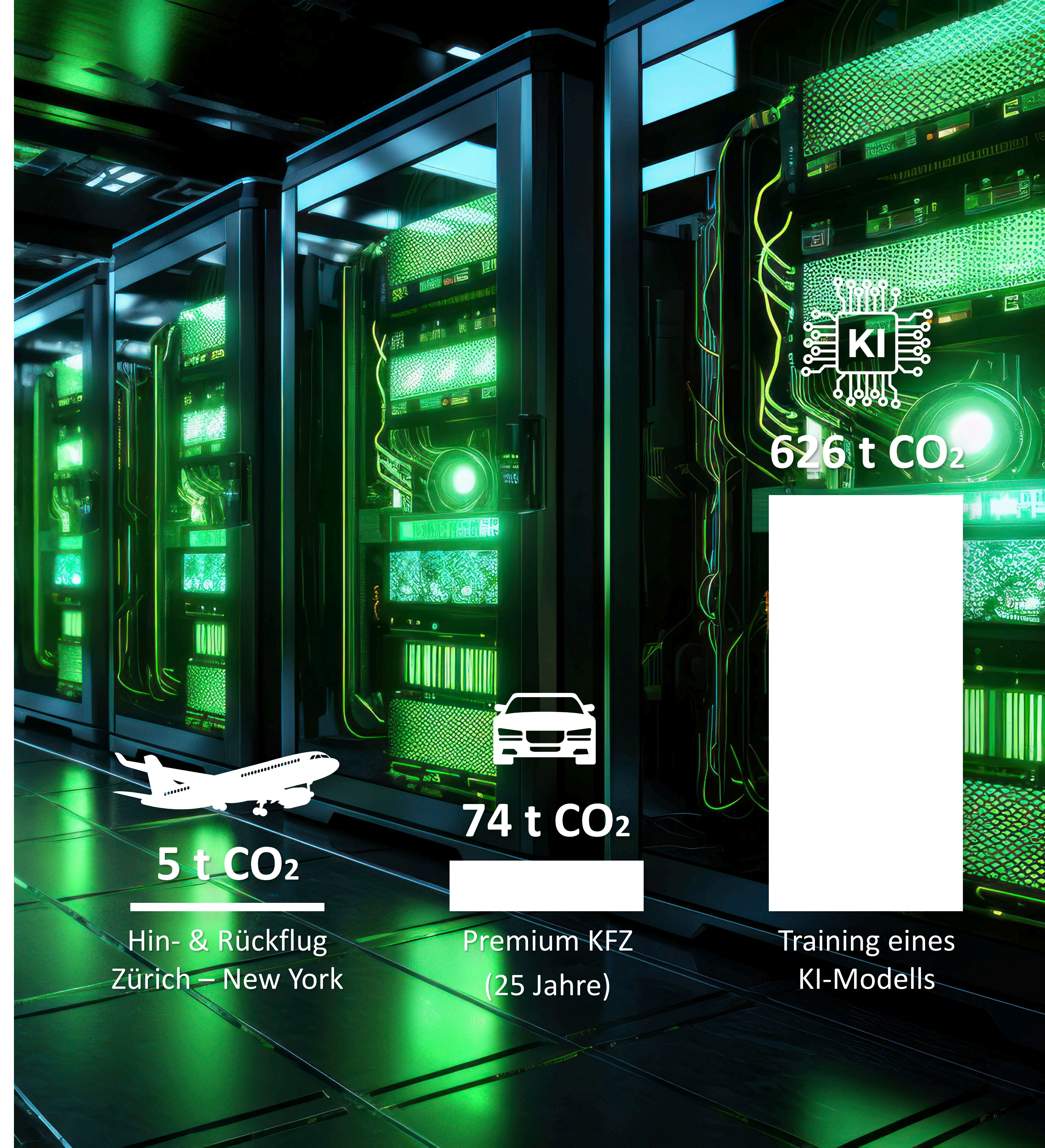


# Rechenzentren und KI

## energetische Herausforderungen

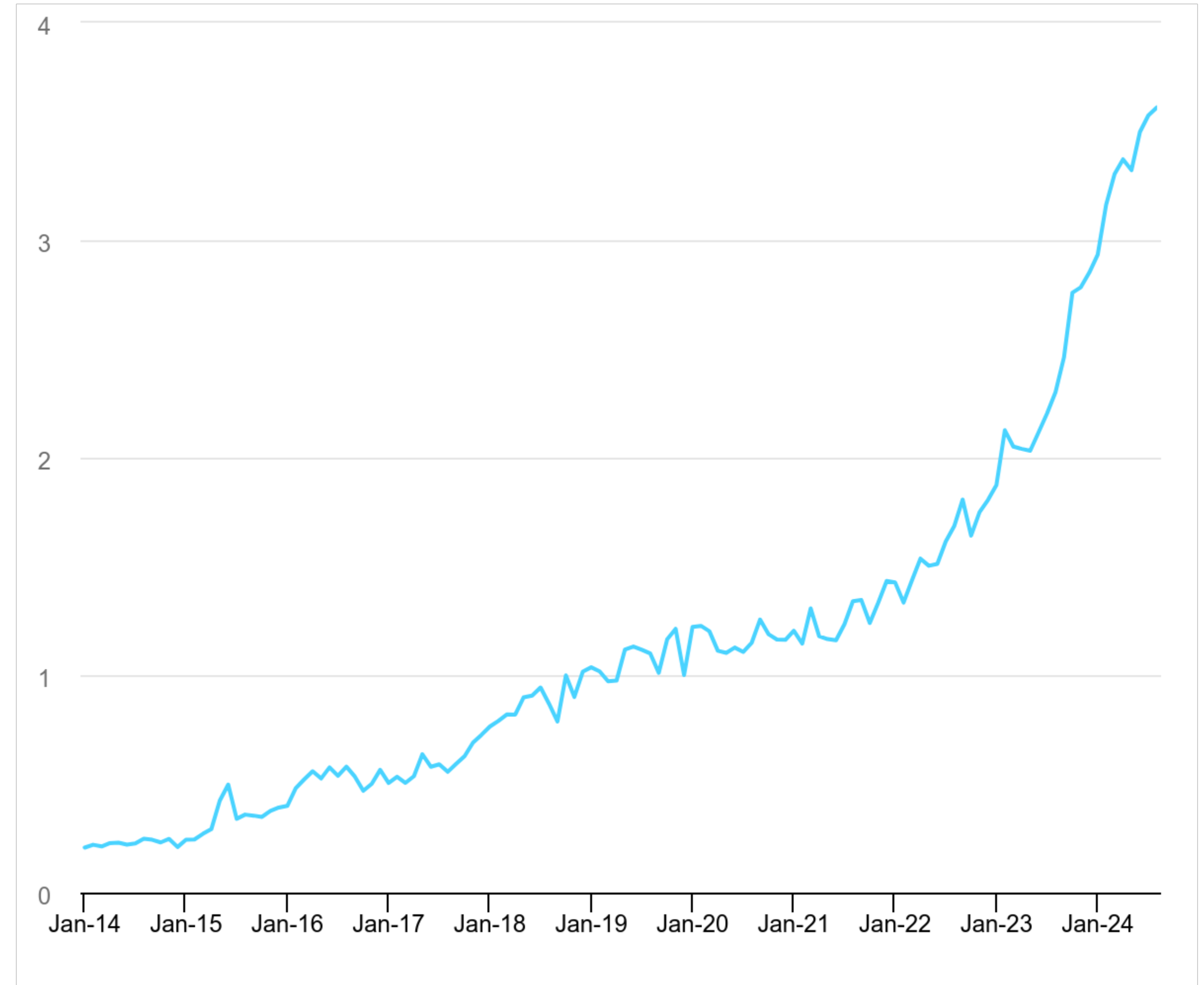
Prof. Adrian Altenburger

**21. IGE-Seminar**  
Institut für Gebäudetechnik und Energie - 12. März 2025



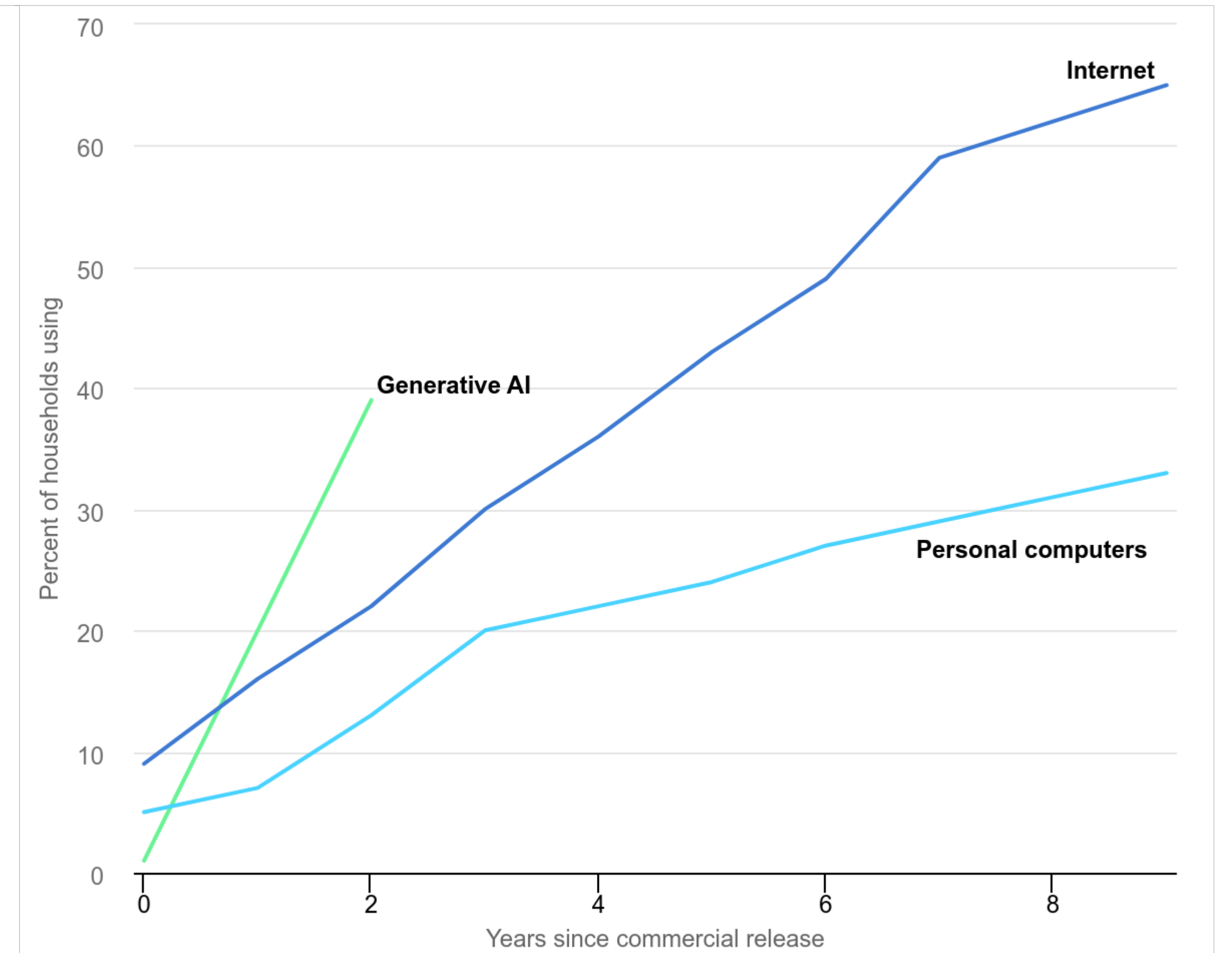
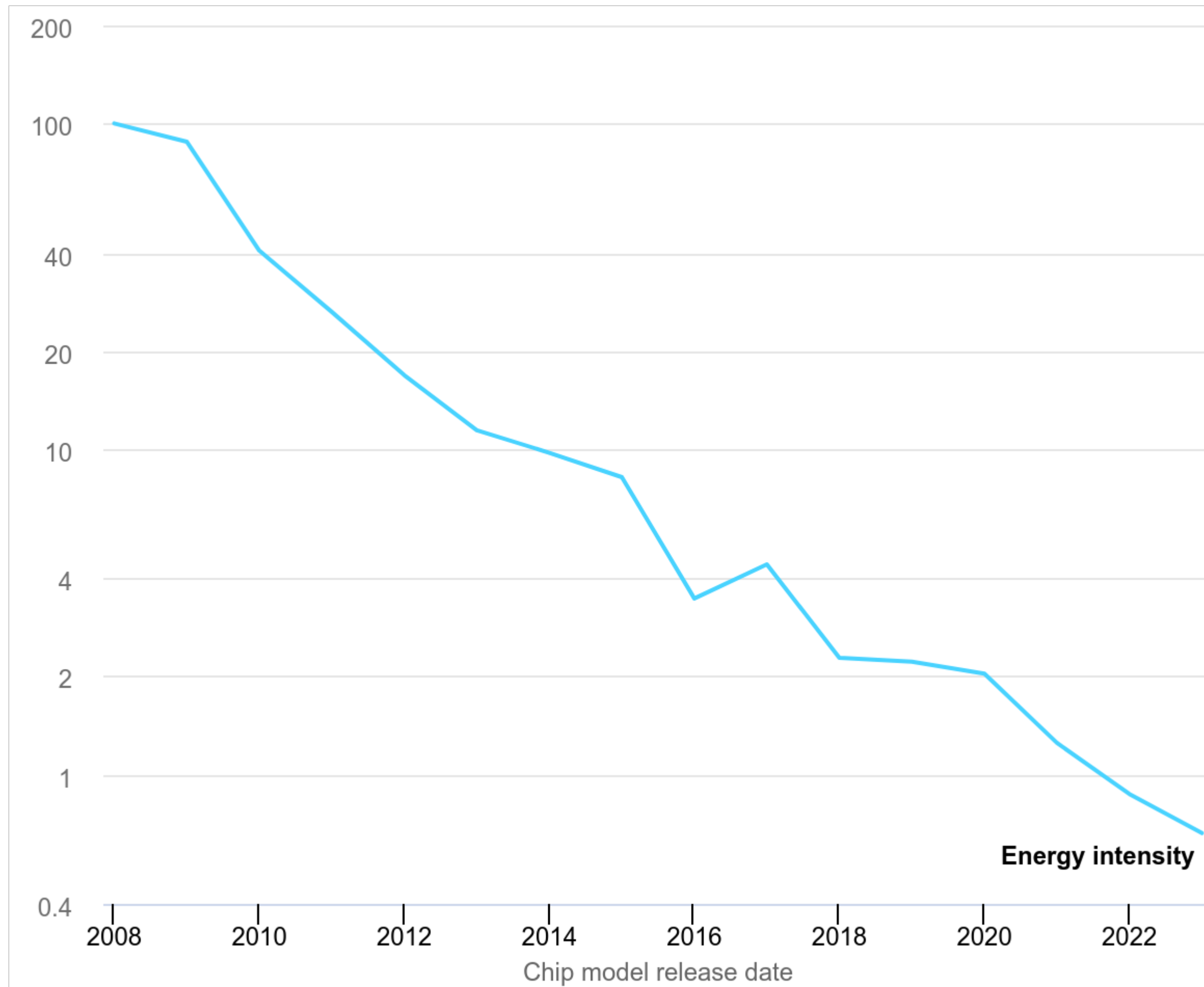
## Agenda

- Marktdynamik und Umgang mit Verlusten
- PUE und Status Rechenzentren Schweiz
- Prognosen Strombedarf
- Marktsituierung RZ-Industrie
- Effizienzmassnahmen und Beispiele
- Label und Normen



Quelle: IEA 2024, Investitionen in RZ in den USA, Index (Dezember 2019 = 1)

# Marktdynamik: IT-Energieeffizienz vs Rebound durch rasche Adaption



Quelle: IEA 2024, AI computer chips refers to GPU or TPU accelerators. Energy intensity is calculated as billion floating point operations per Watt.

# Rechenzentren und KI – energetische Herausforderungen

## Der Elefant im Raum...



Amazon Web Services (AWS) is expanding its data center capacity by inking an acquisition. Notable is that the acquired data center runs on nuclear energy. This form of energy is interesting for data centers and the sustainability of this industry for several reasons.

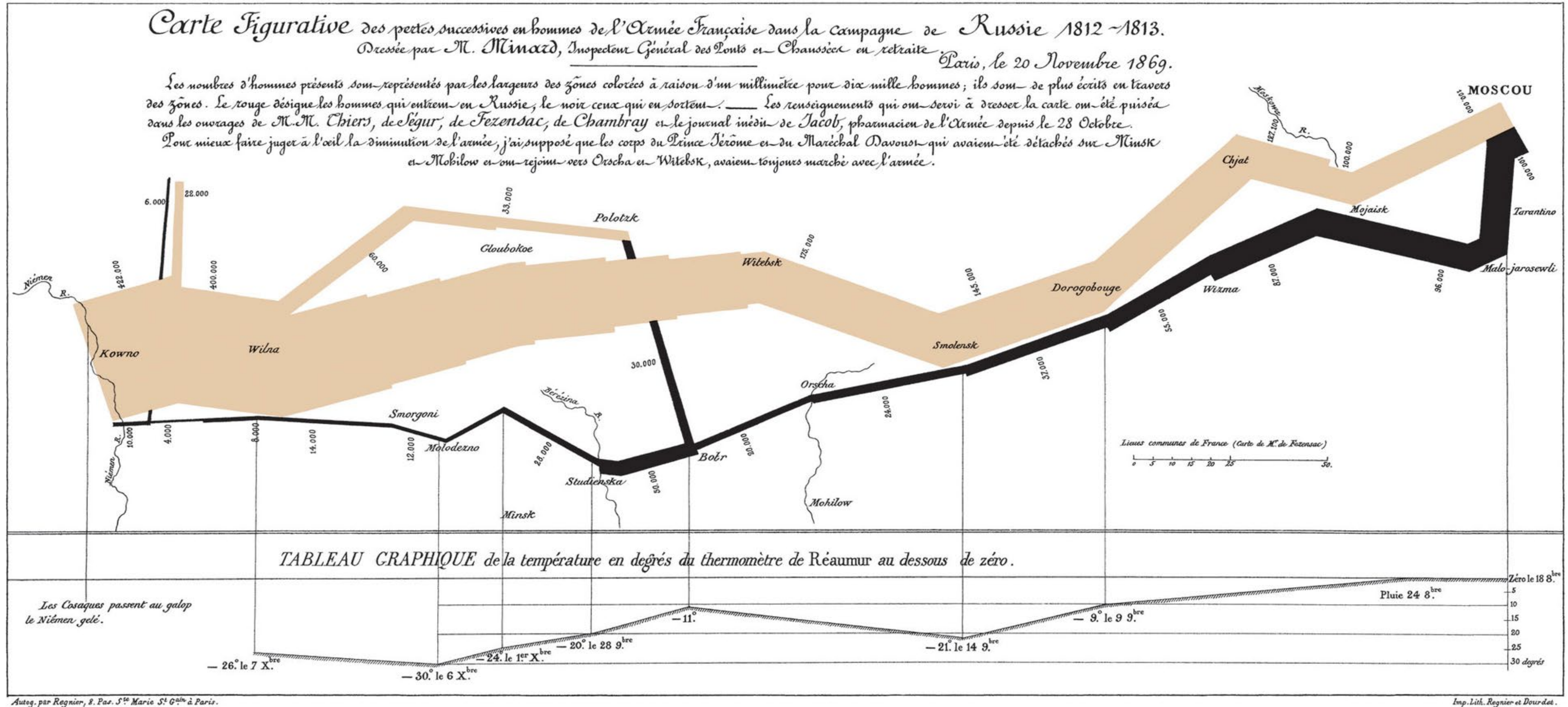
## Plan to reopen Three Mile Island plant could be ‘rebirth’ of nuclear energy, Northeastern experts say

