasserintensität der gesamten Energiebereitstellung, Differenzierung von Grau- und Trinkwasser, Regionales Wasserstresslevel (kein Stress, Stress, Knappheit, absolute Knappheit)
- Zusätzlich Wasserintensität der RZ-bezogenen Logistik

“Despite the growing threat of water scarcity, only half of respondents say their organization collects water usage data for their IT/data center operations.” (Bilsen et al. 2022). Dieser Kritik anschließend kann das Erfassen des WUE in diesem Register dazu beitragen, den Wasserverbrauch stärker zu beachten. Tabelle 12 fasst die zu erhebenden Daten zum Wasserverbrauch zusammen. Wichtig ist zudem anzumerken, dass die Kennzahlen PUE und WUE häufig über den Typ des eingesetzten Kühlsystems verknüpft sind.

**Tabelle 12: Wasserverbrauch**

| Jährlicher Wasserverbrauch            | Einheit | Wert | Kommentar |         |   |
|---------------------------------------|---------|------|-----------|---------|---|
| Art des Wasserursprungs               | -       |      |           | Pflicht | v |
| Wasserverbrauch der adiabaten Kühlung | m³      |      |           | Pflicht | v |

Quelle: Auszug aus dem Datenerhebungsbogen, PEERDC

### **3.3.4 Flächenversiegelung**

Sehr viel offene Fragen gibt es zudem im Bereich der Flächeneffizienz von RZ. RZ Bauten sollten möglichst zu einer geringen Flächenversiegelung beitragen. Angesichts der Tatsache das RZ Gebäude meist einstöckig ausgeführt werden gibt es hier entsprechende Optimierungspotentiale. Für ein Register sollten Daten über die Grundstücksfläche und die Gebäudefläche sowie die produktive Fläche des Whitespace erfasst werden, Tabelle 13.

## Flächeneffizienz

Aus den Grunddaten:

- Grundstücksfläche, Bruttogrundfläche (BGF), IT-Fläche (Whitespace), Art der baulichen Nutzung des Umfeldes

lassen sich verschiedene Kennzahlen zur Flächeneffizienz berechnen. Die Definition der IT-Fläche lässt jedoch Interpretationsspielräume, beispielsweise ist der Übergabebereich nicht eindeutig IT-Fläche. Es kann jedoch argumentiert werden, dass diese Flächen nur bei sehr großen RZ existieren und im Vergleich zur IT-Fläche nicht ins Gewicht fallen. Abschätzungen zur möglichen Abweichung durch Interpretationsspielräume sollten deshalb kleiner als 10% sein.

Die IT-Fläche pro BGF oder pro Grundstücksfläche geben Auskunft über die effiziente Flächennutzung, die Art der baulichen Nutzung des Umfeldes über die Schwere des Eingriffes in die Natur. Tabelle 13 fasst die zu erfassenden Daten im Bereich Flächenversiegelung zusammen.

**Tabelle 13: Flächenversiegelung**

|                                                                                 |                |  |  |         |   |
|---------------------------------------------------------------------------------|----------------|--|--|---------|---|
| Grundstücksfläche<br>(ggf. basierend auf anteiliger Zuordnung von Grundstücken) | m <sup>2</sup> |  |  | Pflicht | ö |
| Gebäudegrundfläche des Rechenzentrums                                           | m <sup>2</sup> |  |  | Pflicht | ö |
| Whitespace                                                                      | m <sup>2</sup> |  |  | Pflicht | ö |
| Art der baulichen Nutzung des Umfeldes nach BauNVO §2 - §14                     |                |  |  | Pflicht | ö |

Quelle: Auszug aus dem Datenerhebungsbogen, PEERDC

## Leistungsdichte

Wenn zusätzliche Parameter zur IT bekannt sind, wie z.B. die Anzahl der Server oder deren (geplante) Anschlussleistung, lassen sich die Leistungsdichten im RZ berechnen.

Für eine effiziente Abwärmenutzung und für den Einsatz neuer Kühltechnologien sind hohe Leistungsdichten sinnvoll. Bisher dominiert in den Rechenzentren die konventionelle Luftkühlung. Ab einer Leistungsdichte von 30 kW pro Rack könnte Immersionskühlung eine wirtschaftliche Kühloption darstellen (Data Center Knowledge 2018). Diese Leistungsdichten werden von den meisten RZ noch nicht erreicht. „The mean average density for 2020 was 8.4 kilowatts per rack“ (Ascierto und Lawrence 2020). Mit zunehmender Verbreitung von KI Anwendungen dürfte die Leistungsdichte künftig jedoch deutlich ansteigen. Diese Kennzahl richtet sich deshalb nicht an IT-Betreiber sondern an die RZ-Betreiber, da sie die Stromversorgung und Kühlung der Racks planen und verantworten und die RZ entsprechend auslegen müssen. Die Kennzahl zur Leistungsdichte ist der Quotient aus Leistung pro Serverschrank in kW. Tabelle 14 zeigt die zu erfassenden Daten.

**Tabelle 14: Leistungsdichte**

|                                                                                                     |    |  |  |         |   |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|----|--|--|---------|---|
| Anschlussleistung Rechenzentrum zum 31.12. des Berichtsjahres (maximale gemessene Betriebsleistung) | kW |  |  | Pflicht | ö |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|----|--|--|---------|---|

|                           |       |  |  |          |   |
|---------------------------|-------|--|--|----------|---|
| Auslegungsleistung der IT | kW    |  |  | Pflicht  | v |
| Anzahl Serverschränke     | Racks |  |  | optional | v |

Quelle: Auszug aus dem Datenerhebungsbogen, PEERDC

### 3.3.5 Elektroschrott-Aufkommen

Der Hardwareverschleiß lässt sich durch einen effizienten IT-Betrieb, eine gute Steuerung der Umgebungsbedingung und effiziente Software beeinflussen. Allerdings steigt die Performance der IT Hardware und die Effizienz kontinuierlich an, so dass eine regelmäßige Austausch der Hardware im RZ erfolgt. Die Gesamtmenge an Elektroschrott sowie der Anteil, der wiederverwendeten Hardware (Refurbishment) soll gemäß Tabelle 15 erfasst werden. Aus Datenschutzgründen werden zur Zeit Storage Systeme überwiegend verschrottet und nicht wiederverwertet.

**Tabelle 15: Elektroschrott**

|                                                   |       |  |  |          |   |
|---------------------------------------------------|-------|--|--|----------|---|
| Anzahl der aussortierten Server                   | Stück |  |  | optional | v |
| Anzahl der Server zum Refurbishment               | Stück |  |  | optional | v |
| Speichervolumen der aussortierten Storage Systeme | TB    |  |  | optional | v |
| Speichervolumen zum Refurbishment                 | TB    |  |  | optional | v |

Quelle: Auszug aus dem Datenerhebungsbogen, PEERDC

## 3.4 Weitere Anforderungen

### 3.4.1 Plausibilitätsprüfung

Bei der manuellen Erfassung von Daten in einem Register ist stets mit fehlerhaften Angaben aus verschiedensten Gründen zu rechnen. Das reicht von einfachen Tippfehlern über Zahlen in fehlerhaften Einheiten bis hin zu bewussten Falscheingaben. Die Plausibilisierung der wesentlichen Eingangsparameter sollte deshalb erfolgen, z.B. über den Vergleich von Eingangs- und Ausgangsdaten einer technischen Komponente oder den Abgleich der Summen von Einzelwerten und der Gesamtwerte. Mögliche Plausibilitätsprüfungen sind zum Beispiel:

- Der gesamte Stromverbrauch des RZ im Vergleich zur Summe aus Strombezug und -Stromproduktion abzüglich der Einspeisung

$$el_{total,dc,kwh} \approx el_{production}_{kwh} + el_{grid}_{kwh} - el_{feed}_{kwh} \quad (5)$$

- Installierter Wirkleistung des USV-Eingangs in kW mal Wirkungsgrad der USV im Vergleich zur Auslegungsleistung der IT

$$ups_{connection,input\ power} \cdot 0,95 \approx dc_{it,nominal\ power} \quad (6)$$

- Der Energieverbrauch der IT im Vergleich zur abgeführten Wärme

$$el_{it,kwh} + el_{cooling,kwh} \approx heat\_reuse_{kwh} + heat\_unuse_{kwh} \quad (7)$$

- Installierte Leistung der Netzersatzanlage als Vergleich zur Auslegungsleistung des RZ und der Summe der installierten Leistungen der USV und Kälteanlagen.

$$backup_{el\ power} \approx dc_{connection\ power} \approx ups_{connection\ input\ power} + chiller_{design\ electrical\ power} \quad (8)$$

### 3.4.2 Daten für Beschaffung von RZ-Dienstleistungen

Bei der Beschaffung von RZ-Dienstleistungen, z.B. Co-Location oder Cloud-Dienstleistungen, ist nicht nur die Effizienz der darunterliegenden Infrastruktur von Bedeutung, sondern vielfach auch die Standortinformation, um die Nähe zu

- Netzwerkknoten und (interkontinentalen) Leitungen und
- Dienstleistern für Notfallmanagement im Co-Location RZ und
- Dem eigenen Firmenstandort zu bestimmen.

### 3.4.3 Daten für Netzbetreiber und die kommunale Planung

Daten aus einem Rechenzentrumsregister sollen zudem dazu beitragen, Netzbetreibern und kommunalen Wärmeplanern und Energieversorgern Informationen bereitzustellen, um eine effiziente und sparsame Wärmeinfrastruktur aufbauen zu können und ggf. zukünftig Netzdienstleistungen anbieten zu können. Dafür sollen für diese Akteure folgende Angaben mit dem Register zugänglich gemacht werden:

- Speicherkapazität der USV
- Installierte Leistung der Netzersatzanlagen
- Menge und Temperatur der Abwärme die an Luft, Gewässer oder den Boden abgegeben wurde,
- Menge der Abwärme, die durch das Rechenzentrum an Wärmeabnehmer geliefert wurde (kWh/a), und ihre durchschnittliche Temperatur (Grad Celsius).
- Ortsinformation zur
  - Anbindung an Mittel-/ Verteilnetzspannung
  - Anbindung an Wärmenetzen, -abnehmer und -senken
  - Planung und Vermeidung von Flächenkonkurrenz

### 3.4.4 Forschungsfragen an das Register

Für die Forschung ergeben sich über die bereits aufgelisteten Datenpunkte hinaus spannende Fragen. Da die Rechenzentren keine eigene Branche bilden sondern die Verbräuche im GHD Sektor bilanziert werden ergeben sich viele offene Forschungsfragen, u.a. :

- Wie hoch ist die Leistungsdichte in kW pro Schrank oder Quadratmeter Whitespace in verschiedenen RZ? Wie korreliert diese mit der Energieeffizienz?
- Wie verhalten sich installierte Nennkälteleistung und installierte Anschlussleistung der Kältemaschinen zur Berechnung des theoretisch erreichbaren Wertes für die Effizienz der Kühlung im Vergleich zu den tatsächlich gemessenen Werten.
- Wie beeinflusst das Alter der Server und das Baujahr des RZ Gebäudes die Energieeffizienz der IT und des RZ?

### 3.5 Energieeffizienzkennzeichnung

In den vorangegangenen Kapiteln wurden zu erfassende Datenpunkte identifiziert und beschrieben, welche eine umfassende Bewertung der Umweltwirkungen von RZ erlauben. Nachfolgend wird das im Rahmen des Projektes entwickelte Vorgehen beschrieben, wie die Energieeffizienz der Teilsysteme sinnvoll zu einzelnen Energieeffizienzindizes (EEI) zusammengeführt und mit einem Label kommuniziert werden könnten. Dafür wurde im Rahmen des Projektes eine Berechnungsgrundlage und ein Vorschlag für eine Energieeffizienzkennzeichnung für den effizienten Betrieb der RZ-Infrastruktur und des IT erarbeitet.

Für Rechenzentren sind dabei zwei wesentliche technische Bereiche voneinander zu unterscheiden:

- der Betrieb der Gebäudetechnik (bspw. Kälteanlagen, Stromversorgung, Sicherheitstechnik) und
- der Betrieb der Informationstechnik (Server, Speichersysteme, Netzwerktechnik).

Häufig sind für diese beiden Teilsysteme wirtschaftlich voneinander unabhängige Unternehmen, mindestens aber unterschiedliche Abteilungen innerhalb eines Unternehmens für die Bereiche verantwortlich. So stellt der Betreiber eines Co-Lokation-Rechenzentrums durch den Einsatz von Gebäudetechnik eine sichere räumliche Umgebung mit Stromversorgung und Datenanbindung zur Verfügung, in der dann ein Kunde seine eigene Informationstechnik selbst betreibt. Bei einem Unternehmensrechenzentrum ist meist eine Abteilung für den ausfallsicheren Betrieb der Gebäudetechnik zuständig, während die andere Abteilung die IT-Komponenten betreibt und für deren IT-Sicherheit zuständig ist. Die Effizienz des gesamten Rechenzentrums ist davon abhängig, dass jeder innerhalb seines Zuständigkeitsbereiches eine hohe Effizienz erreicht. Für beide Bereiche braucht es daher geeignete Performance-Kennzahlen, die Auskunft darüber geben, wie effizient der aktuelle Betrieb ist und welche Änderungen zu einer Optimierung führen würden. Für eine zu entwickelnde Rechenzentrumskennzeichnung müssen daher beide Bereiche zunächst getrennt adressiert werden, bevor sie dann für das gesamte Rechenzentrum gemeinsam dargestellt werden.

In den folgenden Kapiteln wird, getrennt für die beiden Bereiche Gebäudetechnik und Informationstechnik erläutert welche Indikatoren geeignet sind, die Energieeffizienz zu beschreiben, und wie diese in einen übergeordneten Energieeffizienzindex zusammengeführt werden könnten. Im anschließenden Kapitel werden diese Überlegungen dann zu einer kombinierten Energieeffizienzkennzeichnung zusammengeführt, die analog zu der Energieeffizienzkennzeichnung für Produkte oder dem Energieausweis für Gebäude, durch potenzielle Kunden schnell erfasst und richtig eingeordnet werden kann.

### 3.5.1 Gebäudetechnik

Die Gebäudetechnik eines Rechenzentrums sorgt insbesondere dafür, dass die IT dauerhaft und ausreichend gekühlt wird, dass kurzfristige Spannungsausfälle durch eine unterbrechungsfreie meist batteriegestützte Stromversorgung überbrückt werden und dass die Technik auch bei längeren Stromausfällen mit (meist per Diesel betriebenen) Notstromaggregaten versorgt werden kann.

Der größte Teil des Energieverbrauchs der Gebäudetechnik kann auf den Stromverbrauch der Kälteanlage und die Energieverluste in der sicheren Stromversorgung zurückgeführt werden. Zusätzlich kann die Gebäudetechnik für eine sinnvolle Nachnutzung der Abwärme eingesetzt werden. Zur Beschreibung der Energieeffizienz der Gebäudetechnik wurden im Rahmen des Forschungsprojektes die folgenden drei Effizienzkennzahlen als Eingangsparameter ausgewählt:

- ▶ PUE – Power Usage Effectiveness
- ▶ CER – Cooling Efficiency Ratio
- ▶ ERF – Energy Reuse Factor

Die oben beschriebenen Kennzahlen WUE – Water Usage Effectiveness und REF – Renewable Energy Factor wurden dagegen nicht für die Energieeffizienzkennzeichnung berücksichtigt. Die Bewertung der WUE hängt stark vom Standort des Rechenzentrums ab, denn diese ist eng mit der Frage der Wasserverfügbarkeit am Standort des RZ verknüpft. Wasser wird in Rechenzentren vor allem in der Verdunstungskühlung verbraucht, um dadurch den Energieeinsatz in der Kältemaschine zu reduzieren. Ob es umweltverträglicher ist, für die Klimatisierung von Rechenzentren einen höheren Wasserbedarf zu akzeptieren, hängt daher stark vom Einzelfall ab. Es sollte darüber nachgedacht werden, den Wasserverbrauch, statt in einer Energieeffizienzkennzahl lieber gesondert als Absolutwert auszuweisen oder ihn mit einer Wasserknappheitszahl zu kombinieren.

Der REF beschreibt den Anteil an erneuerbaren Energien am Energieverbrauch des Rechenzentrums. Auch dies ist kein Indikator für die Energieeffizienz, sondern eher ein Standortfaktor oder eine Frage der Vertragsgestaltung mit dem Energielieferanten. Trotzdem ist die Art des Strombezugs eine wichtige Kenngröße, die als Information gesondert ausgewiesen werden sollte. Für die Bewertung der Effizienz sind die beiden Kennzahlen WUE und REF daher nicht geeignet.

Nachfolgend wird beschrieben, wie die Kennzahlen PUE, CER und ERF in ein einheitliches Punktesystem mit einem Wertebereich zwischen 0 und 100 Punkten übersetzt werden, damit sie zu einem gemeinsamen Energieeffizienzindex (EEI) für die Gebäudetechnik zusammengefasst werden können.

#### PUE – Power Usage Effectiveness

Die Power Usage Effectiveness (PUE) ist nach DIN EN 50600-4-2 definiert als:

$$PUE = \frac{E_{RZ}}{E_{IT}} \quad (9)$$

Mit:

- ▶ ERZ der Gesamtenergieverbrauch des Rechenzentrums (jährlich) in kWh,
- ▶ EIT der Energieverbrauch der IT-Ausstattung (jährlich) in kWh.

Der theoretische Wertebereich des PUE ist  $[1;\infty]$ . Typische PUE-Werte liegen laut einer Umfrage von (Veith und Müller 2020), die unter „namhaften Data Center-Betreibern“ durchgeführt wurde, zwischen 1,05 und 2,20 mit einem Mittelwert von 1,38. In der regelmäßig durch das Uptime Institute durchgeführten Umfrage unter mehr als 500 internationalen Rechenzentrumsbetreibern (Uptime Institute 2021) lag der Durchschnittswert für den PUE im Jahr 2021 bei 1,57, während er im Jahr 2007 mit 2,5 ermittelt wurde. Für einen Energieeffizienzindex werden die beiden Extremwerte 1,05 für die beste verfügbare Technik und 2,5 für das ineffizienteste Rechenzentrum gewählt.

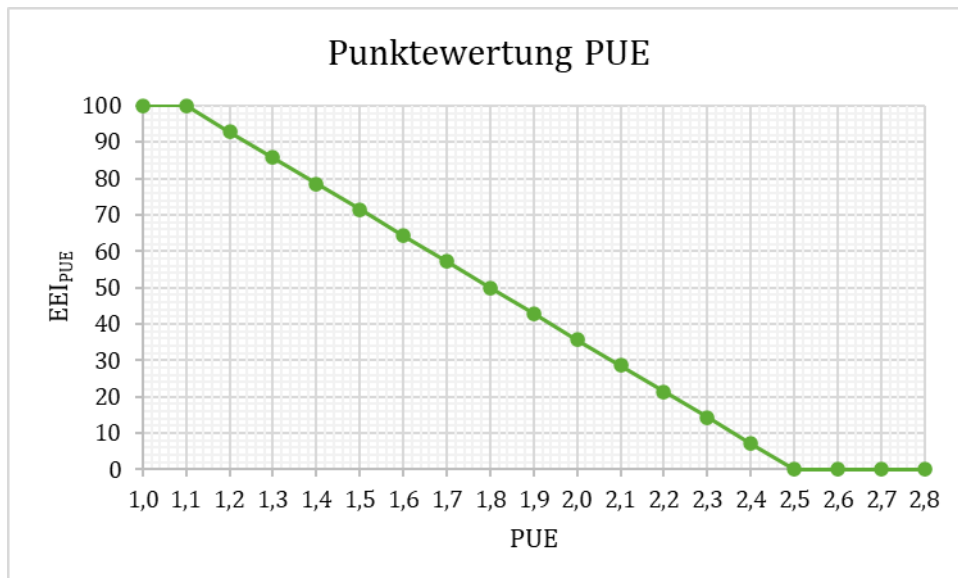
Diese typischen PUE-Werte werden durch eine lineare Interpolation in einen Energieeffizienzindex (EEI) zwischen 0 Punkte (schlechtester Wert) und 100 Punkte (besten Wert) umgerechnet. Für die Gerade  $EEI(PUE)=m \cdot PUE+b$  soll gelten,  $EEI(1,05)=100$  und  $EEI(2,5)=0$ . Daraus ergibt sich  $m=-100/1,45$  und  $b=-2,2 \cdot m$ .

$$EEI_{PUE} = \frac{100}{1,45} \cdot (2,5 - PUE) \quad (10)$$

► PUE > 2,5 wird auf 0 Punkte, PUE < 1,05 wird auf 100 Punkte gesetzt.

Der Zusammenhang zwischen PUE und der entsprechenden EEI-Punktzahl ist in Abbildung 2 graphisch dargestellt.

**Abbildung 2: Energieeffizienzindex  $EEI_{PUE}$**



Quelle: Vorschlag PEERDC

### CER – Cooling Efficiency Ratio

Die Cooling Efficiency Ratio (CER) ist nach DIN EN 50600-4-7 definiert als:

$$CER = \frac{Q_{abgeführt}}{E_{Kühlung}} \quad (11)$$

Mit:

- $Q_{\text{abgeführt}}$  als die gesamte aus dem Rechenzentrum abgeführte (jährliche) Wärmemenge in kWh,
- $E_{\text{Kühlung}}$  als der (jährliche) Energieverbrauch der Kühlsysteme in kWh.

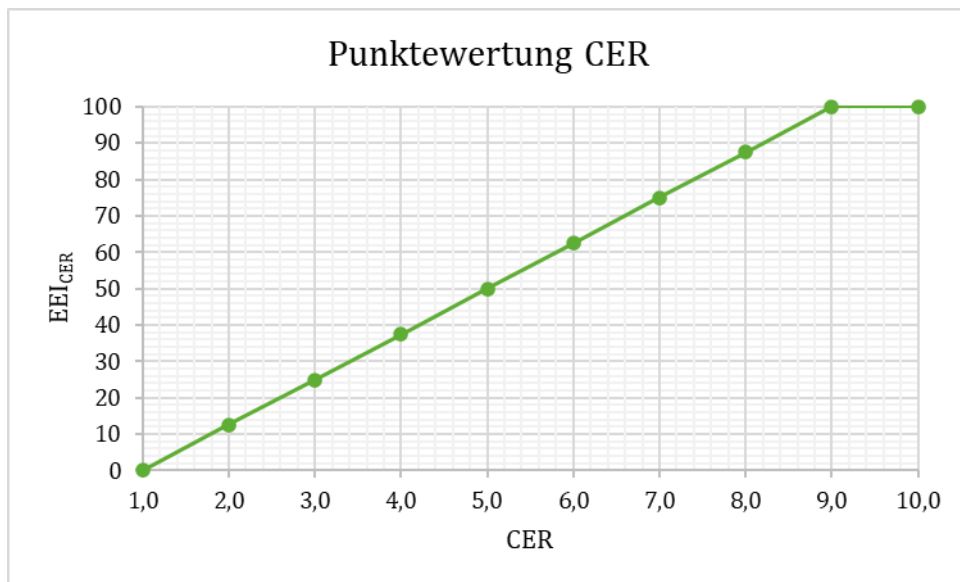
Der theoretische Wertebereich des CER ist  $[1;\infty]$ . Das Umweltzeichen Blauer Engel (Blauer Engel 2023), welches die beste verfügbare Technik beschreibt, fordert für neue Rechenzentren, die ab dem Jahr 2024 den Betrieb aufnehmen, einen Wert von  $\text{CER} > 9$ . Der Wertebereich des CER wird daher für den Energieeffizienzindex linear zwischen den Punkten  $[1;0]$  und  $[9;100]$  festgelegt. Die Gerade zwischen diesen beiden Punkten wird mathematisch durch die folgende Gleichung beschrieben:

$$EEI_{\text{CER}} = 12,5 \cdot (\text{CER} - 1) \quad (12)$$

- $\text{CER} \leq 1$  wird auf 0 Punkte,  $\text{CER} > 9$  wird auf 100 Punkte gesetzt.

Der Zusammenhang zwischen CER und der entsprechenden EEI-Punktzahl ist in Abbildung 3 graphisch dargestellt.

**Abbildung 3: Energieeffizienzindex  $EEI_{\text{CER}}$**



Quelle: Vorschlag PEERDC

### ERF – Energy Reuse Factor

Der Energy Reuse Factor (ERF) ist nach DIN EN 50600-4-6 definiert als:

$$ERF = \frac{E_{\text{Reuse}}}{E_{\text{RZ}}} \quad (13)$$

Mit:

- $E_{\text{Reuse}}$  als (jährliche) Energie aus dem Rechenzentrum in kWh, die außerhalb des Rechenzentrums genutzt wird und dort Energie ganz oder teilweise ersetzt,
- $E_{\text{RZ}}$  als der (jährliche) Gesamtenergieverbrauch des Rechenzentrums in kWh.

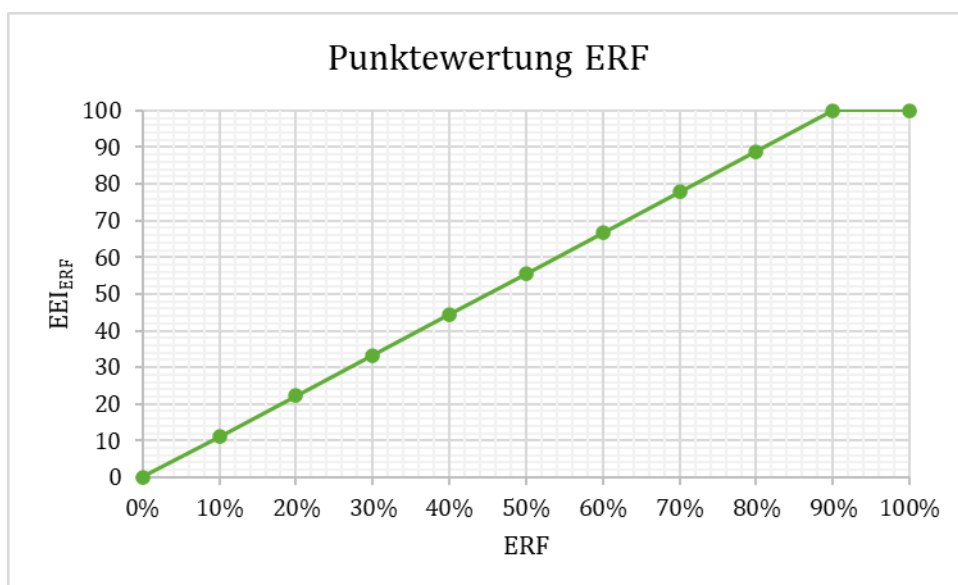
Der theoretische Wertebereich des ERF liegt zwischen 0 und 100% [0;1]. Welche dieser Werte in der Praxis vorkommen, wurde noch nicht systematisch erfasst. Zumindest für den Standort Deutschland ist derzeit davon auszugehen, dass die meisten Rechenzentren ihre Abwärme ungenutzt an die Umgebung abgeben, also einen ERF = 0 aufweisen. Eine Untersuchung der Deutschen Unternehmensinitiative Energieeffizienz e.V. und den Partnern IER Universität Stuttgart und EMPACT Energy (Weber und Ott 2023) zeigt das Potenzial zur Abwärmenutzung anhand von insgesamt 99 Praxisbeispielen auf. Es kann daher davon ausgegangen werden, dass hohe ERF-Kennzahlen in der Praxis erreichbar sind. Aus physikalischen Gründen ist eine 100-prozentige Nachnutzung nicht möglich, denn es gibt bei jeder Wärmeübertragung Verluste und die eher diffus anfallende Verlustwärme bei Stromverteilung und USV lassen sich nur schwer erfassen. Deshalb wird das Maximum auf ERF = 90% gesetzt. Der ERF wird linear in den Energieeffizienzindex umgerechnet. Die Gerade läuft durch die Punkte [0;0] und [90%;100] und schreibt sich folgendermaßen:

$$EEI_{ERF} = ERF \cdot \frac{1000}{9} \quad (14)$$

► ERF > 0,9 wird auf 100 Punkte gesetzt.

Der Zusammenhang zwischen ERF und der entsprechenden EEI-Punktzahl ist in Abbildung 4 graphisch dargestellt.

**Abbildung 4: Energieeffizienzindex  $EEI_{ERF}$**



Quelle: Vorschlag PEERDC

### Energieeffizienzindex für Gebäudetechnik

Die drei einzelnen Energieeffizienzindizes  $EEI_{PUE}$ ,  $EEI_{CER}$  und  $EEI_{ERF}$  sollen nun zu einer einzelnen Kennzahl, einem Energieeffizienzindex für Gebäudetechnik  $EEI_{BT}$ , zusammengefasst werden, wobei BT für *Building Technology* steht.

Da PUE und CER nicht unabhängig voneinander sind, wäre es falsch, einen einfachen Mittelwert über alle drei Werte zu bilden. Der CER wirkt sich auf den PUE aus, aber nicht andersrum, weshalb erstere mit einem geringeren Gewichtungsfaktor eingehen sollte, um diesen nicht doppelt

zu zählen. Die Nachnutzung der Energie (ERF) ist aus Gründen der Dekarbonisierung der Wärmeversorgung ein zunehmend wichtiges Thema, das jedoch nicht vollständig in der Hand des Rechenzentrumsbetreibers liegt. Denn für die sinnvolle Nachnutzung muss nicht nur die Auskopplung der Abwärme erfolgen sondern es muss in der Nachbarschaft des Rechenzentrums entsprechende Wärmeabnehmer oder ein aufnahmefähiges Wärmenetz geben.

Im Rahmen des Projektes wurden deshalb die folgenden Gewichtungsfaktoren ausgewählt:

- ▶  $EEI_{PUE}$ : 40%,
- ▶  $EEI_{CER}$ : 20%,
- ▶  $EEI_{ERF}$ : 40%.

Dadurch ergibt sich die Effizienzkennzahl für die Gebäudetechnik des Rechenzentrums zu:

$$EEI_{BT} = 0,4 \cdot EEI_{PUE} + 0,2 \cdot EEI_{CER} + 0,4 \cdot EEI_{ERF} \quad (15)$$

Mit:

- ▶  $EEI_{BT}$  als Energieeffizienzindex für Gebäudetechnik mit Werten von 0 bis 100 Punkten.

Oder nach Einsetzen der Formeln (10), (12) und (14):

$$EEI_{BT} = \frac{40}{1,45} \cdot (2,5 - PUE) + 2,5 \cdot (CER - 1) + \frac{400}{9} \cdot ERF \quad (16)$$

### 3.5.2 Informationstechnik

Die Informationstechnik eines Rechenzentrums stellt den eigentlichen Nutzen des Rechenzentrums dar. Die Gebäudetechnik wird dazu betrieben, die erforderlichen Umgebungsbedingungen für die Informationstechnik bereitzustellen. Zusätzlich zum Energieeffizienzindex für die Gebäudetechnik werden daher auch geeignete Kennzahlen für die im Rechenzentrum betriebene IT benötigt.

Bei der Entwicklung eines Energieeffizienzindex für die Informationstechnik wurde darauf geachtet, dass die Bewertung auf bereits vorhandenen Daten basiert oder nur solche Daten benötigt werden, die ohne großen Aufwand durch die IT Betreiber erhoben werden können. Für die IT sind dies in der Regel entweder statische Daten, die aus den technischen Datenblättern der Komponenten entnommen werden können oder gemessene Daten über aktuelle Betriebszustände, die ohnehin durch vorhandene Monitoring-Tools überwacht werden, um einen ausfallsicheren Betrieb der IT zu gewährleisten.

Ausgangspunkt für die Entwicklung einer Energieeffizienzkennzahl sind daher die gemessenen Auslastungen, wie die CPU-Auslastung für Server, die Auslastung von Speichersystemen und die Auslastung von Netzwerkkomponenten, ggf. kombiniert mit weiteren einfach zu erhebenden Daten. In der Praxis gibt es eine direkte Korrelation zwischen der Auslastung und der Energieeffizienz von IT-Komponenten. Denn IT verbraucht auch Energie, wenn sie nicht aktiv genutzt wird, die sogenannten Leerlaufverluste. Darüber hinaus ist die Energieeffizienz bei geringer Rechenlast erheblich niedriger als bei höherer Auslastung. Je höher die Auslastung der IT, desto höher die Energieeffizienz und umso weniger fallen die Leerlaufverluste ins Gewicht.

In den nachfolgenden Kapiteln wird zunächst der Zusammenhang zwischen Auslastung und Energieverbrauch von Servern untersucht, um anschließend für alle drei maßgeblichen Komponenten der Informationstechnik, Server, Speichersysteme und Netzwerkgeräte, eine entsprechende Energieeffizienzkennzahl zu entwickeln.

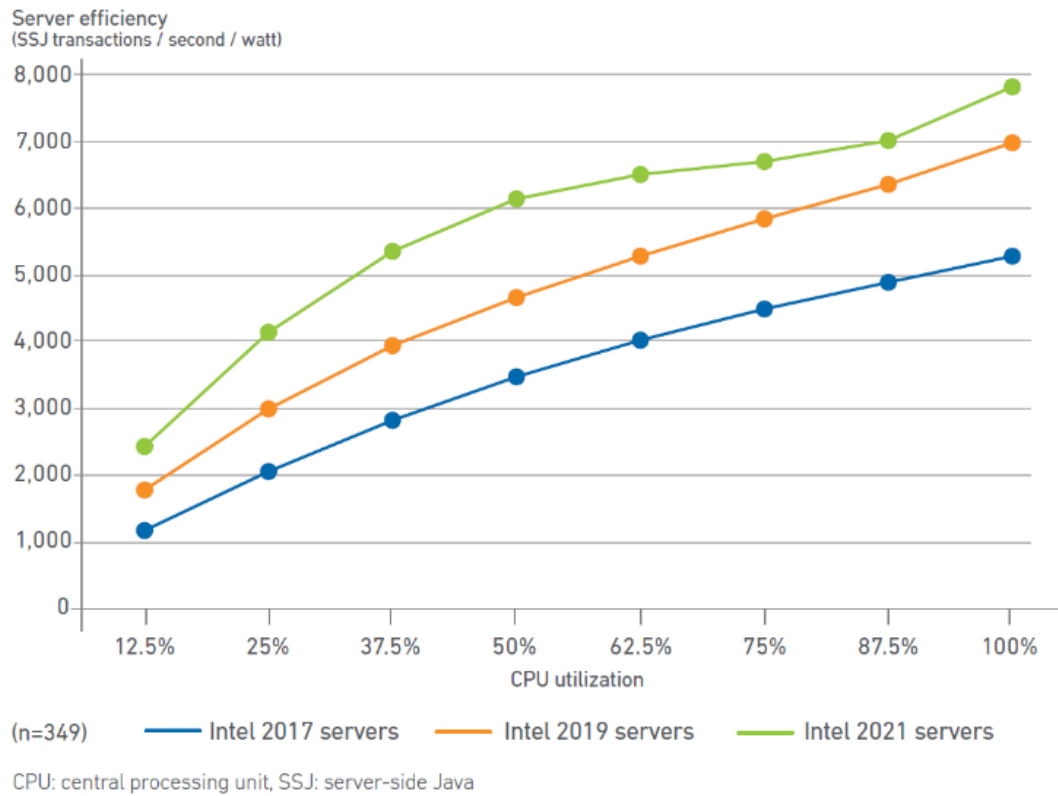
### **Zusammenhang zwischen Auslastung und Effizienz**

Mit Effizienz-Metriken für Server, wie dem SPECpower Benchmark (SPECpower Committee 2014), der die ausführbaren Rechenoperationen pro eingesetzter elektrischer Leistung berechnet, kann man sehr deutlich aufzeigen, dass es einen direkten Zusammenhang zwischen der CPU-Auslastung und der Energieeffizienz gibt. Dies ist insofern nachvollziehbar, da ein hoher Anteil des Energieverbrauchs, oft bis zu 50%, auf den Leerlaufmodus entfällt, während dem keine sinnvolle Rechenarbeit erbracht wird.

Die Effizienz verbessert sich durch den technischen Fortschritt bei jeder neuen Servergeneration. Der Zusammenhang zwischen Auslastung und Effizienz bleibt jedoch bestehen. Dies unterstreicht eine aktuelle Auswertung der Green-Grid Datenbank mit 429 Server-Plattformen (The Green Grid's Server Efficiency Rating Tool (SERT) database) durch das Uptime Institute (Rahkonen und Dietrich 2023). In Abbildung 5 werden diese Ergebnisse dargestellt. Die geringsten Server-Effizienzen, gemessen als Rechenoperationen pro Sekunde und Watt, werden jeweils bei der geringsten gemessenen Auslastung von 12,5% erreicht, die höchsten bei 100%.

Aus dieser Abbildung ist auch deutlich die Altersabhängigkeit der Servereffizienz zu erkennen. Je nach Auslastung können ältere Server von 2017 zudem die gleiche Effizienz wie Server von 2021 erreichen, wenn sie besser ausgelastet werden können. Der Ersatz eines alten Servers durch einen deutlich leistungsstärkeren und effizienteren Server führt deshalb nicht zwingend zu einer Energieeinsparung. Nur wenn der neue Server tatsächlich auch hoch ausgelastet ist und nicht im unteren Teillastbereich arbeitet führt der Hardwaretausch zu einer Effizienzverbesserung.

**Abbildung 5: Servereffizienz abhängig von der CPU-Auslastung und Servergeneration**



Quelle: Abbildung direkt entnommen aus Uptime Institute (Rahkonen und Dietrich 2023) Seite 4

Um die Problematik der schlecht ausgelasteten Server und Serverfarmen mit einer Metrik zu erfassen, hat Harryvan (2021) die Kennzahlen *Server Idle Coefficient (SIC)* für einzelne Server und den *Data Center Idle Coefficient (DCIC)* für gesamte Rechenzentren entwickelt. Der SIC wird berechnet über das Verhältnis des Energieverbrauchs für den Leerlauf-Modus ( $E_{Idle}$ ) zum Energieverbrauch des Servers ( $E_{Server}$ ):

$$SIC = \frac{E_{Idle}}{E_{Server}} \quad (17)$$

Der DCIC wird analog für die gesamten Leerlaufverluste und Server-Energieverbräuche des gesamten Rechenzentrums berechnet.

Setzt man für die Energieverbräuche jeweils die Leistungsaufnahme im Leerlaufmodus ( $P_{idle}$ ) und Leistungsaufnahme im Betriebszustand ( $P$ ) in die Formel ein, so wird deutlich, dass es auch hier einen direkten Zusammenhang zwischen dem SIC-Wert und der CPU-Auslastung gibt:

$$SIC = \frac{P_{idle} \cdot \sum_{n=1}^N (1 - CPU(n)) \cdot t(n)}{\sum_{n=1}^N P(n) \cdot t(n)} \quad (18)$$

Dabei gilt:

- ▶  $n$  ist die Nummer des Messintervalls,
- ▶  $CPU(n)$  ist die zum Zeitpunkt  $n$  gemessene CPU-Auslastung,
- ▶  $P_{idle}$  ist die elektrische Leistungsaufnahme im Idle-Zustand,

- ▶  $P(n)$  ist die zum Zeitpunkt  $n$  gemessene Leistungsaufnahme des Servers,
- ▶  $t(n)$  ist die Länge des Messintervalls,
- ▶  $N$  ist die Anzahl an Messungen.

Mit der SIC-Kennzahl gelingt es daher, die beiden Größen CPU-Auslastung und Idle-Stromverbrauch zusammenzubringen und in einer gemeinsamen Kennzahl darzustellen. Genau genommen handelt es sich bei dieser Kennzahl nicht um eine Effizienzkennzahl, sondern um eine Ineffektivitätskennzahl, da der Minimalwert das Optimum darstellt (keine Verluste, geringste Ineffektivität) und der Maximalwert den schlechtesten Fall abbildet (ausschließlich Leerlaufverluste, 100% ineffektiv).

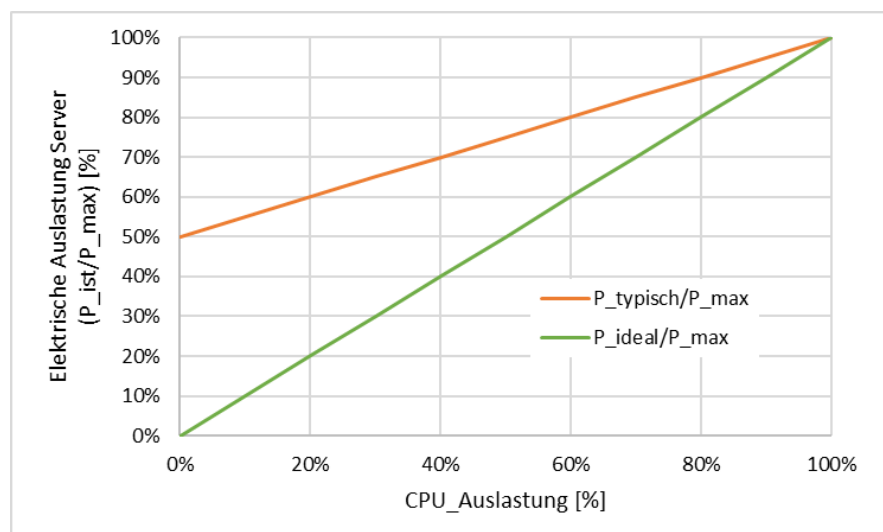
Ausgehend von den Überlegungen von Harryvan (2021) wurden Effizienzkennzahlen für Server, Speichersysteme und Netzwerkgeräte entwickelt, die das Prinzip im Sinne einer Effizienzkennzahl umdrehen und beschreiben, wie viel Auslastung durch die IT-Geräte erreicht wird und wie diese mit dem Anteil am Energieverbrauch korreliert. Die Kennzahlen werden als *Lastkorrelationen* bezeichnet, da sie ausdrücken, wie gut es den Geräten gelingt, die tatsächliche Auslastung (nützliche Arbeit) mit dem Energieverbrauch (Aufwand) in Einklang zu bringen. Das Optimum ist dann erreicht, wenn die Auslastung und der Anteil am maximalen Energieverbrauch gerade übereinstimmen.

### Server

Für Server gilt, wie oben dargestellt, dass eine möglichst hohe Auslastung erreicht werden soll, um eine hohe Effizienz zu ermöglichen. Zusätzlich ist es erstrebenswert, dass Leerlaufverluste möglichst gering sind und die Server nur so viel Energie verbrauchen, wie es ihrer aktuellen CPU-Leistung entspricht.

In Abbildung 6 ist der Zusammenhang zwischen CPU-Auslastung und elektrischer Leistungsaufnahme von Servern für einen typischen Server und einen idealen Server dargestellt.

**Abbildung 6: Zusammenhang zwischen CPU-Auslastung und elektrischer Leistungsaufnahme von typischen und idealen Servern**



Quelle: PEERDC

Ein Server benötigt in der Praxis auch dann Energie, wenn er sich im Leerlaufmodus (Idle) befindet, also wenn seine CPU-Auslastung bei 0% liegt. Bei typischen Servern machen diese Leerlaufverluste bis zu 50% der maximalen Leistungsaufnahme ( $P_{\text{Server\_max}}$ ) aus. Ist dieser Server zu 50% ausgelastet, so benötigt er 75% der maximalen Leistungsaufnahme. Ist der gleiche Server voll ausgelastet (CPU-Auslastung 100%), so liegt seine Leistungsaufnahme bei 100% der maximalen Leistungsaufnahme (Volllastmodus) und die gesamte benötigte Energie kann der nützlichen Arbeit des Servers zugeordnet werden. Dieser Zusammenhang eines typischen Servers wird in Abbildung 6 durch die orangene Linie dargestellt. Die einzige Möglichkeit, solch einen Server optimal zu betreiben, ist, ihn möglichst hoch (nahe an 100%) auszulasten. Ein idealer Server, in Abbildung 6 dargestellt mit der grünen Linie, weist dagegen keine Leerlaufverluste auf und reduziert seine Leistungsaufnahme gerade im gleichen Umfang wie die beanspruchte CPU-Auslastung. Eine CPU-Auslastung von 0% führt demnach zu einem Stromverbrauch von 0, eine CPU-Auslastung von 50% zu einem Stromverbrauch von 50% der maximalen Leistungsaufnahme und im Volllastfall liegen CPU-Auslastung und Leistungsaufnahme gleichermaßen bei 100%. Für einen idealen Server ist es daher unter dem Aspekt der Energieeffizienz gleichgültig, wie stark er ausgelastet ist.

Die Kennzahl, die hier entwickelt wird, berücksichtigt beide Einflussfaktoren: die CPU-Auslastung und die Fähigkeit des Servers, seinen Stromverbrauch bei sinkender CPU-Auslastung zu reduzieren. Statt der Leistungsaufnahme im Leerlaufmodus ( $P_{\text{idle}}$ ), der beim SIC-Wert verwendet wird, wird hier die maximal mögliche Leistungsaufnahme des Servers im Volllastmodus ( $P_{\text{Server\_max}}$ ) als Bezugsgröße herangezogen. Dieser Wert ist ein fester elektrischer Leistungswert pro Server, der gemäß der Ökodesign-Verordnung für Server und Speichersysteme (Europäische Kommission 2019) seit dem 1. März 2020 in technischen Datenblättern und auf der Webseite des Herstellers angegeben werden muss. Er wird in Anhang II 3.1.j als „Höchstleistung in Watt“ benannt. Alternativ kann dieser Wert auch selbst gemessen werden, indem die Server maximal belastet werden (unter Linux beispielsweise mit dem **stress** Befehl).

Die neue Kennzahl wird im Folgenden Lastkorrelation (LC – load correlation) genannt, da sie beschreibt, wie gut die IT-Auslastung mit der Energie-Auslastung korreliert. Die bereits etablierte Kennzahl IT Equipment Utilisation of Servers ( $ITEU_{\text{SV}}$ ) wird als Wert für die jährliche mittlere CPU-Auslastung aller Server herangezogen. Es wird definiert:

$$LC_{\text{Server}} = \frac{ITEU_{\text{SV}}}{\left( \frac{E_{\text{Server}}}{t \cdot P_{\text{Server\_max}}} \right)} \quad (19)$$

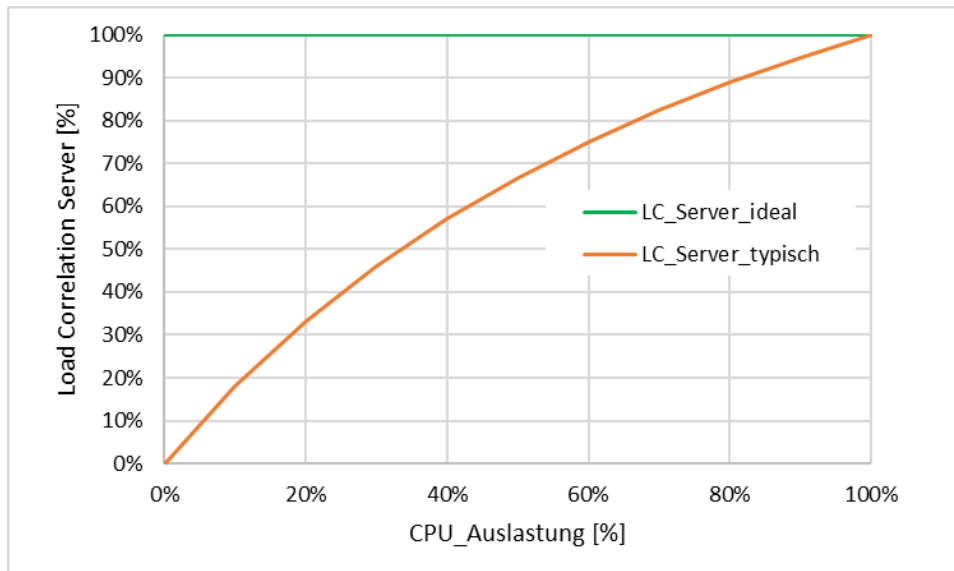
Mit:

- ▶  $LC_{\text{Server}}$  als dimensionslose Lastkorrelation der Server (0 bis 100%),
- ▶  $ITEU_{\text{SV}}$  als mittlere (jährliche) CPU-Auslastung der Server (0 bis 100%),
- ▶  $E_{\text{Server}}$  als (jährlicher) Energieverbrauch aller Server in kWh,
- ▶  $P_{\text{Server\_max}}$  als Summe der maximalen Leistungsaufnahme aller Server im Volllastmodus in kW,
- ▶  $t$  als Messzeitraum in Stunden, für einen Jahreswert entspricht dies 8760h.

Berechnet man die Lastkorrelation für die in Abbildung 6 dargestellten Server für einen typischen Server (orange) und für einen idealen Server (grün), so erhält man abhängig von der CPU-Auslastung die Kurvenverläufe, die in Abbildung 7 dargestellt sind. Der typische Server (orange)

zeigt einen steigenden Wert für die Lastkorrelation, der bei  $LC_{\text{Server}} = 0\%$  für die CPU-Auslastung von 0% beginnt und sein Maximum von  $LC_{\text{Server}} = 100\%$  erreicht, wenn die CPU-Auslastung bei 100% liegt. Der ideale Server weist dagegen über den gesamten Wertebereich der CPU-Auslastung eine Lastkorrelation von  $LC_{\text{Server}} = 100\%$  auf, arbeitet also zu jedem Auslastungszustand optimal.

**Abbildung 7: Zusammenhang zwischen CPU-Auslastung und Lastkorrelation ( $LC_{\text{Server}}$ ) von typischen und idealen Servern**



Quelle: PEERDC

### Speichersysteme

Die oben für Server dargestellte Herangehensweise zur Berechnung der Lastkorrelation kann gleichermaßen auf Speichersysteme übertragen werden. Hier besteht die nützliche Arbeit des Speichersystems in der Regel in der Speicherplatzbelegung. Analog zur Serverauslastung wird daher definiert, dass die Lastkorrelation für Speichersysteme ( $LC_{\text{Storage}}$ ) das Verhältnis zwischen prozentualer Speicherauslastung und anteiligem Energieverbrauch des Speichers an seinem maximalen Energieverbrauch ist:

$$LC_{\text{Storage}} = \frac{\text{Storage\_Utilisation}}{\left( \frac{E_{\text{Storage}}}{t \cdot P_{\text{Storage\_max}}} \right)} \quad (20)$$

Mit:

- ▶  $LC_{\text{Storage}}$  als dimensionslose Lastkorrelation der Speichersysteme (0 bis 100%),
- ▶ Storage\_Utilisation als mittlere (jährliche) Speicherplatzbelegung (0 bis 100%),
- ▶  $E_{\text{Storage}}$  als (jährlicher) Energieverbrauch aller Speichersysteme in kWh,  
 $\int_0^{8760} P_{\text{Storage}} \cdot dt$
- ▶  $P_{\text{Storage\_max}}$  als Summe der maximalen Leistungsaufnahme aller voll belegten Speichersysteme in kW,

- $t$  als Messzeitraum in Stunden, für einen Jahreswert entspricht dies 8760h.

Für Speichersysteme lässt sich argumentieren, dass deren Energieverbrauch nicht mit der Speicherplatzbelegung korreliert, sondern eher mit dem Datendurchsatz bei Lese- und Schreibaktivitäten. Nimmt man daher die Speicherplatzbelegung als Nutzeneinheit, so bleibt der Energieverbrauch konstant. Vereinfachend können daher beide Energieverbräuche  $E_{\text{Storage}}$  und  $(P_{\text{Storage\_max}} \cdot t)$  gleichgesetzt werden, was zu einem Nenner von 1 führt, und folgende Vereinfachung der Berechnungsvorschrift zulässt:

$$LC_{\text{Storage}} \approx \text{Storage\_Utilisation} \quad (21)$$

Die Effektivität des Speichersystems ist demnach mit der prozentualen (jährlichen) Speicherplatzbelegung gleichzusetzen. Dies ist insofern auch logisch, da ein nicht belegter Speicher nur unnötig Energie verbraucht, während ein voll belegter Speicher das System maximal nutzt.

### Netzwerkgeräte

Netzwerk-Switches (Multiport-Bridge-Geräte) sind die wichtigsten Komponenten der Netzwerkinfrastruktur in einem Rechenzentrum. Sie werden hier daher herangezogen, um eine Aussage über die prozentuale Auslastung der Netzwerkinfrastruktur zu machen.

Ursprüngliche Überlegungen, die übertragenen Datenmengen im Verhältnis zur maximalen Datenübertragung als Nutzen der Switches zu verwenden, wurden verworfen, da Monitoringdaten zu intern und extern übertragenen Datenmengen in Rechenzentren nur unzureichend erhoben werden, und, weil es darüber hinaus keinen unmittelbaren Zusammenhang zum Energieverbrauch von Netzwerk-Switches und deren übertragene Datenmengen gibt.

Im Gegensatz zu der übertragenen Datenmenge korreliert jedoch der Anteil angeschlossener physischer Ports mit der Energieaufnahme von Netzwerkkomponenten, da nicht angeschlossene Ports in den Stand-by-Modus versetzt werden können (vgl. „Energy-Efficient Ethernet Standard“ IEEE 802.3az<sup>3</sup>).

Es gilt für die Netzwerk-Auslastung (Network Utilisation):

$$\text{Network\_Utilisation} = \frac{P_{\text{Ports\_connected}}}{P_{\text{Ports\_available}}} \quad (22)$$

$P_{\text{Ports}}$  bezeichnet hier die Anzahl physischer Ports an allen Multiport-Bridge-Geräten. Für die Lastkorrelation für Netzwerkgeräte ( $LC_{\text{Network}}$ ) wird als Netzwerk-Auslastung der Quotient aus der Anzahl angeschlossener Ports mit der Anzahl verfügbarer Ports definiert, für den Anteil am Energieverbrauch der Quotient aus gemessenem Energieverbrauch zum maximalen Energieverbrauch bei voller Port-Belegung:

$$LC_{\text{Network}} = \frac{\text{Network\_Utilisation}}{\left( \frac{E_{\text{Network}}}{t \cdot P_{\text{Network\_max}}} \right)} \quad (23)$$

Mit:

- $LC_{\text{Network}}$  als dimensionslose Lastkorrelation des Netzwerks (0 bis 100%),

<sup>3</sup> <https://standards.ieee.org/ieee/802.3az/4270/>

- ▶ Network\_Utilisation als mittlere (jährliche) Belegung physischer Ports (0 bis 100%),
- ▶  $E_{Network}$  als (jährlicher) Energieverbrauch aller Netzwerkgeräte in kWh,
- ▶  $P_{Network\_max}$  als Summe der maximalen Leistungsaufnahme aller Netzwerkgeräte mit voll belegten Ports in kW,
- ▶  $t$  als Messzeitraum in Stunden, für einen Jahreswert entspricht dies 8760h.

### Energieeffizienzindex für Informationstechnik

Der Vorschlag zur Berechnung eines Energieeffizienzindex für Informationstechnik setzt sich aus den obigen drei Werten der Lastkorrelationen (LC) zusammen. Es wird ein gewichteter Mittelwert gebildet, der entsprechend dem Anteil am Gesamtstromverbrauch der jeweiligen Teilbereiche Server, Speichersysteme und Netzwerkgeräte am Gesamtenergieverbrauch der Informationstechnik gewichtet wird. Dadurch wird der Energieeffizienzindex der Situation gerecht, dass in manchen Rechenzentren Server die größten Energieverbraucher darstellen, in anderen dagegen Speichersysteme oder Netzwerkgeräte. Es ist sogar möglich, dass damit ausschließlich Netzwerk-Rechenzentren bewertet werden, beispielsweise Rechenzentren von Unternehmen für Kommunikationsdienstleistungen. Der Ansatz wird daher allen Geschäftsmodellen der IT-Betreiber gerecht:

$$EEI_{IT} = 100 \cdot (LC_{Server} \cdot \frac{E_{Server}}{E_{IT}} + LC_{Storage} \cdot \frac{E_{Storage}}{E_{IT}} + LC_{Network} \cdot \frac{E_{Network}}{E_{IT}} ) \quad (24)$$

Wobei für den Energieverbrauch der Informationstechnik ( $E_{IT}$ ) gilt:

$$E_{IT} = E_{Server} + E_{Storage} + E_{Network} \quad (25)$$

Obiger Term wird durch Einsetzen der Definitionen der Lastkorrelationen aus (19), (20) und (23) zu:

$$EEI_{IT} = \frac{100}{E_{IT}} \cdot (ITEU_{SV} \cdot P_{Server\_max} \cdot t + Storage\_Utilisation \cdot E_{Storage} + Network\_Utilisation \cdot P_{Network\_max} \cdot t) \quad (26)$$

Mit:

- ▶  $EEI_{IT}$  als Energieeffizienzindex für Informationstechnik mit Werten von 0 bis 100 Punkten,
- ▶  $ITEU_{SV}$  als mittlere (jährliche) CPU-Auslastung (0 bis 100%),
- ▶  $P_{Server\_max}$  als Summe der maximalen Leistungsaufnahme aller Server im Volllastmodus in kW,
- ▶  $Storage\_Utilisation$  als mittlere (jährliche) Speicherplatzbelegung (0 bis 100%),
- ▶  $E_{Storage}$  als (jährlicher) Energieverbrauch aller Speichersysteme in kWh,
- ▶  $Network\_Utilisation$  als mittlere (jährliche) Belegung physischer Ports (0 bis 100%),

- $P_{\text{Network\_max}}$  als Summe der maximalen Leistungsaufnahme aller Netzwerkgeräte mit voll belegten Ports in kW,
- $t$  als Messzeitraum in Stunden, für einen Jahreswert entspricht dies 8760h.

Bemerkenswerterweise müssen, sobald die Leistungsaufnahmen bekannt sind, die Energieverbräuche der IT-Komponenten nicht mehr einzeln gemessen werden. Es genügt,  $E_{\text{IT}}$  und die durchschnittliche Auslastung der Komponenten zu bestimmen. Der Energieverbrauch von Speichersystemen  $E_{\text{Storage}}$  kann wahlweise gemessen oder über dessen durchschnittliche Leistungsaufnahme  $P_{\text{Storage\_average}}$  und dem Messzeitraum ( $t$ ) bestimmt werden ( $E_{\text{Storage}} = P_{\text{Storage\_average}} \cdot t$ ).

Falls der IT-Betreiber selbst keine Netzwerkkomponenten betreibt, weil er beispielsweise Kunde innerhalb eines Co-Location-Rechenzentrum ist und die Netzwerkkomponenten des RZ-Betreibers nutzt, kann der Energieverbrauch des Netzwerkes  $E_{\text{Network}}$  vereinfachend auf Null gesetzt werden. Dies ist insbesondere dann zulässig, wenn davon ausgegangen werden kann, dass die Netzwerkkomponenten nur einen vernachlässigbar kleinen Anteil am Gesamtstromverbrauch verursachen.

Die notwendigen Daten zur Berechnung der Energieeffizienzindizes wurden in den Erhebungsbogen des öffentlichen Registers über die Energieeffizienz von Rechenzentren integriert. In Tabelle 16 sind die Ergänzungen der Datenerhebung aufgeführt.

