

Klimaschonende Klimatisierung (Heizen und Kühlen) mit natürlichen Kältemitteln – Konzepte für Nichtwohngebäude mit Serverräumen/Rechen- zentren

CLIMATE CHANGE 18/2016

Umweltforschungsplan des
Bundesministeriums für Umwelt,
Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Forschungskennzahl 3713 95 323
UBA-FB 002327

Klimaschonende Klimatisierung (Heizen und Kühlen) mit natürlichen Kältemitteln – Konzepte für Nichtwohngebäude mit Serverräumen/Rechenzentren

von

Markus Offermann
Ecofys, Köln

Berhard von Manteuffel
Ecofys, Berlin

Julia Blume, Daniel Kühler
Deerns, Köln

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Impressum

Herausgeber:

Umweltbundesamt
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau-Roßlau
Tel: +49 340-2103-0
Fax: +49 340-2103-2285
info@umweltbundesamt.de
Internet: www.umweltbundesamt.de

 /umweltbundesamt.de
 /umweltbundesamt

Durchführung der Studie:

Ecofys Germany GmbH
Am Wassermann 36
50829 Köln

Abschlussdatum:

März 2016

Redaktion:

Fachgebiet III 1.4 Stoffbezogene Produktfragen
Dr. Daniel de Graaf

Publikationen als pdf:

<http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/klimaschonende-klimatisierung-heizen-kuehlen>

ISSN 1862-4359

Dessau-Roßlau, April 2016

Das diesem Bericht zu Grunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit unter der Forschungskennzahl 3713 95 323 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.

Kurzbeschreibung

Im Rahmen des in diesem Bericht beschriebenen Forschungsvorhabens wurde die klimaschonende Klimatisierung von Nichtwohngebäuden untersucht. Im Fokus der Untersuchung stand dabei die Klimatisierung von Serverräumen und Rechenzentren mit natürlichen Kältemitteln. Insbesondere sollten dabei integrale Konzepte betrachtet werden, die nicht nur isoliert auf den Kühlenergiebedarf abzielen. Anhand von Systembetrachtungen wurden ganzheitliche Lösungen, die den Gesamtenergiebedarf (inklusive Heizung und Belüftung) und die daraus resultierenden Treibhausgasemissionen reduzieren, entwickelt.

Im zweiten Abschnitt wurden dazu zunächst die aktuellen Rahmenbedingungen von Nichtwohngebäuden allgemein und Nichtwohngebäuden mit Serverräumen und Rechenzentren im Speziellen dargestellt. Hierbei wurden beispielweise Angaben zur Anzahl und Eigentümerstruktur dieser Gebäude recherchiert sowie relevante Gesetze und Nutzeranforderungen identifiziert. Im Rahmen des zweiten Abschnitts wird darüber hinaus auch eine Übersicht der derzeit gängigsten Versorgungs- und im Speziellen auch Klimatisierungskonzepte gegeben. Im letzten Teil des zweiten Abschnitts wurde eine Übersicht zu Kältemitteln (Typen, Einsatzbereiche, Treibhausgaswirksamkeit, Füllmenge und Leckagen) erstellt.

Zu Beginn des dritten Abschnitts wurde zunächst ein hinsichtlich Energiebedarf und Treibhausgasemissionen zulässiger Zielkorridor für den Bereich der Klimatisierung für Gebäude in Deutschland abgeleitet, der die langfristigen Klimaschutzziele der Bundesregierung und die theoretischen Potenziale der Klimatisierung (basierend auf einer Recherche zu relevanten Veröffentlichungen) berücksichtigt. Im zweiten Teil des dritten Abschnitts wird eine Übersicht von realisierten Beispielgebäuden (Good Practice-Beispiele) gegeben, bei denen Techniken angewendet wurden, die eine Reduktion der Klimawirkung herbeiführen und damit die Erreichung des zuvor abgeleiteten Zielkorridors gewährleisten. Durch sinnvolle Kombination der bei den realisierten Good Practice-Beispielen eingesetzten Techniken wurden, ausgehend von typischen Referenzgebäuden mit einer hohen Energieeffizienz (Niedrigstenergiegebäude auf der Basis eines Passivhaustandards), weiter optimierte Konzepte abgeleitet, die im Rahmen von numerischen Simulationsberechnungen hinsichtlich ihrer Energieeffizienz und Klimawirkung untersucht wurden. Hierbei wurden drei Gebäudetypen berücksichtigt: ein Bürogebäude mit mehreren kleinen Serverräumen, ein Bürogebäude mit einem integrierten mittelgroßen Rechenzentrum und ein großes freistehendes Rechenzentrum.

Durch die Untersuchungen sollten die derzeit realistisch möglichen Potenziale aufgezeigt werden, die zum einen die Machbarkeit des zuvor angegebenen Zielkorridors untermauern und zum anderen aber auch Anregungen für Investoren und Planer geben sollen.

Im vierten Abschnitt liegt der Schwerpunkt auf einer Untersuchung von Instrumenten, die zu einer Zielerreichung der für den Sektor spezifizierten Klimaschutzziele führen. Zunächst werden dazu die derzeitigen wesentlichen Hemmnisse einer klimaschonenden Klimatisierung von Rechenzentren und Serverräumen spezifiziert. Aufbauend darauf wurde untersucht, inwieweit Instrumente diese Hemmnisse geeignet adressieren und welche Verbesserungsmöglichkeiten bestehen. Ein Schwerpunkt war dabei, auch Beiträge zur Weiterentwicklung des Umweltzeichens Blauer Engel für energieeffizienten Rechenzentrumsbetrieb (RAL-UZ 161) zu liefern. Das Forschungsprojekt schließt mit Vorschlägen zu neuen Instrumenten, die geeignet sind, um die identifizierten Lücken in der Adressierung der Haupthemmnisse zu beseitigen. Damit würden die Rahmenbedingungen für eine klimaschonende Klimatisierung von Nichtwohngebäuden mit Serverräumen und Rechenzentren geschaffen, die konform mit den langfristigen Klimaschutzz Zielen der Bundesregierung sind.

Abstract

As part of the research project described in this report, climate-friendly air conditioning systems of non-residential buildings were examined. The study focused on the air conditioning of server rooms and data centres using natural refrigerants. In particular, integral concepts were considered that are not solely aimed at energy demand for cooling. On the basis of system considerations, integrated solutions were developed that reduce the total energy consumption (including heating and ventilation) and the resulting greenhouse gas emissions.

In the second part of the research project, the prevailing conditions of non-residential buildings in general were depicted with particular emphasis given to non-residential buildings with server rooms and data centres. In doing so, the number and ownership structure of these buildings was studied and the relevant laws and user requirements were identified. The second section also includes an overview of today's most popular supply concepts, and in particular, air conditioning concepts. In the last part of the second section, an overview of refrigerants (types, application areas, global warming potentials, quantities, and leakages) was compiled.

At the beginning of the third section, an allowable target corridor with regard to energy consumption and greenhouse gas emissions for the air conditioning of buildings in Germany was derived, taking into account the long-term climate objectives of the German federal government and the theoretical saving potentials of air conditioning (based on a research of relevant publications). In the second part of the third section, an overview of realised model buildings (good practice examples) is provided in which techniques are applied that bring about a reduction in climate impact and thus ensure the attainment of the previously derived target corridor. By appropriately combining the technologies applied in the good practice examples, and starting with typical reference buildings with high energy efficiency (nearly zero energy buildings based on a passive house standard), additional optimized concepts were derived that were studied in the context of numerical simulation calculations in terms of their energy efficiency and climate impact. In doing so, three building types were considered: an office building with several small server rooms, an office building with an integrated, medium-sized data centre, and a large stand-alone data centre.

Through these investigations, the currently realistic potentials should be demonstrated, that on the one hand support the feasibility of the previously stated target corridor and on the other hand provide inspiration for investors and planners.

The fourth section focuses on a study of instruments that contribute to the achievement of the previously defined sector-specific climate protection targets. First, the current, major obstacles to climate-friendly air conditioning of data centres and server rooms are specified. Based on this information, the extent to which instruments address these barriers was investigated, along with the existing opportunities for improvement. In this respect, a focus was to contribute to the advancement of the “Blauer Engel” ecolabel for energy-efficient data centre operation (RAL-UZ 161). The research project concludes with proposals for new instruments that are likely to eliminate any identified gaps in addressing the main barriers. Thus the framework conditions for the climate-friendly air conditioning of non-residential buildings with server rooms and data centres were developed that are conform with the long-term climate objectives of the German federal government.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	6
Abbildungsverzeichnis	9
Tabellenverzeichnis.....	13
Glossar und Abkürzungsverzeichnis.....	17
Zusammenfassung	19
Summary.....	27
Einleitung.....	34
1.2 Hintergrund	34
1.3 Ziel des Forschungsvorhabens	35
2 Wärme- und Kälteversorgung von Nichtwohngebäuden mit Serverräumen / Rechenzentren.....	36
2.1 Bestandsdaten Nichtwohngebäude mit Serverräumen und Rechenzentren.....	36
2.1.1 Energieverbrauch für die Gebäudeklimatisierung (Heizen und Kühlen).....	36
2.1.2 Gebäudeclusterung	41
2.1.2.1 Baufertigstellung ab 1993	41
2.1.2.2 Gebäudebestand in Deutschland im Bereich Nichtwohngebäude	45
2.1.2.3 Serverräume und Rechenzentren in Deutschland	52
2.1.3 Eigentums- und Mietverhältnis.....	56
2.2 Legislative und nutzerspezifische Anforderungen.....	60
2.2.1 Relevante Gesetze und Anforderungen in Deutschland.....	60
2.2.1.1 Bestehende Gesetze und Anforderungen	60
2.2.1.2 Geplante Gesetze und Anforderungen	66
2.2.1.3 Einfluss der Gesetzgebung auf die Art der Konditionierung	68
2.2.2 Nutzeranforderungen an Serverräume und Rechenzentren	69
2.2.2.1 Versorgungssicherheit	69
2.2.2.2 Schutz vor kriminellen Aktivitäten	72
2.2.2.3 Temperaturen in Serverräumen	73
2.2.2.4 Auslastung und Leistungsdichte von Serverräumen und Rechenzentren	77
2.2.2.5 Trends und Entwicklungen im IT-Bereich	82
2.3 Aktuelle Versorgungskonzepte.....	84
2.3.1 Kompressionskältemaschine mit freier Kühlung.....	84
2.3.2 Blockheizkraftwerk und Absorptionskältemaschine.....	86
2.3.3 Freie Kühlung mit Grundwasser, Geothermie oder Luft	87
2.3.4 Verbundsysteme.....	89

2.3.5 Rückgewinnung	90
2.3.6 Energiebenchmark und Beispiele	91
2.4 Marktgängige Systeme Kühlen (und Heizen mit WP)	94
2.4.1 Kältetechniken und -anlagen.....	94
2.4.1.1 Kälteanlagen mit mechanischem Antrieb (Kompressionskältemaschinen)	94
2.4.1.2 Kälteanlagen mit thermischem Antrieb (Absorptionskältemaschinen)	96
2.4.1.3 Wärmepumpen	97
2.4.1.4 Standardsysteme für die Kühlung von Nichtwohngebäuden mit Serverräumen und Rechenzentren	97
2.4.1.5 Effizienz von Kälteanlagen	98
2.4.1.6 Kälteerzeugung im Teillastbetrieb	104
2.4.2 Kältemittel.....	105
2.4.3 Kältemittelfüllmengen der Kältemaschinen.....	107
2.4.4 Kältemittelleckagen.....	113
2.4.5 TEWI.....	117
2.4.6 Hersteller von Kältemaschinen mit natürlichen Kältemitteln.....	120
3 Anforderungen und Konzepte für klimaschonende Wärme- und Kälteversorgung von Nichtwohngebäuden mit Serverräumen/Rechenzentren.....	122
3.1 Definition von Klimaschutzanforderungen für Gebäude und IKT	122
3.1.1 Die europäischen Klimaschutzziele.....	122
3.1.2 Der deutsche Gebäudesektor und seine Klimaschutzanforderungen für 2050.....	123
3.1.3 Grundsätze für Niedrigstenergiestandards in der Gebäudeklimatisierung.....	124
3.1.4 Zielkorridor zur Erreichung der gesetzten Klimaschutzziele im deutschen Gebäudesektor	125
3.2 Good Practice-Beispiele.....	130
3.3 Festlegung von relevanten Referenzgebäudetypen	145
3.3.1 Bürogebäude mit mehreren kleinen Serverräumen	145
3.3.2 Baulich eingebundenes mittelgroßes Rechenzentrum	148
3.3.3 Großes freistehendes Rechenzentrum.....	148
3.4 Entwicklung von optimierten Konzepten.....	150
3.4.1 Kleine Serverräume.....	150
3.4.2 Bürogebäude mit mittel großem Rechenzentrum	152
3.4.3 Großes freistehendes Rechenzentrum.....	153
3.5 Simulationen zur Bestimmung der CO ₂ - und Energiekennwerte	156
3.5.1 Bürogebäude mit mehreren kleinen Serverräumen	157
3.5.2 Baulich eingebundenes mittelgroßes Rechenzentrum	169

3.5.3	Großes freistehendes Rechenzentrum.....	178
3.6	Zusammenfassende Bewertung der Ergebnisse	188
4	Empfehlungen für klimaschonendere Wärme- und Kälteversorgung von Gebäuden mit Serverräumen/Rechenzentren.....	190
4.1	Verbesserungsvorschläge bestehender Instrumente	190
4.1.1	Hemmnisse einer klimaschonenden Klimatisierung von Rechenzentren und Serverräumen	190
4.1.2	Übersicht bestehender Instrumente	192
4.2	Vorschläge zum Blauen Engel.....	197
4.2.1	EUE: Energy Usage Effectiveness	197
4.2.2	JAZ: Jahresarbeitszahl.....	198
4.2.3	Kältemittel.....	199
4.2.4	Anforderungen an die Effizienz für thermische Sorptionskältemaschinen	200
4.3	Vorschläge zu neuen Instrumenten	202
4.3.1	Regulatorische Vorgaben zur Begrenzung von Treibhausgasemissionen von Klimaanlagen von Serverräumen und Rechenzentren.....	202
4.3.2	Einführung einer Kennzeichnungspflicht der zulässigen Betriebstemperaturen von Systemtechnikkomponenten für Rechenzentren und Serverräume.....	202
4.3.3	Besteuerung von F-Gas-haltigen Kältemitteln.....	203
4.3.4	Begleitendes Bundesprogramm zur Förderung der Zertifizierung mit dem Blauen Engel für energieeffizienten Rechenzentrumsbetrieb (RAL-UZ 161).....	203
5	Quellenverzeichnis.....	204

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Kältebedarf (Nutzenergie) nach Anwendungsgebieten nach [Nachhaltige Kälteversorgung 2014].....	37
Abbildung 2:	Endenergiebedarf für die Kälte nach Anwendungsgebieten nach [Nachhaltige Kälteversorgung 2014].....	37
Abbildung 3:	Endenergiebedarf für die Gebäudeklimatisierung nach [Nachhaltige Kälteversorgung 2014].....	40
Abbildung 4:	Baufertigstellungen (Neubau) von Nichtwohngebäuden 1993–2012, Anzahl der Gebäude [Statistisches Bundesamt, Lange Reihe Baufertigstellung 2012].....	41
Abbildung 5:	Baufertigstellungen (Neubau) von Nichtwohngebäuden 1993–2012, Nutzfläche in 1.000 m ² [Statistisches Bundesamt, Lange Reihe Baufertigstellung 2012].....	42
Abbildung 6:	Baufertigstellungen (Neubau) von Nichtwohngebäuden 1993–2012, Anzahl der Gebäude [Statistisches Bundesamt, Lange Reihe Baufertigstellung 2012].....	44
Abbildung 7:	Anzahl der Nichtwohngebäude: Auf Basis von statistischen Werten kalkulierte Bestandsdaten für den Nichtwohnbaubestand nach Gebäudeart nach [BMVBS 2011].....	47
Abbildung 8:	Fläche der Nichtwohngebäude: Auf Basis von statistischen Werten kalkulierte Bestandsdaten für den Nichtwohnbaubestand nach Gebäudeart nach [BMVBS 2011].....	48
Abbildung 9:	Entwicklung des Energiebedarfs der Server und Rechenzentren in Deutschland in den letzten Jahren [UBA 55/2010].....	53
Abbildung 10:	Entwicklung der installierten Stromleistung der Server und Rechenzentren weltweit in den letzten Jahren nach [RenewIT D7.1].....	54
Abbildung 11:	Entwicklung der installierten Kälteleistung im Klimakältebereich [Ecodesign 2008].....	58
Abbildung 12:	Treibhausgasemissionen in Deutschland 1990 bis Prognose 2014	60
Abbildung 13:	Höchstmengen (in %) für das Inverkehrbringen teilfluorierter Kohlenwasserstoffe (HFKW) für die Jahre 2015–2030 in die EU	62
Abbildung 14:	Treibhauspotenzial („Global Warming Potential“, GWP) verschiedener Kältemittel.....	63
Abbildung 15:	Vergleich der Anforderungen an die klimatischen Bedingungen in Rechenzentren nach ASHRAE von 2004 und 2008 [ASHRAE 2008].....	74
Abbildung 16:	Qualitative Stromaufnahme eines Rechners (Servers) in Abhängigkeit der Auslastung für unterschiedliche Hardwarequalitäten in Anlehnung an [Offis, 2009]	77
Abbildung 17:	Lastprofil und Verteilung der Stromaufnahme verschiedener Auslastung [RenewIT2014].....	78

Abbildung 18:	Auslastungsprofile verschiedener Typen von Rechenzentren in Abhängigkeit der Tageszeit [OFFIS 2009].....	79
Abbildung 19:	Typen der Überkapazitäten, nach [APC, 2012a].....	81
Abbildung 20:	Geplante IT-Leistung gegenüber der tatsächlichen IT-Leistung über einen Zeitraum von 10 Jahren, in Anlehnung an [APC, 2012b].....	81
Abbildung 21:	Versorgungskonzept Kompressionskältemaschine mit freier Kühlung.....	84
Abbildung 22:	Versorgungskonzept Blockheizkraftwerk mit Absorptionskältemaschine.....	86
Abbildung 23:	Versorgungskonzept freie Kühlung mit Grundwasser, Geothermie oder Luft	87
Abbildung 24:	Versorgungskonzept Verbundsysteme.....	89
Abbildung 25:	Versorgungskonzept Wärmerückgewinnung.....	90
Abbildung 26:	Prozentuale Verteilung der PUEs deutscher Rechenzentren [Offis, 2009].....	92
Abbildung 27:	Aufbau einer Kompressionskälteanlage mit Verdampfer zur direkten Luftkühlung [Recknagel 2007].....	95
Abbildung 28:	Kältemaschine (wassergekühlt) mit Scrollverdichter und Plattenwärmeübertrager, Kälteleistung <300 kW, Kältemittel R407C und R410A.....	108
Abbildung 29:	Kältemaschine (luftgekühlt) mit Scrollverdichter und Plattenwärmeübertrager, Kälteleistung <300 kW, Kältemittel R407C und R410A.....	109
Abbildung 30:	Kältemaschine (wassergekühlt) mit Schraubenverdichter und Rohrbündelwärmeübertrager, Kälteleistung >300 kW und <1.000 kW, Kältemittel R134a und R410A.....	109
Abbildung 31:	Kältemaschine (luftgekühlt) mit Schraubenverdichter und Rohrbündelwärmeübertrager, Kälteleistung > 300 kW und <1.000 kW, Kältemittel R134a	110
Abbildung 32:	Kältemaschine (wassergekühlt) mit Turboverdichter und Rohrbündelwärmeübertrager, Kälteleistung >1.000 kW, Kältemittel R134a.....	110
Abbildung 33:	Splitgeräte Kälteleistung < 12 kW, Kältemittel R410A	111
Abbildung 34:	Multi-Splitgeräte Kälteleistung < 12 kW, Kältemittel R410A.....	111
Abbildung 35:	VRF-Systeme Kälteleistung > 12 kW Kältemittel R410A	112
Abbildung 36:	Jährliche Kältemittelverluste von Kompressionskältemaschinen [UBA 2005, UBA 2014, NIR 2014, IOR 2010, VDKF 2013].....	115
Abbildung 37	Jährliche Kältemittelverluste von Split-, Multisplit- und VRF-Geräten [UBA 2005, UBA 2014, NIR 2014, IOR 2010, VDKF 2013, Skm-Enviro 2010]	115

Abbildung 38:	Jährliche Kältemittelverluste von Wärmepumpen [UBA 2005, NIR 2014, IOR 2010, Skm-Enviro 2010, Heat-Pump Studie 2014]	116
Abbildung 39:	Beispiel TEWI-Berechnung für Klimageräte für 1 kW Kälteleistung.....	118
Abbildung 40:	Beispiel TEWI-Berechnung für Kompressionskältemaschinen für 1 kW Kälteleistung.....	119
Abbildung 41:	Endenergiebedarf Klimatisierung - Projektionen bis 2030.....	126
Abbildung 42:	Büro-Modellgebäude gemäß [Klauß, Maas 2010]	146
Abbildung 43:	Zonierung des Büro-Referenzgebäudes mit mehreren kleinen Serverräumen.....	146
Abbildung 44:	Geometrien des berücksichtigten Modellgebäudes Großes freistehendes Rechenzentrum; Grundriss	148
Abbildung 45:	Geometrien des berücksichtigten Modellgebäudes Großes freistehendes Rechenzentrum; Schnitt	149
Abbildung 46:	Schema Optimales Praxis-Konzept für die Typenklasse „kleine Serverräume in Bürogebäuden“	152
Abbildung 47:	Schema optimierte Lösung für die Typenklasse „baulich eingebundenes mittelgroßes Rechenzentrum.....	153
Abbildung 48:	Schema des über Luft/Luft-Wärmeübertrager gekühlten Rechenzentrums mit kontrollierter Belüftung der Racks	154
Abbildung 49:	Außentemperatur des Untersuchungsjahres, Standort: Würzburg.....	156
Abbildung 50:	Schema Variante 0, Funktionsprinzip.....	157
Abbildung 51:	Ergebnis-Darstellung Variante 0, Gesamtstrom-Zusammenstellung	158
Abbildung 52:	Schema Variante 1, Funktionsprinzip.....	158
Abbildung 53:	Ergebnis-Darstellung Variante 1, Gesamtstrom-Zusammenstellung	159
Abbildung 54:	Ergebnis-Darstellung Variante 1 (inkl. PV), Gesamtstrom-Zusammenstellung	160
Abbildung 55:	Schema Variante 2, Funktionsprinzip.....	161
Abbildung 56:	Ergebnis-Darstellung Variante 2, Gesamtstrom-Zusammenstellung	161
Abbildung 57:	Ergebnis-Darstellung Variante 2 (inkl. PV), Gesamtstrom-Zusammenstellung	162
Abbildung 58:	Ergebnis-Darstellung Variante 2 (inkl. PV und mit natürlichem Kältemittel), Gesamtstrom-Zusammenstellung	163
Abbildung 59:	Ergebnisübersicht der resultierenden äquivalenten CO ₂ -Emissionen (TEWI) aus den untersuchten Varianten der Serverraumklimatisierung in einem Bürogebäude; Angaben in kg CO ₂	167

Abbildung 60:	Ergebnis-Darstellung des Stromverbrauchs (Klimatechnik+ ggf. Mehrverbrauch der IT-Technik) des mittelgroßen Serverraumes; Variante 0 (Referenz), in kW	170
Abbildung 61:	Ergebnis-Darstellung des Stromverbrauchs (Klimatechnik+ ggf. Mehrverbrauch der IT-Technik) des mittelgroßen Serverraumes; Variante 1, in kW	171
Abbildung 62:	Ergebnis-Darstellung des Stromverbrauchs (Klimatechnik+ ggf. Mehrverbrauch der IT-Technik) des mittelgroßen Serverraumes; Variante 2, in kW	172
Abbildung 63:	Ergebnis-Darstellung des Stromverbrauchs (Klimatechnik+ ggf. Mehrverbrauch der IT-Technik) des mittelgroßen Rechenzentrums; Variante 3, in kW.....	173
Abbildung 64:	Ergebnisübersicht der resultierenden äquivalenten CO ₂ -Emissionen (TEWI) der untersuchten Varianten eines in ein Bürogebäude eingebundenen mittelgroßen Rechenzentrums; Angaben in t CO ₂	176
Abbildung 65:	Ergebnis-Darstellung Variante 0 (Referenz), Stromverbrauch (Klimatechnik+ ggf. Mehrverbrauch der IT-Technik) in kW	179
Abbildung 66:	Ergebnis-Darstellung Variante 0a (erhöhte Zulufttemperatur), Stromverbrauch (Klimatechnik+ggf. Mehrverbrauch der Systemtechnik) in kW.....	180
Abbildung 67:	Ergebnis-Darstellung Variante 1 (Kontrollierte Zuluft → Kaltgangeinhausung), Stromverbrauch (Klimatechnik+ ggf. Mehrverbrauch der IT-Technik) in kW	181
Abbildung 68:	Ergebnis-Darstellung Variante 1a (Kaltgangeinhausung und erhöhte Zulufttemperaturen), Stromverbrauch (Klimatechnik+ ggf. Mehrverbrauch der IT-Technik) in kW	182
Abbildung 69:	Ergebnis-Darstellung Variante 2 (wie V1 + Luft-Luft Wärmeübertrager und kontrollierte Zulufttemperaturanhebung), Stromverbrauch (Klimatechnik+ggf. Mehrverbrauch der IT-Technik) in kW	183
Abbildung 70:	Ergebnis-Darstellung Variante 3 (wie V2 + mit Adiabatischer Kühlung), Stromverbrauch (Klimatechnik+ ggf. Mehrverbrauch der IT-Technik) in kW	184
Abbildung 71:	Ergebnis-Übersicht resultierenden äquivalenten CO ₂ -Emissionen (TEWI, direkt: grün, indirekt: blau) der untersuchten Varianten des großen freistehenden Rechenzentrums in ktCO ₂	185
Abbildung 72:	Ergebnis-Übersicht resultierenden CO ₂ -Emissionen (direkt: rot, indirekt: blau) der untersuchten Varianten des großen freistehenden Rechenzentrums bei einer angenommenen zukünftigen Reduzierung des CO ₂ -Emissions-Faktors für Strom um 50 % auf 280 gCO ₂ /kWh in ktCO ₂	189

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Füllmenge für Kompressionskältemaschinen in kg/kW Nennkälteleistung laut Herstellerangaben.....	21
Tabelle 2:	Parameter für die weitere Berechnung aus den Veröffentlichungen [UBA 2014, NIR 2014] und Herstellerangaben [eigene Auswertung].....	22
Tabelle 3:	Matrixdarstellung der Adressierung der ermittelten Hemmnisse durch bestehende Instrumente	25
Table 4:	Filling quantities for compression chiller in kg per kW of nominal chilling power according to manufacturer information.....	29
Table 5:	Parameters for the following calculations cited from [UBA 2014, NIR 2014] and manufacturer information [own evaluations]	30
Table 6:	Existing instruments addressing the identified barriers.....	32
Tabelle 7:	Kälte-, End- und Primärenergiebedarf nach [Nachhaltige Kälteversorgung 2014].....	36
Tabelle 8:	Kälte-, End- und Primärenergiebedarf nach Branchen, inklusive Untergruppen [Nachhaltige Kälteversorgung 2014].....	38
Tabelle 9:	Kälte-, End- und Primärenergiebedarf für die Klimatisierung von Nichtwohngebäuden sowie Serverräumen und Rechenzentren in Anlehnung an [Nachhaltige Kälteversorgung 2014].....	39
Tabelle 10:	Anzahl der Baufertigstellungen von Nichtwohngebäuden [Statistisches Bundesamt, Lange Reihe Baufertigstellung 2012].....	43
Tabelle 11:	Auf Basis des Brutto-Anlagevermögens kalkulierte Bestandsdaten für den Nichtwohnbaubestand nach NWG-Arten nach [BMVBS 2011].....	46
Tabelle 12:	Auf Basis der Relation im Wohngebäudebereich kalkulierten Bestandsdaten für den Nichtwohnungsbaubestand nach [BMVBS 2011].....	46
Tabelle 13:	Flächenbestand an Nichtwohngebäuden mit GHD-Nutzung (ohne Landwirtschaft, Gartenbau und Flughäfen) nach [GHD- Energieverbrauch2014] im Jahr 2008.....	49
Tabelle 14:	Gebäudebestand an Nichtwohngebäuden mit GHD-Nutzung (ohne Landwirtschaft, Gartenbau und Flughäfen) nach [GHD- Energieverbrauch2014] im Jahr 2008.....	50
Tabelle 15:	Prozentuale Verteilung der Nichtwohngebäude mit GHD-Nutzung (ohne Landwirtschaft, Gartenbau und Flughäfen).....	51
Tabelle 16:	Typologie und Anzahl von Rechenzentren gem. [UBA 55/2010] und [BITKOM 2014].....	52
Tabelle 17:	Technische Kenndaten von Serverräumen nach [RenewIT D7.1].....	55
Tabelle 18:	Technische Kenndaten von sehr kleinen Rechenzentren nach [RenewIT D7.1].....	55

Tabelle 19:	Technische Kenndaten von kleinen Rechenzentren nach [RenewIT D7.1].....	55
Tabelle 20:	Technische Kenndaten von mittleren bis großen Rechenzentren nach [RenewIT D7.1].....	56
Tabelle 21:	Prozentuale Verteilung der Nichtwohngebäude mit GHD-Nutzung (ohne Landwirtschaft, Gartenbau und Flughäfen).....	57
Tabelle 22:	Einteilung in Tier-Klassen [BITKOM 2010]	70
Tabelle 23:	Einteilung in Verfügbarkeitsklassen nach BSI [BITKOM 2013]	71
Tabelle 24:	Einteilung in Serverklassen nach [BIT energieeffiziente Serverräume 2011].....	72
Tabelle 25:	Empfehlungen und Beispiele zur Zulufttemperatur aus Empfehlungen, Veröffentlichungen und Projekten.....	76
Tabelle 26:	Leistungsdichte und Rahmenbedingungen nach [Whitepaper 2012]	82
Tabelle 27:	Übersicht Leistungszahlen von Wärmepumpen im Heizbetrieb [DIN 18599-5, 12/2011].....	88
Tabelle 28:	Übersicht Leistungszahlen von Wärmepumpen im Kältemaschinenbetrieb [DIN 18599-6, 12/2011].....	89
Tabelle 29:	Benchmark der Best Practice-Beispiele aus BMU-Veröffentlichung [BMU, 2009].....	91
Tabelle 30:	Übersicht Kälteerzeugungssysteme nach [DIN V 18599].....	94
Tabelle 31:	Standardsysteme Kompressionskältemaschine [eigene Erfahrungswerte, DIN V 18599, UBA2005, UBA 2010, Herstellerangaben].....	97
Tabelle 32:	Standardsysteme Raumklimageräte [eigene Erfahrungswerte, DIN V 18599, UBA2005, Herstellerangaben, UBA 2010]	98
Tabelle 33:	Standardsysteme Absorptionskältemaschinen [eigene Erfahrungswerte].....	98
Tabelle 34:	Standard-Nennkälteleistungen EER für wassergekühlte Kompressionskältemaschinen gemäß [[DIN V 18599, Teil 7 2011-12 Tabelle 26] für Standardsysteme.....	99
Tabelle 35:	Standard-Nennkälteleistungen EER für luftgekühlte Kompressionskältemaschinen gemäß [DIN V 18599, Teil 7 2011-12 Tabelle 28] für Standardsysteme.....	99
Tabelle 36:	Standard-Nennkälteleistungen EER luftgekühlter Raumklimasysteme gemäß [DIN V 18599, Teil 7 2011-12 Tabelle 30-31] für Standardsysteme.....	100
Tabelle 37:	Standard-Nennwärmeverhältnis ξ für Absorptionskältemaschine gemäß [DIN V 18599, Teil 7 2011-12 Tabelle 33] für Standardsysteme	100
Tabelle 38:	Teillastfaktoren für Raumklimageräte gemäß [DIN V 18599, Teil 7] für Serverräume und Rechenzentren	101

Tabelle 39:	Teillastfaktoren für wassergekühlte Kälteanlagen* gemäß [DIN V 18599, Teil 7] für Serverräume und Rechenzentren zur Raumkühlung	102
Tabelle 40:	Teillastfaktoren für luftgekühlte Kälteanlagen gemäß [DIN V 18599, Teil 7] für Serverräume und Rechenzentren zur Raumkühlung	102
Tabelle 41:	Jahreskälteleistungszahl SEER für Kompressionskältemaschinen gemäß [DIN V 18599].....	103
Tabelle 42:	Jahreskälteleistungszahl SEER für Raumklimageräte gemäß [DIN V 18599].....	103
Tabelle 43:	Jahreskälteleistungszahl ζ_{av} für Absorptionskältemaschinen gemäß [DIN V 18599].....	104
Tabelle 44:	Kältemittel für die Gebäudeklimatisierung.....	105
Tabelle 45:	Füllmengen von Kältemittelaus unterschiedlichen Quellen [UBA 2005], [SKM 2010], [NIR 2014].....	107
Tabelle 46:	Füllmenge für Kompressionskältemaschinen in kg/kW Nennkälteleistung laut Herstellerangaben.....	112
Tabelle 47:	Jährliche durchschnittliche Kältemittelverluste [UBA 2005, UBA 2014, NIR 2014, IOR 2010, VDKF 2013, Skm-Enviro 2010, Heat-Pump Studie 2014].....	113
Tabelle 48:	Entsorgungsverluste [UBA 2014, NIR 2014, Skm-Enviro 2010]	114
Tabelle 49:	Lebensdauer [UBA 2005, UBA 2014, NIR 2014, Skm-Enviro 2010, VDI 2067]	114
Tabelle 50:	Parameter für die weitere Berechnung aus der Veröffentlichungen [UBA 2014, NIR 2014] und Herstellerangaben [eigene Auswertung].....	116
Tabelle 51:	Legende zu Abbildung 39	118
Tabelle 52:	Legende zu Abbildung 40	119
Tabelle 53:	Hersteller Kältemaschinen mit natürlichen Kältemitteln, Mittelwerte der Veröffentlichungen, [UBA 2005, UBA 2014, NIR 2014, IOR 2010, VDKF 2013, Skm-Enviro 2010, Heat-Pump Studie 2014, Cofely Service, VDI 2067, cci Dialog GmbH].....	120
Tabelle 54:	Europäische Sektorziele für 2050	122
Tabelle 55:	Ziele für den Gebäudesektor nach dem Energiekonzept der Bundesregierung	124
Tabelle 56:	Grundsätze für Niedrigstenergiegebäude und die Implikationen für Rechenzentren	125
Tabelle 57:	Verbesserungsvarianten und Energieeinsparungen in Bürogebäuden	127
Tabelle 58:	Überschreitungsstunden und -häufigkeiten von unterschiedlichen Temperaturgrenzen für den Standort Würzburg pro Jahr	128

Tabelle 59:	Lösungen mit natürlichen Kältemitteln/ohne Kältemittel.....	131
Tabelle 60:	Übersicht Lösungen mit HFKW-Kältemitteln	136
Tabelle 61:	Hybrid-Lösungen mit natürlichen und HFKW-Kältemitteln.....	138
Tabelle 62:	Steckbrief: Musterbeispiel 1 für die Typenklasse 1: „Kleine Serverräume“	141
Tabelle 63:	Steckbrief: Musterbeispiel 2 für die Typenklasse 1: „Kleine Serverräume“	142
Tabelle 64:	Steckbrief: Musterbeispiel 1 für die Typenklasse 2 „Baulich eingebundene mittelgroße Rechenzentren“.....	142
Tabelle 65:	Steckbrief: Musterbeispiel 2 für die Typenklasse 2 „Baulich eingebundene mittelgroße Rechenzentren“.....	143
Tabelle 66:	Steckbrief: Musterbeispiel für die Typenklasse 3 „Freistehende Rechenzentren“.....	144
Tabelle 68:	Zonierung: Bürogebäude mit mehreren kleinen Serverräumen.....	147
Tabelle 69:	Randbedingungen der Simulationen: Bürogebäude mit mehreren kleinen Serverräumen	151
Tabelle 70:	Evaluierter Varianten: Bürogebäude mit mehreren kleinen Serverräumen.....	157
Tabelle 71:	Evaluierter Varianten: Simulationsergebnisse (Gebäudeebene)	164
Tabelle 72:	Evaluierter Varianten: Simulationsergebnisse (Serverraumbene)	165
Tabelle 73:	Evaluierter Varianten: Bürogebäude mit mehreren kleinen Serverräumen.....	169
Tabelle 74:	Evaluierter Varianten: Simulationsergebnisse (Bezug Klimatisierung des Rechenzentrums)	174
Tabelle 75:	Evaluierter Varianten: Bürogebäude mit mehreren kleinen Serverräumen.....	178
Tabelle 76:	Anforderungen der ursprünglichen Vergabegrundlage des RAL-UZ 161 (Stand Juli 2012), die im Rahmen des vorliegenden Projektes geprüft wurden.....	197
Tabelle 77:	Neue Anforderungen an den EUW Wert gemäß aktueller Vergabegrundlage des RAL-UZ 161 (Stand Februar 2015).....	198
Tabelle 78:	Vorschlag Anforderungen an die Jahresarbeitszahl JAZ gemäß der aktuellen Vergabegrundlage des RAL-UZ 161 (Stand Februar 2015).....	199

Glossar und Abkürzungsverzeichnis

AKM	Absorptionskältemaschine
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
BHKW	Blockheizkraftwerk
BNB	Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen
BSI	Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik
CO₂	Kohlendioxid
COP	Coefficient of Performance (Leistungszahl einer Wärmepumpe)
CPU	Central Processing Unit (Hauptprozessor)
DCIE	Data Center Infrastructure Efficiency, Kehrwert des PUE-Wertes
EER	Energy Efficiency Ratio; Leistungszahl, die die Effizienz einer Kälteanlage unter definierten Auslegungsbedingungen beschreibt
Entsorgungsverluste	Bei der Entsorgung HFKW-haltiger Kühlanlagen in Deutschland ist der Kältemittelkreislaufs zu entleeren (Trockenlegung) und fachgerecht separat zu entsorgen bzw. der Rückverwertung zuzuführen. Bei diesem Prozess entstehen Verluste, die teilweise nicht ganz zu vermeiden sind. Weitere Kältemittelverluste können auch bei der Befüllung der Anlagen entstehen.
EUE	Energy Usage Efficiency; Kennzahl für die Beurteilung der Effizienz der Peripherie eines Rechenzentrums
Fc-Wert	Energieabminderungsfaktor bei Sonnenschutzanlagen
F-Gase	Flourierte Treibhausgase
Füllmengen	Kältemittelfüllmengen von Kälteanlagen: Die Füllmenge beschreibt die Menge an Kältemittel, die im technischen System einer Kälteanlage enthalten ist. Im Rahmen der F-Gas-Verordnung (01.01.2015) werden Kältemittelfüllmengen nicht in Kilogramm, sondern nach ihrem Treibhauspotential in CO ₂ -Äquivalenten bewertet.
GLT	Gebäudeleittechnik
GWP	Global Warming Potential (Treibhauspotenzial, in CO ₂ -Äquivalenten)
HFKW	Teilfluorierter Kohlenwasserstoff
Hosting Service	Bereitstellung von Rechenzentrumskapazitäten
HPC-Cluster	Rechnerverbund zur Erhöhung der Rechenkapazität
IKT	Informations- und Telekommunikationstechnologien
JAZ	Jahresarbeitszahl
KKM	Kompressionskältemaschine

KWK	Anlage mit Kraft-Wärme-Kopplung
KWKK	Anlage mit Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung
Leckagen	<p>Eine (Kältemittel-)Leckage beschreibt eine schadhafte Stelle bzw. Öffnung im technischen Systemen der Kälteanlage, durch das Kältemittel unerwünscht ein- oder austreten können.</p> <p>Eine Leckage kann neben einem Ausfall des technischen Systems zu erheblichen Umweltbelastungen führen.</p> <p>Um die Umweltbelastung zu verringern, hat der Gesetzgeber die regelmäßige Überprüfung von Kälteanlagen auf Leckagen vorgeschrieben.</p>
Lebensdauer	<p>Die Lebensdauer der Kälteanlage ist abhängig von den darin verwendeten technischen Komponenten.</p> <p>Besonders relevant sind hier bewegliche Teile, wie sie im Verdichter vorzufinden sind, der das Kältemittel komprimiert. Ein häufiges Anlaufen bzw. Anspringen des Verdichters verkürzt in der Regel dessen Lebensdauer und u.U. auch das der Kältemaschine.</p>
PCM	Phase Change Material: Thermischer Speicher, der den Energiebedarf eines Phasenübergangs (i. d. R. von flüssig nach fest und umgekehrt) ausnutzt.
PDU	Power Distribution Unit; Stromverteileinheit
PLV	Part Load Value; Faktor zur Bewertung des Teillastverhaltens der Kältemaschine in der DIN 18599
PUE	Power Usage Effectiveness; Der PUE gibt das Verhältnis zwischen dem gesamten Stromverbrauch eines Rechenzentrums zum Stromverbrauchs des IT-Equipments an
PV	Photovoltaik
RAM-Speicher	Arbeitsspeicher (RAM: Random Access Memory)
RLT	Raumluftechnik
RZ	Rechenzentrum
SEER	Seasonal Energy Efficiency Ratio
TEWI	<p>TEWI (Total Equivalent Warming Impact) ist ein Verfahren zur Berechnung des Beitrages zum Treibhauseffekt einer Klima- bzw. Kälteanlage. Der TEWI-Wert erfasst sowohl den direkten Beitrag durch Kältemittelemissionen (Leckagen und Entsorgungsverluste) als auch den indirekten Beitrag der Kohlendioxid- und anderer Gasemissionen, welche durch die Umwandlung der für den Betrieb der Kälteanlage benötigten Energie während ihrer Lebensdauer entstehen.</p> <p>Die CO₂-äquivalenten Treibhausgasemissionen werden in Kilogramm CO₂ angegeben.</p>
USV	Unterbrechungsfreie Stromversorgung
VRF-System	Kühlsystem mit variablen Kältemittelmassenstrom (VRF-Variable Refrigerant Flow)
WP	Wärmepumpe

Zusammenfassung

Hintergrund und Ziel des Forschungsvorhabens

Im Vergleich zur Beheizung von Nichtwohngebäuden, bei der in den letzten Jahren ein Rückgang des spezifischen Energieverbrauchs zu beobachten ist, ist bei der Klimatisierung z.B. durch Bildung von sommerlichen Hitzeinseln, durch zunehmende Urbanisierung, aber auch gestiegene Ansprüche an die thermische Behaglichkeit im Sommer ein gegenläufiger Trend zu beobachten, der zu einem Anstieg des Bedarfs führen kann.

Darüber hinaus ist ein weiter zunehmender Einsatz von Informations- und Kommunikationstechniken in allen Branchen zu verzeichnen. Die möglichen Risiken aber auch Potenziale in diesem Bereich sind somit sehr groß.

Die meisten Klima- und Kälteanlagen sowie Wärmepumpen werden derzeit mit HFKW-Kältemitteln betrieben. Zur Einhaltung der langfristigen Klimaschutzziele ist jedoch ein Umstieg auf natürliche Kältemittel notwendig, der mit einer Verbesserung der Energieeffizienz der Kühlsysteme verknüpft ist. Gleichzeitig ist eine Senkung des Kühlenergiebedarfs anzustreben.

Grundsätzliches Ziel des Forschungsvorhabens ist es, einen möglichst großen Beitrag dazu zu leisten, die von der Gebäudeklimatisierung, insbesondere von Serverräumen und Rechenzentren, ausgehenden klimarelevanten Umweltwirkungen so weit zu reduzieren, dass diese mit den langfristigen Klimaschutzzieilen der Bundesrepublik Deutschland im Einklang stehen.

Wärme- und Kälteversorgung von Nichtwohngebäuden mit Serverräumen / Rechenzentren

Im gleichlautenden Abschnitt 2 werden die aktuellen Rahmenbedingungen von Nichtwohngebäuden allgemein und Nichtwohngebäuden mit Serverräumen und Rechenzentren im Speziellen dargestellt. Hierbei werden sowohl Angaben zum Energiebedarf für die Klimatisierung von Gebäuden sowie zur Anzahl und Eigentümerstruktur dieser Gebäude gemacht als auch relevante Gesetze und Nutzanforderungen spezifiziert.

Demnach wird für die Gebäudeklimatisierung in Deutschland ein Primärenergiebedarf von knapp 30.000 GWh/a benötigt. Die Gesamtfläche der Nichtwohngebäude in Deutschland beträgt je nach Datenquelle zwischen 2–4 Mio. m².

Die Gebäude, in denen Serverräume und Rechenzentren untergebracht sind, sind im wesentlichen Bürogebäude, Bildungsgebäude, Verkaufsstätten und Stand-Alone-Rechenzentren.

Die Auswertungen zeigen, dass rund 15 % der gesamten Nutzfläche an Nichtwohngebäuden in Deutschland Bürogebäude sind.

Eigentums- und Mietverhältnisse der vorhandenen Nichtwohngebäude werden in Deutschland nicht erfasst. In angemieteten Bürogebäuden mit Serverräumen und kleineren Rechenzentren ist die entsprechende Kälteversorgung der Server in der Regel durch den Mieter zu stellen. Investoren statthen solche Räume in der Regel nicht aus, da sie keine Gewährleistung für die Serverräume und die darin herrschenden Temperaturen übernehmen können. Konzepte mit einer zentralen Kälteversorgung des Gebäudes inklusive der Serverräume und Rechenzentren werden in der Regel nur dann umgesetzt, wenn der Eigentümer auch der spätere Nutzer ist und die Gewährleistung für die Serverräume übernehmen kann.

Bei Rechenzentren ist der Einsatz innovativer Technik im Wesentlichen abhängig von den Anforderungen an die zulässige Lufttemperatur und die Ausfallsicherheit der Server. Wird ein Rechenzentrum beispielsweise für unterschiedliche Mieter konzipiert, so werden in der Regel hohe Ausfallsicherheiten und geringe Temperaturen geplant.

Hinsichtlich der relevanten Gesetze sind neben der Energieeinsparverordnung (EnEV) und dem Erneuerbare-Energien-Wärmegegesetz (EEWärmeG) vor dem Hintergrund dieses Forschungsprojektes auch die F-Gas-Verordnung (Verordnung (EU) Nr. 517/2014) zu nennen. Für Rechenzentren sind keine Nachweise nach EnEV erforderlich. Gemäß Auslegung der Fachkommission Bautechnik der Bauministerkonferenz (Auslegungsfragen zur Energieeinsparverordnung – Teil 20 [DIBT Staffel 20]) fällt die Klimatisierung der Server in Rechenzentren unter die Aufrechterhaltung von Prozessen („Konditionierungsvorgänge in Gebäuden“) und nicht unter die Klimatisierung des Gebäudes. Somit bestehen für Rechenzentren und Serverräume hinsichtlich klimarelevanter Anforderungen keine direkt relevanten Gesetze.

Nutzeranforderungen an Rechenzentren bestehen insbesondere bzgl. der Betriebssicherheit. Zur Dimensionierung der Kälteversorgung werden in der Praxis sogenannte „Tier-Klassen“ gemäß [TIA 942] herangezogen. Die Einteilung erfolgt in vier Klassen. Die Anforderungen an Redundanz und Ausfallsicherheit erhöhen sich von Klasse I bis IV.

Die Anforderungen an die Zulufttemperaturen im Rechenzentrum sind abhängig von den folgenden Randbedingungen:

- Erfüllung von Kundenanforderungen
- Gewährleistungsgründe
- Betriebssicherheit und Ausfallsicherheit
- Stromverbrauch

Eine Anhebung der Zulufttemperatur führt bei Serverraumklimatisierung in aller Regel zu einer Minderung des Energieverbrauchs, aber im Gegensatz dazu auch zwangsläufig zu einem erhöhten Energiebedarf der IT-Komponenten [ITHERM 2008], da

- die Drehzahl von CPU-Lüftern i.d.R. temperaturabhängig ist. Eine höhere Temperatur sorgt somit auch für eine höhere Stromaufnahme der Lüfter;
- der elektrische Widerstand ebenfalls temperaturabhängig ist und bei steigenden Temperaturen zunimmt;
- der Wirkungsgrad der Netzteile (Power Distribution Units, PDU) umso schlechter wird, je wärmer sie werden.

Der Mehrverbrauch der IT-Komponenten wird erst ab Zulufttemperaturen von über 27 °C relevant. Gemäß [KKA 2014] beträgt der Mehrverbrauch von Servern bei 35 °C Zulufttemperatur ca. 7–20 %. Die oben genannten Daten, die bei den Untersuchungen berücksichtigt wurden beruhen auf einer Datenabfrage bei IT-Herstellern. Eine andere Untersuchungen [SIGMETRICS 2012] kommt zu dem Schluß, dass der Energieverbrauch von Servern bis zu einer Zulufttemperatur von 30 °C konstant bleibt und erst bei weiterer Erhöhung deutlich ansteigt, bis bei 40 °C ein Plateau erreicht wird. Dabei nimmt der Energiebedarf um bis zu 50 % zu und geht fast ausschließlich auf die erhöhte Lüfterleistung des Servers zurück, während die Verlustleistung der CPU vernachlässigbar ist.

Im Rahmen des ersten Abschnitts wird darüber hinaus auch eine Übersicht der derzeit gängigsten Klimatisierungskonzepte gegeben. Hierbei werden die folgenden Systeme ausführlich beschrieben:

- Kompressionskältemaschinen mit freier Kühlung
- Blockheizkraftwerke mit Sorptionskühlung
- Freie Kühlung mit Grundwasser, Geothermie oder Luft
- Verbundsysteme
- Rückgewinnung

Als ein Parameter zur Beurteilung der Effizienz eines Rechenzentrums wird häufig der PUE (Power Usage Effectiveness)-Wert herangezogen. Der PUE-Wert gibt das Verhältnis des gesamten Stromverbrauch eines Rechenzentrums zum Stromverbrauch des IT-Equipments an. Zum Stromverbrauch des IT-Equipments zählt der Verbrauch der Server, Speicher, Netzwerkgeräte, etc., während der Gesamtstromverbrauch im Rechenzentrum zusätzlich noch den Verbrauch von USV, Notstromgeneratoren, Schaltanlage, etc. sowie der Kühlung (Kühlaggregate inkl. Peripherie) miteinschließt.

Im Rahmen eines Energiebenchmarks werden für Best Practice-Rechenzentren PUE-Werte von ca. 1,16 bis 1,69 angegeben. In [Offis, 2009] wurde der durchschnittliche PUE-Wert für Rechenzentren in Deutschland mit 1,67 angegeben.

Es ist dabei jedoch festzustellen, dass in der Praxis die Berechnungsmethoden für den PUE teilweise erheblich voneinander abweichen, was unter anderem an der unscharfen Definition bzw. Abgrenzung liegt. Dies betrifft sowohl die (Nicht-)Berücksichtigung von einigen peripheren Komponenten wie z.B. der USV, als auch den Zeitpunkt bzw. Zeitraum zur Bestimmung des PUEs.

Für die Energieeffizienz-Bewertung der Serverräume bzw. Rechenzentren wird vorgeschlagen, den PUE als Mittelwert zu verwenden. Dieser ist das Integral über die Zeit und entspricht dementsprechend dem Verhältnis der Energieaufnahmen im Betrachtungszeitraum (1 Jahr). Der PUE wird somit zum EU (Energy Usage Effectiveness). Der Vorteil dieser Kenngröße ist, dass alle saisonalen Klimabedingungen als Einflussgröße erfasst werden und u.a. auch die Effizienz des Klimatisierungssystems am besten abgebildet wird.

Im Rahmen des zweiten Abschnitts wird darüber hinaus auch eine Übersicht der derzeit gängigsten Versorgungs- und im Speziellen auch Klimatisierungskonzepte gegeben. Hierbei wird insbesondere auf die unterschiedlichen Standardsysteme der Kälteanlagen mit mechanischem Antrieb (Kompressionskältemaschinen) eingegangen.

Im letzten Teil des zweiten Abschnitts wird eine Übersicht zu Kältemitteln (Typen, Einsatzbereiche, Treibhausgaswirksamkeit, Füllmengen und Leckagen) gegeben.

Die ermittelten typischen Füllmengen, die im Rahmen der weiteren Untersuchung verwendet wurden, sind in der folgenden Tabelle aufgeführt.

Tabelle 1: Füllmenge für Kompressionskältemaschinen in kg/kW Nennkälteleistung laut Herstellerangaben

Kälteleistung	Verdichter	Art der Rückkühlung	Kältemittel	Füllmenge [kg/kW]
<300 kW	Scrollverdichter	Wassergekühlt	R 407C	0,13
		Luftgekühlt	R 410A	0,07
		Wassergekühlt	R 407C	0,25
		Luftgekühlt	R 410A	0,16
>300 und <1000 kW	Schraubenverdichter	Wassergekühlt	R134a	0,25
		Luftgekühlt	R 410A	0,16
		Wassergekühlt	R134a	0,20
>1000 kW	Turboverdichter	Wassergekühlt	R134a	0,31
Splitgeräte		Luftgekühlt	R 410A	0,27*
Multi-Splitgeräte		Luftgekühlt	R 410A	0,37*

Kälteleistung	Verdichter	Art der Rückkühlung	Kältemittel	Füllmenge [kg/kW]
VRF-Systeme		Luftgekühlt	R 410A	0,40*

Quelle: Herstellerangaben

* Füllmengenangaben ohne zusätzliche Befüllung der Rohrleitungen zwischen Außen- und Inneneinheit bei der Installation

Hinsichtlich der Leckagen, Entsorgungsverluste, Füllmengen und Lebensdauern wurden die nachfolgenden Parameter nach Auswertung unterschiedlicher Quellen und Veröffentlichungen für die weiteren Berechnungen herangezogen.

Tabelle 2: Parameter für die weitere Berechnung aus den Veröffentlichungen [UBA 2014, NIR 2014] und Herstellerangaben [eigene Auswertung]

	Leckage [%/a]	Entsorgungs-verluste [%]	Füllmenge [kg]	Lebens-dauer [a]
Splitgeräte	5	49		10
Multisplit	5,6	31,5		13
VRF	6,58	31,5	Entsprechend der Angaben aus vorheriger Tabelle	13
Kältemaschinen Turboverdichter	3,76	21,6		25
Chiller	3,76	21,6		15
Wärmepumpen	2,5	35,2		15

Auf Basis dieser Daten wurden für typische Anlagen TEWI-Berechnungen durchgeführt. Die entsprechenden Ergebnisse sind in Abbildung 39 und Abbildung 40 dargestellt.

Zum Abschluss des Abschnitts wird in Tabelle 53 eine Übersicht von Herstellern von Kälteanlagen mit natürlichen Kältemitteln gegeben.

Anforderungen und Konzepte für klimaschonende Wärme- und Kälteversorgung von Nichtwohngebäuden mit Serverräumen/Rechenzentren

Zu Beginn des dritten Abschnitts wird zunächst unter Berücksichtigung der langfristigen Klimaschutzziele der Bundesrepublik Deutschland und der theoretischen Potenziale bei Klimatisierung - basierend auf einer Recherche zu diesbezüglichen Veröffentlichungen - ein Zielkorridor für den Bereich der Klimatisierung für Gebäude in Deutschland abgeleitet.

Für die Gebäudekühlung und die Klimatisierung von Rechenzentren und Serverräumen können demnach noch ambitioniertere Klimaschutzziele vorausgesetzt werden als für den Gebäudesektor insgesamt. Bis 2050 sollte, trotz voraussichtlich anhaltendem Wachstum im IT-Sektor, eine Reduzierung der kühlungsbedingten CO₂-Emissionen von Gebäuden und Rechenzentren um über 90 % angestrebt werden.

Im zweiten Teil des dritten Abschnitts wird eine Übersicht von realisierten Beispielgebäuden gegeben (Good Practice-Beispiele), bei denen Techniken angewendet wurden, die eine ausreichende Treib-

hausgasemissionsreduktion zur Erreichung des zuvor abgeleiteten Zielkorridors gewährleisten können.

Hierbei wurde die folgende Klassifizierung vorgenommen:

1. **Kleine Serverräume** innerhalb eines Nichtwohngebäudes mit jeweils ca. 0–10 kW wirksamer IT-Anschlussleistung
2. **Baulich eingebundene mittelgroße Rechenzentren:** Große Serverräume /kleine bis mittelgroße Rechenzentren innerhalb eines Nichtwohngebäudes mit ca. 10–300 kW wirksamer IT-Anschlussleistung
3. **Große freistehende Rechenzentren** mit in der Regel deutlich über 300 kW wirksamer IT-Anschlussleistung
4. **Sonstige Konzepte**, die den o.g. Anforderungen entsprechen und die ggf. auf eine der zuvor genannten Typenklassen übertragen werden können.

Im Rahmen von Übersichten wurden die wesentlichen Parameter der Projekte bzw. Produkte zusammengestellt. Bei den Zusammenstellungen wurde zwischen

- A. **Lösungen mit natürlichen Kältemitteln bzw. ohne Kältemittel,**
- B. **Lösungen mit HFKW-Kältemitteln und**
- C. **Hybrid-Lösungen mit HFKW- und natürlichen Kältemitteln**

unterschieden.

Durch die Darstellung und Untersuchung der optimierten Konzepte für die drei Typenklassen

1. Kleine Serverräume,
2. Baulich eingebundenes mittelgroßes Rechenzentrum und
3. Großes freistehendes Rechenzentrum

konnte gezeigt werden, dass, ausgehend von bereits energieeffizienten Referenzausführungsvarianten, Verbesserungspotenziale der TEWI-Werte von 70 % bis 100 % möglich sind. Bei allen Größenklassen ist es möglich, durch die Implementierung von Klimaanlagen mit natürlichen Kältemitteln die TEWI-Werte nochmals deutlich zu senken. Für das große und mittlere Rechenzentrum liegen die Reduktionspotenziale in einer Größenordnung von 15 %. Rechnerisch ergeben sich bei den kleinen eingebundenen Serverräumen durch die Berücksichtigung einer Klimaanlage mit natürlichen Kältemitteln sogar deutlich negative TEWI-Werte im Vergleich zur Referenz. Geht man davon aus, dass entsprechend der Anforderungen an den Klimaschutz künftig der Emissionsfaktor für Strom sinkt, gewinnen die direkten Emissionen aus Kältemittelleckagen, Havarien und Entsorgung zunehmend an Bedeutung.

Daher steigt auch der relative Vorteil des optimalen Praxis-Konzeptes mit F-Gas-freier Redundanzkälte gegenüber Lösungen mit konventionellen Kältemitteln.

Alle dargestellten Lösungskonzepte weisen gegenüber dem Referenzkonzept mit effizienter konventioneller Klimatisierung erheblich reduzierte Betriebskosten auf. Hinsichtlich der Investitionskosten ist vor allem bei den kleinen Serverräumen und dem mittelgroßen, baulich eingebundenen Rechenzentrum mit signifikanten Mehrkosten zu rechnen. Es ist jedoch davon auszugehen, dass sich die höheren Investitionen in weniger als 10 Jahren amortisieren werden. Die Implementierung des optimierten Konzepts für das große freistehende Rechenzentrums ist, wenn überhaupt, nur mit geringfügigen Investitions-Mehrkosten verbunden, die sich ggf. innerhalb weniger Monate amortisieren.

Durch die Untersuchungen konnte zum einen die Machbarkeit des zuvor angegebenen Zielkorridors untermauert werden und zum anderen werden aber auch Anregungen für Investoren und Planer gegeben.

Empfehlungen für klimaschonendere Wärme- und Kälteversorgung von Gebäuden mit Serverräumen/Rechenzentren

Im Rahmen des vierten Abschnitts liegt der Schwerpunkt auf einer Untersuchung von Instrumenten, die die Erreichung der für den Sektor spezifizierten Klimaschutzziele gewährleisten. Zunächst werden dazu die derzeitigen wesentlichen Hemmnisse einer klimaschonenden Klimatisierung von Rechenzentren und Serverräumen spezifiziert.

Wesentliche Hemmnisse sind

1. mangelnde Erfahrung der Investoren sowie mangelnde Qualifikation von Planern und Installateuren,
2. das Risiko höherer Investitions- und Instandhaltungskosten, vor allem bedingt durch fehlende Skaleneffekte und Sicherheitsaufschläge in Folge mangelnder Erfahrung und
3. zu niedrige Zulufttemperaturen auf Grund übertriebener Sicherheitsansprüche, die eine effiziente Freikühlung verhindern.

Aufbauend darauf wurde untersucht, inwieweit unterschiedliche Instrumente derzeit diese Hemmnisse geeignet adressieren und welche Verbesserungsmöglichkeiten bestehen.

Eine Übersicht der Adressierung der Hemmnisse durch bestehende Instrumente zeigt die folgende Tabelle.

Tabelle 3: Matrixdarstellung der Adressierung der ermittelten Hemmnisse durch bestehende Instrumente

	Mangelnde Erfahrung	Investitionskosten	Betriebstemperaturen Systemtechnik
EnEV	-	-	-
EEWärmeG	+	+	-
Ökodesign Richtlinie	-	+	-
EDL-G	+	-	-
RAL-UZ 161	++	-	+
EU-Code of Conduct for Data Centres Energy Efficiency	++	+	++
DIN EN 50600	++	+	++
Informationen und Aufklärung zu dem Thema: Energieeffiziente Rechenzentren	++	-	+
Förderung BW	++	+++	+
Wettbewerbe	++	+++	+

Bewertung:

- : Keine Adressierung
- +: indirekte Adressierung mit beschränkter Wirkung,
- ++: indirekte Adressierung oder direkte Adressierung mit

beschränkter Wirkung,
+++: direkte Adressierung mit guter Wirkung

Beiträge zur Weiterentwicklung des Umweltzeichens Blauer Engel für Energieeffizienten Rechenzentrumsbetrieb (RAL-UZ 161) bildeten einen Schwerpunkt bei der Erarbeitung von Empfehlungen.

Für die aktuelle Ausgabe der Vergabegrundlage wurden im Rahmen des vorliegenden Forschungsprojektes Beiträge zu den folgenden Anforderungen erarbeitet:

- EUE: Energy Usage Effectiveness
- JAZ: Jahresarbeitszahl
- Kältemittel
- Anforderungen an die Effizienz von thermischen Sorptionskältemaschinen

Das Forschungsprojekt schließt mit Vorschlägen zu neuen Instrumenten, die geeignet sind, um die identifizierten Lücken in der Adressierung der Haupthemmisse zu beseitigen.

Folgende neuen Instrumente wurden vorgeschlagen:

1. Regulatorische Vorgaben zur Begrenzung von Treibhausgasemissionen von Klimaanlagen von Serverräumen und Rechenzentren
2. Einführung einer Kennzeichnungspflicht der zulässigen Betriebstemperaturen von Systemtechnikkomponenten für Rechenzentren und Serverräume
3. Besteuerung von F-Gashaltigen Kältemitteln
4. Begleitendes Bundesprogramm zur Förderung der Zertifizierung mit dem Blauen Engel für Energieeffizienten Rechenzentrumsbetrieb (RAL-UZ 161)

Durch Implementierung der oben genannten Instrumente würden die optimalen Rahmenbedingungen für eine breite Marktdurchdringung von klimaschonenden Klimatisierungssystemen in Nichtwohngebäuden mit Serverräumen und Rechenzentren geschaffen, die mit den langfristigen Klimaschutzzielen der Bundesregierung konform sind.

Summary

Background and scope of this research project

In contrast to the heating of non-residential buildings, where a decrease of the specific final energy consumption during the last couple of years can be noticed, the trend in the case of air conditioning seems to be reversed due to the appearance of so called heat islands in the summer, caused by an accelerating urbanisation, but also by an increased demand for thermal comfort in summer, which can result in an increased final energy demand.

Furthermore, an increasing utilisation of information and communication technologies can be recorded in all sectors. The possible risks but also potentials in this are therefore very high.

Most air conditioning and cooling units as well as heat pumps today use HFC refrigerants. To achieve the long-term climate targets, a change towards natural refrigerants should be aspired, combined with improvements of the energy efficiency of the cooling systems.

The overall scope of this research project is to contribute as much as possible to the reduction of climate relevant environmental impacts caused by the air conditioning of buildings, especially of server rooms and data centres, so they comply with the long-term climate protection targets of the Federal Republic of Germany.

Heating and cooling of non-residential buildings with server rooms / data centres

In section 2, the current framework of non-residential buildings in general and non-residential buildings with server rooms and data centres, is explained. This includes specific information about the energy demand for air conditioning of buildings, the number and ownership structures of these buildings as well as relevant regulations and user requirements.

According to this, 30.000 GWh/a of primary energy is required for the air conditioning of buildings in Germany. All non-residential buildings in Germany together have a total gross floor area of 2-4 Mio. m², depending on the data source.

The buildings containing server rooms and data centres are primarily office buildings, educational buildings, sales buildings and stand-alone data centres.

The analyses show that about 15 % of the total non-residential useful surface in Germany belongs to office buildings.

Ownership and tenant structures of the existing non-residential buildings are not recorded in Germany. In rented office buildings with server rooms and smaller data centres, the tenant usually has to care for the cooling supply. Investors usually do not provide this since they cannot warrant for the server rooms and the required temperatures. As a rule, concepts for a centralised cooling supply for a building including specifically server rooms and data centres are only realised if the owner will also be the occupant and can warrant for the server rooms.

In data centres the usage of innovative cooling technologies is basically depending on the efforts of the allowed air temperatures and the reliability of operation of the servers. If a data centre is conceptualised for several tenants, usually high reliabilities and low temperatures will be considered.

Regarding regulations, besides Energy Saving Ordinance (EnEV) and Renewable Energy Heat Act (EEWärmeG), the F-Gas Regulation (Regulation (EU) No 517/2014) is relevant for this research project, too. For data centres, no compliance according to EnEV is required. Following the argumentation of the expert commission for building techniques in the conference of construction ministers (Auslegungsfragen zur Energieeinsparverordnung – Teil 20 [DIBT Staffel 20]), the air conditioning of servers in data centres is classified as maintenance of processes („Konditionierungsvorgänge in

Gebäuden“) and not as air conditioning of the building. Therefore, no specific regulations exist that have climate related relevance for data centres and server rooms.

User requirements for data centres especially comprise operational safety. In practice, cooling supply is categorised by four, “Tier”-classes in accordance with [TIA 942]. The requirements for redundancy and reliability increase from Tier I to IV.

The requirements for supply temperatures in data centres depend on the following framework:

- Compliance with customer requirements
- Warranty reasons
- Operational safety and reliability
- Energy consumption.

Increasing the temperature of the supply air usually results in reduced energy consumption for the air conditioning of server rooms, but on the other side inevitably leads to a rising energy demand of the IT components [ITHERM 2008], because:

- The speed of CPU fans usually depends on the temperature. Higher temperatures therefore cause higher power consumption of the fans.
- The electrical resistance also depends on the temperature and therefore increases with rising temperatures too.
- The efficiency of the power distribution units (PDU) decreases with rising temperatures.

The additional consumption of the IT components becomes significant with supply temperatures above 27°C. According to [KKA 2014], the additional consumption of servers is 7 %-20 % at a supply temperature of 35°C. The previously mentioned data, which are also used for the further examinations within this study stem from surveys of IT OEMs. Other observations [SIGMETRICS 2012] suggest that server energy consumption stays constant with supply air temperatures up to 30 °C. Further temperature rise results in considerable power consumption increase and levels off at 40 °C. Additional power consumption is 50 % at 40 °C and almost exclusively due to increased fan power, whereas CPU power leakage is negligible.

An overview of the most common air conditioning concepts is give in the first section of this report. The following systems are described in detail:

- Compression chillers with free cooling
- Cogeneration unit with sorption cooling
- Free cooling with ground water, geothermal energy or air
- Combined systems
- Heat recovery

One frequently used parameter for the evaluation of the efficiency of data centres is the so-called power usage effectiveness (PUE) value. The PUE value is defined as the ratio between the total electricity consumption of a data centre and the electricity consumption of the IT equipment. The electricity consumption of the IT equipment comprises the consumption of servers, memory, network appliances, etc. While the total electricity consumption additionally includes the consumption of USV, emergency generators, switchgear, and cooling (cooling unit incl. periphery).

Best practice data centres achieve PUE values between 1.16 and 1.69. in the frame of an energy benchmark [Offis, 2009], which indicates an average PUE value of 1.67 for data centres in Germany.

However, one can see that PUE calculation methods in practice are very different, partly due to a rather unspecific definition. This relates to the consideration of periphery components like the USV, as well as assessment time or period of the PUE.

For the assessment of the energy efficiency of server rooms and data centres it is suggested to use the average PUE as the sum over the observation period (1 year). This PUE is than equal to an EU (Energy Usage Effectiveness). The advantage of this indicator is that all seasonal climate conditions are recorded and, among others, it shows best the efficiency of the air conditioning system.

Furthermore, an overview of the most common supply and specificly air conditioning concepts is given within the second section. Special attention is paid to the different standard systems of mechanically driven cooling units (compression chillers).

The concluding part of the second section contains an overview on refrigerants (types, applications, green house effects, filling quantities and leakages).

The assessed typical filling quantities used for the following evaluation are summarised in the following table.

Table 4: Filling quantities for compression chiller in kg per kW of nominal chilling power according to manufacturer information

Chilling power	Compressor	Type of re-cooling	Refrigerant	Filling quantity [kg/kW]
<300 kW	Scroll compressor	Water-cooled	R 407C	0,13
		Air-cooled	R 410A	0,07
	Screw compressor	Water-cooled	R 407C	0,25
		Air-cooled	R 410A	0,16
>300 and <1000 kW	Screw compressor	Water-cooled	R134a	0,25
		Air-cooled	R 410A	0,16
>1000 kW	Turbo compressor	Water-cooled	R134a	0,20
Split devices		Air-cooled	R 410A	0,31
Multi-Split devices		Air-cooled	R 410A	0,27*
VRF-Systems		Air-cooled	R 410A	0,37*

Source: Manufacturer information

* Filling quantities without filling pipes between exterior and inner unit

Regarding leakages, disposal losses, filling quantities and lifetimes, the following parameters have been considered for the calculations after the evaluation of different sources and publications.

Table 5: Parameters for the following calculations cited from [UBA 2014, NIR 2014] and manufacturer information [own evaluations]

	Leakage [%/a]	Disposal loss- es [%]	Filling quantities [kg]	Life times [a]
Split devices	5	49		10
Multi-Split devices	5,6	31,5		13
VRF	6,58	31,5		13
Cooling units with Turbo compressor	3,76	21,6	As displayed in the previous table	25
Chiller	3,76	21,6		15
Heat pumps	2,5	35,2		15

Based on these data, TEWI (total equivalent warming impact) calculations have been performed for typical systems. The results are displayed in Abbildung 39 and Abbildung 40.

This section ends with Tabelle 53, displaying an overview on manufacturers providing cooling units with natural refrigerants.

Requirements and concepts for climate friendly heating and cooling of non-residential buildings with server rooms / data centres

The third section starts with the definition of a target corridor for the area of air conditioning of buildings in Germany, considering the long-term climate protection targets of the Federal Government of Germany and the theoretical potentials of air conditioning (based on literature research in relevant publications).

Thus, for the cooling of buildings and the air-conditioning of data centres and server rooms, even more ambitious climate targets can be considered than for the total building sector. Until 2050, a reduction of cooling related CO₂ emissions from buildings and data centres of more than 90 % should be aspired, despite an expected growth of the IT sector.

In the second part of the third section, an overview of realised reference buildings (good practice examples) is given, in which suitable technologies have been implemented to ensure appropriate greenhouse gas emission reductions to achieve the formerly defined target corridor.

The following classifications have been applied:

1. **Small server** rooms within non-residential buildings with ca. 0-10 kW effective load each
2. **Large server rooms / small and medium data centres** within non-residential buildings with ca. 10-300 kW effective IT power
3. **Large stand-alone data centres** with regularly significantly more than 300 kW effective IT power
4. **Other concepts** that comply with the requirements mentioned above and which can possibly match with one of the above mentioned classes

Several overviews display the essential parameters of the projects or products. The compilations differentiate between:

- A. solutions with natural refrigerants or without refrigerants,**
- B. solutions with HFC refrigerants, and**
- C. hybrid solutions with HFC and natural refrigerants.**

Descriptions for the respective projects can be found in Tabelle 59 and following tables.

Through reasonable combination of the technologies realised in the good practice examples, further optimised concepts were developed for typical reference buildings with high energy performance (nearly zero energy building based on passive house standard), and evaluated with numerical simulation calculations regarding energy performance and climate effects.

The depiction and evaluation of the optimised concepts for the three categories

1. small sever rooms
2. structurally integrated medium size data centres, and
3. large stand-alone data centres

shows that, even applied for already highly efficient reference cases, optimisation potentials for the TEWI values of 70 % up to 100 % are possible. For all size categories it is possible to reduce the TEWI values again significantly by the implementation of air conditioners using natural refrigerants. For medium and large data centres, the reduction potential by using natural refrigerants is about 15 %. Theoretically, small integrated server rooms with F-gas free air conditioners can achieve even significantly negative TEWI values compared to the reference. Considering that emission factors for electricity are, with respect to increasing requirements for climate protection, likely to decrease, direct emissions from refrigerant leakages, accidents and disposal become more important.

Therefore, the relative benefit of optimal practice concepts relying on F-gas free redundancy cooling becomes more important against solutions based on conventional HFC refrigerants.

In comparison to the reference concept with an efficient conventional air conditioning, all examined solution concepts indicate significantly reduced operating costs. Regarding the investment costs, especially for the Small sever rooms and the Structurally integrated medium size data centres, significantly higher cost have to be considered. However, it can be assumed that those will be paid back in less than 10 years. The implementation of the optimized concept for the large stand-alone data centre is, if at all, only associated with very little higher investment costs. which will payback in case within a few month.

The research was able to underpin, on the one hand, the achievability of the previously established target corridor and to provide, on the other hand, incentives for investors and planners.

Advice for climate protective heating and cooling of buildings with server rooms / data centres

The focus of the fourth section lies on assessing instruments that ensure the sector specific climate targets. First, substantial existing barriers for climate friendly air conditioning of data centres and server rooms were specified.

The following three most important barriers were identified:

1. Limited experience of investors as well as deficient qualifications of planners and installers
2. Risk of higher investment and maintenance costs, particularly due to missing scale effects and increased safety requirements as a consequence of limited experience
3. Too low supply temperatures as a consequence of sensitive system technology, that prohibit efficient free cooling, but mostly as a consequence of exaggerated safety requirements

Subsequently it was assessed to which extent different current instruments adequately address these barriers and which opportunities for optimisations exist.

An overview on how the barriers are addressed with current instruments is given in the following table.

Table 6: Existing instruments addressing the identified barriers

	Limited experience	Investment costs	Operational tempera-tures of system technol-ogy
EnEV	-	-	-
EEWärmeG	+	+	-
Ökodesign Directive	-	+	-
EDL-G	+	-	-
RAL-UZ 161	++	-	+
EU-Code of Conduct for Data Centres Energy Efficiency	++	+	++
DIN EN 50600	++	+	++
Information and education regarding: Energy efficient data centres	++	-	+
Subsidies	++	+++	+
Competitions	++	+++	+

Rating:

- : Not addressed
- + : Indirectly addressed with limited effect
- ++: Indirectly addressed or directly addressed with limited effect
- +++: Directly addressed and effective

One focus of the elaboration of suggestions is on contributions to the further development of the eco-label “Blauer Engel für Energieeffizienten Rechenzentrumsbetrieb” (RAL-UZ 161).

Contributions to the following requirements were elaborated for the current version of the basic criteria during this research project.

- EU: Energy Usage Effectiveness
- COP: Coefficient of performance
- Refrigerants
- Requirements on the efficiency of thermal sorption cooling systems

The research project ends with advice for new instruments that are appropriate to close the identified gaps of addressing the main barriers.

The following new instruments were proposed:

1. Regulations for the limitation of greenhouse gas emissions of air conditioners for server rooms and data centres
2. Implementation of a labelling obligation of the valid operational temperatures of system components for data centres and server rooms
3. Taxation of F-gas containing refrigerants
4. Federal support scheme for the eco-label “Blauer Engel für Energieeffizienten Rechenzentrumsbetrieb” (RAL-UZ 161)

Implementing the beforementioned instruments would create an suitable framework for a wide-spread market penetration of climate friendly air conditioning systems in non-residential buildings with server rooms and datacentres that are in accordance with the German climate targets.

Einleitung

1.2 Hintergrund

Durch zunehmende Verschärfungen der energetischen Anforderungen für Neubauten und Sanierungen, aber auch durch freiwillige, meist auch wirtschaftlich sinnvolle Sanierungsmaßnahmen ist der spezifische Energieverbrauch in Deutschland insbesondere für die Beheizung von Gebäuden in den letzten Jahren zurückgegangen. Wegen der hohen Anforderungen des Klimaschutzes ist es notwendig, dass sich dieser Trend auch künftig fortsetzt bzw. weiter verstärkt.

Das lang- bzw. mittelfristige Klimaschutzziel auf nationaler Ebene lautet:

- Senkung des Primärenergiebedarfs und der CO₂-Emissionen des deutschen Gebäudebestandes bis 2050 um 80 % gegenüber dem Jahr 2005
- Reduktion des Wärmebedarfs bis 2020 um 20 % gegenüber dem Jahr 2005

Dies steht im Einklang mit den übergeordneten CO₂-Zielen der EU für den Gebäudesektor, die folgendermaßen definiert sind: Senkung der Treibhausgasemissionen bis 2050 um 88 % bis 91 % gegenüber dem Jahr 1990.

Seitens der EU werden die Anforderungen für künftige Neubauten durch die Europäische Gebäuderichtlinie EPBD (Energy Performance of Buildings Directive 2010/31/EU) vorgegeben.

Bei den ab 2020 neu zu errichtenden Niedrigstenergiegebäuden gemäß Artikel 9 der EPBD handelt es sich laut Definition um Gebäude die „...eine sehr hohe, nach Anhang I bestimmte Gesamtenergieeffizienz...“ aufweisen. „Der fast bei Null liegende oder sehr geringe Energiebedarf sollte zu einem ganz wesentlichen Teil durch Energie aus erneuerbaren Quellen – einschließlich Energie aus erneuerbaren Quellen, die am Standort oder in der Nähe erzeugt wird – gedeckt werden“. Dabei wird die Gesamtenergieeffizienz laut Anhang I über den „...Energiebedarf für Heizung und Kühlung zur Aufrechterhaltung der gewünschten Gebäudetemperatur und durch den Wärmebedarf für Warmwasser...“ bestimmt.

Im Vergleich zur Beheizung sind bei der Kühlung allerdings auch gegenläufige Trends zu beobachten, die zu einem Anstieg des Bedarfs führen können. Gemäß [UBA 2011] sind hierbei insbesondere die Bildung von sommerlichen Hitzeinseln durch zunehmende Urbanisierung, aber auch gestiegene Ansprüche an die thermische Behaglichkeit im Sommer zu berücksichtigen.

Darüber hinaus ist ein weiter zunehmender Einsatz von Informations- und Kommunikationstechnik in allen Wirtschaftsbereichen zu verzeichnen. Obwohl durch diese Techniken teilweise überhaupt erst neue Effizienzpotenziale erschlossen werden konnten (z.B. bei GLT-Anlagen in Gebäuden) und gleichzeitig auch hier die Effizienz der eingesetzten Komponenten steigt, konnte dies bislang nicht die überproportional stark steigende Marktdurchdringung ausgleichen. Neben dem Strombedarf zum Betrieb der IKT-Anlagen muss bei herkömmlichen Anwendungen (z.B. bei Serverräumen und Rechenzentren) auch ein erheblicher Energieaufwand zur Kühlung dieser Anlagen aufgebracht werden. Die möglichen Potenziale in diesem Bereich sind somit sehr groß.

Die meisten Klima- und Kälteanlagen sowie Wärmepumpen werden derzeit mit HFKW-haltigen Kältemitteln betrieben. Gemäß Verordnung (EU) Nr. 517/2014 (F-Gas-Verordnung) soll die in der EU verwendete HFKW-Menge im Jahr 2030 auf 21 % der durchschnittlichen Gesamtverwendungsmenge der Jahre 2009 bis 2011 verringert werden. Dieses phase down-Schema wird durch ein Quotenmodell umgesetzt, nach dem die Inverkehrbringung einer festgelegten und stufenweise sinkenden Menge HFKW durch autorisierte Unternehmen erfolgt. Die erforderliche HFKW-Reduktion kann teilweise durch Verbesserungen bei der Produktion und der Anlagendichtheit oder durch verbesserte synthetische

tische Kältemittel mit kleineren GWP-Werten erreicht werden. Im Sinne der Absicherung der langfristigen Klimaschutzziele ist jedoch ein Umstieg auf natürliche Kältemittel anzustreben, der mit einer Verbesserung der Energieeffizienz der Kühlsysteme gegenüber dem heutigen Standard verbunden sein sollte. Gleichzeitig müssen die Bemühungen intensiviert werden, den Kühlenergiebedarf zu senken.

1.3 Ziel des Forschungsvorhabens

Grundsätzliches Ziel des Forschungsvorhabens ist es, einen möglichst großen Beitrag dazu zu leisten, die von Gebäudeklimatisierung, insbesondere von Serverräumen und Rechenzentren, ausgehenden klimarelevanten Umweltwirkungen so weit zu reduzieren, dass diese mit den langfristigen Klimaschutzzieilen der Bundesrepublik Deutschland im Einklang stehen.

Ausgehend von einem erforderlichen Kühlenergiebedarf für den Betrieb von Serverräumen und Rechenzentren wird im Rahmen des Forschungsvorhabens der Fokus auf die folgenden Aspekte gelegt:

1. Reduktion des Wärme- und Kältebedarfs in Einklang mit den Erfordernissen der zukünftig geforderten Niedrigstenergiegebäude
2. Energieeffiziente Kälteversorgungslösungen durch Anlagen mit natürlichen Kältemitteln
3. Reduktionsmöglichkeiten des Wärme- und Kältebedarfs und der damit verbunden Treibhausgasemissionen durch Wärme- und Energieverschiebungen und Implementierung von erneuerbaren Energien

Ausgehend von einer umfassenden Darstellung des Status Quo der Gebäudekühlung soll im Rahmen des Projektes ein Zielkorridor für die Klimaschutzziele im Bereich Gebäudekühlung abgeleitet werden.

Für einen maximalen Praxisbezug sollen aus realisierten Beispielen Best-Practice-Lösungen entwickelt, analysiert und dokumentiert werden, die im Einklang mit den Klimaschutzzieilen stehen.

Darauf aufbauend sollen, zur forcierten Umsetzung, Möglichkeiten zur zielgerichteten Überarbeitung von bestehenden Instrumenten, insbesondere zum RAL-UZ 161 (Blauer Engel „Energieeffizienter Rechenzentrumsbetrieb“) ausgearbeitet werden.

Die wesentlichen Hemmnisse, die derzeit einer flächendeckenden Implementierung von klimafreundlichen Klimatisierungslösungen entgegenstehen sind dabei darzustellen und in den Überarbeitungsvorschlägen zu adressieren.

