



Kanton Zürich
Baudirektion
Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft

Rechen- zentren

Version 1
31. August 2023

Impressum

Zuständig:

Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft

Abteilung Energie

Christoph Gmür, Leiter Energietechnik/Stv. AL

Stampfenbachstrasse 12

8090 Zürich

Bezug:

Telefon +41 43 259 42 66

energie@bd.zh.ch

Externe Fachbeiträge:

Kap. 4: **Keel und Raster Planungs- und Baurecht**, 8400 Winterthur,
Dr. iur. Josua Raster, www.keel-raster.ch

Kap. 6: **dehmel SYSTEMPLANUNG GmbH**, 4312 Magden,
Tobias Dehmel, www.systemplanung.com

Verweise auf Vorschriften

EnerG Energiegesetz (vom 19. Juni 1983), LS 730.1
www.zhlex.zh.ch/Erlass.html?Open&Ordnr=730.1

BBV I Besondere Bauverordnung I (vom 6. Mai 1981), LS 700.21
www.zhlex.zh.ch/Erlass.html?Open&Ordnr=700.21

Inhalt

1. Ausgangslage/Ziele	5
1.1. Das dringliche Postulat KR-Nr. 315/2022	5
1.2. Publikationen zu Rechenzentren	6
1.2.1. Abwärmenutzung von Rechenzentren (2023)	6
1.2.2. Rechenzentren in der Schweiz – Bau und Ausbaupläne (2021)	7
1.2.3. Datacenter in der Schweiz – ewz Whitepaper (2022)	7
1.2.4. Data Center Market Switzerland (2021)	7
1.2.5. Machbarkeitsstudie Nutzung Abwärme RZ Beringen (2022)	7
1.2.6. Rechenzentren - Stromverbrauch und Effizienzpotenzial (2021)	8
2. Kantonale Vorschriften	8
2.1. Abwärmenutzung im Gebäude	8
2.2. Abgabe der Abwärme	9
2.3. Grossverbraucher	9
3. Rechenzentren	9
3.1. In der Schweiz	9
3.2. Im Kanton Zürich	10
4. Raumplanungsrecht	14
4.1. Ausgangslage	14
4.2. Fragestellung	14
4.3. Antwort	15
4.3.1. Geltende Rechtslage (De lege lata)	15
a) Planungspflicht für Rechenzentren?	15
b) Energieplanung – Fernwärmenetze	16
c) Anschlusspflicht	18
d) Abwärme als Luftverunreinigung	18
e) Abwärme im Bewilligungsverfahren	19
4.3.2. Erforderliche Rechtänderungen (De lege ferenda)	20
f) Problemlage	20
g) Bundesrecht	20
h) Kantonales Recht	21
4.3.3. Ausblick	21
5. Serverheizungen	22
5.1. Mikro-Rechenzentrum im NEST der EMPA	22
5.2. k51.ch	23
5.3. Bedeutung für die Abwärmenutzung	24

6. Abwärmenutzung und Effizienz aus Sicht EDV-Technik	25
6.1. Definitionen und spezifische Begriffe	25
6.1.1. Datacenter allgemein	25
6.1.2. Rechenzentrums Infrastruktur und Anlagen	25
6.1.3. Anwendungen und Dienstleistungen	26
6.2. Übersicht Rechenzentren (in der Schweiz)	27
6.2.1. Vorwort und Erklärungen	27
6.2.2. Differenzierung von Datacentern nach Anwendung, Standort und Kapazität	29
6.2.2.1 Grundsätzliches und Hintergrund	29
6.2.2.2 Colocation- und Hosting Rechenzentren (Kategorie A und B)	30
6.2.2.3 Enterprise Rechenzentrum (Kategorie C und D)	31
6.3. Energie-Effizienz und Abwärmenutzung in Datacentern	32
6.3.1. Vorwort und Erklärungen	32
6.3.1.1 Energie-Verbraucher in einem Rechenzentrum	32
6.3.1.2 Aktuelle Herausforderungen bei der Planung und Dimensionierung von Rechenzentren	34
6.3.1.3 Indikatoren und Messmethoden für die Effizienz	39
6.3.2. Effizienz-Steigerung in Rechenzentren, Übersicht Massnahmen und Potenziale	39
6.3.2.1 Colocation- und Hosting Rechenzentren (Kategorie A und B)	40
6.3.2.2 Enterprise Rechenzentrum (Kategorie C und D)	40
6.3.2.3 Stand der Technik und Potenziale zur Effizienz-Steigerung durch verfügbare Technologien	40
6.3.3. Abwärmenutzung in Rechenzentren - Herausforderungen, Probleme und Potenziale	43
6.3.3.1 Vorwort und Erklärungen zum Thema Abwärmenutzung	43
6.3.3.2 Colocation- und Hosting Rechenzentren (Kategorie A und B)	44
6.3.3.3 Enterprise Rechenzentrum (Kategorie C und D)	45
6.3.4. Empfehlungen und Anregungen	46
6.3.4.1 Empfehlungen T. Dehmel	46
6.4. Anhang	49

1. Ausgangslage/Ziele

Auslöser für die Zusammenstellung dieses Berichts ist das dringliche Postulat Nachhaltige Datencenter, KR-Nr. 315/2022. Als Ergänzung zur Antwort des Regierungsrats werden hier verschiedene Fragestellungen detaillierter untersucht oder dargelegt. Für die Erarbeitung einzelner Abschnitte dieses Berichts wurden externe Fachpersonen beigezogen. Verschiedentlich wird auf neue Publikationen verwiesen, besonders zu erwähnen ist der Bericht «*Abwärmenutzung von Rechenzentren – Potenzialstudie und Empfehlungen für Betreiber und Gemeinden*» vom 1. Juni 2023 wurde durch Eicher+Pauli AG im Auftrag von EnergieSchweiz erarbeitet.

1.1. Das dringliche Postulat KR-Nr. 315/2022

Das dringliche Postulat der Kantonsräte Michael Zeugin, Winterthur, Markus Bärtschiger, Schlieren, und Michael Bänninger, Winterthur, fordert:

Der Regierungsrat wird aufgefordert, Betreibergesellschaften von Datencentern zu verpflichten, ihre Abwärme nicht mehr mit Wärmetauschern an die Luft abzugeben, sondern sich prioritär regionalen Heizverbunden anzuschliessen. Wo diese nicht vorhanden, sind neue Heizverbunde zu gründen oder ist die Abwärme anderweitig nutzen. Zudem wird der Kanton aufgefordert, dafür beim AWEL eine Fachstelle Synergie und Wärmeenergie zu bezeichnen. Die Fachstelle soll Betreibenden von Datencentern insbesondere helfen, auf Green-Grid-Technologien umzusteigen.

Begründung:

Im kommenden Winter droht eine Stromlücke und fossile Heizenergie – insbesondere Gas – droht knapp zu werden. Im Kanton Zürich sind zahlreiche Dienstleistungskonzerne ansässig, die Datencenter betreiben (Banken, Versicherungen, Softwareanbieter, usw.). Diese Datencenter erzeugen so grosse Mengen Wärme, dass die Quartiere im Umkreis der Datencenter damit geheizt werden könnten. Bisher wird die Abwärme der Datencenter über riesige Wärmetauscher auf den Dächern an die Aussenluft abgegeben.

Mit der Smart-Industrie (Industrie 4.0), selbstfahrenden Autos und weiteren Digitaltechnologien wird der Bedarf an Datencentern weiterhin rasant steigen. Wenn der Kanton die Betreiber von Datencentern verpflichtet, ihre Energie nachhaltig zu nutzen, können die Klimaziele erreicht werden. Für die Betreiber von Datencentern entsteht dabei ein Zusatznutzen, der die Unternehmen zu raschem Handeln motivieren wird.

Um das nötige Know-how dabei möglichst schnell zu transferieren, muss der Kanton deshalb so schnell wie möglich eine Fachstelle Synergie und Wärmeenergie beim AWEL schaffen, die aktiv auf die Betreiber von Datencentern und Wärmeverbunden zugeht und sie mit ihren gemeinsamen Interessen an einen Tisch bringt.

1.2. Publikationen zu Rechenzentren

Aufgrund der Zunahme von Rechenzentren wurden in den letzten Jahren verschiedene Untersuchungen und Berichte publiziert. Die folgenden Dokumente lieferten wichtige Inputs bei der Bearbeitung des dringlichen Postulats.

1.2.1. Abwärmenutzung von Rechenzentren (2023)

Der Bericht «*Abwärmenutzung von Rechenzentren – Potenzialstudie und Empfehlungen für Betreiber und Gemeinden*» vom 1. Juni 2023 wurde im Auftrag von EnergieSchweiz durch Eicher+Pauli AG (Christine Kulemann, Philipp Husi, René Gerber, Andrea Grüniger, Stefan Gemperle) erarbeitet. Das Ziel war die heutigen Rahmenbedingungen für die Abwärmenutzung von Rechenzentren zu eruieren und deren Gesamtpotenzial schweizweit abzuschätzen, sowie Erkenntnisse, Lösungsansätze und Empfehlungen für den Anschub der Abwärmenutzung von Rechenzentren abzuleiten. Im Bericht werden die relevanten Einflussfaktoren von Rechenzentren auf die externe Abwärmenutzung in der Umgebung aufgezeigt. Eine Schlussfolgerung in den Empfehlungen sind Regelungen zur Abwärmenutzung. Die Auskoppelung der Abwärme ist baulich umzusetzen und die auskoppelbare Abwärme zur externen Nutzung in der Umgebung zur Verfügung zu stellen. Diese Empfehlung ist im Kanton Zürich bereits umgesetzt mit § 30a Abs. 2 BBV I.

Inhaltsübersicht:

1. **Projektbeschrieb**
2. **Arten von Rechenzentren**
Zusammenhang Stromverbrauch und Abwärme
Rechenzentren: älteres, typisches, modernes
3. **Arten der Abwärmenutzung von Rechenzentren**
Wärmenetze und Abwärmenutzung allgemein
Abwärmenutzung mit einem Hochtemperaturnetz
Abwärmenutzung mit einem Niedertemperaturnetz
4. **Nutzbares Abwärmepotenzial von Rechenzentren**
Zeitlicher Verlauf von Abwärmeangebot und Wärmebedarf
Fallbeispiele zum nutzbaren Potenzial
5. **Wirtschaftlichkeit und Abwärmenutzung im Wärmenetz**
Auskoppelung von Abwärme
Wärmenetz mit zentraler Wärmeaufbereitung
Anschlussgebühren Eigentümerschaften an Wärmenetz
6. **Beispielrechnungen Rechenzentren**
Methodik, Beispiele: kleines, mittleres und grosses Rechenzentrum
7. **Synthese zum Abwärmepotenzial Rechenzentren**
Schätzung und Diskussion Abwärmepotenzial Rechenzentren
8. **Interviews und Erkenntnisse**
Mit Betreibern, Gemeinden, Energiedienstleistern
9. **Lösungsansätze und Empfehlungen**
Bewilligungsverfahren und Energieplanung, Versorgungssicherheit, Hilfsmittel

1.2.2. Rechenzentren in der Schweiz – Bau und Ausbaupläne (2021)

Der Bericht «*Rechenzentren in der Schweiz – Bau- und Ausbaupläne*» vom 23. Februar 2021 wurde im Auftrag von EnergieSchweiz durch 7pro solution AG (René Fasan) erarbeitet. Im Bericht wird aufgezeigt, dass die Rechenzentren massiv ausgebaut werden. Es drängen auch neue Player auf den CH-Markt ein, namentlich Anbieter für Hyperscale-Unternehmen. Die Hyperscaler bauen bisher nicht selbst, sondern mieten sich ein oder lassen für sich bauen mit Nutzung als einziger Kunde. Die Erhebung hat die bekannten Konzentrationen in der Schweiz auf den Grossraum Zürich und im Arc Lémanique bestätigt. Wobei die Kernzonen bereits ausgereizt sind, d.h. kein Land oder nicht genügend Energie verfügbar sind. Deshalb werden neue Standorte in der Umgebung erschlossen. Es ist ein ganz klarer Sprung im Wachstum auszumachen. Sowohl in den Flächen wie auch in den Leistungen. Die grossen Rechenzentren werden heute 5-10x grösser geplant als vor ein paar Jahren und es sind auch mehr Projekte am Laufen oder in Planung.

1.2.3. Datacenter in der Schweiz – ewz Whitepaper (2022)

Im Whitepaper «*Datacenter in der Schweiz, Relevanz der Carrier-Leistungen für Geschäftskunden*» vom März 2022 beschreibt das Elektrizitätswerk der Stadt Zürich (ewz) die Ausgangslage und ein Angebot für Rechenzentren. Seit über 20 Jahren betreibt das EWZ ein hochperformantes Glasfasernetz in Zürich und bieten sichere, georedundante Glasfaserverbindungen an die Datacenter in der Umgebung an. Das ewz beschreibt die Gründe, warum Rechenzentren in der Schweiz gebaut werden (selten Naturkatastrophen, politische Stabilität, Rechtssicherheit, guter Ruf als Wirtschaftsstandort, Datenschutzrecht). Im Whitepaper wird die Situation des Standorts Zürich und das Angebot des ewz aufgezeigt.

1.2.4. Data Center Market Switzerland (2021)

Die Untersuchung «*DATA CENTER MARKET SWITZERLAND – Niche real estate segment with increasing potential*» aus dem ersten Quartal 2021 des Dienstleistungsunternehmens CBRE, das zu den weltweit führenden Firmen auf dem gewerblichen Immobiliensektor gehört, zeigt die Entwicklung der Rechenzentren in der Schweiz auf. In der gesamten Schweiz sind bereits gegen 100 Datacenter in Betrieb. In Europa haben einzig die Niederlande eine höhere Datacenterdichte als die Schweiz. Die grössten Ansammlungen von Rechenzentren in Europa sind: London (711 MW Informatik-Leistung), Frankfurt (510), Amsterdam (365), Paris (204), Dublin (94), Zürich (68), Mailand (57), Stockholm (42), Warschau (36) und Madrid (25). Die Rechenzentren in der Schweiz und im Raum Zürich werden auf Karten dargestellt.

1.2.5. Machbarkeitsstudie Nutzung Abwärme RZ Beringen (2022)

Im Auftrag des Baudepartements des Kantons Schaffhausen, Energiefachstelle, studierte Amstein + Walthert AG (Zoë Strässle, Matthias Mast, René Hoffmann) die Möglichkeiten zur Nutzung der Abwärme des Rechenzentrums in Beringen. Die Ergebnisse wurden im Schlussbericht «*Machbarkeitsstudie zur Nutzung der Abwärme des Rechenzentrums Beringen*» vom 13.12.2022 publiziert. Für dieses Rechenzentrum wurden Strategien für die Abwärmenutzung ausgearbeitet, um die Machbarkeit abzuschätzen und um Handlungsempfehlungen bzw. eine Entscheidungsgrundlage liefern zu können. Für das Rechenzentrum von im Endausbau 30 MW elektrischer Leistung wird von einer mittleren Auslastung von 30% - 50% ausgegangen, was einer thermischen Abwärmeleistung von 9 – 15 MW und einer Abwärmemenge von 79 GWh/a entspricht. Das nutzbare Temperaturniveau wird max. 39°C betragen. Der tatsächliche Ausbaupfad eines Rechenzentrums weicht oft von

den Planungswerten ab, so dass die Abwärme nicht dauerhaft garantiert ist. Zudem sind die Mietverträge im Rechenzentrum deutlich kürzer als die Investitions- und Abschreibungszeiträume für thermische Netze, was bei der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der Abwärmenutzung berücksichtigt werden muss. Es wird davon ausgegangen, dass in Beringen mit thermischen Netzen maximal 26 GWh/a genutzt werden können, was einem Anteil von ca. 30% der erwarteten Abwärmemenge im Endausbau entspricht. Somit gibt es im Endausbau, unabhängig von der Auslastung des Rechenzentrums, ein Abwärmeüberschuss. Dies liegt insbesondere an der begrenzten Wärmeabsatzmöglichkeit in der näheren Umgebung.

Im Bericht wird empfohlen, die rechtlichen Rahmenbedingungen für die Abwärmenutzung zu schaffen, insbesondere sind die nötigen Schnittstellen festzulegen. Diese Empfehlung ist im Kanton Zürich bereits umgesetzt mit § 30a Abs. 2 BBV I. Im Bericht wird festgestellt, dass es in der Schweiz noch keine kantonalen Vorgaben für Rechenzentren gibt. Es wurde übersehen, dass die Vorgabe für die Abwärmenutzung für alle Bauarten, nicht nur für Rechenzentren gilt.

1.2.6. Rechenzentren - Stromverbrauch und Effizienzpotenzial (2021)

Der Bericht «*Rechenzentren in der Schweiz – Stromverbrauch und Effizienzpotenzial*» vom April 2021 wurde im Auftrag von EnergieSchweiz durch TEP Energy GmbH gemeinsam mit Hochschule Luzern (HSLU) (Dr. Martin Jakob, Jonas Müller, Prof. Adrian Altenburger) erarbeitet. Ziel dieser Studie war es, zum Stromverbrauch sowie zum bestehenden Energieeffizienzpotenzial eine Datengrundlage zu schaffen und den Stromverbrauch von Rechenzentren zu erheben und das verbleibende Energieeffizienzpotenzial abzuschätzen. Aus statistischen Analysen und Hochrechnungen auf die Schweiz ergab sich für 2019 ein Stromverbrauch in Schweizer Rechenzentren und Serverräumen zwischen 1,85 und 2,37 TWh („Best guess“ 2,1 TWh), was rund 3,6% des schweizerischen Stromverbrauchs entspricht. Das Energieeffizienzpotenzial wurde auf rund 46% des aktuellen Stromverbrauchs geschätzt. Durch dessen Ausschöpfung soll die Stromverbrauchszunahme gedämpft werden. Der künftige Stromverbrauch wurde mit 2,7 - 3,5 TWh geschätzt.

2. Kantonale Vorschriften

2.1. Abwärmenutzung im Gebäude

Nach § 30a Abs. 1 BBV I (Besondere Bauverordnung I vom 6. Mai 1981, LS 700.21) ist im Gebäude anfallende Abwärme, insbesondere jene aus Kälteerzeugung sowie aus gewerblichen und industriellen Prozessen, zu nutzen, soweit dies technisch und betrieblich möglich und wirtschaftlich tragbar ist. Die Einhaltung dieser Anforderungen wird im Rahmen des Baubewilligungsverfahrens überwacht.