**Tabelle 16: Notwendige Ergänzungen der Datenerhebung**

|                                                    |       |  |  |          |   |                     |
|----------------------------------------------------|-------|--|--|----------|---|---------------------|
| Stromverbrauch der Server                          | kWh/a |  |  | Pflicht, | v | it_el_server_kwh    |
| Maximale Leistungsaufnahme der Server              | kW    |  |  | Pflicht  | V | It_power_server_kw  |
| Stromverbrauch der Storage Systeme                 | kWh/a |  |  | optional | v | it_el_storage_kwh   |
| Maximale Leistungsaufnahme der Storage Systeme     | kW    |  |  | optional | v | It_power_storage_kw |
| Auslastung der Speichersysteme                     | %     |  |  | Pflicht  | v | utilisation_storage |
| Stromverbrauch der Netzwerkkomponenten             | kWh/a |  |  | optional | v | it_el_network_kwh   |
| Maximale Leistungsaufnahme der Netzwerkkomponenten | kW    |  |  | optional | v | It_power_network_kw |
| Anteil physischer Ports, die belegt sind           | %     |  |  | optional | v | utilisation_network |

Quelle: Auszug aus dem Datenerhebungsbogen, PEERDC: eigene Darstellung

### 3.5.3 Energieeffizienzkennzeichnung

Im letzten Schritt werden die beiden Energieeffizienzindizes für die Gebäudetechnik ( $E_{\text{BT}}$ ) und die Informationstechnik ( $E_{\text{IT}}$ ) nun jeweils in eine Effizienzklasse übersetzt, wie sie auch für die EU-Energieeffizienzkennzeichnung verwendet wird. Der Wertebereich von 0 bis 100 Punkten

wird in die alphanummerische Skala von „A“ bis „G“ übersetzt. „A“ stellt dabei die beste Effizienzklasse dar, „G“ die schlechteste. Die Zuordnung könnte dabei gemäß den Zuordnungen in Tabelle 17 gewählt werden:

**Tabelle 17: Zuordnung des Energieeffizienzindex EEI zur Effizienzklasse**

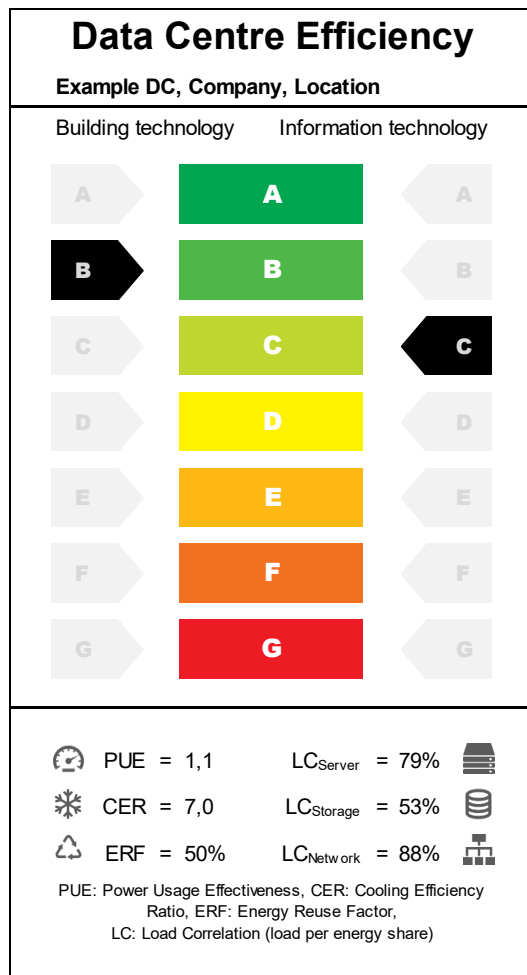
---

| EEI                  | Effizienzklasse |
|----------------------|-----------------|
| $\geq 90$            | A               |
| $\geq 75$ bis $< 90$ | B               |
| $\geq 60$ bis $< 75$ | C               |
| $\geq 45$ bis $< 60$ | D               |
| $\geq 30$ bis $< 45$ | E               |
| $\geq 15$ bis $< 30$ | F               |
| $< 15$               | G               |

Quelle: PEERDC: eigene Darstellung

In Abbildung 8 wird beispielhaft dargestellt, wie eine kombinierte Energieeffizienzkennzeichnung für Rechenzentren und Informationstechnologie grafisch gestaltet werden könnte.

**Abbildung 8: Energieeffizienzkennzeichnung für Rechenzentren**



Quelle: PEERDC: eigene Darstellung

Innerhalb der Kennzeichnung werden die Energieeffizienzindizes für die Gebäudetechnik ( $EEL_{BT}$ ) und die Informationstechnik ( $EEL_{IT}$ ) bewusst nicht miteinander verrechnet, sondern getrennt voneinander in eine Effizienzkategorie A bis G umgerechnet und nebeneinander dargestellt. Auf der linken Seite wird die Effizienzkategorie für die Gebäudetechnik dargestellt, auf der rechten Seite die Effizienzkategorie für die Informationstechnik. So bleiben die Informationen erhalten, wie effizient der jeweilige Bereich des Rechenzentrums arbeitet. Anbieter von Co-Location-Rechenzentren haben dadurch die Möglichkeit, nur die Effizienz der Gebäudetechnik auszuweisen, die Betreiber von IT können ihre IT-bedingte Effizienzkategorie ergänzen.

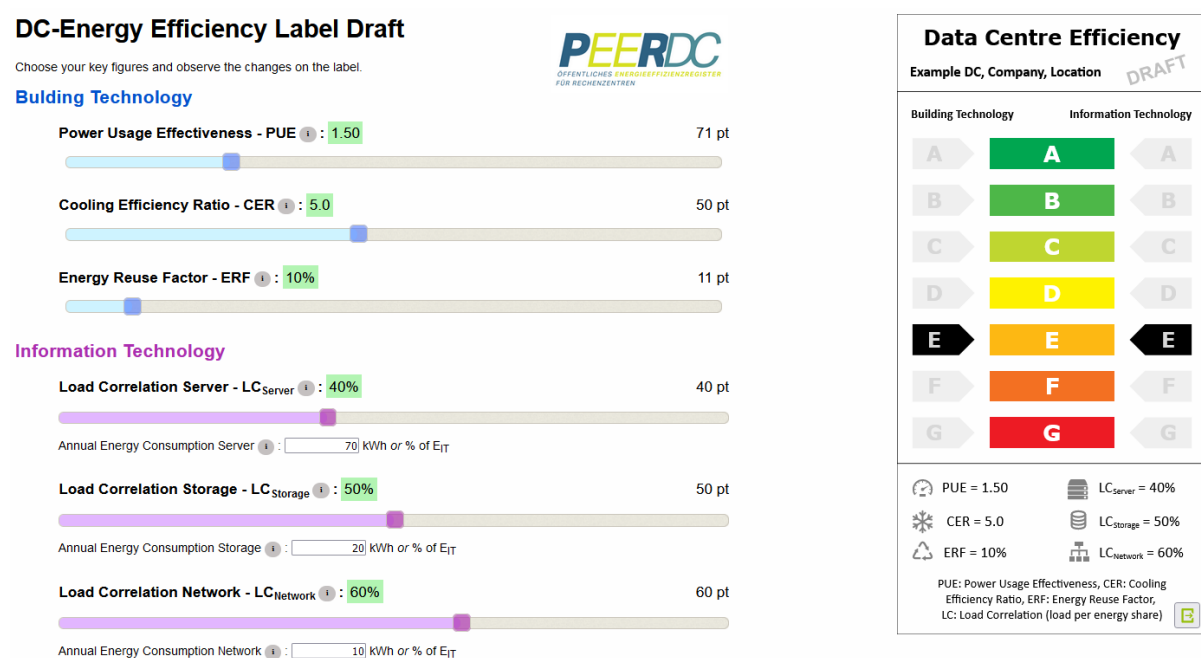
Die Energieeffizienzkennzeichnung bietet außerdem Platz für weitergehende Informationen, wie die ursprünglichen Werte des PUE, CER oder ERF, die Werte der Lastkorrelationen und bei Bedarf ggf. noch Werte zum Anteil erneuerbarer Energien (REF) oder der Wassernutzungszahlen (WUE oder absoluter Wasserverbrauch).

Mit der vorgelegten Berechnungsvorschrift und den Vorschlägen zu deren Visualisierung wurde ein Vorschlag erarbeitet, mit dessen Anwendung die Energieeffizienz von RZ mit einheitlichen Maßstäben sichtbar gemacht werden kann. Damit wird ein Vergleichsmaßstab für einen fairen Wettbewerb um die effizientesten Rechenzentrumsdienstleistungen bereitgestellt.

## Rückmeldungen zur Effizienzkennzeichnung von RZ- und IT-Betreibern und Verbänden

Der Entwurf der Berechnungsmethodik einer Energieeffizienzkennzeichnung für Rechenzentren wurde im Juni 2023 auf der Webseite<sup>4</sup> des PEERDC Projekts veröffentlicht und ein Online-Tool zur Berechnung der Energieeffizienzklassen und die prototypische Erstellung einer Kennzeichnung auf der Projektwebseite bereitgestellt (siehe Abbildung 9). Zusätzlich wurden branchenspezifische Workshops in deutscher und englischer Sprache durchgeführt, um die Berechnungsmethodik vorzustellen und zu diskutieren. Durch ein Online-Feedback-System<sup>5</sup> wurden die Teilnehmenden dazu aufgerufen, auch schriftliches Feedback zu geben, wobei auch andere Rückmeldeformate (z.B. Übersendung von Positionspapieren, E-Mails und mündliches Feedback) möglich waren.

**Abbildung 9: Online-Tool zur Erprobung der Energieeffizienzkennzeichnung**



Quelle: PEERDC: eigene Darstellung (<https://peer-dc.de/label/>)

Rückmeldungen wurden von interessierten Einzelpersonen sowie von folgenden Institutionen gegeben:

- Branchenverband BITKOM,
- Cloud Infrastructure Services Providers in Europe (CISPE),
- Digitaleurope,
- European Data Centre Alliance (EUDCA),
- German Data Centre Association (GDA),
- The Green Grid (TGG).

<sup>4</sup> <https://www.oeko.de/publikation/entwicklung-einer-energieeffizienzkennzeichnung-fuer-rechenzentren/>

<sup>5</sup> <https://peer-dc.de/category/feedback/>

Nachfolgend ist das Feedback der interessierten Kreise anhand der Leitfragen aus dem Online-Feedback-System dokumentiert, wobei die Reihenfolge der Antworten keine Gewichtung darstellt, sondern die Bandbreite der Kommentare und Rückmeldungen widerspiegelt.

**Frage 1. Wie bewerten Sie grundsätzlich den Vorschlag, eine Kennzeichnung für Rechenzentren einzuführen, die anhand eines einheitlichen Bewertungsmaßstabes Auskunft über dessen Energieeffizienz gibt?**

- ▶ Der Vorschlag wird grundsätzlich begrüßt, allerdings wird eine stärkere Beteiligung der Digitalwirtschaft bei der Entwicklung geeigneter Indikatoren und Bewertungsmaßstäbe gewünscht.
- ▶ Es besteht die Gefahr, dass Bestandsrechenzentren schlecht abschneiden.
- ▶ Es sollte klassifiziert werden nach bestehenden und neuen Rechenzentren, Geschäftsmodell, Verfügbarkeit, geographischer Standort und weiteren Merkmalen.
- ▶ Neue und zunächst schlecht ausgelastete Rechenzentren werden voraussichtlich in schlechtere Effizienzklassen fallen, was den weiteren Marktzugang erschwert und der höheren Auslastung entgegenwirkt.
- ▶ Die zugrunde liegenden Kennzahlen sollten einen Anreiz zur Effizienzsteigerung im Betrieb liefern und sollten Innovationen nicht behindern.
- ▶ Die Kennzeichnung sollte über Erstellungsdatum und eine Gültigkeitsdauer verfügen.

**Frage 2. Können Sie die Zweiteilung in BT und IT nachvollziehen und halten Sie diese für sinnvoll?**

- ▶ Die Teilung ist sinnvoll und nachvollziehbar.
- ▶ Eine Ausweisung der Energieeffizienz der Gebäudetechnik (BT) ist nicht nötig, da ein effizienter Betrieb ohnehin im wirtschaftlichen Interesse des Betreibers liegt.
- ▶ Für Co-Location-Anbieter ist es nur möglich, Kennzahlen für Gebäudetechnik (BT) zu erfassen, dagegen unmöglich oder mit einem hohen Aufwand verbunden, Kennzahlen für den IT-Betrieb seiner Kunden zu erfassen.
- ▶ Sinnvoll wäre, wenn Co-Location-Kunden auf dem Label des Co-Location-Anbieters aufbauen (vorgegebene Kennzahlen für BT) und ihre IT-spezifischen Kennzahlen ergänzen könnten. Dadurch würde ein kundenspezifisches Label erstellt werden können.

**Frage 3. Werden die richtigen KPIs für Gebäudetechnik berücksichtigt oder sollten andere KPIs berücksichtigt werden?**

- ▶ Es sollte eine Vereinheitlichung mit den KPIs der europäischen Energieeffizienzrichtlinie (EED) geben (PUE, WUE, ERF, REF).
- ▶ CER sollte entfallen, da er bereits im PUE enthalten ist (Doppelzählung).
- ▶ Der Anteil an erneuerbaren Energien (REF) sollte einbezogen werden.
- ▶ Es fehlt die Water Usage Effectiveness (WUE).
- ▶ Die Beschränkung auf wenige KPIs bildet nicht die Komplexität der Energieeffizienz eines Rechenzentrums ab.

- ▶ Bei der Abwärmenutzung (ERF) sollte auch die interne Wärmerückgewinnung berücksichtigt werden, die derzeit in der EN 50600 nicht angerechnet wird.
- ▶ Qualität („Sinnhaftigkeit“) der Abwärmenutzung sollte mitberücksichtigt werden.
- ▶ Die Wirtschaftlichkeit, insbesondere der Abwärmenutzung, sollte in die Bewertung eingehen.

**Frage 4. Ist die Methodik zur Berechnung der Load Correlation (LC) für Sie nachvollziehbar?**

**a) Wie bewerten Sie die Kennzahl Load Correlation (LC)?**

- ▶ Die Load Correlation bietet den Vorteil, dass sie für Server, Storage und Netzwerk gleichermaßen definiert ist. Anders als der Server-Idle-Efficiency-Coefficient (SIEC), der nur für Server definiert ist.
- ▶ Die Definition von „ungenutzten Ports“ ist noch nicht klar genug. Solche Ports können auch verkabelt, aber bewusst deaktiviert sein und dadurch keine Energie verbrauchen.
- ▶ Es wird bezweifelt, dass die CPU-Auslastung ein Maß für die sinnvolle Server-Arbeit sein kann. Durch schlechte Systemarchitektur oder ineffiziente Algorithmen kann trotz hoher CPU-Auslastung wenig sinnvolle Arbeit („useful work“) geleistet werden.
- ▶ Die Leistungsaufnahme von Speichersystemen liegt immer zwischen 80% und 90% der maximalen Leistungsaufnahme, unabhängig von der Speicherplatzbelegung. Daher wird mit der LC in der Regel nur die Belegung beschrieben.
- ▶ Die übertragenen Datenmengen variieren stark, je nach Art des Geschäftsmodells des Rechenzentrums, weshalb sie nicht in die Berechnung von Effizienzkennwerten einbezogen werden sollten.
- ▶ Es besteht die Gefahr, dass die Auslastung zugunsten guter LC-Kennzahlen unnötig erhöht wird (z.B. durch die Erzeugung künstlicher Workloads) und damit der Energieverbrauch insgesamt steigt.
- ▶ Die Berechnung von LC anhand von Angaben zur Leistungsaufnahme ( $P_{\text{server\_max}}$ ) aus Datenblättern ist nicht möglich, da diese seitens der Hersteller für ganze Modellfamilien angegeben werden und nicht für einzelne Server-Konfigurationen.
- ▶ Es fehlen Rechenregeln für GPUs und Hochleistungsrechenzentren (HPCs).
- ▶ Die Auslastung des Arbeitsspeichers (RAM) wird nicht berücksichtigt, obwohl dieses ebenfalls für einen hohen Energieverbrauch verantwortlich ist.
- ▶ Bei Permanentspeichern (Storage) sollte differenziert werden nach unterschiedlichen Speichertechnologien (SSD, HDD, Bandlaufwerke) mit deren unterschiedlichen Eigenschaften (insb. Geschwindigkeit, Verfügbarkeit).

**b) Haben Sie einen alternativen Vorschlag, wie die Effizienz von IT (Server, Storage, Netzwerk) bewertet werden kann?**

- ▶ Die Produktivität von Servern und Storage Systemen („useful work“) sollte als Bezugsgröße für eine Effizienzkennzahl herangezogen werden.
- ▶ SPEC<sub>rate2017\_int\_base</sub> für die Rechenfähigkeit statt LC<sub>CPU</sub>.
- ▶ GPUs separat betrachten.

- ▶ TFLOPS für GPU und Beschleuniger
- ▶ Bulk storage und performance storage trennen.
- ▶ Bulk storage als Speichervolumen bemessen, gespeicherte Datenmenge pro Energieverbrauch.
- ▶ Performance storage als Datendurchsatz bemessen (IOPS read and write).

**Frage 5. Wie bewerten Sie die Gewichtungsfaktoren (GF)? Schlagen Sie eine andere Gewichtung vor?**

- ▶ Die Gewichtung scheint zufällig und wenig wissenschaftlich begründet.
- ▶ Doppelzählung von CER wird kritisiert (siehe oben).
- ▶ Punkte-Umrechnung für PUE sollte nicht linear sein, da PUE nicht linear ist.
- ▶ Der Anteil der Abwärmenutzung (ERF) ist mit 40% überbewertet.
- ▶ ERF liegt realistischerweise zwischen 5-25%, die Punkte-Umrechnung sollte steiler sein.
- ▶ Insgesamt gibt es viel Kritik an der starken Berücksichtigung des ERF, der stark vom Standort und externen Rahmenbedingungen und nicht von der Betriebsführung abhängig ist und darüber hinaus kleine Rechenzentren gegenüber großen begünstigt.

**Frage 6. Wie gefällt Ihnen das Design des Labels und halten Sie es für intuitiv erfassbar?**

- ▶ Grundsätzlich gibt es hier Zustimmung.
- ▶ Die Nennung einzelner KPIs, ergänzend zur Energieeffizienz-Skalierung, wird begrüßt.
- ▶ Es wird bezweifelt, dass die Art der Darstellung für einen professionellen Kontext („B2B“) sinnvoll ist. Hier könnte eine komplexere und detailliertere Darstellung sinnvoller sein.

Zusammenfassend ergibt sich aus den Rückmeldungen, dass eine Energieeffizienzkennzeichnung für Rechenzentren grundsätzlich von fast allen interessierten Personen und Branchenverbänden wohlwollend aufgenommen wird und die Bereitschaft besteht, daran mitzuarbeiten. Hinsichtlich des im Rahmen des PEERDC Projektes erarbeiteten Entwurf wird jedoch weiter ein erheblicher Überarbeitungsbedarf gesehen. Seitens der Gebäudetechnik-Kennzahlen besteht hauptsächlich der Wunsch, die Energieeffizienz auf weitere Umweltwirkungen auszuweiten, insbesondere um Kennzahlen zu Wasserverbrauch und Nutzung von Ökostrom. Bei der Informationstechnik wünscht man sich eine Berücksichtigung der Leistungs- und Rechenfähigkeit der Hardware im Gegensatz zu einer reinen Metrik zur Auslastung. Insgesamt wird ein harmonisierter, europäischer Ansatz gewünscht, der auch die KPIs der europäischen Energieeffizienzrichtlinie (EED) berücksichtigt.

## 4 Register für Rechenzentren

Das folgende Kapitel beschäftigt sich mit der Konzeption und der prototypischen Umsetzung eines Registers für Rechenzentren. Zunächst wird die technische Entwicklung des Registers erläutert (Kapitel 4.1). Hier werden die relevanten Datenpunkte (Kapitel 4.1.2), die Bestandteile und Funktionen des Registers (Kapitel 4.1.3 und Kapitel 4.1.4) sowie die daraus resultierenden Visualisierung (Kapitel 4.1.5), Datenschutzaspekte (Kapitel 4.1.6) und Verbesserungsvorschläge (Kapitel 4.1.7) behandelt.

In Kapitel 4.2 wird ein Konzept zur weiteren Nutzung der Daten präsentiert, in dem Workflows zur Beantwortung der Forschungsfragen aus Kapitel 3.2 vorgestellt werden.

Abschließend widmet sich das Kapitel der Qualitätssicherung in der Praxis (Kapitel 4.3). Hierbei geht es insbesondere um die Akzeptanz eines Registers in der Branche (Kapitel 4.3.1), die endgültige Anzahl der beteiligten Akteure und Akteurinnen und eine Auswertung der von den Rechenzentren bereitgestellten Daten (Kapitel 4.3.2).

### 4.1 Entwicklung eines Registers für RZ

Das entwickelte Register zielt darauf ab, relevante Parameter von Rechenzentren und der Informationstechnik umfassend zu erheben und darzustellen. Dazu gehören u.a. die Anschlussleistung, die Größe und angebotenen Dienstleistungen. Darüber hinaus werden Daten zu Energieverbräuchen, Energieerzeugung und Abwärmenutzung erfasst und dargestellt. Durchschnittliche KPIs werden sowohl räumlich als auch für einzelne Rechenzentren angezeigt. Das Register differenziert zwischen RZ-Betreibern und IT-Betreibern und bietet Filterfunktionen, die es den Nutzenden ermöglichen, gezielt nach RZ auf Basis spezifischer Anforderungen zu suchen.

Im Folgenden werden die Entwicklung, Funktionalität und Darstellungsvarianten des Registers detailliert beschrieben.

#### 4.1.1 Aufbau des RZ Registers

Der Aufbau des Registers ist darauf ausgelegt, zwei verschiedene Nutzergruppen zu bedienen. Die erste Gruppe ist die Öffentlichkeit, für die das Register über eine Homepage frei zugänglich sein soll. Die zweite Gruppe besteht aus Behörden und Forschungseinrichtungen, die Zugriff auf einen erweiterten Datensatz erhalten.

Zudem unterscheidet das Register zwischen IT-Betreibern und RZ-Betreibern. Wie bereits in den vorangegangenen Kapiteln erläutert, macht der Stromverbrauch der IT den größten Teil des Gesamtstromverbrauchs eines RZ aus, wird jedoch derzeit am wenigsten kommuniziert und offengelegt, wenn es um die Effizienz eines Rechenzentrums geht (Kapitel 1.2). Dies liegt unter anderem daran, dass große Service-Anbieter wie Co-Location Rechenzentren keinen Einblick in die IT ihrer Kunden und Kundinnen haben. Das Register löst dieses Problem, indem es die beiden Gruppen trennt aber die Daten intern verknüpft. Die Daten der IT werden dem jeweiligen Rechenzentrum zugeordnet, können aber separat betrachtet werden.

Das Register ist so konzipiert, dass Eintragende die Datei, die aus einem Erfassungstool (Kapitel 3 und Anhang C) generiert wird, hochladen können. Dazu steht ein Registrierungsportal zur Verfügung, das auch den Daten-Upload ermöglicht.

Um die Datensicherheit zu gewährleisten, wird ein doppeltes Datenbanksystem verwendet. Dies bedeutet, dass der vollständige Datensatz an eine Hauptdatenbank übermittelt und dort gespei-

chert wird, mit dessen Daten nur die Visualisierungen generiert werden, die für Behörden bestimmt sind. Aus dieser Hauptdatenbank wird eine zweite Datenbank erzeugt, die die für die öffentliche Darstellung der Registerdaten erforderlichen Werte enthält.

Im Erfassungsbogen ist gekennzeichnet, welche Daten vertraulich behandelt werden sollen (v) und welche Daten der Öffentlichkeit zugänglich gemacht werden sollen (ö) (Kapitel 3.1).

Die grundlegende Visualisierung umfasst eine räumliche Darstellung der Daten auf der Ebene der fünfstelligen Postleitzahl, Diagramme für die verschiedenen Postleitzahlebenen, sowie Darstellungen einzelner RZ- und IT-Betreiber.

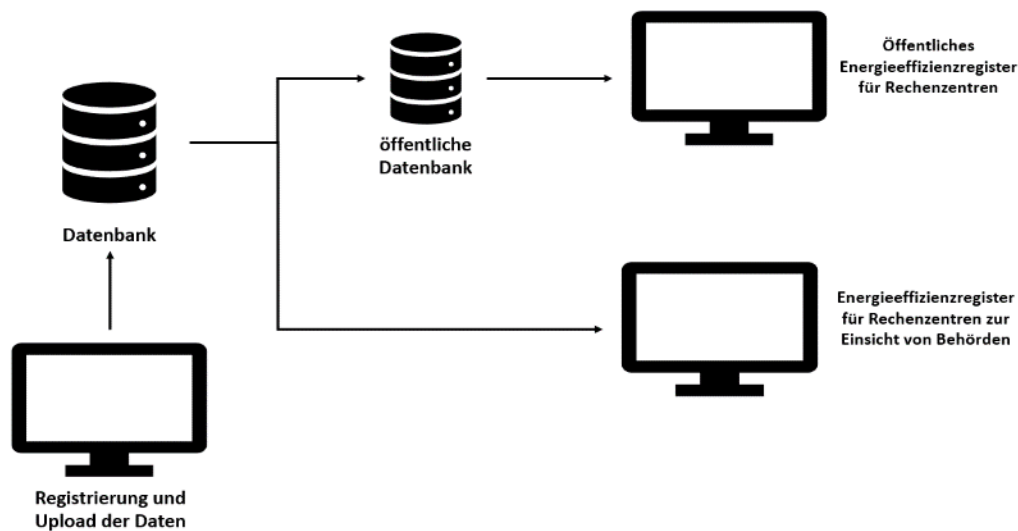
Ein öffentliches Register für RZ, das auf der Postleitzahlebene basiert, bietet mehrere Vorteile im Vergleich zur Offenlegung genauer Standorte:

- ▶ **Schutz der Sicherheit und Privatsphäre:** Rechenzentren sind kritische Infrastrukturen, die sensible Daten und wichtige Informationen verarbeiten. Die genaue Offenlegung ihrer Standorte könnte potenzielle Sicherheitsrisiken und Angriffsvektoren schaffen. Durch die Verwendung von Postleitzahlgebieten wird eine gewisse Anonymität gewahrt, während dennoch ausreichende Informationen für eine allgemeine Standortbestimmung und Datenanalyse vorhanden sind.
- ▶ **Förderung der regionalen Entwicklung:** Durch die Verwendung von Postleitzahlen anstelle genauer Standorte können Rechenzentren als Teil eines bestimmten geografischen Bereichs betrachtet werden. Dies ermöglicht es Behörden, Strategien zur Förderung der Entwicklung in bestimmten Regionen zu entwickeln. Durch die Fokussierung auf Postleitzahlgebiete können gezieltere Maßnahmen ergriffen werden, um Infrastrukturverbesserungen in bestimmten Gebieten zu fördern.

Abbildung 10 zeigt die grundlegende Architektur des Registers. Die Datenbank ist der Hauptbestandteil der Anwendung. Hier werden alle Daten gesammelt und aggregiert. Die Datenbank wird über eine Flask Anwendung (Kapitel 4.1.3) befüllt bei der sich RZ- und IT-Betreiber registrieren können. Hier werden ihre Stammdaten gespeichert und bei Bedarf angepasst sowie die jährlichen Verbrauchsdaten hochgeladen.

Aus der vollständigen Datenbank entwickelt sich die Benutzeroberfläche zur Einsicht von Behörden, diese unterscheidet sich im Umfang der Darstellungen vom öffentlichen Register. Ebenfalls aus dieser Datenbank wird die kleinere Datenbank befüllt, aus der sich das öffentliche Energieeffizienzregister ergibt.

**Abbildung 10: Übersicht der Softwarearchitektur des Registers**



Quelle: PEERDC: eigene Darstellung

Um eine variable Datenaufösung zu ermöglichen, werden unterschiedliche Einheiten zur Darstellung verwendet, welche wie folgt gegliedert sind:

► Ein- bis zweistelliger Postleitzahlbereich: Gigawattstunden pro Jahr

Hier werden die Daten für einen großen geografischen Bereich zusammengefasst, der mehrere Bundesländer oder eine größere Region umfasst. In solchen Fällen können die Energieverbrauchsdaten sehr hoch sein, und Gigawattstunden (GWh) sind eine passende Einheit, um mit solch großen Werten umzugehen. Die Verwendung von Gigawattstunden pro Jahr bietet eine übersichtliche Darstellung, die den Nutzenden eine Vorstellung von den Energiemengen auf regionaler oder länderübergreifender Ebene vermittelt.

► Drei- bis fünfstelliger Postleitzahlbereich: Megawattstunden pro Jahr

In diesem Bereich werden die Daten für kleinere geografische Regionen präsentiert, die einzelne Städte, Landkreise oder ähnliche Gebiete umfassen können. Die Einheit Megawattstunden (MWh) eignet sich hier gut, um den Energieverbrauch in einem mittelgroßen Maßstab darzustellen. Die Verwendung von Megawattstunden pro Jahr ermöglicht es den Nutzenden, den Energieverbrauch in einzelnen Regionen zu verstehen und mit anderen ähnlich dimensionierten Gebieten zu vergleichen.

#### 4.1.2 Datenpunkte und Datensammlung

Die relevanten Datenpunkte für das Register ergeben sich aus der entwickelten Bewertungsmethode und dem Erfassungsbogen (Kapitel 3). Jeder Datenpunkt im Erfassungsbogen hat einen Variablennamen, der auch in der Datenbank verwendet wird. Dadurch wird sichergestellt, dass die Daten konsistent und leicht nachverfolgbar sind.

Die Datenbank selbst enthält zusätzliche Datenpunkte, die die Beziehungen zwischen den Tabellen genauer definieren. Dies ermöglicht eine strukturierte und nachvollziehbare Organisation der Daten. Kapitel 4.1.4 bietet einen detaillierten Überblick über die einzelnen Tabellen und deren jeweilige Datenpunkte.

Die Datensammlung erfolgt über ein spezielles Erfassungstool, das die Daten des Erfassungsbogens auswertet. Bei der Dateneingabe wird eine JSON-Datei generiert, die anschließend im Upload-Portal hochgeladen werden kann (Kapitel 3). Dieses Portal ist so gestaltet, dass die Daten automatisch den entsprechenden Identifikationsnummern der IT-Komponenten und des Rechenzentrums zugeordnet werden.

Jeder Datenpunkt erhält einen Zeitstempel, der die historische Sammlung und Nachverfolgung der Daten ermöglicht. Dies ist besonders wichtig für die Analyse von Trends und Veränderungen über die Zeit hinweg.

Zusammengefasst, umfasst der Prozess folgende Schritte:

1. Erfassung der Daten: Die Daten werden mithilfe des Erfassungsbogens systematisch gesammelt. Jeder Datenpunkt wird klar definiert und mit einem Variablennamen versehen, der in der Datenbank verwendet wird.
2. Erzeugung der JSON-Datei: Die erfassten Daten werden in eine JSON-Datei umgewandelt, die alle notwendigen Informationen strukturiert enthält.
3. Upload und Zuordnung: Die JSON-Datei wird im Upload-Portal hochgeladen. Das System ordnet die Daten automatisch den richtigen IT-Komponenten und Rechenzentren zu, basierend auf den Identifikationsnummern.
4. Zeitstempelung: Jeder Datenpunkt wird mit einem Zeitstempel versehen, um die historische Sammlung der Daten zu gewährleisten. Dies ermöglicht es, Daten über verschiedene Zeiträume hinweg zu analysieren und Trends zu erkennen.

Diese methodische und strukturierte Vorgehensweise gewährleistet eine hohe Datenqualität und erleichtert die Analyse und Interpretation der gesammelten Informationen.

#### **4.1.3 Bestandteile des Registers für RZ**

Der Prototyp des Registers besteht aus verschiedenen Komponenten, die miteinander interagieren.

- PostgreSQL Datenbank
- Datenbankexport von der nichtöffentlichen Datenbank in eine öffentliche Datenbank
- Python Flask Anwendung zur Registrierung und zum Datenupload
- Python Dash Anwendung zur Visualisierung

#### **Datenbank**

Hinter den meisten Webanwendungen steht eine strukturierte Datenbank. Für das Energieeffizienzregister für Rechenzentren wird ein relationales Datenbankmanagementsystem (DBMS) gewählt, da es sich um eine bewährte und zuverlässige Lösung handelt. Relationale Datenbanken gewähren Datenintegrität und bieten eine leistungsstarke Abfragesprache (Structured Query Language; SQL). PostgreSQL wurde als DBMS ausgewählt, aufgrund seiner Skalierbarkeit, Flexibilität und Erweiterbarkeit. Es bietet eine solide Basis für die Speicherung und Verwaltung großer Datenmengen. PostgreSQL unterstützt verschiedene Datenstrukturen und ermöglicht komplexe Abfragen, Transaktionen und Sicherheitsmechanismen. Der Quellcode von PostgreSQL ist frei verfügbar und kann ohne Lizenzgebühren auch in kommerziellen Umgebungen verwendet werden (The PostgreSQL Global Development Group 1996-2023).

Die Sicherheitsmechanismen von PostgreSQL umfassen:

- ▶ Authentifizierung und Autorisierung: PostgreSQL ermöglicht die Authentifizierung von Benutzern über verschiedene Methoden wie Passwort und SQL-Zertifikate.
- ▶ Verschlüsselung: PostgreSQL unterstützt sowohl die Verschlüsselung von Daten im Ruhezustand als auch während der Übertragung. Durch die Verwendung von SSL/TLS-Protokollen können sensible Daten verschlüsselt und vor unautorisiertem Zugriff geschützt werden.
- ▶ Zugriffskontrolle: PostgreSQL bietet Mechanismen zur Kontrolle und Verwaltung des Datenbankzugriffs, einschließlich der Vergabe von Berechtigungen auf Tabellen und Schemata.
- ▶ Audit-Logging: PostgreSQL unterstützt das Protokollieren von Datenbankaktivitäten über das Audit-Logging-System. Dies ermöglicht die Aufzeichnung von Änderungen an Datenbankobjekten sowie Anmeldeversuche, um verdächtige Aktivitäten zu erkennen und zu überwachen.

Die Erweiterung PostGIS für PostgreSQL ermöglicht die Verarbeitung und Speicherung von Geodaten innerhalb der Datenbank. Somit können die Postleitzahlgebiete und Standorte aus der Datenbank für die Anwendung genutzt werden (PostGIS PSC & OSGeo letztes Update 2023).

Eine der Schlüsselfunktionen von PostGIS ist die Unterstützung verschiedener räumlicher Datentypen wie Punkte, Linien und Polygone. Diese ermöglichen die Darstellung von Standorten der Rechenzentren als Punkte und die Darstellung der verschiedenen Postleitzahlregionen als Polygone. Durch die Kombination dieser Datentypen mit Sachdaten können Daten in unterschiedlichen räumlichen Auflösungen angezeigt und ausgewertet werden.

PostGIS in Verbindung mit PostgreSQL bietet leistungsstarke räumliche Indizes, die die Abfrageleistung für räumliche Operationen optimieren. Diese Indizes beschleunigen den Zugriff auf relevante Datensätze und reduzieren den Overhead. Dies ermöglicht eine effiziente Verarbeitung großer Mengen räumlicher Daten, insbesondere im Fall von Deutschland mit einer großen Anzahl von fünfstelligen Postleitzahlenregionen. In Deutschland gibt es insgesamt 8.085 fünfstellige Postleitzahlregionen.

Ein weiterer Vorteil von PostgreSQL mit PostGIS ist die aktive Open-Source-Community und die fortlaufende Entwicklung. Regelmäßige Updates, Bugfixes und neue Funktionen werden veröffentlicht, um die Leistung und Zuverlässigkeit der Datenbank weiter zu verbessern. Zudem stehen umfangreiche Ressourcen wie Foren, Tutorials und Dokumentation zur Verfügung, die von der Community bereitgestellt werden und Unterstützung bieten.

Um die Daten zwischen der nichtöffentlichen und der öffentlichen Datenbank zu synchronisieren, wird ein automatisiertes Python-Skript verwendet. Dieses Skript kann periodische Exporte und Importe der relevanten Daten durchführen, kann aber auch manuell ausgeführt werden.

### **Registrierung und Datenupload**

Flask ist ein Web-Framework für die Entwicklung von Python Anwendungen (Pallets). Es erweist sich als eine gute Wahl für den Datenupload in das Energieeffizienzregister für RZ, dank seiner Flexibilität und Funktionsvielfalt. Eine besondere Eigenschaft von Flask ist seine Einfachheit und minimale Konfiguration, die es ermöglicht, maßgeschneiderte Upload-Anwendungen schnell und effizient zu entwickeln.

Flask Login (maxcountryman et al.) ist eine Erweiterung für Flask, die es ermöglicht, Benutzerauthentifizierung und -autorisierung in einer Webanwendung zu implementieren.

Flask ist in der Lage, mit steigender Anzahl von Benutzern und hochgeladenen Daten effizient zu arbeiten. Flask-Anwendungen können konfiguriert werden, sodass sie in Umgebungen mit

hoher Last reibungslos funktionieren und eine zuverlässige Leistung bieten (Mendes und Ferreira 2023).

Die entwickelte Flask Anwendung zum Upload in die Datenbank des Registers besteht aus einem Python-Skript mit dem implementierten Flask Framework, HTML Seiten und der Verbindung zur Datenbank. Das Python-Skript bildet das Kernstück der Anwendung. Hier werden grundlegende Funktionen implementiert, wie das Erstellen der Flask Anwendung, das Definieren der Routen, das Verarbeiten von Anfragen und das Interagieren mit der Datenbank. Die Hauptaufgabe des Skripts besteht darin, die Logik für den Datenbankzugriff und die Verarbeitung der Anfragen von Nutzenden durchzuführen. Mit Flask werden innerhalb des Python-Skripts Routen definiert, um Uniform Resource Locators (URL) zu handhaben, Anfragen zu verarbeiten und Antworten zu generieren.

Die HTML-Seiten dienen der Darstellung und Interaktion mit den Nutzenden. Sie enthalten das visuelle Design der Anwendung und ermöglichen es Aktionen auszuführen und Informationen anzuzeigen. Auf diesen Seiten können sie sich anmelden, ihre Daten hochladen und mithilfe von Formularen ihre Stammdaten aktualisieren. Die HTML-Seiten interagieren mit dem Python-Skript, indem sie HTTP-Anfragen senden, um Daten zu übermitteln und Antworten zu erhalten.

Zusammengefasst funktioniert die Flask-Anwendung wie folgt: Benutzer interagieren mit den HTML-Seiten, die über die Flask-Routen aufgerufen werden. Die Seiten senden HTTP-Anfragen an das Python-Skript, das diese verarbeitet, Daten aus der Datenbank abrufen oder in die Datenbank schreibt und dann entsprechende Antworten generiert. Diese Antworten werden den Nutzenden zurückgesendet, die die angeforderten Informationen oder den Status der Aktion angezeigt bekommen.

## **Portale**

Die Daten werden in zwei unterschiedlichen Portalen visualisiert, um den verschiedenen Nutzergruppen gerecht zu werden. Die Portale sind ähnlich aufgebaut, zeigen jedoch unterschiedliche Datenpunkte.

Das öffentliche Portal wird der Allgemeinheit über eine Homepage zugänglich gemacht. Hier können Nutzende grundlegende Informationen zu Rechenzentren und deren Energieeffizienz abrufen. Die Darstellung erfolgt auf einer aggregierten Ebene, wobei die Daten auf der Basis von Postleitzahlen und regionalen Gebieten zusammengefasst werden. Eine detaillierte Anzeige einzelner Rechenzentren ist nicht vorgesehen, um die Sicherheit und Privatsphäre zu wahren.

Das Portal für Behörden und Forschungseinrichtungen wird unter strengen Sicherheitskriterien ausgewählten Institutionen zur Verfügung gestellt. Hier haben die Nutzenden Zugriff auf einen erweiterten Datensatz, der detailliertere Informationen zu den Rechenzentren und deren Energieeffizienz umfasst. Die Darstellung ist umfassender und ermöglicht eine tiefere Analyse der Daten. Dabei können auch spezifische Anfragen gestellt und individuelle Berichte generiert werden.

Für die Portale ist keine Exportfunktion vorgesehen, da der Zugriff auf die Daten streng kontrolliert werden soll, um die Sicherheit und Integrität der Informationen zu gewährleisten. Allerdings können aus den Datenbanken SQL-Reports erstellt werden, um die Forschungsfragen zu beantworten. Die SQL-Reports sind in den Funktionen der Datenbank beschrieben und bieten eine effiziente Möglichkeit, spezifische Analysen und Auswertungen durchzuführen.

#### 4.1.4 Funktionen des Registers für RZ

##### Datenbank

Die vollständige Datenbank besteht aus 32 Tabellen mit 311 Feldern. Um die relevanten Größen zu errechnen werden ca. 80 Views mit weiteren 300 Feldern verwendet. Aus der vollständigen Datenbank wird die öffentliche Datenbank erzeugt, bei der personenbezogene Daten und genaue Standortinformationen nicht enthalten sind. Im Folgenden werden die Tabellen kurz beschrieben und ihre Attribute aufgelistet.

##### **all\_data**

Die Tabelle fungiert als Zwischenspeicher für Daten, die bei der Übertragung ins Register gesammelt werden, bevor sie in die entsprechenden spezifischen Tabellen verteilt werden. Sie dient als erste Ablagestelle für Rohdaten, bevor diese strukturiert verarbeitet werden.

- ▶ Eindeutige Identifikationsnummer für jede Dateneinheit.
- ▶ Eigentlichen Daten, die in das Register aufgenommen werden sollen.
- ▶ Zeitstempel, der angibt, wann die Daten übertragen wurden.

##### **availability\_dc**

Die Tabelle ist eine Lookup-Tabelle, die die Verfügbarkeitsklassen gemäß EN 50600-1: 1-4 mit einer Identifikationsnummer auflistet. Diese Klassen dienen dazu, die Verfügbarkeit von Rechenzentren zu klassifizieren und zu kennzeichnen.

- ▶ Eindeutige Identifikationsnummer für jede Verfügbarkeitsklasse.
- ▶ Die Bezeichnung der Verfügbarkeitsklasse.

##### **backupgenerator**

Die Tabelle enthält Informationen über die Netzersatzanlagen eines Rechenzentrums. Jede Zeile in dieser Tabelle repräsentiert die Summe der Netzersatzanlagen und verweist auf das entsprechende Rechenzentrum durch die Identifikationsnummer des Rechenzentrums. Gespeichert wird die installierte elektrische Leistung der Netzersatzanlagen.

- ▶ Eindeutige Identifikationsnummer für die aggregierten Netzersatzanlagen.
- ▶ Identifikationsnummer des zugehörigen Rechenzentrums.
- ▶ Summe der installierten elektrischen Leistung der Netzersatzanlagen.

##### **buffer\_km**

Die Tabelle enthält Polygone für Städte mit mehr als 100.000 Einwohnerinnen und Einwohnern. Diese Polygone wurden mit einem Umkreis von 5 km um den Mittelpunkt der Stadt erstellt. Sie dienen dazu, Kennzahlen im Umkreis von 5 km um eine Stadt auszugeben. Die Polygone wurden mithilfe der Software QGIS (QGIS Development Team), unter Verwendung einer Datenbank aller deutschen Städte (Pareto Software LLC 2023), erstellt.

- ▶ Eindeutige Identifikationsnummer für jede Stadt.

- ▶ Die Bezeichnung der Stadt.
- ▶ Geometrische Daten des Polygons für den Umkreis um die Stadt.

#### **building\_use\_vicinity**

Die Tabelle ist eine Lookup-Tabelle, die die Art der baulichen Nutzung nach BauNVO (Bundesministerium für Justiz Ausfertigungsdatum: 1962) beschreibt. Jede Nutzungskategorie erhält eine zugeordnete Identifikationsnummer.

- ▶ Eindeutige Identifikationsnummer für jede Art der baulichen Nutzung.
- ▶ Beschreibung der baulichen Nutzung.

#### **chiller**

Die Tabelle enthält Informationen zu den Kälteanlagen eines RZ. Jede Zeile in dieser Tabelle repräsentiert die Summe aller Kälteanlagen eines RZ und verweist auf das entsprechende RZ durch die Identifikationsnummer. Gespeichert werden die installierte Nennkälteleistung und die installierte elektrische Anschlussleistung der Kälteanlagen.

- ▶ Eindeutige Identifikationsnummer für die aggregierten Kälteanlagen.
- ▶ Identifikationsnummer des zugehörigen Rechenzentrums.
- ▶ Summe der installierten Nennkälteleistung aller Anlagen.
- ▶ Summe der installierten elektrischen Anschlussleistung aller Anlagen.

#### **cities**

Die Tabelle enthält alle Städte in Deutschland mit mehr als 100.000 Einwohnerinnen und Einwohnern (Pareto Software LLC).

- ▶ Eindeutige Identifikationsnummer für jede Stadt.
- ▶ Punktgeometrie der Stadt.
- ▶ Postleitzahl der Stadt.

#### **coolant\_type**

Die Tabelle ist eine Lookup-Tabelle, die verschiedene Kältemittel mit ihren Kurzbezeichnungen und Emissionsfaktoren enthält. Jedes Kältemittel erhält eine eindeutige Identifikationsnummer. Die Emissionsfaktoren der Kältemittel-Mischung basieren auf den Anhang 1 der EU Verordnung (EU) 2024/573 über fluorierte Treibhausgase (Europäisches Parlament und Rat 2024).

- ▶ Eindeutige Identifikationsnummer für jedes Kältemittel.
- ▶ Kurzbezeichnung des Kältemittels.
- ▶ Emissionsfaktor des Kältemittels.

### **coolant\_consumption**

Die Tabelle speichert die jährlichen Daten zum Kältemittelverbrauch. Der Verbrauch wird nach Art des Kältemittels in Kilogramm gruppiert. Die Tabelle verweist auf die Kälteanlagen und die Lookup-Tabelle der Kältemittel.

- ▶ Eindeutige Identifikationsnummer für jeden Verbrauchseintrag.
- ▶ Identifikationsnummer der zugehörigen Kälteanlagen.
- ▶ Identifikationsnummer des verwendeten Kältemittels.
- ▶ Jahr des Verbrauchs.
- ▶ Verbrauchsmenge in Kilogramm.

### **coolant\_filling\_chiller**

Die Tabelle enthält den Füllmenge der Kälteanlagen aufgeschlüsselt nach Kältemittel. Die Füllmenge wird den Kälteanlagen zugewiesen, ähnlich wie der Verbrauch.

- ▶ Eindeutige Identifikationsnummer für jeden Füllmengeneintrag.
- ▶ Identifikationsnummer der zugehörigen Kälteanlagen.
- ▶ Identifikationsnummer des verwendeten Kältemittels.
- ▶ Füllmenge des Kältemittels.

### **company**

Die Tabelle enthält Unternehmensdaten, einschließlich der Unternehmensbezeichnung, Adresse und Handelsregisternummer. Jedes Unternehmen enthält eine eindeutige Identifikationsnummer.

- ▶ Eindeutige Identifikationsnummer für jedes Unternehmen.
- ▶ Name des Unternehmens.
- ▶ Adresse des Unternehmens.
- ▶ Handelsregisternummer des Unternehmens.

### **dc**

Die Tabelle enthält alle Stammdaten eines Rechenzentrums. Sie dient der Erfassung grundlegender Informationen über jedes Rechenzentrum. Die Tabelle ermöglicht eine eindeutige Identifizierung jedes Rechenzentrums und dessen Zuordnung zu einem Unternehmen.

- ▶ Eindeutige Identifikationsnummer für jedes Rechenzentrum.
- ▶ Name des Rechenzentrums.
- ▶ Adresse des Rechenzentrums.
- ▶ Grundfläche des Rechenzentrums.

- ▶ Gesamtfläche des Rechenzentrumsgebäudes.
- ▶ Fläche des Whitespace.
- ▶ Identifikationsnummer der Verfügbarkeitsklasse.
- ▶ Identifikationsnummer für die Art der baulichen Nutzung im Umfeld des RZ.
- ▶ IT-Anschlussleistung des RZ.
- ▶ Nicht-redundante Anschlussleistung des RZ.
- ▶ Fremdschlüssel zur Zuordnung des RZ zu einem Unternehmen.
- ▶ Räumliche Koordinaten des RZ.

#### **dc\_contact\_person**

Die Tabelle enthält Informationen über die Ansprechpartnerinnen und Ansprechpartner jedes RZ. Sie ermöglicht eine Verbindung zwischen Kontaktpersonen und den entsprechenden Rechenzentren, um eine effektive Kommunikation sicherzustellen.

- ▶ Eindeutige Identifikationsnummer für jede Kontaktperson.
- ▶ Fremdschlüssel zur Zuordnung der Kontaktpersonen zum entsprechenden RZ.
- ▶ Vorname.
- ▶ Telefonnummer.
- ▶ E-Mail-Adresse.

#### **operator\_type\_dc**

Bei dieser Tabelle handelt es sich um eine weitere Lookup-Tabelle. Sie enthält die Betreibertypen gemäß Nummer 2.6 der Gemeinsamen Forschungsstelle (JRC) 2021 Leitfaden für die gute fachliche Praxis für den EU-Verhaltenskodex zur Energieeffizienz von Rechenzentren in der Fassung 12.1.0. (Acton et al. 2021)

- ▶ Eindeutige Identifikationsnummer des Betreibertyps.
- ▶ Bezeichnung des Betreibertyps.

#### **dc\_operator**

Hier wird der Betreibertyp des eingetragenen Rechenzentrums mit dem jeweiligen prozentualen Anteil hinterlegt. Verwiesen wird durch einen Fremdschlüssel auf die Tabelle operator\_type\_dc.

- ▶ Eindeutige Identifikationsnummer des RZ.
- ▶ Identifikationsnummer des Betreibertyps als Fremdschlüssel.
- ▶ Prozentsatz des jeweiligen Betreibertyps im RZ.

### **eco\_certificate**

Eine weitere Lookup-Tabelle enthält die Liste aller umweltrelevanten Zertifikate. Enthalten sind aktuell die DIN EN ISO 50001, das Eco Management and Audit Scheme (EMAS) (EMAS 2009), die DIN EN ISO 14001 (DIN EN ISO 14001) und das Umweltzeichen Blauer Engel für Rechenzentren.

- ▶ Eindeutige Identifikationsnummer des Zertifikats.
- ▶ Name des Zertifikats.

### **electricity\_consumption**

Diese Tabelle beinhaltet den Gesamtstromverbrauch eines Rechenzentrums und die spezifischen Stromverbräuche für die Informationstechnik, die Kühlsysteme und die Wärmepumpen. Da es sich um eine Tabelle mit Verbräuchen handelt, enthält sie ein Feld für das Jahr, in dem der Verbrauch angefallen ist. Zugewiesen wird der Verbrauch dem Rechenzentrum über dessen ID.

- ▶ Eindeutige Identifikationsnummer des Verbrauchswertes.
- ▶ Eindeutige Identifikationsnummer des RZ.
- ▶ Gesamtstromverbrauch des RZ in kWh.
- ▶ Stromverbrauch der IT in kWh.
- ▶ Stromverbrauch der Kühlsysteme in kWh.
- ▶ Stromverbrauch der Wärmepumpen in kWh.
- ▶ Jahr des Stromverbrauchs.

### **electricity\_production**

In dieser Tabelle wird die Stromerzeugung des RZ aufgeführt. Angeben wird ein Gesamtwert, die Produktion aus erneuerbaren Energieträgern und die Produktion der Netzersatzanlagen. Außerdem wird hinterlegt, wie viel kWh Strom in das Netz zurückgespeist werden. Die Tabelle enthält ebenfalls einen Jahreswert und die Verknüpfung zum RZ.

- ▶ Eindeutige Identifikationsnummer des Produktionswerts.
- ▶ Eindeutige Identifikationsnummer des RZ als Fremdschlüssel.
- ▶ Stromproduktion aus erneuerbaren Energien in kWh.
- ▶ Stromproduktion der Netzersatzanlagen in kWh.
- ▶ In das Netz eingespeister Strom in kWh.
- ▶ Jahr der Stromproduktion.

### electricity\_supply

Die Tabelle enthält den Anteil an erneuerbaren Energien, fossilen Energien und nuklearen Energien am Strombezug, sowie die CO<sub>2</sub>-Emissionen pro kWh am Strombezug. Die Summe des Strombezugs wird ebenfalls abgespeichert. Auch diese Tabelle enthält ein Feld für das Jahr und die Verbindung zum RZ.

- ▶ Eindeutige Identifikationsnummer des Bezugswertes.
- ▶ Eindeutige Identifikationsnummer des RZ als Fremdschlüssel.
- ▶ Anteil erneuerbarer Energien am Strombezug in %.
- ▶ Anteil fossiler Energien am Strombezug in %.
- ▶ Anteil nuklearer Energien am Strombezug in %.
- ▶ CO<sub>2</sub>-Emissionen pro kWh am Strombezug in g<sub>CO2</sub>/kWh.
- ▶ Jahr der Strombezugs.

### fuel\_type

Die Tabelle ist aufgebaut wie die Tabelle coolant\_type. Hier werden die unterschiedlichen Brennstoffe mit den zugeordneten spezifischen Emissionsfaktoren erfasst. Die Brennstoffe und die entsprechenden Emissionsfaktoren können dem Dokument „Leitfaden zur Erstellung von Überwachungsplänen und Emissionsberichten für stationäre Anlagen in der 2. Handelsperiode“ entnommen werden (Deutsche Emissionshandelsstelle (DEHSt) im Umweltbundesamt Stand: 2023).

- ▶ Eindeutige Identifikationsnummer des Brennstoffs.
- ▶ Bezeichnung des Brennstoffs.
- ▶ Emissionsfaktor des Brennstoffs.

### fuel\_consumption

Hier werden die Brenn- und Treibstoffverbräuche gruppiert nach der Art in Kilogramm aufgelistet. Jeder Verbrauch ist der Netzersatzanlage durch die Identifikationsnummer zugeordnet. Da es sich um eine Verbrauchstabelle handelt, enthält diese ebenfalls ein Feld für das Jahr des zugeordneten Verbrauchs.

- ▶ Eindeutige Identifikationsnummer des Verbrauchswerts.
- ▶ Eindeutige Identifikationsnummer der Netzersatzanlagen.
- ▶ Identifikationsnummer des Brennstoffs.
- ▶ Brennstoffverbrauch in kg.
- ▶ Jahr des Brennstoffverbrauchs.

### heat\_use

Die Tabelle enthält die Werte zur Abwärme. Es werden die ungenutzte Abwärme in kWh und deren durchschnittlichen Temperatur in Grad Celsius erfasst. Des weiteren die genutzte Abwärme mit deren durchschnittlicher Temperatur. Die Werte werden dem entsprechenden RZ zugeordnet und enthalten ebenfalls die Kennzeichnung für das zugeordnete Jahr.

- ▶ Eindeutige Identifikationsnummer des Wertes.
- ▶ Eindeutige Identifikationsnummer der RZ.
- ▶ Ungenutzte Abwärme in kWh.
- ▶ Durchschnittliche Temperatur der ungenutzten Abwärme in °C.
- ▶ Genutzte Abwärme in kWh.
- ▶ Durchschnittliche Temperatur der genutzten Abwärme in °C.
- ▶ Jahr der Erfassung der Abwärmemengen.

### ups

Die Tabelle enthält die Basisdaten zu den USV-Anlagen. Gespeichert wird, wie viel Energie (mechanisch oder in Batterien) vorgehalten wird und wie hoch die Wirkleistung der USV ist.

- ▶ Eindeutige Identifikationsnummer der USV.
- ▶ Eindeutige Identifikationsnummer der RZ.
- ▶ Kapazität der USV in kWh.
- ▶ Wirkleistung der USV in kW.

### water\_type

Diese Lookup-Tabelle listet die Wasserbezugsquellen auf. Hinterlegt sind Grauwasser, Regenwasser, Oberflächenwasser, Brunnenwasser, Stadtwasser und sonstige.

- ▶ Eindeutige Identifikationsnummer der Wasserquelle.
- ▶ Bezeichnung der Wasserbezugsquelle.

### water\_consumption

In dieser Tabelle wird der Wasserverbrauch gespeichert. Dem Verbrauch wird ein RZ und die Wasserbezugsquelle zugewiesen.

- ▶ Eindeutige Identifikationsnummer des Verbrauchswerts.
- ▶ Eindeutige Identifikationsnummer der RZ.
- ▶ Wasserverbrauch in Liter.
- ▶ Jahr des Wasserverbrauchs.

### **plzall**

Die Tabelle beinhaltet alle Polygone aller Postleitzahlregionen in Deutschland. Insgesamt hat die Tabelle 10.125 Objekte, da alle Postleitzahlregionen von einstellig bis fünfstellig hier gesammelt werden. Die Dateien stehen unter der Open Database Licence frei zur Verfügung .

- ▶ Eindeutige Identifikationsnummer der Postleitzahlregion.
- ▶ Polygon der Postleitzahlregion.
- ▶ Postleitzahl.

### **spatial\_ref\_sys**

Die Tabelle enthält Informationen zum verwendeten Geographischen Koordinatensystem der Geodaten.

Datenpunkte:

- ▶ Eindeutige Identifikationsnummer des verwendeten Koordinatensystems.
- ▶ Kurzbezeichnung des Koordinatensystems.
- ▶ Bezeichnung des Koordinatensystems.

### **it\_operator**

Diese Tabelle beinhaltet den Betreiber der Informationstechnik und dessen Kontaktangaben.

- ▶ Eindeutige Identifikationsnummer des IT-Betreibers.
- ▶ Name des IT-Betreibers.
- ▶ Kontaktdaten des IT-Betreibers.

### **it\_system**

Für das Register werden die IT-Systeme der IT-Betreiber in einem RZ auf ein System aggregiert. Dieses System wird in dieser Tabelle hinterlegt. Das System wird dem IT-Betreiber und dem RZ zugeordnet, in dem es sich befindet. Des Weiteren wird die Anzahl der Serverschränke (Racks) und der Whitespace erfasst.

- ▶ Eindeutige Identifikationsnummer des IT-Systems.
- ▶ Eindeutige Identifikationsnummer des IT-Betreibers.
- ▶ Eindeutige Identifikationsnummer des RZ.
- ▶ Anzahl der Racks.
- ▶ Whitespace des IT-Systems.

### it\_consumption

Hier werden die Werte zu den jährlichen Verbräuchen des IT-Systems gespeichert. Die Tabelle enthält Felder für den Stromverbrauch der IT, die Anzahl an entsorgten Servern, die Anzahl an Servern, die wiederverwendet werden, das Speichervolumen der entsorgten Storage-Systeme und das Speichervolumen der wiederverwendeten Storage-Systeme. Außerdem enthält die Tabelle ein Array-Feld, in welches die Zeichenkette des gemittelten Wochenprofils geschrieben wird. Die mittlere CPU-Auslastung wird als numerischer Wert aus der generierten JSON-Datei des Erfassungstools in die Tabelle übernommen.

- ▶ Eindeutige Identifikationsnummer des Verbrauchswertes.
- ▶ Eindeutige Identifikationsnummer des IT-Systems.
- ▶ Stromverbrauch der IT in kWh.
- ▶ Anzahl der aussortierten Server.
- ▶ Anzahl der wiederverwendeten Server.
- ▶ Speichervolumen der aussortierten Storage-Systeme.
- ▶ Speichervolumen der wiederverwendeten Storage-Systeme.
- ▶ Zeichenkette des gemittelten Wochenprofils.
- ▶ Mittlere CPU-Auslastung.
- ▶ Jahr der Erfassung der Verbräuche.

### it\_connection\_kw

Die Anschlussleistung der IT-Systeme wird ebenfalls in einer eigenen Tabelle gespeichert, da die jährliche Veränderung dargestellt werden soll. Die Tabelle enthält einen Wert für die summierte Anschlussleistung der IT-Systeme und je ein Feld zur Aufteilung nach Server, Storage und Network. Genau wie in der Tabelle it\_consumption gibt es einen Jahreswert und eine Verknüpfung zum IT-System.

- ▶ Eindeutige Identifikationsnummer des Leistungswertes.
- ▶ Eindeutige Identifikationsnummer des IT-Systems.
- ▶ Summierte Anschlussleistung der IT-Systeme in kW.
- ▶ Anschlussleistung der Storage-Systeme in kW.
- ▶ Anschlussleistung der Netzwerkkomponenten in kW.
- ▶ Jahr der Erfassung der Anschlussleistung.

Die Datenbank verwendet die Werte der oben aufgelisteten Tabelle, um ausgewählte Kennzahlen zu berechnen. Diese Berechnungen werden in Views zusammengefasst, damit die Anwendung schnell auf die Werte aus der Datenbank zugreifen kann.