Zur Schließung eventueller Lücken der Hemmnisadressierung in vorhandenen Instrumenten sollen zum Abschluss Vorschläge für neu zu entwickelnde Instrumente gemacht werden, um damit die Rahmenbedingungen für eine klimaschonende Klimatisierung von Nichtwohngebäuden mit Serverräumen und Rechenzentren zu schaffen, die konform mit den langfristigen Klimaschutzzieilen der Bundesregierung sind.

2 Wärme- und Kälteversorgung von Nichtwohngebäuden mit Serverräumen / Rechenzentren

2.1 Bestandsdaten Nichtwohngebäude mit Serverräumen und Rechenzentren

Im vorliegenden Abschnitt wird eine Übersicht über die Bestandsdaten von Nichtwohngebäuden in Deutschland dargestellt. Hierbei soll zum einen der Bestand an Nichtwohngebäuden nach unterschiedlichen Gebäudeklassen (Cluster) aufgezeigt werden. Zum anderen soll der Energieverbrauch für die Gebäudeklimatisierung dargestellt werden. Hauptfokus liegt auf den Bereich der Nichtwohngebäude mit Serverräumen und Rechenzentren. Die Analyse stützt sich auf verfügbare Studien, Statistiken und Forschungsberichte.

2.1.1 Energieverbrauch für die Gebäudeklimatisierung (Heizen und Kühlen)

Im Vergleich zum Energieverbrauch für die Bereiche Verkehr, Energieerzeugung für unterschiedliche Sektoren und die Gebäudebeheizung liegt für den Energieverbrauch für die Klimatisierung von Gebäuden nur sehr lückenhaftes Material vor.

Anders als bei Elektroenergie-, Gas- und Ölverbrauch sowie der Fernwärme wird in der Regel der Verbrauch an Kälteenergie in den Gebäuden nicht gemessen. Aus diesem Grunde liegen nur wenige bzw. unzureichende Zahlen in der Literatur vor.

Eine aktuelle Untersuchung aus dem Jahr 2014 geht auf diese Problematik ein. In [Nachhaltige Kälteversorgung 2014] wurden unterschiedliche Daten aus verschiedenen Quellen zusammengestellt und verglichen. Es wurde eine Methode entwickelt, aus den unterschiedlichen Untersuchungen und Informationen verschiedener Quellen zum Energieverbrauch den Energiebedarf für Kälte für die Bereiche Industrie, Gebäudeklimatisierung und Nahrungsmittelherstellung herzuleiten. Dabei wurden neben der Betrachtung der Nutzenergie für Kälte (unterteilt nach Elektro- und Wärmeenergie), die Bereiche End- und Primärenergie untersucht. Das Ergebnis der Untersuchung ist nachfolgend dargestellt.

Tabelle 7: Kälte-, End- und Primärenergiebedarf nach [Nachhaltige Kälteversorgung 2014]

Bereich	Kälteenergiebedarf			Endenergiebedarf			Primär-energiebedarf [GWh/a]
	Summe [GWh/a]	KKM [GWh/a]	AKM [GWh/a]	Summe [GWh/a]	Strom [GWh/a]	Wärme [GWh/a]	
Industriekälte	18.296	16.831	1.465	15.121	13.030	2.091	35.376
Nahrungsmittelherstellung	14.091	13.845	246	7.259	6.766	493	17.935
Gebäudeklimatisierung	30.786	30.299	487	11.134	10.448	686	27.645
Summe	63.173	60.975	2.198	33.514	30.244	3.270	80.956

Quelle: [Nachhaltige Kälteversorgung 2014], eigene Darstellung

(KKM = Kompressionskältemaschine, AKM = Absorptionskältemaschine)

Abbildung 1: Kältebedarf (Nutzenergie) nach Anwendungsgebieten nach [Nachhaltige Kälteversorgung 2014]

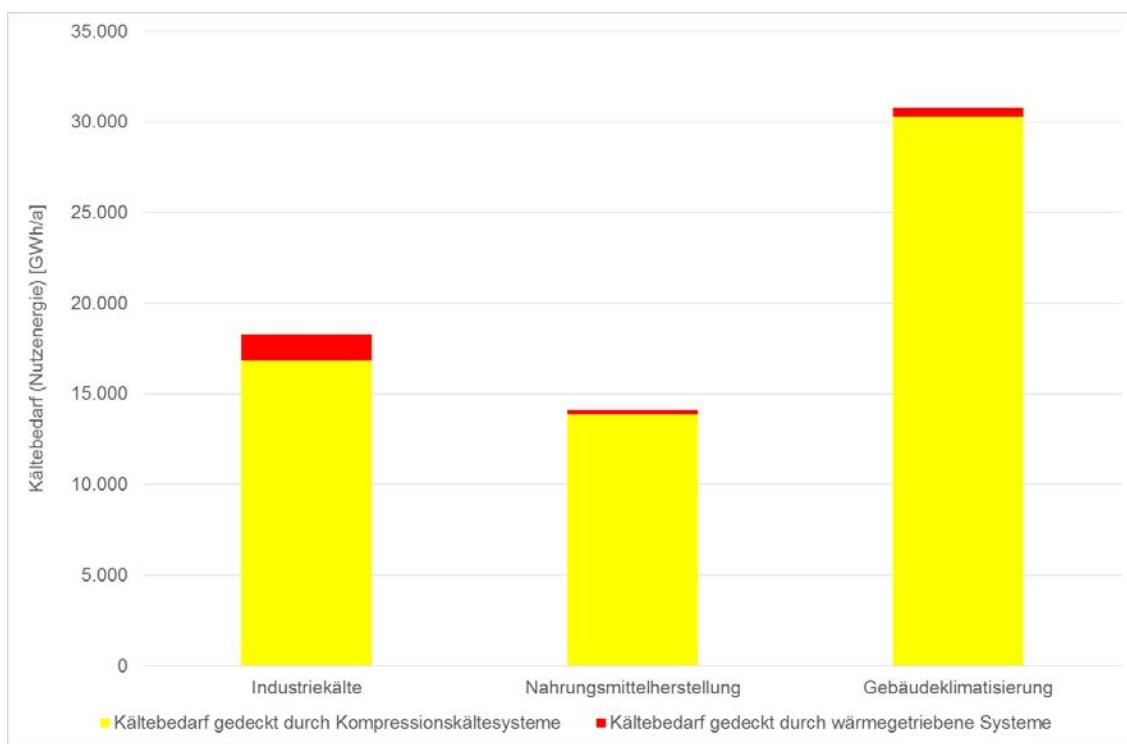
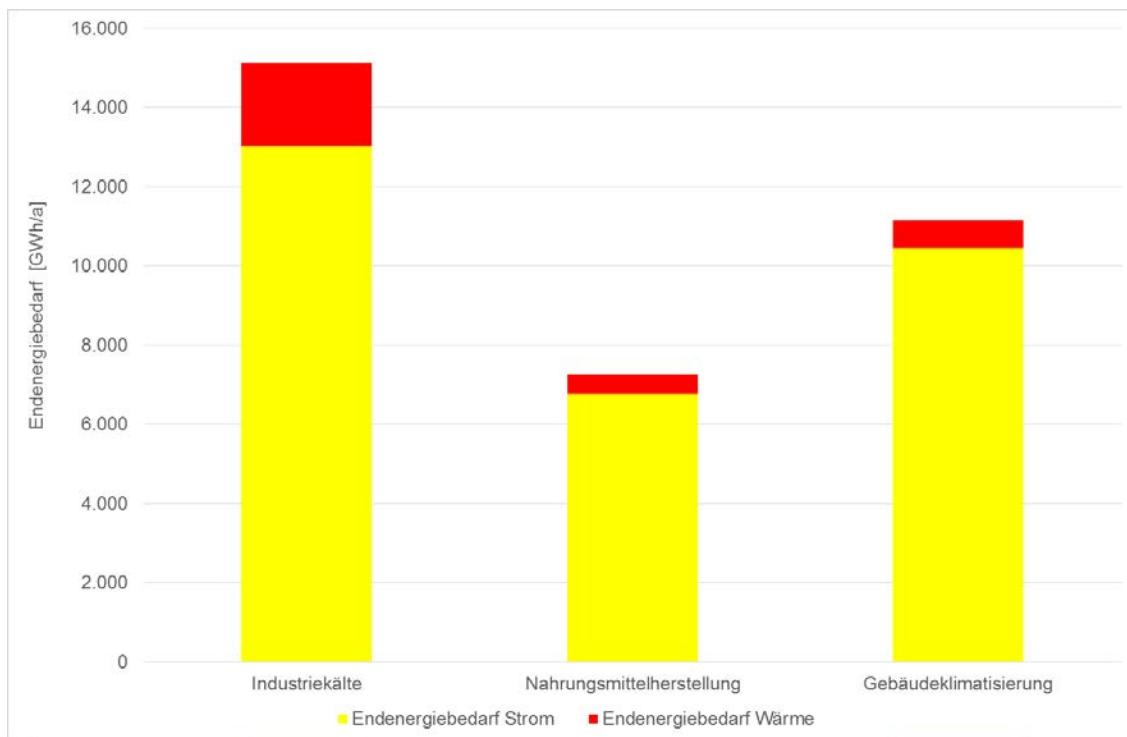


Abbildung 2: Endenergiebedarf für die Kälte nach Anwendungsgebieten nach [Nachhaltige Kälteversorgung 2014]



Die nachfolgende Tabelle 8 zeigt die detaillierte Aufteilung der Haupt- und Untergruppen nach [Nachhaltige Kälteversorgung 2014].

Tabelle 8: Kälte-, End- und Primärenergiebedarf nach Branchen, inklusive Untergruppen
[Nachhaltige Kälteversorgung 2014]

Branche			Kältebedarf [GWh/a]				Endenergiebedarf [GWh/a]			Primärenergiebedarf [GWh/a]
Hauptgruppe	Nebengruppe	Untergruppe	Summe	davon KKM	davon AKM	Bei T _{bedarf} [°C]	Summe	Strom	Wärme	
Industriekälte	Bergbau, Gewinnung von Steinen und Erden (nur Steinkohleabbau)		560	560	0	3	160	160	0	416
	Papier- und Zellstoffindustrie		252	252	0	6	90	90	0	269
	Druckindustrie		679	644	35	20	105	55	50	178
	Übrige chemische Industrie ohne Luft- und Gasverflüssigung		6.065	5.265	800	-4	3.090	1.950	1.140	5.868
	Übrige chemische Industrie: nur Luft- und Gasverflüssigung		1.120	1.120	0	-190	7.540	7.540	0	19.604
	Pharmazeutische Industrie		933	853	80	6	328	213	115	635
	Kunststoff- und gummiverarbeitung		2.820	2.820	0	6	1.410	1.410	0	3.666
	Bau- und Baustoffindustrie		1	1	0	-25	1	1	0	2
	Elektro- und Elektronikindustrie (auch Leiterplattenfertigung und Löten, Halbleiterfertigung)		740	320	420	5	680	80	600	628
	Fahrzeugindustrie		1.550	1.480	70	6	470	370	100	1.032
	Maschinenbau		1.000	1.000	0	6	250	250	0	650
Nahrungsmittelherstellung	Kompressoren, z.B. zur Drucklufterzeugung, Drucklufttrocknung (mit Kältesystemen)		376	376	0	3	94	94	0	244
	Prozesskälte (Flüssigkeitskülsätze) für industrielle Anwendungen		1.824	1.764	60	6	590	504	86	1.370
	Schaltschränkkühlung		376	376	0	20	313	313	0	814
	Nahrungsmittel-industrie	Betriebe ab 50 Beschäftigte NK	5.314	5.208	106	0	1.805	1.627	177	4.355
		Betriebe ab 50 Beschäftigte TK	3.543	3.472	71	-25	2.492	2.315	177	6.142
		Betriebe 20...49 Beschäftigte NK	1.323	1.297	26	0	543	499	44	1.327
		Betriebe 20...49 Beschäftigte TK	882	864	18	-25	764	720	44	1.904
		Nebenprozesse NK	757	742	15	0	322	297	25	789
		Nebenprozesse TK	504	494	10	-25	474	449	25	1.185
Gebäu-de-klimatisie-rung	Brauereien		719	719	0	-7	276	276	0	717
	Milchviehbetriebe		1.049	1.049	0	4	583	583	0	1.516
	Gewerbe Handel Dienstleistungen		9.052	8.677	375	6	3.520	2.992	528	8.149
	Industrie		17.672	17.560	112	6	6.213	6.055	158	15.854
	Rechenzentren und Server		3.335	3.335	0	6	1.150	1.150	0	2.990
	Haushalte		728	728	0	6	251	251	0	653
Summe			63.173	60.975	2.199	-2	33.513	30.243	3.269	80.956

In Bezug auf die Klimatisierung von Serverräumen und Rechenzentren sind die Werte für den Kältebedarf nicht ohne weiteres ableitbar, da ein Teil der erforderlichen Energie im Bereich Industriekälte (Schaltschränkkühlung) verbucht und die Klimatisierung von Serverräumen und Rechenzentren der Gebäudeklimatisierung zugeordnet wurde.

Der elektrische Endenergiebedarf für die Klimatisierung von Serverräumen und Rechenzentren wird nach [Nachhaltige Kälteversorgung 2014] mit 1.150 GWh/a angegeben.

Für die Klimatisierung der Schaltschränke (inklusive kleiner Serverschränke und Serverräume) fallen nochmals rund 313 GWh/a an.

Somit ergibt sich ein Strombedarf für die Kühlung der Rechenzentren, Serverräume und Serverschränke von maximal 1.463 GWh/a.

Ein nennenswerter Wärmebedarf fällt nach [Nachhaltige Kälteversorgung 2014] nicht an.

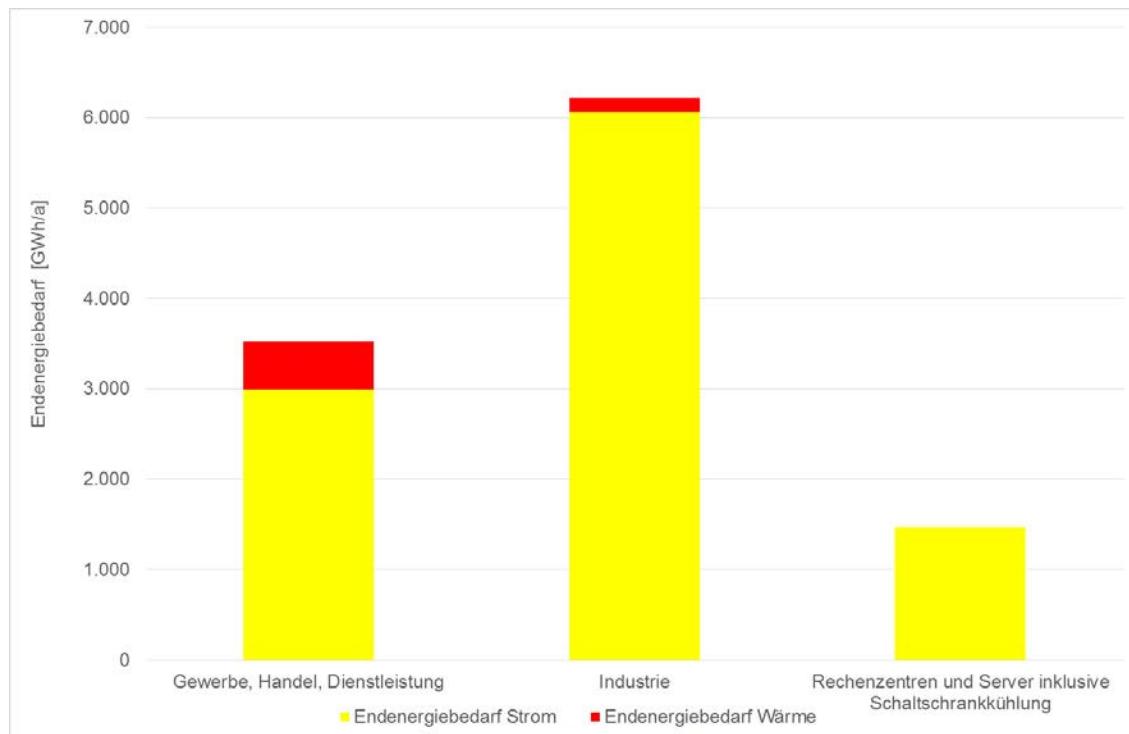
In der nachfolgenden Tabelle sind die Bedarfswerte für die Bereiche zusammengefasst, die für die Gebäudeklimatisierung inklusive Serverräumen und Rechenzentren relevant sind. Dabei wurde, zusätzlich zum Bereich Gebäudeklimatisierung gemäß Abbildung 3, der Bereich „Schaltschränkkühlung“ der Untergruppe Serverräume und Rechenzentren hinzugefügt. Die Bedarfswerte für die Wohngebäudeklimatisierung (Haushalte) wurden herausgerechnet. Die Ergebnisse sind in der nachfolgenden Tabelle zusammengefasst.

Tabelle 9: Kälte-, End- und Primärenergiebedarf für die Klimatisierung von Nichtwohngebäuden sowie Serverräumen und Rechenzentren in Anlehnung an [Nachhaltige Kälteversorgung 2014]

Bereich	Kälteenergiebedarf			Endenergiebedarf			Primärenergiebedarf [GWh/a]
	Summe [GWh/a]	KKM [GWh/a]	AKM [GWh/a]	Summe [GWh/a]	Strom [GWh/a]	Wärme [GWh/a]	
Gewerbe, Handel, Dienstleistung	9.052	8.677	375	3.520	2.992	528	8.149
Industrie	17.672	17.560	112	6.213	6.055	158	15.854
Rechenzentren und Server inklusive Schaltschränkkühlung	3.711	3.711	-	1.463	1.463	-	3.804
Summe	30.435	29.948	487	11.196	10.510	686	27.807

Das nachfolgende Bild zeigt den Endenergiebedarf für die Gebäudeklimatisierung (Nichtwohngebäude).

Abbildung 3: Endenergiebedarf für die Gebäudeklimatisierung nach [Nachhaltige Kälteversorgung 2014]



Eigene Darstellung

2.1.2 Gebäudeclustering

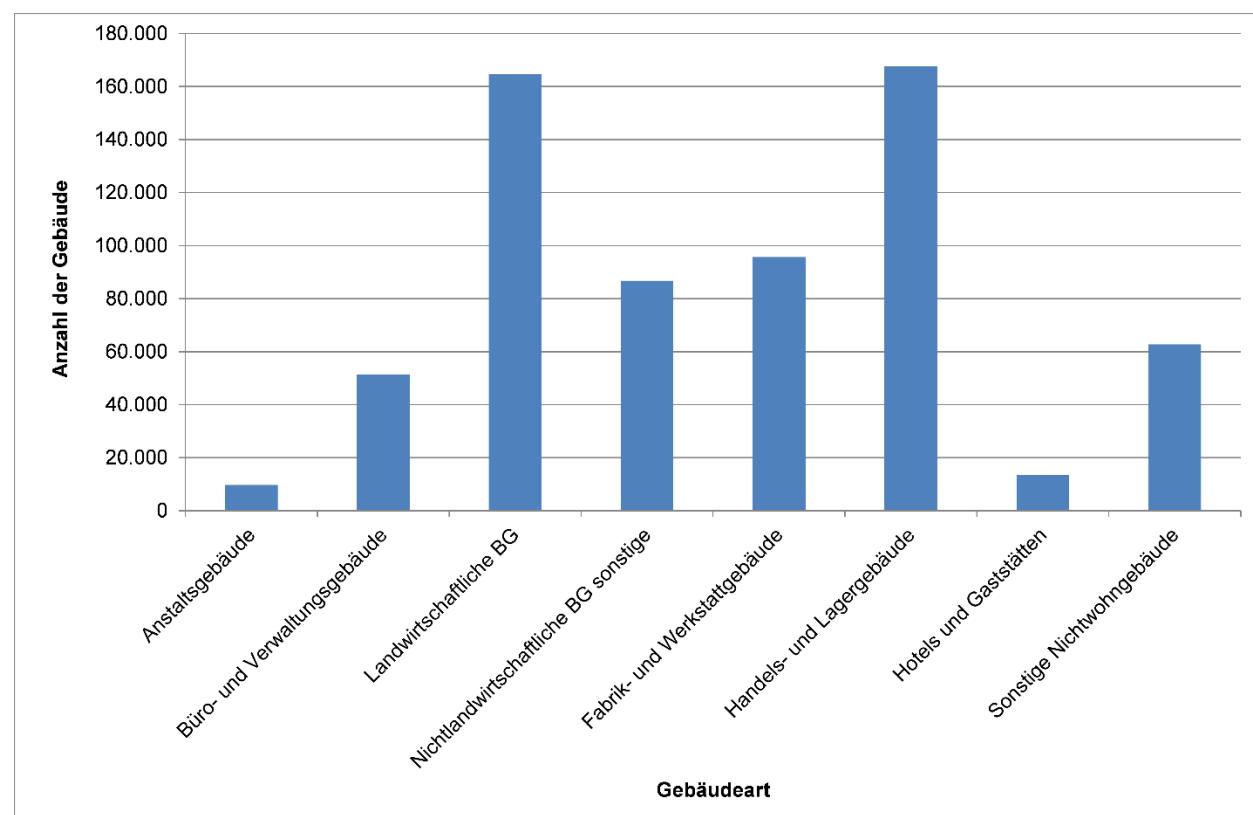
Für die weitere Betrachtung im vorliegenden Bericht sind die Einteilungen der vorhandenen Nichtwohngebäude, in denen Serverräume und Rechenzentren vorhanden sind, zu untersuchen.

Für die Analyse stützt sich die weitere Untersuchung auf verfügbare Studien, Statistiken und Forschungsberichte. Ziel ist eine Aufteilung in für Rechenzentren und Serverräume relevante Gebäudetypen.

2.1.2.1 Baufertigstellung ab 1993

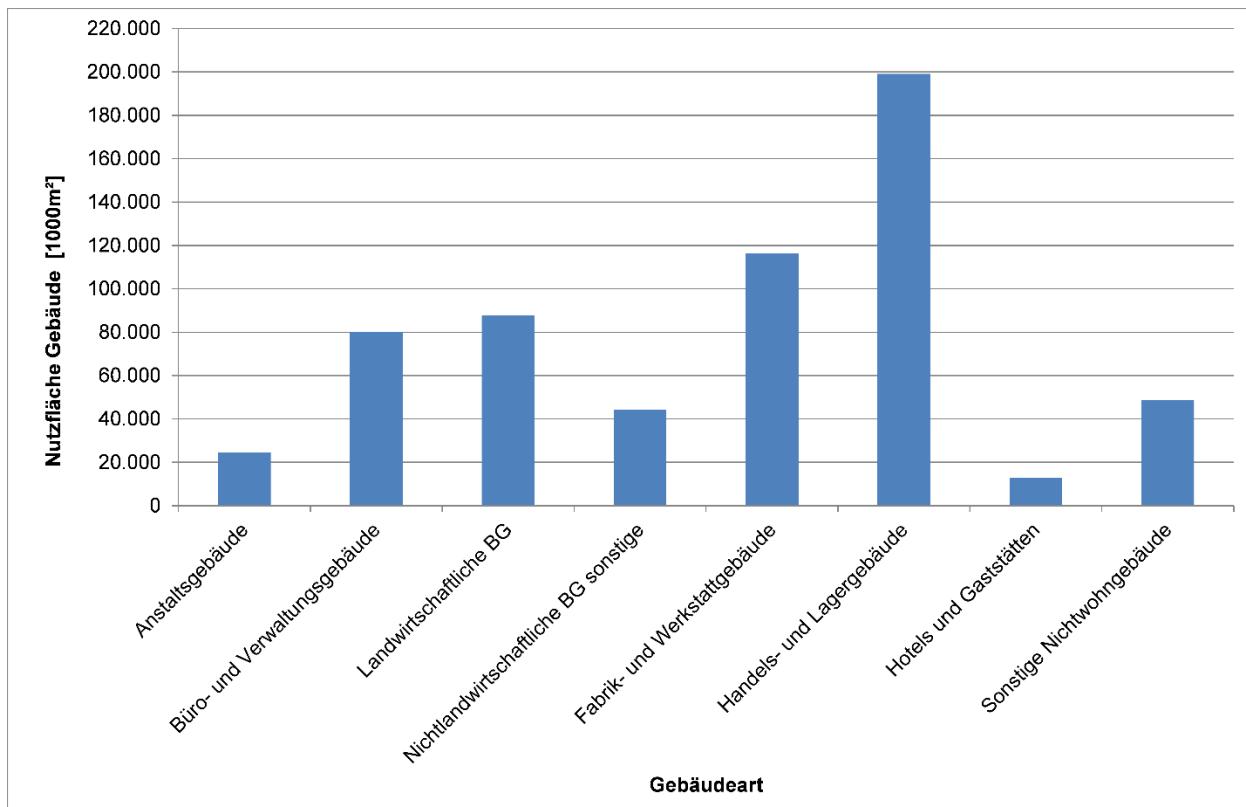
Eine genaue Datengrundlage für die Auswertung von Bestandsgebäuden im Bereich Nichtwohngebäude in Deutschland ist nicht vorhanden. Für Neubauten gibt es über das statistische Bundesamt Angaben zu deren Fertigstellung seit 1993 [Statistisches Bundesamt, Lange Reihe Baufertigstellung 2012]. Die nachfolgende Abbildung zeigt die Auswertung der Angaben zu den Baufertigstellungen für die Jahre 1993 – 2012 im Bereich Nichtwohngebäude.

Abbildung 4: Baufertigstellungen (Neubau) von Nichtwohngebäuden 1993-2012, Anzahl der Gebäude [Statistisches Bundesamt, Lange Reihe Baufertigstellung 2012]



BG: Betriebsgebäude

Abbildung 5: Baufertigstellungen (Neubau) von Nichtwohngebäuden 1993 – 2012,
Nutzfläche in 1.000 m² [Statistisches Bundesamt, Lange Reihe Baufertigstellung
2012]



BG: Betriebsgebäude

Die nachfolgende Tabelle zeigt die in den Jahren 1993 – 2012 im Bereich Nichtwohngebäude gelisteten Baufertigstellungen:

Tabelle 10: Anzahl der Baufertigstellungen von Nichtwohngebäuden [Statistisches Bundesamt, Lange Reihe Baufertigstellung 2012]

Nr.	Bezeichnung	Anzahl der Gebäude [-]	Nutzfläche [1000 m ²]	Bemerkung
1	Anstaltsgebäude	9.727	24.533,77	Krankenhäuser, Kliniken, Altenpflegeheime, Erziehungsheime etc.
2	Büro- und Verwaltungsgebäude	51.374	80.216,34	Öffentliche und nichtöffentliche Büro- und Verwaltungsgebäude
3	Landwirtschaftliche Betriebsgebäude	164.746	87.654,55	
4	Nichtlandwirtschaftliche Betriebsgebäude	363.596	44.273,62	
4.1	Fabrik- und Werkstattgebäude ¹⁾	95.701	116.328,36	
4.2	Handels- und Lagergebäude ¹⁾	167.550	199.070,77	
4.3	Hotels und Gaststätten ¹⁾	13.564	12.733,08	
5	Sonstige Nichtwohngebäude	62.745	48.712,32	Kindertagesstätten, Schulen, Hochschulen, Forschungsgebäude, Kirchen, Kongresshallen, Sporthallen, etc.

¹⁾ In der Position „nichtlandwirtschaftliche Betriebsgebäude“ enthalten

Für die Klimatisierung von Nichtwohngebäuden mit Serverräumen und Rechenzentren sind im Wesentlichen die Bereiche:

- Büro- und Verwaltungsgebäude,
- Verkaufsstätten und
- Schulen und Hochschulen

interessant.

Zu der Hauptgruppe der Handels- und Lagergebäude gehören unter anderem folgende Bereiche:

- Markt- und Messehallen
- Einzelhandelsgebäude
- Tankstellengebäude
- Andere Handelsgebäude
- Warenlagergebäude

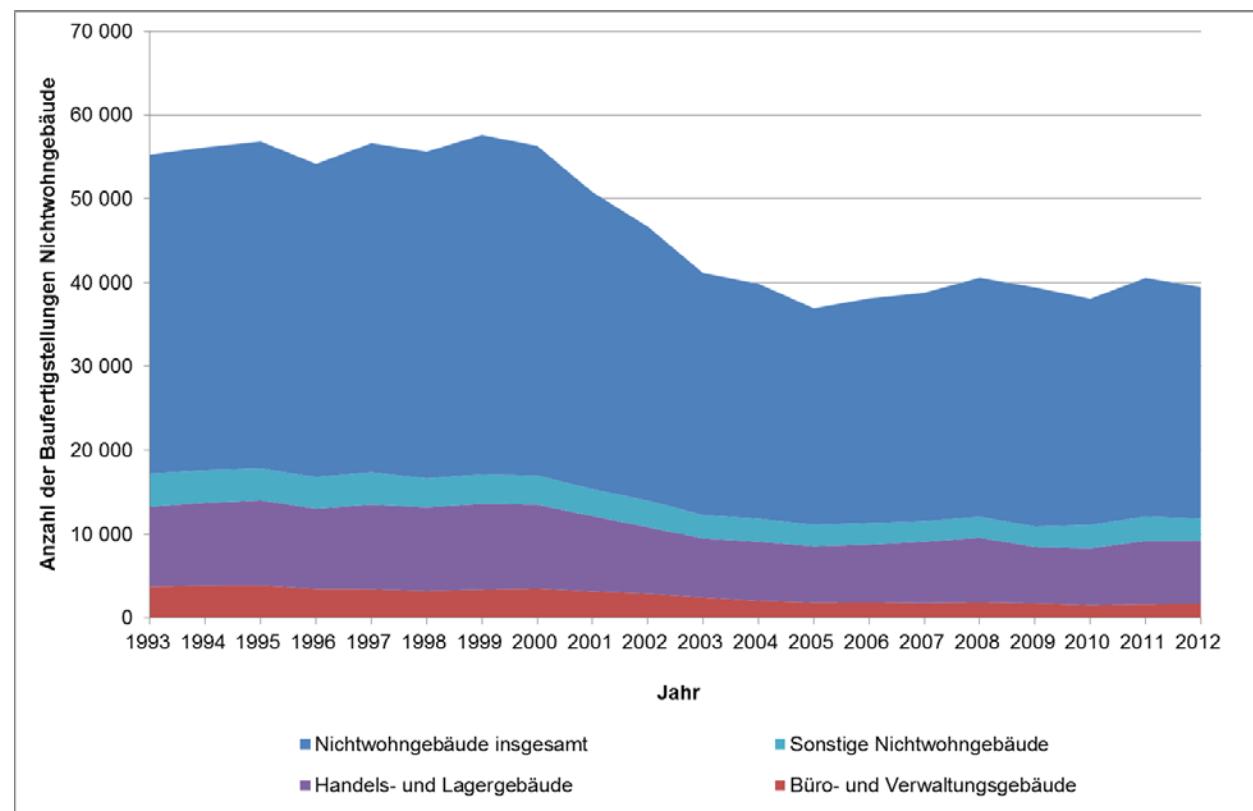
Die Hauptgruppe der Sonstigen Nichtwohngebäude wird nach [Statistisches Bundesamt, Lange Reihe Baufertigstellung 2012] unterteilt in:

- Kindertagesstätten
- Schulgebäude
- Hochschulgebäude
- Gebäude für Forschungszwecke
- Museen, Theater, Opernhäuser, Bibliotheken, Kongresshallen, Kirchen, Sporthallen u.a.

Eine weitere Unterteilung der statistischen Zahlen innerhalb der Hauptgruppe ist nicht möglich, da die Daten in den jeweiligen Landesämtern aufbereitet und an das statistische Bundesamt weitergeleitet werden.

Betrachtet man für Nichtwohngebäude die Entwicklung der Baufertigstellungen in den letzten 20 Jahren, so ist festzustellen, dass die Anzahl der jährlichen Baufertigstellungen von ca. 55.000 in den Jahren 1993 bis 2000 in diesem Bereich auf ca. 40.000 im Zeitraum 2003 bis 2012 zurückgegangen ist.

Abbildung 6: Baufertigstellungen (Neubau) von Nichtwohngebäuden 1993 – 2012, Anzahl der Gebäude [Statistisches Bundesamt, Lange Reihe Baufertigstellung 2012]



2.1.2.2 Gebäudebestand in Deutschland im Bereich Nichtwohngebäude

Die zahlenmäßige und versorgungstechnische Erfassung bestehender Gebäude im Bereich Nichtwohnungsbau gestaltet sich im Vergleich zum Wohnungsbau ehrschwierig. Im Wohnungsbau gibt es bereits zahlreiche Untersuchungen, bzw. liegen auf der Ebene der Bundesländer sowie der Kreise und Städte diesbezüglich Daten vor. Für den Bereich Nichtwohngebäude wurden bisher nur wenige Untersuchungen durchgeführt, die belastbare Aussagen zu Anzahl und Fläche der Nichtwohngebäude, unterteilt nach Nutzungsarten, aufweisen.

Im Forschungsvorhaben „Typologie und Bestand beheizter Nichtwohngebäude in Deutschland“ [BMVBS 2011] wurde der Bestand von Nichtwohngebäuden genauer untersucht. Aus Statistikangaben wurden Fläche und Anzahl von Nichtwohngebäuden hergeleitet.

Zur mengenmäßigen Erfassung der Bestandgebäude lassen sich nach [BMVBS 2011] drei unterschiedliche Quellen heranziehen:

- Geografischer Informationsdienst
- Städtebauliche Richtwerte
- Amtliche Statistik

Eine Auswertung der drei Methoden hatte ergeben, dass die Methoden Geografischer Informationsdienst und Städtebauliche Richtwerte zwar teilweise geeignet sind, allerdings hätte ein hoher Kosten- und Zeitaufwand in die Beschaffung und Auswertung der Daten investiert werden müssen. Im Rahmen der Untersuchung [BMVBS 2011] wurden in diesem Bereich daher keine weiteren Auswertungen angestellt.

Die Ermittlung bzw. Abschätzung der Bestandszahlen im Bereich Nichtwohngebäude wird in der Untersuchung mittels vorliegender amtlicher Statistiken des Statistischen Bundesamtes und bestehender Untersuchungen und Studien aus früheren Jahren zum Bestand von Nichtwohngebäuden [Kohler, Hassler, Paschen 1999 oder Gierga, Erhorn 1993] durchgeführt.

Die amtliche Statistik des Statistischen Bundesamtes über die Zahlen der Baufertigstellung in [Statistisches Bundesamt, Lange Reihe Baufertigstellung 2012] berücksichtigt dabei nur die Neubauten in Deutschland ab 1993 (früheres Bundesgebiet ab 1980), nicht aber die Umnutzung oder den Abriss von Gebäuden.

Zur Abschätzung der Zahlen wurde dabei auf folgende amtliche Statistik zurückgegriffen:

- Brutto-Anlagevermögen auf Basis der Zahlen des Statistischen Bundesamtes
- Ermittlung der Bestandszahlen mittels Übertragung der im Wohnbereich vorhandenen Relationen auf den Nichtwohnbereich auf Basis der Zahlen des Statistischen Bundesamtes

Die beiden nachfolgenden Tabellen zeigen die Ergebnisse der Untersuchung aus [BMVBS 2011], unterteilt nach den beiden vorher genannten amtlichen Statistiken.

Tabelle 11: Auf Basis des Brutto-Anlagevermögens kalkulierte Bestandsdaten für den Nichtwohnbaubestand nach NWG-Arten nach [BMVBS 2011]

Nichtwohngebäudeart	Anzahl der Gebäude [-]	Nutzfläche [1000 m ²]	Verteilung [%]
Anstaltsgebäude	44.000	97.000	4
Büro- und Verwaltungsgebäude	189.000	276.000	12
Landwirtschaftliche Betriebsgebäude	665.000	338.000	15
Nichtlandwirtschaftliche Betriebsgebäude	1.349.000	1.332.000	60
Fabrik- und Werkstattgebäude ¹⁾	355.000	417.000	19
Handels- und Lagergebäude ¹⁾	634.000	714.000	32
Hotels und Gaststätten ¹⁾	49.000	40.000	2
Sonstige Nichtwohngebäude	233.000	170.000	8
Summe	2.480.000	2.213.000	100

¹⁾ In der Position „nichtlandwirtschaftliche Betriebsgebäude“ enthalten

Aus dieser Auswertung ergibt sich ein Nichtwohngebäudebestand in Deutschland von rund ca. 2,5 Mio. Gebäuden mit einer Nutzfläche von ca. 2,213 Mio. m² (1,878 Mio. m² ohne landwirtschaftliche Betriebsgebäude).

Tabelle 12: Auf Basis der Relation im Wohngebäudebereich kalkulierten Bestandsdaten für den Nichtwohnungsbaubestand nach [BMVBS 2011]

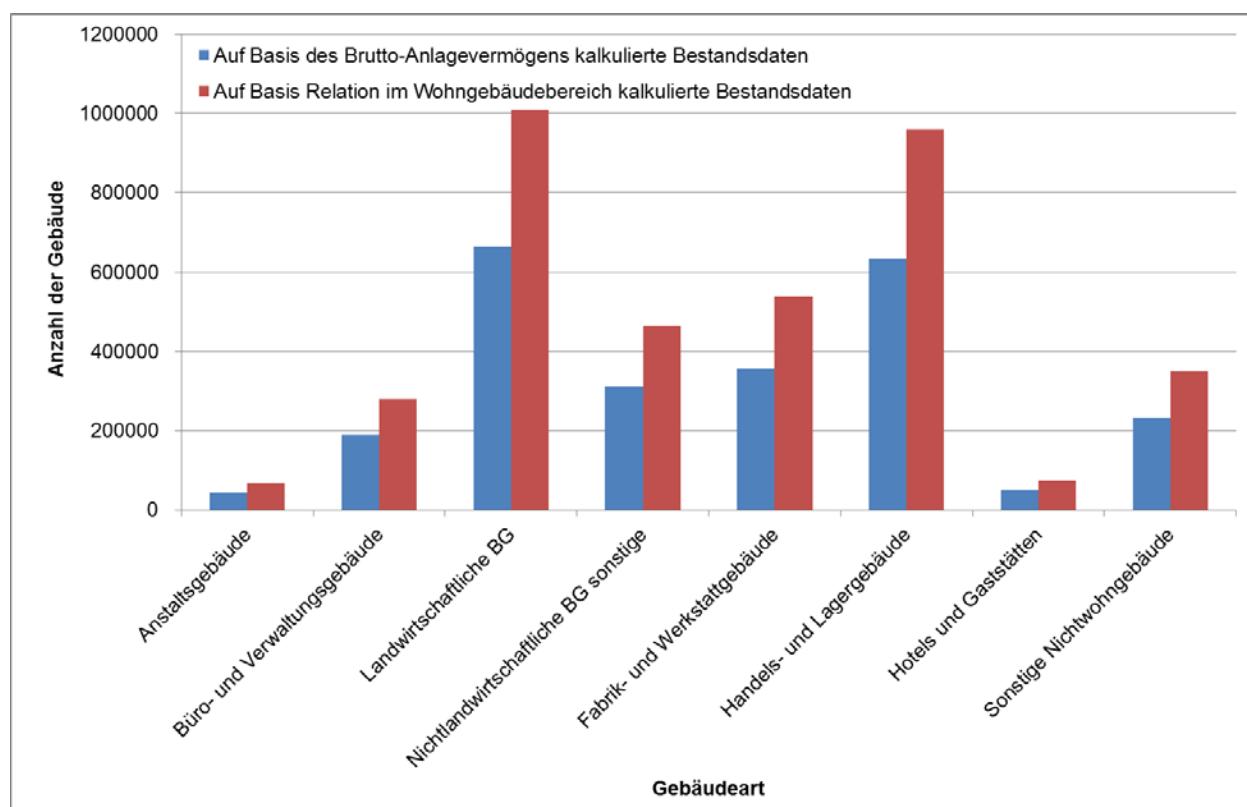
Nichtwohngebäudeart	Anzahl der Gebäude [-]	Nutzfläche [1000 m ²]	Verteilung Nutzfläche [%]
Anstaltsgebäude	67.000	17.2000	4
Büro- und Verwaltungsgebäude	280.000	470.000	12
Landwirtschaftliche Betriebsgebäude	1.009.000	604.000	15
Nichtlandwirtschaftliche Betriebsgebäude	2.038.000	2.367.000	61
Fabrik- und Werkstattgebäude ¹⁾	539.000	746.000	19
Handels- und Lagergebäude ¹⁾	960.000	1.269.000	32
Hotels und Gaststätten ¹⁾	74.000	71.000	2
Sonstige Nichtwohngebäude	349.000	299.000	8
Summe	3.743.000	3.912.000	100

¹⁾ In der Position „nichtlandwirtschaftliche Betriebsgebäude“ enthalten

- Aus dieser Auswertung ergibt sich ein Gebäudebestand in Deutschland von ca. 3,7 Mio. Gebäuden mit einer Nutzfläche von ca. 3,9 Mio. m² (3,308 Mio. m² ohne landwirtschaftliche Betriebsgebäude).

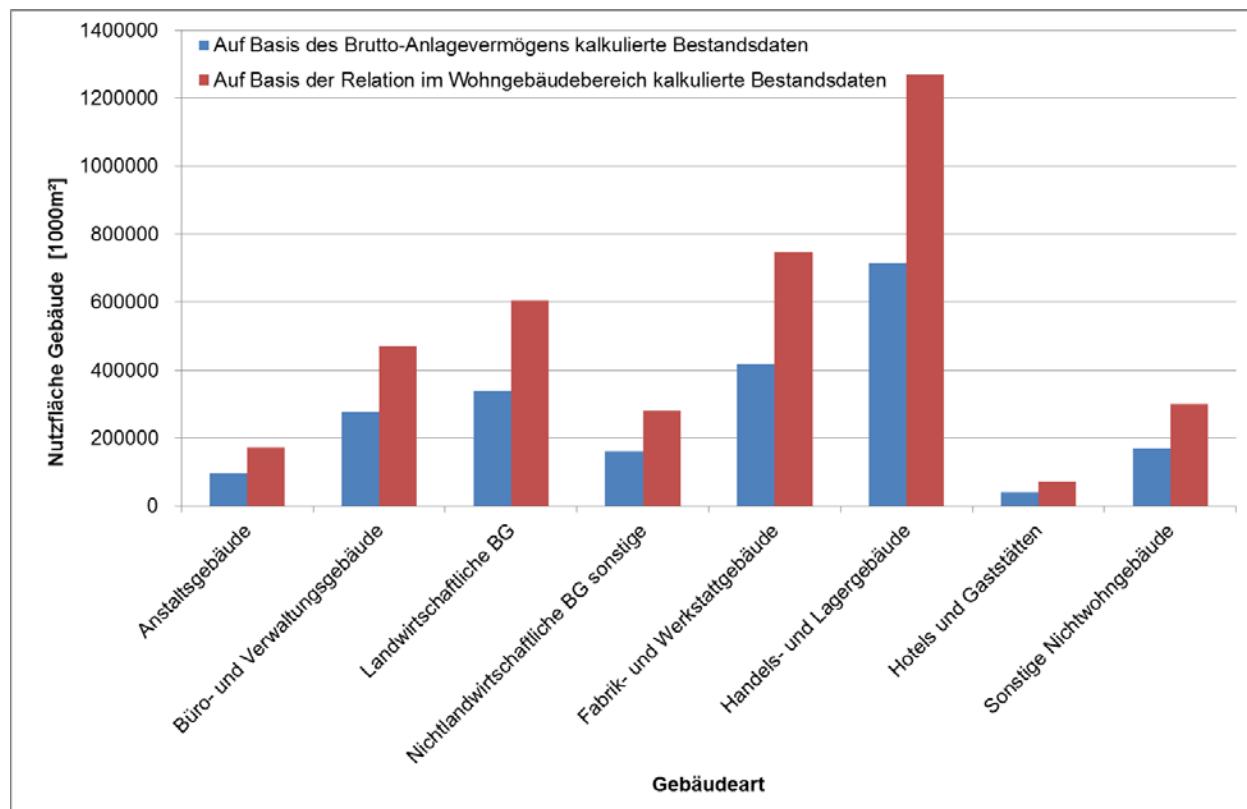
Die nachfolgenden Abbildungen zeigen die Ergebnisse der Untersuchung [BMVBS 2011], welche sich auf die Daten der oben beschriebenen Statistiken stützen.

Abbildung 7: Anzahl der Nichtwohngebäude: Auf Basis von statistischen Werten kalkulierte Bestandsdaten für den Nichtwohnbaubestand nach Gebäudeart nach [BMVBS 2011]



Eigene Darstellung

Abbildung 8: Fläche der Nichtwohngebäude: Auf Basis von statistischen Werten kalkulierte Bestandsdaten für den Nichtwohnbaubestand nach Gebäudeart nach [BMVBS 2011]



Eigene Darstellung

Eine weitere Quelle für Daten zum Nichtwohngebäudebestand bildet die Breitenerhebung zur Ermittlung des Energieverbrauchs im Sektor Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) in Deutschland, die regelmäßig in einem zweijährigen Turnus durchgeführt wird [GHD-Energieverbrauch 2014].

Hierin wird eine Typisierung und Kategorisierung der Gebäude, in denen Arbeitsstätten des GHD-Bereiches zu finden sind, durchgeführt. Nicht enthalten sind die Büro- und Verwaltungsgebäude aus dem Sektor Industrie.

Grundlage der Erhebung sind im Wesentlichen Stichproben (ca. 2.000), die als Befragung angelegt sind. Über die Stichproben werden Gesamtfläche und Anzahl der Gebäude hochgerechnet.

Die nachfolgenden Tabellen zeigen die in [GHD-Energieverbrauch 2014] aufgelisteten Flächenangaben und Anzahl der Gebäude im Sektor GHD ohne Landwirtschaft, Gartenbau und Flughäfen.

Tabelle 13: Flächenbestand an Nichtwohngebäuden mit GHD-Nutzung (ohne Landwirtschaft, Gartenbau und Flughäfen) nach [GHD-Energieverbrauch 2014] im Jahr 2008

	Bürogebäude Fläche [Mio. m ²]	Laden- und Verkaufsgebäude Fläche [Mio. m ²]	Werkstattgebäude Fläche [Mio. m ²]	Lager- und Garagengebäude Fläche [Mio. m ²]	Sonstige Fläche [Mio. m ²]	Gesamt Fläche [Mio. m ²]	Anteil [%]
Baugewerbe	4	9	46	23	12	94	5
Büro	225	32	10	10	38	315	16
Herstellungsbetriebe	3	10	57	3	11	84	4
Handel	30	150	41	54	34	309	16
Krankenhäuser, Bäder	3	1	46	1	35	86	4
Schulen	15	3	76	0	98	192	10
Beherbergung, Gaststätten, Heime	22	14	8	8	187	239	12
Nahrungsmittelgewerbe	0	1	1	2	3	7	0
Wäschereien	0	0	0	0	0	0	0
Landwirtschaft						0	0
Gartenbau						0	0
Flughäfen						0	0
Textil, Bekleidung, Spedition	58	52	1	496	8	615	32
Summe	360	272	286	597	426	1.941	100

Tabelle 14: Gebäudebestand an Nichtwohngebäuden mit GHD-Nutzung (ohne Landwirtschaft, Gartenbau und Flughäfen) nach [GHD-Energieverbrauch 2014] im Jahr 2008

	Büroge- bäude	Laden- und Ver- kaufsge- bäude	Werk- stattge- bäude	Lager- und Garagen- gebäude	Sonstige	Gesamt	Anteil
	Anzahl (in Tausend)	Anzahl (in Tausend)	Anzahl (in Tausend)	Anzahl (in Tausend)	Anzahl (in Tausend)	Anzahl (in Tausend)	
	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[%]
Baugewerbe	18	32	173	110	38	371	12
Büro	672	94	74	76	113	1.029	34
Herstellungs- betriebe	15	18	146	17	14	210	7
Handel	58	329	104	129	75	695	23
Krankenhäu- ser, Bäder	2	2	8	1	23	36	1
Schulen	5	3	32	1	40	81	3
Beherber- gung, Gast- stätten, Hei- me	32	63	24	59	238	416	14
Nahrungsmit- telgewerbe	0	4	2	2	5	13	0
Wäschereien	1	2	1	1	1	6	0
Landwirt- schaft						0	0
Gartenbau						0	0
Flughäfen						0	0
Textil, Beklei- dung, Spedi- tion	15	14	3	158	5	195	6
Summe	818	561	567	554	552	3.052	100

- Aus dieser Auswertung ergibt sich ein Gebäudebestand in Deutschland von ca. 3,052 Mio. Gebäuden mit einer Fläche von ca. 1.909 Mio. m² ohne landwirtschaftliche Betriebsgebäude, Gartenbau und Flughäfen.

Die Zahlen wurden in den Untersuchungen jeweils auf unterschiedlicher Datenbasis erstellt. In [GHD-Energieverbrauch 2014] wurden Hochrechnungen auf Basis von Datenerhebungen durchgeführt. In [BMVBS 2011] wurden auf Basis vorhandener Statistiken Rückschlüsse auf den Bestand von Nichtwohngebäuden gezogen.

Die Gebäude, in denen Serverräume und Rechenzentren untergebracht sind, sind im Wesentlichen Bürogebäude, Bildungsgebäude, Verkaufsstätten und Stand-Alone-Rechenzentren.

Die Auswertung der zuvorgenannten Untersuchungen zeigt, dass rund 15 % der gesamten Nutzfläche an Nichtwohngebäuden in Deutschland Bürogebäude sind. Im Bereich der Laden- und Verkaufsgebäude gibt es keine eindeutigen Zahlen. Der Handelsverband Deutschland (HDE) gibt die Verkaufsfläche im Einzelhandel für das Jahr 2013 mit rund 123,1 Mio. m² Fläche¹ an. Das entspricht in etwa 6 % der Fläche in Nichtwohngebäuden. In [GHD-Energieverbrauch 2014] wird die Fläche für Laden- und Verkaufsgebäude mit rund 13 % der Nichtwohngebäudefläche angegeben.

Die Bildungsgebäude sind in [BMVBS 2011] in der Rubrik Sonstige enthalten und sind nicht einzeln spezifizierbar. In [GHD-Energieverbrauch 2014] werden die Bildungsgebäude (Schulen) mit rund 195 Mio. m² Flächen angegeben. Von diesen Bildungsgebäudeflächen sind rund 15 Mio. m² Büroflächen und rund 79 Mio. m² sind Werkstattgebäude, Lager- und Garagengebäude. Insgesamt machen Schulgebäude rund 10 % der Gesamtfläche im Bereich der Nichtwohngebäude aus. Für die weitere Betrachtung wird von folgender Verteilung der Gebäude im Bereich der Nichtwohngebäude ausgegangen:

Tabelle 15: Prozentuale Verteilung der Nichtwohngebäude mit GHD-Nutzung (ohne Landwirtschaft, Gartenbau und Flughäfen)

Gebäude	Verteilung bezogen auf die Fläche [%]	[GHD-Energieverbrauch 2014] [Mio. m²]	
		17,8	345
Bürogebäude	17,8	345	
Laden/ Verkaufsgebäude	13,9	269	
Lager- /Garagengebäude	10,8	210	
Werkstattgebäude*	30,8	597	
Schulen	9,9	192	
Sonstige	16,9	328	
Summe	100	1.941	

Quelle: [GHD-Energieverbrauch 2014] im Jahr 2008

*Werkstattgebäude sind Gebäude zur Montage und Demontage, Reparatur und Produktion, Verarbeitung von Produkten und medizinischen Behandlungen und Betreuungen aus dem Sektor GHD

In der Studie [GHD-Energieverbrauch 2014] sind Bürogebäude aus dem Sektor Industrie nicht enthalten.

Zur Aufschlüsselung der Datenbasis im Bereich Nichtwohngebäude im Gebäudebestand wurde durch das Bundesamt für Bau-, Stadt- und Raumforschung das Forschungsprojekt „Erfassung von statistischen Basisdaten zum Nichtwohngebäudebestand und empirische Analyse der energetischen Qualität ausgewählter Gebäudetypen“ vergeben, was zur Zeit von dem Fraunhofer IFAM in Kooperation mit dem Fraunhofer ISI erarbeitet wird. Fertigstellung des Forschungsvorhabens ist für Ende 2015 geplant.

¹ Quelle: <http://einzelhandel.de/images/presse/Graphiken/DerEinzelhandelJan2014.pdf>, Abrufdatum 14.10.14

2.1.2.3 Serverräume und Rechenzentren in Deutschland

Die Anzahl der Serverräume und Rechenzentren in Deutschland ist in [UBA 55/2010] untersucht und aufgeschlüsselt. Ein wichtiger Bestandteil der Untersuchung ist zusätzlich die Einteilung von Serverräumen und Rechenzentren nach Serveranzahl bzw. die Definition der beiden Begriffe.

Gemäß der Untersuchung wird der Begriff Rechenzentrum wie folgt definiert:

„Mit „Rechenzentrum“ soll hier ein Gebäude bzw. sollen hier Räumlichkeiten bezeichnet werden, in denen die zentrale Rechentechnik (Server, aber auch die zum Betrieb notwendige Infrastruktur) einer oder mehrerer Firmen oder Organisationen untergebracht sind. Dabei muss es sich zumindest um einen eigenständigen Raum mit sicherer Stromversorgung und Klimatisierung handeln.“² In der Untersuchung werden folgende Einteilungen für die Typen von Rechenzentren angegeben:

Tabelle 16: Typologie und Anzahl von Rechenzentren gem. [UBA 55/2010] und [BITKOM 2014]

Rechenzentrumstyp	Server-Anzahl [-]	Ø Anschlussleistung IT [kW]	Ø Flächenbedarf [m ²]	Anzahl Rechenzentren in 2013 [-]	Anzahl der Server in 2008 [-]
Serverschrank	3-10	1,5	5	30.500	160.000
Serverraum	<100	6	20	18.100	340.000
Kleines Rechenzentrum	<500	50	150	2.150	260.000
Mittleres Rechenzentrum	<5000	240	600	280	220.000
Großes Rechenzentrum	>5000	2.500	6.000	70	300.000
Summe				51.100	1.280.000

In Deutschland sind im Jahr 2013 rund 51.100 Rechenzentren im Bestand vorhanden. Der Großteil der angegebenen Rechenzentren ist in Gebäuden (Bürogebäude, Hochschulen, etc.) mit integriert. Lediglich im Bereich der großen Rechenzentren gibt es hierfür in der Regel separate Gebäude. In Abschnitt 3 werden Lösungen für drei relevante Serverraum- bzw. Rechenzentrumsklassen vorgestellt. Die oben genannten Typen „Serverschrank“ und „Serverraum“ können dabei der Klasse „keiner Serverraum“ aus Abschnitt 3 zugeordnet werden. Die oben genannten Typen „kleines Rechenzentrum“ und „Mittleres Rechenzentrum“ werden zur Klasse „Baulich eingebundenes mittelgroßes Rechenzentrum“ zusammengefasst. Das „große Rechenzentrum“ ist der Klasse „großes freistehendes Rechenzentrum“ zuzuordnen.

Energieverbrauch und installierte Leistung

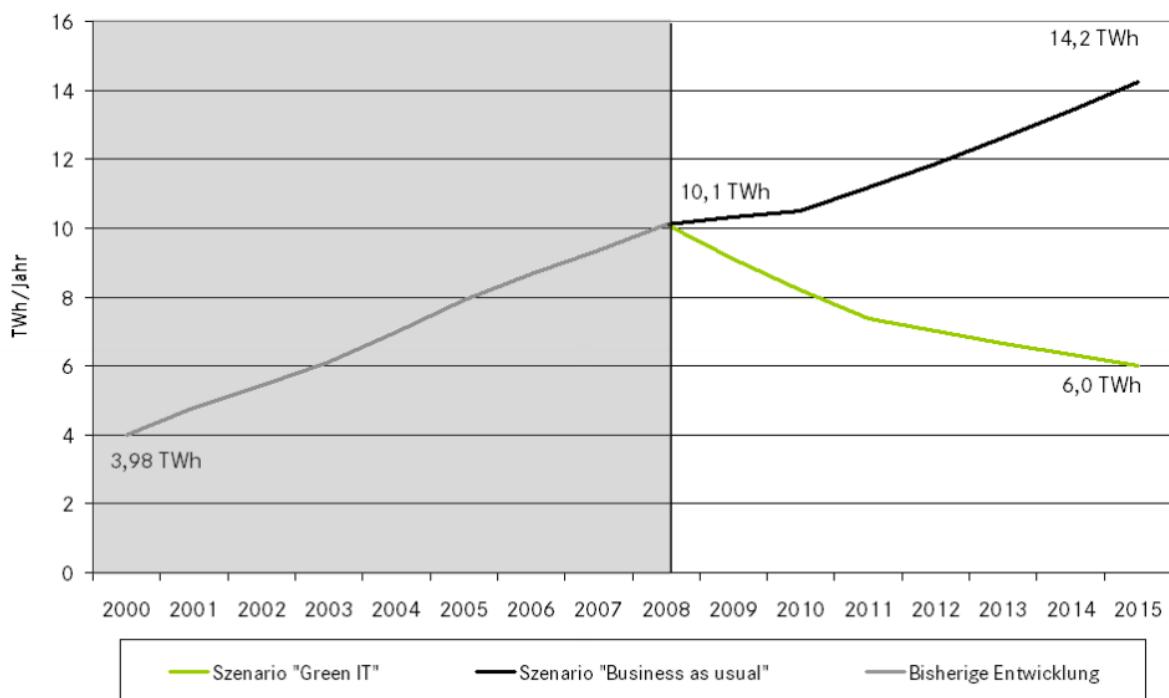
Der Energieverbrauch für den Bereich IT wurde in [UBA 55/2010] für das Jahr 2008 mit 10,1 TWh/a angegeben. Damit hat sich der Energieverbrauch im Bereich des IT-Stroms für Serverräume und Rechenzentren in Deutschland in den Jahren 2000 bis 2008 um einen Faktor von 2,5 erhöht. Unterschiedlichen Szenarien zufolge steigt bei gleichbleibendem Verhalten in der Branche der Wert auf 14,2 TWh/a (Business as usual). Bei Umsetzung der „Green IT“-Lösungen wird davon ausgegangen, dass der Energiebedarf auf 6,0 TWh/a fällt. Die nachfolgende Abbildung zeigt den Energiebedarf der

² UBA 55/2010 : Umweltbundesamt: Materialbestand der Rechenzentren in Deutschland

Reihe Texte 55/2010, <http://www.uba.de/uba-info-medien/4037.html> (Abrufdatum 22.07.14), Seite 13

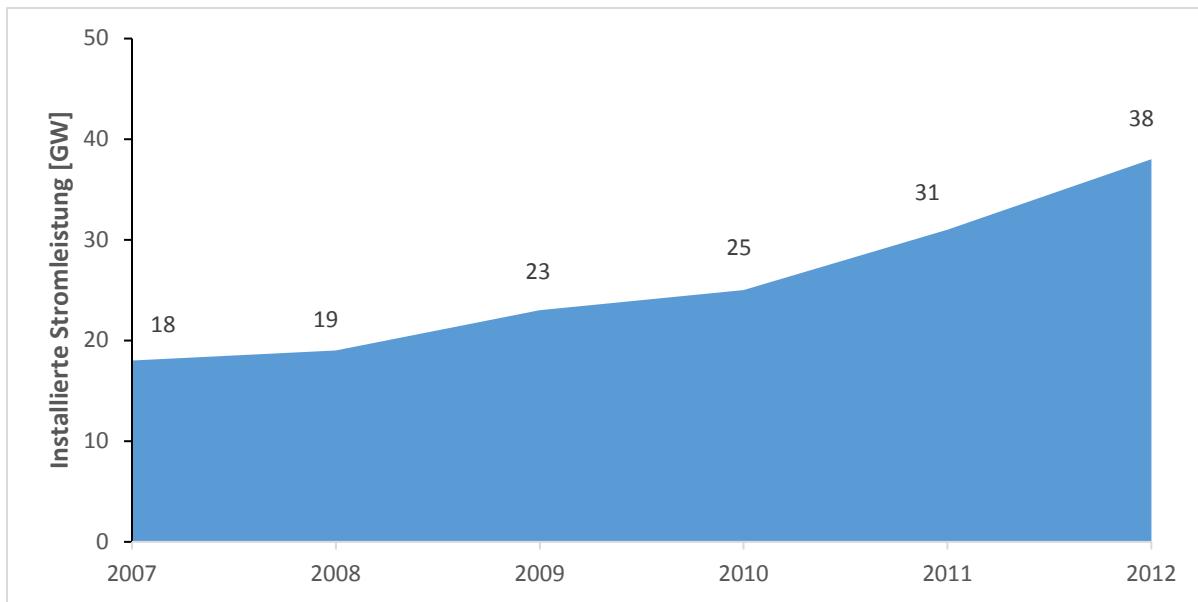
Jahre 2000–2008 für Server und Rechenzentren sowie die prognostizierte Entwicklung in unterschiedlichen Szenarien.

Abbildung 9: Entwicklung des Energiebedarfs der Server und Rechenzentren in Deutschland in den letzten Jahren [UBA 55/2010]



In der aktuellen Studie [RenewIT D7.1] sind die Entwicklungen der Stromleistungsaufnahme in Rechenzentren in den letzten Jahren dargestellt. Die nachfolgende Abbildung zeigt die Entwicklung weltweit.

Abbildung 10: Entwicklung der installierten Stromleistung der Server und Rechenzentren weltweit in den letzten Jahren nach [RenewIT D7.1]



Eigene Darstellung

Ausstattung von Rechenzentren und Serverräumen

In [UBA 55/2010] wurden die Materialbestände in Rechenzentren auch hinsichtlich der Gebäudeklimatisierung und Elektroversorgung untersucht und dargestellt. In [RenewITD7.1] wurden die Daten aus der Untersuchung der Materialbestände zusammengefasst aufgeschlüsselt. Die nachfolgenden Tabellen zeigen die in [UBA 55/2010] aufgelistete Zusammenfassung.

Tabelle 17: Technische Kenndaten von Serverräumen nach [RenewIT D7.1]

Serverräume < 50 kW		
Gesamtleistung	Kühlung	Energie
$P_{Gesamt} = 11 \text{ kW}$ $(P_{IT} = 6 \text{ kW})$	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 90 % klimatisiert ▶ 30 % mit Doppelboden ▶ einfache Klima(split)geräte ▶ 30% mit redundanter Kühlung 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 70 % mit USV ▶ 25 % mit redundanter USV ▶ 5 % mit Generatoren

Tabelle 18: Technische Kenndaten von sehr kleinen Rechenzentren nach [RenewITD7.1]

sehr kleine Rechenzentren 50 - 250 kW		
Gesamtleistung	Kühlung	Energie
$P_{Gesamt} = 105 \text{ kW}$ $(P_{IT} = 50 \text{ kW})$	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 100 % klimatisiert ▶ 60 % mit Doppelboden ▶ 40 % mit Klimageräten oder Rack-kühlung ▶ 60 % mit redundanter Kühlung 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 100 % mit USV ▶ 60 % mit redundanter USV ▶ 10 % mit Generatoren ▶ 50 % mit zwei Hauptstromverteilungen

Tabelle 19: Technische Kenndaten von kleinen Rechenzentren nach [RenewITD7.1]

kleine Rechenzentren 250 - 1000 kW		
Gesamtleistung	Kühlung	Energie
$P_{Gesamt} = 550 \text{ kW}$ $(P_{IT} = 250 \text{ kW})$	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 100 % klimatisiert ▶ 100 % mit Doppelboden ▶ 30 % nutzen freie Kühlung ▶ 60 % mit redundanter Kühlung 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 100 % mit USV ▶ 95 % mit Batterien für 15 min ▶ 80 % mit redundanter USV ▶ 70 % mit Generatoren ▶ 90 % mit zwei Hauptstromverteilungen

Tabelle 20: Technische Kenndaten von mittleren bis großen Rechenzentren nach [RenewIT D7.1]

Mittlere bis große Rechenzentren < 1 MW		
Gesamtleistung	Kühlung	Energie
$P_{Gesamt} = 5700 \text{ kW}$ $(P_{IT} = 2500 \text{ kW})$	<ul style="list-style-type: none"> ► 100 % klimatisiert ► 100 % mit Doppelboden ► 100 % nutzen freie Kühlung ► 100 % mit redundanter Kühlung 	<ul style="list-style-type: none"> ► 100 % mit USV ► 70 % mit Batterien für 15 min ► 100 % mit redundanter USV ► 100 % mit Generatoren (48 - 72 h) ► 100 % mit zwei Hauptstromverteilungen

2.1.3 Eigentums- und Mietverhältnis

Der Einsatz von neuer, innovativer, energie- und CO₂-sparender Technik ist in der Regel mit höheren Investitionskosten verbunden. Zudem kommen teilweise zusätzliche Probleme beim Einbau oder Betrieb der Technik hinzu, da diese noch nicht in großen Stückzahlen eingesetzt wurde.

Ein weiterer Punkt beim Einsatz neuer Techniken kann die Sorge der Bauherren sein, dass die neue Technik noch nicht erprobt ist und ihre Immobilie als „Versuchsobjekt“ dient.

Die oben genannten Punkte führen dazu, dass im Bereich des Nichtwohnungsbau neue, innovative, energie- und CO₂-sparende Technik in der Regel nur dann zum Einsatz kommt, wenn der Bauherr auch der spätere Nutzer des Gebäudes ist und von den Energie- und CO₂-Einsparungen profitiert, indem er Betriebskosten einsparen kann.

Zur Abschätzung, wie viele Eigentümer auch gleichzeitig Nutzer der Gebäude oder der Gebäudetechnik sind, werden nachfolgend die unterschiedlichen Gebäudecluster, in denen sich klimatisierte Gebäude mit Serverräumen und Rechenzentren befinden, näher betrachtet.

Der in Abschnitt 2.1.2.2 aufgeführte Gebäudebestand, in dem auch klimatisierte Gebäude mit Serverräumen und Rechenzentren berücksichtigt sind, lässt sich (siehe Abschnitt 2.1.2.3) in folgende Gebäudegruppen einteilen (unter Berücksichtigung von großen Rechenzentren):

Tabelle 21: Prozentuale Verteilung der Nichtwohngebäude mit GHD-Nutzung
(ohne Landwirtschaft, Gartenbau und Flughäfen)

Gebäude	Verteilung bezogen auf die Fläche	Fläche
	[%]	[Mio. m ²]
Bürogebäude	17,8	345
Laden/ Verkaufsgebäude	13,9	269
Schulen und Universitäten	9,9	192
Große Rechenzentren	0,0	0,3
Übrige (Werkstattgebäude, Lager-/Garagengebäude, Sonstige)	58,4	1.134,7
Summe	100	1.941

Quelle: [GHD-Energieverbrauch 2014], [UBA 55/2010]

Bürogebäude

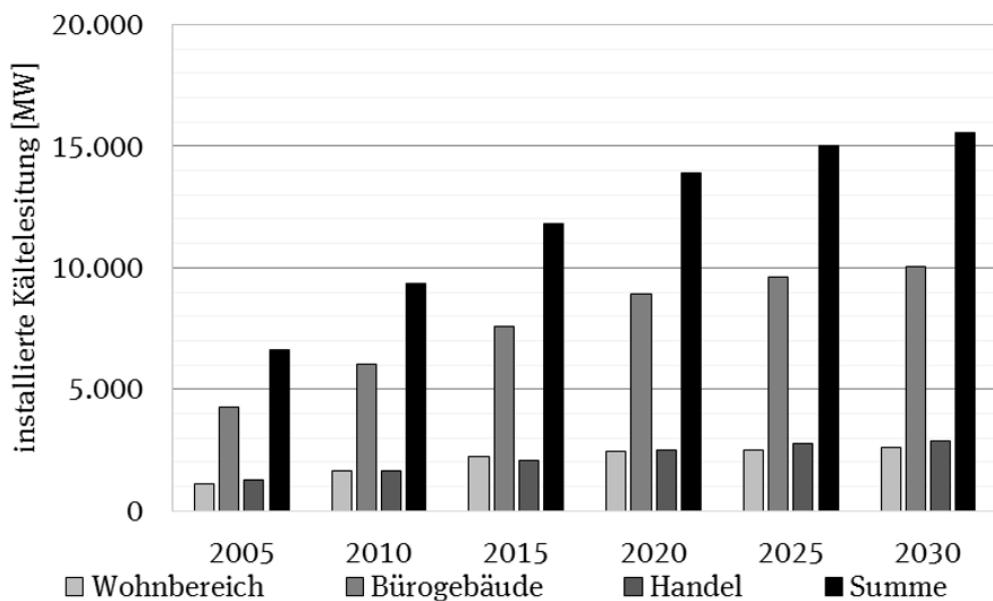
Für den Bürogebäudebestand in Deutschland sind die Eigentums- und Mietverhältnisse nicht erfasst. Im Gegensatz zu Wohngebäuden, bei denen es Statistiken zu dem Thema Eigentum und Vermietung gibt, liegen für den Bereich der Bürogebäude keine Gesamtstatistiken vor.

In angemieteten Bürogebäuden mit Serverräumen und kleineren Rechenzentren ist die entsprechende Kälteversorgung der Server in der Regel durch den Mieter zu stellen. Investoren statteten solche Räume in der Regel nicht aus, da sie keine Gewährleistung für die Serverräume und die darin herrschenden Temperaturen übernehmen können.

Aufgrund dieser Tatsache werden bei Neubauten, die später vermietet werden, Serverräume aus der Kälteversorgung ausgeschlossen bzw. nur eine Insellösung für diese Räume mit einer bestimmten Kapazität berücksichtigt. Konzepte mit einer zentralen Kälteversorgung des Gebäudes inklusive der Serverräume und Rechenzentren werden in der Regel nur dann umgesetzt, wenn der Eigentümer auch der spätere Nutzer ist und die Gewährleistung für die Serverräume übernehmen kann.

In [Ecodesign 2008] wird das Wachstum der Klimakälte mit 3,5–5 %/a, bezogen auf die installierte Kälteleistung, angegeben. Im Rahmen einer Vorstudie zur Ökodesign-Richtlinie für Raumklimaanlagen wurden die nachfolgenden Trends für die Neuinstallation von Kälteleistung in den nächsten Jahren aufgezeigt [Ecodesign 2008].

Abbildung 11: Entwicklung der installierten Kälteleistung im Klimakältebereich [Ecodesign 2008]



Eigene Darstellung nach [Ecodesign 2008]

Grundsätzlich ist zukünftig im Bereich der Bürogebäude mit einem starken Anstieg der installierten Kälteleistung zu rechnen.

Laden- / Verkaufsgebäude

Bei den Laden- bzw. Verkaufsgebäuden gibt es einen Großteil von Unternehmen, die gleichzeitig Eigentümer und Betreiber sind. Bei Laden-/ Verkaufsgebäuden, die heute neu errichtet und vermietet werden sollen, erfolgt der Innenausbau der Ladenfläche durch den Mieter. In der Regel werden vom Investor die Kosten und Umsetzung der Wärme-, Kälte und Stromerzeugung sowie die Belüftung der Räume übernommen und die Medien in den Verkaufsflächen zur Verfügung gestellt. Die Übergabesysteme für Heizung, Kühlung und Beleuchtung werden in der Regel vom Mieter übernommen. Dies gilt auch insbesondere für die Kälteerzeugung und -übergabe. Bei Laden- und Verkaufsräumen kann davon ausgegangen werden, dass in den meisten Fällen die erforderlichen Systeme für die Kühlung und Lüftung der Räume vom Mieter angeschafft und auch genutzt werden.

Für die Vermietung und Eigennutzung von Laden- und Verkaufsflächen liegen in Deutschland keine Gesamtstatistiken vor.

Schulen und Universitäten

Bei Schulen und Universitäten sind die Eigentums- und Nutzungsverhältnisse unterschiedlich.

Bei Schulen ist der Eigentümer und Betreiber der Liegenschaften in der Regel die Kommune. Die Kommunen bauen und bewirtschaften ihr Gebäude selbst und zahlen auch die Betriebskosten für die Gebäude. Grundsätzlich besteht hier ein großes Interesse seitens der Kommunen, die Energiekosten möglichst gering zu halten. Allerdings ist die finanzielle Situation vieler Kommunen nicht ausreichend, um in innovative und zukunftsweisende Technik zu investieren. Hier wird die Entscheidung zwischen den Konzepten in der Regel über die Höhe der Investitionskosten und nicht über die Lebenszyklusbetrachtung getroffen.

Bei Universitäten und Fachhochschulen werden die Investition und die Instandhaltung der Gebäude über die Immobilienverwaltung der jeweiligen Länder getätigt. In NRW ist dies beispielsweise der Bau- und Liegenschaftsbetrieb des Landes Nordrhein-Westfalen, in Hessen werden die landeseigenen Liegenschaften vom Hessischen Immobilienmanagement betreut. Für die Energiekosten der Liegenschaften kommen die Nutzer der Liegenschaften (z.B. Universitäten) auf.

Grundsätzlich haben öffentliche Auftraggeber hinsichtlich Erfüllung der EnEV und des EEG-WärmeG eine Vorbildfunktion zu erfüllen.

Aufgrund dieser Tatsache werden Pilotprojekte gefördert und entsprechende Investitionen für neue und innovative Techniken mit eingeschränkter Berücksichtigung der wirtschaftlichen Aspekte getätigt.

Große Rechenzentren

Bei Rechenzentren ist der Einsatz innovativer Technik im Wesentlichen abhängig von den Anforderungen an die zulässige Lufttemperatur und die Ausfallsicherheit der Server. Wird ein Rechenzentrum beispielsweise für unterschiedliche Mieter konzipiert, so werden in der Regel hohe Ausfallsicherheiten und geringe Temperaturen geplant. Auch die Redundanz der Kälteerzeugung spielt hier eine wichtige Rolle. Der Betreiber stellt dem Mieter in der Regel entsprechende technische Ausstattungen zur Verfügung, so dass eine hohe Verfügbarkeit bzw. geringe Ausfallzeiten der Server gewährleistet werden können. Bei dem sogenannten Server-housing stellt der Anbieter dem Kunden lediglich Raum im Rechenzentrum zur Verfügung. Die gesamte Hardware wird vom Kunden gestellt.

Eine wichtige Rolle in der Zukunft der Rechenzentren spielt das Cloud Computing. Hier nutzt der Kunde die Infrastruktur von Rechenzentren inklusive der Hardware. Der Kunde speichert seine Daten in einem oder mehreren entfernten Rechenzentren und hat mit dem Betreiben der Server und der gesamten Anlage keinerlei Berührung. Diese Art der Datenspeicherung wird für Unternehmen immer interessanter, da sich aufgrund ändernder Datenmengen und Anforderungen an die Daten- und Softwarekapazitäten die Planung von eigenen Rechenzentren und Serverräumen schwierig gestaltet. Betreiber von Rechenzentren garantieren hier ebenfalls hohe Verfügbarkeit, was zu einer Ausführung der Technik mit hoher Redundanz führt.

Neue, innovative, energie- und CO₂-sparende Technik wird bei großen Rechenzentren in der Regel eingesetzt, wenn große Unternehmen die Rechenzentren selbst nutzen und betreiben.

Über die Eigentums- und Nutzungsverhältnisse der Rechenzentren in Deutschland sind keine Statistiken vorhanden.

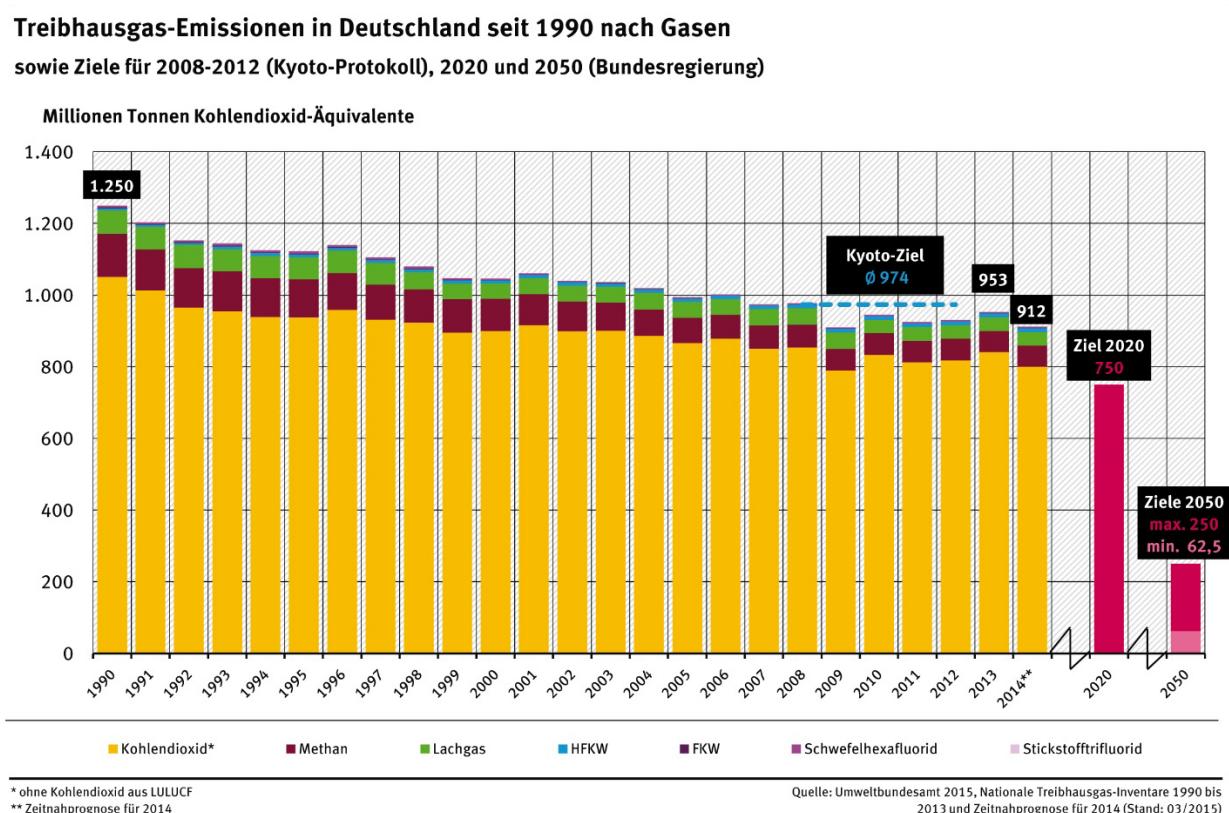
2.2 Legislative und nutzerspezifische Anforderungen

2.2.1 Relevante Gesetze und Anforderungen in Deutschland

Die Klimaschutzziele der Bundesregierung sehen vor, dass die Treibhausgasemissionen Deutschlands bis zum Jahre 2020 um mindestens 40 % und bis zum Jahr 2050 um 80 %-95 % im Vergleich zum Jahr 1990 sinken. Zum Erreichen dieser Klimaschutzziele sind auf nationaler Ebene bereits viele Gesetze und Verordnungen verabschiedet sowie Förderprogramme umgesetzt worden. Diese Maßnahmen werden regelmäßig überprüft, verschärft und erweitert bzw. ergänzt.

Das nachfolgende Bild zeigt die Entwicklung der Treibhausgasemissionen in Deutschland in den letzten Jahren.

Abbildung 12: Treibhausgasemissionen in Deutschland 1990 bis Prognose 2014



Quelle: Umweltbundesamt; <http://www.umweltbundesamt.de/daten/klimawandel/treibhausgas-emissionen-in-deutschland>; abgerufen am 09.06.2015

2.2.1.1 Bestehende Gesetze und Anforderungen

Es gibt unterschiedliche Gesetze, Richtlinien bzw. Verordnungen, die zumindest partiell Einfluss auf die Informations- und Kommunikationstechnik (Rechenzentrums-Hardware) und auch auf die Kälte-technik für die Gebäudeklimatisierung haben.

1. Aktionsprogramm Klimaschutz 2020:

Am 03.12.2014 hat die Bundesregierung das **Aktionsprogramm Klimaschutz 2020** verabschiedet. Es ist ein umfangreiches und ambitioniertes Klimaschutzprogramm für Deutschland, das die Sektoren Energiewirtschaft, Verkehr und Landwirtschaft, Bau- und Wohnungswirtschaft, Industrie, Ge-

werbe, Handel, Dienstleistungen und Privathaushalte betrifft. Dass Programm enthält eine Vielzahl von konkreten Einzelmaßnahmen, um in Deutschland die gesteckten Ziele bis zu den Jahren 2020 und 2050 zu sichern. Die Umsetzung dieses Programms hat bereits begonnen.

Eine Absichtserklärung zur Einrichtung eines Aktionsprogramm wurde Anfang Dezember 2014 vom BMUB veröffentlicht. Zurzeit wird geprüft, wie die dort formulierten Ziele am besten umgesetzt werden können. Basis für das Aktionsprogramm sind auch Ziele der EU, die teilweise mit den nationalen Reduktionszielen übereinstimmen. Das Aktionsprogramm enthält folgende Elemente:

- Darstellung der Ausgangslage und Identifizierung des Handlungsbedarfs.
- Identifizierung der technisch-wirtschaftlichen Minderungspotenziale im Hinblick auf die Emission von Treibhausgasen (CO_2 , CH_4 , N_2O , HFKW, FKW und SF_6) nach Sektoren (Energiewirtschaft, Industrie, Gewerbe / Handel / Dienstleistungen, Verkehr, private Haushalte, Landwirtschaft, übrige Emissionen) unter Berücksichtigung der Beiträge der Energiewende.
- Festlegung sektoraler Beiträge auf der Grundlage dieser Potenziale.
- Maßnahmenprogramm mit Fokus auf kurzfristig wirksamen Maßnahmen zur Schließung der Lücke zum 2020-Ziel.
- Darstellung von weiteren Handlungsfeldern und Maßnahmen (Anpassung, Treibhausgasen senken wie insbesondere Wälder und Moorböden).
- Stärkung und institutionelle Verankerung der Monitoring-Kapazitäten (Berichterstattung, Projektionen, unabhängige Evaluierung, wissenschaftliche Begleitung).
- Auftrag zur Erarbeitung des langfristigen nationalen Klimaschutzplans, der in einem breiten Dialog- und Beteiligungsprozess erstellt und 2016 vorgelegt werden soll.

2. EU-Energieeffizienz-Richtlinie (EED)

Die EU-Mitgliedstaaten haben sich 2007 darauf verständigt, den Primärenergieverbrauch bis 2020 um 20 % zu reduzieren. Am 04.12.2012 ist die Richtlinie 2012/27/EU (Energieeffizienz-Richtlinie („directive“), EED) in Kraft getreten. Die Bundesregierung hat sich unter Federführung des BMWi eine sachgerechte Umsetzung der EED zum Ziel gesetzt. Zu den Kernpunkten der EED zählen:

- Festlegung nationaler Energieeffizienzziele bis zum Jahr 2020.
- Sanierungsrate für Gebäude der Zentralregierung von 3 Prozent pro Jahr.
- Verpflichtende Energieeinsparung der Mitgliedstaaten im Zeitraum 2014 bis 2020 von jährlich durchschnittlich 1,5 Prozent.
- Kraft-Wärme-Kopplung: Verpflichtende Durchführung einer Kosten-Nutzen-Analyse bei Neubau oder Modernisierung von Kraftwerken und Industrieanlagen.
- Verpflichtende Durchführung regelmäßiger Energieaudits in großen Unternehmen.

