

TEXTE

25/2022

Umweltzeichen Blauer Engel für Co-Location-Rechenzentren

Hintergrundbericht zur Erarbeitung der Vergabekriterien DE-UZ 214, Ausgabe Januar 2020

TEXTE 25/2022

Ressortforschungsplan des Bundesministerium für
Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und
Verbraucherschutz

Forschungskennzahl 3718373160
FB000792

Umweltzeichen Blauer Engel für Co-Location-Rechenzentren

Hintergrundbericht zur Erarbeitung der Vergabekriterien
DE-UZ 214, Ausgabe Januar 2020

von

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

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
Internet: www.umweltbundesamt.de

[f/umweltbundesamt.de](https://www.facebook.com/umweltbundesamt.de)
[t/umweltbundesamt](https://twitter.com/umweltbundesamt)

Durchführung der Studie:

Öko-Institut e.V.
Merzhauser Straße 173
79100 Freiburg

Abschlussdatum:

Juni 2021

Redaktion:

Beratungsstelle nachhaltige Informations- und Kommunikationstechnik (Green-IT)
Marina Köhn; Dr. Daniel de Graaf (III 1.4)

Publikationen als pdf:

<http://www.umweltbundesamt.de/publikationen>

ISSN 1862-4804

Dessau-Roßlau, März 2022

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

Kurzbeschreibung: Umweltzeichen Blauer Engel für Co-Location-Rechenzentren

In diesem Hintergrundberichte wird die Entwicklung eines neuen Umweltzeichens Blauer Engel für Co-Location-Rechenzentren dokumentiert. Die Vergabekriterien bauen auf dem bestehenden Umweltzeichen „Energieeffizienter Rechenzentrumsbetrieb“ (DE-UZ 161) auf und entwickeln dessen Geltungsbereich und Vergabekriterien weiter. Es werden zusätzliche Anforderungen an Co-Location Anbieter entwickelt, um Anreize für Co-Location Kunden zu schaffen, die aufgestellte IT möglichst effizient zu betreiben. Die hier durchgeführten Untersuchungen sind die Grundlage für das Umweltzeichen „Klimaschonende Co-Location- Rechenzentren“ (Blauer Engel DE-UZ 214), das im Januar 2020 in der Version 1 veröffentlicht wurde.

Der Bericht beinhaltet eine Markt- und Umfeldanalyse mit einer Benennung der wichtigsten europäischen Verordnungen im Bereich von Rechenzentren, Standards und existierenden Umweltzeichen, eine Untersuchung der wesentlichen Umweltauswirkungen durch den Betrieb von Co-Location-Rechenzentren und die Ableitung von Vergabekriterien für ein ambitioniertes Umweltzeichen.

Abstract: Blue Angel eco-label for co-location data centres

In this background report the development of a new eco-label Blue Angel for co-location data centres is described. The award criteria are based on the existing eco-label "Energy Efficient Data Center Operation" (DE-UZ 161) and develop its scope and award criteria further. Additional requirements for co-location providers are being developed to create incentives for co-location customers to operate the IT installed as efficiently as possible. The investigations carried out here are the basis for the eco-label "Climate-Friendly Co-Location Data Center" (Blauer Engel DE-UZ 214), version 1 of which was published in January 2020.

The report includes a market and environment analysis with a mapping of the most important European regulations related to data centres, standards and existing eco-labels, an analysis of the main environmental impacts of co-location data centre operations and the derivation of award criteria for an ambitious eco-label.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	8
Tabellenverzeichnis.....	8
Formelverzeichnis	8
Abkürzungsverzeichnis.....	9
Zusammenfassung.....	11
Summary	13
1 Hintergrund und Zielsetzung.....	15
2 Untersuchungsgegenstand.....	16
2.1 Begriffsbestimmungen.....	16
3 Definition des Geltungsbereichs	18
4 Markt- und Umfeldanalyse.....	20
4.1 Marktanalyse	20
4.2 Regulatives Umfeld	21
4.2.1 F-Gas-Verordnung (Verordnung (EU) Nr. 517/2014).....	21
4.2.2 Ökodesign-Verordnung.....	21
4.2.2.1 Kälteanlagen (Verordnung (EU) 2016/2281)	21
4.2.2.2 Server und Datenspeicherprodukte (Verordnung (EU) 2019/424)	22
4.2.3 Internationale und nationale Standards.....	23
4.2.3.1 EN 50600: Informationstechnik - Einrichtungen und Infrastrukturen von Rechenzentren.....	23
4.2.3.2 ISO 50001: Energiemanagement	23
4.2.3.3 VDI-Richtlinie 2078: Berechnung der thermischen Lasten und Raumtemperaturen...	23
4.2.3.4 VDI- Richtlinie 4650: Berechnung der Jahresarbeitszahl von Wärmepumpenanlagen.....	24
4.2.3.5 DIN 277-1 Grundflächen und Rauminhalte im Bauwesen - Teil 1: Hochbau.....	24
4.2.4 Umwelt- und Gütezeichen.....	24
4.2.4.1 Blauer Engel DE-UZ-161 (Ausgabe Januar 2019 Version 1)	24
4.2.4.2 EU Code of Conduct: Best Practice Guidelines for the EU Code of Conduct on Data Centre Energy Efficiency (version 12.1.0).....	25
4.2.4.3 Energy Star Uninterruptible Power Supplies – Unterbrechungsfreie Stromversorgung	26
4.2.4.4 EU Code of Conduct on Energy Efficiency and Quality of AC Uninterruptible Power Systems (USV)	27
5 Umweltwirkungen.....	28

5.1	Energieverbrauch im Betrieb	28
5.2	Kälteanlage und Kältemittel.....	29
5.3	SF ₆ als Isoliergas für Schaltanlage	31
5.4	USV-Anlagen und Batterien	31
5.5	Wasserverbrauch	31
5.6	Flächenversiegelung.....	32
6	Ableitung der Vergabekriterien für ein Umweltzeichen	32
6.1	Gemeinsame Anforderungen an Rechenzentren und Co-Location RZ:	32
6.1.1	Power Usage Effectiveness (PUE)	32
6.1.2	Energieeffizienz des Kühlsystems	33
6.1.3	Kältemittel.....	33
6.1.4	Elektrische Energie.....	33
6.1.5	Monitoring Strom, Klima.....	34
6.1.6	Effiziente Power Distribution Units (PDUs).....	35
6.1.7	Effiziente Unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV).....	35
6.1.8	SF ₆ -freie Schaltanlagen	36
6.2	Zusätzliche Anforderungen an Co-Location RZ:.....	36
6.2.1	Flächeneffizienz	36
6.2.2	Energiemanagementsystem	37
6.2.3	Informationspflichten	37
6.2.4	Anreize zur Energieeinsparung	37
6.2.5	Verbrauchsabhängige Abrechnung.....	38
6.2.6	Berücksichtigung von Lebenszykluskosten bei der Beschaffung	38
6.2.7	Energieeffizienzbericht zur Abschlussevaluation	38
6.3	Zusammenfassung der Vergabekriterien.....	39
7	Quellenverzeichnis	40

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Messung der wesentlichen Komponenten eines Rechenzentrums.....	34
--------------	--	----

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Abgrenzung des Geltungsbereichs	18
Tabelle 2:	Markttrends Co-Location Rechenzentren	20
Tabelle 3:	Ökodesign Anforderungen ab 26.09.2018 an die Energieeffizienz-Kennzahl SEPR der Kühlung	22
Tabelle 4:	Beste verfügbare Technik für Kühlung laut Ökodesign-Verordnung.....	22
Tabelle 5:	Wechselstrom Ausgang USV Ladeannahmen der durchschnittlichen Effizienz.....	26
Tabelle 6:	AC-output USV Minimum Average Efficiency Requirement	27
Tabelle 7:	Effizienzkriterien an USV nach EU Code of Conduct	27
Tabelle 8:	Effizienzkriterien „Elite requirements“ an USV nach EU Code of Conduct	28
Tabelle 9:	Größeneinteilung von Rechenzentren und CO ₂ -Emissionen durch Strombedarf	29
Tabelle 10:	Chemische Zusammensetzung und Treibhausgaspotenzial (GWP) der in Rechenzentren eingesetzten Kältemittel	30
Tabelle 11:	Treibhausgaspotenzial (GWP) des Schutzgases Schwefelhexafluorid	31
Tabelle 12:	Materialzusammensetzung von Batterien	31
Tabelle 13:	Mindestanforderung für Power Usage Effectiveness.....	33
Tabelle 14:	Mindestanforderung für die Energieeffizienz (Jahresarbeitszahl) des Kühlsystems	33
Tabelle 15:	Wirkungsgrad der USV bei Neuanschaffung	36

Formelverzeichnis

Formel 1:	Jahresarbeitszahl (JAZ) des Kühlsystems.....	24
Formel 2:	Durchschnittliche Effizienz USV - average loading-adjusted efficiency.....	26
Formel 3:	Durchschnittliche Effizienz bei Gleichstromausgang.....	27

Abkürzungsverzeichnis

AC	Wechselstrom (alternating current)
CO₂	Kohlenstoffdioxid
CPU	Central Processing Unit
DC	Gleichstrom (directed current)
DE-UZ 161	Blauer Engel Energieeffizienter Rechenzentrumbetrieb
ebd.	ebenda (in der voran genannten Literaturquelle)
EN	Europäische Norm
ERF	Energy Reuse Factor
EU	Europäische Union
EUE	Energy Usage Effectiveness
ggf.	gegebenenfalls
ggü.	gegenüber
GWP	Global Warming Potential
HFKW	Teilfluorierter Kohlenwasserstoff
HLK	Heizungs-, Lüftungs-, Kühl- und Klimatechnik
iPDU	Intelligent Power Distribution Unit
ISO	Internationale Standardisierungsorganisation
IT	Informationstechnik
JAZ	Jahresarbeitszahl, Effizienzkennzahl der Kühlung kompatibel mit SEPR
kVA	Kilo-Volt-Ampere (entspricht W, bezeichnet aber die Scheinleistung)
kW	Kilowatt (Energieeinheit) = 1000 W
kWh/a	Kilowattstunde pro Jahr
MW	Megawatt (Energieeinheit) = 1000 kW
PDU	Power Distribution Unit
REF	Renewable Energy Factor
RZ	Rechenzentrum
SEPR	seasonal energy performance ratio, Effizienzkennzahl des Kühlsystems, siehe JAZ
USV	Unterbrechungsfreie Stromversorgung
W	Watt

Zusammenfassung

Ziel dieses Hintergrundberichtes ist es, die Entwicklung eines neuen Umweltzeichens Blauer Engel für Co-Location-Rechenzentren zu dokumentieren. Die Vergabekriterien bauen auf dem bestehenden Umweltzeichen „Energieeffizienter Rechenzentrumsbetrieb“ (DE-UZ 161) auf und entwickeln dessen Geltungsbereich und Vergabekriterien weiter. Es werden zusätzliche Anforderungen an Co-Location Anbieter entwickelt, um Anreize für Co-Location Kunden zu schaffen, die aufgestellte IT möglichst effizient zu betreiben. Die hier durchgeföhrten Untersuchungen sind die Grundlage für das Umweltzeichen „Klimaschonende Co-Location-Rechenzentren“ (Blauer Engel DE-UZ 214), das im Januar 2020 in der Version 1 veröffentlicht wurde.

Zunächst wird der Untersuchungsgegenstand „Co-Location-Rechenzentrum“ genauer beschrieben und Begriffe definiert, die im Zusammenhang mit dem Umweltzeichen verwendet werden. Ein Co-Location-Rechenzentrum wird festgelegt als der physische Ort, an dem die Co-Location-Dienstleistung erbracht wird. Bei einem Co-Location-Rechenzentrum handelt es sich um eine Gebäudefläche, auf der die infrastrukturelle Dienstleistungen und Betriebsunterstützung für kundeneigene Informationstechnik bereitgestellt wird. Die Komponenten, die unter direkter Kontrolle eines Co-Location-Betreibers liegen und deshalb in den Geltungsbereich dieses Hintergrundberichtes fallen, sind Unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV), Energieverteilsystem (PDU), Kühlssystem, leere Serverschränke, Gebäude und Gebäudetechnik (inkl. Beleuchtung und Sicherheitstechnik) sowie Netzwerkanschluss und Switche.

Durch Auswertung von Sekundärliteratur wird der Markt untersucht und festgestellt, dass die IT-Fläche von Co-Location-Rechenzentren in Deutschland von rund 400 Tausend Quadratmeter im Jahr 2010 auf mehr als 1 Million Quadratmeter im Jahr 2020 angestiegen ist. Dies entspricht einer jährlichen Wachstumsrate von 5,8 Prozent. Co-Location-Rechenzentren machen im Jahr 2020 bereits rund 45 Prozent der gesamten IT-Fläche von Rechenzentren in Deutschland aus. Im regulativen Umfeld von Rechenzentren werden die Verordnungen für F-Gas-Kältemittel (Verordnung (EU) Nr. 517/2014), die Ökodesign-Verordnung für Kälteanlagen (Verordnung (EU) 2016/2281) sowie die Ökodesign-Verordnung für Server und Datenspeicherprodukte (Verordnung (EU) Nr. 424/2019) als relevant identifiziert. Im Bereich der Standards gibt die Untersuchung einen kurzen Überblick über die Normenreihe EN 50600 „Informationstechnik - Einrichtungen und Infrastrukturen von Rechenzentren“, die ISO-Norm 50001 „Energiemanagement“ sowie VDI- und DIN-Normen, die bei der Planung und beim Betrieb von Rechenzentren Anwendung finden. Es werden verschiedene Umwelt- und Gütezeichen vorgestellt, die einen energieeffizienten Rechenzentrumsbetrieb und energieeffiziente Rechenzentrumstechnik zum Gegenstand haben.