Bei Rechenzentren fällt viel Abwärme an. Bei grösseren Rechenzentren übersteigt die zur Verfügung stehende Abwärme den Bedarf an Wärme für die Raumheizung.

2.2. Abgabe der Abwärme

Nach § 30a Abs. 2 BBV I – einer Ergänzung vom 8. Juni 2022, die seit 1. September 2022 in Kraft ist – muss bei Neubauten oder bei bestehenden Bauten nach Erneuerungen und Umbauten der Kälteerzeugung Abwärme von mehr als zwei Gigawattstunden (GWh), die nicht selbst genutzt werden kann, Dritten in geeigneter Form zu den Gestehungskosten zur Nutzung zur Verfügung gestellt werden.

Gemäss den Erläuterungen soll die Vorrichtung zur Abgabe der Abwärme so erstellt werden, dass die Abwärmenutzung durch Dritte ohne wesentliche Einschränkungen auf Nutzung und Betrieb der Baute (welche die Abwärme erzeugt) erfolgen kann. In der Regel wird deshalb eine Anschlussstelle unten am Gebäude vorzubereiten sein (RRB Nr. 840 vom 8. Juni 2022 betreffend Änderung der BBV I, Zu § 30a, S. 9). Die anschlussfähige Bereitstellung nutzbarer Abwärme von Rechenzentren ist damit geregelt.

2.3. Grossverbraucher

Als Grossverbraucher gelten gemäss § 13a EnerG Betriebsstätten mit einem jährlichen Elektrizitätsverbrauch von mehr als einer halben Gigawattstunde. Grossverbraucher können verpflichtet werden, ihren Energieverbrauch zu analysieren und zumutbare Massnahmen zur Verbrauchsreduktion zu realisieren. Befreit davon sind Grossverbraucher, die eine Zielvereinbarung über die Entwicklung des Energieverbrauchs abschliessen.

Rechenzentren sind in der Regel Grossverbraucher. In der Regel haben wurde eine Zielvereinbarung abgeschlossen.

3. Rechenzentren

3.1. In der Schweiz

Das Dienstleistungsunternehmens CBRE gehört zu den weltweit führenden Firmen auf dem gewerblichen Immobiliensektor. Im ersten Quartal 2021 publizierte es eine Studie über die Entwicklung in der Schweiz (<https://www.cbre.com/insights/figures/data-center-market-switzerland-2021>) und fragte in der Einleitung: «*Wussten Sie, dass die Schweiz gemessen an der Anzahl der Rechenzentren zu den zehn grössten Rechenzentrumsmärkten in Europa gehört? Und wussten Sie, dass die Region Zürich bei der Stromversorgung von Rechenzentren nach Frankfurt, London, Amsterdam, Paris und Dublin auf dem sechsten Platz liegt und immer noch über eine grosse Pipeline an Hyperscaler-Entwicklungen verfügt?*».

Demnach sind in der Schweiz bereits etwa 100 Rechenzentren in Betrieb. In Europa haben einzig die Niederlande eine höhere Datacenterdichte als die Schweiz. Die Schweiz ist interessant, weil sie ihre eigenen Datenschutzanforderungen hat. Das ermöglicht es internationalen Unternehmen, von einer europäischen Basis aus zu operieren, ohne die Anforderungen der Europäischen Union, insbesondere der Datenschutz-Grundverordnung (DSGVO), einhalten zu müssen.

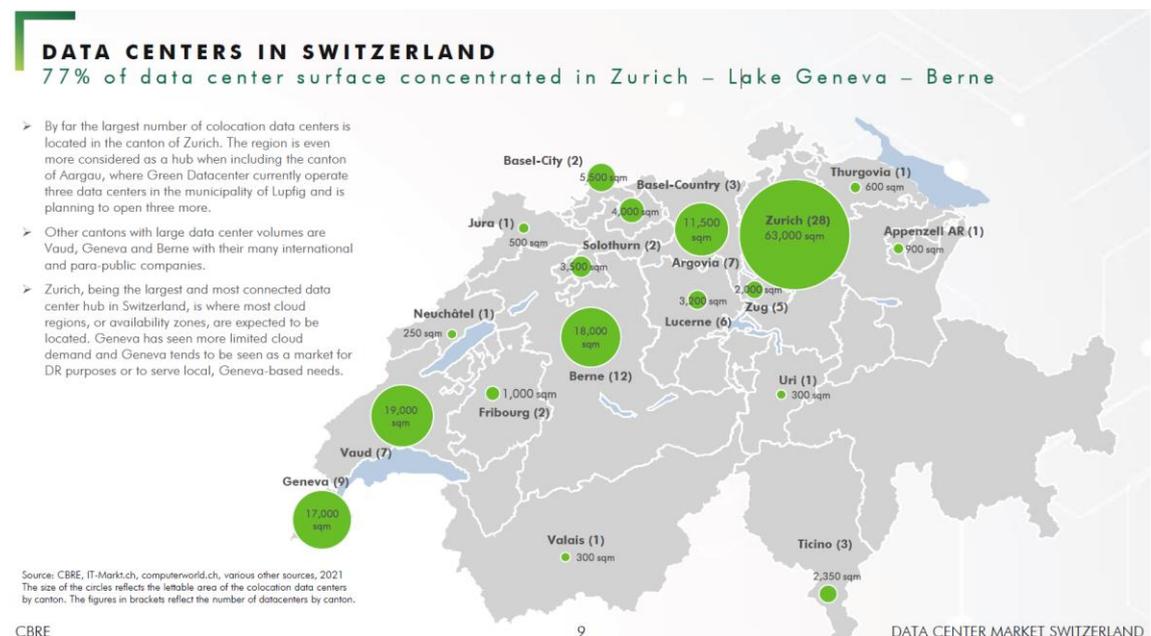
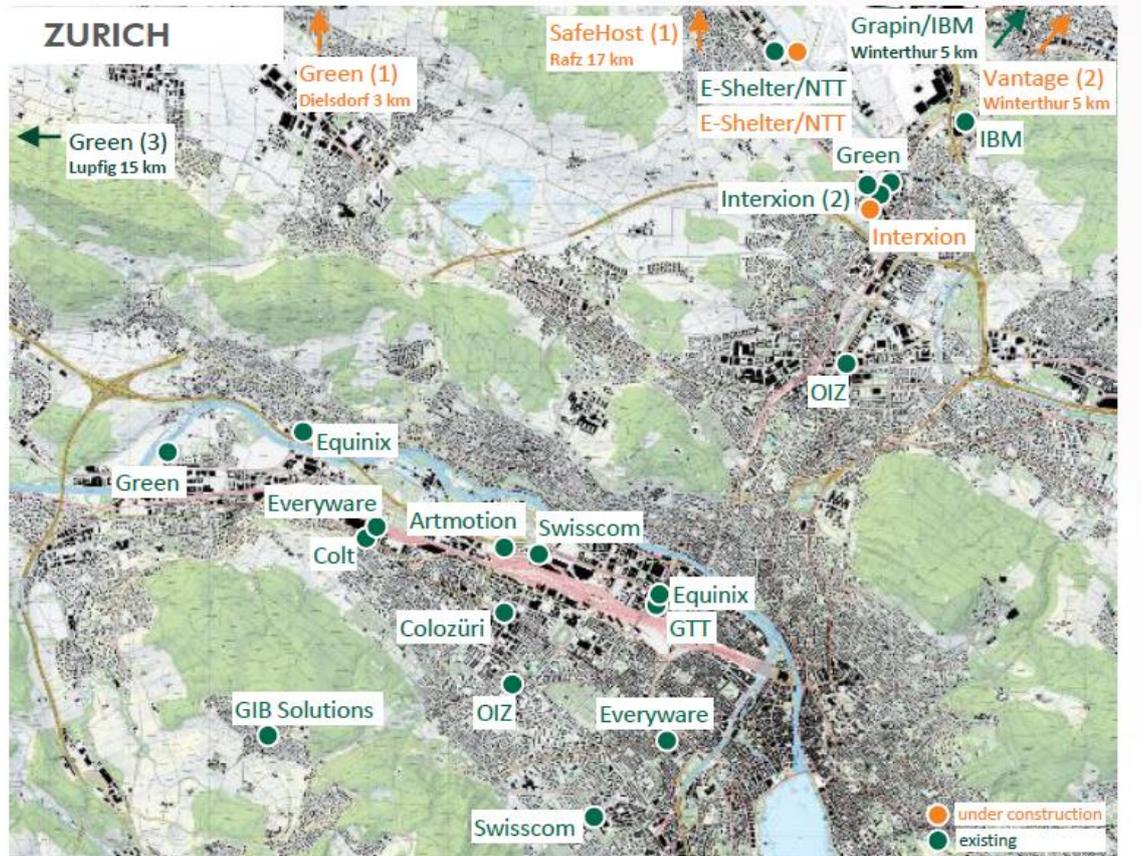


Abb. Rechenzentren in der Schweiz (Quelle: CBRE, 2021)

3.2. Im Kanton Zürich

Gemäss CBRE-Studie lag Zürich auf Platz 6 des europäischen Markts (Stand drittes Quartal 2020). Mit 68 MW Informatik-Leistung liegt Zürich hinter London (711 MW), Frankfurt (510 MW), Amsterdam (365), Paris (204) und Dublin (94 MW), jedoch vor Mailand (57 MW), Stockholm (42 MW), Warschau (36 MW) und Madrid (25 MW). Zu den 68 MW erwähnte CBRE, dass weitere rund 50 MW in Bau sind. CBRE fand 2021 die nachfolgend abgebildeten Rechenzentren:



Demand ICT, banking and insurance, large corporates

Key facts Colocation supply of 68 MW. Important new tenants since 2019: Google, Microsoft, Oracle.

Trends Approx. 50 MW of colocation supply in the pipeline until 2022. More data centers planned by Vantage Data Centers in Winterthur (2 UC, 2 planned), by Green Datacenter in Lupfig (3 existing, 3 planned) and in Dielsdorf (1 UC, 2 planned).

Abb. Rechenzentren Zürich (Quelle: CBRE, 2021)

Die nächste Abbildung zeigt die dem AWEL bekannten Standorte der Rechenzentren im Kanton im Kontext der kommunalen Energieplanung. Als gross wurde der Handlungsbedarf bei der kommunalen Energieplanung dann beurteilt, wenn die Genehmigung der geltenden Energieplanung schon längere Zeit her ist oder wenn seit der Genehmigung neue grosse Abwärmequellen erkannt wurden. Anmerkungen zu den Standorten der Rechenzentren:

- Die Karte ist nicht vollständig, da nicht alle Informationen zu den Rechenzentren öffentlich auffindbar sind.
- In Wädenswil steht das Rechenzentrum Datapark von der Hosttech GmbH (Quelle: www.hosttech.ch/unternehmen/infrastruktur). Der genaue Standort ist nicht bekannt.

Handlungsbedarf kommunale Energieplanungen

Stand August 2023

- gross
- mittel
- klein
- Subventionsgesuch bewilligt
- Bestrebungen
- ★ Rechenzentrum



Abb. Rechenzentren und Handlungsbedarf der Städte und Gemeinden bei der kommunalen Energieplanung (Quelle: AWEL/Energie, 2023)

Das Rechenzentrum Interxion auf der Gemeindegrenze Opfikon/Rümlang zeigt beispielhaft die energetische Bedeutung der Rechenzentren. Die drei Zentren ZUR1, ZUR2 und ZUR3 haben zusammen 41 MW IT-Power (Quelle: www.interxion.com/ch/unsere-standorte/europa/zurich-campus). Für die Luftbelastung sind die Notstromanlagen zu betrachten: Die Notstromanlagen müssen eine elektrische Leistung von mindestens der Grösse der Rechenleistung und damit eine Feuerungswärmeleistung von rund 150 MW (Megawatt) haben (inkl. Redundanz, Annahme für Wirkungsgrad: $\frac{1}{3}$ Strom, $\frac{2}{3}$ Abwärme und Verluste). Aufgrund der Feuerungsleistung kann der Brennstoffumsatz geschätzt werden: 150 MW bedeutet etwa 15 000 Liter Heizöl pro Stunde, wenn alle Motoren gleichzeitig laufen würden. Dies dürfte höchstens bei einem Ausfall des Stromnetzes nötig werden. Für Probeläufe dürfen Notstromanlagen höchstens 50 Stunden pro Jahr betrieben werden (§ 12b EnerG).

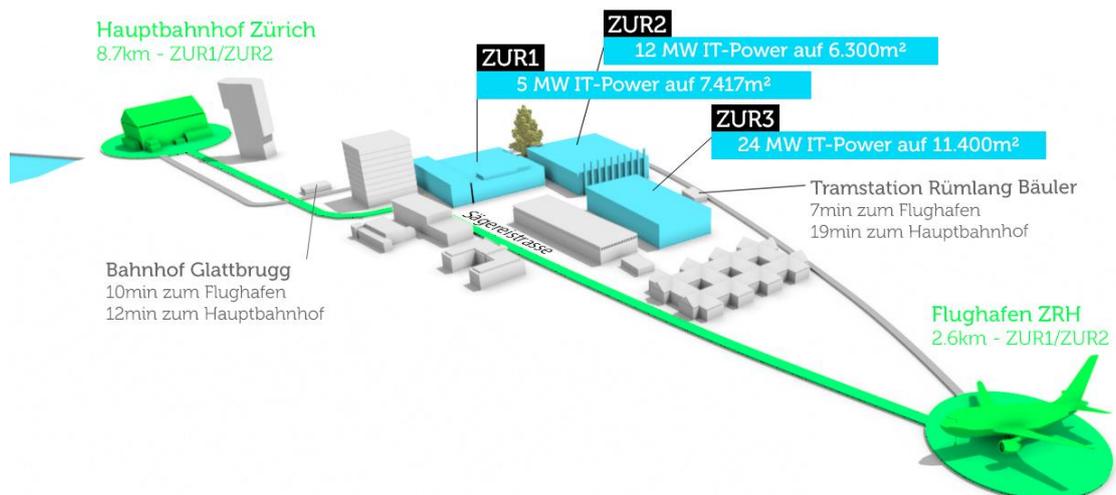


Abb. Rechenzentrum Interxion in Glattbrugg/Rümlang (Bildquelle: Internet, siehe Text)

Die Feuerungswärmeleistung im Vergleich: Die naheliegende Heizzentrale des Flughafens Zürich hat vier Heizkessel mit zusammen 120 MW Leistung plus eine Wärmekraftkopplungsanlage mit 10 MW elektrischer Leistung (Quelle: heizkraftwerk.ch). Die Fernwärme von Entsorgung + Recycling Zürich hat eine abonnierte Wärmeleistung von 483 MW (Quelle: www.stadt-zuerich.ch/ted/de/index/entsorgung_recycling/wissen/waermeproduktion/fakten-fw.html).

Die Abwärme der Rechenzentren soll genutzt werden. Gemeinsam planen InterXion (Schweiz) GmbH, die Genossenschaft Elektra Baselland (EBL) und der lokale Energieversorger Energie Opfikon AG einen Energieverbund, der als primäre Energiequelle die Abwärme dieser Datacenter (rund 7 MW) nutzt. Diese wird über Grosswärmepumpen aufbereitet und für die angeschlossenen Kunden nutzbar gemacht, für die Wärmeverteilung ist ein Fernwärmenetz von 7,7 km Länge in Planung. (Quelle: www.interxion.com/ch/news/01/2022/energieverbund-airport-city)

4. Raumplanungsrecht

In diesem Abschnitt werden die rechtlichen Rahmenbedingungen für Rechenzentren aus planungs- und baurechtlicher Sicht beleuchtet. Die Randziffern sind in diesem Kapitel separat durchnummeriert.

4.1. Ausgangslage

- 1 Im Kantonsrat wurde am 12. September 2022 ein dringliches Postulat betreffend Nachhaltige Datacenter eingereicht. Der Regierungsrat beschloss am 5. Oktober 2022 das Postulat entgegenzunehmen. Der Kantonsrat überwies das dringliche Postulat am 31. Oktober 2022 mit 139 zu 28 Stimmen bei einer Enthaltung. Das Geschäft liegt nun beim Regierungsrat zur Ausarbeitung eines Berichts innert Jahresfrist. Zuständig für die Bearbeitung ist die Baudirektion, innerhalb der Direktion das Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft (AWEL).
- 2 Mit dem dringlichen Postulat wird der Regierungsrat aufgefordert, Betreibergesellschaften von Datazentren zu verpflichten, ihre Abwärme nicht mehr mit Wärmetauschern an die Luft abzugeben, sondern sich prioritär regionalen Heizverbänden anzuschliessen. Wo diese nicht vorhanden seien, sollten neue Heizverbände gegründet werden oder sei die Abwärme anderweitig zu nutzen. Zudem wird die Regierung aufgefordert, beim AWEL eine Fachstelle Synergie und Wärmeenergie zu bezeichnen. Diese Fachstelle solle den Betreiberinnen und Betreibern von Rechenzentren insbesondere helfen, auf Green-Grid-Technologien umzusteigen.

4.2. Fragestellung

- 3 Die durch das Postulat aufgeworfenen Fragen der Abwärmenutzung von Rechenzentren in bestehenden oder zu schaffenden Fernwärmenetzen oder der Nutzung auf andere Weise einschliesslich der damit verbundenen Abgabepflicht liegen im Schnittbereich des Planungs- und Baurechts, des Umweltrechts und des Energierechts.
- 4 Der vorliegende Kurzbericht behandelt in erster Linie planungs- und baurechtliche sowie damit verbundene umweltrechtliche Gesichtspunkte. In zweiter Linie sind auch energierechtliche Bezüge herzustellen.

4.3. Antwort

4.3.1. Geltende Rechtslage (De lege lata)

a) Planungspflicht für Rechenzentren?