Durch die Einführung der EED werden unter anderem eine Energieverbrauchsreduktion und eine Steigerung der Energieeffizienz erwartet. Aus dieser zentralen Richtlinie ergeben sich indirekt Anforderungen an die Komponenten von Serverräumen und Rechenzentren (z.B. Anforderungen an die Energieeffizienz von Verteilpumpen).

3. Gesetz über Energiedienstleistungen und andere Energieeffizienzmaßnahmen (EDL-G)

Die Anforderung aus der EED, Energieeffizienzverpflichtungssysteme einzuführen, wird in Deutschland über das Energiedienstleistungsgesetz (EDL-G) umgesetzt. Im April 2015 wurde das EDL-G novelliert.

Zur Einhaltung des Gesetzes sind produzierende als auch nicht produzierende Unternehmen wie Dienstleister, Handel, Banken, Einrichtungen des Gesundheitswesens, etc. verpflichtet. Seit der Novellierung im April 2015 sind auch alle Unternehmen in Deutschland, die keine KMU (kleine und mittlere Unternehmen) sind, verpflichtet

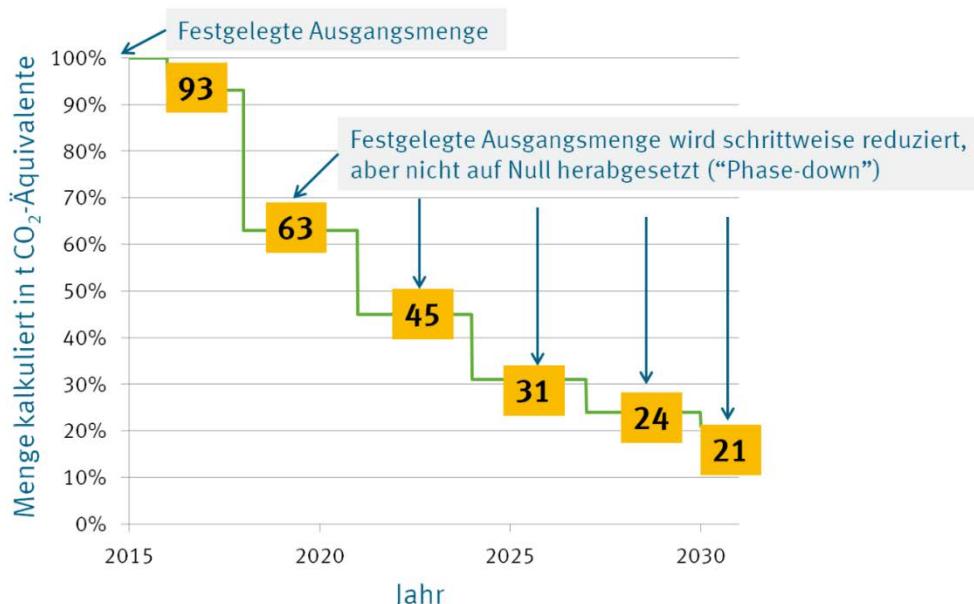
- ein Energieaudit nach EN 16247-1 oder
- ein Energiemanagement nach ISO 50001 oder
- ein Umweltmanagement nach EMAS

einzuführen. Bis zum 05.12.2015 muss das Energieaudit zum ersten Mal durchgeführt sein, alternativ eine Absichtserklärung vorliegen, die Bestimmungen der ISO 50001 bzw. der EMAS bis zum 31.12.2016 umzusetzen.

4. F-Gas-Verordnung

Am 09.06.2014 ist die novellierte **F-Gas-Verordnung (Verordnung (EU) Nr. 517/2014)** in Kraft getreten. Zweck ist die Reduzierung der Emissionen von fluorierten Treibhausgasen, die zu einem Großteil auf die Verwendung dieser Gase als Kältemittel zurückgehen. Gemäß der Verordnung erfolgt eine schrittweise Reduktion (Phase-Down-Szenario) der HFKW-Mengen, die in die EU in Verkehr gebracht werden dürfen (siehe nachfolgendes Bild). Basis sind die in den Jahren 2009 bis 2012 in die EU in Verkehr gebrachten durchschnittlichen Gesamtmengen, ausgedrückt in CO₂-Äquivalenten.

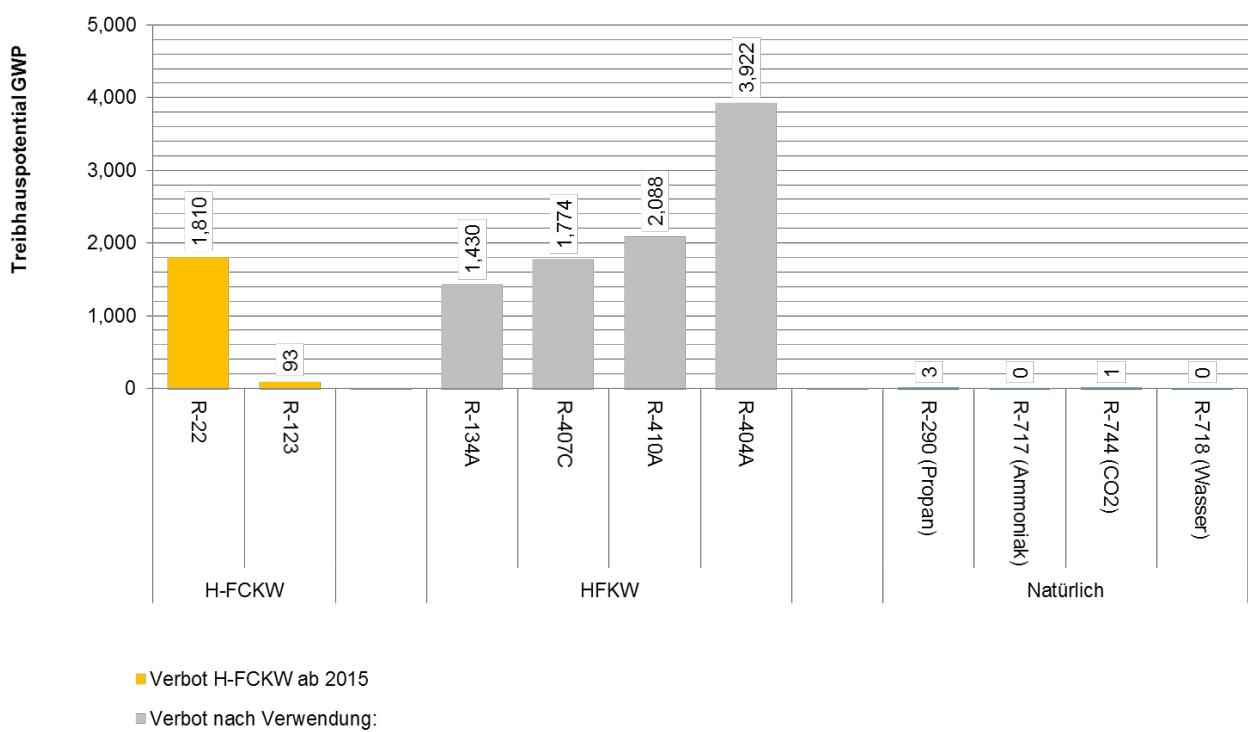
Abbildung 13: Höchstmengen (in %) für das Inverkehrbringen teilfluorierter Kohlenwasserstoffe (HFKW) für die Jahre 2015 – 2030 in die EU



Quelle: Umweltbundesamt <http://www.umweltbundesamt.de/themen/wirtschaft-konsum/produkte/fluorierte-treibhausgase-fkw/rechtliche-regelungen/eu-verordnung-ueber-fluorierte-treibhausgase>; abgerufen am 29.05.2015

Für Rechenzentren und Serverräume ist die F-Gas-Verordnung hinsichtlich der Kälteerzeugung relevant. Es ist zu erwarten, dass die Preise für Kältemittel steigen und es aufgrund der Verknappung der verfügbaren Mengen temporär zu Lieferschwierigkeiten kommt. Außerdem ist das Phase-Down-Szenario von Verboten von derzeit eingesetzten Kältemitteln mit hohem GWP-Wert (Global Warming Potential) in bestimmten Anwendungen flankiert. Diese haben auf Rechenzentren jedoch keine Auswirkungen. In der nachfolgenden Abbildung sind die GWP-Werte unterschiedlicher Kältemittel aufgeführt.

Abbildung 14: Treibhauspotenzial („Global Warming Potential“, GWP) verschiedener Kältemittel



Eigene Darstellung

Die Verbote im Bereich Gebäudeklimatisierung lauten wie folgt:

ab 01.01.2020:

- Ortsfeste Kälteanlagen mit GWP ≥ 2.500 (außer Anlagen zur Produktkühlung tiefer -50°C)

ab 01.01.2020:

- Mobile Klimaanlagen (hermetisch geschlossen) mit GWP ≥ 150

ab 01.01.2025:

- Einzel-Split-Klimaanlagen (unter 3 kg Füllgewicht) mit GWP ≥ 750

5. Energieeinsparverordnung EnEV

Die Grundlage der Energieeinsparverordnung (EnEV) ist das Energieeinsparungsgesetz (EnEG). Die EnEV ist die nationale Umsetzung der EU-Richtlinie 2012/27/EU zur Energieeffizienz (EED).

Die EnEV ist die zentrale Instanz, in der Anforderungswerte an die bauliche Substanz und technische Ausstattung von Gebäuden gestellt werden. Die letzte Änderung der EnEV erfolgte am 18.11.2013. Konkret werden neben baulichen Anforderungen auch Anforderungen sowohl an die Heizungs- und Wasserversorgung als auch die Kälte- und Lüftungstechnik in Gebäuden gestellt:

- Eine spezifische Ventilatorleistung (SFP-Wert) der Lüftungsanlagen der Kategorie 4 nach DIN EN 13779: 2007-09 darf nicht überschritten werden (§15 Abs. 1 EnEV).
- Im Falle einer Befeuchtung müssen Regelungseinrichtungen vorgesehen werden (§15 Abs. 2 EnEV).
- Es sind Einrichtungen zur Steuerung und Regelung des Zuluftvolumenstroms vorzusehen (§15 Abs. 3 EnEV).
- Die Wärmeaufnahme der Leitungen sowie der Armaturen ist nach Anlage 5 EnEV begrenzt (§15 Abs. 4 EnEV).
- Eine Einrichtung zur Wärmerückgewinnung der Mindest-Klassifizierung H3 nach DIN EN 13053:2007-11 ist einzubauen. (§15 Abs. 5 EnEV).

Unter gewissen Randbedingungen sind Anlagen von einzelnen Anforderungen ausgenommen. Gemäß Auslegung der Fachkommission Bautechnik der Bauministerkonferenz Auslegungsfragen zur Energieeinsparverordnung – Teil 20 [DIBT Staffel 20] fällt die Klimatisierung der Server in Rechenzentren unter die Aufrechterhaltung von Prozessen („Konditionierungsvorgänge in Gebäuden“) und nicht unter die Klimatisierung des Gebäudes. Wird die Zone ausschließlich mit diesen, dem Prozess zugehörigen Funktionen klimatisiert, so darf diese Zone als „nicht konditioniert“ im Sinne der Verordnung angesehen werden. Für Rechenzentren sind aus diesem Grunde keine Nachweise nach EnEV erforderlich.

6. Richtlinie über die Gesamteffizienz von Gebäuden

Für den Gebäudesektor ist noch die Richtlinie 2010/31/EU über die Gesamteffizienz von Gebäuden (Energy Performance of Buildings Directive)³ relevant. Diese definiert, dass bis zum 31.12.2018 alle Regierungsgebäude und bis zum 31.12.2020 alle Gebäude „Nearly zero energy buildings“ sind. Diese Richtlinie führt dazu, dass die nationalen Anforderungen an Gebäude (EnEV) in den nächsten Jahren immer weiter verschärft werden, um diesen ambitionierten Standard zu erreichen.

7. Gesetz zur Förderung Erneuerbarer Energien im Wärmebereich (Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz - EEWärmeG)

Ziel des EEWärmeG ist es, im Interesse des Klimaschutzes, der Schonung fossiler Ressourcen und der Minderung der Abhängigkeit von Energieimporten eine nachhaltige Entwicklung der Wärme- und Kälteversorgung zu ermöglichen und die Weiterentwicklung der Technik zur Nutzung erneuerbarer Energien zu fördern. Das Gesetz soll zusätzlich dazu beitragen, den Anteil erneuerbarer Energien am Endenergieverbrauch für Wärme und Kälte bis zum Jahr 2020 auf 14 Prozent zu steigern.

Für zu errichtende Gebäude müssen die Anforderungen des EEWärmeG eingehalten werden. Im Falle der Rechenzentren, für die kein Nachweis nach EnEV erforderlich ist, ist die Einhaltung des EEWärmeG dennoch verpflichtend.

³ Quelle: Amtsblatt der Europäischen Union: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:153:0013:0035:DE:PDF>; abgerufen am 16.12.2014

8. Gesetz für den Ausbau erneuerbarer Energien - Erneuerbare-Energien-Gesetz - EEG 2014

Ziel des Gesetzes ist es, den Anteil an erneuerbaren Energien an der Stromversorgung in Deutschland bis zum Jahr 2050 auf mindestens 80 % zu steigern. Der Ausbau der erneuerbaren Energien erfolgt insbesondere im Interesse des Klima- und Umweltschutzes zur Entwicklung einer nachhaltigen Energieversorgung. Das Gesetz regelt unter anderem die Förderung der erneuerbaren Energien.

9. Gesetz für die Erhaltung, die Modernisierung und den Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung (Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz)

Ziel des Gesetzes ist es, im Interesse der Energieeinsparung und der Erreichung der Klimaschutzziele der Bundesregierung einen Beitrag zur Erhöhung der Stromerzeugung aus Kraft-Wärme-Kopplung in der Bundesrepublik Deutschland auf 25 Prozent bis zum Jahr 2020 zu leisten. Dies soll durch die Förderung der Modernisierung und des Neubaus von Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen (KWK-Anlagen), die Unterstützung der Markteinführung der Brennstoffzelle und die Förderung des Neu- und Ausbaus von Wärme- und Kältenetzen sowie des Neu- und Ausbaus von Wärme- und Kältespeichern, in die Wärme oder Kälte aus KWK- bzw. KWKK-Anlagen eingespeist wird, erfolgen. Das Gesetz regelt unter anderem die Förderung für KWK Anlagen.

10. Ökodesign-Richtlinien: Verordnung (EU) 1253/2014 (Lüftungsanlagen) und Verordnung 206/2012 (Raumklimageräte und Komfortventilatoren)

Die Ökodesign-Verordnungen sind Durchführungsmaßnahmen auf Grundlage der Ökodesign-Richtlinie (2009/125/EG) der Europäischen Union. Ziel ist es, die Energieeffizienz und die Umweltverträglichkeit von bestimmten Produkten zu verbessern.

In der Ökodesign-Verordnung 1253/2014 wird die Mindesteffizienz von Lüftungsanlagen geregelt. Ab dem 01.01.2016 müssen die in Verkehr gebrachten Lüftungs- und Klimaanlagen die in der Verordnung festgehaltenen Vorgaben einhalten. Betroffen sind alle Geräte mit einer elektrischen Anschlussleistung von mehr als 30 W, die der Lüftung von Wohn- und Nichtwohngebäuden dienen. Im Wesentlichen regelt die Verordnung die Effizienz der Ventilatoren und der Wärmerückgewinnung.

In der Verordnung 206/2012 werden Anforderungen an die Mindesteffizienz von Raumklimageräten mit einer Nennleistung von $\leq 12 \text{ kW}$ und Komforventilatoren mit einer Ventilatorleistungsaufnahme von $\leq 125 \text{ W}$ gestellt, die ab dem 1.1.2013 neu in Verkehr gebracht werden.

11. Zertifizierungssysteme DGNB, BREEAM, LEED und BNB

In den unterschiedlichen Zertifizierungssystemen wie DGNB (Deutsche Gesellschaft für nachhaltiges Bauen), BNB (Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen), BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Methodology) und LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) werden je nach System unterschiedliche Anforderungen an die Nachhaltigkeit von Gebäuden gestellt. Um ein besseres Zertifizierungsergebnis zu erreichen, darf, neben der konsequenten Energieeffizienz, der fossile Ressourcenverbrauch nicht zu hoch sein, wodurch ein möglichst hoher Anteil an erneuerbaren Energien anzustreben ist. Im LEED-System sind zudem bei Rechenzentren (LEED v4 for BD+C: Data Centers)⁴ konkrete Anforderungen einzuhalten.

In Zukunft nimmt die Quartiersbewertung eine immer wichtigere Rolle ein. Dort ist wichtig, dass Abwärme potenziale von Rechenzentren bzw. Serverräumen für andere Zwecke (Beheizung von Büroräumen) genutzt werden (Ausschöpfen von Synergieeffekten).

⁴ U.S. Green Building Council;
<http://www.usgbc.org/sites/default/files/LEED%20v4%20ballot%20version%20%28BDC%29%20-%202013%2011%2013.pdf>; abgerufen am 17.12.2014

12. Umweltzeichen (Blauer Engel) für Rechenzentren (RAL-UZ 161)

Am weitesten gehen die Anforderungen des Blauen Engel. Unternehmen haben die Möglichkeit, ihr Rechenzentrum nach dem RAL-UZ-161 "Energieeffizienter Rechenzentrumsbetrieb" zertifizieren zu lassen. Die Zertifizierung kann nach einer einjährigen Messphase zur Bestimmung der Jahresarbeitszahl des Kühlsystems erfolgen.

Die mit dem Blauen Engel ausgezeichneten Rechenzentren haben einen möglichst geringen Einsatz von Hardware und Energie. Neben dem geringen Energieverbrauch ist auch eine klimafreundliche Kühlung wichtig. Der Blaue Engel fordert bereits jetzt, dass Kälteanlagen, die nach dem 01.01.2013 in Betrieb gegangen sind, nur noch halogenfrei kühlen. Das bedeutet, dass nur noch Kälteanlagen mit natürlichen Kältemitteln verwendet oder natürliche Kühlsysteme ganz ohne Kältemittel eingesetzt werden dürfen.

Das RAL-UZ-161 beschränkt sich nicht nur auf Anforderungen an die IT- und Klimatisierungstechnik, sondern bezieht auch die Einrichtung eines Energiemonitorings- und Energiemanagementsystems in den Anforderungskatalog mit ein.

2.2.1.2 Geplante Gesetze und Anforderungen

Deutschland ist wie die anderen EU-Länder verpflichtet, EU-Richtlinien und andere Rechtsakte in nationale Gesetze umzusetzen.

Die nachfolgenden ökologischen Politikziele und -Instrumente der EU stehen in Zusammenhang mit der Informations- und Kommunikationstechnik, also auch in Zusammenhang mit den betrachteten Rechenzentren und Serverräumen.

Es ist in der folgenden Auflistung jeweils der Entscheidungszeitraum mit dem jeweiligen Kernthema aufgeführt.

1. März 2010 – Europa 2020: Eine Strategie für intelligentes, nachhaltiges und integratives Wachstum. Festlegung der 20-20-20-Klimaschutz-/Energieziele für das Jahr 2020.
 - Reduktion der Treibhausgasemissionen um mindestens 20 % gegenüber 1990.
 - Erhöhung der Energieeffizienz um 20 %.
 - Anteil der erneuerbaren Energien mindestens 20 % am Gesamtenergieverbrauch.
2. März 2011 – Fahrplan (Roadmap) zur „Low-carbon-economy“ bis 2050.

Im Jahr 2011 wurde der EU-Fahrplan zur Reduzierung der Treibhausgasemissionen auf den Weg gebracht. Ziele des Fahrplans sind folgende:

- Reduktion der Treibhausgasemissionen um mindestens 80–95 % gegenüber 1990.
 - Untersuchung der Folgen für das europäische Energiesystem über die nächsten 5–10 Jahre.
3. Juli 2012 – Europäische Innovationspartnerschaft für Intelligente Städte und Gemeinden („Smart Cities“ und „Communities“).
 4. Mit der Gründung einer Europäischen Innovationspartnerschaft (EIP) für Intelligente Städte und Gemeinden möchte die Europäische Kommission die Entwicklung intelligenter städtischer Techniken vorantreiben.
 - Großprojekt für „Smart-City“ Lösungen mit besonderem Fokus auf Informations- und Kommunikationstechnik, Energie und Verkehr.
 5. September 2012 – Europäische Cloud Computing-Strategie

Die neue Strategie der Europäischen Kommission zur „Freisetzung des Cloud-Computing-Potenzials in Europa“ sieht Maßnahmen vor, die bis 2020 einen Nettonutzen in der Größenordnung von 2,5 Millionen neuen Arbeitsplätzen in Europa und eine jährliche Steigerung des Bruttoinlandproduktes der EU in Höhe von 160 Milliarden EUR (ca. 1 %) bewirken sollen.

- Potenzialerschließung von Cloud-Computing-Diensten

6. Juni 2013 – Start der „Ecodesign“-Studie für „enterprise servers and ancillary equipment“.

Hierbei handelt es sich um eine neue Vorstudie im Rahmen der Ökodesign-Richtlinie 2009/125/EG (Richtlinie zur Schaffung eines Rahmens für die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung energieverbrauchsrelevanter Produkte) der EU. Sie dient der Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung energieverbrauchender Produkte, die in EU-Verordnungen zu bestimmten Produktgruppen festgehalten sind. Mit dieser Vorstudie adressiert die Europäische Kommission professionelle IT-Produkte wie Server, Datenspeicher und Netzwerkgeräte, die zumeist in Rechenzentren zum Einsatz kommen. Gegenstand der Studie sind eine wissenschaftliche Analyse der Umweltauswirkungen dieser Produkte sowie die Identifizierung von Maßnahmen zur Verbesserung ihrer energie- und materialbezogenen Eigenschaften.

7. Oktober 2014 – Fortschreibung der 20-20-20-Ziele bis 2030⁵

Die Fortschreibung wird auf dem geltenden 2020-Rahmen und den darin enthaltenen so genannten "20-20-20-Zielen" aufbauen. Im 2020-Rahmen haben sich die EU-Mitgliedstaaten verpflichtet, bis 2020 ihre Treibhausgasemissionen um mindestens 20 Prozent gegenüber 1990 zu reduzieren, die Energieeffizienz um 20 Prozent zu erhöhen und einen Anteil von mindestens 20 Prozent erneuerbarer Energien am Gesamtenergieverbrauch zu erreichen. Diese Ziele werden durch eigenständige Legislativ-Instrumente umgesetzt, insbesondere durch die Emissionshandels-Richtlinie 2009/29/EG, die Erneuerbare Energien-Richtlinie 2009/28/EG und die Effizienzrichtlinie 2012/27/EU. Die neuen Ziele lauten wie folgt:

- Reduktion der Treibhausgasemissionen um mindestens 40 % gegenüber 1990.
- Anteil der erneuerbaren Energien von 27 % am Gesamtenergieverbrauch.
- Ein indikatives Energieeffizienzziel in Höhe von mindestens 27 % Energieeinsparungen bis 2030. Das Energieeffizienzziel soll zudem bis 2020 überprüft werden, mit der Option, es auf 30 % anzuheben.

Die einzelnen Richtlinien tangieren die Informations- und Kommunikationstechnik nur vereinzelt und es werden jeweils sehr spezifische Bereiche geregelt.

Die Europäische Union hat Förderprogramme für Forschung und Innovation für unterschiedliche Bereiche geschaffen, bei denen es unter anderem auch um die Themenbereiche Energie und Rechenzentren geht. Diese Förderungen sind Bestandteile des 7. Forschungsrahmenprogramms (FP7). Das FP7 hatte eine Laufzeit von 2007–2013. Die Fortsetzung des Forschungsprogramms ist das neue Rahmenprogramm Horizont 2020. Das Rahmenprogramm soll zur Umsetzung der Europa 2020-Strategie beitragen, in dem unter anderem die Klimaschutzziele 20-20-20 enthalten sind.⁶

Auf Basis dieser Forschungsergebnisse wird es in Zukunft neue Rechtsakte seitens der EU geben. Diese müssen dann wiederum in nationales Recht umgesetzt werden.

⁵ Quelle: BMWI; Bundesministerium für Wirtschaft und Energie <http://www.bmwi.de/DE/Themen/Energie/Europäische-und-internationale-Energiepolitik/europäische-energiepolitik,did=648682.html>; abgerufen am 11.06.2015

⁶ Quelle: BMBF; Bundesministerium für Bildung und Forschung, <http://www.horizont2020.de/einstieg-europa2020.htm>; abgerufen am 11.06.2015

Auch wenn die F-Gas-Verordnung der EU keine einheitliche Steuer auf synthetische Kältemittel fordert, haben einige Länder bereits Steuern zur Verringerung der Emissionen und des Treibhauseffekts eingeführt. In Norwegen, Dänemark, Spanien und Slowenien werden Steuern auf Kältemittel erhoben. Folgen werden Frankreich und Großbritannien⁷. Die Höhe der Steuer basiert auf dem Treibhauspotenzial des Kältemittels (GWP-Wert) und wird erhoben in Euro pro Tonne CO₂-Äquivalent. Weiterhin gibt es bereits in den Niederlanden steuerliche Anreize für Energieeffizienz und natürliche Kältemittel⁸.

2.2.1.3 Einfluss der Gesetzgebung auf die Art der Konditionierung

Grundsätzlich werden durch die vorhandenen Gesetze in Deutschland wie dem *Gesetz zur Förderung Erneuerbarer Energien im Wärmebereich (Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz - EEWärmeG)* und der Energieeinsparverordnung (EnEV) der Einsatz von erneuerbaren Energien und Kraft-Wärme-Kopplung gesteigert, sowie eine Reduzierung des Endenergie- und Primärenergiebedarfs für Beheizung, Kühlung, Lüftung, Beleuchtung und Warmwasserversorgung von Gebäuden erzielt.

Ab dem 01.01.2016 tritt die nächste Verschärfung der EnEV in Kraft. Ab diesem Zeitpunkt werden die einzuhaltenden Anforderungswerte der EnEV für den Primärenergiebedarf um 25 % gesenkt. Zur Einhaltung dieser Anforderungen müssen deutliche Einsparungen im Bereich des Endenergiebedarfs im Wesentlichen für den Bereich der raumluftechnischen Anlagen durchgeführt werden. Zur Reduzierung des Primärenergiebedarfs müssen zukünftig mehr erneuerbare Energien und Kraft-Wärme-Kopplung eingesetzt werden.

Für Rechenzentren gelten diese Verschärfungen der EnEV nicht, da für diese Gebäude, wie in den vorherigen Abschnitten beschrieben, kein Nachweis nach EnEV erforderlich ist. Von der Einhaltung des EEWärmeG sind Rechenzentren jedoch nicht ausgenommen.

Die Ökodesign-Verordnung für Lüftungsanlagen wird ebenfalls einen Einfluss auf die Klimatisierung von Gebäuden haben. So werden zukünftig effiziente Wärmerückgewinnungssysteme erforderlich sein, um die Verordnung einzuhalten. Zusätzlich wird bei großen Anlagen (>7.200 m³/h) die max. Leistungsaufnahme der Ventilatoren begrenzt. Hierdurch wird der Energiebedarf für die Belüftung von Gebäuden deutlich gesenkt.

Die Verordnung tritt ab dem 01.01.2016 in Kraft. Eine Verschärfung der Anforderungen ab dem 01.01.2018 ist in der Verordnung ebenfalls enthalten.⁹

Zur Einhaltung der Klimaschutzziele der EU wird in den nächsten Jahren mit weiteren deutlichen Verschärfungen in allen genannten Richtlinien und Verordnungen zu rechnen sein.

Auch eine Förderung von natürlichen Kältemitteln oder die Besteuerung von synthetischen Kältemitteln auf nationaler Ebene ist für die Zukunft denkbar.

⁷ Quelle: CCI Dialog GMBH: http://www.cci-dia-log.de/branchenticker/2014/kw06/05/cci_branchenticker_umfrage_zu_steuern_auf_kaeltemittel.html?backLink=/branchenticker/?date=07.02.2014; abgerufen am 11.06.2015

⁸ Quelle: Cofely Refrigeration; <http://uitfaseren.cofely-gdfsuez.nl/de/welche-chancen-bietet-mir-der-stufenweise-ausstieg.html>; abgerufen am 11.06.15

⁹ Quelle: Europäische Union: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014R1253&from=DE>; abgerufen am 21.12.15

2.2.2 Nutzeranforderungen an Serverräume und Rechenzentren

2.2.2.1 Versorgungssicherheit

Klassifizierung von Serverräumen und Rechenzentren

Hinsichtlich der Klassifizierung von Serverräumen und Rechenzentren gibt es unterschiedliche Ansätze bzw. Bereiche. Die nachfolgenden Abschnitte und Tabellen zeigen die unterschiedlichen Möglichkeiten und Kriterien / Faktoren zur Einteilung der Serverräume und Rechenzentren.

Tier-Klassen

Die Klimatisierung von Rechenzentren richtet sich hauptsächlich nach den Faktoren Betriebssicherheit und Energieeffizienz. Zur Dimensionierung der Kälteversorgung werden in der Praxis „Tier-Klassen“ gemäß TIA (Telecommunications Industry Association) 942 – „Telecommunications Infrastructure Standard for Data Centers“ verwendet [TIA 942]. Die Einteilung erfolgt in 4 Klassen. Die Anforderungen an Redundanz und Ausfallsicherheit erhöhen sich von Klasse I bis IV. Die unterschiedlichen Tier-Klassen sind wie folgt aufgeteilt.

Tier I

Erzeugung und Verteilung der Kälte sowie die Stromversorgung sind einfach und ohne Redundanz ausgelegt. Bei Störungen sind Unterbrechungen des Betriebs möglich. Für Wartungs- und Instandhaltungsmaßnahmen muss das System heruntergefahren werden.

Die Ausfallszeit pro Jahr wird mit ca. 29 Stunden veranschlagt, dadurch ergibt sich eine jährliche Betriebszeit von ca. 99,671 %.

Tier II

Die Versorgung der Strom- und Kältekomponenten sind wie bei einem Tier I-Rechenzentrum einfach ausgelegt. Die Komponenten selbst sind redundant ($n+1$) ausgeführt. Dazu gehören unter anderem die unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV) und Luftverteilungskomponenten (Umluftkühlgeräte). Für Wartungs- und Instandhaltungsmaßnahmen wird das System wie im Tier I-Fall heruntergefahren.

Die Ausfallszeit pro Jahr wird mit ca. 22 Stunden veranschlagt, dadurch ergibt sich eine jährliche Betriebszeit von ca. 99,741 %.

Tier III

Die Stromverteilung und alle Komponenten sind redundant ($n+1$) ausgelegt. Der Betriebsbereitschaft des Rechenzentrums muss für einen festgelegten Zeitraum fortwährend gewährleistet sein. Die Wartung und Instandhaltung kann bei laufendem Betrieb erfolgen.

Die Ausfallszeit pro Jahr wird mit ca. 105 Minuten veranschlagt, dadurch ergibt sich eine jährliche Betriebszeit von ca. 99,982 %.

Tier IV

Das Rechenzentrum ist redundant $2(n+1)$ ausgeführt. Alle Komponenten zur Bereitstellung der Kälte und des Stroms sowie die Energieverteilung sind vielfach ausgelegt. Der Betrieb muss in allen Fällen (Störung, Wartung und Instandsetzung) fortlaufend aufrechterhalten werden.

Die Ausfallszeit pro Jahr wird mit wenigen Minuten veranschlagt, dadurch ergibt sich eine jährliche Betriebszeit von ca. 99,995 %.

In der nachfolgenden Tabelle sind die wesentlichen Merkmale der Ausstattung von Serverräumen und Rechenzentren gemäß Tier-Klasse abgebildet.

Tabelle 22: Einteilung in Tier-Klassen [BITKOM 2010]

Tier-Klasse	Einführung	Verfügbarkeit [%]	Faktoren	Entwärmungsleistung [kW]
I	60er Jahre	99,671 %	einfacher Stromversorgungspfad, einfache Kälteversorgung, keine redundanten Komponenten	220-320 W/m ²
II	70er Jahre	99,741 %	einfacher Stromversorgungspfad, einfache Kälteversorgung, redundante Komponenten	430-540 W/m ²
III	Ende der 80er	99,982 %	mehrere Pfade vorhanden, aber nur einer aktiv, redundante Komponenten, Wartung ohne Unterbrechung möglich	1.070-1.620 W/m ²
IV	1994	99,995 %	mehrere aktive Strom- u. Kaltwasserverteilungspfade, redundante Komponenten fehlertolerant	>1.620 W/m ²

Einteilung in Verfügbarkeitsklassen nach dem Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI)

Der BITKOM¹⁰-Arbeitskreis „Betriebssicheres Rechenzentrum“ hat einen Leitfaden entwickelt, in dem Angaben für die Planung, Ausführung und den Betrieb von IT-Infrastrukturen in Rechenzentren und anderen IT-Umgebungen enthalten sind. Die nachfolgende Tabelle zeigt eine zusammengefasste Übersicht der unterschiedlichen Verfügbarkeitsstufen.

Tabelle 23: Einteilung in Verfügbarkeitsklassen nach BSI [BITKOM 2013]

Verfügbarkeit	Bezeichnung	Kumulierte, wahrscheinliche Ausfallzeit 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 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 Notfallvorsorge, Behandlung von Sicherheitsvorfällen und die Anwendung der Risikoanalyse auf der Basis von IT-Grundschutz.
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 USV im Serverraum oder Sekundär-Energieversorgung im Rechenzentrum.
VK 4 - 99,999 %	höchste Verfügbarkeit	ca. 5 Min.	IT-Grundschutz ergänzt durch Modellierung nach dem Hochverfügbarkeits-Kompendium. IT-Grundschutz als Basis wird zunehmend durch Hochverfügbarkeits-Maßnahmen ersetzt und ergänzt.

¹⁰ Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e.V.

Serverklassen gemäß [BIT energieeffiziente Serverräume 2011]

Die Bundesstelle für Informationstechnik des Bundesverwaltungsamts hat eine Broschüre herausgegeben, in der die Gestaltung von energieeffizienten Serverräumen bis zu einer Größe von 100 m² beschrieben wird. Ziel ist es, mittels baulicher Empfehlungen den Neubau von Serverräumen zu fördern, die den „Green-IT“-Gedanken berücksichtigen. Die Empfehlungen basieren auf den im Kompetenzzentrum Green IT des Bundesverwaltungsamts (BVA) gesammelten Projekterfahrungen und „Good Practices“ zur infrastrukturellen Gestaltung von Serverräumen [BIT energieeffiziente Serverräume 2011].

Die nachfolgende Tabelle zeigt die Einteilung der Klassen für Serverräume nach [BIT energieeffiziente Serverräume 2011].

Tabelle 24: Einteilung in Serverklassen nach [BIT energieeffiziente Serverräume 2011]

Klasse	Raumgröße [m ²]	Anzahl Racks	Davon aktiv	Anordnung der Racks	Doppel- boden	Redundanz	IT-Last [kVA]
A	<14	<3	1	beliebig	beliebig	nein	<5
B	14-18	4-8	<4	einreihig	beliebig	nein	5-15
C	18-30	9-15	<10	Ein- oder Mehrreihig	Ja	möglich	15-50
D	30-100	15-30	<20	Mehrreihig	Ja	vorhanden	50-100

Die Klassen sind für folgende Anwendungsbereiche definiert:

- Klasse A: Kleinst-Serverräume für z.B. Nebenräume und Unterverteilungen
- Klasse B: kleine Serverräume für die IT von 50-100 Arbeitsplätzen
- Klasse C: Serverräume mittlerer Größe für die IT von bis zu 500 Arbeitsplätzen, bzw. die Shared Services und / oder Hosting-Anwendungen beinhalten
- Klasse D: große Serverräume für die IT von mehr als 500 Arbeitsplätzen bzw. für umfangreiche Anwendungen auch für externe Anbindungen.

Für die Bereiche der Büro- und Verwaltungsgebäude hat die Datensicherheit in den letzten Jahren deutlich zugenommen. Aufgrund der immer schnelleren Rechner und immer größer werdenden Kapazitäten der Hardware nimmt auch die Menge der zu verarbeitenden Daten in den letzten Jahren deutlich zu. Die Anforderungen der Firmen und Unternehmen an die Sicherheit und Verfügbarkeit von Servern und Rechenzentren ist deutlich gestiegen.

Dem gegenüber steht die aktuelle Entwicklung, zunehmend IT-Dienstleistungen auszulagern (Cloud Computing). Es ist daher davon auszugehen, dass die angegebenen Zuordnungen zwischen Arbeitsplätzen und IT-Last im Bürogebäude selbst abnehmen werden, die angegebene Leistung jedoch weiterhin in einem Rechenzentrum anfallen wird.

2.2.2.2 Schutz vor kriminellen Aktivitäten

Serverräume und Rechenzentren sind aufgrund der darin installierten – teils teuren – Hardware ein mögliches Ziel für Einbrecher. Aber auch andere Arten von kriminellen Aktionen wie Sabotage, Brand- oder Sprengstoffanschläge sind bei Rechenzentren mit sensiblen Daten mögliche Gefährdungsszenarien. Je nach Sicherheitsanforderung werden Rechenzentren mittels unterschiedlicher

Maßnahmen gegen solche Bedrohungen abgesichert. Diese Schutzmaßnahmen können sich je nach Umfang der erforderlichen Schutzmaßnahmen auch auf die Klimatechnik auswirken, da ein Ausfall der Kühlung in der Regel auch einen Ausfall des gesamten Rechenzentrums nach sich zieht. Somit muss gegebenenfalls auch die Klimatechnik als potentielles Angriffsziel krimineller Aktivitäten in Betracht gezogen werden.

Im Einzelnen können sich Schutzmaßnahmen zur Abwehr von kriminellen Angriffen auf die folgenden Aspekte der Klimatechnik auswirken:

- Strikte räumliche Trennung zwischen Klimatechnik und Serverbereich und somit unter Umständen längere Lüftungskanäle mit höherem Strömungswiderstand und Temperaturverlusten während des Lufttransportes in den Serverraum.
- Vermeidung von Außenluft, die in ein Rechenzentrum eingebracht wird, um gesundheitsgefährdende oder explosive Gase, die über diesen Weg in das RZ eingebracht werden könnten, zu minimieren bzw. zu vermeiden (=> vollständige Umluftkühlung).
- Im Falle von Außenluftansaugung ggf. besondere Anforderungen an Filter und Sensoren zur Detektion von gesundheitsgefährdenden oder explosiven Gasen und dadurch höhere Druckverluste und höhere Ventilatorleistungen erforderlich.
- Gegebenenfalls besondere Ausführung der Raumlufttechnik mit explosionsgeschützten elektronischen Bauteilen

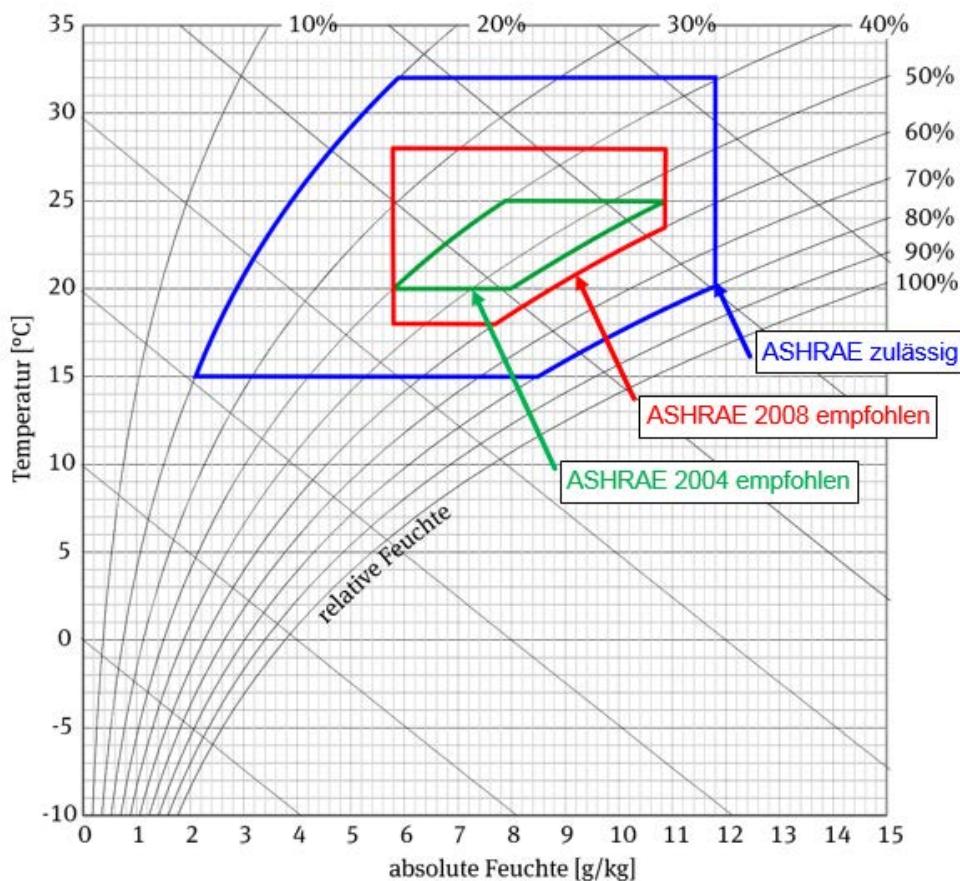
Konkrete Planungsvorgaben für die Klimatechnik, speziell in Bezug auf den Schutz vor kriminellen Aktivitäten, aus Richtlinien und Planungshilfen gibt es jedoch nicht.

2.2.2.3 Temperaturen in Serverräumen

Die Luftkühlung ist derzeit der am weitesten verbreitete Standard zur Kühlung von Rechenzentren. Die bestimmenden Kenngrößen sind dabei zum einen die Temperatur der Kaltluft, die den IT-Komponenten zur Kühlung zugeführt wird, und zum anderen die geförderte Luftmenge. Insbesondere die angestrebte Lufttemperatur hat großen Einfluss auf die Effizienz der angeschlossenen Kälte-technik. Allgemein gilt, dass je höher die Zulufttemperatur ist, desto energiesparender kann die erforderliche Kälte bereitgestellt werden. So kann bereits die Anhebung der Zulufttemperatur um lediglich 1 K das Freikühlpotenzial über einen Kühlturn um mehrere hundert Stunden im Jahr verlängern.

Die American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE) gibt Empfehlungen für die klimatischen Randbedingungen in Rechenzentren. Aktuell empfiehlt sie einen deutlich großzügigeren Klimakorridor, verglichen mit der Empfehlung von 2004 [ASHRAE 2011]. Das nachfolgende Bild zeigt die Anforderungen nach ASHRAE von 2004 und 2008, wobei letztere in den Empfehlungen von 2011 beibehalten wurden. Explizit wird darauf hingewiesen, dass es sich bei den empfohlenen Temperaturen nicht um absolute Grenzen handelt, sondern um einen Rahmen, der eine Schnittmenge aus Sicherheits- und Energieeffizienzerwägungen darstellt. Dieser kann bis hin zur zulässigen Temperatur überschritten werden, ohne dass Auswirkungen auf die Verfügbarkeit zu erwarten sind. Hierdurch können energieeffizienter Systeme (Freie Kühlung) über einen möglichst langen Jahreszeitraum ohne Unterstützung durch Kältemaschinen betrieben werden. Die Temperatur, die seitens ASHRAE empfohlen wird, bezieht sich dabei weder auf die mittlere Raumluft- oder die Ablufttemperatur, sondern beschreibt die Ansauglufttemperatur, die unmittelbar vor den IT-Komponenten zur Kühlung verfügbar ist. Im Folgenden ist mit Zulufttemperatur diese Temperatur gemeint.

Abbildung 15: Vergleich der Anforderungen an die klimatischen Bedingungen in Rechenzentren nach ASHRAE von 2004 und 2008 [ASHRAE 2008]



Eigene Darstellung

Im Folgenden soll aufgezeigt werden, welche Randbedingungen die Wahl der Zulufttemperatur beeinflussen können und auf welchem Niveau sie sich in Zukunft in etwa bewegen kann.

Randbedingungen, die sich auf die Zulufttemperatur im RZ auswirken:

Gewährleistung

Allgemein geht man davon aus, dass sich die Lebensdauer der elektrischen Bauteile von IT-Komponenten verkürzt, wenn diese dauerhaft bei hohen Temperaturen betrieben werden. Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, dass die IT-Komponenten meist weit vor Ablauf ihrer theoretisch möglichen Lebensdauer wieder durch neue, leistungsfähigere Geräte ersetzt werden. Hersteller geben in der Regel eine maximale zulässige Betriebstemperatur ihrer IT-Komponenten vor. Diese Temperaturlgrenze wurde in den letzten Jahren immer weiter nach oben gesetzt, sodass die meisten IT-Komponenten in der Regel gemäß ASHRAE 2011 Empfehlung bei Umgebungsbedingungen von 27 °C problemlos betrieben werden können. Abhängig von der Umgebungsklimaklasse sind gemäß ASHRAE 2011 Temperaturen zwischen 32 °C (Klasse A1) und 45 °C (A4) dauerhaft zulässig.

Betriebssicherheit

Insbesondere bei nicht sachgemäß ausgeführter oder nicht optimierter Luftführung im Rechenzentrum (keine Einhausung) können Warmluftnester („hot spots“) kritische Tempera-

turniveaus erreichen und lokal für einen Ausfall von Rechnern sorgen. Die Entstehung und Höhe von Warmluftnestern ist jedoch weitestgehend unabhängig von der mittleren Umgebungstemperatur in Rechenzentren, sondern vielmehr die Folge einer unzureichenden Planung und Ausführung der Klimatisierung, z.B. einer unsachgemäßen und dadurch ineffektiven Luftführung.

Stromverbrauch

Eine Anhebung der Zulufttemperatur führt zwangsläufig auch zu höheren Temperaturen der IT-Komponenten. Mit zunehmender Betriebstemperatur erhöht sich jedoch auch gleichzeitig der Stromverbrauch der IT-Systeme [ITHERM 2008]:

- Die Drehzahl von CPU-Lüftern ist i.d.R. temperaturabhängig. Eine höhere Temperatur sorgt somit auch für eine höhere Stromaufnahme der Lüfter. [ASHRAE 2008, Figure 3: Inlet and Component Temperatures with variable fan speed]. Diesem Effekt kann jedoch zumindest teilweise mit der Beschaffung von Servern entgegengewirkt werden, bei denen sich der Lüfterbetrieb in Abhängigkeit gewählter Temperaturschwellen einstellen lässt.
- Der elektrische Widerstand ist ebenfalls temperaturabhängig und nimmt bei steigenden Temperaturen zu.
- Der Wirkungsgrad der Netzteile wird umso schlechter, je wärmer sie werden.

Die oben beschriebenen Effekte bewirken mit steigender Zulufttemperatur direkt eine erhöhte Leistungsaufnahme der gesamten IT-Technik, und führt wiederum zu einer erhöhten thermischen Belastung (selbstverstärkender Effekt). Ab einem gewissen Punkt wird daher die mögliche Einsparung auf Seiten der Klimatechnik durch den erhöhten Stromverbrauch auf IT-Seite vollständig kompensiert.

Dieser Punkt ist jedoch erst bei relativ hohen Zulufttemperaturen erreicht und liegt unter Umständen auch jenseits der Temperatur, ab der bereits die Betriebssicherheit gefährdet ist. Bzgl. des Einflusses der Zulufttemperatur auf die Leistungsaufnahme von Servern hat ASHRAE zu einer breiten Produktpalette Daten verschiedener IT-Hersteller zusammengestellt. Demnach ist bei Temperaturen bis 27 °C nur mit einem geringfügigen Anstieg des Stromverbrauchs zu rechnen. Erst bei höheren Zulufttemperaturen erhöht sich der Stromverbrauch signifikant und kann bei einer Zulufttemperatur von 35 °C einen Mehrverbrauch zwischen 7 % und 20 % erreichen [KKA 2014]. Andere Untersuchungen legen nahe, dass der Energiebedarf erst ab 30 °C signifikant zunimmt und hierfür im Wesentlichen die Seriellüfter verantwortlich sind [SIGMETRICS 2012].

Zukünftige Entwicklung

Bei größeren Rechenzentren kann davon ausgegangen werden, dass in Zukunft dauerhaft Zulufttemperaturen von 27 °C und mehr für die Kühlung der IT problemlos genutzt werden können, wenn bei der Planung und im Betrieb folgende Punkte berücksichtigt werden:

Auswahl geeigneter Systemkomponenten

- Bei der Zusammenstellung der Systeme bereits auf möglichst sparsame, effiziente und bei angestrebten hohen Betriebstemperaturen auf entsprechend temperaturunempfindliche IT-Komponenten achten (z.B. effiziente Netzteile und PDUs).
- Rack-Systeme wählen, die alle IT-Komponenten mit Kühlbedarf mit ausreichend Kaltluft versorgen können (d. h. auch periphere Technik)

Konsequente Trennung der Zu- und Abluftströme

Bei größeren mittels Luft klimatisierten Serverräumen ist durch eine vollständige Einhausung der Racks mit einer wirksamen Abdichtung leerer Einbauschächte und Kabeldurchführungen zur Vermeidung von Leckagen eine optimale Kaltluftversorgung aller IT-Komponenten gewährleistet. Dabei sollte auch darauf geachtet werden, dass die periphere IT-Technik wie Stromverteilung und Netzwerktechnik ebenfalls ausreichend mit Kaltluft versorgt werden.

Schrittweise Steigerung der Zulufttemperatur und begleitendes Monitoring

Die Erstinbetriebnahme sollte mit relativ niedriger Starttemperatur (z.B. 22 °C) erfolgen. Anschließend sollte die Zulufttemperatur in mehreren Schritten angehoben werden. Es sollte dabei ein Monitoring zur Überwachung der Auswirkungen auf mindestens folgende Aspekte stattfinden:

- Betriebssicherheit
- Stromverbrauch Klimatisierung
- Stromverbrauch IT-Komponenten

Ein geeignetes Messkonzept, welches diesen Aspekten Rechnung trägt, ist im Anhang 2 zur Vergabegrundlage des RAL-UZ 161 „Energieeffizienter Rechenzentrumsbetrieb“ beschrieben. Die Zulufttemperatur sollte schrittweise angehoben werden, bis die ermittelte mittlere Gesamtstromlast des Serverraumes bzw. Rechenzentrums bei möglichst vergleichbaren Betriebsbedingungen bzgl. IT-Last und Außenklima minimal ist.

Tabelle 25: Empfehlungen und Beispiele zur Zulufttemperatur aus Empfehlungen, Veröffentlichungen und Projekten

Zulufttemperatur für IT-Komponenten	Quelle	Anmerkungen
Empfehlung: 18°C – 27 °C Zulässig: 15°C – 32°C (Klasse A1) bis 5°C bis 45°C (Klasse A4)	ASHRAE 2011 thermal guidelines	Amerikanischer Standard
27 °C	„Dynamic Smart Cooling“ in einem HP-Rechenzentrum in Bangalore [BMU 2009]	RZ für Forschung und Testing auf 6.500 m ² , Intensives Monitoring über Dynamic Smart Cooling (DSC) Technologie
33 °C – 35	Die Vision vom „1%-Rechenzentrum“ der b.r.m. Technologie und Managementberatung Bremen [BMU 2009]	IT-Hosting für Dienstleistung und Gewerbe, 56 Blade-Server auf 48 m ² , Temperaturerhöhung begleitet durch umfangreiche Messungen
24 °C	Das klimaneutrale Rechenzentrum EvoSwitch in Amsterdam [BMU 2009]	IT-Hosting für Internetanbieter 14.000 Server (Ziel 40.000)
23,5 °C	Strato AG: Energie- und Kostenenkung durch intelligentes Last- und Luftstrommanagement [BMU 2009]	Webhosting, Mietserver, Online-Shops, 27.000 Server, intelligentes Luftstrommanagement und konsequente Einhausung

2.2.2.4 Auslastung und Leistungsdichte von Serverräumen und Rechenzentren

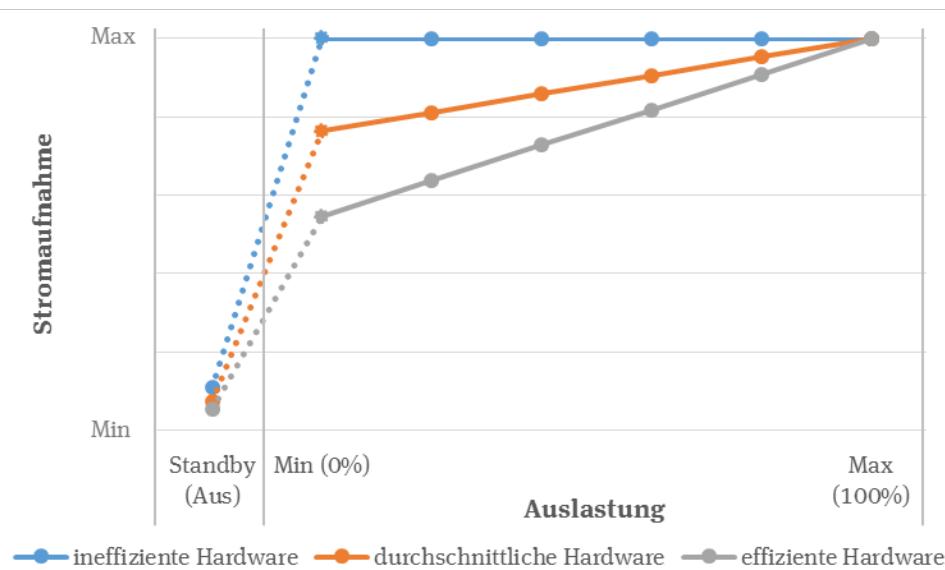
Auslastung von Servern

Grundsätzlich bedeutet eine höhere Inanspruchnahme von Rechenkapazität auch eine erhöhte Stromaufnahme und somit auch eine höhere Wärmeabgabe, die über die Klimatechnik abgeführt werden muss.

Die Auslastung eines einzelnen Servers und damit dessen Stromaufnahme hängt von dessen Softwareprozessen ab, die jeweils ausgeführt werden.

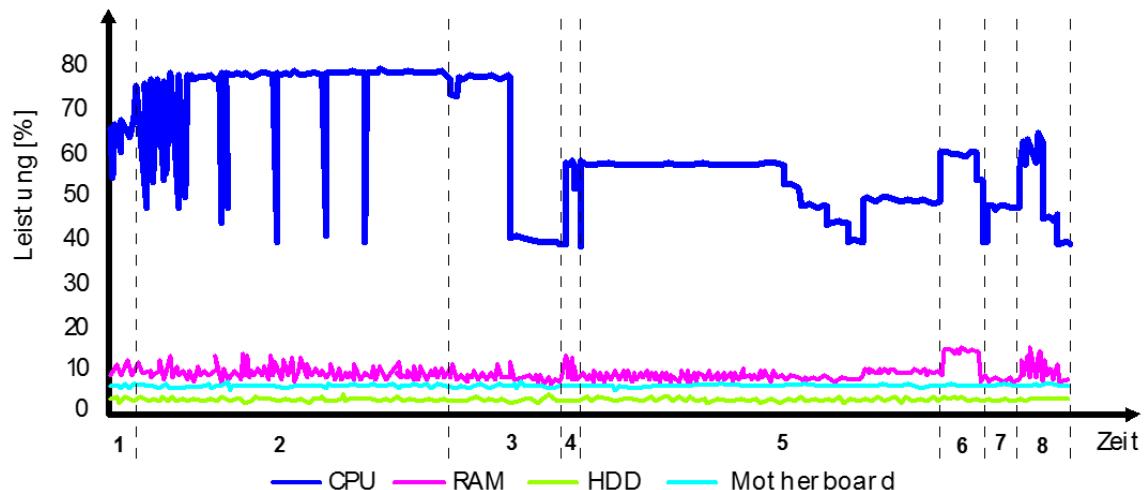
Die folgende Grafik veranschaulicht den qualitativen Zusammenhang zwischen der Stromaufnahme und der Auslastung eines Rechners für unterschiedlich effiziente Hardwarequalitäten.

Abbildung 16: Qualitative Stromaufnahme eines Rechners (Servers) in Abhängigkeit der Auslastung für unterschiedliche Hardwarequalitäten in Anlehnung an [Offis, 2009]



Die Abbildung zeigt, dass selbst effiziente Hardware im „Leerlauf“ (Auslastung 0 %) immer noch bis zu 50 % des Strombedarfs haben, den sie unter Vollauslastung aufweisen. Selbst im Standby-Betrieb werden immer noch bis zu 10 % des maximalen Strombedarfs in Anspruch genommen. Dabei setzt sich die Gesamtleistungsaufnahme eines Rechners aus der Leistungsaufnahme der einzelnen Komponenten zusammen. Das folgende Bild verdeutlicht, wie sich die Stromaufnahme auf die wichtigsten Rechnerkomponenten Prozessor, Arbeitsspeicher, Hauptplatine und Festplatte bei unterschiedlicher Auslastung verteilt.

Abbildung 17: Lastprofil und Verteilung der Stromaufnahme verschiedener Auslastung [RenewIT2014]



Eigene Darstellung nach [RenewIT2014]

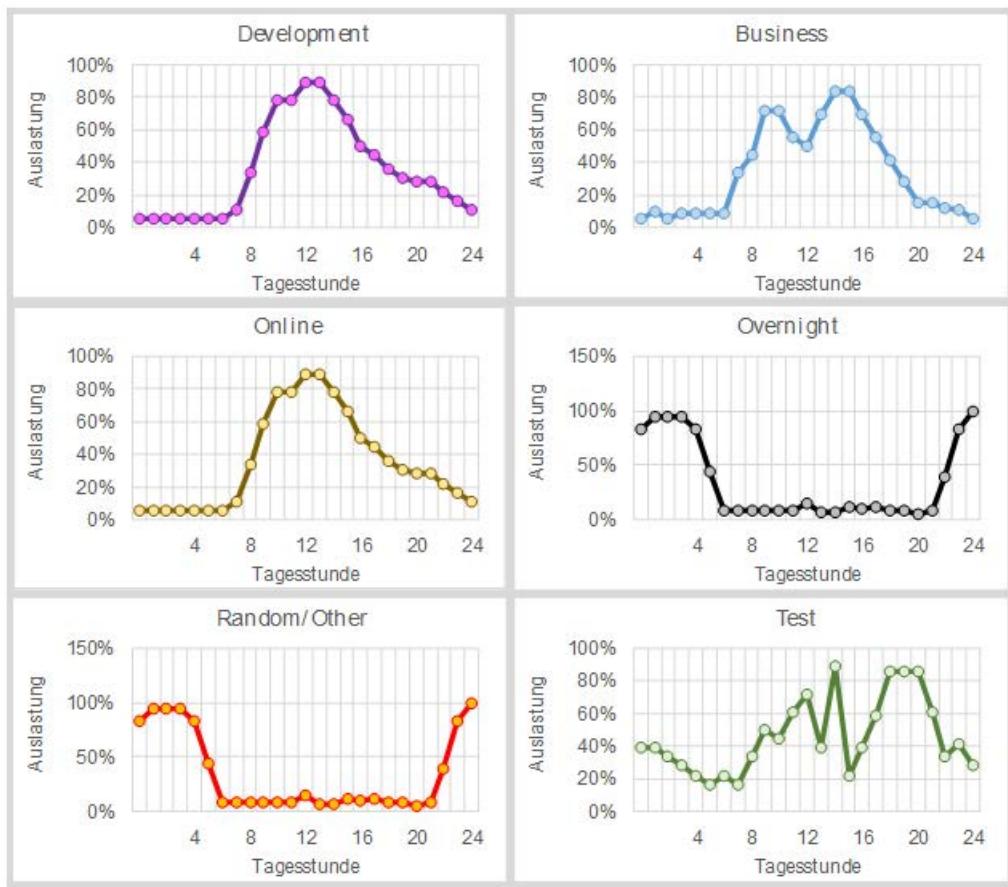
Die in der Abbildung dargestellten Abschnitte 1 bis 8 markieren dabei Zeiträume, in denen jeweils unterschiedliche Softwareprozesse stattfanden. Dabei wird deutlich, dass der Großteil (ca. 80 %) der Leistungsaufnahme durch die CPU bestimmt wird und sich nur ein vergleichsweise geringer Teil auf die übrigen Komponenten verteilt.

Moderne Hardware und insbesondere die aktuellen Prozessorgenerationen verfügen dabei über eine Reihe von Energiesparmechanismen, um die Leistungsaufnahme entsprechend der Auslastung anzupassen. Dazu gehört beispielsweise das Herabsetzen der Taktrate der CPU oder das Abschalten von zeitweise nicht benötigten Prozessorkernen [RenewIT 2014].

Die Auslastung der einzelnen Server bestimmt in deren Gesamtheit die Stromaufnahme der gesamten IT-Komponenten inklusive der Stromversorgungssysteme sowie der erforderlichen Netzwerktechnik.

Die folgende Grafik veranschaulicht die Auslastung für unterschiedliche Hauptnutzungen von Rechenzentren und deren Verlauf über den Tag verteilt.

Abbildung 18: Auslastungsprofile verschiedener Typen von Rechenzentren in Abhängigkeit der Tageszeit [OFFIS 2009]



Eigene Darstellung nach [OFFIS 2009]

Die dargestellten Profile basieren auf Messungen und zeigen, dass je nach Diensttyp des Rechenzentrums die über den Tag verteilte Nutzung stark schwankt. Da der erforderliche elektrische Strom für die IT vollständig als Wärme im Rechenzentrum frei wird, ist die Auslastung der Klimatechnik direkt an die Auslastung der IT-Systeme gekoppelt. Gerade für Systeme, die beispielsweise eine freie Kühlung über Außenluft nutzen, kann das tägliche Lastprofil entscheiden, wie effizient die Klimatechnik genutzt werden kann. Ein Rechenzentrum, das vorwiegend tagsüber beansprucht wird (vgl. Profiltyp Business), kann im Vergleich zu einem vorwiegend nachts beanspruchten RZ-Typ (vgl. Profiltyp Overnight) weniger von den kälteren Lufttemperaturen während der Nachtstunden profitieren. Dadurch wird bei gleicher technischer Grundausstattung und Klimatisierung weniger effizient gekühlt.

Um die Auslastung der im Rechenzentrum installierten Server optimal zu nutzen, wird vermehrt die sogenannte Virtualisierung von Rechnern genutzt.

Der Begriff Virtualisierung bezeichnet in diesem Zusammenhang ein Verfahren, bei dem auf einem physischen Rechner mehrere virtuelle Rechner simuliert werden. Auf der Ebene der Datenkommunikation ist zwischen einem physischen und einem virtuellen Server kein Unterschied festzustellen. Durch dieses Verfahren ist es z.B. möglich, ein Betriebssystem als Anwendungsprogramm innerhalb eines anderen Betriebssystems laufen zu lassen. Durch die Virtualisierung kommt es zu einer deutlich besseren Auslastung des Servers und es führt zu erheblichen Hardwareeinsparungen.

Die Konsequenz daraus ist oft, dass ohne Virtualisierung ein Großteil des Leistungspotenzials eines Rechners ungenutzt bleibt. Mit Hilfe der Virtualisierung kann diese brachliegende Ressource genutzt

werden, um die Aufgaben gleich mehrerer solcher Rechner im Teillastbetrieb zu bündeln und somit für eine bessere Auslastung des einen physischen Rechners sicherzustellen, der nun mehrere virtuelle Rechner repräsentiert.

Kapazität bzw. Auslastung von Serverräumen und Rechenzentren

Der Belegung von Rechenzentren sind Grenzen durch die zur Verfügung stehende Fläche und die geplante Gebäudetechnik gesetzt.

Die zur Verfügung stehende Kapazität zur IT-Nutzung (Maximale Anschlussleistung) teilt sich in Anlehnung an [APC, 2012a] in 5 Unterkategorien auf:

1. Aktive Kapazität (aktuell in Nutzung)
2. Ungenutzte Kapazität (Idle capacity, auf Abruf verfügbar)

Ein Auslastungsmanagement kann die Auslastung ungenutzter Kapazität optimieren, so dass ein Teil davon als Reservekapazität nutzbar ist.
3. nicht nutzbare Kapazität (Stranded capacity, nicht verfügbar)
 - nicht nutzbar aufgrund von Planungsfehlern
 - bedingt durch die nicht vorhandene Verfügbarkeit einer der drei notwendigen Bedingungen: Stromversorgung, Kühlkapazität oder freier Steckplatz im Rack
 - Auslastungsmanagement kann nicht verfügbare Kapazitäten aufzeigen bzw. verhindern
4. Reservekapazität (Spare capacity, bei Bedarf verfügbar für neue IT-Komponenten)
 - Signifikanter Anteil an Kapital- und Betriebskosten
 - reduziert Gesamteffizienz eines Rechenzentrums
 - erhöht den Stromverbrauch
5. Sicherheitsbereich (Safety Margin, Überdimensionierung zur Absicherung)
 - Reserve für absolute Spitzenlastabdeckung (Auslastung überschreitet Auslegungsauslastung)
 - Absicherung gegen Fehldimensionierung bei Auslegung
 - Absicherung gegen IT-Komponenten, deren Installation im Rechenzentrum nicht autorisiert wurde
 - Typischer Wert 10–20 % der Gesamtkapazität, bei schlechtem Änderungsmanagement 30 %
 - Auslastungsmanagement kann den Sicherheitsbereich reduzieren und einen Teil davon in Reservekapazität umwandeln

Die Aufteilung der Einzelkategorien zeigt die nachfolgende Abbildung.

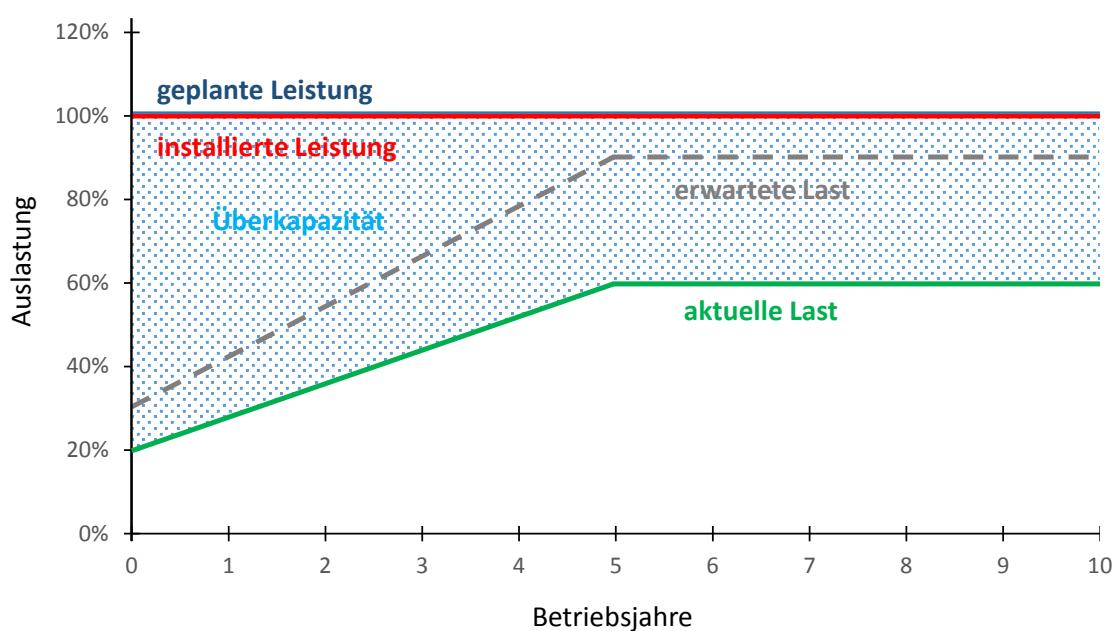
Abbildung 19: Typen der Überkapazitäten, nach [APC, 2012a]



Eigene Darstellung nach [APC, 2012a]

Die Darstellung zeigt, dass aus den unterschiedlichsten Gründen nie die gesamte geplante IT-Leistung in Rechenzentren genutzt wird. Verschiedene Messungen von [APC, 2012b] haben ergeben, dass die aktuelle Auslastung (Active capacity) bei ca. 60 % der ursprünglich geplanten IT-Leistung liegt. Diese 60 % werden erst nach ca. 5 Jahren erreicht. Bei Inbetriebnahme eines Rechenzentrums liegt die Auslastung bei lediglich 20 %. Die Entwicklung der Kapazität bzw. Auslastung eines Rechenzentrums über einen Zeitraum von 10 Jahren zeigt die nachfolgende Abbildung.

Abbildung 20: Geplante IT-Leistung gegenüber der tatsächlichen IT-Leistung über einen Zeitraum von 10 Jahren, in Anlehnung an [APC, 2012b]



Aktueller Stand der Technik

Der Verband der deutschen Internetwirtschaft e.V. hat in [Whitepaper 2012] Anhaltswerte für die Auslegungskriterien von Rechenzentren veröffentlicht. Die Ausarbeitung richtet sich an Planer und Errichter von Rechenzentren und Serverräumen des Mittelstandes der Industrie, Banken- und Versicherungsbranche, die Rechenzentren für die Abwicklung ihres klassischen Geschäfts betreiben.

Das Whitepaper dient als grobe Orientierung, um die richtigen Leistungswerte für das IKT-Equipment eines Rechenzentrums zu erhalten. Die Aussagen basieren auf Recherchen, Berechnungen und Messergebnissen sowie Erfahrungswerten.

Auf Basis dieser Informationen wurden „Best-Patrice-Szenarien“ entwickelt.

In der Studie wurden 4 Kategorien gebildet. Die Kategorien wurden so gewählt, dass davon ausgegangen werden kann, dass mehr als 80 % der aktuell betriebenen Racks von diesen erfasst sind. Die Annahmen gelten für Racks, die jünger sind als 4 Jahre. Die nachfolgende Tabelle zeigt die Zusammenstellung der Ergebnisse der Studie [Whitepaper 2012].

Tabelle 26: Leistungsdichte und Rahmenbedingungen nach [Whitepaper 2012]

Rack-Kategorie	Rahmenbedingung	Leistungsdichte je Rack
Kategorie 1 „Normal“	Heterogene Serverstruktur (1HE-Server, 2HE-Server, mehr HE-Server)	< 3 kW
	Bis 70 % Belegung der Racks mit IT-Komponenten	
	Geringer Virtualisierungsgrad (< 25 %)	
	Auslastungsgrad Server ca. 20 %	
Kategorie 2 „Virtuell“	Siehe Rack-Kategorie 1	< 4 kW
	Hoher Virtualisierungsgrad (> 50 %)	
	Auslastungsgrad Server 60 %	
Kategorie 3 „Blade Normal“	Einsatz von Blade-Technik	< 6 kW
	Keine spezialisierten Anwendungen	
	Bis 60 % Belegung des Racks mit aktiven Komponenten	
	Auslastungsgrad Server bis 60 %	
Kategorie 4 „Blade höherer Anspruch“	Schwerpunktmaßig Blade-Technologie	< 10 kW
	Mit spezialisierten Anwendungen	
	Bis 70% Belegung des Racks mit aktiven Komponenten	
	Auslastungsgrad Server bis 75 %	

HE = Höheneinheit für ein Elektronikgehäuse, 1HE entspricht 44,45 Millimeter

Blade-Technik= Modular aufgebaute Server, die in Bezug auf Größe und Energieverbrauch optimiert sind.

2.2.2.5 Trends und Entwicklungen im IT-Bereich

Aktuelle Trends in Rechenzentren hinsichtlich Anwendung und Nutzung von Rechenzentrumskapazitäten (Serverleistung) hängen im Wesentlichen von der zukünftigen Entwicklung der IT-Komponenten und der Virtualisierung der Serverlandschaften ab. Weitere wichtige Punkte sind die

stark steigende Nutzung des Internets in den letzten Jahren und die Zunahme der IT-Unterstützung in fast allen Geschäftsprozessen. In der Untersuchung zum Materialbedarf von Rechenzentren [UBA 55/2010] wurden folgende Trends mit Einfluss auf den Materialbedarf in Rechenzentren aufgezeigt:

Anwendungsbezogene Trends

- Stark steigende Nutzung des Internets (Video, Foto, Anzahl der E-Mails, Websites etc.)
- Steigende Daten- und Speichermengen
- Zunahme der IT-Unterstützung in fast allen Geschäftsprozessen
- Zentralisierung von Rechenleistung und Datenspeicherung vom Arbeitsplatz in Rechenzentren (Verbreitung Thin Client & Server Based Computing, Desktop-Virtualisierung, Hosted Virtual Desktop etc.)¹¹
- Zunehmende Bereitstellung von „Software as a Service“¹², Cloud Computing¹³

Techniktrends

- Konsolidierung von Rechenzentren
- Virtualisierung von Servern, Storage und Netzwerken
- Dynamisierung des Stromverbrauchs der IT durch Verbesserung des Wirkungsgrads im niedrigen IT-Lastbereich (z.B. Heruntertakten von Prozessoren, Abschalten nicht benötigter Server)

Quelle: [UBA55/2010]

Diese Trends im Bereich der Rechenzentren haben einen erheblichen Einfluss auf den zukünftigen Stromverbrauch für Serverräume und Rechenzentren und damit auch unmittelbar auf den benötigten Kältebedarf.

¹¹ Thin Client & Server Based Computing, Desktop-Virtualisierung (Hosted Virtual Desktop): Betriebssystem samt Software eines Desktop-Arbeitsplatzes werden über ein zentral installiertes System (Server) bereitgestellt, auf das der Nutzer über einen Rechner mit minimaler Hardwareausstattung (Thin Client) zugreift. Das System stellt sich dem Nutzer wie ein lokaler Rechner dar (Virtual Desktop).

¹² Software as a Service: Bei diesem Modell wird dem Kunden Software und Infrastruktur bei einem Dienstleister bereitgestellt. Die Nutzung erfolgt über (reduzierte) Hardware beim Kunden und mittels Netzwerkverbindung. „Software as a Service“ kann als Teilbereich des Cloud Computing angesehen werden. Im Unterschied zur Desktop-Virtualisierung wird in der Regel nur das Anwendungsprogramm extern ausgeführt, jedoch nicht das Betriebssystem.

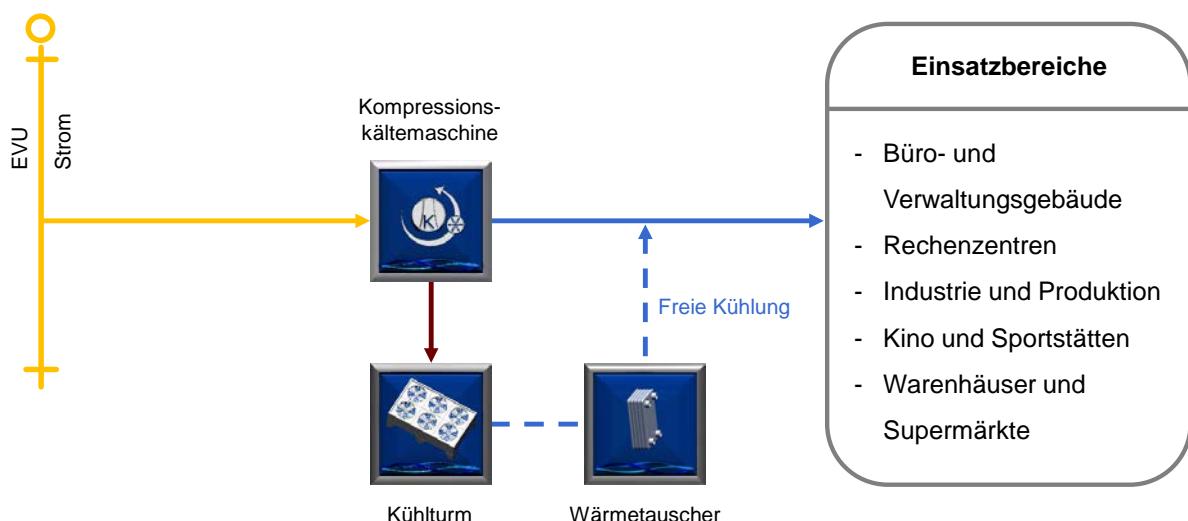
¹³ Cloud Computing: Cloud Computing beschreibt Allgemein die Auslagerung von Hardware und Softwarediensten und Daten von einzelnen lokalen Rechner hin zu großen Rechenzentren. Der Zugriff erfolgt über ein Netzwerk (z. B. Internet). Dabei können sich die Dienste und Daten auch auf mehrere Rechenzentren verteilen.

2.3 Aktuelle Versorgungskonzepte

In diesem Abschnitt werden aktuelle Versorgungskonzepte für Gebäude mit Rechenzentren und Serverräumen vorgestellt. Hierbei wird der Hauptfokus auf die Darstellung von Versorgungskonzepten für Serverräume und Rechenzentren gelegt, da für diese gerade im Hinblick auf die Kälteversorgung in Nichtwohngebäuden aufgrund des 24 h-Betriebs ein großer Bedarf besteht. Die Beschreibungen enthalten Erfahrungswerte und sind nicht als allgemein gültige und generelle Auslegungskriterien zu verstehen. Die vorgestellten Versorgungskonzepte haben keinen Anspruch auf Vollständigkeit, es sind in der Praxis gängige und bewährte Möglichkeiten der Energieversorgung von Rechenzentren und Serverräumen. Sie unterscheiden sich nach Anwendungsbereichen sowie nach Art der Energiequelle, -erzeugung und -übergabe. Im Abschnitt Energiebenchmark wird eine Übersicht über das Thema Vergleichbarkeit und aktuelle Energieverbräuche von Serverräumen und Rechenzentren gegeben.

2.3.1 Kompressionskältemaschine mit freier Kühlung

Abbildung 21: Versorgungskonzept Kompressionskältemaschine mit freier Kühlung



Die Kälteerzeugung erfolgt bedarfsgerecht, für die Grund- als auch für die Spitzenlast, mit einer Kompressionskältemaschine. Zur Rückkühlung der Kältemaschine dient ein Rückkühlwerk. Ergänzend zur Rückkühlung der Kältemaschine besteht die Möglichkeit, den Kühlturn zur freien Kühlung zu verwenden.

Im Sommer und in der Übergangszeit ist die freie Kühlung hauptsächlich in den Abend- und Nachstunden zur Kühlung von Serverräumen und Rechenzentren realisierbar. Im Winter kann diese je nach Außentemperaturen auch durchgängig verwendet werden.

Neben der Verwendung in Rechenzentren und Serverräumen kann die freie Kühlung bei gleichzeitiger Verwendung einer Betonkerntemperierung in Büro- und Verwaltungsgebäuden (Betriebszeiten 8.00-18.00 Uhr) auch für die Komfortklimatisierung genutzt werden. Hierbei wird der Betonkern in den Abend- und Nachtstunden über wasserführende Leitungen gekühlt und nimmt tagsüber die Wärme in den Räumen auf. Hierdurch kann die Laufzeit der Kompressionskältemaschine reduziert werden.

Je nach Aufbau und Betriebsweise des Kühlturns (Verdunstungs-, Trocken- oder Hybridkühler) kann das Freikühlpotenzial optimal ausgenutzt werden. Die Wahl des Kühlturns hängt von mehreren Faktoren ab (Hygiene, erforderliches Kühlwassertemperaturniveau, Architektur, Akustik etc.). So ist es

möglich, Büro- und Verwaltungsgebäuden zu ca. 50 % mittels Verdunstungskühltürmen innerhalb der Betriebszeiten (8.00-18.00 Uhr) frei zu kühlen. Trockenkühler können bei gleichen Randbedingungen ca. 30 % des Kühlbedarfs abdecken. In Rechenzentren und Serverräumen liegt das Freikühlpotenzial bei ca. 67 % (Trockenkühler) und 75 % (Nasskühler), bezogen auf die ganztägige Betriebszeit über das ganze Jahr.

Bei großen Kälteleistungen (≥ 1 MW) bietet sich der Einsatz von Kältemaschinen an, die mit einem Turboverdichter betrieben werden. Turboverdichter-Kältemaschinen erzielen im Teillastbetrieb sehr gute EER¹⁴-Werte von bis zu 9.

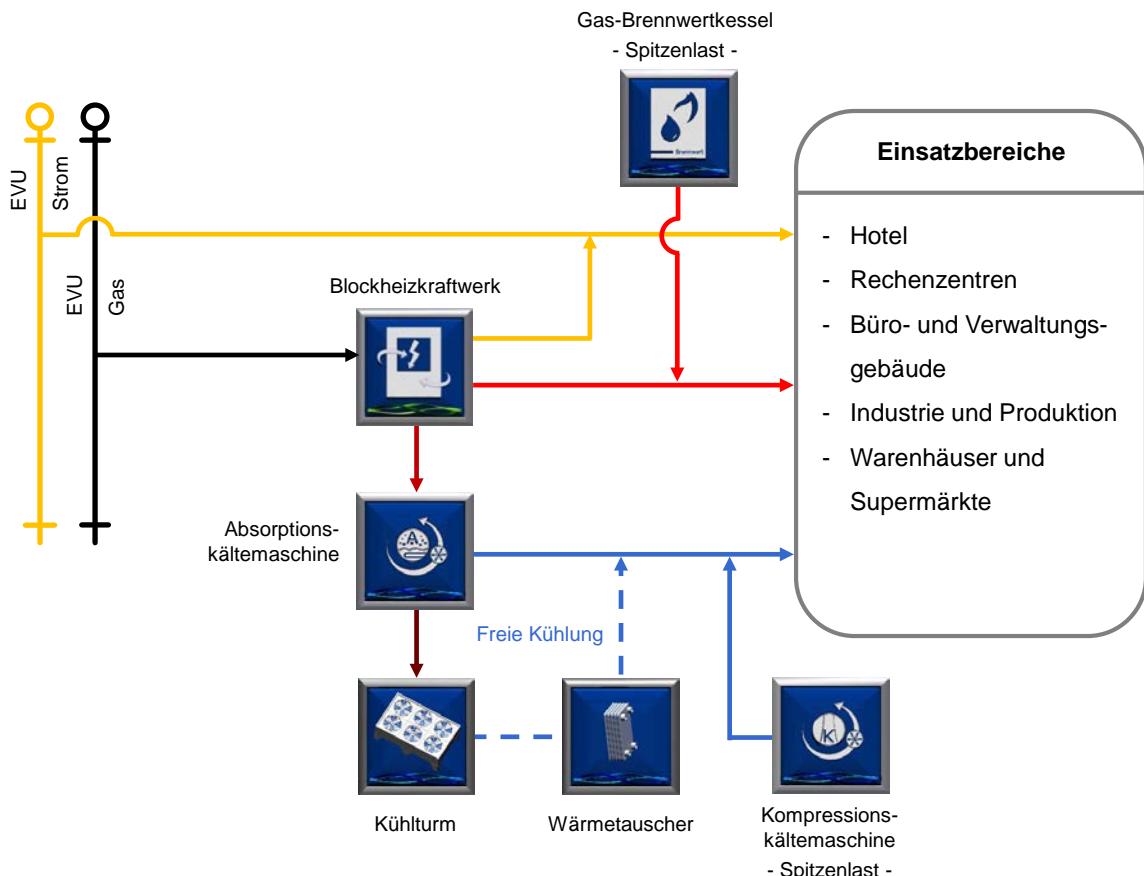
Aufgrund der guten EER-Werte muss für die freie Kühlung in der Übergangszeit geprüft werden, ob der Betrieb über den Kühlturn oder die Turboverdichter-Kältemaschinen effizienter ist. Diese Entscheidung erfolgt anhand der Daten, die über die Gebäudeleittechnik zur Verfügung stehen.