Die Entscheidung zwischen der Verwendung von Datenbank-Views und der direkten Abfrage von Tabellen in der Webanwendung hängt von verschiedenen Faktoren ab:

- ▶ **Leistung und Skalierbarkeit:** Wenn komplexe Berechnungen, Verknüpfungen oder Filterungen in den Daten durchgeführt werden (Aggregation auf unterschiedliche PLZ-Ebenen) kann es sinnvoll sein, diese Logik in der Datenbank als View zu definieren. Datenbanken sind spezialisiert auf Datenverarbeitung und können diese Aufgaben effizienter bewältigen als Anwendungen. Außerdem können Views in der Datenbank indiziert werden, um die Abfrageleistung weiter zu verbessern. Ein weiterer Vorteil ist, dass mit Hilfe der Views weniger Daten über das Netz transportiert werden und somit weniger Energie für die Datenbereitstellung benötigt wird.
- ▶ **Anwendungskomplexität:** Wenn die Anwendung relativ einfach ist, das Gesamtdatenvolumen gering und nur wenige Datenabfragen erfordert, kann es überflüssig sein, Views zu verwenden. In solchen Fällen kann es einfacher sein, die Abfragen direkt in einem Python-Skript für die Webanwendung zu erstellen. Da für das Register viele Berechnungen in unterschiedlichen Granularitäten durchgeführt werden, handelt es sich hierbei um eine komplexe Anwendung.
- ▶ **Trennung von Datenzugriff und Präsentation:** Die Verwendung von Views kann dazu beitragen, den Datenzugriff von der Präsentationsschicht zu trennen. Dadurch können Änderungen an der Datenbankstruktur vorgenommen werden, ohne die Anwendungslogik ändern zu müssen. Das erleichtert die Wartung und Weiterentwicklung einer Anwendung.

Basierend auf diesen Überlegungen eignen sich Views innerhalb der Datenbank besser für das Energieeffizienzregister für Rechenzentren. Die Views können im Quellcode der Anwendungen wie Tabellen der Datenbank mit SQL Statements angesprochen werden.

Die Daten werden zunächst in den 32 Tabellen für jedes Rechenzentrum und jeden IT-Betreiber einzeln gesammelt. Anschließend werden die benötigten Werte in den gewünschten Auflösungen mithilfe von Views erstellt, um Nutzenden der Datenbank, auch ohne umfangreiche SQL- oder Programmierkenntnisse, die gewünschten Berechnungen auch unabhängig von der Visualisierung zugänglich zu machen. Im Folgenden werden drei Workflows präsentiert, um das Prinzip der Datenbank zu veranschaulichen, und die gleichzeitig die Grundlage für die Visualisierung liefert.

Für die Berechnung von Stromverbräuchen (Kapitel 3.3.1) auf verschiedenen Postleitzahlebenen werden die individuellen Werte der Rechenzentren summiert und nach Postleitzahlebenen gruppiert.

Bei der Berechnung der Treibhausgasemissionen (Kapitel 3.3.2) wird zunächst ein View erstellt, der die Emissionen je Rechenzentrum berechnet, gefolgt von einem weiteren View, der die Emissionen auf die verschiedenen Postleitzahlebenen aggregiert. Die Berechnung erfolgt durch unter Berücksichtigung des Kältemittelverbrauchs und des entsprechenden CO<sub>2</sub>-Faktor und des Treibstoffverbrauchs mit dem entsprechenden Emissionsfaktor des Treibstoffes.

Im folgenden Abschnitt wird die Berechnung der Kennzahlen für die RZ-Infrastruktur und die IT beschrieben.

Zu den Kennzahlen der RZ-Infrastruktur gehören die PUE, die WUE, der CER, der ERF (Kapitel 3.3.1) und der REF (Kapitel 3.3.2). Zusätzlich werden die Flächeneffizienz und die Leistungsdichte (Kapitel 3.3.4) berechnet. Für die IT umfassen die Kennzahlen aktuell die mittlere CPU-Auslastung und den Data Centre Idle Coefficient (DCIC) (Kapitel 3.3.1).

Das Prinzip besteht darin, separate Views für die KPIs der RZ-Infrastruktur und der IT zu erstellen (*kpi\_it*, *kpi\_rz* Anhang E.3), in denen die Kennwerte für jedes RZ und jeden IT-Betreiber einzeln berechnet werden. Die View *kpi\_rz* enthält die Spalten *dc\_id*, *pue*, *ref*, *erf*, *wue*, *cer*, *power\_dense\_server*, *space\_efficiency* sowie Spalten für verschiedene Postleitzahlaufösungen (*plz1*, *plz2*, *plz3*, *plz5*). Hier werden die Kennzahlen berechnet und die Postleitzahlebenen entsprechend ihrer Stellenanzahl aufgeteilt. Zusätzlich wird festgelegt, dass die KPIs immer mit den Werten aus dem aktuellsten Jahr berechnet werden. Die Langzeitbetrachtung der Effizienzentwicklung wird in Kapitel 4.2 beschrieben. Um die Berechnung der mittleren Werte auf den unterschiedlichen Postleitzahleben zu ermöglichen, werden weitere Ansichten erstellt, welche die Werte der Rechenzentren in den jeweiligen Regionen entsprechend aggregieren.

Die View *kpi\_it* enthält die Spalten *dc\_id*, *it\_system\_id*, *it\_operator\_id*, *itue*, *dcic* und Spalten für die verschiedenen Postleitzahlaufösungen (*plz1*, *plz2*, *plz3*, *plz5*). Hierbei ist zu beachten, dass die Kennzahl DCIC eine ausführlichere Berechnungsvorschrift hat als die anderen Kennzahlen. Deshalb gibt es dafür eine zusätzliche View, auf welche die View *kpi\_it* zugreift, um die Kennzahlen übersichtlich in Tabellenform darzustellen.

In der View *dcic* wird zunächst eine lineare Regression durchgeführt, um den Y-Achsenabschnitt zu berechnen der die Grundlast (engl. Idle Power) angibt, und die Steigung der Regressionslinie, die angibt, wie viel zusätzliche Leistung pro Prozentpunkt CPU-Auslastung verbraucht wird. Der DCIC wird nach der Regressionsanalyse berechnet, indem die Grundlast an die Gesamtdauer des betrachteten Zeitraums und den Y-Achsenabschnitt der Regressionsgerade angepasst wird.

Dies geschieht durch die Formel:

$$DCIC = \frac{Gesamtdauer - \Sigma_x}{\Sigma_y} * y_0$$

Dabei steht *Gesamtdauer* für die gesamte Zeitdauer (8760 Stunden in einem Jahr),  $\Sigma_x$  für die Summe der unabhängigen Variablen (CPU-Auslastung) aus den Daten,  $\Sigma_y$  für die Summe der abhängigen Variablen (CPU-Leistung) aus den Daten und  $y_0$  für den Y-Achsenabschnitt der Regressionsgeraden. Die daraus entstandene Spalte *dcic* wird in View *kpi\_it* übertragen.

Die mittlere CPU-Auslastung wird direkt in der View *kpi\_it* berechnet, indem die einzelnen Werte im Feld *cpu\_mean\_weekly* aus der Tabelle *it\_consumption* summiert und gemittelt werden.

In diesem Prozess werden die Kennzahlen je IT-Betreiber ermittelt. Um die Werte auf PLZ-Ebene zu erhalten, wird analog zu den KPI RZ vorgegangen. Alle Kennzahlen können gemeinsam in den Views auf räumlicher Ebene ausgegeben werden.

Bei der Visualisierung wird auf diese vordefinierten Views und Tabellen zugegriffen.

### Datenbankexport

Im Rahmen des Forschungsprojektes wurde ein Python-Skript entwickelt, um automatisiert eine gefilterte Version der vollständigen Datenbank zu generieren. Hierbei ist es erforderlich, eine Verbindung zur vollständigen Datenbank herzustellen und sicherzustellen, dass eine leere Datenbank im Datenbankmanagementsystem vorhanden ist. Diese Schritte ermöglichten die Ausführung der notwendigen *dump* und *restore* Kommandos.

Das Python-Skript wurde speziell entwickelt, um ein umfassendes Backup aller Tabellen in der Datenbank zu erstellen. Anschließend wurde eine *restore*-Funktion implementiert, die gezielt bestimmte Tabellen und Felder ausschließt, die für das öffentliche Register nicht relevant sind.

Diese Vorgehensweise ermöglichte es, sensible Informationen aus dem endgültigen Datensatz zu entfernen und eine bereinigte Version zu erstellen, die für die Veröffentlichung im öffentlichen Register geeignet ist. Auf diese Weise konnte eine datenschutzkonforme und öffentlich zugängliche Version der Datenbank erstellt werden.

Die Umsetzung dieser Trennung mithilfe des Skriptes ermöglicht es die Daten transparent und zugänglich zu machen, ohne dabei die Sicherheit und Vertraulichkeit der ursprünglichen Daten zu gefährden.

Die Ziel Datenbank *target\_database* muss im Datenbankmanagementsystem vorhanden sein, so dass die backup-Datei in diese Datenbank importiert werden kann.

### Registrierung und Datenupload

Die Flask Anwendung ermöglicht es Nutzenden sich im Energieeffizienzregister für Rechenzentren anzumelden. Hierfür wird bei Registrierung ein Benutzer in der Datenbank angelegt.

#### users

Die Tabelle *users* enthält die Spalten, *user\_id*, *user\_fullname*, *username*, *password*, *user\_email*, *company\_id*, *company\_added* (boolean), *it\_operator\_id*, *it\_operator\_added* (boolean) *activation\_key* und *activated* (boolean).

Bei der Registrierung wird ein neuer User in der Tabelle *users* angelegt. Dabei werden zunächst die folgenden Spalten beschrieben: *user\_id*, *user\_fullname*, *username*, *password* und *user\_email*. Für die Spalte *password* wird das Passwort mit Hilfe der Funktion *generate\_password\_hash* aus dem Modul *werkzeug.security* (Pallets) verschlüsselt und in der Datenbank gespeichert.

Das Hashing ist eine Einweg-Funktion, die eine Eingabe, in diesem Fall das Passwort, in eine Zeichenkette fester Länge umwandelt, die als Hash bezeichnet wird. Der erzeugte Hash ist nicht reversibel, was bedeutet, dass er nicht in das ursprüngliche Passwort zurückkonvertiert werden kann (Pallets 2007).

Darüber hinaus besteht die Möglichkeit, Nutzenden einen zufällig generierten Aktivierungsschlüssel per E-Mail zuzusenden, um die Registrierung zu verifizieren. Um dies zu ermöglichen, muss eine Mail-Instanz erstellt werden, die entsprechend mit den Email-Server-Einstellungen konfiguriert werden muss.

Bei der Registrierung erhält der Nutzende einen Aktivierungslink, der durch das Anklicken die Registrierung bestätigt und damit die Anmeldung im Register abschließt. Danach kann sich der Nutzende anmelden und hat die Möglichkeit, entweder ein Unternehmen für Rechenzentren oder einen Informationstechnik-Betreiber anzulegen.

Wenn ein Unternehmen erstellt wird, wird der Name des Unternehmens in Tabelle *company* der Datenbank eingetragen, und es wird eine Identifikationsnummer vergeben, die in der Tabelle *users* aktualisiert wird. Außerdem wird in der Tabelle *users* festgehalten, ob bereits ein Unternehmen hinzugefügt wurde.

Sobald das Unternehmen oder der IT-Betreiber angelegt wurden kann der Nutzende unter seinem Profil die Identifikationsnummer einsehen.

Bevor die JSON-Datei hochgeladen werden kann muss, der Nutzende in zunächst das entsprechende Rechenzentrum bzw. das entsprechende IT-System anlegen.

Im Anschluss daran kann die Identifikationsnummern im Profil des Betreibers einsehen werden. Sobald ein Rechenzentrum oder ein IT-System angelegt wurden, kann der erste Eintrag im Register getätigt werden. Dafür wird er auf eine Seite geleitet die eine Upload Möglichkeit für die JSON-Datei bereithält. Bei Upload werden die Werte aus der Datei in die entsprechenden Spalten der Datenbank geschrieben.

Nach dem ersten Eintrag im Register gibt es eine Upload Funktion für die Eintragung jährlicher Daten, sowie der Änderung von Stammdaten. Es können beliebig viele Rechenzentren und IT-Systeme je Unternehmen beziehungsweise IT-Betreiber eingetragen werden. Beim Upload der Daten werden in einem Dropdown Menü alle dem Unternehmen/IT-Betreiber zugordneten Rechenzentren/IT-Systeme durch ihre Identifikationsnummer angezeigt. Es muss das entsprechende Rechenzentrum/IT-System ausgewählt werden. Dadurch werden die Daten in der Datenbank korrekt zugeordnet. Für weitere administrative Zwecke kann ggf. die Funktion zur Änderung oder zum Hinzufügen einer weiteren Kontaktperson berücksichtigt werden.

Anhang D enthält eine detaillierte Dokumentation zu den erforderlichen Schritten für die Anmeldung sowie den Datenupload.

## Portale

Die Webanwendung basiert auf einer umfassenden Datenbankstruktur, die zahlreiche Informationen über Rechenzentren und deren Energieeffizienz enthält. Um diese Daten nutzerfreundlich und interaktiv darzustellen, wird eine Dash<sup>6</sup> App eingesetzt. Dash ist ein Open-Source-Web-Framework, das in der Programmiersprache Python entwickelt wurde. Es wird hauptsächlich zur Erstellung von interaktiven Webanwendungen und Dashboards verwendet, die Datenvisualisierungen und Analysen ermöglichen. Dash kombiniert die Programmiersprache Python mit den Visualisierungsmöglichkeiten von Plotly<sup>7</sup>, einer Bibliothek zur Erstellung von Grafiken. Dash nutzt Plotly um Grafiken in Webanwendungen zu integrieren.

Die Dash Webanwendungen werden vollständig in Python geschrieben. Ein Dash-Projekt beginnt typischerweise mit einem Python-Skript, das sowohl die visuelle Struktur (Layout) der Webanwendung als auch die Logik zur Steuerung der Benutzerinteraktionen enthält.

Das Layout der Anwendung wird mithilfe von Komponenten definiert, die den HTML-Tags<sup>8</sup> ähneln. Diese Komponenten stammen aus der Dash-Bibliothek und umfassen Elementen wie z.B. *html.Div* (einen Container), *html.H1* (Überschrift) und *dcc.Graph* (zum Einbinden von Plotly-Grafiken). Diese Komponenten bilden das Grundgerüst der Benutzeroberfläche.

Die Interaktivität der Anwendung wird durch sogenannte *Callbacks* ermöglicht. Das sind Python-Funktionen, die das Verhalten der Anwendung steuern. Sie definieren, wie sich die Anwendung verhält, wenn Nutzende bestimmte Eingaben tätigen (z.B. das Klicken auf Schaltflächen oder die Auswahl eines Wertes in einem Dropdown-Menü).

Der Hauptteil der Dash-Anwendung besteht aus einer Python-Skript Datei. Diese Datei muss auf einem Server ausgeführt werden und anschließend gehostet werden, um die Anwendung für Nutzende zugänglich zu machen.

Der ausführende Teil des Python-Skripts enthält die erforderlichen Befehle die notwendig sind, damit die Dash-Anwendung reibungslos läuft. Dabei geht es hauptsächlich um das Layout der

---

<sup>6</sup> Dash Python, Plotly, 2024, <https://dash.plotly.com/>

<sup>7</sup> Plotly, 2024, <https://plotly.com/>

<sup>8</sup> HTML, Living Standard, 2024, <https://html.spec.whatwg.org/>

App sowie um den Aufbau einer Datenbankverbindung. Die Verbindung zur Datenbank wird dabei mit Hilfe der *SQLAlchemy*<sup>9</sup> Bibliothek aufgebaut.

Die Funktionsweise der App beruht darauf, dass sie auf die Auswahl der Nutzenden in der Anwendung reagiert und neue HTML-Seiten lädt. Diese werden dynamisch und zielgerichtet gestaltet, um den individuellen Bedürfnissen und Anforderungen gerecht zu werden.

Um die Dash Webanwendung zu erstellen und sie auf einem Server zu betreiben, sind einige Schritte notwendig. Zunächst muss das Dash Paket installiert werden, das die Grundlage für die Anwendung bildet. Anschließend werden die erforderlichen Module in das Python-Skript importiert, um die Funktionalität zu erweitern. Die App selbst wird initialisiert, indem eine Instanz der Dash Klasse erstellt wird, die alle erforderlichen Einstellungen und Parameter enthält. Abschließend wird der Server gestartet, um die Webanwendung bereitzustellen und den Benutzern Zugriff zu gewähren. Die Webanwendung kann lokal gehostet oder in der Cloud bereitgestellt werden.

Insgesamt stellt die Dash-basierte Webanwendung eine leistungsfähige Lösung dar, um die Daten aus der Datenbank interaktiv für die Nutzenden bereitzustellen.

### **Zusammenfassung**

Das vorliegende System zur Implementierung des Energieeffizienzregisters für Rechenzentren nutzt vollständig Open Source Software und besteht aus einer Datenbank, die sämtliche abgefragten Informationen über die Infrastruktur der Rechenzentren sowie die Informationstechnik enthält. Mithilfe von Views werden aggregierte Informationen und relevante Kennzahlen berechnet.

Die Flask-App ermöglicht es den Nutzenden sich im Register zu registrieren und ihre Daten hochzuladen. Die hochgeladenen Daten werden in der Datenbank gespeichert und in der Visualisierung berücksichtigt.

Durch die Nutzung der Datenbank und der Views können verschiedene Kennzahlen und Informationen generiert werden. Diese Kennzahlen können auf unterschiedlichen Ebenen abgefragt werden, wobei die Auflösung von aggregierten Postleitzahlgebieten (1-Steller) bis hin zu detaillierten Postleitzahlgebieten (5-Steller) angepasst werden kann. Dies ermöglicht eine präzise Visualisierung und detaillierte Analyse der Daten.

Im folgenden Kapitel werden die im Rahmen des Projektes erarbeiteten und programmtechnisch umgesetzten Visualisierungen vorgestellt. Anzumerken ist, dass es sich bei der Darstellung nicht um aussagekräftige Diagramme handelt, da die Datenbank für die Entwicklung und den Test mit Testdaten befüllt wurde.

#### **4.1.5 Visualisierung**

Die graphische Oberfläche ist in zwei Versionen verfügbar: eine gedacht für die Öffentlichkeit und eine zweite für den detaillierteren Zugriff für Behörden. Der Zugriff auf die Oberfläche erfolgt über den Aufruf einer spezifischen Domain mit Hilfe eines Webbrowsers.

Die Weboberfläche ermöglicht die Anzeige von Daten für Rechenzentren und Informationstechnik. Die kartographische Darstellung, die Durchschnittswerte von Kennzahlen in Postleitzahlregionen wird in unterschiedlichen Auflösungen angezeigt. Nutzende können eine bestimmte Kennzahl über ein Dropdown-Menü auswählen. Zusätzlich können sie die Darstellungstiefe über weitere Dropdown-Menüs festlegen. Eine weitere Funktion ist die Möglichkeit, eine bestimmte Stadt

---

<sup>9</sup> SQLAlchemy, <https://www.sqlalchemy.org/>

auszuwählen, woraufhin die Kennzahlen für einen Umkreis von 5 km um diese Stadt angezeigt werden.

Unterhalb der kartographischen Darstellung finden die Nutzenden aussagekräftige Diagramme zu den Daten der Rechenzentren und der IT.

Die benutzerfreundliche Sidebar bietet die Verlinkung zu einer weiteren Seite mit Filtermöglichkeiten, auf der spezifische Such- und Filterkriterien eingegeben werden können. Nach der Filterung wird eine übersichtliche Tabelle mit den entsprechenden Ergebnissen angezeigt. Zudem kann von der ausgegebenen Tabelle direkt auf die individuelle Homepage-Darstellung für das ausgewählte Rechenzentrum oder die Informationstechnik zugegriffen werden.

Die graphische Oberfläche ist somit eine effektive und intuitive Plattform, die es Nutzenden ermöglicht, Daten zu Rechenzentren und Informationstechnik mühelos zu recherchieren und zu analysieren. Die Kombination aus kartographischer Darstellung, Diagrammen und Filteroptionen macht die Oberfläche zu einem äußerst leistungsfähigen Werkzeug für jegliche Anwendungsbereiche.

In den folgenden Abschnitten wird das im Rahmen des Forschungsvorhabens entwickelte Energieeffizienzregister für Rechenzentren anhand von Bildschirmfotos vorgestellt. Zu erwähnen ist, dass die in den Diagrammen gezeigten Daten zu einem Testdatensatz gehören, die also keinen Aussagen zur Ist-Situation zulassen. Sie dienen hier nur zur Vorstellung der möglichen Visualisierungen im Register.

#### **4.1.5.1 Öffentliches Register**

Über eine Internetseite sollen Nutzende auf das Register zugreifen können. Alle Visualisierungen basieren auf Views, die in der Datenbank gespeichert sind. Dies bedeutet, dass Nutzende mit Zugriff auf die Datenbank auch die Möglichkeit haben, die Informationen in tabellarischer Form durch einfache SQL-Abfragen abzurufen.

Nutzenden wird durch einen Einleitungstext erläutert, welche Informationen über das Register bereitgestellt werden.

Es stehen dann zwei Buttons zur Auswahl:

- ▶ Rechenzentren
- ▶ Informationstechnologie

#### **Rechenzentren**

Die Standardansicht präsentiert eine übersichtliche Darstellung der Rechenzentren aggregiert für die Ebene der einstelligen Postleitzahlen und zeigt die durchschnittlichen Werte der Kennzahlen. Um die Unterschiede in den Kennzahlen hervorzuheben, wird eine Choroplethenkarte angezeigt. Eine Choroplethenkarte ist eine thematische Karte, bei der geografische Regionen oder administrative Einheiten mit Farben oder Mustern in verschiedenen Schattierungen gefüllt sind, um die relative Ausprägung einer Variablen darzustellen.

Nutzende haben die Wahl zwischen unterschiedlichen Kennzahlen deren Mittelwerte auf unterschiedlichen Ebenen angezeigt werden.

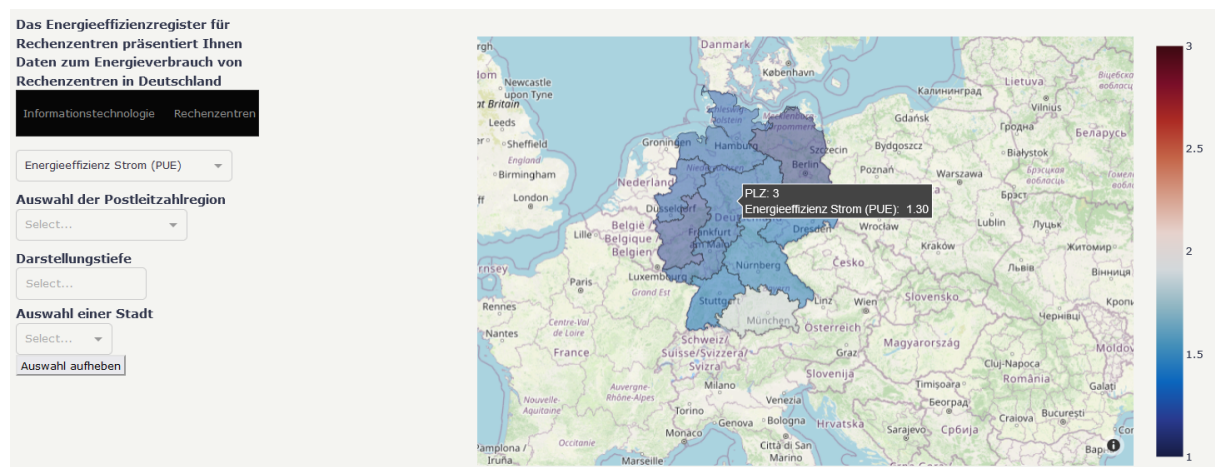
Das deutsche Postleitzahlensystem ist hierarchisch strukturiert und beginnt mit den 10 einstelligen Hauptpostleitzahlregionen, nummeriert von 0 bis 9. Diese Regionen umfassen große geografische Bereiche, die teilweise auch Bundeslands übergreifend sind, und werden weiter in kleinere Einheiten unterteilt, die von zwei- über dreistellige bis zu fünfstelligen Postleitzahlen rei-

chen. Jede zusätzliche Ziffer verfeinert die Zuordnung und ermöglicht eine genauere Bestimmung des Zustellorts. In Deutschland sind insgesamt 28.278 verschiedene Postleitzahlen vergeben, davon 8.181 für Orte, 16.137 für Postfächer, 3.095 für Großkunden und 865 sogenannte "Aktions-PLZ" (z.B. für Gewinnspiele). Für das Register relevant sind jedoch noch die 8181 Postleitzahlen, die Orten zugeordnet sind.

In Abbildung 11 wird Deutschland in diese 10 einstelligen Postleitzahlregionen aufgeteilt. Standardmäßig werden alle Regionen angezeigt. Bei Auswahl einer spezifischen Postleitzahlregion (Dropdown *Auswahl der Postleitzahlregion*) wird automatisch auf diesen Bereich gezoomt. Zudem kann die *Darstellungstiefe* angepasst werden, um die Granularität des ausgewählten Bereichs zu verfeinern.

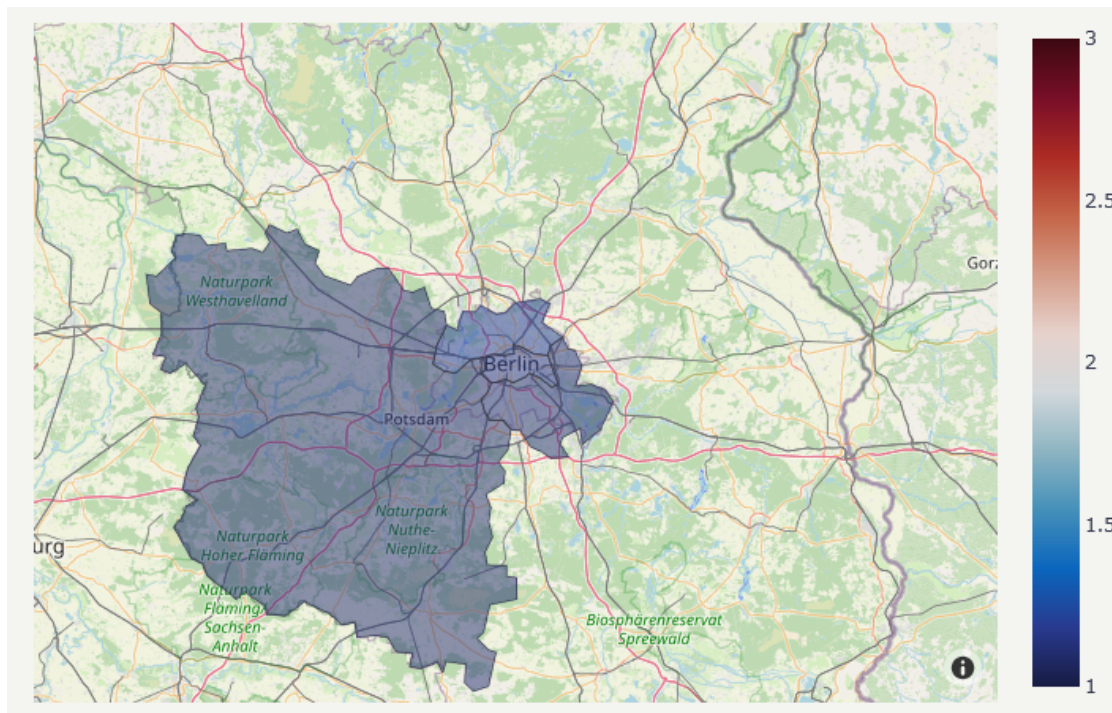
Abbildung 12 zeigt den Bereich um Berlin nachdem bei *Auswahl der Postleitzahlregion PLZ: 1* und bei *Darstellungstiefe* zweistellig ausgewählt wurde.

**Abbildung 11: Dashboard öffentliches Energieeffizienzregister für Rechenzentren**



Quelle: PEERDC: Bildschirmfoto aus der entwickelten Webseite

## Abbildung 12: Darstellung zweistelliger Postleitzahlbereich



Quelle: PEERDC: Bildschirmfoto aus der entwickelten Webseite

Die Generierung der Farbskala auf der Choroplethenkarte wird dynamisch gestaltet, da die verschiedenen Kennzahlen unterschiedliche Wertebereiche aufweisen. Dadurch wird sichergestellt, dass die Darstellung auf der Karte die jeweiligen Daten angemessen und aussagekräftig wiedergibt.

Aufgrund der Datenverfügbarkeit, gestaltet sich die zuverlässige Festlegung der Farbskala als herausfordernd, da keine vollständigen Informationen darüber vorliegen, in welchen Bereichen sich viele der Kennzahlen befinden. Dennoch wurde versucht, die Farbskala so anzupassen, dass sie eine klare visuelle Unterscheidung der Daten ermöglicht und eventuelle Muster und Trends auf regionaler Ebene leicht erkennbar macht, sobald reale Daten in das Register importiert werden.

Eine der betrachteten Kennzahlen ist die PUE (Kapitel 3.3.1), die theoretisch einen Wertebereich von  $[1;\infty]$  aufweist. Laut einer vorliegenden Studie (Veith und Müller 2020) variieren die typischen PUE-Werte zwischen 1,05 und 2,20. Um die Vergleichbarkeit zu erleichtern, wird in dieser Studie die Skala für den PUE auf den Bereich von 1 bis 4 festgelegt.

Eine weitere relevante Kennzahl ist der CER (Kapitel 3.3.1), der ebenfalls einen theoretischen Wertebereich von  $[1;\infty]$  hat. Der Blaue Engel für Rechenzentren hat für das Jahr 2024 einen Mindestwert von CER größer als 9 festgelegt. Daher wird in der Darstellung der Wertebereich für den CER zunächst auf 1 bis 15 festgelegt.

Für die Kennzahl REF (3.3.2), wird auf einer Choroplethenkarte mit einem Wertebereich von 0 bis 100 gearbeitet.

Der Kennzahl ERF (Kapitel 3.3.1) ist ein theoretischer Wertebereich von  $[0; 100]$  zugeordnet. Aufgrund einer fehlenden fundierten Datenbasis wird in diesem Bericht die Skala für den ERF von 0 bis 100 gesetzt.

Schließlich wird der WUE (Kapitel 3.3.3) betrachtet, der typischerweise einen Wertebereich von  $[0; 1]$  aufweist. Hier gilt: Je kleiner der Wert, desto besser die Effizienz. Daher wird die Skala für den WUE im Rahmen des Forschungsvorhabens auf Werte zwischen 0 und 1 für die Visualisierung begrenzt.

Des Weiteren wird die Flächeneffizienz (Kapitel 3.3.4) als Kennzahl dargestellt. Der theoretische Wertebereich liegt zwischen  $[0;1]$ , die Visualisierung umfasst deshalb diesen Bereich.

Durch die Anschlussleistung der IT und die Anzahl der Serverschränke kann die Leistungsdichte berechnet werden. Die Anschlussleistung bezieht sich auf die tatsächliche elektrische Leistung, die von der IT-Infrastruktur eines Rechenzentrums aktuell benötigt wird. Die Leistungsdichte wird als Quotient aus der Leistung pro Serverschrank in kW berechnet. Die Farbskala zur Darstellung des Wertebereichs wird dynamisch gestaltet, wobei die Farbintensität entsprechend dem Minimum und Maximum der Kennzahl im entsprechenden Postleitzahlbereich variiert. Dies ermöglicht eine klare und differenzierte Visualisierung der Daten, wobei niedrigere Werte durch eine geringere Farbintensität und höhere Werte durch eine stärkere Farbintensität dargestellt werden.

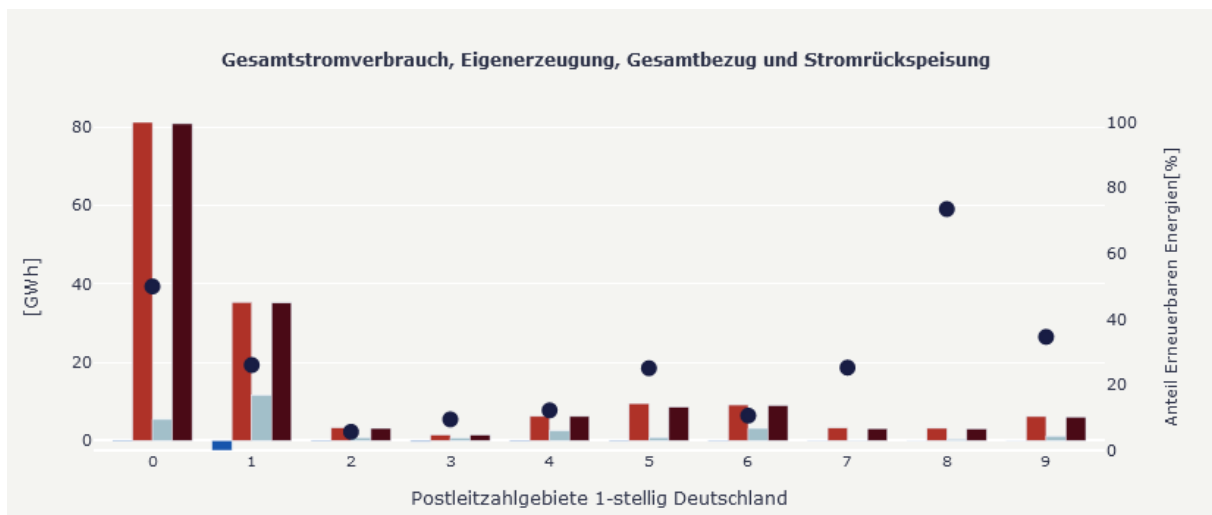
Auf PLZ-Ebene können die Kennzahlen Flächeneffizienz und die Leistungsdichte dargestellt werden, um regionale Unterschiede und Trends zu identifizieren. Durch die Analyse auf PLZ-Ebene können auch lokale Einflussfaktoren, wie z.B. Infrastruktur, Energieversorgung und Klimabedingungen, berücksichtigt werden.

Neben den Kennzahlen werden die Verbrauchsdaten im Register anhand von interaktiven Diagrammen bereitgestellt. Diese Diagramme passen sich automatisch an die Auswahl in den Dropdown-Menüs neben der Karte an, wodurch sich die Skalierungen der x- und y-Achse entsprechend ändern. Die Einheiten variieren ebenfalls, da unterschiedliche räumliche Auflösungen unterschiedliche Einheiten für den Stromverbrauch erfordern (siehe Kapitel 4.1.1).

Abbildung 13 zeigt den Gesamtstromverbrauch, die Eigenstromerzeugung, den Gesamtstrombezug und die Rückspeisung ins Versorgungsnetz auf der Ebene der einstelligen Postleitzahlen. Beim Überfahren der Grafiken mit dem Mauszeiger wird dem Nutzenden der Wert und die Bezeichnung des jeweiligen Balkens im Diagramm angezeigt. Der hellrote Balken zeigt den gesamten Strombezug, während der hellblaue Balken die Eigenerzeugung von Strom darstellt. Der braune Balken repräsentiert den Gesamtstromverbrauch. Die dunkelblauen Punkte geben den Anteil der erneuerbaren Energien in Prozent an (REF), und die Rückspeisung wird auf der negativen Ordinate in Blau angezeigt.

Die dynamische Anpassung der Diagramme ermöglicht eine detaillierte und flexible Analyse der Verbrauchsdaten, die sich an die spezifischen Bedürfnisse und Fragen der Nutzenden anpassen lassen. Durch die interaktive Visualisierung können Nutzende schnell und intuitiv Erkenntnisse gewinnen und Daten in verschiedenen räumlichen und zeitlichen Kontexten betrachten.

**Abbildung 13: Gesamtstromverbrauch, Eigenerzeugung, Gesamtbezug und Stromrückspeisung**



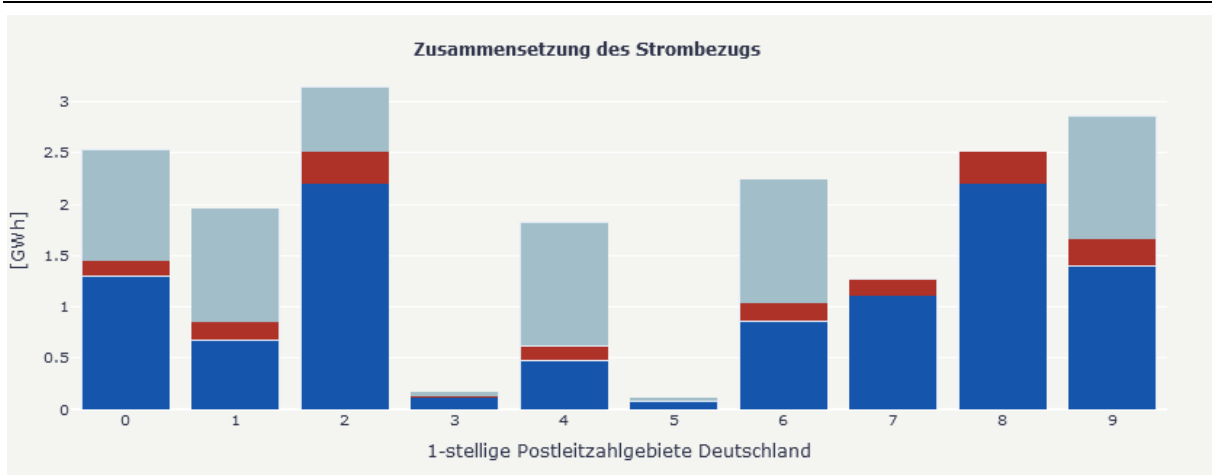
Quelle: PEERDC: Bildschirmfoto aus der entwickelten Webseite

Abbildung 14 illustriert die Zusammensetzung des gesamten Strombezugs, aufgeteilt in die drei Hauptkategorien:

- Anteil des Strombezugs aus erneuerbaren Energien (blau)
- Anteil des Strombezugs aus fossilen Energieträgern (hellblau)
- Anteil des Strombezugs aus Kernenergie (rot)

Diese Unterteilung ermöglicht es, die Herkunft des Stroms klar zu visualisieren und die Nachhaltigkeit des Energiebezugs zu bewerten.

**Abbildung 14: Zusammensetzung des Strombezugs**

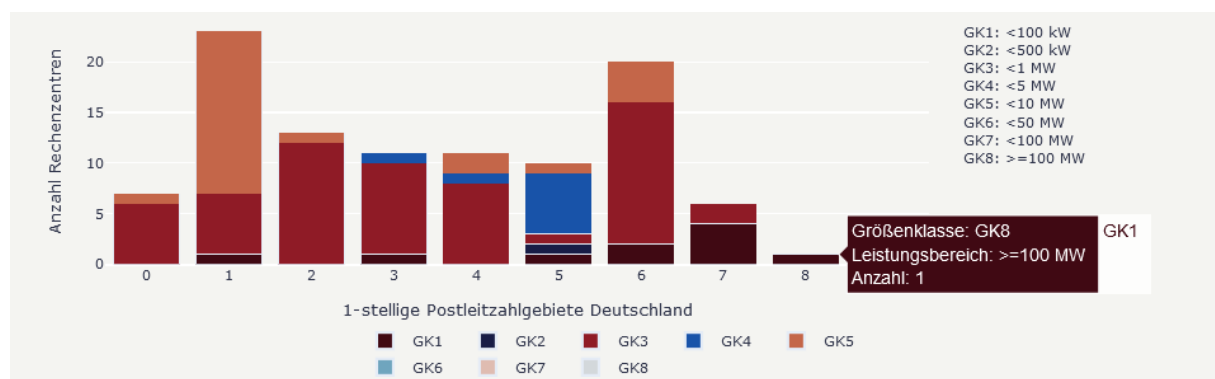


Quelle: PEERDC: Bildschirmfoto aus der entwickelten Webseite

Abbildung 15 zeigt die Anzahl der Rechenzentren aufgeteilt nach unterschiedlichen Größenklassen, basierend auf der maximalen IT-Anschlussleistung, aufgeteilt nach Postleitzahlbereichen. Die Größenklassen sind farblich differenziert und in der Legende einzeln aufgeführt, wobei die untere Bereichsgrenze aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht separat angegeben ist. Auf der y-Achse wird die Anzahl der Rechenzentren in jeder Region angezeigt. Diese Darstellung bietet

Einblicke in die Verteilung und Konzentration von Rechenzentren nach Größe und Leistungskapazität. Sie ist besonders nützlich, um regionale Unterschiede und Clusterbildungen zu erkennen. Diese Clusterbildung ist bekannt. In Deutschland gibt es große Rechenzentren Cluster insbesondere im Raum Frankfurt (PLZ Region 6), München (PLZ region 8), Berlin (PLZ Region 1), Düsseldorf (PLZ Region 4) und Hamburg (PLZ Region 2).

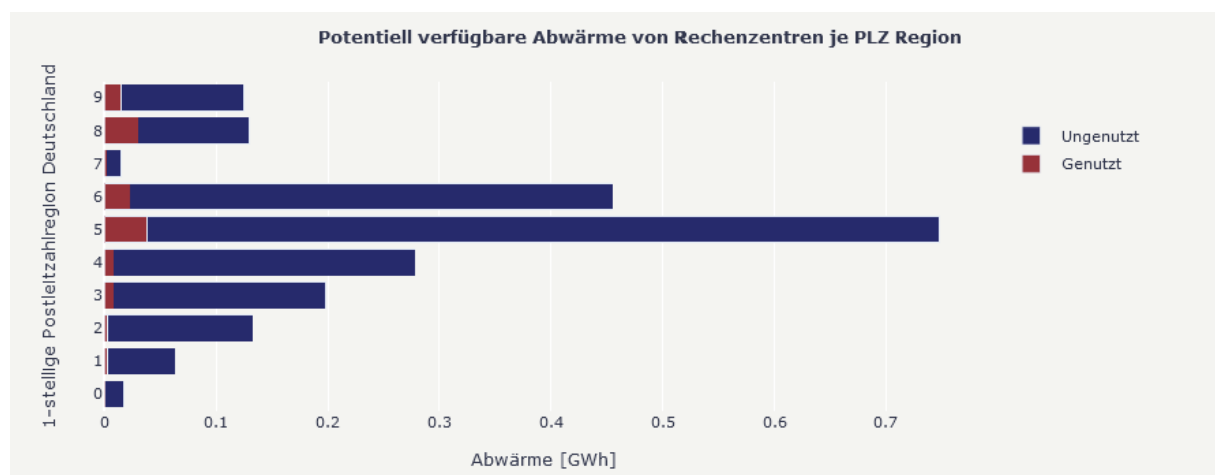
**Abbildung 15 Anzahl der Rechenzentren in Größenklasse je PLZ-Region 1-stellig**



Quelle: PEERDC: Bildschirmfoto aus der entwickelten Webseite

Abbildung 16 präsentiert ein Balkendiagramm, das die genutzte und ungenutzte Abwärme in den jeweiligen Postleitzahlbereichen anzeigt. Die gesamte Länge jedes Balkens repräsentiert die Gesamtabwärme, wobei der genutzte Anteil in Rot hervorgehoben wird. Diese Darstellung ist besonders relevant, um die Effizienz der Abwärmenutzung in Rechenzentren zu beurteilen.

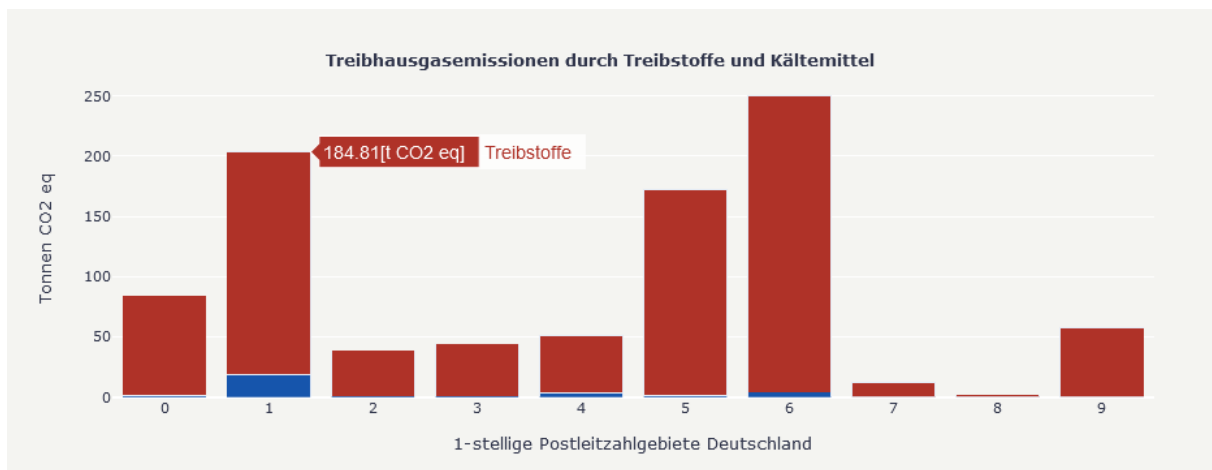
**Abbildung 16: Information zur verfügbaren Abwärme je 1-stelligen PLZ-Bereich**



Quelle: PEERDC: Bildschirmfoto aus der entwickelten Webseite

Abbildung 17 zeigt die Treibhausgasemissionen, unterteilt nach den Quellen Treibstoffe und Kältemittel. Diese Balkendiagramme geben einen Überblick über die direkten Emissionen die durch die Rechenzentren in den verschiedenen Postleitzahlbereichen verursacht werden und ermöglicht es, die Umweltbelastung durch die Rechenzentren zu analysieren und zu bewerten. Die roten Balken stellen die Treibhausgasemissionen aus dem Treibstoffverbrauch dar, während die blauen Balken, die Emissionen aus dem Kältemittelverbrauch anzeigen.

**Abbildung 17: Treibhausgasemissionen durch Treibstoffe und Kältemittel**



Quelle: PEERDC: Bildschirmfoto aus der entwickelten Webseite

### Informationstechnik

Der Nutzende hat am Anfang der Homepage die Möglichkeit zu wählen, ob er Daten zu Rechenzentren oder zur Informationstechnik betrachten möchte. Wird *Informationstechnik* ausgewählt, werden die entsprechenden Daten in vergleichbarer Form aufbereitet, Abbildung 18. Hier stellt die Choroplethenkarte jedoch andere Leistungskennzahlen als für die Rechenzentren dar:

- Die mittlere CPU-Auslastung je einstelliger Postleitzahlregion.
- Den Data Centre Idle Coefficient.

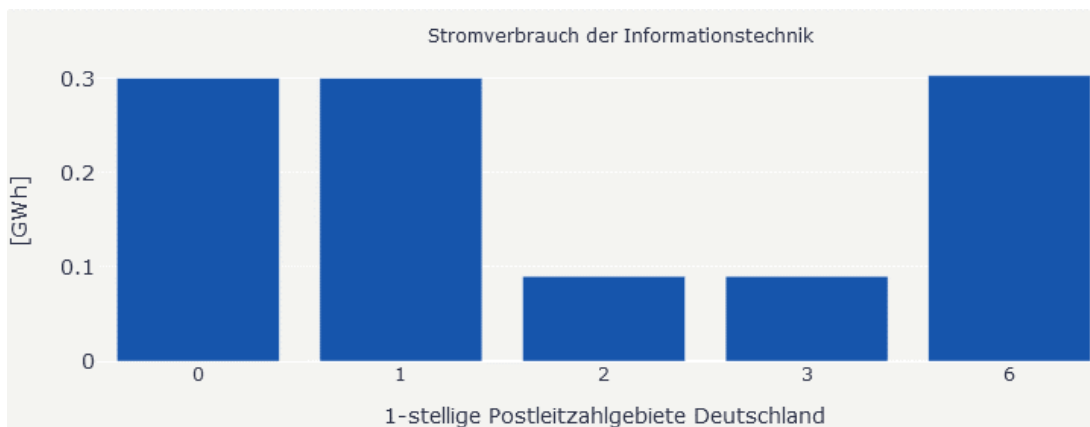
**Abbildung 18: Choroplethenkarte für die mittlere CPU-Auslastung**



Quelle: PER-DC: Bildschirmfoto aus der entwickelten Webseite

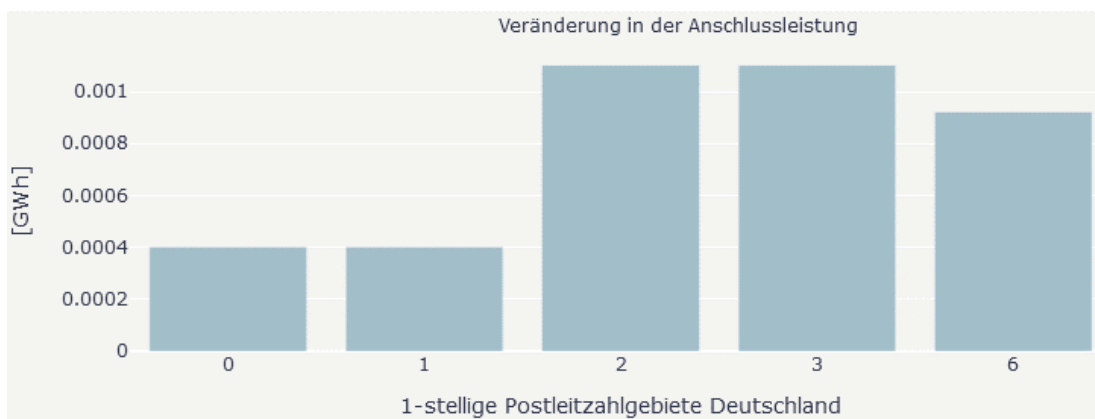
Neben der mittleren CPU-Auslastung und dem DCIC wird der gesamte Stromverbrauch der Informationstechnik (Abbildung 19) und die Veränderung der IT-Anschlussleistung (Abbildung 20) dargestellt.

**Abbildung 19: Stromverbrauch der IT je 1-stelliger Postleitzahlregion**



Quelle: PEERDC: Bildschirmfoto aus der entwickelten Webseite

**Abbildung 20: Unterschiede der IT-Anschlussleistung je 1-stelliger Postleitzahlregion**



Quelle: PEERDC: Bildschirmfoto aus der entwickelten Webseite

### Filtermöglichkeiten

Ein Ziel des Registers ist es, dass Nutzende nur Rechenzentren angezeigt bekommen, nach denen sie gefiltert haben, d.h. die die durch den Nutzenden vorgegebenen Kriterien erfüllen. Hierfür wurde eine entsprechende Filteroption im Register umgesetzt.

Für die Filterung gibt es folgende Auswahlmöglichkeiten:

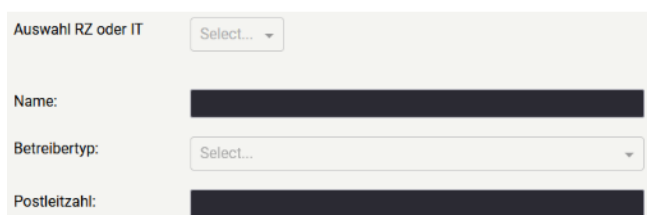
- ▶ Sollen Daten für Informationstechnik oder Rechenzentren ausgegeben werden?
- ▶ Falls Daten für Rechenzentren ausgegeben werden sollen:
  - Welcher Betreiber typ soll angezeigt werden (Co-Location, Unternehmens Rechenzentrum, Netzwerk, Hosting)?
  - In welchem Postleitzahlgebiet sollen diese liegen?
  - Welche Mindestwerte sollen die Kennzahlen haben (PUE, WUE, CER, ERF, REF)?
  - Welche Bezeichnung hat das Rechenzentrum?
- ▶ Falls Daten für Informationstechnik ausgegeben werden sollen:

- In welchem Postleitzahlgebiet soll sich das Rechenzentrum befinden, in dem die Informationstechnik betrieben wird?
- Welche juristische Person ist der Informationstechnikbetreiber?

Abbildung 21 zeigt die Felder zur Filterung nach Rechenzentren oder Informationstechnik, nach der Bezeichnung des Rechenzentrums/ der Informationstechnik, nach dem Betreibertyp und nach der Postleitzahl. Im zweiten Teil der Filterseite sind die Energieeffizienzkennzahlen kombiniert mit einem Slider dargestellt.

Der Nutzende sieht anhand der Farbe welcher Wert als gut (grün) und welcher Wert als schlecht (rot) gilt (Abbildung 22). Während des Verschiebens des Sliders wird angezeigt welcher Wertebereich aktuell ausgewählt ist.

**Abbildung 21: Filtermöglichkeit Teil 1**



Quelle: PEERDC: Bildschirmfoto aus der entwickelten Webseite

**Abbildung 22: Filtermöglichkeit Teil 2**



Quelle: PEERDC: Bildschirmfoto aus der entwickelten Webseite

Während Nutzende ihre Filter setzen, wird eine Tabelle angezeigt, die entsprechend der gesetzten Filter anpasst wird (Abbildung 23).

**Abbildung 23: Ausgabetabelle Rechenzentren**

| Rechenzentrum | Betreibertyp  | PUE | ERF  | WUE  | CER | REF   | Link                 |
|---------------|---------------|-----|------|------|-----|-------|----------------------|
| RZ88          | Colocation RZ | 1.4 | 0.99 | 0.16 | 3.8 | 80    | <a href="#">RZ88</a> |
| RZ9           | Colocation RZ | 1.4 | 0.99 | 0.16 | 3.8 | 80    | <a href="#">RZ9</a>  |
| RZ11          | Colocation RZ | 2   | 0.99 | 0.16 | 2.7 | 70    | <a href="#">RZ11</a> |
| RZ10          | Colocation RZ | 2   | 0.99 | 0.16 | 2.7 | 70.03 | <a href="#">RZ10</a> |
| RZ99          | Colocation RZ | 2   | 0.99 | 0.16 | 2.7 | 70.03 | <a href="#">RZ99</a> |
| RZ8           | Colocation RZ | 2   | 0.99 | 0.16 | 2.7 | 70.03 | <a href="#">RZ8</a>  |
| RZ5           | Hosting RZ    | 2   | 1    | 0.16 | 2.7 | 70.03 | <a href="#">RZ5</a>  |

Quelle: PER-DC: Bildschirmfoto aus der entwickelten Webseite

Beim Filtern nach IT-Betreibern wird die Tabelle so angezeigt, dass sowohl der Name des IT-Betreibers als auch der Name des Rechenzentrums angezeigt werden, in dem die IT betrieben wird. Dies bedeutet, dass die Kombination aus IT-Betreiber und Rechenzentrum möglicherweise mehrfach in der Tabelle vorkommen kann (siehe Abbildung 24).

Die letzte Spalte enthält eine Verlinkung, die zur Detaildarstellung des jeweiligen Rechenzentrums bzw. der jeweiligen Informationstechnik führt.

**Abbildung 24: Ausgabetabelle IT-Betreiber**

| IT-Betreiber      | Rechenzentrum | Postleitzahl | Link                              |
|-------------------|---------------|--------------|-----------------------------------|
| it_op_218         | RZ_8          | 04249        | <a href="#">it_op_218</a>         |
| Test              | RZ_8          | 04249        | <a href="#">Test</a>              |
| praktikant2       | RZ_8          | 04249        | <a href="#">praktikant2</a>       |
| IT7               | RZ_8          | 04249        | <a href="#">IT7</a>               |
| It Betreiber Test | RZ_8          | 04249        | <a href="#">It Betreiber Test</a> |
| IT0               | RZ_8          | 04249        | <a href="#">IT0</a>               |
| IT1               | RZ_8          | 04249        | <a href="#">IT1</a>               |
| it1               | RZ_8          | 04249        | <a href="#">it1</a>               |
| it_op_218         | RZ9           | 10365        | <a href="#">it_op_218</a>         |
| Test              | RZ9           | 10365        | <a href="#">Test</a>              |
| praktikant2       | RZ9           | 10365        | <a href="#">praktikant2</a>       |
| IT7               | RZ9           | 10365        | <a href="#">IT7</a>               |

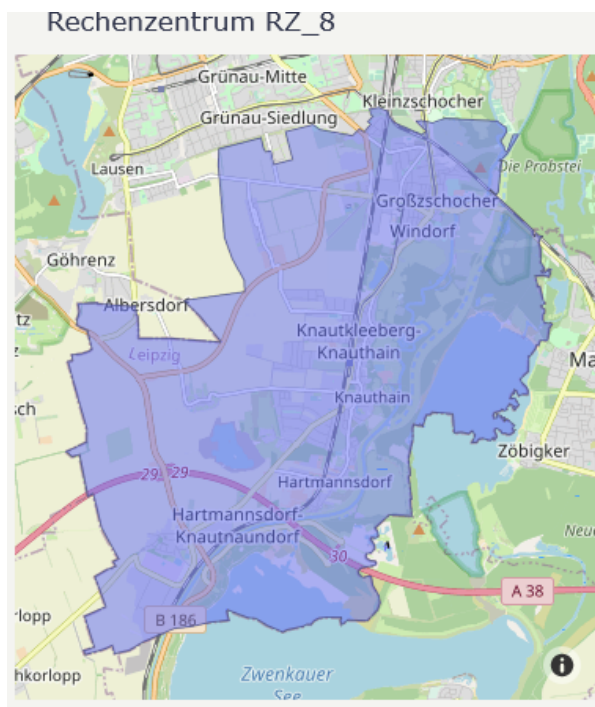
Quelle: PEERDC: Bildschirmfoto aus der entwickelten Webseite

### Detaildarstellung der Daten eines Rechenzentrums

Klicken Nutzende auf die Verlinkung werden Verbräuche und Kennzahlen für das einzelne Rechenzentrum angezeigt.

Der Standort wird, wie in Abbildung 25 gezeigt, im Rahmen der Grenzen des fünfstelligen Postleitzahlbereiches angezeigt, sodass der exakte Standort verborgen bleibt. Über dem Kartenausschnitt wird der Name des Rechenzentrums angezeigt.

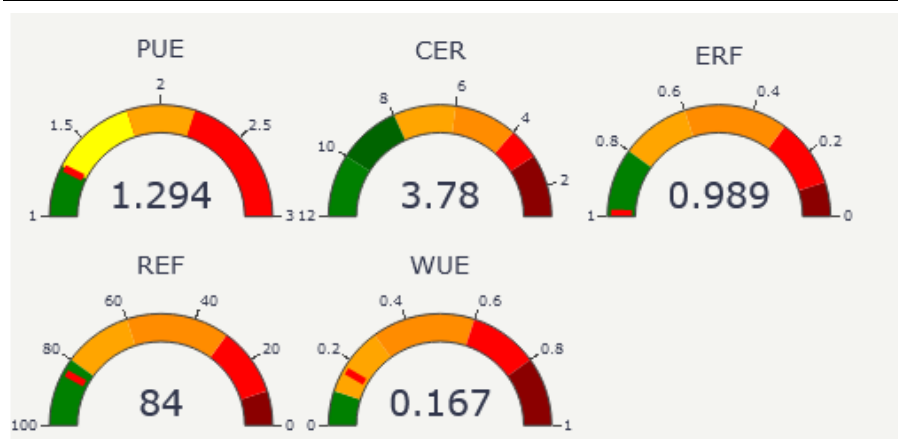
**Abbildung 25: Standortdarstellung einzelnes Rechenzentrum**



Quelle: PEERDC: Bildschirmfoto aus der entwickelten Webseite

Neben dem Kartenausschnitt können Nutzende die Werte der Energieeffizienzkennzahlen des Rechenzentrums einsehen (Abbildung 26). Die Grafiken wurden so erstellt, dass auf den Skalen der Wert auf der linken Seite der bestmögliche Wert und auf der rechten Seite der schlechteste Wert angezeigt wird.