by **Cyrus Moulton**  
September 26, 2024

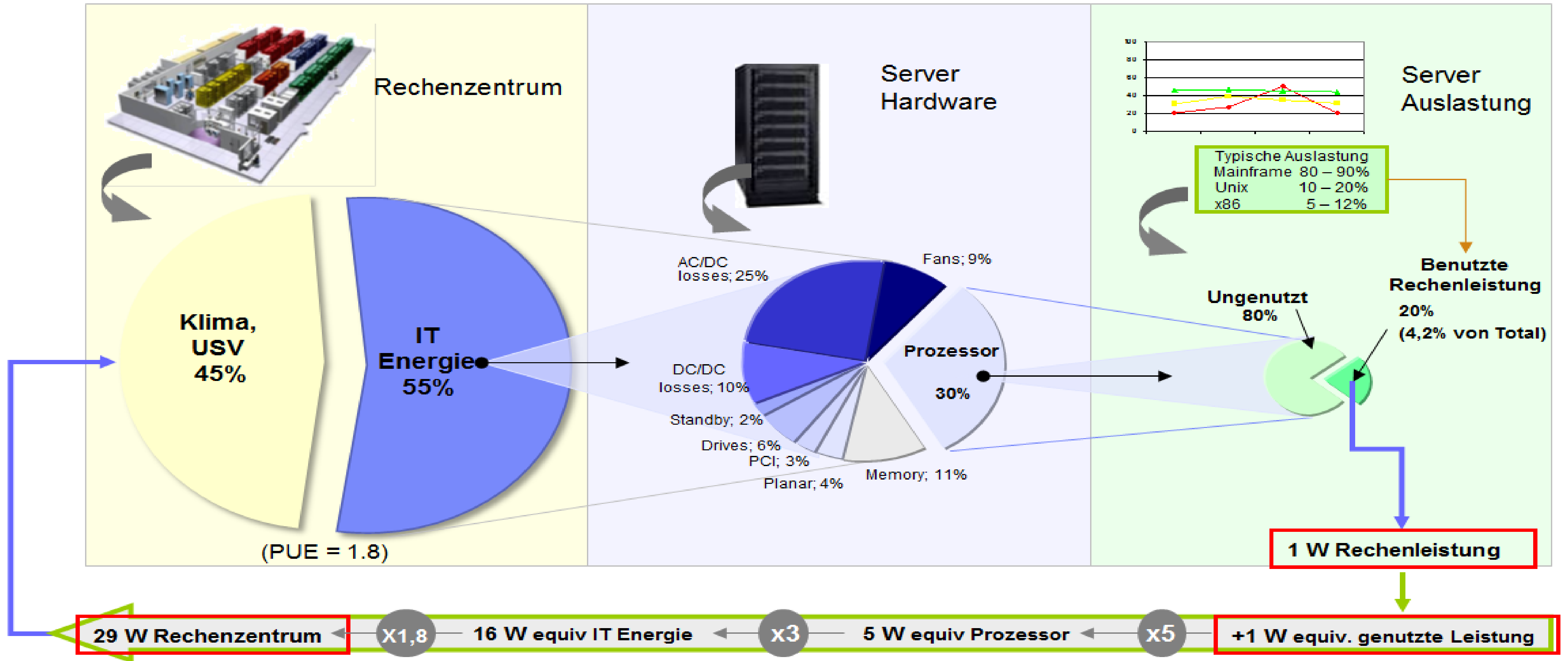


A plan to reopen a reactor at the Three Mile Island nuclear power plant could rejuvenate the nuclear energy sector in the United States. AP Photo/Bradley C Bower.

# Umgang mit Verlusten – Russlandfeldzug Napoleon 1812-1813 (ca. 97%)

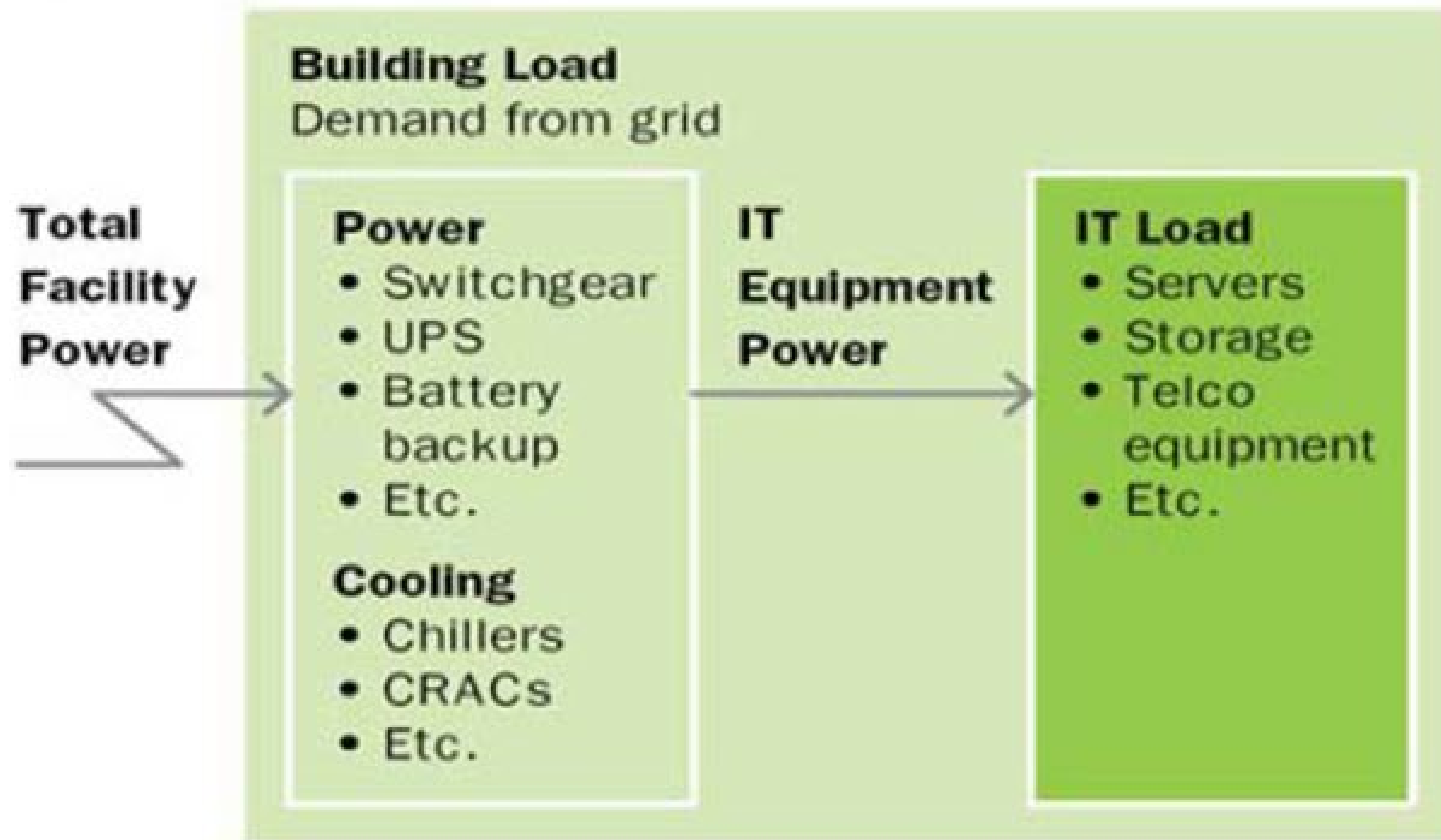


# Umgang mit Verlusten – Typischer Energiefluss in Datacentern (96% Wärme)



# PUE – eine global etablierte relative Kenngrösse (Fokus Infra)

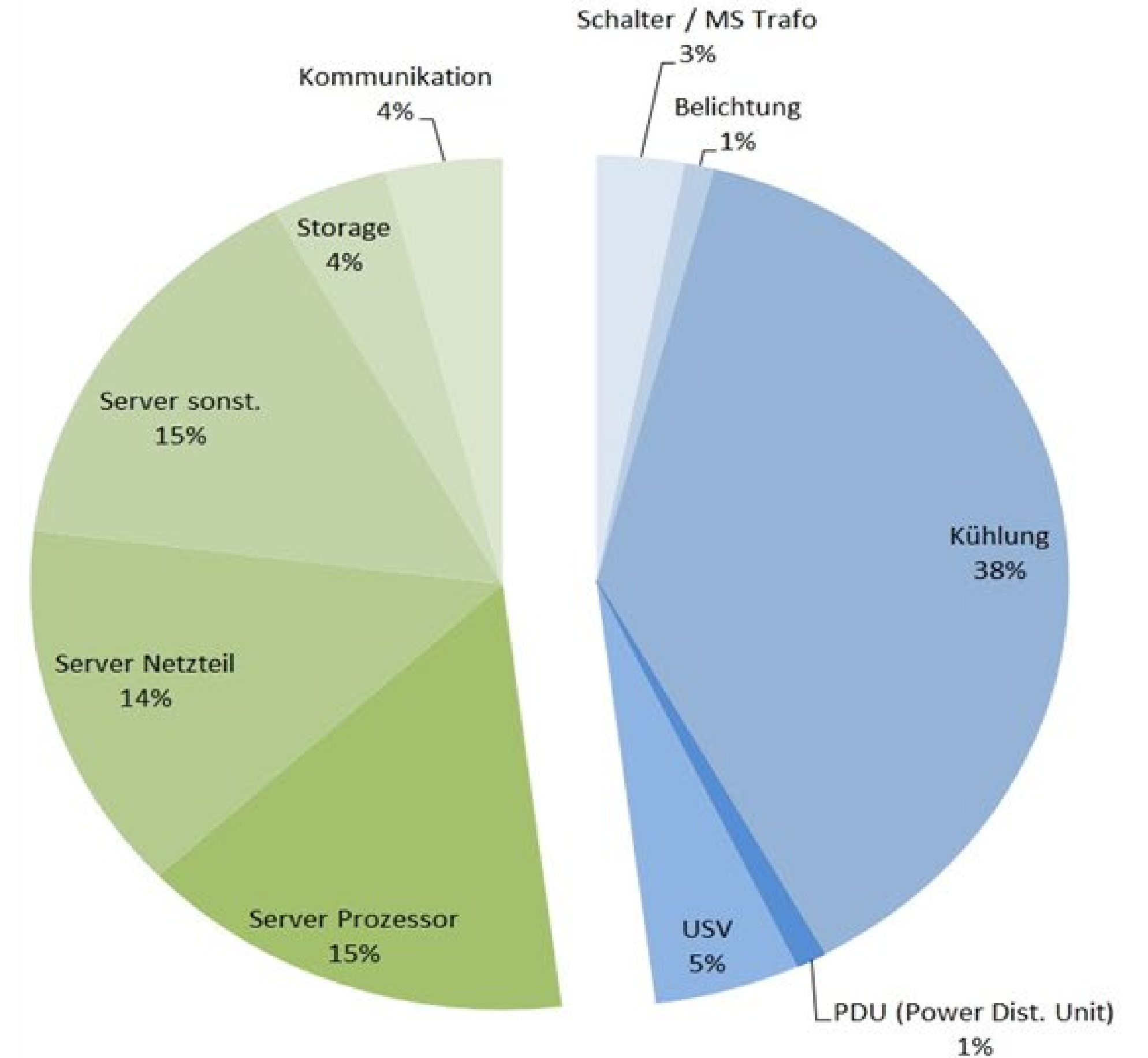
**PUE: Power Usage Effectiveness**  
**DCE: Data Center Efficiency**



$$PUE = \frac{\text{Total Facility Power}}{\text{IT Equipment Power}}$$

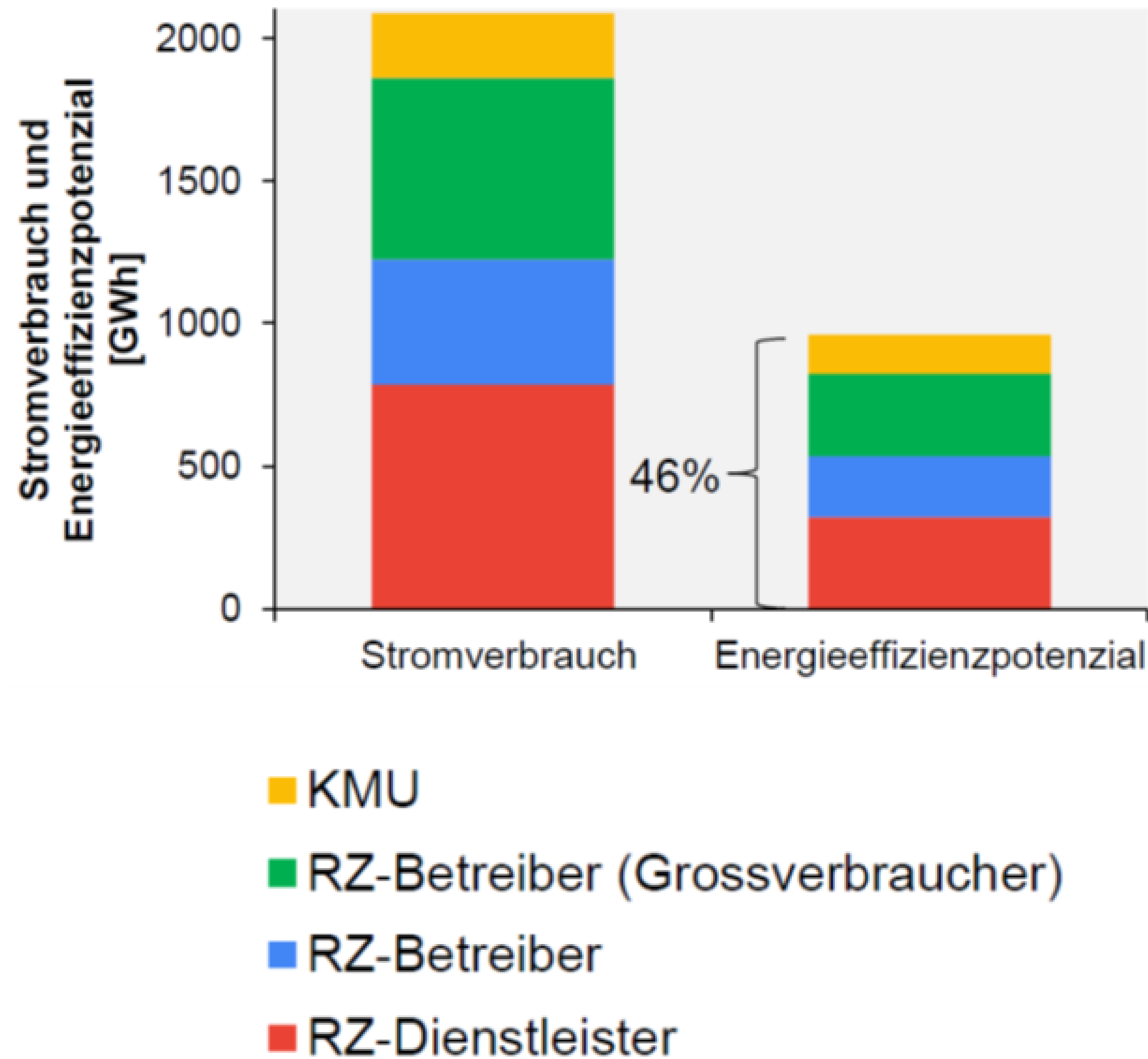
$$DCE = \frac{1}{PUE} = \frac{\text{IT Equipment Power}}{\text{Total Facility Power}} \leftarrow \text{(Multiply both terms by 100\%)}$$

Quelle: RMI DataCenter Charrette 2003, San Jose, CA / USA



Quelle: Emerson Network Power, 2013

# Status – RZ in der Schweiz (2019) – 2.1 TWh/a bzw. 3.6%



**Autoren**

Dr. Martin Jakob, TEP Energy GmbH  
 Jonas Müller, TEP Energy GmbH  
 Prof. Adrian Altenburger, HSLU

**Auftragnehmer**

TEP Energy GmbH  
 Rotbuchstrasse 68, CH-8037 Zürich  
 www.tep-energy.ch  
 +41 43 500 71 71  
 office@tep-energy.ch

Hochschule Luzern (HSLU)

Technikumstrasse 21, 6048 Horw  
 www.hslu.ch/technik-architektur  
 +41 41 349 33 03  
 technik-architektur@hslu.ch

**Mitarbeit bei der Online-Erhebung**

Profondia AG  
 Netzmedien AG  
 asut – Schweizerischer Verband der Telekommunikation

Quelle: BFE-Studie 2021, TEP, HSLU

<https://www.hslu.ch/de-ch/hochschule-luzern/forschung/projekte/detail/?pid=6061>



## Status Infra – Sensibilität/Information zur Energieeffizienz fehlt oft (>80%)

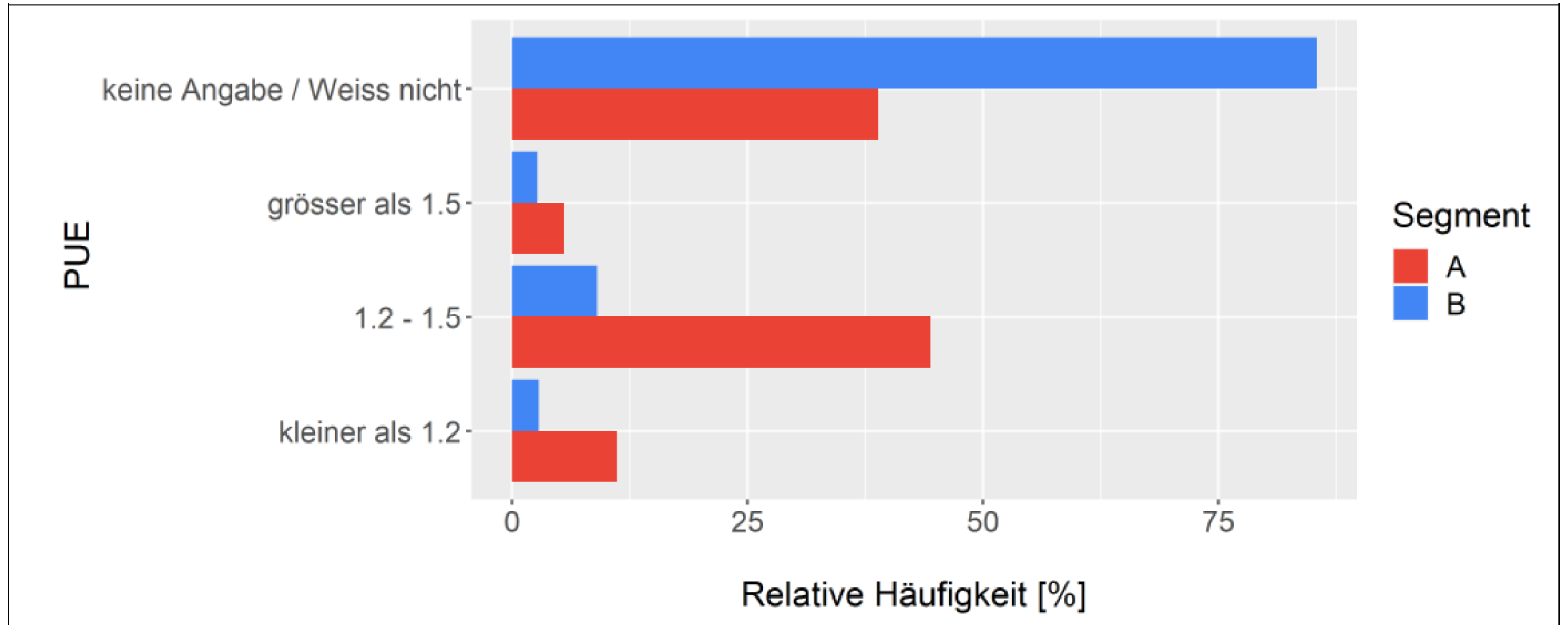


Abbildung 19: PUE-Werte für die beiden Segmente A und B. n = 114 (A:22, B:92) haben einen PUE angegeben. 553 Teilnehmer kennen den PUE nicht oder haben ihn nicht angegeben.