In Büro- und Verwaltungsgebäuden werden die Kältemaschinen häufig mit 50 % Betriebssicherheit ausgeführt, so dass beim Ausfall einer Kältemaschine noch mindestens die Hälfte der Kälteleistung zur Verfügung steht. Hierbei wird die erforderliche Kälteleistung nicht durch eine Kältemaschine gedeckt, sondern die Leistung auf zwei Kältemaschinen mit jeweils 50 % der Kälteleistung aufgeteilt. Aus Gründen der Betriebssicherheit werden Kältemaschinen für Rechenzentren meist zumindest mit einer Redundanz ($n+1$) ausgeführt. Das bedeutet, dass mindestens eine Kältemaschine mehr installiert ist als für den Auslegungsfall benötigt wird.

¹⁴ Der EER (Energy Efficiency Ratio) ist das Verhältnis von erzeugter Kälteleistung zur eingesetzten elektrischen Leistung bei mechanischen Kältemaschinen.

2.3.2 Blockheizkraftwerk und Absorptionskältemaschine

Abbildung 22: Versorgungskonzept Blockheizkraftwerk mit Absorptionskältemaschine



Bei dem hier vorgestellten Versorgungskonzept dient das wärmegeführte BHKW im Heizfall zur Deckung der Grundlast, die Spitzenlast wird mit einem ergänzenden System (z.B. Gas-Brennwertkessel) abgedeckt. Um die Laufzeit des BHKWs auch in den Sommermonaten zu gewährleisten, wird eine Absorptionskältemaschine betrieben, welche die anfallende Wärmeenergie nutzt. Bei Bürogebäuden wird die Leistung der BHKWs erfahrungsgemäß auf 15–20 % der maximalen Heizleistung ausgelegt und kann dadurch ca. 50 % des Wärmeenergiebedarfs bereitstellen.

Ein besonders wirtschaftlicher Einsatz von BHKWs empfiehlt sich bei Gebäuden mit einem ganzjährigen Wärmebedarf, wie zum Beispiel einer Kantine oder einem Hotel. In Kombination mit der Absorptionskältemaschine besteht die Möglichkeit, die produzierte Wärme im Sommer sinnvoll zur Kälteerzeugung für Rechenzentren und Serverräume zu nutzen. Im Winter kann der Kältebedarf in Rechenzentren und Serverräumen über die freie Kühlung gedeckt werden und bei Bedarf durch die Absorptionskältemaschine unterstützt werden.

Werden Rechenzentren im Winter über die freie Kühlung versorgt, ist die Absorptionskältemaschine nicht in Betrieb und es erfolgt keine Wärmeabnahme vom BHKW. Die vom BHKW produzierte Wärme kann in diesem Fall für die Beheizung der am Rechenzentrum angeschlossenen Büroräume sowie zur Frostfreihaltung der Technikräume verwendet werden.

Ein Teil des hohen Strombedarfs von Rechenzentren kann durch den vom BHKW produzierten Strom gedeckt werden.

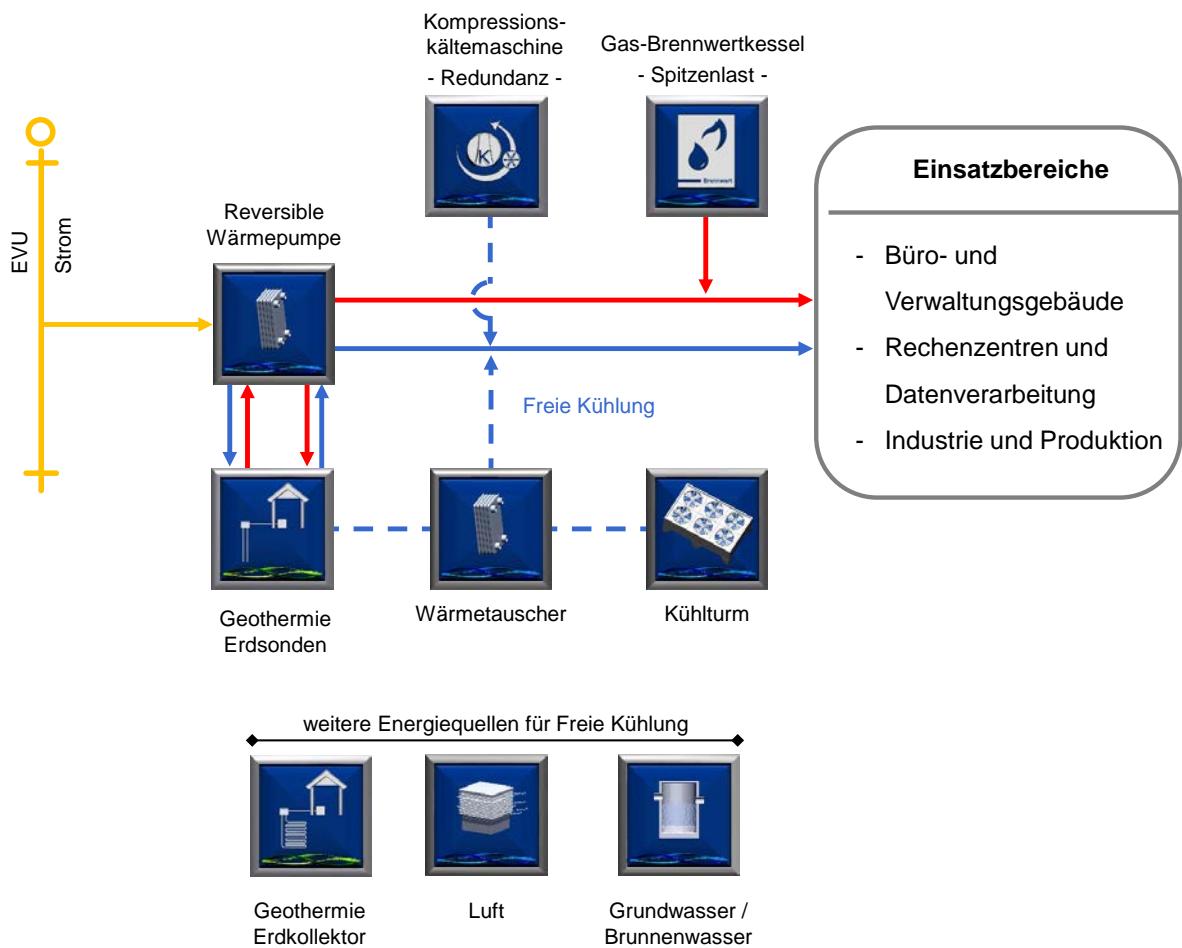
Die Rückkühlung der Absorptionskältemaschine erfolgt im Sommer analog zu einer Kompressionskältemaschine durch einen Kühliturm, der im Winter und in den Übergangszeiten zur freien Kühlung

verwendet werden kann, wie im vorherigen Versorgungskonzept beschrieben. Die Freikühlpotenziale sind analog den im vorangegangen Abschnitt beschriebenen Potenzialen.

Für dieses Versorgungskonzept empfiehlt sich für die Verwendung in Rechenzentren und für Serverräume eine Kompressionskältemaschine als Redundanzsystem bzw. Spitzenlastsystem. Aufgrund der Wartungsintervalle (alle 1.000–1.500 Stunden) der BHKWs steht für diese Zeiträume keine Wärme zur Verfügung und die Absorptionskältemaschine kann nicht betrieben werden. Um den ganzjährigen Betrieb gewährleisten zu können, müssen diese Stillstandszeiten berücksichtigt werden.

2.3.3 Freie Kühlung mit Grundwasser, Geothermie oder Luft

Abbildung 23: Versorgungskonzept freie Kühlung mit Grundwasser, Geothermie oder Luft



Die Kombination aus reversibler Wärmepumpe und Geothermie bietet die Möglichkeit, ein System für die Wärme- und Kälteerzeugung zu nutzen. Im Sommer wird das Temperaturniveau im Erdreich zur Kälteerzeugung genutzt und die Rückkühlung der Wärmepumpe erfolgt durch das Erdreich. Das Erdreich wird in diesem Fall aufgeheizt. Im Winter wird die benötigte Heizenergie durch die Wärmepumpe bereitgestellt. Im Gegensatz zum Sommerbetrieb wird hierbei das Erdreich abgekühlt. Somit wird eine ausgeglichene Wärmebilanz über ein Jahr im Boden erreicht. Da dieser Ausgleich zur Gewährleistung eines langfristigen Betriebes notwendig ist, ist es nur im Sommer möglich, das Freikühlpotenzial zu nutzen. Das Freikühlpotenzial des Erdreichs beträgt im Sommer ca. 20 % (ohne Betrieb Wärmepumpe). In Rechenzentren und Serverräumen wird die Kälteversorgung im Winter durch freie Kühlung über einen Kühlerturm sichergestellt.

Die Leistung einer Wärmepumpe ist abhängig von der Art der Wärmequelle und ob sie zum Heizen und/oder Kühlen verwendet wird. Für den Heizfall spricht man vom COP (Coefficient of Performance), welcher sich bei mechanischen Wärmepumpen aus dem Verhältnis von Wärmeleistung zur eingesetzten elektrischen Leistung ergibt. Im Sommer wird die Leistung einer Wärmepumpe mit dem EER (Energy Efficiency Ratio) angegeben.

Wärmepumpen erreichen im Auslegungspunkt im Winter einen COP-Wert von ca. 4,0. Der EER liegt mit Werten von 4,2 im Auslegungspunkt in ähnlicher Größenordnung. Wärmepumpen lassen sich weiterführend entsprechend der zum Einsatz kommenden Medien unterscheiden:

Tabelle 27: Übersicht Leistungszahlen von Wärmepumpen im Heizbetrieb [DIN 18599-5, 12/2011]

	Vorlauf-temperatur [°C]	Außen-temperatur [°C]	COP [-]
Luft-Wasser-Wärmepumpe	35	-7	2,8
		7	3,8
	45	-7	2,3
		7	3,2
Sole-Wasser-Wärmepumpe	35	-5	3,7
		5	4,9
	45	-5	3,0
		5	3,9
Wasser-Wasser-Wärmepumpe	35	10	5,5
		15	6,0
	45	10	4,4
		15	4,7

Tabelle 28: Übersicht Leistungszahlen von Wärmepumpen im Kältemaschinenbetrieb [DIN 18599-6, 12/2011]

	Vorlauftemperatur Kühlsystem [°C]	EER [-]
Außenluft-Wasser-Wärmepumpe	16 ^a	2,4
Abluft-Zuluft-Wärmepumpe	18 ^b	2,6

^a Kaltwasseraustrittstemperatur

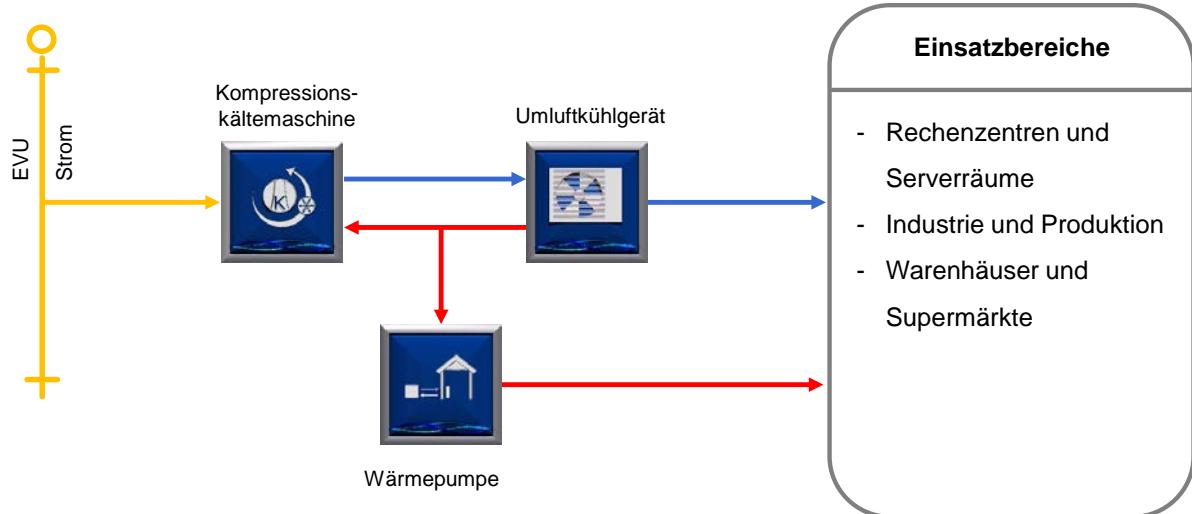
^b Zuluftaustrittstemperatur

Die in Tabelle 27 und Tabelle 28 angegebenen Leistungszahlen beziehen sich auf Wohngebäude. In der DIN 18599 sind keine weiteren Angaben zu reversiblen Wärmepumpen im Kältemaschinenbetrieb vorhanden.

Die Wahl des Geothermiesystems (Sonden oder Erdkollektor) ist abhängig von der Lage und den Bodenverhältnissen. Wärmepumpen werden hauptsächlich für die Grundlastversorgung genutzt. Je nach Art des Geothermiesystems liegt das Temperaturniveau im Erdreich bei ca. 10–12 °C. Aus wirtschaftlichen Gründen wird in der Gebäudetechnik für Erdsonden hauptsächliche oberflächennahe Geothermie bis 100 m verwendet, für die das angegebene Temperaturniveau gilt.

2.3.4 Verbundsysteme

Abbildung 24: Versorgungskonzept Verbundsysteme



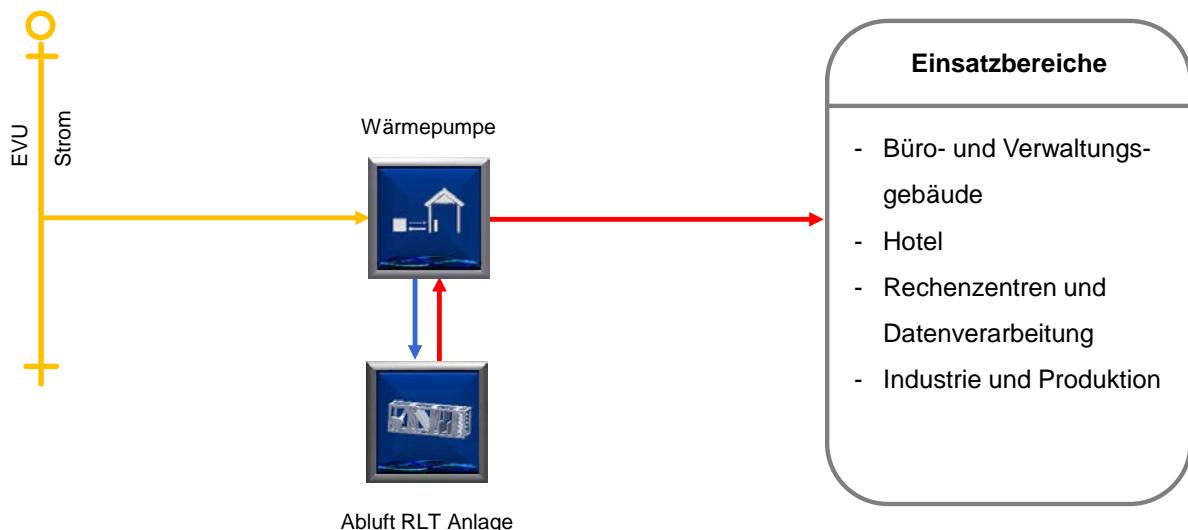
In Rechenzentren muss permanent Abwärme abgeführt werden. Daher bietet es sich an, die Wärme für die Versorgung im Winter nutzbar zu machen. So kann in Rechenzentren mit wassergekühlten Kältemaschinen, in denen die Übergabe der Kälte in den Raum mit Umluftkühlgeräten erfolgt, das Wärmepotenzial aus dem Rücklauf der Geräte genutzt werden. Hierbei wird bei Wärmebedarf der Rücklauf des Umluftkühlgerätes über eine Wärmepumpe geführt. Die Wärmepumpe bringt die Temperatur aus dem Rücklauf auf ein höheres Temperaturniveau, was zur Wärmeversorgung von Aufenthaltsbereichen sowie zur Frostfreihaltung von Technikzentralen verwendet werden kann. Erfahrungsgemäß werden die Umluftkühlgeräte mit einem Temperaturniveau von 14 °C im Vorlauf und 18 °C im Rücklauf betrieben. Durch die Wärmepumpe kann eine Vorlauftemperatur von 50 °C im Heiz-

kreislaufsystem erreicht und für Heizzwecke verwendet werden. Hierbei können COP-Werte für die Wärmepumpe von $\geq 4,5$ erreicht werden.

Werden in Rechenzentren Direktverdampfer verwendet, wie zum Beispiel Präzisionsklimaschränke, so kann die Abwärme des Kälteaggregates ebenso zu Heizzwecken verwendet werden. Hierfür kommen jedoch nur wassergekühlte Kältemaschinen in Frage. Beim Einsatz von luftgekühlten Kälteaggregaten ist die Nutzung der Abwärme nicht möglich.

2.3.5 Rückgewinnung

Abbildung 25: Versorgungskonzept Wärmerückgewinnung



Die Wärmerückgewinnung in Rechenzentren und Serverräumen ist nur bedingt möglich, da diese Bereiche hauptsächlich mit Umluft versorgt werden. Für Rechenzentren mit einem Außenluftanschluss kann das Wärmepotenzial aus der Abluft genutzt werden.

Für die Wärmerückgewinnung aus der Abluft von Raumlufttechnik (RLT)-Anlagen wird ein Plattenwärmeübertrager genutzt, der mit einer Luft-Wasser-Wärmepumpe verbunden ist. Durch die Wärmepumpe wird das vorhandene Temperaturniveau von ca. 22 °C (oder höher) auf ein höheres Temperaturniveau gebracht. Die Leistungszahlen liegen im Durchschnitt, je nach gefordertem Temperaturniveau, bei mindestens 3,5 (COP im Heizfall 35/30 °C).

In Rechenzentren können so die angegliederten Büroräume mit Wärme versorgt und die Technikzentralen frostfrei gehalten werden. In Rechenzentren ist das zur Verfügung stehende Wärmepotenzial in der Regel wesentlich höher als der Wärmebedarf. Die Abwärme von Serverräumen in Büro- und Verwaltungsgebäuden kann ebenfalls zur Unterstützung der Wärmeerzeugung durch die Unterstützung einer Wärmepumpe verwendet werden.

In Rechenzentren mit Umluftkühlgeräten kann das Wärmepotenzial aus dem Rücklauf verwendet werden. Hierbei wird ein Wärmeübertrager in den Rücklauf montiert und die Wärme auf ein anderes Medium übertragen. Mittels einer Wärmepumpe kann das Temperaturniveau erhöht und weiter verwendet werden.

2.3.6 Energiebenchmark und Beispiele

Weltweit gibt es derzeit keinen einheitlichen Standard für die Darstellung der Rechenzentrums-Energieeffizienz. In der Regel wird mit Hilfe von Kennwerten versucht, Teilbereiche bzw. Komponenten von Rechenzentren oder gleich ganze Rechenzentren miteinander zu vergleichen.

Neben einfacher Benchmark-Werte einzelner IT-Komponenten (z.B. Anschlussleistung) liegt die Motivation darin, Kennzahlen zur Abbildung der Energieeffizienz der Versorgungsinfrastruktur zu entwickeln. Dazu zeigt die nachfolgende Tabelle ein Beispiel aus [BMU, 2009].

Tabelle 29: Benchmark der Best Practice-Beispiele aus BMU-Veröffentlichung [BMU, 2009]

Rechenzentrum	Fläche [m ²]	Stromverbrauch [MWh]	Spez. Strom- verbrauch [kWh/m ²]	PUE
Host Europe GmbH, Köln	550	4.000	7.273	1,45
Humboldtschule, Hannover	28	-	-	1,16
NetApp, Kalifornien	676	6.700	10.006	1,19
b.r.m, Bremen	48	62	1.292	1,25
Evo Switch, Amsterdam	9.000	44.000	4.888	1,60
Bechtle, Solingen	40	72	1.800	1,17
Fraunhofer ITWM, Kaiserslautern	120	1.600	13.333	1,43
Strato AG, Berlin	4.500	30.000	6.667	1,69
Lawrence Berkeley, Kalifornien	3.200	42.000	13.125	1,21

Tabelle 29 verdeutlicht, dass der spezifische Stromverbrauch bezogen auf die Fläche (m²) keine geeignete Kenngröße zur Beurteilung der Effizienz von Rechenzentren ist. Der Energieverbrauch hängt in erster Linie von der verbauten Serverleistung pro m² ab. Diese kann zwischen 250 W/m² - 5 kW/m² liegen. Weiterhin ist bei den ausgewiesenen Kennzahlen bzw. Flächenangaben nicht erkennbar, ob sich der Energieverbrauch auf die Whitespace-Fläche (Fläche im Rechenzentrum, auf der die Server aufgestellt werden) oder auf die Gesamt-Bruttogrundfläche bezieht.

Sehr verbreitet in der Branche ist der PUE-Wert (Power Usage Effectiveness). Er wird gebildet aus dem Verhältnis der Leistungsaufnahme des gesamten Rechenzentrums zur IT-Leistungsaufnahme.

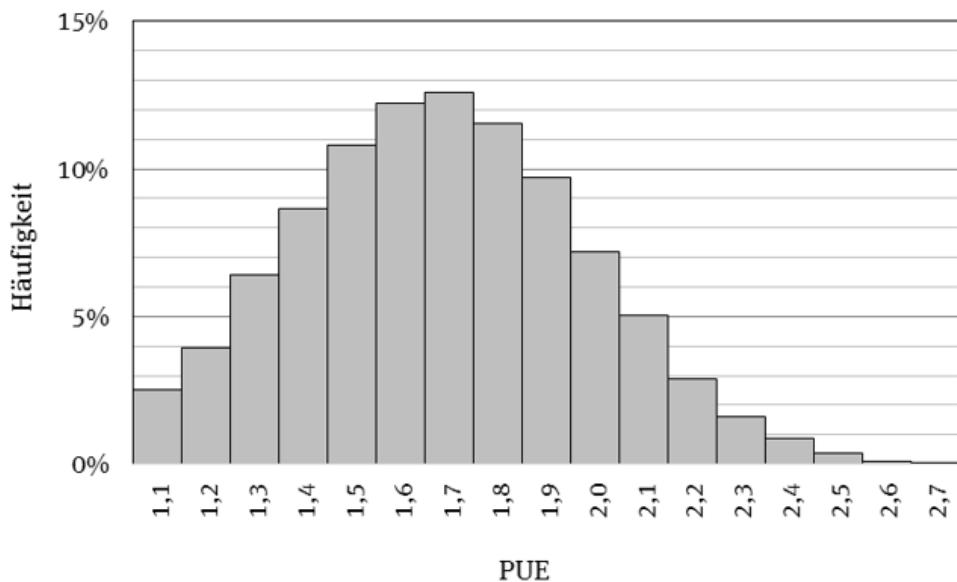
$$\text{PUE} = \text{P}_{\text{RZ}}/\text{P}_{\text{IT}}$$

mit

- PUE Power Usage Effectiveness
- P_{RZ} Elektrische Leistungsaufnahme Rechenzentrum [kW]
- P_{IT} Elektrische Leistungsaufnahme IT [kW]

In [Offis, 2009] wurde der durchschnittliche PUE-Wert für Deutschland mit 1,67 angegeben. Die untersuchten Rechenzentren haben überwiegend eine IT-Fläche >100 m². Unter Annahme einer Normalverteilung lässt sich die in der nachfolgenden Abbildung dargestellte Verteilung auf den Bestand deutscher Rechenzentren übertragen.

Abbildung 26: Prozentuale Verteilung der PUEs deutscher Rechenzentren [Offis, 2009]



Die elektrische Leistungsaufnahme der Verbraucher eines Rechenzentrums ist nicht konstant und somit ist auch der PUE keine konstante Größe. Beispielsweise steigt die Leistungsaufnahme der Klimatisierung mit steigender Außentemperatur.

In der Praxis weichen die Berechnungsmethoden teilweise erheblich voneinander ab, was unter anderem an der unscharfen Definition bzw. Abgrenzung des Indikators PUE liegt. Auch die PUEs aus [Offis, 2009] sind nicht eindeutig definiert. Häufige Varianten, die in der Literatur zu finden sind:

- PUE als Momentanwert
- PUE im Spitzenlastfall
- PUE als Mittelwert über ein Jahr
- PUE als Installationswerte (keine Messung, sondern nur Angabe auf Typenschildern)
- DCIE (Kehrwert des PUE; „Data Center Infrastructure Efficiency“)

Für die Bewertung der Energieeffizienz der Serverräume bzw. Rechenzentren wird vom Verfasser vorgeschlagen, den PUE als Mittelwert zu verwenden. Dieser ist das Integral über die Zeit und entspricht dementsprechend dem Verhältnis der Energieaufnahmen im Betrachtungszeitraum (1 Jahr). Der PUE wird somit zum EU (Energy Usage Effectiveness). Der Vorteil dieser Kenngröße ist, dass alle saisonalen Klimabedingungen als Einflussgröße erfasst werden und somit die Effizienz der Gebäude- und Klimatechnik am besten abgebildet wird. Es wird empfohlen die EU-Werte anhand der Energieverbrauchswerte nach dem Messkonzept des Blauen Engels für einen energieeffizienten Rechenzentrumsbetrieb zu bestimmen.

Weitere energierelevante Benchmark-Werte wurden in [RenewIT, 2014] definiert. Dies sind:

- RER = Renewable energy ratio = Anteil Erneuerbarer Energien an der Energieversorgung / Gesamtenergieverbrauch
- ReusePercent = Energy recovered = Abwärmenutzung / Gesamtenergieverbrauch

Zu diesen Kennzahlen liegen aufgrund der Aktualität der Definition keine genaueren Daten vor.

Um eine Vergleichbarkeit in den Benchmark-Daten für Rechenzentren zu gewährleisten, sind mindestens folgende Informationen zwingend erforderlich:

- Bruttogrundfläche und RZ-Fläche (Whitespace) [m^2]
- Geplante elektr. Serverleistung und installierte Leistung [kW]
- Anzahl der Racks
- Spezifische elektr. Leistung [kW/m^2]
- Spezifische elektrische Leistung je Rack [kW/Rack]
- IT-Leistungsindikatoren (Auslastung der Server, der RAM-Speicher und der Speichersysteme)

Darüber hinaus sind noch folgende Randbedingungen für den Energieverbrauch und somit auch für einen aussagekräftigen Benchmark entscheidend:

- Vergleichbare Struktur des Rechenzentrums
- Größe des Rechenzentrums
- Betriebszweck
- Betreibermodell (Eigennutzung oder Serverhousing (Serverhousing = Unterbringung und Netzanbindung eines Kundenservers im Rechenzentrum eines Internet Service Providers))
- Art des Anforderungsprofils im Bereich IT (Kommunikation, Hochleistungsrechnung)
- Gleiche Konzeption der Sicherheitsklasse (Tier-Klassen, Redundanzkonzepte)
- Externe Faktoren (Klimabedingungen am Standort)

Nur wenn diese Daten vorliegen und die Rechenzentren entsprechend den zuvor genannten Randbedingungen kategorisiert sind, lässt sich deren Klimatisierungssystemeffizienz mit Hilfe von Benchmark-Werten untereinander vergleichen.

2.4 Marktgängige Systeme Kühlen (und Heizen mit WP)

2.4.1 Kältetechniken und -anlagen

Kälteanlagen werden in Anlagen mit

- mechanischem Antrieb (Kompressionskältemaschinen) und
- thermischem Antrieb (Absorption- und Adsorptionskältemaschinen)

unterschieden.

Die nachfolgende Tabelle zeigt die Einteilung der unterschiedlichen Kälteerzeugungssysteme gemäß DIN V 18599 Teil 7 2011-12.

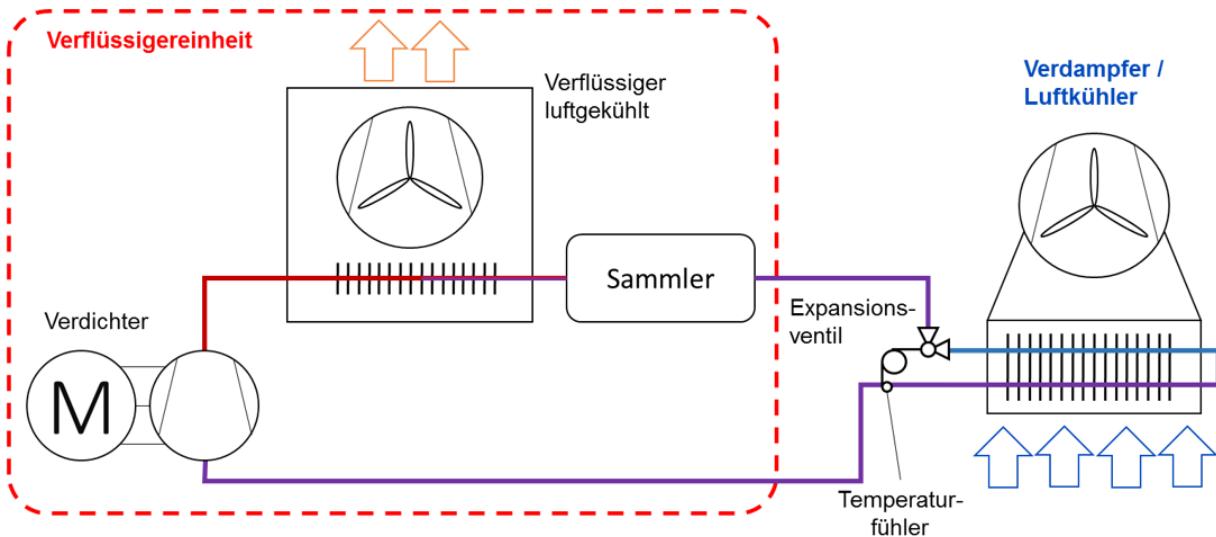
Tabelle 30: Übersicht Kälteerzeugungssysteme nach [DIN V 18599]

Kompressionskältemaschine (KKM)				Absorptionskältemaschine (AKM)					
Wassergekühlt				Luftgekühlt				wassergekühlt	
Indirekte Systeme (Wasserkühlmaschine)		Direkte Systeme (Direktverdampfer-Anlagen)		Indirekte Systeme (Wasserkühlmaschinen)		Direkte Systeme (Direktverdampfer-Anlagen, Raumklimasysteme)		Indirekte Systeme (Wasserkühlmaschinen)	
Nasskühler	Trockenkühler	Nasskühler	Trockenkühler	Kompaktbauweise	Splitbauweise	Einzel-System	Multi-System	Nasskühler	Trockenkühler
Kolben- und Scrollverdichteranlagen	Kolben- und Scrollverdichteranlagen	Kolben- und Scrollverdichteranlagen	SPLITGERÄT	Kolben- und Scrollverdichteranlagen	SPLITGERÄT	MULTISPLITGERÄT	H ₂ O/LiBr-Absorptionskälteanlagen		
Schrauben- /Turboverdichteranlagen	Schrauben- /Turboverdichteranlagen	Schraubenverdichteranlagen	KOMPAKTKLIMA-GERÄT	VRF-System					

2.4.1.1 Kälteanlagen mit mechanischem Antrieb (Kompressionskältemaschinen)

Kompressionskältemaschinen bestehen aus einem Kältekreislauf, der von einem Kältemittel durchlaufen wird, welches dabei seine Temperatur und seinen Aggregatzustand ändert. Im Verdichter wird die Druckstufe des Kältemittels mit Hilfe von elektrischer Energie (Antriebsenergie) erhöht. Im Kondensator (Verflüssiger) gibt das Kältemittel seine Wärme ab und kondensiert. Im folgenden Schritt erfolgt die Entspannung (Senkung des Drucks) des flüssigen Kältemittels über ein Expansionsventil. Am Verdampfer nimmt das Kältemittel Wärmeenergie auf und ändert seinen Aggregatzustand in gasförmig. Durch Entzug von Wärmeenergie wird so das Kaltwasser (Nutzerseite) abgekühlt. Das nachfolgende Bild zeigt den Aufbau einer Kompressionskälteanlage mit Verdampfer zur direkten Luftkühlung.

Abbildung 27: Aufbau einer Kompressionskälteanlage mit Verdampfer zur direkten Luftkühlung [Recknagel 2007]



Eigene Darstellung gemäß [Recknagel 2007]

An der Verdampferseite unterscheidet man indirekte Systeme (Flüssigkeitskühlmaschinen) und direkte Systeme (Direktverdampfer-Anlagen, Raumklimasysteme). Bei direkten Systemen wird die Wärmeenergie der Luft direkt durch das Kältemittel entzogen. Indirekte Systeme haben ein weiteres Medium wie Wasser oder Sole zwischengeschaltet, was zu einem höheren Energieverbrauch führt.

Kompressionskältemaschinen können wasser- oder luftgekühlt ausgeführt werden. Verflüssiger mit flüssigen Kühlmitteln werden mit Wasser oder einem Wasser-Glykol-Gemisch gekühlt.

Verdichter

Die Druckerhöhung des Kältemittels kann durch unterschiedliche Verdichterarten erfolgen. Anwendung in der Kältetechnik finden:

- Hubkolbenverdichter
- Schraubenverdichter
- Rollkolbenverdichter
- Scroll- (Spiral-) Verdichter
- Turboverdichter

Hubkolbenverdichter

Hubkolbenverdichter werden am häufigsten in der Klimatechnik verwendet und arbeiten nach dem Prinzip eines abgeschlossenen Zylinders, der mit Hilfe eines Kolbens das Medium verdichtet [Schmidt 2008].

Hubkolbenverdichter gibt es in folgender Bauweise:

- offene
- halbhermetische
- vollhermetische

Die offene Bauweise wird aufgrund der Reibe- und Antriebsverluste eher selten verwendet. Bei der halbhermetischen Bauweise sind Antriebsmotor und Verdichter zusammengeschraubt. Diese Bau-

weise wird am häufigsten eingesetzt. Die hermetische Bauweise findet nur bei kleinen Leistungen Anwendung.

Schraubenverdichter

Der Schraubenverdichter besteht aus zwei parallelachsigen, schraubenförmigen Rotoren, wobei als Ausführung sowohl zwei (Twin-screw) als auch ein Rotor (Mono-screw) möglich sind. Schraubenverdichter haben nur drehende Bewegungen, keine Ventile und sind stufenlos bis auf 20 % drehzahlregelbar. Allerdings ist zur Schmierung, Abdichtung und Kühlung ein großer Öldurchsatz erforderlich [Recknagel 2007].

Rollkolbenverdichter

Rollkolbenverdichter sind Rotationsverdichter, in denen sich ein Rollkolben auf einer Gehäuseinnenwand abrollt und so eine Druckerhöhung erzeugt [Schmidt 2008].

Scrollverdichter

Das Prinzip des Scrollverdichters beruht auf zwei ineinander gesteckten Spiralen, die mit einer nach innen wandernden Berührungsline den eingeschlossenen Raum verkleinern und das Medium verdichten [Schmidt 2008]. Scrollverdichter werden häufig in Wärmepumpen eingesetzt. Er ist verhältnismäßig leise, robust und benötigt nur geringe Ölmengen.

Turboverdichter

Bei Turboverdichtern handelt es sich um Strömungsverdichter, bei dem die Druckerhöhung durch einen kontinuierlichen Strömungsvorgang erfolgt [Schmidt 2008]. In Bauteilen und Aufbau ähnelt der Turboverdichter einer Kreiselpumpe (Radialverdichter).

2.4.1.2 Kälteanlagen mit thermischem Antrieb (Absorptionskältemaschinen)

Kältemaschinen mit thermischem Antrieb nutzen Wärme als Antriebsenergie für den Kältekreislauf. Absorptionskältemaschinen (AKM) haben zwei Kreislaufprozesse. Das Kältemittel wird bei niedriger Temperatur und geringem Druck verdampft (Kaltwasserseite). Damit das Kältemittel nicht den Sättigungsdampfdruck erreicht, wird im Absorber (Salzlösung) ständig Kältemitteldampf entzogen und anschließend der Druck der Lösung mit einer Pumpe erhöht. Im Austreiber wird durch Energiezufluss (Wärme) das Kältemittel von der Salzlösung durch Verdampfung getrennt und in den Kondensator geführt. Dort kondensiert das Kältemittel und gelangt anschließend wieder zurück zum Verdampfer [Schmidt 2008].

Als Kältemittel/Lösemittel - Paar gibt es folgenden Kombinationen:

- Ammoniak (Kältemittel)-Wasser (Lösemittel)
- Wasser (Kältemittel)-Lithiumbromid (Lösemittel)

Ammoniak ist giftig und ätzend sowie in einem Luftgemisch bei hohen Ammoniakanteilen explosiv. Dagegen ist Lithiumbromid nicht toxisch und nicht entflammbar. Ammoniak-Anlagen können bis Temperaturen von -60 °C betrieben werden, was bei Wasser als Kältemittel nicht möglich ist. Hier sind Kaltwasseraustrittstemperaturen von ca. 5 °C möglich. Die tiefste Temperatur von Wasser als Kältemittel liegt bei 0 °C [Pohlmann 2005].

In Adsorptionskälteanlagen werden im Gegensatz zu Absorptionskältemaschinen feste Stoffe verwendet, an denen das Kältemittel adsorbiert wird. Eine Kreislaufführung mittels Pumpe ist hier nicht

möglich. Daher gibt es zwei Kammern in denen jeweils Adsorption (Anlagerung an die Oberfläche der Stoffe) und Desorption abwechselnd stattfinden. In der Regel wird Wasser als Kältemittel in Kombination mit Aktivkohle, Zeolithe oder Silikagel als Adsorbens verwendet. Bis vor einigen Jahren wurden diese Anlagen nur in Forschungsprojekten eingesetzt. Allerdings sorgt der große Vorteil des niedrigen Temperaturniveaus der Antriebwärme schon ab 55 °C dafür, dass Adsorptionstechnik zunehmend in seriell gefertigten Maschinen zur Anwendung kommt [Recknagel 2007].

2.4.1.3 Wärmepumpen

Im Gegensatz zu Kältemaschinen können Wärmepumpen zusätzlich zum Kühlbetrieb (Verdampferleistung) im Sommer auch im Winter zur Wärmeerzeugung (Verflüssigerleistung) betrieben werden.

Bei Wärmepumpen, die mit einem mechanischen Verdichter (Kompressionswärmepumpe) betrieben werden, ist der Aufbau analog zu Kompressionskältemaschinen. Zudem gibt es Wärmepumpen, die nach dem Absorptions- bzw. Adsorptionsprinzip arbeiten.

Wärmepumpen werden nach den unterschiedlichen Wärmequellen kategorisiert. So nimmt das Kältemittel der Sole/Wasser-Wärmepumpe im Heizbetrieb die Temperatur aus der Sole durch Verdampfen auf (bspw. Geothermie) und gibt Energie auf einem höheren Temperaturniveau durch Zufuhr der Verdichterleistung und anschließende Verflüssigung wasserseitig wieder ab. Weitere Arten von Wärmepumpen sind: Luft/Luft, Luft/Wasser, Wasser/Wasser (wobei das erste genannte Medium immer die Wärmequelle beschreibt).

Als Wärmequellen können zusätzlich zur Geothermie (Sonden oder Erdkollektoren) auch Luft oder Grund- bzw. Flusswasser verwendet werden.

2.4.1.4 Standardsysteme für die Kühlung von Nichtwohngebäuden mit Serverräumen und Rechenzentren

Die nachfolgenden Systeme werden überwiegend für die Klimatisierung von Nichtwohngebäuden mit Serverräumen und Rechenzentren verbaut bzw. eingesetzt.

Tabelle 31: Standardsysteme Kompressionskältemaschine [eigene Erfahrungswerte, DIN V 18599, UBA2005, UBA 2010, Herstellerangaben]

Kälteleistung	Verdichter	Wärmeübertrager	Art der Rückkühlung	Regelung	Kältemittel
<300 kW	Scrollverdichter	Plattenwärmeübertrager	Luft- oder Wassergekühlt	Mehrstufig	R134a, R407C, R410A
>300 <1000 kW	Schraubenverdichter	Rohrbündelwärmeübertrager	Luft- oder Wassergekühlt	Steuerschieberregelung	R134a, R407C, R410A
>1000 kW	Turboverdichter	Rohrbündelwärmeübertrager	Wassergekühlt	Inverter Regelung	R134a

Tabelle 32: Standardsysteme Raumklimageräte [eigene Erfahrungswerte, DIN V 18599, UBA2005, Herstellerangaben, UBA 2010]

Kälteleistung	Anlagensystem	Regelung	Kältemittel
<12 kW	Kompaktklimagerät als Fenster- oder Wandklimagerät	Ein/Aus	R407C, R410A
<12 kW	Splitgerät	Modulierende Betriebsweise (Inverter)	R407C, R410A
<12 kW	Multi-Split-System	Modulierende Betriebsweise (Inverter)	R407C, R410A
>12 kW	VRF-System	Modulierende Betriebsweise (Inverter)	R407C, R410A

Tabelle 33: Standardsysteme Absorptionskältemaschinen [eigene Erfahrungswerte]

Heizmedientemperatur	Bauweise	Art der Rückkühlung	Stoffpaar
90/75 [°C]	Einstufig	Wassergekühlt	Wasser/Lithiumbromid

2.4.1.5 Effizienz von Kälteanlagen

Kompressionskältemaschinen

Die Effizienz von Kälteanlagen wird über die Leistungszahl EER (Energy Efficiency Ratio) beschrieben:

$$\text{EER} = Q_0/P$$

Mit

- Q₀: Nennkälteleistung der Kompressionskältemaschine [kW]
- P: elektrische Nennantriebsleistung des Verdichters [kW]
- EER: Leistungszahl

Die folgenden Tabellen sind der DIN V18599-7 entnommen und enthalten Standard-Nennkälteleistungszahlen (EER) für wassergekühlte und luftgekühlte Kompressionskältemaschinen und für Raumklimageräte. Dabei spielen entsprechend des inneren Carnot-Prozesses die Verdampfungs- und Verflüssigungstemperatur, die Kaltwassertemperatur sowie das Kältemittel und die Verdichterart eine Rolle.

Tabelle 34: Standard-Nennkälteleistungen EER für wassergekühlte Kompressionskältemaschinen gemäß [DIN V 18599, Teil 7 2011-12 Tabelle 26] für Standardsysteme

Kältemittel	Rückkühler	Kaltwasser-austritts-temperatur	Mittlere Verdampfungstemperatur	Standardwert-Nennkälteleistungszahl EER üblicher Leistungsbereich		
				Kolben- und Scrollverdichter	Schraubenverdichter	Turboverdichter
		[°C]	[°C]	[-]	[-]	[-]
R134a	Verdunstungsrückkühler	6	0	4,0	4,5	5,2
		14	8	4,6	5,3	5,9
R407C	Trockenkühler	6	0	3,1	2,9	4,1
		14	8	3,7	3,7	4,8
R410A	Verdunstungsrückkühler	6	0	3,8	4,2	-
		14	8	4,4	4,9	-
	Trockenkühler	6	0	3,0	2,7	-
		14	8	3,6	3,3	-
	Verdunstungsrückkühler	6	0	3,6	-	-
		14	8	4,2	-	-
	Trockenkühler	6	0	2,8	-	-
		14	8	3,3	-	-

Tabelle 35: Standard-Nennkälteleistungen EER für luftgekühlte Kompressionskältemaschinen gemäß [DIN V 18599, Teil 7 2011-12 Tabelle 28] für Standardsysteme

Kältemittel	Kaltwasser-austritts-temperatur	Mittlere Verdampfungstemperatur	Standardwert Nennkälteleistungszahl EER üblicher Leistungsbereich	
			Kolben- und Scrollverdichter	Schraubenverdichter
	[°C]	[°C]	[-]	[-]
R134a	6	0	2,7	2,9
R407C	14	8	3,3	3,6
R410A	6	0	2,5	2,6
	14	8	3,1	3,3
	6	0	2,3	-
	14	8	3,0	-

Für luftgekühlte Kompressionskältemaschinen in Split-Bauweise gilt: EER Split = EER x 0,95

Tabelle 36: Standard-Nennkälteleistungen EER luftgekühlter Raumklimasysteme gemäß [DIN V 18599, Teil 7 2011-12 Tabelle 30-31] für Standardsysteme

Anlagensystem	Kälteleistung [kW]	EER [-]
Kompaktklimagerät als Fenster- oder Wandgerät	<12	2,5
Splitgerät	<12	2,6
Multi-Splitgerät	<12	2,8
VRF-System mit variablen Kältemittelmassenstrom	>12	3,4

Anmerkung: Die EER-Werte für Raumklimagäte in Tabelle 36 sind vor dem Hintergrund des Stands der Technik als zu niedrig einzustufen. Gemäß Ökodesign-Verordnung (EU) Nr. 206/2012 müssen neue Kompaktklimageräte mit einem Kältemittel, das ein GWP > 150 aufweist, einen EER von mindestens 2,6 erreichen.

Absorptionskältemaschine

Bei Absorptionskältemaschinen wird der Wirkungsgrad als Nennwärmeverhältnis ξ definiert:

$$\xi = Q_0/Q_H$$

mit

- Q_0 : Nennkälteleistung der Absorptionskältemaschine [kW]
- Q_H : Nennheizwärmeleistung [kW]
- ξ : Nennwärmeverhältnis [kW/kW]

Die nachfolgende Tabelle zeigt das Standard-Nennwärmeverhältnis ξ für Absorptionskältemaschinen gemäß Angaben der [DIN V 18599].

Tabelle 37: Standard-Nennwärmeverhältnis ξ für Absorptionskältemaschine gemäß [DIN V 18599, Teil 7 2011-12 Tabelle 33] für Standardsysteme

Heizmedien-temperatur Vorlauf / Rücklauf [°C]	Rückkühler	Kaltwasser-austritts-temperatur [°C]	Nennwärmeverhältnis ξ	
			≥ 200 kW $H_2O-LiBr$	bis 200 kW $H_2O-LiBr$
90/75	Verdunstungs-rückkühler	6	0,69	0,70
		12	0,71	0,73

Kältemaschinen im Teillastbetrieb

Die Effizienz einer Anlage hängt in nicht geringem Umfang von ihrem Teillastverhalten ab, da der wesentliche Anteil der Kälte im Teillastbereich erzeugt wird. Dieser ist jedoch nicht nur von der Kältemaschine selbst, sondern auch von den sich einstellenden Temperaturen an den Wärmeübertragern und somit vom Rückkühler und der Regelung der Klimaanlage abhängig. Bei niedrigen Außentemperaturen z.B. ist eine sehr effiziente Rückkühlung von Kompressionskältemaschinen möglich und die gesamte Anlage kann mit weniger energetischem Aufwand betrieben werden.

Zur Bewertung des Teillastverhaltens der Kältemaschine wird in der DIN 18599 ein Teillastfaktor PLV (Part Load Value) verwendet. Über das Jahr gemittelt ergibt sich dann die Jahreskälteleistungszahl SEER (Seasonal EER; im Deutschen oft als Jahresarbeitszahl (JAZ) bezeichnet).

$$\text{SEER} = \text{PLV}_{\text{AV}} * \text{EER}$$

Mit

- SEER: Jahreskälteleistungszahl (Seasonal EER)
- EER: Nennkälteleistungszahl
- PLV_{AV}: mittlerer Teillastfaktor eines Jahres

Analog hierzu wird für Absorptionskältemaschinen ein mittleres Jahreswärmeverhältnis ermittelt:

$$\xi_{\text{av}} = \text{PLV}_{\text{AV}} * \xi$$

Mit

- ξ : Nennwärmeverhältnis [kW/kW]
- PLV_{AV}: mittlerer Teillastfaktor eines Jahres
- ξ_{av} : mittleres Jahreswärmeverhältnis [kWh/kWh]

DIN V 18599 Teil 7 gibt für 41 unterschiedliche Nutzungsarten, die dort definiert sind, entsprechende Vorgaben zu den mittleren Teillastfaktoren eines Jahres an. Die nachfolgende Tabelle zeigt die Teillastfaktoren für die Nutzung Serverraum / Rechenzentrum gemäß DIN V 18599 Teil 7 für Raumklimageräte, luft- und wassergekühlte Kältemaschinen und für Absorptionskältemaschinen, bezogen auf die in Abschnitt 2.4.1.4. angegebenen Standard- Systeme.

Tabelle 38: Teillastfaktoren für Raumklimageräte gemäß [DIN V 18599, Teil 7] für Serverräume und Rechenzentren

Anlagensystem	Regelung	PLV _{AV} [-]
Kompaktklimagerät als Fenster oder Wandklimagerät	Ein/Aus	1,15
Splitgerät	Modulierende Betriebsweise (Inverter)	1,21
Multi-Split-System	Modulierende Betriebsweise (Inverter)	1,31
VRF-System	Modulierende Betriebsweise (Inverter)	1,31

Tabelle 39: Teillastfaktoren für wassergekühlte Kälteanlagen* gemäß [DIN V 18599, Teil 7] für Serverräume und Rechenzentren zur Raumkühlung

Verdichter	Regelung	Verdunstungs-rückkübler PLV _{AV} [-]	Trockenrück-kübler PLV _{AV} [-]
Kolben- / Scrollverdichter	Mehrstufig	1,43	1,69
Schraubenverdichter	Steuerschieberregelung	1,30	2,04
Turboverdichter	Modulierende Betriebsweise (Inverter)	1,49	1,76

*Kühlwassereintritt Kältemaschine variabel

Tabelle 40: Teillastfaktoren für luftgekühlte Kälteanlagen gemäß [DIN V 18599, Teil 7] für Serverräume und Rechenzentren zur Raumkühlung

Verdichter	Regelung	Außenluftbetrieb PLV _{AV} [-]
Kolben- / Scrollverdichter	Mehrstufig	1,68
Schraubenverdichter	Steuerschieberregelung	1,49
Turboverdichter	Modulierende Betriebsweise (Inverter)	1,89

Der Teillastfaktor für Absorptionskältemaschinen wird in der [DIN V 18599] pauschal mit 0,95 angenommen.

Die genannten Teillastfaktoren beziehen sich nur auf die Kältemaschinen. Die System-Teillastfaktoren (inkl. Berücksichtigung von Verlusten, Verteil- und Übergabesystemen) können jedoch deutlich davon abweichen.

Jahreskälteleistungszahl Kompressionskältemaschine

Die nachfolgende Tabelle zeigt die Jahreskälteleistungszahl für luft- und wassergekühlte Kompressionskältemaschine für die Raumkühlung in Serverräumen und Rechenzentren. Aufgeführt sind die Standardsysteme mit den entsprechenden Standard-Kältemitteln.

Tabelle 41: Jahreskälteleistungszahl SEER für Kompressionskältemaschinen gemäß [DIN V 18599]

Verdichter	Kältemittel	Luftgekühlt		Wassergekühlt					
		<300 kW	300 – 1.000 kW	< 300 kW	300 – 1.000 kW	>1.000 kW	>1.000 kW		
		[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]
Scrollverdichter	R134a	4,5		5,7	5,2				
	R407C	4,2		5,4	5,1				
	R410A	3,9		5,2	4,7				
Schraubenverdichter	R134a		4,3			5,9	5,9		
	R407C		3,9			5,5	5,5		
Turboverdichter	R134a							7,8	7,2

Eigene Berechnung

Für den Kühlbetrieb von Wärmepumpe gelten ebenfalls die Zahlen der Tabelle 41.

Jahreskälteleistungszahl Raumklimageräte

Die nachfolgende Tabelle zeigt die Jahreskälteleistungszahl für Standard Raumklimageräte für die Raumkühlung in Serverräumen und Rechenzentren.

Tabelle 42: Jahreskälteleistungszahl SEER für Raumklimageräte gemäß [DIN V 18599]

Raumklimagerät	Regelung	SEER
Kompaktklimagerät als Fenster- oder Wandgerät	EIN / Aus	2,9
Splitgerät	Modulierende Betriebsweise (Inverter)	3,2
Multi-Splitgerät	Modulierende Betriebsweise (Inverter)	3,7
VRF-System mit variablen Kältemittelmassenstrom	Modulierende Betriebsweise (Inverter)	4,5

Eigene Berechnung

Anmerkung: Die SEER-Werte für Raumklimageräte in Tabelle 42 sind vor dem Hintergrund des Stands der Technik als zu niedrig einzustufen. Gemäß Ökodesign-Verordnung (EU) Nr. 206/2012

müssen neue Splitklimageräte mit einem Kältemittel, dass ein GWP >150 aufweist, einen SEER von mindestens 4,6 erreichen.

Jahreskälteleistungszahl Absorptionskältemaschinen

Die nachfolgende Tabelle zeigt die Jahreskälteleistungszahl für Absorptionskältemaschinen für die Raumkühlung in Serverräumen und Rechenzentren.

Tabelle 43: Jahreskälteleistungszahl ξ_{av} für Absorptionskältemaschinen gemäß [DIN V 18599]

Heizmedien-temperatur-Vorlauf / Rücklauf [°C]	Rückkübler	Kaltwasser-austritts-temperatur [°C]	Jahreswärmeverhältnis ξ_{av}	
			$\geq 200 \text{ kW}$ $\text{H}_2\text{O-LiBr}$ [-]	bis 200 kW $\text{H}_2\text{O-LiBr}$ [-]
90/75	Verdunstungs-rückkübler	6 12	0,69 0,71	0,70 0,73

Eigene Darstellung

2.4.1.6 Kälteerzeugung im Teillastbetrieb

Bei der Kälteerzeugung sind im Teillastbetrieb deutlich höhere Effizienzen erzielbar als bei einer 100 %-Auslastung der Anlagen. Für die anderen Komponenten des gesamten Kältesystems gelten ähnliche Bedingungen.

Aufgrund des aktuellen Standes der Technik in Serverräumen und Rechenzentren kann davon ausgegangen werden, dass für die Ventilatoren und Pumpen in neuen Gebäuden effiziente Komponenten mit elektronischer Drehzahlregelungen eingesetzt werden. Hierdurch ist ein sehr effizienter Betrieb der einzelnen Komponenten möglich. Gerade bei Ventilatoren und Pumpen kann durch die Reduzierung der Volumenströme auf einen Teillastbereich eine hohe Energieeinsparung erzielt werden.

Dennoch wird insbesondere bei kleineren Anlagen in der Praxis häufig noch keine Teillastoptimierung implementiert, so dass in diesen Fällen die Teillasteffizienz sogar schlechter als im Auslegungsfall werden kann.

Verluste über die Leitungen kommen aufgrund der Verlegung innerhalb des Rechenzentrums in der Regel dem Raum zugute.

In der aktuellen Studie [RenewIT D4.3] werden unterschiedliche Herangehensweisen zur Einsparung von Energie in Rechenzentren dargestellt. Unter anderem wird ausgewiesen, welchen Einfluss die Reduzierung des Luftvolumenstroms auf den Energieverbrauch des Rechenzentrums hat. Der bedarfsabhängige Einsatz von variablen Luftvolumenströmen in Rechenzentren bringt eine Energieeinsparung von 8–10 % des Gesamtenergiebedarfs. Die Amortisation der Mehrkosten liegt bei 5–7 Jahren.

Aufgrund der meist überdimensionierten Technikausstattungen von Serverräumen und Rechenzentren (Auslastung bzw. Belegung der Fläche nimmt in der Regel erst im Laufe der Jahre zu) werden die technischen Komponenten der Kälteerzeugung, -verteilung und -übergabe fast immer im Teillastbetrieb eingesetzt.

Aufgrund der wesentlich höheren Effizienz der einzelnen Komponenten (bei Einsatz von entsprechenden elektronischen Drehzahlregelungen) werden die Systeme mit einer hohen Effizienz betrie-

ben. Nutzt man die aus Redundanzgründen erforderlichen Komponenten mit, ergeben sich sehr gute Amortisationszeiten für die Systeme.

2.4.2 Kältemittel

Für die Klimatisierung von Nichtwohngebäuden werden im westlichen folgenden Kältemittel verwendet:

Tabelle 44: Kältemittel für die Gebäudeklimatisierung

Kältemittel	Gruppe	GWP* ²	Einsatzgebiet ¹	Bemerkung
R22	HFCKW	1.810	Bestandsklimaanlagen	Seit dem Jahr 2000 darf das Kältemittel nicht mehr in neuen Anlagen eingesetzt werden. Seit Januar 2015 gilt ein generelles Verwendungsverbot ¹⁵
R134a	HFKW**	1.430	Wärmepumpen, Klimageräte	
R407A	HFKW	2.107	Klimaanlagen, Wärmepumpen, Wasserkühlsätze, Großklima	
R407C	HFKW	1.774	Klimaanlagen, Wärmepumpen, Wasserkühlsätze, Großklima	
R410A	HFKW	2.088	Klimaanlagen, Klimageräte, Wärmepumpen	
R404A	HFKW	3.922	Wärmepumpen	
R290 Propan	Natürlich	3	meist in kleineren Kälteanlagen und Flüssigkeits-Kühlsätzen mit geringer Füllmenge, Wärmepumpen	
R717 Ammoniak	Natürlich	0	Kälteanlagen > 100 kW ³	
R744 CO ₂	Natürlich	1	Wärmepumpen	
R718 Wasser	Natürlich	0	Absorptionskältemaschinen, vereinzelte Turbokälteanlagen mit Wasser als Kältemittel ³	
R 1234ze	Gemisch HFKW/ HFO***	7	Kaltwassererzeugung	

¹⁵ Das bedeutet, dass nicht nur das Nachfüllen von Kältemittel, sondern sämtliche Instandhaltungs- und Wartungsarbeiten, bei denen in den Kältekreislauf eingegriffen werden muss, nicht mehr zulässig sind.

Kältemittel	Gruppe	GWP* ²	Einsatzgebiet ¹	Bemerkung
R 32	HFKW	675	Wärmepumpen, Klimageräte	

Quelle: ¹ [TIG] ² [UBA 2015] ³ [UBA 2010]

* Das GWP (Global Warming Potential) ist eine Maßzahl für den Beitrag eines Gases zum Treibhauseffekt. Der Referenzwert ist das GWP von Kohlenstoffdioxid (GWP=1). Der Wert beschreibt die mittlere Erwärmungswirkung auf 100 Jahre betrachtet.

** HFKW: Teilhalogenierte Fluorkohlenwasserstoffe

*** HFO: Hydrofluoroolefine

Für Raumklimageräte wurde bis zum Jahr 2000 im Wesentlichen R22 als Kältemittel eingesetzt. Seit dem Jahr 2000 werden in den neuen Geräten überwiegend R407C und R410A verwendet.

In den Kältemaschinen werden heute im Wesentlichen R134a, R407C und R410A eingesetzt. In Turbokältemaschinen kommt fast ausschließlich R134a zum Einsatz, neuerdings auch der ungesättigte HFKW R1234ze.

Ammoniak als natürliches Kältemittel wird bei großem Kältebedarf (> 100 kW) in der Industrie und vereinzelt in der Gebäudeklimatisierung eingesetzt. Teilweise werden auch kleinere, individuell gefertigte Anlagen mit etwa 30 kW Nennkälteleistung zur Gebäudeklimatisierung mit Ammoniak installiert [UBA 2010].

Kältemaschinen mit Propan werden ebenfalls in geringer Stückzahl in der Gebäudeklimatisierung eingesetzt [Eurammon Interview]. Die Einsatzbereich für CO₂ als Kältemittel liegt zwischen 50–340 kW Nennkälteleistung [Eurammon Interview]. Auch hier gibt es wenige ausgeführte Projekte.

Wasser als natürliches Kältemittel wird bereits in Absorptionskälteanlagen mit dem Stoffpaar Wasser/Lithiumbromid eingesetzt. Der Leistungsbereich liegt zwischen 10 kW bis mehrerer MW [UBA 2010]. Im Bereich der Turbokältemaschinen gibt es ebenfalls Beispiele, in denen Wasser als Kältemittel eingesetzt wurde [UBA 2010]. Auf der Kältetechnikmesse Chillventa wurde 2014 ein Turboaggregat mit 50 kW Nennkälteleistung vorgestellt, welches ab 2015 marktverfügbar ist und Wasser als Kältemittel nutzt.

Als Ersatzstoff für R22 wird das HFKW-Kältemittel R32 mit einem deutlich geringeren GWP-Wert von 675 diskutiert. Neben dem GWP-Wert sind die Vorteile von R32 eine hohe Verdampfungsenthalpie sowie eine niedrige Dampfdichte. Nachteilig ist die Einstufung in die Sicherheitsgruppe A2L (DIN EN 378, geringe Brennbarkeit) und den daraus resultierenden Sicherheitsanforderungen (Beschränkung der Füllmenge) [Bitzer, Kältemittelreport 18]. Im Brandfall bildet sich als Zerfallsprodukt neben Fluorwasserstoff, der mit der Luftfeuchte die extrem ätzende Flusssäure bildet, auch äußerst giftiges Carbonylfluorid.

Kältemittel der Gruppe Tetrafluoropropene (ungesättigte HFKW) wie R1234ze mit einem deutlich geringeren GWP-Wert und den HFKW ähnlichen thermodynamischen Eigenschaften werden als Alternative für die Standard-HFKW-Kältemittel mit hohem Treibhauspotenzial vermarktet. R1234ze ist entflammbar und deshalb ebenfalls der Sicherheitsgruppe A2L zugeordnet. Als Verbrennungsprodukt entsteht wie bei allen ungesättigten HFKW und auch R32 das Kontaktgift Flusssäure, weshalb der Stoff unter Sicherheitsaspekten umstritten ist. In der Atmosphäre baut sich R1234ze zu Trifluorressigsäure ab, weshalb bei breiterer Verwendung und damit verbundener Freisetzung mit einer zunehmenden Versauerung von Gewässern zu rechnen ist. Aktuell wird R1234ze als Ersatz für R134a bisher in Kältemaschinen mit Turboverdichtern [Bitzer, Kältemittelreport 18] und großen Flüssigkeitsskühlern mit Schraubenverdichter ab etwa 500 kW Nennkälteleistung eingesetzt.

2.4.3 Kältemittelfüllmengen der Kältemaschinen

Zum Thema Kältemittelfüllmenge gibt es viele unterschiedliche Untersuchungen und Angaben in der Literatur. Im nachfolgenden Abschnitt ist eine Auswertung der Literatur und verschiedener Herstellerangaben beschrieben.

Die Füllmengen der Anlagen sind im Wesentlichen abhängig vom Vorhandensein eines Kältemittelsammlers sowie vom eingesetzten Verdichter und Wärmeübertrager. Darüber hinaus spielen die physikalischen Eigenschaften des verwendeten Kältemittels eine wichtige Rolle. Ammoniak kommt beispielsweise aufgrund seiner hohen volumetrischen Kälteleistung mit relativ kleinen Füllmengen aus. Die angegebenen Zahlen beziehen sich auf die in Tabelle 31 bis Tabelle 33 angegebenen Standardsysteme.

Die nachfolgende Tabelle gibt Kältemittelfüllmengen aus der ausgewerteten Literatur wieder.

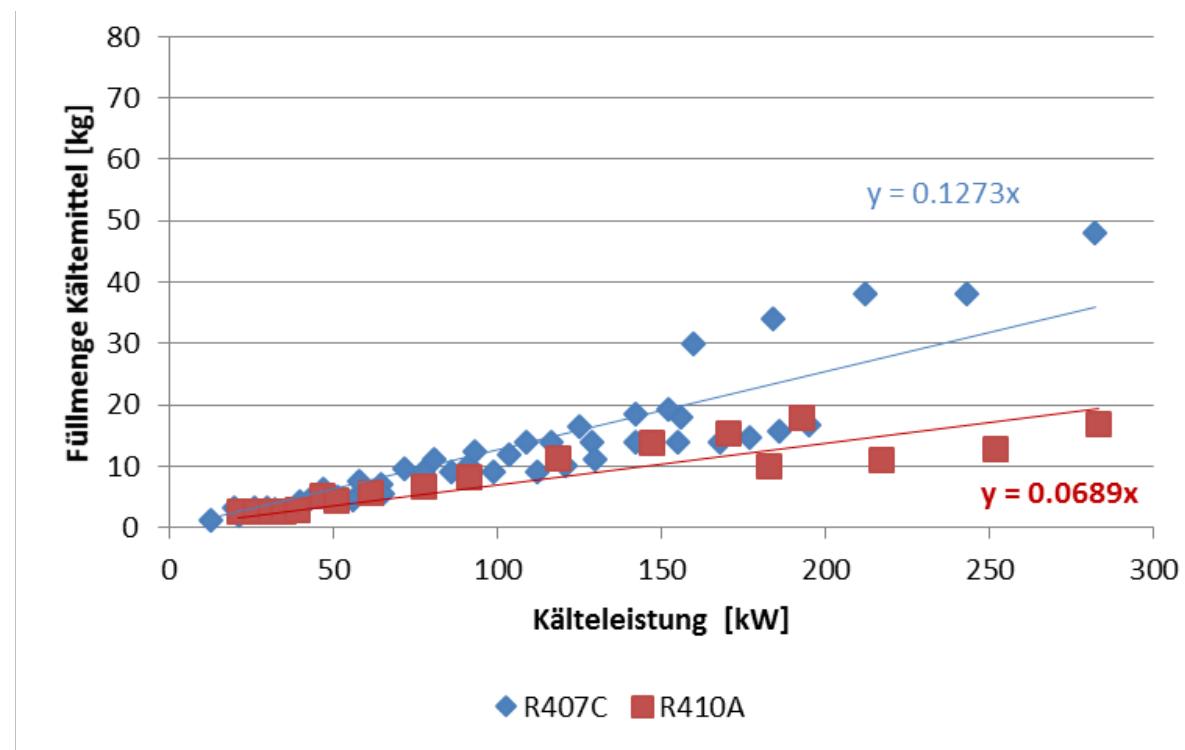
Tabelle 45: Füllmengen von Kältemittel aus unterschiedlichen Quellen [UBA 2005], [SKM 2010], [NIR 2014]

Kälteleistung	UBA 2005		SKM 2010		NIR 2014	
	Mittlere Füllmenge [kg]	Mittlere Kälteleistung [kW]	Mittlere Füllmenge [kg]	Mittlere Kälteleistung [kW]	Mittlere Füllmenge [kg]	Mittlere Kälteleistung [kW]
Splitgerät	1,55	6	0,8-2	3,5-7,1		
Multi-Split	6,2	15	5,6	14		
VRF			25	50		
Kältemaschinen Scrollverdichter	27	120	20	80		
Kältemaschinen Schraubenverdichter	160	400				
Kältemaschinen Turboverdichter	500	1.000				
Kältemaschinen-luftgekühlt klein			29	50		
Kältemaschinen-luftgekühlt mittel			150	500		
Kältemaschinen-luftgekühlt groß			360	1.200		
Kältemaschinen-wassergekühlt klein			29	100		
Kältemaschinen-wassergekühlt mittel			150	500		
Kältemaschinen-wassergekühlt groß			750	2.500		
Chiller < 100 kW					10	
Chiller > 100 kW						95

Kälteleistung	UBA 2005		SKM 2010		NIR 2014	
	Mittlere Füllmenge [kg]	Mittlere Kälteleistung [kW]	Mittlere Füllmenge [kg]	Mittlere Kälteleistung [kW]	Mittlere Füllmenge [kg]	Mittlere Kälteleistung [kW]
Chiller > 1500 kW					630	

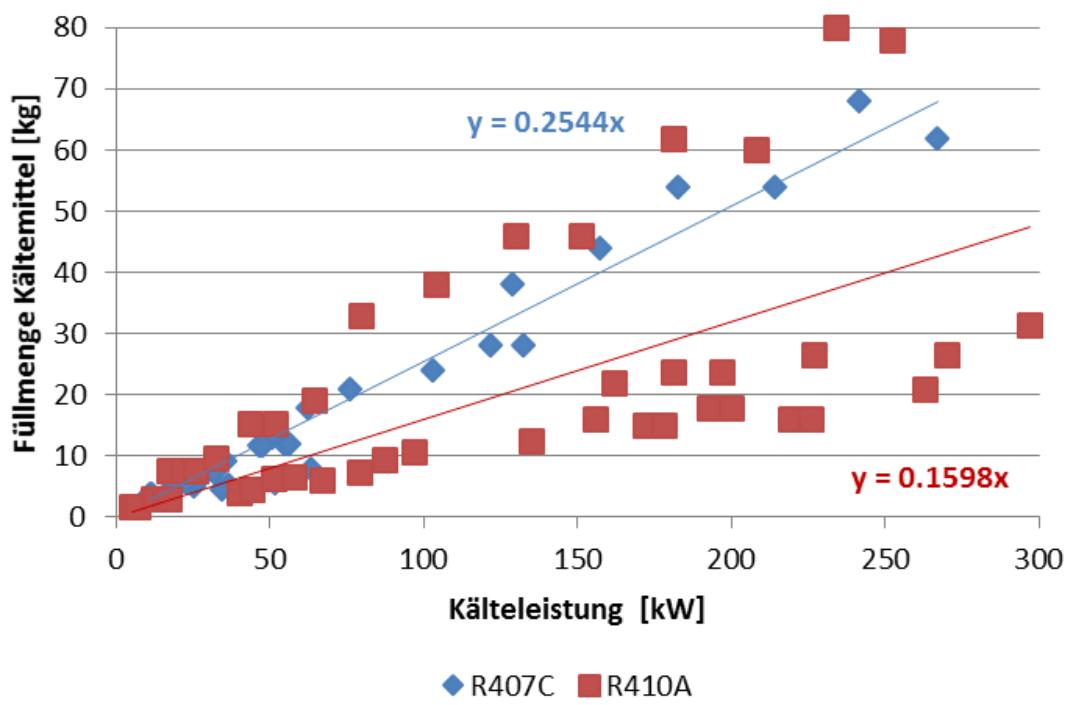
Zu Kältemittelfüllmengen gibt es in den vorliegenden Quellen sehr stark schwankende Angaben. Aus diesem Grunde wurden für die in Abschnitt 2.4.1.4 angegebenen Standardsysteme Produkte von unterschiedlichen Herstellern aufgenommen und entsprechend der Zuordnung je nach Verdichterart und Wärmeübertrager ausgewertet. Die nachfolgenden Abbildungen zeigen die Auswertung der abgefragten Herstellerangaben zu unterschiedlichen Anlagen.

Abbildung 28: Kältemaschine (wassergekühlt) mit Scrollverdichter und Plattenwärmeübertrager, Kälteleistung <300 kW, Kältemittel R407C und R410A



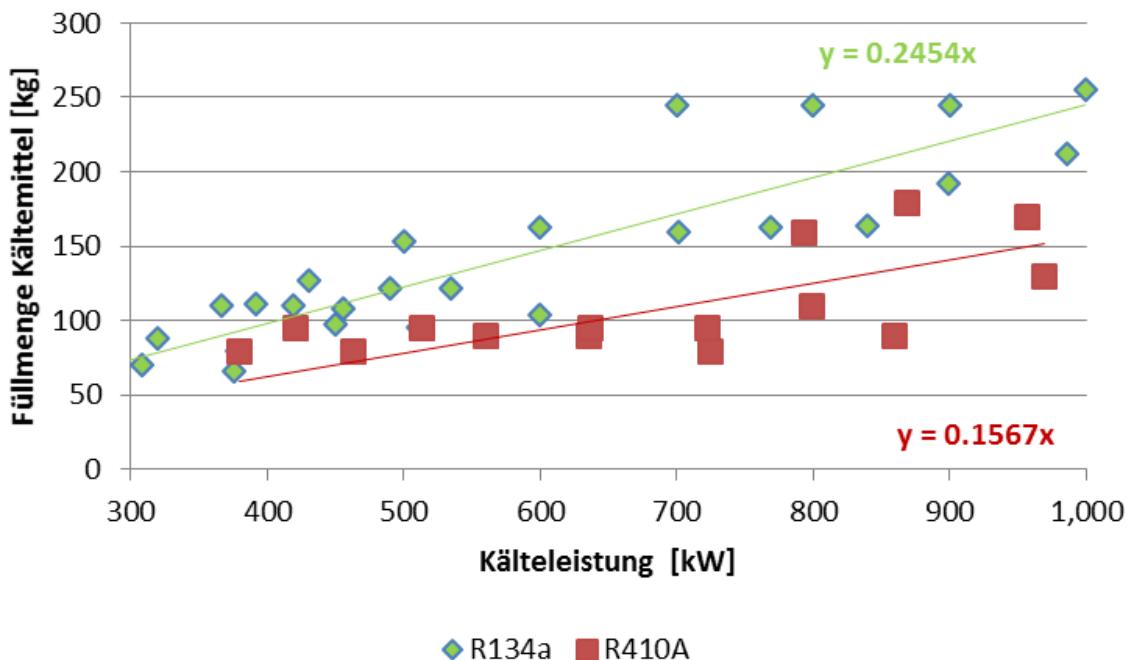
Quelle: Herstellerangaben: Trane, Carrier, Daikin, Johnson Controls (früher York)

Abbildung 29: Kältemaschine (luftgekühlt) mit Scrollverdichter und Plattenwärmeübertrager, Kälteleistung <300 kW, Kältemittel R407C und R410A



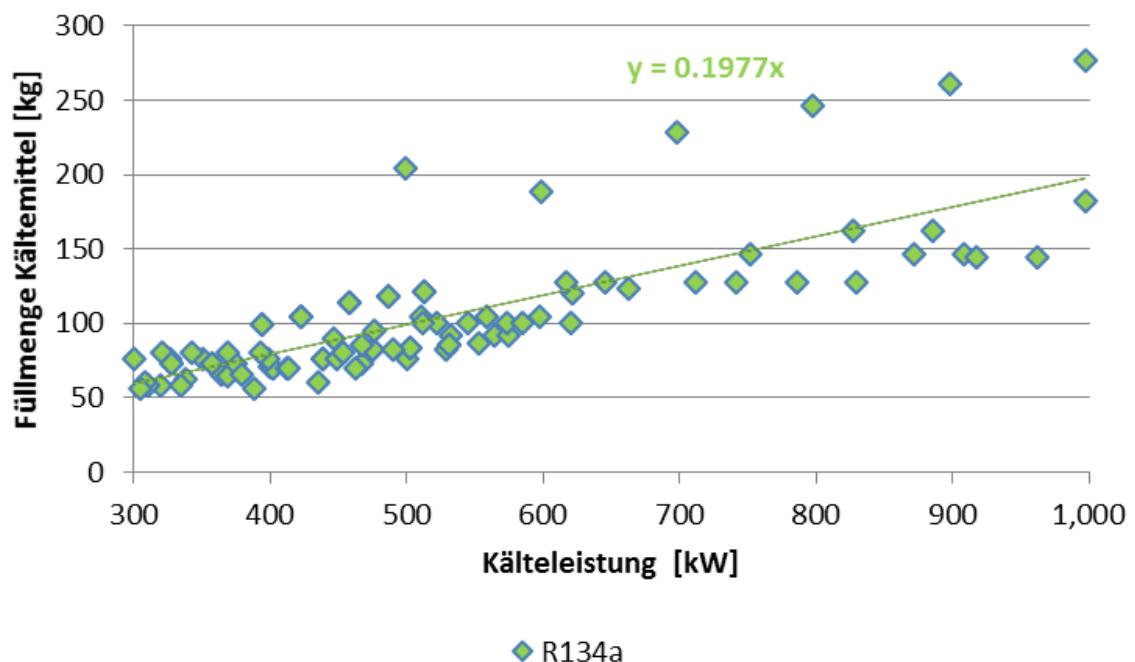
Quelle: Herstellerangaben: Trane, Carrier, Daikin, Johnson Controls (früher York)

Abbildung 30: Kältemaschine (wassergekühlt) mit Schraubenverdichter und Rohrbündelwärmeübertrager, Kälteleistung >300 kW und <1.000 kW, Kältemittel R134a und R410A



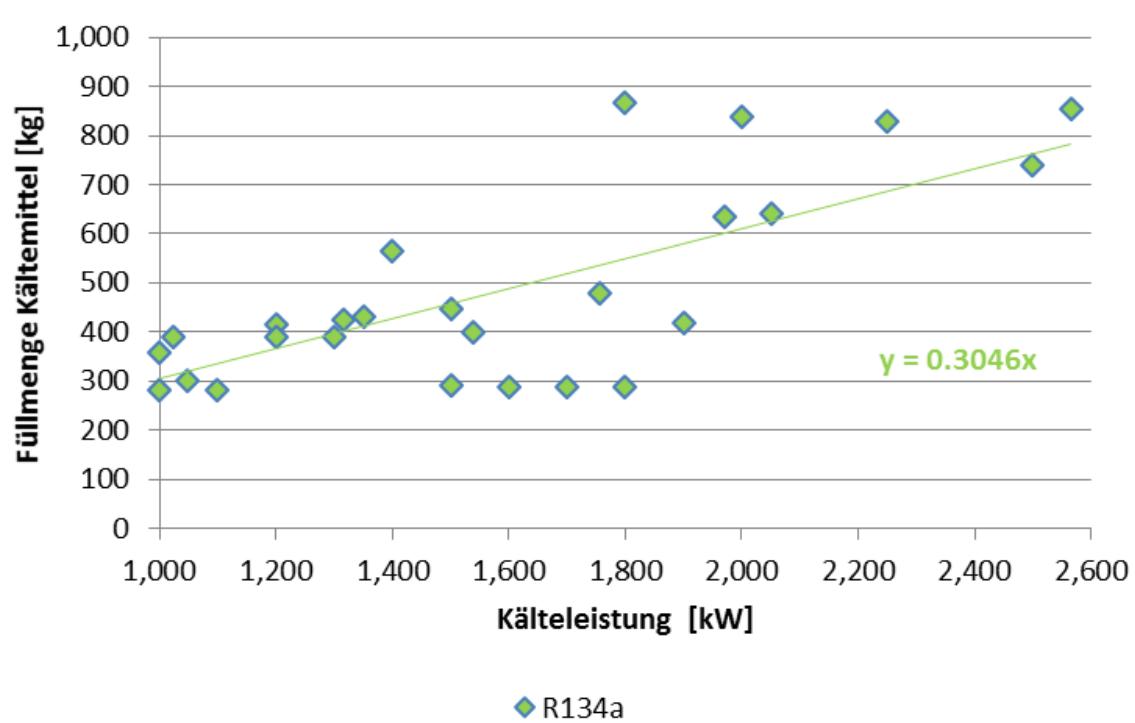
Quelle: Herstellerangaben: Trane, Carrier, Cofely, Daikin, Johnson Controls

Abbildung 31: Kältemaschine (luftgekühlt) mit Schraubenverdichter und Rohrbündelwärmeübertrager, Kälteleistung > 300 kW und < 1.000 kW, Kältemittel R134a



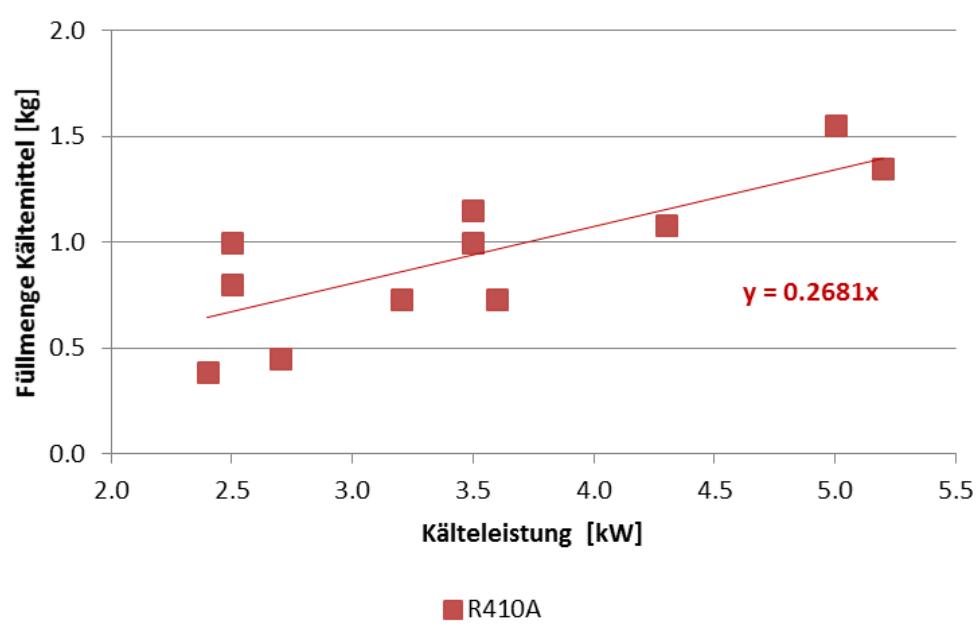
Quelle: Herstellerangaben: Carrier, Daikin, Johnson Controls

Abbildung 32: Kältemaschine (wassergekühlt) mit Turboverdichter und Rohrbündelwärmeübertrager, Kälteleistung > 1.000 kW, Kältemittel R134a



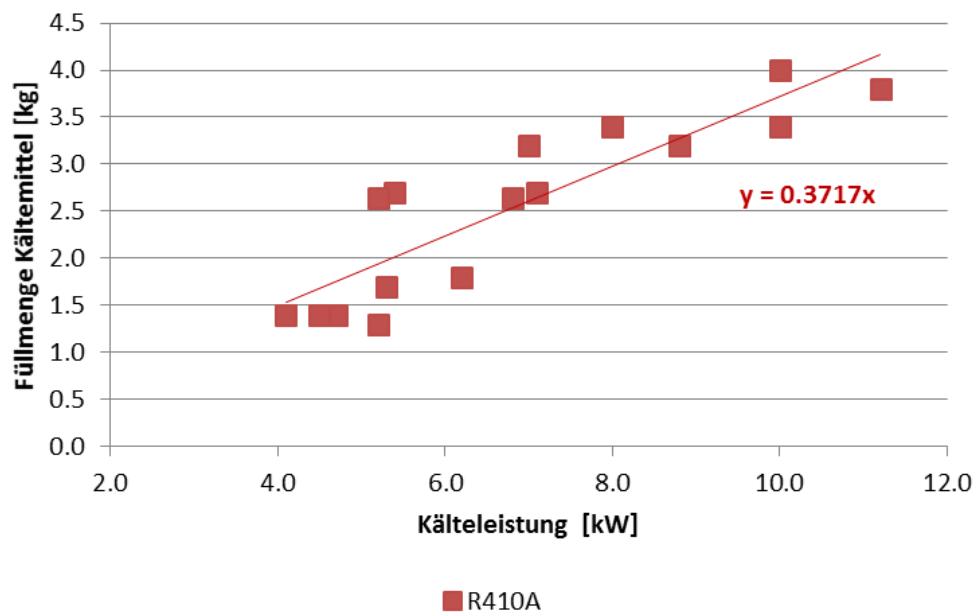
Quelle: Herstellerangaben: Cofely, OPK, Johnson Controls, Daikin

Abbildung 33: Splitgeräte Kälteleistung < 12 kW, Kältemittel R410A



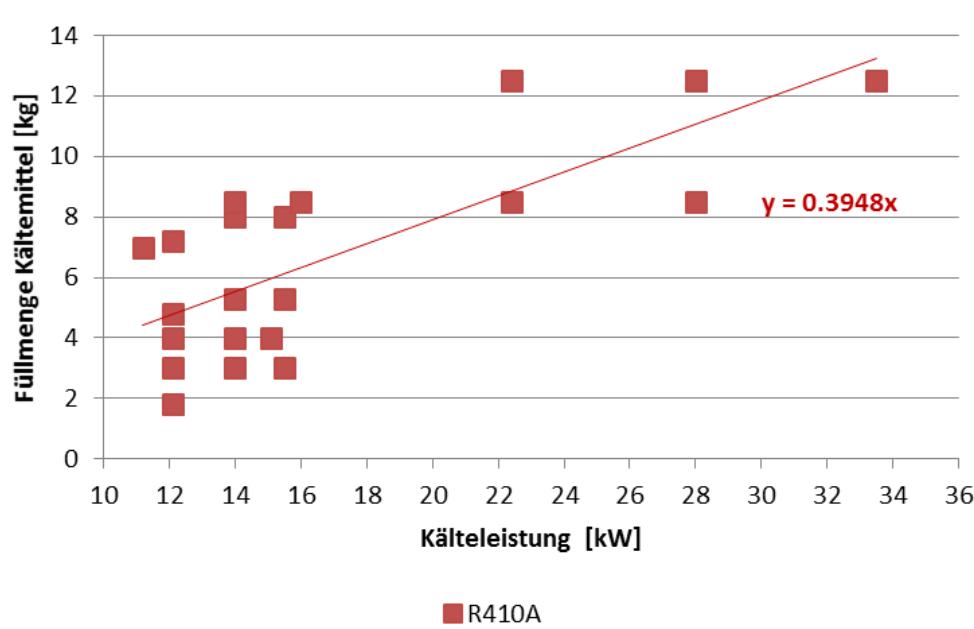
Quelle: Herstellerangaben Stiebel Eltron, Remko, AEG, LG

Abbildung 34: Multi-Splitgeräte Kälteleistung < 12 kW, Kältemittel R410A



Quelle: Herstellerangaben: Stiebel Eltron, LG, Panasonic

Abbildung 35: VRF-Systeme Kälteleistung > 12 kW Kältemittel R410A



Quelle: Herstellerangaben: Toshiba, LG, Panasonic, Swegon/Fujitsu

Aus der Auswertung der Produktangaben der Hersteller lassen sich die nachfolgenden Werte ableiten.