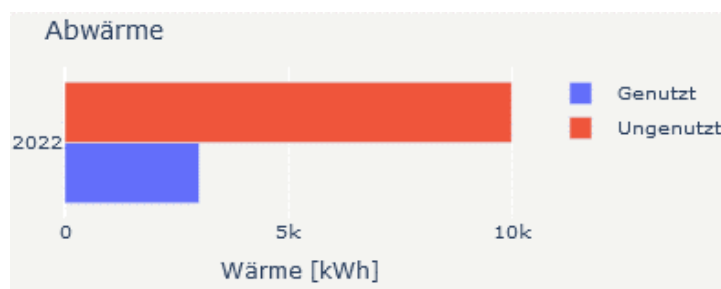
**Abbildung 26: Energieeffizienzkennzahlen des Rechenzentrums**



Quelle: PEERDC: Bildschirmfoto aus der entwickelten Webseite

Abbildung 27 zeigt Informationen zur Abwärme des einzelnen Rechenzentrums. Die Darstellung entspricht der des aggregierten Bereichs.

**Abbildung 27: Informationen zur Abwärme eines einzelnen Rechenzentrums**

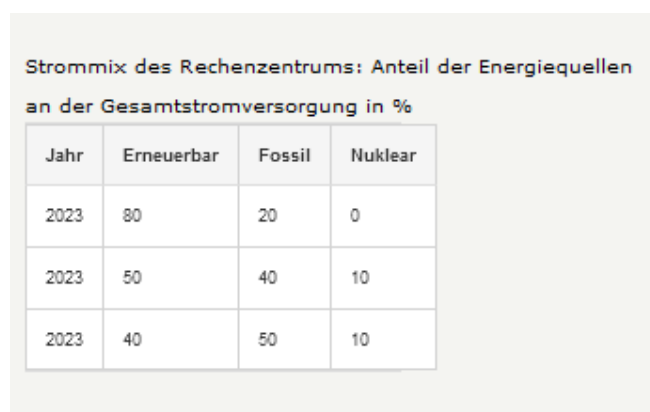


Quelle: PEERDC: Bildschirmfoto aus der entwickelten Webseite

Informationen zu Flächen, Verfügbarkeitsklasse und Größenklasse werden in Form einer Tabelle ausgegeben (Abbildung 28). Auch die Zusammensetzung des Strombezugs erfolgt in Tabellenform.

**Abbildung 28: Tabelle mit Informationen zum Rechenzentrum**

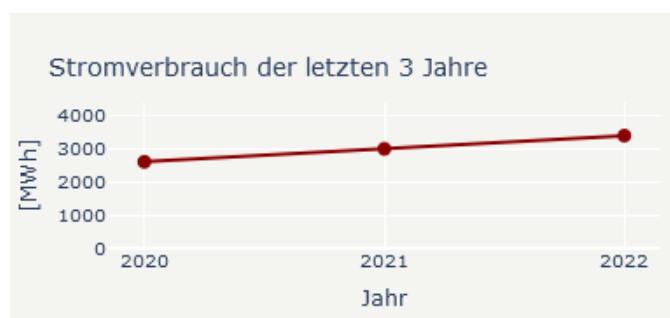
| Rechenzentrum | Gebäudefläche | Whitespace | Grundstücksfläche | Verfügbarkeitsklasse | Leistungsdichte | Flächeneffizienz | Größenklasse |
|---------------|---------------|------------|-------------------|----------------------|-----------------|------------------|--------------|
| RZ_8          | 2000.0 m²     | 1200.0 m²  | 2500.0 m²         | 2                    | 80              | 6.67             | 5            |



Quelle: PEERDC: Bildschirmfotos aus der entwickelten Webseite

Der Stromverbrauch der letzten 3 Jahre des Rechenzentrums wird in Form eines Liniendiagrammes ausgegeben (Abbildung 29).

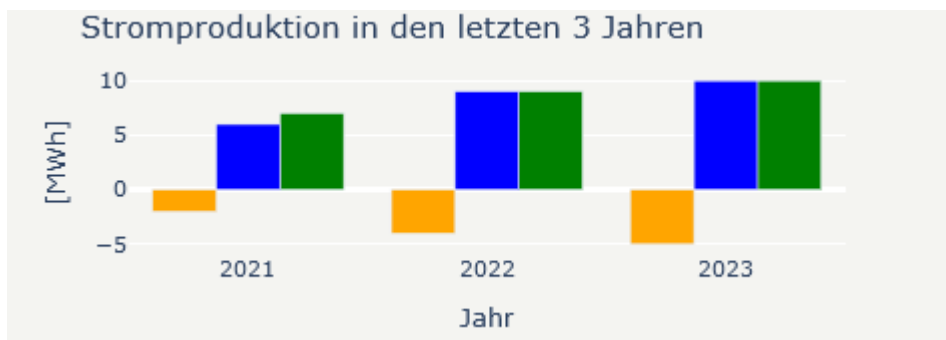
**Abbildung 29: Stromverbrauch der letzten 3 Jahre des ausgewählten Rechenzentrums**



Quelle: PEERDC: Bildschirmfoto aus der entwickelten Webseite

Ein Balkendiagramm (Abbildung 30) zeigt die Stromproduktion des Rechenzentrums, aufgeteilt in Stromproduktion aus der Netzersatzanlage (blau) und aus erneuerbaren Energien (grün), sowie die Rückspeisung von Strom ins Versorgungsnetz (gelb) an.

**Abbildung 30: Stromproduktion und Rückspeisung des einzelnen Rechenzentrums**



Quelle: PEERDC: Bildschirmfoto aus der entwickelten Webseite

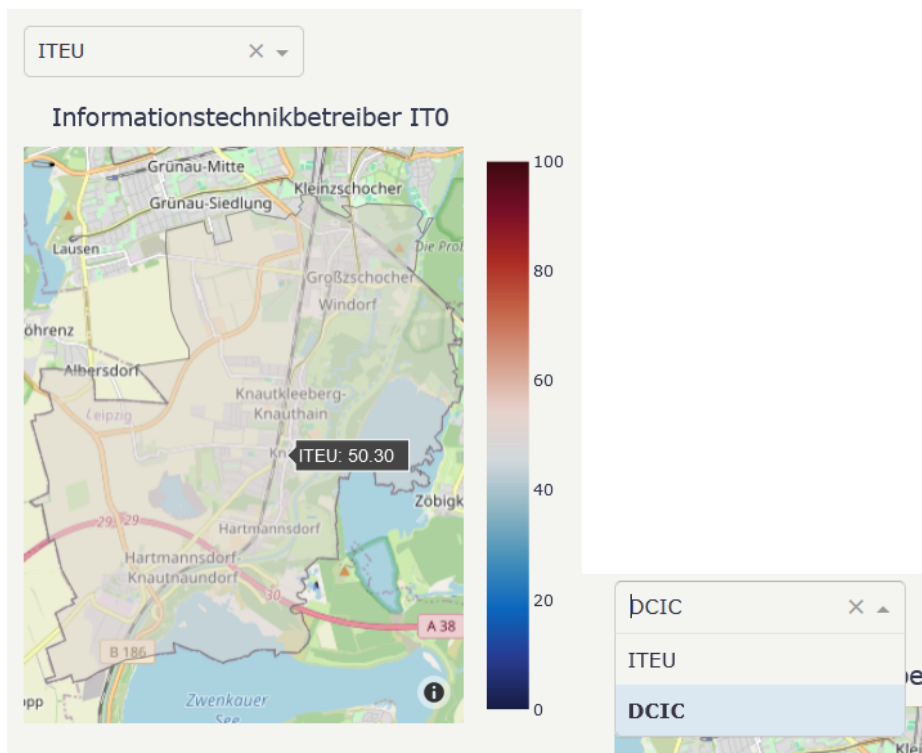
#### **Detaildarstellung der IT eines Betreibers**

Diese Seite zeigt immer die Werte eines IT-Betreibers in einem bestimmten RZ an. Für die Informationstechnik werden folgende Werte dargestellt:

- **Postleitzahlbereich:** Der fünfstellige Postleitzahlbereich, in dem sich das Rechenzentrum befindet, in dem der IT-Betreiber eingemietet ist (Abbildung 31).

**Kartenansicht mit Kennzahlen und Dropdownmenü:** Eine Choroplethenkarte, die entweder die mittlere CPU-Auslastung des letzten Jahres oder den Data Centre Idle Coefficient (DCIC) visualisiert. Ein Dropdown-Menü ermöglicht es dem Benutzenden, zwischen der Anzeige der mittleren CPU-Auslastung (ITEU) und dem DCIC zu wechseln. Diese Karte bietet eine anschauliche Darstellung der ausgewählten Kennzahl in verschiedenen Postleitzahlbereichen. (Abbildung 31)

### Abbildung 31: Choroplethenkarte IT-Betreiber



Quelle: PEERDC: Bildschirmfotos aus der entwickelten Webseite

Untenstehende Abbildung (Abbildung 32) zeigt die Darstellung der folgenden Werte im Register.

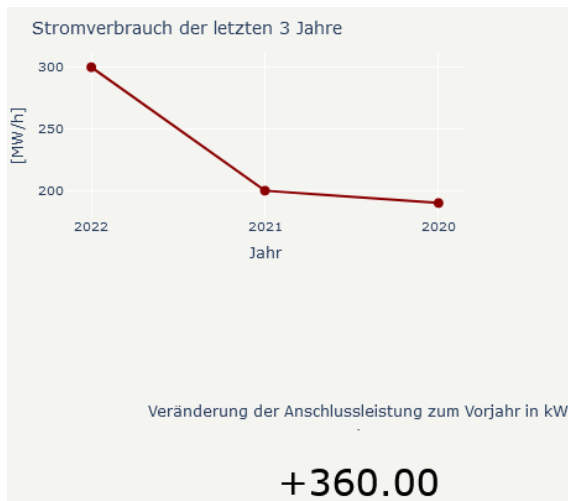
- Der Stromverbrauch der letzten 3 Jahre.
- Die Veränderung der Anschlussleistung zum Vorjahr.

Die Besonderheit bei der Einzeldarstellung der Informationstechnik ist, dass ein Informationstechnikbetreiber mehrere Informationstechniksysteme in unterschiedlichen Rechenzentren betreiben kann. Im öffentlichen Teil des Registers soll außerdem nicht ersichtlich sein, in welchem Rechenzentrum sich diese Informationstechnik befindet. Es soll lediglich der Postleitzahlbereich angegeben werden.

Um für diese Fälle eine passende Visualisierung zu erreichen, werden die Verbräuche aller IT-Systeme eines IT-Betreibers aggregiert, unabhängig davon in welchem Rechenzentrum diese betrieben werden.

Betreibt ein Informationstechnikbetreiber IT in Rechenzentren, die in unterschiedlichen Postleitzahlregionen liegen, werden diese ebenfalls auf der Karte mit der jeweiligen mittleren CPU-Auslastung und dem DCIC in diesem Bereich angezeigt.

**Abbildung 32: Einzel Darstellung für einen IT Betreiber für Stromverbrauch und Änderung der Anschlussleistung**



Quelle: PEERDC: Bildschirmfoto aus der entwickelten Webseite

### Energieeffizienzlabel

In Kapitel 3.5 wurde die Kennzeichnung der Energieeffizienz von Rechenzentren mit Hilfe eines im Rahmen des Projektes entwickelten Effizienzlabels diskutiert. Dieses Label basiert auch auf den Kennzahlen, die aus der Datenbank abgefragt werden können. Anhand dieser Kennzahlen werden Punkte vergeben, die zur Einteilung in verschiedene Energieeffizienzklassen genutzt werden. Die Ergebnisse können visuell im Register durch eine Bilddatei dargestellt werden, die für jedes Rechenzentrum erstellt und in der Datenbank gespeichert wird. Dadurch kann diese Bilddatei des Effizienzlabels in die Einzeldarstellung der Rechenzentren integriert werden.

Im Energieeffizienzregister für Rechenzentren ist es jedoch wichtig, zwischen der Darstellung der Rechenzentren selbst und der darin betriebenen Informationstechnologie, gruppiert nach IT-Betreiber, zu unterscheiden. Dieses Problem wurde in der Darstellung dadurch gelöst, dass entweder die Informationstechnologie oder die Gebäudetechnik auf einer Seite angezeigt wird.

Ein weitere Fragestellung betraf die Datenerfassung mit Hilfe des entwickelten Erfassungsbogens: Einige Werte, die für die Berechnung des Labels erforderlich sind, insbesondere Daten zur Informationstechnologie (IT), wurden erst zu einem späteren Zeitpunkt im Laufe des Projektes hinzugefügt, nachdem die Praxispartner ihre Daten bereitgestellt hatten. Die Erweiterung des Erfassungsbogens, um diese zusätzlichen Daten zu erfassen, wird in Kapitel 3.5.3 beschrieben. Im Rahmen des Projektes zeigte sich zudem, dass auf Seiten der Betreiber nur eine sehr geringe Bereitschaft besteht IT-bezogene Daten zur Verfügung zu stellen, da dies als Betriebsgeheimnisse eingestuft werden (Kapitel 4.3.2). Deshalb wurden die zusätzlichen Datenpunkte, die für das Label benötigt werden, nicht in die Visualisierungen integriert. Diese könnten jedoch nachträglich mit geringem Aufwand eingearbeitet werden.

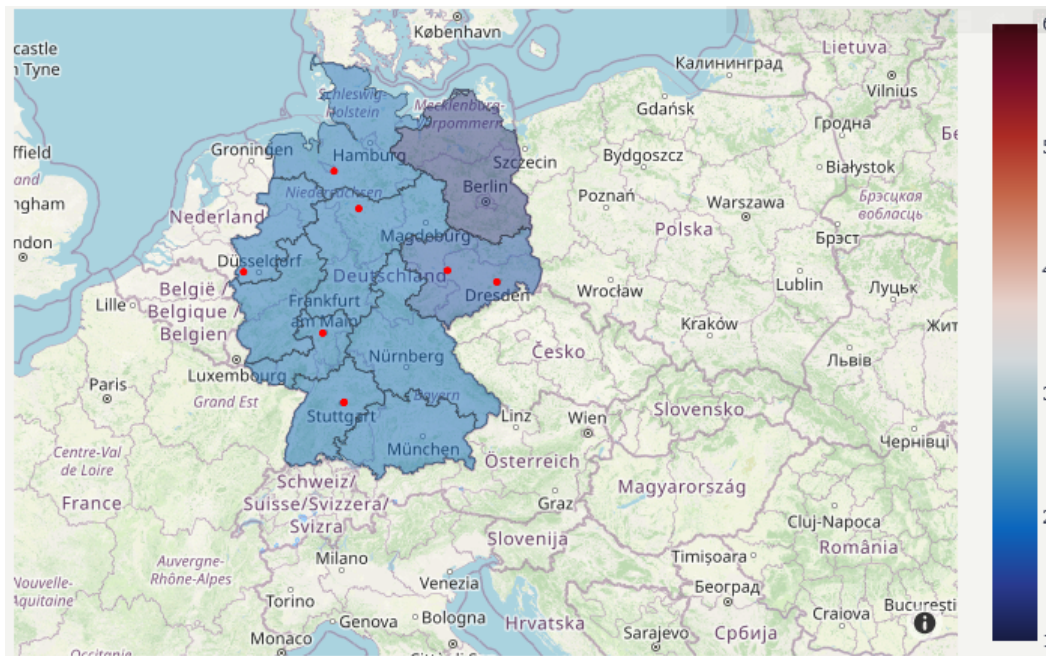
#### 4.1.5.2 Register zur Einsicht von Behörden

Neben dem öffentlichen Teil des Energieeffizienzregister gibt es den nichtöffentlichen Teil des Registers, das nur zur Einsicht durch Behörden gedacht ist. Dieser nichtöffentliche Bereich enthält detailliertere und sensiblere Daten, die als nichtöffentlich eingestuft wurden und spezifisch für behördliche Zwecke aufbereitet werden.

## Darstellung RZ

Die kartografische Darstellung der Rechenzentren unterscheidet sich dadurch, dass die Standorte der Rechenzentren als Punkte auf der Karte angezeigt werden. In Abbildung 33 sind beispielhaft Rechenzentren mit ihren Koordinaten eingetragen worden. Die Koordinaten werden beim Upload der JSON-File über die angegebene Adresse berechnet und in der Tabelle *dc* gespeichert. Die Auswahlmöglichkeit zur Anzeige der durchschnittlichen Energieeffizienzkennzahlen ist weiterhin vorhanden.

**Abbildung 33: Choroplethenkarte zur Einsicht von Behörden (RZ)**



Quelle: PEERDC: Bildschirmfoto aus der entwickelten Webseite

Im öffentlichen Teil des Registers werden allgemeine Informationen wie der gesamte Stromverbrauch angegeben. Der nichtöffentliche Bereich bietet hingegen eine detaillierte Aufschlüsselung der Stromverbräuche. Hier wird der gesamte Stromverbrauch aufgeteilt in:

- Stromverbrauch Informationstechnik und
- Stromverbrauch Kühlung.

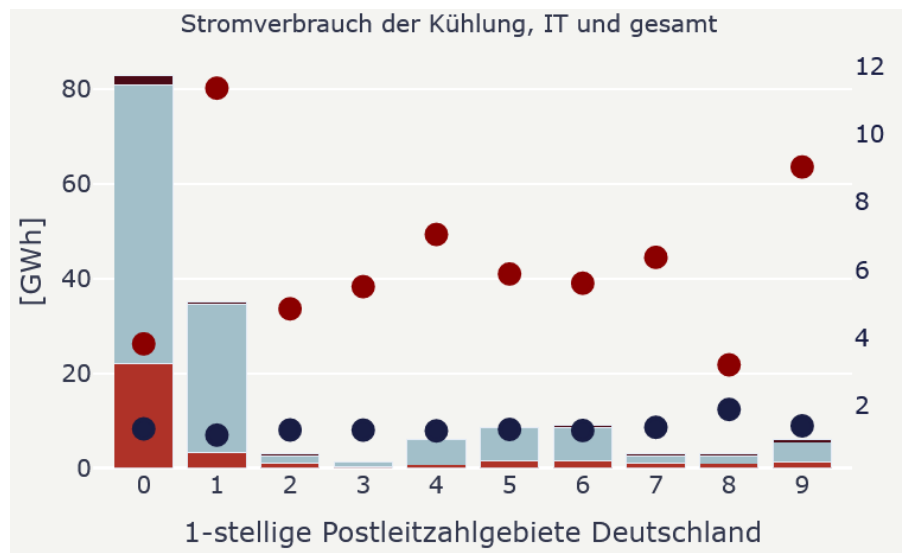
Es gilt also:

- $\text{Stromverbrauch gesamt [kWh]} = \text{Stromverbrauch IT [kWh]} + \text{Stromverbrauch Kühlung [kWh]} + \text{Rest [kWh]}$

Neben den Stromverbräuchen werden der PUE und der CER dargestellt.

In Abbildung 34 sind die durchschnittlichen Werte für Stromverbrauch der IT (hellblau), für die Kühlung (rot) und den restliche Verbrauch (braun) dargestellt. Der dunkelrote Marker repräsentiert den CER und der blaue Marker den PUE Wert.

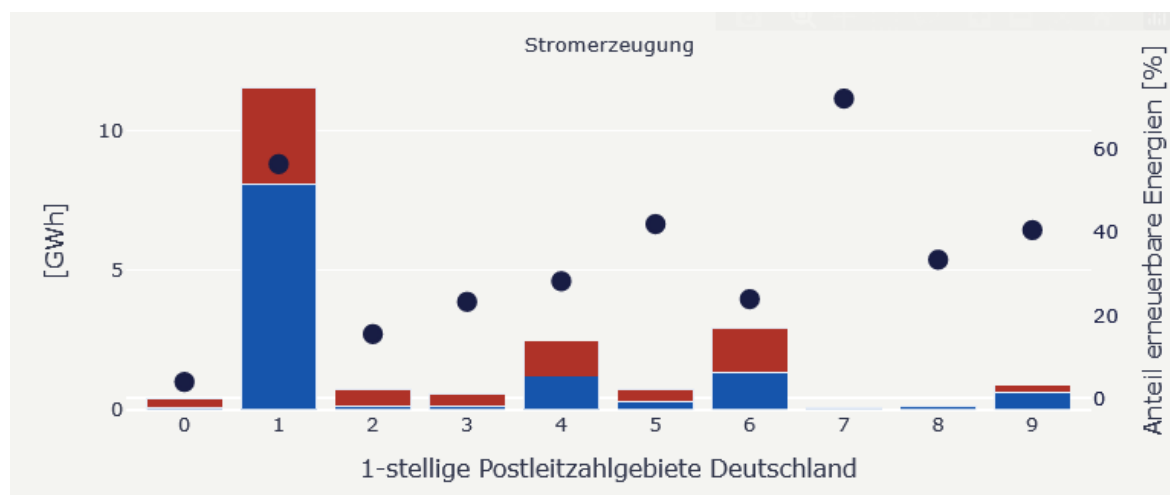
**Abbildung 34: Stromverbrauch aufgeteilt nach Informationstechnik, Kühlung und sonstige Verbräuche**



Quelle: PEERDC: Bildschirmfoto aus der entwickelten Webseite

Abbildung 35 zeigt die Zusammensetzung der Eigenstromerzeugung des RZ. Der Anteil der erneuerbaren Energien am Gesamtstromverbrauch wird zusätzlich in Prozent über einen Marker mit Bezug zur sekundären Y-Achse dargestellt. Die Eigenerzeugung aus erneuerbaren Energieträgern ist in blau dargestellt und die aus fossilen Energieträgern in dunkelrot. Der Anteil der erneuerbaren Energien ist als blauer Marker dargestellt.

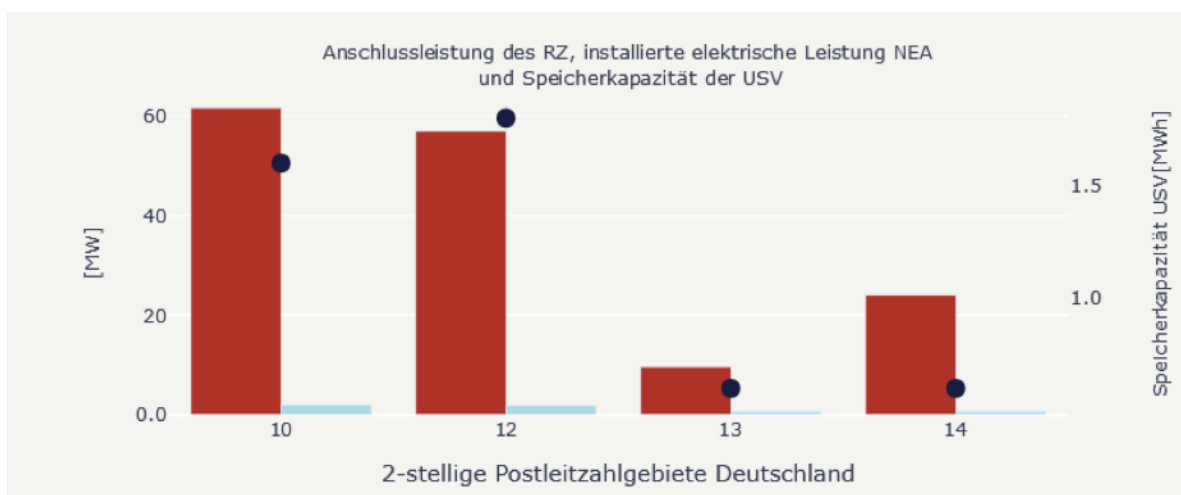
**Abbildung 35: Stromerzeugung des RZ**



Quelle: PEERDC: Bildschirmfoto aus der entwickelten Webseite

Abbildung 36 zeigt die kombinierte Visualisierung der Anschlussleistung des Rechenzentrums (dunkelrot), der installierten elektrischen Leistung der Netzersatzanlage (hellblau) und der Speicherkapazität der Unterbrechungsfreien Stromversorgung (blauer Marker). Dies gewährt eine ganzheitliche Analyse der Energieinfrastruktur.

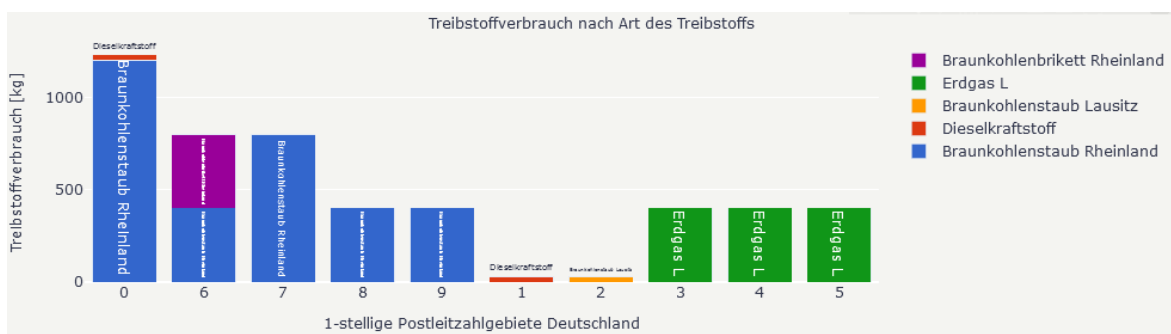
**Abbildung 36: Netzanschlussleistung des RZ, Leistung von NEA und USV**



Quelle: PEERDC: Bildschirmfoto aus der entwickelten Webseite

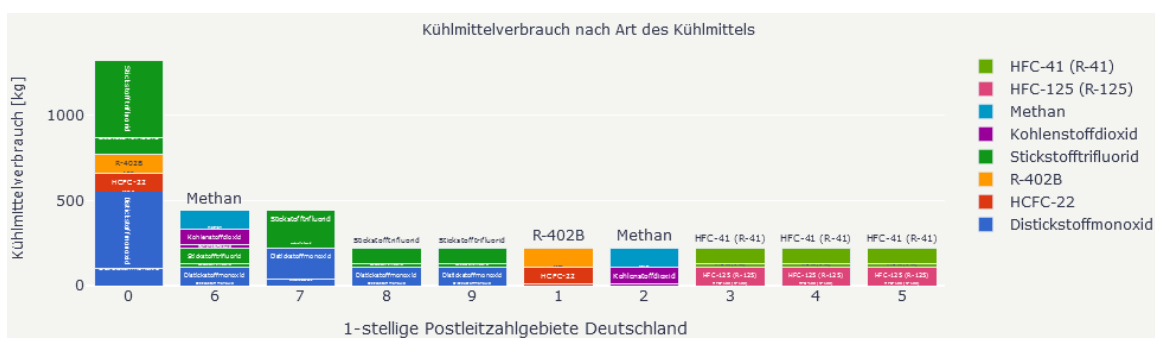
Die Treibstoffverbräuche, die Verbräuche der Kältemittel und der Wasserverbrauch werden nach Art der Treibstoffe, der Kältemittel und der Wasserqualität aufgeteilt dargestellt (Abbildung 37, Abbildung 38, Abbildung 39).

**Abbildung 37: Brenn- und Treibstoffverbrauch nach Art**



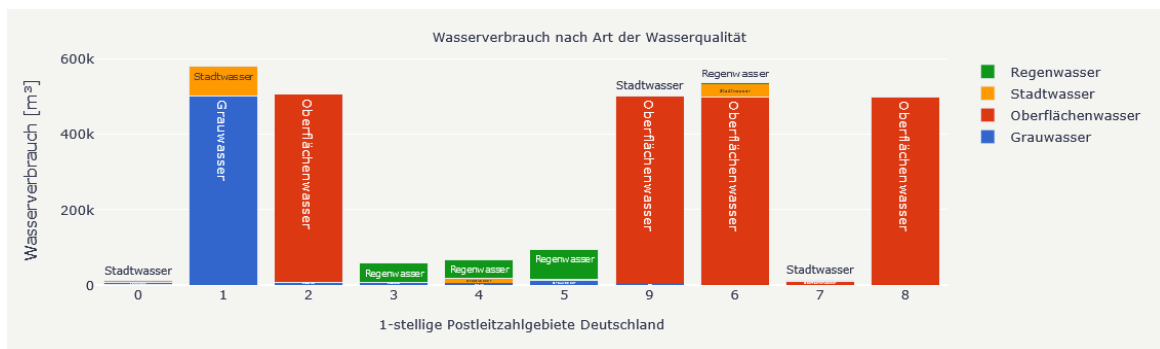
Quelle: PEERDC: Bildschirmfoto aus der entwickelten Webseite

**Abbildung 38: Kältemittelverbrauch nach Art des Kältemittels**



Quelle: PEERDC: Bildschirmfoto aus der entwickelten Webseite

**Abbildung 39: Wasserverbrauch nach Art der Wasserqualität**

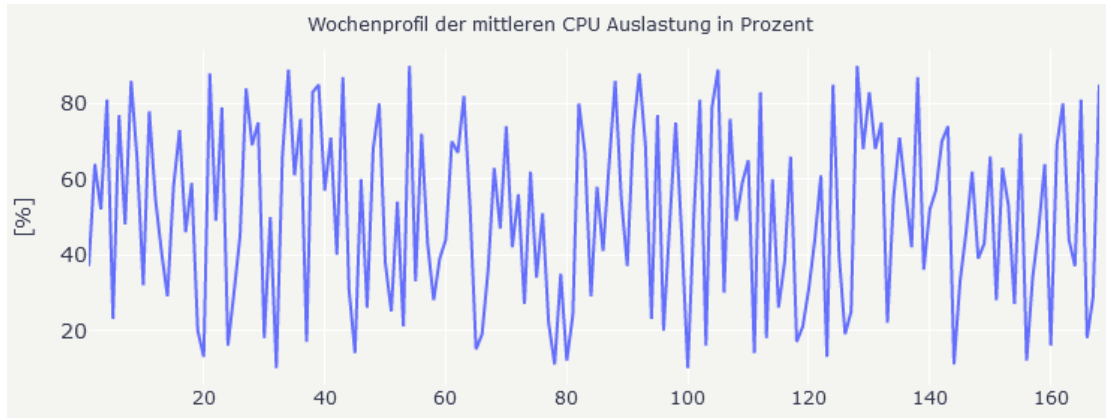


Quelle: PEERDC: Bildschirmfoto aus der entwickelten Webseite

### Darstellung IT

Der nichtöffentliche Teil zur Darstellung der Informationstechnik enthält ein durchschnittliches Wochenprofil der CPU-Auslastung in stündlicher Auflösung, aggregiert über alle Server. Dabei ergibt sich der Wert aus der mittleren CPU Last dieser Server von allen Montagen zwischen 0 Uhr und 1 Uhr im Berichtszeitraum, 1 Uhr bis 2 Uhr als zweite Zahl usw. bis zur 168. Zahl (Sonntag 23 bis 24 Uhr). Die Werte werden anschließend in einem Liniendiagramm (Abbildung 40) dargestellt. Die y-Achse gibt die Serverlast in Prozent an, während auf der x-Achse die Stunden durch Zahlen von 1 (Montag 0 – 1 Uhr) bis 168 (Sonntag 23 – 24 Uhr) angezeigt werden, Abbildung 40.

**Abbildung 40: Wochenprofil der mittleren CPU-Auslastung aller Server**



Quelle: PEERDC: Bildschirmfoto aus der entwickelten Webseite

### Detaildarstellung eines RZs

Die Darstellung eines einzelnen Rechenzentrums kann im nichtöffentlichen Teil genauer erfolgen. Die Karte zeigt hier den genauen Standort des Rechenzentrums anhand eines Punktes (Abbildung 41).

**Abbildung 41: Anzeige des Rechenzentrumsstandortes**



Quelle: PEERDC: Bildschirmfoto aus der entwickelten Webseite

Die dargestellte Tabelle (Abbildung 42) erweitert sich aus der Tabelle des öffentlichen Teils und enthält Werte zusätzliche Werte wie die installierte Speicherkapazität der USV und die installierte elektrische Leistung der Netzersatzanlage.

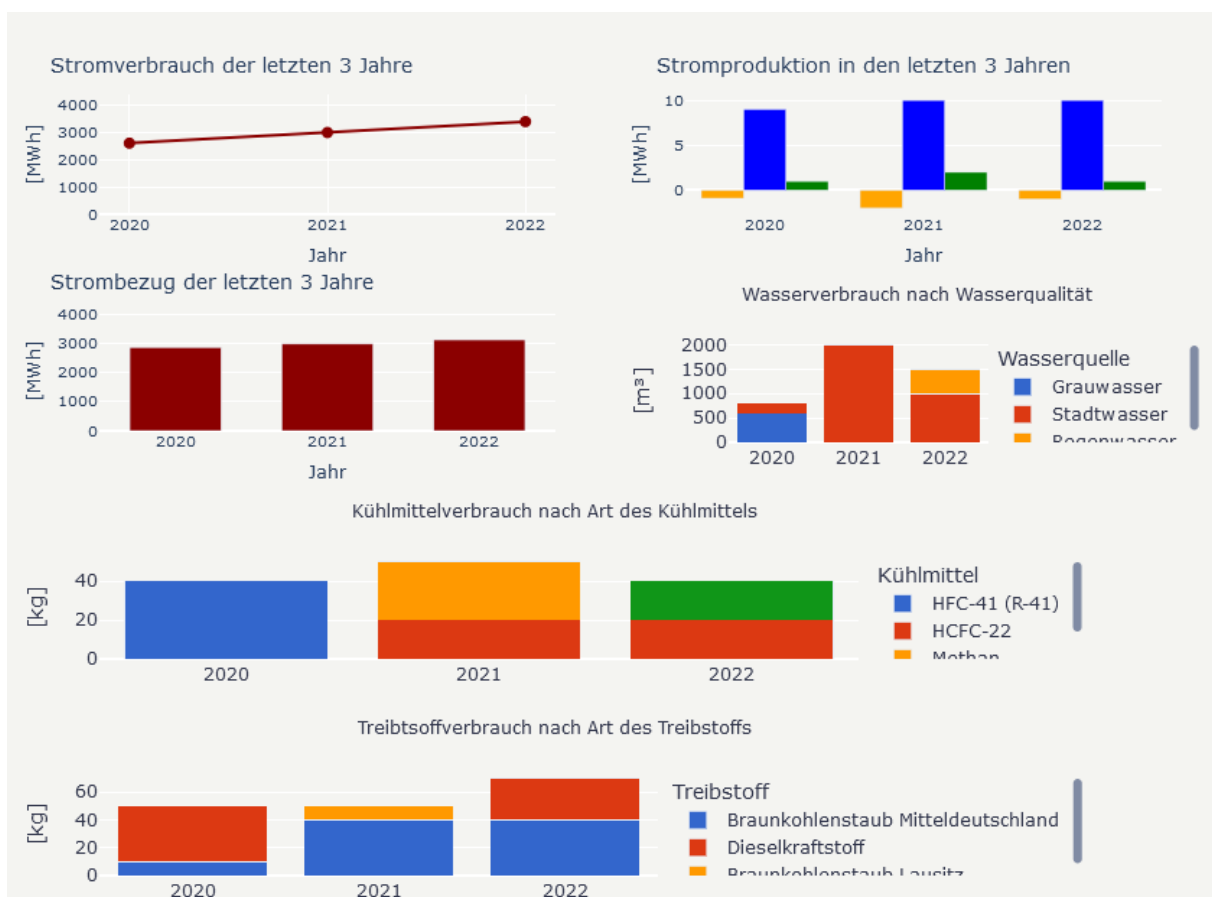
**Abbildung 42: Tabellarische Ausgabe von Informationen zum Rechenzentrum**

| Installierte Elektrische Speicherkapazität Der USV (kWh) | Installierte Elektrische Leistung Der Netzersatzanlage (kW) |
|----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| 200                                                      | 400                                                         |

Quelle: PEERDC: Bildschirmfoto aus der entwickelten Webseite

Die zu visualisierenden Verbrauchsdaten des individuellen Rechenzentrums stimmen mit denen im aggregierten Teil des nichtöffentlichen Registers überein und werden ähnlich dargestellt (Abbildung 43).

**Abbildung 43: Ansicht der Verbrauchsdaten eines einzelnen Rechenzentrums**



Quelle: PEERDC: Bildschirmfotos aus der entwickelten Webseite

Außerdem wird eine Liste der Informationstechnikbetreiber in dem angezeigten Rechenzentrum in Tabellenform ausgegeben (Abbildung 44).

**Abbildung 44: Liste der IT-Betreiber in einem Rechenzentrum**

| IT Betreiber in diesem Rechenzentrum |  |
|--------------------------------------|--|
| Informationstechnikbetreiber         |  |
| IT0                                  |  |
| IT1                                  |  |

Quelle: PEERDC: Bildschirmfoto aus der entwickelten Webseite

### Einzeldarstellung IT

Die Darstellung der Daten eines einzelnen Informationstechnik Betreibers kann im nichtöffentlichen Teil des Registers detaillierter erfolgen. So kann die Information angezeigt werden, in welchem Rechenzentrum der IT-Betreiber IT-Technik und betreibt, sodass die Verbräuche der IT Technik auch einzeln angegeben werden können.

Bei der Filterung nach Informationstechnik wird dem Benutzenden der IT-Betreiber und das jeweilige Rechenzentrum, in dem sich der IT-Betreiber eingemietet hat, angezeigt.

Nachdem der Benutzende den Link in der gewünschten Zeile geklickt hat, bekommt er die Daten zu der jeweiligen Informationstechnik und den Standort des Rechenzentrums angezeigt.

**Abbildung 45: Ansicht der Verbrauchsdaten eines IT-Betreibers**



Quelle: PEERDC: Bildschirmfoto aus der entwickelten Webseite

#### 4.1.6 Sicherheit und Datenschutz

Im Rahmen des Projekts wurde die Datenbankanwendung für die zukünftige Nutzung konzipiert. Entsprechend wurden auch Konzepte für die sichere und effiziente Nutzung der Datenbank entwickelt. Ein wesentlicher Baustein dazu ist die Definition entsprechender Rechtestrukturen für verschiedene Benutzende mit unterschiedlichen Zugriffsrechten:

##### ► Superuser (Admin):

Der Superuser wurde als Administrator des Systems erstellt und verfügt über uneingeschränkte Berechtigungen auf die gesamte Datenbankinstanz. Dieser Benutzer hat die Fähigkeit, die Datenbank zu verwalten und alle darin enthaltenen Objekte zu steuern. Es wird dringend empfohlen, dass dieser Account ausschließlich für die Datenbankverwaltung und -wartung genutzt wird. Zusätzlich sollte der Zugang zu diesem Superuser-Account auf mindestens zwei verantwortliche Personen beschränkt werden, um die Sicherheit weiter zu erhöhen.

##### ► Anwendungsnutzer:

Es wurden vier Anwendungsnutzer erstellt, die Zugriff auf die Anwendungsseite der Datenbank erhalten. Diese Nutzer haben die erforderlichen Berechtigungen, um das Energieeffizienzregister sowohl für die öffentliche als auch für die nichtöffentliche Nutzung reibungslos zu betreiben. Die Anwendungsnutzer haben SELECT-, INSERT-, UPDATE- und DELETE-Berechtigungen, um auf relevante Daten zuzugreifen und diese zu bearbeiten. Alle anderen Rechte wurden diesen Benutzern verweigert, um die Sicherheit und Integrität der Daten zu wahren.

##### ► Lesenutzer:

Ein weiterer Benutzer wurde erstellt, der ausschließlich lesenden Zugriff auf bestimmte Tabellen der Datenbank hat. Dieser Lesenutzer ist speziell für Mitarbeitende und Nutzende gedacht, die Berichte aus den Daten erstellen möchten. Ihnen werden ausschließlich Leseberechtigungen gewährt, um sicherzustellen, dass die Datenintegrität nicht gefährdet wird.

► Schreibnutzer:

Zusätzlich wurde ein Schreibnutzer erstellt, der lediglich INSERT-Rechte besitzt, jedoch keine Leserechte hat. Diese Einschränkung ermöglicht es bestimmten Benutzern, Daten in die Datenbank einzufügen, ohne auf die bereits gespeicherten Informationen zugreifen zu können. Diese Funktion ist nützlich, wenn beispielsweise temporäre Mitarbeiter für die Dateneingabe eingesetzt werden.

► Datenbanksplittung

Im Rahmen der Sicherheitsmaßnahmen wurde auch eine Aufteilung der Datenbank implementiert, um die Daten nach Sensibilität und Zugriffsanforderungen zu trennen. Dabei wurden besonders kritische und sensible Daten in separate Datenbankinstanzen ausgelagert, die nur für besonders autorisierte Benutzern zugänglich sind. Durch die Aufteilung der Datenbanken wird nicht nur die Sicherheit erhöht, sondern auch die Performance und Skalierbarkeit der Datenbankanwendung verbessert. So können allgemeine und häufig genutzte Daten unabhängig von den sensiblen Daten verarbeitet werden, was das Risiko von Datenlecks und unautorisierten Zugriffen minimiert. Diese Trennung sorgt zudem dafür, dass bei einem potenziellen Sicherheitsvorfall nicht alle Daten kompromittiert werden, sondern lediglich ein begrenzter, isolierter Teil betroffen ist.

► Sichere Authentifizierung und Passwortrichtlinien:

Im Rahmen der Sicherheitsmaßnahmen wurde eine robuste Authentifizierung implementiert, die auf Hashfunktionen und Doppelauthentifizierung basiert. Dadurch wird sichergestellt, dass nur autorisierte Benutzer Zugriff auf den Datenupload erhalten, während unautorisierte Zugriffsversuche effektiv verhindert werden. Bei der Registrierung eines neuen Benutzers wird das von ihm erstellte Passwort *gehasht*, wodurch es in der Datenbank nicht im Klartext gespeichert wird und somit nicht nachvollzogen werden kann.

Um sicherzustellen, dass nur legitime Benutzende sich registrieren können, wurde ein zusätzlicher Schritt der Autorisierung eingeführt. Nachdem sich ein Benutzender erfolgreich registriert hat, wird ein Aktivierungslink an die von ihm hinterlegte E-Mail-Adresse gesendet. Dieser Link dient dazu, den angelegten Account zu autorisieren. Erst nachdem der Benutzer diesen Aktivierungslink bestätigt hat, erhält er vollen Zugriff auf die Datenbankanwendung.

Durch die Kombination dieser Maßnahmen wird die Sicherheit der Datenbankanwendung erheblich gesteigert, da sie sowohl eine sichere Passwortverwaltung als auch eine verifizierte Registrierung der Benutzer gewährleistet. So können nur vertrauenswürdige Personen auf die Datenbank zugreifen, während gleichzeitig das Risiko unautorisierten Zugriffs minimiert wird.

► Schutz vor SQL-Injektion:

SQL-Injektionen können eine schwerwiegende Sicherheitslücke in einer Anwendung darstellen, bei der SQL-Codefragmente in die Eingabefelder eingeschleust werden, um unberechtigten Zugriff auf die darunterliegende Datenbank zu erlangen oder unerwünschte Aktionen auszuführen.

Eine regelmäßige Überprüfung der Anwendung auf Sicherheitslücken sowie die Verwendung aktueller Sicherheitsstandards und Best Practices sind ebenfalls unerlässlich, um eine sichere Umgebung zu gewährleisten.

Um SQL-Injektion-Angriffe zu verhindern, werden parametrisierte Abfragen oder gesicherte Prozeduren verwendet. Dabei werden alle Benutzereingaben in Datenbankabfragen als Parameter behandelt, anstatt sie direkt in die SQL-Anweisung einzufügen. Dies kommt besonders in der Registrierungsanwendung zum Tragen. Da hier der Nutzer seine Daten teilweise eigenständig eingibt.

► Verwendung von fest programmierten Abfragen:

SQL-Abfragen, die keine Benutzereingabe erfordern und direkt im Code definiert sind, gelten als sicher. Da diese Abfragen keine Möglichkeit bieten, dass ein Angreifender Schadcode durch Eingaben einschleust, erhöht ihre Verwendung die Sicherheit der Datenbank.

Durch diese umfassenden Zugriffssteuerungsmaßnahmen und Sicherheitsvorkehrungen kann sichergestellt werden, dass die Datenbank geschützt und effizient von den zukünftigen Nutzern verwendet werden kann, ohne dass personenbezogene Daten und sensible Informationen gefährdet sind.

#### **4.1.7 Verbesserungsvorschläge**

Um die Effizienz und Benutzerfreundlichkeit des Datenbankregisters weiter zu steigern, gibt es zudem weitere technische Ansätze und Strategien, die implementiert werden können. Diese Verbesserungen betreffen sowohl die Datenbankarchitektur als auch die Anwendungsebene und das Sicherheitsmanagement. Nachfolgend werden die wichtigsten Maßnahmen erläutert.

##### **Datenbankoptimierung**

► Indizierung

Durch das Hinzufügen geeigneter Indizes auf häufig abgefragte Spalten kann die Abfrageleistung erheblich verbessert werden. Indizes reduzieren die Anzahl der Datensätze, die für eine bestimmte Abfrage durchsucht werden müssen, und beschleunigen dadurch die Datenabfrage.

► Normalisierung

Eine weitere Möglichkeit zur Optimierung ist die Überprüfung und Verbesserung der Datenbanknormalisierung. Durch eine höhere Normalisierungsstufe können redundante Daten minimiert und die Konsistenz der Daten verbessert werden. Dies reduziert die Wahrscheinlichkeit von Anomalien und spart Speicherplatz.

► Partitionierung

Für sehr große Tabellen könnte die Implementierung einer Datenbankpartitionierung sinnvoll sein. Partitionierung teilt eine Tabelle in kleinere, logisch zusammenhängende Teile, die separat verwaltet und abgefragt werden können. Dies kann die Leistung und Verwaltung großer Datensätze deutlich verbessern.

► Abfrageoptimierung

Eine regelmäßige Überprüfung und Optimierung von SQL-Abfragen kann dazu beitragen, ineffiziente Abfragen zu identifizieren und zu verbessern. Tools zur Abfrageoptimierung und die Verwendung von Explain-Plan-Analysen können dabei helfen, die Leistung komplexer Abfragen zu erhöhen.

#### ► Datenverifikation

Um sicherzustellen, dass die Daten in der Visualisierung verlässlich sind, könnte ein zusätzliches Verifikationsfeld in die Datenbank eingeführt werden. Dieses Feld würde anzeigen, ob die Dateneinträge von einem Moderator verifiziert wurden. Erst wenn dieses Verifikationsfeld den Status *true* aufweist, werden die Daten in die Visualisierung übernommen. Dies schafft eine zusätzliche Sicherheitsebene und gewährleistet, dass nur geprüfte und korrekte Daten für die Nutzenden sichtbar sind.

#### ► API-Integration

Die Entwicklung und Bereitstellung von Application Programming Interfaces (API) kann die Integration des Datenbankregisters mit anderen Systemen und Anwendungen erleichtern. Dies ermöglicht eine nahtlose Datenübertragung und -synchronisation zwischen verschiedenen Plattformen und erhöht die Interoperabilität des Systems.

### Verbesserte Sicherheitsmaßnahmen

#### ► Datenverschlüsselung

Die Verschlüsselung von sensiblen Daten sowohl im Ruhezustand als auch während der Übertragung bietet einen zusätzlichen Schutz vor unbefugtem Zugriff. Dies kann durch die Verwendung von Verschlüsselungsprotokollen wie TLS/SSL für die Datenübertragung und durch Verschlüsselungstechniken wie AES für gespeicherte Daten erreicht werden.

#### ► Sicherheitsprüfungen

Um potenzielle Schwachstellen in der Datenbank und der Anwendung zu identifizieren können regelmäßige Sicherheitsprüfungen durchgeführt werden. Sicherheitslücken können so frühzeitig erkannt und behoben werden, bevor sie durch Dritte ausgenutzt werden können.

#### ► Zwei-Faktor-Authentifizierung

Um die Sicherheit der Registrierung im Register zu erhöhen, könnten zusätzliche Sicherheitsmechanismen implementiert werden. Beispielsweise könnte nach der Online-Registrierung ein Aktivierungscode per Post oder Telefon an den Benutzer gesendet werden. Dieser Code dient zur Bestätigung der Identität des Benutzers und gewährleistet, dass nur legitime Personen Zugriff auf das System erhalten.

#### ► Automatische Benachrichtigungen

Darüber hinaus könnte nach erfolgreicher Verifizierung eine automatische E-Mail an den Benutzer gesendet werden, die wichtige Informationen über den Account, Datenschutzbestimmungen und Sicherheitshinweise enthält.

#### ► Automatisierung Wartungsaufgaben

Durch die Automatisierung regelmäßiger Wartungsaufgaben wie Backups, Datenbankoptimierungen und Sicherheitsupdates kann die Zuverlässigkeit des Systems erhöht und der administrative Aufwand reduziert werden. Automatisierte Skripte und Tools können dabei helfen, diese Aufgaben effizient zu erledigen.

## 4.2 Konzept für eine weitere Nutzung der Daten

Innerhalb des Forschungsvorhabens konnten nicht im ausreichenden Maße Daten bei RZ und IT Betreibern gesammelt werden, um verlässliche Auswertungen durchzuführen zu können (Kapitel 4.3). Der Erhebungsbogen und das Projekt wurden im Rahmen der Begleitkreistreffen und einer Vielzahl weiterer Veranstaltungen vorgestellt. Des Weiteren wurde er über die Projekt-homepage ([www.peer-dc.de](http://www.peer-dc.de)) beworben und bereitgestellt. Die Anzahl der Rückläufer blieb jedoch unter den Erwartungen, sodass nur wenige Daten von RZ- und IT Betreibern in die Datenbank aufgenommen werden konnten.

Während der Laufzeit des Forschungsvorhabens wurde zudem das Gesetzes zur Steigerung der Energieeffizienz (EnEfG) am 13. November 2023 vom Bundestag beschlossen (Kapitel 2.3). Dieses Gesetz verpflichtet Rechenzentren ab einer nichtredundante Nennanschlussleistung von 300 kW relevante Daten bspw. zum Energieverbrauch, Effizienzkennzahlen und Kältemitelesatz jährlich an das Bundeswirtschaftsministerium zu berichten (Kapitel 2.3). Damit dürfte zukünftig die geringe Bereitschaft zur Bereitstellung von Daten keine Barriere darstellen.

Im Rahmen des Forschungsvorhabens erfolgt die Beschreibung möglicher sinnvoller Auswertungen, die mit den Daten aus dem Forschungsprojekt gemacht werden könnten. Da im Rahmen des Gesetzgebungsverfahrens nicht alle im Rahmen des Forschungsprojektes als relevant gehaltenen Datenpunkte aufgenommen wurden, werden auf Basis der gesetzlichen Vorgaben nicht alle hier aufgeführten Auswertungen durchgeführt werden können.

Die beschriebenen Workflows und Berechnungsansätze wurden in die SQL-Datenbank integriert. Eine genaue Beschreibung der Datenbank findet sich im Anhang E. Diese Analysen können zukünftig durchgeführt werden, sobald ausreichend Daten vorliegen. Zum aktuellen Zeitpunkt sind umfassende Analysen und Visualisierungen aufgrund der unzureichenden Datengrundlage jedoch nicht zielführend.

### Daten des Forschungsvorhabens PEERDC

In bestimmten RZ-Modellen, wie z.B. Co-Location RZ, hat der Betreiber oft keinen Einblick in die Informationstechnik. Daher wurde bei der Datenerhebung im Forschungsvorhaben eine Trennung zwischen RZ-Infrastruktur und IT vorgenommen (Kapitel 3.2). Um die Effizienz der IT zu verbessern, ist es wichtig, diese Informationslücke sichtbar zu machen.

Die Daten, die erhoben werden sollen, berücksichtigen deshalb detaillierter und spezifischer hinsichtlich der Energieeffizienz der IT (Kapitel 3.3.1). Diese umfassen grundlegende Informationen über die IT-Betreiber und die Kontaktdaten der Ansprechpartner, die für die Dateneintragung verantwortlich sind, sowie Daten zur jährlichen Leistung. Darüber hinaus werden die Anzahl der vorhandenen Racks, die Fläche des genutzten oder gebuchten Whitespaces und die Anschlussleistung verschiedener IT-Geräte erfasst. Zudem werden umweltbezogene Leistungskennzahlen errechnet, die die Effizienz und Nachhaltigkeit des IT-Betriebs widerspiegeln. Diese Daten bieten einen detaillierten Einblick über die Leistung und Effizienz des IT-Betriebs innerhalb des Rechenzentrums und helfen dabei, Verbesserungspotenziale zu identifizieren und den Betrieb zu optimieren.

#### 4.2.1 Datenanalysen mithilfe der Registerapplikation von PEERDC

##### Untersuchung der Leistungsdichte und Energieeffizienz:

- Fragestellung: Wie hoch ist die Leistungsdichte in kW pro Schrank oder Quadratmeter Whitespace in verschiedenen RZ? Wie korreliert diese mit der Energieeffizienz?
- Ansatz: Die Leistungsdichte in kW pro Schrank oder Quadratmeter Whitespace wird als wertvolle Kennzahl zur Bewertung der Energieeffizienz herangezogen. Umfangreiche statistische Analysen, wie die Berechnung der Korrelation der Leistungsdichte mit verschiedenen Energieeffizienzkennzahlen wie PUE, WUE, ERF und CER, werden durchgeführt. Diese Analysen ermöglichen es festzustellen, ob und wie stark die Leistungsdichte mit der Energieeffizienz eines Rechenzentrums zusammenhängt. SQL-Abfragen können verwendet werden, um den Korrelationskoeffizienten zwischen Leistungsdichte und den Energieeffizienzkennzahlen zu berechnen. Diese Informationen sind entscheidend für die Entwicklung gezielter Maßnahmen zur Optimierung der Energieeffizienz in Rechenzentren.

##### Vergleich zwischen theoretischem und tatsächlichem CER

- Fragestellung: Wie verhalten sich installierte Nennkälteleistung und installierte Anschlussleistung der Kältemaschinen zur Berechnung des theoretisch erreichbaren Wertes für die Effizienz der Kühlung im Vergleich zu den tatsächlich gemessenen Werten.
- Ansatz: Zu den zu untersuchenden Parametern gehören die installierte Nennkälteleistung aller Kältemaschinen, die installierte elektrische Anschlussleistung aller Kältemaschinen und der tatsächliche Stromverbrauch der IT und der Kühlung. Die theoretische Effizienz wird als Verhältnis der Nennkälteleistung zur elektrischen Anschlussleistung berechnet. Der tatsächliche CER wird hingegen auf Basis des gemessenen Stromverbrauchs ermittelt, wobei der Gesamtstromverbrauch (inklusive IT und Kühlung) ins Verhältnis zum reinen Stromverbrauch der Kühlung gesetzt wird. Durch den Vergleich der theoretischen und tatsächlichen CER-Werte wird aufgezeigt, wie gut die tatsächliche Leistung der Kältemaschinen mit der erwarteten Effizienz übereinstimmt. Die Abweichungen zwischen diesen Werten helfen dabei, mögliche Ineffizienzen oder Betriebsprobleme zu identifizieren. Die SQL-Anweisungen und Berechnungsmethoden sind in der Datenbank integriert, um eine kontinuierliche und automatisierte Berechnung sowie regelmäßige Aktualisierungen der Effizienzkennzahlen zu gewährleisten.

##### Einfluss des Serveralters auf die Effizienz

- Fragestellung: Wie beeinflusst das durchschnittliche Jahr der Erstinbetriebnahme der Server (Alter der Server) die Effizienz der IT und des RZ?
- Ansatz: Mit den aus dem Erhebungsbogen vorhandenen Daten kann mithilfe des Wochenprofils und dem Energieverbrauch der Server ein durchschnittlicher Server Idle Coefficient berechnet werden. In der Datenbank wurden SQL-Anweisungen integriert, die Muster im Hinblick auf das Erstinbetriebnahme Jahr der Server und der Effizienz analysieren.

Die folgenden Analysen können auch mit den Daten, die auf Basis des EnEfG (vgl. Kapitel 2.3) erhoben werden, durchgeführt werden.

##### Korrelationsanalyse zwischen PUE und Betriebsparametern

- Fragestellung: Welche Betriebsparameter beeinflussen den PUE eines Rechenzentrums am stärksten?

- ▶ **Ansatz:** Zu den untersuchten Parametern gehören: Gesamtstromverbrauch, Stromverbrauch IT, Anzahl installierter Racks und die Fläche des genutzten Whitespace. Eine Korrelationsanalyse wird durchgeführt, um die Beziehung zwischen PUE und verschiedenen Betriebsparametern zu bestimmen. Zu den untersuchten Parametern gehören Gesamtstromverbrauch, Stromverbrauch der IT, Anzahl der installierten Racks und Fläche des genutzten Whitespaces. Diese Analyse hilft, potenzielle Effizienzmaßnahmen zu identifizieren, indem sie aufzeigt, welche Parameteränderungen mit Verbesserungen im PUE korrelieren. Die SQL-Anweisungen und Berechnungsmethoden wurden in die Datenbank integriert, sodass kontinuierliche und automatisierte Berechnungen sowie Abfragen durchgeführt werden können.

#### **Einfluss von Effizienzmaßnahmen auf den PUE und den Gesamtstromverbrauch**

- ▶ **Fragestellung:** Wie beeinflussen Effizienzmaßnahmen den PUE und den Gesamtstromverbrauch des RZ?
- ▶ **Ansatz:** Eine systematische Analyse der verfügbaren Daten wird durchgeführt, um die Auswirkungen von Effizienzmaßnahmen zu untersuchen. Da keine spezifischen Effizienzmaßnahmen direkt aus den gelieferten Jahresdaten abgeleitet werden können, wird ein methodischer Ansatz verfolgt, um indirekt Rückschlüsse zu ziehen.
  - **Langzeitanalyse:** Historische Daten über PUE und Gesamtstromverbrauch werden gesammelt und analysiert, um langfristige Trends und Muster zu identifizieren. Diese Analyse ermöglicht es, signifikante Änderungen im Zeitverlauf zu erkennen, die auf implementierte Effizienzmaßnahmen hinweisen könnten.
  - **Benchmarking:** Durch den Vergleich des PUE und Gesamtstromverbrauchs mit Daten von anderen Rechenzentren kann die Effizienz des eigenen Betriebs der Gebäudetechnik bewertet werden. Dieser Vergleich ermöglicht es, Best Practices und Effizienzmaßnahmen von effizienteren Rechenzentren zu identifizieren und für den eigenen Betrieb zu adaptieren.

#### **Zuwachs an Rechenzentren Kapazitäten**

- ▶ **Fragestellung:** Wie entwickelt sich die Anzahl, Größe und Betreiber typ der RZ in bestimmten PLZ-Regionen?
- ▶ **Ansatz:** Durch die Analyse von Daten über die Anzahl der Rechenzentren in verschiedenen PLZ-Regionen kann der Zuwachs an Rechenzentren verfolgt werden. Dies ermöglicht es, Trends und Muster zu identifizieren und Annahmen für die zukünftige Entwicklung abzuleiten. Die Daten können auch dazu verwendet werden, den zukünftigen Bedarf an Energie und Ressourcen in diesen Regionen zu bestimmen.

#### **Hochrechnung des Energie- und Ressourcenbedarfs**

- ▶ **Fragestellung:** Wie entwickelt sich der Energie- und Ressourcenbedarf von RZ zukünftig?
- ▶ **Ansatz:** Durch die jährliche Erfassung neuer Rechenzentren und deren Nennanschlussleistung können das Wachstum verfolgt und Annahmen für die zukünftige Entwicklung abgeleitet werden. Die erfassten Daten ermöglichen eine Prognose des Ressourcenverbrauchs für die kommenden Jahre mittels linearer Regression. Die Prognose erfolgt auf der Ebene der 5-stelligen Postleitzahlen und kann insbesondere von Städten und Gemeinden genutzt werden, um den Energiebedarf und die Abwärmepotentiale von Rechenzentren abzuschätzen und Maßnahmen zur Energieeffizienz und Ressourcennutzung zu planen.

## Wärmebedarfsplanung

- Fragestellung: Wie kann die Abwärme von Rechenzentren effizient genutzt werden?
- Ansatz: Durch die Integration einer Wärmebedarfskarte kann der Wärmebedarf jeder Region genau erfasst und mit der Abwärmemenge der entsprechenden Rechenzentren verglichen werden. Dies ermöglicht die Identifizierung potenzieller Optionen zur Wärmerückgewinnung und -nutzung. Die Verknüpfung der beiden Variablen hilft Regionen mit hohem Potenzial zu identifizieren. Ein vielversprechendes Projekt in diesem Zusammenhang ist das im Rahmen des Forschungsprojektes Bytes2Heat (<https://bytes2heat.de/tools/matching-tool>) entwickelte Matching Tool. Ansätze dieses Tools könnten in das Register übernommen werden, um die Effizienz und Nachhaltigkeit der Ressourcennutzung weiter zu verbessern.