## Status IT – Sensibilität/Information zur Auslastung fehlt oft (>55%)

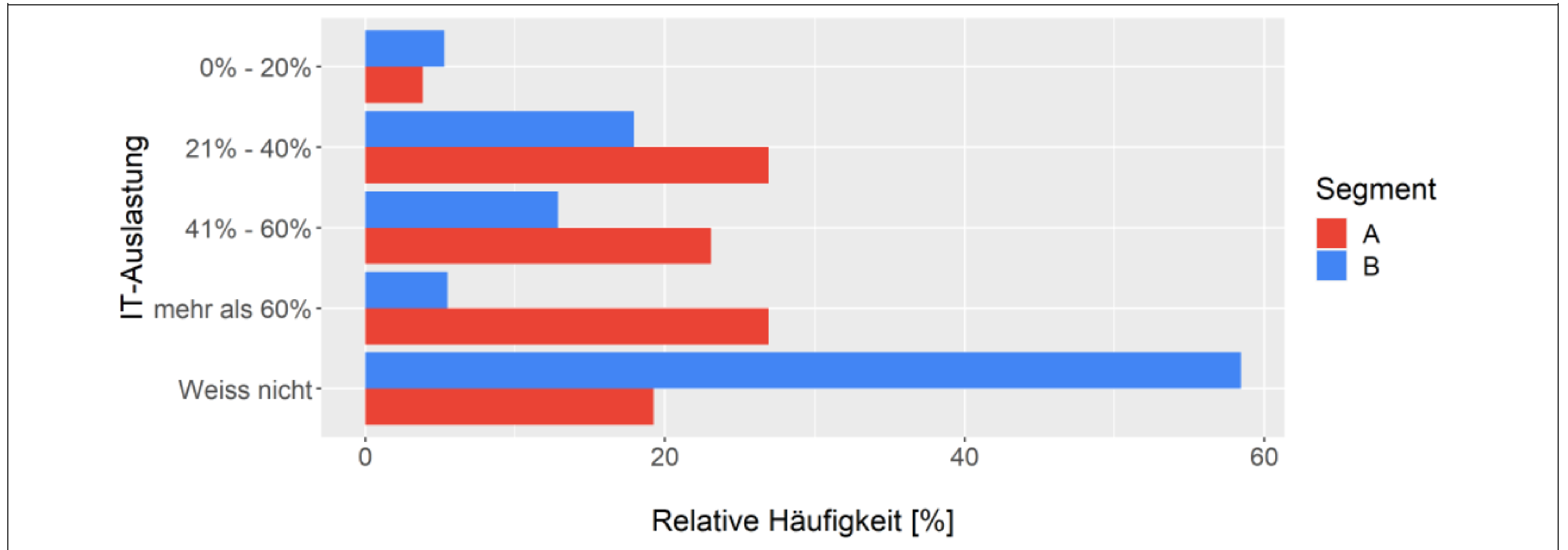
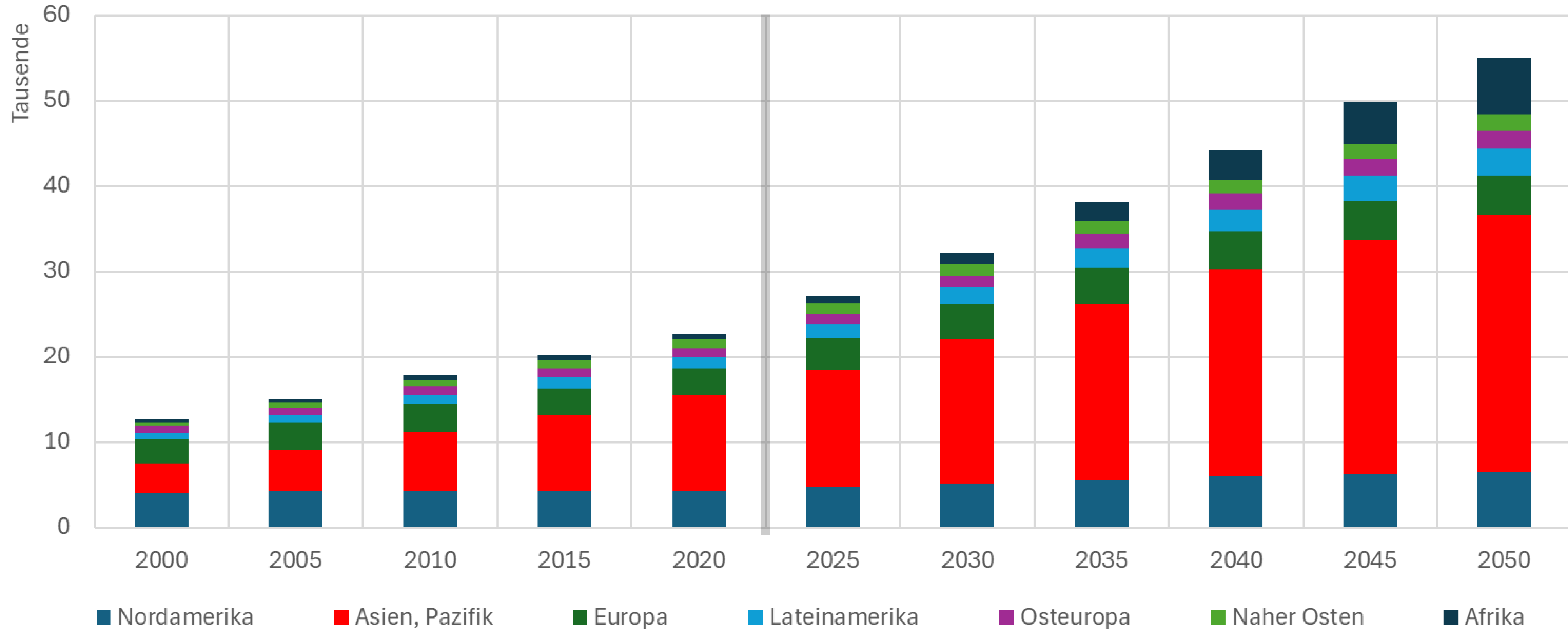


Abbildung 24: Mittlere elektrizitätsbezogene Auslastung der IT-Komponenten (Server, Storage, Network) für die beiden Segmente A und B. Die Anzahl Antworten beträgt n = 500 (A:26, B:474).

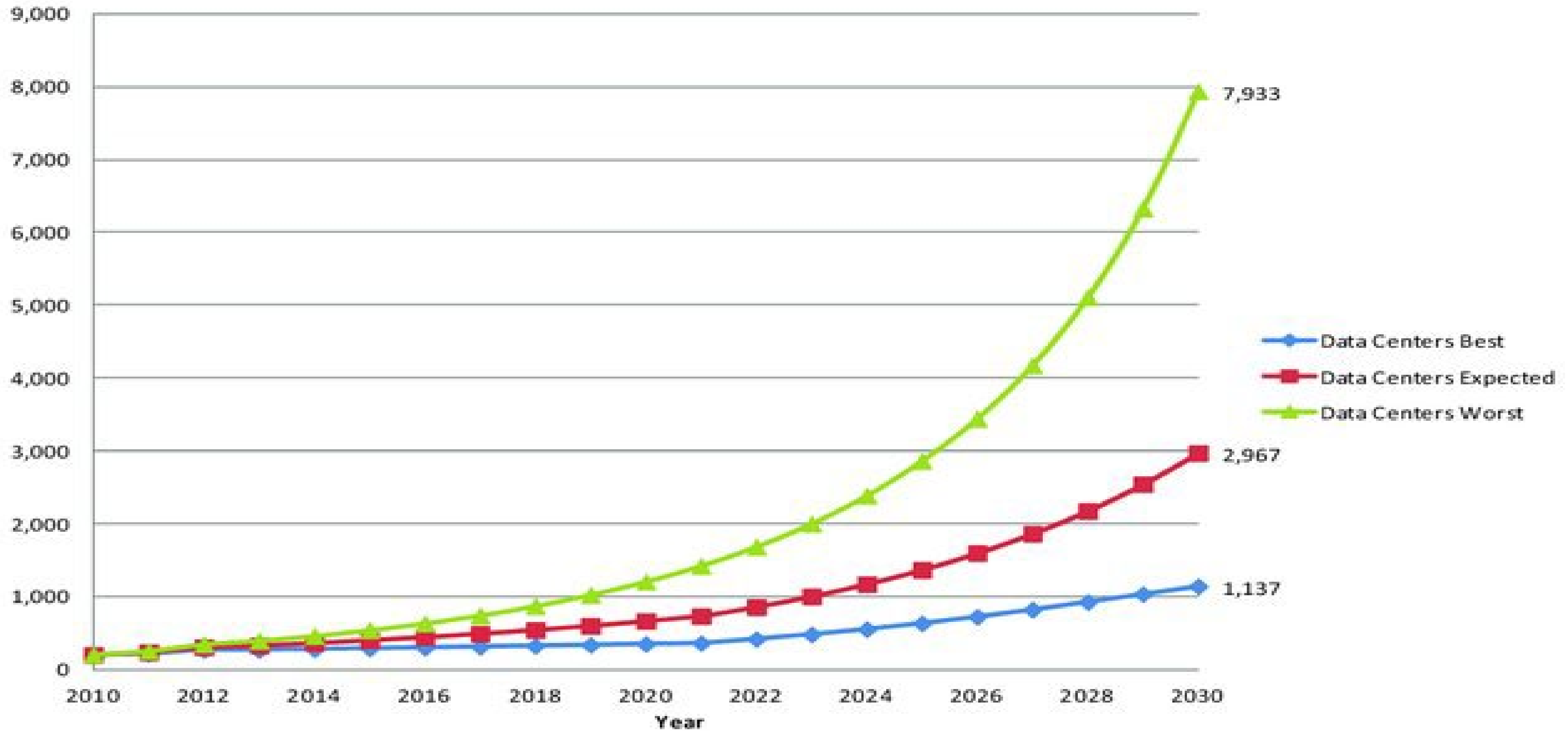
# Der Stromverbrauch weltweit wird sich in 25 Jahren mehr als verdoppeln

in Terawattstunden, auf Basis angekündigte Massnahmen und Zusagen (Enerdata)



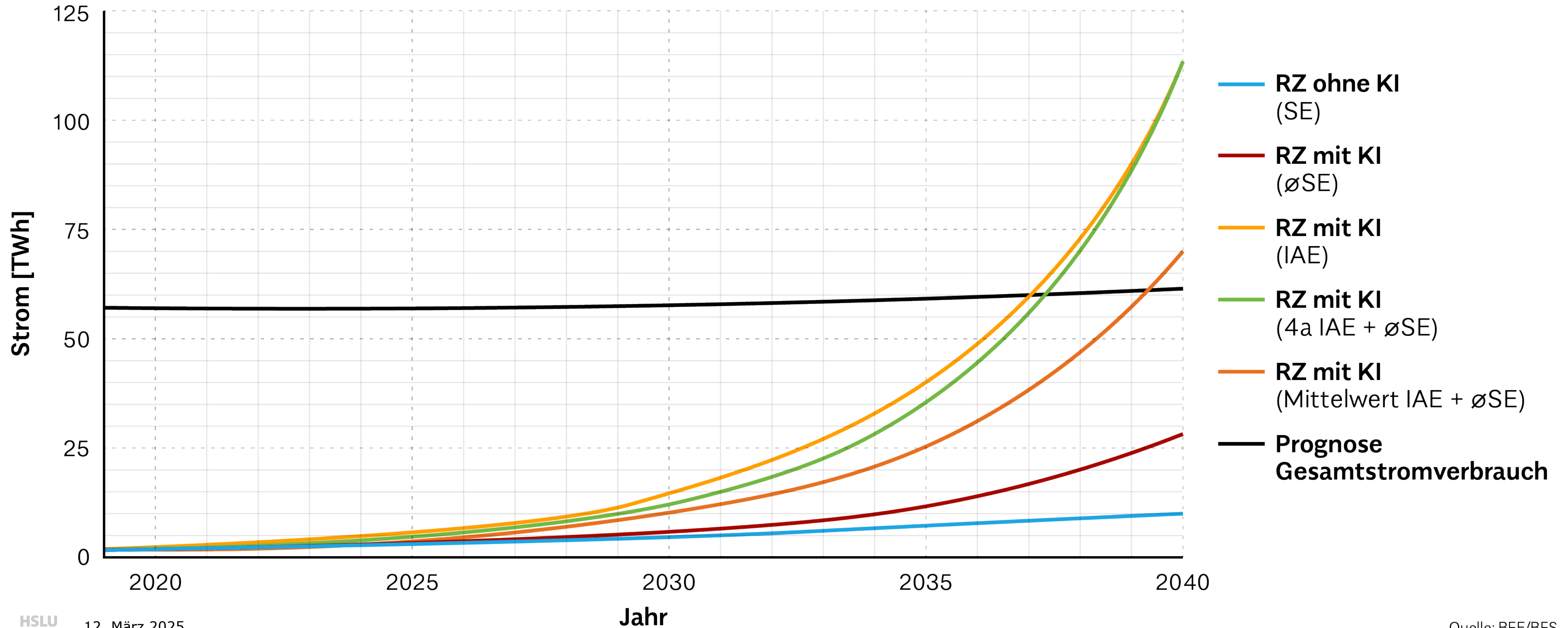
# Data Center Electricity – Development (Efficiency related)

## Electricity usage (TWh) of Data Centers 2010-2030

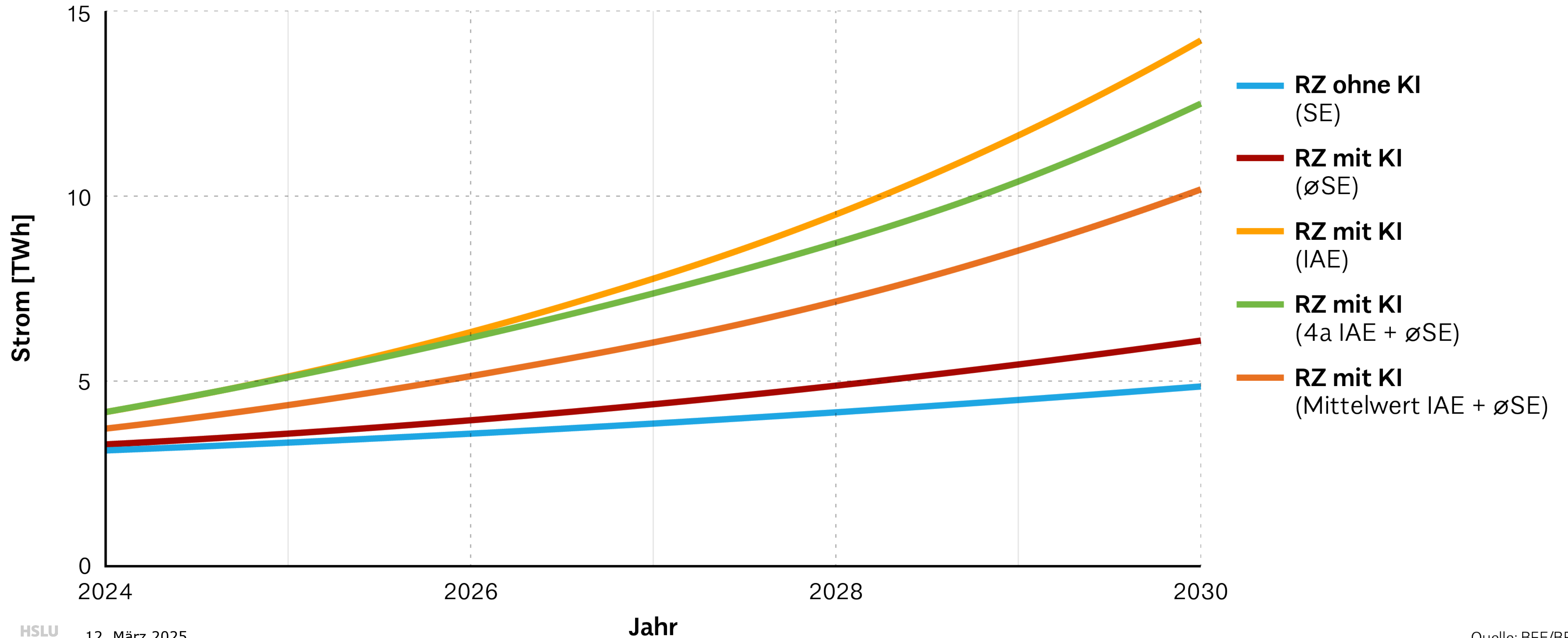


Source: Andrae, A. S. G. (2020)

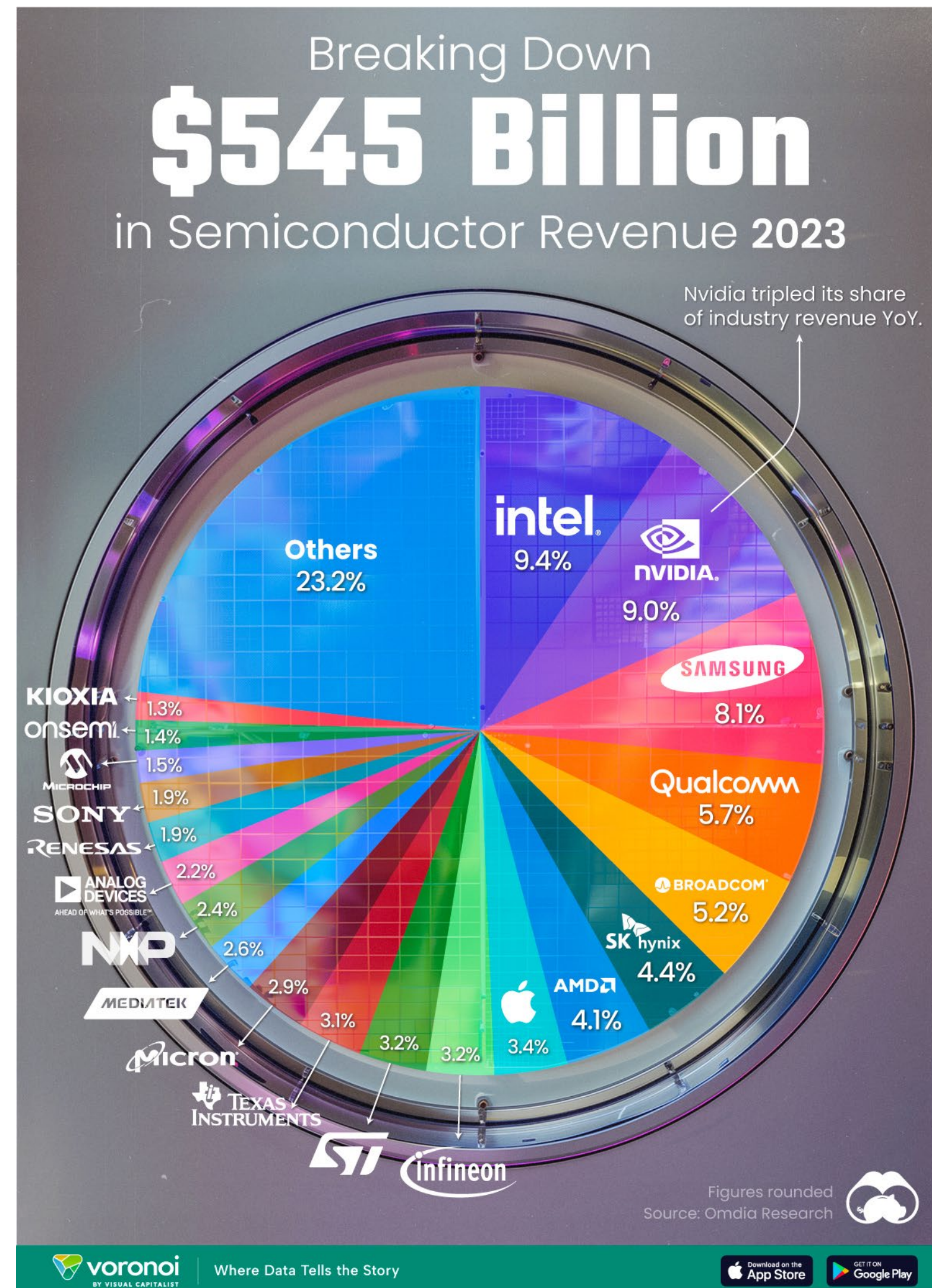
# Stromverbrauch Rechenzentren Schweiz 2020–2040