Tabelle 46: Füllmenge für Kompressionskältemaschinen in kg/kW Nennkälteleistung laut Herstellerangaben

Kälteleistung	Verdichter	Art der Rückkühlung	Kältemittel	Füllmenge [kg/kW]
<300 kW	Scrollverdichter	Wassergekühlt	R 407C	0,13
			R 410A	0,07
		Luftgekühlt	R 407C	0,25
			R 410A	0,16
>300 und <1000 kW	Schrauben-verdichter	Wassergekühlt	R134a	0,25
			R 410A	0,16
		Luftgekühlt	R134a	0,20
>1000 kW	Turboverdichter	Wassergekühlt	R134a	0,31
Splitgeräte		Luftgekühlt	R 410A	0,27*
Muli-Splitgeräte		Luftgekühlt	R 410A	0,37*
VRF-Systeme		Luftgekühlt	R 410A	0,40*

Quelle: Herstellerangaben

* Füllmengen ohne zusätzliche Befüllung der Rohrleitungen zwischen Außen- und Inneneinheit bei der Installation

2.4.4 Kältemittelleckagen

Die Auswertung der vorhandenen Literatur zeigt, dass zum Thema Leckagen und Entsorgungsverluste für die Gebäudeklimatisierung in Deutschland nur wenig gemessene Werte oder Statistiken zur Verfügung stehen.

Die in der Literatur angegebenen Quellen beziehen sich im Wesentlichen auf Expertenbefragungen und Auswertungen einzelner Anlagen sowie die Angaben großer Kältemaschinenhersteller und Wartungsfirmen. Lediglich die durch den Verband VDKF veröffentlichten Zahlen stammen aus einer Datenbank, die durch Wartungsfirmen mit Information aus den Wartungsprotokollen gefüllt wird. Die Datenbank ist nicht repräsentativ, da Eintragungen freiwillig erfolgen.

Insgesamt zeigt der Großteil der Quellen eine Tendenz zur Verbesserung der Kältemittelverluste von Kältemaschinen, Splitgeräten und Wärmepumpen über die letzten 20 Jahre.

Die nachfolgende Tabelle zeigt die Übersicht der in unterschiedlichen Veröffentlichungen dargestellten Zahlen zu den jährlichen Kältemittelverlusten¹⁶, den Entsorgungsverlusten und der Lebensdauer der unterschiedlichen Kältesystemtypen.

Tabelle 47: Jährliche durchschnittliche Kältemittelverluste [UBA 2005, UBA 2014, NIR 2014, IOR 2010, VDKF 2013, Skm-Enviro 2010, Heat-Pump Studie 2014]

	UBA 2005 [%]	UBA 2014 [%]	NIR Report 2014 [%]	IOR 2010 UK Report 1998 [%]	IOR 2010 UK Report 1999 [%]	IOR 2010 UK Report 2003 [%]	VDKF 2013 2010-2012 [%]	Skm-Enviro 2010 [%]	Heat-Pump Studie 2014 [%]	IOR 2010 UK ETSU 1997 [%]
Splitgeräte	2,5	5,0	5,0 – 6,9	12 – 20	10 – 20	8 – 12	1,03 – 1,47	6,0		
Multi-Split	2,5	6,0	5,6 – 7,9	12 – 20	10 – 20	8 – 12	1,03 – 1,47	6,0		
VRF		7,0	6,58 – 8,9	12 – 20	10 – 20	8 – 12	0,81 – 1,33	6,0		
Kältemaschinen	6,0	4,0	3,76 – 6,0	12 – 20	3 – 10	3 – 5	1,75 – 2,19	5,0		4,0
Wärmepumpen	2,5		2,0 – 2,5	12 – 20	3 – 10	3 – 5		5,0	3,8	4,0

¹⁶ In den Werten der Veröffentlichungen UBA 2005, UBA 2014, NIR Report 2014 und Skm-Enviro 2010 sind Havarieverluste enthalten

Tabelle 48: Entsorgungsverluste [UBA 2014, NIR 2014, Skm-Enviro 2010]

	UBA 2014 [%]	NIR report 2014 [%]	Skm-Enviro 2010 [%]
Splitgeräte	70	49 – 63,6	90
Multi-Split	30	31,5 – 46,1	90
VRF	30	31,5 – 46,1	90
Kältemaschinen	30	21,6 – 45	25
Wärmepumpen		35,3 – 56,3	25

Tabelle 49: Lebensdauer [UBA 2005, UBA 2014, NIR 2014, Skm-Enviro 2010, VDI 2067]

	UBA 2005 [a]	UBA 2014 [a]	NIR 2014 [a]	Skm-Enviro 2010 [a]	VDI 2067 [a]
Splitgeräte	10	10	10	12	12
Multi-Split	10	13	13	15	12
VRF		13	13	15	12
Kältemaschinen	20 – 25 ¹	15 – 25 ²	15 – 25 ²	18	15 – 18 ³
Wärmepumpen	15		15	18	15 – 20 ⁴

¹: 20 Jahre Chiller, 25 Jahre Turboverdichteranlagen

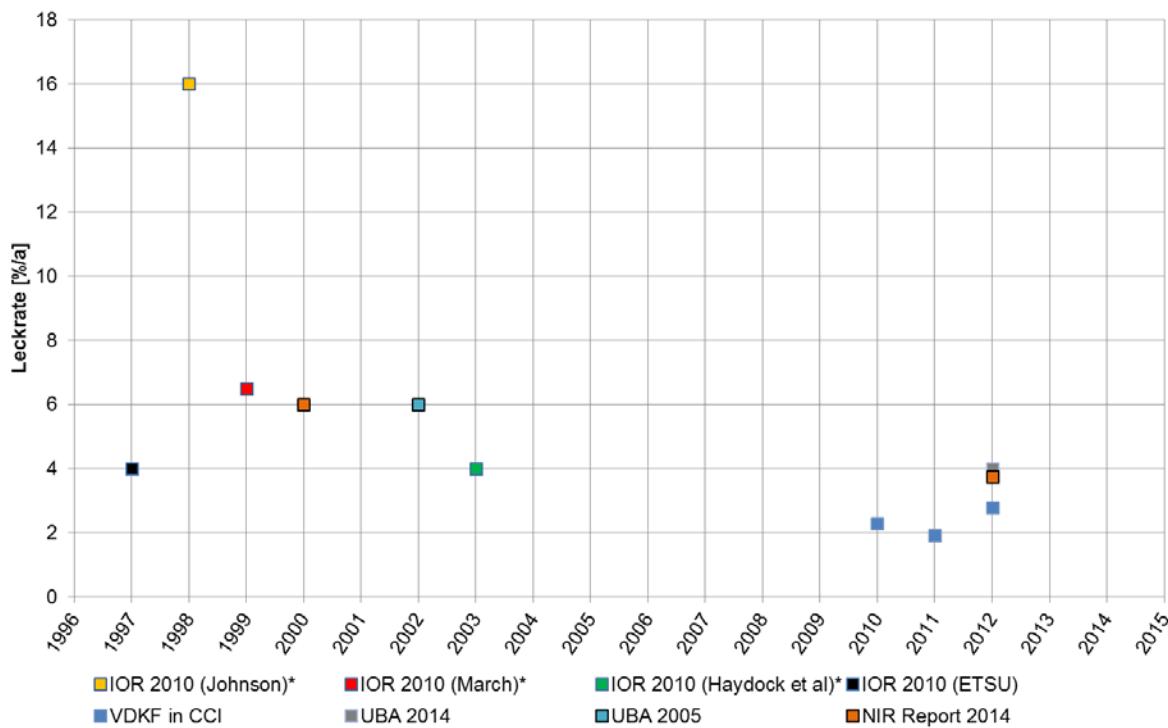
²: 15 Jahre Chiller, 25 Jahre Turboverdichteranlagen

³: 15 Jahre Kompressionskältemaschinen, 18 Jahre Absorptionskältemaschinen

⁴: 15 Jahre Gas-Wärmepumpe, 20 Jahre Elektro-Wärmepumpe

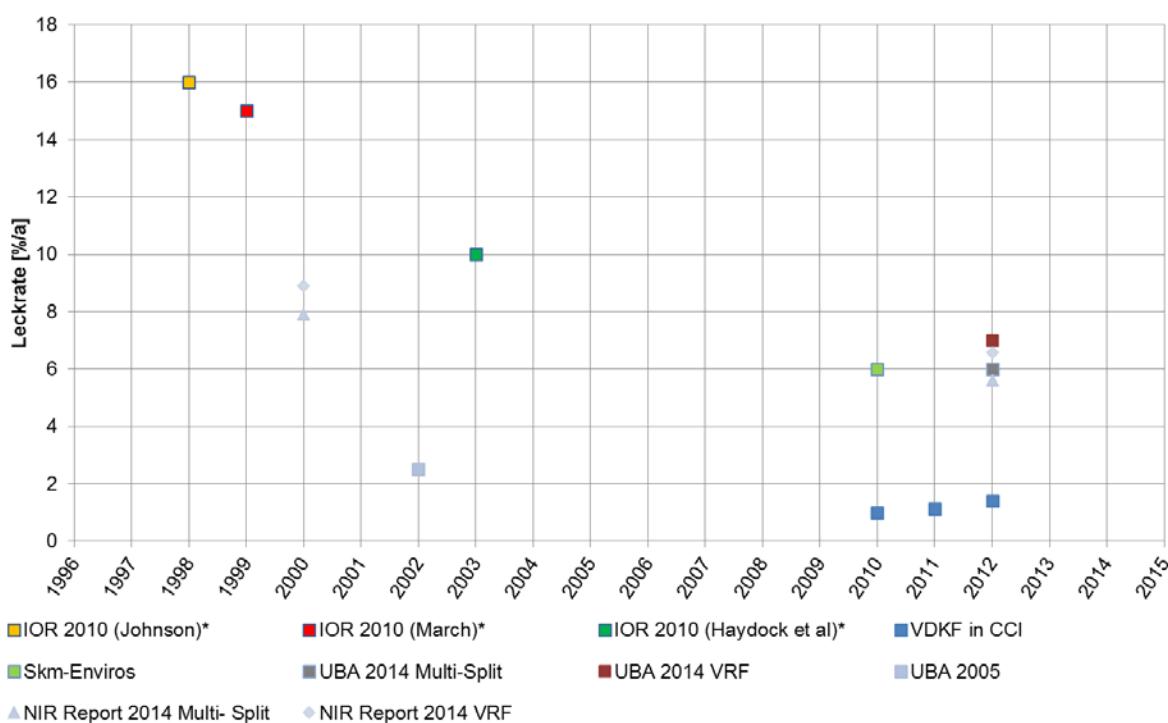
Die nachfolgenden Bilder zeigen die Angaben der verschiedenen Untersuchungen zu den jährlichen Kältemittelverlusten aufgetragen gegen das Jahr der Untersuchungen.

Abbildung 36: Jährliche Kältemittelverluste von Kompressionskältemaschinen [UBA 2005, UBA 2014, NIR 2014, IOR 2010, VDKF 2013]



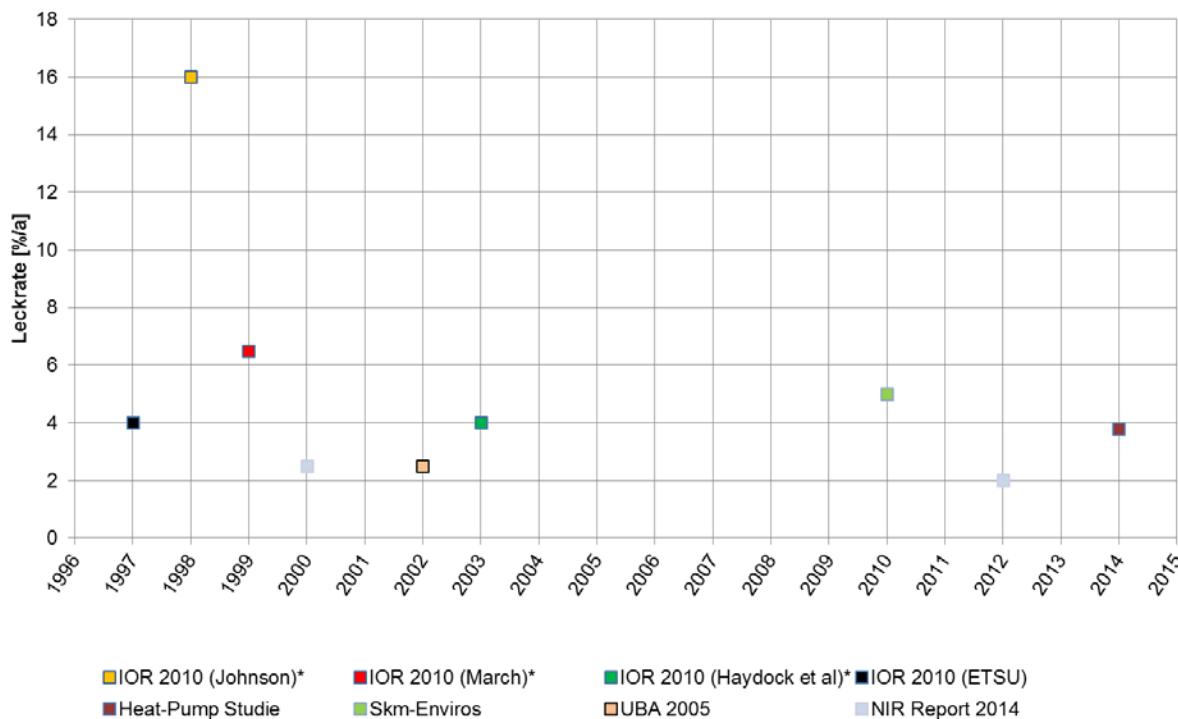
Eigene Darstellung, * Werte sind gemittelt

Abbildung 37 Jährliche Kältemittelverluste von Split-, Multisplit- und VRF-Geräten [UBA 2005, UBA 2014, NIR 2014, IOR 2010, VDKF 2013, Skm-Enviro 2010]



Eigene Darstellung, * Werte sind gemittelt

Abbildung 38: Jährliche Kältemittelverluste von Wärmepumpen [UBA 2005, NIR 2014, IOR 2010, Skm-Enviro 2010, Heat-Pump Studie 2014]



Eigene Darstellung, * Werte sind gemittelt

Die nachfolgenden Parameter werden nach Auswertung der oben genannten Quellen und Veröffentlichungen für die weiteren Berechnungen herangezogen (siehe Tabelle 45). Dabei werden für die Punkte jährliche Kältemittelverluste, Entsorgungsverluste und Lebensdauer für die Kältemaschinen im Wesentlichen die Werte aus der Veröffentlichung [UBA 2014] und für die Wärmepumpen aus der Veröffentlichung [NIR 2014] zugrunde gelegt. Für die Füllmengen wird die Auswertung der Herstellerangaben aus Tabelle 41 verwendet. Aufgrund des hohen Marktanteils wurden für den Bereich Kältemaschinen und Wärmepumpen die Lebensdauern von Kompressionskältemaschinen und elektrisch betriebenen Wärmepumpen berücksichtigt.

Tabelle 50: Parameter für die weitere Berechnung aus der Veröffentlichungen [UBA 2014, NIR 2014] und Herstellerangaben [eigene Auswertung]

	Leckage [%/a]	Entsorgungs- verluste [%]	Füllmenge [kg]	Lebens- dauer [a]
Splitgeräte	5	49		10
Multisplit	5,6	31,5		13
VRF	6,58	31,5	Entsprechend der Anga- ben aus Tabelle 46	13
Kältemaschinen Turboverdichter	3,76	21,6		25
Chiller	3,76	21,6		15
Wärmepumpen	2,5	35,2		15

2.4.5 TEWI

Der TEWI-Wert (Total Equivalent Warming Impact) dient zur Ermittlung des Gesamtausstoßes von Treibhausgasen, der durch den Betrieb einer Kälteanlage verursacht wird. Hierbei werden direkte Kältemittelemissionen (Verluste durch Leckage und bei der Rückgewinnung nach Außerbetriebnahme) und indirekte Emissionen durch den Energieverbrauch berücksichtigt.

Die Berechnung der TEWI-Kennzahl wird gemäß DIN EN 378-1 (2012) mit folgender Formel durchgeführt:

$$\text{TEWI} = [\text{GWP} * \text{L} * \text{n}] + [\text{GWP} * \text{m} (1 - \alpha_{\text{Rückgewinnung}})] + [\text{n} * \text{E}_{\text{jahr}} * \beta]$$

mit

GWP	[-]	Treibhauspotenzial bezogen auf CO ₂
L	[kg/a]	Leckrate
n	[a]	Betriebszeit der Anlage
m	[kg]	Füllmenge Kältemittel
α	[-]	Faktor für Rückgewinnung/Recycling, 0 bis 1
E	[kWh/a]	Energieverbrauch
β	[kg/kWh]	CO ₂ -Emissionen durch Energieumwandlung (Strom)
TEWI	[kg _{CO₂}]	äquivalenter Erwärmungsbeitrag

Bezogen auf die Einflüsse auf den Treibhauseffekt kann die Formel wie folgt untergliedert werden:

Direkte Einflüsse auf den Treibhauseffekt

$\text{GWP} * \text{L} * \text{n}$ Kältemittelverluste durch Leckagen

$\text{GWP} * \text{m} (1 - \alpha_{\text{Rückgewinnung}})$ Kältemittelverluste bei der Entsorgung

Indirekte Einflüsse auf den Treibhauseffekt

$\text{n} * \text{E}_{\text{jahr}} * \beta$ Energieverbrauch

Um einen Überblick über die unterschiedlichen TEWI-Werte der verschiedenen Kältemaschinen zu erhalten, wurde nachfolgend für die in Abschnitt 2.4.1.4 beschriebene Standardsysteme und die dazugehörigen Ergebnisse im Hinblick auf Leckage, Entsorgungsverluste, Füllmenge, Lebensdauer etc. eine beispielhafte TEWI-Berechnung durchgeführt. Für die Berechnung des Energieverbrauchs wurden die SEER-Werte aus Tabelle 41 und Tabelle 42 für Kälteanlagen in Rechenzentren gemäß DIN V 18599 zugrunde gelegt.

Um eine direkte Vergleichbarkeit der Kältemaschinen zu erhalten, wurde die Beispielberechnung auf 1 kW Kälteleistung und 1 Jahr Betriebszeit bezogen. Entsorgungsverluste wurden anteilig berücksichtigt.

Folgende Randparameter wurden bei der Berechnung zusätzlich zu den o.g. Tabellen und Werten berücksichtigt:

Vollaststunden:	4000 h/a (Erfahrungswerte)
Kälteleistung:	1 kW
CO ₂ -Emissionsfaktor:	559 g/kWh ¹⁷

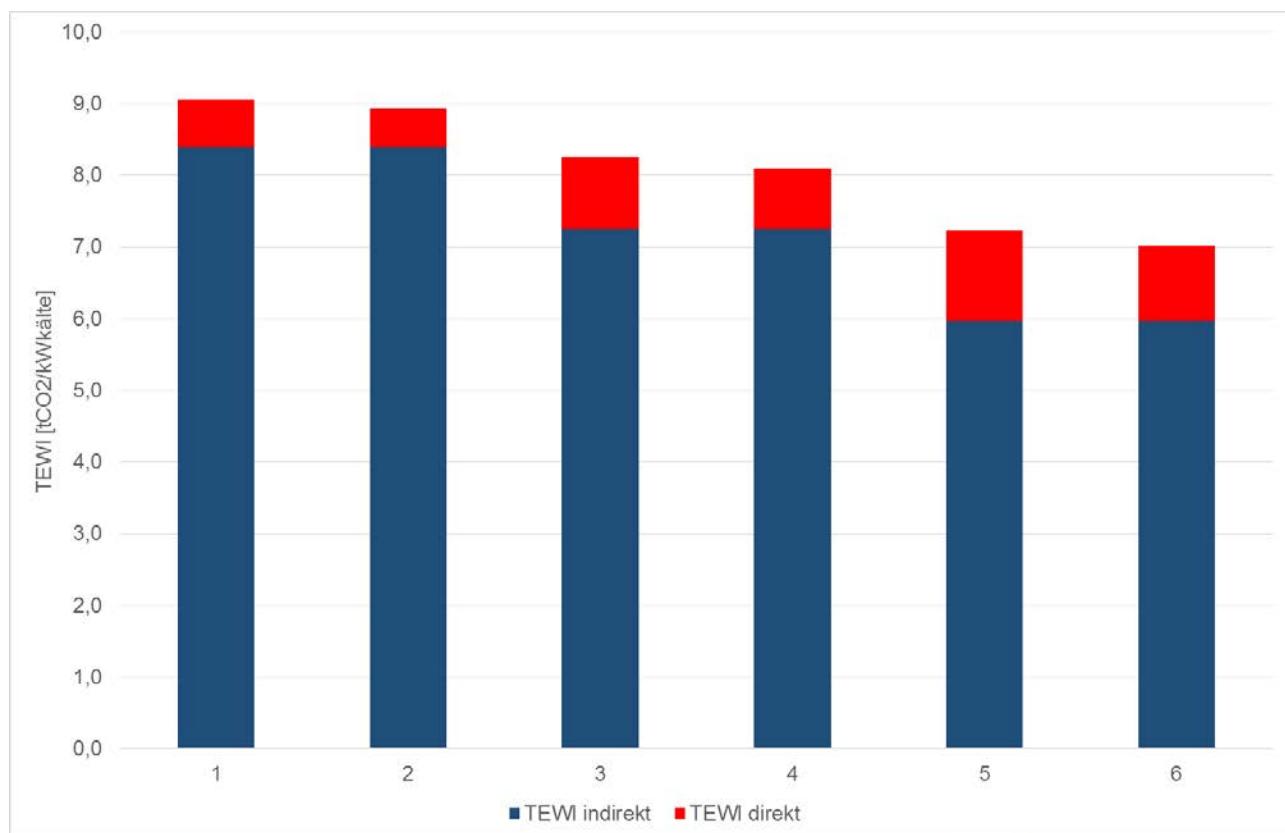
¹⁷ Quelle :UBA 23/2014 Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen des deutschen Strom-Mix in den Jahren 1990 bis 2013;

Leckage, Entsorgungsverluste, Füllmengen, Lebensdauer: gemäß Angaben in Tabelle 50

Die nachfolgend ermittelten TEWI-Werte beziehen sich nur auf die in Abschnitt 2.4.1.4 beschriebenen Standardsysteme. Die TEWI-Werte inklusive Berücksichtigung von Verlusten, Verteil- und Übergabesystemen können deutlich davon abweichen. Die Zahlen sollen einen direkten Vergleich unterschiedlicher Kältemaschinen, Rückkühlarten und Kältemittel ermöglichen.

Die Berechnung der TEWI-Werte mit natürlichen Kältemitteln erfolgt in Abschnitt 3.

Abbildung 39: Beispiel TEWI-Berechnung für Klimageräte für 1 kW Kälteleistung



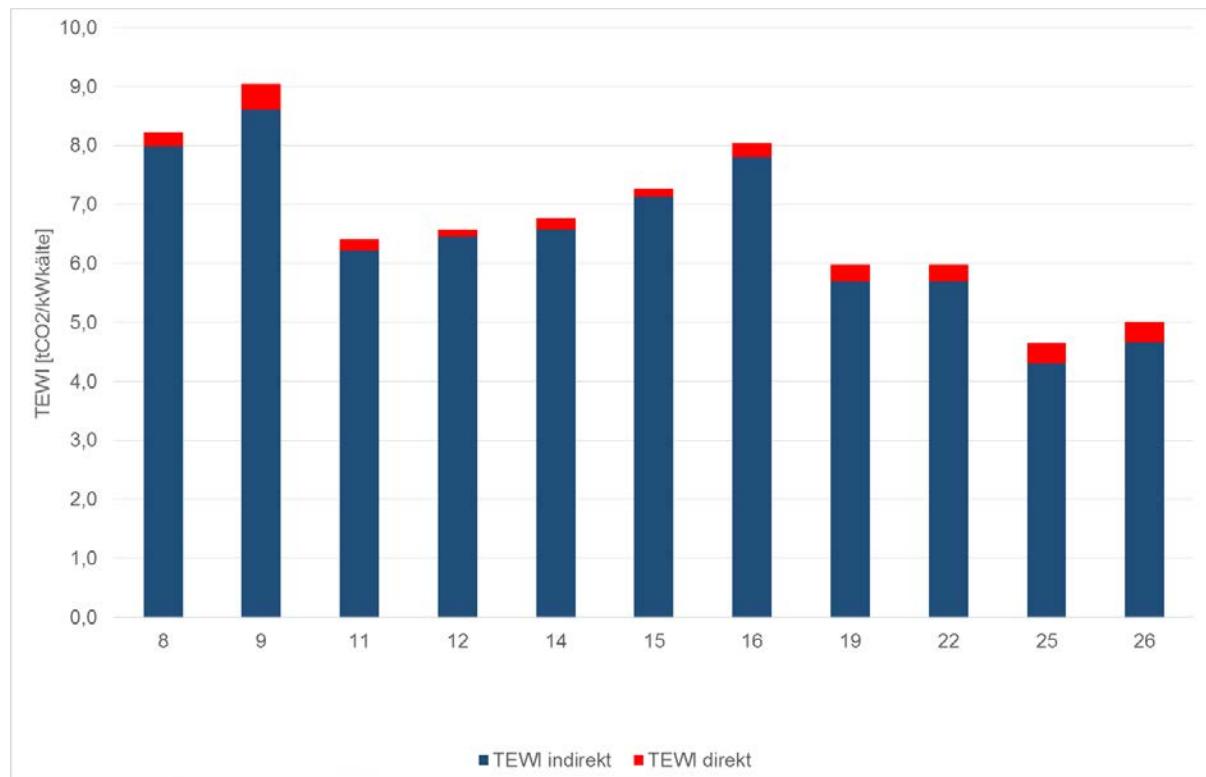
Eigene Berechnung

Tabelle 51: Legende zu Abbildung 39

Systemnummer	System	Rückkühlung	Kältemittel
1	Splitgerät	Luft	R-410A
2			R-407C

Systemnummer	System	Rückkühlung	Kältemittel
3	Multi-Split	Luft	R-410A
4			R-407C
5	VRF	Luft	R-410A
6			R-407C

Abbildung 40: Beispiel TEWI-Berechnung für Kompressionskältemaschinen für 1 kW Kälteleistung



Eigene Berechnung

Tabelle 52: Legende zu Abbildung 40

System-nummer	System	Rückkühlung	Kältemittel
8		Luft	R-407C
9			R-410A
11	Kompressionskältemaschine < 300 kW Scrollverdichter	Wasser Nassrückkühler	R-407C
12			R-410A
14		Wasser Trockenrückkühler	R-407C
15			R-410A
16	Kompressionskältemaschine > 300kW<1.000kW Schraubenverdichter	Luft	R-134a
19		Wasser Nassrückkühler	R-134a
22		Wasser Trockenrückkühler	R-134a
25	Kompressionskältemaschine	Wasser Nassrückkühler	R-134a

System-nummer	System	Rückkühlung	Kältemittel
26	> 1.000 kW Turboverdichter	Wasser Trockenrückkühler	R-134a

Die direkten Emissionen machen bei Klimageräten unter den hier untersuchten Randbedingungen rund 6 – 17 % aus. Bei den größeren Kompressionskältemaschinen betragen die direkten Emissionen 3 – 7 %.

2.4.6 Hersteller von Kältemaschinen mit natürlichen Kältemitteln

Die nachfolgende Tabelle zeigt eine Liste mit Anbietern von Kältemaschinen und Raumklimageräten für die Gebäudeklimatisierung zum Heizen und/oder Kühlen von Nichtwohngebäuden mit natürlichen Kältemitteln.

Tabelle 53: Hersteller Kältemaschinen mit natürlichen Kältemitteln, Mittelwerte der Veröffentlichungen, [UBA 2005, UBA 2014, NIR 2014, IOR 2010, VDKF 2013, Skm-Enviro 2010, Heat-Pump Studie 2014, Cofely Service, VDI 2067, cci Dialog GmbH]

Hersteller	Land	Kältemittel	Kälteleistung
Bundgaard	Dänemark	Propan	Wärmepumpen 15 - 330 kW Kühlen /Heizen Kältemaschinen 15 - 380 kW
Swegon	Deutschland	Propan	Wärmepumpen 42 - 278 kW Kühlen /Heizen
Cofely	Deutschland	Ammoniak	Kompressionskältemaschine Hubkolbenverdichter 50 - 200 kW
Thermea	Deutschland	CO ₂	Wärmepumpen 50 - 1100 kW Heizleistung, 40 - 840 kW Kälteleistung Kompressionskältemaschinen Hubkolbenverdichter 30 - 660 kW
Emerson	Deutschland	Propan	Wärmepumpe 4 - 13,5 kW
Carrier GmbH, Unterschleißheim	Deutschland	Wasser/ Lithiumbromid	Absorptionskältemaschine 90-2461 kW
EAW Energieanlagenbau GmbH, Römhild	Deutschland	Wasser/ Lithiumbromid	Absorptionskältemaschine 15 - 200 kW
Gasklima GmbH, Erlensee	Deutschland	Wasser/ Lithiumbromid	Absorptionskältemaschine 17 - 5500 kW
GEA Refrigeration	Deutschland	Ammoniak	100 - 5500 kW
Invensor GmbH	Deutschland	Wasser/ Zeolith	Adsorptionskältemaschine 10 - 35 kW
Johnson Controls GmbH, Essen	Deutschland	Ammoniak Wasser/ Lithiumbromid	Kompressionskältemaschine Hub- kolbenverdichter 92-1400 kW Absorptionskältemaschine

Hersteller	Land	Kältemittel	Kälteleistung
Pink GmbH, Langenwang	Österreich	Wasser/ Lithiumbromid	100 - 4800 kW Absorptionskältemaschine 5 - 90 kW
Rütgers GmbH, Mannheim ¹⁸	Deutschland	Wasser/ Lithiumbromid	Absorptionskältemaschine 170 - 5230 kW
Sortech GmbH	Deutschland	Was- ser/Silikagel bzw. Zeolith	16 bzw. 13 kW
Trane GmbH, Duisburg	Deutschland	Wasser/ Lithiumbromid	Absorptionskältemaschine 60 - 5700 kW
Zimmermann GmbH, Seevetal	Deutschland	Wasser/ Lithiumbromid	Absorptionskältemaschine 20 - 1000 kW

¹⁸ Kein Hersteller, aber Vertrieb von Kältemaschinen des Herstellers Shuangliang

3 Anforderungen und Konzepte für klimaschonende Wärme- und Kälteversorgung von Nichtwohngebäuden mit Serverräumen/Rechenzentren

3.1 Definition von Klimaschutzanforderungen für Gebäude und IKT

3.1.1 Die europäischen Klimaschutzziele

Die europäische Energie- und Klimapolitik stützt sich derzeit auf drei Säulen: Reduktion von Treibhausgasemissionen, Steigerung von Energieeffizienz und Ausbau erneuerbarer Energien. So haben sich die EU-Mitgliedstaaten unter den sogenannten „20-20-20-Zielen¹⁹“ verpflichtet, bis 2020:

- Ihre Treibhausgasemissionen um mindestens 20 % gegenüber 1990 zu verringern,
- Die Energieeffizienz um 20 % zu steigern,
- Den Anteil an erneuerbaren Energien am Gesamtbedarf auf mindestens 20 % zu erhöhen.

Am 23. Oktober 2014 einigten sich die EU-Staats- und Regierungschefs auf ein neues umfassendes Klima- und Energiepaket mit Zielen bis zum Jahr 2030. In diesem neuen Paket wurden die Zielwerte von 2020 auf folgende Weise fortgeschrieben:

- Reduktion der Treibhausgasemissionen um 40 % gegenüber 1990,
- Erhöhung der Energieeffizienz auf mind. 27 %,
- Ausbau der erneuerbaren Energien auf einen Anteil von mindestens 27 %.

Des Weiteren ist ein Umbau und eine Stärkung des EU-Emissionshandels (EU–ETS) vorgesehen, um die EU auf den Weg in eine wettbewerbsfähige CO₂-arme Wirtschaft zu bringen.

Um dies zu erreichen, hat die europäische Union auch für das Jahr 2050 bereits ambitionierte Klimaschutzziele formuliert. So sollen bis 2050 die Treibhausgase der Union um 80 % gegenüber dem Stand von 1990 reduziert werden. Um dieses Ziel zu verwirklichen, hat die Europäische Kommission einen „Fahrplan für den Übergang zu einer wettbewerbsfähigen CO₂-armen Wirtschaft bis 2050“ vorgelegt²⁰. In diesem Fahrplan wird aufgezeigt, wie die verschiedenen Sektoren entsprechend ihrem technischen und wirtschaftlichen Potenzial zur Erreichung des Reduktionsziels beitragen können (siehe Tabelle 54).

Tabelle 54: Europäische Sektorziele für 2050²¹

GHG reductions compared to 1990	2005	2030	2050
Total	-7%	-40 to -44 %	-79 to -82 %
Sectors			
Power (CO ₂)	-7%	-54 to -68 %	-93 to -99 %
Industry (CO ₂)	-20%	-34 to -40 %	-83 to -87 %

¹⁹ http://ec.europa.eu/europe2020/pdf/targets_de.pdf

²⁰ http://ec.europa.eu/commission_2010-2014/hedegaard/headlines/topics/docs/com_2011_112_en.pdf

²¹ http://ec.europa.eu/clima/policies/roadmap/perspective/index_en.htm

GHG reductions compared to 1990	2005	2030	2050
Transport (incl. CO ₂ aviation, excl. maritime)	+30 %	+20 to -9 %	-54 to -67 %
Residential and services (CO₂)	-12 %	-37 to -53 %	-88 to -91 %
Agriculture (Non- CO ₂)	-20 %	-36 to -37 %	-42 to -49 %
Other Non- CO ₂ emissions	-30 %	-72 to -73 %	-70 to -78 %

Zahlreiche Studien belegen, dass der sehr heterogene europäische Gebäudesektor nicht nur einer der größten Energieverbraucher der Europäischen Union ist, sondern auch eines der größten Potenziale für Energie- und Kosteneinsparungen birgt. Dieses Potenzial muss ausgeschöpft werden, damit die EU ihre ambitionierten Reduktionsziele für das Jahr 2050 erreichen kann. Aus diesem Grund ist das Ziel für den Gebäudesektor innerhalb des Fahrplans auf 88 % bis 91 % angesetzt. Dies stellt eines der ambitioniertesten Ziele unter den Sektoren dar, welches nur vom Zielwert für den Energiesektor übertroffen wird. Die Emissionen, die durch Heizung, Kühlung, Lüftung und Warmwasserbereitung in Gebäuden verursacht werden, müssen folglich innerhalb der nächsten 35 Jahre erheblich reduziert werden.

Dabei ist zu berücksichtigen, dass zum einen rund ein Viertel des Gebäudebestandes im Jahr 2050 noch gebaut wird, zum anderen ein nicht zu vernachlässigender Teil der bestehenden Gebäude aus unterschiedlichen Gründen nicht umfassend saniert werden kann. Um die Klimaschutzziele für 2050 erreichen zu können, ist es deswegen notwendig, den Energieverbrauch im Neubau auf fast Null zu senken. Mit der Einführung der Niedrigstenergiegebäude ab 2021 gemäß EU-Gebäuaderichtlinie (EBPD)²² wird angestrebt, Niedrigstenergiestandards im Neubau europaweit zu realisieren und auch in der Sanierung zunehmend vergleichbare Niveaus zu erreichen. Dabei wird auf den großflächigen Einsatz von erneuerbaren Energien sowie gleichzeitig auf die deutliche Steigerung der Energieeffizienz der Gebäude- und Anlagenteile gesetzt (siehe dazu [BPIE 2011], [Ecofys 2013]).

3.1.2 Der deutsche Gebäudesektor und seine Klimaschutzanforderungen für 2050

Auch auf nationaler Ebene folgt Deutschland der Zielvorgabe der EU. So hat sich die Bundesregierung zum Ziel gesetzt, bis zum Jahr 2050 ihre Treibhausgasemissionen um 80 % bis 95 % gegenüber dem Wert von 1990 zu senken. Das Energiekonzept der Bundesregierung²³ sieht dabei nicht nur die Transformation hin zu einer annähernd emissionsfreien Energieversorgung vor, sondern formuliert auch Ziele für den Gebäudesektor für die Jahre 2020 und 2050 (siehe Tabelle 55).

²² Energy Performance of Buildings Directive (Richtlinie 2010/31/EU)

²³ http://www.bundesregierung.de/ContentArchiv/DE/Archiv17/_Anlagen/2012/02/energiekonzept-final.pdf?__blob=publicationFile&v=5

Tabelle 55: Ziele für den Gebäudesektor nach dem Energiekonzept der Bundesregierung

Zielsetzungen des Energiekonzeptes	2020	2050
Reduktion der Treibhausgasemissionen (gegenüber 1990)	40 %	80 %
Senkung des Primärenergieverbrauchs (gegenüber 2008)	20 %	50 %
Reduktion des Wärmebedarfs	20 %	80 %
Reduktion des Stromverbrauchs (gegenüber 2008)	10 %	25 %
Steigerung des Anteils der erneuerbaren Energien am Bruttoendenergieverbrauch	18 %	60 %

Quelle: [dena 2012]²⁴

Ein konkretes Ziel für die Reduktion des Kältebedarfs wird nicht formuliert.

3.1.3 Grundsätze für Niedrigstenergiestandards in der Gebäudeklimatisierung

Aufgrund der geringeren Lebensdauer von Nichtwohngebäuden gegenüber Wohngebäuden im Allgemeinen und Rechenzentren im Speziellen ist hier vor allem die Zielsetzung im Neubau von Bedeutung. Insbesondere vor dem Hintergrund, dass vor einem längerfristigen Zeithorizont ein Großteil der Rechenzentren erst noch gebaut werden wird.

Aufgrund der Einführung von Niedrigstenergiegebäuden ab 2021, wie in Artikel 9 der EU-Gebäuderichtlinie (Richtlinie 2010/31/EU) gefordert, werden derzeit auf europäischer wie nationaler Ebene mögliche Definitionen und Standards für diese Art von Gebäuden untersucht und diskutiert. Die Studie [BPIE 2011] lieferte in diesem Zusammenhang Grundsätze für die Definition von Niedrigstenergiegebäuden. Da bis 2050 der Großteil des Bestandes an Rechenzentren und Serverräumen noch gebaut werden wird, lohnt es sich, diese Grundsätze genauer zu untersuchen, um darauf aufbauend einen Weg hin zum Rechenzentrum mit Niedrigstenergiestandard zeigen zu können. Konkrete Lösungsbeispiele wurden auch im Rahmen des mit EU-Forschungsgeldern geförderten Projektes RenewIT [RenewIT D4.3] aufgezeigt.

In [BPIE 2011] werden drei Hauptgrundsätze identifiziert, die den Energiebedarf, den Anteil an Erneuerbarer Energie und den Primärenergiebedarf sowie die Höhe der Emissionen bestimmen. In Tabelle 56 sind diese Grundsätze genauer erläutert, außerdem wird die Verknüpfung zur Gebäudekühlung/Rechenzentren hergestellt.

²⁴http://www.dena.de/fileadmin/user_upload/Veranstaltungen/Vortraege_GF/sk/Energiewende_im_Gebaeudebereich_-_Herausforderungen_und_Chancen_bei_energieeffizientem_Bauen_und_Sanieren.pdf

Tabelle 56: Grundsätze für Niedrigstenergiegebäude und die Implikationen für Rechenzentren

	1. Grundsatz: Energiebedarf	2. Grundsatz: Anteil Erneuerbare Energie	3. Grundsatz: Primärenergiebedarf und Emissionen
Erläuterungen nach [BPIE 2011]	Ein klar definierter Schwellenwert sollte für den Energiebedarf eines Gebäudes gesetzt werden.	Ein klar definierter Anteil für Erneuerbare Energien sollte festgelegt werden. Dabei zeigte sich, dass ein Zielkorridor von 50–90% angemessen ist.	Ein klar definierter Schwellenwert für den Primärenergiebedarf und die CO ₂ -Emissionen sollte gesetzt werden, der in Verbindung zu der gesamten gelieferten Energie des Gebäudes stehen.
Angewandt auf die Kühlung in Rechenzentren	Die diskutierten Effizienzmaßnahmen, zeigen, dass ein geringer Endenergiebedarf für die Gebäude- und Rechenzentrumskühlung erreicht werden kann.	Die technischen Möglichkeiten der Energieversorgung zeigen, dass ein Anteil von 50–90% erneuerbarer Energien realisierbar ist.	Die beschriebenen erneuerbare Energie-Lösungen demonstrieren, dass eine klimaneutrale Versorgung der Gebäudekühlung möglich ist.

Die innerhalb der Studie [BPIE 2011] durchgeföhrten Simulationen ergaben, dass bei den im Niedrigstenergiestandard errichteten Bürogebäuden in Deutschland der Endenergiebedarf für Gebäudekühlung im Bereich von ca. 1 kWh/m²a liegen kann. Dieser ist damit deutlich niedriger als der Heizwärmebedarf im Bereich von ca. 10 kWh/m²a. Es ist davon auszugehen (und im Folgenden nachzuweisen), dass der Energiebedarf für die Kühlung von Rechenzentren und Serverräumen in Bürogebäuden im Vergleich zu heute drastisch reduziert und somit dem Niedrigstenergiestandard entsprechen kann. Zudem kann der geringe verbleibende Bedarf gut durch regenerative Energien – z.B. Photovoltaik-Anlagen – nahezu klimaneutral gedeckt werden.

3.1.4 Zielkorridor zur Erreichung der gesetzten Klimaschutzziele im deutschen Gebäude-sektor

Mit der Festlegung dieser Langzeitziele bis 2050 gilt es zu klären, welche technischen, finanziellen und politischen Maßnahmen nötig sind, um diese Ziele zu erreichen. Aus diesem Grund beauftragt die Bundesregierung in regelmäßigen Abständen die Durchführung von Szenarien-Berechnungen, um verschiedene Zielkorridore und Entwicklungspfade aufzuzeigen. Diese Szenarien konzentrieren sich bei der Betrachtungen des Gebäudesektors vor allem auf zwei Aspekte:

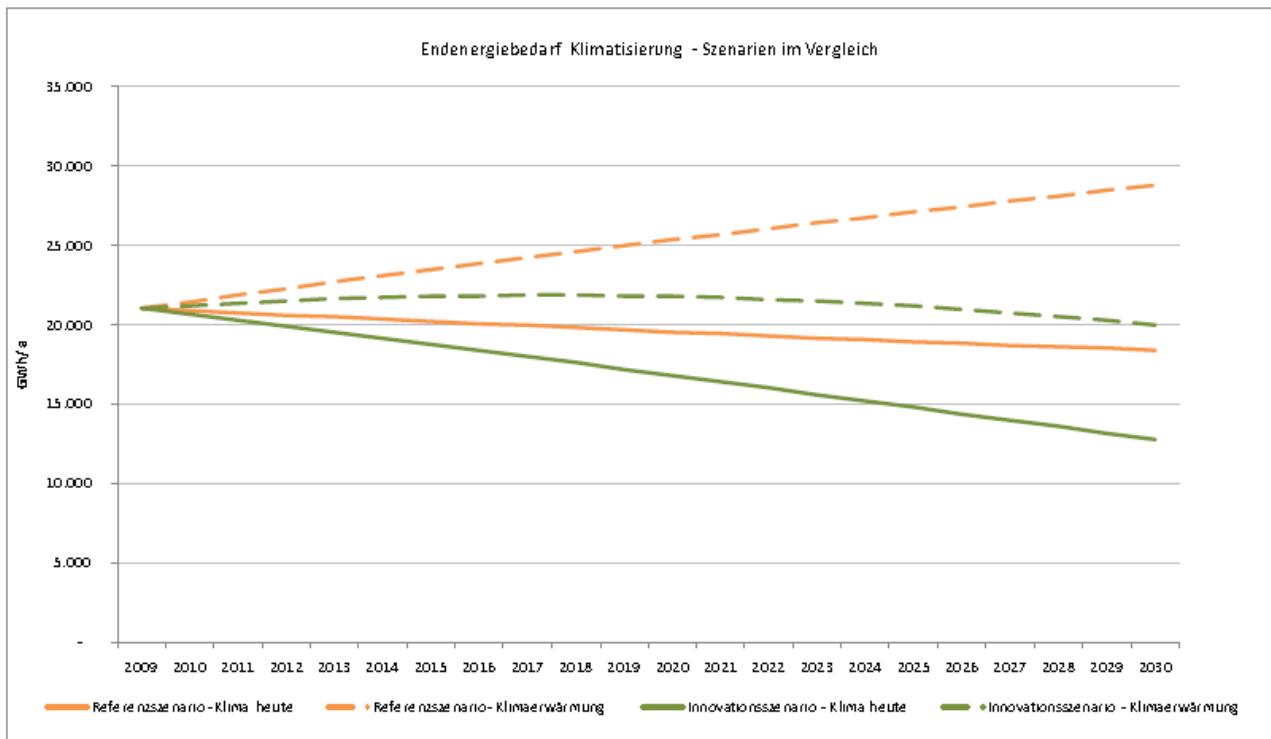
- die Sanierung des bestehenden Gebäudebestandes und
- die Reduktion des Heizenergiebedarfs durch den Einbau geeigneter Effizienzmaßnahmen und den Austausch von Heizungssystemen.

In den meisten Szenarien wird dabei die Gebäudekühlung außer Acht gelassen und nicht weiter untersucht bzw. oft in den Wärmebedarf mit aufgenommen, wodurch keine Differenzierung zwischen Wärme- und Kältebedarf bzw. deren Entwicklung möglich ist.

Die Studie [UBA 2011] befasst sich explizit mit der Gebäudekühlung und liefert Projektionen zur Entwicklung des Endenergiebedarfes in der Klimatisierung bis 2030. Da dieser Bereich noch wenig untersucht ist und eine gewisse Unsicherheit besteht, beschränkt sich diese Studie auf den Zeithorizont bis 2030. Abbildung 41 zeigt den Verlauf der Endenergiebedarfe der Klimatisierung anhand

einzelner Szenarien, die in Referenzszenario (orange) und Innovationsszenario (grün), sowie Klima heute (durchgezogen) und Klimaerwärmung (gestrichelt) unterschieden werden.

Abbildung 41: Endenergiebedarf Klimatisierung - Projektionen bis 2030



Quelle: [UBA 2011]

Bei der Betrachtung der Referenz-Szenarien wird deutlich, dass der Kühlbedarf in Deutschland stark ansteigen wird, wenn man von einer Erwärmung des Klimas ausgeht. Durch die Anwendung innovativer Techniken und Kühlkonzepte kann dieser Entwicklung entgegen gewirkt und eine Reduktion des Kühlbedarfs erreicht werden.

Hierbei ist anzumerken, dass aufgrund der lückenhaften Datenlagen in dieser Studie einige Annahmen getroffen werden mussten, um den Startpunkt für die Projektionen zu bestimmen. Während die Projektionen bis 2030 weiterhin Aufschluss geben, wie sich der Endenergiebedarf in Zukunft entwickeln könnte, erscheint aus heutiger Sicht der Ausgangspunkt mit über 20.000 GWh/a zu hoch angesetzt. Eine aktuellere Abschätzung nach [Nachhaltige Kälteversorgung 2014] geht davon aus, dass der Endenergiebedarf der Gebäudeklimatisierung aktuell in einer Größenordnung von 11.000 GWh/a liegt.

Rund 10 % des Strombedarfes für Gebäudeklimatisierung sind Rechenzentren und Serverräumen zuzuschreiben (siehe Abschnitt 2.1.1).

Während die Studie [UBA 2011] das Potenzial und den Handlungsbedarf aufzeigt, wurden bisher noch keine konkreten Ziele für die Gebäudekühlung in Deutschland formuliert. Stattdessen wird die Gebäudeklimatisierung in Zielvorgaben und relevanten Gesetzen (u.a. dem EEWärmeG) meist nur oberflächlich erwähnt und/oder mit der Wärme zusammengefasst. Dabei legen die gezeigten Entwicklungen und Projektionen nahe, dass die Gebäudekühlung zunehmend an Bedeutung innerhalb des Endenergiebedarfes des Gebäudesektors gewinnen wird.

Gemäß den Zielen für den Gebäudesektor nach dem Energiekonzept der Bundesregierung (siehe Tabelle 53) wird für den Wärmebedarf eine 80 %ige Reduktion angestrebt. Auch in diesem Fall wird nicht explizit auf die Gebäudekühlung eingegangen. Dabei gibt es keine stichhaltigen Gründe dafür, die Zielsetzung für die Gebäudekühlung weniger strikt anzulegen als für den Wärmebedarf. Vielmehr legen die im folgenden dargelegten Überlegungen nahe, dass es sinnvoll ist, für die Gebäudekühlung schärfere Ziele zu formulieren.

Technische Machbarkeit

Bereits heute sind die nötigen technischen Voraussetzungen vorhanden, den Kühlenergiebedarf von Gebäuden erheblich zu verringern. [UBA 2011] liefert Beispiele für Techniken zur Minderung des Energiebedarfs für Gebäudekühlung. In den Beispielen für Gebäude verschiedener Baualtersklassen und Energiestandards werden Verbesserungsvarianten aufgezeigt, durch die der Energieverbrauch für Kühlung von Bestandsgebäuden erheblich gesenkt bzw. der von Neubauten auf ein Minimum reduziert werden kann.

Ein Großteil der Gebäude in Deutschland, in denen Serverräume und Rechenzentren vorhanden sind, sind Bürogebäude. In [UBA 2011] wird die Endenergie zur Deckung des Kühlenergieverbrauchs vor und nach der Sanierung eines typischen Bürogebäudes dargestellt. Durch die Implementierung zahlreicher Verbesserungsmaßnahmen kann der Endenergiebedarf erheblich reduziert werden. Allein durch die Vorsehung eines effektiven Sonnenschutzes kann der Kühlenergiebedarf um ca. 75% gesenkt werden. Unterschiedliche weitere Maßnahmen, wie die Anhebung des Sollwertes der Raumtemperatur und der Austausch der veralteten raumlufttechnischen Anlagen, führen zu einer Reduzierung des Endenergieverbrauchs für die Gebäudekühlung insgesamt von ursprünglich 98 kWh/m²a auf lediglich noch 9 kWh/m²a.

In der gleichen Studie werden auch die Potenziale eines Büroneubaus betrachtet. Die Endenergie zur Deckung des Kühlenergieverbrauchs bei einem Bürogebäude mit Lochfassade in Massivbauweise mit wirksamem Sonnenschutz und Betonkernkühlung kann durch die Implementierung einer Nachtauskühlung und einer Erdkältenutzung (Sonden oder Brunnenwasser) von 6 kWh/m²a auf lediglich noch 1 kWh/m²a herabgesetzt werden (vgl. Tabelle 57).

Tabelle 57: Verbesserungsvarianten und Energieeinsparungen in Bürogebäuden²⁵

Gebäudetyp	Verbesserungsvariante	Endenergie vorher [kWh/m ² a]	Endenergie nachher [kWh/m ² a] _r
Büro Bj.1978 Glassfassade Klimaanlage	Effektiver Sonnenschutz, Anhebung des Sollwertes der operativen Raumtemperatur, effiziente Lüftung und Kühlung, PCM	98	9
Büroneubau Lochfassade und Betonkernkühlung	Nachtauskühlung und Erdkältenutzung	6	1

Aus der Untersuchung wird deutlich, dass oft mittels einfacher Maßnahmen der Energiebedarf für die Kühlung erheblich gesenkt werden könnte. Der verbleibende Kühlenergiebedarf bei den effizienten neueren Bürogebäuden kann im Gegensatz zum Heizenergiebedarf so stark minimiert werden, dass

²⁵ [UBA 2011]

dieser nahezu vernachlässigbar ist. Bei einer Tolerierung eines gewissen Maßes an Komforteinbußen, was bei annähernd der Hälfte der Bürogebäude heute gängige Praxis ist, kann häufig sogar ganz auf eine Kühlung verzichtet werden.

In Serverräumen und Rechenzentren ist eine solche Toleranz nicht möglich. Abhängig vom erforderlichen Temperaturniveau kann in den allermeisten Fällen derzeit nicht gänzlich auf eine maschinelle Kühlung verzichtet werden.

Im Folgenden werden mögliche Ansätze zur Deckung des Endenergiebedarfs für die Gebäudekühlung näher diskutiert.

Potenziale durch freie Kühlung

Die mittlere Lufttemperatur und die Temperatur der oberen Erdreichsschichten beträgt in Deutschland ca. 10 °C. Raumtemperaturen in Gebäuden werden in einem Bereich von 22 °C bis 26 °C als komfortabel empfunden. Für Rechenzentren und Serverräume wird überwiegend eine Temperatur zwischen 20 °C und 27 °C vorgesehen, wobei, wie in Abschnitt 2.2.2.3 gezeigt, IT-Systeme auch bei deutlich höheren Zulufttemperaturen betrieben werden können. In der folgenden Tabelle sind die jährlichen Überschreitungsstunden und -häufigkeiten von unterschiedlichen Temperaturgrenzen für ein typisches Jahr am Beispiel des für Deutschland repräsentativen Standorts Würzburg dargestellt.²⁶ 70 % der Zeit liegt die Außentemperatur unter 15 °C, unter 25 °C sogar bei über 97 %. Die Freikühlgrenzen von optimierten Serverraum-Klimasystemen bewegen sich in diesem Temperaturbereich. Die theoretischen Freikühlhäufigkeiten somit ebenfalls.

Tabelle 58: Überschreitungsstunden und -häufigkeiten von unterschiedlichen Temperaturgrenzen für den Standort Würzburg pro Jahr

	> 15 °C	> 20 °C	> 25 °C	> 30 °C	> 35 °C
Überschreitungsstunden	2587	1153	264	20	0
Überschreitungshäufigkeit	30 %	13 %	3,0 %	0,2 %	0,0 %

Es ist davon auszugehen, dass die freie Kühlung immer mehr an Bedeutung gewinnt. So geht [UBA 55/2010] davon aus, dass im Jahr 2008 dieser Anteil bereits 30 % betrug, und in den kommenden Jahren auf über 40 % ansteigt. Wie bereits in Abschnitt 2.3 angedeutet, ist die Möglichkeit der freien Kühlung auch bei hohen Außentemperaturen allein jedoch noch kein Garant für eine klimaschonende Klimatisierung. Entscheidend ist die Effizienz, mit der diese bereitgestellt werden kann. Während bei der freien Kühlung mit Außenluft die Anlageneffizienz mit steigenden Außentemperaturen stark abnimmt, weisen effiziente Klimasysteme im Teillastbereich EER-Werte von 8 und darüber auf. Dieser Grenzwert markiert die Grenze für die zu erreichende Mindesteffizienz von freien Kühlsystemen, die bei guter Planung leicht übertroffen werden kann. Bei einer freien Kühlung über Erdkälte (Sole, bzw. Grundwasser) ist ein SEER von 50 eine anzustrebende Zielgröße. Bei freier Kühlung über Luft können, abhängig vom System und den System- und Außentemperaturen, SEER-Werte zwischen 10 und 20 erreicht werden.

Durch steigende Zulufttemperaturen zur Entwärmung von IT-Komponenten und deren Peripherie erhöhen sich auch die Freikühlpotenziale. Perspektivisch ist anzustreben, dass langfristig Zulufttemperaturen auf einem Niveau zugelassen werden können, dass

1. ganzjährig eine freie Kühlung ohne maschinelle Kälte als Backup möglich wird und

²⁶ Quelle: Meteonorm Klimadatensatz für Würzburg

2. die Abwärme auf einem höheren Temperaturniveau besser nutzbar ist (nicht nur indirekt über Wärmepumpen), d.h. für die Beheizung anderer Nutzbereiche verwendet werden kann.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass durch eine effiziente freie Kühlung der Kühlenergiebedarf von Gebäuden und Rechenzentren schon heute auf einen Bruchteil des derzeitigen Durchschnittsbedarfs reduziert werden kann.

Solare Potenziale

Während Freikühlkonzepte eine vielversprechende Option zur Senkung des Endenergiebedarfs für die Kühlung darstellen, muss berücksichtigt werden, dass Freikühlsysteme, die die unvorbehandelte Umgebungsluft nutzen, in unseren Klimazonen derzeit noch zusätzliche Kälteerzeuger zur Deckung des maximalen Kühlbedarfs in den Sommermonaten bei hohen Außentemperaturen benötigen ([UBA 55/2010]). Der Endenergiebedarf für die Kühlung ist daher insbesondere an (meist sonnigen) Sommertagen besonders hoch.

Hier kann die zeitliche Korrelation zwischen den Ertragsmaxima von Photovoltaik-Anlagen (ggf. auch Solarthermieanlagen in Kombination mit Absorptionskältemaschinen) und dem maximalen Kühlbedarf ausgenutzt werden, um den Endenergiebedarf für die Gebäude- bzw. Rechenzentrumskühlung weiter zu reduzieren. Durch eine Speicherung der mittels Solarenergie erzeugten Kälte, z.B. in Eisspeichern, könnte der Anteil des durch die Solarenergie gedeckten Kühlenergiebedarfs weiter erhöht werden. Solche Lösungen sind derzeit nicht wirtschaftlich und kommen, wenn überhaupt, nur für Gebäude und Rechenzentren mit einem großen Kühlenergiebedarf und einer im Verhältnis ausreichend großen Fläche für Solaranlagen in Frage. Durch eine Doppelnutzung, z.B. zur Reduktion von Lastspitzen zwecks Netzentlastung, kann jedoch künftig eine Wirtschaftlichkeit möglich werden.

Zielkorridor 2050

Die Fortführung dieser Überlegungen legt nahe, dass für die Gebäudekühlung und Kühlung von Rechenzentren und Serverräumen noch ambitioniertere Klimaschutzziele vorausgesetzt werden können als für den Gebäudesektor insgesamt bzw. den Wärmebedarf. Bis 2050 sollte, trotz voraussichtlich anhaltendem Wachstum im IT-Sektor, eine Reduzierung der kühlungsbedingten CO₂-Emissionen von Gebäuden und Rechenzentren um über 90 % angestrebt werden.

3.2 Good Practice-Beispiele

Im Folgenden werden Good Practice-Beispiele für Klimatisierungssysteme von unterschiedlich großen Serverräumen in energieeffizienten Büro- und Verwaltungsgebäuden und Rechenzentren aufgeführt. Besonderer Fokus liegt dabei auf F-Gas-freien Konzepten. Bei der Auswahl der Beispiele wurde darauf geachtet, dass diese zum einen möglichst geringe TEWI-Werte aufweisen und zum anderen, dass sich diese in der Praxis bewährt haben, d.h. möglichst einfach und störungsunanfällig sind. Des Weiteren sollen die Konzepte möglichst für eine breite Mehrheit übertragbar, d.h. multiplizierbar sein.

Aufgrund der sich jeweils ergebenden unterschiedlichen Anforderungen und Rahmenbedingungen wurden die Beispiele in vier Typenklassen eingeteilt:

- 1. Kleine Serverräume** innerhalb eines Nichtwohngebäudes mit jeweils ca. 0–10 kW wirksamer IT-Leistung
- 2. Baulich eingebundene mittelgroße Rechenzentren:** Große Serverräume /kleine bis mittelgroße Rechenzentren innerhalb eines Nichtwohngebäudes mit ca. 10–300 kW wirksamer IT Leistung
- 3. Große freistehende Rechenzentren** mit in der Regel deutlich über 300 kW wirksamer IT Leistung
- 4. Sonstige Konzepte**, die den o.g. Anforderungen entsprechen und die ggf. auf eine der zuvor genannten Typenklassen übertragen werden können.

Die Typenklasse 1 zeichnet sich durch die geringste notwendige Verfügbarkeit für die IT aus. Aufgrund der im Vergleich zum Gesamtgebäude geringen Kühllast werden hier überwiegend dezentrale Kühlsysteme, in der Regel Split- oder Kompakt-Klimageräte, eingesetzt (vgl. Tabelle 17).

Der Serverraum in der 2. Typenklasse hat einen erheblichen Beitrag am Gesamtenergieverbrauch des Gebäudes. In der Regel wird dessen Klimatisierung daher in das Gesamtgebäudekonzept eingebunden. Meist werden Doppelböden und Präzisionsklimaanlagen für die Klimatisierung eingesetzt (vgl. Tabelle 18). Die Verfügbarkeitsanforderungen sind gegenüber kleineren Serverräumen bereits deutlich erhöht.

Bei dem großen freistehenden Rechenzentrum wurde davon ausgegangen, dass ein direkt an ein Nachbargebäude gekoppeltes Energiekonzept nicht möglich ist. Eine Einbindung in eine zentrale Energieinfrastruktur ist allerdings möglich. Bei dem großen freistehenden Rechenzentrum wird eine sehr hohe Verfügbarkeit (Tier-Klasse III oder IV) vorausgesetzt. Dies spiegelt sich auch in der entsprechend redundant auszuführenden Klimatisierung wieder (siehe Tabelle 19 und Tabelle 20).

Zunächst werden im Rahmen von Übersichten die wesentlichen Parameter der Projekte bzw. Produkte zusammengestellt. Bei den Zusammenstellungen wird zwischen

- A. Lösungen mit natürlichen Kältemitteln bzw. ohne Kältemittel,**
- B. Lösungen mit HFKW-Kältemitteln und**
- C. Hybrid-Lösungen mit HFKW- und natürlichen Kältemitteln**

unterschieden.

Bei Klimatisierungslösungen mit HFKW-Kältemitteln werden nur besonders effiziente Beispiele herangezogen. Die zugrundeliegenden Konzepte enthalten aber Maßnahmen, die auch bei der Entwicklung von HFKW-freien Good Practice-Beispielen verwendet werden können. Die betreffenden Maßnahmen sind durch **Fettdruck** hervorgehoben.

Die Kategorie der Hybrid-Lösungen wurde eingeführt, da sich im Rahmen der Projektbearbeitung herausgestellt hat, dass es zwar eine Vielzahl HFKW-freier Kühlkonzepte gibt, diese jedoch überwiegend aus unterschiedlichen Gründen über eine konventionelle Kühlung als Back-up verfügen.

Bei den Lösungen mit natürlichen Kältemitteln werden nur Projekte und Produkte aufgeführt, die inklusive Backup rein HFKW-frei sind.

Tabelle 59: Lösungen mit natürlichen Kältemitteln/ohne Kältemittel

Rechenzentrums-typ	Beschreibung
TYP 1: Kleine Serverräume	<p>Name: Fachhochschule Erfurt Quelle: EnOB²⁷</p> <p>Systembeschreibung: Regen und Grundwasserkühlung (EER 9-15) in Kombination mit einer Grundwasserwärmepumpe (Adsorption)</p> <p>Name: Ostarkade der KfW Quelle: EnOB²⁸</p> <p>Systembeschreibung: Zentrale Ammoniak-Kältemaschine</p> <p>Bemerkung: Anbindung an Zentralsystem; Problem: niedrige Effizienz wegen häufigem Teillastbetrieb im Bereich von 10 % (Winter)</p> <p>Name: Mobiles Monoblock-Klimagerät Quelle: de Longhi²⁹</p> <p>Systembeschreibung: Mobiles Monoblock Klimagerät mit Kältemittel Propan</p> <p>Bemerkung: Effizienzklasse A+, EER: 3,1 Mobile Klimageräte weisen systembedingt eine niedrige Effizienz auf</p> <p>Name: Mono-Splitklimagerät der Jiangsu Chunlan Imp&Exp Co., Ltd. Quelle: Jiangsu Chunlan Imp&Exp Co., Ltd.</p> <p>Systembeschreibung: Propan Mono-Splitgerät: Typ: CS-12HA/AZ3-0, MEPS certificate Class A++</p> <p>Bemerkung: Derzeit (Stand September 2015) nur auf asiatischem Markt verfügbar</p> <p>Name: Godrej & Boyce Pilotvorhaben Indien Quelle: UBA IKI (2012)</p> <p>Systembeschreibung: <i>Propan Klimageräte</i> EER 3,5 bis 3,7 (3,5 bis 5 kW)</p> <p>Bemerkung:</p>

²⁷ <http://www.enob.info/de/betriebsoptimierung/projekt/details/hochschulgebäude-mit-innovativem-energiesystem/>

²⁸ <http://www.enob.info/de/betriebsoptimierung/projekt/details/erweiterungsbau-der-bankengruppe-kfw/>

²⁹ <http://www.delonghi.com/de-de/produkte/klima-comfort/klimatisierung/mobile-klimagerate#>

Rechenzentrums-typ	Beschreibung
	<p>Derzeit (Stand September 2015) nur auf asiatischem Markt verfügbar: Preis ca. 5 bis 20 % teurer als vergleichbare Anlagen mit HFKW-Kältemitteln</p>
TYP 2: Baulich eingebundene mittelgroße Rechenzentren	<p>Name: Stadtwerke Lübbeke Quelle: Die KÄLTE + Klimatechnik, 12-2011; S.40-43³⁰ Systembeschreibung: Kühlung des Serverraums und Grundlast der Gebäudeklimatisierung <i>Klimaanlage mit Kältemittel Propan (R290)</i> Bemerkung: Alle Bauteile auf dem Markt bereits erhältlich Amortisationszeit gegenüber der Alternative < 3 Jahre Besondere Berücksichtigung des Gefahrenpotenzials wg. Brennbarkeit von Propan</p>
	<p>Name: Bürogebäude des Umweltbundesamtes in Dessau Quelle: EnOB³¹ Systembeschreibung: <i>Freie Kühlung & Absorptionskältemaschine (Solar und Fernwärmebetrieb)</i>; Kompressionskältemaschine mit Ammoniak als Backup Bemerkung: Die Solare Kühlung funktioniert nach anfänglichen Schwierigkeiten inzwischen sehr gut mit hohem solaren Deckungsgrad)</p>
TYP 3: Freistehende Rechenzentren	<p>Name: Rechenzentrum IGN München Quelle: Zeitschrift „Umwelt“ 09/2012 Systembeschreibung: Grundwasserkühlung eines Rechenzentrums Bemerkung: Grundwassertemperatur: 11,3 °C Gefördertes Demonstrationsprojekt</p> <p>Name: Datencenter des „Universitair Medisch Centrum Groningen“ in den Niederlanden Quelle: Deerns³² Systembeschreibung: <i>Green Cooling for Data Centers (GC-DC®): Freie Kühlung ohne aktive Kühlung, Adiabatische Spitzenlastkühlung</i> Bemerkung: Zulufttemperatur 28 °C</p> <p>Name: Noris Rechenzentrum NBG6 Nürnberg-Langwasser Quelle: datacenter.de/³³</p>

³⁰ http://www.hkt-goeldner.de/wp-content/uploads/2011/12/1224_HKT_Goeldner_Kaltwassersatz_2.pdf

³¹ <http://www.enob.info/de/neubau/projekt/details/neubau-umweltbundesamt-dessau/>

³² ³³ https://www.deerns.nl/documents/iD%20magazine/iDmagazine_editie6.pdf

Rechenzentrums- typ	Beschreibung
	<p>Systembeschreibung: Indirekte, hocheffiziente Luftkühlung über langsam drehende Kyoto Räder</p> <p>Name: Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald, Deutschland Quelle: HWP Planungsgesellschaft mbH, GTB- Berlin Gesellschaft für Technik am Bau mbH, dc-ce Berlin Brandenburg GmbH</p> <p>Systembeschreibung: <i>Indirekte freie Kühlung mit adiabatischer Sprühbefeuhtung (Kühlleistung: 180 kW); Zusätzlich: Einspeisung der Abwärme eines HPC-Cluster mit flüssigkeitsgekühlten Computern in ein Niedertemperatur Nahwärmennetz (Kühlleistung: 340 kW)</i></p> <p>Bemerkung: Demonstrationsprojekt in Planung</p>
	<p>Name: Rechenzentrum Colocation IX GmbH Quelle: nordwest2050.de</p> <p>Systembeschreibung: Integralbrunnenkühlung (Wärmetauscher im Brunnen verhindern Verschlammung), Backup: Geothermische Kühlung (Erdsonden) und Rückkühler</p> <p>Bemerkung: Gefördertes Demonstrationsprojekt</p> <p>Name: PlusServer AG Rechenzentrum, Straßburg Quelle: Die KÄLTE + Klimatechnik, 6-2012³⁴</p> <p>Systembeschreibung: Grundwasserkühlung eines Rechenzentrums</p> <p>Bemerkung: Grundwassertemperatur: 12 °C</p>
	<p>Name: Kommunales RZ Niederrhein Quelle: [IZE 2008]</p> <p>Systembeschreibung: BHKW + Absorptionskälteanlage</p> <p>Name: ABN Amro Data Centre/UK Quelle: Eurammon³⁵</p> <p>Systembeschreibung:</p>

³³

https://www.datacenter.de/cms/upload/pdf/Rechenzentrum_Nuernberg_NBG6_datacenter_Leistungsmerkmale_v1_5.pdf

³⁴<http://www.diekaelte.de/gentner.dll?AID=364102&MID=30007&UID=6063C17014E1002405372182360C9142B8DE284D78A89C>

³⁵ <http://www.eurammon.com/node/259>

Rechenzentrums-typ	Beschreibung
	<p>Bei dem System handelt es sich um ein CO₂ basiertes Kühlungssystem mit 300 kW Kälteleistung. Das CO₂ wird dabei bei 6 °C mit Wasser über einen indirekten Kühlzyklus rückkondensiert. Die Kühlung wird durch Ventilatoren in den Rückwänden der Serverschränke erreicht, wo das CO₂ bei 14°C verdampft und die durch die Ventilatoren eingefangene Wärme aufnimmt.</p> <p>Name: Rechenzentrum der Raiffeisen-Landesbank Stmk in Raaba Quelle: Fachzeitschrift TGA Planung 2014 Systembeschreibung: 4 Ammoniak-Kältemaschinen mit einer Gesamtkälteleistung von 1,3 MW zzgl. Brunnen (Förderleistung des Brunnens 14 l/s; 350 kW Kälteleistung und 20 Tiefensonden a 200 m)</p> <p>Name: Rechenzentrum IOZ der Stadt Zürich Systembeschreibung: Absorptionskältemaschine, Nutzung der Abwärme für 800 Wohnungen Bemerkung: 27°C Kaltgangtemperatur</p>
Sonstige Konzepte	<p>Name: ZAE Efficiency center Quelle: EnOB³⁶ Systembeschreibung: Sorptionskälte und Strahlungskühlung</p> <p>Name: Universität Essen Quelle: bine Informationsdienst Heft 8/03 Systembeschreibung: Wasserkühlsatz und NH₃-Anlage (Spitzenlast) insg. Max. 800 kW, Bemerkung: in Betrieb seit 1999, COP 5,5 bis 6, ganzjährige Kälteabnahme, Verdampfungstemperatur 5 °C</p> <p>Name: VW Dresden Quelle: bine Informationsdienst Heft 8/03 Systembeschreibung: Wasserkühlsatz (Aqua Turbo) 2 x 1.000 kW+ Absorptionskälteanlage 1.400 kW (Spitzenlast); COP 5,5 bis 6, Bemerkung: Verdampfungstemperatur 5 °C</p> <p>Name: Produkte: Kälteanlagen mit Kältemittel Ammoniak für Gebäudeklimatisierung Quelle: Gemäß Eurammon diverse Hersteller (z.B. GEA Grasso GmbH, Georg Fischer Piping Systems AG, Johnson Controls Systems & Service GmbH, KÄLTETECHNIK Dresden + Bremen GmbH, Kreutzträger; GfKK Gesellschaft für Kältetechnik-Klimatechnik mbH, Kältetechnik GmbH & Co. KG; Mayekawa; Star Refrigeration Ltd, Th. Witt Kältemaschinenfabrik GmbH)</p>

³⁶ <http://www.enob.info/de/betriebsoptimierung/projekt/details/energy-efficiency-center-als-technologiereferenz/>

Rechenzentrums-typ	Beschreibung
	<p>Systembeschreibung: Kälteanlagen mit Kältemittel Ammoniak für Gebäudeklimatisierung</p> <p>Bemerkung: Anlagen in der Regel größer als 100 kW Beispielprojekte: - Data Center Windhof (Luxemburg) - weiteres Rechenzentrum in Luxemburg Teilweise konventionelle Backup-Systeme vorhanden</p>
	<p>Name: Produkte: Kälteanlagen mit Kältemittel CO₂ für Gebäudeklimatisierung</p> <p>Quelle: Gemäß Eurammon diverse Hersteller (z.B. GEA Grasso International GmbH; Johnson Controls Systems & Service GmbH; Mayekawa; Star Refrigeration Ltd; Th. Witt Kältemaschinenfabrik GmbH)</p> <p>Systembeschreibung: Kälteanlagen mit Kältemittel CO₂ für Gebäudeklimatisierung</p>
	<p>Bemerkung: Anlagen in Sonderanfertigung</p> <p>Name: Produkte: Kälteanlagen mit Kältemittel Wasser für Gebäudeklimatisierung</p> <p>Quelle: Gemäß Eurammon diverse Hersteller (z.B. Georg Fischer Piping Systems AG, Institut für Luft- und Kältetechnik gGmbH (ILK), Johnson Controls Denmark ApS, KÄLTETECHNIK Dresen + Bremen GmbH, Mayekawa, Titan Engineering Ltd.)</p> <p>Systembeschreibung: Kälteanlagen mit Kältemittel Wasser für Gebäudeklimatisierung</p> <p>Bemerkung: Anlagen in Sonderanfertigung Beispielprojekt ILK Dresden (seit 2000 in Betrieb): Volkswagen in Dresden, Turbokaltwassersätze (400 – 1.000 kW)</p>
	<p>Name: Produkt: Cyber Blue</p> <p>Quelle: Stulz Klimatechnik³⁷</p> <p>Systembeschreibung: Präzisionsklimagerät mit dem Kältemittel Wasser (R718).</p> <p>Bemerkung: Noch in der Entwicklung, Serienreife in Kürze erwartet</p> <p>Name: Diverse Hersteller von indirekten freien <i>Luft- Luft Kühlsystemen</i>, die für die Klimatisierung von Rechenzentren geeignet sind</p> <p>Quelle: dc-ce³⁸</p> <p>Bemerkung: Hersteller/Produkte³⁹: z.B. Hoval GmbH, Excool Integrated Eco Technologies Ltd, AirBlock MIFC, GEA Adia-DENCO, KyotoCooling BV</p>

³⁷ <http://www.stulz.de/en/solutions/water-inside-alternative-refrigerants/>

³⁸ http://www.future-thinking.de/wp-content/uploads/2015/05/150421-Blauer-Engel_Chwoyka.pdf

Tabelle 60: Übersicht Lösungen mit HFKW-Kältemitteln

Rechenzentrums-typ	Beschreibung
TYP 1: Kleine Serverräume	<p>Name: Bürogebäude Pollmeier 2003 Quelle: EnOB⁴⁰</p> <p>Systembeschreibung: <i>Freie Lüftung + Konventionelle Kühlung;</i></p> <p>Bemerkung: Problem: Hoher Standby-Verbrauch der Klimageräte</p> <p>Name: Splitklimagerät ururu sarara (R32) Quelle: Daikin⁴¹</p> <p>Systembeschreibung: 2,5 bis 5 kW; EER 6,1 / 4,5; SEER 9,5 / 8,6;</p> <p>Bemerkung: ca. 70 % teurer als konventionelle Klimageräte</p>
TYP 2: Baulich eingebundene mittelgroße Rechenzentren	<p>Name: Bürogebäude LVM 5 Quelle: Deerns Deutschland GmbH, Köln⁴²</p> <p>Systembeschreibung: Freie Kühlung über Geothermie, Zentrale umschaltbare Wärmepumpe + PV und Biogas BHKW, Raumtemp. 26 °C</p> <p>Bemerkung: Kühlung der Serverräume über Zentralsystem</p>
TYP 3: Freistehende Rechenzentren	<p>Name: Data Center in Magdeburg Quelle: Deerns Deutschland GmbH, Köln</p> <p>Systembeschreibung: Hocheffiziente, Konventionelle Kühlung PUE < 1,3; Abwärmennutzung durch Wärmepumpe von angrenzendem Bürogebäude</p> <p>Name: Datencenter Niederlande Quelle: Deerns Deutschland GmbH, Köln</p> <p>Systembeschreibung: Kyoto Kühlung (Rotationswärmeübertrager), PUE 1,2 mit konventioneller Spitzenlastkühlung</p> <p>Name: Datencenter Niederlande Quelle: Deerns Deutschland GmbH, Köln</p> <p>Systembeschreibung: Abwärmennutzung und Strahlungskälte</p>

³⁹ Ohne Anpruch auf Vollständigkeit⁴⁰ <http://www.enob.info/de/betriebsoptimierung/projekt/details/verwaltungssitz-fa-pollmeier/>⁴¹ <http://www.daikin.de/fuer-ihre-zuhause/loesungen/klima/ururu-sarara/index.jsp>⁴² http://www.wfm-muenster.de/media/neubau_lvm_5_kampmann.pdf

Rechenzentrums-typ	Beschreibung
	<p>Name: Data Center des National Renewable Energy Laboratory, Denver, USA</p> <p>Quelle: Zeitschrift, Data Center Insider, 03.05.2014⁴³</p> <p>Systembeschreibung: Wassergekühltes Rechenzentrum mit spezieller HP Technik, PUE: 1,06</p> <p>Bemerkung: Kältequelle und Backupsystem unklar, wahrscheinlich Kompressionskälte. Wassertemperatur: VL: 23,9 °C; RL: 35 °C</p>

⁴³ <http://www.datacenter-insider.de/specials/deutscher-rechenzentrumspreis/ideen/articles/436455/>

Tabelle 61: Hybrid-Lösungen mit natürlichen und HFKW-Kältemitteln

Rechenzentrums-typ	Beschreibung
TYP 1: Kleine Serverräume	Keine
TYP 2: Baulich eingebundene mittelgroße Rechenzentren	<p>Name: Bürogebäude Wagner Solar Quelle: EnOB und Uni Kassel⁴⁴</p> <p>Systembeschreibung: Kühlung über direkte freie Lüftung, Zentraler 3 m³ Kältespeicher, Grundwasserkühlung, Adsorptionskältemaschine (Fa. Sortech), Kollektoren + Pelletkessel (nur Winter); Backup Kompressionskältemaschine</p> <p>Bemerkung: RZ mit einer Auslegungsleistung von 40 kW, davon aktuell genutzt max. 15 kW, System sehr komplex, freie Kühlung funktioniert noch nicht richtig</p> <p>Name: Stadtverwaltung Marburg Quelle: Technik hoch zwei, 2-2012, S.30-35⁴⁵</p> <p>Systembeschreibung: Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung (KWKK bzw. Trigeneration). Adsorptionskältemaschine mit Wasser-Glykol-Kühlmittel (Typ: Invensor LTC 09)</p> <p>Bemerkung: Amortisationszeit gegenüber der Alternative 5,5 Jahre. Durch KWKK erzeugte Strom und Wärme werden möglichst vollständig genutzt. Server können wahlweise über Außenluft oder über die Kühlmaschine gekühlt werden. Kühlenergiebedarf von 41.000 kWh (rechnerisch ermittelt) Betriebs- und Wartungskosten: 80.000 €/a (inkl. Backup-Maschine)</p>
TYP 3: Freistehendes Rechenzentren	<p>Name: Netto-Nullenergie-Datenzentrum Beispielkonzepte Nr. 9, 11 und 15</p> <p>Quelle: RenewIT⁴⁶;</p> <p>Systembeschreibungen:</p> <p>Nr. 9: <i>Mit Synthesegas betriebenes KWK + Adsorptionskältemaschine und PCM Speicher</i></p> <p>Nr. 11: <i>Mit fester Biomasse betriebenes Dampfturbinen KWK + Adsorptionskältemaschine</i></p> <p>Nr. 15: <i>Biogas-Brennstoffzelle + Adsorptionskältemaschine</i></p> <p>Bemerkung: Es handelt sich um nicht realisierte Beispiele Für alle Systeme wird eine konventionelle Kühlung als Backup vorgesehen</p>

⁴⁴ <http://www.enob.info/de/neubau/projekt/details/nullemision-buerogebaeude-mit-regenerativer-bauteilaktivierung/>⁴⁵ http://www.edl-hv.de/PDF_Dateien/Technik%20hoch%20zwei,%20Seite%2030-34%20low.pdf⁴⁶ <http://www.renewit-project.eu/>

Rechenzentrums- typ	Beschreibung
	<p>Name: Deutschlandweit über 30 mit Grund-, Flusswasser oder Geothermie gekühlte Rechenzentren</p> <p>Quelle: UBA-Bericht „Recherche Grundwasserkühlung bei Rechenzentren“ (unveröffentlicht)</p> <p>Systembeschreibung: Es wird Grund-, Flusswasser oder Geothermie zur Kühlung eingesetzt.</p> <p>Bemerkung: Es ist davon auszugehen, dass in fast allen Fällen noch eine konventionelle Backup-Kühlung vorgesehen wurde</p>
	<p>Name: Uniklinikum Frankfurt</p> <p>Quelle: EnOB⁴⁷</p> <p>Systembeschreibung: Fernwärme & Absorptionskälte und adiabate Zuluftkühlung, Spitzenlast über konventionelle Kompressionskälte</p> <p>Bemerkung: Hoher Kompressionskälteanteil</p> <p>Name: Konzept Green Cooling for Data Centers (GC-DC®)</p> <p>Quelle: Deerns⁴⁸</p> <p>Systembeschreibung: <i>indirekte freie Kühlung mit großen Luft/Luft Wärmeübertragern</i> (ASHRAE TC 9.9 (2008)=> 26 °C) bis Außentemperatur von 21 °C möglich, darüber hinaus aktive Kühlung notwendig, PUE ca. 1,2</p> <p>Bemerkung: Konzept realisiert unter anderen in folgendem Projekt: - Rechenzentrum in Krankenhaus Niederlande, ohne aktive Kühlung</p>
Sonstige Konzepte	<p>Name: Fraunhofer ISE</p> <p>Quelle: EnOB⁴⁹</p> <p>Systembeschreibung: BHKWAbsorptionskälte & Kompressionskälte und Abwärmennutzung</p> <p>Name: AS Solar</p> <p>Quelle: EnOB</p> <p>Systembeschreibung: Kühlung über Solarthermisch angetriebene Adsorptionsmaschine mit konventioneller Kompressionskältemaschine zur Spitzenlastkühlung + Massiver Einsatz von PV (Energieplusgebäude)</p> <p>Bemerkung: noch keine Ergebnisse veröffentlicht</p>

⁴⁷ <http://www.enob.info/de/betriebsoptimierung/projekt/details/energieeffizienzstrategie-fuer-krankenhausneubau/>

⁴⁸ <http://wiredre.com/wp-content/uploads/2011/10/Data-Center-Design-Research-by-Deerns-GC-DC-20110913-v1.0.pdf>

⁴⁹ <http://www.enob.info/de/betriebsoptimierung/projekt/details/neubau-fraunhofer-institut-ise/>

Rechenzentrums- typ	Beschreibung
	<p>Name: Lidl Projekt von Frigoteam Handels GmbH</p> <p>Quelle: Technische Produktanfrage bei Frigoteam Handels GmbH</p> <p>Systembeschreibung: Flüssigkeitskühlsatz mit Propan (R290) als Kältemittel, konventionelle Backup-Kühlung vorhanden</p> <p>Bemerkung: Außenaufstellung; Füllmenge Propan: 1,1 kg, 13,44 kW wirksame Kälteleistung, Konventionelle Kühlung vor allem bei Teil-Last</p>

Ein weiteres relevantes Konzept, das im Zusammenhang mit effizienten luftentwärmten Rechenzentren zu nennen ist, das jedoch keiner der oben genannten Kategorien zugeordnet werden kann, ist die **Warm- bzw. Kaltgangeinhäusung**. Durch die gezielte Luftführung kann die Zulufttemperatur zur Klimatisierung signifikant angehoben werden. Dies bildet die Grundvoraussetzung für die Erschließung von hohen möglichen Freikühlpotentialen. Derartige Konzepte haben sich bei neuen luftentwärmten Rechenzentren inzwischen zum Standard etabliert. Es gibt hierbei zahlreiche individuelle Lösungen aber auch diverse Anbieter von Systemlösungen.