- 5 Die meisten Rechenzentren weisen gemäss RRB Nr. 1324 vom 5. Oktober 2022 zur Beantwortung der Anfrage KR-Nr. 206/2022 betreffend Energieeffizienz von Rechenzentren (Zu Fragen 1 und 4, S. 2) einen jährlichen Elektrizitätsverbrauch von mehr als einer halben Gigawattstunde auf und gelten entsprechend als Grossverbraucher gemäss § 13a des Energiegesetzes (EnerG, LS 730.1). Aus raumplanungsrechtlicher Sicht stellt sich die Frage, ob diese Grossverbraucher auch der Planungspflicht unterliegen. Dabei ist davon auszugehen, dass Rechenzentren regelmässig in regulären Bauzonen, wohl in Industrie- oder Gewerbebezonen, errichtet werden und dort auch ohne weiteres zonenkonform sind.
- 6 Die Raumplanung bildet mit der Richt- und Nutzungsplanung sowie den nachfolgenden Baubewilligungs- und allfälligen Ausnahmegewilligungsverfahren ein Ganzes, in dem jeder Teil eine spezifische Funktion erfüllt. Die Richtpläne der Kantone (Art. 6 ff. Bundesgesetz über die Raumplanung [Raumplanungsgesetz; RPG, SR 700]) zeigen in den Grundzügen auf, wie sich das Gebiet räumlich entwickeln soll. Nutzungspläne (Art. 14 ff. RPG) ihrerseits ordnen die zulässige Nutzung des Bodens für jede Parzelle und unterscheiden vorab Bau-, Landwirtschafts- und Schutzzonen. Das Baubewilligungsverfahren schliesslich dient der Abklärung, ob Bauten und Anlagen den im Nutzungsplan ausgedrückten räumlichen Ordnungsvorstellungen entsprechen. Das Bundesrecht verlangt mithin, dass bei der Erfüllung raumplanerischer Aufgaben das angemessene Planungs- bzw. Entscheidungsinstrument zum Einsatz gelangt (zum Ganzen: BGE 140 II 262 E. 2.3.1 mit Hinweisen).
- 7 Vorhaben mit gewichtigen Auswirkungen auf Raum und Umwelt bedürfen nach Art. 8 Abs. 2 RPG einer Grundlage im Richtplan. Bei der Beurteilung der Notwendigkeit einer richtplanerischen Festsetzung ist gemäss bundesgerichtlicher Rechtsprechung die räumliche Wesentlichkeit des Vorhabens wegleitend. Entscheidend ist, ob angesichts der weitreichenden Auswirkungen eines Vorhabens eine vorgängige umfassende Interessenabwägung notwendig erscheint, die nur durch den Prozess der Richtplanung garantiert werden kann (BGE 137 II 254 E. 3.2 mit Hinweisen).
- 8 Umstritten ist sodann, inwieweit Richtplanvorbehalte im Sinn von Art. 8 Abs. 2 RPG zonenkonformen Vorhaben *innerhalb des Siedlungsgebiets* direkt entgegengehalten werden können. Mit gutem Grund kann diesbezüglich die Haltung vertreten werden, dass diese Vorbehalte zunächst in den Nutzungsvorschriften umgesetzt werden müssen. Auch für grundsätzlich zonenkonforme Bauvorhaben innerhalb der Bauzone kann oder muss hingegen die Richtplanpflicht vorgesehen werden, wenn vom betreffenden Vorhaben Auswirkungen ausgehen, die aus übergeordneter Sicht unerwünscht bzw. unzulässig sind (ARNOLD MARTI, Urteilsbesprechung: Bundesgericht, I. öffentlich-rechtliche Abteilung, 6. Februar 2018, 1C_139/2017, in: ZBI 119/2018 S. 595 ff., 603 und 605). – Im konkreten Entscheid hat das Bundesgericht die Richtplanpflicht für ein in der Industriezone geplantes Heizkraftwerk mit einer Versorgungsleistung für rund 9500 Haushalten, mithin einem Energieinfrastrukturprojekt von zumindest regionaler Bedeutung, verneint.

- 9 Die Richtplanpflicht gemäss neuem Art. 8b RPG, wonach die für die Nutzung erneuerbarer Energien geeigneten Gebiete und Gewässerstrecken zu bezeichnen sind, kann für Rechenzentren ungeachtet ihrer Grösse nicht herangezogen werden, da es bei der Abwärme nicht um die Nutzung erneuerbarer Energien geht.
- 10 Bei Rechenzentren müsste die Richtplanpflicht allein über die Umweltauswirkungen begründet werden. Da sie nur in untergeordnetem Mass Verkehr erzeugen, besteht hinsichtlich der Erschliessung regelmässig kein oder kaum Abstimmungsbedarf. Die Auswirkung auf die Umwelt fällt nur – aber immerhin – als Abwärme an. Diese Auswirkung ist jedoch im Vergleich zu anderen Auswirkungen, welche das Umweltrecht im Sinne der Emissionsbegrenzung und des Immissionsschutzes regelt und begrenzt, von untergeordneter Bedeutung. Deshalb erfordern sie im Gegensatz zu stark Lärm oder Verkehr erzeugenden Anlagen keine koordinierende Planung. Die Abwärme wird erst dann zum Gegenstand planerischer Überlegung, wenn diese – wie im dringlichen Postulat gefordert – *genutzt werden* und dazu in ein Fernwärmenetz eingespeist werden *muss*.
- 11 Da Rechenzentren auch regelmässig im Einklang mit den üblichen Bestimmungen für Gewerbe- und Industriezonen stehen dürften und deshalb nicht oder nicht wesentlich von der geltenden Grundordnung abweichen werden (vgl. dazu BGE 126 II 26 E. 4d), braucht es für ihre Errichtung auch keine Sondernutzungsplanung (Gestaltungsplan gemäss § 83 ff. Planungs- und Baugesetz [PBG, LS 700.1]). Selbst wenn für ein Rechenzentrum ein Gestaltungsplan aufzustellen wäre, müsste der Anschluss an ein bestehendes Fernwärmenetz und die Abgabe der beim Rechenzentrum anfallenden Abwärme in den Gestaltungsplanvorschriften auf einer Selbstverpflichtung der Grundeigentümerinnen und Grundeigentümer im Planperimeter beruhen (vgl. dazu den nachfolgenden Abschnitt I.1.c).
- 12 Als Zwischenergebnis lässt sich festhalten, dass Rechenzentren im Normalfall keiner Planungspflicht unterliegen, weder auf Richtplanstufe noch auf Ebene der Nutzungsplanung.
- b) Energieplanung – Fernwärmenetze*
- 13 Nach § 7 EnerG können die Gemeinden für ihr Gebiet eine eigene Energieplanung durchführen (Abs. 1 Satz 1). Die Energieplanung kann für das Angebot der Wärmeversorgung mit leitungsgebundenen Energieträgern Gebietsausscheidungen enthalten, die insbesondere bei Massnahmen der Raumplanung als Entscheidungsgrundlage dienen (Abs. 2). Die Energieplanung dient so der Beurteilung des künftigen Bedarfs und Angebots an Energie sowie der Festlegung der anzustrebenden Entwicklung der Energieversorgung und -nutzung (TOBIAS JAAG/MARKUS RÜSSLI, Staats- und Verwaltungsrecht des Kantons Zürich, 5. A., Zürich/Basel/Genf 2019, Rz. 4605).
- 14 Für Gebiete im Versorgungsbereich von Anlagen mit einem Abwärmepotenzial von mehr als 10'000 MWh/a, die ihrerseits im kantonalen Richtplan aufgenommen werden, kann der Kanton die Gemeinden *zur Durchführung einer kommunalen oder regionalen Energieplanung verpflichten*, um damit Massnahmen zur Nutzung von Abwärme und erneuerbaren Energien festzulegen (vgl. Kantonaler Richtplan, Richtplantext, Pte. 5.4.2.c und 5.4.3.a; § 7 Abs. 1 Satz 2 EnerG). Unter den im kantonalen Richtplan aufgeführten Anlagen befindet sich (noch) kein Rechenzentrum, obwohl das Abwärmepotenzial grosser, moderner Rechenzentren durchaus über dieser Schwelle liegen kann (vgl. EnergieSchweiz [Hrsg.], Abwärmenutzung von Rechenzentren – Potenzialstudie und Empfehlungen für Betreiber

und Gemeinden, Schlussbericht vom 1. Juni 2023; erstellt von Eicher + Pauli AG, Zürich, S. 34). Auf regionaler Stufe sind Anlagen zur Nutzung von Abwärme mit einem Potenzial von mehr als 5'000 MWh/a in den regionalen Richtplänen zu bezeichnen. Mittlere, typische Rechenzentren weisen dieses Abwärmepotenzial auf (a.a.O., S. 32). Gestützt auf § 6 Abs. 3 EnerG kann für diese Anlagen im kantonalen oder einem regionalen Richtplan auch der zu nutzende Anteil der Abwärme festgelegt werden; Kehrichtverbrennungs- und Abwasserreinigungsanlagen sind nur als typische Beispiele aufgeführt (so auch Kantonaler Richtplan, Richtplantext, Pt. 5.4.2.c).

- 15 Mit RRB Nr. 1324 vom 5. Oktober 2022 zur Beantwortung der Anfrage KR-Nr. 206/2022 betreffend Energieeffizienz von Rechenzentren wurde in diesem Zusammenhang ausgeführt (Zu Fragen 1 und 4, S. 3), dass die Gemeinden nach § 7 EnerG die Möglichkeit hätten, *Gebiete zur Nutzung von Abwärme in ihren Energieplanungen festzulegen*. Sie könnten über grundeigentümerverbindliche Instrumente (z. B. [Gestaltungspläne], Sonderbauvorschriften, Arealüberbauungen, Anschlussverpflichtungen gemäss § 295 PBG) oder über andere Massnahmen (z. B. Beratung, Förderung) die Nutzung anfallender Abwärme von Rechenzentren oder anderen Industrie- und Gewerbebetrieben unterstützen.
- 16 In einer kommunalen Energieplanung kann also ein bestehendes oder geplantes Rechenzentrum hinsichtlich Lage und Wärmepotential verzeichnet werden. Ist ein Rechenzentrum aufgrund seines Abwärmepotenzials im kantonalen oder regionalen Richtplan als Abwärmequelle bezeichnet, haben die Gemeinden den *Auftrag*, im kommunalen Energieplan jene Gebiete festzulegen, die dadurch versorgt werden sollen. Jedoch kann die Energieplanung keine grundeigentümerverbindlichen Festlegungen enthalten, da sie von ihrer Rechtsnatur her lediglich behördenverbindlich ist (vgl. VGr, 9. Juli 2020, VB.2020.00136, E. 4.1.2 und 4.1.3, zur Energieplanung der Stadt Zürich).
- 17 Was die angesprochenen grundeigentümerverbindlichen Instrumente betrifft, so ist zu präzisieren, dass im Rahmen von Gestaltungsplänen, Sonderbauvorschriften und Arealüberbauungen als energetische Anforderungen z. B. der im kommunalen Energieplan festgelegte Energieträger verlangt oder höhere Anforderungen an die Energieeffizienz festgelegt werden können (CHRISTOPH FRITZSCHE/PETER BÖSCH/THOMAS WIPF/DANIEL KUNZ, Zürcher Planungs- und Baurecht, 6. A., Zürich 2019, Bd. 2, S. 1300). Damit ist aber für die vorliegend interessierenden Fragen noch nichts gewonnen, da lediglich die *Seite der Wärmeabnahme* mit Planungsinstrumenten geregelt werden kann, nicht aber die Seite der Wärmeabgabe.
- 18 Gemäss § 78a PBG können die Gemeinden in ihrer Bau- und Zonenordnung (BZO) als weitere Festlegung Gebiete bezeichnen und für diese Anordnungen zur Nutzung erneuerbarer Energien treffen. Festgeschrieben werden können gegenüber den kantonalen Vorschriften strengere Anforderungen in Bezug auf die Nutzung erneuerbarer Energien. Die Vorgabe einer bestimmten Technik kann aber nicht verfügt werden (vgl. dazu MAJA SAPUTELLI, Klimaveränderung und Bauen, in: PBG aktuell 2/2020, S. 8). Damit kann auch die Art des Energieträgers nicht vorgegeben werden.
- 19 Zu den erneuerbaren Energien zählen die Wasserkraft, Umgebungswärme, Biomasse, Wind- und insbesondere die Sonnenenergie. Die Abwärme aus einem technischen Prozess gehört jedenfalls nicht dazu. Deshalb kann § 78a PBG in Bezug auf die Nutzung von

Abwärme aus einem gewerblichen bzw. industriellen Prozessen nicht als Rechtsgrundlage herangezogen werden.

- 20 Als weiteres Zwischenergebnis ergibt sich somit, dass im Bereich der Energieplanung die Aufgabe der Gemeinden stark vom Abwärmepotenzial eines Rechenzentrums abhängt. Bei Anlagen, die in einem regionalen (> 5'000 MWh/a) oder im kantonalen (> 10'000 MWh/a) Richtplan festgelegt sind, müssen sie Versorgungsgebiete festlegen. Andernfalls kann die nutzbare Abwärme eines Rechenzentrums lediglich in orientierendem Sinn in der Energieplanung festgehalten werden.

c) *Anschlusspflicht*

- 21 Anlässlich der Revision des Energiegesetzes vom 25. Juni 1995 wurde mit § 295 Abs. 2 PBG eine gesetzliche Grundlage für Fernwärmeversorgungen geschaffen. Danach kann der Staat oder die Gemeinde Grundeigentümer verpflichten, ihre Gebäude innert angemessener Frist an das Leitungsnetz anzuschliessen und das Durchleitungsrecht zu gewähren, wenn eine öffentliche Fernwärmeversorgung lokale Abwärme oder erneuerbare Energien nutzt und die Wärme zu technisch und wirtschaftlich gleichwertigen Bedingungen wie aus konventionellen Anlagen anbietet (vgl. dazu BRKE II Nr. 0132/2002 vom 11. Juni 2002 [= BEZ 2002 Nr. 38]).
- 22 Nach dem Wortlaut regelt § 295 Abs. 2 PBG die Voraussetzungen der Anschlusspflicht an öffentliche Fernwärmenetze für *Wärmeabnehmerinnen und -abnehmer*, nicht aber für solche, die selbst Abwärme erzeugen. Bei § 295 PBG handelt es sich um eine Bestimmung, welche die Baubehörden nicht nur im Rahmen eines Baubewilligungsverfahrens durchsetzen können. Anordnungen zum Anschluss an einen Wärmeverbund können auch unabhängig von der Durchführung eines Baubewilligungsverfahrens bei bestehenden Gebäuden verfügt werden (vgl. dazu auch FRITZSCHE/BÖSCH/WIPF/KUNZ, a.a.O., S. 1300), wobei jedoch der betroffenen Grundeigentümerschaft keine wirtschaftliche Mehrbelastung erwachsen darf.
- 23 § 295 Abs. 2 PBG regelt somit die Anschlusspflicht im Sinne des *Bezuges von Wärme* ab einem öffentlichen Fernwärmenetz und ist keine hinreichende gesetzliche Grundlage, um den Eigentümerinnen und Eigentümern bzw. Betreiberinnen und Betreibern von Rechenzentren den Anschluss zur *Wärmeabgabe* oder gar die *Erstellung und den Betrieb von Fernwärmeanlagen* vorschreiben zu können. Im vorliegenden Kontext zeigt § 295 PBG immerhin auf, dass es für eine Anschlusspflicht eine gesetzliche Grundlage braucht.

d) *Abwärme als Luftverunreinigung*

- 24 Wie bereits im Zwischenbericht vom 10. April 2023 ist an dieser Stelle auch noch das Umweltschutzrecht heranzuziehen. Abwärme gehört gemäss Art. 7 Abs. 3 des Umweltschutzgesetzes (USG, SR 814.01) zu den Luftverunreinigungen, da sie den natürlichen Zustand der Luft verändert. Bei der mit Wärmetauschern an die Luft abgegebene Abwärme handelt es sich im Sinne von Art. 7 Abs. 2 USG um Emissionen. Letztere sind nach dem Grundsatz der Emissionsbegrenzung gemäss Art. 11 USG durch Massnahmen bei der Quelle zu begrenzen (Emissionsbegrenzungen; Abs. 1). Unabhängig von der bestehenden Umweltbelastung sind Emissionen im Rahmen der Vorsorge so weit zu begrenzen, als dies technisch und betrieblich möglich und wirtschaftlich tragbar ist (Abs. 2). Emissionen werden nach Art. 12 Abs. 1 USG eingeschränkt durch den Erlass von: a. Emissionsgrenz-

werten; b. Bau- und Ausrüstungsvorschriften; c. Verkehrs- oder Betriebsvorschriften; d. Vorschriften über die Wärmeisolation von Gebäuden; e. Vorschriften über Brenn- und Treibstoffe. Art. 12 Abs. 2 USG hält weiter fest, dass Begrenzungen durch Verordnungen oder, soweit diese nichts vorsehen, durch unmittelbar auf dieses Gesetz abgestützte Verfügungen vorgeschrieben werden.