# Stromverbrauch Rechenzentren Schweiz 2024–2030

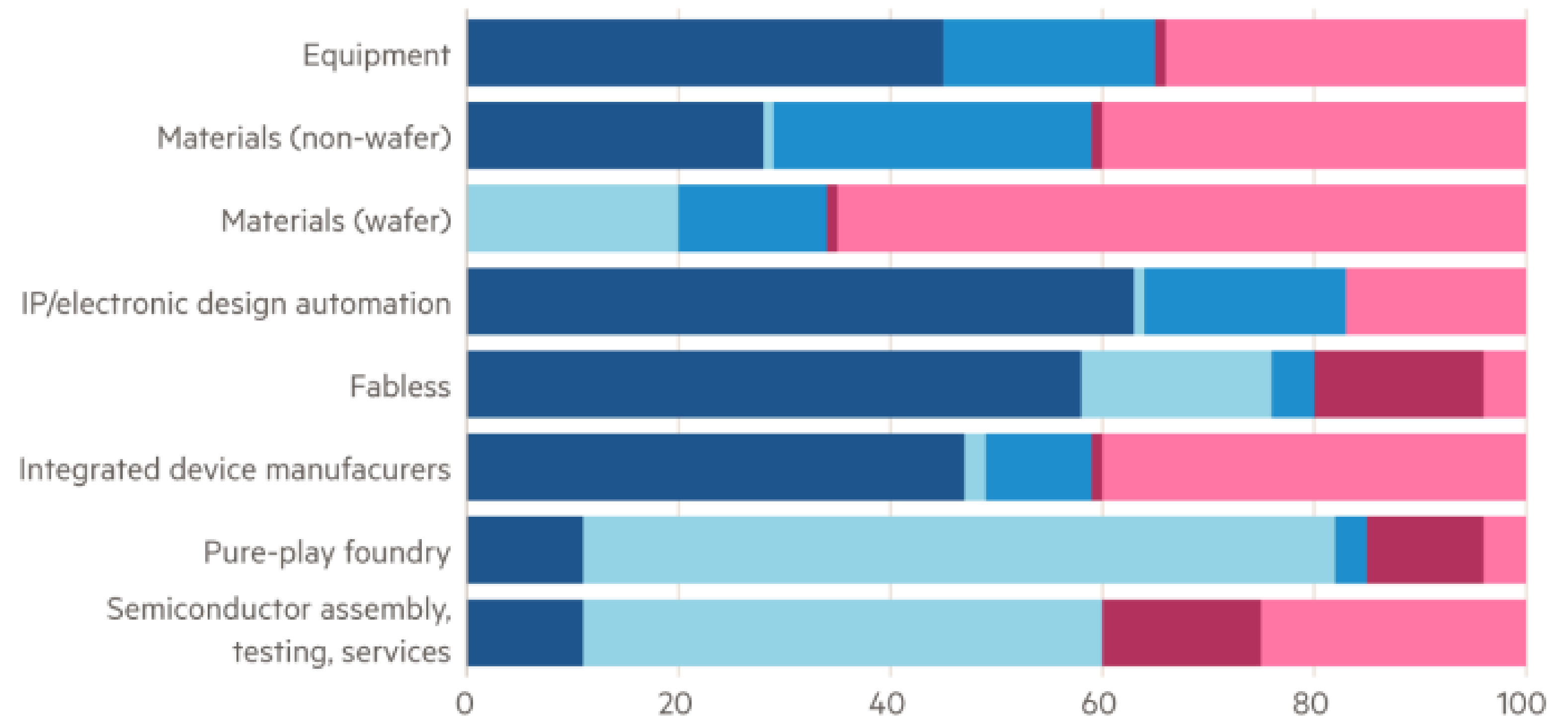


# Marktsituierung – Wo werden die Industriestandards für IT-Equipment gesetzt?



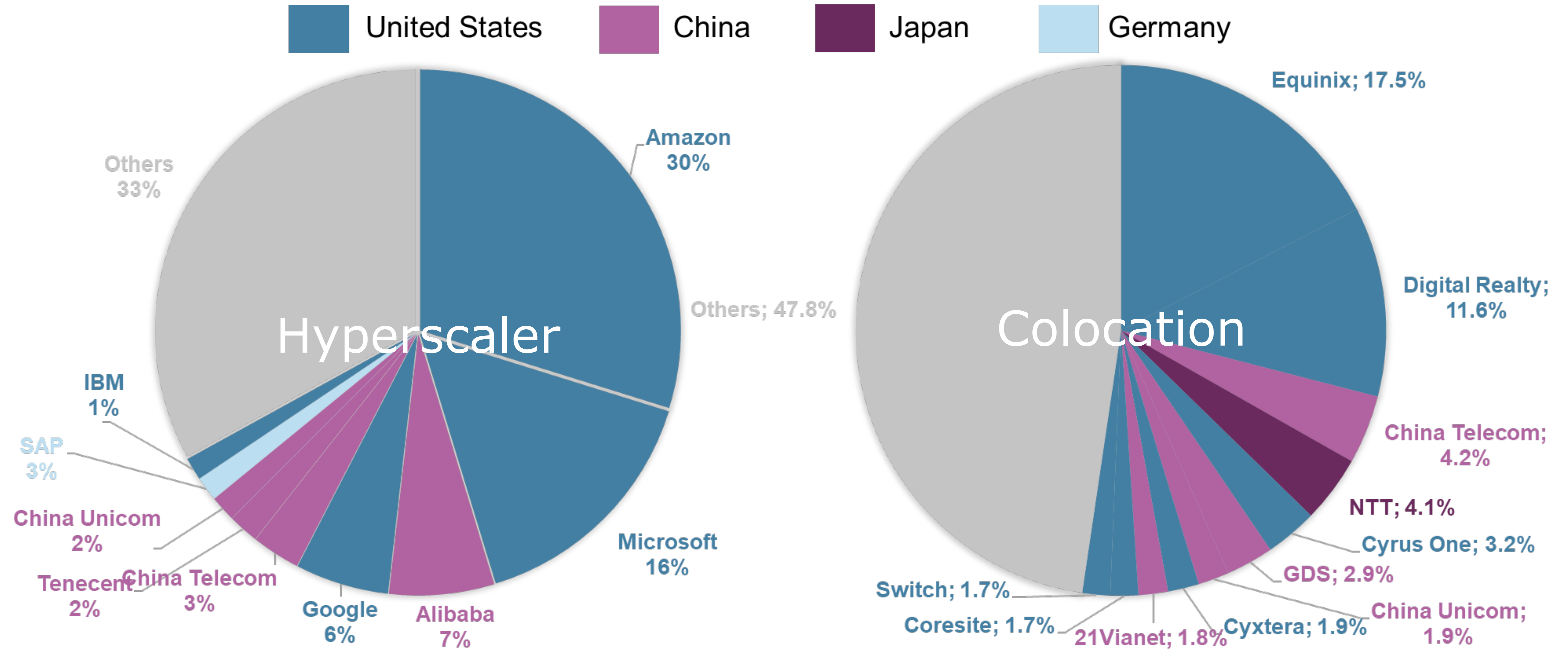
No region dominates the semiconductor market from design to manufacturing  
Sales, based on company HQs, 2018 (%)

US Taiwan Europe China Rest of world



Source: McKinsey  
© FT

# Marktsituierung HQ – Wo werden Industriestandards für RZ gesetzt?

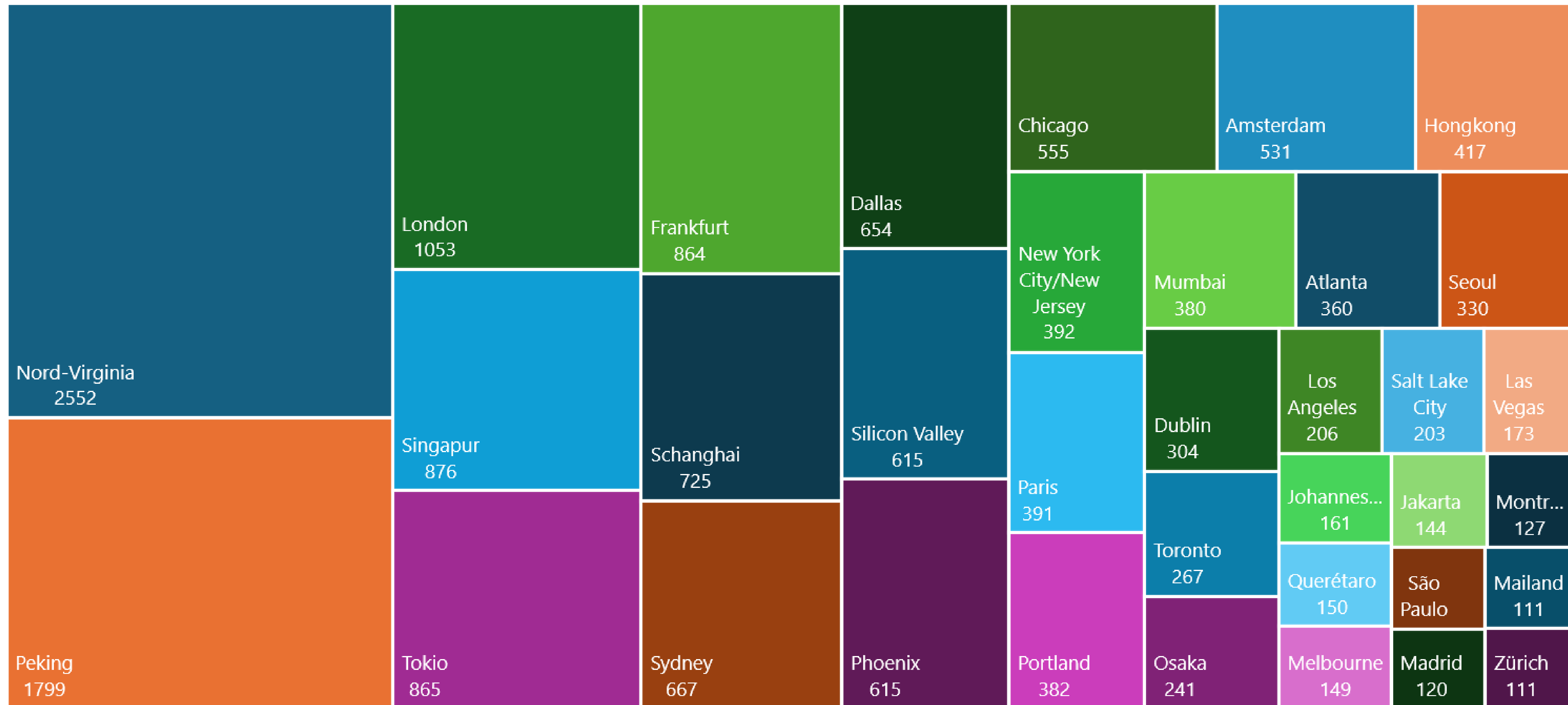


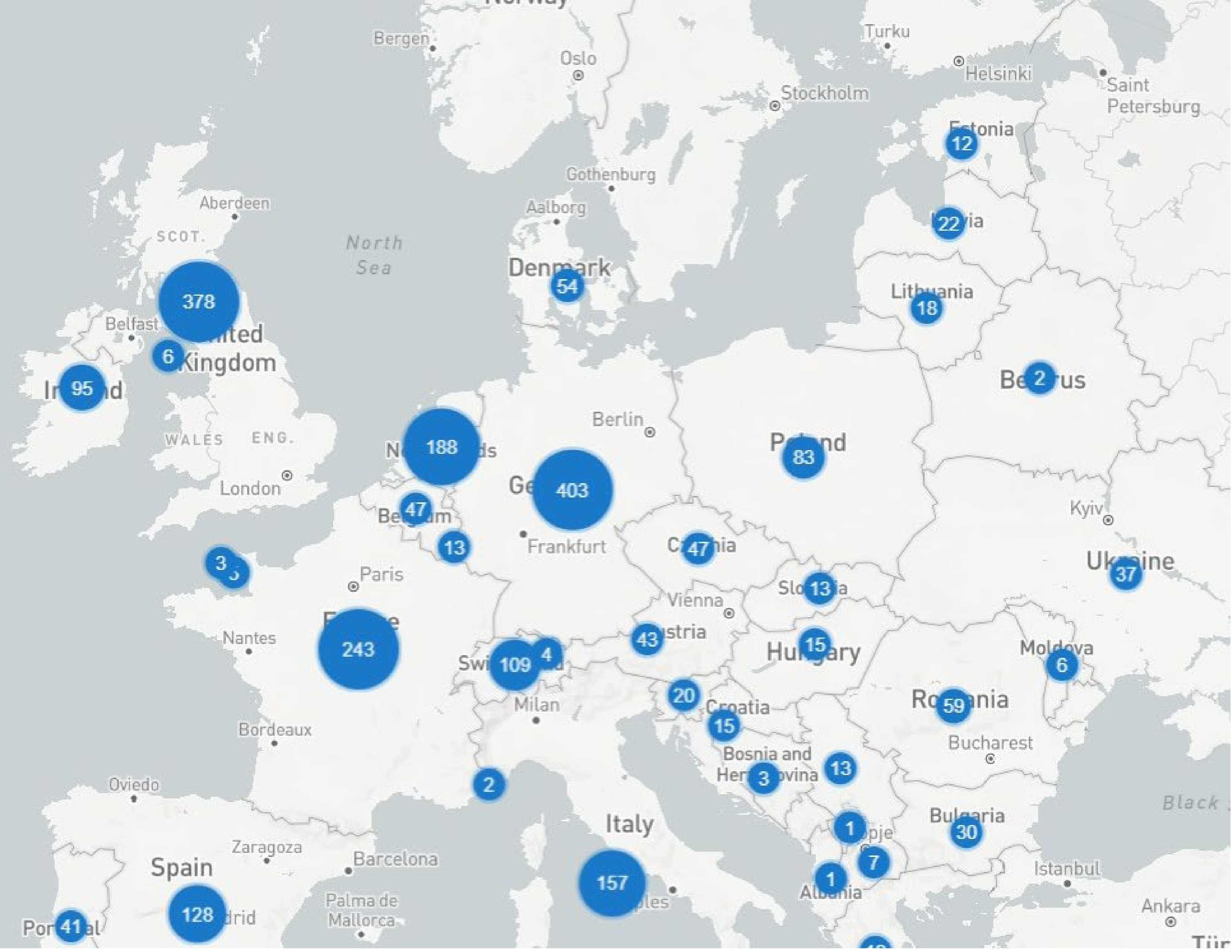
Source: Credit Suisse, January 2023



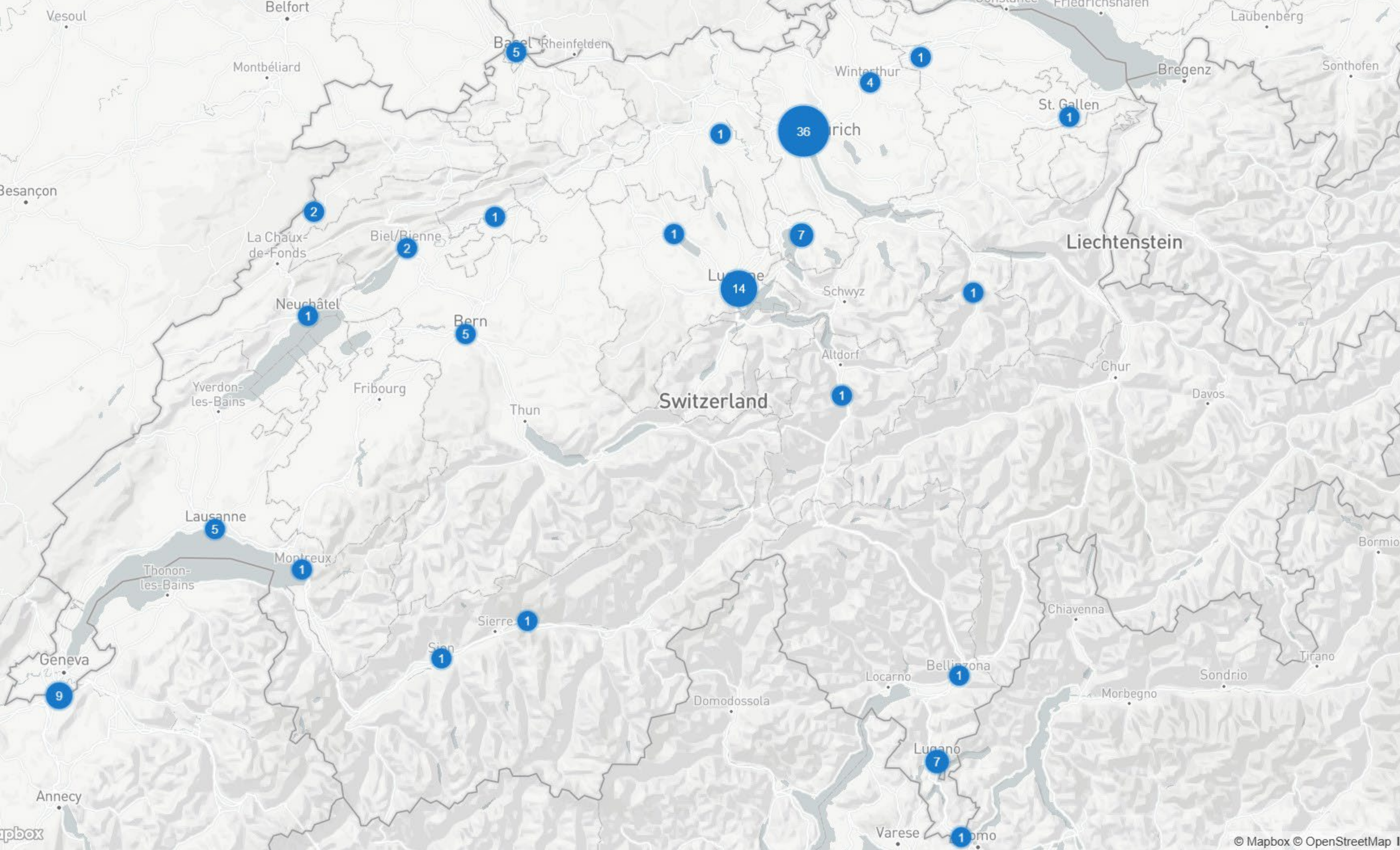
# Die grössten Märkte für Datenzentren

Kapazitäten in Megawatt im Jahr 2023 (Cushman & Wakefield)