Diese Vorgehensweisen sind flexibel und können im Laufe der Zeit erweitert und angepasst werden, um neue Erkenntnisse und Entwicklungen zu integrieren. Es ist wichtig zu betonen, dass nicht alle potenziellen Aspekte und Faktoren von Beginn an vollständig erfasst werden können. Durch kontinuierliche Datenanalyse und Integration neuer Erkenntnisse in die Datenbank lassen sich immer umfassendere und genauere Bewertungen der Energieeffizienz und Nachhaltigkeit von Rechenzentren umsetzen.

## 4.3 Qualitätssicherung in der Praxis

Der Markt der Rechenzentren wird von den Anforderungen an Sicherheit, Verfügbarkeit, Erweiterbarkeit und Energieeffizienz geprägt. Diese Faktoren beeinflussen nicht nur Geschäftsmodelle und Kundenbeziehungen, sondern auch die Bereitschaft der Betreiber, relevante Daten zu liefern. Im Rahmen des Projektes wurde untersucht, wie diese Anforderungen und die daraus resultierenden Herausforderungen die Datenerhebung und -analyse in Rechenzentren beeinflussen.

Der Markt der Rechenzentren ist im Wesentlichen geprägt von den Anforderungen:

- Sicherheit (KRITIS, Einbruch, Terror)
- Verfügbarkeit (Ausfallsicherheit)
- Erweiterbarkeit (Skalierbarkeit räumlich und technisch)

Insbesondere die ersten drei Kriterien beeinflussen Geschäftsmodelle und die Kundenbeziehung, da es sich um systemrelevante Daten handelt. Das ist ein wesentlicher Grund, warum die Bereitschaft der Betreiber Daten aus den eigenen Rechenzentren bereitzustellen gering war.

Während Betreiber mittelgroßer Unternehmen mit selbstgenutzten Rechenzentren (Enterprise-RZ) eher bereit waren Informationen zu kommunizieren, steuerten insbesondere Co-Location Anbieter mit Rechenzentren im MW-Bereich nur wenige Daten bei.

Entsprechend dem bereits in Kapitel 1.2 beschriebenen großen Wachstum und der damit verbundenen Entwicklungsdynamik haben Rechenzentren Lebenszyklen von 8-10 Jahren, in denen die Technologien für den Betrieb der IT und auch der Infrastruktur entweder ausgetauscht, zumindest aber erweitert bzw. ergänzt werden müssen.

Die Ergebnisse des Forschungsvorhabens MERU – Ganzheitliches Management von Energie- und Ressourceneffizienz in Unternehmen, (Öko-Institut e.V.) - verdeutlichen, dass Effizienzmaßnahmen sowohl in Bezug auf die infrastrukturelle Versorgung mit Strom und Kälte als auch die IT

diesen Trend zu weiter steigendem Energiebedarf weder stoppen erst recht nicht umkehren können. Im Gegenteil: Vorsorgende Reserven und Überschätzungen des zukünftigen Bedarfs führen oftmals zu Überdimensionierungen und dem Betrieb der Anlagen und Systeme im ineffizienten Teillastbereich mit schlechten energetischen Kenngrößen und konterkarieren die Wirksamkeit energieeffizienzsteigernder Maßnahmen.

Hohe Verfügbarkeiten entsprechend den Klassen VK 3 und VK 4 nach DIN EN 50600 erfordern zudem redundante Techniken entsprechend N+1 oder 2 N Strukturen. Diese allein verursachen nahezu zwangsläufig energieintensive Teillastbetriebe und Stand-By Verlusten. Kommen noch die oben erwähnten zu hohen Bedarfsangaben der Nutzenden hinzu, die wiederum geringe Auslastungen der IT-Komponenten bedingen, addieren sich diese Faktoren und verursachen oftmals einen sehr ineffizienten Betrieb des Gesamtsystems. Unter realen Betriebsbedingungen gemessenen PUE-Messwerte größer 2 in teilausgelasteten Rechenzentren, die im Auslegungsfall einen PUE von 1,3 hätten, sind keine Seltenheit.

Alle diese Faktoren unterstreichen die Notwendigkeit eine Übersicht über die aktuelle und zukünftige Bedarfsstruktur und das Abwärmepotential von Rechenzentren und derer Energieeffizienz zu gewinnen. Dies hilft Energieversorgern bei der Infrastrukturplanung, ermöglicht Nutzenden von Rechenzentren deren Effizienz und Nachhaltigkeit zu beurteilen und den Gesetzgeber die Anforderungen an die Betreibenden nachsteuern zu können.

Deshalb war es wichtig, die Datenerhebung inhaltlich als auch von ihrem Umfang in enger Zusammenarbeit unter Mitwirkung möglichst unterschiedlichster Betreibenden, Nutzenden und Akteuren zu entwickeln.

#### **4.3.1 Akzeptanz und Hemmnisse**

Das Interesse der IT-Branche am Thema Effizienzregister für Rechenzentren war insgesamt sehr groß. Die Stakeholder wurden kontinuierlich über den Projektstatus informiert. Die Bearbeitung erfolgte zudem in enger Zusammenarbeit und Abstimmung mit dem Auftraggeber. Neben themenspezifischen Jour Fixe Terminen gab es größere Abstimmungsrunden zwischen dem Auftraggeber und allen Projektakteuren:

- ▶ Kickoffmeeting am 13.10.2021
- ▶ Begleitkreistreffen am 08.02.2022
- ▶ Begleitkreistreffen am 01.07.2022
- ▶ Begleitkreistreffen am 05.12.2022

Darüber hinaus fanden 2 Workshops mit jeweils ca. 30 Teilnehmern statt, in denen der jeweilige Projektstand und das weitere Vorgehen mit Vertretern der RZ-Branche und Verbänden diskutiert wurde. Die Ergebnisse flossen unmittelbar in die weitere Bearbeitung des Forschungsvorhabens ein.

- ▶ Workshop 1: Universität Stuttgart am 26.09.2022
- ▶ Workshop 2: Eco Verband mit DCG am 08.12.2022

Bedingt auch durch die aktuelle arbeitsintensive Marktsituation und ggf. durch den laufenden Gesetzgebungsprozesse zum Energieeffizienzgesetz sank am Ende die Bereitschaft zur aktiven

Mitarbeit und zur Lieferung von Daten. Trotz der intensiv diskutierten und abgestimmten Versionen des Erhebungsbogens und der Kenngrößen erfolgte die Daten Bereitstellung nur zögerlich, obwohl zugesichert wurde, dass die Daten nicht öffentlich zugänglich gemacht und vertraulich behandelt werden.

Im Rahmen des letzten Begleitkreistreffens ließen die dort gezeigten Ergebnisse der Erhebungsbogenauswertung bereits erkennen, dass eine breite freiwillige Bereitschaft zur Angabe von Daten bei den RZ-Anbietern nicht vorhanden war. Dies betraf insbesondere Angaben aus dem Bereich IT-Architektur. Von einer Ausnahme abgesehen waren große RZ-Betreiber auch anonym nicht bereit, Daten zur Verfügung zu stellen. Letztendlich wurden aber 20 Unternehmen aus dem Bereich Enterprise RZ und Co-Location mit Rechenzentren im mittleren IT-Leistungsbereich für eine intensivere Mitarbeit und Datenbereitstellung als Diskussionspartner gewonnen.

Diese Praxispartner lieferten wichtige Hinweise für die Gestaltung und Inhalte der Erhebungsbögen und leisteten wichtigen Input im Rahmen der verschiedenen Workshops.

Im Projektverlauf wurde so auf Grund der Anregungen und Diskussionsergebnisse sukzessive das Abfragevolumen in den Erhebungsbögen auf ein akzeptiertes Maß reduziert und konzentriert. Teile der Antworten wurden als *öffentlich* oder *vertraulich* deklariert. Auf dieser Basis entstand die finale Version des Erhebungsbogens (Version vom 23.10. 2022). Für die Durchführung des Datentransfers, also die Art der Übertragung der Daten vom Bogen über JSON Files bis zur Datenaufbereitung und Visualisierung, wurde eine Installation zusätzlicher Software auf den Rechnern der Unternehmen kategorisch abgelehnt. Diese muss unabhängig ggf. auch händisch erfolgen. Am Ende haben insgesamt sieben Unternehmen vollständige Datensätze übermittelt. Dieser Input erfolgte projektbegleitend in unterschiedlichen Entwicklungsstufen des Erhebungsbogens und wurde in die finale Version des Erhebungsbogens übertragen.

Auch wenn zuletzt Bedenken in Bezug auf Umfang und Vertraulichkeit der Daten weitestgehend berücksichtigt wurden und viele Angaben vom öffentlichen in den nicht öffentlichen Teil des Registers verschoben wurden, konnten als hemmend für die Akzeptanz beispielhaft folgende Punkte identifiziert werden.

### **Gefährdung der Geschäftsmodelle**

Fragen nach Ausbauplänen und Auslastungsgrad ihrer Rechenzentren empfanden Teilnehmer als Gefahr. Ausbaupläne könnten Hinweise auf die jeweilige Firmenstrategie geben; Aussagen zur Auslastung eventuell negativen Einfluss auf den Mietpreis bei Co-Location RZ haben. Eine geringe Auslastung wird als preisreduzierend eingestuft. Entsprechende Fragen sind deshalb nicht mehr Bestandteil der Erhebung.

### **Sicherheit**

Angaben zum genauen Standort und der Verfügbarkeitsklasse werden als mögliche Sicherheitsrisiken durch die Betreibenden eingestuft. Dies betrifft insbesondere Rechenzentren, die Daten von KRITIS Unternehmen verarbeiten. Beide Informationen sind allerdings zwingend für den Aufbau eines Registers erforderlich und sind jetzt nur noch im vertraulichen Teil des Registers verfügbar.

### **Datenvielfalt**

Der hohe Genauigkeits- und Detaillierungsanspruch in den ersten Versionen der Erhebungsbögen z.B. nach genauer Anzahl einzelner technischen Anlagen, deren Hersteller und der Baujahre

wurde nach Diskussionen mit den Praxispartnern verlassen. Wurden zu Beginn in den Bögen z.B. noch für jede USV-Anlage oder Kältemaschinen die technischen Daten erhoben, findet sich in der Endversion in Bezug auf die infrastrukturelle Ausstattung nur noch eine summarische Leistungsabfrage. Diese bezieht sich auf die zum Zeitpunkt der Datenerfassung installierten Nennleistung. Damit konnte das Maß der erforderlichen Eingaben im Bereich der Infrastruktur deutlich reduziert werden.

Die führte zu einer deutlich steigenden Bereitschaft den Erfassungsbogen auszufüllen. Für den Bereich Infrastruktur wurden nach der Reduzierung der Abfragetiefe fast alle erforderlichen Daten geliefert. Als hemmend wurde aber weiter die erforderliche Informationsmenge im Bereich IT gesehen. Zwar wurde auch dieser Umfang reduziert, wie z.B. bei den Wochenkurven aller Server, für den jetzt die Werteangabe einer Referenzanlage bzw. einer repräsentativen Servergruppe ausreicht.

Erhalten blieben allerdings Abfragen nach der genauen Anzahl von physisch vorhandenen Servern und die getrennte Abfrage nach Leistungswerten von Servern, Storage und Netzwerk. Diese Angaben wurden, wenn überhaupt, nur sehr lückenhaft gemacht. Diese Abfragegenauigkeit sehen insbesondere Co-Location Anbieter, die mehrere tausend Racks an unterschiedliche Mieter mit unterschiedlichem Bedarf vermietet haben als nicht praxisgerecht an.

Oft gibt es bei Co-Location Rechenzentren Mietcluster, die nur eine clusterbezogenen IT-Strombedarfsangabe ermöglichen. Der Co-Locations Anbieter bietet in dem Fall seinen verschiedenen Mietern definierte Stromleistungen und Raumklimakonditionen an. Wie und in welchem Umfang der Mieter die Fläche letztendlich nutzt, ob er nur leeren Whitespace mietet und eigene Racks mitbringt oder leere Racks anmietet, bleibt ihm überlassen. Mietet der Kunde lediglich Whitespace oder leere Racks muss er in einem solchen Fall die entsprechenden intelligenten PDUs selber nachrüsten bzw. vom Co-Locations Anbieter nachrüsten lassen, damit er die erforderlichen Angaben machen kann. Vom Co-Locations Anbieter kommen nur die Angaben zum gesamten RZ mit den kumulierten Verbräuchen. Letztendlich konnte aber keiner der Partner alle gewünschten Angaben bereitstellen. Immerhin konnten auf Basis der Ergebnisse aus den Workshops nach und nach Bedenken in Bezug auf die praxisgerechte Gestaltung der Fragen und des Bearbeitungsaufwandes ausgeräumt werden.

### **Netzersatzanlage**

Im Gegensatz zu den ersten Versionen des Erfassungsbogens wird für die Netzanlagen (NEA) nur noch die insgesamt installierte Maschinenleistung unabhängig von der Anzahl der Maschinen abgefragt. Bei keinem der Praxispartner hat es bisher einen Stromausfall gegeben, der eine längeren Betrieb der vorhandenen NEA erfordert hätte. Demzufolge betragen die Laufzeiten der Anlagen typischerweise ca. 1 Stunde im Monat (Wartung) oder 12 Stunden jährlich. Gesetzlich ist die maximale Laufzeit meist auf 500 Stunden pro Jahr beschränkt. Durch den geringen Anteil der NEA am Gesamtenergieverbrauch von deutlich unter 1 % (Angaben der Partner 2 und 4) stellen viele Partner die Frage nach der Notwendigkeit für diesen Datenpunkt. Allerdings ist der Brennstoffverbrauch (im allgemeinen Diesel) relativ einfach ermittelbar und verursacht Emissionen am Standort, insofern stellt die Abfrage eigentlich kein Hemmnis dar.

### **Kältemittelnachfüllmengen**

Diese Angaben konnten im Allgemeinen nicht gemacht werden. In der Regel erfolgt nur selten ein Nachfüllen der Anlage. Lediglich bei einem der Partner war es möglich diese Mengen exemplarisch über einen Zeitraum von 4 Jahren zu ermitteln. Im Durchschnitt über alle Anlagen mussten normiert auf 100 kW Kälteleistung  $0,37 \text{ kg}_{\text{Kältemittel}}/(\text{a} \cdot 100 \text{ kW})$  jährlich nachgefüllt werden.

### **Wasserverbrauch**

Von den Partnern wurden lediglich indirekte Freikühlsysteme, die keinen Wasserbedarf haben, betrieben. Die Diskussion zeigte, dass adiabate Kühlsysteme vor dem Hintergrund der Wasserkosten und der Forderungen an die Wasserqualität in Zukunft die Ausnahme darstellen werden. Jedoch ist die Erfassung nicht aufwendig, und da Wasser eine immer wichtigere Ressource auch in vielen Regionen in Deutschland ist, sollte diese Information erhoben werden.

Die Aussagen basieren auf den Informationen der Rechenzentren, die sich intensiv am Projekt beteiligt haben. Dabei handelt es sich um 11 Unternehmen (vgl. Kapitel 4.3.2).

### **Datentransfer und Kenngrößen**

Beim Workshop „Datenerhebung“ am 26.9.2022 wurden interessierten RZ-Betreibern auch Softwarekonzepte für die automatisierte Datenerfassung und den automatisierten Informationstransfer vorgestellt. Eine Automatisierung der Datenströme mithilfe bereits am Markt existierender, offener RZ-Managementsoftware traf allerdings auf Widerstände. Zusätzliche und konkurrierende Software zu bestehenden Überwachungstools wurden abgelehnt, eine jährliche manuelle Eingabe in einer Weboberfläche dagegen als zumutbar bewertet. Die ermittelten Kenngrößen entsprechen der DIN EN 50600.

#### **4.3.2 Auswertung**

Für die Mitwirkung bei der Anwendung und dem Ausfüllen der Erfassungsbögen konnten im ersten Schritt 11 interessierte Unternehmen gewonnen werden. Ausgelöst durch den recht hohen Bearbeitungsaufwand blieben am Ende 6 Unternehmen übrig, die die Entwicklung des Erfassungsbogens und der Datenerhebung intensiver begleiteten. Der Projektpartner Data Center Group konnte zudem Daten aus den eigenen Rechenzentren beisteuern und detaillierte Werte für den Bereich IT-Auslastung einbringen. Insgesamt lagen am Ende die vollständigen Datensätze von sieben Rechenzentren mittlerer und kleiner Größe vor.

Die Abbildung 46 zeigt in einer Übersicht die durch die verschiedenen Praxispartner ermittelbaren bzw. bereitgestellten Informationen und die aus den Ergebnissen ableitbaren Kenngrößen.



### **Daten der RZ-Infrastruktur**

Basisdaten zur infrastrukturellen Ausstattung, wie z.B. Leistungen und Betriebsstoffe liegen vor. Diese Werte werden nicht immer aber sehr häufig angegeben. Selbst erzeugte Energien kommen bei den untersuchten Rechenzentren nicht zum Einsatz. Ein Wasserverbrauch für adiabate Kühlung besteht bei den untersuchten Rechenzentren nicht. Diese Technik wird wegen steigender Wasserpreise und hohen Qualitätsansprüchen bei den Praxispartnern gar nicht und ansonsten nur sehr selten eingesetzt. Der Brennstoffverbrauch für die NEA wird nur in 2 Fällen angegeben. Beide Male liegt er weit unter 0,1 % des Gesamtenergieverbrauches. Der Stromverbrauch für die Kälteerzeugung ist nicht Bestandteil des typischen Standard Monitorings. Dies führt dazu, dass der CER-Wert nicht ermittelt werden kann. Dies sollte bei Aufbau zukünftiger Monitoringkonzepte berücksichtigt werden.

### **Daten der IT**

Angaben zu Anzahl der Racks, IT-Anschlussleistung und White Space wurden durchweg bereitgestellt. Angaben zu den Teilanschlussleistungen von Server, Storage und Netzwerk konnte keiner der Teilnehmer liefern. Wochenauslastungskurven konnten in keinem Fall bereitgestellt werden. Zur Validierung wurden deshalb Daten aus eigenen Rechenzentren der Data Center Group genutzt.

### **Kennzahlen**

Aufgrund der Verbrauchsangaben für der RZ gesamt und IT gesamt kann der PUE-Wert meist ermittelt werden. Damit liegt eine wichtige Kenngröße vor. Die fehlende Technik im Bereich Eigenstromerzeugung, adiabate Kühlung und die nicht vorhandene Abwärmenutzung verhindert die Berechnung der Kennzahlen REF, WUE und ERF. Auch die Emissionen durch Kältemittel und Brennstoff können im Allgemeinen nicht ermittelt werden. Sobald diese Techniken genutzt werden, sind diese leicht zu ermitteln. Als kritisch erweist sich die nicht vorhandene Messung des Stromes für die Kälteerzeugung. Diese lässt keine Berechnung des CER zu. Hier sollten zukünftig entsprechende Messung vorgesehen werden.

#### **4.3.3 Zusammenfassung der Qualitätssicherung**

Die Bearbeitung zur Qualitätssicherung und praxismgerechter Ausgestaltung der Datenerfassung war durch eine große Diskrepanz zwischen mündlichen Unterstützungsäußerungen der RZ-Branche und tatsächlicher Bereitstellung von Daten geprägt.

Die Skepsis gegenüber dem Register und der Offenlegung energetischer Kenngrößen war bis zuletzt auch bei allen 3 großen deutschen Rechenzentrumsverbänden vorhanden. Mit Abschluss des Projektes liegt nun trotz aller Hemmnisse ein vollständig ausgearbeiteter Prototyp für eine Energieeffizienzregister vor, das den inhaltlichen Praxistest bestanden hat aber weiter Akzeptanzprobleme bei den Akteuren hat.

Erfreulicher war die Situation im Bereich der Basisinformation von Rechenzentren, zur Infrastruktur und zum Gesamtenergieverbrauch. Diese Daten wurden von etlichen beteiligten Unternehmen zur Verfügung gestellt.

In diesen Punkten ist eine Akzeptanz der Erfassungsdaten erkennbar. Unverzichtbar ist jedoch der Messpunkt Stromverbrauch der Kälteerzeugung in zukünftigen Monitoringsystemen. Hier muss im RZ-Bestand Messtechnik nachgerüstet werden.

Der PUE als Schlüsselgröße für die Energieperformance ist somit transparent abbildbar. Adiabate Kühlsysteme werden in abnehmenden Maßen genutzt, die Nutzung der Abwärme aktuell nicht oder in nur im geringen Umfang praktiziert. Angaben zum IT-Bereich, insbesondere zu den einzelnen IT-Komponenten und deren Auslastung, wird von keinem Praxispartner gemacht. Der Einsatz von Software zur Virtualisierung/Auslastung in Rechenzentren ist immer noch die Ausnahme. Die Option die abgefragten Daten bereitzustellen erfordert vielfach zusätzliche Investitionen in Messtechnik, die sowohl von RZ-Betreibern als auch IT Betreibern gescheut wird.

## 5 Machbarkeit eines EU-Bewertungssystems

Beauftragt vom UBA und unabhängig von der Überarbeitung der EED geht diese Studie in allen vorherigen Kapiteln von einem nationalen deutschen Kontext aus.

Im Folgenden wird dargestellt, welche Kontexte für eine europäisches Bewertungssystem zusätzlich relevant sind. Dies sind zum einen weitere Anforderungen an die Klassifizierung (siehe folgenden Abschnitt 5.1). Zum anderen werden Optionen dargestellt, die ganze Funktionalität eines Bewertungssystems inklusive Effizienzkennzeichnung einzelner RZ in einem europäischen gesetzlichen Rahmen zu verankern (siehe Abschnitt 5.2).

### 5.1 Weitere Anforderungen an die Klassifizierung

Eine weitere Anforderung zur Klassifizierung von RZ und deren Umweltindikatoren in einem breiteren Wirtschaftsraum als Deutschland ist die lokale Verfügbarkeit von Wasser, bzw. die Wasserknappheit der Region, die sich aus dem Standort des RZ ableiten lässt.

Zusätzlich zu den Kühlgradtagen, die die Effizienz der Kühlung beeinflussen, beeinflusst das Wasserdargebot die Relevanz des Wasserverbrauches des RZ für die Ökosysteme der Region.

#### 5.1.1 Wasserknappheit

In die Berechnung des Wasserdargebotes fließen der Zufluss aus dem Ausland sowie die Differenz von Niederschlag und Verdunstung von Boden und Pflanzen ein. Wasserstress besteht laut Vereinten Nationen, sobald mehr als ein Viertel der erneuerbaren Wasserressourcen genutzt wird. Die erneuerbaren Wasserressourcen umfassen in Deutschland 176 Mrd. m<sup>3</sup> bestimmt für die Periode 1991 -2020, wovon im Jahr 2019 11,4% genutzt wurden (Umweltbundesamt 2023).

Das World Ressource Institute definiert Wasserstress über den Indikator des Verhältnisses des jährlich genutzten Wassers zum jährlichen Wasserdargebot (Gassert et al. 2013):

<10% = low stress

10-20% = low-to-medium stress

20-40% = medium-to-high stress

40-80% = high stress

>80% = extremely high stress

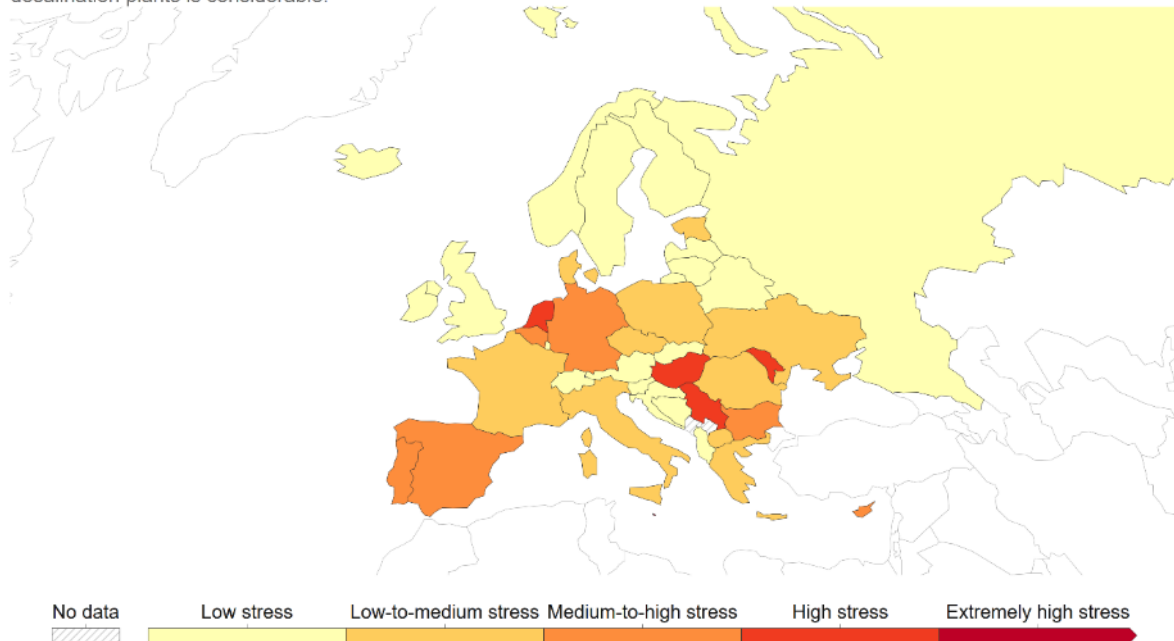
Abbildung 47 zeigt die Verfügbarkeit und den Stresslevel für Wasserressourcen in Europa.

## Abbildung 47: Wasserknappheit in Europa

### Freshwater withdrawals as a share of internal resources, 2017

Annual freshwater withdrawals refer to total water withdrawals from agriculture, industry and municipal/domestic uses. Withdrawals can exceed 100% of total renewable resources where extraction from nonrenewable aquifers or desalination plants is considerable.

Our World  
in Data



Source: Food and Agriculture Organization of the United Nations

OurWorldInData.org/water-use-stress • CC BY

Quelle: Ritchie und Roser (2018)

Eine feinere Granularität der Daten des Wasserstress als nationale Mittelwerte lag nicht vor, weshalb die Klassifizierung zum Wasserstress mithilfe der Abbildung 47 direkt aus dem nationalen Standort abgeleitet werden kann. Dieser Ansatz spiegelt nicht im ausreichenden Maß regionale und saisonale Unterschiede wider und sollte verfeinert werden, sobald europaweit Daten feinerer Granularität vorliegen.

Innerhalb der fünf Abstufungen von Wasserstress kann in Verbindung mit den zuvor definierten Kategorien von RZ (Kühlgradtage:  $\leq 30$ ,  $\leq 50$ ,  $\leq 100$ ,  $\leq 200$ ,  $> 200$ ; Größe nach IT-Anschlussleistung:  $\leq 5$  kW,  $\leq 50$  kW,  $\leq 100$  kW,  $\leq 500$  kW,  $\leq 1$  MW,  $\leq 20$  MW,  $> 20$  MW; Art der Konfiguration nach EU CoC: Enterprise (Operator), Co-Location provider, Managed service provider (MSP); Verfügbarkeitsklasse nach EN 50600-1: 1-4) jeweils der Wasserverbrauch und alle anderen Effizienzkennwerte vergleichbar gemacht werden.

### 5.1.2 Menge des radioaktiven Abfalls

Zwar sind RZ keine kerntechnischen Anlagen, die selbst radioaktiven Abfall produzieren, es ist jedoch möglich, dass in der Lieferkette zur Bereitstellung elektrischer Energie Strom aus Kernkraftwerken zum Einsatz kommt. Vom Uranabbau bis zur Endlagerung wirkt Kerntechnik auf Menschen und Umwelt ein und steht damit in mehreren Dimensionen den Nachhaltigkeitszielen der UN entgegen. Der Anteil an Kernenergie im Strommix des Energieversorgers kann als Indikator dafür genutzt werden und sollte in Prozent angegeben werden.

Nach dem Abschalten der letzten Atomkraftwerke in Deutschland im Frühjahr 2023 ist im Deutschen Strommix kein Kernkraftanteil mehr enthalten. Importierter Strom wird stets als neutral gewertet.

## 5.2 Europäische Regulierungsansätze

Nachfolgend wird geprüft, welche von den existierenden europäischen Regulierungsansätzen möglicherweise dazu geeignet sind, Effizienzinformationen von Rechenzentren abzufragen und eine öffentliche Kennzeichnung zu etablieren.

### 5.2.1 Richtlinie über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (2010/31/EU)

#### Übersicht

Diese Richtlinie stellt Anforderungen an die Berechnung der Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden, die Anwendung von Mindestanforderungen, nationale Pläne zur Verbesserung der Energieeffizienz, Erstellung eines Energieausweises, regelmäßige Inspektionen und unabhängige Kontrollsysteme für Ausweise über die Gesamtenergieeffizienz.

Die geänderte Richtlinie (Europäisches Parlament und Rat 2018) hat zum Ziel, die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden zu steigern, den Gebäudebestand zu verbessern und die mit dem Heizen verbundenen Treibhausgasemissionen zu senken. Dazu werden die Mitgliedstaaten u.a. verpflichtet, eine langfristige Renovierungsstrategie für Wohn- und Nichtwohngebäude zu erarbeiten, Inspektionen von Klimaanlage zu gewährleisten und der Kommission Bericht über den Fortschritt zu erstatten. Die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden wird entlang einer Skala von A bis G bewertet, ab 2030 dürfen alle neuen Gebäude keine Emissionen aus fossilen Brennstoffen mehr aufweisen und alle Nichtwohngebäude der Klasse G müssen Klasse E erreichen.

Mitgliedstaaten könnten beispielsweise dazu verpflichtet werden, eine Wärmestrategie zu erarbeiten, in der industrielle Abwärme und Abwärme aus Rechenzentren den Wärmeabnehmern zugeordnet und Bedarfe ermittelt werden.

Diese Verpflichtungen werden über die Landesgesetzgebung in Deutschland bspw. in Baden-Württemberg an die Kommunen weitergereicht. „Gewerbe- und Industriebetriebe sowie die öffentliche Hand sind verpflichtet, den Gemeinden Angaben über die Höhe ihres Endenergieverbrauchs [...] sowie der anfallenden Abwärme auf Anforderung zu übermitteln.“ (KlimaG BW 2023)

#### Anknüpfungspunkte für eine Effizienzkennzeichnung von RZ

Der Rahmen für die Berechnung der Gesamtenergieeffizienz adressiert verschiedene Gebäudearten, u.a. Bürogebäude, Gebäude des Groß- und Einzelhandels und sonstige Arten Energie verbrauchender Gebäude. Es wäre möglich, an dieser Stelle RZ explizit zu integrieren.

#### Mögliche Anpassungen

Ausstellung von Ausweisen (Artikel 19).

- (1) Die Mitgliedstaaten stellen sicher, dass ein Ausweis über die Gesamteffizienz ausgestellt wird für c) Rechenzentren ab einer Auslegungsleistung von 100 kW. Der Ausweis muss auf der Webseite des verantwortlichen Unternehmens für das RZ aufgeführt werden.

#### **Vorteile**

Es können ergänzend Mindestanforderungen für den Neubau gestellt werden. Die kommunale Planung kann zusätzlich Informationen über das Abwärmepotenzial erhalten.

#### **Nachteile**

Die Richtlinie adressiert eine Eigenschaft des Gebäudes und nicht den effizienten Betrieb von technischen Anlagen. Die Effizienz des IT-Betriebs auszuzeichnen, entspricht nicht der Intention dieser Richtlinie.

### **5.2.2 Ökodesign-Richtlinie (2009/125/EG)**

#### **Übersicht**

Diese Richtlinie legt ökologische Mindestanforderungen an Produkte für den Europäischen Markt für energieverbrauchsrelevante Produkte fest. „Dabei bezeichnet der Ausdruck „energieverbrauchsrelevantes Produkt“ einen Gegenstand, dessen Nutzung den Verbrauch von Energie in irgendeiner Weise beeinflusst und der in Verkehr gebracht und/oder in Betrieb genommen wird“ (Europäisches Parlament und Rat 2009).

#### **Anknüpfungspunkte**

Die Definition eines energieverbrauchsrelevanten Produktes lässt möglicherweise eine Ausweitung auf RZ zu. Für eine Kennzeichnung der Energieeffizienz des Produktes ist die Verordnung zur Energieverbrauchskennzeichnung zuständig.

#### **Mögliche Anpassungen**

RZ müssen als energieverbrauchsrelevante Produkte klassifiziert und in den Geltungsbereich aufgenommen werden. Alternativ könnten digitale Dienstleistungen, die in RZ erbracht werden, in den Geltungsbereich aufgenommen werden.

#### **Vorteile**

die Ökodesign-Richtlinie erlaubt, allgemeingültige Produkthanforderungen an die Umweltleistung des Produktes im Wege einer Verordnung zu definieren.

#### **Nachteile**

Die Richtlinie reguliert Eigenschaften von Produkten und nicht den effizienten Betrieb von technischen Anlagen. Die Effizienz des IT-Betriebs auszuzeichnen, entspricht nicht der Intention dieser Richtlinie, da sie die Energieeffizienz zum Zeitpunkt des Inverkehrbringens in den Markt betrachtet. Bei Rechenzentren könnte also lediglich der Planungswert, beispielsweise design PUE, reguliert werden.

### **5.2.3 Verordnung zur Energieverbrauchskennzeichnung (2017/1369/EU)**

#### **Übersicht**

Das Ziel der Verordnung die Grundlage für die Klassifizierung der Geräte nach ihrem Energieverbrauch herzustellen. Hierfür werden Lieferanten und Händler verpflichtet Informationen für ener-

gieverbrauchsrelevante Produkte bereitzustellen und Mitgliedstaaten verpflichtet Sanktionen festzulegen und die Einhaltung zu überprüfen. Die Kommission wird beauftragt, eine Produktdatenbank zu führen, die European Product Database for Energy Labelling (EPREL). (Europäisches Parlament und Rat 2017).

Die Kommission legt die detaillierten Anforderungen an die Etiketten für spezifische Produktgruppen in delegierten Rechtsakten fest.

#### Anknüpfungspunkte

Ein delegierte Rechtsakt für RZ ist zulässig, wenn RZ als Produkte betrachtet werden.

#### Mögliche Anpassungen

Es wird ein delegierter Rechtsakt für die detaillierten Anforderungen an die Messmethode und das Design erlassen. Das Label ist auf der Webseite des RZ-Betreibers und in der EPREL zu führen. Für RZ müssen Pflichten für den Betreiber des RZ und der IT definiert werden.

#### Vorteile

Das einheitliche Design ist am Markt bereits von anderen Produkten bekannt, die Anschlussfähigkeit ist hoch.

#### Nachteile

Die Verordnung adressiert Produkteigenschaften, nicht deren Nutzung. Beispielsweise bildet die Methode zur Berechnung der Energieeffizienz von Waschmaschinen auch Waschzyklen mit Voll-, Halb- und Viertelbeladung ab. Es kann jedoch nicht bewertet werden, ob sie in der Nutzung ausschließlich viertelbeladen betrieben wird.

### 5.2.4 EU Topten Datenbanken

#### Übersicht

Die Datenbank enthält Informationen über ökologische Eigenschaften von Produkten aus den Kategorien Haushalt, Beleuchtung, Büro und Bildschirme, Autos, Gebäudekomponenten und professionellen Geräten (Kühlgeräte mit und ohne Verkaufsfunktion, Kaffeemaschinen). Topten.eu wird von «HACKS», «Topten ACT» und «ProCold» betreut und von der Kommission und dem WWF finanziert. Das Team hinter dem Projekt recherchiert die Informationen, es gibt keine Berichtspflicht für Unternehmen an topten.

#### Anknüpfungspunkte

Eine Datenbank über die ökologischen Eigenschaften. Als Visualisierung könnte ein Label genutzt werden.

#### Mögliche Anpassungen

RZ könnten in den Geltungsbereich aufgenommen werden.

#### **Vorteile**

Für die Umsetzung müssen keine Gesetze geschaffen oder bestehende geändert werden.

#### **Nachteile**

Die Datenbank ist auf freiwillige und gesetzlich verpflichtende Herstellerangaben angewiesen. Die Bereitschaft der RZ-Betreiber, Daten über den effizienten Betrieb zu veröffentlichen, ist sehr gering. Der Aufwand für die Pflege der Datenbank ist mit hohen Kosten verbunden.

### **5.2.5 European Code of Conduct for Energy Efficiency in Data Centres**

#### **Übersicht**

Der “Best Practice Guidelines for the EU Code of Conduct on Data Centre Energy Efficiency” ist eine Sammlung von Empfehlungen für Betreiber von RZ, das Rechenzentrum energieeffizienter zu betreiben, z.B. durch geeignetes Controlling oder die Empfehlung, Kältebrücken in Serverschränken abzudichten. Zu jeder Maßnahme ist eine Zahl zwischen 0 und 5 angegeben, welche die Wirkung und Priorität der Maßnahme einschätzt.

#### **Anknüpfungspunkte**

Es wird erwartet, Kennzahlen zur Effizienz normgerecht (EN 50600 oder äquivalenten) zu erheben und zu berichten. Die Webseite des CoC listet alle Unterzeichner, eine Kennzeichnung der Energieeffizienz könnte ergänzt werden.

#### **Mögliche Anpassungen**

Es wird erwartet, dass die Kennzahlen und das standardisierte Label auf der Webseite des RZ-Betreibers und auf der Seite des CoC<sup>10</sup> beim JRC veröffentlicht werden.

#### **Vorteile**

Der CoC ist ein anerkannter und etablierter Verweis. Er wird auch im Delegierten Rechtsakt zur Taxonomie Verordnung verpflichtend eingefordert.

#### **Nachteile**

Der CoC hat kaum rechtlich bindende Wirkung.

### **5.2.6 Taxonomie-Verordnung zur Erleichterung nachhaltiger Investitionen (2020/852/EU)**

#### **Übersicht**

Diese Verordnung enthält Kriterien zur Bestimmung der ökologischen Nachhaltigkeit einer Investition. Die Mitgliedstaaten und die Union werden beauftragt, eine Liste mit nachhaltigen Wirtschaftstätigkeiten entsprechend der Kriterien aufzustellen. Die Taxonomie-Verordnung legt außerdem Anforderungen an die nichtfinanzielle Berichterstattung fest für Unternehmen, für die auch

---

<sup>10</sup> <https://e3p.jrc.ec.europa.eu/node/575>

Artikel 19a bzw. Artikel 29a der Richtlinie 2013/34/EU gelten (Europäisches Parlament und Rat 2020). Dies sind kleine, mittlere und große Unternehmen und deren Mutterunternehmen, aber nicht Kleinstunternehmen. In der Richtlinie 2013/34 wird die Kommission zudem beauftragt, delegierte Rechtsakte zu den Standards der Nachhaltigkeitsberichterstattung zu erlassen. Dies sollte bis zum 30.6.2023 geschehen. Sektorspezifische Anforderungen an die Berichterstattung sollten bis zum 30.6.2024 festgelegt werden. Finanzinstitute werden verpflichtet, den Anteil der Taxonomie-Konformität ihrer Produkte auszuweisen. Dies ist der erste Schritt, um Finanzströme zu nachhaltigen Tätigkeiten zu verlagern und appelliert zunächst an die Freiwilligkeit privater Finanzakteure.

#### Anknüpfungspunkte

Delegierter Rechtsakt über die Standards der Nachhaltigkeitsberichterstattung bis 30.6.2023 und delegierte Verordnung vom 4.6.21 (siehe unten).

#### Vorteile

Sowohl die Messmethode als auch die Berichterstattung werden im delegierten Rechtsakt spezifisch für RZ- und IT-Betrieb festgelegt.

#### Nachteile

Die binäre Klassifizierung in nachhaltig oder nicht ist weniger differenziert als ein graduelles Effizienzlabel.

### 5.2.7 Delegierte Verordnung vom 4. Juni 2021 zur Ergänzung der Taxonomie-Verordnung (2021/2139/EU)

#### Übersicht

Die Verordnung legt technische Bewertungskriterien fest, anhand derer entschieden werden soll, ob eine wirtschaftliche Tätigkeit wesentlich zum Klimaschutz oder der Anpassung an den Klimawandel beiträgt und ob diese Tätigkeit die anderen Umweltziele beeinträchtigt.

#### Anknüpfungspunkte

Datenverarbeitung, Hosting und damit verbundene Tätigkeiten sind Taxonomie-konform, wenn die folgenden Bedingungen eingehalten werden (Europäisches Parlament und Rat 2021):

##### Klimaschutz

- ▶ Alle aktuellen EU CoC Best Practices werden eingehalten und alle drei Jahre unabhängig verifiziert
- ▶ Ausnahme falls nicht anwendbar oder praktikabel und falls äquivalente Anforderungen erfüllt werden.
- ▶ Treibhausgaspotential der Kältemittel  $GWP < 675 \text{ CO}_2\text{eq}$

##### Anpassung an den Klimawandel

- ▶ Klimarisiko- und Vulnerabilitätsbewertung

#### Nachhaltige Nutzung und Schutz von Wasser- und Meeresressourcen

- Risiken der Wasserqualität und -knappheit werden ermittelt und behoben

#### Übergang zu einer Kreislaufwirtschaft

- Geräte erfüllen die Ökodesign-Anforderungen an Storage- und Speichersysteme
- Geräte erfüllen die RoHS-Richtlinie
- Es liegt ein Abfallbewirtschaftungsplan vor
- Geräte werden am Ende ihrer Lebensdauer für die Wiederverwendung, Verwertung oder das Recycling vorbereitet

Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung – keine Anforderung

Schutz und Wiederherstellung der Biodiversität und der Ökosysteme – keine Anforderung

#### Mögliche Anpassungen

Klimaschutz: Die Energieeffizienz soll auf der Webseite des RZ- und IT-Betreibers veröffentlicht werden.

Alternativ: siehe EU CoC for EE in DC

#### Vorteile

Es ist eine Möglichkeit, nachhaltige Geschäftspraktiken am Markt zu stärken. Ein Label würde auf das gleiche Ziel einzahlen.

#### Nachteile

Es gibt keine Verpflichtung, taxonomiekonform zu wirtschaften, denn die Anforderungen haben empfehlenden Charakter. Es ist nicht absehbar, dass die Branche darauf angewiesen sein wird, Anreize für Investoren zu schaffen.

### 5.2.8 EU Green Public Procurement Guidelines

#### Übersicht

Die Green Public Procurement Guidelines (GPP) Kriterien der EU wurden entwickelt, um die Aufnahme umweltfreundlicher Anforderungen in öffentliche Ausschreibungsunterlagen zu erleichtern. Während die angenommenen GPP-Kriterien der EU darauf abzielen, ein gutes Gleichgewicht zwischen Umweltleistung, Kostenerwägungen, Marktverfügbarkeit und einfacher Überprüfung zu erreichen, können die Beschaffungsbehörden je nach Bedarf und Anspruch alle oder nur bestimmte Anforderungen in ihre Ausschreibungsunterlagen aufnehmen.

Es gibt Beschaffungsempfehlungen für die IT-Produktgruppen: Computer/Monitore/Tablets/Smartphones, Rechenzentren/Serverräume/Clouddienstleistungen, und Drucker,.

#### Anknüpfungspunkte

Es gibt ein „COMMISSION STAFF WORKING DOCUMENT“ für „EU green public procurement criteria for data centres, server rooms and cloud services“. Darin werden Anforderungen u.a. an RZ-Betreiber gestellt, z.B. dass diese ihre Kennzahlen nach EN 50600-4 bestimmen und angeben müssen. Dieses Papier ist allerdings nur eine Empfehlung für Beschaffung durch die Mitgliedsstaaten. (Europäische Kommission)

#### Mögliche Anpassungen

Subject Matter: Core Criteria für RZ: Das RZ weist seine Energieeffizienz in der Form dieses Labels aus.

#### Vorteile

Die öffentliche Hand würde bei der Beschaffung mit gutem Beispiel vorangehen und lenkend auf den Markt einwirken.

#### Nachteile

Die Wirkung wird als eher gering eingeschätzt, gemessen am Auftragsvolumen der öffentlichen Hand und dem Gesamtumsatz der Branche.

### 5.2.9 Freiwillige Selbstverpflichtungen der Rechenzentren-Branche („Self-Regulation“)

#### Übersicht

Der „Climate Neutral Data Centre Pact“ (CNDCP) besteht aus über 100 RZ-Betreibern, Verbänden und Organisationen, die sich auf das Ziel geeinigt haben, bis 2030 die Rechenzentren in Europa klimaneutral zu betreiben. Dies beinhaltet folgende Ziele: PUE von 1,3, Definition einer adäquaten Effizienzmetrik, 100% erneuerbare Energie oder viertelstündige Nachweise über CO<sub>2</sub>-freie Energie. Vorhaben zu zirkulärer Wirtschaftsform und Abwärmenutzung werden noch vorbereitet (Climate Neutral Data Center Pact 2023).

#### Anknüpfungspunkte

Das Label wird als Vorschlag für eine Effizienzmetrik unterbreitet.

#### Mögliche Anpassungen

Die Unterstützer des CNDCP verpflichten sich dazu, ihre Effizienz in Form des Labels auszuweisen.

#### Vorteile

Es bedarf keiner Regulierung.

#### Nachteile

Unternehmen fällt es in der Regel leichter, freiwillige Maßnahmen zu unterstützen, die gleichzeitig wirtschaftliche Vorteile bringen. Es besteht also ein Anreiz, möglichst positive Umweltaussagen

tätigen zu können, ohne tiefe Einblicke in den Betrieb zu gewährleisten. Gleichzeitig gibt es ein Beteiligungsgefälle zwischen sehr großen und kleinen Unternehmen bei der Formulierung von freiwilligen Maßnahmen, sodass diese Maßnahmen in der Regel für große Unternehmen leichter zu erfüllen sind als für kleine, beispielsweise der PUE im Gegensatz zum Gesamtenergieverbrauch.

## 5.2.10 Energieeffizienzrichtlinie

### Übersicht

Die Europäische Kommission veröffentlichte am 14.07.2021 ein umfangreiches Klimapaket (fit for 55) in dem u.a. die Überarbeitung der EU Richtlinie für Energieeffizienz (EED) beschlossen wurde. Die EED dient der Umsetzung des Grundsatzes „Energieeffizienz an erster Stelle“ und stellt Mindestanforderungen an den End- und Primärenergieverbrauch in der EU und fordert Reduktionsziele und Maßnahmen der Mitgliedsstaaten ein.

In Deutschland wird parallel dazu ein Energieeffizienzgesetz<sup>11</sup> vorbereitet, das die Maßnahmen schon vor Inkrafttreten in nationales Recht überführen soll.

### Anknüpfungspunkte

In einem Entwurf vom 14.07.2021 werden bereits Anforderungen an RZ definiert (Europäische Kommission 2021). (Der aktuelle Entwurf<sup>12</sup> des Rates ist vom 24.03.2023)

Darin werden Mitgliedstaaten verpflichtet, Informationen von Eigentümern und Betreibern von RZ bis zum 15.5.2024 und danach jährlich zu erheben und an die Kommission zu übermitteln. Dazu gehören folgende „Mindestanforderungen an die Überwachung und Veröffentlichung der Energieeffizienz von Rechenzentren:

- a. Name des Rechenzentrums; Name des Eigentümers und des Betreibers des Rechenzentrums; Gemeinde, in der sich das Rechenzentrum befindet;
- b. Fläche des Rechenzentrums; installierte Leistung; jährlicher eingehender und ausgehender Datenverkehr; Menge der im Rechenzentrum gespeicherten und verarbeiteten Daten;
- c. Effizienz des Rechenzentrums im letzten vollen Kalenderjahr entsprechend den wesentlichen Leistungsindikatoren, unter anderem für Energieverbrauch, Stromnutzung, Temperatursollwerte, Abwärmenutzung, Wasserverbrauch und Nutzung erneuerbarer Energien.“ (ebd.)

In Artikel 31 wird ergänzend vorgeschlagen, dass die Kommission in delegierten Rechtsakten ein „gemeinsames Unionssystem für die Bewertung der Nachhaltigkeit der sich in ihrem Gebiet befindlichen Rechenzentren“ festlegt.

Der delegierte Rechtsakt kann dafür genutzt werden, das Effizienzlabel für RZ und IT EU-weit verpflichtend einzuführen.

---

<sup>11</sup> <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Pressemitteilungen/2023/04/20230419-kabinett-beschliesst-energieeffizienzgesetz.html>

<sup>12</sup> <https://data.consilium.europa.eu/doc/document/ST-7446-2023-INIT/en/pdf>

In dem deutschen Entwurf des Energieeffizienzgesetzes werden nationale Ziele und Maßnahmen formuliert. Abschnitt 4 richtet sich an RZ und stellt Mindestanforderungen an PUE, ERF, Eintrittstemperatur von Luftkühlung, Energie- und Umweltmanagementsysteme, Informationen gegenüber Co-Location-Kunden und verpflichtet RZ- und IT-Betreiber, Daten an ein RZ-Register zu melden. Die Bundesregierung wird ermächtigt, zusätzliche Informationspflichten festzulegen, „soweit diese zum besseren Vergleich der Energieeffizienzleistung von Rechenzentren und Informationstechnik erforderlich ist.“

Die Bundesregierung kann festlegen, dass alle Informationen für das Effizienzlabel für RZ und IT erhoben werden und dass das Label im Register abgebildet wird.

#### **Mögliche Anpassungen**

Das Label wird im Register abgebildet. Der delegierte Rechtsakt legt die zu erhebenden Informationen fest.

#### **Vorteile**

Der delegierten Rechtsakt für das Label für Energieeffizienz ist bereits verankert.

#### **Nachteile**

Der Gesetzgebungsprozess dauert voraussichtlich ein paar Jahre, bevor das Label verpflichtend benutzt werden muss.

### **5.2.11 Verordnung über die Energiestatistik (2022/2008/EU)**

#### **Übersicht**

Diese Verordnung verändert die Verordnung 1099/2008/EG und definiert einen neuen Anhang. Die ursprüngliche Verordnung legte einen gemeinsamen Rahmen für die Erstellung, Übermittlung, Bewertung und Verbreitung vergleichbarer Energiestatistiken fest. Es werden Daten über die Förderung und Nutzung von Energieträgern und Brennstoffen sowie über die Erzeugung und der Nutzung von Strom und Wärme gesammelt und aufbereitet.

Die anzugebenden einzelstaatlichen statistischen Daten sind in den Anhängen dieser Verordnung aufgeführt. Sie sind in folgenden Zeitabständen zu übermitteln:

- a) Energiestatistiken nach Anhang B jährlich (diverse Energieträger, Strom, Wärme, erneuerbare Energie, detaillierte Statistik über den Endverbrauch);
- b) Energiestatistiken nach Anhang C monatlich (feste Brennstoffe, Elektrizität, Rohöl und Mineralölprodukte, Erdgas);
- c) kurzfristige Energiestatistiken nach Anhang D monatlich (Rohöl).

#### **Anknüpfungspunkte**

Nur von den Meldeeinheiten (unabhängig ihres NACE-Codes) unterhaltene Rechenzentren mit einer Gesamtleistungskapazität von 1 MW oder mehr sind zu melden. Diese Daten sind für das Bezugsjahr 2024 erstmals verpflichtend zu melden.

### Mögliche Anpassungen

Ergänzend zu dem Energieverbrauch werden Indikatoren zur Energieeffizienz in der Form des Labels von den Mitgliedstaaten an Eurostat übermittelt.

### Vorteile

Die zuständigen Stellen und Behörden haben Erfahrung mit Datenschnittstellen und -Auswertung.

### Nachteile

Der Kontext ist eher unpassend, um Daten einzelner RZ darzustellen.

## 5.3 Übersicht

Die vorgestellten Regulierungsansätze können entlang folgender Kategorien bewertet werden:

- ▶ **Vereinbarkeit:** Wie sehr entspricht es dem Zweck des Regulierungsansatzes, ein Label für den effizienten RZ- und IT-Betrieb einzuführen?
- ▶ **Verbindlichkeit:** Hat der Regulierungsansatz einen verpflichtenden Rahmen für ein Label für den effizienten RZ- und IT-Betrieb?
- ▶ **Sichtbarkeit:** Wie groß ist die Reichweite des Regulierungsansatzes und wie sortiert und erreichbar wären die Informationen für ein Label für den effizienten RZ- und IT-Betrieb?
- ▶ **Wirksamkeit:** Wie viel Markt- und Handlungsdruck würde das Label für den effizienten RZ- und IT-Betrieb in diesem Regulierungsansatz auf die Effizienz von RZ entfalten?
- ▶ **Schnelle Implementierung:** Wie schnell kann ein Label für den effizienten RZ- und IT-Betrieb in diesen Regulierungsansatz integriert werden und wie lange dauert es, bis die Nutzung des Labels dadurch verpflichtend wird?

Nachfolgende Tabelle 18 fasst die Ergebnisse einer ersten qualitativen Einschätzung entlang der Bewertungskategorien zusammen. Aus der Gesamtpunktzahl ergeben sich drei präferierten Regulierungsansätze:

- ▶ Energieeffizienzrichtlinie (8)
- ▶ Verordnung über die Energiestatistik (5)
- ▶ Verordnung über die Energieverbrauchskennzeichnung (4)

**Tabelle 18: Bewertung der Regulierungsansätze für die Einführung eines Labels für energieeffizienten RZ- und IT-Betrieb**

| Europäischer Regulierungsansatz                       | Vereinbarkeit | Verbindlichkeit | Sichtbarkeit | Wirksamkeit | Schnelle Implementierung | Bewertungspunkte |
|-------------------------------------------------------|---------------|-----------------|--------------|-------------|--------------------------|------------------|
| Gesamteffizienz von Gebäuden                          | --            | +               | -            | ?           | -                        | -2               |
| Ökodesign                                             | -             | +               | +            |             | -                        | 0                |
| Energieverbrauchskennzeichnung                        | 0             | +               | ++           | +           | 0                        | 4                |
| EU Topten                                             | +             | --              | -            | --          | ++                       | -2               |
| EU CoC                                                | 0             | 0               | 0            | 0           | +                        | 1                |
| Taxonomie                                             | 0             | -               | +            | +           | +                        | 3                |
| GPP                                                   | ++            | --              | 0            | 0           | +                        | 1                |
| Selbstverpflichtung                                   | ++            | --              | -            | --          | +                        | -2               |
| Energieeffizienzrichtlinie und Energieeffizienzgesetz | ++            | +               | ++           | ++          | +                        | 8                |
| Energiestatistik                                      | +             | ++              | +            | 0           | +                        | 5                |

Quelle: PEERDC: eigene Darstellung

## 5.4 Das europäische Register und Label

Ein europäisches Label für die Energieeffizienz von RZ schließt sich juristisch, technisch und organisatorisch an die Einführung eines Registers für den effizienten RZ- und IT-Betrieb an. Die Aufgabe des europäischen Registers ist es, umweltrelevante Daten zu sammeln und darzustellen, sowie die Daten und deren Fluss zu organisieren und zu administrieren. Die verantwortliche Organisation ergibt sich bereits aus dem Regulierungsansatz:

- Energieeffizienzrichtlinie: Europäische Kommission
- Verordnung über die Energiestatistik: Eurostat / Europäische Kommission
- Verordnung über die Energieverbrauchskennzeichnung: EPREL (European Product Registry for Energy Labelling) / Europäische Kommission

Es ist möglich, diese Regulierungsansätze miteinander zu kombinieren, sodass die Daten der RZ durch die Energieeffizienzrichtlinie erhoben und in die EPREL-Datenbank integriert werden. Die Daten könnten dort einsehbar sein und von Eurostat aggregiert und ausgewertet werden. Die EED stellt sicher, dass das Label zusätzlich auf der Webseite des RZ- und IT-Betreibers aufgeführt wird.

Da die EED in nationales Recht überführt werden muss, werden die Mitgliedsstaaten verpflichtet, die Daten von den RZ in ihren Territorien zu erheben. Der delegierte Rechtsakt gilt direkt in allen Mitgliedsstaaten. Nachgeordnete Behörden müssen eine entsprechende technische Infrastruktur aufbauen und betreuen. Dafür kommen beispielsweise das Bundesamt für Wirtschaft

und Ausfuhrkontrolle (BAFA) und die dort angesiedelte Bundesstelle für Energieeffizienz in Frage.

## 5.5 Überarbeitungsbedarf des delegierten Rechtsaktes

### 5.5.1 Aktueller Gesetzestext der EED

Die Richtlinie (EU) 2023/1791 des Parlamentes und Rates vom 13. September 2023 zur Energieeffizienz und zur Änderung der Verordnung (EU) 2023/955 (Neufassung) reguliert in Artikel 12 Anforderungen an Rechenzentren.

*(1) Die Mitgliedstaaten verpflichten die in ihrem Hoheitsgebiet befindlichen Eigentümer und **Betreiber** von Rechenzentren mit einem Strombedarf für die installierte Informationstechnologie (IT) von mindestens 500 kW, bis zum 15. Mai 2024 und danach **jährlich** die in **Anhang VII** aufgeführten **Informationen zu veröffentlichen**, mit Ausnahme von Informationen, die dem Unionsrecht und dem nationalen Recht zum Schutz von Betriebs- und Geschäftsgeheimnissen und der Vertraulichkeit unterliegen.*

*(3) Die Kommission richtet eine Europäische Datenbank über Rechenzentren ein, die Informationen enthält, die von den verpflichteten Rechenzentren gemäß Absatz 1 bereitgestellt werden. Die Europäische Datenbank muss auf aggregierter Ebene öffentlich zugänglich sein.*

In Anhang VII werden folgende Daten eingefordert.

- ▶ Name des Rechenzentrums, Name des Eigentümers und des Betreibers des Rechenzentrums, Datum der Inbetriebnahme des Rechenzentrums und Gemeinde, in der sich das Rechenzentrum befindet;
- ▶ Fläche des Rechenzentrums, installierte Leistung, jährlicher eingehender und ausgehender Datenverkehr und Menge der im Rechenzentrum gespeicherten und verarbeiteten Daten;
- ▶ **Effizienz des Rechenzentrums im letzten vollen Kalenderjahr** entsprechend den wesentlichen Leistungsindikatoren, unter anderem für Energieverbrauch, Stromnutzung, Temperatursollwerte, Abwärmenutzung, Wasserverbrauch und Nutzung erneuerbarer Energien, wobei als Grundlage gegebenenfalls die CEN/CENELEC-Norm EN 50600-4 „Informationstechnik – Einrichtungen und Infrastrukturen von Rechenzentren“ Verwendung findet, bis der gemäß Artikel 33 Absatz 3 angenommene delegierte Rechtsakt in Kraft tritt.

Die delegierte Verordnung vom 14.3.2024 über die erste Phase der Einrichtung eines gemeinsamen Bewertungssystems der Union für Rechenzentren legt die Details fest. Artikel 5 beschreibt das Register:

*Die Nachhaltigkeitsindikatoren des Rechenzentrums werden gemäß Anhang III in aggregierter Form auf Ebene der Mitgliedstaaten und der Union gemäß Anhang IV veröffentlicht.*

## 5.5.2 Bewertung

### Positive Aspekt

Artikel 12 (1) stellt klar, dass RZ verpflichtet sind, die Daten über ihre Energieeffizienz spezifisch pro RZ zu veröffentlichen. Dadurch können IT-Betreiber und Kunden von RZ die Effizienz ihrer Rechenzentren erfahren. Dies ist ein erster Schritt zu einem Markt von effizienten RZ-Dienstleistungen.

Diese Daten werden nach (3) an die Europäische Datenbank übermittelt und aggregiert veröffentlicht. Diese Daten sind wichtige Grundlage für die zukünftige politische Gestaltung des Marktes für Rechenzentren. Gleichzeitig ermöglicht die Veröffentlichung in aggregierter Form genug Transparenz für die Öffentlichkeit, um politische Entscheidungen nachvollziehen zu können.