Die Untersuchung ermittelt die wesentlichen Umweltwirkungen, die mit dem Betrieb von Co-Location-Rechenzentren einhergehen. Ausgehend von dem Zuständigkeitsbereich des Betreibers eines Co-Location-Rechenzentrums werden folgende Bereiche identifiziert, bei denen relevante Umweltwirkungen auftreten:

- ▶ Energieverbrauch im Betrieb,
- ▶ Kälteanlage und Kältemittel,
- ▶ Schaltanlagen,
- ▶ Unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV),
- ▶ Wasserverbrauch im Betrieb,

► Flächenversiegelung.

Ausgehend von den vorangehenden Untersuchungen werden schließlich die Vergabekriterien für ein neues Umweltzeichen für Co-Location-Rechenzentren abgeleitet. Die Kriterien wurden den interessierten Kreisen im Rahmen einer Expertenanhörung vorgestellt, von der Jury Umweltzeichen beschlossen und durch die RAL gGmbH veröffentlicht (Blauer Engel DE-UZ 214).

Die wesentlichen der Vergabekriterien für den Blauen Engel für Co-Location-Rechenzentren sind nachfolgend aufgelistet:

- Erstellung von Energieeffizienzberichten bei Antragstellung und zur Abschlussevaluation
- Energieeffiziente Gebäudetechnik und Energiebereitstellung
 - Power Usage Effectiveness (PUE): $PUE \leq 1,30$ für Inbetriebnahme ab 2019
 - Energieeffizienz des Kühlsystems: $JAZ > 8$ für Inbetriebnahme ab 2019
 - Halogenfreie Kältemittel für Inbetriebnahme ab 2013
 - Nutzung erneuerbarer elektrischer Energie
- Nennung Flächeneffizienz
- Nutzung eines Energiemanagementsystems
- Kunden-Anreize zur Energieeinsparung
 - Informationspflichten zum Energieverbrauch gegenüber Kunden
 - Verbrauchsabhängige Abrechnung
- Monitoring elektrischer Energie und Wasser
- Effizienz- und Umweltanforderungen bei der Neuanschaffung von
 - Komponenten des Kühlsystems
 - Unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV)
 - Schaltanlagen
 - Intelligente Power Distribution Units (PDUs)
- Berücksichtigung von Lebenszykluskosten bei der Beschaffung

Summary

The aim of this background report is to describe the development of a new eco-label Blue Angel for co-location data centres. The award criteria are based on the existing eco-label "Energy Efficient Data Center Operation" (DE-UZ 161) and develop its scope and award criteria further. Additional requirements for co-location providers are being developed to create incentives for co-location customers to operate the IT installed as efficiently as possible. The investigations carried out here are the basis for the eco-label "Climate-Friendly Co-Location Data Center" (Blauer Engel DE-UZ 214), version 1 of which was published in January 2020.

First, the object of investigation "co-location data centre" is described in more detail and terms used in the context of the eco-label are defined. A co-location data centre is defined as the physical location where the co-location service is provided. A co-location data centre is a building facility where infrastructure services and operational support for customer-owned information technology is provided. The components under the direct control of a co-location operator and therefore within the scope of this background report are uninterruptible power supply (UPS), power distribution unit (PDU), cooling system, empty server cabinets, building and building services (including lighting and security), and network connection and switches.

By analysing secondary literature, the market is examined, and it is found that the IT space of co-location data centres in Germany has increased from around 400 thousand square metres in 2010 to more than 1 million square metres in 2020. This corresponds to an annual growth rate of 5.8 percent. Co-location data centres will already account for around 45 percent of the total IT space of data centres in Germany in 2020. In the regulatory environment of data centres, the regulations for F-gas refrigerants (517/2014/EU), the Ecodesign Regulation for Cooling Equipment (2016/2281/EU) and the Ecodesign Regulation for Servers and Data Storage Products (2019/424/EU) are identified as relevant. In the area of standards, the study provides a brief overview of the EN 50600 series of standards "Information technology - Data centre facilities and infrastructures", the ISO 50001 standard "Energy management" as well as VDI and DIN standards that are applied in the planning and operation of data centres. Various environmental and quality labels are presented that focus on energy-efficient data centre operation and energy-efficient data centre technology.

The study identifies the main environmental impacts associated with the operation of co-location data centres. Based on the area of responsibility of the operator of a co-location data centre, the following areas are identified as having relevant environmental impacts:

- ▶ Energy consumption during operation,
- ▶ Refrigeration system and refrigerants,
- ▶ Electrical switching equipment,
- ▶ Uninterruptible power supply (UPS),
- ▶ Water consumption in operation,
- ▶ Land sealing.

Based on the preceding investigations, the award criteria for a new eco-label for co-location data centres are finally derived. The criteria were presented to interested parties at an expert hearing, decided on by the Environmental Label Jury and published by RAL gGmbH (Blue Angel DE-UZ 214 2020).

The essentials of the award criteria for the Blue Angel for co-location data centres are listed below:

- ▶ Preparation of energy efficiency reports upon application and for final evaluation
- ▶ Energy-efficient building technology and energy supply
 - Power Usage Effectiveness (PUE): PUE ≤ 1.30 for commissioning as of 2019
 - Energy efficiency of the cooling system: JAZ > 8 for commissioning as of 2019
 - Halogen-free refrigerants for commissioning from 2013
 - Use of renewable electrical energy
- ▶ Naming of space efficiency
 - Use of an energy management system
- ▶ Customer incentives to save energy
 - Obligation to provide customers with information on energy consumption
 - Consumption-based billing
- ▶ Monitoring of electrical energy consumption and water usage
- ▶ Efficiency and environmental requirements for the procurement of new
 - Components of the cooling system
 - Uninterruptible power supply (UPS)
 - Electrical switching equipment
 - Intelligent power distribution units (PDUs)
- ▶ Consideration of life cycle costs in procurement

1 Hintergrund und Zielsetzung

Das Umweltzeichen Blauer Engel wird bereits seit dem Jahr 2012 an besonders umweltverträgliche Rechenzentren vergeben. Zunächst wurde das Umweltzeichen mit dem Titel „Energiebewusster Rechenzentrumsbetrieb“ (Ausgabe Juli 2012) veröffentlicht und enthielt insbesondere Anforderungen an eine einheitliche Messung und Berechnung von Energieeffizienzkennzahlen, an das Energiemonitoring und gute Managementpraktiken.

Die Anforderungen wurden seither kontinuierlich weiterentwickelt.

Mit der Überarbeitung im Jahr 2014 wurden zusätzlich Mindestanforderungen an die Energieeffizienz formuliert, die eine Änderung des Titels in „Energieeffizienter Rechenzentrumsbetrieb“ (Ausgabe Februar 2015) zur Folge hatten. Mit der Überarbeitung im Jahr 2018 (Ausgabe Januar 2019) wurden die Mindestanforderungen weiter dem Stand der Technik angepasst und die Struktur der Vergabekriterien und Nachweisdokumente überarbeitet. Das aktuell bestehende Umweltzeichen „Energieeffizienter Rechenzentrumsbetrieb“ enthält einen „interdisziplinären Ansatz, der alle Bereiche eines Rechenzentrums und seiner Infrastruktur umfasst. Dieser systembezogene Ansatz beinhaltet nicht nur die Energieeffizienz einzelner Komponenten, sondern insbesondere auch das umweltbewusste Management des Rechenzentrums insgesamt“ (Blauer Engel DE-UZ-161 2019).

Dieser ganzheitliche Ansatz ist für ein komplexes System, wie es ein Rechenzentrum darstellt, angemessen. Jedoch für Betreiber von Co-Location-Rechenzentren, die in der Regel keinen Einfluss auf die aufgestellte Informationstechnik ihrer Kunden haben, sind die Anforderungen des Umweltzeichens „Energieeffizienter Rechenzentrumsbetrieb“ oftmals nicht überprüfbar. Der Co-Location-Dienstleister hat keine Kenntnis über die Effizienz der Kundengeräte und kann seinerseits auch nicht für eine hohe Auslastung der Hardware sorgen. Der Zuständigkeitsbereich des Co-Location-Dienstleisters beschränkt sich auf die Bereitstellung der Infrastruktur, also des Gebäudes, der Stromversorgung, der Klimatisierung und der Netzwerkanbindung. Diese Teilbereiche kann er jedoch besonders energie- und ressourceneffizient zur Verfügung stellen und damit die Voraussetzungen für „Klimaschonende Co-Location-Rechenzentren“ (Blauer Engel DE-UZ 214) schaffen.

Ziel dieses Hintergrundberichtes ist es, die Entwicklung eines neuen Umweltzeichens für Co-Location-Rechenzentren zu dokumentieren. Die Kriterien bauen auf dem bestehenden Umweltzeichen „Energieeffizienter Rechenzentrumsbetrieb“ (DE-UZ 161) auf und entwickeln dessen Geltungsbereich und dessen Vergabekriterien weiter. Es werden zusätzliche Anforderungen an Co-Location Anbieter entwickelt, um Anreize für Co-Location Kunden zu schaffen, die aufgestellte IT möglichst effizient zu betreiben. Die hier durchgeführten Untersuchungen sind die Grundlage für das Umweltzeichen „Klimaschonende Co-Location-Rechenzentren“ (Blauer Engel DE-UZ 214), das im Januar 2020 in der Version 1 veröffentlicht wurde.

2 Untersuchungsgegenstand

Der Untersuchungsstand dieses Hintergrundberichtes umfasst Co-Location-Rechenzentren, also Gebäudeflächen und technische Gebäudeausstattung, mit der Co-Location als Dienstleistungen angeboten werden. Dieser Untersuchungsstand stellt zugleich den Geltungsbereich des neu entwickelten Umweltzeichens „Klimaschonende Co-Location-Rechenzentren“ dar. Der Geltungsbereich grenzt sich vom bestehenden Umweltzeichen „Energieeffizienter Rechenzentrumsbetrieb“ ab. Für Rechenzentren, auf deren Flächen überwiegend eigene IT betrieben wird, ist das Umweltzeichen „Energieeffizienter Rechenzentrumsbetrieb“ (DE-UZ 161) anzuwenden.

Das Co-Location-Rechenzentrum wird durch einen festen Standort und eine eindeutige Bezeichnung charakterisiert. Betreibt ein Unternehmen mehrere, auf mehreren Standorten verteilte und/oder voneinander unabhängige Co-Location-Rechenzentren, so stellt jedes für sich ein eigenständiges Co-Location-Rechenzentrum dar.

2.1 Begriffsbestimmungen

Folgende Definitionen sind für die Vergabekriterien des Umweltzeichens (Blauer Engel DE-UZ 214) festgelegt worden und finden sich dort wortgleich wieder.

- ▶ **Bruttogrundfläche (BGF)** ist nach *DIN 277-1 Grundflächen und Rauminhalte im Bauwesen - Teil 1: Hochbau* definiert als die Summe der Grundflächen aller Grundrisssebenen eines Bauwerks über alle nutzbaren Stockwerke.
- ▶ **Co-Location** bezeichnet eine Dienstleistung zur Bereitstellung von Rechenzentrumsfläche zur Aufstellung kundeneigener Informationstechnik. Die bereitgestellte Rechenzentrumsfläche wird mit Klimatisierung, ausfallsicherer Energieversorgung, Netzwerkanschluss und Sicherheitstechnik sowie ggf. mit leeren Datenschränken angeboten. Eine andere Bezeichnung für Co-Location ist *Housing*.
- ▶ **Co-Location-Anbieter** ist ein Unternehmen, das Co-Location als Dienstleistung anbietet. Der Verantwortungsbereich des Co-Location-Anbieters umfasst den Energieeinkauf und den Betrieb der gesamten Gebäudeinfrastruktur, nicht aber den Einkauf und Betrieb der kundenseitigen Informationstechnik. Der Co-Location-Anbieter ist der Antragsteller dieses Umweltzeichens.
- ▶ **Co-Location-Rechenzentrum** ist der physische Ort, an dem die Co-Location-Dienstleistung erbracht wird. Bei einem Co-Location-Rechenzentrum handelt es sich um eine Gebäudefläche, auf der die infrastrukturelle Dienstleistungen und Betriebsunterstützung für kundeneigene Informationstechnik bereitgestellt wird.
- ▶ **Datenschrank** (engl.: Rack) ist die Bezeichnung für Gehäuse in denen Server, Datenspeicher, Netzwerkgeräte und ggf. andere IT-Komponenten untergebracht und mit Zuleitungen versorgt werden. Datenschränke sind in der Regel mit Einschubschienen oder Regalböden ausgestattet.
- ▶ **Grundfläche** ist gleichzusetzen mit der „bebauten Fläche“. Sie ist mit der Geschossfläche vergleichbar.