Quelle:  
Cushman &  
Wakefield, 2024



Quelle:  
Cushman &  
Wakefield, 2024

# Thermodynamik – ein global bekannter aber nicht etablierter Schlüsselfaktor

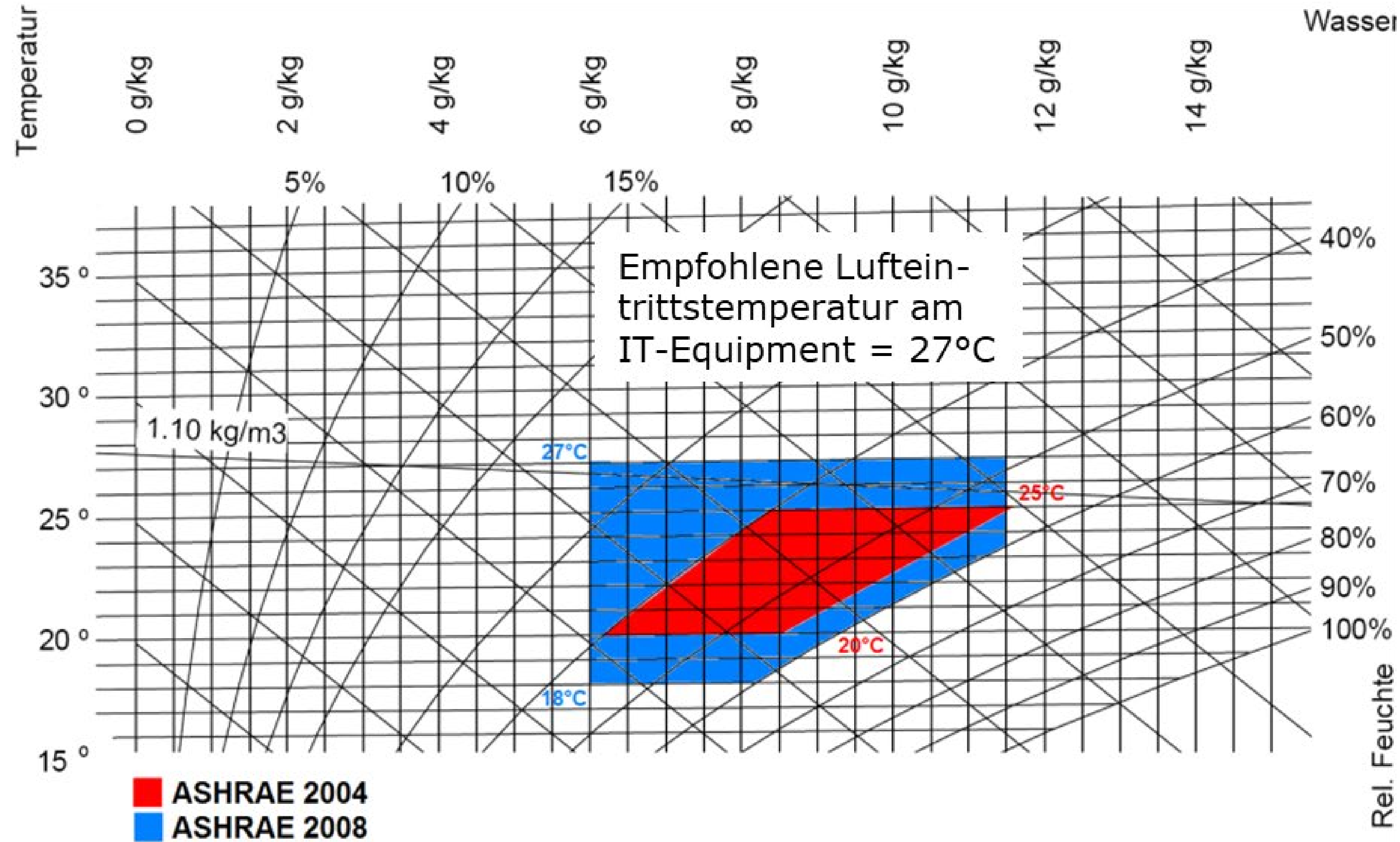
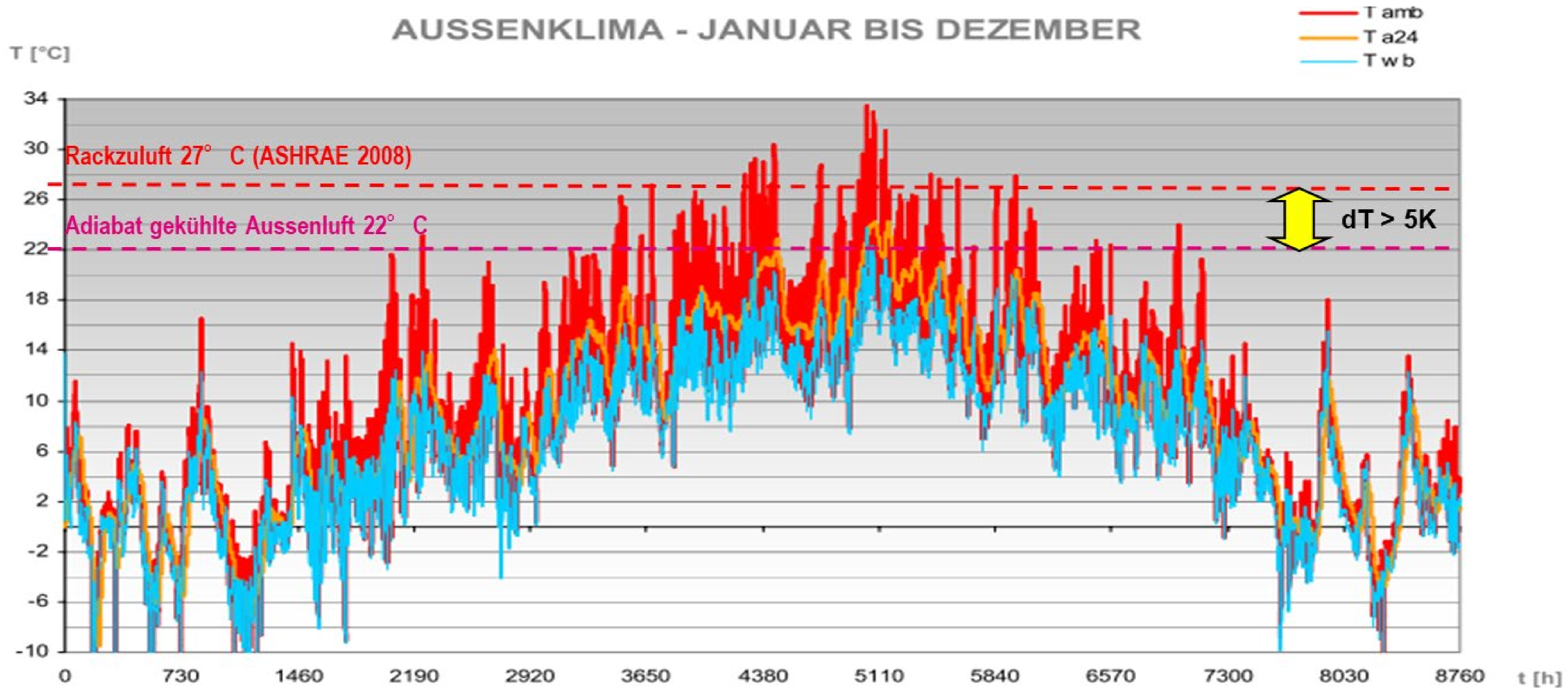


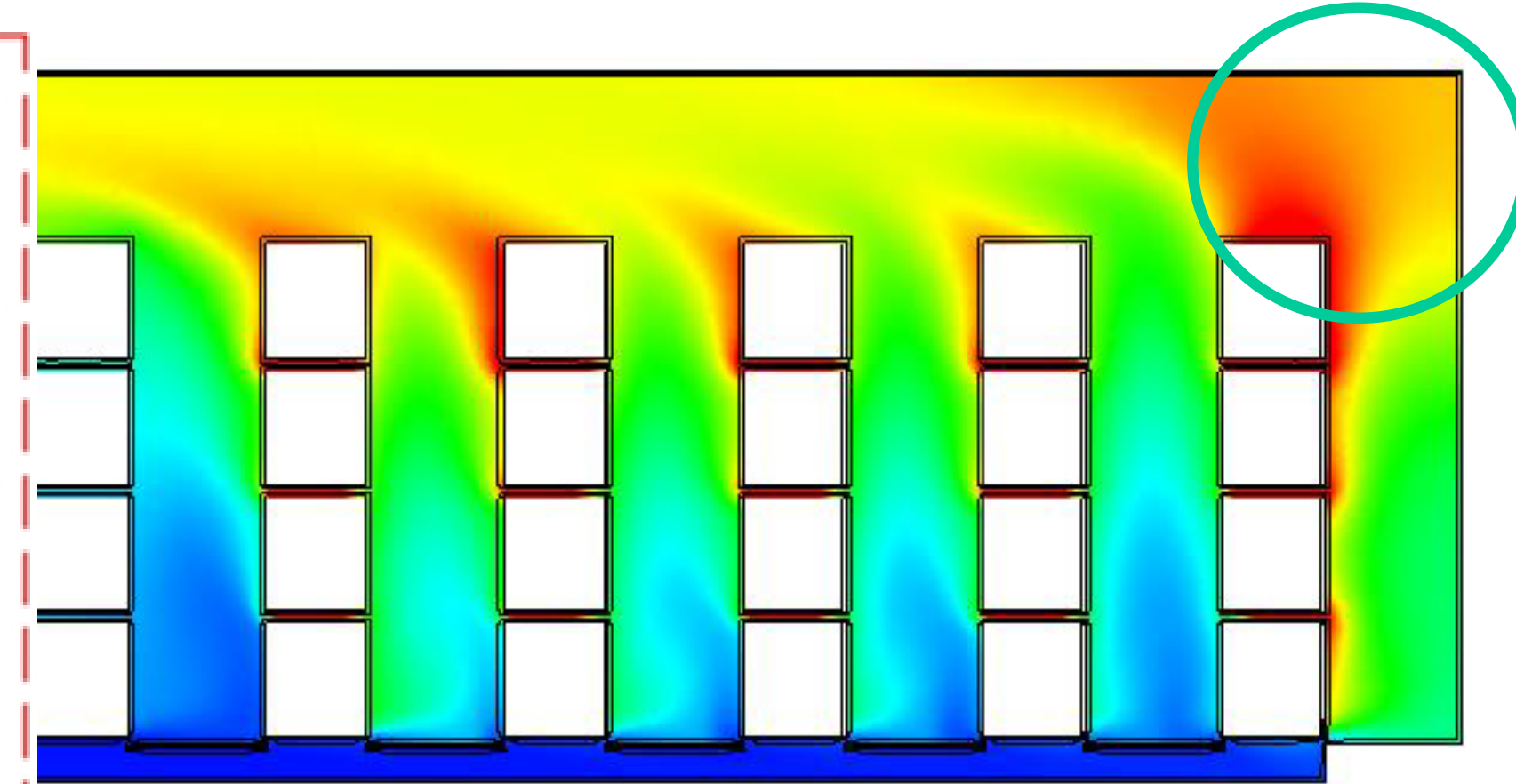
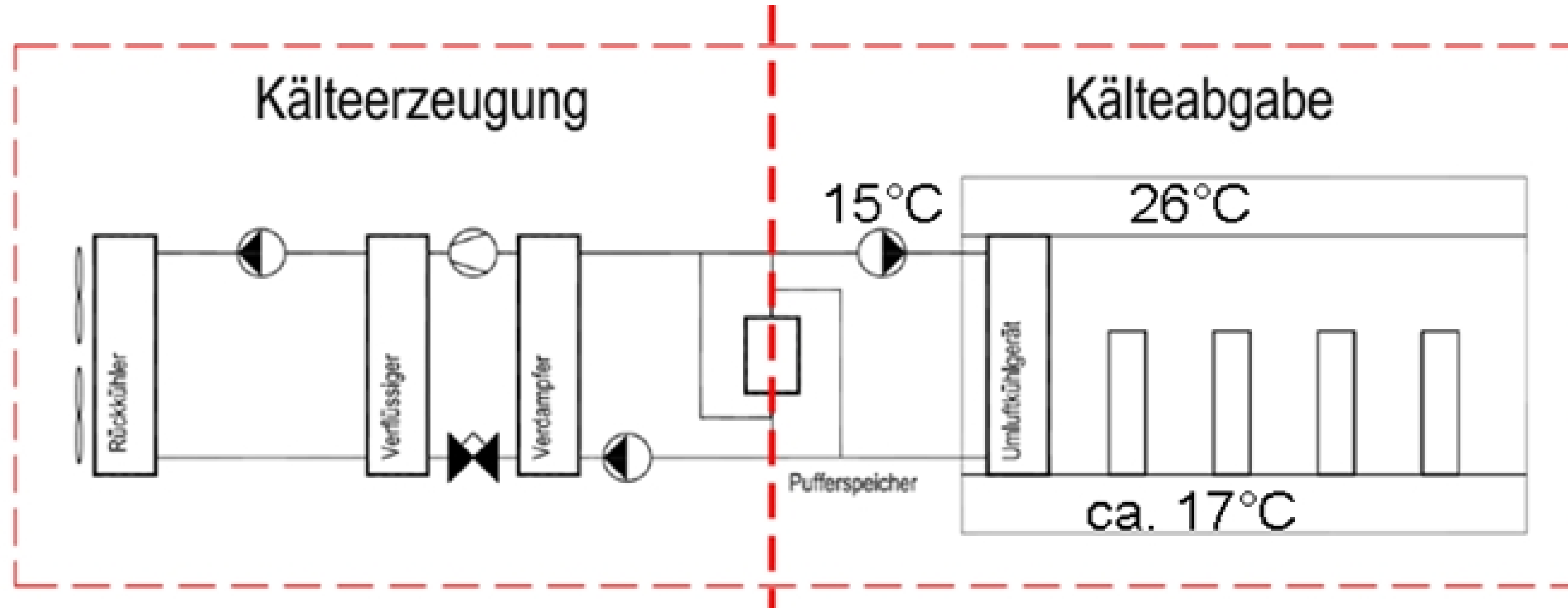
Bild: RMI DataCenter Charrette 2003, USA

# Thermodynamik – Rahmenbedingungen Schweiz

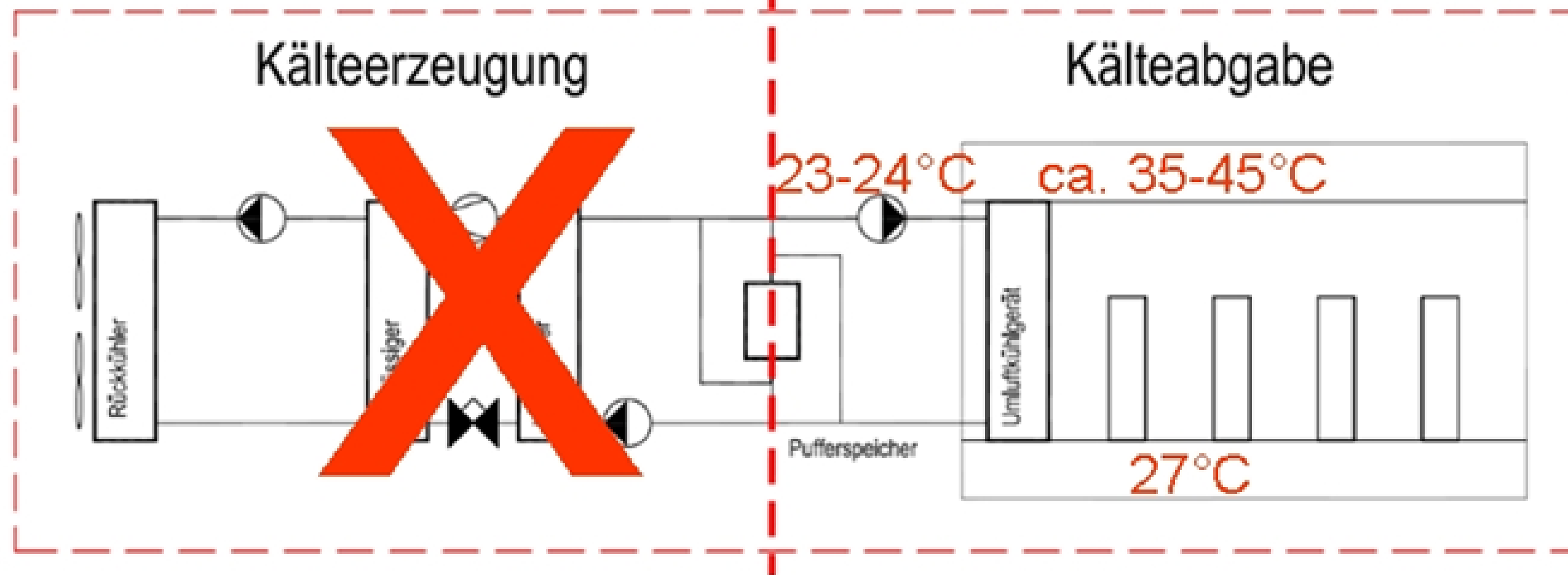


# Thermodynamik – Infrastrukturelle Ableitung für die Schweiz (Luftkühlung)

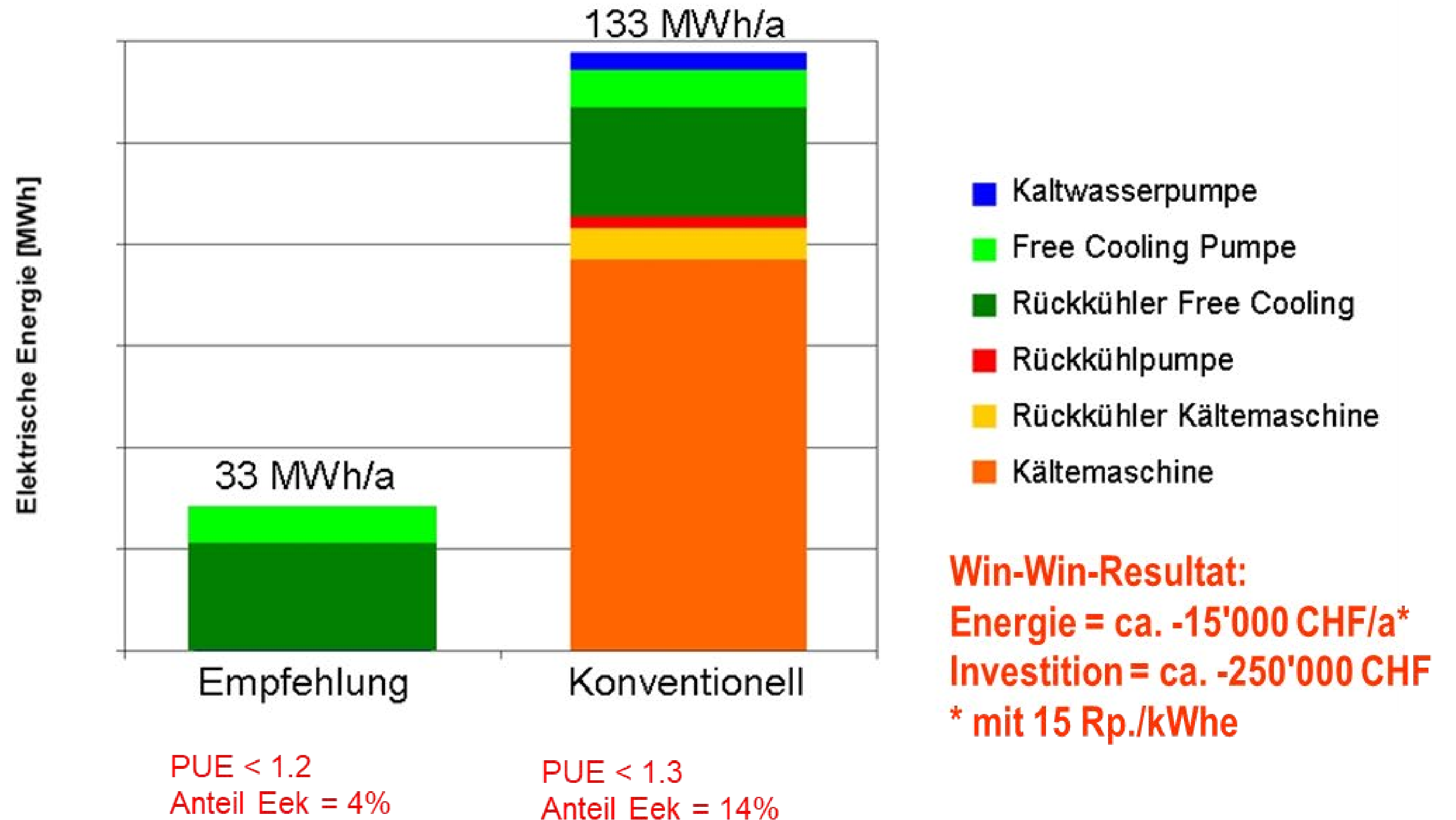
Konventionell



Empfehlung

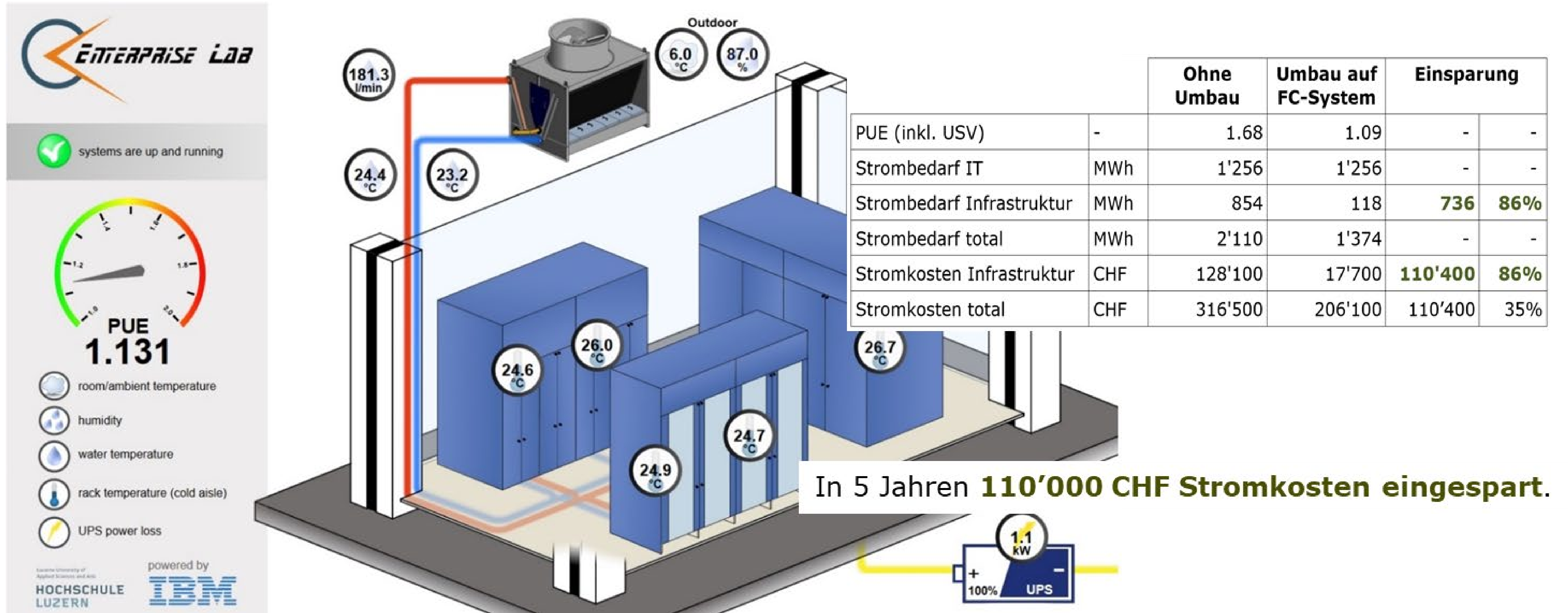


# Thermodynamik – Best Practice Beispiel ÖKK HQ Landquart (2012)



PS: Inkl. direkte Abwärmenutzung für TABS-Heizung (Vorlauf <30°C), im PUE nicht angerechnet.