### Kritikpunkte

Es werden zwar Daten über die Kapazität der IT erhoben diese lassen jedoch keine Aussage über den effizienten Betrieb der IT des im letzten vollen Kalenderjahr zu. Die Referenz auf die Zeit stellt klar, dass die Effizienz von RZ im Betrieb zu veröffentlichen ist. Dabei ist die IT der wesentliche Bestandteil des RZ, sowohl in dem Daseinszweck, der Wertschöpfung und dem Energieverbrauch des RZ. Deshalb muss mit der Effizienz des RZ gleichzeitig auch die **Effizienz der IT im Betrieb** gemeint sein. Der delegierte Rechtsakt wird diesem Anspruch nicht gerecht. Beispielsweise sagt die Summe der SERT-Activ Werte aller Server weder etwas über die Rechenperformance der Server noch über deren effiziente Nutzung aus. Viel eher skaliert diese Kennzahl mit der Größe des Rechenzentrums. Geeignete Kennzahlen wären beispielsweise der Idle Energy Coefficient<sup>13</sup> oder die Load Correlation (siehe Abschnitt 3.5.2).

### Veränderungsvorschlag

Erst die Kennzeichnung von einzelnen RZ mit ihrer Energie- oder Umwelteffizienz an einem zentralen Ort ermöglicht einen Markt für effiziente RZ und RZ-Dienstleistungen. Effizienten RZ würde eine Plattform geboten, an denen sich andere Marktakteure messen müssten. Beschaffungsstellen erhalten einen guten Überblick über die Energieeffizienz und andere wichtige Umweltparameter von RZ und RZ-Dienstleistungen in ihrer Nähe und ihren Anforderungen entsprechend. Unternehmen, die RZ-Dienstleistungen einkaufen würden in die Lage versetzt, die Umweltwirkungen ihrer digitalen Lieferkette zu berichten und zu optimieren. Auf vielfältige Weise entstünde ein Markt für energieeffiziente Rechenzentren und RZ-Dienstleistungen.

In der geplanten Überarbeitung des delegierten Rechtsaktes ab Mitte 2025 sollte deshalb die Einführung eines **Effizienzlabels für einzelne RZ innerhalb der Europäischen Datenbank** in Betracht gezogen werden.

Ein erster Entwurf für eine solche Kennzeichnung ist bereits in Kapitel 3.5 beschrieben und wurde im Juni 2023 im Rahmen dieses Projektes veröffentlicht und ist mit der Branche diskutiert worden. Die Reaktionen deuten weiteren Forschungsbedarf einer fairen Kennzeichnung für RZ an. Die Methode wurde im Juni 2023 auf der Webseite des Projektes PEERDC veröffentlicht und die Rückmeldungen von Branchenverbänden sind im Kapitel 3.5 zusammengefasst.

---

<sup>13</sup> <https://www.iea-4e.org/wp-content/uploads/2021/10/Server-Idle-Coefficients-FINAL-1.pdf>

## 6 Kommunikation und Verbreitung der Ergebnisse

In diesem Kapitel werden alle Kommunikationsmaßnahmen und die Verbreitung der Ergebnisse beschrieben, die im Rahmen des Projektes PEERDC durchgeführt wurden zusammengefasst.

### 6.1 Flyer und Logo

Im Rahmen des Projekts wurden gezielte Kommunikationsmaßnahmen und Stakeholder-Prozesse etabliert, um das Bewusstsein für Energieeffizienz und Nachhaltigkeit in Rechenzentren zu schärfen und die Motivation zur aktiven Teilnahme an der Verbesserung der Effizienz und der Ausschöpfung des Effizienzpotenzials zu fördern. Dank dieser Maßnahmen und Prozesse konnten Fortschritte erzielt werden, um das Wissen über die Effizienz und die vorhandenen Potenziale zu verbreiten und die Erfassung von relevanten Basisdaten in Rechenzentren voranzubringen.

Die enge Zusammenarbeit mit verschiedenen Stakeholdern, darunter RZ-Betreiber, Energieexperten, Umweltorganisationen und Regulierungsbehörden, bildeten das Fundament für den Erfolg dieses Prozesses. In Workshops, Seminaren, Informationskampagnen, Online-Plattformen und Fachkonferenzen wurde das Thema einer breiteren Öffentlichkeit zugänglich gemacht. Dabei wurden die Vorteile einer verbesserten Energieeffizienz und Nachhaltigkeit für die Rechenzentrumsbranche deutlich hervorgehoben.

Die aktive Einbindung der Stakeholder ermöglichte es, deren Meinungen, Ideen und Anregungen im Entwicklungsprozess zu berücksichtigen. Gemeinsam wurden Lösungen entwickelt und beste Praktiken identifiziert, die in Empfehlungen und Richtlinien mündeten.

Um das Projekt einheitlich und einfach wiedererkennbar zu präsentieren wurde ein Logo (Abbildung 48) entwickelt, außerdem wurde ein Projektflyer (Abbildung 49) erstellt. Das Logo zeigt die Anfangsbuchstaben des englischen Projekttitels – PEERDC Public Energy Efficiency Register for Data Centres.

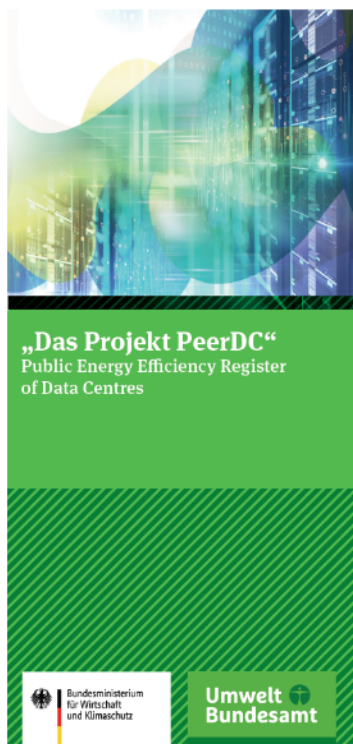
**Abbildung 48 Logo PEERDC**

---



**Abbildung 49: Titelseite des Flyers PEERDC**

---



## 6.2 Öffentlichkeitsarbeit

Ein wichtiger Bestandteil dieser Strategie war die Öffentlichkeitsarbeit, die durch die Vogel IT Medien und der Publikation DataCenter-Insider unterstützt wurde. Es wurden vier Artikel verfasst und diese zusätzlich auf einer eigens dafür eingerichteten Subseite, dem Special, in dem Portal datacenter-inside.de veröffentlicht. Die Artikel konzentrierten sich auf verschiedene Aspekte des Projekts und zielten darauf ab, das Bewusstsein für die Bedeutung von Energieeffizienz in Rechenzentren zu schärfen und die Motivation zur Mitarbeit und Datenbereitstellung für das Projekt PEERDC zu fördern.

Zudem wurde das Projekt u.a. auf folgenden Veranstaltungen bzw. durch Publikationen der Öffentlichkeit bekannt gemacht:

- Forschungsprojekt PeerDC Datacentre-Register: Mit Branchenbedenken in die entscheidende Phase (Lutz 2023)

- Interview mit Dr. Dieter Thiel, Senior Consultant der Data Center Group; Verbindliche Nachhaltigkeitskennzahlen und ein Register für Rechenzentren (Ostler 2022)
- Marina Köhn, Umweltbundesamt, zur Energie-Effizienz und Nachhaltigkeit im Rechenzentrum: „Jedes Unternehmen, das sich zügig auf den Weg macht, ist gut beraten“ (Lutz 2022a)
- PeerDC - der Aufbau eines Datacentre-Registers zur Bewertung der Energie-Effizienz Die Intention: Ein Bewertungssystem für Rechenzentren (Lutz 2022b)
- Das Projekt wurde auf dem DataCenter Strategy Summit 2022 der Vogel IT-Medien GmbH vorgestellt. Auf der Webseite des DataCenter-Inders wurde zu der Veranstaltung eingeladen.

Das Projekt wurde des Weiteren in den Jahren 2022 und 2023 auf der Data Center World in Frankfurt vorgestellt.

Die German Data Centre Association stellte das Projekt und dessen Ziele im Rahmen mehrerer Veranstaltungen vor:

- Datacentre World am 11.05.2022; Vorstellung und Diskussion Prof. Peter Radgen
- Datacenter Symposium, München 13.09.2022: Öffentliches Register für Rechenzentren – Schlüssel zur Energieeffizienz und Wärmewende
- Datacenter Strategy Summit am 13.10.2022; Panel Diskussion mit Prof. Peter Radgen und Dr. Dieter Thiel
- Data Centre World Mai 2023: Forschungsvorhaben PEERDC

Außerdem wurde das Projekt auf einer Veranstaltung des Bündnis90/Die Grünen in Frankfurt vorgestellt.

- Konferenz & Forum zur Einforderung von Klimaschutz und Nachhaltigkeit in der IT, 25.06.2022 in Frankfurt

## 6.3 Begleitkreistreffen

Ziel des Begleitkreises war es, den Aufbau eines nutzerfreundlichen Registers aus einer Industrieperspektive zu begleiten und das Wissen über die Notwendigkeit der Erfassung von Basisdaten zu Rechenzentren in Deutschland und der EU in die Industrie zu transportieren.

Methodisch sollte hierfür ein Begleitkreis namhafter Expertinnen und Experten und wichtiger Multiplikatorinnen und Multiplikatoren aus Schlüsselbereichen aufgebaut werden. Neben relevanten Verbänden und Rechenzentrums Betreibern wurden auch RZ-Planer und Komponentenanbieter eingebunden. Diese Gruppe wurden im Rahmen von drei Begleitkreistreffen kontinuierlich in die Projektarbeit eingebunden, um den aktuellen Erfahrungen aus der Praxis in die Arbeit einfließen zu lassen und die Ergebnisse anschlussfähig zu machen.

### 6.3.1 Auswahl der Teilnehmenden

Bei der Auswahl der Begleitkreisteilnehmer wurden folgende Kriterien berücksichtigt:

- Fachliche Expertise: Der Begleitkreis sollte aus Personen bestehen, die über Fachkenntnisse in den relevanten Bereichen verfügen, wie zum Beispiel Rechenzentrumstechnologien, IT-

Sicherheit, Datenmanagement, Energieeffizienz und weiteren Fragen im Zusammenhang mit Rechenzentren.

- ▶ Vielfalt der Interessenvertreter: Es sollten Interessenvertreter verschiedener Gruppen vertreten sein, um eine ausgewogene Sichtweise sicherzustellen. Dazu gehören Vertreter von Unternehmen, die Rechenzentren betreiben, Regierungsbehörden, Forschungseinrichtungen, Umweltorganisationen und Verbrauchergruppen.
- ▶ Multiplikatoren-Funktion: Der Begleitkreis sollte aus Mitgliedern bestehen, die in der Lage sind, die Interessen der Stakeholder angemessen zu vertreten und einzubinden und dadurch eine Multiplikatoren-Funktion einzunehmen. Denn der frühzeitige Einbezug aller relevanter Stakeholder war wichtig, um ihre Bedenken und Anforderungen zu verstehen.
- ▶ Langfristiges Engagement: Eine regelmäßige Begleitkreisteilnahme wurde gewünscht, da die Erstellung des Rechenzentren-Registers ein langfristiger Prozess ist.

### 6.3.2 Planung, Vorbereitung und Ergebnisse

Insgesamt fanden drei thematisch aufeinander aufbauende Begleitkreistreffen statt. Im ersten Begleitkreistreffen wurden das Forschungsvorhaben und das dahinterstehende Projektkonsortium vorgestellt, zusätzlich wurde ein Überblick über das Projekt, den Aufbau und die Funktionen des Registers sowie die Kennzahlen und die Erhebung der Kennzahlen für Rechenzentren gegeben.

Im zweiten Begleitkreistreffen wurden die Klassifizierung von Rechenzentren und die zu erhebenden Daten vorgestellt sowie auf die Rechenzentren-Anforderungen im Energieeffizienzgesetz eingegangen.

Im dritten und letzten Begleitkreistreffen wurden ein Einblick in die Ergebnisse des Forschungsvorhabens gegeben, die Visualisierung sowie das Erfassungstool mithilfe der bisherigen Praxiserfahrungen vorgestellt.

Um bei den Begleitkreistreffen einen erfolgreichen und produktiven Austausch der relevanten Akteure zu gewährleisten, wurden die Begleitkreissitzungen sorgfältig vorbereitet. In Absprache mit den Mitgliedern des Konsortiums, dem Umweltbundesamt (UBA) und dem Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) wurden hierfür Teilnehmerkreise und Sitzungsthemen der Begleitkreissitzungen festgelegt, Termine abgestimmt, das Einladungs- und Teilnehmermanagement durchgeführt, Inhalte, Sitzungsunterlagen und digitale Whiteboards vorbereitet.

#### Erster Begleitkreistreffen

Das erste Begleitkreistreffen fand am 8. Februar 2022 online statt. Hier wurde das neue Forschungsvorhaben „Aufbau eines Registers für Rechenzentren in Deutschland und Entwicklung eines Bewertungssystems für energieeffiziente Rechenzentren“ und das dahinterstehende Konsortium vorgestellt.

Darüber hinaus wurde ein Überblick über das Projekt, den Aufbau und die Funktionen des Registers sowie die Kennzahlen und Kennzahlerhebung für Rechenzentren gegeben (siehe Abbildung 50).

**Abbildung 50: Agenda mit Themen und Referenten des ersten PEERDC Begleitkreistreffens**

| Agenda                                              |                                                                                                                                                  |
|-----------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Begrüßung durch das BMWK und das Umweltbundesamt    | Thomas Hinsch (BMWK), Marina Köhn (UBA)                                                                                                          |
| Begrüßung durch die Projektleitung                  | Prof. Dr. Peter Radgen - Stellvertretender Leiter des Instituts für Energiewirtschaft und Rationelle Energienutzung (IER), GDA-Vorstandsmitglied |
| Vorstellung der Teilnehmer                          | BegleitkreisteilnehmerInnen / Moderation                                                                                                         |
| Überblick und Ziel des Projekts PEERDC              | Prof. Dr. Peter Radgen                                                                                                                           |
| Aufbau und Funktionen des Registers                 | Nicola Schuckert – Wissenschaftliche Mitarbeiterin beim IER                                                                                      |
| Diskussion der vorab übersandten Fragen             | BegleitkreisteilnehmerInnen / Moderation                                                                                                         |
| Kennzahlen und Kennzahlenerhebung für Rechenzentren | Jens Gröger<br>Senior Researcher Produkte & Stoffströme beim Öko-Institut e.V.-                                                                  |
| Diskussion der vorab übersandten Fragen             | BegleitkreisteilnehmerInnen / Moderation                                                                                                         |
| Zusammenfassung und nächste Schritte                | Prof. Dr. Peter Radgen                                                                                                                           |
| Verabschiedung                                      | Marina Köhn                                                                                                                                      |

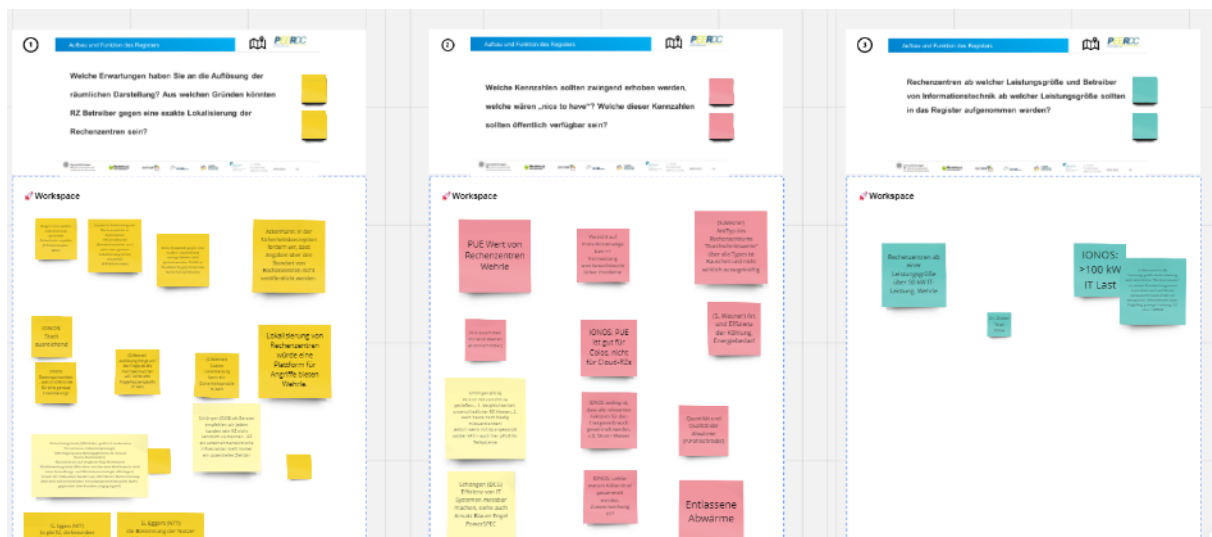
Quelle: PEERDC: eigene Darstellung

Zusammenkamen 33 Expertinnen und Experten. Teil des ersten Begleitkreistreffens waren zwei Diskussionsrunden mit diesem Personenkreis, um die Begleitkreisteilnehmenden bestmöglich einzubinden. In zwei Diskussionsrunden wurde über den Aufbau des Registers und über die Kennzahlen des Registers diskutiert. Behandelt wurden hierbei:

1. Die Schaffung eines gemeinsamen Verständnisses
2. Die Festlegung des Geltungsbereichs des Registers
3. Die Definition, die Erhebung und die Veröffentlichung von Kennzahlen

Alle Antworten der Teilnehmenden wurden auf einem virtuellen Whiteboard erfasst (siehe Abbildung 51), um dem Konsortium eine gute Dokumentation und den Teilnehmenden ein möglichst leichtes Folgen der Diskussion zu ermöglichen.

**Abbildung 51: Miroboards mit Fragen und Post-It's der ersten Diskussionsrunde des ersten PEERDC Begleitkreistreffens**



Quelle: PEERDC: eigene Darstellung

Als Fazit zum ersten PEERDC Begleitkreistreffens ist zusammenzufassen: Das gemeinsame Verständnis umfasste einerseits die Relevanz der genauen Georeferenzierung für die Nutzung von Abwärme und andererseits Datensparsamkeits- sowie Sicherheitsbedenken hinsichtlich der genauen Lokalisierung von Rechenzentren, insbesondere bei kritischen Infrastrukturen und sensiblen Daten. Der Geltungsbereich wurde für Rechenzentren mit einer Leistungsgröße von 50-100 kW oder festgelegt, die Bedeutung der vielen kleinen Serverräume für die Energieeffizienz betont, und eine schrittweise Erfassung mit Fokus auf kritische Rechenzentren wurde in Erwägung gezogen. Kennzahlen wie Stromverbrauch, Temperatur und KPI CADE werden bereits erfasst und zusätzlich als wichtig befunden wurden Kennzahlen wie pPUE (partial Power Usage Effectiveness) und WUE (Water Usage Effectiveness) sowie weitere Informationen zu Wasserverbrauch, Art des Kühlmittels, Auslastung, Storage, CO<sub>2</sub> - Ausstoß einer IT-Anwendung und permanenter Sicht auf den CO<sub>2</sub>-Verbrauch. Zudem wurden von der Erfassungssoftware Möglichkeiten zur Aggregation, Filterung, Anomalien-Erkennung und zum Vergleichen gewünscht.

## Zweites Begleitkreistreffen

Das zweite Begleitkreistreffen fand am 1. Juli 2022 in hybrider Form im Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz und online statt. Hier wurden die Klassifizierung von Rechenzentren und die zu erhebenden Daten vorgestellt. Darüber hinaus wurde die Anforderungen für Rechenzentren im Energieeffizienzgesetz vorgestellt.

**Abbildung 52: Agenda mit Themen und Referenten des zweiten PEERDC Begleitkreistreffens**

| Agenda                                                     |                                                                                         |
|------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| Begrüßung durch das BMWK und das Umweltbundesamt           | Thomas Hinsch (BMWK), Marina Köhn (UBA)                                                 |
| Begrüßung durch die Projektleitung                         | Nicola Schuckert (Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (IER)) |
| Vorstellung der RZ-Anforderungen im Energieeffizienzgesetz | Thomas Hinsch (BMWK)                                                                    |
| Überblick und Ziel des Projekts PEERDC                     | Nicola Schuckert                                                                        |
| Vorstellung der Klassifizierung von Rechenzentren          | Felix Behrens (Öko-Institut e.V.)                                                       |
| Diskussion zur Klassifizierung von Rechenzentren           | Begleitkreisteilnehmer*innen / Moderation                                               |
| Pause                                                      |                                                                                         |
| Vorstellung der zu erhebenden Daten                        | Nicola Schuckert                                                                        |
| Diskussion der zu erhebenden Daten                         | Begleitkreisteilnehmer*innen / Moderation                                               |
| Zusammenfassung und nächste Schritte                       | Nicola Schuckert                                                                        |
| Verabschiedung und Feedback                                | Marina Köhn                                                                             |

Quelle: PEERDC: eigene Darstellung

Insgesamt 32 Expertinnen und Experten nahmen am zweiten Begleitkreistreffen teil. Teil dieses Begleitkreistreffens waren zwei Diskussionsrunden in diesem Personenkreis, um die Begleitkreisteilnehmenden bestmöglich einzubinden. In zwei Diskussionsrunden wurde über die Klassifikation der Rechenzentren im Register und die Datenerhebung diskutiert. Behandelt wurden hierbei:

1. Vergleichbarkeit und Grenzwerte
2. Nachvollziehbarkeit der Datenstruktur
3. Datensammlung und Datenlieferung

Alle Antworten der Teilnehmenden wurden auf einem virtuellen Whiteboard erfasst, um dem Konsortium eine gute Dokumentation und den Teilnehmenden ein möglichst leichtes Folgen zu ermöglichen.

Als Fazit des zweiten PEERDC Begleitkreistreffens ist festzuhalten, dass die Klassifizierung dazu dienen soll, die Rechenzentren innerhalb der Energieeffizienz Kennzahlen in Kategorien einzuteilen, um eine faire Vergleichbarkeit zu ermöglichen. Eine Grenzwert-Modifikation wurde für eine bessere Vergleichbarkeit nicht als notwendig erachtet. Im Gegensatz dazu wurde eine Unterscheidung zwischen Informationstechnik und Rechenzentrumsbetreiber sowie die Angabe mehrerer Verantwortungsbereiche für ein Rechenzentrum (z. B. MSP und Co-Location zur gleichen Zeit) bzw. für die Handhabung von Multi-Use Rechenzentren als wichtig erachtet. Die Datenstruktur wurde generell als nachvollziehbar erachtet, nur für Multi-Use Rechenzentren wurde eine Anpassung empfohlen. Hinsichtlich der Datensammlung stellte die Erfassung der Energieverbräuche für die Teilnehmenden kein Problem dar. Die Erfassung von Wärmemengen und CPU-Auslastung wurde als wichtig erachtet, obwohl deren Erhebung mit exakten Zahlen als herausfordernd erachtet wurde.

Insgesamt hat sich eine Bereitschaft der Teilnehmenden herauskristallisiert, Daten an das Register zu liefern. Eine automatische Datenübertragung aus der Bewertungssoftware in das Effizienzregister sowie der Zugang zu den nichtöffentlichen Daten durch Behörden und Wissenschaft wurden zusätzlich angeregt.

### Drittes Begleitkreistreffen

Das dritte Begleitkreistreffen fand am 5. Dezember 2022 in hybrider Form im Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz und online statt. Bei dieser Veranstaltung wurden das Register mit seinen Visualisierungen sowie das Erfassungstool mithilfe der bisherigen Praxiserfahrungen vorgestellt (siehe Abbildung 53).

**Abbildung 53: Agenda des 3. Begleitkreistreffens**

| Agenda                                                                |                                                                       |
|-----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| Begrüßung durch das BMWK und das Umweltbundesamt                      | Thomas Hinsch (BMWK), Marina Köhn (UBA)                               |
| Begrüßung durch die Projektleitung                                    | Prof. Dr. Peter Radgen (IER)                                          |
| Vorstellung der Register Visualisierungen                             | Nicola Schuckert (IER)                                                |
| Diskussion zur Visualisierung                                         | Begleitkreisteilnehmer*innen / Moderation                             |
| Pause                                                                 | 15 Minuten                                                            |
| Vorstellung des Erfassungstools mithilfe bisheriger Praxiserfahrungen | Felix Behrens (Öko-Insitut e.V.), Dr. Dieter Thiel (Datacenter Group) |
| Diskussion zum Erfassungstool                                         | Begleitkreisteilnehmer*innen / Moderation                             |
| Zusammenfassung und nächste Schritte                                  | Prof. Dr. Peter Radgen                                                |
| Verabschiedung und Feedback                                           | Begleitkreisteilnehmer*innen/Moderation                               |



Quelle: PEERDC: eigene Darstellung

Zusammengekommen sind für diese Treffen 37 Expertinnen und Experten. Teil des dritten Begleitkreistreffens waren zwei Diskussionsrunden, um die Begleitkreisteilnehmenden bestmöglich einzubinden. In diesen Diskussionsrunden wurde über das Register mit seinen Visualisierungen sowie das Erfassungstool auf Basis der bisherigen Praxiserfahrungen diskutiert und folgende Diskussionsthemen abgedeckt:

1. Datenauswahl und -erfassung
2. Darstellungsverbesserung
3. Nutzungsverbesserung

Als Fazit zum dritten PEERDC Begleitkreistreffen ist zusammenzufassen, dass die Datenauswahl grundsätzlich als gut befunden wurde und die Erfassung von IT-Grundfläche, Leistungsdichte und einer detaillierten Aufschlüsselung der Energiequellen. Eine Online-Version des Tools für den Datenupload wurde zusätzlich angeregt. Zur Darstellungsverbesserung wurden neben Vorschlägen für eine bessere Übersichtlichkeit, wie Farbwahl, Verstecken von Zahlenwerten etc. auch eine zielgruppenspezifische Visualisierung vorgeschlagen. Zur Verbesserung der Nutzbarkeit wurde eine uneingeschränkte Filtermöglichkeit über alle vorhandenen Datenpunkte hinweg gewünscht. Zudem wurden zielgruppenspezifische Filter für verschiedene Nutzergruppen sowie

Filter für Verfügbarkeitsklasse, Fläche, Dichte, Kühlfähigkeit, Einkaufsklasse und Zertifikate vorgeschlagen. Insgesamt sprachen sich die Teilnehmenden für die Eintragung im Register aus und lobten die bereits bestehende Form.

### **6.3.3 Nachbereitung der Begleitkreistreffen**

Nach jeder Begleitkreissitzung wurde eine umfassende Dokumentation erstellt, die die wichtigsten Inhalte und Ergebnisse der Sitzung zusammenfasste. Diese Dokumentation wurde anschließend mit dem Konsortium abgestimmt, um sicherzustellen, dass alle relevanten Informationen erfasst und korrekt wiedergegeben wurden.

Die erstellte Dokumentation wurde daraufhin an den Begleitkreis versandt, um den Teilnehmenden eine Zusammenfassung der besprochenen Themen und Ergebnisse zur Verfügung zu stellen und Ihnen eine vertiefte Auseinandersetzung mit den Projekthinhalten zu ermöglichen.

Ein detailliertes Protokoll wurde erstellt, das die Diskussion und offenen Punkte der Begleitkreissitzung festhält. Dieses Protokoll diente als Referenzdokument für die weiteren Projektarbeiten und ermöglicht eine transparente und strukturierte Weiterarbeit.

In einem Follow-Up wurden die Ergebnisse der Sitzung in verschiedenen Formaten aufbereitet, darunter in Form eines Protokolls und eines Miroboards. Zusätzlich wurden die Präsentationen, die während der Begleitkreissitzung verwendet wurden, bereitgestellt, um den Teilnehmerinnen und Teilnehmern die Möglichkeit zu geben, die Inhalte nochmals nachzuvollziehen und zu vertiefen.

Im Anschluss an die letzte Begleitkreissitzung wurde zudem der finale Fragebogen zur Verfügung gestellt, um die Eintragungen in das Register zu ermöglichen. Die Nachbereitung der Begleitkreistreffen stellte somit einen wichtigen Baustein dar, um die Kommunikation und Zusammenarbeit mit dem Begleitkreis aufrechtzuerhalten und die Projekthinhalte kontinuierlich zu verbessern und anzupassen. Insgesamt haben die PEERDC Begleitkreistreffen und die Unterstützung der Begleitkreisteilnehmenden zu einem erfolgreichen Verlauf des Projekts beigetragen.

## 7 Projektergebnisse und weiterer Forschungsbedarf

### 7.1 Projektergebnisse

Das Projekt zielt darauf ab, eine transparente und vergleichbare Grundlage für den Wettbewerb, um Energieeffizienz in der IT-Branche zu schaffen. Um das zu erreichen, wurde eine Klassifizierungsmethode, der Prototyp für ein Energieeffizienzregister und eine Bewertungsmethodik entwickelt.

Die vorgestellte Klassifizierungsmethode bietet eine vielversprechende Grundlage für einen transparenten und fairen Wettbewerb um Energieeffizienz im Bereich der Rechenzentren. Indem verschiedene Betreiber und IT-Nutzende ihre Einrichtungen entsprechend dieser Kategorie einordnen, entsteht eine öffentliche Sicherheit bezüglich der Energieeffizienzleistung, was Anreize für eine kontinuierliche Verbesserung schafft. Darüber hinaus ermöglicht die Berücksichtigung von Verfügbarkeit, Größe und klimatischen Bedingungen eine differenzierte Bewertung, die den unterschiedlichen Anforderungen und Gegebenheiten gerecht wird. Die Energieeffizienz von RZ hängt nicht allein von ihrer Größe oder ihrem Betreibertyp ab. Vielmehr spielen auch infrastrukturelle Aspekte wie Verfügbarkeitskategorie und klimatische Bedingungen eine entscheidende Rolle. Durch die kontinuierliche Überprüfung und Anpassung der Klassifizierungsmethode auf Basis von Expertenmeinungen und Marktdaten kann eine hohe Relevanz und Aktualität sichergestellt werden.

Die Bereitstellung eines umfassenden Registers ist von großer Bedeutung, da Rechenzentren einen signifikanten und zunehmend steigenden Anteil am Gesamtenergieverbrauch ausmachen und somit einen erheblichen Einfluss auf die Umweltbilanz haben. Durch die strukturierte Erfassung und Bereitstellung von Daten können gezielte Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz getroffen werden und die Transparenz in Bezug auf den Energieverbrauch erhöht werden.

Eine zentrale Herausforderung bei der Entwicklung eines solchen Registers besteht darin, eine ausgewogene Balance zwischen der Offenlegung relevanter Informationen und dem Schutz sensibler Daten zu gewährleisten. Diese Herausforderung wird durch die Verwendung einer relationalen Datenbank und einer klaren Trennung zwischen öffentlichen und nichtöffentlichen Daten adressiert. Mithilfe dieser Datenbank werden eine strukturierte Datenerfassung und eine effiziente Verwaltung der Informationen gewährleistet. Die Daten können auf Postleitzahlgebiete aggregiert werden, sodass der genaue Standort des Rechenzentrums nicht öffentlich dargestellt werden muss. Dadurch wird die Sicherheit der Privatsphäre der Rechenzentren gewahrt, während dennoch ausreichend Informationen für eine Analyse und Vergleichbarkeit zur Verfügung stehen. Die Entwicklung spezieller Erfassungssoftware erleichtert den Rechenzentrums- und IT-Betreibern die Erfassung und Übermittlung ihrer Daten, was wiederum die Qualität und Vollständigkeit der Daten verbessert. Ein weiterer wichtiger Punkt des Projekts war die Erreichung der Trennung zwischen IT- und RZ-Betreibern, die durch die Strukturierung der Datenbank und die Verknüpfung zwischen IT und Rechenzentrum in der Datenbank erreicht wurde.

Eine weitere wichtige Erkenntnis aus diesem Forschungsvorhaben betrifft die Bedeutung von Datenvisualisierung und Interaktivität für die Verständlichkeit und Zugänglichkeit von komplexen Daten. Die Dash-Webanwendung ermöglicht es Nutzenden, Daten auf vielfältige Weise zu erkunden und zu interpretieren, indem sie Choroplethenkarten, Diagramme und Filteroptionen verwendet. Diese interaktiven Funktionen tragen dazu bei, komplexe Informationen verständlich zu machen und Einblicke in die Energieeffizienz von Rechenzentren auch für weniger Fachkundige Betrachter zu ermöglichen. Darüber hinaus wurde im Rahmen dieses Vorhabens deutlich, wie wichtig Sicherheit und Datenschutz bei der Entwicklung und Implementierung eines

solchen Registers sind. Durch die Implementierung von Verschlüsselungstechnologien, Zugriffskontrollen und Datenschutzrichtlinien kann sichergestellt werden, dass die Vertraulichkeit und Integrität der Daten gewährleistet sind. Ein weiterer bedeutender Aspekt, der diskutiert wurde, betrifft das Potenzial für zukünftige Erweiterungen und Verbesserungen des Registers. Dazu gehören die Integration zusätzlicher Kennzahlen, erweiterte Filteroptionen, verbesserte Benutzeroberflächenfunktionen sowie die Implementierung von Algorithmen des maschinellen Lernens zur Vorhersage zukünftiger Trends. Diese Erweiterungen könnten dazu beitragen, die Leistungsfähigkeit und Nützlichkeit des Registers weiter zu verbessern.

Im September 2023 trat das EnEfG in Kraft und verpflichtet zukünftig Rechenzentren dazu ihre Kennzahlen zu veröffentlichen. Allerdings ist nicht festgelegt, wo diese veröffentlicht werden müssen. Es besteht die Möglichkeit, sie an das öffentliche Register des BMWKs (RZReg) zu übermitteln, wodurch die Entwicklung und der aktuelle Stand der Branche übersichtlich dargestellt werden können. Auf europäischer Ebene (EED, Kapitel 2.3) sollen Daten jedoch nur in aggregierter Form veröffentlicht werden, wodurch eine Vergleichbarkeit einzelner Rechenzentren nicht möglich ist.

Das im Projekt beschriebene Verfahren ermöglicht eine Filterung nach KPIs, was einen wichtigen Schritt in Richtung Transparenz darstellt. Des Weiteren kann das entwickelte Energieeffizienzlabel in die Visualisierung der Darstellung einzelner Rechenzentren integriert werden. Um dies jedoch im gesetzlichen Rahmen zu ermöglichen, müsste der Umfang der Datenerfassung im Gesetz erweitert werden.

Die Kooperation mit verschiedenen Akteuren, darunter Betreibern mittelgroßer Unternehmen und Co-Location Anbietern, erwies sich als äußerst wertvoll für das Projekt. Diese Partnerschaft ermöglichte wichtige Einblicke in die Struktur und den Energieverbrauch von Rechenzentren. Durch den Austausch von Informationen konnten nicht nur die Qualitätssicherung verbessert, sondern auch die praktische Umsetzung der Datenerfassung praxisgerecht gestaltet werden. Ein bedeutender Erfolg bestand darin, dass die beteiligten Unternehmen Basisinformationen zu Rechenzentren, Infrastruktur und Gesamtenergieverbrauch bereitstellten. Insbesondere die Angaben zu globalen Energieverbräuchen und zur infrastrukturellen Versorgung wurden geliefert, was auf eine gewisse Akzeptanz der Erfassungsdaten hinweist.

Ein weiterer Erfolg des Projekts lag in der Entwicklung eines funktionierenden strukturierten Erfassungssystems, das erfolgreich in der Praxis getestet wurde. Trotz anfänglicher Skepsis und Hindernissen konnte das System implementiert und seine Anwendbarkeit unter Beweis gestellt werden. Die Reduzierung des Abfragevolumens von Datenpunkten in den Erfassungsbögen und die klare Einteilung der Daten in verschiedene Kategorien wie "öffentlich" oder "vertraulich" trugen dazu bei, Bedenken hinsichtlich des Umfangs und der Vertraulichkeit der Daten zu berücksichtigen.

Jedoch wurden während des Projekts auch Herausforderungen und Hindernisse identifiziert, die die Datenerfassung beeinträchtigten. Die Skepsis und Zurückhaltung einiger Unternehmen in Bezug auf die Offenlegung energetischer Kenngrößen sowie die Sorge um die Sicherheit und Geschäftsmodelle stellten bedeutende Hürden dar. Insbesondere große Co-Location Anbieter zeigten eine geringere Bereitschaft zur aktiven Mitarbeit und Datenlieferung. Eine weitere Herausforderung bestand in der Lückenhaftigkeit der Angaben zum IT-Bereich, insbesondere zu den einzelnen IT-Komponenten und deren Auslastung. Vielfach werden diese Daten derzeit durch die Betreiber nicht erfasst. Technische Einschränkungen und zusätzliche Investitionen, die für die Beantwortung der abgefragten Datenpunkte erforderlich wären, wurden von einigen Unternehmen als Barriere empfunden.

Trotz dieser Herausforderungen stellt die erfolgreiche Datenerfassung einen wichtigen Schritt dar, um Transparenz und Effizienz in der Rechenzentrumsbranche zu fördern. Die Auswertung von Erfolgen und Herausforderungen bietet eine gute Grundlage für zukünftige Verbesserungen und Weiterentwicklungen des Registers für Rechenzentren, um seine Nützlichkeit und Akzeptanz weiter zu steigern. Diese Erkenntnisse sind von entscheidender Bedeutung für die Entwicklung von Strategien zur Verbesserung der Datenqualität und zur Erreichung einer breiteren Beteiligung auf der Unternehmensseite.

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurde auch die Machbarkeit für den Aufbau eines europäischen Bewertungssystems geprüft. Angesichts der regulatorischen Maßnahmen auf europäischer Ebene wurden zusätzliche Faktoren wie beispielsweise die Wasserknappheit in die Bewertung einbezogen. Das übergeordnete Ziel besteht darin, ein einheitliches Bewertungssystem zu entwickeln, das eine europaweite Vergleichbarkeit von Rechenzentren ermöglicht. Das flexible Rechenzentrums Register wurde bewusst so konzipiert, dass zukünftige Daten auf europäischer Ebene problemlos als Datenfelder integriert werden können. Dies stellt sicher, dass das System offen für zukünftige Entwicklungen und Anforderungen ist.

## 7.2 Verbleibender Forschungsbedarf

Das PEERDC Projekt hat dazu beigetragen signifikante Fortschritte in der öffentlichen Wahrnehmung hinsichtlich der Energieeffizienz von Rechenzentren zu erzielen und eine transparente und vergleichbare Grundlage für den Wettbewerb in der IT-Branche zu schaffen. Durch eine Ausdehnung der Ergebnisse auf europäischer Ebene könnte das Projekt einen bedeutenden Beitrag zur Förderung einer nachhaltigen IT-Infrastruktur in Europa leisten und die Grundlagen für eine kontinuierliche Weiterentwicklung und Verbesserung in der Zukunft legen. Das Register trägt dazu bei, die Transparenz und Effizienz im Bereich der Rechenzentren zu verbessern und unterstützt die Bemühungen um eine nachhaltigere Nutzung von Ressourcen sowie eine Reduzierung des ökologischen Fußabdrucks. Die kontinuierliche Aktualisierung und Weiterentwicklung des Registers ermöglicht noch detailliertere Analysen und die Entwicklung gezielter Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz von Rechenzentren.

Nach Abschluss des PEERDC Projekts stehen weitere wichtige Schritte an, um die Energieeffizienz von Rechenzentren weiter zu verbessern und eine nachhaltige IT-Infrastruktur auf bundes- und europäischer Ebene zu fördern. Hier sind einige mögliche Ansätze für zukünftige Weiterentwicklungen:

1. Erweiterung des Energieeffizienzregisters: Das PEERDC-Projekt hat bereits einen Prototyp für das Energieeffizienzregister entwickelt. In der nächsten Phase sollten Maßnahmen zur Verbesserung der Akzeptanz durchgeführt werden um die Bereitschaft zur Teilnahme der Rechenzentren an einem öffentlichen Register zu erhöhen. Dies kann durch gezielte Sensibilisierungsmaßnahmen, Anreize oder sogar gesetzliche Vorschriften zur Datenerfassung und -veröffentlichung erreicht werden.
2. Verbesserung des Bewertungssystems und Labels: Die klare Unterscheidung zwischen der Energieeffizienz der Rechenzentrumsinfrastruktur und der Energieeffizienz der Informationstechnologie ist von entscheidender Bedeutung. Hier sollten weitere Schritte unternommen werden, um das Bewertungssystem und das Label im Energieeffizienzregister so zu gestalten, dass Nutzer intuitiv die Unterschiede verstehen können. Die Integration des Labels sollte insbesondere auch auf europäischer Ebene diskutiert werden, da eine aussagekräftige Vergleichbarkeit zwischen den verschiedenen Rechenzentrumstypen auch Europaweit gewährleistet sein sollte.

3. Fortsetzung der Machbarkeitsprüfung auf europäischer Ebene: Die Integration zusätzlicher Faktoren wie Wasserknappheit in die Bewertung von Rechenzentren auf europäischer Ebene ist ein wichtiger Schritt, um ein einheitliches und vergleichbares System zu schaffen. Die Zusammenarbeit mit europäischen Partnern und die Berücksichtigung verschiedener regulatorischer Rahmenbedingungen sind entscheidend, um die Relevanz des PEERDC Arbeiten auf europäischer Ebene zu stärken.

In der Gesamtheit zeigt sich der Schlüssel zum Erfolg des PEERDC Projektes in der fortlaufenden Zusammenarbeit mit Industrie, Politik und Forschung, um die Energieeffizienz von Rechenzentren weiter zu stärken und eine nachhaltige sowie transparente IT-Infrastruktur in Europa zu etablieren. Mit den erzielten Fortschritten hat das PEERDC Projekt einen maßgeblichen Beitrag zur Verwirklichung dieser Ziele leisten können.

## Literaturverzeichnis

- Acton, M.; Bertoldi, P.; Booth, J. (2021): 2021 Best Practice Guidelines for the EU Code of Conduct on Data Centre Energy Efficiency, JRC123653. Europäische Kommission (Hg.). Ispra, 2021. Online verfügbar unter [https://e3p.jrc.ec.europa.eu/sites/default/files/documents/publications/jrc123653\\_jrc119571\\_2021\\_best\\_practice\\_guidelines\\_final\\_v1\\_1.pdf](https://e3p.jrc.ec.europa.eu/sites/default/files/documents/publications/jrc123653_jrc119571_2021_best_practice_guidelines_final_v1_1.pdf), zuletzt geprüft am 30.10.2024.
- Acton, M.; Bertoldi, P.; Booth, J. (2022): 2022 Best Practice Guidelines for the EU Code of Conduct on Data Centre Energy Efficiency, JRC128184. Europäische Kommission (Hg.). Ispra, 2022. Online verfügbar unter [https://e3p.jrc.ec.europa.eu/sites/default/files/documents/publications/jrc128184\\_jrc128184\\_jrc128184\\_2022\\_best\\_practice\\_guidelines-1.pdf](https://e3p.jrc.ec.europa.eu/sites/default/files/documents/publications/jrc128184_jrc128184_jrc128184_2022_best_practice_guidelines-1.pdf), zuletzt geprüft am 27.11.2024.
- Andrea, M. (2017): "Data Center Standards: Size and Density", The Strategic Directions Group Pty Ltd, (2014), zitiert in "Data Centers Jobs and Opportunities in Communities Nationwide", Nam Pham. US chamber of Commerce Technology Engagement Center (Hg.), 2017. Online verfügbar unter <https://ssrn.com/abstract=2998644>.
- Ascierto, R.; Lawrence, A. (2020): Uptime Institute global data center survey 2020. Uptime Institute, 2020. Online verfügbar unter <https://uptimeinstitute.com/2020-data-center-industry-survey-results>, zuletzt geprüft am 30.10.2024.
- Bilsen, V.; Gröger, J.; Devriendt, W.; Bley, F.; Carpentier, M.; Duchêne, V.; Lecocq, C.; Legein, E.; Liu, R.; Köhler, A. R.; Quack, D.; Behrens, F.; Gaušas, S. (2022): Study on Greening Cloud Computing and Electronic Communications Services and Networks, Towards Climate Neutrality by 2050. Directorate-General for Communications Networks, Content and Technology, 22.03.2022. Online verfügbar unter <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/library/study-greening-cloud-computing-and-electronic-communications-services-and-networks-towards-climate>, zuletzt geprüft am 03.09.2024.
- Bitkom e.V. (2021): Betriebssicheres Rechenzentrum. Bitkom e.V. (Hg.). Online verfügbar unter <https://www.bitkom.org/Bitkom/Publikationen/Betriebssicheres-Rechenzentrum.html>, zuletzt aktualisiert am 19.11.2021, zuletzt geprüft am 19.11.2021.
- Blauer Engel (2023): Blauer Engel Das Umweltzeichen Rechenzentren DE-UZ 228, Vergabekriterien Ausgabe Januar 2023 Version 1. Umweltbundesamt (Hg.), 2023. Online verfügbar unter <https://produktinfo.blauer-engel.de/uploads/criteriafile/de/DE-UZ%20228-202301-de-Kriterien-V1.pdf>, zuletzt geprüft am 08.06.2023.
- Blauer Engel (2024): Rechenzentren (DE-UZ 228). Online verfügbar unter <https://www.blauer-engel.de/de/produktwelt/rechenzentren>, zuletzt aktualisiert am 27.11.2024, zuletzt geprüft am 27.11.2024.
- Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (2024a): Leitfaden zu den Datenpunkten im Rechenzentrumsregister (RZReg), Informationen für Betreiber von Rechenzentren gemäß der §§ 13, 14 Energieeffizienzgesetz Version 1.0 (1.0. Aufl.), 10.04.2024.
- Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (2024b): Merkblatt für das Energieeffizienzgesetz (EnEfG), nach den gesetzlichen Bestimmungen der §§ 8 – 10 und 19 des EnEfG (1.2. Aufl.), 01.03.2024.
- Bundesministerium für Justiz (Ausfertigungsdatum: 1962): Verordnung über die bauliche Nutzung der Grundstücke, Baunutzungsverordnung, BauNVO, Fassung vom Baunutzungsverordnung in der Fassung der Bekanntmachung vom 21.11.2017 (BGBl. I S. 3786), die zuletzt durch Artikel 2 des Gesetzes vom 03.07.2023 (BGBl. 2023 I Nr. 176) geändert worden ist.
- Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (2024a): Energieeffizienzregister für Rechenzentren (RZReg), Was ist das Rechenzentrumsregister? Online verfügbar unter <https://www.bmwk.de/RZReg/rechenzentrums-register.html>, zuletzt geprüft am 22.05.2024.

- Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (2024b): Energieeffizienzregister für Rechenzentren (RZReg). Online verfügbar unter <https://rzreg.bmwk.de/datacenter/>, zuletzt geprüft am 29.08.2024.
- Climate Neutral Data Center Pact (2023): Working Groups – Climate Neutral Data Centre Pact. Online verfügbar unter <https://www.climateutraldatacentre.net/working-groups/#energy-efficiency>, zuletzt aktualisiert am 29.03.2023, zuletzt geprüft am 29.03.2023.
- Consumer Research Associates (Hg.) (2014): Energy Efficiency Policy Options for Australian and New Zealand Data Centres, 2014. Online verfügbar unter [https://www.energyrating.gov.au/sites/default/files/documents/Energy-Efficiency-Policy-Options-for-AUSNZ-Data-Centres\\_April-2014\\_0.pdf](https://www.energyrating.gov.au/sites/default/files/documents/Energy-Efficiency-Policy-Options-for-AUSNZ-Data-Centres_April-2014_0.pdf).
- Data Center Knowledge (2013): Taking a Leap Forward in Efficiency with Real-Time PUE. Online verfügbar unter <https://www.datacenterknowledge.com/archives/2013/08/21/taking-a-leap-forward-in-efficiency-with-real-time-pue>, zuletzt aktualisiert am 21.08.2013, zuletzt geprüft am 04.01.2022.
- Data Center Knowledge (2018): Five Reasons Data Center Liquid Cooling Is on the Rise. Online verfügbar unter <https://www.datacenterknowledge.com/power-and-cooling/five-reasons-data-center-liquid-cooling-rise>, zuletzt aktualisiert am 13.08.2018, zuletzt geprüft am 03.01.2022.
- Deutsche Emissionshandelsstelle (DEHSt) im Umweltbundesamt (Stand: 2023): Anhang 4: Standardfaktoren (DEHSt-Liste), Standardfaktoren nach Art. 31 Abs. 1 c) MVO für Emissionsfaktoren, Heizwerte und Kohlenstoffgehalte. Online verfügbar unter [https://www.dehst.de/SharedDocs/downloads/DE/stationaere\\_anlagen/2021-2030/Ueberwachungsplan\\_Leitfaden\\_Anhang4.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=2](https://www.dehst.de/SharedDocs/downloads/DE/stationaere_anlagen/2021-2030/Ueberwachungsplan_Leitfaden_Anhang4.pdf?__blob=publicationFile&v=2), zuletzt geprüft am 27.11.2024.
- Deutscher Wetterdienst: DWD Climate Data Center (CDC): Historische monatliche Kühlgradstunden für Deutschland, Qualitätskontrolle noch nicht vollständig durchlaufen (Version v19.3). Online verfügbar unter [https://opendata.dwd.de/climate\\_environment/CDC/derived\\_germany/techn/monthly/heating\\_degreedays/hdd\\_3807/recent/\\_degreehours/BESCHREIBUNG\\_derivgermany\\_techn\\_monthly\\_cooling\\_degreethours\\_cdh\\_historical\\_de.pdf](https://opendata.dwd.de/climate_environment/CDC/derived_germany/techn/monthly/heating_degreedays/hdd_3807/recent/_degreehours/BESCHREIBUNG_derivgermany_techn_monthly_cooling_degreethours_cdh_historical_de.pdf), zuletzt geprüft am 30.10.2024.
- DIN EN 50600-1 (2019): Informationstechnik - Einrichtungen und Infrastrukturen von Rechenzentren Teil 1: Allgemeine Konzepte, VDE Verlag. Online verfügbar unter <https://www.vde-verlag.de/normen/0800591/din-en-50600-1-vde-0801-600-1-2019-08.html>, zuletzt geprüft am 30.10.2024.
- DIN EN 50600-4-2 (2016): Informationstechnik – Einrichtungen und Infrastrukturen von Rechenzentren Teil 4-2: Kennzahl zur eingesetzten Energie. Online verfügbar unter <https://www.vde-verlag.de/normen/0800596/din-en-50600-4-2-vde-0801-600-4-2-2019-08.html>, zuletzt geprüft am 30.10.2024.
- DIN EN 50600-4-3 (2017): Informationstechnik – Einrichtungen und Infrastrukturen von Rechenzentren Teil 4-3: Anteil erneuerbarer Energien, VDE Verlag. Online verfügbar unter <https://www.vde-verlag.de/normen/0800595/din-en-50600-4-3-vde-0801-600-4-3-2019-08.html>, zuletzt geprüft am 30.10.2024.
- DIN EN 50600-4-6 (2020): Informationstechnik – Einrichtungen und Infrastrukturen von Rechenzentren Teil 4-6: Faktor der Energiewiederverwendung, VDE Verlag. Online verfügbar unter <https://www.vde-verlag.de/normen/0800695/din-en-50600-4-6-vde-0801-600-4-6-2020-11.html>, zuletzt geprüft am 30.10.2024.
- DIN EN 50600-4-7 (2020): Informationstechnik – Einrichtungen und Infrastrukturen von Rechenzentren Teil 4-7: Wirkungsgrad der Kühlung (CER). Online verfügbar unter <https://www.vde-verlag.de/normen/0800683/din-en-50600-4-7-vde-0801-600-4-7-2020-08.html>, zuletzt geprüft am 30.10.2024.
- DIN EN 50600-4-8 (2022): Informationstechnik – Einrichtungen und Infrastrukturen von Rechenzentren Teil 4-8: Effektivität der Vermeidung von CO<sub>2</sub>-Emissionen. Online verfügbar unter <https://www.vde-verlag.de/normen/0800878/din-en-50600-4-8-vde-0801-600-4-8-2023-08.html>, zuletzt geprüft am 30.10.2024.

DIN EN 50600-4-9 (2022): Informationstechnik – Einrichtungen und Infrastrukturen von Rechenzentren Teil 4-9: Effektivität der Wasserverwendung. Online verfügbar unter <https://www.vde-verlag.de/normen/0800879/din-en-50600-4-9-vde-0801-600-4-9-2023-08.html>, zuletzt geprüft am 30.10.2024.

DIN EN ISO 14001 (2015): Umweltmanagementsysteme - Anforderungen mit Anleitung zur Anwendung. Online verfügbar unter <https://www.dinmedia.de/de/norm/din-en-iso-14001/236721041>, zuletzt geprüft am 30.10.2024.

EMAS (2009): Europäisches Parlament und Rat. Verordnung (EG) Nr. 1221/2009 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 25. November 2009 über die freiwillige Teilnahme von Organisationen an einem Gemeinschaftssystem für Umweltmanagement und Umweltbetriebsprüfung und zur Aufhebung der Verordnung (EG) Nr. 761/2001, sowie der Beschlüsse der Kommission 2001/681/EG und 2006/193/EG, EMAS. Online verfügbar unter <http://data.europa.eu/eli/reg/2009/1221/2023-07-12>.

EnEfG (2023): Bundestag. Gesetz zur Steigerung der Energieeffizienz und zur Änderung des Energiedienstleistungsgesetzes, EnEfG. Online verfügbar unter [https://www.recht.bund.de/bgbl/1/2023/309/regelungstext.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=2](https://www.recht.bund.de/bgbl/1/2023/309/regelungstext.pdf?__blob=publicationFile&v=2), zuletzt geprüft am 30.10.2024.

Europäische Kommission (2019): Verordnung (EU) 2019/424 der Kommission vom 15. März 2019 zur Festlegung von Ökodesign-Anforderungen an Server und Datenspeicherprodukte gemäß der Richtlinie 2009/125/EG des Europäischen Parlaments und des Rates und zur Änderung der Verordnung (EU) Nr. 617/2013 der Kommission. Online verfügbar unter <http://data.europa.eu/eli/reg/2019/424/oj>, zuletzt geprüft am 27.11.2024.

Europäische Kommission (2021): Vorschlag für eine Richtlinie des Europäischen Parlamentes und des Rates zur Energieeffizienz (Neufassung). Online verfügbar unter <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52021PC0558>, zuletzt aktualisiert am 29.03.2023, zuletzt geprüft am 29.03.2023.

Europäische Kommission (2024): Delegierte Verordnung (EU) 2024/1364 der Kommission vom 14. März 2024 über die erste Phase der Einrichtung eines gemeinsamen Bewertungssystems der Union für Rechenzentren. Online verfügbar unter [http://data.europa.eu/eli/reg\\_del/2024/1364/oj](http://data.europa.eu/eli/reg_del/2024/1364/oj), zuletzt geprüft am 22.05.2024.

Europäische Kommission: Grünes öffentliches Beschaffungswesen, Beschaffung von Waren, Dienstleistungen und Arbeiten mit geringeren Umweltauswirkungen während ihres gesamten Lebenszyklus. Online verfügbar unter [https://green-business.ec.europa.eu/green-public-procurement\\_en?prefLang=de](https://green-business.ec.europa.eu/green-public-procurement_en?prefLang=de), zuletzt geprüft am 27.11.2024.

Europäisches Parlament und Rat (2009): Richtlinie 2009/125/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 21. Oktober 2009 zur Schaffung eines Rahmens für die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung energieverbrauchsrelevanter Produkte (Neufassung). Online verfügbar unter <http://data.europa.eu/eli/dir/2009/125/2012-12-04>, zuletzt geprüft am 23.03.2023.

Europäisches Parlament und Rat (2017): Verordnung (EU) 2017/1369 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 4. Juli 2017 zur Festlegung eines Rahmens für die Energieverbrauchskennzeichnung und zur Aufhebung der Richtlinie 2010/30/EU. Online verfügbar unter <http://data.europa.eu/eli/reg/2017/1369/oj>, zuletzt geprüft am 23.03.2023.

Europäisches Parlament und Rat (2018): Richtlinie (EU) 2018/844 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 30. Mai 2018 zur Änderung der Richtlinie 2010/31/EU über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden und der Richtlinie 2012/27/EU über Energieeffizienz. Online verfügbar unter <http://data.europa.eu/eli/dir/2018/844/oj>, zuletzt geprüft am 13.04.2023.

Europäisches Parlament und Rat (2020): Verordnung (EU) 2020/852 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 18. Juni 2020 über die Einrichtung eines Rahmens zur Erleichterung nachhaltiger Investitionen

- und zur Änderung der Verordnung (EU) 2019/2088. Online verfügbar unter <http://data.europa.eu/eli/reg/2020/852/oj>, zuletzt geprüft am 29.03.2023.
- Europäisches Parlament und Rat (2021): Delegierte Verordnung (EU) 2021/2139 der Kommission vom 4. Juni 2021 zur Ergänzung der Verordnung (EU) 2020/852 des Europäischen Parlaments und des Rates durch Festlegung der technischen Bewertungskriterien, anhand deren bestimmt wird, unter welchen Bedingungen davon auszugehen ist, dass eine Wirtschaftstätigkeit einen wesentlichen Beitrag zum Klimaschutz oder zur Anpassung an den Klimawandel leistet, und anhand deren bestimmt wird, ob diese Wirtschaftstätigkeit erhebliche Beeinträchtigungen eines der übrigen Umweltziele vermeidet (Text von Bedeutung für den EWR)Text von Bedeutung für den EWR, Fassung vom 01.01.2023. Online verfügbar unter [http://data.europa.eu/eli/reg\\_del/2021/2139/2023-01-01](http://data.europa.eu/eli/reg_del/2021/2139/2023-01-01), zuletzt geprüft am 04.04.2023.
- Europäisches Parlament und Rat (2023): Richtlinie (EU) 2023/1791 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 13. September 2023 zur Energieeffizienz und zur Änderung der Verordnung (EU) 2023/995 (Neufassung). Online verfügbar unter <http://data.europa.eu/eli/dir/2023/1791/oj>, zuletzt geprüft am 30.10.2024.
- Europäisches Parlament und Rat (2024): Verordnung (EU) 2024/573 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 7. Februar 2024 über fluorierte Treibhausgase, zur Änderung der Richtlinie (EU) 2019/1937 und zur Aufhebung der Verordnung (EU) Nr. 517/2014. Online verfügbar unter <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2024/573/oj>.
- Eurostat (2022): Cooling and heating degree days by country - annual data, 2022. Online verfügbar unter [https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/nrg\\_chdd\\_a/default/table?lang=de](https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/nrg_chdd_a/default/table?lang=de), zuletzt geprüft am 30.10.2024.
- Gassert, F.; Reig, P.; Luo, T.; Maddocks, A. (2013): Aqueduct Country and River Basin Rankings: A Weighted Aggregation of Spatially Distinct Hydrological Indicators. Online verfügbar unter <https://www.wri.org/research/aqueduct-country-and-river-basin-rankings>.
- Gröger, J.; Liu, R.; Stobbe, L.; Druschke, J.; Richter, N. (2021): Green Cloud Computing, Lebenszyklusbasierte Datenerhebung zu Umweltwirkungen des Cloud Computing. Umweltbundesamt (Hg.), 2021.
- Harryvan, D. H. (2021): The idle coefficients. KPIs to assess energy wasted in servers and data centres. IEA 4E Technology Collaboration Programme (Hg.), 2021. Online verfügbar unter <https://www.iea-4e.org/wp-content/uploads/2021/10/Server-Idle-Coefficients-FINAL-1.pdf>, zuletzt geprüft am 24.05.2024.
- Hintemann, R.; Fichter, K. (2010): Materialbestand der Rechenzentren in Deutschland. Umweltbundesamt (Hg.). Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/materialbestand-rechenzentren-in-deutschland>, zuletzt aktualisiert am 19.11.2021, zuletzt geprüft am 19.11.2021.
- Hintemann, R.; Graß, M. (2022): Rechenzentren in Deutschland, Aktuelle Marktentwicklungen, Stand 2022. Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e. V. Bitkom e.V. (Hg.), 2022.
- Hintemann, R.; Hinterholzer, S. (2023): Steigender Energie- und Ressourcenbedarf der Rechenzentrumsbranche, Rechenzentren rücken in den Fokus von Politik und Regulierung. Rechenzentren 2022. In: *Berlin: Borderstep Institut*.
- Hintemann, R.; Hinterholzer, S.; Seibel, H. (2023): Rechenzentren in Deutschland, Aktuelle Marktentwicklungen - Update 2023. Borderstep Institut. Bitkom e.V. (Hg.). Berlin, 2023.
- Kamiya, G.; Bertoldi, P. (2024): Energy Consumption in Data Centres and Energy Consumption in Data Centres and Broadband Communication Networks in the EU. Publications Office of the European Union (Hg.). Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2024.