- ▶ **Inbetriebnahme des Rechenzentrums** ist der Zeitpunkt, zu dem das Rechenzentrum damit beginnt, kontinuierlich Dienstleistungen (Bereitstellung von Informationstechnik, IT-Dienstleistungen oder Co-Location) an interne oder externe Kunden anzubieten.
- ▶ **Informationstechnik** (kurz: IT) umfasst alle Geräte, die zur Dateneingabe, Datenvisualisierung, Datenverarbeitung, Speicherung und Datenübertragung eingesetzt werden. Im Rechenzentrum sind dies insbesondere Server, Storage und Netzwerkkomponenten.
- ▶ **IT-Fläche** (englisch: White-Space) wird die Fläche innerhalb eines Rechenzentrums bezeichnet, in der die eigentliche Informationstechnik des Co-Location-Kunden und des Co-Location-Anbieters (Server, Switches und Datenspeicherung) untergebracht sind. Die Serviceflächen zwischen den einzelnen Datenschränken sind Teil der IT-Fläche.
- ▶ **IT-Nennleistung** ist die dokumentierte elektrische Anschlussleistung eines IT-Gerätes gemäß seinem Datenblatt bzw. seines Typenschildes. Die Nennleistung ist dabei die Leistung in voll ausgelasteten Dauerbetrieb. Die tatsächliche Leistung eines IT-Geräts kann im Teillastbereich auch darunter und im kurzfristigen Spitzenlastbereich auch darüber liegen.
- ▶ **Jahresarbeitszahl (JAZ)** beschreibt das Verhältnis der innerhalb eines Jahres vom Kühlsystem abzuführenden Wärmemenge zur dazu eingesetzten elektrischen Arbeit des gesamten Kühlsystems.
- ▶ **Kälteanlage** ist eine Anlage, die durch den Einsatz von Energie ein im geschlossenen Kreislauf geführtes Kältemittel periodisch verdampft und verflüssigt, wobei durch die Verdampfung ein Medium (Luft, Wasser) auf ein tieferes Temperaturniveau gebracht und zur Kühlung von Räumen oder Anlagen/Prozessen genutzt wird. Der Kältemittelkreislauf (Primärkreislauf) steht über einen Wärmeübertrager mit dem Medienstrom (Sekundärkreislauf) in Verbindung. Andere Bezeichnungen für Kälteanlage sind Kältemaschine, Kältesatz oder Klimaanlage.
- ▶ **Kühlsystem** ist die Summe aller Anlagen der Luft- und Klimatechnik, die zur Klimatisierung von Räumen oder Anlagen dienen. Bestandteile des Systems können beispielsweise Kälteanlagen, Rückkühler, Freikühler, Be- und Entfeuchter, Pumpen, Ventilatoren, Ventile, Kältespeicher, Filter und Kanäle sein. Die Jahresarbeitszahl eines Kühlsystems gibt das Verhältnis der vom System innerhalb eines Jahres abgeföhrten Wärmemenge zu der dazu insgesamt eingesetzten Energie an.
- ▶ **Power Distribution Unit (PDU)** ist die Stromverteileinheit innerhalb eines Racks (Server- und Datenschrank), das den Niederspannungsstrom auf die einzelnen IT-Komponenten verteilt. Für ein differenziertes Energie-Monitoring sind sogenannte intelligente PDUs (iPDU) mit Messgeräten ausgestattet, die die Leistungswerte und den Energieverbrauch der einzelnen angeschlossenen Geräte erfassen. Über einen Signalbus (z.B. LAN-Netzwerk) werden die Messwerte an ein zentrales Monitoringsystem übergeben.
- ▶ **Power Usage Effectiveness (PUE)** ist ein Maß für die Energieeffizienz der Rechenzentrums-Infrastruktur und beschreibt das Verhältnis des jährlichen Energiebedarfs des gesamten Rechenzentrums zum jährlichen Energiebedarf der IT-Technik (siehe DIN EN 50600-4-2).

- ▶ **Server** ist ein Computer, der in einem Rechnernetzwerk eingebunden ist und dort Softwaredienste bereitstellt. Server sind innerhalb eines Rechenzentrums in der Regel in Datenschränken (Server-Racks) untergebracht.
- ▶ **Storage** (deutsch: Speichersysteme) dienen der dauerhaften Speicherung von großen Datensätzen. Sie sind in der Regel als rotierende Festplatten (Hard Disk Drive - HDD), Band-Speicher oder als Flash-Speicher (Solid State Disk - SSD) ausgeführt.
- ▶ **Unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV)** ist eine Einrichtung innerhalb der Energieversorgung eines Rechenzentrums, die die Versorgungssicherheit erhöht. Die USV überbrückt kurzzeitige Unterbrechungen des Stromversorgungsnetzes durch Batteriebetrieb und sorgt dafür, dass die Stromversorgung für die IT bis zur Lastübernahme durch eine Ersatzstromversorgung (z.B. Netzersatzanlage - NEA) sichergestellt ist. Die USV kann auch dafür genutzt werden, dass die Server und Speichersysteme im Fall eines längeren Stromausfalls geordnet herunterfahren können.

3 Definition des Geltungsbereichs

Co-Location Anbieter stellen Fläche zur Aufstellung kundeneigener Informationstechnik und die dafür benötigte Infrastruktur zur Verfügung. Diese umfasst insbesondere die (unterbrechungsfreie) Stromversorgung, ein Kühlungssystem, Netzwerkanschluss und Sicherheitstechnik. Co-Location Kunden stellen darin ihre eigenen IT-Systeme auf, typischerweise Server und Speichersysteme zusammen mit deren Netzteilen.

Tabelle 1: Abgrenzung des Geltungsbereichs

Co-Location Anbieter	Co-Location Kunde
<ul style="list-style-type: none">• Unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV)• Energieverteilsystem (PDU)• Kühlungssystem• leere Serverschränke• Gebäude und Gebäudetechnik• inkl. Beleuchtung, Sicherheitstechnik• Netzwerkanschluss und Switches	<ul style="list-style-type: none">• IT-Systeme• inkl. Server,• Speichersysteme und• Netzteile

Quelle: Eigene Darstellung, Öko-Institut e.V.

Nutzer von Co-Location Rechenzentren sind beispielsweise ISP (Internet Service Provider), MSP (Managed Service Provider), Cloud-Plattformbetreiber sowie Unternehmen aus Industrie und Handel, Banken und Versicherungen. Die Nähe zu einer großen Anzahl von Kommunikationsnetzbetreibern sowie die Verfügbarkeit von (redundanten) Datenleitungen an das Netzwerk ermöglichen Kunden von Co-Location eine hohe Datenübertragungsrate.

Die Komponenten, die unter direkter Kontrolle eines Co-Location-Betreibers liegen und deshalb in den Geltungsbereich dieses Hintergrundberichtes fallen, sind:

Stromversorgung

Die Unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV) sorgt dafür, dass die IT-Systeme im Fall eines Ausfalls der Netzstromversorgung ohne Unterbrechung weiter betrieben werden können. Dabei kann unterschieden werden, in eine kurzfristige Bereitstellung von Notstrom durch Batterien, um ein geregeltes Abschalten („Herunterfahren“) der IT-Systeme zu ermöglichen und einer länger anhaltenden Bereitstellung von Notstrom durch einen (Diesel-) Generator. Auch im Fall eines Generators ist die batteriebetriebene USV erforderlich, um den Zeitraum bis zum Betrieb des Notstrom-Aggregats zu überbrücken.

Weitere Komponenten der Stromversorgung stellen die Spannungswandlung und Energieverteilung dar. Die elektrische Energie wird in Schaltanlagen von Mittel- zu Niedrigspannung transformiert und über Power Distribution Units (PDU) an die Serverschränke geführt.

Kühlung

Da in Rechenzentren die gesamte zugeführte elektrische Energie in Wärme umgesetzt wird, bedarf es eines leistungsfähigen Kühlsystems. Dieses wird anhand der maximalen elektrischen Leistungsaufnahme bei maximaler Auslastung des Rechenzentrums dimensioniert.

Kälteanlagen transportieren Wärme von einem kalten Medium in ein warmes unter Zufuhr von Energie, also entgegen des spontan ablaufenden Wärmeflusses. Man unterscheidet Kompressions- und Sorptionskälteanlagen. Kompressionskälteanlagen verwenden einen mit elektrischer Energie angetriebenen mechanischen Verdichter zur Kompression des Kältemittels. Absorptions- und Adsorptionskälteanlagen nutzen hingegen die thermische Verdichtung, die mit einem Wärmestrom angetrieben wird.

In Kälte- und Klimaanlagen kommen bisher überwiegend fluorierte Treibhausgase (siehe F-Gas-Verordnung Abschnitt 4.2.1) als Kältemittel zum Einsatz. Als Alternative werden auch klimaschonende natürliche Kältemittel wie z.B. Ammoniak, Kohlenwasserstoffe und Kohlendioxid verwendet. Beide Stoffgruppen zeichnen sich u.a. durch niedrige Siedetemperaturen aus und eignen sich daher als Kältemittel.

Bei der *freien Kühlung* wird kühle Umgebungsluft ins Rechenzentrum geführt und die Abwärme direkt an die Umgebung abgegeben. Dieser Prozess braucht für die Wärmeübertragung keine zusätzliche Energie, sondern nur für den Transport der Luft. Die freie Kühlung verzichtet auf klimaschädliche Kältemittel, jedoch muss die Qualität der Luft (Temperatur, Feuchte, Reinheit) ggf. durch entsprechende raumluftechnische Anlagen konditioniert werden. In Deutschland sind die Außentemperaturen die meiste Zeit des Jahres niedrig genug für die freie Kühlung. Die Zulufttemperatur liegt je nach IT-Ausstattung bei 18-27 °C (ASHRAE 2016). Bei der indirekten freien Kühlung ist ein Wärmetauscher zwischengeschaltet. Besonders effizient ist die indirekte freie Kühlung zusammen mit adiabatischer Verdunstungskühlung. Dabei wird durch die Verdunstungskälte von Wasser die Temperatur der Zuluft, die den Servern zur Kühlung zur Verfügung steht, abgesenkt, was jedoch zu einem relevanten Wasserverbrauch führt.

Netzwerkanschluss

Der Co-Location Betreiber bindet das Rechenzentrum an sehr leistungsstarke und in der Regel redundante Netzwerkleitungen ans Internet an. Über Netzwerkschalter (Switches) und Netzwerkkabel verteilt er diese Datenströme innerhalb des Rechenzentrums und führt sie zu den Datenschränken (Racks) der Kundinnen und Kunden.

Sicherheitstechnik

Zum Co-Location Rechenzentrum gehören auch Schließ- und Sicherheitssysteme sowie Löschanlagen, meistens mit CO₂ als Löschmittel.

Außerhalb des Zuständigkeitsbereiches des Co-Location Anbieters liegen Speichersysteme (Data Storage) und Server, da diese von den Kunden und Kundinnen in den bereitgestellten Schränken (Racks) verbaut werden. Die Co-Location Anbieter haben nur indirekt über die abgeschlossenen Verträge einen Einfluss auf die verbaute Hardware und insbesondere dessen Auslastung und Energieeffizienz.

4 Markt- und Umfeldanalyse

4.1 Marktanalyse

Der Markt an Rechenzentren in Deutschland wächst beständig. Während Rechenzentren im Jahr 2010 noch rund 1,5 Millionen Quadratmeter IT-Fläche bereit gestellt haben, waren es im Jahr 2020 bereits 2,3 Millionen Quadratmeter (Hintemann und Clausen 2018). Dies entspricht einer jährlichen Steigerungsrate von 4,4 Prozent. Innerhalb dieses Flächenzuwachses machen Co-Location-Rechenzentren den größten Anteil aus. Ihre IT-Fläche ist von rund 400 Tausend Quadratmeter im Jahr 2010 mit einer jährlichen Wachstumsrate von 5,8 Prozent auf mehr als 1 Million Quadratmeter im Jahr 2020 angestiegen (Hintemann und Clausen 2018). Damit machen Co-Location-Rechenzentren im Jahr 2020 bereits rund 45 Prozent der gesamten IT-Fläche von Rechenzentren in Deutschland aus.

Tabelle 2 fasst diese Markttrends zusammen.

Tabelle 2: Markttrends Co-Location Rechenzentren

Parameter	Größe (Stand 2020)	Jährliches Wachstum seit 2010
Energiebedarf	16 TWh	6,3%
Gebäudefläche alle RZ	2,3 Mio m ²	4,4%
Gebäudefläche Co-Location	1 Mio m ²	10,3%

Quelle: Eigene Darstellung nach Borderstep Institut 2020

Globale Marktteilnehmer sind die Firmen Equinix, Inc., Sungard Availability Services LP, Verizon Communication Inc., NTT Data Corporation, DuPont Fabros Technology, Inc., NaviSite Inc., InterXion Holding N.V., CenturyLink Inc., KDDI Corporation. Nationale Marktteilnehmer sind: e-shelter, Equinix, Interxion, Telehouse, BT, QSC, Telematrix, Colt DSC, Digital Reality, Global switch, Noris Networks, Interoute, ITENOS. (Matthias Longo 2018). Neben den oben genannten großen Marktteilnehmern steigen auch zunehmend mittelständische Unternehmen erfolgreich in den Co-Location Markt ein, da die Nachfrage nach Cloud-Lösungen in allen Branchen weiterhin zunimmt (ebd.).