# Thermodynamik – Best Practice Beispiel Enterprise Lab HSLU (2013)

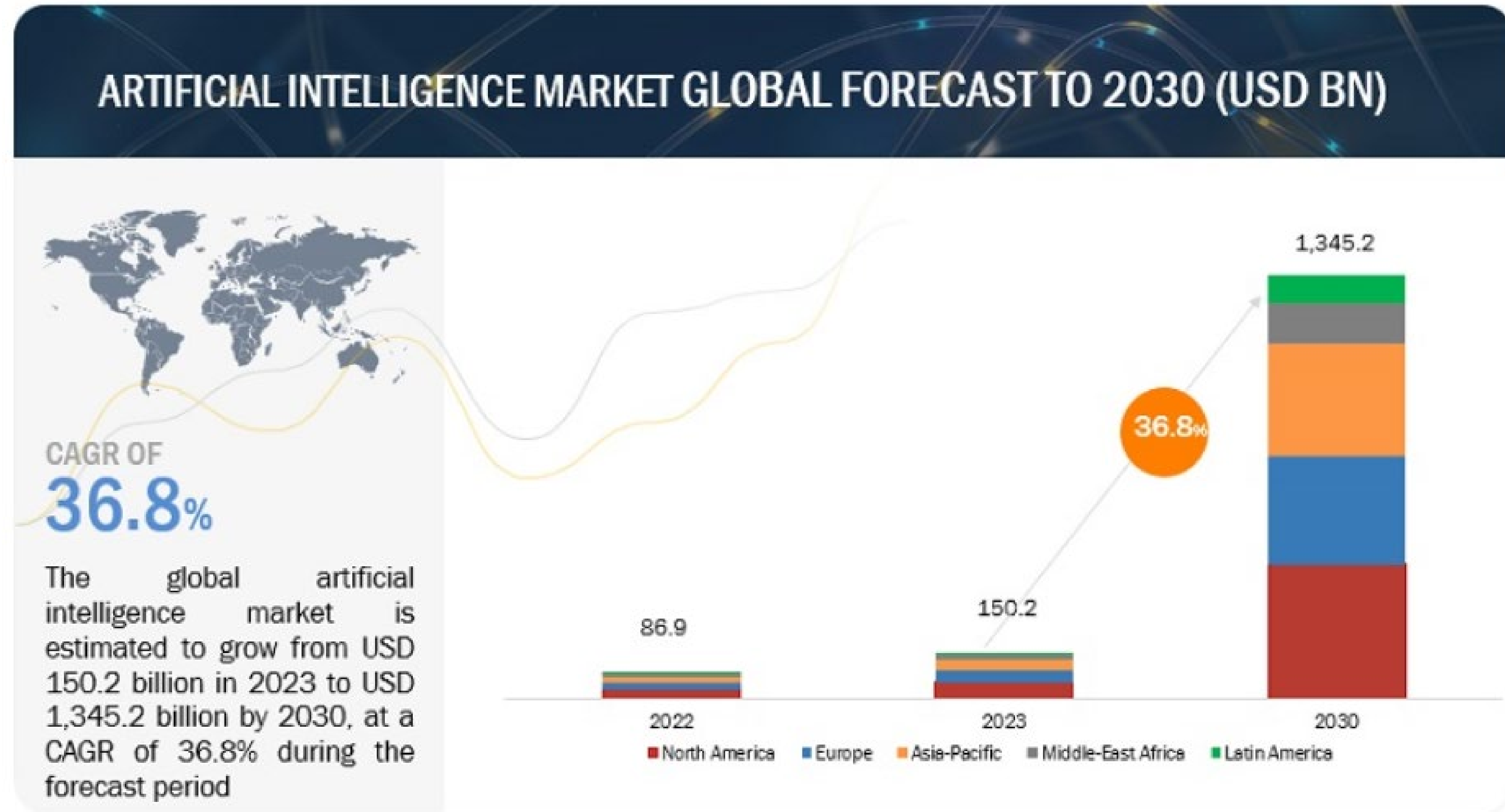
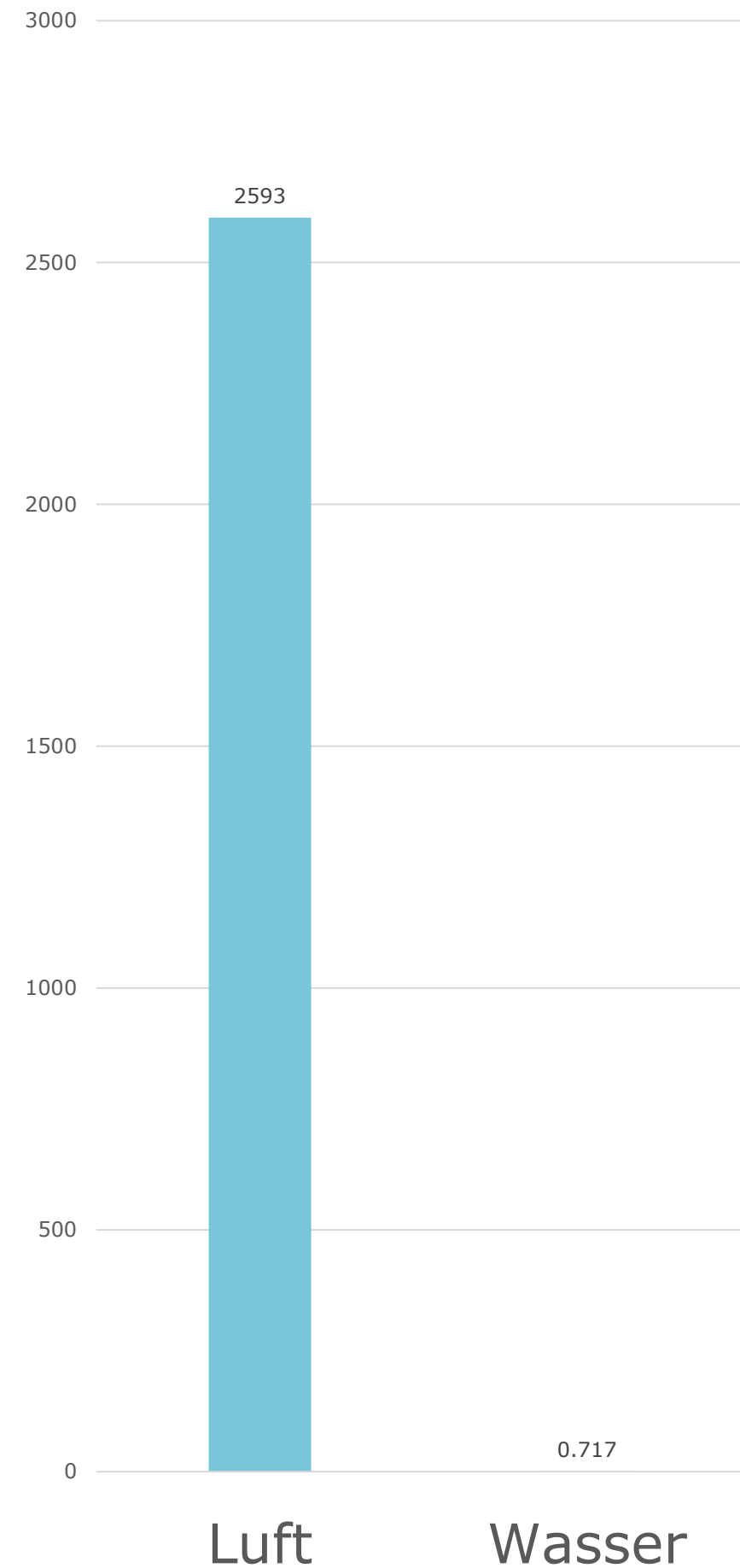


PS: leider ohne Abwärmenutzung für Heizung (Vorlauf Campus aus den 1970er Jahren >60°C)



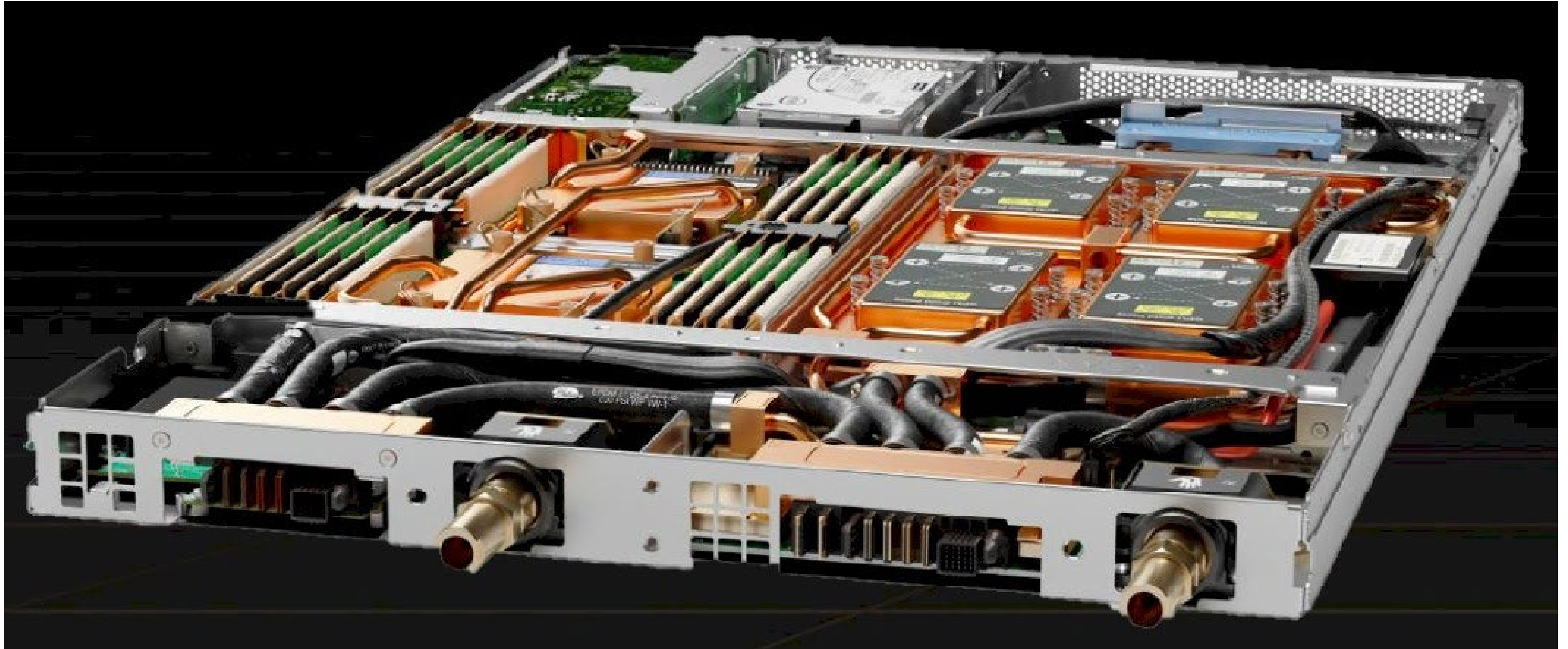
# Challenge KI Boost und Leistungsdichte (>300 W/cm<sup>2</sup>) – Luft am Limit

Volumenstrom (m<sup>3</sup>/s)  
für 30 kW-Rack bei  
dT = 10K



Rechenzentren und KI – energetische Herausforderungen

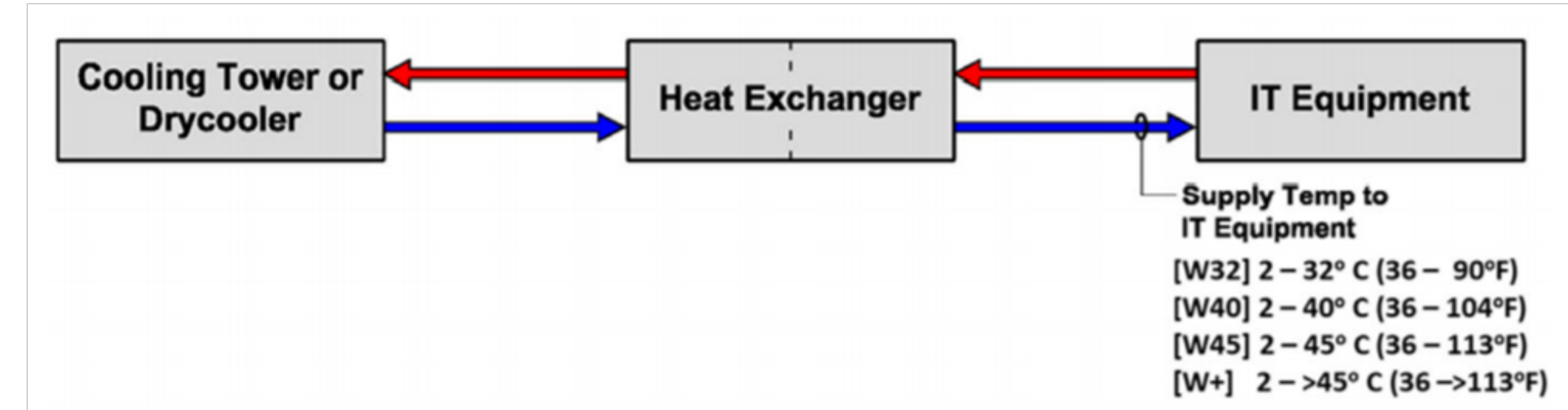
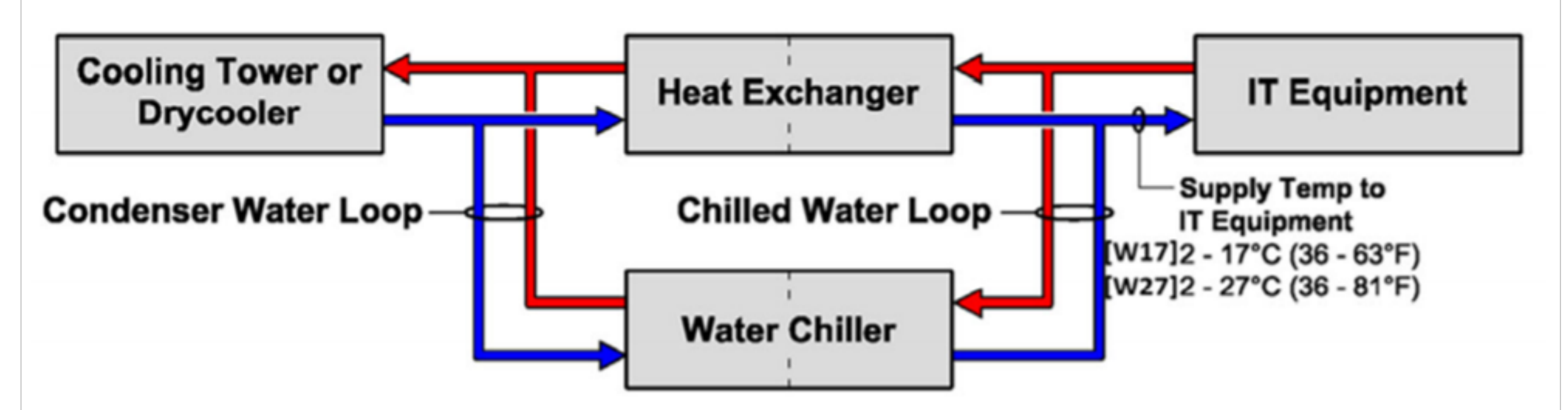
## „Liquid Cooling“ für „High Density“ CPU's und GPU's



Quelle\_ NVIDIA

# TC9.9 Standard „Liquid Cooling Class“ – ASHRAE Publikation Sept. 2024

Equipment Environment Specifications for Liquid Cooling			
Liquid Cooling Class	Typical Infrastructure Design		Facility Water Supply Temperature, °C (°F) <sup>a</sup>
	Primary Facilities	Secondary/ Supplemental Facilities	
W17	Chiller/cooling tower	Water-side economizer (cooling tower)	17 (62.6)
W27			27 (80.6)
W32	Cooling tower	Chiller or district heating system	32 (89.6)
W40			40 (104)
W45	Cooling tower	District heating system	45 (113)
W+			>45 (>113)