- KlimaG BW (2023): Land Baden-Württemberg. Klimaschutz- und Klimawandelanpassungsgesetz Baden-Württemberg, KlimaG BW. Fundstelle: GBl. 2023, 26. Online verfügbar unter <https://www.landesrecht-bw.de/jportal/?quelle=jlink&query=KlimaSchG+BW&psml=bsbawueprod.psml&max=true&aiz=true>, zuletzt geprüft am 06.04.2023.
- Kütz, M. (2008): Kennzahlen in der IT: Werkzeuge für Controlling und Management 3. überarb. u. erw. Aufl.: dpunkt Verlag.
- Lutz, H. (2022a): „Jedes Unternehmen, das sich zügig auf den Weg macht, ist gut beraten“, Marina Köhn, Umweltbundesamt, zur Energie-Effizienz und Nachhaltigkeit im Rechenzentrum. Vogel IT-Medien GmbH (Hg.). Online verfügbar unter <https://www.datacenter-insider.de/jedes-unternehmen-das-sich-zuegig-auf-den-weg-macht-ist-gut-beraten-a-5bcb705790f02a53e302c2a33376a40b/>, zuletzt aktualisiert am 27.07.2023.
- Lutz, H. (2022b): Die Intention: Ein Bewertungssystem für Rechenzentren, PeerDC - der Aufbau eines Datacenter-Registers zur Bewertung der Energie-Effizienz. Vogel IT-Medien GmbH (Hg.). Online verfügbar unter <https://www.datacenter-insider.de/die-intention-ein-bewertungssystem-fuer-rechenzentren-a-1085921/>, zuletzt aktualisiert am 27.07.2023.
- Lutz, H. (2023): Forschungsprojekt PeerDC, Datacenter-Register: Mit Branchenbedenken in die entscheidende Phase. Vogel IT-Medien GmbH (Hg.). Online verfügbar unter <https://www.datacenter-insider.de/datacenter-register-mit-branchenbedenken-in-die-entscheidende-phase-a-5fc859a50f51e5181d159897542bc186/>, zuletzt geprüft am 27.07.2023.
- maxcountryman; alanhamlett; davidism et al.: Flask-Login. Python library. Version 0.6.3: GitHub, Inc. Online verfügbar unter <https://flask-login.readthedocs.io/en/latest/>, zuletzt geprüft am 20.06.2023.
- Mendes, A.; Ferreira, R. (2023): Flask vs FastAPI: what's better for app development? Imaginary Cloud © 2010-2023 (Hg.). Online verfügbar unter <https://www.imaginarycloud.com/blog/flask-vs-fastapi/>, zuletzt aktualisiert am 21.03.2023, zuletzt geprüft am 27.07.2023.
- Öko-Institut e.V.: Ganzheitliches Management von Energie- und Ressourceneffizienz in Unternehmen (MERU). Online verfügbar unter <https://www.meru-projekt.de/>, zuletzt geprüft am 27.11.2024.
- OpenStreetMap contributors. Online verfügbar unter <http://opendatacommons.org/licenses/dbcl/1.0/>, zuletzt geprüft am 27.11.2024.
- Ostler, U. (2022): Verbindliche Nachhaltigkeitskennzahlen und ein Register für Rechenzentren, Interview mit Dieter Thiel, Senior Consultant der Data Center Group. Vogel IT-Medien GmbH (Hg.). Online verfügbar unter <https://www.datacenter-insider.de/verbindliche-nachhaltigkeitskennzahlen-und-ein-register-fuer-rechenzentren-a-210b41e5e1e899cba3dd001d45c3fe07/>, zuletzt geprüft am 27.07.2023.
- Pallets (2007): werkzeug, Created using Sphinx 7.0.1. Online verfügbar unter <https://github.com/pallets/werkzeug/>, zuletzt aktualisiert am latest Version 2.3.4 2023, zuletzt geprüft am 18.07.2023.
- Pallets: Flask Documentation (1.1.x), Release 1.1.4. Online verfügbar unter <https://github.com/pallets/flask>.
- Pallets: Werkzeug Documation, Created using Sphinx 7.0.1. latest 2.3.6. Online verfügbar unter <https://github.com/pallets/werkzeug>, zuletzt geprüft am 27.11.2024.
- Pareto Software LLC (2023): Germany Cities Database, SimpleMaps.com. Online verfügbar unter <https://simplemaps.com/data/de-cities>.
- Pareto Software LLC: Germany Cities Database. Online verfügbar unter <https://simplemaps.com/data/de-cities>, zuletzt geprüft am 02.06.2024.
- PostGIS PSC & OSGeo (letztes Update 2023): PostGIS 3.0.0 Handbuch, Die PostGIS Development Group. Online verfügbar unter <https://postgis.net/docs//manual-3.4/postgis-de.html>.

- QGIS Development Team: QGIS Geographic Information System. Version 3.32: QGIS Association. Online verfügbar unter <https://www.qgis.org/>.
- Radgen, P. (2020): Leitfaden nachhaltige Rechenzentren, 06.2020. Online verfügbar unter [https://www.nachhaltige-rechenzentren.de/wp-content/uploads/2020/06/2020-06\\_Nachhaltige-Rechenzentren\\_Leitfaden\\_BF.pdf](https://www.nachhaltige-rechenzentren.de/wp-content/uploads/2020/06/2020-06_Nachhaltige-Rechenzentren_Leitfaden_BF.pdf).
- Rahkonen, T.; Dietrich, J. (2023): Server energy efficiency: five key insights, Briefing Report. Uptime Institute (Hg.), 2023. Online verfügbar unter <https://uptimeinstitute.com/resources/research-and-reports/server-energy-efficiency-five-key-insights>, zuletzt geprüft am 09.06.2023.
- Ritchie, H.; Roser, M. (2018): Water Use and Stress. In: *Our World in Data*; Online verfügbar unter <https://our-worldindata.org/water-use-stress>, zuletzt geprüft am 27.11.2024.
- Salom, J.; Urbaneck, T.; Oró, E. (2017): Advanced Concepts for Renewable Energy Supply of Data Centres. ERIC JOHNSON Atlantic Consulting. River Publishers (Hg.), 2017. Online verfügbar unter [https://www.river-publishers.com/pdf/ebook/RP\\_9788793519411.pdf](https://www.river-publishers.com/pdf/ebook/RP_9788793519411.pdf).
- Schödtell, B.; Zarnekow, R.; Gröger, J.; Liu, R.; Wilkens, M. (2018): Kennzahlen und Indikatoren für die Beurteilung der Ressourceneffizienz von Rechenzentren und Prüfung der praktischen Anwendbarkeit. Umweltbundesamt (Hg.), 2018.
- Shehabi, A.; Smith, S.; Sartor, D.; Brown, R.; Herrlin, M.; Koomey, J.; Masanet, E.; Horner, N.; Azevedo, I.; Lintner, W. (2016): United States Data Center Energy Usage Report, 2016.
- SPECpower Committee (2014): Power and Performance Benchmark Methodology V2.2, 03.12.2014. Online verfügbar unter [https://www.spec.org/power/docs/SPEC-Power\\_and\\_Performance\\_Methodology.pdf](https://www.spec.org/power/docs/SPEC-Power_and_Performance_Methodology.pdf), zuletzt geprüft am 31.05.2023.
- The PostgreSQL Global Development Group (1996-2023): New to PostgreSQL? Online verfügbar unter <https://www.postgresql.org/>, zuletzt geprüft am 10.06.2023.
- Umweltbundesamt (2023): Indikator: Nutzung der Wasserressourcen. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/daten/umweltindikatoren/indikator-nutzung-der-wasserressourcen#welche-bedeutung-hat-der-indikator>, zuletzt aktualisiert am 23.03.2023, zuletzt geprüft am 23.03.2023.
- Uptime Institute (2021): Uptime Institute Global Data Center Survey 2021. Unter Mitarbeit von Daniel Bizo; Rhonda Ascierio; Andy Lawrence und Jacqueline Davis, 2021. Online verfügbar unter <https://uptimeinstitute.com/2021-data-center-industry-survey-results>, zuletzt geprüft am 26.12.2022.
- Uptime Institute (2022): Data Center Site Infrastructure Tier Standard: Topology. Uptime Institute (Hg.). Online verfügbar unter <https://uptimeinstitute.com/publications/asset/tier-standard-topology>, zuletzt aktualisiert am 04.01.2022, zuletzt geprüft am 04.01.2022.
- Veith, T.; Müller, J. P. (2020): Data Center Outlook 2021, Big data = big business?. German Datacenter Association e.V. und PricewaterhouseCoopers International Limited (Hg.), 2020. Online verfügbar unter <https://www.pwc.de/de/real-estate/data-center-outlook-2021.pdf>, zuletzt geprüft am 30.10.2024.
- Warrenstein, A.; Lind, F.; Sundström, O.; Deutscher, S. A. (2016): CAPTURING THE DATA CENTER OPPORTUNITY, HOW SWEDEN CAN BECOME A GLOBAL FRONT-RUNNER IN DIGITAL INFRASTRUCTURE. The Boston Consulting Group (Hg.), June 2016. Online verfügbar unter [https://image-src.bcg.com/Images/BCG-Capturing-the-Data-Center-Opportunity-June-2016\\_tcm9-37797.pdf](https://image-src.bcg.com/Images/BCG-Capturing-the-Data-Center-Opportunity-June-2016_tcm9-37797.pdf).
- Weber, M.; Ott, B. (2023): Best-Practice- Übersicht, Von inspirierenden Projekten zur Abwärmenutzung aus Rechenzentren lernen. Universität Stuttgart, IER. Deutsche Unternehmensinitiative Energieeffizienz e.V. (Hg.), 2023. Online verfügbar unter <https://deneff.org/wp-content/uploads/2023/05/Best-Practice-Uebersicht-Bytes2Heat.pdf>, zuletzt geprüft am 09.06.2023.

Welk, A.; Rupp, N.; Köhn, M.; Zagorski, A.; Gröger, J.; Behrens, F.; Radgen, P.; Burtscher, L.; Linde, M.; Weber, M.; Graf, J. (2023): Das Energieeffizienzgesetz: Chancen für die Rechenzentrums- und IT-Branche. Umweltbundesamt (Hg.), 17.05.2023. Online verfügbar unter [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/11867/dokumente/17052023\\_policy\\_paper\\_eneffg\\_chancen\\_fuer\\_die\\_rechenzent-rums\\_und\\_it-branche.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/11867/dokumente/17052023_policy_paper_eneffg_chancen_fuer_die_rechenzent-rums_und_it-branche.pdf), zuletzt geprüft am 30.10.2024.

Winterson, M. (2020): Hyperscale vs. Colocation. Equinix (Hg.), 27.08.2020. Online verfügbar unter <https://blog.equinix.com/blog/2020/08/27/hyperscale-vs-colocation/>, zuletzt geprüft am 14.02.2022.

## A Anhang: Verfügbarkeitsklassen

### A.1 Verfügbarkeitsklassen

Tabelle 19: Verfügbarkeitsklassen nach BSI

| Verfügbarkeits-<br>klasse | Bezeichnung                              | Kumulierte, wahr-<br>scheinliche Ausfallzeit<br>pro Jahr | Auswirkung                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|---------------------------|------------------------------------------|----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| VK 0 ~95%                 | keine Anforderungen an die Verfügbarkeit | ca. 2-3 Wochen                                           | Hinsichtlich der Verfügbarkeit sind keine Maßnahmen zu treffen. Die Realisierung des IT-Grundschutzes für die anderen Grundwerte wirkt sich förderlich auf die Verfügbarkeit aus.                                                                                                                                  |
| VK 1 99,0%                | normale Verfügbarkeit                    | Weniger als 90 Std.                                      | Hinsichtlich der Verfügbarkeit erfüllt die einfache Anwendung des IT-Grundschutzes (BSI 100-1 und BSI 100-2) die Anforderungen                                                                                                                                                                                     |
| VK 2 99,9%                | hohe Verfügbarkeit                       | Weniger als 9 Std.                                       | Die einfache Anwendung des IT-Grundschutzes ist zu ergänzen durch die Realisierung der für hohen Verfügbarkeitsbedarf empfohlenen Bausteine, z.B. die Bausteine B 1.3 Notfallvorsorge, B 1.8 Behandlung von Sicherheitsvorfällen und die Anwendung der Risikoanalyse auf der Basis von IT-Grundschutz (BSI 100-3). |
| VK 3 99,99%               | sehr hohe Verfügbarkeit                  | Unter 1 Std.                                             | Realisierung der nach IT-Grundschutz für ausgewählte Objekte empfohlenen Maßnahmen mit besonderem Einfluss auf den Grundwert Verfügbarkeit, z.B. die Maßnahme M 1.28 USV im Server-raum oder M 1.56 Sekundär-Energieversorgung im Rechenzentrum, ergänzt durch HV-Maßnahmen aus dem HV-Kompendium                  |
| VK 4 99,999%              | höchste Verfügbarkeit                    | ca. 5 Min.                                               | IT-Grundschutz ergänzt durch Modellierung nach dem HV-Kompendium.<br>IT-Grundschutz als Basis wird zunehmend durch HV-Maßnahmen ersetzt und ergänzt.                                                                                                                                                               |
| VK 5 100%                 | disaster-tolerant                        | -                                                        | Modellierung nach dem HV-Kompendium.<br>IT-Grundschutz dient weiterhin als Basis für die vorstehenden Bereiche sowie die anderen Schutzwerte Integrität und Vertraulichkeit.                                                                                                                                       |

Quelle: (Bitkom e.V. 2021)

## B Anhang: Klassifizierung von Rechenzentren

### B.1 Vorstellung vorhandener Kategorien von RZ

Die Norm DIN EN 50600-1 konstatiert, „die Ausführung von Rechenzentren unterscheidet sich im Hinblick auf

- ▶ den Zweck (Unternehmens-Rechenzentrum, Co-Location-Rechenzentrum, Hosting-Rechenzentrum oder Netzbetreiber-Rechenzentrum);
- ▶ das Sicherheitsniveau;
- ▶ die physische Größe;
- ▶ die Unterbringung (mobile, zeitweilige und dauerhafte Konstruktionen).“

Der Aufbau dieses Kapitels orientiert sich an den vier Kategorien der Norm. Im Folgenden werden diese Kategorien um weitere Beispiele einschlägiger Literatur ergänzt und untereinander verglichen.

#### Betreibertyp

Der Zweck eines Rechenzentrums ist es, Daten zu speichern, zu verrechnen und zu übertragen, wobei je nach Geschäftsmodell die dafür notwendigen Glieder der Wertschöpfungskette auch von unterschiedlichen Akteuren bereitgestellt werden können. Die dafür notwendigen Elemente können dabei alle von einer einzigen oder jeweils von unterschiedlichen juristischen Personen kontrolliert werden. Je nachdem, welche und wie viele Elemente des RZ ein Akteur verantwortet, sind zudem unterschiedliche Anbieter-Kunden-Beziehungen möglich. In der Norm DIN EN 50600-1 wird der „Zweck“ von Rechenzentren folgendermaßen differenziert.

**Tabelle 20: Klassifikation „Zweck“ nach DIN EN 50600-1: 2019**

| Zweck            | Beschreibung                                                                                                                                                                               |
|------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Unternehmens RZ  | Rechenzentrum, das von einer Firma mit dem einzigen Zweck der Bereitstellung und Verwaltung von Diensten für ihre Angestellten und Kunden betrieben wird.                                  |
| Co-Location RZ   | Rechenzentrum, in dem mehrere Kunden ihr eigenes Netzwerk (ihre eigenen Netzwerke), Server und Speichereinrichtungen anordnen                                                              |
| Hosting RZ       | Rechenzentrum, in dem mehrere Kunden Zugang zu einem oder mehreren Netzwerk(en), Server(n) und Speichereinrichtung(en) erhalten, auf denen sie ihre eigenen Dienste/ Anwendungen betreiben |
| Netzbetreiber-RZ | Rechenzentrum, das hauptsächlich der Bereitstellung und der Verwaltung von Breitbanddiensten für die Kunden des Betreibers dient.                                                          |

Quelle: DIN EN 50600-1

Folgende Tabelle 21 zitiert die Best practice guidelines, EU CoC DC EE (Acton et al. 2021) und klassifiziert die Akteure des Betriebes eines Rechenzentrums nach ihren Verantwortungsbereichen (physisches Gebäude, Infrastruktur, IT, Software).

**Tabelle 21: Klassifikation Verantwortungsbereich der Akteure („type“) nach EU CoC**

| Type                                          | Description                                                                                                                                                                                            |
|-----------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Operator                                      | Operates the entire data centre from the physical building through to the consumption of the IT services delivered.                                                                                    |
| Co-Location provider                          | Operates the data centre for the primary purpose of selling space, power and cooling capacity to customers who will install and manage their own IT hardware and services.                             |
| Co-Location customer                          | Owns and manages IT equipment located in a data centre in which they purchase managed space, power and cooling capacity.                                                                               |
| Managed service provider (MSP)                | Owns and manages the data centre space, power, cooling, IT equipment and some level of software for the purpose of delivering IT services to customers. This would include traditional IT outsourcing. |
| Managed service provider in Co-Location space | A managed service provider which purchases space, power or cooling in a data centre in order to provide services to third parties.                                                                     |

Quelle: Best practice guidelines, EU CoC DC EE (Acton et al. 2021)

Dabei können die Akteure nur mit einer gewissen Unschärfe den Kategorien der Tabelle 20 zugeordnet werden, denn Ausnahmen und Mischformen sind möglich:

- Operator – Unternehmens RZ, Netzbetreiber RZ
- MSP – Hosting RZ,
- Co-Location provider, Co-Location customer, MSP in Co-Location – Co-Location RZ

Ein MSP (in Co-Location space) ist demnach ein RZ-Betreiber (IT-Betreiber), der zwar in eingeschränktem Umfang auf die Software, jedoch nicht dessen Nutzung Einfluss nehmen kann.

Bilsen et al. (2022) schlagen die Kategorisierung in Tabelle 22 vor, die ausschließlich den Verantwortungsbereich des RZ Betreibers bemisst. Anstelle des MSP wird die Kategorie Hosting RZ verwendet.

**Tabelle 22: Klassifikation Verantwortungsbereiche des Betreibers nach Bilsen et al.**

| Type                    | Description                                                                                                                                               |
|-------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Enterprise data centre  | one organisation owns the building, support infrastructure and IT equipment, and determines its own applications.                                         |
| Co-Location data centre | an organisation owns the building and support infrastructure, but the IT equipment and software is determined by its users.                               |
| Hosting data centre     | an organisation owns the building, support infrastructure, and IT equipment but the software is determined by its users.                                  |
| Hybrid data centre      | e.g. an organisation owns building and support infrastructure and part of the IT equipment, while another part of the IT equipment is owned by its users. |

Quelle: Bilsen et al. (2022)

*„The interpretation of a Managed Service Provider data centre versus hosting data centre is not clear. Also, managed services can be interpreted in numerous ways: management of the building,*

*management of the equipment, etc..*” (Bilsen et al. 2022). In der Tat ist die Abgrenzung nicht offensichtlich zwischen „MSP verantwortet ein gewisses Maß an Software für die Erbringung von IT-Dienstleistungen für Kunden“ und die „Software wird von ihren Nutzern bestimmt“ in Hosting RZ. MSP ist jedoch in dem EU CoC hinreichend spezifisch definiert, der Service bezieht sich auf die Bereitstellung von digitalen Ressourcen (CPU, Speicher, Permanentpeicher, Netzwerk, etc.) und einen gewissen Grad an Software, bspw. ein Betriebssystem oder eine Virtualisierungsebene, sodass Kund\*innen ihre Anwendungssoftware gestalten können. In diesem Kontext bezeichnet also MSP dasselbe wie Hosting.

In einiger Literatur, z.B. Bilsen et al. (2022), werden die beiden Termini „Cloud DC“ und „Edge DC“ als weitere Kategorien diskutiert. Diese bezeichnen jedoch weder die Größe noch die Eigentümer oder die Art des Betriebes eindeutig. Am zutreffendsten werden diese beiden Kategorien durch ihre physische Nähe zu ihren Clients charakterisiert. Dies ist jedoch weder verallgemeinerbar noch eindeutig, denn Cloud-RZ haben in der Regel viele Clients. In einschlägiger Literatur gibt es bisher keine quantitative Kategorisierung von Cloud- und Edge-RZ.

Unternehmens- und Co-Location-RZ lassen sich jeweils weiterhin unterteilen. Salom et al. (2017) definieren “on-premise” und “off-premise”.

**Tabelle 23: Klassifikation Unternehmens-RZ nach Salom et al.**

| Subcategory                                 | Description                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|---------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| on-premise: Business supporting data centre | The primary function is to support the activities of the firm. In general, these Data Centres will provide safe, secure and reliable hosting facilities for the firms core IT systems. Since the Data Centres are not leading, but supporting, they are most frequently situated close to the actual firm or organisation, and therefore at short distance of the actual activities.                                                                                                                                                     |
| off-premise: Business critical data centre  | They are an integral part of the main business process. These are, for example, the commercial telecom data centres and data centres of financial institutions. The data centre is at the core of their business process. Therefore, these Data Centres are situated at locations that are beneficial for the IT processes, based on criteria such as (not limited) distance to the customers, distance to a (large) power plant, cost and availability of land, (transatlantic) glass fibre connectivity or carrier neutrality options. |

Quelle: Salom et al. (2017)

Winterson (2020) ist Vice President, Business Development bei Equinix Metal und beschreibt “retail” und “wholesale” Co-Location.

**Tabelle 24: Klassifikation Co-Location-RZ nach Equinix**

| Subcategory           | Description                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|-----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Retail Co-Location    | In retail Co-Location, companies rent rack, cage or cabinet space for deploying their own IT equipment. In this model, companies have limited control over the space, but the cabling, racks, power, cooling, fire suppression systems, physical security and other amenities are immediately available.                                                                                                                                       |
| Wholesale Co-Location | A wholesale model allows companies to determine how the space is designed and built, but it also requires a commitment to lease much bigger chunks of space and power, commonly based on one or more discrete power distribution units, such as a 2 MW generator. Usually they also need to bring all their own resources to design and construct the space: racks, cabinets, power, etc., as well as the staff to run and maintain the space. |

Quelle: Winterson (2020)

## Verfügbarkeit und Sicherheitsniveau

Uptime Institute (2022) definiert vier Verfügbarkeitsklassen.

**Tabelle 25: Klassifikation Verfügbarkeitsklassen nach Uptime Institute**

| Ver-<br>fügbarkeit | Beschreibung                                                                                                                     |
|--------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Tier I             | Enough items for the system to function                                                                                          |
| Tier II            | Some redundancy in components                                                                                                    |
| Tier III           | Concurrent maintainability i.e. the ability to maintain any item of infrastructure without having to shut down the IT equipment. |
| Tier IV            | Automatic fault tolerance. The system continues operating in the event of a failure without human intervention.                  |

Quelle: Uptime Institute (2022)

DIN EN 50600-1 definiert vier Verfügbarkeitsklassen, die nochmals nach Infrastrukturkomponenten differenziert beschrieben werden.

**Tabelle 26: Klassifikation Verfügbarkeitsklassen nach DIN EN 50600-1: 2019**

| Verfügbarkeit | Stromversorgung                                                           | Stromverteilung                                               | Regelung der Umgebungsbedingung                               | Telekommunikationsverkabelung                                                                                                                                      |
|---------------|---------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1             | Einzelpfad zu den Primärverteilungseinrichtungen<br>Eine Quelle           | Einzelpfad                                                    | Einzelpfad                                                    | Einzelpfad - direkte Verbindungen oder fest installierte Infrastruktur mit einer Zugangsnetzverbindung                                                             |
| 2             | Einzelpfad zu den Primärverteilungseinrichtungen<br>Redundante Quellen    | Einzelpfad mit Redundanz                                      | Einzelpfad mit Redundanz                                      | Einzelpfad - fest installierte Infrastruktur mit mehreren Zugangsnetzverbindungen                                                                                  |
| 3             | Mehrere Pfade zu den Primärverteilungseinrichtungen<br>Redundante Quellen | Mehrere Pfade Lösung für Instandsetzung im laufenden Betrieb  | Mehrere Pfade Lösung für Instandsetzung im laufenden Betrieb  | Mehrere Pfade - fest installierte Infrastruktur mit unterschiedlichen Kabelwegen mit mehreren Zugangsnetzverbindungen                                              |
| 4             | Mehrere Pfade zu den Primärverteilungseinrichtungen<br>Mehrere Quellen    | Mehrere Pfade Fehlertolerant außer während der Instandhaltung | Mehrere Pfade Fehlertolerant außer während der Instandhaltung | Mehrere Pfade - fest installierte Infrastruktur mit unterschiedlichen Kabelwegen und redundant ausgelegten Verteilerbereichen und mehreren Zugangsnetzverbindungen |

Quelle: DIN EN 50600-1

Diese beschreiben die technischen Voraussetzungen der Versorgungstopologie, um die deskriptiven Anforderungen der vier Tiers von Uptime zu erreichen. Im Wesentlichen sind diese Kategorisierungen also deckungsgleich.

Des Weiteren definiert DIN EN 50600-1 im informativen Anhang für sechs Verfügbarkeitsklassen die jeweils tolerierten Ausfallzeiten. Es wird jedoch empfohlen, je nach Kontext, zusätzlich die mittlere Betriebsdauer zwischen Ausfällen (MTBF) sowie die mittlere Dauer bis zur Wiederherstellung (MTTR) zu betrachten. Die Verfügbarkeit kann demnach über zwei unterschiedliche Wege berechnet werden: 1. Zeit, in der das System funktioniert geteilt durch die Gesamtzeit; 2. MTBF geteilt durch die Summe von MTBF und MTTR. Bei einem Ausfall pro Zeitintervall, sind beide identisch.

**Tabelle 27: Verfügbarkeit und Ausfallzeit nach DIN EN 50600-1: 2019**

| Verfügbarkeit A | Übliche Referenz | Ausfallzeit<br>(auf einer Basis von 8 760 h im Jahr) |
|-----------------|------------------|------------------------------------------------------|
| 90%             | 1x9              | 36,5 Tage                                            |
| 99 %            | 2x9              | 3,65 Tage                                            |
| 99,9 % (3x9)    | 3x9              | 8,76 h                                               |
| 99,99 % (4x9)   | 4x9              | 52,6 min                                             |
| 99,999 % (5x9)  | 5x9              | 5,3 min                                              |
| 99,9999 % (6x9) | 6x9              | 31,5 s                                               |

Quelle: DIN EN 50600-1

### Physische Größe

Die Größe ist maßgeblich für den gesamten Energiebedarf eines Rechenzentrums, ebenso für den relativen. Während der absolute Energiebedarf mit der Größe stark zunimmt, skaliert die Energieeffizienz mancher Infrastrukturkomponenten zumindest bis einer gewissen Größe mit der Leistung, beispielsweise Kältemaschinen.

Größe ist dabei a priori nicht eindeutig definiert. Sie kann sich beispielsweise auf folgende technische Parameter beziehen:

- ▶ IT-Fläche („white space“)
- ▶ Anzahl Server oder Serverschränke
- ▶ Elektrische Anschlussleistung des gesamten Rechenzentrums oder der IT
- ▶ Installierte Rechenleistung oder Speicherplatz
- ▶ Bandbreite der externen Datenverbindung

Dabei variieren die Anzahl und die Grenzen der Größenklassen je nach Literatur und Kontext. Gemeinsam ist die relative Einteilung in „small“ und „large“. Am meisten Verbreitung finden die drei erstgenannten technischen Parameter, deren Klassifizierungen im Folgenden anhand einschlägiger Literatur vorgestellt werden.

### IT-Fläche

In der Vergangenheit wurden verschiedene Versuche unternommen, Rechenzentren nach ihrer IT-Fläche zu kategorisieren und passende Bezeichnungen für die jeweiligen Klassen festzulegen. IT-Fläche bezeichnet dabei dasselbe wie der im englischen gebräuchliche Begriff „whitespace“ und sind mithilfe von Bauplänen nachzuvollziehen. „White space refers to the area where the actual IT equipment is placed. This equipment is for instance servers, data storage, racks, power distribution, cooling. It can be a raised floor or a hard floor. Typically IT-engineers operate the white space. Grey space supports the white space equipment and includes back-end infrastructure such as generators, chillers, transformers, energy storage. Grey space houses the mechanical and electrical parts of the data centre, and as such is the operating scene for the electrical and mechanical engi-

neers“ (Bilsen et al. 2022). Nachfolgend sind mehrere dieser Klassifizierungsversuche dokumentiert. Hintemann und Fichter (2010) vom Borderstep-Institut legen insgesamt fünf Größenklassen für Rechenzentren vom „Serverschrank“ bis zum „Großen Rechenzentrum“ fest (Tabelle 28).

**Tabelle 28: Klassifikation IT-Fläche nach Hintemann**

| Größenkategorie         | IT-Fläche            |
|-------------------------|----------------------|
| Serverschrank           | 5 m <sup>2</sup>     |
| Serverraum              | 20 m <sup>2</sup>    |
| Kleines Rechenzentrum   | 150 m <sup>2</sup>   |
| Mittleres Rechenzentrum | 600 m <sup>2</sup>   |
| Großes Rechenzentrum    | 6.000 m <sup>2</sup> |

Quelle: Hintemann und Fichter (2010)

Andrea (2017), definiert der Anzahl an Serverschränken entsprechend sechs Größenklassen. Die hier angegebenen Zahlenwerte der IT-Fläche sind aus sq.ft. in m<sup>2</sup> umgerechnet und gerundet.

**Tabelle 29: Klassifikation IT-Fläche nach Mike Andrea**

| Größenkategorie | IT-Fläche                     |
|-----------------|-------------------------------|
| Mini DC         | 0,1 – 23 m <sup>2</sup>       |
| Small DC        | 23 – 465 m <sup>2</sup>       |
| Medium DC       | 465 – 1.860 m <sup>2</sup>    |
| Large DC        | 1.860 – 7.000 m <sup>2</sup>  |
| Massive DC      | 7.000 – 20.900 m <sup>2</sup> |
| Mega DC         | > 20.900 m <sup>2</sup>       |

Quelle: Andrea (2017)

Shehabi et al. (2016), am Berkeley National Laboratory tätig, klassifizieren Rechenzentren in ihrem „United States Data Center Energy Usage Report“ nach typischen Größenklassen, die nach der IT-Fläche zugeordnet werden. Die IT-Flächenkategorien sind die folgenden sechs Klassifikationen. Diese sind differenzierter im unteren Größenbereich, fassen dafür Large und Massive in High-end zusammen. Diese überlappen teilweise.

**Tabelle 30: Klassifikation IT-Fläche nach United States Data Center Energy Usage Report**

| Größenkategorie      | IT-Fläche (Square foot: ft <sup>2</sup> ) | IT-Fläche (m <sup>2</sup> ): eigene Umrechnung |
|----------------------|-------------------------------------------|------------------------------------------------|
| Server closet        | < 100 ft <sup>2</sup>                     | ≈ < 9 m <sup>2</sup>                           |
| Server room          | 100-999 ft <sup>2</sup>                   | ≈ 9 - 92 m <sup>2</sup>                        |
| Localized datacenter | 500-1,999 ft <sup>2</sup>                 | ≈ 47 – 186 m <sup>2</sup>                      |
| Midtier datacenter   | 2,000-19,999 ft <sup>2</sup>              | ≈ 187 – 1.858 m <sup>2</sup>                   |
| High-end datacenter  | > 20,000 ft <sup>2</sup>                  | ≈ 1.858 m <sup>2</sup> – 37.160 m <sup>2</sup> |

| Größenkategorie       | IT-Fläche (Square foot: ft <sup>2</sup> ) | IT-Fläche (m <sup>2</sup> ): eigene Umrechnung |
|-----------------------|-------------------------------------------|------------------------------------------------|
| Hyperscale datacenter | Up to over 400,000 ft <sup>2</sup>        | ≈ über 37.160 m <sup>2</sup>                   |

Quelle: Shehabi et al. (2016) US Data Center Energy Usage Report; Eigene Umrechnung von square foot (ft<sup>2</sup>) in m<sup>2</sup>

Bilsen et al. (2022) legen im Konsortium aus Idea Consult, Öko-Institut e.V. und Visionary Analytics drei metrischen Zehnerpotenzen als Größenklassen fest.

**Tabelle 31: Klassifikation IT-Fläche nach Bilsen et al.**

| Größenkategorie       | IT-Fläche                     |
|-----------------------|-------------------------------|
| Small deployment      | 100 – 1.000 m <sup>2</sup>    |
| Large deployment      | 1.000 – 10.000 m <sup>2</sup> |
| Hyperscale deployment | > 10.000 m <sup>2</sup>       |

Quelle: Bilsen et al. (2022)

Durch geeignetes Zusammenlegen von Größenklassen der Kategorien, lässt sich diese Einteilung auch durch die obigen beiden Kategorisierungen plausibilisieren.

### Anzahl an Serverschränken

Hintemann und Fichter (2010) teilen RZ in fünf Größenkategorien ein, abhängig von der Anzahl der Server. Die Umrechnung in Serverschränke ist nicht eindeutig, da die Schränke nicht zwangsläufig mit Servern gefüllt sein müssen. Dies ist abhängig von der Auslastung der Schränke und auch ihrer Zusammensetzung von Speichersystemen, UPS im Schrank und Netzwerkkomponenten. Des Weiteren können Server unterschiedliche Höhen aufweisen.

**Tabelle 32: Klassifikation Anzahl Server nach Hintemann**

| Größenkategorie         | Anzahl Server |
|-------------------------|---------------|
| Serverschrank           | 3-10          |
| Serverraum              | 11-100        |
| Kleines Rechenzentrum   | 101-500       |
| Mittleres Rechenzentrum | 501-5.000     |
| Großes Rechenzentrum    | Über 5.000    |

Quelle: Hintemann und Fichter (2010)

Andrea (2017) kategorisiert RZ in sechs Größenkategorien, abhängig von der Anzahl an Serverschränken. Dabei sind die Grenzen wie folgt.

**Tabelle 33: Klassifikation Anzahl Serverschränke nach Mike Andrea**

| Größenkategorie | Anzahl Serverschränke |
|-----------------|-----------------------|
| Mini DC         | 1-10                  |

| Größenkategorie | Anzahl Serverschränke |
|-----------------|-----------------------|
| Small DC        | 11-200                |
| Medium DC       | 201-800               |
| Large DC        | 801-3,000             |
| Massive DC      | 3,001-9,000           |
| Mega DC         | 9,000 +               |

Quelle: Andrea (2017)

Bilsen et al. (2022) bildet hingegen nur drei Größenkategorien, die außerdem etwas kleiner ausfallen.

**Tabelle 34: Klassifikation Anzahl Serverschränke nach Bilsen et al.**

| Größenkategorie       | Anzahl Serverschränke |
|-----------------------|-----------------------|
| Small deployment      | 6-100                 |
| Large deployment      | 101 – 2,000           |
| Hyperscale deployment | 2,000 +               |

Quelle: Bilsen et al. (2022)

#### Elektrische Anschlussleistung des gesamten RZ

Hintemann und Fichter (2010) definieren unter Annahme einer durchschnittlichen Ausstattung durchschnittliche Anschlussleistung und eine zu erwartende Bandbreite. Dabei sind die Grenzen nicht scharf und exklusiv, sondern überlappend.

**Tabelle 35: Klassifikation Elektrische Anschlussleistung des gesamten RZ nach Hintemann**

| Größenkategorie         | Anschlussleistung         |
|-------------------------|---------------------------|
| Serverschrank           | 1-8 kW (Ø 1,9 kW)         |
| Serverraum              | 8-100 kW (Ø 11 kW)        |
| Kleines Rechenzentrum   | 80-500 kW (Ø 105 kW)      |
| Mittleres Rechenzentrum | 300 – 5.000 kW (Ø 550 kW) |
| Großes Rechenzentrum    | 3 MW + (Ø 5700 kW)        |

Quelle: Hintemann und Fichter (2010)

Consumer Research Associates (2014) bildet vier Größenklassen. Die Grenzen sind nahezu logarithmisch und weichen bis 50% von Hintemann und Fichter (2010) ab.

**Tabelle 36: Klassifikation Elektrische Anschlussleistung des gesamten RZ nach Consumer Research Associates**

| Größenkategorie    | Anschlussleistung |
|--------------------|-------------------|
| Small data centres | 10 - 150 kW       |

| Größenkategorie         | Anschlussleistung |
|-------------------------|-------------------|
| Medium data centres     | 150 - 750 kW      |
| Enterprise data centres | 750 - 2500 kW     |
| Mega data centres       | 2500 kW +         |

Quelle: Consumer Research Associates (2014)

### IT-Anschlussleistung

Im Gegensatz zur Nennanschlussleistung des RZ schließt die IT-Anschlussleistung die zusätzliche Last der Infrastruktur und des Gebäudes aus. Gezählt wird die Leistung am Ende der Verteilsysteme, an der PDU am Serverschrank.

Schon im Jahr 2010 definieren Hintemann und Fichter (2010) eine Kategorisierung nach der IT-Anschlussleistung in deutschen Rechenzentren. Anstelle von Kategorien mit scharfen Grenzen werden jedoch zunächst ausschließlich Durchschnittswerte angegeben.

**Tabelle 37: Klassifikation IT-Anschlussleistung nach Hintemann**

| Größenkategorie         | Anschlussleistung |
|-------------------------|-------------------|
| Serverschrank           | 1,5 kW            |
| Serverraum              | 6 kW              |
| Kleines Rechenzentrum   | 50 kW             |
| Mittleres Rechenzentrum | 240 kW            |
| Großes Rechenzentrum    | 2,5 MW            |

Quelle: Hintemann und Fichter (2010)

Die Größenklassen von Warrenstein et al. (2016) der Boston Consulting Group beziehen sich auf schwedische Rechenzentren und setzen die Zahlenwerte der Größenklassen relativ hoch an.

**Tabelle 38: Klassifikation IT-Anschlussleistung nach Warrenstein**

| Größenkategorie                   | Anschlussleistung |
|-----------------------------------|-------------------|
| Server room or small data centres | < 0,3 MW          |
| Midsized data centres             | 0,3 – 1 MW        |
| Large data center                 | 1 – 10 MW         |
| Hyperscale data center            | > 10 MW           |

Quelle: Warrenstein et al. (2016)

Salom et al. (2017), bei Eric Johnson Atlantic Consulting tätig, haben ihre Kategorisierung nur ein Jahr später veröffentlicht und verwenden ebenfalls die Grenzen 1 MW und 10 MW, definieren jedoch zwei Kategorien mehr. Die Grenzen sind nach oben und unten offen.

**Tabelle 39: Klassifikation IT-Anschlussleistung nach Salom et al.**

| Größenkategorie         | Anschlussleistung |
|-------------------------|-------------------|
| Server room             | < 50 kW           |
| Very small Data Centre  | 50 – 250 kW       |
| Small Data Centre       | 250 – 1000 kW     |
| Medium size Data Centre | 1 – 2 MW          |
| Large Data Centre       | 2 – 10 MW         |
| Very large Data Centre  | > 10 MW           |

Quelle: Salom et al. (2017)

Im Gegensatz dazu definieren Bilsen et al. (2022) nur drei Kategorien mit geschlossenen Grenzen auf Basis von Interviewergebnissen, aber ebenfalls 1 MW und 10 MW als Grenzwerte.

**Tabelle 40: Klassifikation IT-Anschlussleistung nach Bilsen et al.**

| Größenkategorie       | Anschlussleistung |
|-----------------------|-------------------|
| Small deployment      | 30 kW – 1MW       |
| Large deployment      | 1 – 10 MW         |
| Hyperscale deployment | 10 – 100 MW       |

Quelle: Bilsen et al. (2022)

### Klimatische Bedingungen – Kühlgradtage

Die Datenlage auf europäischer und deutscher Ebene ist unterschiedlich granular. Während der Deutsche Wetterdienst Kühlgradstunden auf Basis der DIN EN ISO 15927-6 monatsweise für alle Wetterstationen in Deutschland bereitstellt, pflegt Eurostat eine Datenbasis von jährlichen Kühlgradtagen aller EU27-Staaten. Die Referenztemperatur ist dabei ebenfalls unterschiedlich. *„Die monatlichen Kühlgradstunden werden im Sinne der DIN EN ISO 15927-6 als kumulierte stündliche Temperaturdifferenzen zwischen Lufttemperatur und Referenztemperatur berechnet. Es werden monatliche Kühlgradstunden für die Bezugstemperaturen 13, 16 und 18 Grad Celsius berechnet und in einzelnen Verzeichnissen abgelegt. Es werden dabei nur die Stunden gezählt, die einen Stundenwert der Lufttemperatur aufweisen, der größer als die Bezugstemperatur ist.“* (Deutscher Wetterdienst).

Im Gegensatz dazu nutzt Eurostat eine andere Berechnungsmethode. Die Basistemperatur bei der Berechnung von Eurostat ist die *„höchste mittlere Tageslufttemperatur, die nicht zu einer Abkühlung der Innenräume führt“*. Diese ist konstant 24°C und dient als Schwelle, ab der Kühlgradtage gezählt werden (Eurostat 2022). Wenn die mittlere Tagestemperatur eines Tages über 24°C liegt, wird die Differenz der mittleren Tagestemperatur zu 21°C auf die Kühlgradtage addiert (Eurostat 2022).

Die Kühlgradtage der Jahre 2012 bis 2021 in den EU27 haben einen Mittelwert von  $99,3 \pm 12$  Gradtagen mit einer mittleren Abweichung von 12,5 Gradtagen. Für Deutschland liegt dieser Wert bei  $27 \pm 15$  Gradtagen. Den höchsten Wert hat Malta mit  $688 \pm 54$  Gradtagen, den niedrigsten Irland mit  $0,02 \pm 0,04$  Gradtagen.

Alle Mitteleuropäischen Länder weisen eine jahresbedingte Varianz von 30 bis 70% auf, die südlicheren Länder eine kleinere relative Abweichung, aber eine größere absolute.

Eine sinnvolle Abstufung der jährlichen Kühlgradtage sollte deshalb größer sein als die jährliche Schwankung der mittleren Abweichung:

- ▶ 0 – 30 Kühlgradtage, kaum Sommerhitze
- ▶ 30 – 50 Kühlgradtage, schwache Sommerhitze
- ▶ 50 – 100 Kühlgradtage, moderate Sommerhitze
- ▶ 100 – 200 Kühlgradtage, starke Sommerhitze
- ▶ > 200 Kühlgradtage, sehr starke Hitze

## **B.1 Bewertung der Klassifizierung**

Die gesammelten Kategorisierungen werden anhand der folgenden Dimensionen beleuchtet.

- ▶ Übliche Praxis: Parameter, die bereits jetzt erfasst und kommuniziert werden,
- ▶ Eindeutigkeit: die Zuordnung soll zweifelsfrei nachvollziehbar sein,
- ▶ Quantifizierbarkeit: z.B. physikalische Größen oder wirtschaftliche Parameter,
- ▶ Sicherheitsaspekte: es sollen keine sensiblen Daten aufgenommen werden,
- ▶ Durchführbarkeit und Machbarkeit.
- ▶ Die Kategorisierung ist technologieunabhängig
- ▶ Die Parameter wirken sich stark auf die Effizienz des Rechenzentrums aus, können aber während des Betriebes nicht verändert werden.

Es sollen insbesondere solche Kategorien verwendet werden, die eine Vergleichbarkeit der Energieeffizienz von Rechenzentren zulassen. Innerhalb dieser Kategorien sollen RZ so ähnlich sein, dass ein fairer Wettbewerb um Energieeffizienz möglich wird. Deshalb sind für das Register solche Kategorisierungen besonders interessant, deren Abstufungen mit Skaleneffekten oder Energieaufwänden korrelieren oder antikorrelieren.

Neue Rechenzentrums-Konzepte und Selbstbezeichnungen, wie z.B. Hyperscale, Container oder Edge Rechenzentren werden nicht verwendet. Diese Begriffe sind z.T. nicht klar definiert und nicht von anderen Klassifizierungen abgrenzbar. Dennoch werden diese RZ in der hier vorgestellten Kategorisierung miteingefasst und vergleichbar gemacht, da die IT-Ausstattung z.B. mit der Größe und dem Alter korreliert. Dieses Register soll einen Beitrag zum Wettbewerb um Energieeffizienz leisten, neue RZ-Konzepte dürfen dabei einen Vorteil haben, wenn sie zu einer Ressourcenschonung beitragen. Deshalb werden sie nicht separat ausgewiesen.

### Betreibertyp

Die Vermutung, dass Co-Location RZ effizienter seien als Unternehmensrechenzentren, konnte bisher empirisch nicht gezeigt werden, weil eine entsprechende Datenbasis fehlt. Dieses Register könnte den Nachweis erbringen. Gleichzeitig sorgt die Klassifizierung für einen fairen Vergleich. RZ-Betreiber sollen daher ihr RZ entsprechend der EN 50600-1 einer der folgenden Kategorien zuordnen:

- ▶ Operator / Unternehmensrechenzentrum
- ▶ Co-Location
- ▶ Hosting
- ▶ Network provider
- ▶ Hybrid (jegliche Mischform mit ungefähren prozentualen Anteilen)

IT-Betreiber wiederum können ihre IT in einem oder mehreren Co-Location-RZ oder Hybrid-RZ betreiben. Das Register wird so strukturiert sein, dass IT-Betreiber für jedes RZ, in dem sie ihre IT betreiben, die Daten separat erheben und einpflegen müssen.

Für RZ und IT-Betreiber bietet das Register eine öffentliche Sichtbarkeit der Energieeffizienz der angebotenen Dienstleistung und ermöglicht somit einen Wettbewerb für Effizienz. Mehr zum Energie-Effizienz-Label in Kapitel 3.

### Verfügbarkeit und Sicherheitsniveau

Verfügbarkeit steht Energieeffizienz diametral gegenüber und muss deshalb für eine Vergleichbarkeit in die Kategorisierung der RZ eingehen. Nach dem Motto, Redundanz schafft Sicherheit, ist davon auszugehen, dass es die Effizienz verschlechtert, zusätzliche Versorgungsinfrastruktur betriebsbereit vorzuhalten. Diese Vermutung konnte bisher aufgrund mangelnder Datenbasis nicht empirisch gezeigt werden. Um eine Vergleichbarkeit der Energieeffizienz herzustellen, wird die Verfügbarkeit anhand der Komplexität und Redundanz der zugrundeliegenden Infrastruktur bemessen. Die vier Verfügbarkeitsklassen der DIN EN 50600-1 sind genau eine solche Beschreibung der Versorgungspfade und -Topologien:

- ▶ Verfügbarkeitsklassen 1-4 nach DIN EN 50600-1

### Physische Größe

*„Furthermore, all interviewees saw size as one of the most important criteria to distinguish data centres next to ownership and availability/reliability.” (Bilsen et al. 2022)*

Die Größe des RZ in Bezug auf seine elektrische Leistung kann sowohl durch die maximale gemessene Betriebsleistung des gesamten RZ als auch die Auslegungsleistung der IT charakterisiert werden.

Die maximale Betriebsleistung bemisst, wie viel Leistung ein RZ tatsächlich bezieht, und ist deshalb eine wichtige Kennzahl für das Monitoring des RZ. Sie ist die maximale Last am Stromnetz (exklusive Trafoverluste), für die das Rechenzentrum errichtet wurde, oder auf die es im Rahmen eines modularen Konzeptes bisher ausgebaut ist.

Die IT-Auslegungsleistung ist die maximale Leistung, die unter Beachtung der Redundanzkonzepte an elektrischer Energie für die IT bereitgestellt und von der Kühlung als Wärme abtransportiert werden kann, um einen sicheren Betrieb des gesamten RZ zu gewährleisten. Von der Planung an werden alle technischen Elemente anhand dieser Kenngröße dimensioniert und an

ihr ausgerichtet. Die Größe eines RZ soll anhand ihrer IT-Auslegungsleistung beschrieben werden. Sie bleibt auch bei unterschiedlicher Ausstattung und Belegung konstant. Die Effizienz kann durch hohe Belegung und hohe Energiedichten innerhalb der Größenklasse optimiert werden.

Dabei ist die Einteilung in Größenklassen zu einem gewissen Anteil beliebig. Auch Bilsen et al. (2022) bemerken, dass „within the boundaries of a specific country, what is considered a small, large or hyperscale data centre varies.“ Demnach unterscheiden sich die in Abschnitt 0 aufgeführten Kategorisierungen in einschlägiger Literatur stark. Die neueste Kategorisierung nach der IT-Anschlussleistung bemisst drei metrische Zehnerpotenzen als Grenzen. Drei Kategorien sind jedoch nicht ausreichend, wenn eine Vergleichbarkeit der Effizienz hergestellt werden soll. Insbesondere im unteren Ende der Leistungsskala wird eine feine Abstufung entsprechend der technischen Möglichkeiten für sinnvoll erachtet. Folgende Abstufung soll für die IT-Auslegungsleistung als Klassifizierung der Größe gelten:

- ▶  $\leq 5$  kW, bis zu einem Serverschrank. Durchschnittliche Server nehmen etwa 500W auf. Ein standardisierter 19 Zoll Rack-Serverschrank nimmt etwa 30-45 Höheneinheiten auf, von denen jedoch im Normalfall nicht alle mit Servern, sondern auch mit Batterien und Speichersystemen befüllt werden.
- ▶  $\leq 50$  kW, bis zu vier Serverschränke erzeugen mehr Wärme als der Raum aufnehmen kann, in dem sie stehen. Es bedarf eines Lüftungssystems oder einer kleinen Kälteanlage. Die externe Nachnutzung der Wärme ist jedoch meist noch unwirtschaftlich.
- ▶  $\leq 100$  kW, 10 bis 20 Serverschränke. Die Serverschränke können zu einem Flur zusammengestellt werden, sodass warme und kalte Luft getrennt geführt werden. Es gibt meist nur eine Kältemaschine (plus Redundanz). Bis zu 200 Büroplätze können mit der Abwärme beheizt werden.
- ▶  $\leq 500$  kW, 30- 70 Serverschränke bilden mehr als einen Flur mit Kalt- und Warmgang. Es gibt große Unterschiede in der Effizienz von Kältemaschinen je nach Hersteller. Die externe Nutzung der Abwärme ist eine mögliche Option.
- ▶  $\leq 1$  MW, Es wird so viel Strom bezogen, dass ein Anschluss an das Mittelspannungsnetz erforderlich ist. Es treten kaum noch Skaleneffekte auf, Kälteanlagen sind modular aufgebaut und beinhalten mehrere Kältemaschinen. Es kommt eine Nachnutzung der Abwärme auch bei etwas größeren Entfernungen in Frage.
- ▶  $\leq 20$  MW, Je nach Situation vor Ort, ist das RZ entweder an Mittel- oder Hochspannung angeschlossen. Die Nachnutzung der Abwärme auch bei etwas größeren Entfernungen ist möglich, ggf. kann diese nicht in vollem Umfang wegen mangelnder Nachfrage abgenommen werden.
- ▶  $>20$  MW, Es wird so viel Strom bezogen, dass ein Anschluss an 110 kV Hochspannung oder mehr vorhanden ist. Es entsteht so viel Abwärme, dass es unwahrscheinlicher wird, ohne zusätzliche Anreize einen passenden Bedarf für eine komplette Nachnutzung zu finden.

Diese Klassifizierung ist eindeutig und quantitativ. Die Größenordnung der Anschlussleistung gibt keinen Aufschluss über Geschäftsgeheimnisse oder sonstige Sicherheitsaspekte. Auf die Zuordnung zu Gebäudeeinheiten, z.B. kleiner Serverraum, wird bewusst verzichtet. Diese sind im Einzelfall nicht immer zutreffend und können irritierend sein. Im Kontext des RZ-Registers ist anzunehmen, dass Interessierte mit den blanken Zahlen umgehen können. Für die kommunale Planung und für Netzbetreiber ist darüber hinaus auch die Anschlussleistung des gesamten RZ von Interesse. Diese Kenngröße ist jedoch rein informativ und für die Planung, nicht aber für die

Kategorisierung relevant. Daher erfüllt die Angabe der RZ-Anschlussleistung ihren Zweck in einem nicht-öffentlichen Teil des Registers.

IT-Fläche und Anzahl der Serverschränke sollen im Register eingetragen werden, jedoch nicht zur Klassifizierung der Größe dienen.

### **Klimatische Bedingungen**

Die Außenlufttemperatur hat zwar keinen Einfluss auf die Menge der abzuführenden Wärme, jedoch auf die Effizienz der Wärmeabgabe. Falls eine freie Kühlung mit zusätzlicher Kältemaschine genutzt wird, hängt die Anzahl der Tage mit freier Kühlung vom Klima ab. Der Bedarf an Abwärme könnte auch von den klimatischen Bedingungen abhängen. Jedoch gibt es auch in heißen Regionen Wärmebedarf in Haushalten und Industrie: *„Ein kleines Quartier in Stuttgart mit 150 Gebäuden hat einen Jahreswärmebedarf von 32 GWh mit einer 1 MW Wärmelast im Sommer und 10 MW im Winter. Das heißt selbst im Sommer wäre die Abwärme eines Rechenzentrums als Wärmequelle nutzbar.“* (Radgen 2020) Dieses Beispiel ist allerdings international nicht auf andere Klimazonen übertragbar, da es eine zentrale Heißwasserbereitstellung und die nötige Infrastruktur voraussetzt, die eher in Regionen mit kalten Wintern vorhanden ist.

Die Kategorisierung nach klimatischen Bedingungen richtet sich sehr stark an der Technologie der freien Kühlung aus. Da diese jedoch sehr effizient und weit verbreitet ist, soll die Kategorisierung der RZ trotzdem auch die klimatischen Bedingungen enthalten. Hierfür eignen sich die Kühlgradtage des Standortes, die sich mithilfe von Wetterdaten aus der Postleitzahl ableiten lassen.

- ▶ 0 – 30 Kühlgradtage, kaum Sommerhitze
- ▶ 30 – 50 Kühlgradtage, schwache Sommerhitze
- ▶ 50 – 100 Kühlgradtage, moderate Sommerhitze
- ▶ 100 – 200 Kühlgradtage, starke Sommerhitze
- ▶ > 200 Kühlgradtage, sehr starke Hitze

## **C Anhang: Benutzerhandbuch für das Datenerfassungstools**

# Public Energy Efficiency Aggregation Tool for Datacentres

---

## Nutzer:innenhandbuch zur Anwendung des Er- fassungsbogens PEER AT DC

Version 0.0 - Entwurf

November 2022

## C.1 Ausfüllen der Erfassungsmappe

Die Erfassungsmappe ist in einer Excel-Datei für RZ- und IT-Betreiber zusammengefasst. Der default Dateiname ist „Erfassungsbogen\_RZ.xlsx“.

Speichern Sie die Datei lokal an einem Pfad, den Sie leicht wiederfinden. Dieser wird im Folgenden Speicherort genannt.

Öffnen Sie die Erfassungsmappe in Microsoft Excel, Apple Numbers oder LibreOffice. Achten Sie darauf, die Datei als .xlsx abzuspeichern.

Die Erfassungsmappe hat mehrere Blätter, je drei für RZ- und IT-Betreiber: Deckblatt, ReadMe und Datensammlung.

## C.2 Datensammlung

Das Datenblatt enthält die beiden Abschnitte „Grunddaten“, „Jahresdaten“ und „Environment-Related Key Performance Indicators“. Zu Beginn der ersten beiden Abschnitte werden Sie gefragt, ob Sie diesen Abschnitt als JSON Datei exportieren wollen. Der letzte soll von Ihnen nicht verändert werden und zeigt berechnete Werte aus Ihren Eingaben der ersten beiden Abschnitte.

Tragen Sie in den Abschnitten „Grunddaten“ und/oder „Jahresdaten“ in der Spalte „Wert“ Ihre Daten ein.

Die Spalte Einheit gibt Ihnen Hinweise für die Einheit und Formatierung.

Die Spalte „Kommentar“ ist nur für Sie, z.B. um Reminder, Zählernummern oder Berechnungshilfen zu notieren.

Die nachfolgende Spalte E gibt Ihnen einen Hinweis, ob es sich um ein Pflichtfeld oder um ein optionales Feld handelt.

Die nachfolgende Spalte F gibt Ihnen einen Hinweis, ob dieses Feld im Register öffentlich oder vertraulich behandelt wird.

Speichern Sie das Dokument als .xlsx-Datei.

## C.3 Erstellen der JSON-Datei

### C.3.1 Voraussetzungen

Es wird eine Python vorausgesetzt. Falls Sie keine Python auf Ihrem Computer haben, gehen Sie zu [python.org](https://python.org) und informieren sich über den Installationsprozess für Ihr Betriebssystem.

Das Python-Skript zum Erstellen der JSON Datei hat Abhängigkeiten zu folgenden Paketen:

- ▶ Pandas
- ▶ Json

- Numpy
- Jschema

Stellen Sie sicher, dass diese Pakete in Python verfügbar sind und informieren sich ggf. über den Installationsprozess<sup>14</sup>.

Speichern Sie den Ordner „schemata“ und das Python-Skript „peeratdc.py“ am selben Speicherort wie die Erfassungsmappe.

### C.3.2 Erstellen der JSON-Datei

Öffnen Sie ihre Kommando-Eingabefenster/ Terminal und wählen das Verzeichnis der Erfassungsmappe und starten Sie das Python-Skript

```
python peeratdc.py
```

Das erste Ausführen kann bis zu einer Minute dauern, bevor Sie eine Reaktion erhalten.

Bestätigen Sie den Pfad mit [y] oder geben den korrekten relativen Pfad ein.

Nacheinander werden alle Abschnitte aus dem Erfassungsbogen auf Vollständigkeit geprüft, für die „Diesen Abschnitt als json Datei exportieren“ mit Ja beantwortet wurde.

Fehlermeldungen beinhalten den Variablennamen, bei dem ein Fehler auftritt. Diesen finden Sie in der Erfassungsmappe in Spalte G wieder.

Bsp.: Sie möchten ausschließlich die Grunddaten RZ als JSON-Datei exportieren. Wählen sie für diesen Abschnitt in der Erfassungsmappe das entsprechende Feld auf „ja“ und in den anderen Abschnitten auf „nein“. Speichern Sie die Datei ab und starten das Python-Skript. Wenn Sie alle Pflicht-Felder ausgefüllt haben und Ihre Angaben den erwarteten Datentypen entsprechen, erhalten Sie die Rückmeldung „DC\_genral was written to export.json. If no error occured, you can now upload it to the register. Thank you!“

### C.4 Für IT-Betreiber: Auslesen der CPU-Auslastung mit Grafana und Prometheus

Grafana ist ein Open-Source Monitoring Tool für Server. Prometheus<sup>15</sup> stellt die zeitreihenbasierte Datenbank und und IP-basierte Schnittstelle zu den Servern bereit, während Grafana<sup>16</sup> diese Daten visualisiert.

Installieren Sie Grafana und Prometheus auf Ihrem Monitoring Computer und installieren Prometheus' Node-Exporter auf allen Servern, deren CPU-Auslastung sie auswerten möchten.