4.2 Regulatives Umfeld

Für die Errichtung und den Betrieb von Rechenzentren gelten derzeit keine nationalen oder europäischen Gesetze und Vorschriften, die speziell auf das Rechenzentrum als Ganzes abzielen. Stattdessen gelten für einzelne Komponenten, die in Rechenzentren eingesetzt werden, separate Verordnungen: F-Gas-Verordnung für Kältemittel (Verordnung (EU) Nr. 517/2014), Ökodesign-Verordnung für Kälteanlagen (Verordnung (EU) 2016/2281) sowie Ökodesign-Verordnung für Server und Datenspeicherprodukte (Verordnung (EU) Nr. 424/2019). Zusätzlich gelten nationale und regionale Vorschriften zur Errichtung von Gewerbegebäuden, Notstromaggregaten und deren sicheren Betrieb.

4.2.1 F-Gas-Verordnung (Verordnung (EU) Nr. 517/2014)

Seit dem 1. Januar 2015 bestehen EU-weite Quoten für das Inverkehrbringen von teilfluorierten Kohlenwasserstoffen (HFKW) gemäß F-Gas-Verordnung (Verordnung (EU) Nr. 517/2014), die einem Reduktionspfad (HFKW Phase-down) unterliegen. Dieser sieht bis 2030 nur noch 21% der Menge von 2015 vor (Durchschnitt der eingeführten Menge der Jahre 2009-2012), berechnet in CO₂-Äquivalenten. F-Gase (HFKW) werden in den meisten Kühlsystemen verwendet und können über Leckagen in die Atmosphäre gelangen. Die Leckage-Rate beträgt in ortsfesten Anlagen ungefähr 3-5% pro Jahr (Schödwell et al. 2018). Die GWP-Werte von F-Gasen sind bis 22.800-mal höher als für CO₂. Die Verordnung beinhaltet Verwendungs- und Inverkehrbringungsverbote (Verordnung (EU) Nr. 517/2014). So ist z.B. das Inverkehrbringen neuer ortsfester Kälteanlagen ab 01.01.2020 verboten, wenn sie Kältemittel mit einem GWP größer als 2.500 enthalten (ebd.).

4.2.2 Ökodesign-Verordnung

4.2.2.1 Kälteanlagen (Verordnung (EU) 2016/2281)

Seit Dezember 2016 unterliegen Kühlprodukte der Ökodesign Verordnung für die umweltgerechte Gestaltung energieverbrauchsrelevanter Produkte im Hinblick auf Luftheizungsprodukte, Kühlungsprodukte (Verordnung (EU) 2016/2281).

Im Geltungsbereich liegen:

- ▶ Kühlungsprodukte und Prozesskühler mit hoher Betriebstemperatur mit einer Nennkälteleistung von bis zu 2 MW.

Dabei bedeutet „hohe Betriebstemperatur“, dass der Prozesskühler (Flüssigkeitskühler) in der Lage ist, seine Nennkälteleistung bei einer Flüssigkeitsauslasstemperatur am Verdampfer von 7 °C unter Norm-Nennbedingungen zu erreichen.

Die Ökodesign Verordnung gilt nicht für:

- ▶ Prozesskühler mit hoher Betriebstemperatur, die ausschließlich mit Verdunstungsberieselung arbeiten;

Die Energieeffizienz-Kennzahl SEPR (seasonal energy performance ratio) bezeichnet den Wirkungsgrad eines Prozesskühlers mit hoher Betriebstemperatur bei Norm-Prüfbedingungen, die für die Schwankungen der Last und der Umgebungstemperatur im Jahresverlauf repräsentativ sind, berechnet als Verhältnis des Jahreskältebedarfs zum Jahresstromverbrauch. Für die Vergabekriterien des Umweltzeichens wird die Bezeichnung „Jahresarbeitszahl“ (JAZ) gewählt. Die

Jahresarbeitszahl (JAZ) (siehe Abschnitt 4.2.3.3, Formel 1) erfüllt die Kriterien des Energieeffizienz-Kennzahl SEPR.

Über zwei Zeiträume abgestuft gelten in der Ökodesign-Verordnung (Verordnung (EU) 2016/2281) die in Tabelle 3 gelisteten Mindestwerte für die Energieeffizienz-Kennzahl SEPR. Diese stehen im Kontext der besten verfügbaren Technik (siehe Tabelle 4) (ebd.). Die Mindestwerte liegen zwischen 5,0 und 8,5, während die beste verfügbare Technik Werte zwischen 6,5 und 13,0 erreicht.

Tabelle 3: Ökodesign Anforderungen ab 26.09.2018 an die Energieeffizienz-Kennzahl SEPR der Kühlung

Wärmeübertragungsmedium – kondensationsseitig	Nennkälteleistung	SEPR- Mindestwert (ab 26.09.2018)	SEPR- Mindestwert (ab 1.1.2021)
Luft	< 400 kW	4,5	5,0
	≥ 400 kW	5,0	5,5
Wasser	≤ 400 kW	6,5	7,0
	Zwischen 400 kW und 1.500 kW	7,5	8,0
	≥ 1.500	8,0	8,5

Quelle: Ökodesign-Verordnung (Verordnung (EU) 2016/2281), eigene Darstellung

Tabelle 4: Beste verfügbare Technik für Kühlung laut Ökodesign-Verordnung

Wärmeübertragungsmedium – kondensationsseitig	Nennkälteleistung	SEPR- Mindestwert (ab 26.09.2018)
Luft	< 200 kW	6,5
	≥ 200 kW und < 400 kW	8,0
	≥ 400 kW	8,0
Wasser	< 200 kW	8,5
	≥ 200 kW und < 400 kW	12,0
	≥ 400 kW und < 1.000 kW	12,5
	≥ 1.000	13,0

Quelle: Ökodesign-Verordnung (Verordnung (EU) 2016/2281), eigene Darstellung

4.2.2.2 Server und Datenspeicherprodukte (Verordnung (EU) 2019/424)

Die in Rechenzentren eingesetzten Server und Datenspeicherprodukte unterliegen der 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 (Verordnung (EU) Nr. 424/2019).

4.2.3 Internationale und nationale Standards

4.2.3.1 EN 50600: Informationstechnik - Einrichtungen und Infrastrukturen von Rechenzentren

Die Rechenzentrumsbranche hat zur einheitlichen Beurteilung der Qualität und der Umwelteigenschaften von Rechenzentren zusammen mit Normungsgremien die Normenreihe EN 50600 „Informationstechnik - Einrichtungen und Infrastrukturen von Rechenzentren“ aufgelegt (Schödwell et al. 2018). Die Norm wird derzeit noch kontinuierlich weiterentwickelt und um weitere Aspekte ergänzt (ebd.). Folgende Teile der Norm sind vom Deutschen Institut für Normung (DIN) und dem Verband Deutscher Elektrotechniker (VDE) bereits in deutscher Sprache veröffentlicht:

- ▶ Teil 1: Allgemeine Konzepte
- ▶ Teil 2-1: Gebäudekonstruktion
- ▶ Teil 2-2: Stromversorgung
- ▶ Teil 2-3: Regelung der Umgebungsbedingungen
- ▶ Teil 2-4: Infrastruktur der Telekommunikationsverkabelung
- ▶ Teil 2-5: Sicherungssysteme
- ▶ Teil 3-1: Informationen für das Management und den Betrieb
- ▶ Teil 4-1: Überblick über und allgemeine Anforderungen an Leistungskennzahlen
- ▶ Teil 4-2: Kennzahl zur eingesetzten Energie
- ▶ Teil 4-3: Anteil erneuerbarer Energien
- ▶ Teil 4-6: Faktor der Energiewiederverwendung
- ▶ Teil 4-7: Wirkungsgrad der Kühlung (CER)
- ▶ Teil 99-1: Empfohlene Praktiken für das Energiemanagement
- ▶ Teil 99-3: Anwendungsleitfaden für die Normenreihe EN 50600

Für das Umweltzeichen für energieeffiziente Co-Location-Rechenzentren ist aus der Normenreihe derzeit vor allem die Effizienzkennzahl PUE (Power Usage Effectiveness) aus dem Teil 4-2: Kennzahl zur eingesetzten Energie nutzbar.

4.2.3.2 ISO 50001: Energiemanagement

Diese Norm definiert Systeme und Prozesse in einer Organisation, die es erleichtern, die Energieeffizienz zu steigern. Dazu gehören bspw. die Anforderungen, dass eine Energiepolitik und Verantwortlichkeiten festgelegt werden, aber auch, dass Kontrollsysteme etabliert werden (ISO 50001).

4.2.3.3 VDI-Richtlinie 2078: Berechnung der thermischen Lasten und Raumtemperaturen

Diese Richtlinie regelt die Bestimmung der jährlich abzuführenden Wärmemenge ($Q_{th,RZ,a}$ [kWh/a]), auch Kühllast genannt. Diese ist definiert durch die Summe aller elektrischen Verlustleistungen in den zu kühlenden Räumlichkeiten. (VDI 2078).

4.2.3.4 VDI- Richtlinie 4650: Berechnung der Jahresarbeitszahl von Wärmepumpenanlagen

Die Jahresarbeitszahl (JAZ) des Kühlsystems (KS) des Rechenzentrums beschreibt das Verhältnis der innerhalb eines Jahres (12 Monate) vom Kühlsystem aus dem Rechenzentrum abzuführende Wärmemenge $Q_{th,RZ,a}$ [MWh_{th}/a] zur dazu eingesetzten elektrischen Arbeit des gesamten Kühlsystems $Q_{el,KS,a}$ [MWh_{el}/a] (Blauer Engel DE-UZ 214).

Formel 1: Jahresarbeitszahl (JAZ) des Kühlsystems

$$JAZ = \frac{Q_{th,RZ,a}}{Q_{el,KS,a}}$$

Energiewerte müssen durch Messung entsprechend dem in Abbildung 1 dargestellten Messkonzept über einen Zeitraum von 12 Monaten ermittelt werden, wobei $Q_{el,KS,a} = MP_{KS}$ (Strombedarf des Kühlsystems) ist. Diese Definition ist im Einklang mit dem SEPR-Wert der Ökodesign-Verordnung (siehe Abschnitt 4.2.2).

4.2.3.5 DIN 277-1 Grundflächen und Rauminhalte im Bauwesen - Teil 1: Hochbau

Diese Norm definiert den Begriff der Bruttogrundfläche als die Summe der Grundflächen aller Grundrissebenen. Die Bruttogrundfläche bezieht sich auf das Außenmaß des Gebäudes und ist geschossweise zu ermitteln. (DIN 277-1-2016).

4.2.4 Umwelt- und Gütezeichen

4.2.4.1 Blauer Engel DE-UZ-161 (Ausgabe Januar 2019 Version 1)

Das bestehende Umweltzeichen „Energieeffizienter Rechenzentrumsbetrieb“ (DE-UZ-161) enthält einen interdisziplinären Ansatz, der alle Bereiche eines Rechenzentrums und seiner Infrastruktur umfasst (Blauer Engel DE-UZ-161 2019). Das Umweltzeichen stellt Anforderungen in folgenden Bereichen, die entweder zur Zeit der Antragstellung (A) oder während der Laufzeit (L) erfüllt werden müssen:

1. Power Usage Effectiveness (PUE) (A)
2. Energieeffizienz des Kühlsystems (JAZ) (A)
3. halogenfreie Kältemittel (A)
4. Energieversorgung: erneuerbaren Energien (A)
5. USV: Wirkungsgrad (L)
6. effiziente Power Distribution Units (PDUs) (L)
7. IT-Inventar (A)
8. CPU-Auslastung (A)
9. Monitoring Strom, Klima, IT (CPU, Storage, Netz), (A)
10. Effiziente IT-Komponenten: P_{idle} , Eff_{active} (L)
11. energieeffiziente Netzteile (L)

Die Kriterien 1. – 6. werden im Abschnitt 6.1 zitiert. Vergleichbare Kriterien sind auf Co-Location Rechenzentren anwendbar und können für das neue Umweltzeichen übernommen werden. Von den Kriterien in 9. können durch Co-Lo-Anbietende die nur Anforderungen zum Monitoring für Strom und Klima erfüllt werden, nicht aber die für die IT selbst. Die Kriterien 7., 8., 10. und 11. können von Co-Location Anbietenden aufgrund deren fehlender Zuständigkeiten derzeit nicht erfüllt werden. Insgesamt ist es erforderlich, die Zuständigkeiten klar zu benennen und dann die zutreffenden Kriterien zuzuordnen. Weitere Anforderungen an Co-Location Betreiber sind in Abschnitt 6.2 ausgeführt.

4.2.4.2 EU Code of Conduct: Best Practice Guidelines for the EU Code of Conduct on Data Centre Energy Efficiency (version 12.1.0)

Folgende Mindestanforderungen an Maßnahmen zur Steigerung der Effizienz und Reduktion der Umweltwirkung sind für Co-Location Betreiber relevant und erfüllbar (Acton et al. 2018).