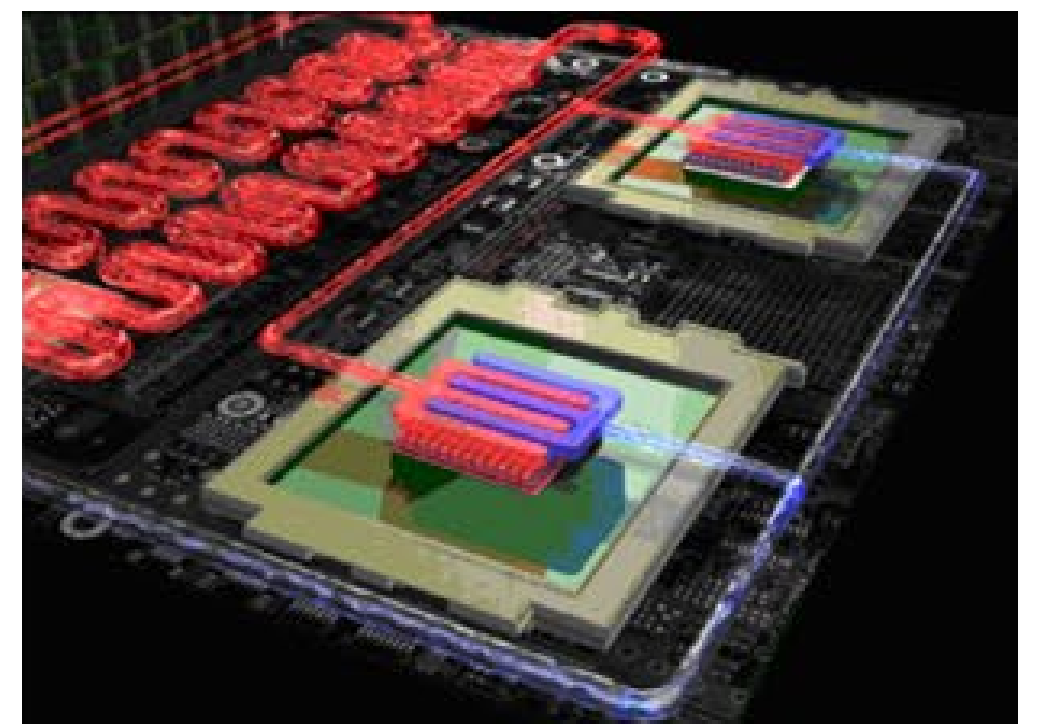
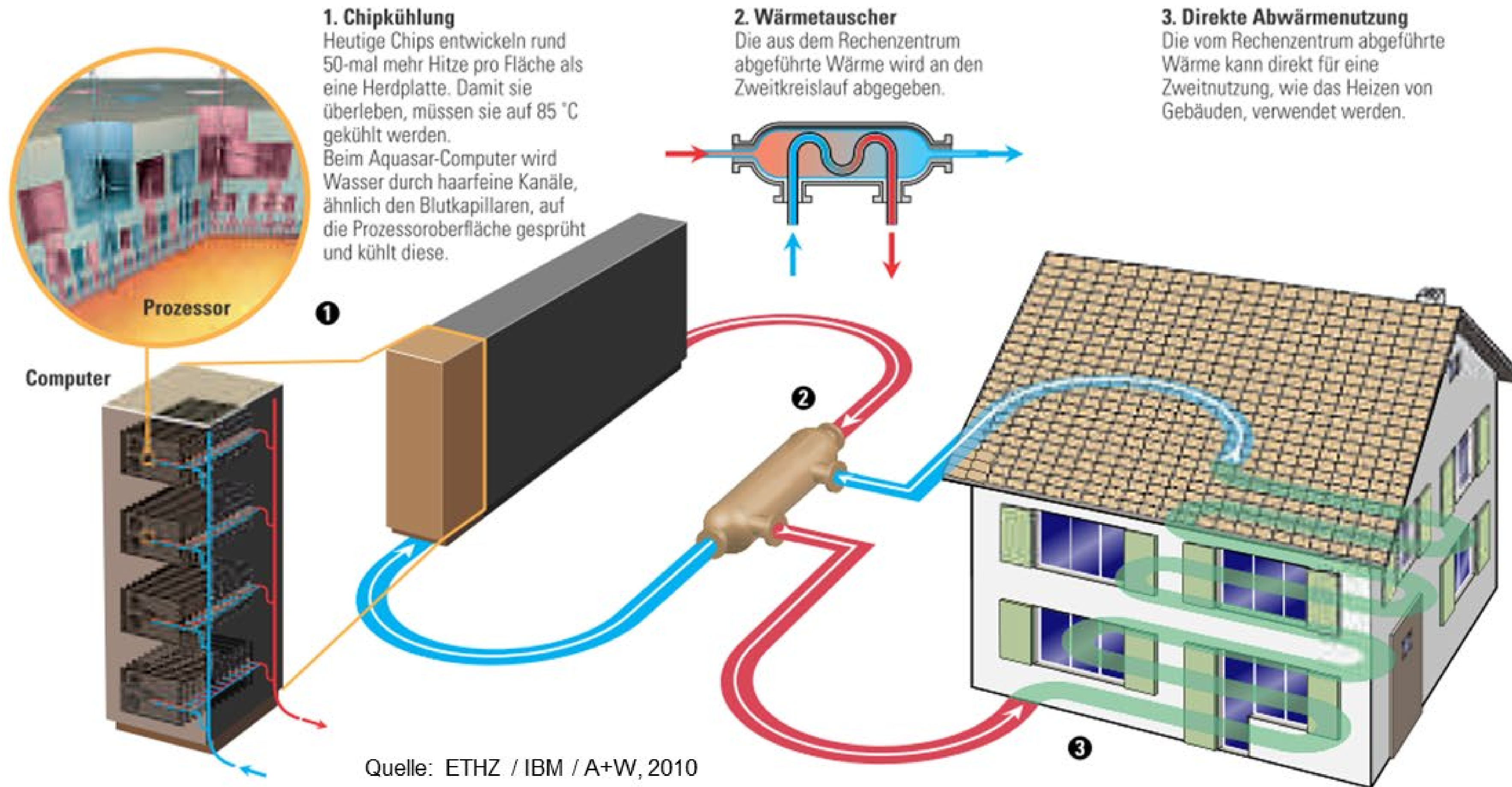


Zielsetzung (Sicht Schweiz):

100% Freecooling (>W27)

Direkte Abwärmenutzung für externe thermische Netze (>W45)

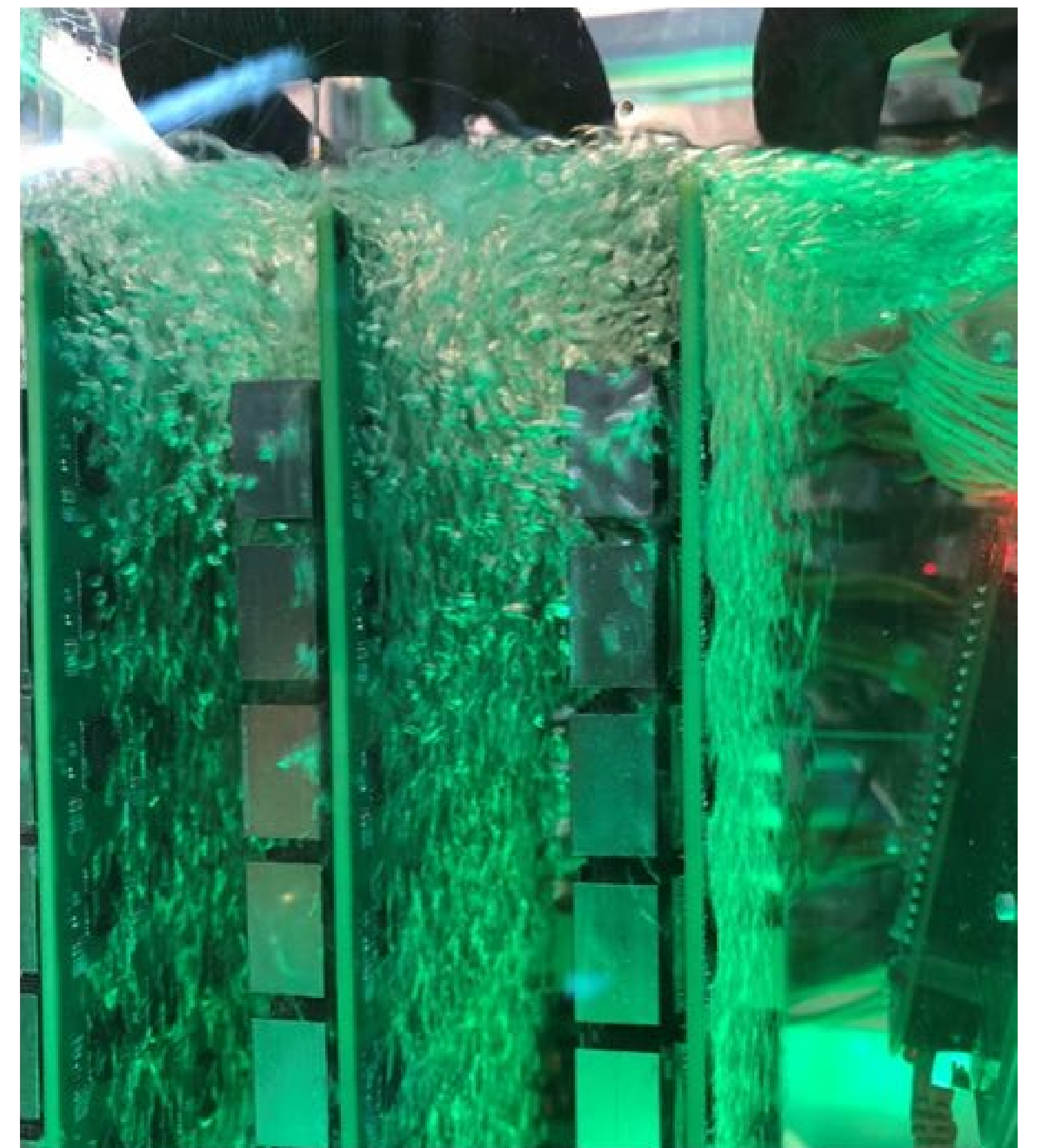
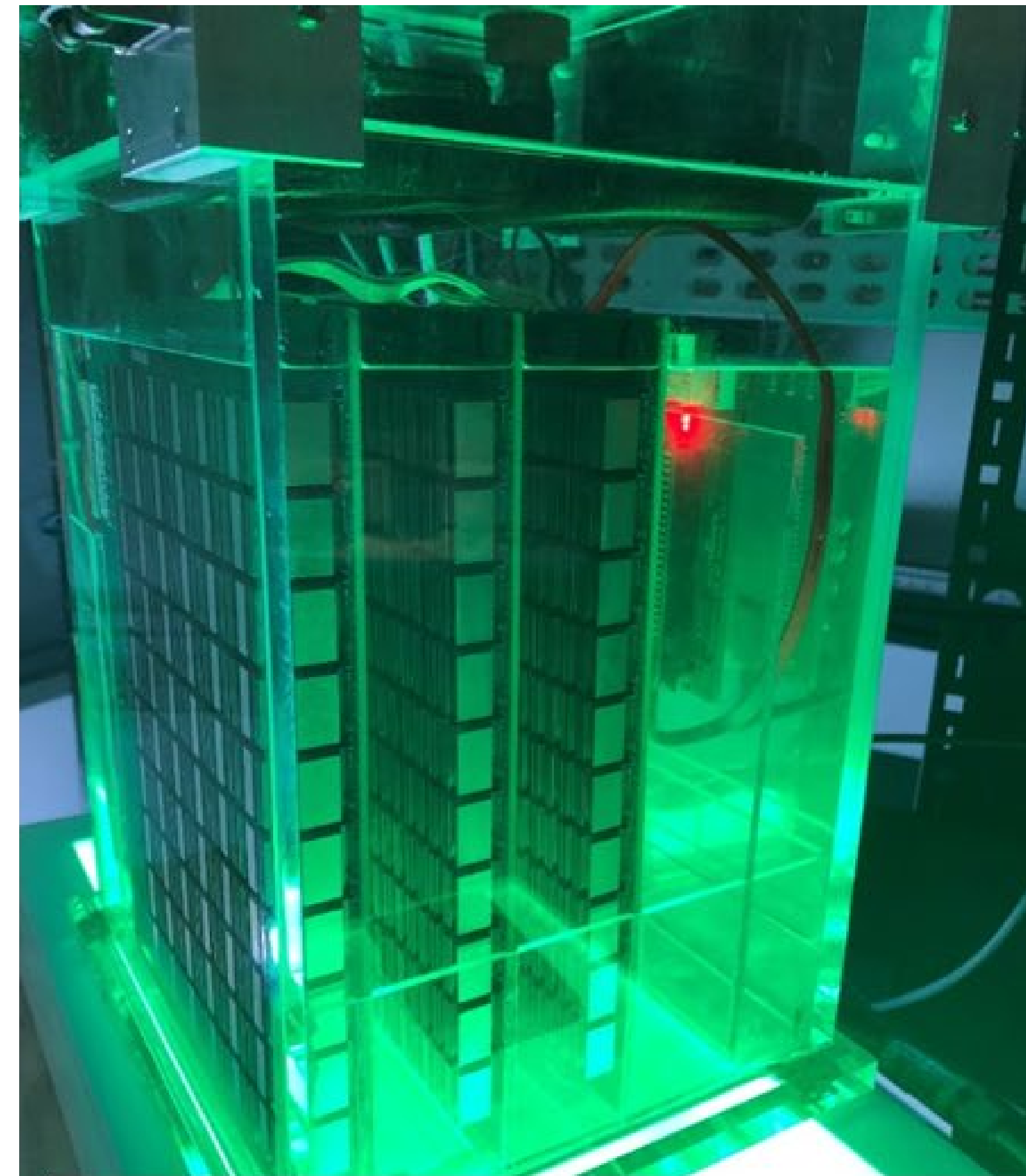
# Best Practice P&D Pilotprojekt „AQUASAR“ an der ETH (2010)



PS: direkte Abwärmenutzung für Heizung (Vorlauf ETH Heiznetz >60°C)

Rechenzentren und KI – energetische Herausforderungen

## Ausblick - „2 Phase Immersion Cooling“ 3M (2018)



IT-Komponenten in Flüssigkeit mit 61°C Siedetemperatur

Bilder HSLU Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE, RZ Lab 3M Attinghausen (2018)

# Rahmenbedingungen – Gesetzgebung mit Pflicht zur Abwärmenutzung (Kt. ZH)

Der Landbote



28. Juni 2021  
Regionale Tageszeitung  
Seite 1, 3 / 77'005 mm<sup>2</sup>  
CHF 4'436 Werbewert  
32'205 Auflage

VSE  
Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen  
Association des entreprises electriques suisses  
Associazione delle aziende elettriche svizzere

Der Landbote  
052 266 99 01

## Die Wärme des grössten Stromfressers verpufft ungenutzt – muss das sein?

**Winterthur** In Neuhegi entsteht eins der grössten Rechenzentren der Schweiz, mit einem enormen Strombedarf. Für die Abwärme gibt es noch keine Nutzung. Das weckt die Fantasie der Politik.

**Michael Graf**  
Der erste Block des Rechenzentrums der Firma Vantage in Neuhegi geht im Spätsommer in Betrieb. Unter Vollast verbraucht er so viel Strom wie 10'000 Haushalte. Und bis zu vier weitere ähnlich grosse Module sollen in den nächsten Jahren folgen. Für die Abwärme, die beim Betrieb der Server entsteht, gibt es derzeit keine Nutzung. «Wir bieten gern Hand», sagt Wolfgang Zepf, Geschäftsführer von Vantage Schweiz. «Doch die geografische Lage ist denkbar ungünstig.» So befindet sich das Rechenzentrum mitten in einem Gebiet, das bereits grossflächig durch Fernwärme aus der nahen Kehrlichverbrennungsanlage erschlossen ist. Um diesen Wärmeverbund zu verstärken, ist die Abwärme der Server mit nur rund 24 Grad zu gering. Zur Beheizung einer modernen Wohnsiedlung wäre sie aber durchaus geeignet, sagt Zepf. Dies liesse sich bei Bedarf auch in Zukunft nachrüsten.

## Heizt bald Amazon das zweite Winterthurer Hallenbad?

**Rechenzentrum** Riesige Stromfresser sind sie, die Rechenzentren. Könnte man ihre Abwärme nicht zum Heizen nutzen? Prinzipiell schon, sagen die Betreiber in Neuhegi – aber die Sache hat einen Haken.

**Michael Graf**

Im Kanton Zürich wachsen derzeit gleich mehrere Grossrechenzentren in die Höhe. Die US-Internetriesen Apple, Google oder Amazon bauen sie, um in der Schweiz ihre Cloud-Speicherdienste anzubieten. Eines der grössten Rechenzentren der Schweiz entsteht auf einem Industrieareal in Neuhegi-Grütze. Der erste Block des Rechenzentrums der US-Firma Vantage geht im Spätsommer in Betrieb, 60 Millionen hat er gekostet. Vier gleich grosse Module sollen folgen.

Wessen Server hier laufen werden, ist geheim – gemunkelt wird, dass es sich beim Grosskunden um Amazon handelt. Die Stromrechnung dürfte läppig ausfallen: Schon der erste der fünf Blöcke, der demnächst in Betrieb geht, braucht so viel Strom wie 10'000 Haushalte. Das gesamte Areal hat eine Anschlussleistung von 55 Megawatt. Zum Vergleich: Der durchschnittliche Stromverbrauch der gesamten Stadt Winterthur liegt um die 100 Megawatt.

**Kanton könnte Private zwingen**

Angesichts dieses Energiehungers stellen die grünen Kantonsräte Daniel Heiterli und Florian Meier im Februar eine Anfrage an die Baudirektion ihres Parteikollegen Martin Neukom. «Der gesamte Energieinhalt dieses Stroms wird letztendlich zu Abwärme. Für diese ist offenbar grösstenteils keine sinnvolle Nutzung vorgesehen», bemängelten sie. Könnte der Kanton sich nicht dafür einsetzen, dass damit geheizt werden kann? Eine Frage, die auch in Leserbriefen mehrfach aufgeworfen wurde.



So sah das Vantage-Grossrechenzentrum in Neuhegi Mitte April aus. Es sollen noch vier ähnlich grosse Blöcke folgen. Foto: Madeleine Schoder

Auch der Regierungsrat sieht in seiner Antwort vom April ein «grosstes Potenzial» bei der Abwärme. Bislang würden damit gerade einmal fünf Prozent des Wärmebedarfs im Kanton gedeckt. Als geeignete Wärmequellen sieht der Kanton dabei vor allem die Kehrichtverbrennungsanlagen (KVA), deren Abwärme derzeit etwa zur Hälfte genutzt wird, und bei den Abwasserreinigungsanlagen (ARA), wo der Anteil sogar erst bei einem Siebtel liegt.

Private Wärmequellen wie Rechenzentren hatte der Kanton bisher kaum auf dem Radar. Denn: Der Bau eines Fernwärmenetzes ist teuer und amortisiert sich erst über Jahrzehnte. Zudem müsste die Abwärme «über lange Zeit zuverlässig zur Verfügung gestellt werden, was wohl die anspruchsvollsten zu beurteilende Anforderung ist», schreibt der Regierungsrat. Allerdings verfüge der Kanton prinzipiell über Instrumente, um Betriebe zur

kostenlosen Abgabe von Abwärme zu verpflichten – etwa im Rahmen von Sondernutzungsplanungen oder Umweltverträglichkeitsprüfungen.

**Mitten in bestehenden Fernwärmegebieten**  
In Neuhegi stehen die Betreiber der Idee offen gegenüber. «Wir haben mehrere Gespräche mit

Stadtwerk geführt», sagt Wolfgang Zepf, Geschäftsführer von Vantage Schweiz. Allerdings sei die Lage des Rechenzentrums für eine Abwärmenutzung «denkbar ungünstig». Es befindet sich mitten in einem Areal, das bereits weiträumig mit Fernwärme erschlossen ist. Diese kommt von der nahen KVA und arbeitet mit sehr hohen Temperaturen im Dampfbereich. «Der Rücklauf unseres Kühlwassers ist dagegen nur rund 24 Grad warm», sagt Zepf. Es auf die nötige Temperatur zu bringen, um es einzuspeisen, wäre nicht sehr energieeffizient.

Sind Rechenzentren generell ungeeignet zum Heizen? «Nicht unbedingt», sagt Zepf. Mittels einer Wärmepumpe könnte man die Temperatur des Wassers auf rund 40 bis 60 Grad anheben und damit eine moderne, gut isolierte Wohnsiedlung heizen. Zepf versichert: «Wir haben alles vorbereitet, damit in Winterthur eine allfällige spätere Nutzung der Abwärme möglich bleibt.»

**Fredy Künzler: «Ideal für ein Hallenbad»**

Telecomunternehmer und SP-Gemeinderat Fredy Künzler hat das fast fertige Gebäude mit Ratskollegen besichtigt. Er hat eine andere Idee: «Die Abwärme wäre ideal geeignet, das Wasser eines Schwimmbads zu heizen. Der Stadtrat sollte prüfen, das schon lange geforderte zweite Hallenbad in Neuhegi zu planen.» Die Energie sei da – ein Platz werde sich auch noch finden, etwa auf einer alten Industriezelle oder beim Schulhaus Neuhegi.

## Abwärmenutzung im Gebäude

Nach § 30a Abs. 1 BBV I (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.

## Abgabe der Abwärme

Nach § 30a Abs. 2 BBV I (Ergänzung vom 8. Juni 2022, **seit 1. September 2022 in Kraft**) muss bei Neubauten oder bei bestehenden Bauten nach Erneuerungen und Umbauten der Kälteerzeugung **Abwärme > 2 GWh/a**, 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.