---

<sup>14</sup> <https://packaging.python.org/en/latest/tutorials/installing-packages/>

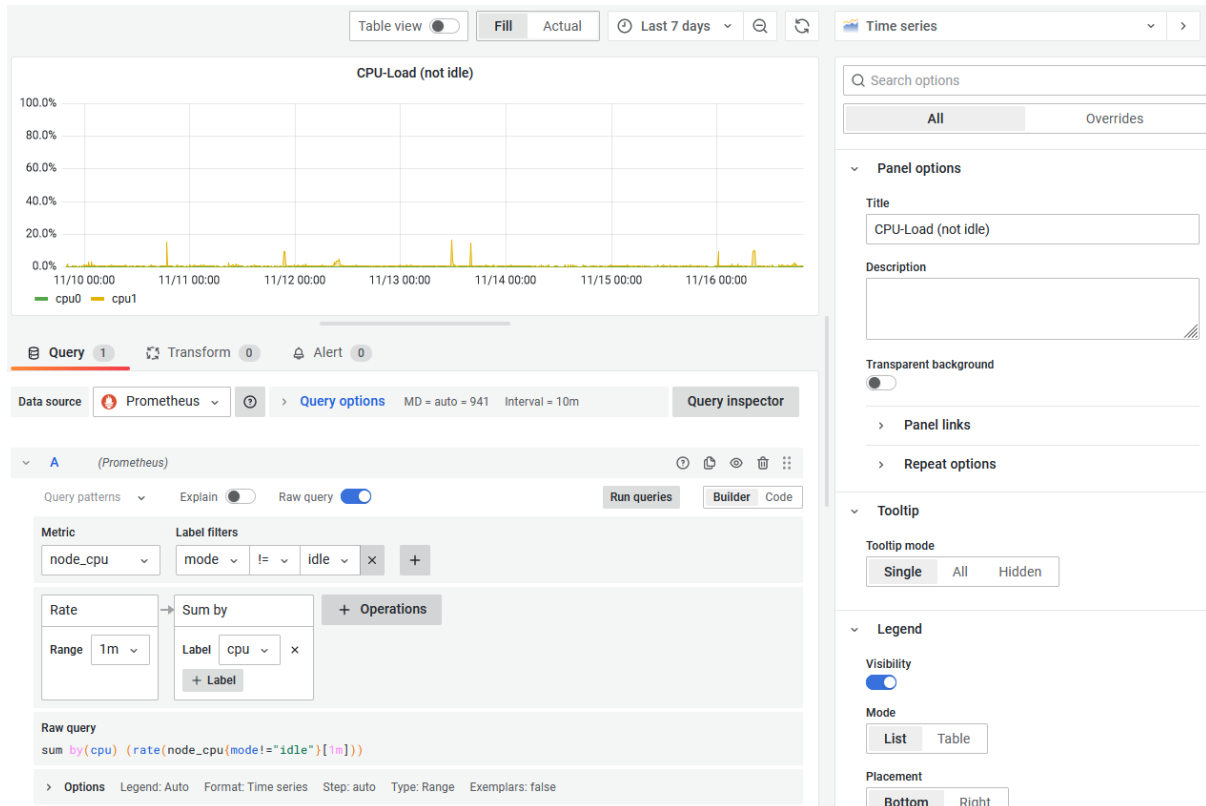
<sup>15</sup> <https://prometheus.io/>

<sup>16</sup> <https://grafana.com/>

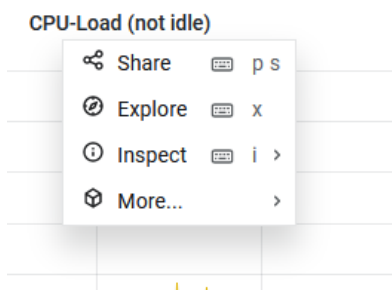
Erstellen Sie in Grafana ein neues Panel. Wählen Sie Prometheus als Data source und geben folgende Query ein:

```
sum by(cpu) (rate(node_cpu{mode!="idle"}[1m]))
```

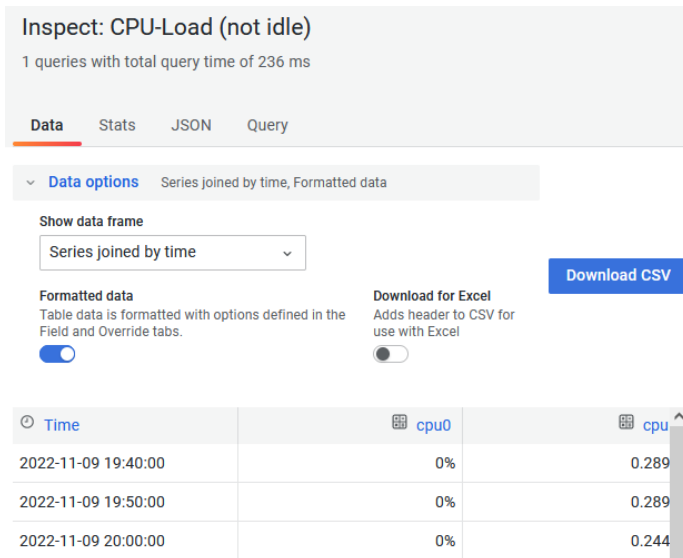
Wählen Sie "run query" und stellen eine time range von 7 Tagen oder mehr ein. Das Ergebnis sollte z.B. für zwei CPUs folgendermaßen aussehen:



Achten Sie darauf, dass die y-Achse von 0% bis 100% eingestellt ist. Wählen Sie im Mouse-over Menü des Titels der Grafik „Inspect“ -> „Data“:



Wählen Sie unter Data options „Series joined by time“ und anschließend Download CSV.



Speichern Sie die Datei unter einem einfachen Namen im selben Verzeichnis der Erfassungsmappe.

Starten Sie das Python-Skript „cpu\_grafana.py“:

Python cpu\_grafana.py

Geben Sie den Namen der CSV Datei ein. Das Skript erstellt eine Text-Datei mit der Wochenkurve. Öffnen Sie die Datei und kopieren den gesamten Inhalt in das Datenfeld von „mittleres Wochenprofil CPU-Auslastung (1-stündige Auflösung)“.

## D Anhang: Anmeldung und Datenupload

### D.1 Registrierung im Register

Besuchen Sie für das Hochladen Ihrer generierten JSON Datei die Homepage [www.peer-dc.de](http://www.peer-dc.de) (Hier muss noch ein Hosting festgelegt und getätigt werden).

Es erscheint eine Anmeldemaske.

Bei der Anmeldung muss der Name des Unternehmens noch nicht angegeben werden. Verwenden Sie eine E-Mail-Adresse auf die alle Personen, die für das Hochladen bzw. Aktualisieren Ihrer Daten verantwortlich sind, Zugriff haben.

Nach der Anmeldung bekommen Sie eine E-Mail mit einem Aktivierungslink zugeschickt. Klicken Sie diesen. Anschließend können Sie sich auf ihrem Account einloggen.

Bei Ihrem ersten Login sehen Sie folgende Homepage:

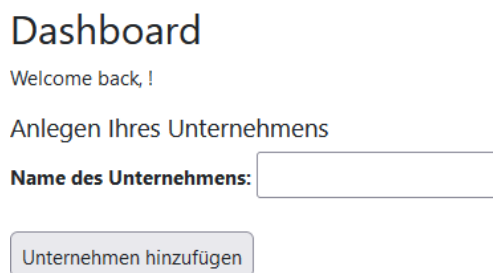


The screenshot shows a dark navigation bar at the top with links for 'Index', 'Profile', and 'Logout'. Below the bar, the page is titled 'Dashboard' with a greeting 'Willkommen, plz0!'. A question 'Was möchten Sie tun?' is followed by four blue buttons: 'Unternehmen (RZ) anlegen', 'IT Betreiber anlegen', 'Rechenzentrum anlegen', and 'IT System anlegen'.

### D.2 RZ-Betreiber anlegen

Sind Sie Rechenzentrumsbetreiber klicken Sie im ersten Schritt auf *Unternehmen (RZ) anlegen*.

Sie werden auf folgende Seite weitergeleitet:



The screenshot shows a form titled 'Dashboard' with a greeting 'Welcome back, !'. Below the title is the heading 'Anlegen Ihres Unternehmens'. There is a label 'Name des Unternehmens:' followed by a text input field. At the bottom of the form is a button labeled 'Unternehmen hinzufügen'.

Tragen Sie den Namen Ihres Unternehmens ein und klicken Sie auf *Unternehmen hinzufügen*.

Klicken Sie anschließend auf *Index* in der Navigationsleiste.

Nun können Sie die Rechenzentren die zu Ihrem Unternehmen gehören hinzufügen. Sie können so viele Rechenzentren anlegen wie Sie benötigen.

Klicken Sie dafür auf *Rechenzentrum anlegen*.

## Dashboard

Welcome back, !

Legen Sie ein Rechenzentrum an

Name des Rechenzentrums:

RZ hinzufügen

Tragen Sie den Namen des Rechenzentrums ein und klicken Sie auf *RZ hinzufügen*.

Nachdem Sie das getan haben, können Sie auf *Profil* in der Navigationsleiste klicken und können Ihre Daten einsehen:

## Profil

Ihre Daten:

Name: Test User

Username: testuser

Email: test@googlemail.com

Unternehmen: 22

Rechenzentren: 

- 36
- 37

Hier können Sie nun ihre Identifikationsnummern einsehen. Diese benötigen zum Upload Ihrer Daten.

Nachdem Sie sowohl ein Unternehmen als auch mindestens ein Rechenzentrum anlegt haben, bekommen Sie unter Index folgende Auswahlmöglichkeiten:

Daten eintragen RZ

Erster Eintrag ins Register

Jährliche Eintragung keine Änderung Stammdaten

Änderung in Stammdaten

Änderung Kontaktperson

### D.3 IT-Betreiber anlegen

Klicken Sie im Index auf *IT Betreiber anlegen*.

## Dashboard

Welcome back, !

Legen Sie einen Informationstechnikbetreiber an

Name des IT Betreibers:

Hinzufügen IT Betreib

Fügen Sie den IT Betreiber hinzu.

Anschließend muss ein IT-System für jedes IT-System innerhalb eines Rechenzentrums angelegt werden.

Klicken Sie hierfür auf *IT System anlegen*.

## Dashboard

Welcome back, !

IT System hinzufügen

Bezeichnung des IT Systems (dies kann auch eine Nummer sein):

IT System hinzufügen

Tragen Sie Ihr IT-System ein.

In Ihrem Profil können Sie nun ihre Identifikationsnummern einsehen. Diese benötigen zum Upload Ihrer Daten.

## Profil

Ihre Daten:

Name: Test User

Username: testuser

Email: test@googlemail.com

IT Betreiber: 5

- 8

IT System:

- 9

Sie sehen nun folgende Auswahlmöglichkeiten unter *Index*.

Daten eintragen IT

Erster Eintrag ins Register

Jährliche Eintragung keine Änderung Stammdaten

Änderung in Stammdaten

Änderung Kontaktperson

## D.4 Datenupload

### D.4.1 RZ-Betreiber

#### Daten eintragen RZ

Erster Eintrag ins Register

Jährliche Eintragung keine Änderung Stammdaten

Änderung in Stammdaten

Änderung Kontaktperson

Wenn Sie das erste Mal Daten hochladen, wählen Sie *Erster Eintrag ins Register*. Sie werden zu folgender Maske weitergeleitet.

## Dashboard

Welcome back, testuser!

Wählen Sie das Rechenzentrum für das Sie Daten hochladen möchten: 36 ▼

#### Upload JSON file:

Durchsuchen... export.json

Upload

Wählen Sie die ID des Rechenzentrums für das Sie Daten hochladen möchten. Klicken Sie auf *Durchsuchen* und wählen Sie ihre JSON-Datei aus.

Klicken Sie anschließend auf *Upload*. Sie bekommen eine E-Mail die den Upload für Sie bestätigt.

Möchten Sie jährliche Daten hochladen wählen Sie *Jährliche Eintragung keine Änderung Stammdaten*. Die Maske auf die Sie geleitet werden entspricht der für den ersten Upload ins Register.

### D.4.2 IT-Betreiber

#### Daten eintragen IT

Erster Eintrag ins Register

Jährliche Eintragung keine Änderung Stammdaten

Änderung in Stammdaten

Änderung Kontaktperson

Für den ersten Upload klicken Sie *Erster Eintrag ins Register*.

Wählen Sie die ID des Systems für das Sie die Daten hochladen. Durchsuchen Sie ihr Verzeichnis nach Ihrer JSON-file und bestätigen Sie den Upload mit *Upload*. Sie erhalten eine E-Mail zur Bestätigung ihres Uploads.

Für das Hochladen der jährliches Verbrauchsdaten ohne Änderung der Stammdaten wählen Sie *Jährliche Eintragung keine Änderung Stammdaten*.

## D.5 Änderung Stammdaten

Wollen Sie Änderungen an Ihren Stammdaten vornehmen. Klicken Sie *Änderung in Stammdaten*. Sie werden auf folgende Homepage weitergeleitet:

**Dashboard**  
Welcome back, !

### Edit Stammdaten

Wählen Sie ein Rechenzentrum: 36 ▾

Zertifikat: Select a certificate ▾

Grundstücksfläche:

Gebäudefläche:

Whitespace:

Verfügbarkeitsklasse:

Anschlussleistung des Rechenzentrums:

Nennanschlussleistung der IT:

Anzahl Serverschränke:

Summe der Energiespeicherkapazität (USV):

Summe der elektrischen Anschlussleistung (USV):

Summe der installierten Leistung der Netzersatzanlagen:

Summe der installierten Nennkälteleistung aller Kältemaschinen:

Summe der installierten elektrischen Anschlussleistung aller Kältemaschinen:

Tragen Sie den Wert ein der aktualisiert werden soll und klicken Sie auf *Update*.

## D.6 Kontaktperson hinzufügen oder ändern

Unter *Änderung Kontaktperson* können Sie Kontaktpersonen hinzufügen und löschen.

### Dashboard

Welcome back, !

Wählen Sie ein Rechenzentrum: 36 ▼

### Hinzufügen einer neuen Kontaktperson

Name:

Email:

### Kontaktpersonen

Kontaktperson die gelöscht werden soll ▼

Sie bekommen eine E-Mail zur Bestätigung Ihrer Änderungen.

## E Anhang: Beschreibung der SQL-Datenbank

### E.1 Übersicht der Datenbankstruktur

Name der Datenbank: peerdc\_register

Schemas: historie, public, topology

Primärschlüssel (PK), Fremdschlüssel (FK)

### E.2 Beschreibung der Tabellen, Spalten, Datentypen

#### E.2.1 Tabellen Schema historie:

**Tabelle: backupgenerator\_histroy**

| Feldbezeichnung         | Datentyp  | Beschreibung                            |
|-------------------------|-----------|-----------------------------------------|
| id (PK)                 | Integer   | Automatisch generierter Wert            |
| backupgenerator_id (FK) | Integer   | Aus Tabelle public: backupgenerator     |
| power_backup:el_power   | Numeric   | Aus Tabelle public: backupgenerator     |
| change_date             | Timestamp | Automatisch generierter Wert bei Backup |

**Tabelle: chiller\_histroy**

| Feldbezeichnung          | Datentyp  | Beschreibung                            |
|--------------------------|-----------|-----------------------------------------|
| id (PK)                  | Integer   | Automatisch generierter Wert            |
| chiller_id (FK)          | Integer   | Aus Tabelle public: chiller             |
| chiller_design_col_power | Numeric   | Aus Tabelle public: chiller             |
| change_date              | Timestamp | Automatisch generierter Wert bei Backup |

**Tabelle: dc\_histroy**

| Feldbezeichnung        | Datentyp  | Beschreibung                            |
|------------------------|-----------|-----------------------------------------|
| id (PK)                | Integer   | Automatisch generierter Wert            |
| dc_id (FK)             | Integer   | Aus Tabelle public: dc                  |
| dc_premises_area       | Numeric   | Aus Tabelle public: dc                  |
| dc_whitespace_now      | Numeric   | Aus Tabelle public: dc                  |
| dc_gross_floor_area    | Numeric   | Aus Tabelle public: dc                  |
| dc_availability        | Integer   | Aus Tabelle public: dc                  |
| dc_design_power_kw     | Numeric   | Aus Tabelle public: dc                  |
| dc_it_nominal_power_kw | Numeric   | Aus Tabelle public: dc                  |
| dc_amount_rack         | Numeric   | Aus Tabelle public: dc                  |
| change_date            | timestamp | Automatisch generierter Wert bei Backup |

**Tabelle: dc\_histroy**

| Feldbezeichnung        | Datentyp  | Beschreibung                            |
|------------------------|-----------|-----------------------------------------|
| id (PK)                | Integer   | Automatisch generierter Wert            |
| dc_id (FK)             | Integer   | Aus Tabelle public: dc                  |
| dc_premises_area       | Numeric   | Aus Tabelle public: dc                  |
| dc_whitespace_now      | Numeric   | Aus Tabelle public: dc                  |
| dc_gross_floor_area    | Numeric   | Aus Tabelle public: dc                  |
| dc_availability        | Integer   | Aus Tabelle public: dc                  |
| dc_design_power_kw     | Numeric   | Aus Tabelle public: dc                  |
| dc_it_nominal_power_kw | Numeric   | Aus Tabelle public: dc                  |
| dc_amount_rack         | Numeric   | Aus Tabelle public: dc                  |
| change_date            | timestamp | Automatisch generierter Wert bei Backup |

**Tabelle: it\_system\_histroy**

| Feldbezeichnung   | Datentyp  | Beschreibung                            |
|-------------------|-----------|-----------------------------------------|
| id (PK)           | Integer   | Automatisch generierter Wert            |
| it_system_id (FK) | Integer   | Aus Tabelle public: it_system           |
| it_amount_racks   | Numeric   | Aus Tabelle public: it_system           |
| it_whitespace     | Numeric   | Aus Tabelle public: it_system           |
| change_date       | timestamp | Automatisch generierter Wert bei Backup |

## E.2.2 Tabellen Schema public:

**Tabelle: all\_data**

Die Tabelle all\_data dient als Zwischenspeicher für alle hochgeladenen Werte. Die Werte verweilen nicht dort, sondern werden direkt auf die entsprechenden Tabellen verteilt.

**Tabelle: availability\_dc**

| Feldbezeichnung      | Datentyp | Beschreibung    |
|----------------------|----------|-----------------|
| availability_id (PK) | Integer  | Primärschlüssel |
| dc_availability      | Text     |                 |

**Tabelle: backupgeneartor**

| Feldbezeichnung         | Datentyp | Beschreibung    |
|-------------------------|----------|-----------------|
| backupgenerator_id (PK) | Integer  | Primärschlüssel |
| power_backup_el_power   | Numeric  |                 |
| dc_id (FK)              | Integer  | Fremdschlüssel  |

**Tabelle: buffer\_km**

| Feldbezeichnung | Datentyp | Beschreibung    |
|-----------------|----------|-----------------|
| id (PK)         | Integer  | Primärschlüssel |

| Feldbezeichnung | Datentyp | Beschreibung        |
|-----------------|----------|---------------------|
| geom            | Geometry | Polygon des Buffers |
| name_city       | Text     |                     |
| plz             | Text     |                     |

**Tabelle\_building\_use\_vicinity**

| Feldbezeichnung      | Datentyp | Beschreibung    |
|----------------------|----------|-----------------|
| building_use_id (PK) | Integer  | Primärschlüssel |
| building_use_desc    | Text     |                 |

**Tabelle: chiller**

| Feldbezeichnung          | Datentyp | Beschreibung    |
|--------------------------|----------|-----------------|
| chiller_id (PK)          | Integer  | Primärschlüssel |
| chiller_design_col_power | Numeric  |                 |
| chiller_design_el_power  | Numeric  |                 |
| dc_id (FK)               | Integer  | Fremdschlüssel  |

**Tabelle: cities**

| Feldbezeichnung | Datentyp | Beschreibung             |
|-----------------|----------|--------------------------|
| id (PK)         | Integer  | Primärschlüssel          |
| geom            | Geometry | Punktgeometrie der Stadt |
| name_city       | Text     |                          |
| lat             | Text     | Latitude                 |
| lon             | Text     | Longitude                |
| country         |          |                          |
| state           |          |                          |
| plz             |          |                          |

**Tabelle: company**

| Feldbezeichnung           | Datentyp | Beschreibung    |
|---------------------------|----------|-----------------|
| company_id (PK)           | Integer  | Primärschlüssel |
| company_name              | Text     |                 |
| former_company_name       | Text     |                 |
| company_street            | Text     |                 |
| company_street_nr         | Text     |                 |
| company_zipcode           | Text     |                 |
| dc_company_country        | Text     |                 |
| company_commercial_number | Text     |                 |
| company_city              | Text     |                 |

**Tabelle: coolant\_consumption**

| Feldbezeichnung             | Datentyp | Beschreibung    |
|-----------------------------|----------|-----------------|
| coolant_consumption_id (PK) | Integer  | Primärschlüssel |

| Feldbezeichnung          | Datentyp | Beschreibung |
|--------------------------|----------|--------------|
| chiller_id (FK)          | Integer  |              |
| coolant_type_id (FK)     | Integer  |              |
| coolant_refilled_kg      | Numeric  |              |
| coolant_disposed_kg      | Numeric  |              |
| coolant_consumption_year | Date     |              |

**Tabelle: coolant\_filling\_chiller**

| Feldbezeichnung         | Datentyp | Beschreibung    |
|-------------------------|----------|-----------------|
| coolant_filling_id (PK) | Integer  | Primärschlüssel |
| coolant_type_id (FK)    | Integer  |                 |
| coolant_stock_kg        | Numeric  |                 |
| chiller_id (FK)         | Integer  |                 |

**Tabelle: coolant\_type**

| Feldbezeichnung      | Datentyp | Beschreibung    |
|----------------------|----------|-----------------|
| coolant_type_id (PK) | Integer  | Primärschlüssel |
| coolant_type         | Text     |                 |
| emission_f           | Numeric  |                 |
| unit                 | Text     |                 |

**Tabelle: dc**

| Feldbezeichnung                  | Datentyp | Beschreibung                     |
|----------------------------------|----------|----------------------------------|
| dc_id (PK)                       | Integer  | Primärschlüssel                  |
| dc_date_launch                   | Text     | Fremdschlüssel                   |
| dc_street                        | Text     |                                  |
| dc_street_nr                     | Text     |                                  |
| dc_zipcode                       | Text     |                                  |
| dc_city                          | Text     |                                  |
| dc_country                       | Text     |                                  |
| dc_premises_area                 | Numeric  |                                  |
| dc_whitespace_now                | Numeric  |                                  |
| dc_gross_floor_area              | Numeric  |                                  |
| dc_building_use_vicinity_id (FK) | Integer  |                                  |
| dc_availability (FK)             | Integer  |                                  |
| dc_design_power_kw               | Numeric  |                                  |
| dc_it_nominal_power_kw           | Numeric  |                                  |
| dc_amount_rack                   | Numeric  |                                  |
| dc_name                          | Text     |                                  |
| dc_number_of_tenants             | Numeric  |                                  |
| lat                              | Text     | Fremdschlüssel                   |
| lon                              | Text     |                                  |
| company_id (FK)                  | Integer  | Fremdschlüssel                   |
| dc_certificate                   | Array    | Punktgeometrie des RZ Standortes |
| geom                             | Geometry |                                  |

**Tabelle: dc\_contact\_person**

| Feldbezeichnung            | Datentyp | Beschreibung    |
|----------------------------|----------|-----------------|
| dc_contact_person_id (PK)  | Integer  | Primärschlüssel |
| dc_contact_person_forename | Text     | Fremdschlüssel  |
| dc_contact_person_surname  | Text     |                 |
| dc_contact_phone           | Text     |                 |
| dc_contact_email           | Text     |                 |
| dc_id (FK)                 | Intenger |                 |

**Tabelle: dc\_operator**

| Feldbezeichnung      | Datentyp | Beschreibung    |
|----------------------|----------|-----------------|
| dc_operator_id (PK)  | Integer  | Primärschlüssel |
| dc_id (FK)           | Integer  | Fremdschlüssel  |
| operatortype_id (FK) | Integer  | Fremdschlüssel  |
| operatorper          | Numeric  |                 |

**Tabelle: eco\_certificate**

| Feldbezeichnung     | Datentyp | Beschreibung    |
|---------------------|----------|-----------------|
| certificate_id (PK) | Integer  | Primärschlüssel |
| certificate_title   | Text     |                 |

**Tabelle: electricity\_consumption**

| Feldbezeichnung        | Datentyp | Beschreibung    |
|------------------------|----------|-----------------|
| el_consumption_id (PK) | Integer  | Primärschlüssel |
| el_total_dc_kwh        | Numeric  | Fremdschlüssel  |
| dc_id (FK)             | Integer  |                 |
| el_it_kwh              | Numeric  |                 |
| el_cooling_kwh         | Numeric  |                 |
| el_heatp_kwh           | Numeric  |                 |
| el_consumption_year    | Year     |                 |

**Tabelle: electricity\_production**

| Feldbezeichnung         | Datentyp | Beschreibung    |
|-------------------------|----------|-----------------|
| el_production_id (PK)   | Integer  | Primärschlüssel |
| dc_id (FK)              | Integer  | Fremdschlüssel  |
| el_production_kwh       | Numeric  |                 |
| el_production_renewable | Numeric  |                 |
| el_production_generator | Numeric  |                 |
| el_feed_kwh             | Numeric  |                 |
| el_production_year      | Year     |                 |

**Tabelle: electricity\_supply**

| Feldbezeichnung            | Datentyp | Beschreibung    |
|----------------------------|----------|-----------------|
| electricity_supply_id (PK) | Integer  | Primärschlüssel |
| el_grid_kwh                | Numeric  | Fremdschlüssel  |
| el_share_renewables        | Numeric  |                 |
| el_share_nuclear           | Numeric  |                 |
| co2_emission_el_amount     | Numeric  |                 |
| dc_id (FK)                 | Integer  |                 |
| el_supply_year             | Year     |                 |
| el_share_fossil            | Numeric  |                 |

**Tabelle: fuel\_consumption**

| Feldbezeichnung          | Datentyp | Beschreibung    |
|--------------------------|----------|-----------------|
| fuel_consumption_id (PK) | Integer  | Primärschlüssel |
| fuel_consumption_kg      | Numeric  | Fremdschlüssel  |
| fuel_type_id (FK)        | Numeric  |                 |
| fuel_consumption_year    | Year     |                 |
| backupgenerator_id (FK)  | Integer  |                 |

**Tabelle: fuel\_type**

| Feldbezeichnung   | Datentyp | Beschreibung    |
|-------------------|----------|-----------------|
| fuel_type_id (PK) | Integer  | Primärschlüssel |
| fuel_type         | Text     |                 |
| emission_f        | Numeric  |                 |
| unit              | Text     |                 |

**Tabelle: heat\_use**

| Feldbezeichnung  | Datentyp | Beschreibung    |
|------------------|----------|-----------------|
| heat_use_id (PK) | Integer  | Primärschlüssel |
| heat_reuse_kwh   | Numeric  | Fremdschlüssel  |
| heat_reuse_temp  | Numeric  |                 |
| heat_unuse_kwh   | Numeric  |                 |
| heat_unuse_temp  | Numeric  |                 |
| dc_id (FK)       | Integer  |                 |
| heat_use_year    | Year     |                 |

**Tabelle: it\_connection\_kw**

| Feldbezeichnung             | Datentyp | Beschreibung    |
|-----------------------------|----------|-----------------|
| it_connection_id (PK)       | Integer  | Primärschlüssel |
| it_system_id (FK)           | Integer  | Fremdschlüssel  |
| it_connection_power_kw      | Numeric  |                 |
| it_connection_year          | Year     |                 |
| it_connection_power_server  | Numeric  |                 |
| it_connection_power_storage | Numeric  |                 |
| it_connection_power_network | Year     |                 |

**Tabelle: it\_consumption**

| Feldbezeichnung         | Datentyp | Beschreibung    |
|-------------------------|----------|-----------------|
| it_consumption_id (PK)  | Integer  | Primärschlüssel |
| it_system_id (FK)       | Integer  | Fremdschlüssel  |
| cpu_mean_weekly_profile | Array    |                 |
| cpu_mean_el_power       | Array    |                 |
| it_el_it_kwh            | Numeric  |                 |
| quantity_waste_servers  | Numeric  |                 |
| quantity_refub_servers  | Numeric  |                 |
| dumped_storage_terabyte | Numeric  |                 |
| refurb_storage_terabyte | Numeric  |                 |
| it_consumption_year     | Year     |                 |

**Tabelle: it\_operator**

| Feldbezeichnung     | Datentyp | Beschreibung    |
|---------------------|----------|-----------------|
| it_operator_id (PK) | Integer  | Primärschlüssel |
| it_contact_company  | Text     |                 |
| it_contact_fname    | Text     |                 |
| it_contact_sname    | Text     |                 |
| it_contact_tel      | Text     |                 |
| it_contact_email    | Text     |                 |

**Tabelle: it\_system**

| Feldbezeichnung     | Datentyp | Beschreibung    |
|---------------------|----------|-----------------|
| it_system_id (PK)   | Integer  | Primärschlüssel |
| it_operator_id (FK) | Integer  | Fremdschlüssel  |
| dc_id (FK)          | Integer  | Fremdschlüssel  |
| it_amount_racks     | Numeric  |                 |
| it_whitespace       | Numeric  |                 |
| it_system_name      | Text     |                 |

**Tabelle: it\_operator\_type\_dc**

| Feldbezeichnung       | Datentyp | Beschreibung    |
|-----------------------|----------|-----------------|
| operator_type_id (PK) | Integer  | Primärschlüssel |
| dc_operator_type      | Text     |                 |

**Tabelle: plzall**

| Feldbezeichnung | Datentyp | Beschreibung             |
|-----------------|----------|--------------------------|
| id (PK)         | Integer  | Primärschlüssel          |
| geom            | Geometry | Polygon des PLZ Bereichs |
| plz5            | Text     |                          |
| plz3            | Text     |                          |
| plz2            | Text     |                          |
| plz1            | Text     |                          |

**Tabelle: spatial\_ref\_sys**

| Feldbezeichnung | Datentyp | Beschreibung    |
|-----------------|----------|-----------------|
| srid (PK)       | Integer  | Primärschlüssel |
| auth_name       | Text     |                 |
| auth_srid       | Text     |                 |
| srtext          | Text     |                 |
| proj4text1      | Text     |                 |

**Tabelle: ups**

| Feldbezeichnung            | Datentyp | Beschreibung    |
|----------------------------|----------|-----------------|
| ups_id (PK)                | Integer  | Primärschlüssel |
| ups_capacity_kwh           | Numeric  |                 |
| ups_connection_input_power | Numeric  |                 |
| dc_id (FK)                 | Integer  | Fremdschlüssel  |

**Tabelle: users**

| Feldbezeichnung   | Datentyp | Beschreibung    |
|-------------------|----------|-----------------|
| id (PK)           | Integer  | Primärschlüssel |
| fullname          | Text     |                 |
| username          | Text     |                 |
| password          | Text     |                 |
| email             | Text     |                 |
| company_id        | Integer  |                 |
| company_added     | Boolean  |                 |
| it_operator_id    | Integer  |                 |
| activation_key    | Boolean  |                 |
| activated         | Boolean  |                 |
| it_operator_added | Boolean  |                 |

**Tabelle: water\_consumption**

| Feldbezeichnung           | Datentyp | Beschreibung    |
|---------------------------|----------|-----------------|
| water_consumption_id (PK) | Integer  | Primärschlüssel |
| dc_id (FK)                | Integer  | Fremdschlüssel  |
| water_adiabatic           | Numeric  |                 |
| water_quality_id          | Integer  | Fremdschlüssel  |
| water_consumption_year    | Year     |                 |

**Tabelle: water\_type**

| Feldbezeichnung       | Datentyp | Beschreibung    |
|-----------------------|----------|-----------------|
| water_quality_id (PK) | Integer  | Primärschlüssel |
| water_type_desc       | Text     |                 |

### E.3 Beschreibung der Views

#### **amount\_dc\_plz5**

- ▶ Beschreibung: Diese View gibt die Anzahl der Rechenzentren für PLZ zusammen mit der geometrischen Darstellung zurück.
- ▶ Abfrage: Die Anzahl der Rechenzentren pro PLZ wird durch einen Left Join zwischen der Tabelle plzall und der Tabelle dc erreicht. Die Geometrie jeder PLZ wird mit dem PostGIS-Funktion st\_astext zurückgegeben.
- ▶ Attribute:
  - plz5: Die letzten fünf Ziffern der Postleitzahl.
  - anzahl\_rechenzentren: Die Anzahl der Rechenzentren in dieser PLZ.
  - geom: Die geometrische Darstellung der PLZ.

#### **coolant\_consumption\_confidential**

- ▶ Beschreibung: Diese View aggregiert den Verbrauch von Kühlmitteln für die Kühlung von Rechenzentren.
- ▶ Abfrage: Die Daten werden aus den Tabellen coolant\_consumption, coolant\_filling\_chiller, chiller und coolant\_type zusammengeführt und nach Rechenzentrum und Kühlmitteltyp gruppiert.
- ▶ Attribute:
  - refilled: Gesamtes nachgefülltes Kühlmittel.
  - desposed: Gesamtes entsorgtes Kühlmittel.
  - stock: Aktueller Lagerbestand an Kühlmittel.
  - coolant\_type: Der Typ des Kühlmittels.
  - dc\_id: Die ID des Rechenzentrums.
  - plz1 bis plz5: Die ersten fünf Ziffern der Postleitzahl des Rechenzentrums.

#### **dcic**

- ▶ Beschreibung: Diese View führt eine lineare Regressionsanalyse für die durchschnittlichen wöchentlichen IT-Verbrauchswerte durch.
- ▶ Abfrage: Die durchschnittlichen wöchentlichen IT-Verbrauchswerte werden aus der Tabelle it\_consumption extrahiert und unnestet. Dann werden die Regressionsparameter berechnet und der Data Center Idle Coefficient abgeleitet.
- ▶ Attribute:
  - it\_consumption\_id: Die ID des IT-Verbrauchs.
  - slope: Die Steigung der Regressionsgeraden.
  - intercept: Der Achsenabschnitt der Regressionsgeraden.

- **sum\_x**: Die Summe der IT-Verbrauchswerte.
- **sum\_y**: Die Summe der Stromverbrauchswerte.
- **data\_centre\_idle\_coefficient**: Der Data Center Idle Coefficient basierend auf der Regressionanalyse.

#### **el\_consumption\_it, el\_consumption\_it\_2, el\_consumption\_it\_3, el\_consumption\_it\_5**

- **Beschreibung**: Diese Views dienen der Aggregation und Darstellung der IT-Stromverbrauchsmenge in verschiedenen räumlichen Ebenen anhand der Postleitzahlen der Rechenzentren.
- **Abfrage**: Die Abfragen aggregieren den Stromverbrauch der IT aus der Tabelle **it\_consumption** für das Vorjahr basierend auf der jeweiligen räumlichen Ebene der Postleitzahlen. Sie gruppieren den Stromverbrauch nach den ersten ein bis fünf Stellen der Postleitzahlen und dem Jahr der Verbrauchsmessung.
- **Attribute**:
  - **plz1, plz2, plz3, plz5**: Die ersten ein bis fünf Stellen der Postleitzahlen, die den aggregierten Bereich definieren.
  - **it\_el\_con**: Die summierte Menge des IT-Stromverbrauchs in MWh oder kWh, abhängig von der spezifischen Abfrage.
  - **dc\_zipcode**: Die Postleitzahl des Rechenzentrums, aus der die ersten ein bis fünf Stellen extrahiert werden.
  - **it\_system\_id**: Die eindeutige Kennung des IT-Systems, mit dem der Stromverbrauch verknüpft ist.
  - **it\_consumption\_year**: Das Jahr der Verbrauchsmessung, um sicherzustellen, dass nur Daten des Vorjahres abgerufen werden.

#### **el\_consumption\_production\_feed**

- **Beschreibung**: Diese Abfrage kombiniert Daten zu erneuerbaren Energiequellen, Stromproduktion und -verbrauch, um das Verhältnis von erneuerbaren zu Gesamtenergiequellen für Rechenzentren zu berechnen. Sie aggregiert verschiedene Kennzahlen wie den Anteil erneuerbarer Energien an der Gesamtversorgung, die Stromerzeugung aus erneuerbaren Quellen, die gesamte Stromproduktion, die Gesamtstromversorgung des Rechenzentrums und weitere spezifische Werte.
- **Abfrage**: Die Abfrage verwendet JOIN-Klauseln, um Daten aus den Tabellen **dc**, **electricity\_supply**, **electricity\_production** und **electricity\_consumption** abzurufen. Sie wählt spezifische Spalten aus, berechnet das Verhältnis von erneuerbaren zu Gesamtenergiequellen und gruppiert die Ergebnisse nach den ersten ein bis fünf Stellen der Postleitzahlen der Rechenzentren.
- **Attribute**:
  - **ref**: Das Verhältnis von erneuerbaren zu Gesamtenergiequellen für das Rechenzentrum.
  - **el\_share\_renewables**: Der Anteil erneuerbarer Energien an der Gesamtversorgung des Rechenzentrums.

- `el_grid_kwh`: Die gesamte Stromversorgung des Rechenzentrums aus dem Netz.
- `el_production_renewable`: Die Stromerzeugung aus erneuerbaren Quellen.
- `el_production_kwh`: Die gesamte Stromproduktion des Rechenzentrums.
- `el_total_dc_kwh`: Der Gesamtstromverbrauch des Rechenzentrums.
- `el_feed_kwh`: Die eingespeiste Strommenge ins Netz.
- `el_renewable_kwh`: Die Menge an Strom aus erneuerbaren Quellen.
- `el_nuclear_kwh`: Die Menge an Strom aus Kernenergie.
- `el_fossil_kwh`: Die Menge an Strom aus fossilen Brennstoffen.
- `dc_id`: Die eindeutige Kennung des Rechenzentrums.
- `plz1`, `plz2`, `plz3`, `plz4`, `plz5`: Die ersten ein bis fünf Stellen der Postleitzahl des Rechenzentrums, um die Daten nach räumlichen Einheiten zu gruppieren.

#### **`el_consumption_production_feed_confidential`**

- Beschreibung: Diese Abfrage ergänzt die vorherige, indem sie zusätzliche Kennzahlen zur Energieeffizienz von Rechenzentren berechnet. Dazu gehören der PUE und der CER. Diese Kennzahlen bieten Einblicke in die Effizienz des Stromverbrauchs und der Kühlung im Rechenzentrum. Die Ergebnisse werden weiterhin nach den ersten ein bis fünf Stellen der Postleitzahl gruppiert, um eine räumliche Analyse zu ermöglichen.

#### **`emission_all`, `emission_final`**

- Beschreibung: Diese Abfragen analysieren die Emissionsdaten von Kühlmitteln und Brennstoffen in Rechenzentren.
  - `emission_all`: Die erste Abfrage kombiniert Daten zu Kühlmitteln und Brennstoffen, um die Emissionen zu berechnen. Sie gruppiert die Ergebnisse nach den ersten ein bis fünf Stellen der Postleitzahlen der Rechenzentren.
  - `emission_final`: Die zweite Abfrage bezieht sich speziell auf die Tabelle `emission_all` und analysiert die Emissionen von Kühlmitteln und Brennstoffen. Sie filtert die Daten nach dem vorherigen Jahr und gruppiert sie ebenfalls nach den ersten ein bis fünf Stellen der Postleitzahlen der Rechenzentren.
- Attribute:
  - `coolant_type`: Der Typ des Kühlmittels.
  - `emission_coolant`: Die Emissionen des Kühlmittels, umgerechnet in Kilogramm.
  - `fuel_type`: Der Typ des Brennstoffs.
  - `emission_fuel`: Die Emissionen des Brennstoffs, umgerechnet in Kilogramm.
  - `plz1`, `plz2`, `plz3`, `plz4`, `plz5`: Die ersten ein bis fünf Stellen der Postleitzahl des Rechenzentrums, um die Daten nach räumlichen Einheiten zu gruppieren.

### **energy\_share\_bezug**

- ▶ Beschreibung: Diese View kombiniert Daten aus den Tabellen electricity\_supply und dc, um Informationen über die Stromversorgung von Rechenzentren zu erhalten. Sie untersucht die Verteilung der Stromerzeugung nach erneuerbaren, nuklearen und fossilen Energiequellen und gruppiert die Ergebnisse nach den ersten ein bis fünf Stellen der Postleitzahlen der Rechenzentren.
- ▶ Abfrage: Die Abfrage verwendet JOIN-Klauseln, um Daten aus den Tabellen electricity\_supply und dc abzurufen. Sie wählt spezifische Spalten aus, um die Verteilung der Stromerzeugung nach erneuerbaren, nuklearen und fossilen Energiequellen zu berechnen und gruppiert die Ergebnisse nach den ersten ein bis fünf Stellen der Postleitzahlen der Rechenzentren.
- ▶ Attribute:
  - dc\_id: Die eindeutige Kennung des Rechenzentrums.
  - plz1, plz2, plz3, plz4, plz5: Die ersten ein bis fünf Stellen der Postleitzahl des Rechenzentrums, um eine regionale Analyse zu ermöglichen.
  - el\_supply\_year: Das Jahr der Stromversorgung.
  - renewables: Die Menge an Strom, der aus erneuerbaren Energiequellen erzeugt wird, umgerechnet in Kilowattstunden.
  - nuclear: Die Menge an Strom, der aus nuklearen Energiequellen erzeugt wird, umgerechnet in Kilowattstunden.
  - fossil: Die Menge an Strom, der aus fossilen Energiequellen erzeugt wird, umgerechnet in Kilowattstunden.

### **fuel\_consumption\_confidential**

- ▶ Beschreibung: Diese Abfrage kombiniert Daten aus den Tabellen fuel\_consumption, backup\_generator, fuel\_type und dc, um Informationen über den Kraftstoffverbrauch von Backup-Generatoren in Rechenzentren zu erhalten. Sie aggregiert den Kraftstoffverbrauch nach Kraftstofftyp und gruppiert die Ergebnisse nach den ersten ein bis fünf Stellen der Postleitzahlen der Rechenzentren.
- ▶ Abfrage: Die Abfrage verwendet JOIN-Klauseln, um Daten aus den Tabellen fuel\_consumption, backup\_generator, fuel\_type und dc abzurufen. Sie wählt spezifische Spalten aus, um den Kraftstoffverbrauch von Backup-Generatoren nach Kraftstofftyp zu berechnen und gruppiert die Ergebnisse nach den ersten ein bis fünf Stellen der Postleitzahlen der Rechenzentren.
- ▶ Attribute:
  - fuel: Der Gesamtkraftstoffverbrauch des Backup-Generators, umgerechnet in Kilogramm.
  - fuel\_type: Der Typ des verwendeten Kraftstoffs.
  - dc\_id: Die eindeutige Kennung des Rechenzentrums.
  - plz1, plz2, plz3, plz4, plz5: Die ersten ein bis fünf Stellen der Postleitzahl des Rechenzentrums, um eine regionale Analyse zu ermöglichen.

#### **nea\_usv\_connection\_confidential**

- ▶ Beschreibung: Diese View kombiniert Daten aus den Tabellen dc, backupgenerator und ups, um Informationen über die Anschlussleistung, die installierte elektrische Leistung der NEA und die USV in Rechenzentren zu erhalten. Sie wählt spezifische Spalten aus und gruppiert die Ergebnisse nach den ersten ein bis fünf Stellen der Postleitzahlen der Rechenzentren.
- ▶ Abfrage: Die View verwendet JOIN-Klauseln, um Daten aus den Tabellen dc, backupgenerator und ups abzurufen. Sie wählt spezifische Spalten aus, um Informationen über Anschlussleistung, NEA und USV zu erhalten und gruppiert die Ergebnisse nach den ersten ein bis fünf Stellen der Postleitzahlen der Rechenzentren.
- ▶ Attribute:
  - connection\_power: Die Anschlussleistung des Rechenzentrums.
  - nea: Die installierte elektrische Leistung der NEA.
  - usv: Die installierte elektrische Speicherkapazität der USV.
  - dc\_id: Die eindeutige Kennung des Rechenzentrums.
  - plz1, plz2, plz3, plz4, plz5: Die ersten ein bis fünf Stellen der Postleitzahl des Rechenzentrums, um eine regionale Analyse zu ermöglichen.

#### **heat\_use 1-5**

- ▶ Beschreibung: Diese Abfragen analysieren die Wiederverwendung und Nichtverwendung von Abwärme in Rechenzentren anhand von Daten zu Wärmenutzung und Postleitzahlen. Die Abfragen aggregieren die Werte für Wärme, die wiederverwendet und nicht verwendet wurde, und gruppieren sie nach den ersten ein bis fünf Stellen der Postleitzahl des jeweiligen Rechenzentrums sowie dem Jahr der Wärmenutzung.
- ▶ Abfrage: Die Abfragen rufen die Daten zu Wärmenutzung und Postleitzahlen aus den Tabellen dc und heat\_use ab und berechnen die Summe der wiederverwendeten und nicht verwendeten Wärme für jedes Rechenzentrum und Jahr. Sie verwenden LEFT-Funktionen, um die ersten ein bis fünf Stellen der Postleitzahlen zu extrahieren, und gruppieren die Ergebnisse nach diesen extrahierten Postleitzahlen sowie dem Jahr der Wärmenutzung.
- ▶ Attribute:
  - plz1, plz2, plz3, plz5: Die ersten ein bis fünf Stellen der Postleitzahl des Rechenzentrums für regionale Analysen.
  - used: Die Summe der wiederverwendeten Wärme MWh für das angegebene Jahr und die Postleitzahl.
  - unused: Die Summe der nicht verwendeten Wärme in MWh für das angegebene Jahr und die Postleitzahl.
  - year: Das Jahr der Wärmenutzung.

#### **it\_con\_confidential 1- 5**

- ▶ Beschreibung: Diese Abfragen aggregieren die IT-Anschlussleistung in Rechenzentren und gruppieren sie nach den ersten ein bis fünf Stellen der Postleitzahlen. Die Gesamtleistung wird in MW oder kW berechnet, abhängig von der Skalierung der Daten.
- ▶ Abfrage: Die Abfragen verwenden die Tabelle `kpi_it`, um die Summe der IT-Anschlussleistung abzurufen und zu aggregieren. Sie berechnen diese für jede Postleitzahlgruppe und teilen das Ergebnis entsprechend durch 1000 oder 1000000, um die Einheit in kW oder MW zu konvertieren. Die Ergebnisse werden nach den extrahierten Postleitzahlen gruppiert.
- ▶ Attribute:
  - `connection`: Die Summe der IT-Anschlussleistung, entweder in MW oder kW, abhängig von der Skalierung der Daten.
  - `plz1`, `plz2`, `plz3`, `plz5`: Die ersten ein bis fünf Stellen der Postleitzahl des Rechenzentrums für regionale Analysen.

#### **it\_connection\_change 1-5**

- ▶ Beschreibung: Diese Abfragen aggregieren die Veränderung der IT-Anschlussleistung im Vergleich zum Vorjahr in Rechenzentren und gruppieren sie nach den ersten ein bis fünf Stellen der Postleitzahlen.
- ▶ Abfrage: Die Abfragen verwenden die Tabelle `kpi_it`, um die Veränderung der IT-Anschlussleistung abzurufen und zu aggregieren. Sie berechnen die Summe der Veränderung der IT-Anschlussleistung für jede Postleitzahlgruppe und teilen das Ergebnis entsprechend durch 1000 oder 1000000, um die Einheit in kW oder MW zu konvertieren. Die Ergebnisse werden nach den extrahierten Postleitzahlen gruppiert.
- ▶ Attribute:
  - `connection_change`: Die Veränderung der IT-Anschlussleistung im Vergleich zum Vorjahr, entweder in MW oder kW, abhängig von der Skalierung der Daten.
  - `plz1`, `plz2`, `plz3`, `plz5`: Die ersten ein bis fünf Stellen der Postleitzahl des Rechenzentrums für regionale Analysen.

#### **kpi\_it**

- ▶ Beschreibung: Diese Abfrage errechnet die Leistungskennzahlen der IT. Dazu gehören aktuelle der ITEU, die Veränderung der Anschlussleistung und der DCIC.
- ▶ Abfrage: Die Abfrage verwendet CTEs (Common Table Expressions), um die Vorjahresleistung der IT-Verbindungen zu ermitteln. Sie ruft dann Daten aus verschiedenen Tabellen ab, einschließlich `it_consumption`, `it_system`, `dc` und `it_operator`, um Informationen über IT-Verbrauch, IT-Systeme, Rechenzentren und IT-Betreiber zu erhalten. Die Abfrage berechnet die Auslastung der IT sowie die Veränderung der Leistung im Vergleich zum Vorjahr und greift den DCIC aus der entsprechenden Tabelle ab.
- ▶ Attribute:
  - `kpi_iteu`: Die prozentuale CPU-Auslastung.

- plz1, plz2, plz3, plz4, plz5: Die ersten ein bis fünf Stellen der Postleitzahl des Rechenzentrums für regionale Analysen.
- dc\_id: Die eindeutige Kennung des Rechenzentrums.
- dcic: Der Data Centre Idle Coefficient.
- it\_system\_id: Die eindeutige Kennung des IT-Systems.
- it\_operator\_id: Die eindeutige Kennung des IT-Betreibers.
- it\_connection\_id: Die eindeutige Kennung der IT-Verbindung.
- year: Das Jahr der IT-Verbindung.
- total\_power\_kw: Die gesamte IT-Anschlussleistung für das angegebene Jahr.
- power\_change: Die Veränderung der IT-Anschlussleistung im Vergleich zum Vorjahr.

#### **kpi\_rz**

- Beschreibung: Dieser View kombiniert Daten zu Stromverbrauch, Stromversorgung, Stromproduktion, Wärmerückgewinnung, Wassernutzung und Rechenzentrumsattributen, um verschiedene Effizienzkennzahlen für Rechenzentren zu berechnen. Sie berechnet spezifische Kennzahlen wie den PUE, den REF, den ERF, den WUE, den CER, die Serverdichte und die Raumeffizienz. Die Ergebnisse werden nach den ersten ein bis fünf Stellen der Postleitzahlen der Rechenzentren gruppiert.
- Abfrage: Die Abfrage verwendet JOIN-Klauseln, um Daten aus den Tabellen electricity\_consumption, electricity\_supply, electricity\_production, dc, heat\_use und water\_consumption abzurufen. Sie berechnet die verschiedenen Effizienzkennzahlen für die Rechenzentren und gruppiert die Ergebnisse nach den ersten ein bis fünf Stellen der Postleitzahlen der Rechenzentren.
- Attribute:
  - pue: Der PUE, der das Verhältnis zwischen Gesamtstromverbrauch und IT-Stromverbrauch im Rechenzentrum angibt.
  - ref: Der REF, der den Anteil erneuerbarer Energien an der Gesamtstromversorgung des Rechenzentrums berücksichtigt.
  - erf: Der ERF, der angibt, wie effizient Wärmerückgewinnung im Rechenzentrum genutzt wird.
  - wue: Der WUE, der das Verhältnis zwischen Wassernutzung und Gesamtstromverbrauch im Rechenzentrum angibt.
  - cer: Der CER, der das Verhältnis zwischen Gesamtstromverbrauch und Kühlstromverbrauch im Rechenzentrum angibt.
  - power\_dense\_server: Die Serverdichte, die das Verhältnis zwischen der nominalen IT-Leistung und der Anzahl der Server im Rechenzentrum angibt.
  - space\_efficiency: Die Raumeffizienz, die das Verhältnis zwischen der nominalen IT-Leistung und dem aktuellen Rechenzentrums-Whitespace angibt.

- dc\_id: Die eindeutige Kennung des Rechenzentrums.
- plz1, plz2, plz3, plz4, plz5: Die ersten ein bis fünf Stellen der Postleitzahl des Rechenzentrums, um eine regionale Analyse zu ermöglichen.

#### **plz1stellig, plz2stellig, plz3stellig, plz5stellig**

- Beschreibung: Diese Abfragen kombinieren Daten aus den Tabellen kpi\_rz, kpi\_it und dcic, um verschiedene Leistungskennzahlen für Rechenzentren und die IT zu analysieren. Die Ergebnisse werden nach den ersten ein bis fünf Stellen der Postleitzahlen gruppiert und mit geometrischen Informationen verknüpft. Die weiteren Postleitzahl Views machen das ebenfalls, allerdings in unterschiedlichen Auflösungen.
- Abfrage: Die Abfragen verwenden LEFT JOINS, um Daten aus den Tabellen kpi\_rz, kpi\_it und dcic abzurufen und zu kombinieren. Sie wenden CASE-Anweisungen an, um die Werte entsprechend den Postleitzahlen zu filtern.
- Attribute:
  - pue, erf, wue, ref, cer: Durchschnittswerte für verschiedene Leistungskennzahlen wie PUE, ERF, WUE, REF und CER
  - iteu: Durchschnittswert der IT-Energieverbrauchskennzahl.
  - connection\_change: Durchschnittswert der Veränderung der IT-Anschlussleistung im Vergleich zum Vorjahr.
  - dcic: Durchschnittswert des Leerlaufkoeffizienten des Rechenzentrums.
  - plz1, plz2, plz3, plz5: Die ersten ein bis fünf Stellen der Postleitzahl des Rechenzentrums für regionale Analysen.
  - geom: Geometrische Informationen der Postleitzahlen.

#### **size\_class 1-5:**

- Beschreibung: Diese View extrahiert Daten zu den Nennleistungen von Rechenzentren und deren Postleitzahlen. Sie gruppiert die Ergebnisse nach verschiedenen Klassen basierend auf der Nennleistung der Rechenzentren.
- Abfrage: Die Abfrage wählt die Nennleistung dc\_it\_nominal\_power\_kw und die Postleitzahlen dc\_zipcode der Rechenzentren aus der Tabelle dc aus. Zusätzlich werden die ersten ein bis drei und die ersten fünf Stellen der Postleitzahl extrahiert und als separate Attribute (plz1, plz2, plz3, plz5) angezeigt. Die Nennleistung wird in Klassen eingeteilt, wobei jede Klasse einem bestimmten Bereich von Nennleistungswerten entspricht.
- Attribute:
  - dc\_it\_nominal\_power\_kw: Die Nennleistung des Rechenzentrums in kW.
  - dc\_zipcode: Die Postleitzahl des Rechenzentrums.
  - dc\_id: Die eindeutige Kennung des Rechenzentrums.
  - plz1, plz2, plz3, plz5: Die ersten ein bis drei und die ersten fünf Stellen der Postleitzahl des Rechenzentrums.

- class: Die Klasse der Nennleistung des Rechenzentrums, basierend auf festgelegten Schwellenwerten. Die Klasse wird numerisch dargestellt, wobei niedrigere Werte für niedrigere Nennleistungen stehen und höhere Werte für höhere Nennleistungen.

#### **water\_consumption\_confidential**

- Beschreibung: Diese Abfrage ruft Daten zu Wasserverbrauch und -typen für Rechenzentren ab. Sie wählt den adiabatischen Wasserverbrauch, das Jahr des Wasserverbrauchs, die Beschreibung des Wassertyps sowie die Postleitzahlen der Rechenzentren aus. Die Daten werden aus den Tabellen dc, water\_consumption und water\_type abgerufen und nach den ersten ein bis fünf Stellen der Postleitzahl gruppiert.
- Abfrage: Die Abfrage verwendet eine JOIN-Klausel, um Daten aus den Tabellen dc, water\_consumption und water\_type zusammenzuführen. Sie wählt spezifische Spalten aus den genannten Tabellen aus und filtert die Datensätze nach dem Vorjahres-Wasserverbrauch. Die Ergebnisse werden nach den ersten ein bis fünf Stellen der Postleitzahl der Rechenzentren gruppiert.
- Attribute:
  - water\_adiabatic: Der adiabatische Wasserverbrauch des Rechenzentrums.
  - water\_consumption\_year: Das Jahr des Wasserverbrauchs.
  - water\_type\_des: Die Beschreibung des Wassertyps.
  - dc\_id: Die eindeutige Kennung des Rechenzentrums.
  - plz1, plz2, plz3, plz4, plz5: Die ersten ein bis fünf Stellen der Postleitzahl des Rechenzentrums, um die Daten nach räumlichen Einheiten zu gruppieren.

#### **weekly\_profil**

- Beschreibung: Diese Abfragen greifen auf Daten aus der Tabelle weekly\_profil\_confidential zu, um Durchschnittsprofile für jede Postleitzahl zu erstellen. Sie aggregieren die Werte der Profile für jede Postleitzahl und gruppieren sie nach den ersten ein bis fünf Stellen der Postleitzahl. Die letzte Abfrage greift auf Daten aus den Tabellen it\_consumption, it\_system und dc zu und ruft spezifische Werte ab, ohne Aggregation oder Gruppierung nach Postleitzahlen.
- Abfrage: Die ersten vier Abfragen verwenden eine ähnliche Struktur, um Durchschnittsprofile für jede Postleitzahl zu erstellen. Sie aggregieren die Werte der Profile für jede Postleitzahl und gruppieren sie dann nach den ersten ein bis fünf Stellen der Postleitzahl. Die letzte Abfrage ruft die Durchschnitts-CPU-Profile für jede Postleitzahl ab.
  - plz1, plz2, plz3, plz4, plz5: Die ersten ein bis fünf Stellen der Postleitzahl, nach denen die Daten gruppiert werden.
  - cpu\_array: Ein Array, das die durchschnittlichen Werte der Profile für jede Postleitzahl enthält.

#### **chiller\_efficiency\_analysis**

- Beschreibung: Diese View liefert eine Analyse der theoretischen Effizienz von Kältemaschinen in Rechenzentren und vergleicht sie mit den tatsächlich gemessenen Effizienzwerten

(CER). Die Berechnung umfasst die Nennkälteleistung und die elektrische Nennleistung der Kältemaschinen sowie das Verhältnis zwischen diesen beiden Werten.

- ▶ Abfrage: Die Abfrage wählt die Kältemaschinen-ID, die Rechenzentrums-ID, die Nennkälteleistung und die elektrische Nennleistung der Kältemaschinen aus der Tabelle chiller aus. Zusätzlich berechnet sie die theoretische Effizienz als Verhältnis zwischen Nennkälteleistung und elektrischer Nennleistung. Der berechnete CER wird aus der Tabelle kpi\_rz hinzugefügt und mit dem theoretischen Wert verglichen, um das Effizienzverhältnis zu bestimmen.
- ▶ Attribute:
  - chiller\_id: Eindeutige Id der Kältemaschine
  - dc\_id: Eindeutige Id des RZ
  - chiller\_design\_col\_power: Nennkälteleistung der Kältemaschine
  - chiller\_design\_el\_power: Elektrische Nennleistung der Kältemaschine
  - theoretical\_eff: Die theoretische Effizienz der Kältemaschine
  - cer: Der berechnete CER
  - efficiency\_ratio: Das Verhältnis von CER und theoretischer Effizienz

#### **pue\_regression\_analysis**

- ▶ Beschreibung: Diese View führt eine Regressionsanalyse durch, um den Einfluss des Inbetriebnahmedatums auf den PUE zu untersuchen.
- ▶ Abfrage: Die Abfrage nimmt den durchschnittlichen PUE für jedes Jahr des Inbetriebnahmezeitpunkts der Rechenzentren. Die aggregierten Daten werden verwendet, um eine lineare Regressionsanalyse durchzuführen, die die Steigung (slope), den Achsenabschnitt (intercept) und das Bestimmtheitsmaß (r\_squared) für die Beziehung zwischen dem Jahr der Inbetriebnahme und dem PUE liefert.
- ▶ Attribute:
  - slope: Die Steigung der Regressionslinie, die den Trend des durchschnittlichen PUE über die Jahre beschreibt.
  - intercept: Der Achsenabschnitt der Regressionslinie, der den geschätzten PUE-Wert für das Jahr 0 darstellt.
  - r\_squared: Das Bestimmtheitsmaß, das die Güte der Anpassung der Regressionslinie an die Daten beschreibt.