- ▶ Verwendung von Geräten, die mit Luftkühlung auskommen z.B. keine Tieftemperaturbatte-rie)
- ▶ Umweltmanagement, z.B. ISO 14001
- ▶ Messung und Berichten über Nutzung erneuerbarer Energie nach EN 50600-4-3
- ▶ Überwachen der Luftqualität, Filtern von für die IT schädliche Partikel
- ▶ Dokumentation der Anlage für Reparierbarkeit und Effizienz
- ▶ Schulung des Personals in Energieeffizienz
- ▶ Vermeiden unnötiger Redundanz
- ▶ Modularer und schlanker Aufbau
- ▶ Design maximaler Energieeffizienz
- ▶ Einbau von Energiemanagement Funktionen
- ▶ Keine überdimensionierte Strominfrastruktur
- ▶ Abbau nicht benötigter Geräte
- ▶ Design, Führung und Management von Kalt- und Warmzonen
- ▶ Auslegung maximaler Effizienz bei Teil-, nicht bei Volllast
- ▶ Vorzug für freie Kühlung
- ▶ Dimensionierung des Luftflusses anhand des delta-T der IT
- ▶ Effiziente USV
- ▶ Integrierte Energie- und Temperaturmessung, über offenes Protokoll und vorhandenes Netzwerk

- ▶ Auslegung des Gebäudes für optimale Kühlung
- ▶ Berichterstattung des Gesamtenergieverbrauches, IT – Energieverbrauches
- ▶ Messung Temperatur und Feuchte der Zuluft, Temperatur der Abluft
- ▶ Messung des Infrastruktur Overheads

Ab 2022 kommen folgende relevante Mindestanforderungen hinzu:

- ▶ Lebenszyklusanalyse (LCA) nach ISO 14040 oder 14044

4.2.4.3 Energy Star Uninterruptible Power Supplies – Unterbrechungsfreie Stromversorgung

Die US-amerikanische Energieeffizienzkennzeichnung Energy Star (Energy Star 2019) legt Effizienzkriterien für Unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV) und die dafür notwendigen Kennzahlen fest. Dabei wird zwischen USV für Gleich- und Wechselstrom unterschieden. Der Leistungsfaktor, das Verhältnis der Wirkleistung zur Scheinleistung, muss sowohl für Wechsel- als auch für Gleichstromausgang USV größer sein als 0,90 (ebd.).

4.2.4.3.1 Wechselstrom Ausgang

Die durchschnittliche Effizienz wird dabei als Mittelwert aus der Effizienz in unterschiedlichen Lastzuständen ermittelt. Ein Lastzustand ist dabei das Verhältnis von tatsächlicher elektrischer Last (Watt) zur definierten Nennlast (Watt). Die durchschnittliche Effizienz wird in Formel 2 beschrieben (Energy Star 2019).

Formel 2: Durchschnittliche Effizienz USV - average loading-adjusted efficiency

$$Eff_{AVG} = t_{25\%} \cdot Eff|_{25\%} + t_{50\%} \cdot Eff|_{50\%} + t_{75\%} \cdot Eff|_{75\%} + t_{100\%} \cdot Eff|_{100\%}$$

Dabei gilt:

- ▶ Eff_{AVG} ist die durchschnittliche Effizienz (avarage loading adjusted efficiency)
- ▶ $t_{n\%}$ ist die anteilige Zeit des Tests bei n % der Nennlast. Diese ist in Tabelle 5 angegeben
- ▶ $Eff|_{n\%}$ ist die Effizienz im Lastzustand bei n % der Nennlast.

Tabelle 5: Wechselstrom Ausgang USV Ladeannahmen der durchschnittlichen Effizienz

Ausgangsleistung P in kW	Charakteristische Eingangsabhängigkeit	Anteilige Zeit des Tests $t_{n\%}$			
		25 %	50 %	75 %	100 %
$\leq 1,5$	VFD	0,2	0,2	0,3	0,3
	VI oder VFI	0	0,3	0,4	0,3
$1,5 < P \leq 10$	VFD, VI oder VFI	0	0,3	0,4	0,3
> 10	VFD, VI oder VFI	0,25	0,5	0,25	0

Quelle: Energy Star 2019

Die minimalen Effizienzanforderungen sind in Tabelle 6 angegeben.

Tabelle 6: AC-output USV Minimum Average Efficiency Requirement

Ausgangsleistung P in kW	Effizienz nach Leistungskennzahl		
	VFD	VI	VFI
$\leq 0,35$	$5,71 \times 10^{-2} \cdot P + 0,962$	$5,71 \times 10^{-2} \cdot P + 0,964$	$0,011 \cdot \ln(P \cdot 1000) + 0,824$
$0,35 < P \leq 1,5$	0,982	0,984	
$1,5 < P \leq 10$	$0,981 - E_{MOD}$	$0,980 - E_{MOD}$	$0,0145 \cdot \ln(P \cdot 1000) + 0,800 - E_{MOD}$
> 10	0,970	0,940	$0,0058 \cdot \ln(P \cdot 1000) + 0,886$

Quelle: Energy Star 2019

Dabei gilt:

- E_{MOD} ist die Toleranz von 0,004 für modulare USV im Leistungsbereich 1,5 – 10kW
- \ln ist der natürliche Logarithmus

4.2.4.3.2 Gleichstrom Ausgang

Für USV mit Gleichstromausgang berechnet sich durchschnittliche Effizienz als Mittelwert über 6 verschiedene Lastzustände nach Formel 3.

Formel 3: Durchschnittliche Effizienz bei Gleichstromausgang

$$Eff_{AVG} = \frac{1}{6} \cdot (Eff|_{30\%} + Eff|_{40\%} + Eff|_{50\%} + Eff|_{60\%} + Eff|_{70\%} + Eff|_{80\%})$$

Diese muss größer sein als 0,955 (Energy Star 2019).

4.2.4.4 EU Code of Conduct on Energy Efficiency and Quality of AC Uninterruptible Power Systems (USV)

Dieser Code of Conduct legt Effizienzkriterien für unterbrechungsfreie Stromversorgungssysteme (USV) mit Wechselstromausgang (AC) fest (Bertoldi 2021). Die nach EN 62040-3 gemessenen und berechneten Effizienzkennzahlen dürfen die folgenden Werte (siehe Tabelle 7) nicht unterschreiten. Dabei muss nur eine der drei Leistungskennzahlen verwendet werden.

Tabelle 7: Effizienzkriterien an USV nach EU Code of Conduct

Energie (kW)	Effizienz nach Leistungskennzahl		
	VFD	VI	VFI
$\geq 0,05$ bis $\leq 0,3$	89,0 %	88,0 %	84,0 %
$> 0,3$ bis $\leq 3,5$	92,0 %	91,0 %	86,0 %
$> 3,5$ bis ≥ 10	93,7 %	92,4 %	87,5 %
> 10 bis ≤ 200	96,0 %	93,0 %	90,0 %
> 200	97,0 %	94,0 %	92,0 %

Quelle: Bertoldi 2021

Abkürzungen: VFD: Voltage and Frequency Dependent (Abhängig von Spannung und Frequenz), VI: Voltage Independent (unabhängig von der Spannung), VFI: Voltage and Frequency Independent (Unabhängig von Spannung und Frequenz)

Außer den Minimalanforderungen legt diese Richtlinie ambitionierte Forderungen, sog. „Elite requirements“, fest. Diese sind in Tabelle 8 aufgelistet.

Tabelle 8: Effizienzkriterien „Elite requirements“ an USV nach EU Code of Conduct

Energie (kW)	Effizienz nach Leistungskennzahl		
	VFD	VI	VFI
≥0,05 bis ≤0,3	91,0 %	90,0 %	85,5 %
>0,3 bis ≤3,5	94,0 %	93,0 %	87,5 %
>3,5 bis ≥10	95,7 %	94,4 %	90,0 %
>10 bis ≤200	97,0 %	95,0 %	91,5 %
>200	98,0 %	96,0 %	93,5 %

Quelle: Bertoldi 2021

Abkürzungen: VFD: Voltage and Frequency Dependent (Abhängig von Spannung und Frequenz), VI: Voltage Independent (unabhängig von der Spannung), VFI: Voltage and Frequency Independent (Unabhängig von Spannung und Frequenz)

Diese Kriterien liegen für den unteren Leistungsbereich deutlich unter den Anforderungen des Energy Star (siehe Abschnitt 4.2.4.3). Im hohen Leistungsbereich über 10kW unterscheiden sich die Anforderungen jedoch nur um ca. 1%.

5 Umweltwirkungen

Ziel dieses Arbeitsschrittes ist es, die wesentlichen Umweltwirkungen zu ermitteln, die mit dem Betrieb von Co-Location-Rechenzentren einhergehen. Ausgehend von dem Zuständigkeitsbereich des Betreibers eines Co-Location-Rechenzentrums wurden folgende Bereiche identifiziert, bei denen relevante Umweltwirkungen auftreten:

- ▶ Energieverbrauch im Betrieb,
- ▶ Kälteanlage und Kältemittel,
- ▶ Schaltanlagen,
- ▶ Unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV),
- ▶ Wasserverbrauch im Betrieb,
- ▶ Flächenversiegelung.

5.1 Energieverbrauch im Betrieb

Um eine Größenordnung der Umweltwirkungen von Rechenzentren zu bekommen, wird in Tabelle 9 die Einteilung verschiedener Rechenzentren in Größenklassen dargestellt (Bilsen et al. 2021). Co-Location Rechenzentren können dabei dem Bereich der großen Rechenzentren zugeordnet werden (Salom et al. 2017), die eine IT-Fläche von tausend bis zehntausend Quadratmeter aufweisen, zweihundert bis zweitausend Datenschränke umfassen und eine IT-Gesamtleistung zwischen einem und zehn Megawatt elektrische Leistung bereit stellen.

Tabelle 9: Größeneinteilung von Rechenzentren und CO₂-Emissionen durch Strombedarf

Größeneinheit	Kleines Rechenzentrum	Großes Rechenzentrum (z.B. Co-Location-RZ)	Hyperscale Rechenzentrum
IT-Fläche	100 m ² bis 1.000 m ²	1.000 m ² bis 10.000 m ²	Mehr als 10.000 m ²
Anzahl an Datenschränken (Racks)	6 bis 200 Racks	200 bis 2.000 Racks	Mehr als 2.000 Racks
IT-Gesamtleistung	50 kW _{el} bis 1 MW _{el}	1 MW _{el} bis 10 MW _{el}	Mehr als 10 MW _{el}
CO ₂ e-Emissionen im Betrieb (50% der IT-Gesamtleistung, PUE: 1,5, deutscher Strommix 2018)	150 bis 3.000 t CO ₂ e/a	3.000 bis 30.000 t CO ₂ e/a	> 30.000 t CO ₂ e/a

Quelle: eigene Berechnungen Öko-Institut mit Größeneinteilung nach Bilsen et al. (2021)

Abhängig von der IT-Gesamtleistung, der Auslastung und den Verlusten in der Gebäudetechnik benötigen die Rechenzentren unterschiedlich viel Strom. In Tabelle 9 werden die mit dem Stromverbrauch zusammenhängenden Treibhausgasemissionen abhängig von der Größenklasse des Rechenzentrums exemplarisch dargestellt. Für die hier relevanten Co-Location-Rechenzentren liegen die Emissionen unter den in der Tabelle genannten Annahmen dabei zwischen dreitausend und dreißigtausend Tonnen Kohlendioxid-Äquivalente pro Jahr bzw. 3.000 t CO₂e/a pro Megawatt IT-Leistung.

Ökobilanzen, die komplette Rechenzentren inklusive der Gebäudehüllen und der Herstellung von IT-Technik bilanziert haben, zeigen, dass die Betriebsphase von Rechenzentren in allen Wirkungskategorien dominiert (Schödwell et al. 2018). Den wesentlichen Anteil daran hat der Energieverbrauch im Betrieb von Rechenzentren. Ein Co-Location-Anbieter hat seinerseits wenig Einfluss auf die vom Kunden aufgestellte IT-Technik, dafür umso mehr Einfluss auf das Gebäude, die Gebäudetechnik, die Energieversorgung und die Kälteanlagen. Bei der Ableitung von Vergabekriterien für ein Umweltzeichen muss daher ein Schwerpunkt auf der Energieeffizienz der Anlagen im Einflussbereich des Anbieters liegen.

5.2 Kälteanlage und Kältemittel

Kälteanlagen haben die Aufgabe, die Wärme, die im Rechenzentrum bei der Datenverarbeitung entsteht, abzuführen und rund um das Jahr ein für die Technik und das Servicepersonal verträgliches Raumklima (Temperatur und Luftfeuchte) aufrecht zu halten. Die Effizienz der Kälteanlage hat einen wesentlichen Einfluss auf den Energieverbrauch des gesamten Rechenzentrums. Entscheidend ist dabei die Wahl eines effizienten Klimatisierungskonzepts (z.B. Nutzung von Freier Kühlung, Nutzung von Abwärme, Wasserkühlung, Zulassung von hohen Raumtemperaturen). Durch die Nutzung des Kennwerts Jahresarbeitszahl (JAZ), die das Zahlenverhältnis zwischen abgeführter Wärme und eingesetzter elektrischer Energie beschreibt, kann die Effizienz des Kühlsystems beurteilt werden.

Als weitere Umweltwirkung von Kälteanlagen wurden die in den Anlagen verwendeten Kältemittel identifiziert. Die Kältemittel stellen in Kompressionskälteanlagen durch den Phasenwechsel von flüssig nach gasförmig die jeweilige Kälteenergie (Verdampfungsenthalpie) zur Verfügung und kühlen damit ein Wärmeträgermedium (z.B. die Raumluft) ab. Für Kältemittel gibt es eine große Bandbreite an verschiedenen Chemikalien und Gemischen, die in Kälteanlagen eingesetzt werden. In Tabelle 10 werden die häufigsten in Rechenzentren eingesetzten Kältemittel mit ihrer technischen Bezeichnung und ihrer chemischen Zusammensetzung dargestellt.