- 25 Das Umweltrecht des Bundes zielt also im Grundsatz darauf ab, Abwärme als Art der Luftverunreinigung grundsätzlich und an der Quelle zu vermeiden. Im Zuge der vorschreitenden Verbesserung der in den Rechenzentren eingesetzten Technik führt dies dazu, dass im Rahmen der technischen und betrieblichen Tragbarkeit auch die Abwärme tendenziell abnehmen wird. Dies steht dem langfristigen Einsatz als Wärmequelle in einem Fernwärmenetz entgegen.
- e) *Abwärme im Bewilligungsverfahren*
- 26 Gestützt auf § 359 Abs. 1 lit. h PBG kann der Regierungsrat Bestimmungen über die energetischen Anforderungen an Bauten und Anlagen erlassen. Von dieser Kompetenz hat er mit Erlass der Besonderen Bauverordnung I (BBV I, LS 700.21) Gebrauch gemacht. Gemäss § 30a Abs. 1 BBV I ist im Gebäude anfallende Abwärme, insbesondere jene aus Kälteerzeugung sowie aus gewerblichen und industriellen Prozessen, *zu nutzen*, soweit dies technisch und betrieblich möglich und wirtschaftlich tragbar ist.
- 27 Im Rahmen einer Baubewilligung ist dieser Vorgabe zur *Nutzung der Abwärme* auch bei Rechenzentren durch angemessene Auflagen Rechnung zu tragen. Der Aufbau eines Fernwärmenetzes zur Wärmenutzung in anderen, in der Nähe liegenden Bauten kann jedoch mit der Baubewilligung nicht verfügt werden (so schon in RRB Nr. 1324 vom 5. Oktober 2022 zur Beantwortung der Anfrage KR-Nr. 206/2022 betreffend Energieeffizienz von Rechenzentren, Zu Fragen 1 und 4, S. 3; unter Hinweis auf RRB Nr. 840 vom 8. Juni 2022 betreffend Änderung der BBV I). Im Anwendungsbereich dieser Bestimmung kann deshalb nur die *Nutzung der Abwärme im gleichen Gebäude oder auf dem Areal, das der Bewilligungsadressatin bzw. dem Bewilligungsadressanten gehört*, geregelt werden.
- 28 Nach § 30a Abs. 2 BBV I – einer Ergänzung vom 8. Juni 2022, die seit 1. September 2022 in Kraft ist – muss zudem neuerdings bei Neubauten oder bei bestehenden Bauten nach Erneuerungen und Umbauten der Kälteerzeugung Abwärme von mehr als zwei Gigawattstunden (GWh), die nicht selbst genutzt werden kann, *Dritten in geeigneter Form* zu den Gesteungskosten *zur Nutzung zur Verfügung gestellt werden*. Gemäss den Erläuterungen soll die Vorrichtung zur Abgabe der Abwärme so erstellt werden, dass die Abwärmenutzung durch Dritte ohne wesentliche Einschränkungen auf Nutzung und Betrieb der Baute (welche die Abwärme erzeugt) erfolgen kann. In der Regel wird deshalb eine Anschlussstelle unten am Gebäude vorzubereiten sein (RRB Nr. 840 vom 8. Juni 2022 betreffend Änderung der BBV I, Zu § 30a, S. 9). Die *anschlussfähige Bereitstellung* nutzbarer Abwärme von Rechenzentren ist damit geregelt. Die Bereitstellung der Anschlussstelle kann auch als (vorbereitende) Massnahme zur Emissionsbegrenzung an der Quelle qualifiziert werden.
- 29 Hinzuweisen ist noch auf Folgendes: Bei Bestandesbauten stellt die Bestimmung auf die Erneuerung und den Umbau der Kälteerzeugung ab. Damit werden nur Fälle erfasst, bei denen ganze Räume unter Einsatz entsprechender gebäudetechnischer Einrichtungen gekühlt werden. Nicht erfasst werden nach der hier vertretenden Auffassung geräteseitige

Kühlungen, deren Abwärme über die Raumluft abgeführt und mit einer entsprechenden Anlage zurückgewonnen wird. Die geräteseitigen Kühlungen gehören nicht zu den bewilligungspflichtigen Anlagen, Ausstattungen und Ausrüstungen im Sinne von § 309 Abs. 1 lit. d PBG.

4.3.2. Erforderliche Rechtänderungen (De lege ferenda)

f) Problemlage

- 30 Aus der Darstellung des geltenden Rechts ergibt sich zum einen, dass Rechenzenter im Normalfall keiner Planungspflicht unterliegen. Ihre räumliche Allokation lässt sich deshalb nicht steuern. Aufgrund der freien Standortwahl von Rechenzentren kann nicht verhindert werden, dass die Abwärmequelle in Bezug auf die Abführung und Übernahme der Abwärme an ungünstige bis ungeeignete Orte zu stehen kommt. Die nutzbare Abwärme eines Rechenzentrums kann lediglich in orientierendem Sinn in einem kommunalen Energieplanung festgehalten werden.
- 31 Erstellerinnen und Ersteller von Rechenzentren, die Abwärme im Umfang von mehr als zwei GWh nicht selbst nutzen können, können jedoch verpflichtet werden, diese Abwärme Dritten zur Verfügung zu stellen. Aber eine Verpflichtung, das weiterführende Fernwärmenetz zu erstellen, kann damit nicht verbunden werden und Dritte können in der Regel nicht zum Anschluss und zur Übernahme der Abwärme verpflichtet werden. Lediglich wenn das Rechenzenter aufgrund seines Potenzials als Abwärmequelle im kommunalen Energieplan aufgenommen werden muss (vgl. Rz. 20) und von der öffentlichen Hand betrieben wird, bestehen bereits gesetzliche Grundlagen für eine Anschlusspflicht. In allen anderen Fällen bedarf eine solche Anschlusspflicht einer neuen gesetzlichen Grundlage. Freilich können sich eine im Sinne von § 30a Abs. 2 BBV I abgabepflichtige Eigentümer- bzw. Betreiberschaft und eine Abnehmerin bzw. ein Abnehmer ohne weiteres auf privatrechtlicher Basis bezüglich der Wärmeübernahme verständigen.
- 32 Zum andern zielt das Umweltrecht des Bundes grundsätzlich darauf ab, Abwärme als Art der Luftverunreinigung an der Quelle zu vermeiden. Das macht Rechenzenter auf lange Sicht im Zuge des technischen Fortschritts nicht zu beständigen Wärmequellen. Hinzu kommt, dass die privaten Rechenzenter nicht einer Betriebspflicht unterstehen.
- 33 In diesem Spannungsfeld stehen die im Postulat aufgeworfenen Fragen der Abwärmenutzung von Rechenzentren in bestehenden oder zu schaffenden Fernwärmenetzen und der damit verbundenen Abgabepflicht.

g) Bundesrecht

- 34 Auf Bundesebene zieht der Bundesrat keine speziell und ausschliesslich für Rechenzentren geltenden Anforderungen in Betracht, sei es im Sinne einer Verpflichtung zu Investitionen in erneuerbare Energien, zur Nutzung von Abwärme oder im Hinblick auf die Raumplanung. Für Massnahmen, die den Verbrauch von Energie in Gebäuden betreffen, verweist der Bund auf die Zuständigkeit der Kantone. Die Kantone und Gemeinden könnten als Bewilligungsbehörden Auflagen bezüglich der Nutzung von Abwärme formulieren, die auch für Rechenzentren gelten würden (Stellungnahme des Bundesrates vom 11. August 2021 zur

Interpellation Martina Munz vom 4. Mai 2021 betreffend SIA-Norm und Effizienz-Label für Rechenzentren und Serverräume [21.3534]).

- 35 Diese Aussage des Bundesrats, die in der Anfrage KR-Nr. 206/2022 betreffend Energieeffizienz von Rechenzentren auch von den Fragestellern zitiert wird (a.a.O., S. 2), bedarf der Präzisierung. Damit Kantone und Gemeinden als Bewilligungsbehörden im Rahmen von Baubewilligungen Auflagen machen können, braucht es die notwendigen Grundlagen: *sowohl rechtlich als auch technisch*. Erstens zur Rechtsetzung: Der Kanton Zürich hat mit § 30a Abs. 2 BBV I bereits die Verpflichtung zur Abgabe grosser Abwärmemengen geschaffen (vgl. Rz. 28). Zweitens zu den technischen Anforderungen: Eine technische Norm auf kantonaler Stufe ist in diesem internationalen Geschäft kaum sinnvoll. Daher ist es angezeigt, mindestens schweizweit eine einheitliche Normung anzustreben. So hat kürzlich der Schweizerische Ingenieur- und Architektenverein SIA den Projektstart zur Erarbeitung eines neuen Merkblatts SIA 2068 Energieeffizienz in Rechenzentren beschlossen (vgl. www.sia.ch → Dienstleistungen → Artikel/Beiträge → 14.06.2023: Aus der zweiten Sitzung der Zentralkommission für Normen [ZN] vom 8. Juni 2023).

h) Kantonales Recht

- 36 Mit einer bundesrechtlichen Lösung für das vorliegende Problem kann somit nicht gerechnet werden; sie ist auf kantonaler Ebene zu schaffen. Da eine Angebotspflicht für Abwärme bereits besteht, liegt die naheliegendste Lösung in einer Modifikation der Anschlusspflicht gemäss § 295 Abs. 2 PBG. Dazu müsste in erster Linie die Beschränkung auf die «öffentliche Fernwärmeversorgung» zugunsten einer allgemeineren Formulierung entfallen, welche auch Abgabepflichtige im Sinne von § 30a Abs. 2 BBV I einschliesst.

4.3.3. Ausblick

- 37 Sind im Bereich der Stromerzeugung mit thermoelektrischen Generatoren, welche Niedertemperatur-Wärme nutzen können, rasch weitere Fortschritte zu erwarten (vgl. dazu z.B. das Forschungsprojekt Nr. SI/501211 «Potential der Thermoelektrik zur Abwärmenutzung» des Bundesamt für Energie [BFE], <https://www.aramis.admin.ch/Texte/?ProjectID=36371>), welche einen wirtschaftlichen Einsatz dieser Technik erlauben, könnte die Abwärmenutzung bereits auf Grundlage von § 30a Abs. 1 BBV I gelöst werden. Wird der erzeugte Strom nicht selbst benötigt, könnte er ins bereits bestehende Stromnetz eingespeist werden. Die aufwändige Erstellung von Fernwärmenetzen würde damit entfallen.
- 38 Dieses abschliessende Beispiel zeigt auch, dass die rasche Entwicklung im Bereich der Energietechnik – Erzeugung und Verteilung – für die Rechtsetzung eine grosse Herausforderung darstellt. Neue Regelungen sind deshalb nur mit Bedacht zu erlassen.

5. Serverheizungen

Mögliche Game-Changer könnten neue Entwicklungen in der EDV-Technik sein, beispielsweise mittels flüssigkeitsgekühlter Computersysteme, die als Serverheizungen eingesetzt werden. Diese Rechner oder Heizungen werden nicht in einem Rechenzentrum aufgestellt, sondern direkt beim Kunden, der Wärme benötigt. Bei Serverheizungen erreichen die zur Kühlung eingesetzte Flüssigkeit ein für Heizzwecke nutzbares Temperaturniveau (ca. 60-65°C). Diese sind geeignet für Rechenaufträge, die rechenaufwendig und nicht zeitkritisch sind. Beispiele sind das Trainieren von Künstlicher Intelligenz, das Rendering von 3D-Bildern, die Risikobewertungen von Bankportfolios mit Monte-Carlo-Simulationen. Zwei Beispiele zeigen, was da noch kommen könnte.

5.1. Mikro-Rechenzentrum im NEST der EMPA

Im Forschungs- und Innovationsgebäude NEST der Empa in Dübendorf steht seit Anfang 2022 ein thermisch eingebundenes Mikro-Rechenzentrum. Es ist ein Prototyp und Teil des internationalen Forschungsprojektes Eco-Qube. Dieses untersucht die Integration von Mikro-Rechenzentren in Gebäudesysteme sowie deren energieeffizienten Betrieb. Dieses Projekt wurde im Artikel «Server dort rechnen lassen, wo Wärme gebraucht wird» von Katharina Köppen, Energie-Experten (c/o. EKZ-Energieberatung, www.energie-experten.ch), am 9.8.2023 in einem [Blogbeitrag](#) näher vorgestellt. Die wichtigsten Erkenntnisse sind (Zitate aus dem Blogbeitrag):

Optimiert werden sollen zwei Aspekte: Innerhalb des Rechenzentrums soll jeweils der Server eine Aufgabe ausführen, der dafür am wenigsten Strom benötigt. «Zudem führt die zonale Kühlung die Abwärme der einzelnen Server effizienter an das Heizsystem», erklärte Philipp Heer von der EMPA. Im NEST kann die Wärme an eines der bestehenden thermischen Netze abgegeben werden, entweder an das Mitteltemperaturnetz (38–28 °C) oder an das Niedertemperaturnetz (ca. 18–10 °C). Die Serverabwärme hat eine Temperatur von bis zu 35 °C, was ideal für Fussbodenheizungen ist. Aber es sei schwierig, die Abwärme auf 35 °C zu regeln, damit man direkt – also ohne zusätzliche Wärmepumpe – heizen kann, gibt Philipp Heer zu bedenken. Dies sei eine der bisherigen Erkenntnisse aus dem Projekt. Damit das volle Potenzial ausgeschöpft werden könne, müsse das Kühlsystem weiter angepasst werden. Auch wenn er das Potenzial momentan noch nicht beziffern kann, ist Philipp Heer überzeugt, dass thermisch integrierte Mikro-Rechenzentren ihre Berechtigung als Komponente in einem nachhaltigen und robusten Energiesystem haben. Dieses wird in Zukunft auf unterschiedlichen Technologien und Energieträgern basieren, die Sektorkopplung wird immer wichtiger.

In diesem Fall versteht man unter Sektorkopplung das Koppeln elektrischer und thermischer Systeme mit der IT-Infrastruktur und der Datenverarbeitung. Dadurch entsteht ein grosses Optimierungspotenzial für einen nachhaltigeren Betrieb aller beteiligten Komponenten. Und weil unsere zunehmend digitalisierte Gesellschaft immer mehr Rechenkapazität brauche, sei es sinnvoll, diese dort einzusetzen, wo zusätzlich die Abwärme für Gebäudewärme genutzt werden kann. «Das löst zwei Probleme auf einmal», sagt der Forscher.

Wie gut sich die Auslastung von Rechenzentren beeinflussen lässt, sodass gerechnet wird, wo und wann es energetisch am sinnvollsten ist, muss sich noch zeigen. Das Eco-Qube-Projekt läuft bis 2025. Nach seinem Abschluss sollen auch Richtlinien erarbeitet werden, die Planerinnen und Gebäudebetreiber bei der energieeffizienten Integration von Rechenzentren in Gebäude und Quartiere unterstützen.

5.2. k51.ch

Die Ostschweizer Firma K51 AG, 8264 Eschenz (www.k51.ch) bietet bereits solche Serverheizungen an. Die Daten der Rechenaufgabe werden einmal (bspw. über das Mobilfunknetz) übermittelt und dann rechnet das System, am Schluss gehen die Resultate wieder zurück zum Absender. Rechenleistung kann an einer Börse über das Internet angeboten und gebucht werden (Bspw. <https://vast.ai>). Unter der Voraussetzung günstiger Strompreise kann der Anbieter einer Serverheizung den Kunden die Wärme bzw. seine Rechenkapazität zu einem interessanten Preis anbieten, weil sowohl die Heizung als auch die verkaufte Rechenleistung einen Teil der Kosten deckt. Erste Projekte gibt es bereits, beispielsweise eine Freiluftbadheizung eines Hotels im Berner Oberland (100 kW, entsprechend etwa 10 EFH) oder für die Beheizung von Gewächshäusern (600 kW eingebaut in einen Container).

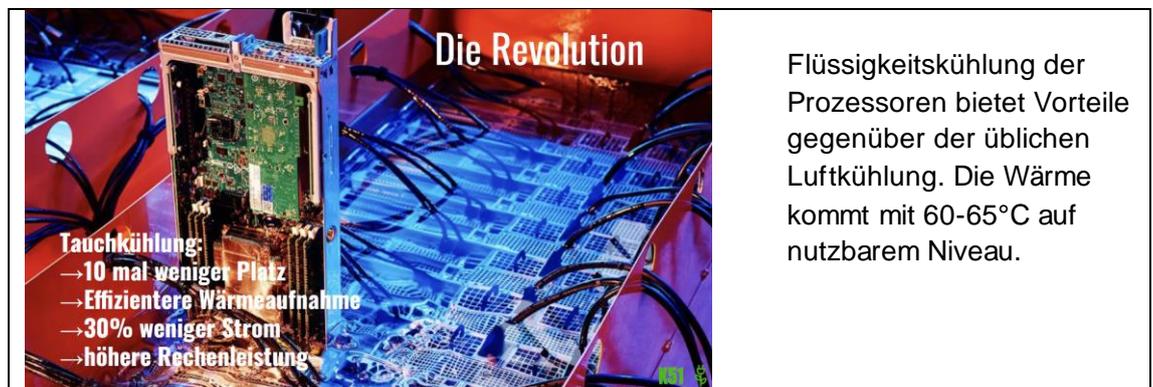


Abb. Kühlung der Prozessoren (Quelle: K51 AG, 2023)



Abb. Serverheizung im Hotel Handeck (Quelle: K51 AG, 2023)



Abb. Serverheizung «Green Heating Container 600 kW» (Quelle: K51 AG, 2023)

5.3. Bedeutung für die Abwärmenutzung

Solche Serverheizungen können die Wärme direkt beim Wärmekunden produzieren, gegenüber einem Rechenzentrum auf höherer Temperatur mit geringeren Wärmeverteilungskosten. Diese Serverheizungen können einige Aufgaben übernehmen, die heute in Rechenzentren

abgewickelt werden – genau solche, die viel Abwärme verursachen. Das mögliche Angebot solcher Serverheizungen stellt somit Fragen zur langfristigen Verfügbarkeit von Abwärme aus einem Rechenzenter und vergrößert so das wirtschaftliche Risiko für den Aufbau eines Wärmenetzes.

6. Abwärmennutzung und Effizienz aus Sicht EDV-Technik

Als Basis für die Diskussion mit EDV-Fachleuten wird in diesem Abschnitt die EDV-technische Seite detaillierter betrachtet.