Tabelle 62: Steckbrief: Musterbeispiel 1 für die Typenklasse 1: „Kleine Serverräume“

Verwaltungssitz Fa. Pollmeier																			
Direkte freie Lüftung zur Kühlung des Serverraumes																			
Projektbeschreibung	<p>Das Energiekonzept des 2002 errichteten Verwaltungsgebäudes des Sägewerks Pollmeier, eines mittelständischen Unternehmens mit 400 Mitarbeitern, ist konsequent einfach und kostengünstig gehalten. Auf eine aktive Kühlung konnte weitestgehend verzichtet werden: Über einen Wärmeübertrager ist das Gebäude an die werkseigene Feuerungsanlage angeschlossen, die mit anfallenden Holzabfällen und Sägespänen vollständig regenerativ betrieben wird</p>																		
Systembeschreibung Serverraumkühlung	<p>Der Serverraum wird mit Hilfe von zwei unterschiedlichen Systemen gekühlt: Solange die Außentemperatur mindestens 3 K niedriger als die Raumtemperatur ist, wird über einen Zuluftventilator mit Außenluft, bei höheren Außentemperaturen mit einem Umluftklimagerät gekühlt. Der fensterlose 28,5 m² große Serverraum befindet sich im 2. OG West. Im Jahr 2003 war die Außenlufttemperatur 1.302 Stunden (15 % des Jahres) wärmer als die Raumtemperatur minus 3 Kelvin. In den verbleibenden 7.458 Stunden konnte der Lüfter laufen. Die Drehzahl des Lüfters wird in Abhängigkeit von der Raumtemperatur geregelt. In der GLT können die Einschalttemperatur (Mindestdrehzahl bei 15 %) und die Temperatur, ab der der Ventilator auf 100 % laufen soll, gewählt werden.</p>																		
Bemerkung	<p>Der erreichte SEER von 5,8 (2003, 2002 → 4,2) könnte wahrscheinlich auf ca. 20 verbessert werden, wenn die Standby-Verluste der Klimatisierung abgeschaltet werden. Eventuell sind auch größere und effizientere Lüfter möglich.</p>																		
<p>Tabelle 8.20: Energieverbrauch für Kühlung, Lüftung und Geräte, sowie mittlere Temperaturen des Jahres 2002 und 2003</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th><th>Verbrauch Klimagerät [kWh]</th><th>Verbrauch Lüfter [kWh]</th><th>Verbrauch Server [kWh]</th><th>mittlere Außentemperatur [°C]</th><th>mittlere Raumtemperatur [°C]</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2002</td><td>3.673</td><td>293</td><td>16.832</td><td>10,88</td><td>22,89</td></tr> <tr> <td>2003</td><td>3.141</td><td>363</td><td>20.371</td><td>9,74</td><td>22,42</td></tr> </tbody> </table>			Verbrauch Klimagerät [kWh]	Verbrauch Lüfter [kWh]	Verbrauch Server [kWh]	mittlere Außentemperatur [°C]	mittlere Raumtemperatur [°C]	2002	3.673	293	16.832	10,88	22,89	2003	3.141	363	20.371	9,74	22,42
	Verbrauch Klimagerät [kWh]	Verbrauch Lüfter [kWh]	Verbrauch Server [kWh]	mittlere Außentemperatur [°C]	mittlere Raumtemperatur [°C]														
2002	3.673	293	16.832	10,88	22,89														
2003	3.141	363	20.371	9,74	22,42														
Quelle:	Enob.info.de																		

Tabelle 63: Steckbrief: Musterbeispiel 2 für die Typenklasse 1: „Kleine Serverräume“

Splitklimagerät Typ: CS-12HA/AZ3-0 der Fa Jiangsu Chunlan Imp&Exp Co., Ltd.	
Mono-Splitklimagerät mit dem natürlichen Kältemittel Propan	
Produktbeschreibung	Kältemittel: R290 EER: >3.66 (MEPS certificate Class A++) Leistung: 12000BTU (3,5 kW) Funktionen: nur Kühlen / Heizen und Kühlen Anschluss: 220V/50Hz
Bemerkung	Derzeit (Stand September 2015) nur auf asiatischem Markt verfügbar.
Quelle:	Jiangsu Chunlan Imp&Exp Co., Ltd

Tabelle 64: Steckbrief: Musterbeispiel 1 für die Typenklasse 2 „Baulich eingebundene mittelgroße Rechenzentren“

Stadtwerke Lübbeke	
Solekühler mit dem natürlichen Kältemittel Propan	
Projektbeschreibung	Die Kühlung der Serverräume, sowie die gesamte Gebäudeklimatisierung der Stadtwerke Lübbeke erfolgt durch einen Kaltwasser- bzw. Solekühlsatz und befindet sich auf dem Dach des Gebäudes. Durch einen Hubkolbenverdichter und dem umweltverträglichen Kältemittel Propan (R290) werden minimale TEWI-Werte erreicht.
Systembeschreibung Serverraumkühlung	Durch den Einsatz des brennbaren Propans als Kältemittel sind Sicherheitsmaßnahmen zur Gefahrenvermeidung erforderlich, die in der Konstruktion der Kälteanlage berücksichtigt wurden. Ein schallisoliertes Gehäuse der Kühlanlage macht auch eine Montage in sensibleren Umgebungen möglich. Der Wasserkühlsatz ist werkseitig vollständig vormontiert, was die Verbindungsleitungen zwischen den einzelnen Bau Teilen stark einspart und verkürzt und somit Material, Kältemittel und Energie einspart. Die hohe Vorfertigung der Kühlanlage macht eine schnelle und unkomplizierte Montage möglich, sodass der Kühlsatz in kürzester Zeit einsatzbereit ist.
Bemerkung	Die Effizienz der Anlage wird durch einen Sauggas-Wärmeübertrager zusätzlich erhöht und senkt die Betriebskosten der Anlage so weit, dass

Stadtwerke Lübbeke	sich sein Einsatz bereits nach einem Jahr amortisiert.
Quelle:	Die KÄLTE + Klimatechnik, 12-2011; S.40-43

Tabelle 65: Steckbrief: Musterbeispiel 2 für die Typenklasse 2 „Baulich eingebundene mittelgroße Rechenzentren“

Bürogebäude LVM 5	
Freie Kühlung über Geothermie, umschaltbare Wärmepumpen/Kältemaschinen und Biogas BHKW	
Projektbeschreibung	Die freie Wärme- und Kälteversorgung des LVM 5-Gebäudes in Münster (LVM Versicherung) erfolgt aktiv und/oder passiv über Geothermie und zentral umschaltbare Wärmepumpen/Kältemaschinen. Der dafür benötigte Strom wird über eine PV-Anlage und ein durch Biogas betriebenes BHKW geliefert. Die Raumtemperatur des Rechenzentrums liegt bei 26 °C.
Systembeschreibung	Kühlung der Serverräume über Zentralsystem.
Serverraumkühlung	
Bemerkung	Obwohl bei diesem Projekt keine natürlichen Kältemittel eingesetzt wurden, ist das technische Konzept mit geothermischer Kühlung, umschaltbarer Wärmepumpe/Kältemaschine, PV-Anlage und Biomasse-BHKW grundsätzlich für Nullemissionsgebäude geeignet.
Quelle:	Deerns Deutschland GmbH, Köln http://www.wfm-muenster.de/media/neubau_lvm_5_kampmann.pdf

Tabelle 66: Steckbrief: Musterbeispiel für die Typenklasse 3 „Freistehende Rechenzentren“

Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald, Deutschland, Neubau Universitätsrechenzentrum⁵⁰	
Direkte Wasserkühlung eines Rechenzentrums basierend auf Luft-/Luft-Wärmeübertrager	
Projektbeschreibung	<p>Das integrale, nachhaltige Planungskonzept des neuen Rechenzentrums der Universität Greifswald weist eine freie Kühlung für eine IT-Leistung von insgesamt 520 kW auf. Zusammen mit dem Verwaltungsgebäude verfügt der Neubau über ca. 1.140 m² Nutzfläche. Hauptanforderung an das gebäude-technische Konzept war das Generieren eines innovativen Kühlsystems, welches durch den Verzicht auf maschinelle Kälteerzeugung, hohen Energieeffizienzansprüchen gerecht wird und so zum Vorbild für andere Rechenzentren in Deutschland wird.</p>
Systembeschreibung Serverraumkühlung	<p>Die Besonderheit des Kühlsystems liegt in den zwei autarken Kühlsystemen. Ein Kühlsystem basiert auf einer indirekten freien Kühlung mit adiabatischer Sprühbefeuhtung in Verbindung mit einem Luft-/Luft-Wärmeübertrager. Das zweite Kühlsystem kühlt die Recheneinheiten (CPU) der Server direkt mit Wasser und führt die Abwärme von ca. 340 kW einem Niedertemperatur-Nahwärmennetz zu. Die Abwärme wird im Verwaltungsgebäude und einem weiteren Gebäude zum Heizen genutzt. Dazu wurden Flächenheizsysteme in diesen Gebäuden vorgesehen. Eine PV-Anlage auf dem Dach des Verwaltungsgebäudes und eine Regenwassernutzungsanlage erhöhen die Nachhaltigkeit des Gebäudekonzeptes, welches eine BNB-Zertifizierung in Silber anstrebt.</p>
Bemerkung	<p>Es handelt sich um ein Demonstrationsprojekt in Planung.</p>
Quelle:	<p>HWP Planungsgesellschaft mbH, GTB - Berlin Gesellschaft für Technik am Bau mbH, dc-ce Berlin Brandenburg GmbH</p>

⁵⁰ Arbeitsgemeinschaft:

HWP Planungsgesellschaft mbH (Objektplanung Gebäude), Stuttgart, und
GTB - Berlin Gesellschaft für Technik am Bau mbH (Tragwerksplanung, Planung Technische Ausrüstung)
mit

dc-ce Berlin-Brandenburg GmbH (Planung Technische Ausrüstung Bauteil Rechnergebäude), Teltow
Auftraggeber:

Betrieb für Bau und Liegenschaften Mecklenburg-Vorpommern (BBL-MV), Geschäftsbereich Hochschul- und Klinikbau, Rostock

3.3 Festlegung von relevanten Referenzgebäudetypen

Für die weiteren Untersuchungen sollen die jeweils besten Lösungen der zuvor genannten Good Practice-Beispiele zur Gewährleistung einer möglichst breiten Übertragbarkeit auf typische Referenzgebäude berücksichtigt werden.

Es ist grundsätzlich nicht möglich, die reale Vielfalt an Gebäuden und Rahmenbedingungen anhand von einzelnen ausgewählten Referenzgebäuden abzubilden. Die auszuwählenden Referenzgebäude sollten daher, was die wichtigsten Parameter wie Größe, Geometrie und Fensterflächenanteile betrifft, keine Besonderheiten aufweisen, die einen Einfluss auf das Konzept haben könnten und nach Möglichkeit den Durchschnitt bzw. die häufigste Bauart repräsentieren. Speziell für derartige Untersuchungen wurde in der Studie [Klauß, Maas 2010] eine diesbezügliche Nichtwohngebäude-Modelldatenbank erstellt.

Analog zur Klassifizierung aus dem vorherigen Abschnitt werden die folgenden Fälle unterschieden:

1. Kleine Serverräume
2. Baulich eingebundenes mittelgroßes Rechenzentrum
3. Großes freistehendes Rechenzentrum

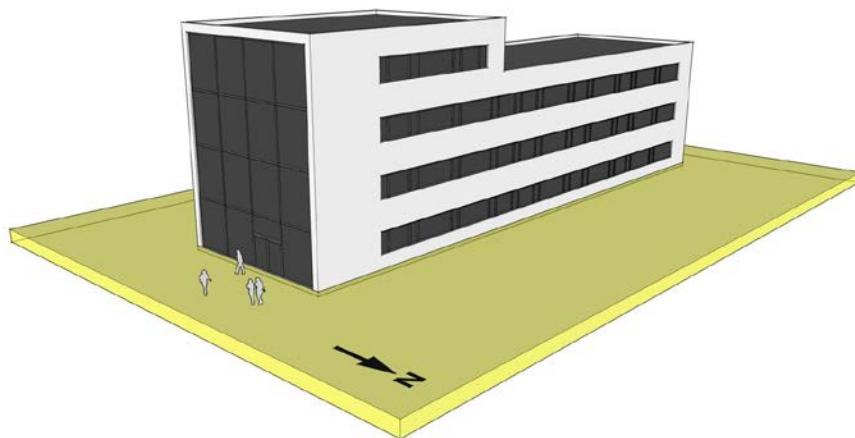
Obwohl die Bürogebäude gemäß Die Bildungsgebäude sind in [BMVBS 2011] in der Rubrik Sonstige enthalten und sind nicht einzeln spezifizierbar. In [GHD-Energieverbrauch 2014] werden die Bildungsgebäude (Schulen) mit rund 195 Mio. m² Flächen angegeben. Von diesen Bildungsgebäudeflächen sind rund 15 Mio. m² Büroflächen und rund 79 Mio. m² sind Werkstattgebäude, Lager- und Garagengebäude. Insgesamt machen Schulgebäude rund 10 % der Gesamtfläche im Bereich der Nichtwohngebäude aus. Für die weitere Betrachtung wird von folgender Verteilung der Gebäude im Bereich der Nichtwohngebäude ausgegangen:

Tabelle 15 nur einen Anteil von knapp 20 % am gesamten Nichtwohngebäudebestand haben, wurde das Bürogebäude als einziger Referenzgebäudetyp ausgewählt, da davon ausgegangen werden kann, dass sich die weit überwiegende Anzahl von Serverräumen in Bürogebäuden befindet. Dies wurde u.a. auch bei der Recherche zur Ermittlung der Good Practice-Beispiele deutlich.

3.3.1 Bürogebäude mit mehreren kleinen Serverräumen

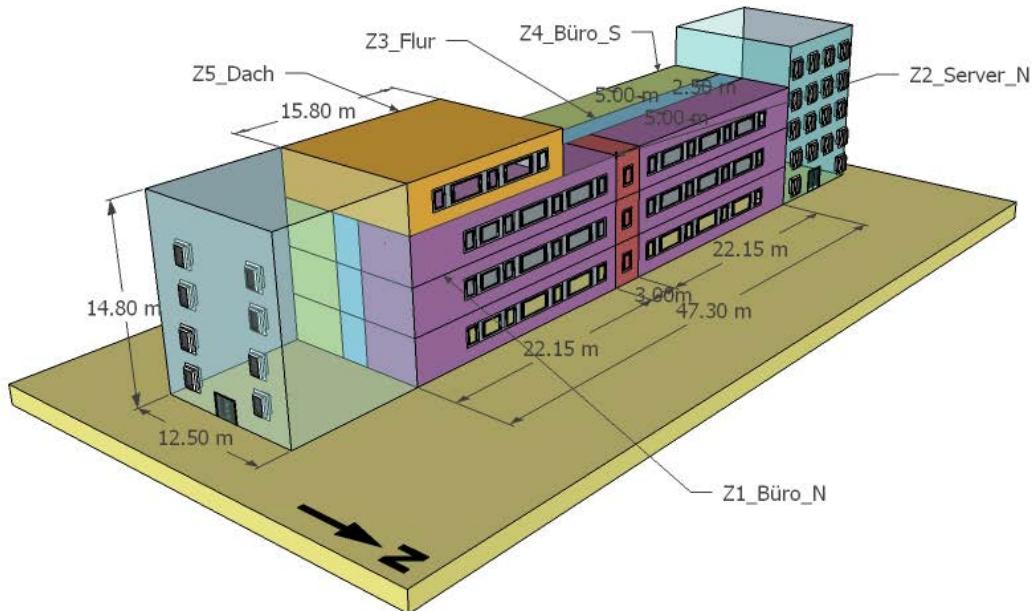
Für die Klasse „Bürogebäude mit mehreren kleinen Serverräumen“ wird das „kleine Bürogebäude“ (NGF = 1.675 m²) aus der Nichtwohngebäude-Modelldatenbank von [Klauß, Maas 2010] als Grundlage verwendet. Das Gebäude ist von der Größe und Geschosszahl als typisch für Vor- und Kleinstädte einzustufen.

Abbildung 42: Büro-Modellgebäude gemäß [Klauß, Maas 2010]



Dem obigen Referenzgebäude wird pro Vollgeschoss ein Serverraum hinzugefügt und zur ansatzweisen Berücksichtigung größerer Gebäude und der innerstädtischen Situation eine beidseitige Anbausituation vorausgesetzt. Die in Anlehnung an [Klauß, Maas 2010] gewählte Zonierung zeigt die folgende Abbildung.

Abbildung 43: Zonierung des Büro-Referenzgebäudes mit mehreren kleinen Serverräumen



Sonderzonen wie Lager, Toiletten oder Besprechungsräume wurden nicht berücksichtigt, da diese im Rahmen dieser Untersuchung nicht systemrelevant sind.

Die genaue Zonierung und die wesentlichen Randbedingungen des Referenzgebäudes zeigt die folgende Tabelle.

Hinsichtlich der Nutzung werden typische Randbedingungen angenommen, die in Abschnitt 3.4 näher spezifiziert werden.

Tabelle 67: Zonierung: Bürogebäude mit mehreren kleinen Serverräumen

	Zone 1: Büros im Nor- den (Z1_Büro_N)	Zone 2: Serverraum im Norden (Z2_Server_N)	Zone 3: Flure in der Gebäudemitte (Z3_Flur)	Zone 4: Büros im Süden (Z4_Büro_S)	Zone 5: Lager im Dachge- schoss (Z5_Dach)
Nettoge- schossfläche (NGF)	565 m ²	38 m ²	302 m ²	603 m ²	168 m ²
Geschosse	3	3	3	3	1
Geschosshö- he	3,7 m	3,7 m	3,7 m	3,7 m	3,7 m
Lichte Raumhöhe	3,3 m	3,3 m	3,3 m	3,3 m	3,3 m
Nettoluftvo- lumen	1.864 m ³	126 m ³	995 m ³	1.990 m ³	553 m ³
Länge	44,3 m	3,0 m	47,3 m	47,3 m	15,8 m
Breite	5,0 m	5,0 m	2,5 m	5,0 m	12,5 m
Bruttowand- fläche: Nord	491,7 m ²	33,3 m ²	0,0 m ²	0,0 m ²	58,4 m ²
Bruttowand- fläche: Ost	55,5 m ²	0,0 m ²	27,8 m ²	55,5 m ²	46,3 m ²
Bruttowand- fläche: Süd	0,0 m ²	0,0 m ²	0,0 m ²	525,0 m ²	58,4 m ²
Bruttowand- fläche: West	55,5 m ²	0,0 m ²	27,8 m ²	55,5 m ²	46,3 m ²
Fensterfläche: Nord	175,2 m ²	11,9 m ²	0,0 m ²	0,0 m ²	20,8 m ²
Fensterfläche: Ost	0,0 m ²	0,0 m ²	0,0 m ²	0,0 m ²	0,0 m ²
Fensterfläche: Süd	0,0 m ²	0,0 m ²	0,0 m ²	187,1 m ²	20,8 m ²
Fensterfläche: West	0,0 m ²	0,0 m ²	0,0 m ²	0,0 m ²	0,0 m ²
Flachdachflä- che	142,5 m ²	15,0 m ²	78,8 m ²	157,5 m ²	197,3 m ²
Bodenplat- tenfläche	221,4 m ²	15,0 m ²	118,2 m ²	236,4 m ²	0,0 m ²
Innenwand- flächen	749,7 m ²	0,0 m ²	0,0 m ²	806,5 m ²	0,0 m ²
Geschossde- ckenflächen	753,1 m ²	51,0 m ²	402,1 m ²	804,1 m ²	0,0 m ²

3.3.2 Baulich eingebundenes mittelgroßes Rechenzentrum

Es wird davon ausgegangen, dass eine bauliche Einbindung eines mittelgroßen Rechenzentrums keinen wesentlichen Einfluss auf die Geometrie eines Gebäudes hat. Daher kann grundsätzlich bei dem Referenz-Bürogebäude mit mittel großem Rechenzentrum auf die Geometrie des zuvor beschriebenen Referenzgebäudes zurückgegriffen werden. Dabei wird angenommen, dass sich das mittelgroße Rechenzentrum im Dachgeschoss des betreffenden Gebäudes (Zone Z5_Dach in Abbildung 43) befindet. In dem abgetrennten Raum mit Doppelboden fällt eine aktuelle IT-Last von 30 kW an. Die installierte Kühlleistung, inklusive Ausbaureserve, soll 50 kW betragen.

3.3.3 Großes freistehendes Rechenzentrum

Für Rechenzentren gibt es im Gegensatz zu den zuvor beschriebenen keine typischen Referenzmodellgebäude. Die im Folgenden dargestellten Kennwerte für ein großes freistehendes Rechenzentrum wurden auf der Grundlage einer Kurzrecherche zu großen Rechenzentren in Deutschland festgelegt:

Abbildung 44: Geometrien des berücksichtigten Modellgebäudes Großes freistehendes Rechenzentrum; Grundriss

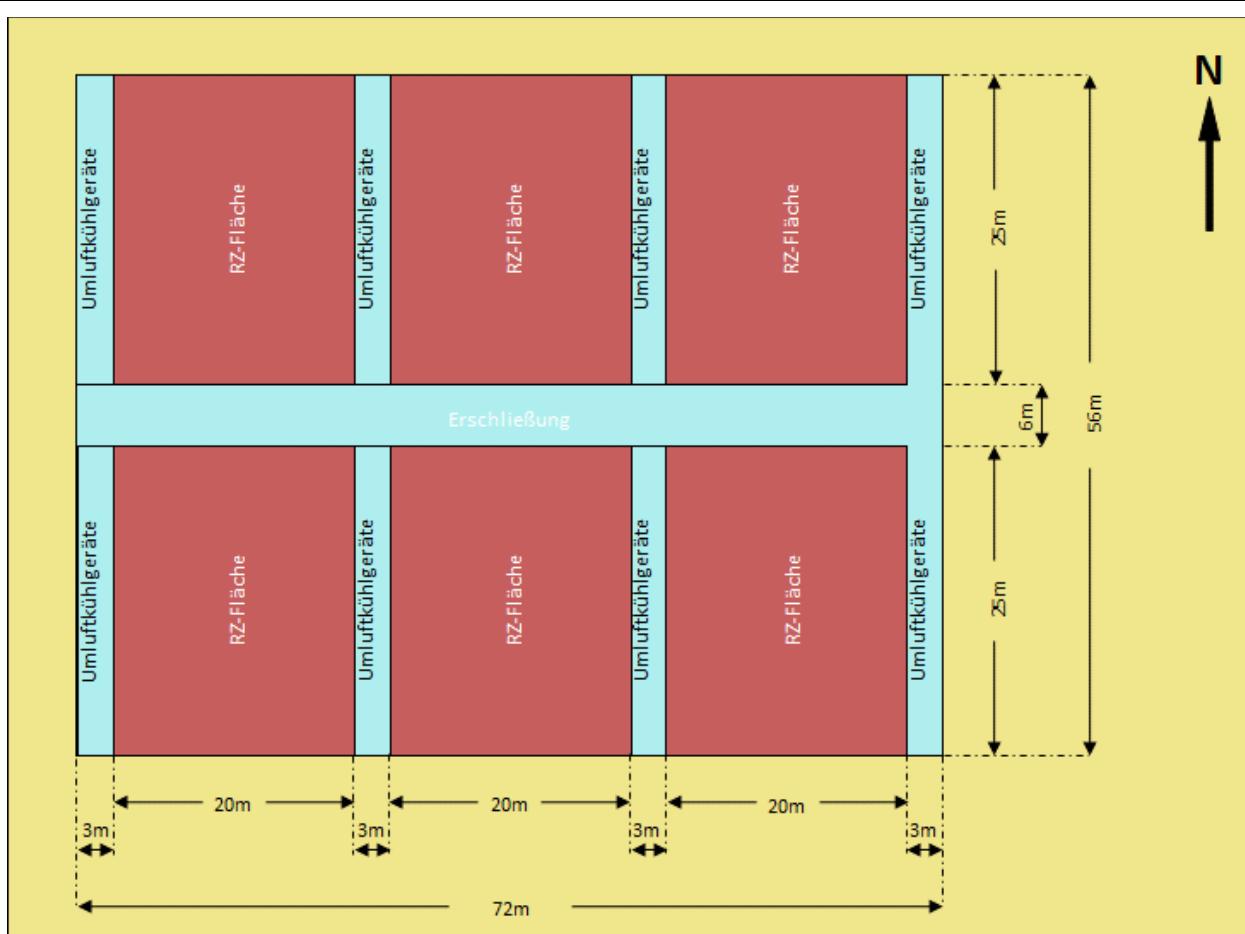
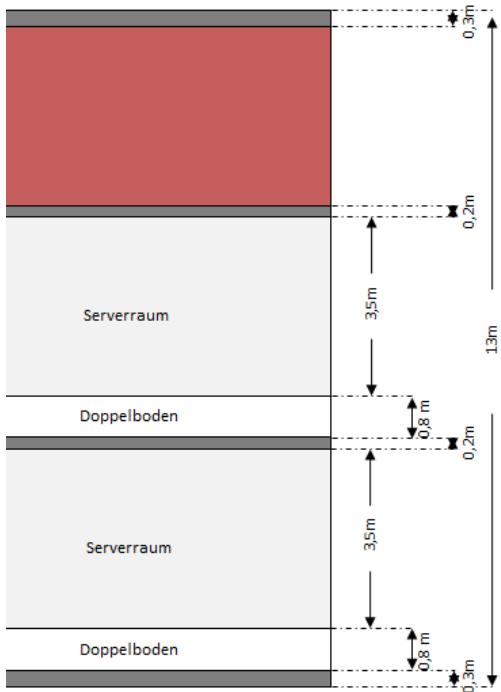


Abbildung 45: Geometrien des berücksichtigten Modellgebäudes Großes freistehendes Rechenzentrum; Schnitt



Das dreigeschossige Gebäude beinhaltet insgesamt 6.000 m² Rackspace, aufgeteilt auf 12 Systemtechnikräume im Erd- und 1. Obergeschoss. Im zweiten Obergeschoss befinden sich die Versorgungstechnik sowie die Unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV) und sonstige Räume.

Bei einem Auslastungsgrad von 60 % fällt eine interne IT-Last von 9 MW (entsprechend 1.500 W/m²) an.

Das Rechenzentrum wird als höchstverfügbar (Kategorie Tier IV) angenommen. Für alle Komponenten gilt daher eine redundante Auslegung: 2(n+1).

Die installierte Kühlleistung beträgt somit 40 MW. Die zentral bereitgestellte Kälte wird über Umluftkühlgeräte in den Doppelboden eingebracht.

3.4 Entwicklung von optimierten Konzepten

Aufbauend auf den zuvor beschriebenen Erkenntnissen werden praxistaugliche Niedrigst-TEWI-Konzepte für Gebäude mit Serverräumen bzw. mittelgroßem Rechenzentrum sowie Stand-Alone-Rechenzentren aus den Good Practice-Beispielen extrahiert und weiterentwickelt. Alle Konzepte sollen bezüglich der Klimaschutzzielerfüllung geeignet sein. Gemäß Abschnitt 3.1 bedeutet dies, dass die resultierenden Treibhausgasemissionen, insbesondere für die Kühlung, mehr als 90 % unter den derzeitigen Werten des Gebäudebestands liegen sollten. Für alle Gebäude wird daher ein Niedrigstenergiestandard berücksichtigt, der sich durch eine sehr gut gedämmte, wärmebrückenarme und sehr luftdichte Gebäudehülle, eine Lüftungsanlage mit hocheffizienter Wärmerückgewinnung und einen wirksamen Sonnenschutz auszeichnet.

3.4.1 Kleine Serverräume

Im Rahmen einer ganzheitlichen Betrachtung ist zunächst ein praktikables Energieversorgungskonzept für ein Bürogebäude mit mehreren kleinen Serverräumen zu entwickeln. Hinsichtlich eines klimaschonenden Gesamtkonzeptes ist für das Bürogebäude der anzustrebende Niedrigstenergiegebäudestandard zu berücksichtigen. Dabei sind die zuvor beschriebenen erforderlichen hohen Qualitäten der Gebäudehülle, des Sonnenschutzes und der Lüftungsanlage zu berücksichtigen. Es wurde davon ausgegangen, dass die in den Außenzonen befindlichen Bürobereiche über ein Niedertemperatur-Flächenheizsystem beheizt werden (z.B. Fußboden-, Wand- oder Deckenheizung). Eine Kühlung der Bürobereiche ist nicht vorgesehen, wäre jedoch ggf. über das Flächenheizsystem möglich. Bei der Lüftung ist es aus Kosten- und Energieeffizienzgründen sinnvoll, soweit wie möglich auf Kanäle zu verzichten. In der Praxis werden hierbei meist Konzepte angewandt, die entweder die Zu- oder Abluft über zentrale Zonen bündeln. Für das vorliegende Referenzgebäude wurde ein Konzept mit einer zentralen Zuluft, jeweils in den Flurzonen auf den unterschiedlichen Geschossebenen, gewählt. Die im Winter auf 18 °C vorgewärmte Zuluft strömt dabei frei über schallgeschützte Lüftungsöffnungen in die Bürobereiche über, wo sie dezentral abgesaugt und der zentralen Wärmerückgewinnung zugeführt wird.

Als zentraler Wärmeerzeuger zur Deckung des geringen Wärmebedarfs kommt eine 30 kW Luft/Wasser-Wärmepumpe mit dem natürlichen Kältemittel CO₂ zum Einsatz.

Als Beleuchtung wird in den Bürozonen eine hocheffiziente Beleuchtung mit 10 W/m² vorgesehen. Diese wird über Beleuchtungs- und Anwesenheitssensoren gesteuert.

Als Serverräume wurden jeweils zentral im nördlichen Bereich ca. 12 m² große Räume ohne Doppelboden vorgesehen. Für jeden Serverraum wird eine permanent abzuführende Last von 2 kW (d.h. insgesamt 6 kW) berücksichtigt. In den Serverräumen soll die maximale zulässige Temperatur auf 27 °C begrenzt werden.

Weitere relevante Annahmen sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst. Für die angegebenen Lasten und Personenzahlen sind entsprechenden Tagesgänge und Teillastfaktoren zu berücksichtigen.

Tabelle 68: Randbedingungen der Simulationen: Bürogebäude mit mehreren kleinen Serverräumen

	Zone 1: Büros im Norden (Z1_Büro_N)	Zone 2: Serverraum im Norden (Z2_Server_N)	Zone 3: Flure in Gebäudemitte (Z3_Flur)	Zone 4: Büros im Süden (Z4_Büro_S)	Zone 5: Lager im Dachge- schoss (Z5_Dach)
Infiltration	0,05 1/h	0,05 1/h	0 1/h	0,05 1/h	0,05 1/h
Lüftung: Maximaler Luftwechsel	1,4 1/h	28,5 1/h	-*	1,4 1/h	-
Heizung: Solltemperatur	22 °C	-	18 °C	22 °C	-
Kühlung Ser- verräume: Solltemperatur	-	27 °C	-	-	-
Personen: Anzahl (Auslegung)	56	-	-	60	-
Beleuchtung: Maximale Leis- tung	10 W/m²	-	4 W/m²	10 W/m²	-
Verschattung: Fc-Wert	0,15	-	-	0,15	-
Zusatzzlasten Arbeitsmittel:	8 W/m²	157 W/m²**	-	8 W/m²	-

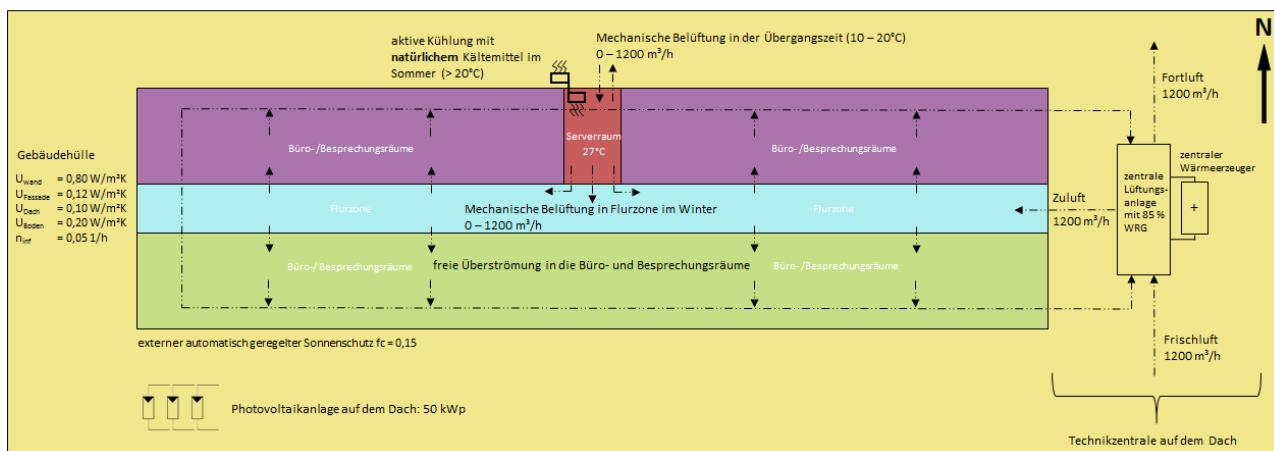
*) Flure sind Zuluftzonen, aus denen die Luft in die Büros überströmt

**) 2 kW pro Serverraum

Als optimales Praxis-Konzept zur Klimatisierung der Serverräume in dem zuvor beschriebenen Niedrigstenergiegebäude wird eine Lösung vorgeschlagen, die eine separate Klimatisierung der Serverräume vorsieht. Analog zur Klimatisierung des Bürogebäudes „Pollmeier“ (Tabelle 62) wird zusätzlich zur aktiven Kühlung, die bei Außentemperaturen über 20 °C notwendig ist, in der Übergangszeit (bei Außentemperaturen zwischen 10 °C und 20 °C) eine dezentrale mechanische Belüftung berücksichtigt, die den zur Kühlung benötigten Luftaustausch automatisch regelt. Zur Abfuhr der Last von 2 kW bewegt sich der Volumenstrom dabei zwischen 0 und 1.200 m³/h pro Serverraum. Bei Außentemperaturen unter 10 °C (Heizfall) wird die Abwärme der Serverräume nicht mehr direkt nach außen, sondern deckennah in die Flurbereiche umgeleitet. Die Rückströmung in die Serverräume erfolgt frei über schallgeschützte Öffnungen mit Rückschlagklappen. Zur Kühlung des Serverraumes im Sommer wird ein Klimagerät mit einem natürlichen Kältemittel verwendet. Da derzeit am deutschen Markt in diesem Leistungsbereich nur Kompaktklimageräte mit natürlichem Kältemittel verfügbar sind, wurde bei den Berechnungen von einer verhältnismäßig geringen Effizienz ausgegangen (EER: 3,1 bei Vollast über 32 °C bzw. 4,5 bei Teillast unter 5 °C Außentemperatur, dazwischen linear). Es ist jedoch zu erwarten, dass die bereits auf anderen internationalen Märkten verfügbaren effizienteren Splitgeräte mit dem natürlichen Kältemittel R290 (Propan) in Kürze auch in Deutschland verfügbar sein werden. Zusätzlich wird auf dem Dach des Gebäudes eine PV-Anlage mit einer Leistung von

50 kWp berücksichtigt. Der dabei direkt für die Serverraumklimatisierung und im Gebäude selbst nutzbare Solarstrom wird, wie auch die durch die Abwärmeneutzung eingesparte Heizenergie, als bedarfsmindernd berücksichtigt.

Abbildung 46: Schema Optimales Praxis-Konzept für die Typenklasse „kleine Serverräume in Bürogebäuden“



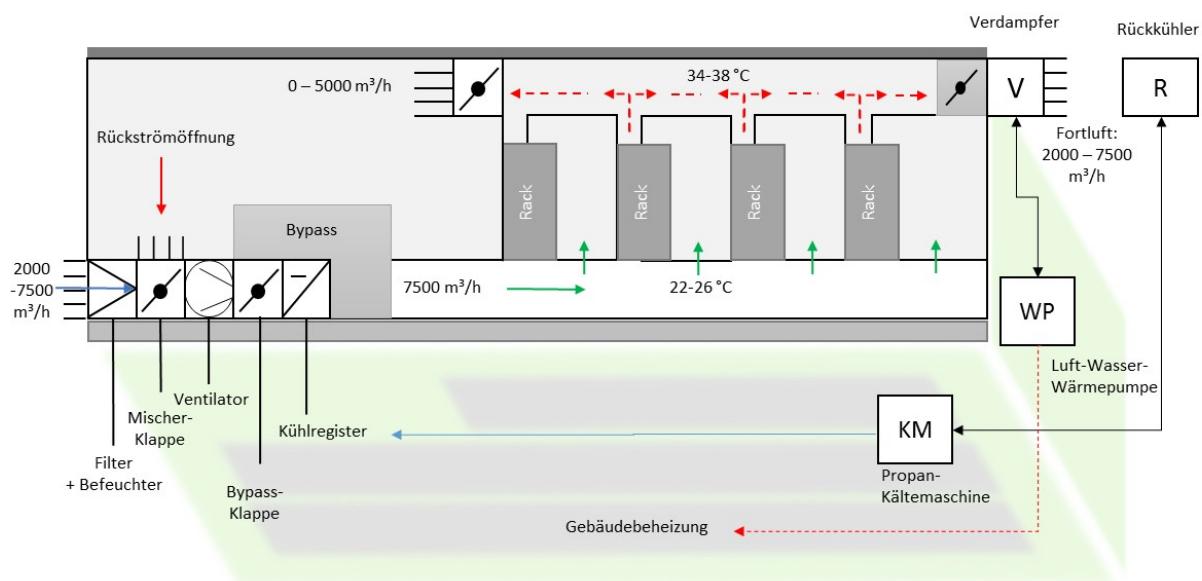
3.4.2 Bürogebäude mit mittelgroßem Rechenzentrum

Bei dem optimalen Praxis-Konzept für das baulich eingebundene mittelgroße Rechenzentrum wird wieder von dem zuvor beschriebenen Referenzbürogebäude mit Niedrigstenergiekonzept ausgegangen. Da die notwendige Abwärmelast des Rechenzentrums im 50 kW die maximale Heizlast des Gebäudes von ca. 30 kW übersteigt, bietet es sich an, ein Konzept zu entwickeln, das die Abwärme zur Deckung des Heizwärmebedarfs nutzt. Möglich würde dies, wie beispielweise aktuell bei dem Rechenzentrum der Universität Greifswald geplant⁵¹, durch wasserentwärmte IT-Komponenten in Kombination mit Niedertemperaturwärmesystemen. Wasserentwärmte IT-Komponenten sind derzeit jedoch noch Sonderlösungen. Da die im Rahmen dieses Projektes erarbeiteten Lösungen jedoch in der Praxis möglichst universell anwendbar sein sollen, werden im Folgenden Lösungen mit luftentwärmten Racks ausgearbeitet. Bei einer Einhausung der Zu- und/oder Abluftversorgung luftentwärmter Racks im Rechenzentrum können Ablufttemperaturen von 30 °C bis 40 °C erreicht werden, so dass es theoretisch denkbar wäre, die Energie über Luft-Wasser-Wärmeübertrager für das Niedertemperaturflächenheizsystem des betrachteten Referenz-Bürogebäudes nutzbar zu machen. Für ein derartiges Konzept konnte jedoch kein Praxisbeispiel gefunden werden. In der Praxis finden jedoch Konzepte Anwendung, bei denen die Abwärme zur Beheizung der übrigen Gebäudeteile mittels Wärmepumpen indirekt genutzt wird. Hierbei verbessert sich die Effizienz gegenüber einer Außenluft-Wärmepumpe je nach nutzbarer Ablufttemperatur und verfügbarer Abluftmenge um ca. Faktor 2. Für die Entwärmung des Rechenzentrums wird eine Direktbelüftung vorgesehen, die bis zu einer Außentemperatur von ca. 26 °C möglich ist. Oberhalb einer Außentemperatur von 26 °C ist eine Klimatisierung über eine Kälteanlage mit einem natürlichen Kältemittel vorgesehen (z.B. Propan, siehe „Good Practice“ Beispiel „Stadtwerke Lübbeke“). Als kostengünstige Alternative böte es sich an, eine Anlage zu verwenden, die im Winter als Wärmepumpe zur Beheizung der Bürotrakte und im Sommer als Kälteanlage zur Spitzenlastkühlung des Rechenzentrums herangezogen wird. Durch die

⁵¹ Siehe Abschnitt „Good Practice-Beispiele“

Implementierung einer PV-Anlage mit 50 kWp auf dem Dach kann der Strombedarf für die Klimatisierung und Versorgung des Systemtechnik des Rechenzentrums weiter reduziert werden.

Abbildung 47: Schema optimierte Lösung für die Typenklasse „baulich eingebundenes mittelgroßes Rechenzentrum“



Grundsätzlich wäre es auch denkbar, eine biomassegefeuerte KWK-Anlage in Kombination mit einer wärmebetriebenen Kältemaschine zu installieren. Aufgrund des sinnvollerweise im Vorfeld minimierten Heizbedarfs des Gebäudes und Kühlenergiebedarfs des Rechenzentrums wären die Betriebszeiten, an denen eine Vollabnahme (Strom und Wärme) möglich wäre, jedoch sehr kurz, was sich ungünstig auf die Wirtschaftlichkeit auswirken würde. Daher wurde dieses Konzept, welches für Sanierungen durchaus eine gute Option sein kann, nicht weiter verfolgt.

3.4.3 Großes freistehendes Rechenzentrum

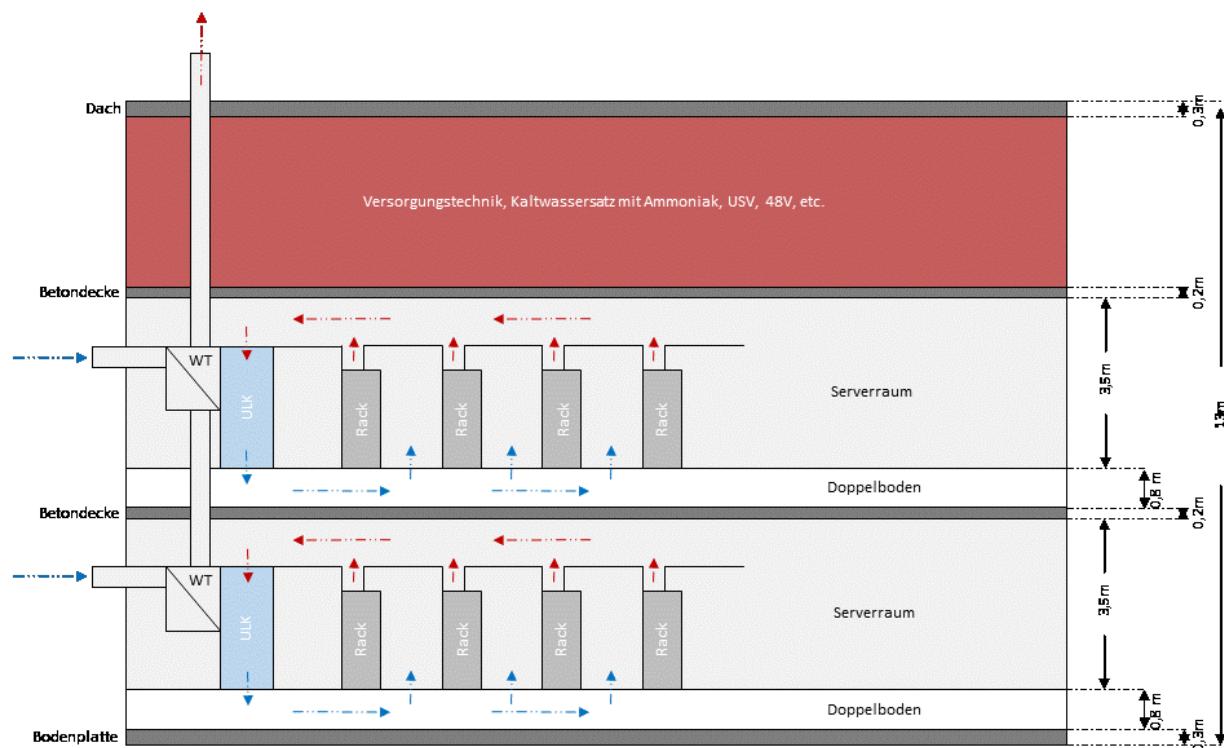
Da eine Abwärmenutzung bei dem zu betrachtenden großen freistehenden Rechenzentrum per definitionem nicht möglich ist, ist eine maximal genutzte effiziente freie Kühlung die Grundvoraussetzung einer klimaschonenden Rechenzentrumsklimatisierung. Wie alle im Rahmen dieses Projektes erarbeiteten Lösungen sollen auch die Lösungen für große Rechenzentren möglichst systemunabhängig und allgemein anwendbar sein.

Grundsätzlich ist eine –in der Regel sehr effiziente– direkte Kühlung der IT Komponenten mittels Wasser oder anderen Medien mit einer hohen Wärmekapazität möglich und ggf. auch sinnvoll. Bei diesen Kühlssystemen sind jedoch Sonderlösungen mit Eingriff in die IT-Systeme notwendig. Im Folgenden stehen daher die derzeit und in absehbarer Zukunft als Standard anzusehenden und in Racks angeordneten luftgekühlten IT-Komponenten im Fokus.

Durch eine konsequente Trennung von Zu- und Abluft können die Racks gezielt direkt mit Kaltluft versorgt werden. Die dazu notwendige Einhausung und Druckregelung von sog. Kalt- und/oder Warmgängen ist in der Praxis bereits weit verbreitet. Es gibt hierzu eine Vielzahl an Beispielen vorgefertigter und individueller Lösungen. Gegenüber Mischnluftsystemen, bei denen häufig sog. „Warmluftnester“ entstehen, können die Zulufttemperaturen durch gezielte Luftführung –bei konstantem Volumenstrom– um ca. 12 K (z.B. von 10 °C auf 22 °C) angehoben werden.

Eine Ausschöpfung weiterer Freikühlpotenziale kann, wie zuvor bereits dargestellt, durch eine in der Regel ohne spürbare Einschränkung auf die Performance und Betriebssicherheit mögliche Anhebung der Zulufttemperaturen auf 26 °C-30 °C erreicht werden. Hierbei ist allerdings zu berücksichtigen, dass bei einer Anhebung der Zulufttemperaturen der Energiebedarf der IT-Komponenten selbst steigt. Daher sollten höhere Zulufttemperaturen nur dann zugelassen werden, wenn dadurch der Effekt der verbesserten Effizienz der Klimatisierung überwiegt. Durch die Verwendung von Luft/Luft-Wärmeübertragern kann die Freikühlgrenze im Vergleich zu konventionellen Rückkühlern mit zwei Wärmeübergängen (am Luft/Wasser und Wasser/Luft-Wärmeübertrager) weiter angehoben werden. Derartige Kühlssysteme sind noch nicht weit verbreitet. Einzelne Projekte haben sich jedoch in der Praxis bereits bewährt (siehe z.B. Noris Rechenzentrum NBG6 Nürnberg-Langwasser⁵²).

Abbildung 48: Schema des über Luft/Luft-Wärmeübertrager gekühlten Rechenzentrums mit kontrollierter Belüftung der Racks



Da klimabedingt die Taupunktemperaturen in Deutschland auch im Sommer nicht über 22 °C steigen, ist es bei einer effizienten Freikühlungslüftung mit Luft/Luft-Wärmeübertragern durch eine adiabate Kühlung (Befeuchtung der Außenluft vor dem Eintritt in den Wärmeübertrager) möglich, gänzlich auf eine Kältemaschine zu verzichten. Grundvoraussetzung hierbei ist jedoch eine Anhebung der zulässigen Zulufttemperaturen im Auslegungsfall. Derartige Konzepte, die ohne mechanische Spitzenlastkühlung auskommen, wurden bereits bei Rechenzentren in den Niederlanden, Kanada und Schweden realisiert. In Deutschland wird derzeit für das Rechenzentrum der Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald eine adiabatische Kühlung mit Luft/Luft-Wärmeübertragern als Pilotvorhaben geplant. Als Redundanzkühlssystem und gleichzeitig als Sicherheit gegenüber extremen Klimaereignissen können effiziente mechanische Kälteanlagen mit natürlichen Kältemitteln – für Großanlagen haben sich in der Praxis Ammoniak-Kaltwassersätze als sehr gut geeignet erwiesen⁵³ – herangezogen

⁵² Für weitere Beispiele, siehe Abschnitt „Good Practice-Beispiele“

⁵³ siehe Abschnitt „Good Practice-Beispiele“

werden. Alternativ ist hierbei natürlich auch eine F-Gas-freie Kühlung über Grundwasser oder mittels klimaneutral wärmebetriebener effizienter Sorptionskältemaschinen möglich. Die klimaneutrale Wärme kann bei letzteren zum Beispiel durch aus Abwärme oder Bioenergie bereitgestellter Fernwärme sein. Bedingt durch die hydrologischen und genehmigungsseitigen Rahmenbedingungen sind Grundwasserkühlkonzepte jedoch nicht überall einsetzbar. Daher wurde im Rahmen dieser Untersuchung auf eine detaillierte Berechnung verzichtet.

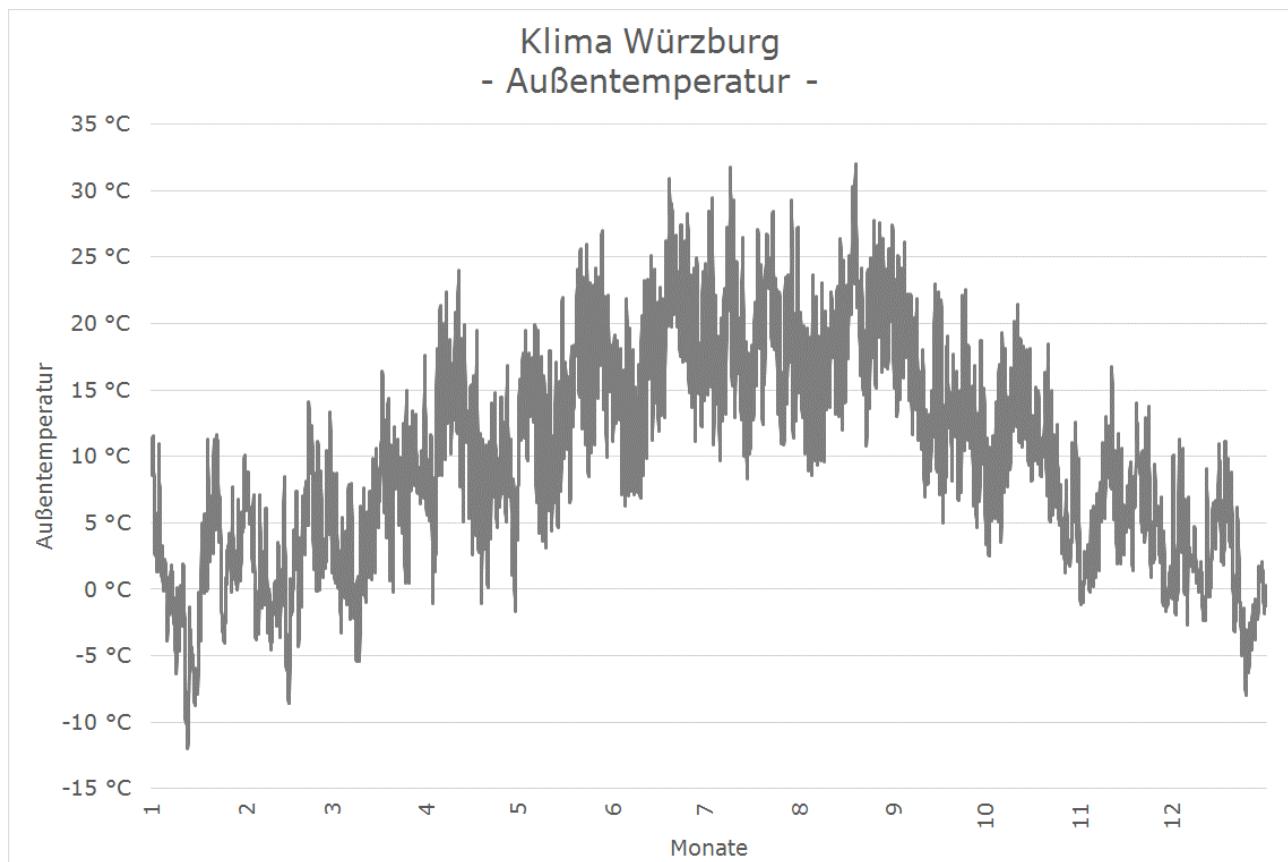
Alternativ wäre es auch möglich, den Strom für den Betrieb des Rechenzentrums durch mit Biomasse betriebene KWK-Anlagen vor Ort zu erzeugen. Im Sommer könnte die erzeugte Wärme zur Kälteerzeugung genutzt werden. Ein Problem stellt hierbei jedoch in der Regel der Wärmeüberschuss in den Übergangszeiten und im Winter dar. Daher ist es in den überwiegenden Fällen sicher wirtschaftlicher, das Rechenzentrum mit „grünem“ Netzstrom, erzeugt aus einem erneuerbaren Energiemix mit hohem PV- und Windstrom-Anteil, zu betreiben.

3.5 Simulationen zur Bestimmung der CO₂- und Energiekennwerte

Im Folgenden werden für die drei in Abschnitt 3.4 beschriebenen optimalen Praxis-Konzepte der Referenzgebäudetypen jeweils die Ergebnisse der Simulationen dargestellt.

Die Bürogebäude-Simulationen erfolgen stundengenau mittels der dynamischen Gebäudesimulationssoftware TRNSYS (TRAnsient SYstems Simulation). Für das große freistehende Rechenzentrum erfolgen die Simulationen mittels eines Rechenzentrums-Simulationstools, welches im Rahmen von inzwischen realisierten Projekten entwickelt und validiert wurde. Die Simulationsberechnung hat neben der höheren Detaillierung den Vorteil, insbesondere auch innovative Systeme und Kombinationen zu bewerten, die in der Literatur bislang nur wenig beschrieben sind, wie z.B. die Kombination der Gebäudekühlung mit einer Photovoltaik-Anlage („Load Matching“). Die folgende Abbildung zeigt die Außentemperaturen im Jahresverlauf für den berücksichtigten, für die Aufgabenstellung repräsentativen Standort Würzburg.

Abbildung 49: Außentemperatur des Untersuchungsjahres, Standort: Würzburg



3.5.1 Bürogebäude mit mehreren kleinen Serverräumen

Um die Effekte der einzelnen Maßnahmen darzustellen, wurden, ausgehend von einer Standard-Klimatisierung der Serverräume über hocheffiziente Splitklimageräte, mehrere Varianten berechnet, bei denen die in der Übersicht in Tabelle 69 aufgeführten und im Folgenden näher beschriebenen Maßnahmen sukzessive implementiert wurden.

Tabelle 69: Evaluierte Varianten: Bürogebäude mit mehreren kleinen Serverräumen

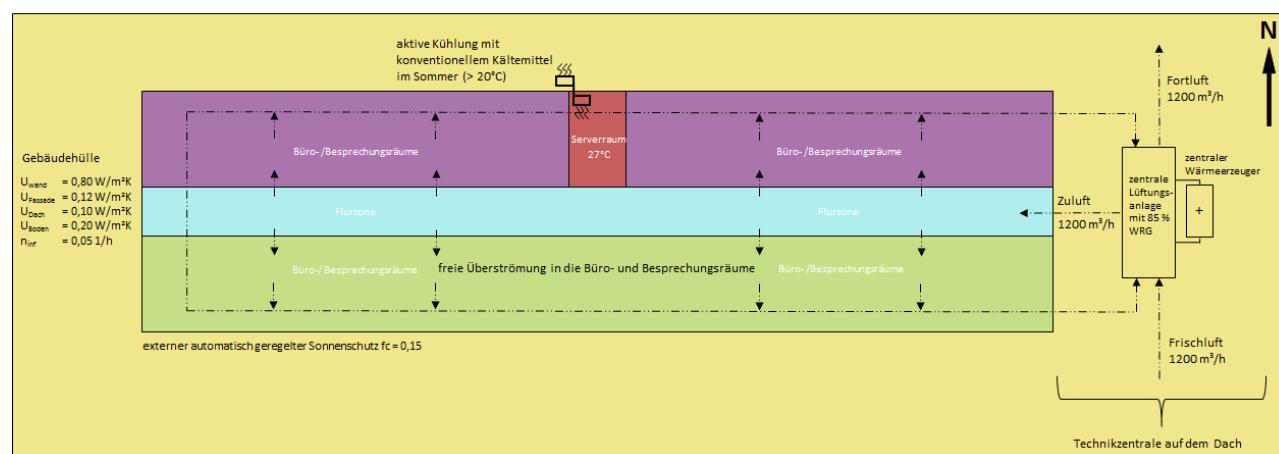
	V0	V1	V1 +PV	V2	V2 +PV	V2 +PV +natural cooling*
Serverraumkühlung mit freier Kühlung über die Außenluft	0	X	X	X	X	X
Serverwärmabgabe an Flurzone (Heizfall)	0	0	0	X	X	X
Photovoltaikanlage	0	0	X	0	X	X
Serverklimagerät mit natürlichem Kältemittel	0	0	0	0	0	X

*) Optimiertes Praxis-Konzept

Variante 0

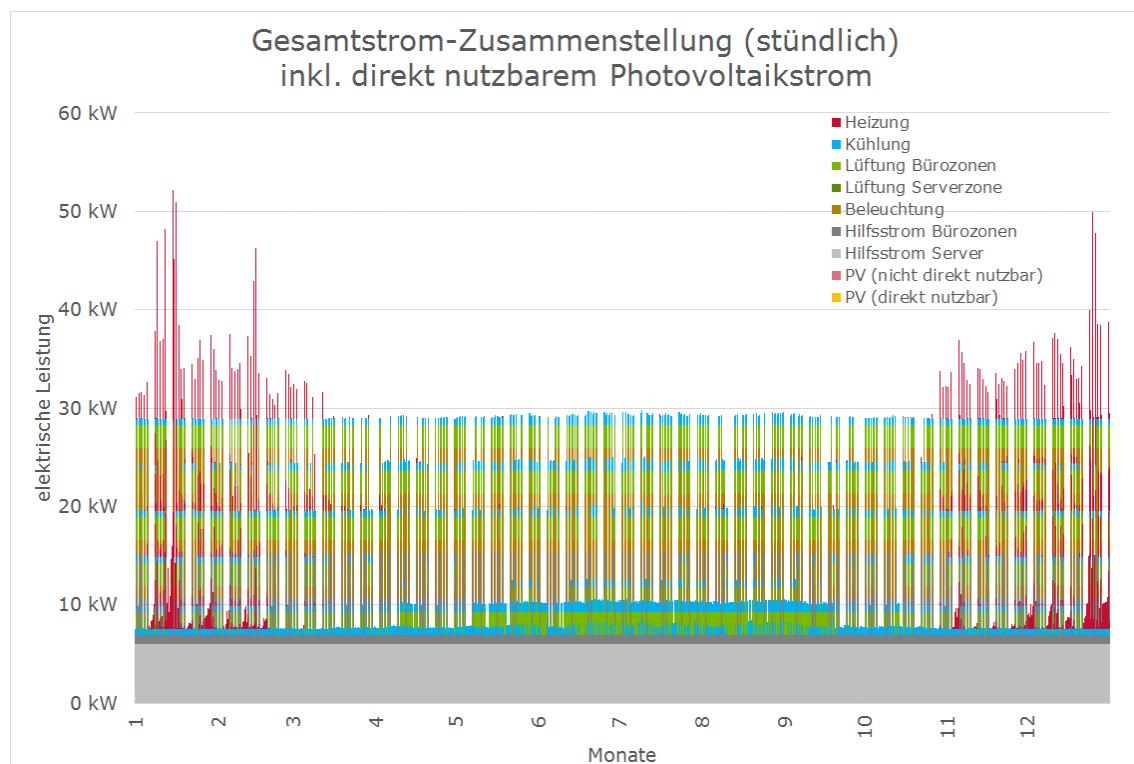
Zur Kühlung des Serverraums bei Außentemperaturen über 20 °C ist ein hocheffizientes Klimagerät mit konventionellem Kältemittel (EER: 3,5 bei Vollast über 32 °C bzw. 7,0 bei Teillast unter 5 °C Außentemperatur, dazwischen linear) installiert, um die Raumtemperatur des Serverraums auf unter 27 °C abkühlen zu können.

Abbildung 50: Schema Variante 0, Funktionsprinzip



Die stundengenauen Ergebnisse dieser Variante sind in der folgenden Abbildung als Stapeldiagramm dargestellt.

Abbildung 51: Ergebnis-Darstellung Variante 0, Gesamtstrom-Zusammenstellung

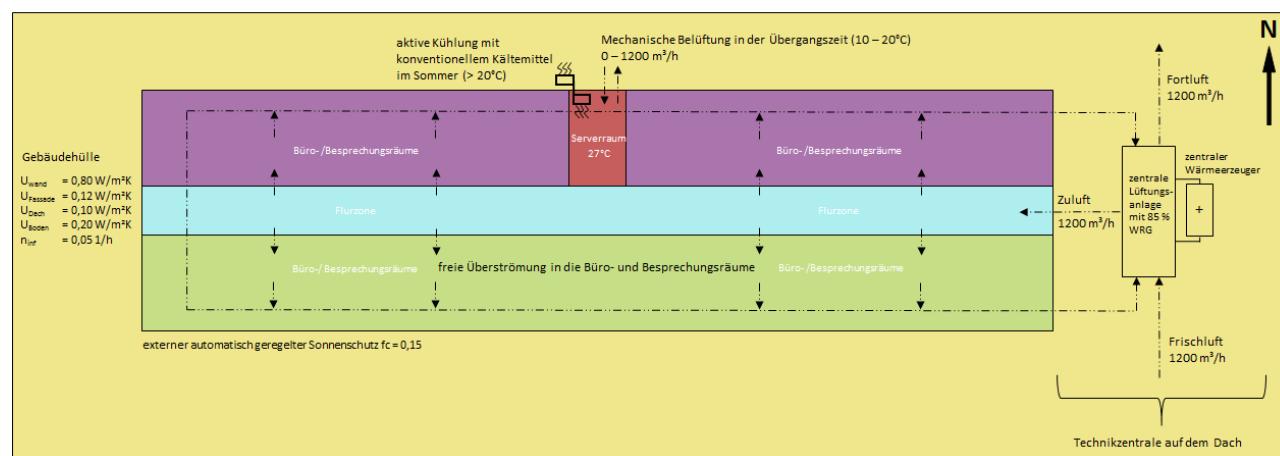


Variante 1

Variante 1 unterscheidet sich von Variante 0 ausschließlich in Bezug auf die Kühlung des Serverraumes.

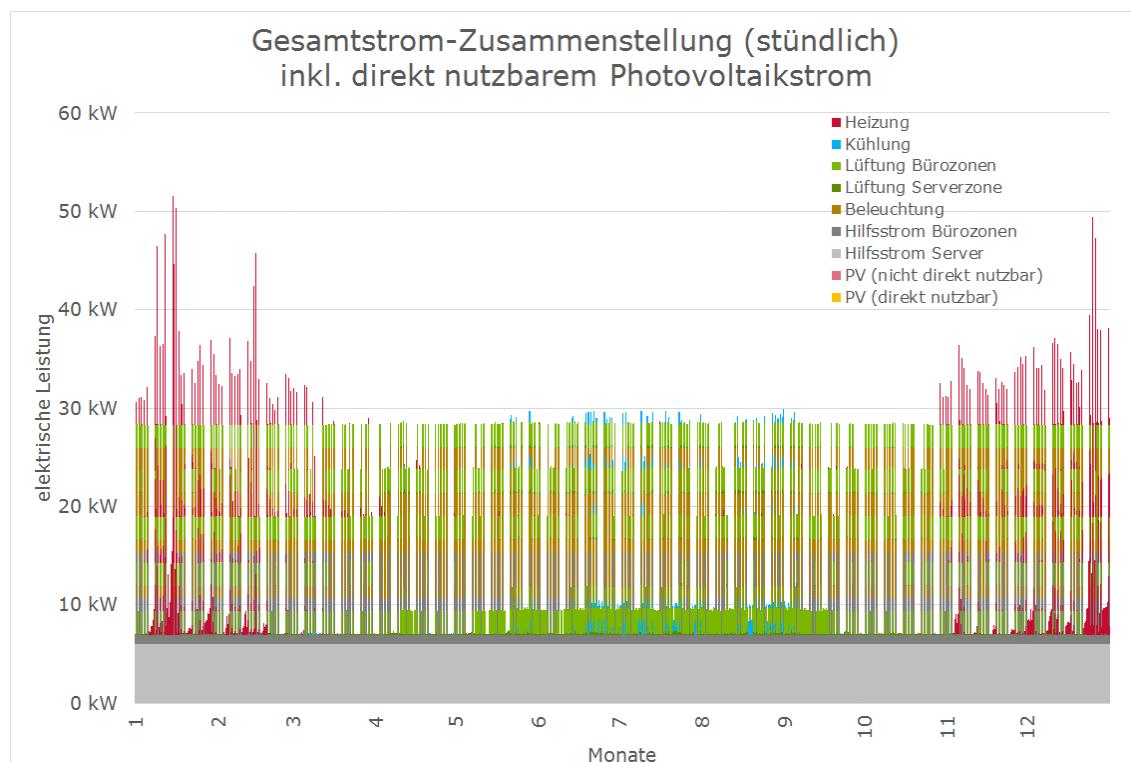
Zusätzlich zur aktiven Kühlung wird für die Übergangszeit (Außentemperaturen 10 - 20 °C) eine dezentrale mechanische Belüftung der Serverräume installiert, die den zur Kühlung benötigten Luftaustausch automatisch regelt. Der Volumenstrom bewegt sich dabei zwischen 0 und 1.200 m³/h pro Etage. Steigt die Außentemperatur über 20 °C, wird die Kühlung durch das Klimagerät übernommen.

Abbildung 52: Schema Variante 1, Funktionsprinzip



Die stundengenauen Ergebnisse dieser Variante sind in der folgenden Abbildung als Stapeldiagramm dargestellt.

Abbildung 53: Ergebnis-Darstellung Variante 1, Gesamtstrom-Zusammenstellung

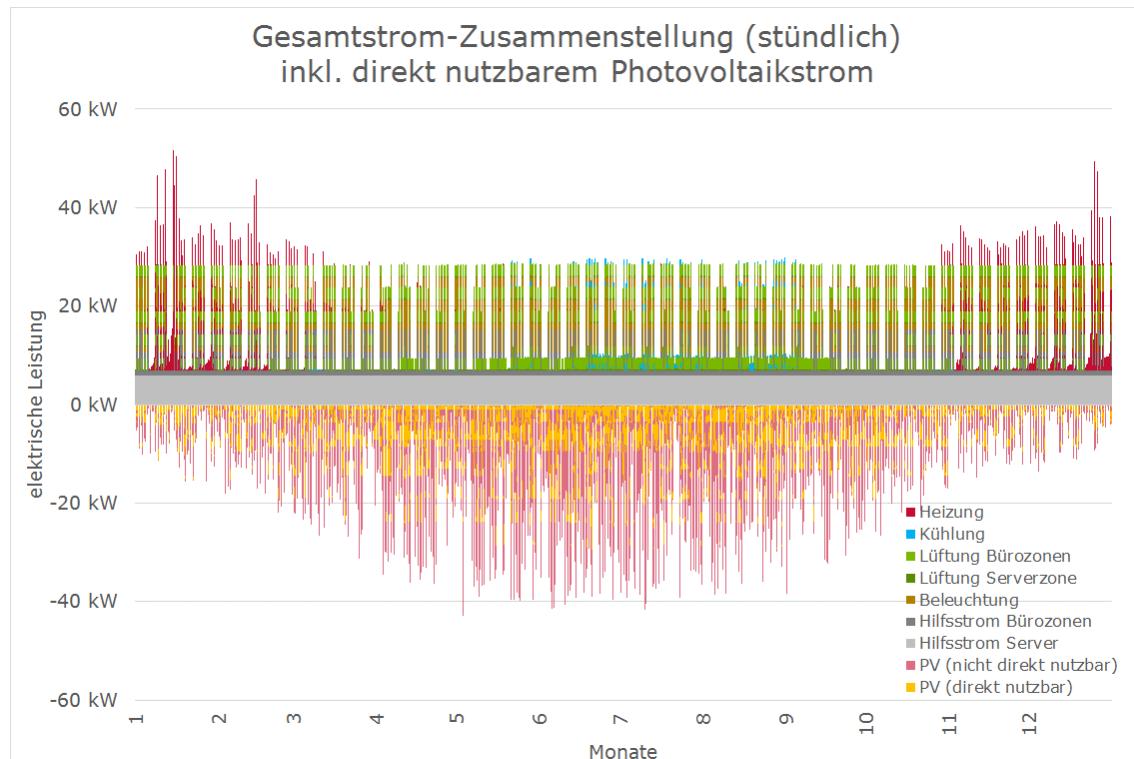


Variante 1 (inkl. PV)

Variante 1 (inkl. PV) unterscheidet sich von Variante 1 ausschließlich durch die zusätzlich auf dem Flachdach installierte Photovoltaikanlage mit 50 kWp Leistung (Ost-/West-Ausrichtung, jeweils mit 10° Neigung → maximierte Belegung möglich).

Die stundengenauen Ergebnisse dieser Variante sind in der folgenden Abbildung als Stapeldiagramm dargestellt.

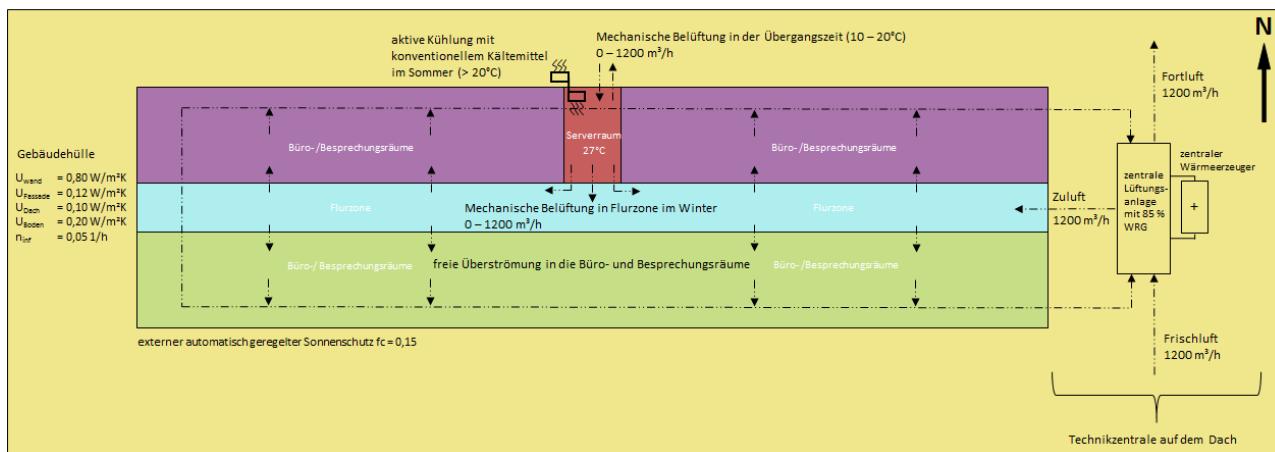
Abbildung 54: Ergebnis-Darstellung Variante 1 (inkl. PV), Gesamtstrom-Zusammenstellung



Variante 2

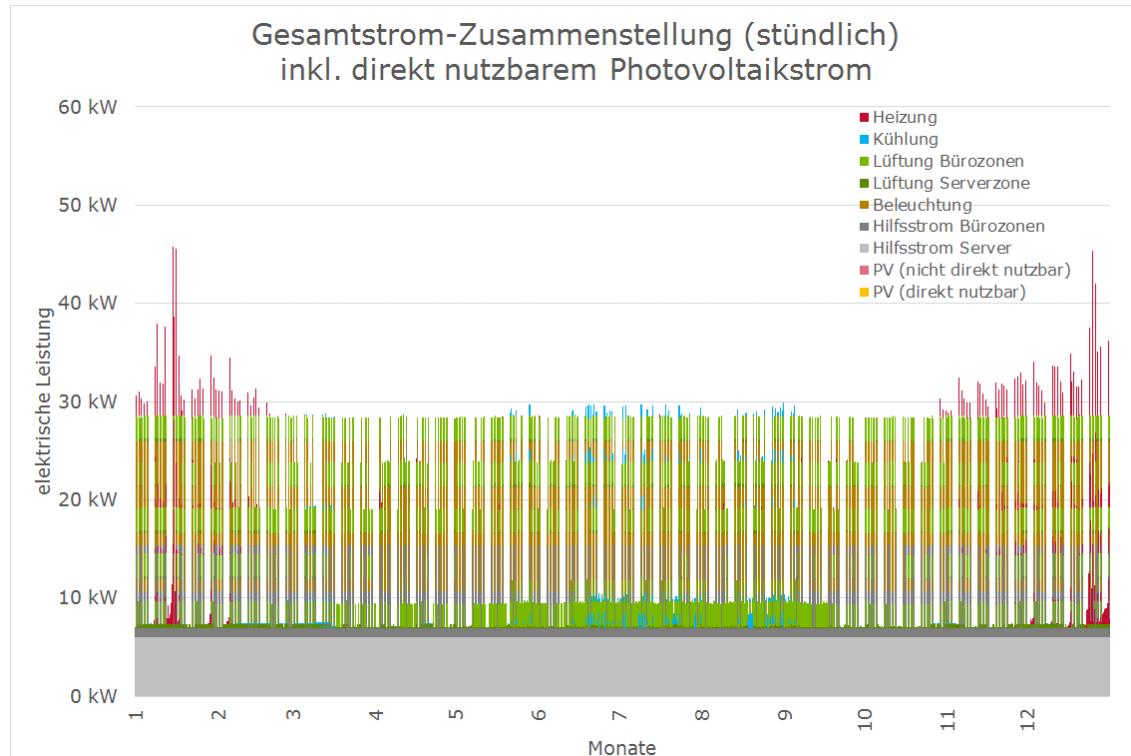
Variante 2 unterscheidet sich von Variante 1 durch die Serverwärmeverabfuhr in die Flurzone im Winter ($1200 \text{ m}^3/\text{h}$ Umluft).

Abbildung 55: Schema Variante 2, Funktionsprinzip



Die stundengenauen Ergebnisse dieser Variante sind in der folgenden Abbildung als Stapeldiagramm dargestellt.

Abbildung 56: Ergebnis-Darstellung Variante 2, Gesamtstrom-Zusammenstellung

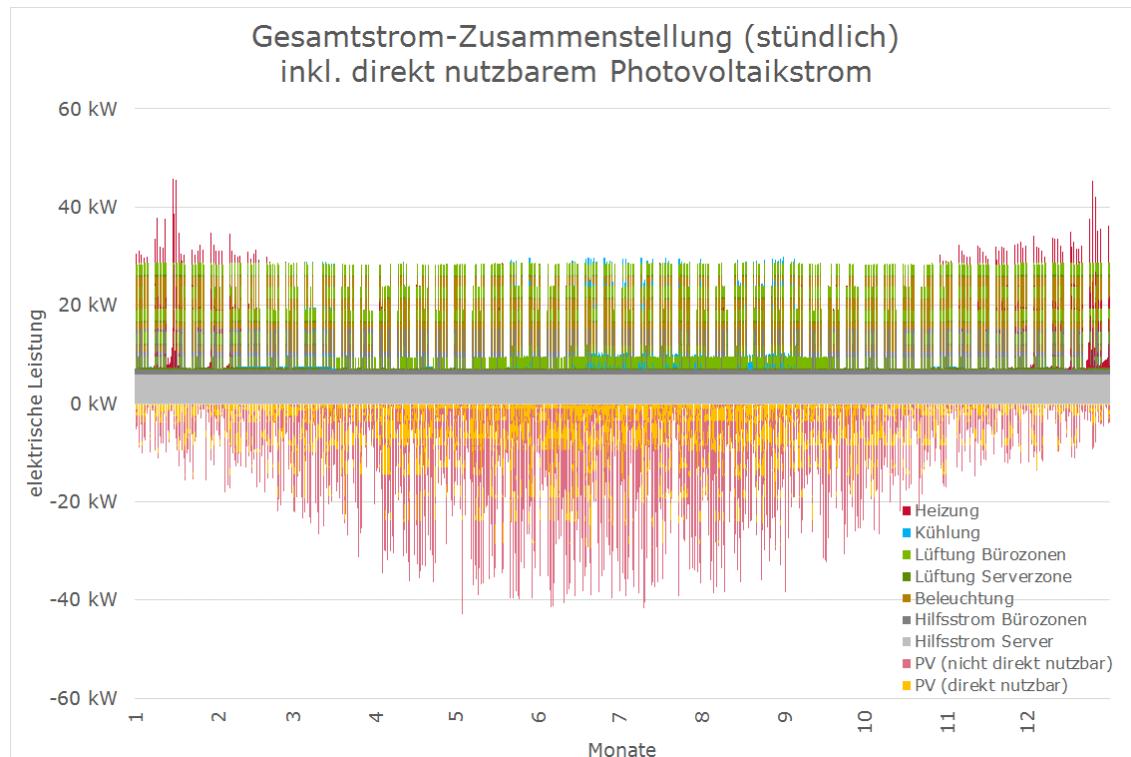


Variante 2 (inkl. PV)

Variante 2 (inkl. PV) unterscheidet sich von Variante 2 ausschließlich durch die zusätzlich auf dem Flachdach installierte Photovoltaikanlage mit 50 kWp Leistung (Ost-/West-Ausrichtung, jeweils mit 10° Neigung → maximierte Belegung möglich).

Die stundengenauen Ergebnisse dieser Variante sind in der folgenden Abbildung als Stapeldiagramm dargestellt.