Tabelle 10: Chemische Zusammensetzung und Treibhausgaspotenzial (GWP) der in Rechenzentren eingesetzten Kältemittel

Bezeichnung Kältemittel	Chemische Zusammensetzung	GWP Herstellung [kg CO ₂ e/kg]	GWP Atmosphäre [kg CO ₂ e/kg]	GWP gesamt [kg CO ₂ e/kg]
R134A	C ₂ H ₂ F ₄ (1,1,1,2-Tetrafluorethan)	16	1.430	1.446
R290	C ₃ H ₈ (Propan)	1	3	4
R32	CH ₂ F ₂ (Difluormethan)	8	975	983
R407A	R32: CH ₂ F ₂ (20%), R125:CHF ₂ CF ₃ (40%), R134a: C ₂ H ₂ F ₄ (40%)	12	2.107	2.119
R407C	R32: CH ₂ F ₂ (23%), R125:CHF ₂ CF ₃ (25%), R134a: C ₂ H ₂ F ₄ (52%)	12	1.774	1.786
R410A	R32: CH ₂ F ₂ (50%), R125:CHF ₂ CF ₃ (50%),	9	2.088	2.097
R717	NH ₃ (Ammoniak)	2	0	2
R718	H ₂ O (Wasser)	0	0	0
R744	CO ₂ (Kohlendioxid)	0,8	1	1,8

Quelle: eigene Darstellung Öko-Institut nach Gröger und Liu (2021)

Die Kältemittel unterscheiden sich deutlich in ihrem Treibhausgaspotenzial (GWP).

In Tabelle 10 ist sowohl das Treibhausgaspotenzial für die Herstellung der Kältemittel dargestellt als auch das Treibhausgaspotenzial für den Fall, dass die Substanzen aus der Kälteanlage entweichen und in die Atmosphäre gelangen. Während die halogenfreien (natürlichen) Kältemittel Wasser, Kohlendioxid, Ammoniak und Propan ein Treibhausgaspotenzial zwischen 0 und 4 aufweisen, sind es bei den in Rechenzentren regelmäßig eingesetzten fluorierten Kältemitteln zwischen rund 1.000 und 2.100 Treibhausgasäquivalente, also das Tausendfache.

In einer Studie zu den Umweltwirkungen des Cloud-Computing (Gröger und Liu 2021) wurden die Kälteanlagen von vier kleineren Rechenzentren genauer untersucht. In den Kälteanlagen aller vier Rechenzentren wurde das Kältemittel R134A eingesetzt, die Kälteleistung variierte zwischen 60 und 850 Kilowatt. Die Kälteanlagen enthielten zwischen rund 0,2 und 0,6 Kilogramm Kältemittel pro Kilowatt Nennkälteleistung. Ein Teil der Kältemittelmenge geht während des Betriebes regelmäßig verloren und muss nachgefüllt werden. Der durchschnittliche Kältemittelverlust liegt etwa bei 3 – 5% pro Jahr (Schödwel et al. 2018). Die untersuchten Rechenzentren hatten dadurch jährliche Treibhausgasemissionen allein durch die Kältemittelverluste von durchschnittlich 16 Tonnen CO₂-Äquivalente pro Megawatt Nennkälteleistung. Setzt man die Nennkälteleistung, mit der durch die IT-Leistung erzeugte Wärme gleich, so müssen Co-Location-Rechenzentren mit Kälteleistungen von 1 bis 10 Megawatt gekühlt werden (vgl. Tabelle 9). Das Treibhauspotenzial durch Verluste von HFKW-Kältemitteln innerhalb von Co-Location-Rechenzentren liegt damit pro Rechenzentrum zwischen 16 und 160 Tonnen CO₂-Äquivalente pro Jahr.

5.3 SF₆ als Isoliergas für Schaltanlage

Eine weitere umweltrelevante Chemikalie, die in Rechenzentren eingesetzt wird, ist Schwefelhexafluorid (SF₆). Das Gas wird überwiegend in Schaltanlagen zur Isolierung eingesetzt, findet jedoch auch in der Halbleiterherstellung und als Tracer-Gas Anwendung.

Tabelle 11: Treibhausgaspotenzial (GWP) des Schutzgases Schwefelhexafluorid

Bezeichnung	Chemische Zusammensetzung	GWP Atmosphäre [kg CO ₂ e/kg]
Schwefelhexafluorid	SF ₆	22.800

Quelle: Öko-Institut nach Greenhouse Gas Protocol (2016)

Schwefelhexafluorid weist ein sehr hohes Treibhausgaspotenzial von 22.800 Kilogramm Kohlendioxid-Äquivalente pro Kilogramm der Chemikalie auf (siehe Tabelle 11). Das Gas ist damit um den Faktor Zehn klimaschädlicher als die ohnehin schon klimaschädlichen fluorierten Kältemittel aus Tabelle 10. Für Schwefelhexafluorid gibt es genau wie bei den Kältemitteln technische Alternativen, beispielsweise die Luft- und Vakuumtechnologie, die ein Treibhausgaspotenzial von nahezu null haben.

5.4 USV-Anlagen und Batterien

Neben dem Energieverbrauch im Betrieb haben Anlagen zur unterbrechungsfreien Stromversorgung (USV-Anlagen) und die darin enthaltenen Batterien aufgrund ihrer Materialzusammensetzung sowohl in der Herstellung als auch in der Entsorgung eine relevante Umweltwirkung. Die Inhaltsstoffe von Batterien werden in Tabelle 12 aufgelistet. Blei und Schwefelsäure, stellen eine Umweltgefahr dar, wenn diese nicht sachgemäß entsorgt werden. Werden die Batterien dagegen einem geordneten Recycling zugeführt, so können deren Bestandteile zu nahezu 100 Prozent recycelt werden (Boulos et al 2014).

Tabelle 12: Materialzusammensetzung von Batterien

Material	Gewichtsanteil
Blei / Bleioxid, primär	24%
Blei / Bleioxid, sekundär	36%
PP / Polypropylen	10%
Schwefelsäure	10%
Wasser	16%
Glas	2%
Antimon	1%

Quelle: Schödwell et al. 2018 nach Boulos et al 2014

5.5 Wasserverbrauch

Arbeitet das Kühlssystem mit adiabater Verdunstungskühlung, wird dabei eine große Menge an Wasser verdampft und in die Umgebungsluft abgegeben. Der durchschnittliche Wasserverbrauch des Kühlssystems liegt dabei zwischen zirka 1,8 bis 2,3 Litern pro Kilowattstunde Kältebedarf des Rechenzentrums (Shehabi et al. 2016). Wird das Rechenzentrum in geografischen

Lagen betrieben, in denen Wassermangel herrscht, stellt dies ebenfalls eine relevante Umweltwirkung dar.

5.6 Flächenversiegelung

Wie alle Gebäude benötigen auch Rechenzentren Aufstellfläche und tragen zur Flächenversiegelung bei. Neben dem steigenden Energie- und Ressourcenverbrauch durch Rechenzentren ist auch die durch diese beanspruchte Fläche eine relevante Umweltgröße. Durch höhere Leistungsdichten und intelligente Nutzungskonzepte (z.B. Kombination von Rechenzentren mit Wärmeabnehmern) kann der jeweilige Flächenbedarf gesenkt werden und die spezifische Flächenversiegelung reduziert werden.

6 Ableitung der Vergabekriterien für ein Umweltzeichen

In der Analyse der Umweltwirkungen (siehe Abschnitt 5) werden relevante Handlungsfelder aufgezeigt. Nachfolgende Vergabekriterien, die diese Umweltwirkungen reduzieren, leiten sich daraus ab. Die gemeinsamen Anforderungen an Rechenzentren und Co-Location Anbieter sind aus dem bestehenden Umweltzeichen „Energieeffizienter Rechenzentrumsbetrieb“ (Blauer Engel DE-UZ-161 2019) entnommen. Diese adressieren insbesondere die Energieeffizienz der Gebäudetechnik. Die PUE-Kennzahl bewertet die Energieeffizienz der Gebäudetechnik insgesamt, während die Jahresarbeitszahl (JAZ) die Effizienz des Kühlsystems beschreibt.

6.1 Gemeinsame Anforderungen an Rechenzentren und Co-Location RZ:

1. Power Usage Effectiveness (PUE) (Antragstellung)
2. Energieeffizienz des Kühlsystems (JAZ) (Antragstellung)
3. halogenfreie Kältemittel (Antragstellung)
4. Energieversorgung: erneuerbaren Energien (Antragstellung)
5. Monitoring Strom, Klima (Antragstellung)
6. effiziente Power Distribution Units (PDUs) (Laufzeit)
7. USV: Wirkungsgrad (Laufzeit)
8. SF₆ freie Schaltanlagen (Laufzeit)

6.1.1 Power Usage Effectiveness (PUE)

Die Bestimmung des PUE-Wertes muss entsprechend der Norm DIN EN 50600-4-2 als PUE der Kategorie 2 (PUE2, Mittlere Auflösung) oder gleichwertig erfolgen. Die Kategorien unterscheiden sich lediglich im Messpunkt, die höhere Kategorie ermöglicht die genauere Messung des tatsächlichen Energieverbrauches. PUE3 ist jedoch für Co-Location Betreiber durchführbar, da sie die IT-Eingänge nicht kontrollieren und die Kunden ein finanzielles Interesse gegenüber dem Betreiber an einem niedrigen Energieverbrauch hat, die Daten also nicht unabhängig erhoben werden. Die Zahlenwerte der PUE werden aus (Blauer Engel DE-UZ-161 2019) beibehalten.

Der Antragsteller nennt den Wert der Power Usage Effectiveness (PUE) des Rechenzentrums für einen Bilanzzeitraum von zwölf Monaten und dokumentiert diesen im Energieeffizienzbericht. Das Ende des Bilanzzeitraums zur Bestimmung des PUE darf zum Zeitpunkt der Antragsstellung nicht länger als drei Monate zurückliegen. Die Power Usage Effectiveness (PUE) des

Rechenzentrums darf abhängig vom Zeitpunkt der Inbetriebnahme des Rechenzentrums folgende Werte nicht überschreiten:

Tabelle 13: Mindestanforderung für Power Usage Effectiveness

Inbetriebnahme des Rechenzentrums	PUE
01.01.2019 oder später	PUE ≤ 1,30
Zwischen 01.01.2015 und 31.12.2018	PUE ≤ 1,50
31.12.2014 oder früher	PUE ≤ 1,60

Quelle: Blauer Engel DE-UZ-161 2019, eigene Darstellung

6.1.2 Energieeffizienz des Kühlsystems

Die nach Formel 1 in Abschnitt 4.2.3.3 bestimmte Jahresarbeitszahl (JAZ) muss abhängig vom Zeitpunkt der Inbetriebnahme des Kühlsystems die in der folgenden Tabelle 3 genannten Werte einhalten. Diese sind kompatibel mit der besten verfügbaren Technik der Ökodesign Verordnung und werden aus (Blauer Engel DE-UZ-161 2019) übernommen.

Tabelle 14: Mindestanforderung für die Energieeffizienz (Jahresarbeitszahl) des Kühlsystems

Inbetriebnahme des Kühlsystems	JAZ
01.01.2019 oder später	JAZ > 8
Zwischen 01.01.2015 und 31.12.2018	JAZ > 7
31.12.2014 oder früher	JAZ > 5

Quelle: Blauer Engel DE-UZ-161 2019, eigene Darstellung

Der Antragsteller sollte prüfen, welche Möglichkeiten zur Abwärmenutzung es gibt, und darüber berichten, in welchem Umfang er diese realisiert hat.

6.1.3 Kältemittel

Die F-Gas-Verordnung reduziert die Gesamtmenge an teilfluorierten Kohlenwasserstoffen (HFKW), die als Kältemittel eingesetzt werden und verbietet stationäre Kälteanlagen, die Kältemittel mit einem GWP größer 2500 verwenden. Die Möglichkeit der (indirekten) freien Kühlung in Deutschland in Kombination mit hohen Zulufttemperaturen (ca. 27 °C) für die Server sowie natürliche Kältemittel wie z.B. Ammoniak, Kohlenwasserstoffe und Wasser erlauben es, auf umwelt- und klimaschädliche Kältemittel zu verzichten.

Für die Kühlung des Rechenzentrums dürfen in Kälteanlagen, die nach dem 1.01.2013 in Betrieb genommen wurden, nur halogenfreie Kältemittel verwendet werden. Anlagen, die vor diesem Zeitpunkt in Betrieb genommen wurden, dürfen nur chlorfreie Kältemittel verwenden.