6.1. Definitionen und spezifische Begriffe

6.1.1. Datacenter allgemein

Hyperscale	Globaler Anbieter von cloud-basierten Services
Edge-Datacenter	Rechenzentren, die physisch ausserhalb des Haupt-Rechenzentrums liegen
Green field	Neubau auf einer bislang unbebauten Fläche

Tab. 1: T.Dehmel: Begriffe Datacenter Betrieb

6.1.2. Rechenzentrums Infrastruktur und Anlagen

Whitespace	Räume im Rechenzentrum zur Aufstellung und Betrieb von ICT-Racks
Greyspace	Technik- und Versorgungsflächen zur elektrischen und thermischen Versorgung des Whitespace (z.B.: USV und Batterieräume, elektrische Verteilungen, ...)
USV	Unterbrechungsfreie Stromversorgung, zur kurzzeitigen Versorgung kritischer Komponenten bei Netzausfall, Überbrückung bis zum Start der Notstromversorgung
Latency	Verzögerung in der Datenübermittlung durch die Netzwerke

Tab. 2: T.Dehmel: Begriffe zu Datacenter Infrastruktur und Anlagen

6.1.3. Anwendungen und Dienstleistungen

Hosting	<p>Hosting ist eine im deutschen Sprachraum etablierte Kurzform für das Dienstleistungsangebot, das für das Erstellen und Veröffentlichen von Internetprojekten notwendig ist. Zu den wichtigsten Arten zählen:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Webhosting: Webspace und Websites - File-Hosting: Online-Datenspeicher - Mail-Hosting: E-Mail, Kontakt-Verwaltung, Kalender - Server-Hosting: virtuelle und dedizierte, d. h. physische, Server
IaaS	<p>Infrastructure as a Service: ist eine Form von Cloud Computing, bei dem virtualisierten Ressourcen und Kapazitäten zur Datenverarbeitung (Compute-, Network-, Storage) über das Internet bereitgestellt werden Quelle: https://www.ibm.com/topics/iaas</p>
PaaS	<p>Plattform as a Service: ist ein Cloud-Computing-Modell, das eine komplette Cloud-Plattform – Hardware, Software und Infrastruktur – für die Entwicklung, Ausführung und Verwaltung von Anwendungen bietet Quelle: https://www.ibm.com/topics/paas</p>
SaaS	<p>Software as a Service: ist eine Anwendungssoftware, die in der Cloud gehostet und über eine Internetverbindung über einen Webbrowser, eine mobile Anwendung oder einen Thin Client genutzt wird Quelle: https://www.ibm.com/topics/saas</p>
MSP	<p>Managed Service Provider: ist ein Unternehmen, das für andere den IT-Support übernimmt Quelle: https://www.datacenter-insider.de/was-ist-ein-managed-service-provider-msp-a-856947/</p>
ISP	<p>Internet Service Provider: ist ein Anbieter von internetbasierten Dienstleistungen</p>
Carrier	<p>Anbieter von Netzwerken und Dienstleistungen ausserhalb des Rechenzentrums</p>
Edge-Computing	<p>Verarbeitung von spezifischen Daten in dezentralen Rechenzentren und Serverräumen → siehe 6.1.1. - Edge-Datacenter</p>
Cage	<p>mit Gittern abgetrennte Fläche innerhalb einer offenen RZ-Fläche (Whitespace), Zugang, Stromversorgung und Kühlung über Whitespace, persönlicher Zutritt</p>
Private Suite	<p>meist ein separater Raum abseits der allgemeinen RZ-Fläche, privater Zutritt, eigene Raum Kühlung</p>

Tab. 3: T.Dehmel: Begriffe zu Anwendungen

6.2. Übersicht Rechenzentren (in der Schweiz)

6.2.1. Vorwort und Erklärungen

WICHTIG:

Rechenzentrum ist nicht gleich Rechenzentrum.

Der Begriff Datacenter bezeichnet die Räume oder das gesamte Gebäude, in denen Betreiber Rechentechnik wie Server und notwendige Sicherheits- und Kühltechnik unterbringen. Rechenzentren (RZs) unterscheiden sich unter anderem in der Grösse, dem Umfang der Schutzmassnahmen und der Frage, wer es zu welchem Zweck betreibt.

Die Infrastruktur und Versorgungstechnik richtet sich ausschliesslich nach den spezifischen Anforderungen in Bezug auf die vorgesehene Anwendung(en). Aufgrund der unterschiedlichen Anwendungen müssen Datacenter in Bezug auf die Anwendung und der elektrischen Kapazität differenziert werden.

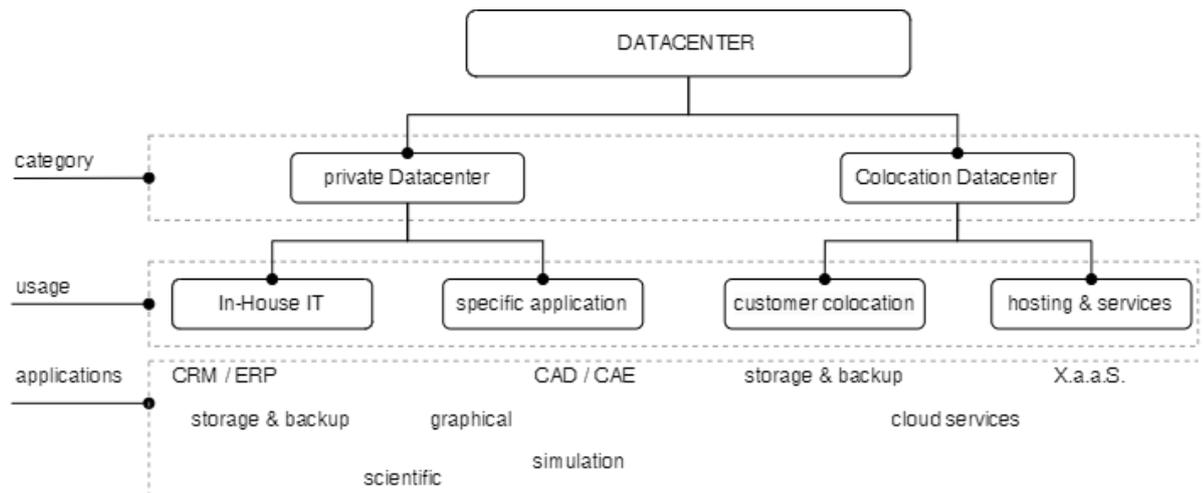


Fig. 1: T.Dehmel: Datacenter Typen und Services

HINWEIS:

Zur Vereinfachung in den nachfolgenden Kapiteln hat T. Dehmel die Rechenzentren in vier Kategorien unterteilt:

Bezeichnung	Merkmale	elektr. Leistung
A global Colo-DC	meist internationale Anbieter von Datacenterflächen und Services; internationale Hyperscale-Kunden als Ankerkunden	>8 MW
B local Colo-DC	Lokale Unternehmen als Anbieter von Rechenzentrumsfläche und Services, kleinere Skalierung, hauptsächlich lokale Kunden	ca. 0.5 - <8 MW

C large Enterprise DC	Internationale Unternehmen (Banken, Pharma, ...), die eigene IT betreiben	>0.5 MW
D general Enterprise DC	Lokale Unternehmen, die eigene IT betreiben, Anwender/Betreiber von Edge-Datacenter	<0.5 MW

Tab. 4: T.Dehmel: Rechenzentrum Kategorien

WICHTIG:

Die oben aufgeführten Kategorien sind keine allgemein gültigen oder allgemein anerkannten Kategorien. Die von T. Dehmel vorgenommene Kategorisierung dient ausschliesslich des Verständnisses und der Vereinfachung von Erläuterungen in diesem Bericht! Die Unterteilung basiert auf den Erkenntnissen und Erfahrungen von T. Dehmel.

Im eingangs erwähnten Abschlussbericht von Eicher+Pauli AG zum Thema «Abwärmenutzung in Rechenzentren - ...» werden die Rechenzentren anhand ausgewerteter Daten zum Stromverbrauch wie folgt segmentiert:

- Rechenzentren-Dienstleister
- Firmeninterne Rechenzentren (Grossverbraucher)
- Firmeninterne Rechenzentren und Serverräume
- KMU-Serverräume

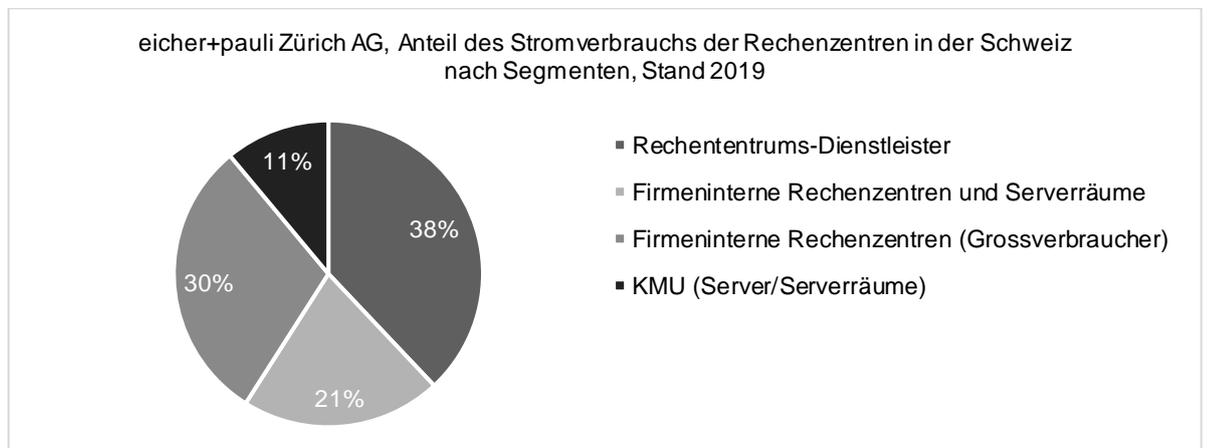


Fig. 2: Anteil des Stromverbrauchs der Rechenzentren in der Schweiz nach Segmenten, Stand 2019, Quelle: (eicher+Pauli Zürich AG, 2023)

Diese Betrachtung ist grundsätzlich nicht falsch, vernachlässigt jedoch aus Sicht T. Dehmel die unterschiedlichen Anforderungen und Betriebsmodelle.

6.2.2. Differenzierung von Datacentern nach Anwendung, Standort und Kapazität

6.2.2.1 Grundsätzliches und Hintergrund

WICHTIG:

Die Anwendungen (IT application) definiert das Design und den Betrieb des Rechenzentrums.

Wie vorangehend aufgezeigt, müssen Rechenzentren anhand der Anwendung, des Standortes und des elektrischen Bedarfs differenziert betrachtet werden.

In einem Colocation Rechenzentrum (Kategorie A und B) werden grundsätzlich nur die Gebäude-Infrastruktur in Form von Räumen und Racks, Cages¹ oder Private Suites², der gesicherte und verwaltete Zugang, die elektrische- und kühltechnische Versorgung und die Netzwerkanbindung zu den Kommunikations- und Netzwerkdienstleistern (Carrier) im Grundausbau bereitgestellt.

Innerhalb der Racks werden eine Vielzahl von kundenspezifischen Anwendungen betrieben, auf die der Betreiber des Rechenzentrums weder Zugang noch Einfluss auf den Leistungsverbrauch und die Effizienz der Hardware hat.

Einige Anbieter von **Colocation Rechenzentren** bieten auch eigene Hosting-Leistungen an. Der Betrieb und die Verwaltung der Server, Storage und des Netzwerks werden durch den Betreiber erbracht.

Die **Enterprise Rechenzentren** (Kategorie C und D) werden hauptsächlich mit eigenem Personal betrieben, wobei je nach Grösse die Zuständigkeiten und Verantwortungen in die Bereiche «ICT-Betrieb» und «Gebäudetechnischer-Betrieb» aufgeteilt werden kann. In einigen Fällen ist bekannt, dass Betreiber von grossen, privaten Rechenzentren (Kategorie C) den Betrieb des Rechenzentrums an spezialisierte Unterhalts-Unternehmen auslagern, vergleichbar mit dem Betrieb eines Colocation-Rechenzentrums.

WICHTIG:

Um Missverständnisse im Vorfeld auszuschliessen, muss bei der Verwendung der Begriffe «Rechenzentrum» und «Rechenzentrums-Betreiber» geklärt werden, ob die Themen aus Sicht des «ICT Betreibers» oder des «Gebäude & Technik Betreibers» betrachtet werden.

In einem Enterprise-Rechenzentrum (Kategorie C und D) kann der Rechenzentrumsbetreiber sowohl der Betreiber der ICT sein als auch der Betreiber des Gebäudes und der versorgungstechnischen Anlagen. Beide verwenden teilweise gleiche Begriffe, die je nach Fachgebiet unterschiedliche Bedeutungen haben können.

¹ Cage: mit Gittern abgetrennte Fläche innerhalb einer offenen RZ-Fläche (Whitespace), siehe [#6.1.1](#)

² Private Suite: meist ein separater Raum abseits der allgemeinen RZ-Fläche, siehe [#6.1.1](#)

Die nachfolgende Aufstellung zeigt ein Beispiel anhand der Begriffe «Infrastruktur» und «Sicherheit»:

point of view	ICT operation related	Infrastructure & Facility related operation
term	infrastructure	
related to	Hardware & Equipment	Building & Facilities
scope / items	physical server network & storage firewall ...	room & racks power supply & distribution generators, UPS & batteries cooling facilities & mechanical systems
term	security	
related to	Hard- & Software	Physical Security
scope / items	firewall virus protection ...	access control & CCTV fire security and protection environmental protection

Tab. 5: T.Dehmel: Rechenzentrum Begriffe und Bedeutungen

HINWEIS:

Vereinfacht gesagt, kann differenziert werden zwischen:

- a. innerhalb des Racks (Anwendung, Hard- und Software) und
- b. vom Rack bis zur Gebäudehülle (Versorgungstechnik und Infrastruktur)

6.2.2.2 Colocation- und Hosting Rechenzentren (Kategorie A und B)

Anwendung

Unterbringung, elektrische und thermische Versorgung und physikalische Sicherheit für den Betrieb ausgelagerter Firmen IT, Anbieter von cloud-basierten Services und Hyper-scale³-Kunden (wie z.B.: Google, Microsoft oder Amazon).

Standort

Colocation- und Hosting Rechenzentren (Kategorie A und B) sind auf entsprechende Stromversorgungs-Kapazitäten und eine gute Anbindung an die Datennetze angewiesen. Grosse Colocation- und Hosting Rechenzentren (Kategorie A) werden hauptsächlich als Green-Field Bauten in Industriegebieten oder industrienahen Gebieten mit entsprechend vorhandenen oder erschliessbaren Kapazitäten und Anbindungen errichtet.

Lokale Colocation- und Hosting Rechenzentren (Kategorie B) benutzen oftmals bestehende Industriebauten mit entsprechenden Versorgungskapazitäten und Netzwerkanbindungen. Auch können vorhandene Gebäude und Infrastrukturen für den Betrieb eines Rechenzentrums umgenutzt werden. Als aktuelles Beispiel kann hier der Rechenzentrum Stollen Luzern (rz-stollen.ch) von ewl erwähnt werden.

³ Hyperscaler: z.B.: Google, Microsoft, Amazon

Redundanz Die Verfügbarkeit der elektrischen und thermischen Versorgungsanlagen und -systeme, sowie der Datenkommunikation ist für die Betreiber entscheidend, um ihre vertraglich vereinbarten Leistungen garantieren zu können.

Infrastruktur Zentrale Fläche(n) (Whitespace) für Kunden-Racks, meist luftgekühlte Serverracks, um maximale Flexibilität für die Kundenhardware zu bieten. Die Racks werden elektrisch über zwei getrennte Pfade (Feeds) versorgt. Die Kühlung erfolgt entweder:

- Eingehauste Rackreihen, Umluftkühlgeräte an der Seite oder ausserhalb des Raumes, Luftverteilung durch Doppelboden, Rückluft durch Raum
- Eingehauste Rackreihen mit zwischen den Racks platzierten Umluftkühlgeräten (InRow)
- aktuelle Leistungsdichte: 12-16 kW/Rack = 4.4 – 7.3 kW/m²

6.2.2.3 Enterprise Rechenzentrum (Kategorie C und D)

Anwendung Firmeneigene Anwendungen, spezielle und spezifische Anwendung, wie z.B. CAx⁴ und/oder grafische Anwendungen, Rechenleistung on demand, und viele mehr.

Standort Enterprise Rechenzentrum (Kategorie C und D) werden hauptsächlich in unmittelbarer Nähe zum Hauptnutzer / Hauptanwendung errichtet. Gründe dafür sind hauptsächlich:

- ein gebäude-internes Datennetzwerk, auf das aus Gründen der Sicherheit von aussen nicht zugegriffen werden kann (v.a. Banken, Versicherungen, Chemie- und Pharmaunternehmen, ...)
- ein gebäude-internes Datennetzwerk zur schnellen Übertragung von riesigen Datenmengen und/oder zero-latency⁵ Anwendung
- schneller, direkter Zugang zur eigenen Hardware

Viele dieser Rechenzentren befinden sich im selben Gebäude oder Gebäudekomplex wie die Haupt-Nutzer. In einigen Fällen (z.B.: Banken, ...) wurden die ersten Rechenzentren bereits Anfang/Mitte der 80er Jahre – noch vor der öffentlichen Nutzung des Internets – gebaut. und sind seither generisch mit den Anwendungs-Anforderungen gewachsen.

Um den Betrieb auch mit der sich stetig entwickelnden Hardware aufrecht erhalten zu können, müssen diese Rechenzentren regelmässig in Bezug auf die Leistungsfähigkeit und Kapazitäten der Versorgungstechnik angepasst werden.

Redundanz Kategorie C: Ist analog aufgebaut wie die Rechenzentren Kategorie A und B.

Kategorie D: Lokale Redundanzen, hauptsächlich mit einfacher elektrischer Versorgung und einer USV-Anlage mit genügend Autonomiezeit, um im Notfall ein kontrolliertes Herunterfahren der Applikationen und Hardware zu gewährleisten.

⁴ Computer Aided application siehe [#6.1.1](#)

⁵ zero latency: minimale / keine Verzögerung für den Datenübermittlung, meist bedingt durch grosse Datenmengen

Infrastruktur

Standardanwendungen: Meist luftgekühlte Serverracks, um maximale Flexibilität für die Hardware zu erhalten. Die Racks werden elektrisch je nach Anforderung und Möglichkeit versorgt. Bei kleineren Rechenzentren (bis ca. 20 kW) ist die USV oftmals in ein Rack eingebaut. Die Kühlung erfolgt entweder:

- Eingehauste Rackreihen, Umluftkühlgeräte an der Seite oder ausserhalb des Raumes, Luftverteilung durch Doppelboden, Rückluft durch Raum
- Eingehauste Rackreihen mit zwischen den Racks platzierten Umluftkühlgeräten (InRow)
- Offene Racks mit einfachem Raumluf-Klimagerät
- aktuelle Leistungsdichte: Standard Anwendungen: 2 – 8 kW/Rack → 0.75 – 2.9 kW/m²

High Performance Computing und spezielle Anwendungen:

- luftgekühlte Rack mit an der Rückseite angebrachten Wärmetauschern (Rear-Door-Cooling)
- Eingehauste Rackreihen mit zwischen den Racks platzierten Umluftkühlgeräten (InRow)
- Selten: direkte Wasserkühlung der CPU/GPU mit einem speziellen Kühlkreislauf (Direct-Chip-Cooling)
- aktuelle Leistungsdichte HPC: bis zu 60 – 80 kW/Rack → 22.2 – 29.6 kW/m²

6.3. Energie-Effizienz und Abwärmenutzung in Datacentern

6.3.1. Vorwort und Erklärungen

6.3.1.1 Energie-Verbraucher in einem Rechenzentrum

WICHTIG:

Energie-Effizienz ist nicht gleich Nachhaltigkeit

Grundsätzlich hat jeder Betreiber eines Rechenzentrums ein sehr grosses Eigeninteresse an Einsparungen von Betriebs- und Unterhaltskosten durch effizient geplante, gebaute und betriebene Anlagen. Um entsprechende Massnahmen für die Verbesserung der Energie-Effizienz planen und umsetzen zu können, ist eine genaue Betrachtung der Lasten und Energieverbraucher im Rechenzentrum unumgänglich. Während Hyperscale-Kunden wie Google, Microsoft oder Amazon durch ihren grossen Bedarf an kontinuierlichen Rechenleistung und gute Auslastung der Hardware eine konstant hohe Bandlast von ca. 70 – 80% haben, liegt die Bandlast bei den Colocation-Rechenzentren lediglich bei ca. 60% der verfügbaren Anschlussleistung.