Abbildung 57: Ergebnis-Darstellung Variante 2 (inkl. PV), Gesamtstrom-Zusammenstellung

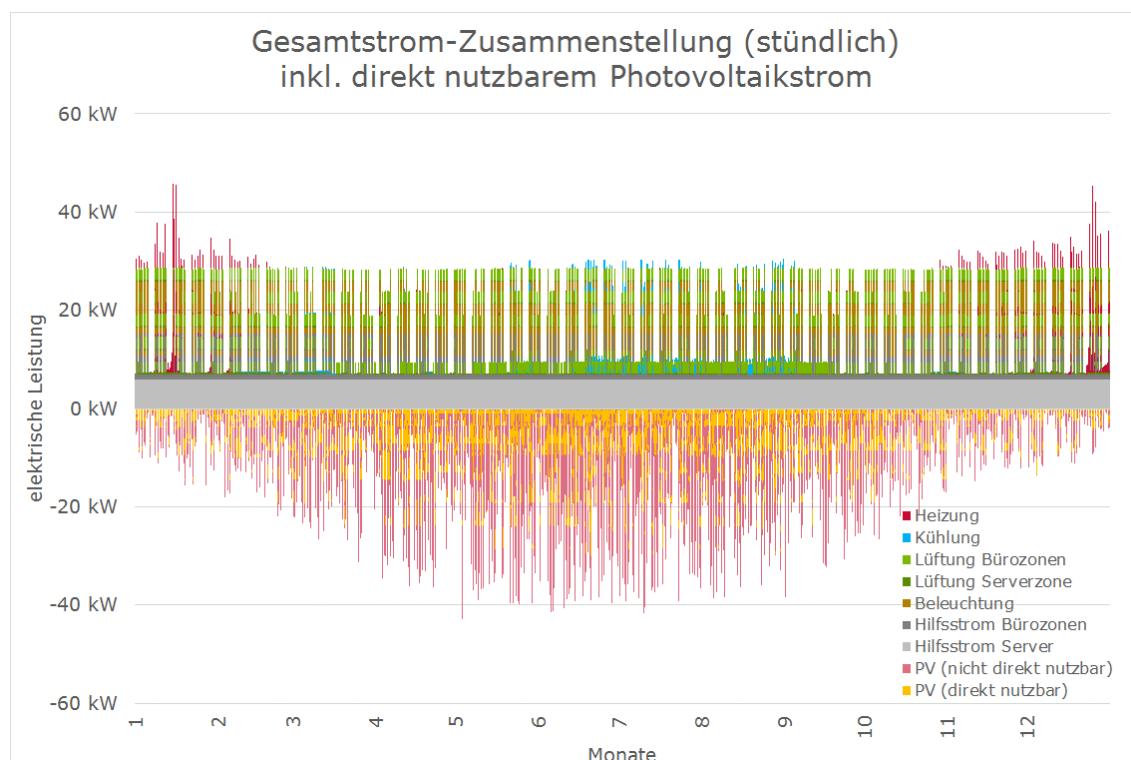


Optimierte Praxis-Konzept: Variante 2 (inkl. PV und mit natürlichem Kältemittel)

Die bereits zuvor detailliert beschriebene optimale Praxislösung (Variante 2 inkl. PV und mit natürlichem Kältemittel) unterscheidet sich von Variante 2 (inkl. PV) durch die Verwendung eines Klimageräts mit natürlichem Kältemittel für die Kühlung des Serverraums.

Die stundengenauen Ergebnisse dieser Variante sind in der folgenden Abbildung als Stapeldiagramm dargestellt.

Abbildung 58: Ergebnis-Darstellung Variante 2 (inkl. PV und mit natürlichem Kältemittel), Gesamtstrom-Zusammenstellung



Übersicht der Ergebnisse

Eine Übersicht der wesentlichen Ergebnisse aller Varianten mit Gesamtgebäudebezug zeigt die folgende Tabelle 70. Hierbei werden die Reduktionspotenziale des Energiebedarfs des Gesamtgebäudes im Kontext der Serverraumkonditionierung deutlich. Der Strombedarf für die Beheizung, Kühlung und Belüftung beträgt in der Grundvariante 12,1 kWh/m²a und hat somit einen Anteil von 17 % am Gesamtstrombedarf. Der Strombedarf für Beleuchtung und der sonstige Verbrauch (inkl. der IT in den Serverräumen) wurde unverändert mit 58,2 kWh/m²a angenommen, da dessen Optimierung nicht im Focus der vorliegenden Untersuchung liegt.

In der folgenden Tabelle 70 ist die deutliche Reduktion des Kühlenergiebedarfs von V0 zu V1 abzulesen (24,5 zu 0,9 kWh/(m²a)), die durch die Implementierung einer freien Lüftung der Serverräume in der Übergangszeit erreicht wird. Zudem können in der Tabelle die Potenziale durch die möglichen Optionen Photovoltaikerzeugung (z.B. V1 zu V1+PV) und die Nutzung der Serverabwärme zur Gebäudebeheizung (V1+PV zu V2) nachvollzogen werden. Insgesamt wird es möglich, den Strombedarf unter den Sockelbedarf von 58,2 kWh/m²a zu senken.

Tabelle 70: Evaluierte Varianten: Simulationsergebnisse (Gebäudeebene)

	V0	V1	V1 + PV	V2	V2 + PV	V2 + PV + natural cooling
Einheit	kWh/(m²a)	kWh/(m²a)	kWh/(m²a)	kWh/(m²a)	kWh/(m²a)	kWh/(m²a)
Heizung Nutzenergie	5,1	5,2	5,2	1,5	1,5	1,5
Heizung* Endenergie	1,7	1,8	1,8	0,6	0,6	0,6
Kühlung Nutzenergie	24,5	0,9	0,9	1,1	1,1	1,1
Kühlung** Endenergie	4,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3
Lüftung Gebäude	6,3	6,3	6,3	6,4	6,4	6,4
Lüftung Serverraum	0,0	0,6	0,6	1,1	1,1	1,1
Beleuchtung	10,3	10,3	10,3	10,3	10,3	10,3
Sonstige Verbraucher Bürozonen	16,5	16,5	16,5	16,5	16,5	16,5
Sonstige Verbraucher Serverraum	31,4	31,4	31,4	31,4	31,4	31,4
Photovoltaik Gesamt	0,0	0,0	30,0	0,0	30,0	30,0
Photovoltaik Direkt nutzbar (gesamt)	0,0	0,0	24,2 (81 %)	0,0	24,2 (81 %)	24,2 (81 %)
Gesamt-Strombedarf (-PV_nutzbar)	70,4	67,2	46,9	66,4	46,2	46,2

*) Strombedarf der CO₂-Wärmepumpe

**) Kühlungsbedarf der Serverräume. Für den Rest des Gebäudes musste keine aktive Kühlung vorgesehen werden, da der gute Sonnenschutz und die hohen Speichermassen den Kühlungsbedarf auf wenige Stunden im Jahr (8-9 h/a mit Bürozonen > 26°C) reduzieren konnten. Die umgebungsbedingungsbabhängige Effizienz der Klimageräte zur Kühlung der Serverräume wurde im Modell als stündlicher Wert berechnet. Abhängig von den Betriebszeiten und -bedingungen ergeben sich für die Varianten die folgenden Jahresarbeitszahlen (in obiger Reihenfolge): 6,1; 4,2; 4,2; 4,7; 4,7; 3,5

Die folgende Tabelle 71 zeigt die wesentlichen Ergebnisse auf Serverraumbene. Insbesondere werden die TEWI_{gesamt}-Kennwerte für die untersuchten Varianten, sowie die Zwischenergebnisse u.a. der direkten und indirekten TEWI-Kennwerte und die berücksichtigten Gutschriften (Heizenergieein-

sparung, Photovoltaik) dargestellt. Der Kennwert „TEWI_{gesamt}“ errechnet sich dabei aus der Summe des direkten und indirekten TEWI-Kennwerts abzüglich der Gutschriften.

Der **TEWI_{direkt}-Kennwert** der in den Serverräumen verwendeten Splitgeräte wurden auf Grundlage der Angaben aus Tabelle 41 (SEER für Kompressionskältemaschinen), Tabelle 44 (GWP von Kältemitteln) und Tabelle 46 (Füllmengen für Kompressionskältemaschinen) ermittelt. Berücksichtigt wurden 3 Splitklimageräte (je 4 kW) mit je 1,3 kg⁵⁴ des Kältemittels R410A (GWP_{R410A} = 2.088 kg_{CO2äq}/kg). Bei einer jährlichen Leckagerate von 5 % ergeben sich für 10 Betriebsjahre 40 % Verlust ($0,95^{10} = 60\%$ verbleibende Kältemittelmenge). Unter der Annahme, dass kein Kältemittel nachgefüllt wird, kommen durch die Entsorgung noch 29 % Verlust an der Ausgangsmenge hinzu ($60\% \times 49\% = 29\%$). Insgesamt ergibt sich somit ein Kältemittelverlust von 69 % (40 % + 29 %) bzw. 564 kg CO₂-Äquivalent für die drei Splitgeräte pro Jahr ($3 \times 1,3 \times 2.088 \text{ kg}_{\text{CO2äq}} \times (40\% + 29\%) / 10 \text{ Jahre} = 564 \text{ kg}_{\text{CO2äq}}$). Tabelle 71 zeigt, dass die direkten Emissionen für die V0 bis V2+PV gleich hoch sind, da identische Splitgeräte mit dem Kältemittel R410A verwendet wurden. Lediglich in der letzten Variante wurde von einem Klimagerät mit natürlichen Kältemitteln ausgegangen, wodurch die direkten Emissionen vernachlässigbar werden (GWP_{Propan} = 3 kg_{CO2äq}/kg).

Der **TEWI_{indirekt}-Kennwert** für die Klimatisierung des Serverraums ergibt sich aus der Summe der Kühl- und Lüftungsenergiebedarfe der Serverraumzone multipliziert mit dem CO₂-Emissionsfaktor für Strom (559 g/kWh)⁵⁵.

Die **Gutschrift für die Heizenergieeinsparung** ergibt sich bei den letzten drei untersuchten Varianten aus der Abwärmenutzung des Serverraums im Winter für die Beheizung des Gebäudes. Die **Gutschrift für die Photovoltaiknutzung** in Tabelle 71 bezieht sich ausschließlich auf die Gleichzeitigkeit des erzeugten Photovoltaikstroms mit dem Lüftungs- und/oder Kühlenergiebedarf des Serverraums. Auf Gebäudeebene könnten gemäß der stundenfeinen Berechnung über 80 % des erzeugten Photovoltaikstroms direkt genutzt werden (s. Tabelle 70).

Tabelle 71: Evaluierte Varianten: Simulationsergebnisse (Serverraumbene)

	V0	V1	V1 + PV	V2	V2 + PV	V2 + PV ohne F-Gase
Einheit	kWh/a	kWh/a	kWh/a	kWh/a	kWh/a	kWh/a
Kühlung Endenergie	6.873	372	372	417	417	532
Lüftung Endenergie	0	1.073	1.073	1.772	1.772	1.772
Heizung Einsparung durch Serverraum-	0	0	0	2.025	2.025	2.025

⁵⁴ Berücksichtigt wurde eine Kältemittelmenge in den Leitung zwischen Außen- und Inneneinheit, die 20 % der Standardfüllmenge der Splitgeräte (0,27 kg/kW) beträgt.

⁵⁵ Zu Grunde gelegter CO₂-Emissions-Faktor für Strom ist 559 g CO₂/kWh gemäß UBA 23/2014, Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen des deutschen Strom-Mix in den Jahren 1990 bis 2013; http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/climate_change_23_2014_komplett.pdf, abgerufen am 27.10.2014

	V0	V1	V1 + PV	V2	V2 + PV	V2 + PV ohne F-Gase
Einheit	kWh/a	kWh/a	kWh/a	kWh/a	kWh/a	kWh/a
klimatisierung						
Photovoltaik Nutzbar von Kühlung und Lüftung Serverraum	0	0	975	0	1.171	1.251
Einheit	kgCO ₂ äq/a					
TEWI_{direkt}* Klimatisierung	416	416	416	416	416	1
TEWI_{indirekt}** Klimatisierung	3.842	808	808	1.224	1.224	1.288
Gutschrift Heizenergieeinsparung	0	0	0	1.132	1.132	1.132
Gutschrift PV _{nutzbar} (nur f. LÜ und KÜ Serverraum)	0	0	555	0	674	720
TEWI_{gesamt}***	4.406	1.372	817	656	-18	-563
Einheit	gCO ₂ äq/kWh					
Spez. TEWI-gesamt****	84	26	16	12	0	-11

*) s. Fließtext über dieser Tabelle für eine Erläuterung des TEWI_{direkt}-Kennwerts.

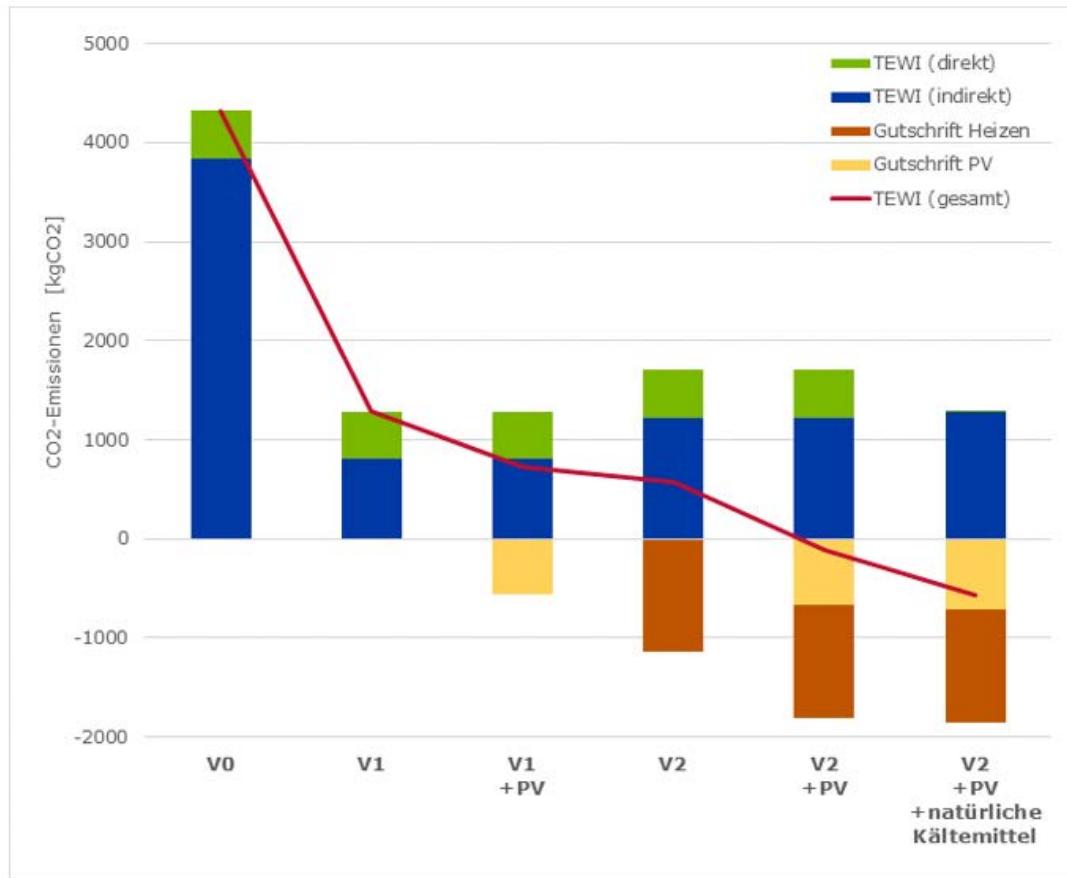
**) s. Fließtext über dieser Tabelle für eine Erläuterung des TEWI_{indirekt}-Kennwerts.

***) s. Fließtext über dieser Tabelle für eine Erläuterung des TEWI_{gesamt}-Kennwerts.

****) Es handelt sich dabei um das Verhältnis aus TEWI Serverraum (gesamt) und dem Energiebedarf der IT-Technik (hier: 6 kW über 8.760 h des Jahres = 52.560 kWh). Dieser Kennwert ist (derzeit) noch unüblich, die Bewertung ermöglicht jedoch eine vergleichende Bewertung von Serverraumklimatisierungen.

Die folgende Abbildung visualisiert die wesentlichen Parameter TEWI Serverraum (direkt), TEWI Serverraum (indirekt), Gutschrift Heizenergie, Gutschrift PV und TEWI Serverraum (gesamt).

Abbildung 59: Ergebnisübersicht der resultierenden äquivalenten CO₂-Emissionen (TEWI) aus den untersuchten Varianten der Serverraumklimatisierung in einem Bürogebäude; Angaben in kg CO₂



Variante	Varianten-Kurzbeschreibung
V0	Referenzvariante
V1	wie V0 mit freier Außenluftkühlung
V1+PV	wie V1 mit Photovoltaik
V2	wie V1 mit Serverabwärme an Flur (Heizfall)
V2+PV	wie V2 mit Photovoltaik
V2+PV+natürliche Kältemittel	wie V2+PV mit Serverklimagerät mit natürlichem Kältemittel

Die Ergebnisse der Berechnungen veranschaulichen die Wirksamkeit unterschiedlicher Maßnahmen zur Verbesserung des TEWI-Wertes. Ausgehend von der Standard-Referenzvariante (V0) wird die größte Reduzierung durch die Implementierung einer effizienten freien Kühlung (V1) erreicht. Weitere große Potenziale, die den TEWI-Wert jeweils in etwa halbieren, werden zum einen durch Abwärmenutzung (V2) und zum anderen durch die Implementierung einer PV-Anlage auf dem Dach erreicht (V1+PV, V2 + PV und V2 + PV+natürliche Kältemittel). Durch den Wegfall der direkten äquivalenten CO₂-Emissionen bei der Lösung mit natürlichem Kältemittel (V2 + PV+natürliche Kältemittel) wird, trotz der angenommenen erheblich geringeren Effizienz⁵⁶, eine Reduktion der äquivalenten CO₂-Emissionen in der gleichen Größenordnung wie bei der Abwärme- und PV-Nutzung erreicht.

⁵⁶ hier wurde die Tatsache berücksichtigt, dass es derzeit am deutschen Markt nur Monoblock-Klimageräte mit dem natürlichen Kältemittel Propan gibt

Rein rechnerisch ergibt sich bei Implementierung aller Maßnahmen des optimierten Praxis-Konzeptes sogar ein negativer TEWI-Wert.

Wirtschaftlichkeit

Die Implementierung eines Systems zur mechanischen Belüftung der Serverräume und insbesondere auch der PV-Anlage ist mit Investitionskosten verbunden. Diese sind jedoch mit insgesamt weniger als 2 % der Bausumme verhältnismäßig gering. Der Löwenanteil der Mehrkosten (ca. 90–95 %) entfällt dabei auf die PV-Anlage (50 kWp). Die Vorsehung des Klimagerätes mit einem natürlichen Kältemittel ist im vorliegenden Fall sogar mit Minderkosten verbunden, da hier, anstelle des hocheffizienten Splitklimagerätes mit herkömmlichem Kältemittel, aufgrund der derzeit noch eingeschränkten Marktverfügbarkeit in einfaches Monoblock-Klimagerät berücksichtigt wurde.

Den genannten Mehrkosten stehen jährliche Energiekosteneinsparungen bzw. die Einspeisevergütung gegenüber. Bei der hohen Eigennutzungsrate des erzeugten PV-Stroms (über 80 %) ist davon auszugehen, dass sich die PV-Anlage bereits in 5 bis 10 Jahren amortisieren wird. Noch etwas besser stellt sich die Wirtschaftlichkeit der mechanischen Lüftungsanlage zur freien Kühlung der Serverräume dar. Bei einem angenommenen Strompreis von 25 ct/kWh ergeben sich hierbei jährliche Betriebskosteneinsparungen für die Klimatisierung und Heizung von über 1.500 €/a (oder bezogen auf die gesamt Nettogeschossfläche von 1.675 m² ca. 1 €/m²a). Es ist davon auszugehen, dass für dieses System eine Amortisation im Bereich von 5 Jahren erzielt werden kann. Die Vorsehung des Klimagerätes mit einem natürlichen Kältemittel ist insgesamt als quasi kostenneutral zu betrachten.

3.5.2 Baulich eingebundenes mittelgroßes Rechenzentrum

Auch bei dem Bürogebäude mit baulich eingebundenem mittelgroßem Rechenzentrum wurden, ausgehend von einer Referenzvariante, die, gemessen an der derzeitigen Baupraxis, bereits über einen sehr hohen Effizienzstandard verfügt, mehrere mögliche Verbesserungsvarianten untersucht, die in Kombination letztendlich zur optimalen Praxislösung führen.

Tabelle 72: Evaluierte Varianten: Bürogebäude mit mehreren kleinen Serverräumen

	V0	V1	V2	V3	V4	V5	V6*
Anhebung der Zulufttemperatur im Auslegungsfall auf max. 26 °C**	0	X	X	X	X	X	X
Kontrollierte Zuluft (Kaltgangeinhäusung)	0	0	X	X	X	X	X
Freie direkte Kühlung über gefilterte Außenluft	0	0	0	X	X	X	X
Nutzung der Abluft zur Effizienzsteigerung; Wärmepumpe zur Gebäudebeheizung	0	0	0	0	X	X	X
Implementierung einer PV Anlage (30 kWp)	0	0	0	0	0	X	X
Spitzenlastkühlung mit Propan-Kältemaschine	0	0	0	0	0	0	X

*) Optimierte Praxis-Konzept

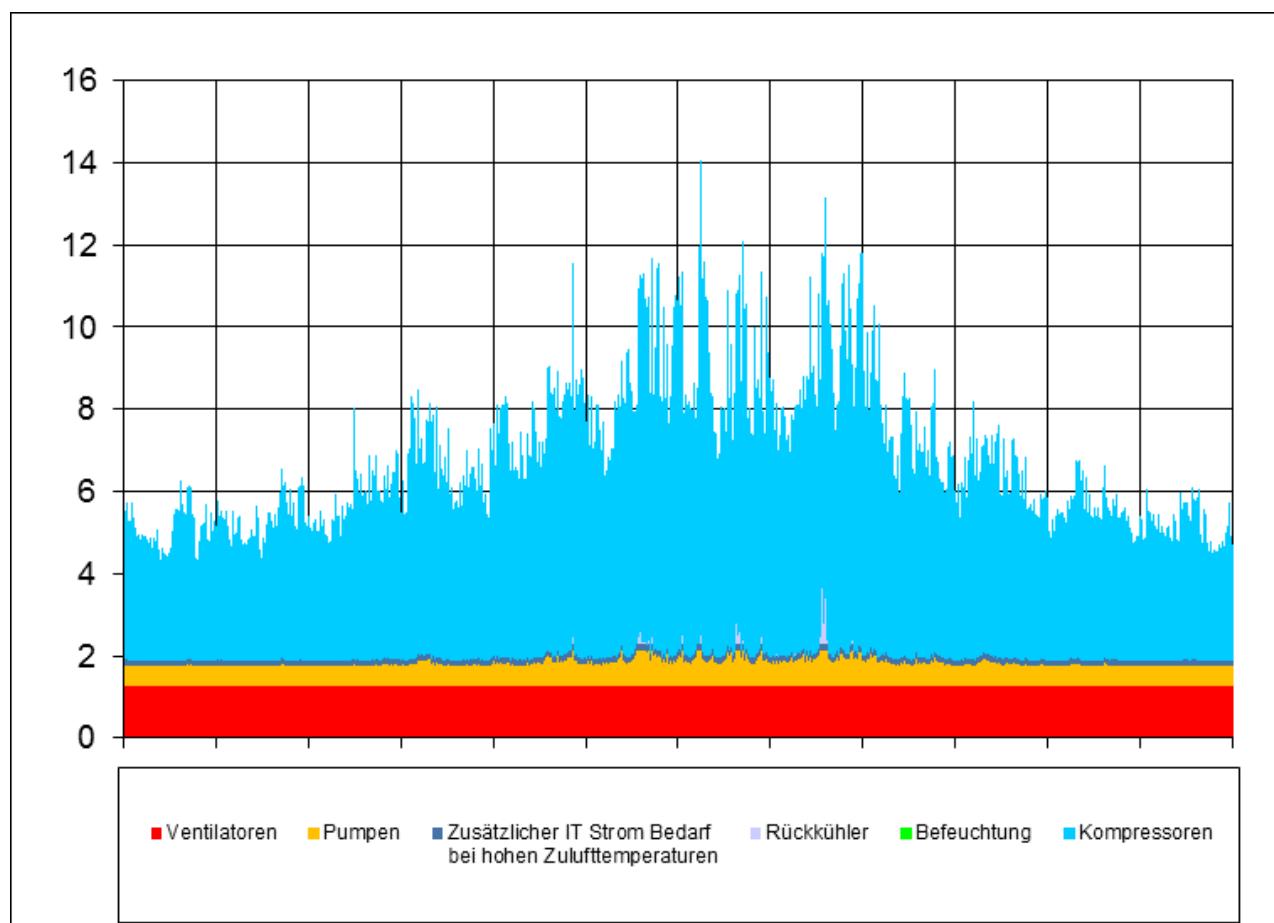
**) Kontrollierte Anhebung der Zulufttemperatur nur bei hohen Außentemperaturen (ab 24 °C), da dadurch das Freikühlpotenzial signifikant vergrößert werden kann und im Vergleich zu einer ganzjährigen unkontrollierten Zulufttemperaturanhebung (vgl. Varianten V0a und V1a des großen freistehenden Rechenzentrums im folgenden Abschnitt 3.5.3) der Mehrverbrauch der Systemtechnik (insbesondere durch intensiveren Lüfterbetrieb) in Grenzen gehalten werden kann. Anmerkung: Durch die berücksichtigte kontrollierte Zuluft ab Variante V2 kann anstelle der Raumlufttemperatur die Zulufttemperatur auf 26 °C angehoben werden.

Variante V0 (Referenzvariante)

Bei dem baulich eingebundenen mittelgroßen Rechenzentrum wird in der Referenzvariante davon ausgegangen, dass dieses über hocheffiziente Umluftkühlgeräte gekühlt wird, welche mittels Kaltwassersätze (Kältemittel R134a) bei Vorlauf-/Rücklauftemperaturen von 6/12 °C versorgt werden. Das Kühlungssystem weist einen SEER von 7,8 auf. Für den Teillastbetrieb im Winter und in der Übergangszeit wurde von einer sehr hohen Effizienz der Kälteerzeugung ausgegangen (EER=13), die in etwa in der gleichen Größenordnung liegt, wie die einer freien Kühlung über die Rückkühler. Eine freie Kühlung über die Rückkühler wurde daher nicht gesondert berücksichtigt. Die Zielwerte der Zulufttemperaturen für das Rechenzentrum werden mit 22 °C angenommen. Die Racks sind überwiegend nach dem Warmgang-Kaltgangprinzip angeordnet (d.h. die Zuluftseiten der Racks sind immer jeweils gegenüber angeordnet, dazwischen befinden sich die Zuluftöffnungen zum Doppelboden). Darüber hinaus ist die Zu- und Abluft jedoch nicht weiter kanalisiert. Die Absaugung der Abluft erfolgt deckennah durch die an den Raumflanken angeordneten hocheffizienten Umluftkühlgeräte (angenommene effektive Lüfterleistung: 0,13 W/m³). Zur Abfuhr der Wärmeleistung von 30 kW wird ein Volumenstrom von 7.500 m³/h benötigt.

Die stundengenauen Ergebnisse sämtlicher Varianten sind in den folgenden Abbildungen als Stapeldiagramm dargestellt.

Abbildung 60: Ergebnis-Darstellung des Stromverbrauchs (Klimatechnik+ ggf. Mehrverbrauch der IT-Technik) des mittelgroßen Serverraumes; Variante 0 (Referenz), in kW

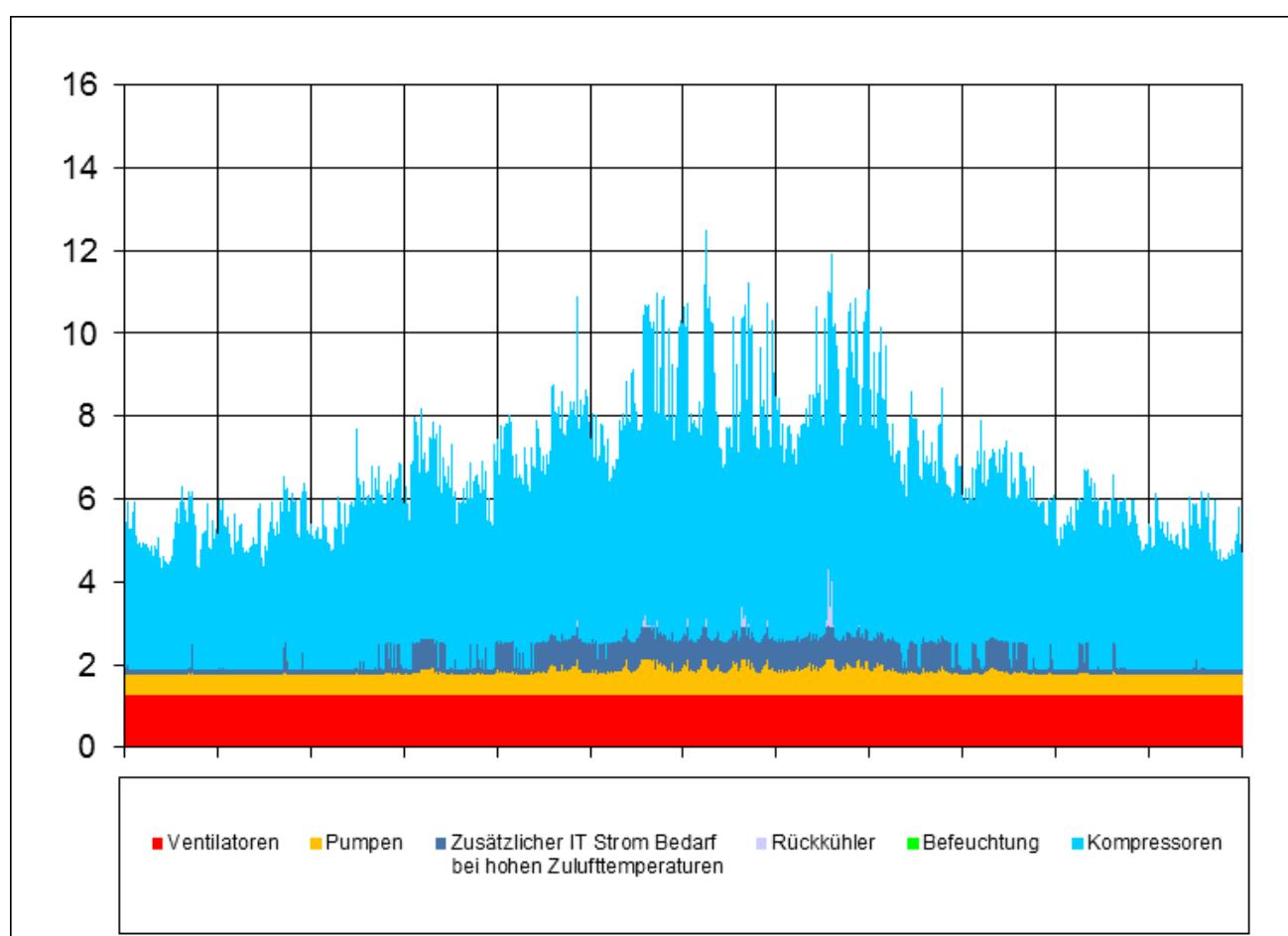


Als Jahresarbeitszahl für die Klimatisierung ergibt sich bei dieser Variante ein Wert von 5,2. Der nur auf die Klimatechnik bezogene EU-Energieverbrauch (EUE) dieser Variante liegt bei 1,20. Der SEER-Wert der Kältemaschine beträgt 7,8.

Variante V1 (Kontrollierte Anhebung der Raumlufttemperatur auf 26 °C im Bedarfsfall)

Ausgehend von der zuvor beschriebenen Referenzvariante wird bei der vorliegenden Variante die Raumlufttemperatur bei Außentemperaturen über 7 °C von 22 °C auf 26 °C angehoben. Dadurch können höhere Kühlungssystemtemperaturen erreicht und damit die Systemeffizienz im Sommer verbessert werden.

Abbildung 61: Ergebnis-Darstellung des Stromverbrauchs (Klimatechnik+ ggf. Mehrverbrauch der IT-Technik) des mittelgroßen Serverraumes; Variante 1, in kW

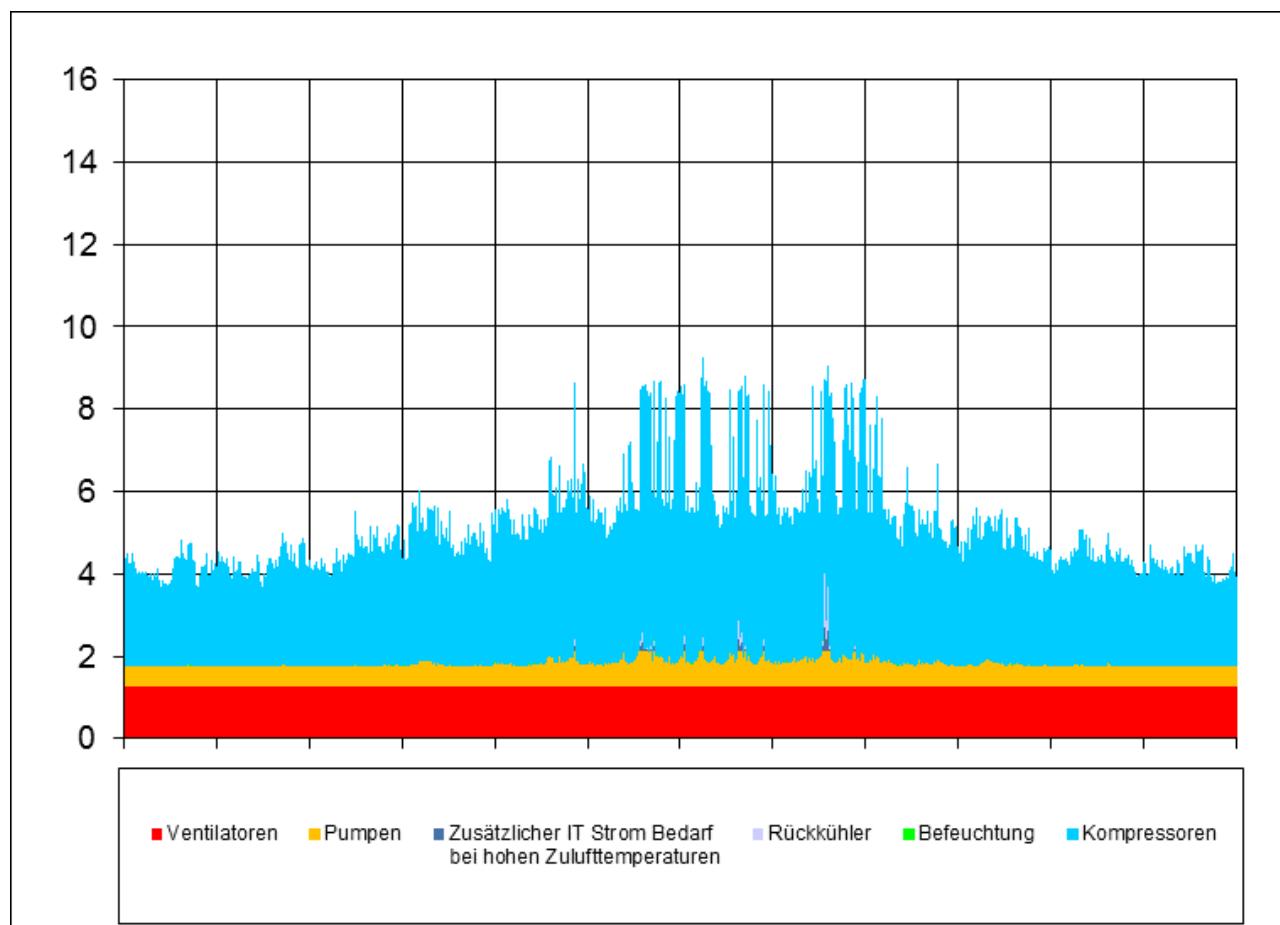


Für die Jahresarbeitszahl ergibt sich ein Wert von 5,5. Der auf die Klimatechnik bezogene EU-Energieverbrauch (EUE) dieser Variante verbessert sich leicht auf 1,19. Der SEER-Wert der Kältemaschine beträgt 8,4. Der Mehrenergiebedarf der Systemtechnik durch erhöhte Raumtemperaturen beträgt ca. 3.200 kWh, d.h. ca. 6 % des Energiebedarfs der Klimatechnik. Dieser wird jedoch durch kontrollierte Anhebung der Raumlufttemperatur und der daraus resultierenden Effizienzverbesserung bei der Klimatechnik überkompensiert.

Variante V2 (wie zuvor, jedoch zusätzlich mit kanalisierter Zu- und Abluft)

Ausgehend von der vorherigen Variante wurde bei der vorliegenden Variante die Zu- und Abluft kanalisiert. Hierbei ist eine Differenzdruckkontrolle zur Gewährleistung eines leichten Überdrucks auf der Zuluftversorgungsseite der Serverschränke erforderlich. Die Zulufttemperatur kann von 22°C im Winter auf 26°C im Sommer bei Außentemperaturen über 23°C angehoben werden, was sich, wie im Folgenden dargestellt, positiv auf die Effizienz des Kühlsystems auswirkt.

Abbildung 62: Ergebnis-Darstellung des Stromverbrauchs (Klimatechnik+ ggf. Mehrverbrauch der IT-Technik) des mittelgroßen Serverraumes; Variante 2, in kW

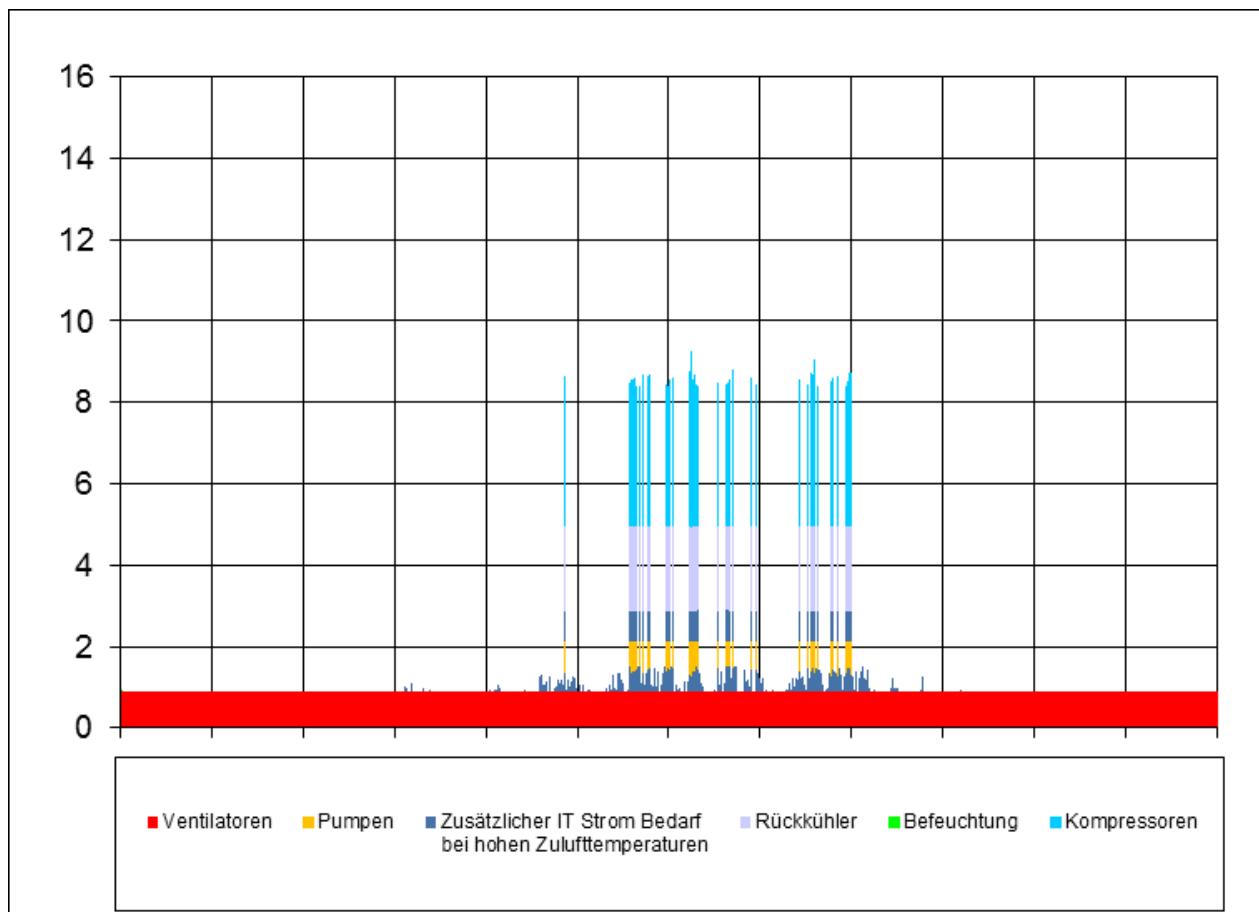


Durch die mögliche Anhebung der Lufttemperaturen in der vorliegenden Variante verbessert sich Jahresarbeitszahl von 5,5 auf 6,5. Der auf die Klimatechnik bezogene EU-E-Wert dieser Variante erreicht 1,16. Der SEER Wert der Kältemaschine steigt auf 10,9.

Variante V3 (wie zuvor, jedoch zusätzlich mit direkter freier Luftkühlung)

Durch die Implementierung einer direkten freien Luftkühlung kann in Kombination mit den übrigen Maßnahmen die notwendige maschinelle Kälteerzeugung auf wenige Stunden im Jahr reduziert werden. Um die erforderliche Qualität der Zuluft zu gewährleisten, ist die Außenluft zu filtern und im Winter mit Umluft zu vermischen und anschließend zu befeuchten. Der notwendige Energiebedarf bei der Verwendung von Sprüh- bzw. Ultraschallbefeuern ist sehr gering.

Abbildung 63: Ergebnis-Darstellung des Stromverbrauchs (Klimatechnik+ ggf. Mehrverbrauch der IT-Technik) des mittelgroßen Rechenzentrums; Variante 3, in kW



Die Jahresarbeitszahl verbessert sich bei dieser Lösung auf 16,5, wobei der SEER-Wert der Kältemaschine wieder leicht auf 8,5 absinkt, da diese nur noch während der heißen Sommerstunden benötigt wird. Der auf die Klimatechnik bezogene EUW-Wert dieser Variante erreicht, wie zuvor, 1,06. Der Gesamtenergiebedarf (Klimatechnik+ Mehrverbrauch der IT-Technik) wird gegenüber der Vorvariante um fast 60 % reduziert.

Variante V4 (wie zuvor, jedoch mit Abwärmenutzung zur Gebäudebeheizung)

Trotz des geringen Heizenergiebedarfs des berücksichtigten Nullenergiegebäudes kann durch die Nutzung der Abwärme des Rechenzentrums zur Verbesserung der Effizienz der Luftwärmepumpe insgesamt 1,8 MWh, entsprechend ca. 10 % des Energiebedarfs für die Klimatisierung des Rechenzentrums gegenüber der Vorvariante, eingespart werden. Die entsprechenden Werte sind in der folgenden Tabelle 73 dargestellt.

Variante V5 (wie zuvor, jedoch mit Implementierung einer PV-Anlage auf dem Dach)

Durch die Implementierung einer 50 kWp großen PV-Anlage auf dem Dach kann der Energiebedarf zur Klimatisierung des Rechenzentrums zu ca. 30 % direkt gedeckt werden. Insgesamt ergibt sich für das Gebäude inklusive Rechenzentrum eine direkte PV-Deckungsrate von 15 %. Die entsprechenden Werte sind in der folgenden Tabelle 73 dargestellt. Nahezu 100 % des erzeugten PV-Stroms können direkt genutzt werden.

Optimierte Praxis-Konzept: Variante V6 (wie zuvor, jedoch mit Propan-Kältemaschine zur Spitzenlastkühlung)

Da bei dem gewählten Konzept die Bauart der Kältemaschine keinen bzw. nur einen vernachlässigbar geringen Einfluss auf den Gesamtenergiebedarf (Klimatechnik+ Mehrverbrauch der IT-Technik) hat, sind bei dieser Variante die Vermeidung der direkten CO₂-Emissionen durch den Verzicht auf fluorierte Kältemittel zu berücksichtigen. Das entsprechende Reduktionspotenzial von 15 % gegenüber der Vorvariante ist in der Tabelle 73 dargestellt

Übersicht der Ergebnisse

In der folgenden Tabelle sind die Ergebnisse der untersuchten Varianten zusammengefasst dargestellt.

Die dargestellte **Gutschrift für die Heizenergieeinsparung** ergibt sich bei den letzten drei untersuchten Varianten aus der Abwärmenutzung des Rechenzentrums zur Verbesserung der Effizienz der Luftwärmepumpe für die Beheizung des Gebäudes. Die **Gutschrift** für die direkt nutzbare **Photovoltaik** ergibt sich bei einer Gleichzeitigkeit des erzeugten Photovoltaikstroms mit dem Lüftungs- und/oder Kühlenergiebedarf des Rechenzentrums.

Tabelle 73: Evaluierte Varianten: Simulationsergebnisse (Bezug Klimatisierung des Rechenzentrums)

	V0	V1	V2	V3	V4	V5	V6
Einheit	MWh/a						
Kühlung Endenergie	54,5	53,9	41,9	17,3	17,3	17,3	17,3
Heizung Einsparung durch RZ-klimatisierung	0,0	0,0	0,0	0,0	1,8	1,8	1,8
Photovoltaik Nutzbar von Kühlung und Lüftung des RZ	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,2	5,2
Einheit	tCO₂eq/a						
TEWI_{direkt}* Klimatisierung	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	0
TEWI_{indirekt}** Klimatisierung	30,5	30,2	23,4	9,7	9,7	9,7	9,7

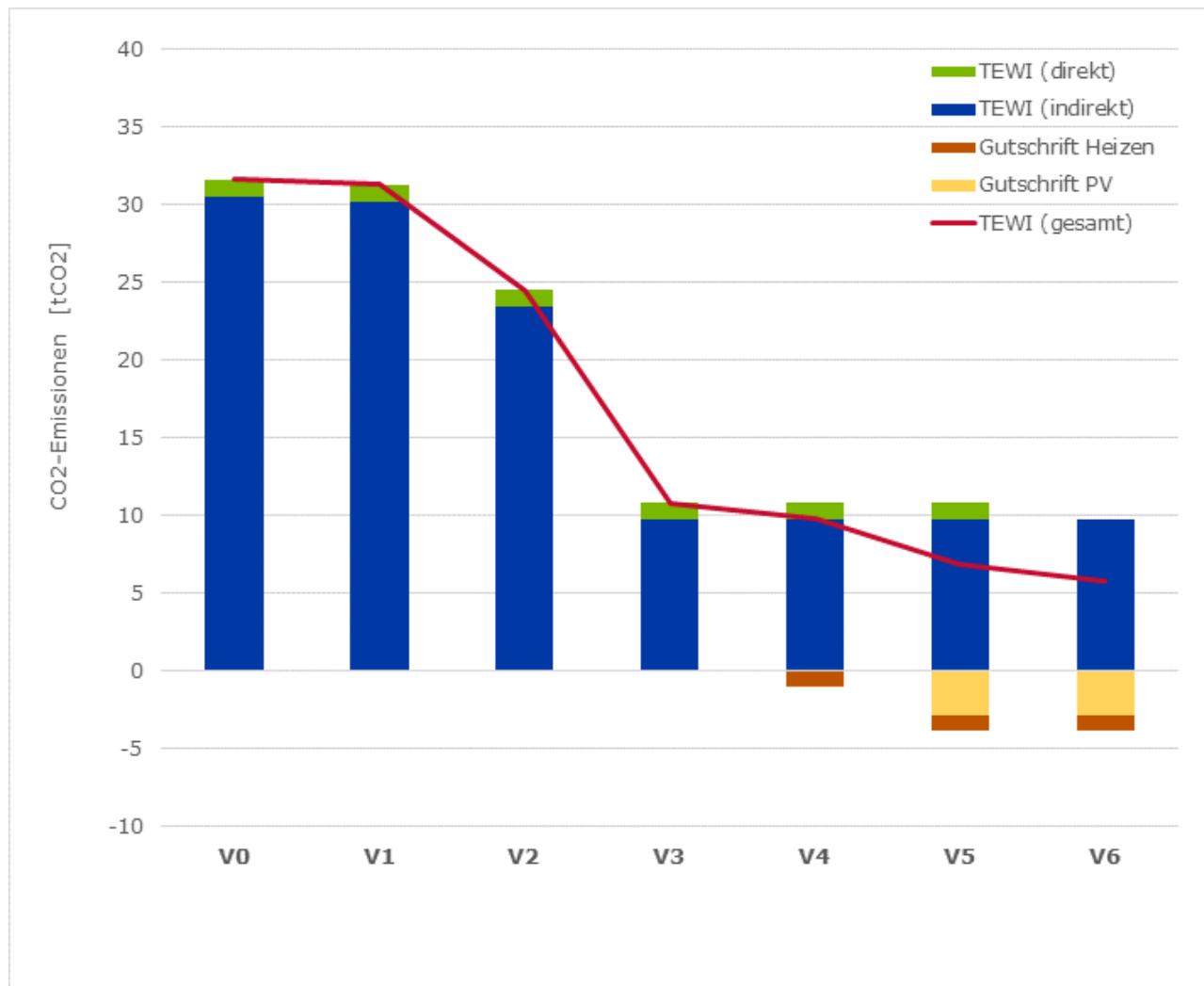
	V0	V1	V2	V3	V4	V5	V6
Gutschrift							
Heizenergieeinsparung	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0	1,0
Gutschrift PVnutzbar (nur f. LÜ und KÜ RZ)	0,0	0,0	0,0	0,0	0	2,9	2,9
TEWI_{gesamt***}	31,6	31,3	24,5	10,8	9,8	6,9	5,8
Einheit	g_{CO2äq/kWh}						
Spez. TEWI_{gesamt****}	120	119	93	41	37	26	22

*) ***) *** siehe Fließtext über Tabelle 71 für eine Erläuterung der entsprechenden Kennwerte.

****) Es handelt sich dabei um das Verhältnis aus TEWI RZ (gesamt) und dem Energiebedarf der IT-Technik (hier: 30 kW über 8.760 h des Jahres = 263 MWh).

Die folgende Abbildung visualisiert die wesentlichen Parameter TEWI RZ (direkt), TEWI RZ (indirekt), Gutschrift Heizenergie, Gutschrift PV und TEWI RZ (gesamt).

Abbildung 64: Ergebnisübersicht der resultierenden äquivalenten CO₂-Emissionen (TEWI) der untersuchten Varianten eines in ein Bürogebäude eingebundenen mittelgroßen Rechenzentrums; Angaben in t CO₂



Variante Varianten-Kurzbeschreibung

V0	Referenzvariante
V1	wie V0 mit kontrollierter Lufttemperaturanhebung
V2	wie V1 mit kanalgebundener Zu- und Abluft
V3	wie V2 mit freier Außenluftkühlung
V4	wie V3 mit Abwärmenutzung zur Verbesserung der Effizienz der Wärmepumpe zur Beheizung des Bürogebäudes
V5	wie V4 mit 50 kWp Photovoltaik auf dem Dach
V6	wie V5 mit Spitzenlastkühlung über Kältemaschine mit Kältemittel Propan

In Kombination mit der kontrollierten Lufttemperaturanhebung und der kanalgebundenen Luftführung ergeben sich bereits TEWI-Reduktionspotenziale bei der Klimatisierung des Rechenzentrums von über 20 % (V2). Der größte Verbesserungssprung von über 50 % wird jedoch durch die Implementierung der freien Lüftung erreicht (V3). Weitere Verminderungspotenziale von 10 % bzw. 30 % werden durch die Nutzung der Abwärme (V4) bzw. die Implementierung einer PV-Anlage (V5) erschlossen. Durch die Vorsehung einer F-Gas-freien Spitzenlastkühlung (V6) kann der TEWI-Wert der RZ-

Klimatisierung schließlich nochmals um 15 % gesenkt werden. Insgesamt ergibt sich gegenüber der bereits recht effizienten Referenzvariante eine mögliche Reduktion des TEWI um über 80 %.

Wirtschaftlichkeit

Die beschriebenen Maßnahmen zur Verbesserung des Klimaschutzes führen zu einer Verminderung der betriebsbedingten Kosten. Während im Ausgangsfall (V0) für Klimatisierung des Serverraumes jährlich über 13.000 €/a⁵⁷ für Energiekosten anfallen, können diese durch die beschriebenen Maßnahmen (V4), ohne Berücksichtigung der PV-Anlage⁵⁸, bereits auf unter 4.000 €/a gesenkt werden: Eine Differenz von fast 10.000 € pro Jahr. Während Variante V1 (Zulufttemperaturanhebung) quasi investitionskostenneutral ist, sind die Varianten V2 (kanalisierte Zu- und Abluft), V3 (freie Außenluftkühlung) und V4 (Abwärmennutzung zur Verbesserung der Effizienz der Wärmepumpe zur Beheizung) mit nicht unerheblichen Investitionskosten verbunden. Es ist davon auszugehen, dass unter Berücksichtigung des Wartungsmehraufwandes (z.B. für Filterwechsel) die Amortisationszeiten der einzelnen Maßnahmen in einem Bereich von ca. 10 Jahren anzusiedeln sind. Auch für Implementierung der Propan-Kältemaschinen ist aufgrund der eingeschränkten Anbieterauswahl mit Mehrkosten zu rechnen. Es ist jedoch davon auszugehen, dass sich diese im vorliegenden Fall im niedrigen dreistelligen Bereich bewegen und somit vergleichsweise von eher untergeordneter Bedeutung sind

⁵⁷ Grundlage: Strompreis 25 ct/kWh

⁵⁸ Die Wirtschaftlichkeit der PV Anlage wurde bereits in Abschnitt 3.5.1. beschrieben

3.5.3 Großes freistehendes Rechenzentrum

Um die Effekte der einzelnen Maßnahmen darzustellen, wurden, wie zuvor, ausgehend von einer effizienten Standard-Klimatisierung des großen freistehenden Rechenzentrums mehrere Varianten berechnet, bei denen die im Folgenden beschriebenen Maßnahmen sukzessive implementiert wurden.

Tabelle 74: Evaluierte Varianten: Bürogebäude mit mehreren kleinen Serverräumen

	V0	V0a	V1	V1a	V2	V3	V4*
Anhebung der Zulufttemperatur auf max. 26 °C	0	X	0	X	X**	X**	X**
Kontrollierte Zuluft (Kaltgangeneinhäusung)	0	0	X	X	X	X	X
Freie Kühlung über Luft/Luft-Wärmeübertrager	0	0	0	0	X	X	X
Adiabatische Kühlung mit konventioneller Backup-Kühlung (R134a)	0	0	0	0	0	X	X
Adiabatische Kühlung mit Backup-Kühlung mit Ammoniak als Kältemittel	0	0	0	0	0	0	X

*) Optimiertes Praxis-Konzept

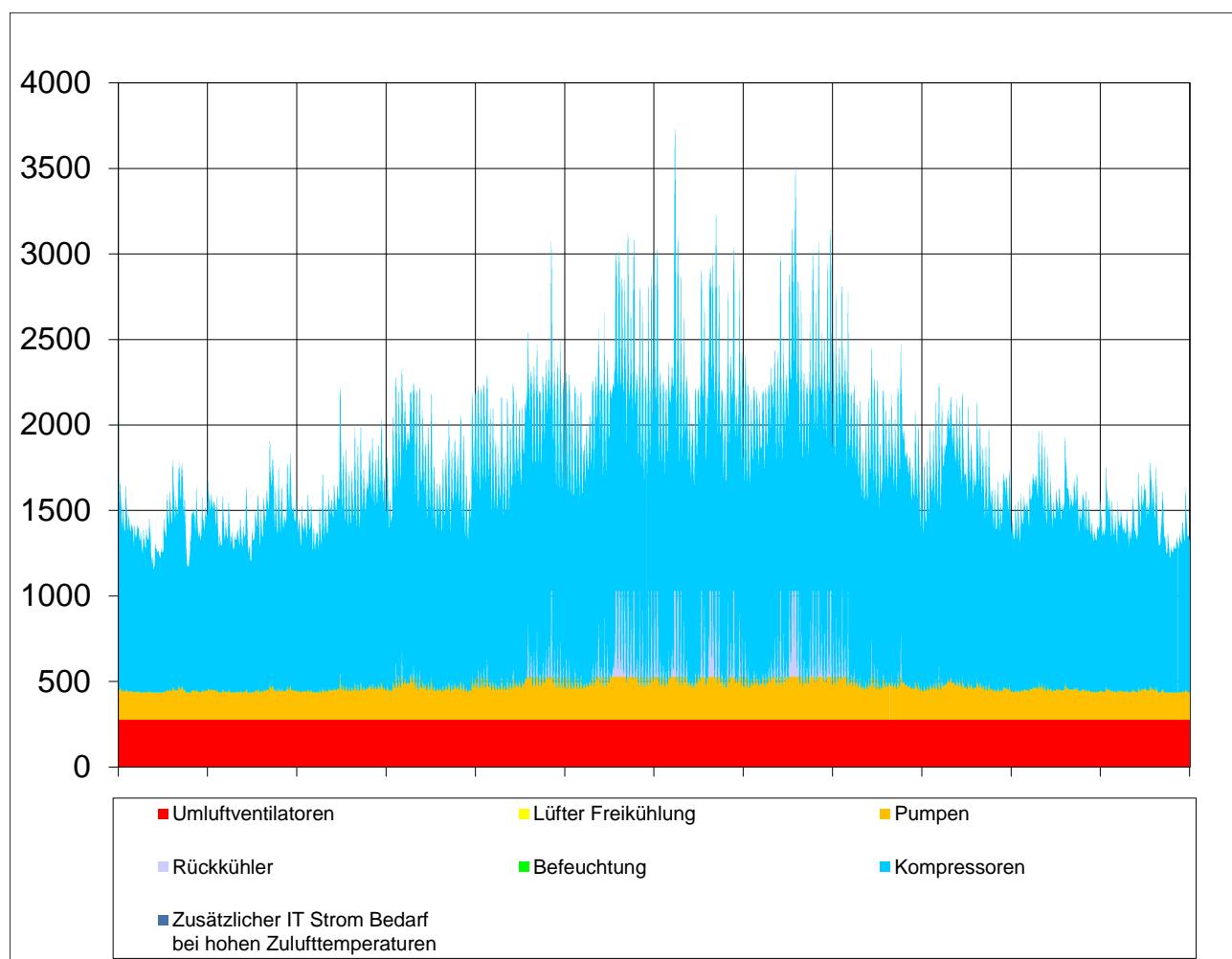
**) Kontrollierte Anhebung der Zulufttemperatur nur bei hohen Außentemperaturen (ab 24 °C), da dadurch das Freikühlpotenzial signifikant vergrößert werden kann und im Vergleich zu einer ganzjährigen unkontrollierten Zulufttemperaturanhebung (vgl. Varianten V0a und V1a) der Mehrverbrauch der Systemtechnik (insbesondere durch intensiveren Lüfterbetrieb) in Grenzen gehalten werden kann

Variante V0 (Referenzvariante)

Bei der Referenzvariante wird davon ausgegangen, dass das zuvor beschriebene Rechenzentrum (Abschnitt 3.4.3) über hocheffiziente Turbokältemaschinen (SEER=7,6) bei Vorlauf-/Rücklauftemperaturen von 6/12 °C gekühlt wird. Aufgrund der angenommenen sehr hohen Effizienzwerte im Teillastbetrieb (EER bis 13) wurde aus Veranschaulichungsgründen bei der Referenzvariante auf eine freie Kühlung über die Rückkühler verzichtet. Die Lufttemperaturen im Systemtechnikraum werden mit 22 °C angenommen. Die Racks sind überwiegend nach dem Warmgang-Kaltgangprinzip angeordnet (d.h. die Zuluftseiten der Racks sind immer gegenüber angeordnet, dazwischen befinden sich die Zuluftöffnungen zum Doppelboden). Darüber hinaus ist die Zu- und Abluft nicht weiter kanalisiert. Die Absaugung der Abluft erfolgt deckennah durch die an den Raumflanken angeordneten hocheffizienten Umluftkühlgeräte (angenommene effektive Lüfterleistung: 0,13 W/m³). Zur Abfuhr der Wärmeleistung von 9 MW wird ein Volumenstrom 2,3 Mio. m³/h von 10 °C kalter Zuluft benötigt.

Die stundengenauen Ergebnisse dieser und der folgenden Varianten sind in den folgenden Abbildungen als Stapeldiagramm dargestellt.

Abbildung 65: Ergebnis-Darstellung Variante 0 (Referenz), Stromverbrauch (Klimatechnik+ggf. Mehrverbrauch der IT-Technik) in kW

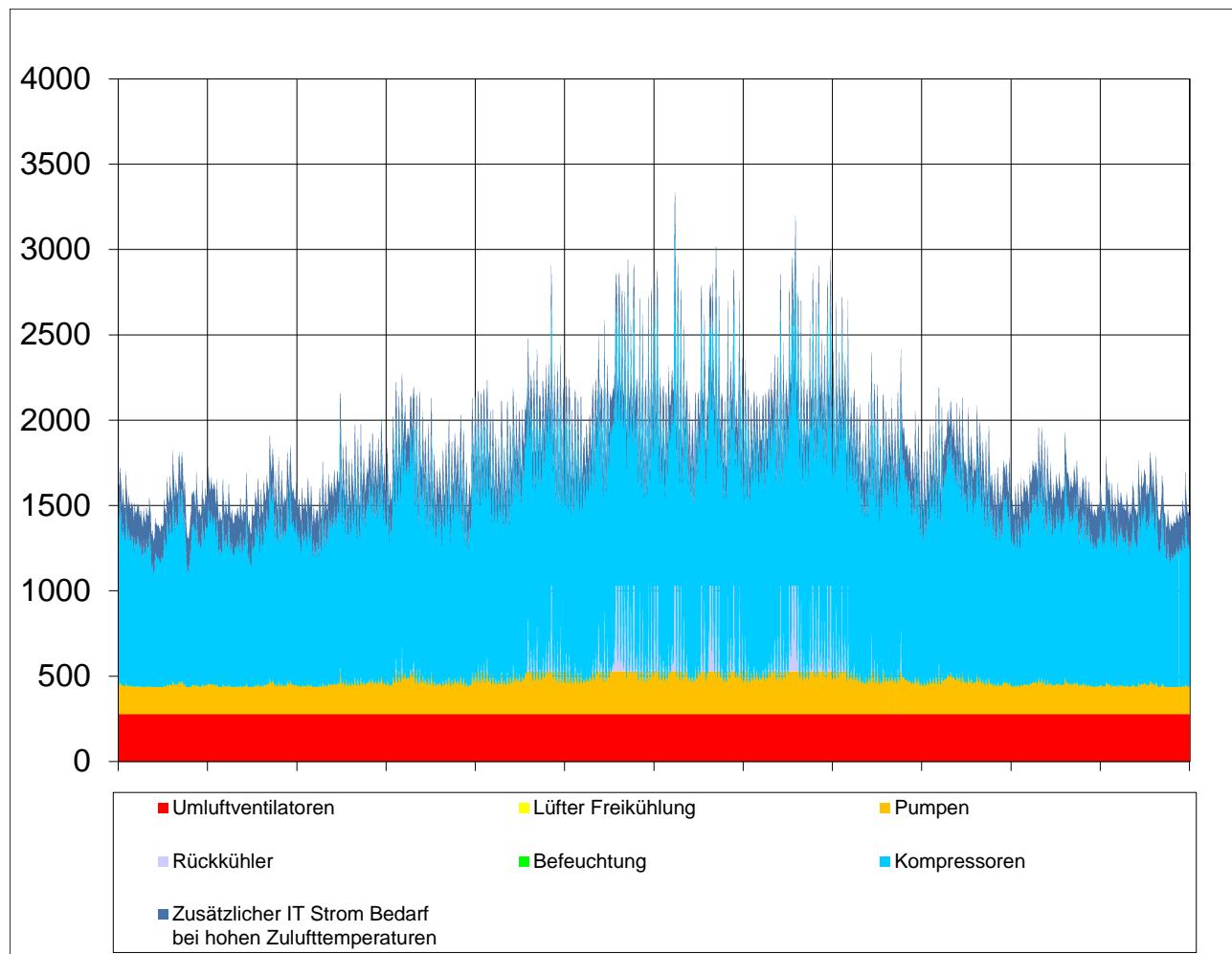


Als Jahresarbeitszahl für die Klimatisierung ergibt sich bei dieser Lösung ein Wert von 5,3. Der auf die Klimatechnik bezogene EU-Energieverbrauchswert dieser Variante liegt bei 1,20. Der SEER Wert der Kältemaschine beträgt 7,6.

Variante V0a (erhöhte Zulufttemperatur)

Gegenüber der Referenzvariante wurde bei der vorliegenden Variante die Zulufttemperatur in den Serverräumen ganzjährig von 22 °C auf 26 °C angehoben.

Abbildung 66: Ergebnis-Darstellung Variante 0a (erhöhte Zulufttemperatur), Stromverbrauch (Klimatechnik+ ggf. Mehrverbrauch der Systemtechnik) in kW

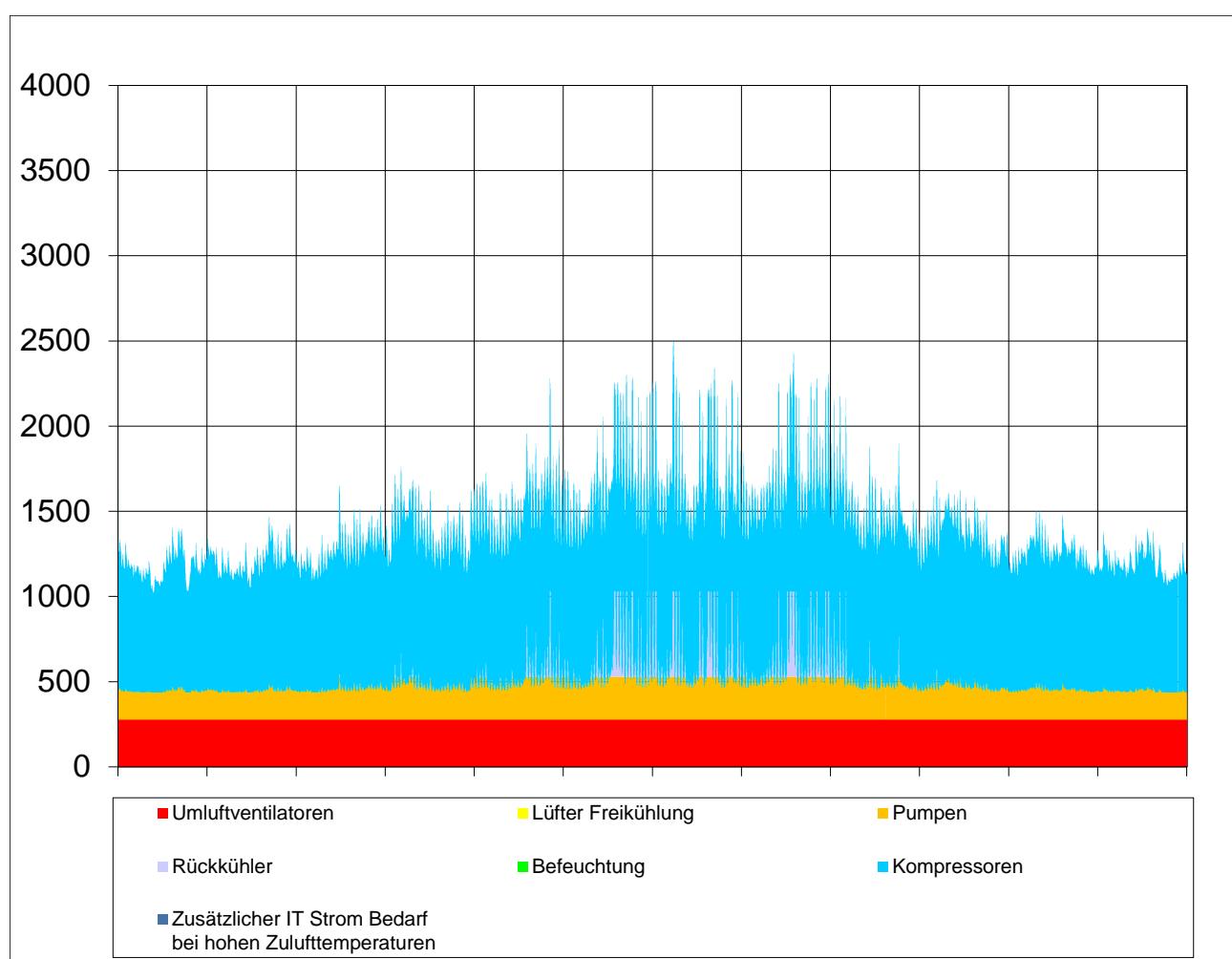


Durch die höhere Raumtemperatur wird die Effizienz der Klimatisierungssysteme verbessert: für die Jahresarbeitszahl ergibt sich ein Wert von 5,7. Der auf die Klimatechnik bezogene EU-E-Wert dieser Variante erreicht 1,18. Der SEER Wert der Kältemaschine beträgt 8,6. Aufgrund des temperaturanstiegsbedingten Mehrverbrauchs der Systemtechnik steigt jedoch der Gesamtenergiebedarf (Klimatechnik+ Mehrverbrauch der IT-Technik) um ca. 4 % an.

Variante V1 (Kontrollierte Zuluft → Kaltgangeinhausung)

Gegenüber der Referenzvariante wurde bei der vorliegenden Variante der Kaltgang eingehaust und eine Differenzdruckkontrolle zur Gewährleistung eines leichten Überdrucks im Kaltgang installiert. Die Zulufttemperatur kann dadurch von 10 °C auf 22 °C angehoben werden, was sich positiv auf die Effizienz des Kühlsystems auswirkt.

Abbildung 67: Ergebnis-Darstellung Variante 1 (Kontrollierte Zuluft → Kaltgangeinhausung), Stromverbrauch (Klimatechnik+ggf. Mehrverbrauch der IT-Technik) in kW

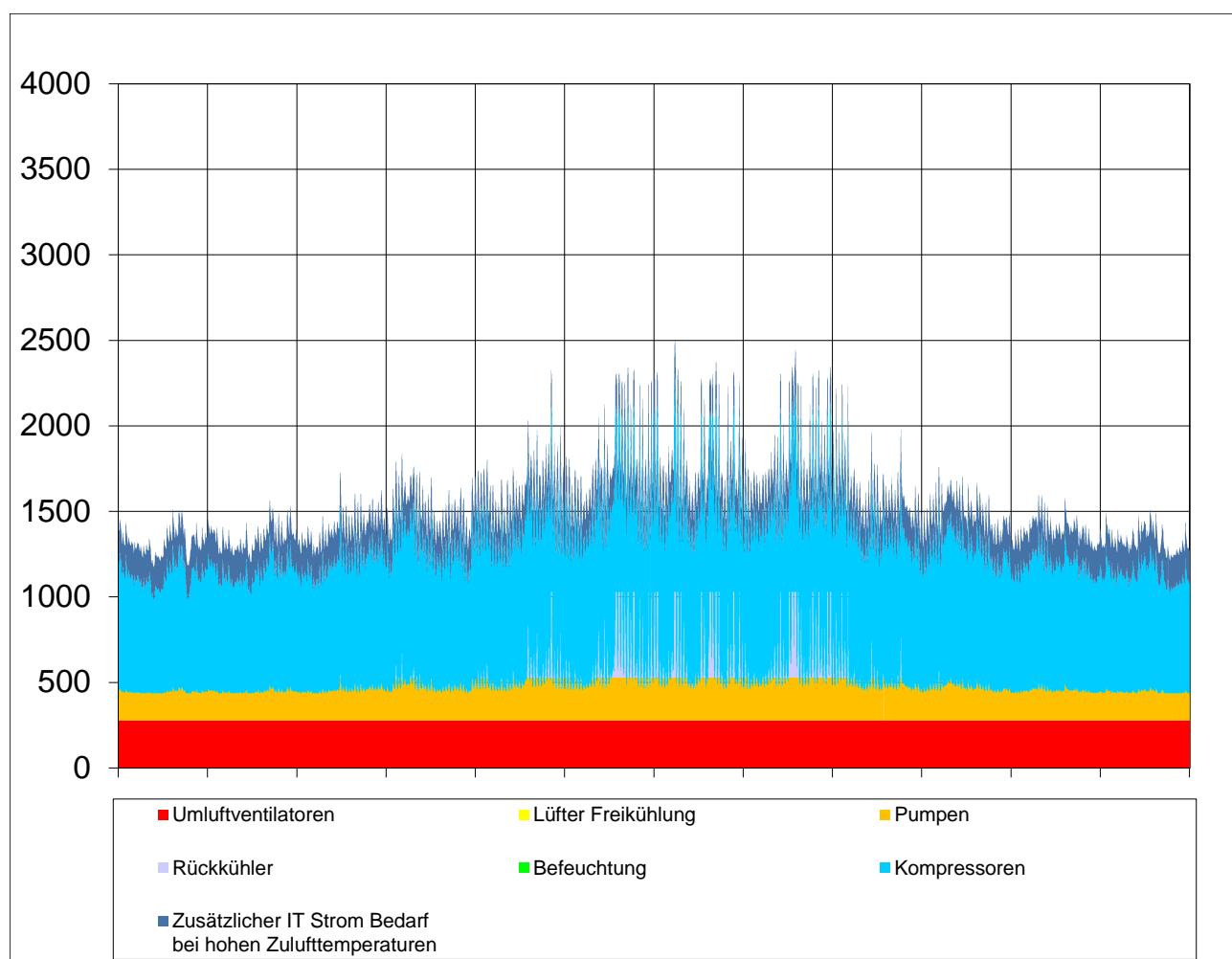


Als Jahresarbeitszahl ergibt sich bei dieser Variante ein Wert von 6,6. Der auf die Klimatechnik bezogene EU-E-Wert dieser Variante erreicht 1,16. Der SEER Wert der Kältemaschine steigt auf 10,5. Der Gesamtenergiebedarf für die Klimatisierung sinkt durch diese Maßnahme gegenüber der Referenz um ca. 21 %.

Variante V1a (Kaltgangeinhäusung und erhöhte Zulufttemperaturen)

Gegenüber der Referenzvariante wurde bei der vorliegenden Variante die Zulufttemperatur im Kaltgang ganzjährig von 22 °C auf 26 °C angehoben.

Abbildung 68: Ergebnis-Darstellung Variante 1a (Kaltgangeinhäusung und erhöhte Zulufttemperaturen), Stromverbrauch (Klimatechnik+ ggf. Mehrverbrauch der IT-Technik) in kW

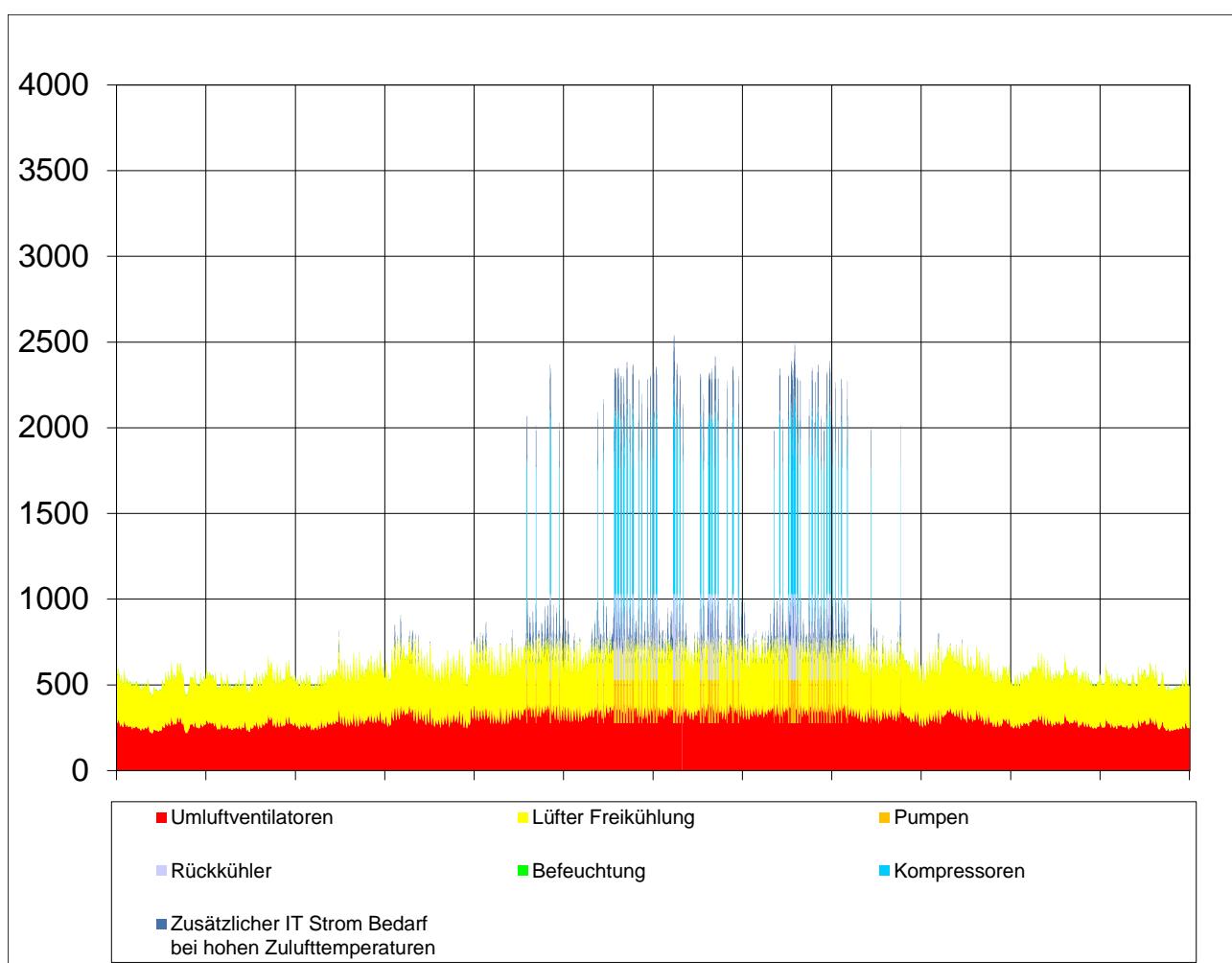


Durch die höhere Raumtemperatur verbessert sich die Effizienz des Klimatisierungssystems weiter: als Jahresarbeitszahl ergibt sich ein Wert von 7,0. Der auf die Klimatechnik bezogene EUE-Wert dieser Variante sinkt auf 1,14. Der SEER Wert der Kältemaschine beträgt 11,1. Aufgrund des temperaturanstiegsbedingten Mehrverbrauchs der Systemtechnik steigt jedoch der Gesamtenergiebedarf (Klimatechnik+ Mehrverbrauch der IT-Technik) um ca. 10 % an.

Variante V2 (wie zuvor + Luft/Luft-Wärmeübertrager und kontrollierter Zulufttemperaturanhebung)

Bei der Variante V2 wurde, aufbauend auf der Variante 1a, ein Freikühlsystem mittels Luft-Luft-Wärmeübertrager (Effizienz 85 %) implementiert. Der zusätzliche Lüftungsenergiebedarf durch die hinzugekommenen leistungsgeregelten Ventilatoren beträgt 0,18 W/m³. Die Anhebung der Zulufttemperatur von 22 °C im Winter auf 26 °C erfolgt nur dann, wenn hierdurch eine mechanische Kühlung zu Gunsten der Freikühlung vermieden werden kann und wenn die mechanische Kühlung im Sommer aktiviert werden muss. Gemäß Simulation ist dies für ca. 16 % der Stunden eines Jahres der Fall.

Abbildung 69: Ergebnis-Darstellung Variante 2 (wie V1 + Luft-Luft Wärmeübertrager und kontrollierte Zulufttemperaturanhebung), Stromverbrauch (Klimatechnik+ ggf. Mehrverbrauch der IT-Technik) in kW

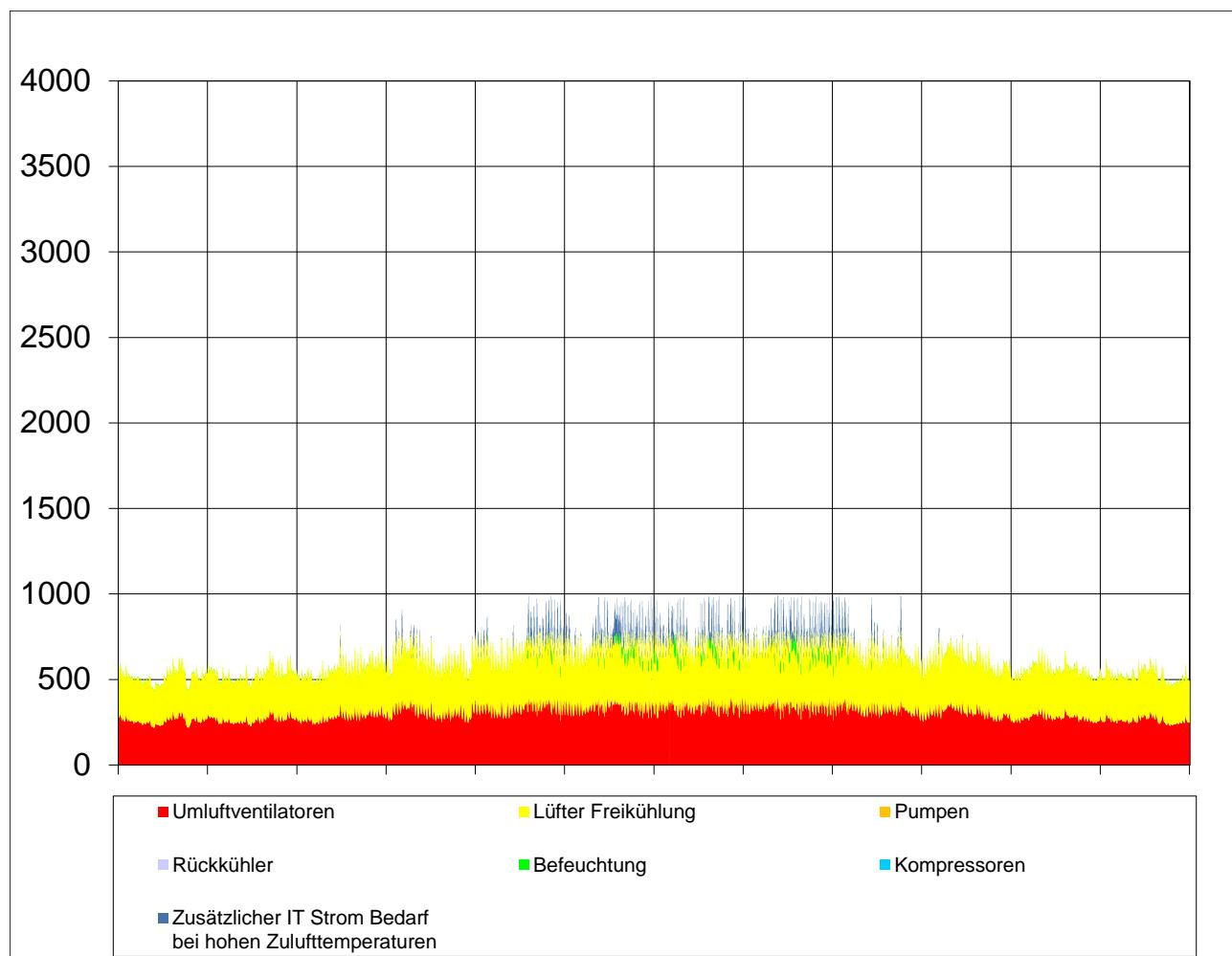


Durch die Implementierung der Freikühlung über effiziente Luft/Luft-Wärmeübertrager und die kontrollierte Anhebung der Zulufttemperatur während der warmen Tage ergibt sich gegenüber vorherigen Varianten eine deutliche Verbesserung: als Jahresarbeitszahl ergibt sich ein Wert von 14,6. Der auf die Klimatechnik bezogene EU-E-Wert dieser Variante fällt auf 1,07. Der SEER-Wert der Kältemaschine fällt, da diese nur noch während der sehr warmen Stunden in Betrieb ist, auf 8,9. Dies fällt jedoch aufgrund der geringen Betriebszeiten gesamtenergetisch nicht ins Gewicht. Der Gesamtenergiebedarf (Klimatechnik+ Mehrverbrauch der IT-Technik) wird gegenüber der Vorvariante um 55 % reduziert.