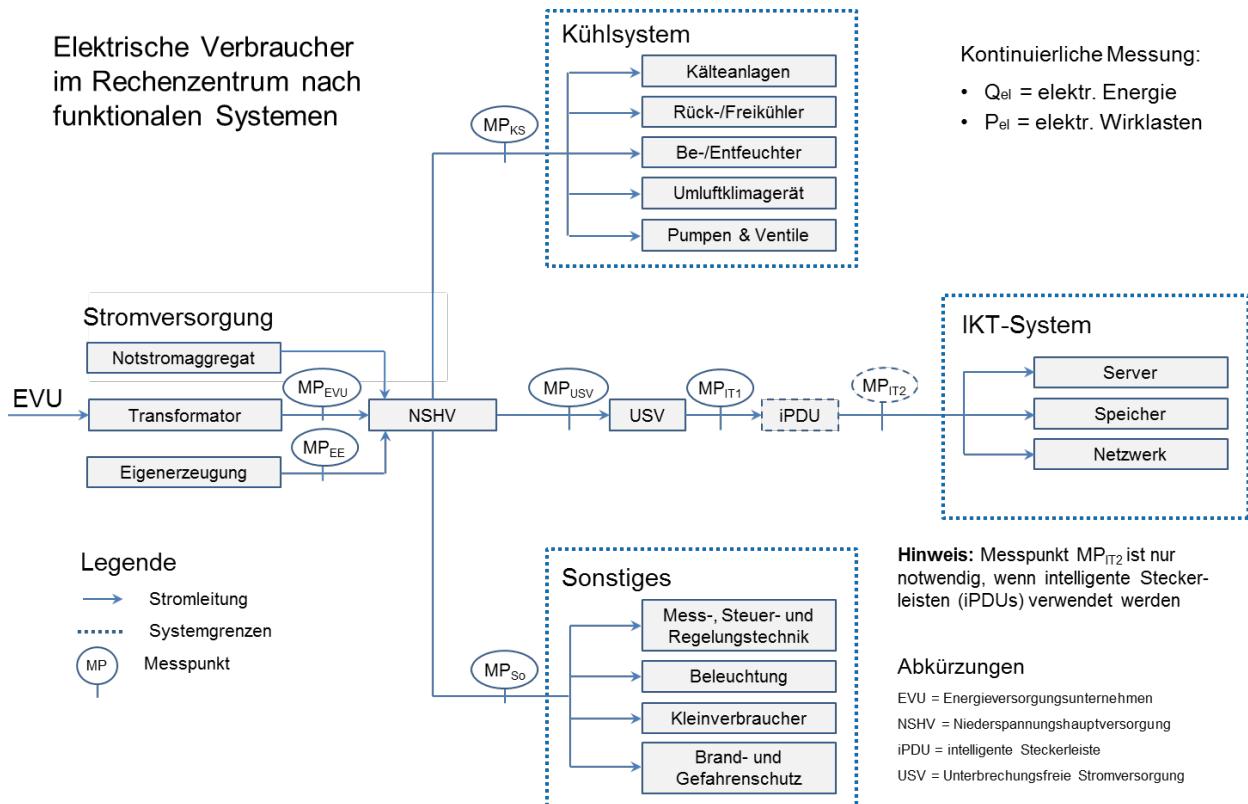
6.1.4 Elektrische Energie

Strom aus erneuerbarer Energie hat die geringste Umweltwirkung und ist über das Herkunfts-nachweisregister in ganz Deutschland verfügbar. Das Rechenzentrum muss seinen Strombedarf zu 100% aus erneuerbaren Energien wie Wasserkraft, Photovoltaik, Windkraft oder Biomasse decken. Alternativ dazu kann auch Strom aus dezentralen Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen genutzt werden.

6.1.5 Monitoring Strom, Klima

Der Zeichennehmer muss ein Monitoring durchführen, in dem kontinuierlich über das ganze Jahr Messungen zur elektrischen Leistung und des Energiebedarfs der wesentlichen Komponenten des Rechenzentrums erfasst und ausgewertet sowie der Wasserbedarf ermittelt werden. Hierfür sind mindestens die Messpunkte gemäß Abbildung 1 sowie weitere Messpunkte zur Bestimmung der Jahresarbeitszahl (JAZ) des Kühlsystems einzurichten und regelmäßig zu messen.

Abbildung 1: Messung der wesentlichen Komponenten eines Rechenzentrums



Quelle: Blauer Engel DE-UZ 214

- ▶ MP_{EVU} : Messpunkt Elektrizitätsversorgungsunternehmen: elektrische Leistung und elektrische Arbeit zur Versorgung des Rechenzentrums durch das Elektrizitätsversorgungsunternehmen (EVU)
- ▶ MP_{EE} : Messpunkt Eigenerzeugung: elektrische Leistung und elektrische Arbeit des selbst erzeugten Stroms (sofern vorhanden)
- ▶ MP_{KS} : Messpunkt Kühlsystem: elektrische Leistung und elektrische Arbeit des Kühlsystems (Kälteanlagen, Rück-/ Freikühler, Be-/ Entfeuchter, Umluftklimageräte, Pumpen und Ventile)
- ▶ MP_{USV} : Messpunkt USV: elektrische Leistung und elektrische Arbeit am Eingang der unterbrechungsfreien Stromversorgung
- ▶ MP_{IT1} : Messpunkt Informationstechnik 1: elektrische Leistung und elektrische Arbeit am Ausgang der unterbrechungsfreien Stromversorgung

- ▶ MP_{IT2}: Messpunkt Informationstechnik 2: elektrische Leistung und elektrische Arbeit zur Versorgung des IKT-Systems
- ▶ MP_{So}: Messpunkt Sonstige Energieverbraucher: elektrische Leistung und elektrische Arbeit der sonstigen Energieverbraucher (z.B. Mess-, Steuer- und Regelungstechnik, Beleuchtung, Kleinverbraucher, Brand- und Gefahrenschutzeinrichtungen)

Folgende Werte müssen durch das Energie-Monitoring mindestens jährlich ermittelt werden:

- ▶ Power Usage Effectiveness (PUE)
- ▶ Jahresarbeitszahl Kühlsystem (JAZ)

Folgende Werte müssen durch das Energie-Monitoring mindestens monatlich ermittelt werden (vgl. Messkonzept):

- ▶ Strombedarf RZ gesamt ($MP_{EVU} + MP_{EE}$) [kWh_{el}]
- ▶ Strombedarf IT (MP_{IT2}) [kWh_{el}] (Summe aller abgerechneten Strombedarfe bei den Kunden und Strombedarf für den Betrieb von Informationstechnik in der Verantwortung des Co-Location-Anbieters, z.B. IT für Monitoring, GLT, etc.)
- ▶ Strombedarf Kühlsystem (MP_{KS}) [kWh_{el}]
- ▶ Strombedarf Sonstiges (MP_{So}) [kWh_{el}]
- ▶ Kühllast RZ gesamt [kWh_{th}]
- ▶ Wasserverbrauch RZ gesamt [m^3] und Wasserqualität [Trinkwasser | Grauwasser | Regenwasser]

6.1.6 Effiziente Power Distribution Units (PDUs)

Die Verlustleistung von neu angeschafften intelligenten Power Distribution Units (iPDUs, siehe Abschnitt 1.4 Begriffsbestimmungen) darf pro vorhandenem Stromausgang (Steckdose oder An-schlussklemme) nicht größer sein als 0,5 W.

6.1.7 Effiziente Unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV)

Für neu angeschaffte Unterbrechungsfreie Stromversorgungen müssen die nachfolgend genannten Mindestanforderungen an Wirkungsgrade eingehalten werden. Die Zahlenwerte des existierenden DE-UZ-161 entsprechen dem aktuellen Stand der Technik. Die Wirkungsgrade der Unterbrechungsfreien Stromversorgungen dürfen im Doppelwandlerbetrieb nicht geringer sein als:

Tabelle 15: Wirkungsgrad der USV bei Neuanschaffung

Elektrische Ausgangsleistung zur Nennleistung	Wirkungsgrad
100 %	92 %
75 %	95 %
50 %	95 %
25 %	90 %

Quelle: Blauer Engel DE-UZ-161 2019, eigene Darstellung

6.1.8 SF₆-freie Schaltanlagen

Neu angeschaffte Mittelspannungs- und Niederspannungs-Schaltanlagen dürfen nicht das stark treibhauswirksame Gas Schwefelhexafluorid (SF₆) als Isoliermedium enthalten. Es müssen SF₆-freie Schaltanlagen beschafft werden.

6.2 Zusätzliche Anforderungen an Co-Location RZ:

Nachfolgend werden die zusätzlichen Anforderungen ausgeführt, wie sie bereits publiziert sind (Blauer Engel DE-UZ 214).

- ▶ Flächeneffizienz (Antragstellung)
- ▶ Energiemanagementsystem (Antragstellung)
- ▶ Informationspflicht gegenüber den Kunden (Antragstellung)
- ▶ Anreize zum Energiesparen (Antragstellung)
- ▶ Verbrauchsabhängige Abrechnung (Antragstellung)
- ▶ Berücksichtigung von Lebenszykluskosten (Laufzeit)

6.2.1 Flächeneffizienz

Als Beitrag zur Reduzierung der Flächenversiegelung soll das Rechenzentrum eine möglichst hohe Flächeneffizienz aufweisen. Der Antragsteller nennt im Energieeffizienzbericht als Information zu seiner Flächeneffizienz folgende Kennwerte:

- ▶ IT-Nennleistung pro Quadratmeter Bruttogrundfläche [kW_{el}/m²_{BGF}]
- ▶ IT-Nennleistung pro Rack (Server- oder Datenschränke) [kW_{el}/Rack]

Eine hohe Leistungsaufnahme pro Datenschränke ermöglicht hohe Serverdichten und Flächeneffizienz, ebenso wie effiziente Kühlung. Pro Datenschränke (Server- oder Storage-Rack) müssen Co-Location-Kunden die Möglichkeit haben, eine IT-Nennleistung von mindestens 8.0 kW_{el} in Anspruch zu nehmen. Der Antragsteller muss bestätigen:

- ▶ Zugesicherte IT-Nennleistung pro Datenschränke ≥ 8.0 kW_{el}

6.2.2 Energiemanagementsystem

Der Antragsteller muss bestätigen, dass das von ihm betriebene Rechenzentrum über ein Energiemanagementsystem nach DIN EN ISO 50001 „Energiemanagementsysteme - Anforderungen mit Anleitung zur Anwendung“ verfügt.

Das Energiemanagementsystem muss mindestens folgende Punkte beinhalten:

- ▶ Schriftlich fixierte Energiestrategie.
- ▶ Energiesparmaßnahmen werden bereichsübergreifend (Gebäudemanagement, Energie Controlling, Einkauf und ggf. Vertrieb) betrachtet und entwickelt.
- ▶ Zuständigkeiten zur Optimierung der Energienutzung sind klar geregelt.
- ▶ Kontinuierlicher Verbesserungsprozess zur Optimierung der Energienutzung ist vorhanden.
- ▶ Es gibt definierte Effizienzsteigerungsziele und deren Erreichung wird überprüft.

6.2.3 Informationspflichten

Der Antragsteller verpflichtet sich dazu, seinen Co-Location-Kunden regelmäßig, mindestens monatlich, Auskunft über die verbrauchte elektrische Energiemenge, die elektrische Spitzenlast und die übertragene Datenmenge der vom jeweiligen Kunden installierten Informationstechnik zu geben:

- ▶ Stromverbrauch [kWh_{el}]
- ▶ Elektrische Spitzenlast [kW_{el}]

Für den Fall, dass Server- und Datenschränke zusammen mit einer Stromunterverteilung (Power Distribution Unit - PDU) angeboten werden, müssen diese mit intelligenten PDUs (iPDUs, siehe Abschnitt 2.1 Begriffsbestimmungen) ausgestattet sein. Der Co-Location-Anbieter muss seinen Kunden einen informationstechnischen Zugang (Datenschnittstelle) zu den durch die iPDUs erfassten Energiedaten geben.

Der Co-Location-Anbieter muss seine Kunden zu Möglichkeiten der Energieeinsparung informieren und bei deren Umsetzung unterstützen. Hierzu muss er seinen Kunden entsprechende Informationsmaterialien zur Verfügung stellen.

Das mit dem Umweltzeichen für Co-Location gekennzeichnete Rechenzentrum bietet seitens der Gebäudetechnik und Energiebereitstellung die Voraussetzungen dafür, dass Co-Location-Kunden das Umweltzeichens DE-UZ 161 „Energieeffizienter Rechenzentrumsbetrieb“ beantragen können. Der Co-Location-Anbieter ist verpflichtet, seine Kunden durch die Bereitstellung der relevanten Informationen zu PUE, JAZ, Kältemittel und Energie dabei zu unterstützen, ihrerseits das Umweltzeichen zu beantragen.

6.2.4 Anreize zur Energieeinsparung

Der Antragsteller unterstützt seine Co-Location-Kunden dabei, den Energieverbrauch der durch sie aufgestellten Informationstechnik zu erfassen und zu reduzieren. Hierfür stellt er ihnen Monitoring-Informationen zur Verfügung und gestaltet die Co-Location-Verträge so, dass ein Anreiz zur Energieeinsparung besteht.

6.2.5 Verbrauchsabhängige Abrechnung

Die Abrechnung der Co-Location-Dienstleistung muss so gestaltet werden, dass sowohl für den Anbieter als auch den Kunden ein Anreiz besteht, möglichst wenig Energie zu verbrauchen und die eingesetzten Geräte möglichst energieeffizient zu betreiben. Um dies zu erreichen, müssen die den Kunden in Rechnung gestellten Energiekosten dem tatsächlichen Kostenaufwand entsprechen.

Die Abrechnung der Energiekosten muss über einen Strompreis erfolgen, der sich abhängig vom Einkaufspreis des Co-Location-Anbieters beim Elektrizitätsversorgungsunternehmen (EVU) und der Energieeffizienz der Rechenzentrums-Infrastruktur (PUE) wie folgt berechnet:

$$\text{Strompreis}_{\text{Kunde}} [\text{€}/\text{kWh}_{\text{el}}] = \text{Strompreis}_{\text{EVU}} \cdot \text{PUE}$$

Es darf mit den Kunden weder eine Mindestabnahmemenge noch eine pauschale Freimenge an elektrischer Arbeit [kWh_{el}] vereinbart werden. Gegenüber dem Kunden muss er die Höhe der Stromkosten anhand der verbrauchten Strommenge explizit ausweisen.