Die Dimensionierung der Versorgungstechnischen Anlagen basiert jedoch hauptsächlich auf der maximalen Anschlussleistung, hauptsächlich

- a. zur Sicherstellung von Kapazitäts-Reserven für kurzfristige Kundenanforderungen
- b. zur Sicherstellung von Kapazitäten während der Planungs- und Bauphase von Erweiterungen und/oder Neubauten
- c. auf Grund der sich schnell weiterentwickelnden Hardware auch mittelfristig die erforderlichen Kapazitäten und Sicherheiten bereit stellen zu können.

Nach der Inbetriebnahme erhöht sich die Leistung des Rechenzentrums schrittweise mit der Bestückung der Racks durch die Kunden.

Um die Effizienz in den entsprechenden Teillast-Betrieben und die Flexibilität in der Skalierung zu verbessern, können moderne elektrische und thermische Versorgungssysteme modular aufgebaut (speziell USV-Systeme) und/oder können selbst-modulierend geregelt werden (Kältemaschinen, Umluftkühl-Geräte, ...).

Moderne Rechenzentren sind komplexe Infrastrukturen und Versorgungssysteme. Zur Vereinfachung beschränkt sich T. Dehmel in diesem Bericht auf 4 Kategorien:

Deutsch	Englisch
ICT Hardware und -Equipment	ICT equipment
Kühlanlagen und -Verteilung Datacenter	cooling facilities & distribution
Stromversorgung und -Verteilung, inkl. USV & Batterien	power supply & distribution, incl. UPS & batteries
anderes (Video, Beleuchtung, Sicherheitssysteme, HLS, ..)	others (CCTV, lighting, security, HVS...)

Da sich die Rechenzentren laufend an die sich entwickelnden Anforderungen und Hardware anpassen müssen, darf die nachfolgende Darstellung der Hauptverbraucher lediglich als Anhaltspunkt für die Colocation- und Hosting Rechenzentren (Kategorie A und B) und grosse Enterprise Rechenzentren (Kategorie C) betrachtet werden. Die Entwicklung hin zu effizienteren Systemen ist deutlich erkennbar.

Neue Technologien und Anwendungen werden die Verhältnisse kurz- und mittelfristig deutlich verschieben.

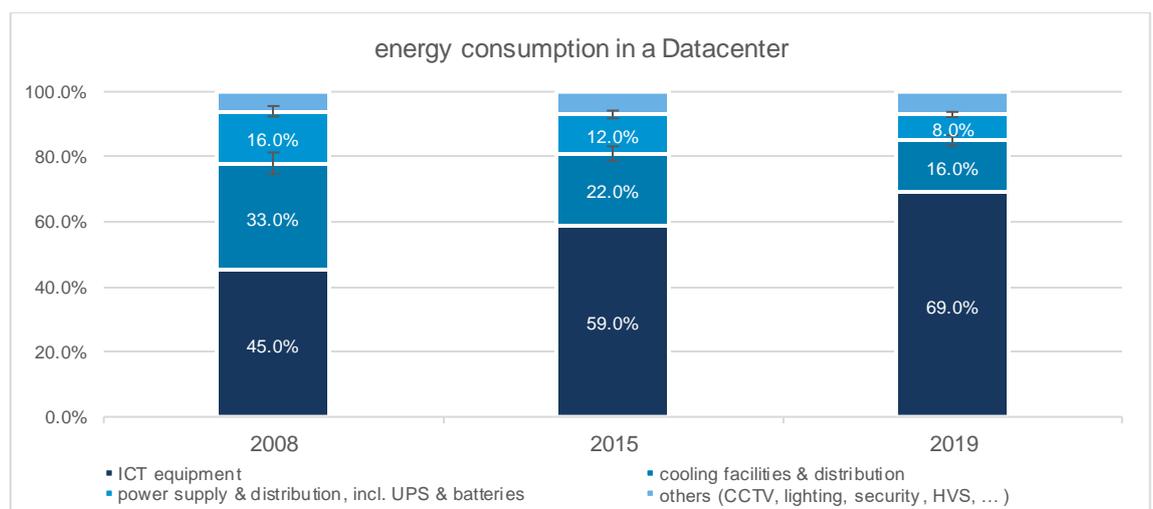


Fig. 3: Energieverbraucher im Rechenzentrum

item	2008	2015	2019
ICT equipment	45.0%	59.0%	69.0%
cooling facilities & distribution	33.0%	22.0%	16.0%
power supply & distribution, incl. UPS & batteries	16.0%	12.0%	8.0%
others (CCTV, lighting, security, HVS...)	6.0%	7.0%	7.0%

Tab. 6: Energieverbraucher im Rechenzentrum
Quelle: 2008 und 2015 (Bitkom e.V., 2015); 2019 (eicher+pauli Zürich AG, 2023)

6.3.1.2 Aktuelle Herausforderungen bei der Planung und Dimensionierung von Rechenzentren

Die gesamte ICT-Welt hat sich in den letzten 3-5 Jahren sehr stark in verschiedene Richtungen entwickelt. Neue IT Anwendungen, die voranschreitende Digitalisierung und neue Arbeitsmodelle erfordern sowohl zuverlässige und leistungsfähige Datennetzwerke als auch schnell verfügbare Rechen- und Speicherkapazitäten.

Als aktuelle Beispiele und Gründe dafür können aufgeführt werden:

- Neue Arbeitsweisen wie Homeoffice haben sich - nicht zuletzt durch die Corona-Pandemie – in vielen Unternehmen etabliert und sind akzeptiert.
- Die immer tiefere Spezialisierung in einzelne Fachgebiete und der Mangel an lokalem Fachwissen erfordern eine global vernetzte Zusammenarbeit von Experten und einen schnellen Austausch von Information.
- Die Zusammenarbeit und der Datenaustausch von lokalen und internationalen Projekt-Teams finden vermehrt online statt.
- «Künstliche Intelligenz» (KI) hält immer mehr Einzug für die Erstellung von Simulationen und Auswertung von Daten im Bereich Forschung und Entwicklung.
- Der (globale) Fachkräftemangel und immer strengere Vorschriften der Qualitätssicherung (Produktion) durch kontinuierliche Überwachung und Aufzeichnung von Daten erfordern einen höheren Grad der Automatisierung von Prozessen aller Art, von IT- bis Produktionsprozessen.

Die oben aufgeführten Beispiele sind Erfahrungen und Herausforderungen aus vergangenen und aktuellen Projekten von T. Dehmel. Alle diese Entwicklungen führen dazu, dass sich Hardware entsprechend mitentwickeln muss, um die erforderlichen Leistungen und Kapazitäten erbringen zu können.

Hardware

Eine der grössten Herausforderungen aktuell ist, dass sich die Hardware in Bezug auf die Leistungsfähigkeit und Rechenleistung sehr schnell entwickelt.

Nach Gordon Moores Vorhersage verdoppelt sich die Komplexität integrierter Schaltkreise regelmässig, je nach Quelle alle 12, 24 oder 48 Monate (Moore's Law⁶). Dies umfasst auch die (Rechen-)Leistung der Hardware. Daraus resultiert ein deutlich höherer Energieverbrauch der Hardware trotz stetig verbesserter Effizienz der Geräte und Netzteile.

Der durchschnittliche Verbrauch bei 100% Auslastung hat sich innert 5 Jahren beinahe verdreifacht.

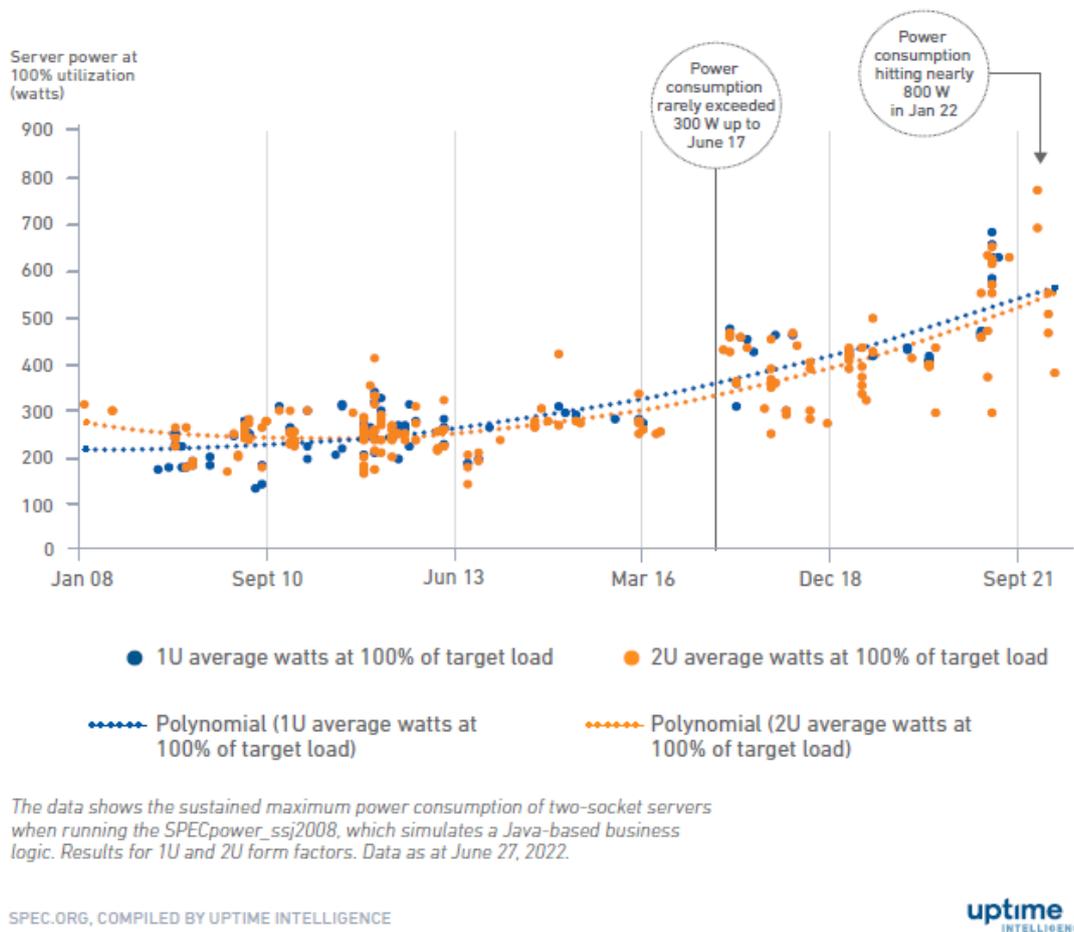


Fig. 4: Stromverbrauch ICT Equipment
Quelle: (UpTime Institute, Five Data Center Predictions for 2023, 2023)

Diese Entwicklung widerspiegelt sich in den stetig steigenden Leistungsdichten in den Racks. Hierzu gibt es unterschiedlichste Quellen. Die Zahlen bis 2020 wurden durch das UpTime Institute erhoben und veröffentlicht. Wie sich die Leistungsdichte in den Rack

⁶ Intel: Moore's Law <https://www.intel.com/content/www/us/en/newsroom/resources/moores-law.html>

entwickeln wird, ist von verschiedenen Faktoren abhängig. Bei den grossen, globalen Colocation Anbietern zeichnet sich jedoch eine Grenze bei ca.16.0 kW/Rack ab.

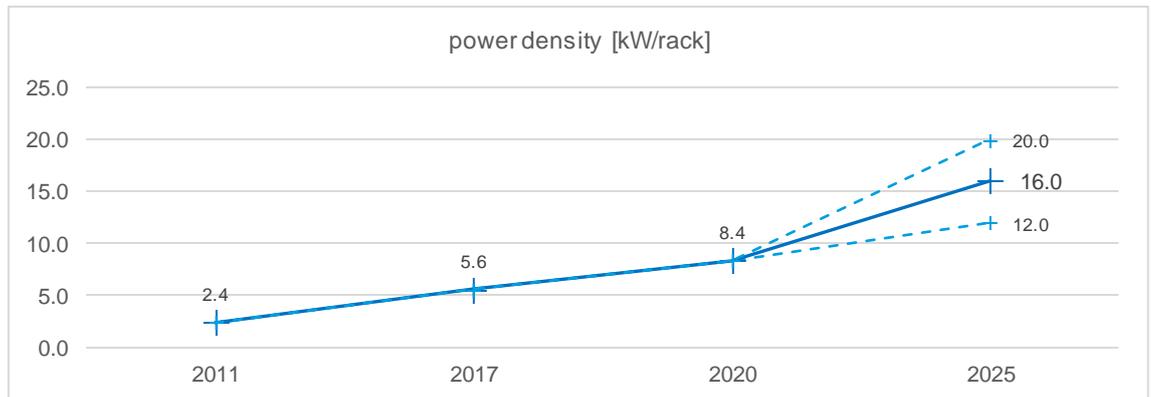


Fig. 5: Entwicklung der Rack-Leistungsdichten
Quelle: (UpTime Institute, 2020 Data Center Industry Survey Results, 2020)

Life Cycle

Um ein Rechenzentrum zukunftssicher zu bauen und zu betreiben, muss bei der Planung der Infrastruktur und Versorgungstechnik einerseits die Entwicklung der Hardware in Bezug auf Energieverbrauch und Leistungsdichte mit einbezogen, andererseits müssen auch die Lebenszyklen der ICT Hardware, Equipment, Infrastrukturen und Versorgungstechnik berücksichtigt werden.

Anhand der nachfolgenden Grafik (Fig. 5) wird deutlich, dass beispielsweise während der Lebensdauer einer USV-Anlage von 10 – 15 Jahren das ICT-Equipment 2–5-mal erneuert wird.

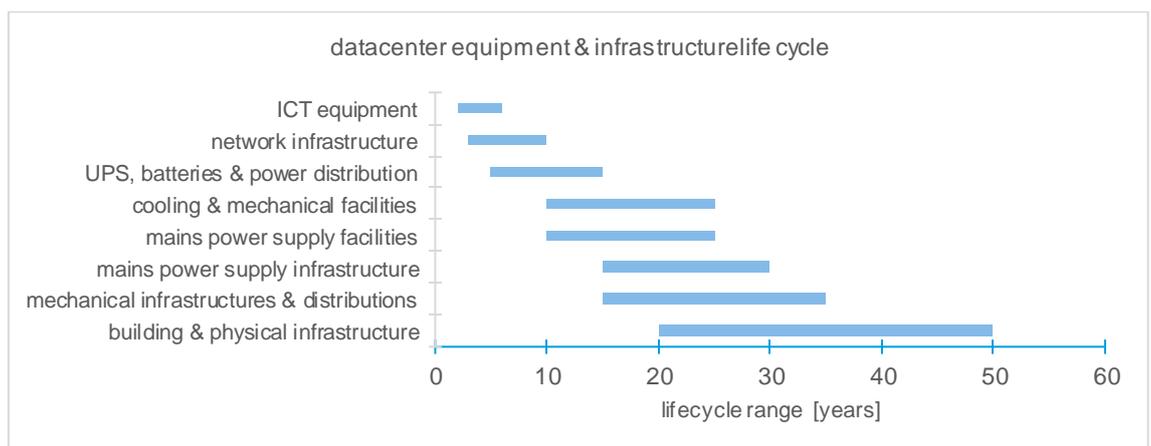


Fig. 6: T.Dehmel: Lebenszyklen von Infrastruktur und Anlagen im Rechenzentrum

sector	lifecycle range
ICT equipment	2 - 6 years
network infrastructure	3 - 6 years
UPS, batteries & power distribution	5 - 15 years
cooling & mechanical facilities	10 - 25 years
mains power supply facilities	10 - 25 years
mains power supply infrastructure	15 - 30 years
mechanical infrastructures & distributions	15 - 35 years
building & physical infrastructure	20 - 50 years

Tab. 7: T.Dehmel: Lebenszyklen von Infrastruktur und Anlagen im Rechenzentrum

Facilities

Versorgungstechnik und Anlagen

Um die Verfügbarkeit der Rechenzentren zu gewährleisten, müssen die versorgungstechnischen Anlagen und Systeme mit entsprechenden Sicherheiten gebaut werden. Die jährliche Verfügbarkeit wird in % angegeben. Die hierzulande bekanntesten Definitionen der Verfügbarkeits-Level sind TIER und EN50600:

availability	UpTime Institute		EN50600 / Bitkom	
	Level	Downtime	Klasse	Downtime
without			VK 0	
99.0 %			VK 1	< 88 h
99,67 %	TIER I	28.8 h		
99,75 %	TIER II	22.0 h		
99.9 %			VK 2	< 9 h
99,98 %	TIER III	1.6 h		
99.9999 %			VK 3	< 53 min.
99,99991 %	TIER IV	0.8 h / 48 min.		
99.99999 %			VK 4	< 6 min.
100.0 %			VK 5	0 min.

Tab. 8: T.Dehmel: Verfügbarkeits-Levels nach UpTime TIER und Bitkom e. V.

Quelle TIER-Level: (UpTime Institute, Data center Site Infrastructure Tier Standar: Topology, 2018)

Quelle EN50600 / Bitkom: (Datacenter Insider, 2023)

WICHTIG:

Die aufgelisteten Klassen beziehen sich ausschliesslich auf die elektrische und thermische Versorgung des Rechenzentrums.