Variante V3 (wie zuvor + Adiabatische Kühlung)

Bei der vorliegenden Variante wird der Luft/Luft-Wärmeübertrager mit einem Luftbefeuchter zur adiabatischen Kühlung ausgerüstet. Der für die Befeuchtung erforderliche Energiebedarf wird bei den Berechnungen berücksichtigt. Durch die adiabatische Kühlung wird es möglich, den mechanischen Kühlenergiebedarf auf Null zu reduzieren. Hierzu ist eine Befeuchtung an 424 Stunden des Jahres, d.h. ab einer Außentemperatur von ca. 24°C, erforderlich.

Abbildung 70: Ergebnis-Darstellung Variante 3 (wie V2 + mit Adiabatischer Kühlung), Stromverbrauch (Klimatechnik+ ggf. Mehrverbrauch der IT-Technik) in kW



Als Jahresarbeitszahl ergibt sich bei dieser Lösung ein Wert von 15,1. Der auf die Klimatechnik bezogene EU-Energieverbrauch dieser Variante erreicht, wie zuvor 1,07. Der Gesamtenergiebedarf (Klimatechnik+ Mehrverbrauch der IT-Technik) wird gegenüber der Vorvariante um 11 % reduziert.

Optimiertes Praxis-Konzept:

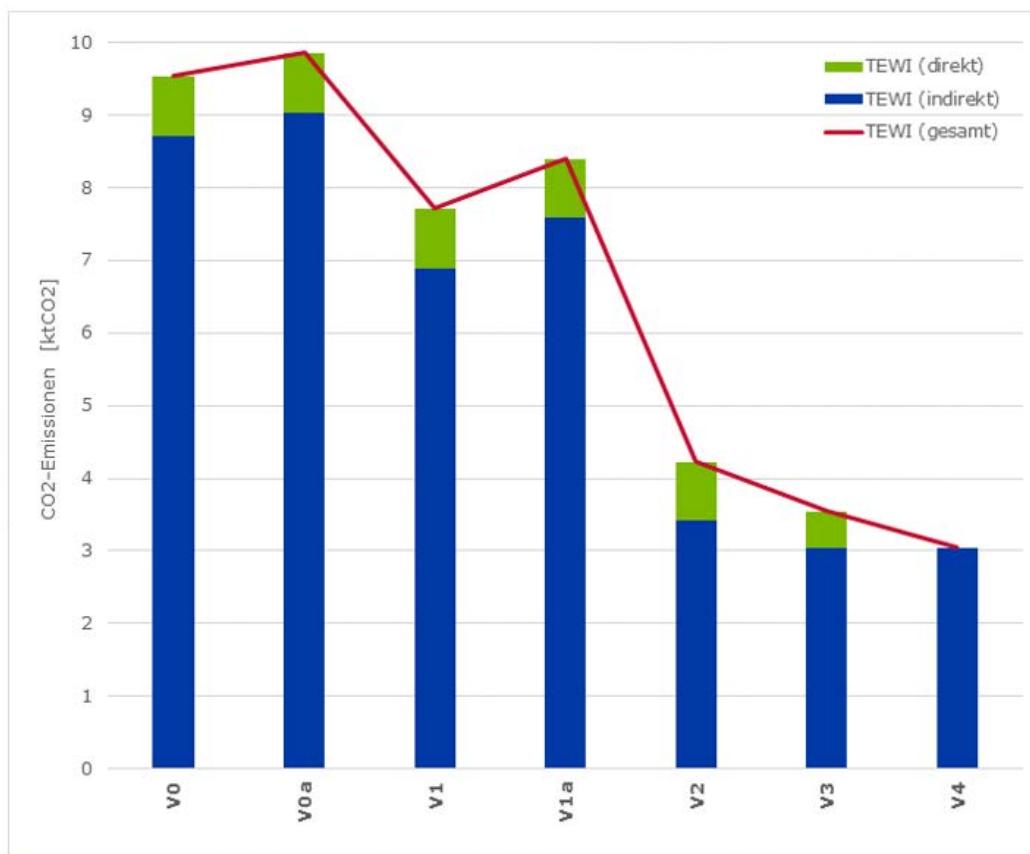
Variante V4 (wie zuvor + Redundanzkühlungssystem mit natürlichen Kältemitteln)

Da das Redundanzkühlungssystem energetisch nicht relevant ist (es wird im Normalbetrieb nicht benötigt), ergeben sich bei dieser Variante die gleichen energetischen Kennwerte wie bei der Variante zuvor. Durch die Implementierung der F-Gas-freien Redundanzkühlung und der damit verbundenen Vermeidung direkter Emissionen können die jährlichen Treibhausgasemissionen gegenüber der Vorvariante nochmals um 14 % reduziert werden.⁵⁹

Übersicht der Ergebnisse

Eine Übersicht der zuvor beschriebenen Ergebnisse aller Varianten zeigt die folgende Darstellung.

Abbildung 71: Ergebnis-Übersicht resultierenden äquivalenten CO₂-Emissionen (TEWI, direkt: grün, indirekt: blau⁶⁰) der untersuchten Varianten des großen freistehenden Rechenzentrums in kt CO₂



⁵⁹ Grundlage der Berechnungen der direkten CO₂-Emissionen des Referenzsystems: installierte Kälteleistung 40 MW, Kältemittel: 12 t R134a (GWP: 1.430 kg CO₂/kg), jährliche Leckageraten 3,76 %, Entsorgungsverlust 21,6 %; Lebensdauer der Kälteanlage 25 Jahre

⁶⁰ Zu Grunde gelegter CO₂-Emissions-Faktor für Strom 559 g CO₂/kWh gem. Quelle: UBA 23/2014 Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen des deutschen Strom-Mix in den Jahren 1990 bis 2013; http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/climate_change_23_2014_komplett.pdf, abgerufen am 27.10.2014

Variante	Varianten-Kurzbeschreibung
V0	Referenzvariante
V0a	wie V0 aber mit Zulufttemperatur = 26°C
V1	Kaltgangeinhausung
V1a	wie V1 aber mit Zulufttemperatur = 26°C
V2	wie V1a aber mit freier Kühlung
V3	wie V2 aber mit freier adiabatischer Kühlung
V4	wie V3 aber mit F-Gas-freier Redundanz

Durch die Implementierung der beschriebenen Verbesserungsmaßnahmen kann der TEWI-Wert um ca. 70 % im Vergleich zum bereits effizienten Referenzwert (V0) reduziert werden. Bezogen auf den in Tabelle 71 eingeführten spezifischen $\text{TEWI}_{\text{gesamt}}$ -Wert bedeutet dies eine Reduktion von 120 g/kWh auf 38 g/kWh.

Alternativ zur freien und adiabatischen Kühlung, ist, wie zuvor beschrieben, auch eine Kühlung des Rechenzentrums über Grundwasser möglich. Die im Rahmen eines bislang unveröffentlichten Forschungsvorhabens ermittelten erreichbaren Effizienzen und Systemkosten sind teilweise als noch günstiger zu beurteilen als bei der hier detailliert untersuchten freien Kühlung über Luft-Luft-Wärmeübertrager. Bedingt durch die hydrologischen und genehmigungsseitigen Rahmenbedingungen sind Grundwasserkühlkonzepte jedoch nicht überall einsetzbar. Daher wurde im Rahmen dieser Untersuchung auf eine detaillierte Berechnung verzichtet.

Eine weitere Reduktion wäre durch die Erzeugung bzw. den Bezug von klimaschonendem Strom möglich. Als klimaschonende Stromerzeuger kommen neben PV- und Windkraftanlagen auch mit Biomasse betriebene KWK-Anlagen in Frage. In diesem Fall wird jedoch zusätzlich eine ganzjährige Abnahmequelle für die Wärme benötigt.

Es ist davon auszugehen, dass durch die Direktnutzung des Stromes (ohne Speicherung) aus geeignet dimensionierten und dem Rechenzentrum zugeordneten PV- und Windkraftanlagen⁶¹ eine weitere Reduktion des TEWI-Werts für die Rechenzentrumsklimatisierung um mehr als 50 % erreicht werden kann. Der erreichbare Deckungsanteil für direkt nutzbaren Strom für das gesamte Rechenzentrum läge dabei in einer Größenordnung von 30 %.

Als alternative Möglichkeit einer klimaschonenden Energieversorgung böte es sich darüber hinaus an, auch den Strom für das Rechenzentrum und dessen Klimatisierung vollständig über eine Biomasse-KWK-Anlage zu erzeugen. Anstelle von Freikühleinrichtungen könnten, analog zu den im RenewIT-Projekt vorgeschlagenen Lösungen (vgl. Tabelle 6.1), Absorptionskältemaschinen vorgesehen werden. Je nach Anrechnungsmethode des aus Kraft-Wärme-Kopplung erzeugten Stromes und der Wärme ergäben sich dabei für Klimatisierung sogar negative TEWI-Werte. Aufgrund der begrenzten Verfügbarkeit von Biomasse und den nicht unumstrittenen Emissionsfaktoren derselbigen sind jedoch Systeme, die den Kühlenergiebedarf reduzieren und damit Ressourcen schonen, wie die zuvor beschriebene, als beste Praxislösung zu bevorzugen.

⁶¹ Im vorliegenden Beispiel z.B. Windkraftanlagen mit insgesamt 9 MW (d.h. z.B. 6 mittelgroße Windkraftanlagen a 1,5 MW) und Photovoltaikanlagen mit 9 MWp (entsprechend einer PV Fläche von ca. 60.000 m² bzw. einer Landfläche von 20 ha)

Wirtschaftlichkeit

Durch die zuvor beschriebenen Maßnahmen kann der Energieverbrauch für die Klimatechnik der Ausgangsvariante (V0) durch die Implementierung der Verbesserungsmaßnahmen bei der besten Praxis Lösung (V4) von 15,6 GWh/a auf 5,4 GWh/a gesenkt werden. Unter der Annahme eines Strom-Arbeitspreises von 150 €/MWh ergeben sich allein hieraus jährliche Energiekosteneinsparungen von über 1,5 Mio. €/a. Mit 1,1 Mio. €/a wird dabei der größte Anteil dieser Einsparungen durch die Implementierung der Freikühlung über effiziente Luft/Luft-Wärmeübertrager erreicht⁶². Bis dato wurden erst wenige große Rechenzentren mit Freikühlsystemen mit Luft/Luft-Wärmeübertragern und adiabatischen (Spitzenlast-) Kühlung ausgestattet. Daher liegen noch keine belastbaren Daten zu Kosten bzw. Amortisationszeiten dieser Systeme vor. Es ist jedoch davon auszugehen, dass sich selbst unter Berücksichtigung des erhöhten Flächenbedarfs, wenn überhaupt, nur sehr geringe Mehrkosten gegenüber einer konventionellen Klimatisierung ergeben. Da im Falle der Implementierung einer Anlage zur adiabatischen (Spitzenlast-) Kühlung der Kühlenergiebedarf vollständig über das alternative Kühlsystem gedeckt werden kann, kann im untersuchten Fall (V3) auf 15 MW konventionelle Kälteerzeuger verzichtet werden. Die Backup-Kapazität von 25 MW zum Erreichen der erforderlichen redundanten Auslegung von $2(n+1)$ muss dabei natürlich erhalten bleiben. Da die Betriebskosten (Wartungs- und Wasser- bzw. Strombedarf⁶³) deutlich geringer als bei einer konventionellen Kälteerzeugung sind, wird, selbst im Falle von Investitionsmehrkosten, eine Amortisation innerhalb von wenigen Monaten erreicht. Dies ist sicherlich auch der wesentliche Grund weshalb sich diese Technik einer zunehmenden Marktakzeptanz erfreut. Die Vorsehung von Ammoniak-Kältemaschinen zur Bereitstellung der notwendigen Reserveleistung ist ebenfalls nahezu kostenneutral bzw. aufgrund der derzeit im Vergleich zu konventionellen Turbokältemaschinen noch etwas eingeschränkten Konkurrenz am Markt sowie ggf. zusätzliche notwendigen Maßnahmen zur Erfüllung der gesetzlichen Anforderungen mit geringfügigen Mehrkosten verbunden. Gleiches ist für die Wartung anzunehmen. Im Falle der Ammoniak-Kältemaschine werden speziell geschulte Techniker benötigt. Diese möglichen Mehrkosten bei der Wartung der Anlagen mit natürlichen Kältemitteln stehen Minderkosten bei der Befüllung der Anlagen mit synthetischen Kältemitteln gegenüber. Es ist davon auszugehen, dass die Kosten für synthetische Kältemittel aufgrund der F-Gas-Verordnung künftig deutlich steigen.

⁶² Erforderliche Anlagengröße: 2,3 Mio m³/h

⁶³ Dem jährlichen Wasserbedarf von 4000 m³/a (Kosten ca. 8000 €/a) für die adiabatische Spitzenlastkühlung steht ein Strommehrverbrauch für die konventionelle Spitzenlastkühlung von 660 MWh mit entsprechenden Mehrkosten von 100.000 €/a gegenüber.

3.6 Zusammenfassende Bewertung der Ergebnisse

Durch die Darstellung und Untersuchung der optimierten Konzepte für die drei Typenklassen

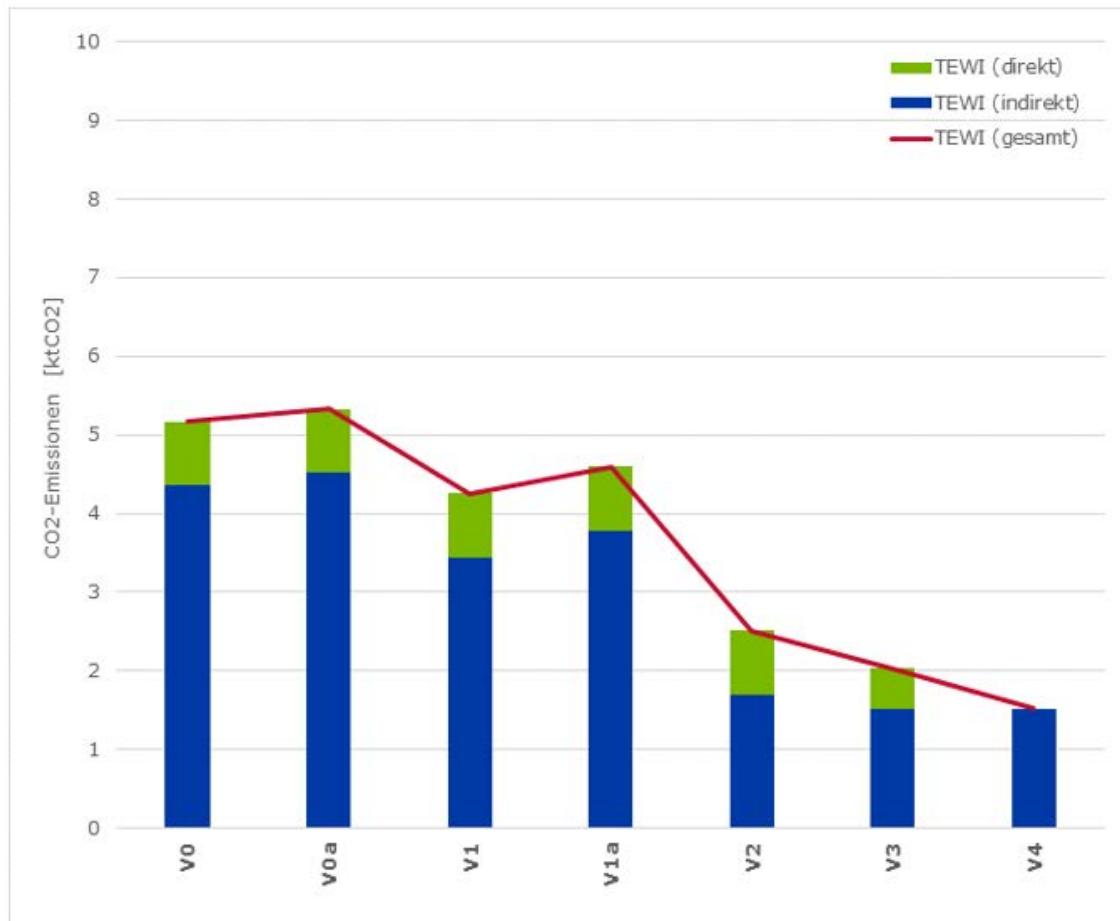
1. kleine Serverräume,
2. baulich eingebundenes mittelgroßes Rechenzentrum und
3. großes freistehendes Rechenzentrum

konnte gezeigt werden, dass, ausgehend von bereits energieeffizienten Referenzausführungsvarianten, Verbesserungspotenziale der TEWI-Werte von 70 % bis 100 % möglich sind. Bei allen Größenklassen ist es möglich, durch die Implementierung von Klimaanlagen mit F-Gas-freien Kältemitteln die TEWI-Werte nochmals deutlich zu senken. Für das große und mittlere Rechenzentrum liegen die Reduktionspotenziale durch die Implementierung von Klimaanlagen mit natürlichen Kältemitteln in einer Größenordnung von 15 %. Rechnerisch ergeben sich bei den kleinen eingebundenen Serverräumen durch die Berücksichtigung einer Klimaanlage mit natürlichen Kältemitteln sogar deutlich negative TEWI-Werte. Geht man davon aus, dass entsprechend der Anforderungen an den Klimaschutz künftig der Emissionsfaktor für Strom sinkt, gewinnen die direkten Emissionen aus Kältemittelleckagen, Havarien und Entsorgung zunehmend an Bedeutung. Bei einer Reduktion des Emissionsfaktors für Strom um 50 % beträgt das TEWI-Verbesserungspotenzial, welches sich durch die Vorsehung von Kälteanlagen mit natürlichen Kältemitteln ergibt, wie in der folgenden Abbildung dargestellt, beispielsweise bereits 30 %.

Der relative Vorteil des optimalen Praxis-Konzeptes mit F-Gas-freier Redundanzkälte gegenüber Lösungen mit konventionellen Kältemitteln steigt bei einem künftig zu erwartenden sinkenden CO₂-Emissions-Faktor für Strom aufgrund des zu erwartenden weiteren Ausbaus der erneuerbaren Energien.

Alle dargestellten Lösungskonzepte weisen gegenüber dem Referenzkonzept mit effizienter konventioneller Klimatisierung erheblich reduzierte Betriebskosten auf. Hinsichtlich der Investitionskosten ist vor allem bei den kleinen Serverräumen und dem mittelgroßen, baulich eingebundenen Rechenzentrum mit signifikanten Mehrkosten zu rechnen. Es ist jedoch davon auszugehen, dass sich die höheren Investitionen in weniger als 10 Jahren amortisieren werden. Die Implementierung des optimierten Konzepts für das große freistehende Rechenzentrums ist, wenn überhaupt, nur mit geringfügigen Investitions-Mehrkosten verbunden, die sich ggf. innerhalb weniger Monate amortisieren.

Abbildung 72: Ergebnis-Übersicht resultierenden CO₂-Emissionen (direkt: rot, indirekt: blau) der untersuchten Varianten des großen freistehenden Rechenzentrums bei einer angenommenen zukünftigen Reduzierung des CO₂-Emissions-Faktors für Strom um 50 % auf 280 g CO₂/kWh in kt CO₂



Variante	Varianten-Kurzbeschreibung
V0	Referenzvariante
V0a	wie V0 aber mit Zulufttemperatur = 26°C
V1	Kaltgangeinhäusung
V1a	wie V1 aber mit Zulufttemperatur = 26°C
V2	wie V1a aber mit freier Kühlung
V3	wie V2 aber mit freier adiabatischer Kühlung
V4	wie V3 aber mit F-gas-freier Redundanz

4 Empfehlungen für klimaschonendere Wärme- und Kälteversorgung von Gebäuden mit Serverräumen/Rechenzentren

4.1 Verbesserungsvorschläge bestehender Instrumente

Zur Schließung eventueller Lücken der Hemmnisadressierung in vorhandenen Instrumenten sollen zum Abschluss Vorschläge neuer wirksamer Instrumente entwickelt werden, um damit die Rahmenbedingungen für eine klimaschonende Klimatisierung von Nichtwohngebäuden mit Serverräumen und Rechenzentren zu schaffen, die konform mit den langfristigen Klimaschutzzieilen der Bundesregierung sind.

Ausgehend von den Erkenntnissen und Ergebnissen aus Abschnitt 2 (Wärme- und Kälteversorgung von Nichtwohngebäuden mit Serverräumen / Rechenzentren) und Abschnitt 3 (Anforderungen und Konzepte für klimaschonende Wärme- und Kälteversorgung von Nichtwohngebäuden mit Serverräumen/Rechenzentren) werden im Folgenden Vorschläge und Empfehlungen erarbeitet, wie mittels der Weiterentwicklung des vorhandenen Instrumentariums die Klimawirkung von Gebäuden mit zentraler Datenverarbeitung weiter vermindert werden kann. Ziel dabei ist es, den in Abschnitt 3.1.4 spezifizierten Zielkorridor einer Reduktion der CO₂-Emissionen für die Klimatisierung von Serverräumen und Rechenzentren von über 90 % bis 2050 zu erreichen.

Wie bereits in Abschnitt 2.2.1 aufgeführt, gibt es hinsichtlich der Minimierung der Klimawirkung für Klimatisierung von Rechenzentren bislang kaum direkte gesetzliche Vorgaben zu erfüllen.

Im folgenden Abschnitt 4.1.2 werden bestehende relevante Instrumente hinsichtlich ihrer Wirkung und Verbesserungsmöglichkeiten in Bezug auf die Klimawirkung der Klimatisierung von Serverräumen und Rechenzentren durchleuchtet. In Abschnitt 4.2 werden Anpassungsvorschläge für die Weiterentwicklung der Vergabegrundlage zum Blauen Engel dargestellt. In Abschnitt 4.3 werden darüber hinaus mögliche neue Instrumente vorgeschlagen.

Zuvor werden im Folgenden die wesentlichen Hemmnisse genannt und beschrieben.

4.1.1 Hemmnisse einer klimaschonenden Klimatisierung von Rechenzentren und Serverräumen

Die Hemmnisse für eine klimaschonende Klimatisierung von Rechenzentren und Serverräumen sind vielschichtig. Im Folgenden wird eine nach Relevanz sortierte Übersicht und Beschreibung der drei wesentlichen Hemmnisse gegeben.

Mangelnde Erfahrung

Wie bereits eingangs des Abschnitts erwähnt, steht bei der Errichtung von Rechenzentren die Betriebssicherheit im Vordergrund. Die höchste Sicherheit wird in der Regel durch Zurückgreifen auf Erfahrung mit Bestehendem erreicht. Alles Neue, wie auch die Implementierung von klimaschonenden Klimatisierungskonzepten, birgt das Potenzial von Risiken für die Betriebssicherheit. Häufig sind weder die Planer noch die Investoren bzw. Betreiber bereit, derartige Risiken zu tragen. Vor dem Hintergrund der Kosten und Folgekosten eines Ausfalls der Systemtechnik treten die Mehrkosten einer zwar ineffizienten, aber aufgrund von Erfahrungswerten offensichtlich betriebssicheren Klimatisierung in den Hintergrund. Ein Abbau dieses Hemmnisses ist nur schrittweise, ausgehend von einigen erfolgreichen Musterprojekten möglich.

Investitions- und Instandhaltungskosten

Grundsätzlich sind für die meisten Investoren zunächst die Konzepte, die die zuvor definierten Minimalanforderungen erfüllen und gleichzeitig die niedrigsten Investitionskosten aufweisen, am attraktivsten. Da seitens der Gesetzgebung keine Minimalanforderungen für die Effizienz oder Klimawirkung von Rechenzentren vorgegeben werden, müssen für die Rechtfertigung der möglichen Mehrkosten derartiger Lösungen „Business Cases“ entwickelt werden. Obwohl davon ausgegangen werden kann, dass die Renditeerwartung in Folge des gesunkenen Zinsniveaus in den letzten Jahren leicht gesunken ist, werden Amortisationszeiten von 7 Jahren und mehr in den seltensten Fällen akzeptiert. Die erwartete Kapitalrückflusszeit liegt in den meisten Fällen im Bereich von 0 bis 3 Jahren. Bei einigen klimaschonenden Techniken sind die Investitionskosten bzw. das Risiko von überhöhten Investitionskosten jedoch höher, da diese zum einen noch nicht in großen Stückzahlen produziert werden und diese zum anderen aufgrund der fehlenden Erfahrung höhere Planungskosten verursachen. Besonders problematisch in diesem Kontext sind Konstellationen, in denen der potentielle Investor für effiziente klimaschonende Techniken nicht der direkte Nutznieder der dadurch erreichbaren Betriebskosteneinsparungen ist. Um die beschiebenen Hemmnisse zu überwinden, müssten zum einen, ähnlich wie z.B. bei der Photovoltaik, attraktive Förderprogramme ins Leben gerufen werden, die Techniken zur klimaschonenden Klimatisierung die notwendige Marktdurchdringungstiefe beschaffen. Zum anderen müssten Lösungen entwickelt werden, die sicherstellen, dass die Investoren, die in effiziente klimaschonende Techniken investieren, auch von den dadurch erzielten Einsparungen profitieren.

Betriebstemperaturen Systemtechnik

In der Regel wird bei der Beschaffung von Systemtechnikkomponenten vor allem auf deren Funktion, jedoch nicht auf die zulässigen Betriebstemperaturen der selbigen geachtet. Obwohl einige Hersteller wie z.B. Dell und Intel bereits seit einigen Jahren über Produktlinien verfügen, die für Betriebstemperaturen von deutlich über 30 °C ausgelegt sind, sind für eine Vielzahl von Komponenten hierzu keine Herstellerangaben verfügbar bzw. nur schwer ermittelbar. Insbesondere Anbieter von Hosting Services müssen, um ein möglichst breites Kundenspektrum ansprechen zu können, in Ihren Rechenzentren dauerhaft niedrige Umgebungslufttemperaturen von 20 °C anbieten. Auch in Bestandsrechenzentren, bei denen für die bestehenden Systemtechnikkomponenten keine Informationen zu zulässigen Betriebstemperaturen vorliegen, ist eine Anhebung der Temperaturen grundsätzlich mit einem gewissen Ausfallrisiko verbunden. Wie in den Untersuchungen in Abschnitt 3 dargestellt, stellt jedoch die Anhebung der Zulufttemperaturen eine Grundvoraussetzung für eine effiziente Klimatisierung dar, da nur dadurch die möglichen hohen Freikühlpotenziale erschlossen werden können. Um wirksame klimaschonende Klimatisierung zu ermöglichen müssten temperaturunempfindlichere Systemtechnikkomponenten leicht identifizierbar sein und zum Standard werden.

Verteilung Verantwortlichkeiten zwischen Gebäudetechnik- und IT-Abteilung

Die grundlegende Aufgabe von IT-Verantwortlichen ist es einen bestimmungsgemäßen, störungsfreien Betrieb der Systemtechnik zu ermöglichen. Einsparungen durch Maßnahmen z.B. bei der Kühlstromoptimierung (z.B. höhere Zulufttemperaturen im sommerlichen Auslegungsfall oder eine optimierte Betriebsweise) fallen in den Bereich des Facility Managements. Das Facility Management darf jedoch ohne die Genehmigung der IT-Verantwortlichen in der Regel keine Maßnahmen vornehmen, die potentiell den bestimmungsgemäßen Betrieb der Systemtechnik beeinflussen könnte. Nur durch eine enge Kooperation der Verantwortlichen von IT und Haustechnik kann ein bestimmungsgemäßer, störungsfreier und hocheffizienter Betrieb eines Rechenzentrums gewährleistet werden.

4.1.2 Übersicht bestehender Instrumente

Energieeinsparverordnung (EnEV)

Formal fällt die Klimatisierung von Rechenzentren unter die Aufrechterhaltung von Prozessen und nicht unter die Klimatisierung des Gebäudes, so dass, wie zuvor beschrieben, die Energieeinsparverordnung (EnEV) derzeit keine Anforderungen an die Klimatisierung von Rechenzentren und Serverräumen stellt. Dies ergibt insofern auch Sinn, da

1. eine hohe Dämmung der Gebäudehülle für Rechenzentren in der Regel nicht zu einem Mindestbedarf für die Klimatisierung beiträgt,
2. die spezifischen Lastprofile der Systemtechnik in Serverräumen und Rechenzentren sehr unterschiedlich sein können und diese nicht durch eine Referenzzone abgebildet werden können und
3. das Rechenverfahren der DIN V 18599 nur sehr bedingt für Bestimmung und Optimierung des Klimatisierungsbedarfs von Rechenzentren und Serverräumen geeignet ist.

Dennoch gibt es in der EnEV Anforderungen, die auch für die Sicherstellung der Effizienz von Klimaanlagen für Serverräume und Rechenzentren sehr sinnvoll sind, wie z.B.

- § 11 Aufrechterhaltung der energetischen Qualität
- § 12 Energetische Inspektion von Klimaanlagen
- § 15 Anlagen der Kühl- und Raumlufttechnik

Es wird daher vorgeschlagen, Serverräume und Rechenzentren nur teilweise von den Erfüllungspflichten der EnEV zu befreien und zumindest für die oben genannten Paragraphen mit den darin beschriebenen Anforderungen eine Erfüllungspflicht auch für Serverräume und Rechenzentren zu fordern.

Erneuerbare Energien-Wärmegegesetz (EEWärmeG)

Aus dem Erneuerbare Energien-Wärmegegesetz (EEWärmeG) ergeben sich direkte klimaschutzrelevante Anforderungen an die Klimatisierung von Rechenzentren. Bei großen alleinstehenden Rechenzentren können die Anforderungen, vor allem durch die Implementierung einer KWK-Anlage in Kombination mit einer Sorptionskältemaschine (Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung (KWKK)), erfüllt werden, die insgesamt 50 % des Kältebedarfs decken. Durch die derzeitige – im Rahmen des Kraft-Wärme-Kopplungsgesetzes geregelte – Förderung kann diese Lösung über einen langfristigen Zeitraum auch wirtschaftlich attraktiv sein. Im Rahmen der geplanten Novellierung des KWK-Gesetzes wird jedoch derzeit diskutiert, die Förderung insbesondere für große Anlagen zu kürzen. Als Alternative bietet sich für RZ-Neubauten auch die Möglichkeit an, sich aufgrund eines nicht zumutbaren Aufwands vom EEWärmeG befreien zu lassen. Über die Häufigkeit dieser Praxis bei Rechenzentren wurden jedoch keine Angaben gefunden. Es wird aber davon ausgegangen, dass ein Großteil der neuen Rechenzentren von den Anforderungen des EEWärmeG befreit werden. Den Ergebnissen aus Abschnitt 3 ist außerdem zu entnehmen, dass die Implementierung von erneuerbaren Energien im Sinne des EEWärmeG, welches die Nutzung von PV-Strom ausschließt, für eine klimaschonende Rechenzentrum- und Serverraumklimatisierung nur eine untergeordnete Rolle spielt.

Indirekt sind Kühlsysteme von Rechenzentren außerdem von den Anforderungen der folgenden Gesetze betroffen:

Ökodesign-Richtlinie

In der Ökodesign-Richtlinie werden Anforderungen an Ventilatoren und Pumpen gestellt, die auch in Kühlsystemen von Rechenzentren eingesetzt werden. Durch diese EU-Richtlinie wird eine Minimaleffizienz sicher gestellt, was zu begrüßen ist. Derzeit noch berücksichtigt sind Klimakälteerzeugungsanlagen über 12 kW.

Darüber hinaus gehende Anreize für besonders effiziente Komponenten, wie z.B. durch die EU-Verbrauchskennzeichnung von Raumklimageräten, sind für die unter die Ökodesign-Richtlinie fallenden RLT-Anlagen, Ventilatoren und Pumpen nicht vorgesehen.

F-Gas-Verordnung

Die F-Gas Verordnung (Verordnung (EU) Nr. 517/2014) sieht die schrittweise Reduktion der HFKW-Mengen, die in der EU in Verkehr gebracht werden dürfen, vor. Unter anderem auch vor dem Hintergrund, dass in Deutschland mit einem weiteren Anstieg der Anzahl der Wärmepumpen zur Gebäudeheizung zu rechnen ist, ist davon auszugehen, dass sich die Situation ab 2020, wenn mit der zweiten Reduktionsstufe eine erhebliche Verringerung der äquivalenten Treibhausgasemissionen aus HFKW gefordert wird, deutlich verschärft. Seitens der Wirtschaft wird daher derzeit zum einen daran gearbeitet, die Kältemittelverluste der Systeme zu minimieren, zum anderen werden auch vermehrt synthetische Kältemittel entwickelt, die ein geringeres Treibhausgaspotenzial aufweisen als die derzeit üblichen Stoffe. Es ist davon auszugehen, dass die Wirtschaft in der Lage sein wird, Kältemittel und Anlagen derart anzupassen, dass die Anforderungen der F-Gas-Verordnung erfüllt werden. Dies wird jedoch sicherlich mit einem Preisanstieg der Anlagen und Kältemittel verbunden sein, was die Marktnachfrage für Anlagen mit natürlichen Kältemitteln verbessern wird. Die F-Gas-Verordnung vermag jedoch nicht sicherzustellen, dass die Effizienz der hinsichtlich Kältemittelemissionen verbesserten Anlagen mindestens gleich bleibt. Dies muss z.B. über die Ökodesign-Richtlinie erfolgen.

Gesetz über Energiedienstleistungen und andere Energieeffizienzmaßnahmen (EDL-G)

Das novellierte EDL-G verpflichtet alle großen Unternehmen dazu, bis zum 05. Dezember 2015 ein Energieaudit nach DIN EN 16247-1 durchzuführen. Laut Empfehlung 2003/61/EG⁶⁴ der EU-Kommission gilt ein Unternehmen als groß ab 250 Mitarbeitern und einem Jahresumsatz von 50 Mio. Euro oder einer Bilanzsumme von 43 Mio. Euro. Ausgenommen von der Pflicht sind jene großen Unternehmen, die bereits über ein zertifiziertes Energiemanagementsystem nach ISO 50001 oder ein Umweltmanagementsystem nach EMAS verfügen. Es ist davon auszugehen, dass ein Großteil der Rechenzentren von großen Unternehmen im Sinne des EDL-G betrieben wird, so dass in diesem Rahmen auch für eine Vielzahl von Rechenzentren Untersuchungen gemacht und Verbesserungsvorschläge erarbeitet werden müssen. Bei der erforderlichen Tiefe des Audits lässt die zugeordnete Norm jedoch relativ große Spielräume offen. Es ist davon auszugehen, dass viele Unternehmen die Auditierungspflicht nicht als Chance sondern als notwendiges Übel betrachten, dass möglichst kostengünstig zu lösen ist. Die theoretisch erzielbare Wirkung wird dadurch erheblich eingeschränkt. Durch genauere Vorgaben für die Auditierung von energieintensiven Prozessen, wie sie die Klimatisierung von Rechenzentren darstellt, z.B. ein Monitoring in Anlehnung an die Anforderungen des Blauen Engels für energieeffizienten Rechenzentrumsbetrieb (RAL-UZ 161) in Kombination mit einer Bereitstellung von Benchmark-Werten und Good Practice-Beispielen für die Beurteilung der Ergebnisse und Ableitung von Maßnahmen, könnte die Wirkung der Audits erheblich verbessert werden.

⁶⁴ <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/HTML/?uri=URISERV:n26026&from=DE>

Neben den gesetzlichen Vorgaben gibt es auch freiwillige Instrumente, die eine positive Wirkung auf die Klimawirksamkeit der Klimatisierung von Rechenzentren haben. Diese werden im Folgenden beschrieben.

Blauer Engel für energieeffizienten Rechenzentrumsbetrieb (RAL-UZ 161)

Der Blaue Engel für energieeffizienten Rechenzentrumsbetrieb ist eine Auszeichnung für besonders energie- und ressourceneffiziente sowie klimafreundliche Rechenzentren. Es werden dabei unter anderem auch Anforderungen an die Effizienz der Klimatisierung gestellt. Gemessen an der geringen Anzahl der seit Bestehen des Siegels zertifizierten Rechenzentren ist die Wirkung des Blauen Engels für Rechenzentren bislang noch sehr begrenzt. Durch den zunehmenden Bekanntheitsgrad und die Weiterentwicklung der Vergabegrundlage sowie begleitende Förderprogramme (z.B. in Baden-Württemberg, siehe unten) ist jedoch zu hoffen, dass sich die Marktdurchdringung in Zukunft deutlich erhöht. Im folgenden Abschnitt werden die im Rahmen dieses Projektes entwickelten Verbesserungsvorschläge genannt, die in die Weiterentwicklung der Vergabegrundlage eingeflossen sind.

Im Gegensatz zu anderen Nachhaltigkeits-Zertifizierungssystemen (wie z.B. dem Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB)) sieht der Blaue Engel für Rechenzentren derzeit keine Klassifizierung der zertifizierten Rechenzentren vor. Dies könnte weitere Anreize für klimaschonende Konzepte geben, die noch deutlich über die Mindestanforderungen des Blauen Engels hinaus gehen. Dass solch klimaschonende Konzepte schon heute machbar sind, wurde im Rahmen der hier durchgeföhrten Untersuchung (Abschnitt 3) gezeigt.

EU-Code of Conduct for Data Centres Energy Efficiency

Zur Verbesserung der Energieeffizienz von Rechenzentren hat die Europäische Kommission 2008 einen EU-Verhaltenskodex⁶⁵ veröffentlicht. Der Kodex gibt, analog dem Blauen Engel für Rechenzentren, Empfehlungen zur Verbesserung der betrieblichen Prozesse und zur Verbreitung von energieeffizienten Best Practice-Strategien in Rechenzentren und deren Infrastruktur. Anders als beim Blauen Engel werden darin jedoch keine konkreten Anforderungen an die Gesamteffizienz der Klimaanlagen gestellt.

DIN EN 50600

Eines der Hauptziele der neuen Norm EN 50600 ist die Steigerung der Energieeffizienz von Rechenzentren. Bisher gab es unterschiedliche Normen für einzelne technische Komponenten eines Rechenzentrums, so z. B. für USV-Anlagen oder Stromerzeugungsaggregate. Die neue europäische Norm EN 50600 regelt nun erstmals ganzheitlich alle Aspekte der Einrichtungen und der Infrastruktur von Rechenzentren. Berücksichtigt werden jetzt auch die Konzeption und Planung der Infrastruktur sowie das betriebliche Management. Die Norm ist wie folgt aufgebaut:

- 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 2-6: Informationen für das Management und den Betrieb

⁶⁵ http://ec.europa.eu/information_society/activities/sustainable_growth/docs/datacenter_code-conduct.pdf

Die Rechenzentren können nach EN 50600 zertifiziert werden, dies bringt folgende Vorteile mit sich:

- Die Zertifizierung nach der neuen Norm schafft internationale Vergleichbarkeit
- Es gibt klare Schnittstellen zu Normen und Managementstandards wie der ISO 27001. Dies bringt eine bessere Anwendbarkeit mit sich.
- Der neue Standard wird zunehmend nachgefragt und kann dann als anerkanntes Qualitäts-siegel fungieren

Ähnlich wie beim EU-Verhaltenskodex werden jedoch auch in der EN 50600 keine konkreten Anfor-derungen an die Gesamteffizienz der Klimaanlagen gestellt.

Förderprogramm des Landes Baden-Württemberg für „Blauer Engel“ –Zertifizierung von Rechenzen-tren mittelständischer Unternehmen

Im Rahmen des Förderprogramms des Landes Baden-Württemberg werden mittelständische Unter-nahmen gefördert, die ihr Rechenzentrum durch den Blauen Engel zertifizieren lassen.

Gefördert werden maximal 75 Prozent der förderfähigen Ausgaben für die Beratungsleistung zur Schaffung der Voraussetzung für die Zertifizierung eines RZ nach den Kriterien des Siegels „Blauer Engel“, wobei der maximale Förderbetrag 15.000 Euro beträgt.

Gefördert werden außerdem maximal 50 Prozent der förderfähigen Ausgaben für die optionale Erstel-lung von Konzepten konkreter Maßnahmen, welche signifikante Einsparungen der innerhalb des RZ eingesetzten Menge Energie oder anderer Ressourcen begründet vermuten lassen, wobei der maxima-le Förderbetrag 5.000 Euro beträgt.

Da das Förderprogramm erst seit 1. Juli 2015 in Kraft getreten ist, kann an dieser Stelle noch keine Aussage zur Wirkung und ggf. zu möglichen Verbesserungen getroffen werden.

Informationen und Aufklärung zu dem Thema: Energieeffiziente Rechenzentren

Zur Verbesserung der Information und Aufklärung der Betreiber von Rechenzentren wurden in der Vergangenheit bereits einige Studien, Broschüren und Leitfäden veröffentlicht. So hat zum Beispiel die DENA 2012 den Leitfaden „Leistung steigern, Kosten senken: Energieeffizienz im Rechenzen-trum“ entwickelt. Dieser macht im Rahmen der „Initiative EnergieEffizienz“ auf die hohen Potenziale in Rechenzentren und Serverräumen aufmerksam. Der Leitfaden bietet wirtschaftlichen Entscheidern und IT-Verantwortlichen praxisnahe Informationen über finanzielle und technische Vorteile eines Energieeffizienzprojektes in ihren Rechenzentren. Von direkt umsetzbaren Sofortmaßnahmen bis hin zu langfristigen, strategischen Entscheidungen zeigt der Leitfaden die Wege zu einer höheren Ener-gieeffizienz und damit zu geringeren Energiekosten.

Förderprogramme und –wettbewerbe des Bundes

Die Politik stellte im Zuge der Breiten- und Spitzenförderung Mittel bereit, um Aktivitäten in Richtung Green IT zu fördern. Diese hatten vor allem volumenmäßig (Fördersummen) in den Jahren 2009– 2013 ihren Schwerpunkt, in den letzten Jahren liefen einige Programme aus, so dass spezifisch für das Themenfeld Green IT nur noch „IKT 2020“ und der „Deutsche Rechenzentrumspreis“ zur Zeit sig-nifikant sind.

Folgende Programme sind hier exemplarisch genannt (Quelle: BMWi).

- Förderschwerpunkt "IT goes green" im Bundesministerium für Umwelt (BMUB): 2008– 2013
- Förderprogramm "E-Energy" des Bundeswirtschaftsministeriums: 2008–2013

- "GreenIT Best Practice Award" des Netzwerks "Green IT-BB": 2010–2013
- Förderwettbewerb "IT2Green" des Bundeswirtschaftsministeriums (BMWi): 2011–2014
- "IKT 2020" des Bundesforschungsministeriums: laufend
- Energieberatung Mittelstand - gefördert durch BMWi und KfW-Bankengruppe: laufend
- Förderschwerpunkt „IT goes green -2013“ des Umweltinnovationsprogramms (UIP) des BMUB
- Förderdatenbank des Bundes - laufend

Die Förderung von erfolgreichen Frontrunner-Projekten stellt ein wirksames Mittel für die Erstetablierung von neuen Techniken dar. Diese sollte weiter ausgebaut werden.

4.2 Vorschläge zum Blauen Engel

Mit dem Blauen Engel für energieeffizienten Rechenzentrumsbetrieb (RAL-UZ 161) werden besonders energie- und ressourceneffiziente sowie klimafreundliche Rechenzentren ausgezeichnet. Durch die Vergabe des bekannten Umweltzeichens „Blauer Engel“ an Rechenzentren sollen Anreize geschaffen werden, die Energie- und Ressourceneffizienz im Rechenzentrumsbereich zu verbessern. Die aktuellen Anforderungen des Umweltzeichens sind in der Vergabegrundlage⁶⁶ (Stand Februar 2015) beschrieben.

Im Rahmen der Untersuchungen zum vorliegenden Projekt wurden einzelne Anforderungen der ursprünglichen Vergabegrundlage (Stand Juli 2012) geprüft und Anpassungsvorschläge für deren Weiterentwicklung unterbreitet.

Der Schwerpunkt lag hierbei auf den in der folgenden Tabelle zusammengefassten Anforderungen.

Tabelle 75: Anforderungen der ursprünglichen Vergabegrundlage des RAL-UZ 161 (Stand Juli 2012), die im Rahmen des vorliegenden Projektes geprüft wurden

Parameter	Anforderung
EUE: Energy Usage Effectiveness	Keine Vorgabe von Grenzwerten Der EU-E Wert ist gem. der beschriebenen Methodik zu bestimmen
JAZ: Jahresarbeitszahl des Kühlsystems	JAZ > 3,5 Der JAZ ist gem. der beschriebenen Methodik zu bestimmen. Dabei sollen die elektrischen Verlustleistungen, die durch Komponenten des Kühlsystems (z.B. Umluftklimaschränke) entstehen, als Teil der abzuführenden Wärmemenge betrachtet werden
Kältemittel	Bestehende Kälteanlagen: Nur chlorkreisfreie Kältemittel Neuinstallierte Kälteanlagen: Keine halogenierten Kohlenwasserstoffe als Kältemittel Ausnahme: Rechenzentren, die insgesamt eine installierte Kälteleistung von weniger als 50 kW _{th} erfordern
Anforderung an die Effizienz für thermische Sorptionskältemaschinen	Keine Vorgabe von Grenzwerten

Im Folgenden werden die einzelnen Anpassungsvorschläge für die in der Tabelle genannten Parameter beschrieben und begründet.

4.2.1 EU-E: Energy Usage Effectiveness

Der EU-E-Wert ist eine wesentliche Kennzahl für die Beurteilung der Effizienz der Peripherie eines Rechenzentrums. In Pressemitteilungen und Veröffentlichungen wird jedoch häufig lediglich der PUE-Wert (Power Usage Effectiveness) ohne nähere Angaben zu den dabei berücksichtigten Komponenten (z.B. mit oder ohne Berücksichtigung der Verluste der USV) und des Bezugs (Wert im Ausgangsfall, Momentanwert oder Mittelwert) angegeben. Eine genaue Definition, wie in der Vergabegrundlage beschrieben, ist daher von grundlegender Bedeutung.

⁶⁶ abrufbar unter <https://www.blauer-engel.de/de/produktwelt/buero/rechenzentren>

Es wurde vorgeschlagen, in der Weiterentwicklung der Vergabegrundlage Anforderungen an einen einzuhaltenden EU-E Wert zu stellen. In [Offis, 2009] wurde der durchschnittliche PUE-Wert für Deutschland mit 1,67 angegeben (siehe auch Abschnitt 2.3.6.). Im Rahmen der Untersuchungen in Abschnitt 3 konnte gezeigt werden, dass bei effizienten Kühlkonzepten für neue Rechenzentren ein auf die Klimatechnik bezogener EU-E Wert < 1,1 erreicht werden kann. Da bei Bestandsrechenzentren in der Regel Einschränkungen bzgl. der Implementierung von Effizienzmaßnahmen bestehen, ist es sinnvoll, zwischen neuen Rechenzentren und Rechenzentren im Bestand zu unterscheiden.

Die in der aktuellen Vergabegrundlage (Stand Februar 2015) festgelegten und in der folgenden Tabelle aufgeführten EU-E Werte können vor dem Hintergrund, dass ursprünglich diesbezüglich keine Vorgaben bestanden, als angemessen angesehen werden.

Tabelle 76: Neue Anforderungen an den EU-E Wert gemäß aktueller Vergabegrundlage des RAL-UZ 161 (Stand Februar 2015)

Alter des RZs bei Antragstellung	Anforderung EU-E
Bis 12 Monate	$\leq 1,4$
Über 12 Monate, jedoch weniger als 5 Jahre	$\leq 1,6$
5 Jahre und älter	$\leq 1,8$

Im Rahmen einer nächsten Weiterentwicklungsstufe sollte jedoch geprüft werden, ob und ggf. in welcher Größenordnung höhere Anforderungen an den EU-E Wert gestellt werden können. Die Ergebnisse des vorliegenden Forschungsvorhabens legen nahe, dass hier zur Selektion besonders effizienter Rechenzentren noch erhebliche Verschärfungspotenziale bestehen.

4.2.2 JAZ: Jahresarbeitszahl

Die Jahresarbeitszahl ist eine wesentliche Kennzahl für die Beurteilung der Effizienz der Klimatisierung eines Rechenzentrums.

Elektrische Verlustleistungen, die durch Komponenten des Kühlsystems (z.B. Umluftklimaschränke) entstehen, sollten nicht, wie in der bisherigen Vergabegrundlage festgelegt, als Teil der abzuführenden Wärmemenge betrachtet werden.

Unter Berücksichtigung dieser Vorgehensweise konnten für die im Rahmen von Abschnitt 3 entwickelten optimierten Konzepte für neue Rechenzentren Jahresarbeitszahlen von deutlich über 10 erreicht werden. Der Variantenuntersuchung des großen freistehenden Rechenzentrums (vgl. Abschnitt 3.5.3, Variante 1a) ist zu entnehmen, dass bereits durch eine kontrollierte Luftführung und Anhebung der Zulufttemperaturen in Kombination mit einer hocheffizienten Kältemaschine eine Jahresarbeitszahl von 7 erreicht werden kann. Die Implementierung einer freien Kühlung ist mit weiteren erheblichen Verbesserungen der Jahresarbeitszahl verbunden. Auf dieser Grundlage, die durch Erfahrungswerte aus ausgeführten Projekten bestätigt wird, wird vorgeschlagen, den bisherigen Anforderungswert der Jahresarbeitszahl für neue Rechenzentren von 3,5 auf 7 anzuheben. Da, wie bereits zuvor erwähnt, bei bestehenden Rechenzentren in der Regel Einschränkungen bzgl. der Implementierung von Effizienzmaßnahmen zu berücksichtigen sind, ist es sinnvoll, bei Rechenzentren im Bestand abgeschwächte Anforderungen aufzustellen. Die in der folgenden Tabelle aufgeführten Anforderungen an die Jahresarbeitszahl gemäß aktueller Vergabegrundlage (Stand Februar 2015) erscheint daher angemessen.

Tabelle 77: Vorschlag Anforderungen an die Jahresarbeitszahl JAZ gemäß der aktuellen Vergabegrundlage des RAL-UZ 161 (Stand Februar 2015)

Alter des RZs bei Antragstellung	Anforderung JAZ
Bis 12 Monate	> 7
Über 12 Monate, weniger als 5 Jahre	> 5
5 Jahre und älter	> 3,5

4.2.3 Kältemittel

Wie in den vorherigen Abschnitten ausführlich dargestellt, hat die Wahl des Kältemittels einen nicht unerheblichen Einfluss auf die Gesamtklimawirkung eines Rechenzentrums. Daher wurden auch schon bei der ursprünglichen Vergabegrundlage Vorgaben bezüglich der Wahl des Kältemittels gemacht. Für bestehende Kälteanlagen durften demnach nur chlorfreie Kältemittel verwendet werden, für neuinstallierte Kälteanlagen durften keine halogenierten Kohlenwasserstoffe als Kältemittel eingesetzt werden. Als einzige Ausnahme waren Rechenzentren vorgesehen, die insgesamt über eine installierte Kälteleistung von weniger als 50 kW_{th} verfügten.

Vor dem Hintergrund der aktuellen Praxis bei Kühlensystemen für Rechenzentren stellt diese Anforderung häufig (noch) eine verhältnismäßig große Hürde dar. Anhand der in Abschnitt 3 dargestellten Beispielprojekte, bei denen eine F-Gas-freie Kühlung von Rechenzentren unterschiedlicher Größenordnungen realisiert wurde, wird jedoch deutlich, dass derartige Lösungen grundsätzlich möglich sind. Anhand der in Abschnitt 3 entwickelten Lösungen wird gezeigt, dass unter Berücksichtigung einer effizienten Freikühlung in Kombination mit einer kanalgebundenen Luftführung in den Systemtechnikräumen und einer kontrollierten Zulufttemperaturanhebung im Auslegungsfall der verbleibende Bedarf an Spitzenlastkühlung so gering wird, dass auch unter Berücksichtigung gängiger Redundanzstrategien die Wahl einer F-Gas-freien Spitzenlastkühlung keine wesentliche Hürde mehr darstellt. Lediglich im Bereich der Serverräume, die in der Regel über Splitgeräte klimatisiert werden, gibt es derzeit in Deutschland keine F-Gas-freien Alternativen. Wie in Abschnitt 2.4.6 dargestellt, ist außerdem die Auswahl an Anbietern von Kältemaschinen mit natürlichen Kältemitteln in einer Leistungsklasse unter 40 kW sehr eingeschränkt. Daher ist es derzeit (noch) sinnvoll, eine Ausnahme für Klimaanlagen im niedrigen Leistungsbereich zu definieren. Die Beschränkung der Ausnahme für Rechenzentren mit Bezug auf den Kältebedarf (entspricht der elektrischen Anschlussleistung der zu kühlenden RZ-Komponenten) gemäß der aktuellen Vergabegrundlage des RAL-UZ 161 (Stand Februar 2015) anstelle des Bezugs auf die installierte gesamte Kälteleistung gemäß der bisherigen Vergabegrundlage erscheint sinnvoll, da der Kältebedarf maßgeblich für die Größe der einzusetzenden Kälteanlagen ist.

Dies veranschaulichen auch die folgenden Überlegungen:

Unter der Annahme eines aktuellen RZ-Kältebedarfs von 50 kW_{th} (der in der Regel 60 % des Auslegungskältebedarfs entspricht; vgl. Die Darstellung zeigt, dass aus den unterschiedlichsten Gründen nie die gesamte geplante IT-Leistung in Rechenzentren genutzt wird. Verschiedene Messungen von [APC, 2012b] haben ergeben, dass die aktuelle Auslastung (Active capacity) bei ca. 60 % der ursprünglich geplanten IT-Leistung liegt. Diese 60 % werden erst nach ca. 5 Jahren erreicht. Bei Inbetriebnahme eines Rechenzentrums liegt die Auslastung bei lediglich 20 %. Die Entwicklung der Kapazität bzw. Auslastung eines Rechenzentrums über einen Zeitraum von 10 Jahren zeigt die nachfolgende Abbildung.

Abbildung 20) ergibt sich, ohne Redundanz, eine installierte Kälteleistung für das betreffende Rechenzentrum von ca. 80 kW. Aus Gründen der Versorgungssicherheit wird diese Leistung üblicher-

weise mindestens von zwei Kältemaschinen (mit jeweils 40 kW) abgedeckt zzgl. mindestens einer Redundanzkältemaschine (von ebenfalls 40 kW). Die installierte Gesamtkälteleistung des betrachteten Rechenzentrumsbeispiels beträgt somit mindestens 120 kW. Wird eine höhere Versorgungssicherheit angestrebt, zum Beispiel gemäß Tier IV: 2(n+1), dann verdoppelt sich die zu installierende Kälteleistung auf 240 kW. Bei einer Begrenzung der Ausnahme, gemäß aktueller Vergabegrundlage, auf eine installierte Gesamtkälteleistung von 50 kW_{th}, würde dies im Fall n=2 für ein Tier IV Rechenzentrum eine Größengrenze für die einzelnen Kälteanlagen von 8,3 kW bedeuten. Da die Auswahl von Anbietern von Kälteanlagen mit natürlichen Kältemitteln unter 40 kW, wie zuvor beschrieben, jedoch stark eingeschränkt ist, ist es angemessen, gemäß der neuen Vergabegrundlage des RAL-UZ 161 die Grenze für die Ausnahmeregelung auf 50 kW_{th}, – bezogen auf den Kältebedarf – festzulegen. Dies bedeutet gegenüber der ursprünglichen Anforderung eine deutliche, aber angemessene Abschwächung.

4.2.4 Anforderungen an die Effizienz für thermische Sorptionskältemaschinen

Die ursprüngliche Vergabegrundlage war hinsichtlich der Klimatisierung der Rechenzentren ausschließlich auf elektrische Anlagen ausgerichtet. Es wurden keine Aussagen zu Anforderungen an die Effizienz von thermischen Sorptionskältemaschinen gestellt. Da Sorptionskältemaschinen, in Verbindung mit KWK-Anlagen, insbesondere auch vor dem Hintergrund der aktuellen KWK-Förderung, für die Klimatisierung von Rechenzentren eine sehr praxisnahe Alternative zu Kompressionskältemaschinen mit natürlichen Kältemitteln darstellt, sollten hierfür im Rahmen des vorliegenden Projektes für die Weiterentwicklung der Vergabegrundlage entsprechende Vorgaben entwickelt werden.

Grundsätzlich sollten für die Klimatisierung durch thermische Sorptionskältemaschinen vergleichbare Anforderungen wie für elektrische Kältemaschinen gelten. Als Maßstab wird vorgeschlagen, die Treibhausgaswirkung, d.h. den TEWI der Klimatisierung heranzuziehen. In Tabelle 71 wurde der spezifische TEWI eingeführt, der nach der für elektrisch betriebene Kühlsysteme gültigen folgenden Gleichung bestimmt wird und sowohl die direkten als auch die indirekten äquivalenten CO₂-Emissionen berücksichtigt:

$$\text{TEWI}_{\text{spezKKM}} = (\text{TEWI}_{\text{direkt}} + \text{TEWI}_{\text{indirekt}}) / Q_{\text{thermRZ}} = F_{\text{el}} / JAZ_{\text{elKKM}} + \text{TEWI}_{\text{direkt}} / Q_{\text{thermRZ}}$$

Mit

TEWI _{direkt} :	Total Equivalent Warming Impact der direkten Emissionen durch Kältemitteldeckagen und Entsorgungsverluste
TEWI _{indirekt} :	Total Equivalent Warming Impact der indirekten Emissionen durch den Energieverbrauch zum Betrieb des Kühlsystems
Q _{thermRZ} :	Abzuführende thermische Last des Rechenzentrums (entspricht der elektrischen Anschlussleistung der zu kühlenden RZ-Komponenten)
F _{el} :	Emissionsfaktor Strom in g CO ₂ /kWh
JAZ _{elKKM} :	elektrische Jahresarbeitszahl des Kühlsystems mit Kompressionskältemaschine

Bei Kühlsystemen mit thermischen Sorptionskältemaschinen sind sowohl die indirekten Emissionen aus dem Strombedarf des Kühlsystems als auch die indirekten Emissionen aus dem Wärmebedarf des Kühlsystems zu berücksichtigen. Die kältemittelbedingten direkten Emissionen fallen weg. Es gilt also:

$$TEWI_{spezSKM} = TEWI_{indirekt} / Q_{thermRZ} = F_{el} / JAZ_{el} + F_{therm} / JAZ_{therm}$$

Mit

F_{el} :	Emissionsfaktor Wärme
$JAZ_{thermSKM}$:	Wärmebezogene Jahresarbeitszahl des Kühlsystems mit Sorptionskältemaschine
JAZ_{elSKM} :	Strombezogene Jahresarbeitszahl des Kühlsystems mit Sorptionskältemaschine

Es gilt also:

$$TEWI_{spezKKM} = TEWI_{spezSKM} = F_{el} / JAZ_{elSKM} + F_{therm} / JAZ_{thermKKM} = F_{el} / JAZ_{elKKM} + TEWI_{direkt} / Q_{thermRZ}$$

Ausgehend von einem Emissionsfaktor von Strom von 559 g CO₂/kWh⁶⁷ und Grenzwerten für die Jahresarbeitszahlen von jeweils >7, >5 und >3,5 ergeben sich für die thermisch betriebenen Sorptionskältemaschinen entsprechende Grenzwerte für die spezifischen TEWI Werte von <80 g CO₂/kWh bzw. <112 g CO₂/kWh und <160 g CO₂/kWh.

Bei kleineren Anlagen, die unter die Ausnahmeregelung fallen, und bei Bestandsanlagen, für die halogenierte Kohlenwasserstoffe als Kältemittel zulässig sind, sollte ein entsprechender Bonusfaktor berücksichtigt werden, sofern diese mit Sorptionskältemaschinen ausgerüstet sind. Bei den optimierten Lösungen der in Abschnitt 3 untersuchten mittleren und großen Rechenzentren liegt der Anteil der direkten Emissionen im Bereich von ca. 15 %. Da die Effizienz dieser optimierten Lösungen deutlich über die Minimalanforderungen des Blauen Engels hinaus geht, wird als pragmatischer Ansatz vorgeschlagen, für den Anteil der direkten Emissionen einen pauschalen Aufschlag von 10 % zu berücksichtigen:

$$TEWI_{spezKKM} = TEWI_{spezSKM} = F_{el} / JAZ_{elSKM} + F_{therm} / JAZ_{thermKKM} = F_{el} / JAZ_{elKKM} * 1,1$$

Anhand des folgenden Beispiels wird deutlich, dass die oben beschriebene Methodik in der Praxis bedeutet, dass der Emissionsfaktor für die Wärmebereitstellung für Kühlsysteme mit Sorptionskältemaschinen mitunter sehr gering sein muss:

Ausgehend von einem neuen Rechenzentrum und einem effizienten Kühlsystem mit Absorptionskältemaschinen (JAZ_{elSKM}=15; JAZ_{thermSKM}=0,7) ergibt sich bei einem Emissionsfaktor für Strom von 559 g/kWh und bei einer kleinen Anlage, die unter die Ausnahmeregelung des Verzichts auf halogenhaltige Kohlenwasserstoffe als Kältemittel fällt, ein maximal zulässiger Emissionsfaktor für die Wärmeerzeugung von <35 g/kWh_{therm}. Bei einer großen Anlage und einem Emissionsfaktor für Strom von 370 g/kWh liegt der zulässige Höchstwert des Emissionsfaktors für die Wärmeerzeugung bei <20 g/kWh_{therm}.

⁶⁷ Zu Grunde gelegter CO₂-Emissionsfaktor für Strom 559 g CO₂/kWh gem. Quelle: UBA 23/2014 Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen des deutschen Strom-Mix in den Jahren 1990 bis 2013; http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/climate_change_23_2014_komplett.pdf, abgerufen am 27.10.2014

4.3 Vorschläge zu neuen Instrumenten

Im folgenden werden Vorschläge zu neuen Instrumenten unterbreitet, die wirksam für die Begrenzung von Treibhausgasemissionen von Klimaanlagen von Serverräumen und Rechenzentren wären, insbesondere auch hinsichtlich der Erreichung des zuvor spezifizierten Zielkorridors einer möglichen Reduktion der CO₂ Emissionen für die Klimatisierung von Serverräumen und Rechenzentren von über 90 % bis 2050. Um eine nachhaltige Steigerung der Energieeffizienz und Verringerung von CO₂-Emissionen in Serverräumen und insbesondere Rechenzentren zu erreichen, sind verschiedene technische Maßnahmen und umfassende Konzepte notwendig, z.B. auch im Bereich der Nutzung von Abwärme. Die folgenden Vorschläge konzentrieren sich jedoch ausschließlich auf die Energieeffizienz und Klimawirkung von Klimaanlagen von Serverräumen und Rechenzentren.

4.3.1 Regulatorische Vorgaben zur Begrenzung von Treibhausgasemissionen von Klimaanlagen von Serverräumen und Rechenzentren

Der spezifische Energiebedarf zur Klimatisierung von Rechenzentren ist meist um ein Vielfaches höher als der Energiebedarf von anderen Nichtwohngebäuden, deren Energieeffizienz durch die EnEV reglementiert wird. Wie zuvor dargestellt, gibt es jedoch bislang faktisch keine gesetzlichen Anforderungen an die Energieeffizienz und die Klimawirkung für Klimaanlagen in Serverräumen und Rechenzentren. Planer, Investoren und Betreiber sind häufig, neben der über allem stehenden Betriebssicherheit, vor allem an der Minimierung der Investitionskosten interessiert, insbesondere, wenn der Investor nicht auch gleichzeitig Betreiber ist. Diese Umstände führen in aller Regel dazu, dass für die Klimatisierung von Rechenzentren wenig innovative bzw. klimaschonende Techniken eingesetzt werden. Daher wird empfohlen, hierfür einen rechtlichen Rahmen zu schaffen, in dem angemessene Minimalanforderungen an Klimaanlagen beim Auf- oder Umbau von Serverräumen und Rechenzentren festgelegt werden. Als Anforderungsgröße könnten die maximal zulässigen äquivalenten Treibhausgasemissionen definiert werden. Zum Beispiel in Form der Vorgabe eines maximal zulässigen spezifischen TEWI_{spez}⁶⁸ = direkte + indirekte äquivalente Emissionen zur Klimatisierung eines Rechenzentrums/Energiebedarf der Systemtechnik. Da die praktische Effizienz von Klimaanlagen extrem sensibel von der richtigen Einstellung der Systemparameter abhängt, wird empfohlen, zur Sicherstellung derselben diese durch ein Monitoring nachweisen zu lassen. Die entsprechenden Vorgaben und Berechnungsmethoden könnten in Anlehnung an die Vergabegrundlage des Blauen Engels für Rechenzentren erfolgen. Wie auch bereits in [IZE 2008] empfohlen, wäre hierzu die Entwicklung einer einheitlichen Software zur Modellierung der Energieeffizienz wünschenswert.

4.3.2 Einführung einer Kennzeichnungspflicht der zulässigen Betriebstemperaturen von Systemtechnikkomponenten für Rechenzentren und Serverräume

Niedrige Betriebstemperaturen in Rechenzentren wurden als eines der Haupthemmisse für eine klimaschonende Klimatisierung von Rechenzentren identifiziert. Niedrige Temperaturen werden in Rechenzentren häufig aufgrund fehlender Information und damit fehlender Sicherheit, bei welcher Temperatur die installierten Systemtechnikkomponenten gefahren werden können, angestrebt. Durch die Einführung einer Kennzeichnungspflicht für alle Systemtechnikkomponenten würden Anreize für Hersteller geschaffen, die Komponenten auf Temperaturrobustheit hin zu optimieren. Darüber hinaus würde eine allgemeine und eindeutige Kennzeichnung den Planern und Betreibern die Auswahl und Identifikation von geeigneten Komponenten erleichtern. Durch die in der Regel hohen

⁶⁸ Gemäß der in Tabelle 71 in Abschnitt 3.5.1 eingeführten Definition

Austauschraten der Systemtechnikkomponenten würden die Vorteile einer Implementierung einer derartigen Kennzeichnungspflicht verhältnismäßig schnell in der Praxis wirksam werden.

4.3.3 Besteuerung von F-Gas-haltigen Kältemitteln

Um die dargestellten Potenziale, die durch die drastische Verminderung der direkten äquivalenten CO₂-Emissionen bei der Verwendung F-Gas-freier Klimakälteanlagen erzielt werden können, noch effektiver erschließen zu können, könnte flankierend zur F-Gas Verordnung eine CO₂-Steuer für HFKW-Kältemittel eingeführt werden. Bezuglich der Umsetzungspraxis und Höhe könnte sich dabei z.B. am Vorbild von Dänemark, Schweden oder Norwegen orientiert werden, die eine derartige Steuer bereits erfolgreich implementiert haben.

4.3.4 Begleitendes Bundesprogramm zur Förderung der Zertifizierung mit dem Blauen Engel für energieeffizienten Rechenzentrumsbetrieb (RAL-UZ 161)

Durch ein begleitendes Bundesprogramm zur Förderung der Zertifizierung des Blauen Engels für energieeffizienten Rechenzentrumsbetrieb (RAL-UZ 161) ist zu erwarten, dass die Anzahl der Zertifizierungen erheblich gesteigert und somit auch ein Auslöser für eine breite Marktdurchdringung von klimaschonenden Rechenzentrums-Klimatisierungskonzepten gegeben werden kann. Dadurch könnte eine Grundlage zur Adressierung der als wesentlich identifizierten Hemmnisse (fehlende Erfahrungen und Investitionskosten) geschaffen werden. Bzgl. der Ausrichtung und Höhe könnte sich ein solches Programm, zumindest was mittelständische Unternehmen betrifft, zunächst am Beispiel der Förderung des Landes Baden-Württemberg orientieren. Mit der begleitenden Förderung hätte man, vergleichbar der KfW-Förderung „Energieeffizient Bauen“, ein Instrument, mit dem man durch angemessene Anpassungen der Förderhöhe zum einen und mit dem Anforderungsniveau des Blauen Engels zum anderen die Wirkung gezielt steuern könnte. Eine Gegenfinanzierung wäre beispielweise durch die entsprechenden Anteile einer gleichzeitigen Einführung der zuvor beschriebenen Besteuerung von HFKW-Kältemitteln möglich.

5 Quellenverzeichnis

APC, 2012a: APC by Schneider Electric White Papers; Whitepaper 150; Power and Cooling Capacity Management for Data Centers; 2012; http://www.apcmedia.com/salestools/NRAN-6C25XM/NRAN-6C25XM_R3_EN.pdf; abgerufen am 26.11.2014

APC, 2012b: APC by Schneider Electric White Papers; Whitepaper 37; Avoding costs from oversizing Data Center and Network Room Infrastructure; 2012; http://www.apcmedia.com/salestools/SADE-5TNNEP/SADE-5TNNEP_R7_EN.pdf; abgerufen am 26.11.2014

ASHRAE 2008: 2008 ASHRAE Environmental Guidelines for Datacom Equipment -Expanding the Recommended Environmental Envelope-, Figure 3: Inlet and Component Temperatures with variable fan speed

ASHRAE 2011: Thermal Guidelines for Data Processing Environments, 3rd. Edition

BIT energieeffiziente Serverräume 2011: Bundesverwaltungsamt, Bundesstelle für Informationstechnik, Gestaltung von energieeffizienten Serverräumen

BITKOM 2013: BITKOM Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e. V.; Betriebssichere Rechenzentren Leitfaden Version 2;
http://www.bitkom.org/files/documents/131213_Leitfaden_BRZ_web.pdf, abgerufen 03.06.2014

BITKOM 2014: BITKOM Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e. V.; Rechenzentren in Deutschland: Eine Studie zur Darstellung der wirtschaftlichen Bedeutung und der Wettbewerbssituation; [http://www.bitkom.org/files/documents/Borderstep_Institut_-_Studie_Rechenzentren_in_Deutschland_05-05-2014\(1\).pdf](http://www.bitkom.org/files/documents/Borderstep_Institut_-_Studie_Rechenzentren_in_Deutschland_05-05-2014(1).pdf); abgerufen 29.06.2015

Bitzer, Kältemittelreport 18: https://www.bitzer.de/ger/products/docu/doc_det/1, abgerufen am 23.11.2014

BMU 2009: „Energieeffiziente Rechenzentren, Best-Practice-Beispiele aus Europa, USA und Asien“, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) 2009

BMVBS 2011: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung: Typologie und Bestand beheizter Nichtwohngebäude, BMVBS-Online-Publikation ,Nr. 16/2011

http://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/Veroeffentlichungen/BMVBS/Online/2011/DL_ON162011.pdf;sessoid=E54D96C831CB9146C1676DBB4A6E014A.live2051?__blob=publicationFile&v=2; abgerufen am 21.07.14

BPIE 2011: Thomas Boermans, Andreas Hermelink, Sven Schimschar, Jan Grözinger, Markus Offermann (2011): http://www.bpie.eu/documents/BPIE/publications/LR_nZEB%20study.pdf, abgerufen am 10.11.2014

cci Dialog GmbH, cci Zeitung 07/2013 „Absorption statt Kompression? Möglichkeiten von Absorptionskälteanlagen in der Klimatechnik“;

Deutsche Energie-Agentur(dena) 2012: Stephan Kohler (2012): Energiewende im Gebäudebereich – Herausforderungen und Chancen bei energieeffizientem Bauen und Sanieren.
http://www.dena.de/fileadmin/user_upload/Veranstaltungen/Vortraege_GF/sk/Energiewende_im_Gebaeudebereich_-_Herausforderungen_und_Chancen_be_energieeffizientem_Bauen_und_Sanieren.pdf; abgerufen am 10.11.2014

DIBT Staffel 20: Dr. Justus Achelis : Fachkommission Bautechnik der Bauministerkonferenz Auslegungsfragen zur Energieeinsparverordnung – Teil 20;

https://www.dibt.de/de/Service/data/EnEG_Staffel20.pdf; abgerufen am 12.06.2015

DIN EN 378: DIN EN 378-1 : Kälteanlagen und Wärmepumpen – Sicherheitstechnische und umwelt-relevante Anforderungen – Teil 1: Grundlegende Anforderungen, Begriffe, Klassifikationen und Auswahlkriterien; Deutsche Fassung EN 378-1:2008+A2:2012

DIN V 18599: DIN V 18599 Ausgabe 2011-12

Ecodesign 2008: Lot 10 Chapter 1: Preparatory study on the environmental performance of residential room conditioning appliances (airco and ventilation) – Task 2: Economic and Market analysis (Entwurf)

Ecofys 2012: Andreas Hermelink et al. Towards nearly Zero-Energy Buildings definition of common principles under the EPBD (2012). Ecofys im Auftrag der Generaldirektion Energie für die Europäische Kommission. http://ec.europa.eu/energy/efficiency/buildings/doc/nzeb_full_report.pdf; abgerufen am 10.11.2014

Eurammon Interview: Thomas Spänich, Vorstandsmitglied von eurammon, Interview, http://www.eurammon.com/sites/default/files/attachments/klimatisierung_eur_d.pdf; abgerufen am 08.09.14

Frigo: Frigoteam Handels GmbH <http://www.frigoteam.com/data/Frigoteam-Flyer-Propan-Kaltwassersaezte.pdf>; abgerufen am 08.09.14

GHD-Energieverbrauch 2014; Energieverbrauch des Sektors Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) in Deutschland für die Jahre 2007 bis 2011; Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI; Hrsg. Barbara Schlomann, Edelgard Gruber, Dr. Bernd Geiger, Heinrich Kleeberger; <http://publica.fraunhofer.de/eprints/urn:nbn:de:0011-n-2855601.pdf>; abgerufen am 13.10.14

Gierga, M.; Erhorn, H.: Bestand und Typologie beheizter Nichtwohngebäude in Westdeutschland. Teilbericht Nr. 5-14 zum Forschungsprojekt IKARUS. Stuttgart 1993

Handelsverband Deutschland HDE, <http://einzelhandel.de/images/presse/Graphiken/DerEinzelhandelJan2014.pdf>; abgerufen am 22.07.2014

Heat-Pump Studie: Eunomia Research & Consulting Ltd and the Centre for Air Conditioning and Refrigeration Research (2014): Impacts of Leakage from Refrigerants in Heat Pumps. London Southbank University

IOR 2010: Institute of Refrigeration (2010): REAL Zero – Reducing refrigerant emissions & leakage - feedback from the IOR Project, http://www.epa.gov/greenchill/downloads/IOR_ReducingRefrigerantEmissions.pdf; abgerufen am 01.08.2014

ITHERM 2008: “The effect of data center temperature on energy efficiency”, Patterson, M.K.; Intel Corp., Conference Publication: Thermal and Thermomechanical Phenomena in Electronic Systems, 2008. ITHERM 2008. 11th Intersociety Conference on Thermal and Thermomechanical Phenomena in Electronic Systems

IZE 2008: Konzeptstudie zur Energie- und Ressourceneffizienz im Betrieb von Rechenzentren https://www.energie.tu-berlin.de/uploads/media/IZE_Konzeptstudie_Energieeffizienz_in_Rechenzentren.pdf; abgerufen am 18.09.2015

KKA2014 – „Richtlinie für eine optimierte Kühlung, Temperaturvorgaben für Rechenzentren“, Dr. Peter Koch, Fachzeitschrift Kälte Klima Aktuell, Ausgabe 2/2014

Klauß, S.; Maas, A. (2010): Entwicklung einer Datenbank mit Modellgebäuden für energiebezogene Untersuchungen, insbesondere der Wirtschaftlichkeit (Germany) (2012-02-23), pp. Zentrum für Umweltbewusstes Bauen e.V., abgerufen am 13.04.2011.

Kohler, Niklaus; Hassler, Uta; Paschen, Herbert (Hrsg.): Stoffströme und Kosten in den Bereichen Bauen und Wohnen. Enquête-Kommission „Schutz des Menschen und der Umwelt“ des 13. Deutschen Bundestages“. Berlin/Heidelberg/New York 1999

Nachhaltige Kälteversorgung 2014: Nachhaltige Kälteversorgung in Deutschland an den Beispielen Gebäudeklimatisierung und Industrie;

<http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/nachhaltige-kaelteversorgung-in-deutschland-an-den>; abgerufen am 19.10.14

NIR Report 2014: Federal Environment Agency (UBA) (2014): National Inventory Report for the German Greenhouse Gas Inventory 1990 – 2012,

https://unfccc.int/files/national_reports/annex_i_ghg_inventories/national_inventories_submissions/application/zip/deu-2014-nir-15apr.zip; abgerufen am 11.08.2014

Offis, 2009: OFFIS, Institut für Informatik; Studie für das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie; Untersuchung des Potenzials von rechenzentrenübergreifendem Lastmanagement zur Reduzierung des Energieverbrauchs in der IKT; 2009

Pohlmann 2005: Pohlmann Taschenbuch der Kältetechnik; C.F. Müller; 2005

Recknagel 2007: Recknagel, Sprenger, Schramek, Taschenbuch für Heizung + Klimatechnik; Oldenbourg Industrieverlag; 2007

RenewIT 2014: RenewIT, “Energy requirements for IT Equipment”, Deliverable D4.2, 2014, www.renewit-project.eu

RenewIT, 2014: RenewIT; Deliverable D3.1, Metrics for Net Zero Energy Data Centres; 2014; http://www.renewit-project.eu/wp-content/files_mf/1413980534D3.1MetricsforNetZeroDataCentresv9.0_final.pdf; abgerufen am 14.11.2014

RenewIT D4.3: RenewIT Deliverable D4.3: Catalogue of advanced technical concepts for Net Zero Energy Data Centres. Draft version 2014 ; Nirendra Lal Shrestha (TUC), Thomas Oppelt (TUC), Thorsten Urbaneck (TUC), Òscar Càmara (Aiguasol), Toni Herena (Aiguasol), Eduard Oró (IREC), Francisco Diaz Gonzalez (IREC), Jaume Salom (IREC), Hans Trapman (DEERNS), Gilbert de Nijis (DEERNS), Joris van Dorp (DEERNS), Mario Macías (BSC); [http://www.renewit-project.eu/d4-3-catalogue-advanced-technical-concepts-netzero-energy-data-centres-draft-version/](http://www.renewit-project.eu/d4-3-catalogue-advanced-technical-concepts-net-zero-energy-data-centres-draft-version/); abgerufen am 22.11.2014

RenewIT D7.1: RenewIT Deliverable D7.1: Data Centres: Market Archetypes and Case Studies 2014; Bianca van der Ha, Bert Nagtegaal; <http://www.renewit-project.eu/d7-1-data-centres-market-archetypes-case-studies/>; abgerufen am 22.11.2014

Schmidt 2008: Schmidt, Dieter; Lexikon Kältetechnik; C.F. Müller; 2008

SIGMETRICS 2012: Nosayba El-Sayed, et al.: Temperature management in Datacenters: Why Some (Might) Like It Hot; London, 11.-15.6.2012

Skm-Enviro (2012): Phase Down of HFC Consumption in the EU – Assessment of Implications for the RAC Sector, http://www.epeeglobal.org/epeedocs/internet/docs/EPEE_HFC_Phase_Down_Report_-Executive_Summary_6964.pdf; abgerufen am 12.08.2014

Statistisches Bundesamt, Lange Reihe Baufertigstellung 2012,
<https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/Bauen/BautaetigkeitWohnungsbau/BaugenehmigungenNeubau.html>; abgerufen am 21.07.14

TIA 942: Telecommunications Infrastructure Standard for Data Centers, Standards and Technology Department, 2500 Wilson Boulevard, Arlington, VA 22201 U.S.A., 2005

UBA 2005: Dr. Wilfried Schwarz (2005): Emissionen, Aktivitätsraten und Emissionsfaktoren von fluorierten Treibhausgasen (F-Gasen) in Deutschland für die Jahre 1995-2002,
<http://www.umweltbundesamt.de/en/publikationen/emissionen-aktivitaetsraten-emissionsfaktoren>; abgerufen am 11.08.2014

UBA 2010: Katja Becken, Dr. Daniel de Graaf, Dr. Cornelia Elsner, Gabriele Hoffmann, Dr. Franziska Krüger, Kerstin Martens, Dr. Wolfgang Plehn, Dr. Rolf Sartorius (2010): Fluorierte Treibhausgase vermeiden, Wege zum Ausstieg;
<http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/461/publikationen/3962.pdf>; abgerufen am 08.09.2014

UBA 2011: Kjell Bettgenhäuser, Thomas Boermans, Markus Offermann, Anja Krechting, Daniel Becker (2011): Klimaschutz durch Reduzierung des Energiebedarfs für Gebäudekühlung;
<http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/461/publikationen/3979.pdf>; abgerufen am 10.11.2014

UBA 2013: Michael Strogies, Patrick Gniffke (2013): Submission under the United Nations Framework Convention on Climate Change and the Kyoto Protocol 2013, National Inventory Report for the German Greenhouse Gas Inventory 1990 – 2011;
https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/461/publikationen/climate_change_09_2013_nir_2013_gniffke.pdf; abgerufen am 29.05.2015

UBA 2014: Carsten Heinrich, Sebastian Wittig, Peter Albring, Lutz Richter, Mathias Safarik, Ursula Böhm, Andreas Hantsch (2014): Nachhaltige Kälteversorgung in Deutschland an den Beispielen Gebäudeklimatisierung und Industrie,
http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/climate_change_25_2014_nachhaltige_kaelteversorgung_in_deutschland_1.pdf; abgerufen am 11.08.2014

UBA 2015: Umweltbundesamt: Treibhauspotenziale (Global Warming Potential, GWP) ausgewählter Verbindungen und deren Gemische gemäß Viertem Sachstandsbericht des IPCC bezogen auf einen Zeitraum von 100 Jahren

http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/dokumente/treibhauspotential_e_ausgewaehlerter_verbindungen_und_deren_gemische_2015_05.pdf; abgerufen am 02.07.2015

UBA 55/2010: Umweltbundesamt: Materialbestand der Rechenzentren in Deutschland Reihe Texte 55/2010 <http://www.uba.de/uba-info-medien/4037.html>; abgerufen am 22.07.14

VDI 2067: Blatt 1 "Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen - Grundlagen und Kostenberechnung" 2012-09

VDKF 2013: Annual Conference of the Institute of Refrigeration LEC Leakage & Energy Control system,
http://www.ior.org.uk/app/images/pdf/SuccessfulContainment%20Industry%20wide%20in%20Germany_W%20Zaremski.pdf; abgerufen am 14.08.2014

Whitepaper 2012: Ulrich Terrahe, Marc Wilkens (2012): Orientierungshilfe zur Leistungsdichte und Lastermittlung von Servern, Datenschränken und Rechenzentren