Weitere Kostenbestandteile können die Höhe der in Anspruch genommenen elektrischen Spitzenleistung [$\text{kW}_{\text{el,peak}}$] sein (die elektrische Leistung wird in der Regel als Mittelwert innerhalb eines 15 Minuten-Intervalls berechnet) sowie weitere pauschale nicht Energie bezogene Kostenbestandteile (z.B. für Fläche, Serverschränke, Netzwerkgeräte, Dienstleistungen usw.).

Der Antragsteller muss darlegen, dass sich die Abrechnung der Co-Location-Dienstleistung als Summe aus Stromverbrauchskosten, Kosten für die Bereitstellung elektrischer Leistung und Pauschalkosten (Gemeinkosten und sonstige Kosten) wie folgt darstellen lässt, wobei Leistungskosten und Pauschalkosten optional sind:

Abgerechnete Kosten[€/Zeiteinheit]

$$\begin{aligned} &= \text{Stromverbrauch}_{\text{Kunde}} [\text{kWh}_{\text{el}}/\text{Zeiteinheit}] \cdot \text{Strompreis}_{\text{Kunde}} [\text{€}/\text{kWh}_{\text{el}}/\text{Zeiteinheit}] \\ &\quad (+\text{Spitzenlast}_{\text{Kunde}} [\text{kWh}_{\text{el}}/\text{Zeiteinheit}] \cdot \text{Leistungspreis} [\text{€}/\text{kWh}_{\text{el}}]) \\ &\quad (+\text{Pauschalkosten} [\text{€}/\text{Zeiteinheit}]) \end{aligned}$$

6.2.6 Berücksichtigung von Lebenszykluskosten bei der Beschaffung

Der Nutzer des Umweltzeichens verpflichtet sich, dass er bei der Neuanschaffung von Geräten und Anlagen eine Berechnung der Lebenszykluskosten über die geplante Nutzungsdauer (beispielsweise Investitionskosten, Wartung und Energiekosten, Entsorgungskosten) durchführt und diese bei der Angebotsbewertung berücksichtigt.

6.2.7 Energieeffizienzbericht zur Abschlussevaluation

Der Nutzer des Umweltzeichens muss spätestens 6 Monate vor Ende der vereinbarten Vertragslaufzeit einen Energieeffizienzbericht vorlegen, in dem die Einhaltung der Anforderungen während der Vertragslaufzeit dokumentiert ist. Der Berichtszeitraum muss vom Beginn der Vertragslaufzeit bis mindestens 9 Monate vor Vertragsende umfassen.

6.3 Zusammenfassung der Vergabekriterien

Die wesentlichen Vergabekriterien des neuen Umweltzeichens „Klimaschonende Co-Location-Rechenzentren“ (Blauer Engel DE-UZ 214) sind nachfolgend aufgelistet:

- ▶ Erstellung von Energieeffizienzberichten bei Antragstellung und zur Abschlussevaluation
- ▶ Energieeffiziente Gebäudetechnik und Energiebereitstellung
 - Power Usage Effectiveness (PUE): PUE $\leq 1,30$ für Inbetriebnahme ab 2019
 - Energieeffizienz des Kühlsystems: JAZ > 8 für Inbetriebnahme ab 2019
 - Halogenfreie Kältemittel für Inbetriebnahme ab 2013
 - Nutzung erneuerbarer elektrischer Energie
- ▶ Nennung Flächeneffizienz
- ▶ Nutzung eines Energiemanagementsystems
- ▶ Kunden-Anreize zur Energieeinsparung
 - Informationspflichten zum Energieverbrauch gegenüber Kunden
 - Verbrauchsabhängige Abrechnung
- ▶ Monitoring elektrischer Energie und Wasser
- ▶ Effizienz- und Umweltanforderungen bei der Neuanschaffung von
 - Komponenten des Kühlsystems
 - Unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV)
 - Schaltanlagen
 - Intelligente Power Distribution Units (PDUs)
- ▶ Berücksichtigung von Lebenszykluskosten bei der Beschaffung

Die Vergabekriterien des Umweltzeichens wurden im Dezember 2019 von der Jury Umweltzeichen beschlossen und durch die RAL gGmbH veröffentlicht (Blauer Engel DE-UZ 214).

7 Quellenverzeichnis

- Acton, M.; Bertoldi, P.; Booth, J.; Newcombe, L.; Rouyer, A.; Tozer, R. (2018): Best Practice Guidelines for the EU Code of Conduct on Data Centre Energy Efficiency. version 9.1.0. Hg. v. Publications Office of the European Union. Luxembourg (JRC110666). Online verfügbar unter <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC110666>, zuletzt geprüft am 17.11.2021.
- ASHRAE (2016): ASHRAE TC9.9. Data Center Power Equipment Thermal Guidelines and Best Practices. Whitepaper created by ASHRAE Technical Committee (TC) 9.9 Mission Critical Facilities, Data Centers, Technology Spaces, and Electronic Equipment. Online verfügbar unter https://tc0909.ashraetcs.org/documents/ASHRAE_TC0909_Power_White_Paper_22_June_2016_REVISED.pdf, zuletzt geprüft am 17.11.2021.
- Bertoldi, Paolo (2021): Code of Conduct on Energy Efficiency and Quality of AC Uninterruptible Power Systems (UPS). Hg. v. Publications Office of the European Union. European Commission. Luxembourg (JRC12495). Online verfügbar unter https://e3p.jrc.ec.europa.eu/sites/default/files/documents/publications/european_code_of_conduct_ups_2021_pubsy_final_ca_0.pdf, zuletzt geprüft am 17.11.2021.
- Bilsen, Valentijn; Devriendt, Willem; Bley, Federico; Carpentier, Marieke; Duchêne, Vincent; Lecocq, Cathy; Legein, Emma (IDEA Consult) (2021): Greening cloud computing and electronic communication services and networks: towards climate neutrality by 2050. Unter Mitarbeit von Jens Gröger, Ran Liu, Andreas R. Köhler, Dietlinde Quack und Behrens, Felix (Öko-Institut).
- Blauer Engel DE-UZ 214: Klimaschonende Colocation-Rechenzentren. Ausgabe Januar 2020. Version 3. Bonn (Blauer Engel DE-UZ 214). Online verfügbar unter <https://produktinfo.blauer-engel.de/uploads/criteriafile/de/DE-UZ%20214-202001-de%20Kriterien-V3.pdf>, zuletzt geprüft am 03.09.2021.
- Blauer Engel DE-UZ-161 (2019): Energieeffizienter Rechenzentrumsbetrieb. DE-UZ-161. Vergabekriterien Ausgabe Januar 2019 Version 1. Online verfügbar unter <https://produktinfo.blauer-engel.de/uploads/criteriafile/de/DE-UZ%20161-201901-de%20Kriterien-2019-02-19.pdf>, zuletzt geprüft am 17.11.2021.
- Borderstep Institut (2020): Deutlicher Anstieg des Energiebedarfs der Rechenzentren - Borderstep Institut. Unter Mitarbeit von Dr. Ralph Hintemann. Online verfügbar unter <https://www.borderstep.de/deutlicher-anstieg-des-energiebedarfs-der-rechenzentren-im-jahr-2020/>, zuletzt geprüft am 17.02.2021.
- Boulos et al (2014): ErP Lot 27-Uninterruptible Power Supplies. Preparatory Study -Final Report. EN-ERG/C3/413-2010-LOT 27-SI2.611335. Unter Mitarbeit von Chris Nuttall, Bob Harrison, Pedro Moura, Christoph Jehle. Hg. v. D. EnergyG European Commission. Ricardo-AEA. Online verfügbar unter http://www.eup-network.de/fileadmin/user_upload/Lot-27-Consolidated-Final-Report.pdf, zuletzt geprüft am 13.07.2021.
- DIN 277-1-2016: DIN 277-1 - 2016-01 - Beuth.de. Online verfügbar unter <https://www.beuth.de/de/norm/din-277-1/244240470>, zuletzt geprüft am 12.10.2021.
- Energy Star (2019): Uninterruptible Power Supplies - Version 2.0. Online verfügbar unter https://www.energystar.gov/sites/default/files/ENERGY%20STAR%20Uninterruptible%20Power%20Supplies%20Final%20Version%202.0%20Specification_1.pdf, zuletzt geprüft am 12.10.2021.
- Greenhouse Gas Protocol (2016): Global Warming Potential Values. Online verfügbar unter https://ghgprotocol.org/sites/default/files/ghgp/Global-Warming-Potential-Values%20Feb%202016%202016%29_1.pdf, zuletzt geprüft am 09.09.2021.
- Gröger, Jens; Liu, Ran (2021): Green Cloud Computing. Lebenszyklusbasierte Datenerhebung zu Umweltwirkungen des Cloud Computing. Unter Mitarbeit von Lutz Stobbe, Jan Druschke und Nikolai Richter. Hg. v. Umweltbundesamt. Dessau-Roßlau (Texte 94/2021). Online verfügbar unter

https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikationen/2021-06-17_texte_94-2021_green-cloud-computing.pdf, zuletzt geprüft am 17.11.2021.

Hintemann, Ralph; Clausen, Jens (2018): Bedeutung digitaler Infrastrukturen in Deutschland. Sozioökonomische Chancen und Herausforderungen für Rechenzentren im internationalen Wettbewerb. Borderstep Institut im Auftrag des eco – Verband der Internettirtschaft e. V. Berlin. Online verfügbar unter https://www.eco.de/wp-content/uploads/dlm_uploads/2018/06/DI_Studie.pdf, zuletzt geprüft am 06.09.2021.

Normenreihe EN 50600: Informationstechnik - Einrichtungen und Infrastrukturen von Rechenzentren.

ISO 50001: ISO 50001 — Energy management systems — Requirements with guidance for use. Hg. v. International Organization for Standardization. Online verfügbar unter <https://www.iso.org/standard/69426.html>, zuletzt geprüft am 12.10.2021.

Matthias Longo, Palmer Hargreaves (2018): Neuer großer ISG-Anbietervergleich zu Infrastruktur, Rechenzentren und Private Cloud in Deutschland. Zahl und Vielfalt von Colocation-Rechenzentren nehmen im Eiltempo zu. Information Services Group. Frankfurt am Main. Online verfügbar unter https://isg-one.com/docs/default-source/default-document-library/pm-infrastructure.pdf?sfvrsn=f94ff331_0, zuletzt geprüft am 17.11.2021.

Salom, Jaume; Urbaneck, Thorsten; Oró, Eduard (Hg.) (2017): Advanced Concepts for Renewable Energy Supply of Data Centres. Online verfügbar unter https://www.riverpublishers.com/pdf/e-book/RP_9788793519411.pdf, zuletzt geprüft am 08.09.2021.

Schödwell, Björn; Zarnekow, Rüdiger; Liu, Ran; Gröger, Jens; Wilkens, Marc (2018): Kennzahlen und Indikatoren für die Beurteilung der Ressourceneffizienz von Rechenzentren und Prüfung der praktischen Anwendbarkeit. Hg. v. Umweltbundesamt (Texte 19/2018). Online verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2018-02-23_texte_19-2018_ressourceneffizienzrechenzentren.pdf, zuletzt geprüft am 17.11.2021.

Shehabi, Arman; Smith, Sarah; Sartor, Dale; Brown, Richard; Herrlin, Magnus; Koomey, Jonathan et al. (2016): United States Data Center Energy Usage Report. Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory. Berkeley, California (LBNL-1005775). Online verfügbar unter https://eta-publications.lbl.gov/sites/default/files/lbnl-1005775_v2.pdf, zuletzt geprüft am 17.11.2021.

VDI 2078: VDI 2078 - Berechnung der thermischen Lasten und Raumtemperaturen (Auslegung Kühllast und Jahressimulation). Hg. v. Verein Deutscher Ingenieure e.V. Online verfügbar unter <https://www.vdi.de/richtlinien/details/vdi-2078-berechnung-der-thermischen-lasten-und-raumtemperaturen-auslegung-kuehllast-und-jahressimulation-1>, zuletzt geprüft am 12.10.2021.

Verordnung (EU) 2016/2281: Verordnung (EU) 2016/2281 zur Durchführung der Richtlinie 2009/125/EG Ökodesign. Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung energieverbrauchsrelevanter Produkte im Hinblick auf Luftheizungsprodukte, Kühlungsprodukte. Europäische Kommission. Online verfügbar unter <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/HTML/?uri=CELEX:32016R2281&from=EN#d1e256-1-1>, zuletzt geprüft am 17.11.2021.

Verordnung (EU) Nr. 424/2019: 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. Europäische Kommission. Online verfügbar unter <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019R0424&from=EN>, zuletzt geprüft am 22.05.2019.

Verordnung (EU) Nr. 517/2014: Verordnung (EU) Nr. 517/2014 über fluorierte Treibhausgase und zur Aufhebung der Verordnung (EG) Nr. 842/2006. Hg. v. Europäisches Parlament und Rat. Online verfügbar unter

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014R0517>, zuletzt geprüft am 17.11.2021.