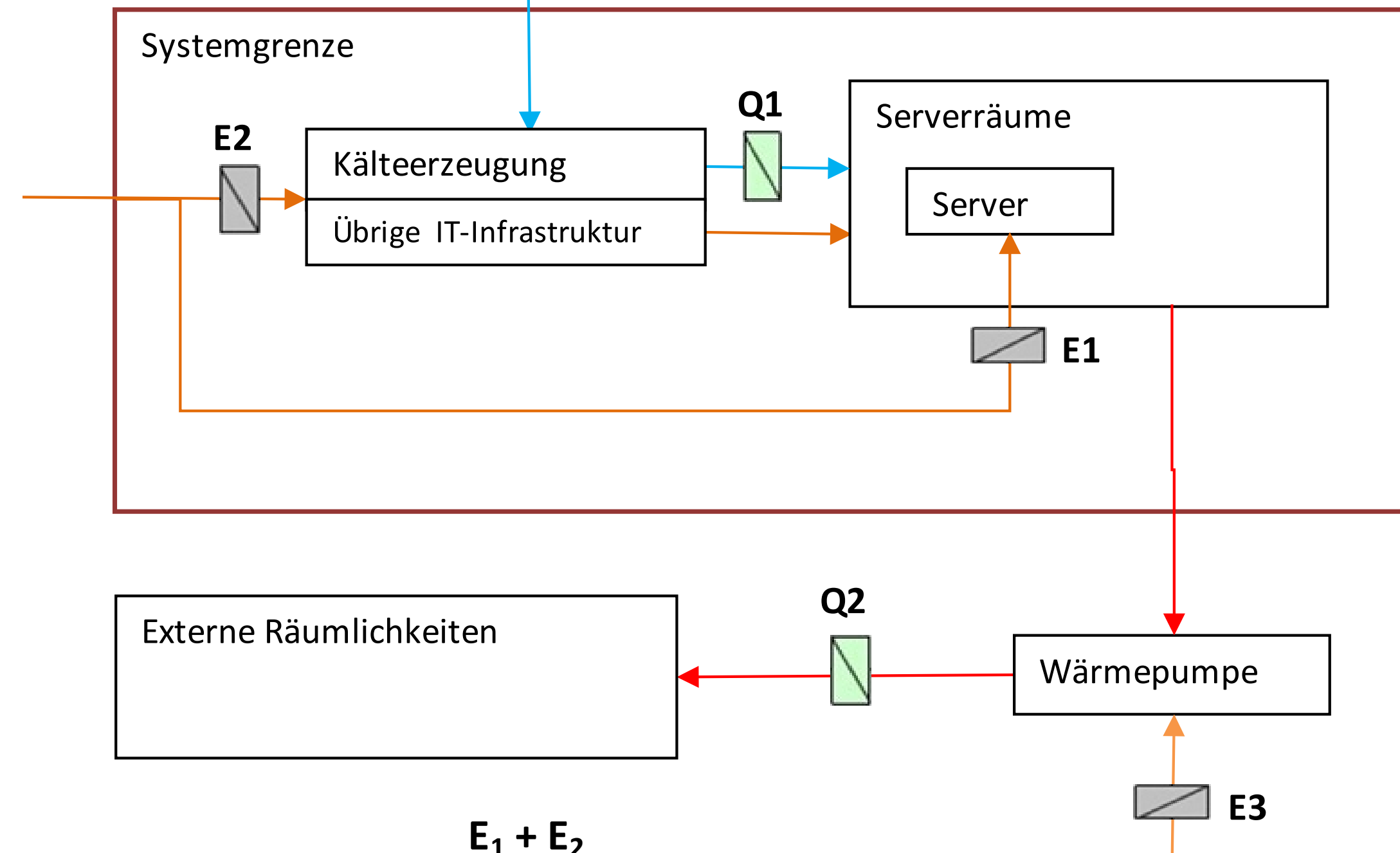
## Grossverbraucher

Als Grossverbraucher gelten gemäss § 13a EnerG Betriebsstätten mit einem jährlichen **Elektrizitätsverbrauch von > 0.5 GWh/a**. Grossverbraucher können verpflichtet werden, ihren Energieverbrauch zu analysieren und zumutbare Massnahmen zu 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 wurde eine Zielvereinbarung abgeschlossen.

# PUE<sup>DA</sup> – eine intelligente Adaption mit integrierter Abwärmenutzung

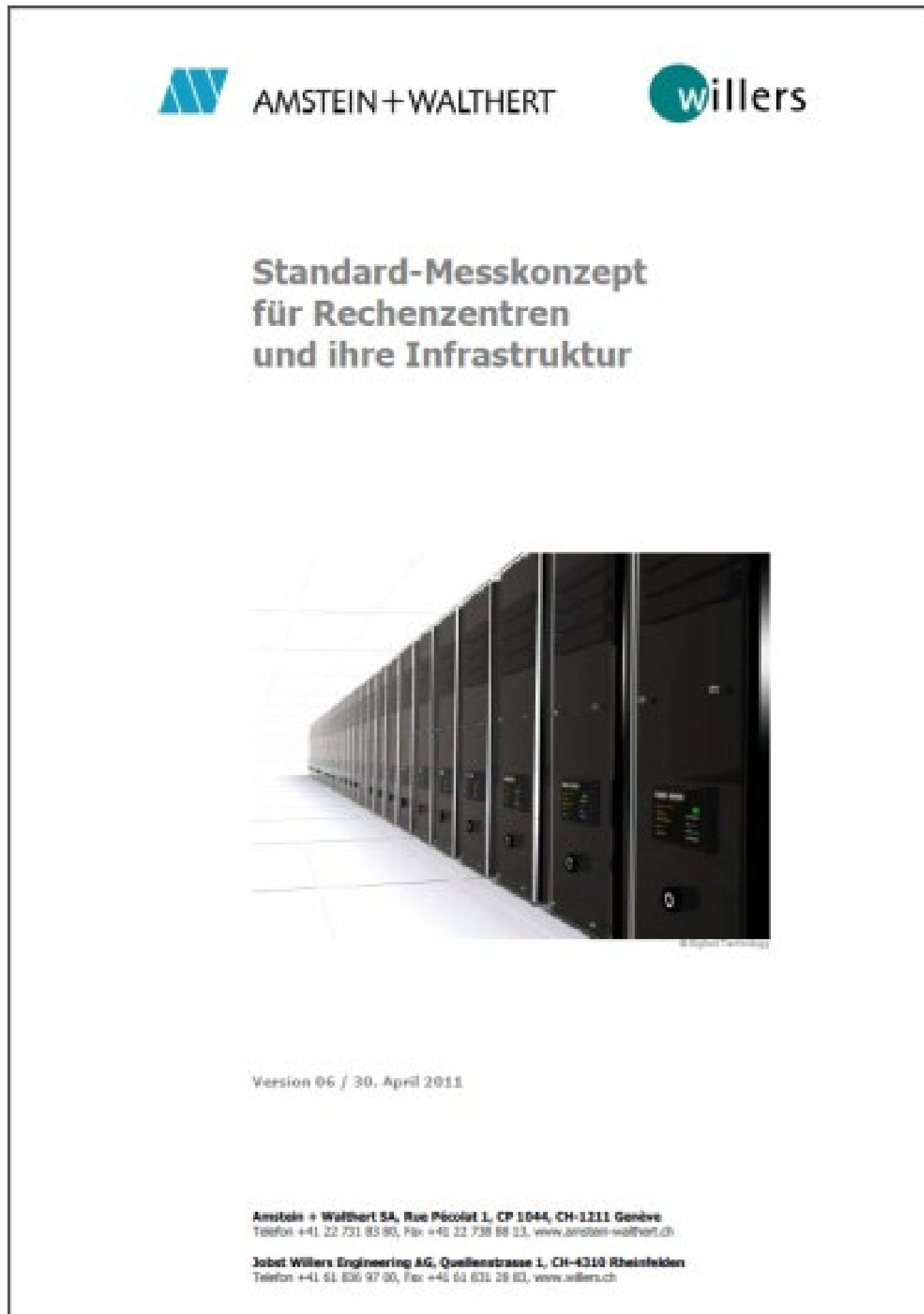
KONFIGURATION UND MESSKONZEPT FÜR PUE-WERTE IN DER SCHWEIZ (Quelle: WILLERS/A+W/BFE 2011)

Beispiel: Konfiguration mit externer Abwärmenutzung (Anergie) mit Wärmepumpe

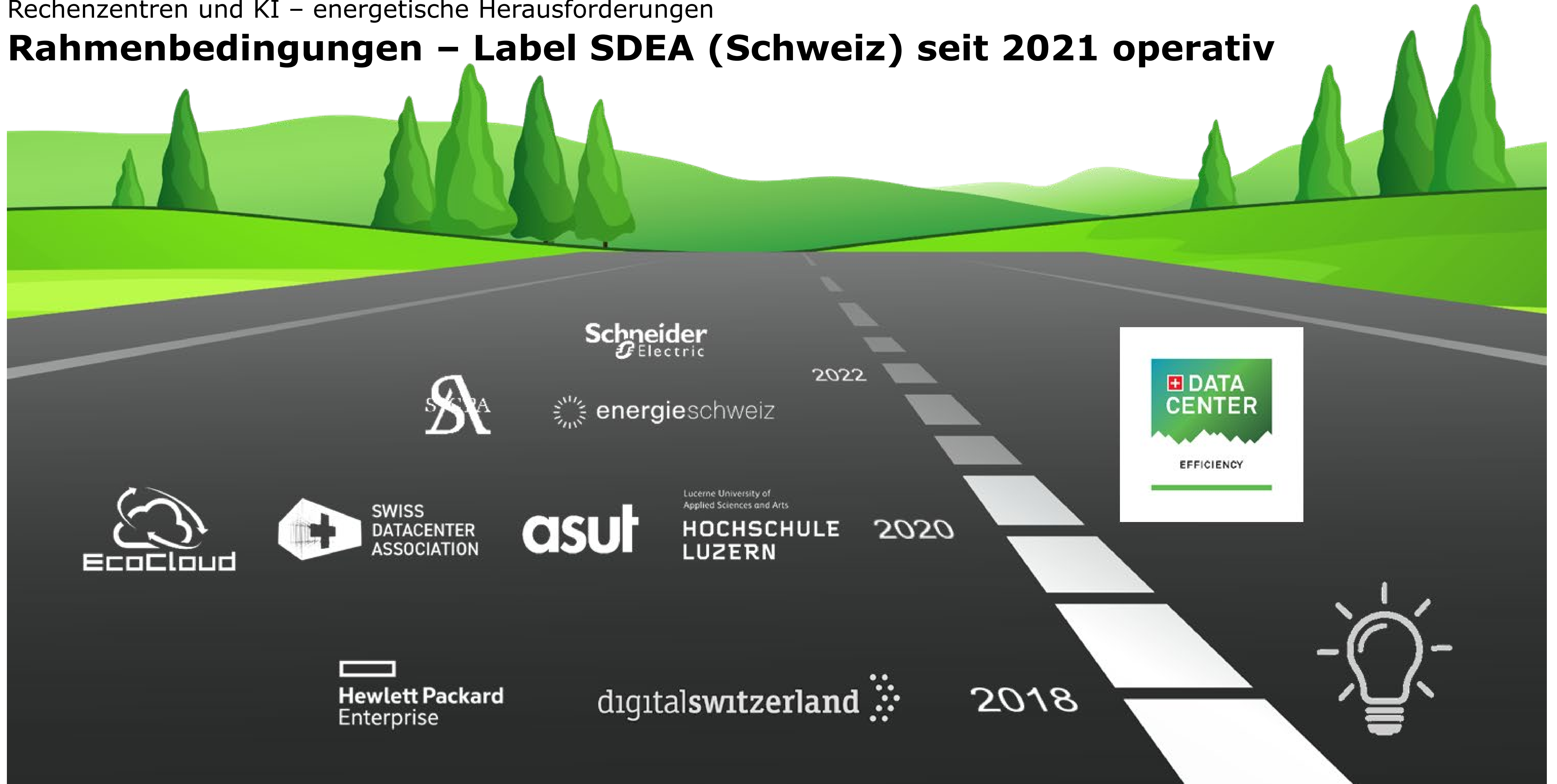


$$PUE^{DA} = PUE = \frac{E_1 + E_2}{E_1} \quad \text{falls COP} = Q_2 / E_3 \leq 3$$

$$PUE^{DA} = \frac{E_1 + E_2}{E_1} - \frac{Q_2/3 - E_3}{E_1} \quad \text{falls COP} = Q_2 / E_3 > 3$$

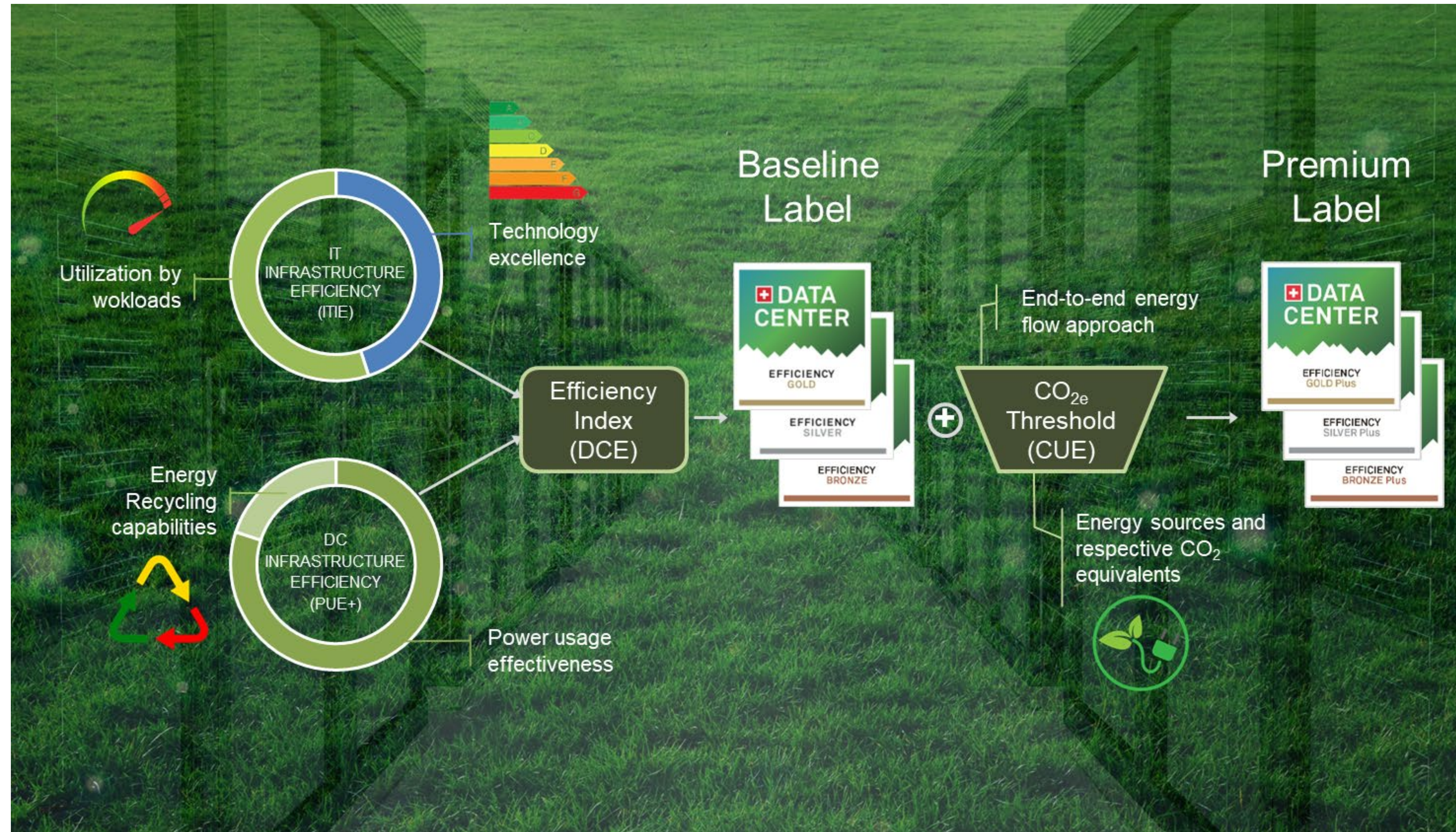


# Rahmenbedingungen – Label SDEA (Schweiz) seit 2021 operativ



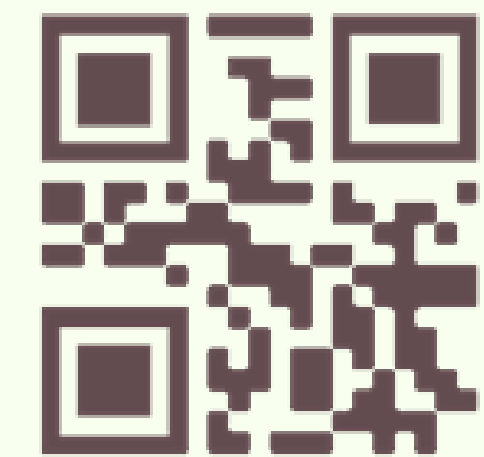


# Rahmenbedingungen – Label SDEA (Schweiz) holistischer Ansatz (Infra & IT)



## SWISS DATACENTER EFFICIENCY ASSOCIATION

Die SDEA ist ein Non-Profit-Konsortium aus Industrie und Hochschulinstituten, das sich zusammengeschlossen hat, um einen umfassenden Ansatz für die Effizienz- und Emissionszertifizierung von Rechenzentren zu entwickeln. Die von Hewlett Packard Enterprise (HPE) initiierte Allianz umfasst EcoCloud an der EPFL, die Hochschule Luzern (HSLU), die Swiss Data Center Association (SDCA) und den Schweizerischen Verband für Telekommunikation (asut).



info@sdea.ch  
sdea.ch

## **Rahmenbedingungen – SIA-Norm „Energieeffizienz in Rechenzentren“**

Ziel des Projektes ist es, eine infrastrukturseitige (Kühlung, USV, WRG, etc.) normative Grundlage zu schaffen, welche einerseits die internationalen Standards und die Rahmenbedingungen der IT-Industrie berücksichtigt und andererseits die spezifischen Verhältnisse der Schweiz bezüglich prozessualer Qualität und energetisch optimaler Situierung von Rechenzentren (Gebäude im System) möglichst nachhaltig und gesamtheitlich abbildet.

Dazu sollen folgende Aspekte normativ erfasst werden:

- **Vorgabe von Ziel-/Grenzwerten** (z. B. PUE), raumplanerischen Vorgaben (z. B. Situierung mit möglicher Abwärmenutzung) und Instrument für Behörden.
- **Definition der relevanten Planungsparameter** (z. B. Systemtemperaturen gemäss ASHRAE 90.4 (2022), ETSI EN 300 019-1-3 (2023), Abwärmenutzung (zB PUE<sup>DA</sup>), Kälteerzeugung, Luftführung, USV-Situierung, Beleuchtung, Einbezug von Redundanzen, Modularität, Effizienzvorgaben für Voll- und Teillastbetrieb in Abhängigkeit des IT-Ausbaugrads, etc.).
- **Definition des Monitorings** und der relevanten Betriebsparameter (z. B. SDEA KPI's).

## **Rahmenbedingungen – SIA MB2068 Kommissionsmitglieder**

### **Präsident**

Adrian Altenburger, Prof./Dipl. HLK-Ing. HTL/MAS ETH/SIA, Weinfelden HSLU

### **Sekretariat**

Bettina Huber, MSc Arch. ETH/SIA, Zürich

Geschäftsstelle SIA

### **Mitglieder der Arbeitsgruppe**

Rudolf Geissler, Dipl. El. Ing. HTL, Rohr

Planer

Philipp Brügger, Dipl. El. Ing. FH/SIA, Bubendorf

GA-Planer

Philip Deflorin, Dipl. HLK-Ing. FH/SIA, Zürich

HLK-Planer

Peter Pfiffner, Dipl. El. Ing. ETH, Herrliberg

Gebäudetechnik-Unternehmer

Martin Jakob, Dr. Sc. ETH, Baden

Energieberater

Daniel Ast, Dipl. HLK-Ing. FH, Siebnen

RZ-Betreiber

Volker Wouters, Prof./Dipl. El. Ing. HTL

SIA KGE 387

Christoph Gmür, Dipl. Masch. Ing. ETH

Behörde (AWEL)

Olivier Brenner, Dipl. HLK-Ing. HTL

Behörde (EnFK)

René Trösch (Ersatz im Q3/24)

asut

### **Sachbearbeitung**

Samuel Hangartner, BSc Gebäudetechnik GEE, Bern

Elektroplaner

Zoran Alimpic, Prof./PhD Dipl. Ing. FH, MBA/SIA, Cham

HLK-Planer

Danke.

**Hochschule Luzern**  
**Technik & Architektur**  
Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE  
**Prof. Adrian Altenburger**  
Instituts- und Studiengangleiter BSc/MSc

T direkt +41 41 349 33 03  
adrian.altenburger@hslu.ch