Die Sicherstellung der Verfügbarkeit erfolgt hauptsächlich durch den Aufbau von Redundanzen in den kritischen Anlagen und Versorgungssystemen. Die am weitesten verbreitete und verstandene Kategorisierung ist das TIER-Level System von **UpTime Institute**:

	TIER I	TIER II	TIER III	TIER IV
	Basic Capacity	Redundant Capacity	Concurrently Maintainable	Fault Tolerance
minimum capacity components	N	N + 1	N + 1	min. N (after any failure)
distribution paths – electrical power backbone	1	1	N + 1 (1 active+1 altern)	2N (2 simultan. active)
critical power distribution	1	1	2N (2 simultan. active)	2N (2 simultan. active)
concurrently maintainable	no	no	no	yes
compartmentalization	no	no	no	yes
continuous cooling	no	no	no	yes

Tab. 9: T.Dehmel: Redundanzen nach UpTime TIER

Quelle: TIER-Level (UpTime Institute, Data center Site Infrastructure Tier Standar: Topology, 2018)

N = min. Geräte zur Erbringung von 100% der elektrischen und/oder thermischen Leistung
 +1 = Anzahl Geräte, die als aktive oder passive Reserve zur Verfügung stehen

Als kritische Anlagen werden hauptsächlich, aber nicht ausschliesslich betrachtet:

electrical facilities and system	thermal facilities and system
↳ mains supply / transformer	↳ chiller and dry- / wet cooler
↳ middle voltage- and main distribution	↳ room air cooling units
↳ emergency power generators and -facilities	↳ pumps and hydraulic distributions
↳ UPS and batteries	↳ heat exchanger
↳ power distribution paths to racks and critical facilities	↳ chilled-/ warmwater storage and/or buffer tanks
↳ rack power distribution	

Tab. 10: T.Dehmel: kritische Versorgungsanlagen im Rechenzentrum

Die durch die aufzubauenden Redundanzen entstehenden Teillasten der Anlagen von 50% der Gesamtlast im Normalbetrieb des Rechenzentrums, muss bei der Skalierung und Ausbauplanung zwingend berücksichtigt werden. Ein besonderes Augenmerk gilt hierbei USV-Anlagen und den Kältemaschinen.

Building

Enterprise Rechenzentren (Kategorie C und D) werden vielfach in bestehenden Gebäuden oder Gebäudekomplexen mit entsprechenden haustechnischen Anlagen betrieben. Eine

Integration der Abwärme des Rechenzentrums in die bestehenden Heizungsanlagen auf Grund unterschiedlicher Temperatur-Niveaus ist komplex bis nicht möglich (Fernwärmeanbindung, Heizungen mit hohen Temperaturen, ...).

6.3.1.3 Indikatoren und Messmethoden für die Effizienz

Es gibt viele Indikatoren und Vergleichsmessungen, die die Effizienz eines Rechenzentrums beschreiben können. Der bekannteste Wert ist aktuell der

PUE Power Usage Effectiveness: Der PUE beschreibt das Verhältnis von Gesamt-Energieverbrauch zum Verbrauch des ICT-Equipment

$$\text{PUE ... Power Usage Effectiveness} = \frac{\text{Gesamtenergieverbrauch}}{\text{Energieverbrauch der IT}}$$

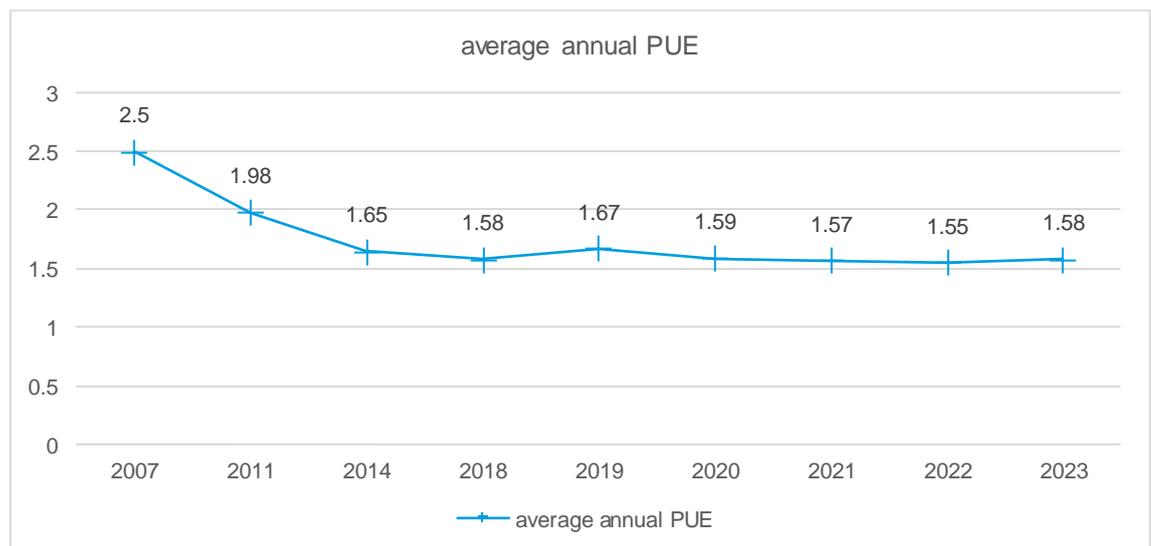


Fig. 7: Durchschnittlicher jährlicher PUE in globalen Colocation-Rechenzentren (Kat. A)
Quelle: Statista: (Statista, 2022)

6.3.2. Effizienz-Steigerung in Rechenzentren, Übersicht Massnahmen und Potenziale

WICHTIG: Effizienz bedeutet nicht nur die Einsparung von elektrischer Energie, sondern auch die schnelle und einfache Wiederaufnahme des geplanten Betriebs nach einem Vorfall.

In einem Rechenzentrum gibt es, je nach Fachgebiet unterschiedliche Definitionen für die Effizienz. Der Energieverbrauch ist lediglich einer davon.

Betreiber von ICT-Hardware und -Equipment messen die Effizienz anhand von Transaktionen / Sekunde / Watt (SSJ).

Für die Betreiber der Versorgungstechnik und Infrastruktur wiederum bedeutet Effizienz auch eine minimale Ausfallrate (Downtime) der Anlagen und Systeme, sowie die schnellstmögliche Rückkehr zum sicheren Betrieb nach einem Vorfall. Alle betriebskritischen Anlagen und Systeme sind dementsprechend so zu planen und aufzubauen, dass das lokale Betriebspersonal diese einfach bedienen kann.

6.3.2.1 Colocation- und Hosting Rechenzentren (Kategorie A und B)

Neubau: Da Colocation- und Hosting Rechenzentren auf eine maximale Flexibilität in Bezug auf den Einbau von Kundenhardware und eine hohe Verfügbarkeit angewiesen sind, liegen die grössten Potenziale zur Energieeinsparung sowohl bei einem modularen und skalierbaren Stromversorgungssystem (besonders die USV-Anlage) und einer optimierten Kühlung.

Eine Ausnahme in diesem Umfeld bilden die Rechenzentrumsbetreiber, die mit eigener Hardware und Equipment betriebene Hosting-Dienstleistungen anbieten. Diese sind mit den grossen Enterprise-Rechenzentren zu vergleichen.

Umbau: Für Umbauten und Erweiterungen gelten die gleichen Prinzipien wie bei einem Neubau, wobei das bestehende Gebäude unter Umständen die technischen und betrieblichen Möglichkeiten einschränkt.

6.3.2.2 Enterprise Rechenzentrum (Kategorie C und D)

Neubau: Analog zu Kategorien A und B; jedoch haben die Betreiber von Enterprise Rechenzentren (Kategorie C und D) auch einen Einfluss auf die verwendete Hardware. Entsprechend können die Infrastrukturen und versorgungstechnischen Anlagen für einen effizienten Betrieb angepasst und optimiert werden.

Umbau: Analog zu Kategorien A und B; jedoch haben die Betreiber von Enterprise Rechenzentren (Kategorie C und D) auch einen Einfluss auf die verwendete Hardware. Entsprechend können die Infrastrukturen und versorgungstechnischen Anlagen für einen effizienten Betrieb angepasst und optimiert werden.

6.3.2.3 Stand der Technik und Potenziale zur Effizienz-Steigerung durch verfügbare Technologien

USV-Anlage: Heutige USV-Anlagen können modular erweitert werden, damit diese mit bestmöglicher Effizienz dauerhaft betrieben werden können. Moderne System verfügen zusätzlich über interne Abschaltfunktionen von Komponenten (Gleich- und Wechselrichter) bei geringen Lasten. Das Einsparpotenzial ist in der Gesamtbetrachtung sehr gering.

Kühlung: Bei der Planung von modernen Rechenzentren wird grundsätzlich angestrebt, die Auslegung und Dimensionierung der Anlagen für einen maximalen Anteil an Freecooling zu optimieren. Neben den bereits hinlänglich bekannten Massnahmen, wie z.B. die Einhausung

von Rackreihen zur gezielten Luftführung im Raum, kann dies grundsätzlich auf mehrere Arten erreicht werden:

a. höhere Temperaturen im Serverraum

Höhere Lufttemperaturen führen – bedingt durch einen geringeren Anteil an mechanischer Kälteerzeugung – zu einem besseren PUE. Höhere Zuluft-Temperaturen an der ICT-Hardware führen jedoch unweigerlich zu höheren Drehzahlen der internen IT-Geräte-Ventilatoren, speziell bei Servern. Auf den ersten Blick wirkt sich das zwar positiv auf den PUE aus, da die Ventilatoren der Hardware in der gängigen PUE-Betrachtung auf der Seite des IT-Verbrauchs eingerechnet werden. In einigen Fällen, vor allem bei kleineren Rechenzentren, kann der Gesamtenergieverbrauch des Rechenzentrums trotz besserem PUE, trotzdem steigen.

Zudem kann eine zu hohe, aber auch eine zu tiefe Ansaugtemperatur zu negativen Einflüssen der Hardware führen, die den LifeCycle verkürzen.

Grundsatz: Hohe Zulufttemperatur bedeutet nicht automatisch mehr Effizienz in der Gesamtbetrachtung → die Hardware ist zwingend die Berechnung mit einzubeziehen.

HINWEIS: Moderne Hardware erlaubt immer höhere Zuluft-Temperaturen. Da aber in einem Colocation- und Hosting Rechenzentrum (Kategorie A und B) eine Vielzahl von unterschiedlicher ICT-Hardware verbaut wird, richtet sich die vom Rechenzentrumsbetreiber garantierte Zulufttemperatur (SLA⁷) nach den Geräten mit den geringsten Temperaturen.

Enterprise-Rechenzentren (Kategorie C und D) können in Bezug auf die Zuluft-Temperaturen mehr Einfluss nehmen, da sie die verbaute Hardware selbst definieren.

b. grössere Wärmetauscherflächen

Geräte mit grösserer Wärmetauscherfläche können mit höheren Medien-Temperaturen betrieben werden ohne Beeinträchtigung der Leistung und Zuluft-Temperatur.

Beim Prinzip Fan-/Cool Wall⁸ wird kein Doppelboden benötigt, da der Raum mit konditionierter Luft «geflutet» wird. Die warme Abluft aus den Rackreihen wird über sog. Warmgang-Einhausungen und/oder eine herabgehängte Decke direkt zu den Umluftkühlgeräten geführt. Die deutlich höhere Rücklufttemperatur bewirkt, dass die Umluftkühlgeräte eine höhere Leistung erbringen, oder dass die Medientemperatur erhöht werden kann.

⁷ SLA = Service Level Agreement: vertraglich zugesicherte Leistungen des Rechenzentrumsbetreibers

⁸ Fan-/Cool Wall: Umluftkühlgerät zur horizontalen Luftumwälzung im Whitespace

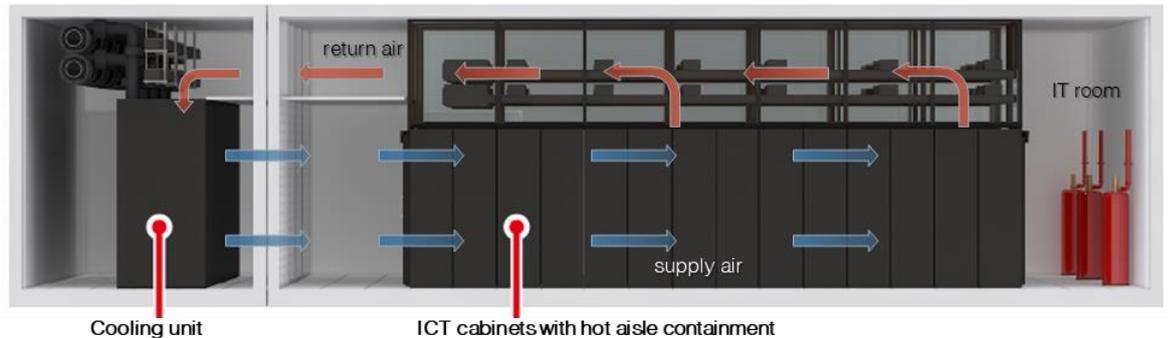


Fig. 8: Beispiel Raumkühlung mit Fan-/CoolWall
Quelle: Huawei FusionCol8000-C210

Grundsatz: Grosse Wärmetauscherflächen → höhere Medien-Temperatur → geringerer Anteil mechanische Kälteerzeugung (Chiller)

HINWEIS: Geräte mit grossen Wärmetauscherflächen erfordern eine andere Bauweise des Rechenzentrums.

c. Erhöhung des Aussenluftanteils

Vor allem bei kleinen und mittleren Rechenzentren (Kategorie D) ist ein direktes Freecooling durch eine Erhöhung des Aussenluftanteils in Betracht zu ziehen.

Grundsatz: direkte Aussenluftkühlung → mehr Freecooling → höhere Toleranzen der Zuluft

HINWEIS: Die direkte Aussenluftkühlung hilft zwar den Anteil der mechanischen Kühlung zu reduzieren, birgt jedoch auch die Gefahr von unkontrolliertem Eintrag von Feuchtigkeit und Verschmutzung von aussen.

d. adiabatische Kühlung

Die adiabatische Kühlung beruht auf dem physikalischen Prinzip der Verdunstung und kommt bei Kühltürmen und Rückkühlern schon länger zum Einsatz, um die Kühlwassertemperaturen und Kondensationstemperaturen der Kältemaschinen zu senken. Dadurch wird der Wirkungsgrad des Kompressors verbessert, was zu einer Senkung des Stromverbrauchs führt.

Verhältnismässig neu für den Einsatz im Rechenzentrum ist die «adiabatische Abluftkühlung». Hierbei wird die warme Abluft aus dem Rechenzentrum über einen ausserhalb liegenden Wärmetauscher geführt, der die Aussenluft adiabatisch abkühlt: Der Kreis der Rechenzentrumsluft ist geschlossen und getrennt vom Aussenluftkreislauf, jedoch kann über

eine integrierte Luftklappe mit entsprechender Steuerung der erforderliche Aussenluftanteil eingebracht werden.

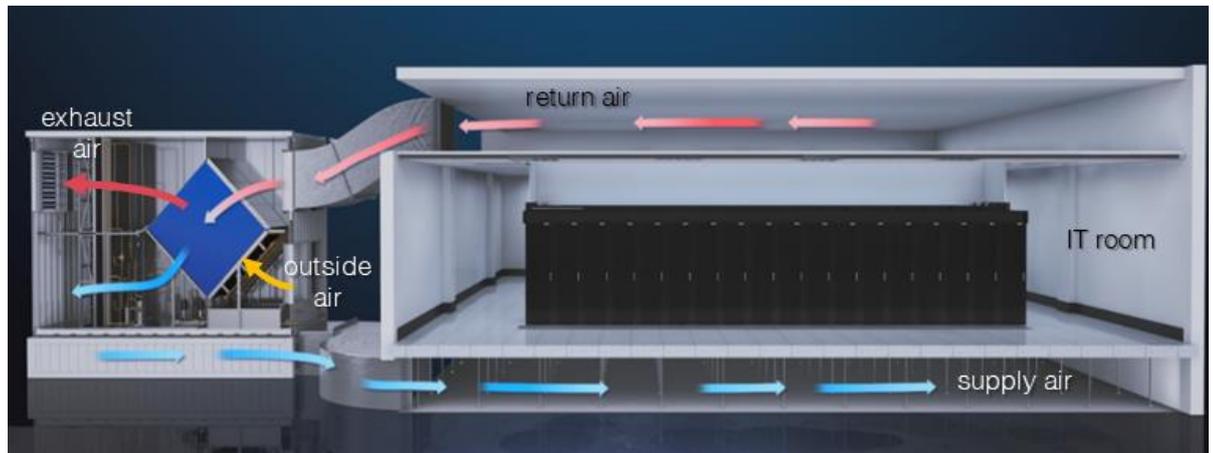


Fig. 9: Beispiel Rechenzentrumskühlung mit externen Lüftungsanlagen
Quelle: Huawei EHU

Die Zuluft kann entweder durch einen Doppelboden geführt werden, oder analog dem vorgängig beschriebenen Prinzip der Fan-/Cool Wall.

Grundsatz: adiabatischen Abluftkühlung → mehr Freecooling → Bedarf an aufbereitetem Wasser → höhere Toleranzen der Zuluft

HINWEIS: bei der adiabatischen Abluftkühlung ist zu beachten, dass die Leistung der Befeuchtung direkt von den Aussenluftbedingungen abhängig ist. Je nach definierter Zuluft-Temperatur ist eventuell eine mechanische Kälteanlage zur Spitzenlastabdeckung zu berücksichtigen.

6.3.3. Abwärmenutzung in Rechenzentren - Herausforderungen, Probleme und Potenziale

6.3.3.1 Vorwort und Erklärungen zum Thema Abwärmenutzung

Für Rechenzentren gibt es zwei verschiedene Möglichkeiten die Nutzung der Abwärme aus dem Betrieb von IT-Hardware zu ermöglichen:

Direkt
Direkte Abwärmenutzung: Hierbei wird die thermische Energie direkt aus dem Kältemittelkreislauf der Kältemaschine entnommen, so wie es auch in der gewerblich-industriellen Anwendung bekannt ist. Die Herausforderung ist, dass die meisten Klima- und Kältemaschinen für einen Komfort-Klimabetrieb ausgerichtet sind und über keine entsprechende Schnittstelle verfügen. Eine lokal durchgeführte Anpassung ist kaum möglich, da die Hersteller nach einem Eingriff durch Dritte fast immer die Garantie verweigern. Immer mehr

Hersteller, besonders für Maschinen im kleineren bis mittleren Leistungsbereich (bis ca. <300-400 kW), bieten eine Schnittstelle zur direkten Abwärmenutzung optional an.

Vorteil	Nachteil
<ul style="list-style-type: none"> hohe Temperaturen, bis zu +60°C 	<ul style="list-style-type: none"> Abwärme wird nur bei Betrieb der Kältemaschine erzeugt nur für Maschinen im kleineren bis mittleren Leistungsbereich verfügbar

Tab. 11: T.Dehmel: Vorteil-Nachteil direkte Abwärmenutzung Kälteanlage

Bei der Integration der Schnittstelle in den Vorlauf des Kühlwasserkreislaufs wird die thermische Energie der Kältemaschine genutzt, bevor die Energie über die Rückkühler an die Umwelt abgegeben wird.

Vorteil	Nachteil
<ul style="list-style-type: none"> höhere Temperaturen, bis zu +48°C kein Eingriff in den Kältemittelkreislauf 	<ul style="list-style-type: none"> Abwärme wird nur bei Betrieb der Kältemaschine erzeugt

Tab. 12: T.Dehmel: Vorteil-Nachteil direkte Abwärmenutzung Kühlwasserkreislauf

Indirekt

Indirekte Abwärmenutzung: Bei der indirekten Abwärmenutzung wird eine Schnittstelle in den Kaltwasserkreislauf integriert. Dadurch kann die durch den Betrieb der Hardware erzeugte thermische Energie genutzt werden.

Vorteil	Nachteil
<ul style="list-style-type: none"> Wärmequelle unabhängig vom Betrieb der Kältemaschine und Wärmebedarf kein Risiko für den Betrieb der Kaltwasserversorgung Freecooling kann weiter genutzt werden geringe Investitionen kein Eingriff in den Kältemittelkreislauf 	<ul style="list-style-type: none"> tiefere Temperaturen, zwischen +25 - +35°C direkte Nutzung zur Beheizung nur bei modernen Gebäuden möglich

Tab. 13: T.Dehmel: Vorteil-Nachteil direkte Abwärmenutzung Kühlwasserkreislauf

6.3.3.2 Colocation- und Hosting Rechenzentren (Kategorie A und B)

Neubau

Bei den Colocation-Rechenzentren (Kategorie A und B) hat die Betriebs- und Ausfallsicherheit und die Energie-Effizienz oberste Priorität. Daher kommt nur eine indirekte Abwärmenutzung in Frage, da bei dieser Variante sowohl der unabhängige Betrieb des Rechenzentrums garantiert ist als auch keine Beeinflussung und /oder Abhängigkeit zu den

Wärmeabnehmern entsteht. Die durch den Betrieb der ICT-Hardware anfallende thermische Energie kann maximal genutzt werden.

Umbau Eine Anpassung oder Erweiterung der thermischen Versorgungsanlagen und -systeme in einem Rechenzentrum im laufenden Betrieb ist ein sehr komplexes Unterfangen, da die Versorgungssicherheit unter allen Umständen gewährleistet werden muss. Eingriffe in die kritischen versorgungstechnischen Anlagen bedürfen einer umfassenden Risikoanalyse und der vorzeitigen Anmeldung von ausserplanmässigen Massnahmen bei den Kunden des Rechenzentrums.

Die Integration einer Schnittstelle für die Abwärmenutzung ist jedoch im Rahmen einer Erneuerung der Kälteversorgung unbedingt einzubeziehen.

Potenziale Colocation- und Hosting Rechenzentren: Einbindung eines Wärmetauschers in den Rücklauf der Kaltwasserversorgung → Anergie-Netz für dezentrale Wärmepumpen, Quelle: (Gebäudetechnik.ch, 2019), www.svgw.ch/waerme/fernkaelte-und-energienetze.

6.3.3.3 Enterprise Rechenzentrum (Kategorie C und D)

Neubau Für grosse Enterprise Rechenzentren (Kategorie C) gelten grundsätzlich die gleichen Rahmenbedingungen und Anforderungen wie für die Colocation-Rechenzentren.

Für kleinere und mittlere Enterprise Rechenzentren (Kategorie D) kann die Verpflichtung zur Nutzung der Abwärme ein Problem darstellen, wenn keine entsprechenden Maschinen verfügbar sind. Oftmals sind die Systeme, Schnittstellen, Leistungen und Temperatur-Niveaus der Kühlanlagen für das Rechenzentrums mit denen der bestehenden Anlage nicht kompatibel.

Umbau Für grosse Enterprise Rechenzentren (Kategorie C) gelten grundsätzlich die gleichen Rahmenbedingungen und Anforderungen wie für die Colocation-Rechenzentren.

Bei Umbauten und/oder Erweiterungen von kleinen und mittleren Enterprise Rechenzentren (Kategorie D) gelten dieselben Grundsätze wie bei Neubauten.

Potenziale Firmeneigene intern-betriebene Rechenzentren können ab einer bestimmten Leistung einen deutlichen Betrag zur Senkung der Heizkosten im Gebäude oder im Gebäudekomplex beitragen, indem die Abwärme in das bestehende Heizungssystem eingebracht wird.

Dabei ist jedoch zwingend eine Abwägung zwischen den Einsparungen durch Freecooling und dem Gewinn durch die Abwärmenutzung zumachen. Auch muss geklärt werden, ob sich die Temperaturen sinnvoll für ein bestehendes Heizungssystem eignen.

6.3.4. Empfehlungen und Anregungen

6.3.4.1 Empfehlungen T. Dehmel

WICHTIG:

Die konstante Verfügbarkeit von Rechen- und Speicherkapazitäten und eine schnelle, stabile Infrastruktur zur Datenübertragung sind heute und in Zukunft für die Gesellschaft unerlässlich. Rechenzentren sind komplexe Systeme, die durch eine Vielzahl von internen und externen Faktoren und gegenseitigen Abhängigkeiten beeinflusst werden.

Aus Sicht T. Dehmel gilt es, die riesige Anzahl an aktuellen Veröffentlichungen, Expertisen, Studien und Fachberichten, zum Thema «Effizienz» von Rechenzentren, mit Vorsicht und gebotener Objektivität zu betrachten. Diese Berichte sind per-se nicht falsch, gehen aber meist nur auf ein spezifisches Thema des Rechenzentrums ein. Vielfach fehlt der Kontext oder Erklärungen zu wichtigen Zusammenhängen.

Die technischen Möglichkeiten, ein Rechenzentrum effizienter zu betreiben sind grundsätzlich vorhanden und hinlänglich bekannt. Sowohl für die Planung, Bau und den Betrieb von Rechenzentren, als auch für die Erarbeitung von neuen Richtlinien, Normen und Vorschriften sind folgende Grundsätze zwingend zu beachten:

a. Differenzierung nach Anwendung, Standort und Kapazität

Wie in diesem Bericht aufgezeigt, bestimmen die ICT-Hardware, die Anwendungen und die Art des Betriebes der ICT-Hardware das Design und die Kapazitäten der Versorgungstechnik eines Rechenzentrums.

Richtlinien, Normen und Vorschriften müssen entsprechend der Einflussnahme und Verantwortung ausgerichtet und angewandt werden.

Während der Betreiber eines Colocation-Rechenzentrums (Kategorie A und B) weder Einfluss auf die vom Kunden eingesetzte Hardware, noch deren hat, definiert der Betreiber und/oder Anwender von Hosting- und Enterprise-Rechenzentren seine Hardware grundsätzlich, aber nicht ausschliesslich selbst.

b. Monitoring und Aufzeichnung von physikalischen Daten, Automatisierung von Systemen

Eigentümer und Betreiber von ICT-Hardware und -Equipment sollten zu Massnahmen verpflichtet werden, durch die der physikalische Betrieb der Hardware effizienter wird. Konstantes Monitoring und aktives Management von Servern und Speichersystemen kann nachweislich zu einem geringeren Energieverbrauch durch bessere Einzelauslastungen der Hardware beitragen. Einen Anhaltspunkt hierzu bietet unter anderem das 2023 vom UpTime Institute veröffentlichte Dokument «*Server Energy Efficiency: Five Key Insights*» (UpTime Institute, Server Energy Efficiency: Five Key Insights, 2023)

Die gewonnenen Daten können weiterführend dazu beitragen, die Dimensionierung und Skalierung von elektrischen und thermischen Versorgungssystemen besser an die spezifischen Anforderungen anzupassen. In Kombination mit der permanenten Datenerfassung und Aufzeichnung der Betriebszustände der elektrischen und thermischen Anlagen ist die Luftverteilung im Rechenzentrum zu optimieren.

Die Betriebsdaten der versorgungstechnischen Anlagen sollen zwar zur Analyse erfasst und aufgezeichnet werden. Aus Sicherheitsgründen darf jedoch kein Eingriff von aussen auf die Steuerung der Anlagen stattfinden. Eine Manipulation von Soll- und Alarmwerten kann zu weitreichenden Folgen in Form von System-Ausfällen oder irreparablen Schäden an der ICT-Hardware und -Equipment führen.

Moderne Anlagen verfügen über intelligente Steuerungen, so dass diese lediglich in einem geschlossenen Netzwerk untereinander kommunizieren, um die Kapazitäten entsprechend der erfassten Leistungsanforderungen untereinander zu verteilen.

c. Gesamtbetrachtung und Umgebung

Die technischen Möglichkeiten, ein Rechenzentrum effizient zu betreiben sind vorhanden und hinlänglich bekannt. Jedoch ist besonders beim Thema Kühlung von Rechenzentren grosse Vorsicht geboten, da die Kühlung einen grossen, direkten Einfluss auf die Leistung, Ausfallsicherheit und die Lebensdauer der ICT-Hardware hat.

Moderne Rechenzentren sind als integrale Energiesysteme zu betrachten, die durch die Unterbringung und den sicheren Betrieb von ICT-Hardware für eine Vielzahl von täglichen Anwendungen einen entscheidenden Beitrag zur heutigen Gesellschaft und Wirtschaft beitragen. Bislang wurden Rechenzentren als einzelne Objekte betrachtet. Durch neue Arbeitsweisen und IT- oder cloud-basierte Anwendungen, aber auch neue Technologien, lassen sich moderne Rechenzentren in neue Areale und Gewerbegebiete integrieren. Entsprechende Grundlagen sich kurz- bis mittelfristig zu erarbeiten.

Um die geforderte Verfügbarkeit zu gewährleisten, müssen einerseits entsprechende Redundanzen aufgebaut und mechanische Sicherheiten eingerichtet werden, andererseits müssen die Anlagen und Systeme durch eine einfache Bedienbarkeit nach einem internen oder externen Vorfall schnellstmöglich zum Normalbetrieb zurückkehren können. Eine Beeinflussung oder Eingriffe durch übergeordnete Steuerungs- und Monitoringsysteme sind auszuschliessen.

Ein sehr guter und umfassender Ansatz zur Gesamtbetrachtung der Effizienz von Rechenzentren wird von dem Label von SDEA (Swiss Datacenter Efficiency Association) verfolgt (www.sdea.ch/the-label). Hierbei wird, als einzig bekanntes Label, sowohl der Betrieb der ICT als auch des Rechenzentrums betrachtet und bemessen. Durch die Differenzierung in ICT-Betrieb und Rechenzentrumsbetrieb werden die Verantwortungen auf die jeweiligen Kompetenzen verteilt. Weitere Informationen sind zu finden «SDEA KPI factsheet» (vgl. [Link](#)).

Ein weiterer Ansatz wird in Form einer Richtlinie zur Verhaltensweise für Energie Effizienz im Rechenzentrum im Dokument «*2022 Best Practice Guidelines for the EU Code of Conduct on Data Centre Energy Efficiency*» (vgl. [Link](#)) aufgezeigt.

d. Abwägung der Verhältnismässigkeit von Aufwand und Nutzen

Die Abwägung der Verhältnismässigkeit von Aufwand und Nutzen bezieht sich in diesem Bericht in erster Linie auf die Abwärmenutzung. Grundsätzlich teilt T. Dehmel, der Verfasser dieses Berichtsteils, die Aussagen und Schlüsse in Bezug auf die theoretischen Potenziale der Abwärmenutzung von Rechenzentren in dem eingangs erwähnten Schlussbericht zur Studie «Abwärmenutzung von Rechenzentren – ...» (eicher+pauli Zürich AG, 2023).

Besonders in Bezug auf die Abwärmenutzung müssen die technischen Gegebenheiten genau betrachtet und die mögliche Nutzung analysiert werden. Besonders Anlagen für kleine Rechenzentren verfügen meist nicht über die technischen Möglichkeiten, die Abwärme an ein externes System weiterzugeben. Da wäre z.B. eine Verpflichtung zur Prüfung und Nachweis für ein Freecooling sinnvoll, um den Stromverbrauch zu reduzieren.

e. Berücksichtigung neuer Technologien und Anwendungen

Neue Arbeitsweisen und Anwendungen bringen, neben neuen Entwicklungen, auch neue Herausforderungen mit sich. Um mit den stetig steigenden Anforderungen in Bezug auf Rechenleistung, Speicherkapazität und Datenübertragung schritthalten zu können, wird die Hardware immer anwendungsspezifischer. Dies zeigt sich darin, dass Hardware für die optimale Performance einer spezifischen Anwendung gebaut werden (z.B.: ASIC-Boards für Blockchain-Rechenoperation). Daraus folgen teilweise neue Formfaktoren, die vom «19” Standard» abweichen.

Die Geräte, einzeln betrachtet, werden zwar immer effizienter, und intelligente Management-Tools helfen, die System am optimalen Betriebspunkt zu betreiben. Doch der individuelle Energiebedarf und die Leistungsdichten steigen kontinuierlich. Konventionell gebaute und dimensionierte Rechenzentren stossen hierbei an ihre Leistungsgrenzen.

EDGE-Anwendungen, wie z.B. das Auslagern von Rechenleistung zur Berechnung von Simulationen, Blockchain-Berechnungen oder Grafik-Rendering sind meistens nicht abhängig von einer geringen latency oder beinhalten keine sensiblen Daten und erlauben daher eine Dezentralisierung von Rechenkapazitäten und -leistungen.

Hier können neue Technologien, z.B. wie das unter dem Begriff Liquid Cooling⁹ zusammengefasste Immersion Cooling¹⁰ neue Möglichkeiten und Chancen eröffnen. Auf Grund der höheren Temperaturen des Kühlmediums (Kalt- / Kühlwasser) gegenüber von

⁹ *Liquid Cooling: direkt flüssigkeits-gekühlte Systeme*

¹⁰ *Immersion Cooling: in eine Flüssigkeit eingetauchte Hardware*

luftgekühlten Systemen, können flüssigkeits-gekühlte Systeme oftmals ohne mechanische Kälteerzeugung betrieben werden und benötigen deutlich weniger Platz.

In einigen Fällen kann bei «Immersion Cooling» die hohe Kühlwassertemperatur von bis zu +60°C zur direkten Beheizung von Gebäuden oder Prozessen genutzt werden.

Dieses Temperaturniveau ist für einen Transport (über weitere Strecken) noch zu tief. Daher sollten solche Anlagen in unmittelbarer Nähe des Wärmeverbrauchers aufgebaut werden. Der Begriff «Serverheizung» hat sich seit einiger Zeit etabliert. Die Herausforderung ist nun, die Planungsgrundlagen für solche Anwendungen anzupassen, um die beiden Anwendungen «Server» und «Heizung» kombinieren zu können.

Ebenfalls sollte der Begriff «Rechenzentrumskühlung» entsprechend den neuen Möglichkeiten durch die neuen Technologien angepasst oder neu definiert werden.

6.4. Anhang

Quellen

- Bitkom e.V. (2015). Leitfaden Energieeffizienz in Rechenzentren. Von <https://www.bitkom.org/Bitkom/Publikationen/Leitfaden-Energieeffizienz-in-Rechenzentren.html> abgerufen
- Datacenter Insider. (02 2023). Was sind Verfügbarkeitsklassen. Von <https://www.datacenter-insider.de/was-sind-verfuegbarkeitsklassen-a-12217d95fa3231c6365caa93c94fe5e8/> abgerufen
- eicher+pauli Zürich AG. (06 2023). Abwärmenutzung von Rechenzentren – Potenzialstudie und Empfehlungen für Betreiber und Gemeinden. Schlussbericht. (B. f. Schweiz, Herausgeber) Von <https://pubdb.bfe.admin.ch/de/suche?keywords=&q=Rechenzentren&from=31.05.2023&to=&nr=> abgerufen
- Gebäudetechnik.ch. (2019). Anergienetz zum Heizen und Kühlen. Von <https://www.gebaeudetechnik.ch/waerme-kaelte/waermetechnik/anergienetz-zum-heizen-und-kuehlen/> abgerufen
- Intel. (n.d.). Moore's Law. Retrieved from www.intel.com/content/www/us/en/newsroom/resources/moores-law.html
- Statista. (2022, 11). What is the average annual power usage effectiveness (PUE) for your largest data center? Retrieved from <https://www.statista.com/statistics/1229367/data-center-average-annual-pue-worldwide/>
- UpTime Institute. (01 2018). Data center Site Infrastructure Tier Standar: Topology. Von <https://uptimeinstitute.com/publications/asset/tier-standard-topology> abgerufen
- UpTime Institute. (July 2020). 2020 Data Center Industry Survey Results. Von <https://uptimeinstitute.com/2020-data-center-industry-survey-results> abgerufen
- UpTime Institute. (2020). rack density is rising. Retrieved from <https://journal.uptimeinstitute.com/rack-density-is-rising>

UpTime Institute. (January 2022). Five data center predictions for 2022. Von <https://uptimeinstitute.com/resources/research-and-reports/five-data-center-predictions-for-2022> abgerufen

UpTime Institute. (January 2023). Five Data Center Predictions for 2023. Von <https://uptimeinstitute.com/resources/research-and-reports/five-data-center-predictions-for-2023> abgerufen

UpTime Institute. (January 2023). Server Energy Efficiency: Five Key Insights. Von <https://uptimeinstitute.com/resources/research-and-reports/server-energy-efficiency-five-key-insights> abgerufen

WikiPedia: Hosting. (kein Datum). Von <https://de.wikipedia.org/wiki/Hosting> abgerufen

Online-Dokumente und Links

Schlussbericht zur Studie «Abwärmenutzung von Rechenzentren – Potenzialstudie und Empfehlungen für Betreiber und Gemeinden» von eicher+pauli Zürich AG:
www.pubdb.bfe.admin.ch/de/publication/download/11426

SDEA KPI factsheet
https://www.sdea.ch/files/ugd/8fd082_e64f00acde5a4063aa83ded03939dbdd.pdf

2022 Best Practice Guidelines for the EU Code of Conduct on Data Centre Energy Efficiency
<https://e3p.jrc.ec.europa.eu/publications/2022-best-practice-guidelines-eu-code-conduct-data-centre-energy-efficiency>